



[www.mientayvn.com](http://www.mientayvn.com)

Khi đọc qua tài liệu này, nếu phát hiện sai sót hoặc nội dung kém chất lượng xin hãy thông báo để chúng tôi sửa chữa hoặc thay thế bằng một tài liệu cùng chủ đề của tác giả khác. Tài liệu này bao gồm nhiều tài liệu nhỏ có cùng chủ đề bên trong nó. Phần nội dung bạn cần có thể nằm ở giữa hoặc ở cuối tài liệu này, hãy sử dụng chức năng Search để tìm chúng.

Bạn có thể tham khảo nguồn tài liệu được dịch từ tiếng Anh tại đây:

[http://mientayvn.com/Tai\\_lieu\\_da\\_dich.html](http://mientayvn.com/Tai_lieu_da_dich.html)

Thông tin liên hệ:

Yahoo mail: [thanhlam1910\\_2006@yahoo.com](mailto:thanhlam1910_2006@yahoo.com)

Gmail: [frbwrthes@gmail.com](mailto:frbwrthes@gmail.com)

**Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây**

**DỊCH VỤ  
DỊCH  
TIẾNG  
ANH  
CHUYÊN  
NGÀNH  
NHANH  
NHẤT VÀ  
CHÍNH  
XÁC  
NHẤT**

Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tạo dựng niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

Bài giảng

---

# KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

ĐỖ CÔNG THÀNH

09-2009

---

## **Đánh giá**

Điểm thứ nhất:	0.2	Kiểm tra giữa học phần.
Điểm thứ hai:	0.8	Thi kết thúc học phần.
Hình thức thi:	Thi viết, thời lượng: 90 phút.	

## **Mục tiêu của học phần**

Sinh viên nắm được cơ sở lý thuyết về kỹ thuật đo lường; các mạch gia công tính toán, một số loại sensor cơ bản, nắm được phương pháp đo một số đại lượng không điện cơ bản.

---

## **Tài liệu học tập:**

[1]: Nguyễn Hữu Công – Giáo trình “*Kỹ thuật đo lường*” ; NXB Đại học Quốc gia; 2008

## **Tài liệu tham khảo:**

[2]: Phan Quốc Phó; Giáo trình cảm biến ; NXB Khoa học và kỹ thuật; 2006.

[3]: Phạm Thượng Hàn; Đo lường các đại lượng vật lý; NXB Khoa học và kỹ thuật; 1999.

[4]: Nguyễn Trọng Quế; Giáo trình đo các đại lượng điện và không điện; NXB ĐHBK Hà Nội, 1996

## **Mô tả tóm tắt học phần**

Môn học cung cấp cho sinh viên các kiến thức cơ bản về Kỹ thuật đo lường, đánh giá sai số của phép đo và gia công kết quả đo. thiết bị đo, các phương pháp nâng cao độ chính xác của phép đo, các cơ cấu chỉ thị, các sensor đo lường; mạch đo lường và gia công thông tin: mạch tỉ lệ, mạch gia công tính toán, khái niệm cơ bản về AD; DA...; đo dòng điện, điện áp, đo các đại lượng không điện: lực, áp suất, nhiệt độ, độ bóng, bề dày, kích thước sản phẩm...

---

Bố cục: 5 chương

**Chương 1**

**CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG, THÔNG TIN VÀ THIẾT BỊ ĐO**

**Chương 2**

**CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ**

**Chương 3**

**MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG THÔNG TIN**

**Chương 4**

**CÁC BỘ CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SƠ CẤP**

**Chương 5**

**ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN**

# Chương 1

---

## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

### 1.1.1. Định nghĩa

### 1.1.2. Phân loại

a. Dụng cụ đo lường

b. Chuyển đổi đo lường

c. Tổ hợp thiết bị đo (với một thiết bị cụ thể và một hệ thống thông tin đo lường)

## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

### 1.2.1. Thiết bị đo chuyển đổi thẳng

### 1.2.2. Thiết bị đo kiểu so sánh

## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

### 1.3.1 Độ nhạy, độ chính xác và các sai số của TBĐ

a. Độ nhạy

b. Độ chính xác và các sai số của TBĐ

### 1.3.2 Tổng trở vào và tiêu thụ công suất của TBĐ

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

### 1.4.1. Tính toán sai số ngẫu nhiên

### 1.4.2. Tính toán sai số gián tiếp

## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

---

### 1.1.1 Định nghĩa

*Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đối tượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị.*

Với định nghĩa trên thì đo lường là quá trình thực hiện 3 thao tác chính:

- Biến đổi tín hiệu và tin tức.
- So sánh với đơn vị đo hoặc so sánh với mẫu trong quá trình đo lường.
- Chuyển đơn vị, mã hoá để có kết quả bằng số so với đơn vị.

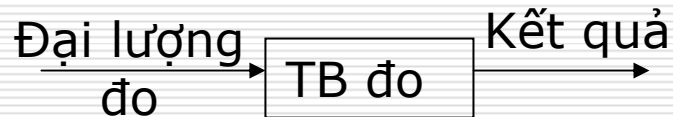


## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

---

### *Thiết bị đo và thiết bị mẫu*

- Thiết bị đo là một hệ thống mà đại lượng đo gọi là lượng vào, lượng ra là đại lượng chỉ trên thiết bị (là thiết bị đo tác động liên tục) hoặc là con số kèm theo đơn vị đo (thiết bị đo hiện số). Đôi khi lượng ra không hiển thị trên thiết bị mà đưa tới trung tâm tính toán để thực hiện các Algorithm kỹ thuật nhất định.



- Thiết bị mẫu dùng để kiểm tra và hiệu chỉnh



## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

---

### 1.1.2 Phân loại

#### a Thiết bị đo lường

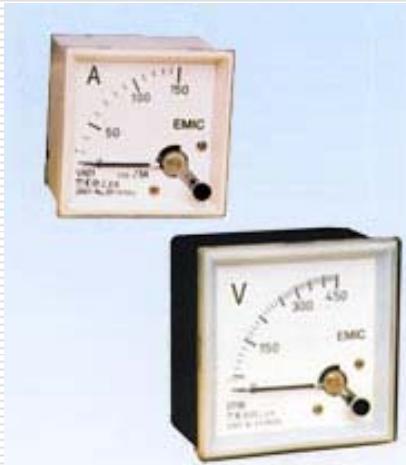
*Thiết bị đo chuyển đổi thẳng:*

Đại lượng cần đo đưa vào thiết bị dưới bất kỳ dạng nào cũng được biến thành góc quay của kim chỉ thị. Người đo đọc kết quả nhờ thang chia độ và những quy ước trên mặt thiết bị, loại thiết bị này gọi là thiết bị đo cơ điện. Ngoài ra lượng ra còn có thể biến đổi thành số, người đo đọc kết quả rồi nhân với hệ số ghi trên mặt máy hoặc máy tự động làm việc đó, ta có thiết bị đo hiện số.

*Thiết bị đo kiểu so sánh :*

Cũng có thể là chỉ thị cơ điện hoặc là chỉ thị số. Tùy theo cách so sánh và cách lập đại lượng bù (bộ mã hoá số tương tự) ta có các thiết bị so sánh khác nhau như: thiết bị so sánh kiểu tự động ( đại lượng đo  $x$  và đại lượng bù  $x_k$  luôn biến đổi theo nhau); thiết bị so sánh kiểu quét ( đại lượng bù  $x_k$  biến thiên theo một quy luật thời gian nhất định và sự cân bằng chỉ xảy ra tại một thời điểm trong chu kỳ).

---



## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

---

### b. Chuyển đổi đo lường

Có hai khái niệm:

-Chuyển đổi chuẩn hoá: Có nhiệm vụ biến đổi một tín hiệu điện phi tiêu chuẩn thành tín hiệu điện tiêu chuẩn

Với loại chuyển đổi này chủ yếu là các bộ phân áp, phân dòng, biến điện áp, biến dòng điện, các mạch khuếch đại...

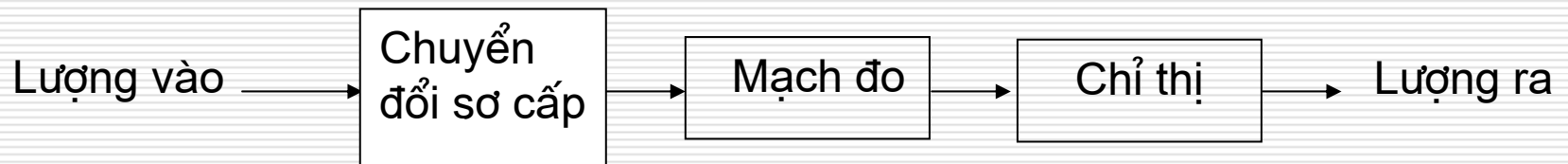
- Chuyển đổi sơ cấp (S: Sensor): Có nhiệm vụ biến một tín hiệu không điện sang tín hiệu điện, ghi nhận thông tin giá trị cần đo. Có rất nhiều loại chuyển đổi sơ cấp khác nhau như: chuyển đổi điện trở, điện cảm, điện dung, nhiệt điện, quang điện...

## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

---

### c. Tổ hợp thiết bị đo

Với một thiết bị cụ thể (1 kênh )



*Hình 1.1 Cấu trúc hệ thống đo 1 kênh*

- + Chuyển đổi đo lường : biến tín hiệu cần đo thành tín hiệu điện.
- + Mạch đo: thu nhận, xử lý, khuếch đại thông tin.... bao gồm: nguồn, các mạch khuếch đại, các bộ biến đổi A/D, D/A, các mạch phụ...
- + Chỉ thị: thông báo kết quả cho người quan sát, thường gồm chỉ thị số và chỉ thị cơ điện, chỉ thị tự ghi, v.v...

## 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo

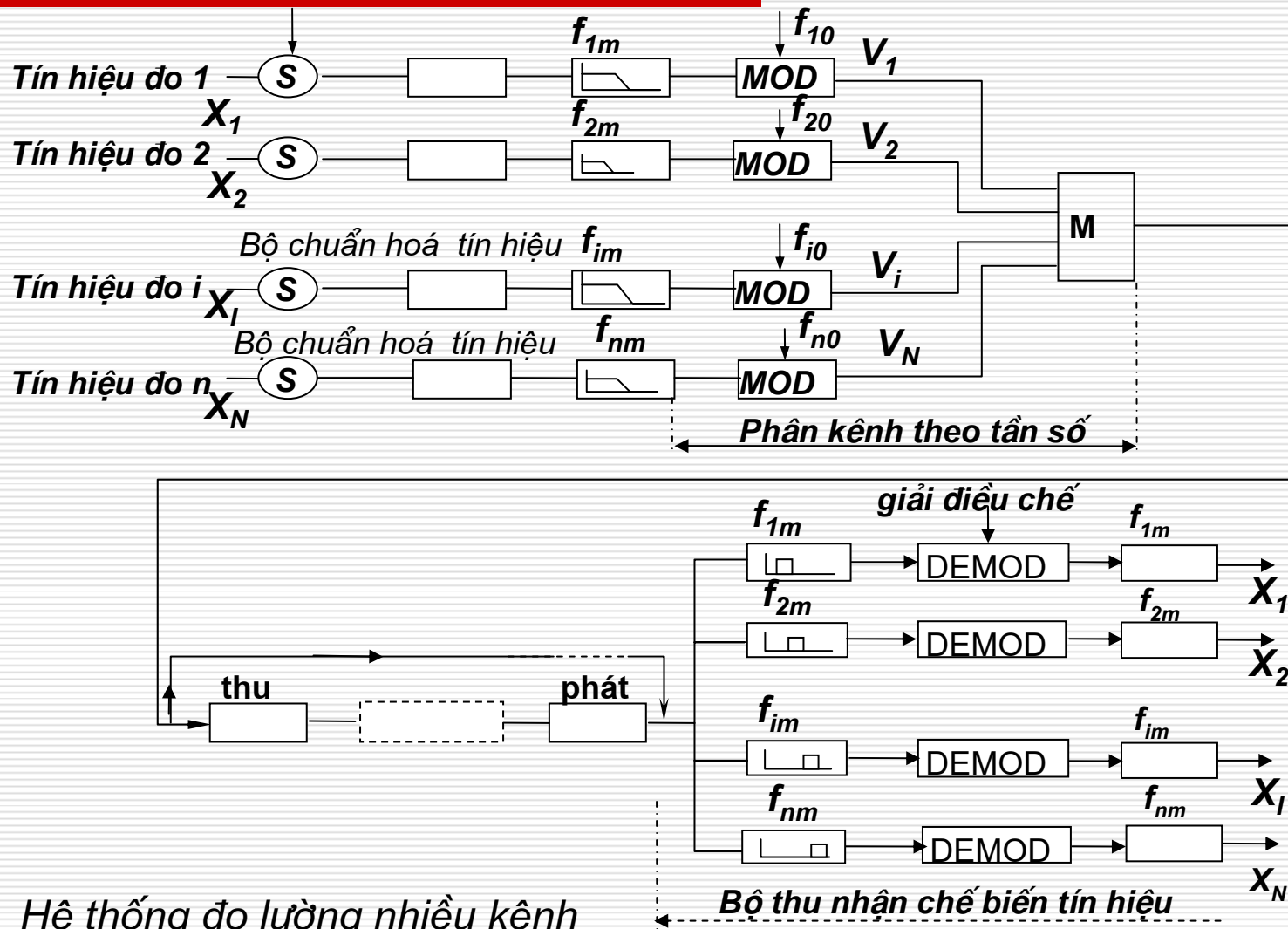
---

### **Với hệ thống đo lường nhiều kênh**

Trường hợp cần đo nhiều đại lượng, mỗi đại lượng đo ở một kênh, như vậy tín hiệu đo được lấy từ các sensor qua bộ chuyển đổi chuẩn hoá tới mạch điều chế tín hiệu ở mỗi kênh, sau đó sẽ đưa qua phân kênh (multiplexer) để được sắp xếp tuần tự truyền đi trên cùng một hệ thống dẫn truyền. Để có sự phân biệt, các đại lượng đo trước khi đưa vào mạch phân kênh cần phải mã hoá hoặc điều chế (Modulation - MOD) theo tần số khác nhau (thí dụ như  $f_{10}$ ,  $f_{20}$ ...) cho mỗi tín hiệu của đại lượng đo.

Tại nơi nhận tín hiệu lại phải giải mã hoặc giải điều chế (Demodulation – DEMOD) để lấy lại từng tín hiệu đo. Đây chính là hình thức đo lường từ xa (Telemetry) cho nhiều đại lượng đo.

# 1.1 Định nghĩa và phân loại thiết bị đo



Hình 1.2 Hệ thống đo lường nhiều kênh

## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

---

### 1.2.1 Hệ thống đo biến đổi thẳng

Trong hệ thống đo biến đổi thẳng đại lượng vào  $x$  qua nhiều khâu biến đổi trung gian được biến thành đại lượng ra  $z$ .

Quan hệ giữa  $z$  và  $x$  có thể viết:  $Z = f(x)$

Trong đó  $f(x)$  là một toán tử thể hiện cấu trúc của thiết bị đo

Trong trường hợp quan hệ lượng vào và lượng ra là tuyến tính ta có thể viết :

$$Z = S.x \quad (1-1)$$

Lúc đó :  $S$  gọi là độ nhạy tĩnh của thiết bị.

- Nếu một thiết bị gồm nhiều khâu nối tiếp thì quan hệ giữa lượng vào và lượng ra có thể viết:

$$Z = \prod_{i=1}^n S_i . x \quad (1.2)$$

$S_i$ : là độ nhạy của khâu thứ  $i$  trong thiết bị.



## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

---

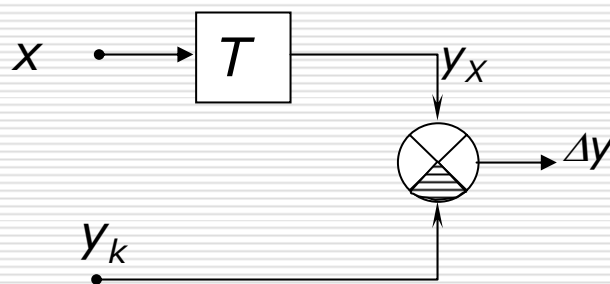
### 1.2.2 Hệ thống đo kiểu so sánh

Trong thiết bị đo kiểu so sánh đại lượng vào  $x$  thường được biến đổi thành đại lượng trung gian  $y_x$  qua một phép biến đổi  $T$ :

$$y_x = T.x$$

Sau đó  $y_x$  được so sánh với đại lượng bù  $y_k$ .

Ta có:  $\Delta y = y_x - y_k$



Hình 1.3 Hệ thống đo kiểu so sánh

## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

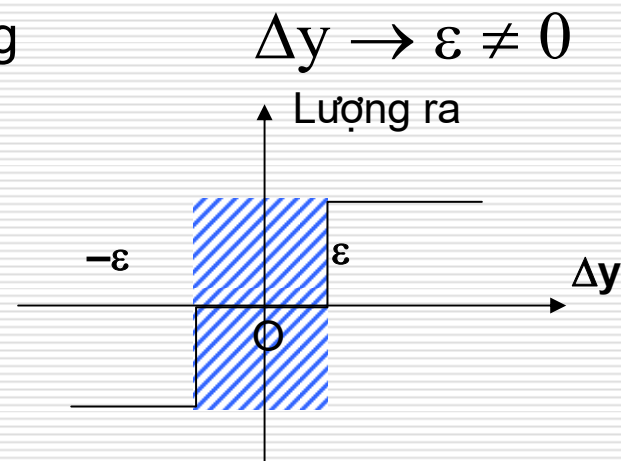
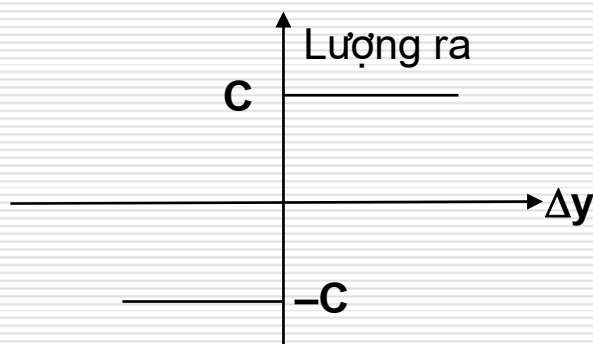
### a. Phương pháp so sánh kiểu cân bằng (hình 1.4)

Trong phương pháp này, đại lượng vào so sánh:  $y_x = \text{const}$  ; đại lượng bù  $y_k = \text{const}$

Tại điểm cân bằng :  $\Delta y = y_x - y_k \rightarrow 0$

### b. Phương pháp so sánh không cân bằng (hình 1.5)

Cũng giống như trường hợp trên song



Hình 1.4 Phương pháp so sánh cân bằng      Hình 1.5 Phương pháp so sánh không cân bằng

## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

### c. Phương pháp mã hoá thời gian

Trong phương pháp này đại lượng vào  $y_x = \text{const}$  còn đại lượng bù  $y_k$  cho tăng tỉ lệ với thời gian  $t$ :

$$y_k = y_0 \cdot t \quad (y_0 = \text{const})$$

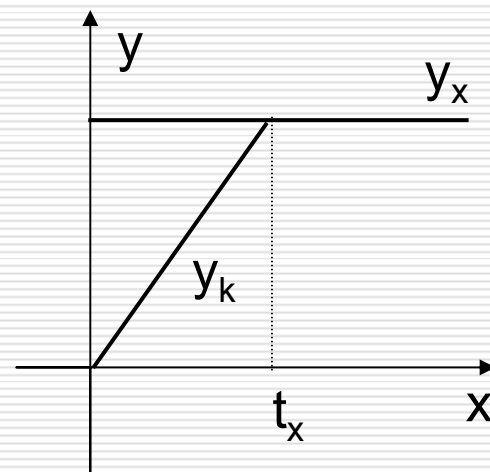
Tại thời điểm cân bằng  $y_x = y_k = y_0 \cdot t_x$

$$\Rightarrow t_x = \frac{y_x}{y_0} \quad (1-3)$$

Đại lượng cần đo  $y_x$  được biến thành khoảng thời gian  $t_x$

ở đây phép so sánh phải thực hiện một bộ ngưỡng

$$\Delta y = \text{sign}(y_x - y_k) = \begin{cases} 1 & y_x \geq y_k \\ 0 & y_x < y_k \end{cases}$$



Hình 1.6 Phương pháp mã hoá thời gian

## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

### d. Phương pháp mã hoá tần số xung

Trong phương pháp này đại lượng vào  $y_x$

cho tăng tỉ lệ với lượng cần đo  $x$  và khoảng thời gian  $t$ :  $y_x = t.x$

Còn đại lượng bù  $y_k$  được giữ không đổi

Tại điểm cân bằng có:

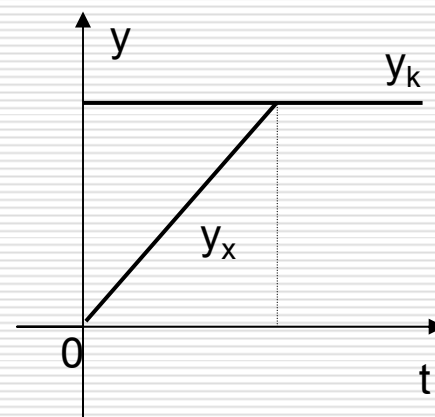
$$y_x = x.t_x = y_k = \text{const}$$

$$\rightarrow: f_x = 1/t_x = x / y_k \quad (1-4).$$

Đại lượng cần đo  $x$  đã được biến thành tần số  $f_x$ . ở đây phép so sánh cũng phải thực

hiện 1 bộ ngưỡng

$$\Delta y = \text{sign}(y_k - y_x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } y_k \geq y_x \\ 0 & \text{nếu } y_k < y_x \end{cases}$$



Hình 1.7 Phương pháp mã hoá tần số xung

## 1.2 Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường tương tự và số

### e. Phương pháp mã hoá số xung

Trong phương pháp này đại lượng vào  $y_x$  được giữ bằng const, còn đại lượng bù  $y_k$  cho tăng tỉ lệ với thời gian  $t$  theo quy luật bậc thang với những bước nhảy không đổi  $y_0$  gọi là bước lượng tử.

$T = \text{const}$  còn gọi là xung nhịp

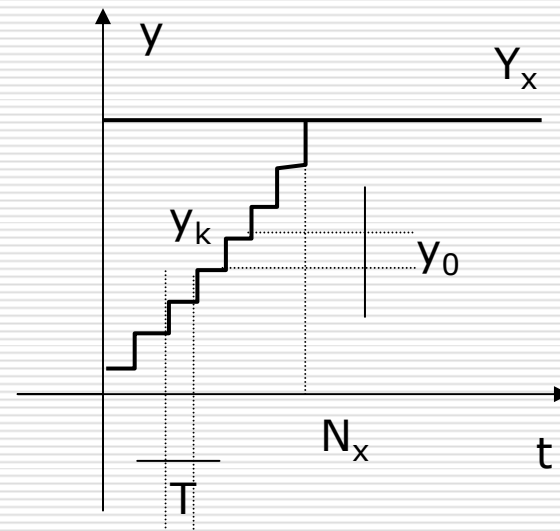
$$\text{Ta có: } y_k = y_0 \sum_{i=1}^n 1(t - iT) \quad (1.5)$$

Tại điểm cân bằng đại lượng vào  $y_x$  được biến thành con số  $N_x$ .

$$y_x \approx N_x \cdot y_0 \quad (1-6)$$

Để xác định được điểm cân bằng, phép so sánh cũng phải thực hiện một bộ ngưỡng

$$\Delta y = \text{sign}(y_x - y_k) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } y_x \geq y_k \\ 0 & \text{nếu } y_x < y_k \end{cases}$$



Hình 1.8 Phương pháp mã hoá số xung

## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

---

### 1.3.1 Độ nhạy, độ chính xác và các sai số của thiết bị đo

#### a. Độ nhạy và ngưỡng độ nhạy

Để có một sự đánh giá về quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của thiết bị đo, ta dùng khái niệm về độ nhạy của thiết bị:

$$S = \frac{\Delta z}{\Delta x} \quad (1-7)$$

S: Độ nhạy tĩnh của thiết bị đo.

Nếu thiết bị đo gồm nhiều khâu nối tiếp:  $S = \prod_{i=1}^n S_i$

Với  $S_i$  là độ nhạy của khâu thứ  $i$  trong thiết bị.

Xét quan hệ giữa ngưỡng độ nhạy và thang đo của thiết bị:

$$D = x_{\max} - x_{\min} \quad \{ x_{\min} \text{ thường} = 0 \}$$

Từ đó đưa ra khái niệm về khả năng phân ly của thiết bị đo:

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\varepsilon} \text{ và so sánh các R với nhau}$$

## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

---

### **b. Độ chính xác và các sai số của thiết bị đo**

-Độ chính xác là tiêu chuẩn quan trọng nhất của thiết bị đo. Bất kỳ 1 phép đo nào đều có sai lệch so với đại lượng đúng

$$\delta_i = x_i - x_d$$

$x_i$  : kết quả của lần đo thứ  $i$

$x_d$  : giá trị đúng của đại lượng đo

$\delta_i$  : Sai lệch của lần đo thứ  $i$

- Sai số tuyệt đối của 1 thiết bị đo được định nghĩa là giá trị lớn nhất của các sai lệch gây nên bởi thiết bị trong khi đo:

$$\Delta x = \max[\delta_i]$$

- Sai số tuyệt đối chưa đánh giá được tĩnh chính xác và yêu cầu công nghệ của thiết bị đo. Thông thường độ chính xác của 1 phép đo hoặc 1 thiết bị đo được đánh giá bằng sai số tương đối:

## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

---

+ Với 1 phép đo, sai số tương đối được tính

$$\beta = \frac{\Delta x}{x} \quad \text{Với } x \text{ là giá trị đại lượng đo}$$

+ Với 1 thiết bị đo, sai số tương đối được tính

$$\gamma = \frac{\Delta x}{D}$$

Giá trị % gọi là sai số tương đối quy đổi dùng để sắp xếp các thiết bị đo thành các cấp chính xác.

Theo quy định hiện hành của nhà nước, các dụng cụ đo cơ điện có cấp chính xác: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; và 4

Thiết bị đo số có cấp chính xác: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2;; 0,5; 1.



## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

---

Khi biết cấp chính xác của một thiết bị đo ta có thể xác định được sai số tương đối quy đổi và suy ra sai số tương đối của thiết bị trong các phép đo cụ thể.

$$\text{Ta có: } \beta = \gamma \cdot \frac{D}{x} \quad (1-8)$$

Trong đó :  $\gamma$  là sai số tương đối của thiết bị đo, phụ thuộc cấp chính xác và không đổi nên sai số tương đối của phép đo càng nhỏ nếu  $D/x$  dần đến 1.

Vì vậy khi đo một đại lượng nào đó cố gắng chọn  $D$  sao cho:  $D \approx x$

## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

---

### 1.3.2 Điện trở vào và tiêu thụ công suất của thiết bị đo

Thiết bị đo phải thu năng lượng từ đối tượng đo dưới bất kì hình thức nào để biến thành đại lượng đầu ra của thiết bị. Tiêu thụ năng lượng này thể hiện ở phản tác dụng của thiết bị đo nên đối tượng đo gây ra những sai số mà ta thường biết được nguyên nhân gọi là sai số phụ về phương pháp. Trong khi đo ta cố gắng phấn đấu sao cho sai số này không lớn hơn sai số cơ bản của thiết bị.

- Với các thiết bị đo cơ học sai số chủ yếu là phản tác dụng của chuyển đổi. Với các thiết bị đo dòng áp, sai số này chủ yếu là do ảnh hưởng của tổng trở vào và tiêu thụ công suất của thiết bị.

Tổn hao năng lượng với mạch đo dòng áp là:

$$\Delta P_A = R_A \cdot I^2 \quad ; \quad \Delta P_U = U^2 / R_V.$$

Vậy ta tạm tính sai số phụ do ảnh hưởng của tổng trở vào là:

$$\gamma_I = R_A / R_t \quad ; \quad \gamma_U = R_t / R_V.$$

$R_A$ : Điện trở của ampemet hoặc phần tử phản ứng với dòng

$R_V$ : Điện trở của vônmet hoặc phần tử phản ứng với áp

## 1.3 Các đặc tính tĩnh của thiết bị đo

Ví dụ : phân tích sai số phụ khi đo áp trên hình 1.9.

+ Giả sử cần kiểm tra điện áp  $U_{AO}$ .

Theo lý lịch  $[U_{AO}] = 50 \pm 2(v)$ .

+ Xét khi chưa đo (k mở), ta có ngay:

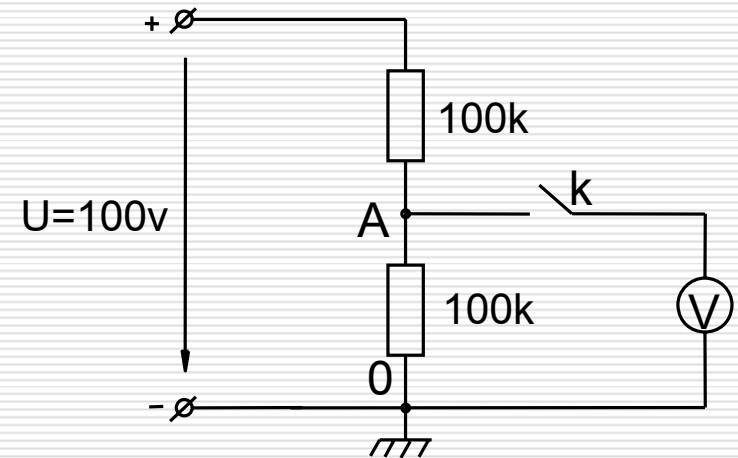
$$U_{AO} = 50 (v).$$

+ Xét khi đo (k đóng).

Giả sử  $R_V = 100 \text{ k}\Omega$ . Vậy điện áp đo được:

$$U_V = U_{AO}' = 33,3 \text{ V}$$

Sai số từ 33V trở lên 50V chính là sai số phụ về phương pháp do ảnh hưởng điện trở của V sinh ra.



Hình 1.9 Ví dụ về sai số phụ

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

Gia công kết quả đo lường là dựa vào kết quả của những phép đo cụ thể ta xác định giá trị đúng của phép đo đó và sai số của phép đo ấy.

$$x = x_d \pm \Delta x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (1-10)$$

Dụng cụ đo nào cũng có sai số và nguyên nhân sai số rất khác nhau, vì vậy cách xác định sai số phải tùy theo từng trường hợp mà xác định. Hiện nay đã dùng nhiều phương pháp khác nhau để phép đo đảm bảo yêu cầu kỹ thuật đề ra.

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

### 1.4.1 Tính toán sai số ngẫu nhiên

- Để xác định sai số ngẫu nhiên ta dựa vào phương pháp thống kê nhiều kết quả đo lường. Sai số ngẫu nhiên của lần đo thứ  $i$  được tính

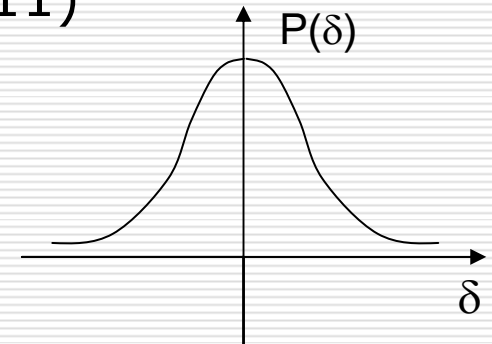
$$\delta_i = x_i - M[x] \quad (1-11)$$

Trong đó:

$x_i$  : kết quả lần đo thứ  $i$

$M[x]$ : Kỳ vọng toán học của vô số lần đo đại lượng  $x$

- Theo toán học thống kê thì sự phân bố của sai số ngẫu nhiên xung quanh giá trị kỳ vọng toán học theo một quy luật nhất định gọi là luật phân bố xác suất.



Hình 1.10 Luật phân bố chuẩn

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

Trong các thiết bị đo lường và điều khiển thường theo quy luật phân bố chuẩn:

$$P(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1-12)$$

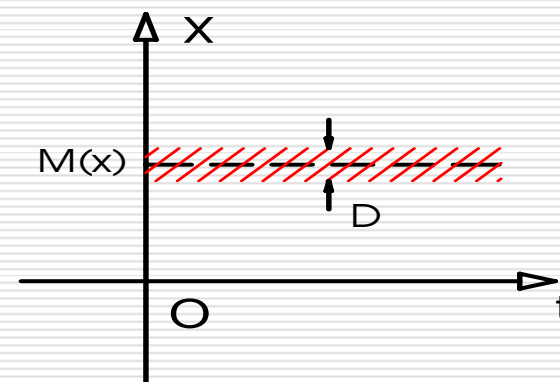
trong đó:

$\sigma$ : Độ lệch quân phương hay phương sai của sai số ngẫu nhiên. Ta có công thức

$$\sigma^2 = D = \int_{-\infty}^{\infty} \delta^2 P(\delta) d\delta \quad (1-13)$$

Với D gọi là độ tán xạ

Trong kĩ thuật ta thường dùng khái niệm phương sai  $\sigma = \sqrt{D}$  vì nó có cùng thứ nguyên với đại lượng cần đo.



Hình 1.11 Kì vọng và độ tán xạ của luật phân bố chuẩn

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

Quá trình gia công kết quả như sau:

***Khi số lần đo là rất lớn ( $n > 30$ )***

Sai số ngẫu nhiên được tính:

$$\Delta x = k \cdot \sigma \quad (1-14)$$

Trong đó k là hệ số, được tra trong sổ tay kỹ thuật (bảng hoặc đường cong)

***Khi số lần đo có giới hạn ( $n \leq 30$ ).***

Quá trình gia công được tiến hành như sau:

+ Kỳ vọng toán học được lấy là trung bình cộng của n lần đo.

$$M[x] = \bar{x} = x_d = \frac{\sum_{k=1}^n x_i}{n} \quad (1-15)$$

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

+ Phương sai của sai số ngẫu nhiên được tính theo công thức Bessel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( x_i - \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \right)^2}{n-1}} \quad (1-16)$$

Nếu ta lấy kết quả là giá trị trung bình của n lần đo thì phương sai sẽ giảm đi căn n lần ( $\sqrt{n}$ )

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1-17)$$



## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

Sai số ngẫu nhiên được tính:

$$\Delta x = k_{st} \sigma_{\bar{x}}$$

$k_{st}$ : Hệ số Student, nó phụ thuộc vào số lần thu thập  $n$  và xác suất yêu cầu  $p$ . Hệ số  $k_{st}$  được tra trong các sổ tay kỹ thuật:  $k_{st} = f(n, p)$

+ Kết quả đo được tính

$$x = \bar{x} \pm \Delta x = \frac{\sum x_i}{n} \pm k_{st} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}} \quad (1-18)$$

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

*Chú ý:* Trong thực tế có những lần thu thập số liệu mà kết quả của nó không đáng tin cậy (và ta thường gọi là nhiễu của tập số liệu), vì vậy ta phải loại bỏ lần đo này nhờ thuật toán sau:

Sau khi tính  $\sigma$  ta so sánh các  $|\delta_i|$  với  $3\sigma$  Với  $i = 1$  đến  $n$ , nếu lần đo nào có  $|\delta_i| \geq 3\sigma$  thì phải loại bỏ lần đo đó và tính lại từ đầu với  $(n-1)$  phép đo còn lại. Người ta đã chứng minh rằng việc loại bỏ đó đã đảm bảo độ tin cậy 99,7%

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

### Ví dụ

Tính kết quả đo và sai số ngẫu nhiên với một xác suất đáng tin  $p=0.98$  của một phép đo điện trở bằng cầu kép với kết quả như sau :

(Đơn vị tính =  $m\Omega$ ) ( $n = 12 \rightarrow k_{st} = 2,72$ ;  $n = 14 \rightarrow k_{st} = 2,65$ )

140,25 ; 140,50 ; 141,75 ; 139,25 ; 139,50 ; 140,25 ; 140,00 ; 126,75 ;  
141,15 ; 142,25 ; 140,75 ; 144,15 ; 140,15 ; 142,75.

Biết sai số ngẫu nhiên có phân bố chuẩn.

### Giải

Sau khi tính ta được giá trị trung bình của phép đo:

$$\bar{R} = M[R] = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{14} = 139,96(m\Omega)$$

+ Phương sai của sai số ngẫu nhiên được tính :

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 4,03(m\Omega)$$

So sánh các  $\delta_i = R_i - \bar{R}$  với  $3\sigma$ .

Ta thấy lần đo thứ 8 phạm phải sai lầm lớn:

$$\delta_8 = R_8 - \bar{R} \geq 3\sigma$$

nên ta bỏ qua lần đo này và tính lại từ đầu với 13 lần đo còn lại.

Lập bảng:

STT	$R_i$	$\delta_i$	$\delta_i^2$
1	140,25	-0,73	0,5329
2	140,50	-0,48	0,2304
3	141,75	0,77	0,5929
4	139,25	-1,73	2,9929
5	139,50	-1,48	2,1904
6	140,25	-0,73	0,5329
7	140,00	-0,98	0,9624
8	141,15	0,17	0,0289
9	142,25	1,27	1,6129
10	140,75	-0,23	0,0529
11	144,15	3,71	13,7641
12	140,15	-0,83	0,6889
13	142,75	1,77	3,1329
	Tổng:	0	23,64

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

Tính lại:

$$M[R] = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{13} R_i}{13} = 140,98; \quad \sum_{i=1}^{13} \delta_i^2 = 23,64$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{13 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{13 - 1}} \approx 1,4(m\Omega)$$

$$\sigma_{\bar{R}} = \frac{\sigma}{\sqrt{13}} \approx 0,38(m\Omega)$$

Với  $P = 0,98$ ;  $n = 13$ ; chọn  $k_{st} = \frac{2,72 + 2,65}{2} = 2,685$

$$\Delta R = k_{st} \cdot \sigma_{\bar{R}} \approx 1,4(m\Omega)$$

Kết quả

$$R = \bar{R} \pm \Delta R = 140,98 \pm 1,4(m\Omega)$$

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

### 1.4.2 Tính toán sai số gián tiếp

Trong thực tế có nhiều phương pháp đo mà kết quả được tính từ phép đo trực tiếp khác, người ta gọi phép đo đó là phép đo gián tiếp.

Giả sử có 1 phép đo gián tiếp đại lượng  $y$  thông qua các phép đo trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Ta có: 
$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n \quad (1-19)$$

Sai số tuyệt đối của phép đo gián tiếp được đánh giá:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta x_k\right)^2} \quad (1-20)$$

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ : sai số tuyệt đối của phép đo các đại lượng trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

Sai số tương đối của phép đo gián tiếp được tính là

$$\begin{aligned}\beta_y = \frac{\Delta y}{y} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{y}\right)^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta x_n}{y}\right)^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2} \\ &= \sqrt{\beta_{x_1}^2 + \beta_{x_2}^2 + \dots + \beta_{x_n}^2}\end{aligned}\quad (1-21)$$

hoặc :

$$\Delta y = \left|\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right| + \left|\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right| + \dots + \left|\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right| = \sum_{i=1}^n \left|\frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i\right| \quad (1-22)$$

Trong đó:  $\beta_{x_1}, \beta_{x_2}, \dots, \beta_{x_n}$  là sai số tương đối của các phép đo trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

$$\gamma_y = \Delta y / y$$

Bảng tính sai số tuyệt đối và sai số tương đối của 1 số hàm y thường gặp

Hàm y	Sai số tuyệt đối $\Delta y$	Sai số tương đối $\gamma_y = \Delta y / y_0$
$x_1 + x_2$	$\pm \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$	$\pm \sqrt{\frac{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}{(x_1 + x_2)^2}}$
$x_1 \cdot x_2$	$\pm \sqrt{x_1^2 (\Delta x_2)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$
$\frac{x_1}{x_2}$	$\pm \sqrt{\frac{x_1^2 (\Delta x_2)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}{x_2^4}}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$
$x^n$	$\pm n x^{n-1} \Delta x$	$\pm n \left(\frac{\Delta x}{x}\right)$



## 1.4 Gia công kết quả đo lường

### Ví dụ

Người ta sử dụng Ampemét và Volmét để đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp. Ampemét có thang đo là 1A, cấp chính xác là 1. Volmét có thang đo là 150V, cấp chính xác 1.5. Khi đo ta được số chỉ của hai đồng hồ là:  $I = 1\text{A}$ ,  $U = 100\text{V}$

Hãy tính sai số tuyệt đối và tương đối của phép đo điện trở trên.

### Giải

+ Sai số tuyệt đối của Ampemét là:

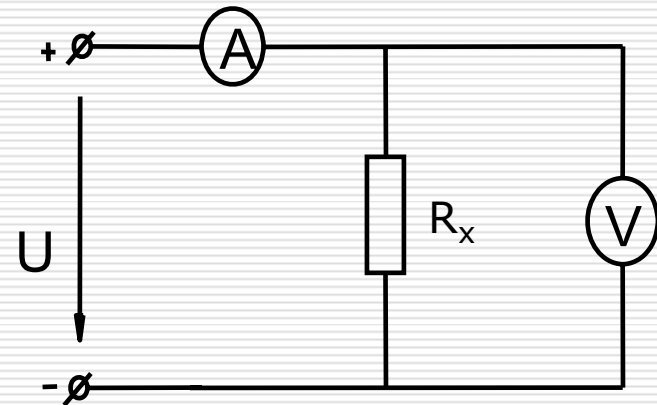
$$\Delta I = D_I \gamma\% = 1. 1/100 = 0.01(\text{A})$$

+ Sai số tuyệt đối của Volmét là:

$$\Delta U = D_U \gamma\% = 150.1.5/100=2.25(\text{V})$$

+ Giá trị điện trở theo phép đo là:

$$R = U/I = 100/1 = 100(\Omega)$$



Hình 1.12 Ví dụ về tính toán sai số gián tiếp

## 1.4 Gia công kết quả đo lường

---

**+ Sai số tuyệt đối của phép đo điện trở là:**

$$\Delta R = \sqrt{\frac{I^2 \Delta U^2 + U^2 \Delta I^2}{I^4}} = \sqrt{\frac{1 * 2.25^2 + 100^2 * 0.01^2}{1}} = 2.46\Omega$$

**+ Sai số tương đối của phép đo điện trở**

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\Delta R}{R} 100 = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} * 100 \\ &= \sqrt{\left(\frac{2.25}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{1}\right)^2} * 100 = 0.024 * 100 = 2.4\%\end{aligned}$$

## Bài tập ví dụ

---

1. Người ta dùng Ampemet và Volmet một chiều để xác định giá trị điện trở của một đoạn mạch. Kết quả của các lần đo như sau

Lần đo	1	2	3	4	5	6	7
U (V)	10,50	9,25	11,15	12,45	11,75	10,00	10,50
I (mA)	2,50	2,75	2,40	3,00	1,75	2,00	1,75
Lần đo	9	8	10	11	12	13	14
U (V)	8,50	13,25	12,00	10,75	11.50	11,00	12,00
I(mA)	4,25	3,25	3,00	2,15	2,25	2,15	2,50

Yêu cầu: Xác định giá trị điện trở cần đo và xác định sai số của phép đo trên. Biết các giá trị đo phân bố theo luật phân bố chuẩn, xác suất đáng tin  $p = 0,99$ , với  $n = 14$   $k_{st} = 3,01$ ;  $n = 12$   $k_{stt} = 3,1$

---

**2.** Người ta sử dụng Ampemét và Volmét để đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp. Ampemét có thang đo là 10A, cấp chính xác là 0.5. Volmét có thang đo là 100V, cấp chính xác 1. Khi đo ta được số chỉ của hai đồng hồ là:  $I = 1A$ ,  $U = 95V$

Hãy tính sai số tuyệt đối và tương đối của phép đo điện trở trên.

**3.** Tính toán sai số gián tiếp khi thí nghiệm đo điện trở  $R_x$  và tổng trở  $z_x$  bằng phương pháp nguồn xoay chiều như hình dưới đây. Biết:  
Ampemét có thang đo là 10A, cấp chính xác là 0.5. số chỉ 8,5A  
Volmét có thang đo là 250V, cấp chính xác 1. số chỉ 240V  
Wattmet có thang đo 100W, cấp chính xác 1, số chỉ 85W

## Câu hỏi thảo luận chương 1.

---

**1.** Kết quả đo lường thường tùy thuộc vào hạn chế của thiết bị đo. Các hạn chế đó sẽ làm cho giá trị đo được (hay giá trị biểu kiến) hơi khác nhẹ với giá trị đúng (tức là giá trị tính toán theo thiết kế). Do vậy, để quy định hiệu suất của các thiết bị đo, cần phải có các định nghĩa về độ chính xác [accuracy], độ rõ [precision], độ phân giải [resolution], độ nhạy [sensitivity] và sai số [error] .

Anh (chị) hãy tìm hiểu về các định nghĩa trên.

**2.** Ảnh hưởng do quá tải có nghĩa là *sự suy giảm về trị số của thông số ở mạch cần đo khi mắc thiết bị đo vào mạch.*

Anh (chị) hãy giải thích rõ định nghĩa trên qua ví dụ thực tế mà anh (chị) biết.

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**Đỗ Mạnh Hà**

**BÀI GIẢNG**  
**CƠ SỞ ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

**Hà Nội 2011**



# MỤC LỤC

<b>MỤC LỤC</b> .....	<b>i</b>
<b>LỜI NÓI ĐẦU</b> .....	<b>vi</b>
<b>CHƯƠNG 1 - GIỚI THIỆU CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ</b> .....	<b>9</b>
1.0. GIỚI THIỆU CHUNG .....	9
1.1 CÁC KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ .....	10
1.2 ĐỐI TƯỢNG CỦA ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ .....	12
1.3 PHÂN LOẠI PHÉP ĐO .....	13
1.4 CHỨC NĂNG VÀ PHÂN LOẠI THIẾT BỊ ĐO .....	16
1.5 ĐƠN VỊ ĐO LƯỜNG, CHUẨN, MẪU .....	20
1.5.1 Đơn vị đo lường .....	20
1.5.2 Cấp chuẩn hóa .....	21
1.6 ĐẶC TÍNH CƠ BẢN CỦA THIẾT BỊ ĐO .....	22
1.6.1 Đặc tính tĩnh .....	22
1.6.2 Đặc tính động .....	24
1.7. ĐẶC TÍNH ĐIỆN CỦA THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ .....	26
1.7.1. Các tham số giới hạn .....	26
1.7.2. Ảnh hưởng do quá tải .....	28
1.7.3. Can nhiễu ở phép đo .....	29
1.7.4. Vỏ bảo vệ .....	31
1.7.5. Nối đất .....	32
1.8. SO SÁNH THIẾT BỊ ĐO TƯƠNG TỰ VÀ THIẾT BỊ ĐO SỐ .....	33
1.9. CHỌN KHOẢNG ĐO TỰ ĐỘNG VÀ ĐO TỰ ĐỘNG .....	35
1.10. ĐO TRONG MẠCH (ICT) .....	36
1.11. KỸ THUẬT SỬ DỤNG THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ .....	36
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP .....	39
<b>CHƯƠNG 2 – ĐÁNH GIÁ SAI SỐ ĐO LƯỜNG</b> .....	<b>41</b>
2.1. KHÁI NIỆM VỀ SAI SỐ .....	41
2.2. NGUYÊN NHÂN GÂY SAI SỐ .....	41
2.3. PHÂN LOẠI SAI SỐ .....	42
2.3.1. Phân loại sai số theo nguồn gốc gây ra sai số .....	42
2.3.2. Phân loại theo sự phụ thuộc của sai số vào đại lượng đo .....	44
2.3.3. Phân loại theo vị trí sinh ra sai số .....	44



2.4. BIỂU THỨC BIỂU DIỄN SAI SỐ .....	45
2.5. PHÂN TÍCH THÔNG KÊ ĐO LƯỜNG .....	47
2.5.1. Hàm phân bố chuẩn sai số .....	47
2.5.2. Hệ quả của hàm phân bố chuẩn sai số.....	49
2.5.3. Chuẩn hóa hàm phân bố sai số .....	50
2.5.4. Các đặc số phân bố ứng dụng trong đo lường .....	52
2.5.5. Ứng dụng các đặc số phân bố để xác định kết quả đo từ nhiều lần đo .....	55
2.6. ĐÁNH GIÁ SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO GIÁN TIẾP.....	58
CÂU HỎI ÔN TẬP .....	61
BÀI TẬP .....	64
<b>CHƯƠNG 3 – CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ.....</b>	<b>65</b>
3.0. GIỚI THIỆU CHƯƠNG .....	65
3.1. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA MÁY ĐO .....	65
3.1.1. Máy đo tham số và đặc tính của tín hiệu:.....	66
3.1.2. Máy đo tham số và đặc tính của mạch điện: .....	69
3.1.3. Máy tạo tín hiệu đo lường .....	70
3.1.4. Các linh kiện đo lường .....	72
3.2. CẤU TRÚC CHUNG CỦA MÁY ĐO SỐ.....	72
3.2.1. Sự tiến triển trong công nghệ chế tạo thiết bị đo .....	72
3.2.1. Sơ đồ cấu trúc chung của máy đo số.....	73
3.2.3. Ưu điểm của máy đo số.....	76
3.3. THIẾT BỊ ĐO GHÉP NỐI VỚI MÁY TÍNH .....	78
3.4. MỘT SỐ MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG TÍN HIỆU ĐO CƠ BẢN.....	85
3.5. CƠ CẤU CHỈ THỊ ĐO LƯỜNG.....	86
3.5.1 Cơ cấu chỉ thị kim (Cơ cấu đo điện cơ bản - CCD).....	87
3.5.2 Thiết bị chỉ thị dùng LED.....	99
3.5.3 Thiết bị chỉ thị dùng LCD - Liquid Crystal Display .....	105
3.5.4 Ống tia điện tử - CRT.....	116
CÂU HỎI ÔN TẬP .....	127
<b>CHƯƠNG 4 - MÁY HIỆN SÓNG (Ô-XI-LÔ).....</b>	<b>128</b>
4.1 GIỚI THIỆU CHUNG .....	128
4.1.1 Khái niệm chung về quan sát dạng tín hiệu.....	128
4.1.2 Các ưu điểm và khả năng ứng dụng của ô-xi-lô. ....	130
4.1.3 Phân loại ô-xi-lô.....	131
4.2 Ô-XI-LÔ TƯƠNG TỰ.....	132

4.2.1	Sơ đồ khối và nguyên lý làm việc của ô-xi-lô tương tự 1 kênh.....	132
4.2.2	Ô-xi-lô nhiều kênh.....	146
4.3	ĐÂY ĐO DÙNG CHO Ô-XI-LÔ.....	151
4.3.1	Đây đo thụ động trở kháng cao.....	152
4.3.2	Đây đo tích cực.....	153
4.4	Ô-XI-LÔ SỐ.....	155
4.4.1	Khả năng của ôxilô số.....	155
4.4.2	Cấu trúc ô-xi-lô số.....	156
4.5	ỨNG DỤNG ĐO LƯỜNG DÙNG Ô-XI-LÔ.....	158
4.5.1	Đo tham số tín hiệu điện áp.....	161
4.5.2	Đo tần số bằng phương pháp Lissajous.....	163
4.5.3	Đo góc lệch pha.....	165
4.5.4	Vẽ đặc tuyến Von-Ampe của điốt.....	167
4.5.5	Vẽ đặc tuyến ra của BJT.....	168
	CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP.....	169
	<b>CHƯƠNG 5 – CÁC PHÉP ĐO ĐIỆN CƠ BẢN.....</b>	<b>171</b>
5.1	GIỚI THIỆU CHUNG.....	171
5.2	ĐO DÒNG ĐIỆN.....	172
5.2.1	Ampe mét can thiệp.....	172
5.2.2	Ampe mét không can thiệp.....	177
5.3	ĐO ĐIỆN ÁP.....	180
5.3.1	Các trị số điện áp.....	180
5.3.2	Giới thiệu về dụng cụ đo điện áp.....	182
5.3.3	Đo điện áp sử dụng cơ cấu đo từ điện.....	184
5.3.4	Vôn mét điện tử.....	187
5.4	ĐO ĐIỆN TRỞ.....	193
5.5	THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ VẠN NĂNG (MULTIMETERS).....	195
5.5.1	Đồng hồ vạn năng tương tự - VOM.....	195
5.5.2	Đồng hồ vạn năng số - DMM.....	198
	<b>CHƯƠNG 6 - ĐO TẦN SỐ, KHOẢNG THỜI GIAN VÀ GÓC LỆCH PHA ....</b>	<b>Error!</b>
	Bookmark not defined.	
6.0	GIỚI THIỆU CHUNG.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.1	ĐO TẦN SỐ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.1.1	Đo tần số bằng phương pháp đếm xung.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

<b>CHƯƠNG 7 – ĐO CÔNG SUẤT.....</b>	<b>226</b>
7.1. KHÁI NIỆM VỀ ĐO CÔNG SUẤT .....	226
7.1.1 Các thành phần công suất.....	226
7.1.2. Đơn vị công suất .....	228
7.1.3 Các nguyên lý đo công suất.....	229
7.2. ĐO CÔNG SUẤT Ở TẦN SỐ THẤP VÀ TẦN SỐ CAO .....	231
7.2.1 - Phương pháp cơ điện .....	232
7.2.2. Phương pháp điện .....	233
7.2.3. Phương pháp so sánh.....	238
7.3. ĐO CÔNG SUẤT Ở DẢI SIÊU CAO TẦN.....	239
7.3.1. Oát met sử dụng cảm biến điện trở nhiệt .....	241
<b>CHƯƠNG 8 – PHÂN TÍCH PHỔ TÍN HIỆU.....</b>	<b>247</b>
8.1. GIỚI THIỆU CHUNG PHÂN TÍCH TÍN HIỆU .....	247
8.1.1 Giới thiệu chung về máy phân tích tín hiệu .....	247
8.1.2. Đồ thị phổ của tín hiệu .....	248
8.2. MÁY PHÂN TÍCH PHỔ .....	250
8.2.1. Ứng dụng đo lường của máy phân tích phổ .....	250
8.2.2. Các nguyên lý máy phân tích phổ.....	251
8.2.3. Máy phân tích phổ song song .....	252
8.2.4. Máy phân tích phổ nối tiếp.....	253
<b>CHƯƠNG 9 - ĐO THAM SỐ CỦA MẠCH VÀ LINH KIỆN ĐIỆN TỬ .....</b>	<b>Error!</b>
Bookmark not defined.	
9.0. GIỚI THIỆU CHUNG .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.1. CÁC THAM SỐ VÀ ĐẶC TÍNH MẠCH ĐIỆN..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.1.1. Các tham số, đặc tính của mạch điện có các phần tử tập chung.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.1.2. Các tham số và đặc tính của mạch điện có phần tử phân bố	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2 ĐO TRỞ KHÁNG CỦA MẠCH VÀ LINH KIỆN ĐIỆN TỬ	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2.1 Sai số của phép đo trở kháng.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2.2. Mô hình mạch tương đương của các linh kiện	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2.3. Tổng quan các phương pháp đo trở kháng .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2.2. So sánh các phương pháp đo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

9.3. ỨNG DỤNG CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO TRỞ KHÁNG	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.3.1. Phương pháp cầu 4 nhánh cân bằng	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.3.2. Phương pháp cộng hưởng	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.3.3. Phương pháp cầu tự cân bằng	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.3.4. Phương pháp phóng nạp cho tụ	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.4. ĐO THAM SỐ VÀ ĐẶC TÍNH CỦA LINH KIỆN VÀ MẠCH PHI TUYẾN	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.4.1. Vẽ đặc tuyến Von-Ampe	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.4.2. Vẽ đặc tuyến biên độ tần số của mạng 4 cực	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.5. ĐO THAM SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN CÓ THAM SỐ PHÂN BỐ	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.5.1. Giới thiệu chung	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.6. ĐO LƯỜNG, KIỂM NGHIỆM CÁC MẠCH ĐIỆN TỬ SỐ VÀ VI XỬ LÝ	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.6.1. Khái niệm và đặc tính chung của mạch số	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.6.2. Các phương pháp phân tích	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>	<b>310</b>

# LỜI NÓI ĐẦU

Với sự phát triển của khoa học kỹ thuật và công nghệ, Kỹ thuật đo lường nói chung, kỹ thuật đo lường điện tử nói riêng đang có một vai trò quan trọng trong đời sống kinh tế kỹ thuật và công nghệ. Các máy đo lường điện tử ngày càng được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Để sử dụng chúng có hiệu quả, việc nghiên cứu về lý thuyết và nguyên lý đo lường điện tử là rất quan trọng, nhất là đối với kỹ sư làm việc trong các lĩnh vực điện, điện tử, viễn thông. Bài giảng này nhằm trang bị cho sinh viên những kiến thức cơ bản về đo lường điện tử như: Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử, đánh giá sai số và xử lý kết quả đo, các phương pháp đo, nguyên lý xây dựng, cấu trúc, cũng như ứng dụng đo lường của các thiết bị đo tham số và đặc tính của tín hiệu và mạch điện tử.

Bài giảng gồm các nội dung chính như sau:

Chương 1 - Cơ sở lý thuyết về đo lường điện tử

Chương 2 - Sai số trong đo lường

Chương 3 - Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử

Chương 4 - Máy hiện sóng (Ô-xi-lô)

Chương 5 - Các phép đo điện cơ bản

Chương 6 - Đo tần số, khoảng thời gian và góc lệch pha

Chương 7 - Phân tích tín hiệu

Chương 8 - Đo công suất

Chương 9 - Đo các tham số và đặc tính của mạch điện tử

Bài giảng được thực hiện trong một thời gian ngắn, nên khó tránh khỏi những thiếu sót. Tác giả rất mong nhận được những ý

*kiến đóng góp các đồng nghiệp để bài giảng được hoàn thiện hơn. Mọi góp ý xin vui lòng gửi về Bộ môn kỹ thuật điện tử - Khoa Kỹ thuật Điện tử 1- Học viện Công nghệ Bru chính Viễn thông hoặc email: hadm@ptit.edu.vn. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn các đồng nghiệp đã đóng góp các ý kiến quý báu; xin chân thành cảm ơn lãnh đạo Học viện, Phòng Đào tạo và NCKH, Khoa Kỹ thuật Điện tử 1, 2 đã tạo điều kiện để chúng tôi hoàn thành bài giảng này.*

*Hà nội, tháng 9 năm 2010*

**Tác giả**



# CHƯƠNG 1 - GIỚI THIỆU CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

- Các khái niệm về đo lường điện tử
- Đối tượng của đo lường điện tử
- Phân loại phép đo
- Chức năng và phân loại thiết bị đo
- Đơn vị đo lường, chuẩn, mẫu
- Đặc tính cơ bản của thiết bị đo
- Đặc tính điện của thiết bị đo điện tử
- So sánh thiết bị đo tương tự và thiết bị đo số
- Chọn khoảng đo tự động và đo tự động
- Đo trong mạch
- Kỹ thuật sử dụng thiết bị đo điện tử

## 1.0. GIỚI THIỆU CHUNG

Chương này sẽ trình bày khái quát về kỹ thuật đo lường nói chung, kỹ thuật đo lường điện tử nói riêng. Những khái niệm trong đo lường, phép đo, phương pháp đo, thiết bị đo, đặc tính của thiết bị đo, và đặc biệt là sai số đo lường, phân loại số số, tính toán sai số ... sẽ được làm sáng tỏ trong chương này. Đó là những cơ sở để có thể học các chương tiếp theo.

- Sau khi học chương này sinh viên có thể hiểu được những vấn đề sau:
- Thế nào là đo lường, đo lường điện tử.
- Khái niệm về phép đo, phương pháp đo.



- Phân biệt được các phương pháp đo khác nhau.
- Hiểu chức năng của thiết bị đo, và phân loại được các thiết bị đo.
- Biết các đặc tính cơ bản của một thiết bị đo.
- Phân biệt được Đơn vị đo, chuẩn, mẫu.

## **1.1 CÁC KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

Đo lường học (Metrology) là lĩnh vực khoa học ứng dụng liên ngành nghiên cứu về các đối tượng đo, các phép đo, các phương pháp thực hiện và các công cụ đảm bảo cho chúng, kỹ thuật đo, các phương pháp để đạt được độ chính xác mong muốn.

Các hướng nghiên cứu chính của đo lường bao gồm:

- Các lý thuyết chung về phép đo.
- Các đơn vị vật lý và hệ thống của chúng.
- Các phương pháp và công cụ đo.
- Kỹ thuật đo
- Phương pháp xác định độ chính xác của phép đo.
- Cơ sở bảo đảm cho việc thống nhất giữa phép đo và rất nhiều công cụ thực hiện nó.
- Công cụ đo chuẩn và barem.
- Các phương pháp để chuyển đơn vị đo từ công cụ chuẩn hoặc gốc ra công cụ làm việc.

Ngành kỹ thuật chuyên nghiên cứu và áp dụng các thành quả của đo lường học vào phục vụ sản xuất vào đời sống gọi là kỹ thuật đo lường

Phần này sẽ trình các khái niệm cơ bản về đo lường điện tử.

- **Đo lường (Measurement) là gì?** Đo lường là quá trình thực nghiệm vật lý nhằm đánh giá được tham số, cũng như đặc tính của

đối tượng chưa biết. Thông thường đo lường là quá trình so sánh đối tượng chưa biết với một đối tượng làm chuẩn (đối tượng chuẩn này thường là đơn vị đo), và có kết quả bằng số so với đơn vị đo.

+ Ví dụ đo điện áp: Điện áp của một nguồn đo được là 5V nghĩa là điện áp của nguồn đó gấp 5 lần điện áp của một nguồn chuẩn 1V.

- **Đo lường điện tử (Electronic Measurement)** : là đo lường mà trong đó đại lượng cần đo được chuyển đổi sang dạng tín hiệu điện mang thông tin đo và tín hiệu điện đó được xử lý và đo lường bằng các dụng cụ và mạch điện tử.

+ Nếu kết hợp đo lường điện tử và các bộ biến đổi phi điện - điện (sensor - các bộ cảm biến) cho phép đo lường được hầu hết các đại lượng vật lý trong thực tế.

- **Đại lượng đo (Measurand)**: là các đại lượng vật lý chưa biết cần xác định tham số và đặc tính nhờ phép đo.

- **Tín hiệu đo (Measuring Signal)**: Tín hiệu điện mang thông tin đo.

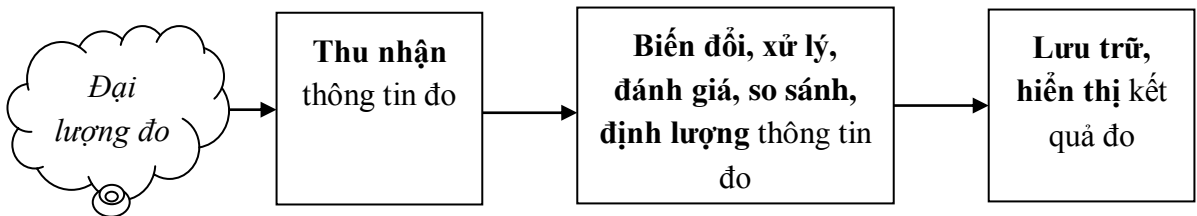
- **Phép đo (Measurement)**: Là quá trình xác định tham số và đặc tính của đại lượng vật lý chưa biết bằng các phương tiện kỹ thuật đặc biệt - hay còn được gọi là thiết bị đo.

- **Thiết bị đo (Instrument)**: là phương tiện kỹ thuật để thực hiện phép đo có chức năng biến đổi tín hiệu mang thông tin đo thành dạng phù hợp cho việc sử dụng và nhận kết quả đo, chúng có những đặc tính đo lường cơ bản đã được qui định. Trong thực tế Thiết bị đo thường được hiểu là máy đo (ví dụ: Máy hiện sóng, Vôn mét số, Máy đếm tần ...).

- **Kỹ thuật đo (Instrumentation)**: là một nhánh khoa học về các phương pháp kỹ thuật công nghệ ứng dụng trong đo lường và điều khiển.

- **Phương pháp đo (Measuring method)** : Là cách thức thực hiện quá trình đo lường để xác định được tham số và đặc tính của các đại lượng đo. Phương pháp đo phụ thuộc vào nhiều yếu tố: Phương pháp nhận thông tin đo từ đại lượng đo, Phương pháp xử lý thông tin đo, Phương pháp đánh giá, so sánh thông tin đo, Phương pháp hiển thị, lưu trữ kết quả đo ... Mỗi loại máy đo có thể coi là một thiết bị đo hoàn chỉnh thực hiện theo một hay một vài phương pháp đo cụ thể nào đó.

Về cơ bản quá trình đo lường có thể được chia thành các bước



khác nhau và được minh họa như hình vẽ sau:

*Hình 1.1 – Quá trình đo lường*

## **1.2 ĐỐI TƯỢNG CỦA ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

Đo lường điện tử có phạm vi ứng dụng rất rộng rãi, đối tượng đo rất rộng. Tuy nhiên trong lĩnh vực điện tử - viễn thông, đối tượng của đo lường tập chủ yếu vào đối tượng: Hệ thống tham số và đặc tính của tín hiệu và của mạch điện tử.

### **- Hệ thống tham số và đặc tính của tín hiệu điện tử:**

+ Tham số về cường độ tín hiệu điện tử gồm: Cường độ dòng điện, Cường độ điện áp, Công suất tác dụng của tín hiệu...

+ Tham số về thời gian gồm: Chu kỳ, tần số của tín hiệu, góc lệch pha giữa 2 tín hiệu cùng tần số, độ rộng phổ tín hiệu, độ rộng xung, độ rộng sườn trước, sườn sau ...

+ Đặc tính tín hiệu gồm: Phổ của tín hiệu, độ méo dạng của tín hiệu, hệ số điều chế tín hiệu...

+ Tín hiệu số gồm các tham số: Mức logic, tần số, chu kỳ...

**- Hệ thống tham số và đặc tính của mạch điện tử:**

+ Các tham số về trở kháng: Trở kháng tương đương, dẫn nạp tương đương, điện trở, điện dung, điện kháng tương đương, trở kháng sóng, hệ số phản xạ, hệ số tổn hao, hệ số phẩm chất của mạch...

+ Đặc tính của mạch: Đặc tuyến Vôn-Ampe, Đặc tuyến biên độ - tần số, đặc tuyến Pha - tần số của mạch...

**Chú ý:** Tùy theo dải tần và hệ thống tham số và đặc tính của tín hiệu và của mạch điện tử cần đo cũng khác nhau.

### **1.3 PHÂN LOẠI PHÉP ĐO**

Phép đo là công việc thực hiện chính của đo lường, đó là việc tìm ra giá trị vật lý bằng cách thí nghiệm với sự trợ giúp của các công cụ kỹ thuật đặc biệt. Giá trị tìm được gọi là kết quả của phép đo. Hoạt động thực hiện trong quá trình đo để cho ta kết quả là một đại lượng vật lý gọi là quá trình ghi nhận kết quả. Tùy thuộc vào đối tượng nghiên cứu, vào tính chất của công cụ đo và người ta cần thực hiện phép đo ghi nhận một lần hay nhiều lần. Nếu như có một loại ghi nhận thì kết quả phép đo nhận được là kết quả khi xử lý các kết quả từ các ghi nhận đó.

Phép đo có bản chất là quá trình so sánh đại lượng vật lý cần đo với một đại lượng vật lý được dùng làm đơn vị. Kết quả của phép đo được biểu diễn bằng một số là tỷ lệ của đại lượng cần đo với một đơn vị đó. Như vậy để thực hiện phép đo, ta cần thiết lập đơn vị đo, so sánh giá trị của đại lượng cần đo với đơn vị và ghi nhận kết quả so sánh được. Thông thường người ta thường biến đổi tín hiệu đến dạng thuận tiện nhất cho việc so sánh.

Như vậy, ta có thể tóm tắt lại thành bốn bước chính của phép đo là: thiết lập đơn vị vật lý, biểu diễn tín hiệu đo, so sánh tín hiệu đo với đơn vị được lấy làm chuẩn và ghi nhận kết quả so sánh.

Có nhiều cách phân loại phương pháp đo, tùy thuộc vào phương pháp nhận kết quả đo, phương pháp xử lý thông tin đo, dải trình đo, điều kiện đo, sai số...

+ **Đo trực tiếp** : Là phương pháp đo mà kết quả đo nhận được trực tiếp trên thiết bị đo từ một lần đo duy nhất. Thông thường dùng các thiết bị đo tương ứng cho chính đối tượng cần đo.

- VD: đo điện áp bằng vôn-mét, đo tần số bằng tần số-mét, đo công suất bằng oát-mét,...

Đặc điểm của phép đo trực tiếp là quá trình thực hiện đơn giản về biện pháp kỹ thuật, tiến hành đo được nhanh chóng và loại trừ được các sai số do tính toán.

+ **Đo gián tiếp** : Là phương pháp đo mà kết quả đo nhận được từ biểu thức tính toán các kết quả của phép đo trực tiếp các đại lượng vật lý khác nhau.

- VD: Đo công suất một chiều:  $P=U.I$  - đo điện áp và dòng điện bằng Vôn-mét và Ampe-mét.

- Đặc điểm: nhiều phép đo và thường không nhận biết ngay được kết quả đo

Trong kỹ thuật đo lường, thông thường người ta muốn tránh phương pháp đo gián tiếp, vì trước hết nó yêu cầu tiến hành nhiều phép đo (ít nhất là hai phép đo) và thường là không nhận biết ngay được kết quả đo. Song trong một số trường hợp thì không thể tránh được phương pháp này.

+ **Đo thống kê**: Là phương pháp thực hiện đo nhiều lần một đại lượng đo với cùng thiết bị đo và trong cùng điều kiện đo, kết

quả đo được tính là giá trị trung bình thống kê của của các lần đo đo.

Đặc điểm: Phương pháp này cho phép loại trừ các sai số ngẫu nhiên và thường dùng khi kiểm chuẩn thiết bị đo.

Hiện nay, kỹ thuật đo lường đã phát triển nhiều về phương pháp **đo tương quan**. Nó là một phương pháp riêng, không nằm trong phương pháp đo trực tiếp hay phương pháp đo gián tiếp. Phương pháp tương quan dùng trong những trường hợp cần đo các quá trình phức tạp, mà ở đây không thể thiết lập một quan hệ hàm số nào giữa các đại lượng là các thông số của một quá trình nghiên cứu. Ví dụ: tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra của một hệ thống nào đó.

Khi đo một thông số của tín hiệu nào bằng phương pháp đo tương quan, thì cần ít nhất là hai phép đo mà các thông số từ kết quả đo của chúng không phụ thuộc lẫn nhau. Phép đo này được thực hiện bởi cách xác định khoảng thời gian và kết quả của một số thuật toán có khả năng định được trị số của đại lượng thích hợp. Độ chính xác của phép đo tương quan được xác định bằng độ dài khoảng thời gian của quá trình xét. Khi đo trực tiếp thật ra là người đo đã phải giả thiết hệ số tương quan giữa đại lượng đo và kết quả rất gần 1, mặc dù có sai số do quy luật ngẫu nhiên của quá trình biến đổi gây nên.

Ngoài các phép đo cơ bản nói trên, còn một số các phương pháp đo khác thường được thực hiện trong quá trình tiến hành đo lường như sau:

**Phép đo thay thế:** Phép đo được tiến hành hai lần, một lần với đại lượng cần đo và một lần với đại lượng đo mẫu. Điều chỉnh để hai trường hợp đo có kết quả chỉ thị như nhau.

**Phép đo hiệu số:** Phép đo được tiến hành bằng cách đánh giá hiệu số trị số của đại lượng cần đo và đại lượng mẫu.

**Phép đo vi sai,** phương pháp **chỉ thị không,** phương pháp **bù,** cũng là những trường hợp riêng của phương pháp hiệu số. Chúng thường được dùng trong các mạch cầu đo hay trong các mạch bù.

**Phép đo thẳng:** kết quả đo được định lượng trực tiếp trên thanh độ của thiết bị chỉ thị. Tất nhiên sự khắc độ của các thang độ này đã được lấy chuẩn trước với đại lượng mẫu cùng loại với đại lượng đo.

**Phép đo rời rạc hóa** (chỉ thị số): đại lượng cần được đo được biến đổi thành tín tức là các xung rời rạc. Trị số của đại lượng cần đo được tính bằng số xung tương ứng này.

## **1.4 CHỨC NĂNG VÀ PHÂN LOẠI THIẾT BỊ ĐO**

Hầu hết các thiết bị đo có chức năng cung cấp cho chúng ta kết quả đo được đại lượng đang khảo sát. Kết quả này được chỉ thị hoặc được ghi lại trong suốt quá trình đo, hoặc được dùng để tự động điều khiển đại lượng đang được đo.

*Ví dụ:* trong hệ thống điều khiển nhiệt độ, máy đo nhiệt độ có nhiệm vụ đo và ghi lại kết quả đo của hệ thống đang hoạt động và giúp cho hệ thống xử lý và điều khiển tự động theo thông số nhiệt độ.

Nói chung thiết bị đo lường có chức năng quan trọng là kiểm tra sự hoạt động của hệ thống tự điều khiển, nghĩa là *đo lường quá trình* trong công nghiệp (Industrial process measurements). Đây cũng là môn học trong ngành tự động hóa.

**- Phân loại thiết bị đo:** Gồm 2 nhóm chính

Thiết bị đo đơn giản: mẫu, thiết bị so sánh, chuyển đổi đo lường.

Thiết bị đo phức tạp: máy đo, thiết bị đo tổng hợp và hệ thống thông tin đo lường.

+ Thiết bị chuẩn: Chuẩn là mẫu có cấp chính xác cao nhất. Chuẩn là phương tiện đo đảm bảo việc sao và giữ đơn vị đo tiêu chuẩn.

+ Thiết bị mẫu: là thiết bị đo dùng để sao lại đại lượng vật lí có giá trị cho trước với độ

chính xác cao.

+ Thiết bị so sánh: thiết bị đo dùng để so sánh 2 đại lượng cùng loại.

+ Thiết bị chuyển đổi đo lường: Thiết bị đo dùng để biến đổi tín hiệu mang thông tin đo lường về dạng thuận tiện cho việc truyền tiếp, biến đổi tiếp, xử lí tiếp và giữ lại, nhưng người quan sát chưa thể nhận biết trực tiếp được kết quả đo (VD: bộ KĐ đo lường; bộ biến dòng, biến áp đo lường; sensor, quang điện trở, nhiệt điện trở, ADC ...)

+ **Máy đo (Instrument)** : Thiết bị đo dùng để biến đổi tín hiệu mang thông tin đo lường về dạng mà người quan sát có thể nhận biết trực tiếp được (VD: vôn-mét, ampe mét,...)

+ Thiết bị đo tổng hợp: là các thiết bị đo phức tạp, đa năng dùng để kiểm tra, kiểm chuẩn đo lường, đo lường các tham số phức tạp.

+ Hệ thống thông tin đo lường: Hệ thống mạng kết nối của nhiều thiết bị đo, cho phép đo lường và điều khiển từ xa, đo lường phân tán...

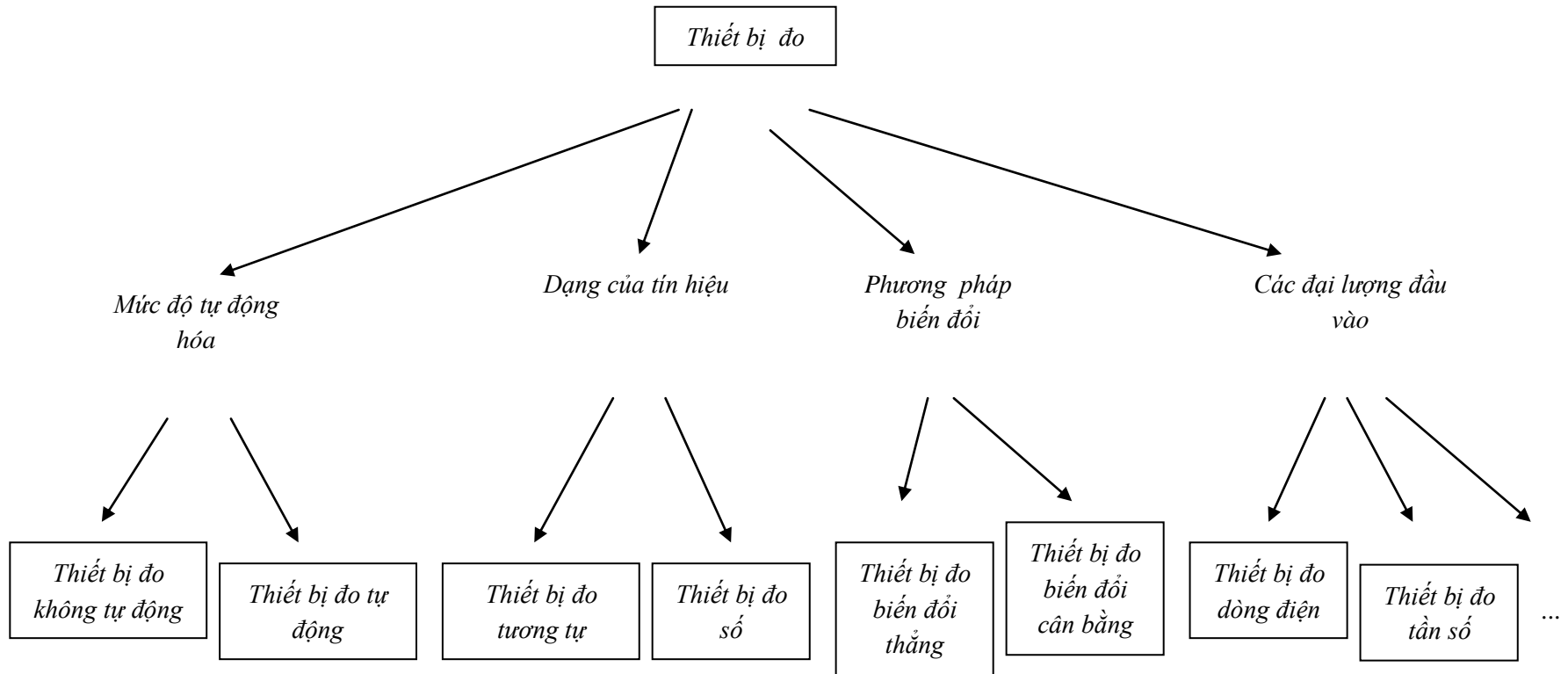
Với nhiều cách thức đo đa dạng khác nhau cho nhiều đại lượng có những đặc tính riêng biệt, một cách tổng quát chúng ta có thể phân biệt 2 dạng thiết bị đo phụ thuộc vào đặc tính.



*Ví dụ:* để đo độ dẫn điện chúng ta dùng thiết bị đo dòng điện thuần túy điện là micro ampe kế hoặc mili ampe kế. Nhưng nếu chúng ta dùng thiết bị đo có sự kết hợp mạch điện tử để đo độ dẫn điện thì lúc bấy giờ phải biến đổi dòng điện đo thành điện áp đo. Sau đó mạch đo điện tử đo dòng điện dưới dạng điện áp. Như vậy chúng ta có đặc tính khác nhau giữa *thiết bị đo điện* và *thiết bị đo điện tử*. Hoặc có những thiết bị đo chỉ thị kết quả bằng *kim chỉ thị* (thiết bị đo dạng analog), hiện nay thiết bị đo chỉ thị bằng *hiện số* (thiết bị đo dạng digital). Đây cũng là một đặc tính phân biệt của thiết bị đo.

Ngoài ra thiết bị đo lường còn mang đặc tính của một thiết bị điện tử (nếu là thiết bị đo điện tử) như: tổng trở vào cao, độ nhạy cao, hệ số khuếch đại ổn định và có độ tin cậy đảm bảo cho kết quả đo. Còn có thêm chức năng, truyền và nhận tín hiệu *đo lường từ xa* (telemetry). Đây cũng là môn học quan trọng trong lĩnh vực *đo lường điều khiển từ xa*.

Bảng phân loại tổng quan thiết bị đo như Hình 1.2:



**Hình 1.2 - Bảng phân loại tổng quan thiết bị đo**

## 1.5 ĐƠN VỊ ĐO LƯỜNG, CHUẨN, MẪU

### 1.5.1 Đơn vị đo lường

+ **Đơn vị đo:** Là một giá đơn vị tiêu chuẩn về một đại lượng đo nào đó được quốc tế quy định.

Trên thế giới người ta chế tạo ra những đơn vị tiêu chuẩn gọi là các chuẩn.

Ví dụ: Chuẩn Ôm quốc tế là điện trở của một cột thủy ngân thiết diện  $1\text{mm}^2$ , dài 106,300 cm, ở  $0^\circ\text{C}$  và có khối lượng là 14,4521 g.

Hệ đơn vị đơn vị đo lường phổ biến được dùng ở Việt Nam là hệ SI. Hệ SI gồm các đơn vị đo cơ bản và đơn vị đo kéo theo:

+ **Đơn vị đo cơ bản:** Được thể hiện bằng các đơn vị chuẩn với độ chính xác cao nhất mà khoa học kỹ thuật hiện đại có thể thực hiện được, gồm 7 đơn vị đo là : m (đơn vị đo khoảng cách), kg (đơn vị đo khối lượng), S (đơn vị đo thời gian), A (đơn vị đo cường độ dòng điện), K (đơn vị đo nhiệt độ), mol (đơn vị đo lượng chất), Cd (Candela - đơn vị đo cường độ ánh sáng).

+ **Đơn vị kéo theo:** là đơn vị có liên quan đến các đơn vị cơ bản bởi những luật thể hiện bằng các biểu thức, ví dụ:  $[\text{Hz}] = 1/[\text{S}]$ ,  $[\text{C}] = [\text{A.S}]$ ,  $[\text{V}] = [\text{A.S/m}] \dots$

Ngoài ra hệ SI còn sử dụng các hệ số và ước số của các đơn vị:

T	G	K	h	da	D	c	m	■	n	p	f	a
$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	10	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$

+ **Chuẩn:** là phương tiện đo đảm bảo việc sao, giữ 1 đơn vị tiêu chuẩn.

+ Mẫu: Phương tiện đo dùng để sao lại các đại lượng vật lý với giá trị cho trước và với độ chính xác cao. Với mỗi quốc gia, mẫu có cấp chính xác cao nhất gọi là chuẩn của quốc gia đó.

### **1.5.2 Cấp chuẩn hóa**

Khi sử dụng thiết bị đo lường, chúng ta mong muốn thiết bị được kiểm chuẩn khi được xuất xưởng nghĩa là đã được chuẩn hóa với thiết bị *đo lường chuẩn* (standard Instrument). Việc chuẩn hóa thiết bị đo lường được xác định theo 4 cấp như sau:

**Cấp 1:** *Chuẩn quốc tế* (International standard) các thiết bị đo lường cấp chuẩn quốc tế được thực hiện định chuẩn tại *Trung tâm đo lường quốc tế* đặt tại Paris (Pháp), các thiết bị đo lường chuẩn hóa cấp 1 này theo định kỳ được đánh giá và kiểm tra lại theo trị số đo tuyệt đối của các đơn vị cơ bản vật lý được hội nghị quốc tế về đo lường giới thiệu và chấp nhận được.

**Cấp 2:** *Chuẩn quốc gia*. Các thiết bị đo lường tại các *Viện định chuẩn quốc gia* ở các quốc gia khác nhau trên thế giới các thiết bị này cũng đã được chuẩn hóa theo *chuẩn quốc tế* và các thiết bị đo lường được chuẩn hóa tại các *viện định chuẩn quốc gia*.

**Cấp 3:** *Chuẩn khu vực*. Trong một quốc gia có thể có nhiều *trung tâm định chuẩn* cho từng khu vực (standard zone center). Các thiết bị đo lường tại các trung tâm này đương nhiên phải mang *chuẩn quốc gia* (National standard). Những thiết bị được đo lường được định chuẩn tại các trung tâm định chuẩn này sẽ mang *chuẩn khu vực* (Zone standard).

**Cấp 4:** *Chuẩn phòng thí nghiệm*. Trong từng khu vực chuẩn hóa sẽ có những phòng thí nghiệm được công nhận để chuẩn hóa các thiết bị được dùng trong sản xuất công nghiệp. Như vậy các thiết bị được chuẩn hóa tại các phòng thí nghiệm này sẽ có *chuẩn hóa của phòng thí nghiệm*. Do đó các thiết bị đo lường khi được

sản xuất ra được chuẩn hóa ở cấp nào thì sẽ mang chất lượng tiêu chuẩn đo lường của cấp đó.

Còn các thiết bị đo lường tại các trung tâm đo lường, viện định chuẩn quốc gia, thì phải được chuẩn hóa và mang tiêu chuẩn cấp cao hơn. Thí dụ phòng thí nghiệm phải trang bị các thiết bị đo lường có tiêu chuẩn của *chuẩn vùng* hoặc *chuẩn quốc gia*. Còn các thiết bị đo lường tại viện định chuẩn quốc gia thì phải có *chuẩn quốc tế*. Ngoài ra theo định kỳ được đặt ra phải được kiểm tra và chuẩn hóa lại các thiết bị đo lường.

## **1.6 ĐẶC TÍNH CƠ BẢN CỦA THIẾT BỊ ĐO**

Có nhiều đặc tính cơ bản của thiết bị đo, cần phải xác định chúng để lựa chọn chính xác thiết bị đo. Có 2 loại đặc tính: Đặc tĩnh tính và đặc tính động.

### **1.6.1 Đặc tính tĩnh**

Các đặc tính tĩnh được xác định thông qua trình kiểm chuẩn (*Calibration Test*) thiết bị. Kiểm chuẩn là quá trình so sánh thiết bị đo với một thiết bị chuẩn (thiết bị mẫu) để nhằm mục đích kiểm tra khác độ thiết bị đo (Xác định mối quan hệ giữa thang chỉ thị của thiết bị đo và giá trị của các thiết bị mẫu, chuẩn), cũng như xác định các đặc tính của thiết bị đo.

Các đặc tính cơ bản của thiết bị đo như sau:

+ **Hàm biến đổi (*Transfer Function*):** Là tương quan hàm số giữa đại lượng đầu ra Y và các đại lượng đầu vào X của thiết bị đo, thường cho dưới dạng hàm số hoặc đồ thị:  $Y=f(X)$

+ **Độ nhạy (*Sensitivity*):** Là tỷ số giữa độ biến thiên của đầu ra Y của phương tiện đo với độ biến thiên của đại lượng đo đầu vào X tương ứng.

Ký hiệu:  $s \blacksquare \frac{dY}{dX}$

+ **Phạm vi đo (Range)**: Là phạm vi thang đo bao gồm những giá trị mà sai số của phép đo nằm trong giới hạn cho trước.

+ **Phạm vi chỉ thị (Display Range)**: là phạm vi thang đo được giới hạn bởi giá trị đầu và giá trị cuối của thang đo.

+ **Cấp chính xác (Accuracy-Level)**: được xác định bởi giá trị lớn nhất của các sai số trong thiết bị đo.

Thường được tính toán bằng giới hạn của sai số tương đối quy

đôi:

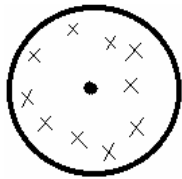
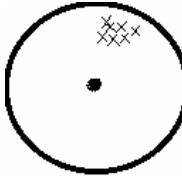
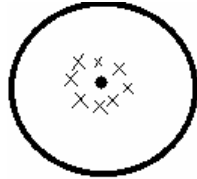
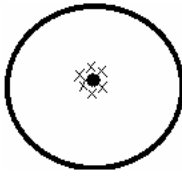
$$\frac{\left| \begin{matrix} \text{max} \\ \text{max} \end{matrix} \right|}{X_{dm}} \cdot 100$$

+ **Độ chính xác (Accuracy)**: Mức độ gần giá trị thực của đại lượng đo và giá trị đo được.

+ **Độ rõ (Precision)** : Mức độ sai khác của kết quả đo của các phép đo liên tiếp một đại lượng đo không đổi với cùng máy đó.

Bảng sau minh họa sự khác nhau giữa Độ chính xác và Độ rõ:

*Bảng 1.1 – Minh họa sự khác nhau giữa độ chính xác và độ rõ*

<b>Kết quả bắn bia</b>				
Độ chính xác	Thấp	Thấp	Cao	Cao
Độ rõ	Thấp	Cao	Thấp	Cao

+ **Độ phân giải (Resolution)**: là giá trị nhỏ nhất có thể phân biệt được sự biến đổi của đại lượng đo trên thiết bị đó. Thường gồm độ chia nhỏ nhất của thang đo hay giá trị nhỏ nhất có thể phân biệt được trên thang đo (mà có thể phân biệt được sự biến đổi trên thang đo).

+ **Độ ổn định (Stability)** : Sự biến đổi không quá nhiều của giá trị đo trong điều kiện đo khác nhau.

### 1.6.2 Đặc tính động

Một số rất ít thiết bị đo đáp ứng tức thời ngay với đại lượng đo thay đổi. Phần lớn nó *đáp ứng chậm* hoặc không theo kịp sự thay đổi của đại lượng đo. Sự chậm chạp này phụ thuộc đặc tính của thiết bị đo như tính quán tính, nhiệt dung hoặc điện dung... được thể hiện qua thời gian trễ của thiết bị đo. Do đó sự hoạt động ở trạng thái động hoặc trạng thái giao thời của thiết bị đo cũng quan trọng như trạng thái tĩnh.

Đối với đại lượng đo có 3 dạng thay đổi như sau:

- Thay đổi có dạng hàm bước theo thời gian.
- Thay đổi có dạng hàm tuyến tính theo thời gian.
- Thay đổi có dạng hàm điều hòa theo thời gian.

*Đặc tuyến động của thiết bị đo*

- Tốc độ đáp ứng.
- Độ trung thực.
- Tính trễ.
- Sai số động

#### **Đáp ứng động ở bậc Zero (bậc không)**

Một cách tổng quát tín hiệu đo và tín hiệu ra của thiết bị đo được diễn tả theo phương trình sau đây:

$$a_n \frac{d^n x_0}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_0}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_0}{dt} + a_0 x_0 = b_m \frac{d^m x_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_i}{dt} + b_0 x_0$$

Trong đó:  $x_0$ : tín hiệu ra của thiết bị đo;  $x_i$ : tín hiệu đo.

$a_0 \dots a_n$ : thông số của hệ thống đo giả sử không thay đổi.

$b_0$  và  $b_n$ : thông số của hệ thống đo giả sử không thay đổi.

Khi  $a_0, b_0$  khác không (khác 0) thì các giá trị  $a, b$  khác bằng không ( $\neq 0$ ).

Phương trình vi phân còn lại:

$$a_0 x_0 + b_0 x_1 + x_0 \frac{b_0}{a_0} x_i + K \frac{b_0}{a_0} : \text{độ nhạy tĩnh}$$

Như vậy đây là trường hợp đại lượng vào và đại lượng ra không phụ thuộc vào thời gian, là điều kiện lý tưởng của trạng thái động. Thí dụ như sự thay đổi vị trí con chạy của biến trở tuyến tính theo đại lượng đo.

### Áp ứng động ở bậc 1

Khi các giá trị  $a_1, b_1, a_0, b_0$  khác không (khác 0), còn các giá trị còn lại bằng không ( $=0$ ):  $a_1 \frac{dx_0}{dt} + b_0 x_0 + b_0 x_i$

Bất kỳ thiết bị đo nào thỏa mãn cho phương trình này được gọi là *thiết bị bậc nhất*. Chia hai vế cho  $a_0$  phương trình trên ta có:

$$\frac{a_1}{a_0} \frac{dx_0}{dt} + \frac{b_0}{a_0} x_0 + \frac{b_0}{a_0} x_i \quad \text{Hoặc:} \quad \frac{dx_0}{dt} + \frac{b_0}{a_0} x_0 + K x_i$$

$$\text{Với } D = \frac{a_1}{a_0} : \text{thời hằng}; \quad K = \frac{b_0}{a_0} : \text{độ nhạy tĩnh}$$

Thời hằng  $D$  có đơn vị là thời gian. Trong khi đó độ nhạy tĩnh  $K$  đơn vị của tín hiệu ra/tín hiệu vào.

Hàm truyền hoạt động (Transfer function) của bất kỳ thiết bị đo bậc nhất:  $\frac{x_0}{x_i} = \frac{K}{D \cdot s + 1}$

Thí dụ cụ thể của thiết bị đo bậc nhất là nhiệt kế thủy ngân.

**Áp ứng động của thiết bị bậc 2, được định nghĩa theo phương trình:**



$$a_2 \frac{d^2 x_0}{dt^2} + b_1 \frac{dx_0}{dt} + c_0 x_0 = b_0 x_i$$

Phương trình trên được rút gọn lại:  $\frac{d^2 x_0}{dt^2} + 2\zeta \omega_0 \frac{dx_0}{dt} + \omega_0^2 x_0 = K x_i$

$\omega_0 = \sqrt{a_0/a_2}$ : tần số không đệm tự nhiên (đơn vị: radian/thời gian).

$$\zeta: \text{tỉ số đệm}; \quad \zeta = \frac{b_1}{2\sqrt{a_0 a_2}}; \quad K = \frac{b_0}{a_0}$$

Bất kỳ thiết bị đo nào thỏa cho phương trình này gọi là thiết bị đo bậc 2. Thí dụ:

Loại cân dùng lò xo đàn hồi (lực kế), thông thường loại thiết bị đo bậc 1 chỉ hoạt động đo với đại lượng có năng lượng.

Nhiệt kế có năng lượng là nhiệt năng, trong khi đó loại thiết bị bậc 2 có sự trao đổi giữa hai dạng năng lượng. Thí dụ: năng lượng tĩnh điện và từ điện trong mạch LC, cụ thể như sự chỉ thị cơ cấu từ điện kết hợp với mạch khuếch đại.

## 1.7. ĐẶC TÍNH ĐIỆN CỦA THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ

Ngoài những đặc tính cơ bản, thiết bị đo điện tử có những đặc tính điện riêng. Các đặc tính này ảnh hưởng rất lớn đến mức độ chính xác của kết quả đo.

### 1.7.1. Các tham số giới hạn

+ **Giới hạn về thang đo:** Mỗi thiết bị đo có khoảng đo lớn nhất về một thông số cần đo. Khoảng đo sẽ được chia thành các thang đo nhỏ thích hợp. Ví dụ, một Voltmeter có thể đo cao nhất là 300V chia thành 5 thang đo phụ: 3V, 10V, 30V, 100V và 300V. Chuyển mạch thang đo sẽ thiết lập tại các vị trí chính xác tùy thuộc vào giá trị đo yêu cầu. Giả sử phép đo điện áp là 9V thì chúng ta sẽ sử dụng thang đo 10V. Các thang đo cần phải có cho tất cả các thông số cần đo. Cần phải chọn thang đo đúng cho mỗi

thông số đo thích hợp. Nếu đo điện áp trên thang đo dòng điện, thì đồng hồ đo sẽ hư hỏng.

+ **Độ mở rộng thang đo:** Là thuật ngữ được sử dụng chỉ sự chênh lệch giữa giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của một thang đo. Đối với giá trị đo của đồng hồ ở mức nhỏ nhất là 10mA và 100mA ở mức cao nhất, thì độ mở rộng của thang đo là  $100\text{mA} - 10\text{mA} = 90\text{mA}$ . Một đồng hồ đo điện áp có mức 0V ở giữa, với + 10V một bên và - 10V ở phía khác, sẽ có độ mở rộng thang đo là 20V.

+ **Giới hạn về công suất:** Mỗi thiết bị đo đều có khả năng xử lý công suất lớn nhất, nên công suất của tín hiệu vào không được vượt quá giới hạn công suất đo. Công suất vượt quá có thể làm hỏng đồng hồ đo hay mạch khuếch đại bên trong đồng hồ đo.

+ **Giới hạn về tần số:** Phần lớn cơ cấu động ở đồng hồ đo tương tự có vai trò như một điện cảm mắc nối tiếp và do vậy sẽ suy giảm ở dải tần số cao. Trong các thiết bị đo sử dụng các mạch chỉnh lưu và các mạch khuếch đại, các điện dung của tiếp giáp được cho là một hạn chế đối với tín hiệu đo ở dải tần số cao. Cơ cấu đo điện động có thể chỉ được sử dụng để đo tín hiệu có tần số lên đến 1000Hz (do điện cảm nối tiếp), các cơ cấu đo từ điện (có bộ chỉnh lưu) có thể sử dụng để đo tín hiệu có tần số lên đến 10000Hz, millivoltmeter xoay chiều có thể đo các tín hiệu có tần số lên đến một vài MHz. Các hạn chế tần số khác có thể gây ra do các điện dung song song. Máy hiện sóng có thể sử dụng để đo các tín hiệu có tần số ở dải Megahertz, nhưng giá thành sẽ tăng khi cần độ rộng băng tần cao hơn. Máy hiện sóng không sử dụng cuộn dây và hệ thống chỉ thị kim, do vậy ảnh hưởng bất lợi ở phần lớn các cơ cấu đo sẽ được hạn chế và loại bỏ.

+ **Giới hạn về trở kháng:** Các thiết bị đo được dùng để đo các tín hiệu AC, có trở kháng ra phụ thuộc vào mạch ra của transistor được sử dụng. Một máy phát tín hiệu tần số cao có thể có trở kháng là 75  $\Omega$  hay 50  $\Omega$  để phù hợp với trở kháng vào của hệ thống cần đo. Các thiết bị đo điện áp như voltmeter và máy hiện sóng có trở kháng vào cao. Một voltmeter tốt vừa phải có thể có trở kháng vào khoảng 20000  $\Omega$ , trong khi một máy hiện sóng và đồng hồ đo số hay đồng hồ đo điện tử có thể có trở kháng vài megohm. Thiết bị đo điện áp có trở kháng cao hơn sẽ cho độ chính xác của phép đo cao hơn, hay có ảnh hưởng quá tải ít hơn. Trở kháng của các cơ cấu đo cuộn dây động tùy thuộc vào độ nhạy của đồng hồ, còn trở kháng của máy hiện sóng kiểu ống tia phụ thuộc vào trở kháng vào của bộ khuếch đại dọc sử dụng trong máy hiện sóng.

### **1.7.2. Ảnh hưởng do quá tải**

Ảnh hưởng do quá tải có nghĩa là *sự suy giảm về trị số của thông số ở mạch cần đo khi mắc thiết bị đo vào mạch*. Thiết bị đo sẽ tiêu thụ công suất từ mạch cần đo và sẽ làm tải của mạch cần đo. Điện trở của đồng hồ đo dòng sẽ làm giảm dòng điện trong mạch cần đo. Tương tự, một voltmeter khi mắc song song với mạch có điện trở cao, thực hiện vai trò như một điện trở song song [shunt], nên sẽ làm giảm điện trở của mạch. Điều này tạo ra mức điện áp thấp trên tải đo được trên đồng hồ đo. Do đó, đồng hồ sẽ chỉ thị mức điện áp thấp hơn so với điện áp thực, nghĩa là cần phải lấy mức điện áp cao hơn để có độ lệch đúng. Như vậy, ảnh hưởng do quá tải sẽ hạn chế độ nhạy và do đó cũng được gọi là *giới hạn độ nhạy*. Những ảnh hưởng này sẽ còn được nhắc lại trong phần đo điện áp và dòng điện.

### **1.7.3. Can nhiễu ở phép đo**

So với tạp nhiễu bên trong được tạo ra bởi các gợn sóng của nguồn cung cấp, hay bằng sự di chuyển lớn một cách ngẫu nhiên về cả số lượng và vận tốc của các điện tử trong các cấu kiện chủ động và thụ động (gọi là nhiễu Johnson hay nhiễu trắng, nhiễu vạch), hoặc do các quá trình quá độ gây ra bởi sự giảm đột ngột thông lượng qua một điện cảm, các thiết bị đo có thể bị can nhiễu từ bên ngoài được giải thích như sau.

1. *Can nhiễu tần số thấp.* Khi các dây dẫn điện nguồn cung cấp chính  $ac$  chạy song song gần với các đầu dây tín hiệu đo, thì nhiễu mạnh  $ac$  (tần số 50Hz) sẽ can nhiễu vào đầu tín hiệu đo do hiệu ứng điện dung giữa các dây dẫn.

2. *Can nhiễu tần số cao.* Các tín hiệu tần số cao được tạo ra bất cứ khi nào có sự phát ra tia lửa điện ở vùng xung quanh thiết bị đo. Tia lửa điện có thể tạo ra khi chuyển mạch nguồn cung cấp, do các hệ thống đánh lửa, do các động cơ điện một chiều, do các máy hàn, do sự phóng điện hào quang (tức sự ion hoá không khí gần các mạch điện áp cao), và do hồ quang điện trong các đèn huỳnh quang. Tia chớp là các nguồn tần số cao trong tự nhiên. Phát thanh quảng bá từ các đài thu phát vô tuyến và các đài phát thanh di động công suất cao, được lắp đặt gần các thiết bị đo cũng tạo ra các tín hiệu tần số cao. Các tín hiệu cao tần đó đều có thể can nhiễu vào thiết bị đo, các tín hiệu cao tần có thể được chĩnh lưu bằng các cấu kiện bán dẫn có trong các thiết bị đo, và như vậy sẽ tác động đến các kết quả đo do điện áp không mong muốn thể hiện dưới các dạng khác nhau trong phép đo, làm cho kết quả đo sai hoàn toàn. Một số phép đo  $dc$  tiến hành ở các điểm đo trong mạch có cả điện áp  $dc$  và điện áp của các tín hiệu tần số cao. Các phép

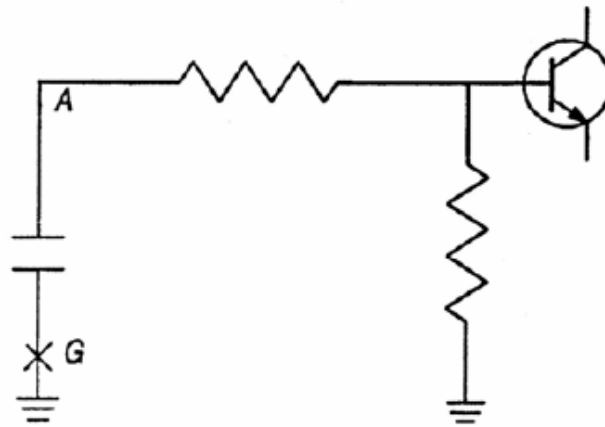
đo điện áp  $dc$  sẽ không chính xác nếu không lọc bỏ điện áp cao tần trước khi tín hiệu đo được chỉnh lưu trong thiết bị đo.

*Các cách phòng ngừa và khắc phục ở các phép đo để loại bỏ can nhiễu cao tần.*

1. Trước tiên là bao bọc có hiệu quả thiết bị đo để không bị can nhiễu ngoài trực tiếp vào thiết bị đo.

2. Thiết bị đo phải được nối đất.

3. Cần phải lọc các tín hiệu không mong muốn tại mạch vào, dây đo và dây nguồn cung cấp để các tín hiệu cao tần sẽ được lọc bỏ trước khi chỉnh lưu, phải có mạch chọn băng tần tín hiệu đo để loại bỏ nhiễu và can nhiễu tần số cao. Mạch nối đất với bộ máy cần phải đảm bảo. Mỗi hàn bị nứt hay thiếu kết nối, sẽ tạo ra một điện trở giữa đầu vào và đất đối với các tín hiệu tần số cao, nên điện áp cao tần sẽ xâm nhập tại đầu vào như minh họa ở Hình 1.3. Tụ điện trong Hình 1.3 dùng để lọc bỏ các tín hiệu cao tần, có vai trò như một ngắn mạch đối với tần số cao. Nếu tụ hở mạch, hay điểm G không kết nối với đất (do áp lực nào đó hay mối hàn bị nứt), thì tín hiệu tần số cao sẽ có tại điểm A sẽ được đưa đến đầu vào của mạch khuếch đại bằng Transistor, nên sẽ được khuếch đại và chỉnh lưu (phần phi tuyến của đặc tuyến) và sẽ có tại đầu ra dưới dạng điện áp  $dc$ . Các đài phát thanh quảng bá địa phương thỉnh thoảng nghe được trong ống nghe điện thoại do can nhiễu đó.



Hình 1.3 – Mạch bị mất nối đất đầu vào

4. Khi thực hiện phép đo *dc* tại điểm có cả điện áp *dc* cũng như điện áp cao tần, điện áp cao tần có thể gây ra mức dòng điện lớn chảy qua đầu que đo bởi vì đầu que đo gần như được ngắn mạch với bộ máy đối với tín hiệu cao tần thông qua ảnh hưởng điện dung, có thể làm nóng đầu que đo (thực tế này xảy ra khi đo các điện áp *dc* trong máy phát). Mắc nối tiếp cuộn cảm RF với đầu que đo để loại bỏ tình trạng trên. 5. Sử dụng mạch khuếch đại thuật toán ở chế độ vi sai sẽ làm giảm các tín hiệu nhiễu đồng kênh rất cơ bản, có thể loại bỏ nhiễu đồng kênh lên đến mức 100dB. (Nếu mặc dù đã có các dự phòng nhiễu cao tần trên, hư hỏng hệ thống có thể từ tầng này đến tầng khác, thì nguyên nhân có thể là vỏ bảo vệ, nối đất, mạch lọc và cuộn cảm cao tần, cần phải kiểm tra kỹ các vấn đề đó).

#### 1.7.4. Vỏ bảo vệ

Vỏ bảo vệ là lớp chặn bằng vật liệu dẫn điện được lắp ở phần có tín hiệu nhiễu. Hiệu quả của lớp bảo vệ tùy thuộc vào: (i) kiểu lớp bảo vệ, (ii) các đặc tính của vật liệu làm lớp bảo vệ và (iii) độ hở của lớp bảo vệ.

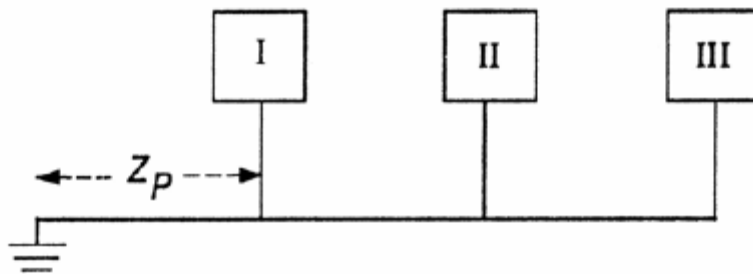
Trường nhiễu có thể là điện trường hoặc từ trường. Các lớp bảo vệ bằng từ tính sử dụng vật liệu sắt từ như sắt. Các lớp bảo vệ

tĩnh điện sử dụng vật liệu dẫn điện không nhiễm từ như nhôm. Các vật liệu dẫn điện có đặc tính điện môi kém nên sẽ hấp thụ các nhiễu do điện trường tĩnh. Ngoài việc hấp thụ, nhiễu cũng sẽ giảm do sự phản xạ của điện trường khỏi lớp bảo vệ. Độ hấp thụ nhiễu tỷ lệ với độ dày của vật liệu. Sự phản xạ sẽ xảy ra khi có gián đoạn trở kháng đặc trưng giữa lớp bảo vệ và môi trường xung quanh lớp bảo vệ.

### **1.7.5. Nối đất**

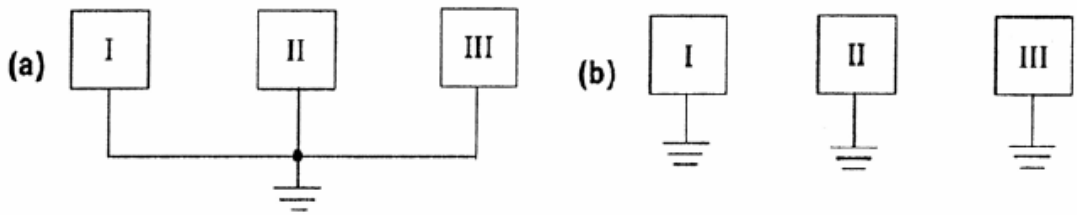
Có đường dẫn trở lại mức đất trên bảng mạch in, thường là đường mạch rộng và có điện trở rất thấp. Dây tín hiệu cần phải được đặt gần với đường nối đất để giảm ảnh hưởng điện cảm. Đường mức đất trên mạch bảng mạch sẽ được nối với đường đất hiệu dụng.

Mức đất, như mạch ở Hình 1.4, là không đúng, bởi vì điện áp được bộc lộ trên chiều dài  $Z_p$  do phần tử II sẽ được nối trở lại phần tử I. Ảnh hưởng sẽ xấu nếu phần tử I có độ nhạy cao, hoặc nếu phần tử II là thiết bị công suất lớn.



*Hình 1.4 - Nối đất sai*

Các cách nối đất như mạch ở Hình 1.5a và Hình 1.5b, là thích hợp, nhất là đối với tín hiệu có tần số trên 10MHz, nếu chú ý chọn để tránh việc hình thành các vòng đất.



Hình 1.5 - Nối đất đúng

## 1.8. SO SÁNH THIẾT BỊ ĐO TƯƠNG TỰ VÀ THIẾT BỊ ĐO SỐ.

Các thiết bị đo tương tự sử dụng độ lệch của kim chỉ thị do tương tác giữa dòng điện và từ trường, hoặc giữa hai từ trường. Đa số các bộ phận cơ cấu động đều có ma sát, nên có nhiều hạn chế (như giới hạn tần số cao, độ nhạy, sai số do quá tải) và các sai số. Trong các đồng hồ đo số, không liên quan đến sự làm lệch, số chỉ thị được đọc ở bộ hiển thị (hiển thị bằng tinh thể lỏng hay bằng LED), nên các đồng hồ đo số không có các sai số như của các đồng hồ đo tương tự. Các ưu điểm của thiết bị đo số so với các loại đồng hồ đo tương tự như sau. a) Ưu điểm của đồng hồ đo số so với đồng hồ đo tương tự.

1. Độ chính xác cao (thông dụng là 0,0005% hay 5ppm)
2. Độ rõ cao (khi số lượng đo được thể hiện bằng chữ số, nên sẽ không thay đổi giá trị của nó) (điển hình là 1ppm).
3. Độ phân giải tốt hơn (tình trạng không rõ ràng chỉ bị giới hạn nhiều nhất là một chữ số).
4. Không có sai số do thị sai.
5. Không có sai số do đọc. Không có sai số trong việc chuyển đổi số liệu đo.
6. Trở kháng vào rất cao (điển hình là 10M $\Omega$  và điện dung vào thấp là 40pF) và vì vậy sai số do quá tải không đáng kể.
7. Trở kháng vào hầu như không thay đổi trên tất cả các thang đo.



8. Sự định chuẩn từ các nguồn mẫu bên trong đồng hồ là hoàn toàn ổn định.

9. Không có sai số do dạng sóng tín hiệu.

10. Hiển thị cực tính tự động, có khả năng tự động chỉnh 0 và tự động chuyển thang đo. Các thang đo thay đổi theo các bậc thập phân thay vì thang đo, nên có số lượng thang đo ít hơn, khả năng mở rộng thang đo lớn hơn.

11. Có khả năng xử lý số đo bằng máy tính. Các số liệu đo có thể được lưu trữ và truy xuất bất kỳ lúc nào.

12. Có khả năng xử lý các tín hiệu đo ở dải tần số rộng hơn.

13. Thao tác đo đơn giản, chỉ cần ấn nút ấn để thiết lập lại tự động chính xác thiết bị đo cho các số liệu đo mới.

14. Có khả năng kết hợp nhiều thiết bị đo vào một thiết bị bằng kỹ thuật số. Có thể lập trình phép đo dễ dàng.

15. Thiết bị đo gọn và kết cấu chắc chắn hơn.

b) Các nhược điểm của đồng hồ đo số.

1. Cần phải có nguồn cung cấp do sử dụng các vi mạch (IC).

2. Các đại lượng thay đổi chậm, như khi nạp tụ không thể quan sát được. Các đồng hồ tương tự có thể quan sát các biến thiên như khi đo thử tụ điện phân.

3. Khi đo thử diode không thể thực hiện như cách thông thường, nên có bổ sung mạch chuyên dụng dành riêng cho mục đích đo thử diode ở một số đồng hồ đo số (tức chức năng đo mức sụt áp trên tiếp giáp  $pn$ ).

4. Giá thành cao, nhưng giá thành sẽ giảm xuống theo sự phát triển của công nghệ chế tạo các IC mới. Vẫn còn nhiều tranh luận giữa các lợi thế của thiết bị đo tương tự so với các hiển thị số. Tuy nhiên, các ưu điểm của thiết bị đo số có phần được chú trọng hơn

các loại thiết bị đo tương tự, nên thiết bị đo số ngày càng trở nên thông dụng hơn, nhất là khi giá thành của thiết bị đo số giảm xuống. Trong các hệ thống đo rất phức tạp, cơ cấu đo tương tự chỉ thị kim có thể thể hiện bằng hình vẽ trên máy tính ngoài hiển thị số.

## **1.9. CHỌN KHOẢNG ĐO TỰ ĐỘNG VÀ ĐO TỰ ĐỘNG**

Khoảng đo tự động sẽ định vị dấu chấm thập phân một cách tự động để nhận được độ phân giải tối ưu. Nếu số chỉ thị dưới 200, thiết bị đo số 3 ½ - chữ số sẽ tự động được chuyển mạch đến thang đo có độ nhạy cao hơn, còn nếu giá trị hiển thị cao hơn 1999, thì thang đo có độ nhạy ít hơn tiếp theo sẽ được chọn. Bộ đếm và bộ giải mã sẽ thay đổi vị trí dấu chấm thập phân khi yêu cầu khoảng đo tự động. Một đồng hồ đo tự động hoàn toàn chỉ cần tín hiệu cần đo có tại hai đầu vào của đồng hồ đo và điều chỉnh để đo thông số nào, còn sau đó toàn bộ các tiến trình đo (chính 0, chỉ thị cực tính, thang đo, hiển thị) sẽ được tiến hành tự động. Đối với các thiết bị đo hiện đại, xu hướng là kết hợp nhiều thiết bị đo vào một thiết bị. Ví dụ, Hệ thống giám sát thông tin có các thiết bị đo như sau:

- |                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Máy tạo tín hiệu RF     | 6. Đồng hồ đo độ nhạy    |
| 2. Máy tạo tín hiệu AF     | 7. Đồng hồ đo hệ số méo  |
| 3. Đồng hồ đo công suất RF | dạng                     |
| 4. Voltmeter số            | 8. Bộ đếm tần số         |
| 5. Đồng hồ đo công suất AF | 9. Máy phân tích phổ     |
|                            | 10. Máy hiển sóng nhớ số |

Bất kỳ thiết bị đo nào trong số các thiết bị đo trên có thể hình thành hoạt động theo lập trình. Chế độ làm việc đã được chọn, thiết bị đo sẽ được chọn, loại phép đo yêu cầu đã được lập trình theo lệnh, nên tín hiệu ra sẽ được hiển thị hay được in ra, toàn bộ

được điều khiển bằng bàn phím. Phép đo theo chương trình trên máy tính cũng được gọi là đo tự động.

### **1.10. ĐO TRONG MẠCH (ICT)**

Việc đo thử trong mạch có thể đo thử IC mức độ nhỏ hay trung bình mà không cần tháo IC ra khỏi mạch. Điểm mấu chốt của ICT là giao diện BON. Các đầu kẹp là các đầu que đo ở bộ giao tiếp sẽ được bật để gắn được tải, nối chắc chắn đến điểm cần đo thử. Chương trình đo thử tự động sẽ cung cấp dữ liệu vào để đo thử linh kiện. Ví dụ, để đo thử một IC, bộ đo thử trong mạch sẽ truy xuất bảng trạng thái cho IC từ RAM của thiết bị đo thử tự động (ATE), và sẽ so sánh với dữ liệu ra của IC cần đo thử với bảng trạng thái chính xác.

### **1.11. KỸ THUẬT SỬ DỤNG THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ**

Phép đo cần phải được thực hiện một cách cẩn thận và sự thể hiện các số liệu đo phải phù hợp sau khi đã có tính toán đến các giới hạn về độ nhảy, độ chính xác và khả năng của thiết bị đo.

Đôi khi số đo có thể đúng nhưng nếu thể hiện kết quả sai, người ta có thể hiểu mạch đang tốt là có sai hỏng và ngược lại. Hơn nữa, việc sử dụng thiết bị đo sai có thể tạo ra các nguy hiểm cho sự an toàn của người đo và thiết bị đo. Các kỹ thuật đo sau đây cần phải tuân theo khi đo thử hay thực hiện các phép đo trong việc chẩn đoán hư hỏng, sửa chữa và bảo dưỡng các thiết bị điện tử.

1. Nối thiết bị đến nguồn điện lưới, tốt hơn hết là thông qua đầu nối ba chân, và thực hiện bật nguồn cho hệ thống theo trình tự sau: Các điểm quan trọng được chuyển mạch ON đầu tiên, tiếp theo là đóng [ON] nguồn cung cấp, sau đó đóng [ON] thiết bị đo, và cuối cùng đóng nguồn cung cấp cho mạch cần đo thử. Khi tắt (chuyển mạch sang OFF), thì trình tự là ngược lại, thì trình tự phải được thực hiện ngược lại: trước tiên tắt nguồn cung cấp cho mạch

cần đo, tiếp theo là tắt thiết bị đo, sau đó tắt nguồn cung cấp và cuối cùng là ngắt điện lưới. Điều này sẽ bảo vệ thiết bị đo và thiết bị cần đo khỏi các xung quá độ. Không hàn hay tháo mối hàn linh kiện khi nguồn cung cấp đang bật.

2. Bất kỳ lúc nào cũng phải tắt thiết bị đo còn nếu thiết bị đo được chuyển mạch sang đóng [on] ngay sau đó thì cần phải có khoảng thời gian đáng kể để cho phép các tụ trong thiết bị xả.

3. Các thiết bị đo thử cần phải được nối đất một cách hiệu quả để giảm thiểu các biến thiên của nhiễu.

4. Chọn thang đo phù hợp theo tham số cần đo, tùy theo giá trị đo yêu cầu. Nếu không biết giá trị đo yêu cầu, thì hãy chọn thang đo cao nhất và sau đó giảm dần thang đo cho phù hợp, để tránh cho thiết bị đo bị quá tải và bị hư hỏng. Thang đo được chọn cuối cùng sẽ cho kết quả đo gần với độ lệch lớn nhất có thể có đối với phép đo điện áp và dòng điện, và gần mức trung bình đối với phép đo điện trở, để có độ chính xác tối ưu đối với hệ thống đo.

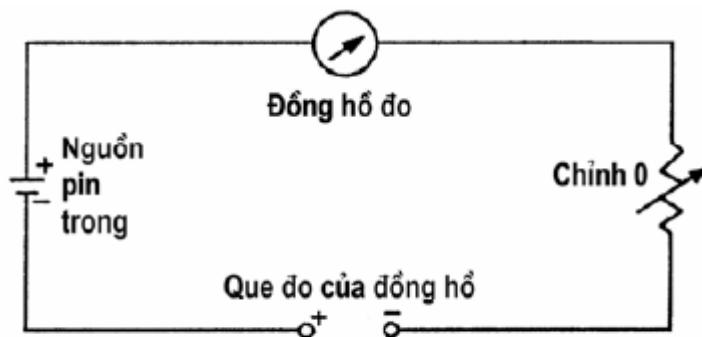
5. Khi giá trị đo bằng 0, thì đồng hồ đo cần phải chỉ thị bằng 0, nếu không thì cần phải được chỉnh 0 phù hợp.

6. Không sử dụng các đầu đo có kích thước lớn vì chúng có thể gây ngắn mạch. Các đầu que đo cần phải nhọn nhất nếu có thể được.

7. Điểm quan trọng là kết nối phép đo tại các điểm đo thử: các hãng chế tạo thiết bị thường quy định các điểm đo thử tại các vị trí thuận tiện trên bảng mạch in. Điện trở, mức điện áp  $dc$ , mức điện áp tín hiệu và các dạng sóng của tín hiệu sẽ được quy định cho mỗi điểm đo thử. (điểm đo thử thường là chốt lắp đứng trên bảng mạch in). Các điểm đo thử có các mạch đệm tốt nhất để tránh nguy hiểm quá tải cho mạch cần đo. Các điểm đo thử được thiết kế bởi các

nhà chuyên môn có kinh nghiệm, khi cần khảo sát thiết bị, không được bỏ qua các điểm đo thử trong quá trình sửa chữa.

8. Thông thường các đầu que đo mang dấu dương và âm đối với các phép đo điện áp và dòng điện trong mạch. Nguồn pin bên trong đồng hồ đo sẽ có cực tính ngược lại, tức là đầu que đo âm của nguồn pin trong đồng hồ đo sẽ được nối đầu que được đánh dấu dương (que đo màu đen) và ngược lại, như thể hiện ở Hình 1.6. Thực tế này cần phải nhớ khi đo thử các diode, các tụ điện phân, các transistor và các vi mạch.



*Hình 1.6 - Cực tính của nguồn pin và cực tính ghi trên que đo đồng hồ*

9. Nếu các điểm đo thử là không cho trước, hoặc nếu các phép đo là được thực hiện tại các điểm khác nhau, thì cần phải chú ý các điểm như sau: a) Khi đo các điện áp *dc*, phép đo cần phải được thực hiện ngay tại các linh kiện thực tế, và đối với vi mạch đo trực tiếp trên các chân. b) Sử dụng đầu kẹp đo thử IC để thực hiện các phép đo trên các chân của IC. c) Khi cần đo tín hiệu trên mạch in trong bảng mạch, nên kẹp đầu đo trên chân của cấu kiện điện tử được nối với đường mạch in. d) Khi thực hiện các phép đo trên bảng mạch, cần phải đảm bảo rằng các IC không bị điện tích tĩnh do thiết bị đo. e) Khi kiểm tra hở mạch, hãy tháo một đầu của cấu kiện điện tử rồi thực hiện phép đo. Nếu cấu kiện không được tháo một đầu, thì các cấu kiện khác mắc song song với cấu kiện nghi ngờ sẽ chỉ thị không đáng tin cậy. Có thể kiểm tra cấu kiện nghi

ngờ bằng cầu đo. . . Khi tháo mối hàn ra khỏi bảng mạch in là khó khăn thì có thể cắt đường mạch in liên quan, do dễ dàng hàn lại vết cắt hơn so với việc tháo mối hàn cấu kiện để đo rồi hàn lại, nhưng khi hàn lại vết cắt, cần đề phòng mối hàn bị nứt không xảy ra.

f) Việc tháo và hàn IC là một quá trình khá phức tạp cần phải hết sức cẩn thận. Cần phải tháo mối hàn cho IC để đo thử chỉ khi xác minh chắc chắn các phép đo trên bảng mạch cho thấy IC đã thực sự hỏng.

10. Cần phải tuân theo các lưu ý về an toàn để đảm bảo an toàn cho người đo và thiết bị đo. 11. Cần phải tuân theo các chỉ dẫn từ hướng dẫn sử dụng thiết bị đo thử, cũng như trình tự đo thử. 12. Cần phải nghiên cứu kỹ cách vận hành thiết bị đo để thực hiện phép đo và cần phải tuân theo tất cả các điểm lưu ý đã được đề cập.

## **CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP**

1. Thế nào là phương pháp đo trực tiếp (khái niệm, biểu thức, ví dụ)?
2. Thế nào là phương pháp đo gián tiếp (khái niệm, biểu thức, ví dụ)?
3. Thế nào là phương pháp đo tương quan (khái niệm, đặc điểm, ví dụ)?
4. Nêu một số phương pháp đo khác?
5. Định nghĩa thiết bị đo?
6. Nêu tên các thiết bị đo đơn giản?
7. Nêu tên các thiết bị đo phức tạp?
8. Nêu định nghĩa mẫu và chuẩn? Chúng thuộc thiết bị đo đơn giản hay phức tạp?

9. Nêu định nghĩa thiết bị chuyển đổi đo lường? Nó thuộc thiết bị đo đơn giản hay phức tạp?
10. Nêu định nghĩa thiết bị so sánh? Nó thuộc thiết bị đo đơn giản hay phức tạp?
11. Nêu định nghĩa dụng cụ đo? Nó thuộc thiết bị đo đơn giản hay phức tạp?
12. Nêu tên ít nhất 3 đặc tính cơ bản của thiết bị đo?
13. Nêu định nghĩa độ nhạy của thiết bị đo, biểu thức độ nhạy?
14. Nêu định nghĩa hàm biến đổi của thiết bị đo?
15. Nêu định nghĩa phạm vi đo của thiết bị đo?
16. Nêu định nghĩa phạm vi chỉ thị của thiết bị đo?
17. Nêu định nghĩa độ phân giải của thiết bị đo?

## CHƯƠNG 2 – ĐÁNH GIÁ SAI SỐ ĐO LƯỜNG

### 2.1. KHÁI NIỆM VỀ SAI SỐ

Đo lường là sự so sánh đại lượng chưa biết (đại lượng đo) với đại lượng được chuẩn hóa (đại lượng mẫu hoặc đại lượng chuẩn). Quá trình so sánh như vậy bao giờ cũng có sai lệch. Trong thực tế khó xác định trị số thực các đại lượng đo. Vì vậy trị số được đo cho bởi thiết bị đo được gọi là trị số tin cậy được (expected value). Bất kỳ đại lượng nào cũng bị ảnh hưởng nhiều thông số. Do đó kết quả đo ít khi phản ánh đúng trị số tin cậy được. Cho nên có nhiều hệ số (factor) ảnh hưởng trong đo lường liên quan đến thiết bị đo. Ngoài ra có những hệ số khác liên quan đến con người sử dụng thiết bị đo. Như vậy độ chính xác của thiết bị đo được diễn tả dưới hình thức sai số

*Khái niệm sai số:* là độ chênh lệch giữa kết quả đo và giá trị thực của đại lượng đo. Nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: thiết bị đo, phương thức đo, người đo... Sai số cũng có ý nghĩa quan trọng không kém gì kết quả đo, cho phép đánh giá được độ tin cậy của kết quả đo.

### 2.2. NGUYÊN NHÂN GÂY SAI SỐ

Các nguyên nhân gây sai số gồm:

- **Nguyên nhân khách quan:** do dụng cụ đo không hoàn hảo, hay là có một phần khuyết điểm hoặc hư hỏng, đại lượng đo bị can nhiễu nên không hoàn toàn được ổn định, điều kiện môi trường không tiêu chuẩn tác động lên thiết bị, lên đối tượng đo hay người đo ...



- **Nguyên nhân chủ quan:** là sai lầm của người đo, như đọc kết quả đo sai, do thiếu thành thạo trong thao tác, phương pháp tiến hành đo không hợp lý,...

\* *Các nguồn sai số:* Thiết bị đo không đo được trị số chính xác vì những lý do sau:

- Không nắm vững những thông số đo và điều kiện thiết kế.
- Thiết kế nhiều khuyết điểm.
- Thiết bị đo không ổn định sự hoạt động.
- Bảo trì thiết bị đo kém.
- Do người vận hành thiết bị đo không đúng.
- Do những giới hạn của thiết kế.

## **2.3. PHÂN LOẠI SAI SỐ**

Có nhiều cách phân loại sai số khác nhau: phân loại theo nguồn gốc, nguyên nhân...

### **2.3.1. Phân loại sai số theo nguồn gốc gây ra sai số**

+ **Sai số thô:** Các sai số thô có thể quy cho giới hạn của các thiết bị đo hoặc là các sai số do người đo:

■ **Sai lầm (*Gross error*):** một cách tổng quát sai số này do lỗi lầm của người sử dụng thiết bị đo như việc đọc sai kết quả, hoặc ghi sai, hoặc sử dụng sai không đúng theo qui trình hoạt động...

■ **Sai số giới hạn của thiết bị đo.** Ví dụ như ảnh hưởng quá tải gây ra bởi một voltmeter có độ nhạy kém. Voltmeter như vậy sẽ rẽ dòng đáng kể từ mạch cần đo và vì vậy sẽ tự làm giảm mức điện áp chính xác...

+ **Sai số hệ thống (Systematic error):** Sai số do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động, nó làm cho sai số của lần đo nào cũng giống nhau hoặc thay đổi theo quy luật, Nguyên nhân thường do tính không hoàn hảo của thiết bị, do điều kiện môi trường tác động...

*Sai số do thiết bị đo:* Các phần tử của thiết bị đo có sai số do công nghệ chế tạo, sự lão hóa do sử dụng... Để làm giảm sai số này bằng cách bảo trì định kỳ cho thiết bị đo.

*Sai số do ảnh hưởng điều kiện môi trường:* cụ thể như nhiệt độ tăng cao, áp suất tăng, độ ẩm tăng, cường độ điện trường hoặc từ trường ngoài tăng đều ảnh hưởng đến sai số của thiết bị đo lường. Giảm sai số này bằng cách giữ sao cho điều kiện môi trường ít thay đổi hoặc bổ chính (compensation) đối với nhiệt độ và độ ẩm. Và dùng biện pháp bảo vệ chống ảnh hưởng tĩnh điện và từ trường nhiễu. Sai số hệ thống đều có ảnh hưởng khác nhau. Ở trạng thái tĩnh và trạng thái động:

*Ở trạng thái tĩnh* sai số hệ thống phụ thuộc vào giới hạn của thiết bị đo hoặc do qui luật vật lý chi phối sự hoạt động của nó.

*Ở trạng thái động* sai số hệ thống do sự không đáp ứng theo tốc độ thay đổi nhanh theo đại lượng đo.

Đối với sai số hệ thống: xử lý bằng cách cộng đại số giá trị của sai số hệ thống vào kết quả đo, hoặc hiệu chỉnh lại máy móc, thiết bị đo với máy mẫu

+ **Sai số ngẫu nhiên (Random error):** Là sai số do các yếu tố bất thường không tuân theo quy luật tác động nào. Tuy đã thực hiện đo trong cùng điều kiện và tính cẩn thận như nhau nhưng do nhiều yếu tố bất thường mà sinh ra các kết quả đo khác nhau khi thực hiện phép đo nhiều lần cùng một đại lượng đo. Sự nảy sinh

sai số ngẫu nhiên do nhiều nguyên nhân khách quan tác động lên đối tượng đo, thiết bị đo, người đo ...

*Ví dụ:* giả sử điện áp được đo bởi một vôn kế được đọc cách khoảng 1 phút. Mặc dù vôn kế hoạt động trong điều kiện môi trường không thay đổi và được chuẩn hóa trước khi đo và đại lượng điện áp đó xem như không thay đổi. Khi đó trị số đọc của vôn kế có thay đổi chút ít. Sự thay đổi này không được hiệu chỉnh bởi bất kỳ phương pháp định chuẩn nào khác, vì do sai số ngẫu nhiên gây ra.

+**Sai số giới hạn (Limiting Error)** là sai số tương đối khi kết quả đo ở vị trí lệch toàn thang:

$$\left[ \frac{X_{\max}}{X_{\max}} \cdot 100 \right] \%, \quad X_{\max}: \text{ giá trị toàn thang.}$$

Khi kết quả đo ở vị trí thang đo nhỏ hơn vị trí lệch toàn thang thì sai số tương đối tăng lên. Như vậy một yếu tố quan trọng khi đo lường là kết quả đo càng gần vị trí toàn thang càng tốt.

*Ví dụ:* Dùng vôn mét thang đo 300V, cấp chính xác 2%, tính sai số tương đối khi đo điện áp 120V?

### **2.3.2. Phân loại theo sự phụ thuộc của sai số vào đại lượng đo**

- Sai số điểm 0 (sai số cộng) là sai số không phụ thuộc vào giá trị đại lượng đo.

- Sai số độ nhạy (sai số nhân) là sai số phụ thuộc vào giá trị đại lượng đo

### **2.3.3. Phân loại theo vị trí sinh ra sai số**

- Sai số phương pháp là sai số do phương pháp đo không hoàn hảo

- Sai số phương tiện đo là sai số do phương tiện đo không hoàn hảo. Gồm: sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên, sai số điểm 0, sai số độ nhạy, sai số cơ bản, sai số phụ, sai số động, sai số tĩnh.

- Sai số cơ bản của phương tiện đo là sai số của phương tiện đo khi sử dụng trong điều kiện tiêu chuẩn

- Sai số phụ của phương tiện đo là sai số sinh ra khi sử dụng phương tiện đo ở điều kiện không tiêu chuẩn

- Sai số tĩnh là sai số của phương tiện đo khi đại lượng đo không biến đổi theo thời gian

- Sai số động là sai số của phương tiện đo khi đại lượng đo biến đổi theo thời gian

## 2.4. BIỂU THỨC BIỂU DIỄN SAI SỐ

- **Sai số tuyệt đối:** là hiệu giữa kết quả đo được với giá trị thực của đại lượng đo

$$K_{do} = K_t - K_d$$

- **Sai số tương đối chân thực:** là giá trị tuyệt đối của tỉ số giữa sai số tuyệt đối và

giá trị thực của đại lượng đo

$$\frac{K_{do}}{X_t} \cdot 100 \quad [\%]$$

- **Sai số tương đối danh định:**

$$\frac{K_{do}}{X_d} \cdot 100 \quad [\%]$$

- **Sai số tương đối qui đổi:** là giá trị tuyệt đối của tỷ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị định mức của thang đo.

$$\frac{K_{do}}{X_{dm}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Trong đó:  $X_{dm} = X_{max} - X_{min}$  : giá trị định mức của thang đo.

Nếu giá trị thang đo: 0 thì  $X_{dm} = X_{max}$  (giá trị toàn thang - full-scale)

+ **Độ chính xác (Accurate)** : Mức độ gần giá trị thực của đại lượng đo và giá trị đo được:

$$A = \left| \frac{X_t - X_{do}}{X_t} \right| \cdot 100 \text{ [%]}$$

+ **Độ chính tương đối**:  $a = \left| \frac{X_t - X_{do}}{X_t} \right| \cdot 100$

**Ví dụ:** điện áp 2 đầu điện trở có trị số *tin cậy* được là 50V. Dùng vôn kế đo được 49 V.

Như vậy sai số tuyệt đối:  $1 \text{ V}$

Sai số tương đối:  $\frac{1 \text{ V}}{50 \text{ V}} = 2\%$

Độ chính xác:  $A = 2,02\%$ ;  $a = 2,00\%$

+ **Độ rõ (Precision)**: Đánh giá mức độ giống nhau của mỗi kết quả đo với nhiều kết quả đo khác của một đại lượng đo duy nhất với cùng máy đo và điều kiện đo:

$$P_i = \left| \frac{X_i - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right|$$

$\bar{X}_n$  : trị số trung bình của n lần đo,  $X_i$  - kết quả của lần đo thứ i.

**Ví dụ:**  $X_5 = 97$  – Kết quả đo của lần đo thứ 5

$\bar{X}_n = 101,1$  - trị số trung bình của 10 lần đo

Tính chính xác của kết quả đo  $X_i$  là :  $1 - \left| \frac{97 - 101,1}{101,1} \right| = 0,96 = 96\%$

## 2.5. PHÂN TÍCH THÔNG KÊ ĐO LƯỜNG

Ứng dụng các hàm phân bố ngẫu nhiên để đánh giá sai số ngẫu nhiên.

Thông thường sai số ngẫu nhiên do một số lớn những tác động nhỏ ảnh hưởng, và thường được tính toán trong đo lường có độ chính xác cao. Đối với sai số ngẫu nhiên thì không xử lý được, chỉ có thể định lượng được giá trị sai số ngẫu nhiên bằng lý thuyết xác suất và thống kê.

Với sai số của mỗi lần đo riêng biệt, sau khi đã loại bỏ sai số hệ thống thì nó hoàn toàn có tính chất của một sự kiện ngẫu nhiên. Kết quả của lần đo này không phụ thuộc gì với kết quả đo của các lần khác, và **suất** hiện hoàn toàn ngẫu nhiên. Tuy nhiên muốn áp dụng xác suất thống kê để nghiên cứu đánh giá, tính toán các sai số ngẫu nhiên, thì cần thực hiện các điều kiện sau:

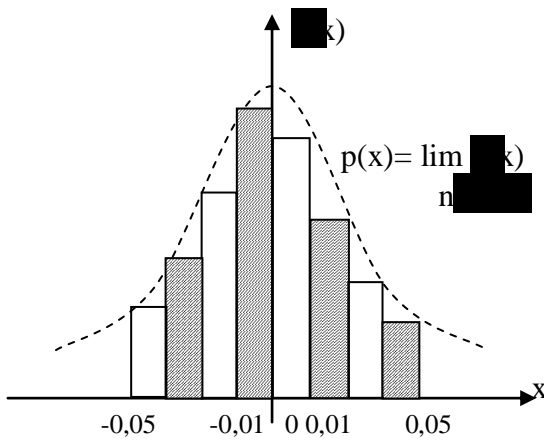
- Tất cả các lần đo để phải tiến hành với các độ chính xác như nhau: Nghĩa là không những cùng đo ở một máy, trong cùng điều kiện, mà với cả sự thận trọng, chu đáo như nhau. Sai số hệ thống phải nhỏ hơn so với sai số ngẫu nhiên.

- Phải đo nhiều lần, phép tính xác suất chỉ đúng khi có một số nhiều các sự kiện.

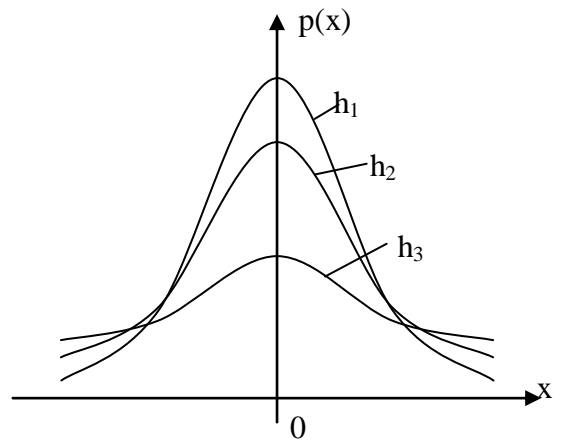
### 2.5.1. Hàm phân bố chuẩn sai số

Để đánh giá sai số ngẫu nhiên ta cần biến sự kiện suất hiện sai số này thành một sự kiện ngẫu nhiên tuân theo một số hàm phân bố xác suất nào đó.

Giả sử đo đại lượng  $X$  không đổi nhiều lần độc lập với điều kiện đo giống nhau. Với số lần đo là  $n$  thu được  $n$  kết quả hoàn toàn ngẫu nhiên  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ , và sai số tuyệt đối tương ứng  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  ( $x_i = a_i - X$  ( $i=1 \dots n$ )).



Hình 2.1 - Biểu đồ tần suất xuất hiện sai số.



Hình 2.2 - Hàm phân bố tiêu chuẩn sai số.

Sắp xếp các sai số theo giá trị độ lớn thành từng nhóm riêng biệt. Giả sử có  $n_1$  sai số có trị số từ  $0 \div 0,01$ ;  $n_2$  sai số có trị số từ  $0,01 \div 0,02$ ; ... Tần suất xuất hiện mỗi nhóm sai số này tương ứng là  $\frac{n_1}{n}$ ,  $\frac{n_2}{n}$  ... Như vậy ta vẽ được biểu đồ phân bố tần suất xuất hiện số theo độ lớn sai số là  $\frac{k}{n}$  như Hình 2.1. Nếu tiến hành rất nhiều lần đo hay số lần đo  $n$  thì giản đồ  $\frac{k}{n}$  tiến tới đường cong trung bình  $p(x)$  như hình vẽ. Hàm số  $p(x)$  là hàm phân bố tiêu chuẩn sai số vì nó biểu thị theo quy luật phân bố tiêu chuẩn và nó có dạng hàm Gauss. Trong phần lớn các trường hợp sai số đo lường điện tử thì thực tế đều thích hợp với quy luật này. Biểu thức của  $p(x)$  như sau:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{h}} e^{-\frac{x^2}{h}}$$

Trong đó  $h$  là *tham số phẩm chất* (thông số đo chính xác), Hình 2.2 biểu diễn một số dạng đường cong  $p(x)$  với các tham số  $h$  khác nhau,  $h$  càng lớn thì đường cong càng hẹp và nhọn, có nghĩa là xác suất các sai số có trị số bé lớn hơn. Thiết bị nào ứng với đường cong có  $h$  lớn thì có độ chính xác cao hơn.

### 2.5.2. Hệ quả của hàm phân bố chuẩn sai số

Từ hàm phân bố sai số rút ra các kết luận như sau:

- Xác suất xuất hiện các sai số không phụ thuộc vào dấu:

$$p(x_i) = p(-x_i).$$

- Sai số có trị số càng bé thì xác suất xuất hiện càng lớn: nếu  $|x_1| < |x_2|$  thì  $p(x_1) > p(x_2)$ .

- Giá trị trung bình của tất cả các sai số ngẫu nhiên khi  $n \rightarrow \infty$  bằng 0.

+ **Biểu thức vi phân của hàm phân bố sai số:**

Số lượng các sai số có giá trị nằm trong khoảng  $dx$  giữa  $x$  và  $x+dx$  là  $dn = p(x) \cdot n \cdot dx$ . Vậy xác suất xuất hiện các sai số có giá trị nằm trong khoảng  $x$  đến  $x+dx$  là:

$$dp = \frac{dn}{n} = p(x) dx = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-2x^2} dx - \text{Biểu thức vi phân hàm phân bố sai số.}$$

+ **Biểu thức tích phân của hàm phân bố sai số**

- Xác suất xuất hiện sai số trong khoảng  $x_1$  đến  $x_2$  được tính như sau:

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} dp = \int_{x_1}^{x_2} \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-2x^2} dx$$

- Xác suất xuất hiện các sai số không vượt quá trị số  $x_i > 0$  nào đó là:

$$P(|x| < x_i) = \int_{-x_i}^{x_i} dp = \int_{-x_i}^{x_i} \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-2x^2} dx = 2 \int_0^{x_i} \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-2x^2} dx$$

$$P(|x| < x_i) = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_i} e^{-2x^2} dx$$



(Biểu thức này được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của kết quả đo)

- Xác suất xuất hiện sai số trong khoảng  $[-x_i, x_i]$  bằng 1 do đó ta có:

$$P(|x| < x_i) = \int_{-x_i}^{x_i} f(x) dx$$

- Như vậy  $P(|x| > x_i) = 1 - P(|x| < x_i)$ .

### 2.5.3. Chuẩn hóa hàm phân bố sai số

Như ta đã biết xác suất xuất hiện các sai số có giá trị không vượt qua trị số  $x_i > 0$  nào đó là:  $P(|x| > x_i) = \int_{x_i}^{\infty} \frac{2h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx$  - biểu thức dưới dấu tích phân không có nguyên hàm, và hàm tích phân phụ thuộc vào 2 tham số  $h$  và  $x_i$ , để thuận tiện cho tính toán ta loại bỏ bớt tham số  $h$  bằng cách thực hiện chuẩn hóa hàm phân bố như sau:

Thay  $x = \frac{t}{h\sqrt{2}}$  vào biểu thức tích phân ta được:

$$P(|x| > x_i) = P(|t| > t_i) = \int_{t_i}^{\infty} \frac{2h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \frac{1}{h\sqrt{2}} dt = \int_{t_i}^{\infty} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} e^{-t^2/2} dt$$

(trong đó  $t_i = x_i h\sqrt{2}$  - được gọi là hệ số phân bố)

Đặt  $f(t) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} e^{-t^2/2} dt$  - Hàm mật độ Laplace.

**Ý nghĩa:** Như vậy nếu biết được sự phân bố sai số, ta có thể tính được xác suất xuất hiện những lần đo có sai số mà trị số của nó lớn hơn hay bé hơn một giá trị sai số nào đó cho trước. Điều này có ý nghĩa thực tế là ở kết quả đo ta cần lấy giới hạn của trị số sai số phải bằng bao nhiêu thì đảm bảo chính xác với độ tin cậy nào đó.

**Bảng 2.1** – Bảng giá trị của hàm Laplace

*Chương 2 – Đánh giá sai số đo lường*

$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t
0,50	0,675	0,992	2,652
0,60	0,842	0,993	2,697
0,70	1,036	0,994	2,748
0,75	1,150	0,995	2,807
0,80	1,282	0,996	2,878
0,85	1,440	0,997	2,968
0,90	1,645	0,998	3,090
0,95	1,960	0,999	3,291
0,96	2,054	0,9995	3,481
0,97	2,170	0,9999	3,801
0,98	2,326	0,99999	4,417
0,99	2,576	0,999999	4,892
0,991	2,612	0,9999999	5,327

### 2.5.4. Các đặc số phân bố ứng dụng trong đo lường

#### a. Sai số trung bình bình phương

Giả sử đo nhiều lần một đại lượng X, kết quả nhận được ở n lần đo tương ứng là  $a_1, a_2, \dots, a_n$  và các sai số tương ứng là  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Xác suất xuất hiện sai số tại giá trị  $x_i$  và lân cận của nó là:

$$dp_i = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-2x_i^2} dx_i$$

Xác suất xuất hiện của cả n lần đo đó coi như là xác suất của một sự kiện phức hợp, theo lý thuyết xác suất tính bằng tích số của các xác suất của các sự kiện độc lập riêng rẽ:

$$P_{ph} = dp_1 dp_2 \dots dp_n = \left(\frac{h}{\sqrt{\pi}}\right)^n e^{-2(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

Tìm điều kiện cực trị của hàm  $P_{ph}$ , (coi h là tham số biến số).

$$\frac{dP_{ph}}{dh} = P_{ph} \left( \frac{1}{h} - \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)$$

Do đó  $\frac{1}{h\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$  - Gọi là sai số trung bình bình phương.

Hàm phân bố tiêu chuẩn các sai số trở thành

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$$

Ta có  $x = \frac{t}{h\sqrt{2}}$ , vậy sai số tuyệt đối có thể viết là  $x_i = t_i$  và

kết quả đo có thể viết là  $X = a_i + x_i$

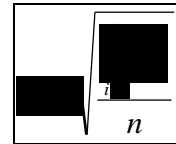
Nếu chọn  $x_i = 1$  hay  $t_i = 1$  thì độ tin cậy của kết quả đo là:

$$P(|x| \leq 1) = \int_{-1}^1 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt = 0,683$$
 - độ tin cậy chưa cao.

Nếu chọn  $x_i = 3$  hay  $t_i = 3$  thì độ tin cậy của kết quả đo là:

$$P(|x_i - \bar{x}| \leq 3\sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} dt \approx 0,997 - \text{độ tin cậy cao.}$$

Có nghĩa là trong số 1000 lần đo một đại lượng nào đó thì có khoảng 3 lần đó có sai số vượt quá  $3\sigma$ . Người ta gọi  $M=3\sigma$  là sai số cực đại.



**Tóm lại :** - Giá trị trung bình bình phương:

- Sai số cực đại:  $M=3\sigma$

### b. Trị số trung bình cộng

Gọi  $X$  là giá trị thực của đại lượng đo, ta có sai số tuyệt đối của mỗi kết quả đo là:  $x_i = a_i - X$  ( $i=1..n$ ).

Thực tế không xác định được  $x_i$ , nên  $X$  cũng không xác định được mà chỉ xác định một kết quả đo gần đúng với giá trị thực tế nhất, gọi giá trị này là  $a_{tb}$  thì nó phải là giá trị có xác suất xuất hiện lớn nhất, cần tìm giá trị này.

Để  $a_{tb}$  có xác suất lớn nhất thì tất cả các sai số  $x_1, x_2, \dots, x_n$  cũng phải có xác suất lớn nhất, vậy  $a_{tb}$  phải cực tiểu. Vì  $a_{tb}$  gần với trị số thực  $X$  nên có thể thay  $a_{tb}$  cho  $X$  trong biểu thức tính  $x_i$ .

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

$$\text{Để } a_{tb} \text{ cực tiểu thì } \frac{df}{da_{tb}} = 0 \Rightarrow a_{tb} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Trị số trung bình cộng.

Như vậy  $a_{tb}$  có trị số bằng trung bình cộng của tất cả các lần đo, nó là trị số có xác suất lớn nhất, tức là gần trị số thực nhất khi tiến hành đo nhiều lần một đại lượng cần đo  $X$ .

Nếu lấy  $a_{tb}$  làm kết quả đo, thì xác định độ chính xác và độ tin cậy của kết quả này như thế nào?

Xác suất của các sai số có trị số không vượt qua một giá trị cho trước là:

$$P(|a_{tb} - X| < t_i \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{n}}) = \int_{-\frac{t_i \sqrt{2}}{\sqrt{n}}}^{\frac{t_i \sqrt{2}}{\sqrt{n}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \text{ trong đó } t_i = \frac{t_i \sqrt{2}}{\sqrt{n}}$$

Như vậy nếu cho trước độ tin cậy, có nghĩa là biết xác suất  $P(|a_{tb} - X| < \dots)$  từ đó tra bảng xác định được  $t_i$  và suy ra sai số phải lựa chọn là  $\dots t_i \dots$  để kết quả đo đảm bảo độ tin cậy đã cho. Khoảng tin cậy là:  $(a_{tb} - \dots, a_{tb} + \dots)$

Sự kiện lấy  $a_{tb}$  là kết quả đo có thể coi như là một sự kiện phức hợp  $X_{tb}$  được xác định từ các sự kiện xuất hiện kết quả đo  $a_i$  là  $X_i$ :

$$X_{tb} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Theo lý thuyết xác suất thông kê ta có thể tính sai số trung bình bình phương (phương sai) của sự kiện  $X_{tb}$  theo công thức sau:

$$\frac{\sigma^2}{n}$$

### c. Sai số dư

Trên thực tế tính toán, vì không biết  $X$  nên ta không biết được các sai số  $x_i$ , ta chỉ có thể tính được sai số tuyệt đối giữa các lần đo so với  $a_{tb}$ , và gọi đó là sai số dư. Sai số dư của kết đo thứ  $i$  là:

$$\delta_i = a_i - a_{tb} \quad (i=2..n)$$

Ta có :  $\dots a_{tb} \dots$

$$\text{Mặt khác } \dots X_i - a_{tb} \dots$$

Như vậy :  $\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$

Khai triển  $\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$  ta được:

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Theo quy luật phân bố chuẩn, các sai số có trị số tuyệt đối bằng nhau nhưng trái dấu thì có xác suất như nhau. Như vậy nếu tiến hành đo một số lần đủ lớn thì các sai số ấy sẽ từng đôi một triệt tiêu nhau:  $x_j$  do đó:

$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$  thay kết quả này vào biểu thức trên ta có:

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Như vậy sai số trung bình bình phương có thể tính theo sai số dư như sau:

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

### 2.5.5. Ứng dụng các đặc số phân bố để xác định kết quả đo từ nhiều lần đo

Giả sử đo  $n$  lần một đại lượng  $X$  với kết quả tương ứng là  $a_1, a_2, \dots, a_n$  đã được loại trừ sai số hệ thống, xác định kết quả đo với độ tin cậy là  $P_{tc}$ , nghĩa là xác định kết quả đo và sai số tuyệt đối tương ứng sao cho xác suất xuất hiện các sai số nhỏ hơn sai số đã chọn không vượt quá  $P_{tc}$ .

Dựa vào các kết quả các đặc số ở trên, ta có thể thực hiện xử lý kết quả đo từ nhiều lần đo theo các bước như sau:

**Bước 1:** Lập bảng ghi  $n$  kết quả đo đã nhận được:

$i$	$a_i$	■	■
1	$a_1$	■	■ <sup>2</sup>
2	$a_2$	■	■ <sup>2</sup>
...	...	...	...
$n$	$a_n$	■	■ <sup>2</sup>

**Bước 2:** Tính giá trị trung bình:

$$a_{tb} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

**Bước 3:** Tính sai số dư và điền vào bảng trên:

$$\Delta_i = a_i - a_{tb} \quad (i=2..n)$$

Kiểm tra sai số tính toán: Kiểm tra xem  $\Delta_i$  có đúng không, nếu không đúng kiểm tra lại các tính toán từ bước 2.

**Bước 4:** Tính sai số trung bình bình phương:

$$s = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n-1}} \quad (n \geq 30)$$

**Bước 5:** Chọn hệ số phân bố  $t_i$ : Từ độ tin cậy  $P_{tc}$  và số lần đo  $n$  tra bảng phân bố laplace xác định được hệ số phân bố  $t_i$ . Tuy nhiên thông thường nếu số lần đo nhỏ ( $1 < n < 11$ ) thì thường dùng phân bố student để xử lý kết quả, và  $t_i$  được tra từ bảng phân bố Student. Bảng phân bố Laplace và Student có thể xem trong phần phụ lục.

**Chương 2 – Đánh giá sai số đo lường**

Ví dụ: Khi  $P_{tc}=0,997$  thì bảng phân bố của  $t_i$  thay đổi theo số lần đo như sau:

n	5	6	7	10	15	20	■
$t_i$	5,2	4,6	4,2	3,6	3,2	3,1	3

( $P_{tc}=0,997, n=7$ ) tra bảng ta có  $t_i=4,2$ .

**Bảng 2.2** – Bảng giá trị  $t_i$  ứng với xác suất tin cậy  $P_{TC}$  và số lần đo  $n$  khác nhau

$P_{TC} \backslash n$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,000	1,376	1,963	3,08	6,31	12,71	31,8	63,7	636,6
3	0,816	1,061	1,336	1,886	2,92	4,30	6,96	6,92	31,6
4	0,765	0,978	1,250	1,638	2,35	3,18	4,54	5,84	12,9
5	0,741	0,941	1,190	1,533	2,13	2,77	3,75	4,60	8,61
6	0,737	0,920	1,156	1,476	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
7	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,45	3,14	4,71	5,96
8	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,36	3,00	3,5	5,40
9	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,31	2,90	3,36	5,04
10	0,703	0,883	1,110	1,383	1,833	2,26	2,82	3,25	4,78

**Bước 6:** Tính sai số cực đại :  $M=t_i \cdot \blacksquare$

**Bước 7:** Kiểm tra sai số thô hay không: Nếu có  $\blacksquare > M$  thì kết quả đo  $a_i$  có sai số thô.

Nếu có bất kỳ sai số thô nào thì loại các kết quả đo có sai số thô và tính loại từ **bước 1** với bộ kết quả đo mới, số lần đo  $n$  mới.

Nếu không có bất kỳ sai số thô nào thì thực hiện tiếp bước 8.

**Bước 8:** Xác định sai số trung bình bình phương của  $a_{tb}$ :

$$\blacksquare_b \sqrt{\frac{\blacksquare}{n}}$$

**Bước 9:** Biểu diễn kết quả đo:

$$X \blacksquare_{tb} \blacksquare_i \blacksquare_b$$



**Chú ý:** Cuối cùng, ta còn phải chú ý tới các viết hàng chữ số của kết quả cuối cùng và cách tính tới sai số đo trong catalog sử dụng của máy đó.

*Cách viết hàng chữ số của kết quả và sai số:*

- Khi lấy  $t_{i,b}$  chỉ cần lấy với hai số, vì bản thân nó là một đại lượng gần đúng có trị số bé.

- Lấy kết quả  $a_{tb}$  phải chú ý lấy số chữ số sau dấu phẩy sao cho bậc của các số cuối của nó không được thấp hơn bậc của 2 hai con số của  $t_{i,b}$

Ví dụ  $X=234,56\blacksquare,06$  thì phải viết lại là:  $X=234,7\blacksquare,1$

*Cách xử lý sai số của máy đo:*

Trị số sai số trong catalog của máy đo là sai số cực đại. Nó biểu thị khả năng sai số có thể gặp phải khi tiến hành đo lường ở điều kiện tiêu chuẩn đã quy định cho máy. Như vậy, nếu không thực hiện lấy chuẩn được máy, tức là so sánh với máy mẫu, để xác định ra sai số hệ thống của máy đó, thì trị số đã cho trong thuyết minh được coi là trị số sai số ngẫu nhiên cực đại. Cách xử lý đối với nó cũng coi như một số số ngẫu nhiên khác. Khi đó ta có không thể cộng gộp lại theo quy luật cộng đại số, như sai số hệ thống, mà phải cộng theo quy luật cộng trung bình bình phương.

## **2.6. ĐÁNH GIÁ SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO GIÁN TIẾP**

Trong nhiều trường hợp, đại lượng cần đo không thể được biểu thị trực tiếp ngay, mà phải tính toán gián tiếp bằng công thức thông qua các đại lượng đo trực tiếp khác. Ví dụ công suất tác dụng của dòng một chiều trong mạch  $P=U.I$ , ta thực hiện bằng cách đo trực tiếp điện áp  $U$  và dòng điện  $I$  trong mạch. Trường hợp sai số của phép đo  $P$  cần được tính như thế nào?

Xét trường hợp tổng quát đại lượng cần đo là R được tính gián tiếp từ kết quả của n đại lượng đo trực tiếp  $X_1, X_2, \dots, X_n$  như sau:

$$R = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Sai số tuyệt đối

Giả sử khi đo các giá trị  $X_1, X_2, \dots, X_n$  đo được có giá trị là gặp phải các sai số hệ thống tương ứng là  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ , thì cũng phải tính sai số hệ thống của Y, giả sử sai số đó là  $\Delta R$ , dựa vào khai triển Taylor của hàm nhiều biến, bỏ qua các vô cùng bé bậc cao, ta có ta có:

$$R + \Delta R = f(X_1 + \Delta x_1, X_2 + \Delta x_2, \dots, X_n + \Delta x_n)$$

$$R + \Delta R \approx f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n$$

Vậy:  $\Delta R \approx \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n$  - Đây là công thức tổng quát để xác định sai số tuyệt đối của phép đo gián tiếp từ sai số tuyệt đối của n đại lượng đo trực tiếp.

Thông thường chúng ta có thể xác định giới hạn của sai số tuyệt đối như sau:

$$\Delta R \approx \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \right| \approx \Delta R_{\max}$$

Sai số tương đối

$$\frac{\Delta R}{R} \cdot 100 \quad \text{(\%)}$$

Sai số trung bình bình phương

Giả sử  $X_1, X_2, \dots, X_2$  được đo bằng nhiều lần đo khác nhau:

- Khi đo  $X_1$ , tiến hành đo  $m_1$  lần và có các sai số ngẫu nhiên là:  $x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,m_1}$ , và tương ứng sai số trung bình bình phương của  $X_1$  là  $\Delta x_1$

**Chương 2 – Đánh giá sai số đo lường**

- Khi đo  $X_2$ , tiến hành đo  $m_2$  lần và có các sai số ngẫu nhiên là:  $x_{2,1}, x_{2,2}, \dots, x_{2,m_2}$ , và tương ứng sai số trung bình bình phương của  $X_2$  là  $\sigma_{2,i}$

...

- Khi đo  $X_n$ , tiến hành đo  $m_n$  lần và có các sai số ngẫu nhiên là:  $x_{n,1}, x_{n,2}, \dots, x_{n,m_n}$ , và tương ứng sai số trung bình bình phương của  $X_n$  là  $\sigma_{n,i}$

Tương ứng:

$$\sigma_{1,i}, \sigma_{2,i}, \dots, \sigma_{n,i}$$

Theo lý thuyết xác suất thống kê, sai số trung bình bình phương của R là  $\sigma_R$  được tính như sau:

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{1,i}^2 + \sigma_{2,i}^2 + \dots + \sigma_{n,i}^2}$$

Như vậy, sai số của một đại lượng phải đo gián tiếp thì bằng trị số trung bình bình phương của các sai số mỗi đại lượng cục bộ đo trực tiếp.

Từ phép cộng trung bình bình phương, ta có nhận xét là: sai số của đại lượng tính toán gián tiếp thì chủ yếu được xác định bằng các thành phần sai số cục bộ nào có giá trị lớn, mà ít phụ thuộc vào các thành phần sai số cục bộ nào có trị số bé. Điều này cho ta một chú ý cần thiết khi đo là: tăng độ chính xác của phép đo trực tiếp những đại lượng cục bộ nào có vai trò quyết định hơn; cũng như có thể bỏ qua những thành phần sai số cục bộ nào bé hơn ba lần so

với thành phần sai số cục bộ lớn nhất để cho phép tính được đơn giản hơn.

**Một số trường hợp riêng:**

- Giả sử quan hệ hàm có dạng  $R=a.X+b.Y+c.Z$ , khi đó sai số tuyệt đối của phép đo gián tiếp được tính như sau:

$$\Delta R = a.\Delta X + b.\Delta Y + c.\Delta Z$$

Thông thường có thể lấy giới hạn của nó là sai số tuyệt đối cho phép đo R:

$$|\Delta R|_{\max} = |a.\Delta X| + |b.\Delta Y| + |c.\Delta Z|$$

- Giả sử quan hệ hàm có dạng  $R=X^m.Y^n.Z^p$ , (giả sử m, n, p > 1) khi đó sai số tuyệt đối của phép đo gián tiếp sẽ là:

$$\Delta R = m.X^{m-2}.Y^n.Z^p .\Delta X + n.X^m.Y^{n-2}.Z^p .\Delta Y + p.X^m.Y^n.Z^{p-2}.\Delta Z$$

Biểu thức trên khá phức tạp không thuận tiện cho việc tính toán. Trong thực tế người ta dùng sai số tương đối:

$$\frac{\Delta R}{R} = m.\frac{\Delta X}{X} + n.\frac{\Delta Y}{Y} + p.\frac{\Delta Z}{Z}$$

Như vậy có thể tính sai số tương đối của R thông qua sai số tương đối của các thành phần cục bộ như sau:

$$\left| \frac{\Delta R}{R} \right| = m \left| \frac{\Delta X}{X} \right| + n \left| \frac{\Delta Y}{Y} \right| + p \left| \frac{\Delta Z}{Z} \right|$$

**CÂU HỎI ÔN TẬP**

- 18. Sai số là gì? Nguyên nhân gây sai số?
- 19. Nếu phân loại theo cách biểu diễn sai số thì có những loại sai số nào (kể tên)?
- 20. Nêu khái niệm, biểu thức diễn đạt sai số tuyệt đối?
- 21. Nêu khái niệm, biểu thức diễn đạt sai số tương đối chân thực?

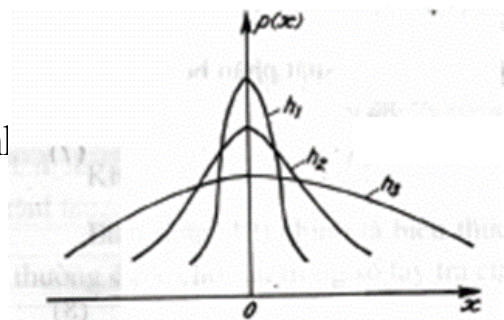
22. Nêu khái niệm, biểu thức diễn đạt sai số tương đối danh định?
23. Nêu khái niệm, biểu thức diễn đạt sai số tương đối qui đổi?
24. Nếu phân loại theo qui luật xuất hiện sai số thì có những loại sai số nào (kể tên)?
25. Nêu khái niệm sai số hệ thống? nêu một số nguyên nhân gây sai số hệ thống?
26. Nêu khái niệm sai số ngẫu nhiên? nêu một số nguyên nhân gây sai số ngẫu nhiên?
27. Nêu khái niệm trị số đo sai?
28. Nêu vắn tắt cách xử lý sai số hệ thống?
29.  $p(x)$  là hàm số phân bố tiêu chuẩn các sai số (hàm chính tắc).

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{hàm Gauss})$$

$h$  là thông số đo chính xác.

$h_1, h_2, h_3$  là các thông số đo chính các thiết bị đo khác nhau.

- a.  $h_1 < h_2 < h_3$   
b.  $h_1 > h_2 > h_3$



30. Cũng giống câu hỏi 32, thiết bị đo tương ứng giá trị  $h$  nào có độ chính xác cao nhất?

Hình 8.1 thiết bị đo tương ứng  $h_1$

Hình 8.2 thiết bị đo tương ứng  $h_2$

Hình 8.3 thiết bị đo tương ứng  $h_3$

31. Nêu 2 qui tắc phân bố sai số?

32. Đo  $n$  lần một đại lượng  $X$  thu được  $n$  kết quả đo có các sai số tuyệt đối tương ứng là  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Biểu thức tính sai số trung bình bình phương là:

a/  $\sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$

b/  $\sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n-1}}$

c/  $\sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n+1}}$

d/  $\sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n-2}}$

16. Sai số trung bình bình phương của  $\bar{a}$  là:

a/  $\frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}}{\sqrt{n}}$

b/  $\frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}}{n}$

c/  $\frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}}{\sqrt{n-1}}$

d/  $\frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}}{n-1}$

17. Kết quả đo với  $n > 10$  được xác định theo biểu thức sau:

a/  $x \pm \frac{\Delta x}{\sqrt{n}}$

b/  $x \pm \frac{\Delta x}{n}$

c/  $x \pm \Delta x$

d/  $x \pm \Delta x \sqrt{n}$

18. Kết quả đo với  $2 \leq n \leq 10$  được xác định theo biểu thức sau:

a/  $x \pm \frac{\Delta x}{\sqrt{n}}$

b/  $x \pm \frac{\Delta x}{n}$

c/  $x \pm \Delta x$

d/  $x \pm \Delta x \sqrt{n}$

19.  $X$  là đại lượng cần đo bằng phép đo gián tiếp;  $Y, V, Z$  là các đại lượng đo được bằng phép đo trực tiếp thành phần,  $X = F(Y, V, Z)$ ;  $\Delta Y, \Delta V, \Delta Z$  là các sai số hệ thống tương ứng khi đo  $Y, V, Z$ ;  $\Delta X$  là sai số hệ thống khi xác định  $X$ . Giả sử các sai số có giá trị nhỏ, viết biểu thức tính  $\Delta X$  theo  $\Delta Y, \Delta V, \Delta Z$ .

20.  $X$  là đại lượng cần đo bằng phép đo gián tiếp;  $Y, V, Z$  là các đại lượng đo được bằng phép đo trực tiếp thành phần,  $X = aY + bV + cZ$ ;  $\Delta Y, \Delta V, \Delta Z$  là các sai số hệ thống tương ứng khi đo  $Y, V, Z$ ;  $\Delta X$  là sai số hệ thống khi xác định  $X$ . Giả sử các sai số có giá trị nhỏ, viết biểu thức tính  $\Delta X$  theo  $\Delta Y, \Delta V, \Delta Z$ .

21. X là đại lượng cần đo bằng phép đo gián tiếp; Y, V, Z là các đại lượng đo được bằng phép đo trực tiếp thành phần,  $x = \frac{Y \cdot V}{Z}$ ;  $\Delta Y$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta Z$  là các sai số tương đối tương ứng khi đo Y, V, Z;  $\Delta X$  là sai số tương đối khi xác định X. Viết biểu thức tính  $\Delta X$  theo  $\Delta Y$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta Z$ .

## **BÀI TẬP**

1. Đo điện áp của một nguồn điện một chiều 6 lần, thu được các kết quả tương ứng với các lần đo lần lượt là: 110,50 V; 112,20 V; 107,55 V; 97,10 V; 105,75 V; 113,35V. Hãy xác định kết quả đo và khoảng tin cậy biết xác suất tin cậy là 0,95.

2. Có 2 vôn mét một chiều:

+ Vôn mét thứ nhất có thang đo định mức 20V, 30V, 50V với cấp chính xác 0,5.

+ Vôn mét thứ hai có thang đo định mức 50V, 75V, 100V với cấp chính xác 0,2.

Hãy lựa chọn những Vôn mét và những thang đo thích hợp để đo điện áp của nguồn một chiều có giá trị khoảng 25V sao cho:

- Sai số đo nhỏ nhất
- Sai số đo không lớn hơn 0,7%.

## CHƯƠNG 3 – CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

- Cấu trúc cơ bản của máy đo
- Cấu trúc chung của máy đo số
- Thiết bị đo ghép nối với máy tính
- Một số mạch đo lường và gia công tín hiệu đo cơ bản
- Cơ cấu chỉ thị đo lường

### 3.0. GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương này sẽ trình bày những vấn đề kỹ thuật cơ sở cho kỹ thuật đo lường điện tử như: Cấu trúc chung của máy đo, các kỹ thuật, thiết bị chỉ thị, mạch điện tử dùng trong đo lường ... Đây là những tiền đề cho việc nghiên cứu nguyên lý đo cũng như nguyên lý cấu tạo của máy đo.

### 3.1. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA MÁY ĐO

Máy đo và các thiết bị mẫu là các thiết bị đo để thực hiện các yêu cầu về đo lường. Thông thường thì dựa vào phương pháp phân tích tham số và đặc tính của đại lượng đo, phương pháp và công nghệ cảm biến, phương pháp và kỹ thuật điện tử, Kỹ thuật xử lý tín hiệu, phương pháp và công nghệ chỉ thị mà hình thành nên các phương pháp đo khác nhau. Bản thân máy đo đã là một mạch đo được cấu trúc theo một hoặc một vài phương pháp đo để đo lường một đại lượng nào đó. Sự phát triển của Máy đo phụ thuộc rất nhiều vào sự phát triển của các mảng lý thuyết và kỹ thuật, công nghệ trên.



Dựa vào các đối tượng chính mà đo lường điện tử cần giải quyết, thì các máy đo có thể phân loại tổng quát thành các nhóm máy đo như sau:

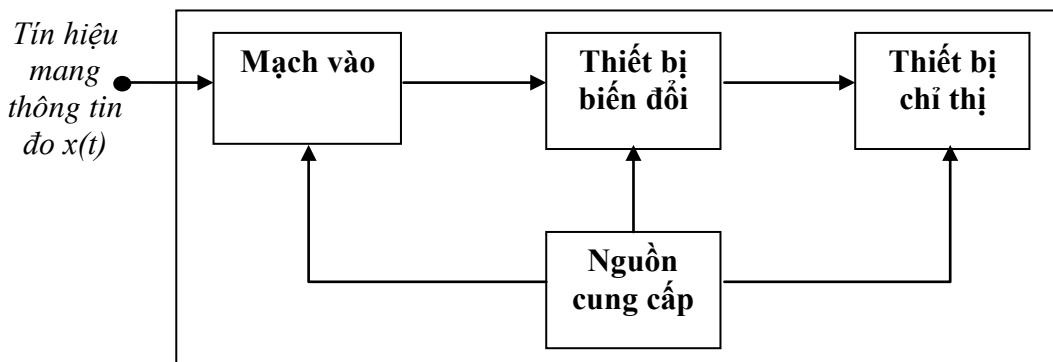
Máy đo tham số và đặc tính của tín hiệu.

Máy đo tham số và đặc tính của mạch điện tử.

Máy tạo tín hiệu.

Các linh kiện đo lường

### 3.1.1. Máy đo tham số và đặc tính của tín hiệu:



Hình 3.1 – Cấu trúc máy đo tham số và đặc tính của tín hiệu.

Nhiệm vụ chính của máy đo này là xác định được tham số và đặc tính của tín hiệu điện. Các tham số và đặc tính của tín hiệu điện này có thể là đại lượng cần đo hoặc chúng lại gián tiếp mang thông tin đo cho một đại lượng điện hay phi điện khác. Các máy đo thuộc loại này ví dụ như: Vôn mét; Ampe mét; Máy đếm tần; Pha mét; Ô-xi-lô; Máy phân tích méo dạng; Máy phân tích phổ; Máy phân tích luồng thông tin (Phân tích giao thức)... Loại máy đo này đều có cấu trúc chung như Hình 3.1.

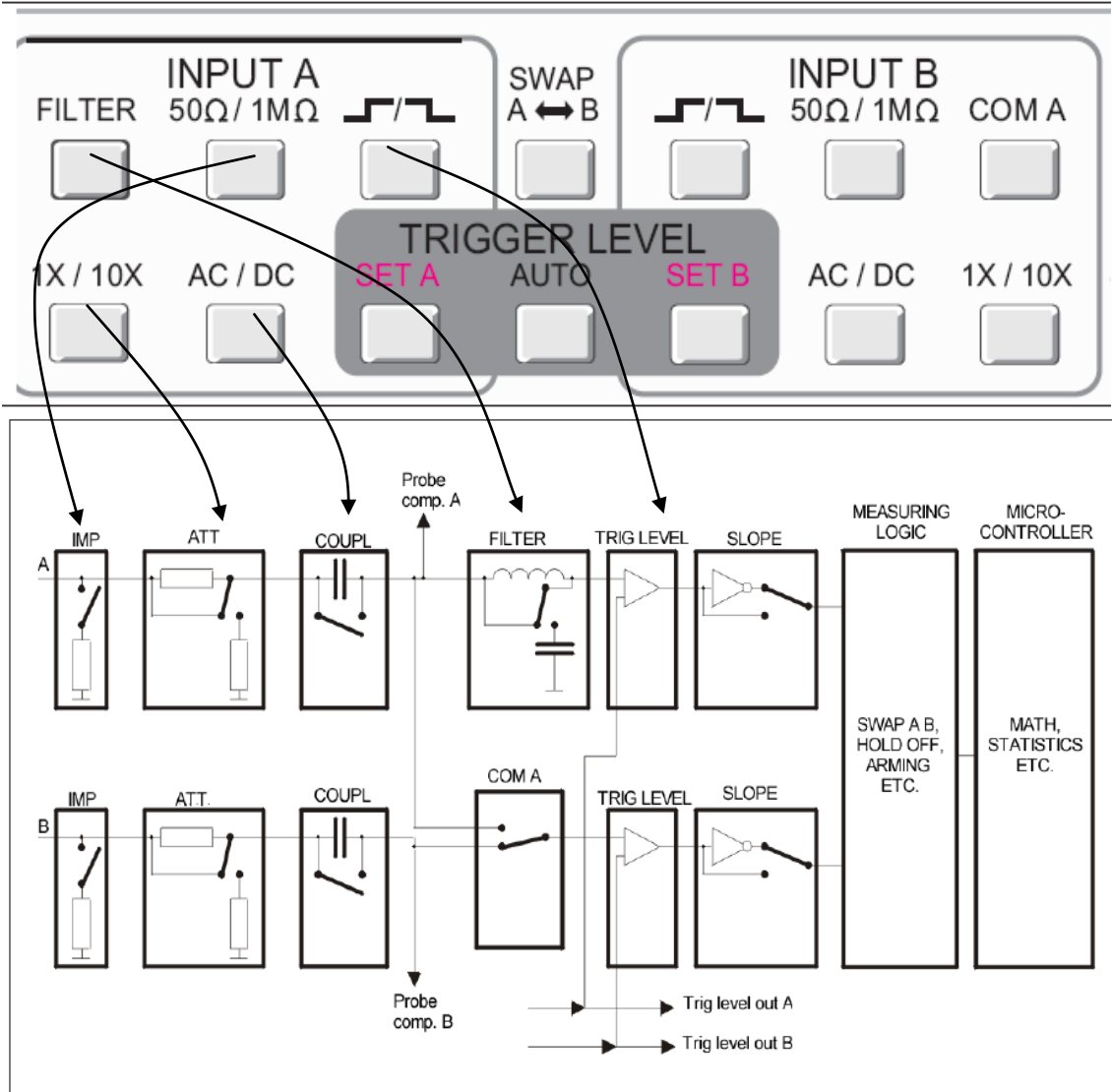
- Tín hiệu điện  $x(t)$  mang thông tin cần đo cần đưa tới đầu vào.

- **Mạch vào: (Signal Condition)** Có nhiệm vụ nhận tín hiệu và truyền dẫn tín hiệu tới *Thiết bị biến đổi*. Ngoài ra còn có chức năng thực hiện tiền xử lý tín hiệu vào như tiền khuếch đại, suy

giảm, giới hạn băng tần, lọc nhiễu, phối hợp trở kháng,... nhưng không làm mất thông tin đo. Mạch vào thường là bộ KĐ phụ tải catốt (Zvào cao), thực hiện phối hợp trở kháng, có các bộ suy giảm, bộ dây làm chậm... Nhiều chức năng mạch vào có được lựa chọn bởi người sử dụng thông qua những chuyển mạch, công tác điều chỉnh đưa đưa ra ngoài mặt máy đo. Mạch vào quyết định mức độ ảnh hưởng của máy đo với chế độ công tác của đối tượng đo. Ở phạm vi tần số thấp và cao thì đặc tính này được biểu thị bằng trở kháng vào của máy. Ở siêu cao tần thì đặc tính này được biểu thị bằng công suất mà máy đo hấp thụ được.

- **Thiết bị biến đổi:** Đây là bộ phận trung tâm của máy đo, có nhiệm vụ thực hiện so sánh, biến đổi và phân tích tín hiệu theo một thuật toán nào đó để đánh giá được tham số và đặc tính cần đo mang trong tín hiệu, xác định mối qua hệ giữa thang chỉ thị của thiết bị chỉ thị và đại lượng đo và tạo ra tín hiệu phù hợp đưa tới Thiết bị chỉ thị. Trong bản thân thiết bị này có thể tạo ra tín hiệu cần thiết để so sánh tín hiệu cần đo với tín hiệu mẫu. Có thể phân tích tín hiệu đo về biên độ, tần số, hay chọn lọc theo thời gian. Thường là các mạch khuếch đại, tách sóng, biến đổi dạng điện áp tín hiệu, chuyển đổi dạng năng lượng, tín toán xử lý tín hiệu tương tự và số ...

- **Thiết bị chỉ thị:** để biểu thị kết quả đo dưới dạng sao cho thích hợp với giác quan giao tiếp của sinh lí con người, hay đưa ra những thông tin phù hợp để đưa vào bộ vào bộ phận điều chỉnh, tính toán,... Ví dụ các dạng thiết bị chỉ thị như: Các cơ cấu chỉ thị, Ống tia điện tử, cơ cấu chỉ thị số dùng LED 7 đoạn hay LCD 7 đoạn...

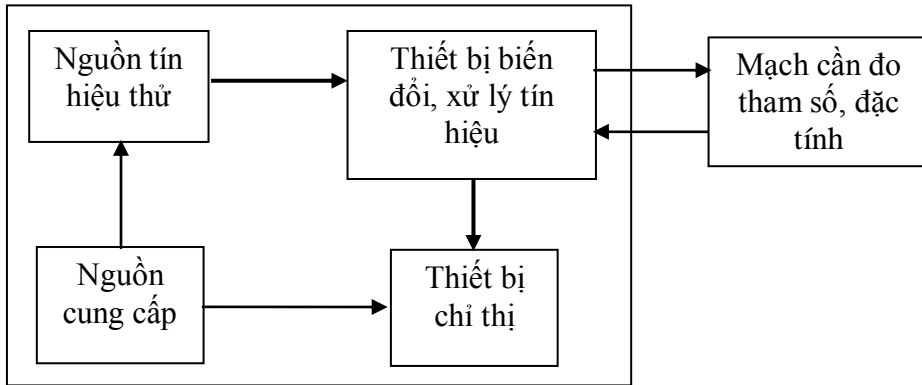


Hình 3.2 - Ví dụ về mối qua hệ giữa các phím điều khiển và mạch vào của máy đo.

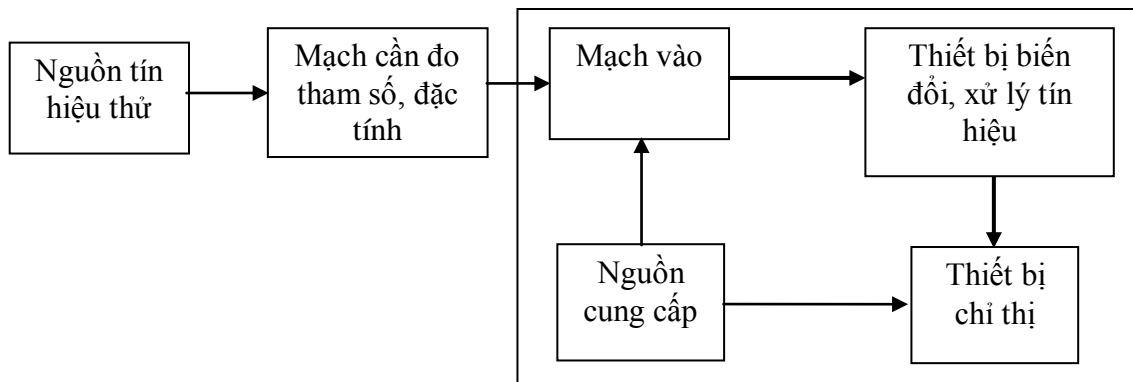
- **Nguồn cung cấp:** cung cấp năng lượng cho máy, và còn làm nguồn tạo tín hiệu chuẩn.

Các loại máy đo thuộc nhóm này thì thực hiện theo phương pháp đo trực tiếp, kết quả đo có thể được đọc thẳng hay thông qua phép đo so sánh với đại lượng mẫu.

### 3.1.2. Máy đo tham số và đặc tính của mạch điện:



(a) – Cấu trúc máy đo tham số và đặc tính của mạch có nguồn tín hiệu



(a) – Cấu trúc máy đo tham số và đặc tính của mạch có nguồn tín hiệu thử độc

*Hình 3.3 – Cấu trúc máy đo tham số và đặc tính của mạch*

Mạch điện cần đo thông số như: mạng 4 cực, mạng 2 cực, các phần tử của mạch điện, đường truyền dẫn, hệ thống, thiết bị điện tử... Các loại máy đo thuộc nhóm này như: máy đo đặc tính tần số mạch hay thiết bị điện tử; máy đo đặc tính quá độ; máy đo hệ số phẩm chất; đo điện cảm; điện dung; điện trở; máy thử đèn điện tử, linh kiện bán dẫn, hay IC; máy phân tích đường truyền; máy phân tích logic; máy phân tích mạng 4 cực...

Để đo được tham số và đặc tính, thì mạch điện cần phải hoạt động trong chế độ thực hoặc chế độ tín hiệu thử. Máy đo sẽ thực hiện xử lý, phân tích và so sánh tín hiệu ra của mạch với tín hiệu vào mạch để đánh giá được tham số và đặc tính nào đó của mạch.

Tín hiệu thử mạch thường được tạo hay được điều khiển bởi chính máy đo. Nguồn tín hiệu thử này có thể được xây dựng kèm theo máy đo hoặc là các thiết bị tạo tín hiệu độc lập, như vậy cấu trúc chung của các loại máy đo thuộc nhóm này có 2 dạng khác nhau như Hình 3.3.

Về cơ bản cấu trúc của máy đo tham số và đặc tính của mạch không khác gì nhiều cấu trúc máy đo tham số và đặc tính của tín hiệu, ngoài việc có sử dụng thêm nguồn tín hiệu thử. Máy đo tạo tín hiệu thử phù hợp với yêu cầu đo và đưa tới mạch cần đo, sau đó nhận tín hiệu ra của mạch và thực hiện đo tham số của tín hiệu này hay so sánh với tham số của tín hiệu thử từ đó đánh giá được tham số và đặc tính nào đó của mạch điện cần đo.

### **3.1.3. Máy tạo tín hiệu đo lường**

Nhóm máy này cũng bao gồm nhiều loại, chúng tạo tín hiệu chuẩn (mô phỏng được các dạng tín hiệu trong thực tế) sử dụng khi cần kiểm chuẩn trong đo lường, để nghiên cứu và điều chỉnh thiết bị. Kết hợp với các máy đo khác để đo tham số và đặc tính của mạch điện tử, hệ thống điện tử. Các dạng tín hiệu chuẩn thường được tạo ra như: Tín hiệu hình sin, các dạng tín hiệu xung, tín hiệu quét tần số, các dạng tín hiệu điều chế, các dạng tín hiệu số, và các dạng tín hiệu thử khác thường dùng trong đo lường viễn thông...



### 3.1.4. Các linh kiện đo lường

Nhóm này bao gồm các linh kiện lẻ, phụ thêm với máy đo để tạo nên các mạch đo cần thiết. Chúng là các linh kiện tiêu chuẩn cao để làm mẫu (như điện trở, điện cảm, điện dung mẫu), hay các linh kiện để ghép giữa các bộ phận của mạch đo. Các linh kiện chủ yếu hay dùng ở đo lường siêu cao tần như bộ suy giảm, bộ dịch pha, bộ phân mạch định hướng, các bộ cảm biến công suất ...

## 3.2. CẤU TRÚC CHUNG CỦA MÁY ĐO SỐ

### 3.2.1. Sự tiến triển trong công nghệ chế tạo thiết bị đo

Ngày nay các công nghệ kỹ thuật điện tử tiến tiến nhất đều được đưa vào việc chế tạo thiết bị đo.

Sự phát triển của điện tử số và công nghệ chế tạo vi mạch cho phép chế tạo nhiều vi mạch tích hợp cao như VLSI. Điển hình là các bộ vi xử lý với khả năng tính toán cao ra đời đã làm thay đổi quan niệm, công nghệ và cơ cấu, tính năng của thiết bị đo lường điện tử.

Các thiết bị đo sử dụng công nghệ số hiện nay khác với thiết bị đo tương tự chỉ thị kim, ống tia điện tử... chủ yếu là ở phương pháp biến đổi và xử lý tín hiệu mang thông tin đo của đại lượng cần đo.

- **Thiết bị đo tương tự:** Là thiết bị đo biến đổi liên tục các đại lượng cần đo, để kết quả hiển thị ở đầu ra cũng biến đổi liên tục, tương tự như các giá trị đầu vào. Việc xử lý tín hiệu và đo lường được thực hiện bằng các mạch điện tử tương tự.

- **Thiết bị đo số:** Thiết bị đo biến đổi giá trị của đại lượng cần đo thành hệ các giá trị rời rạc để thực hiện xử lý và hiển thị kết quả ở đầu ra.

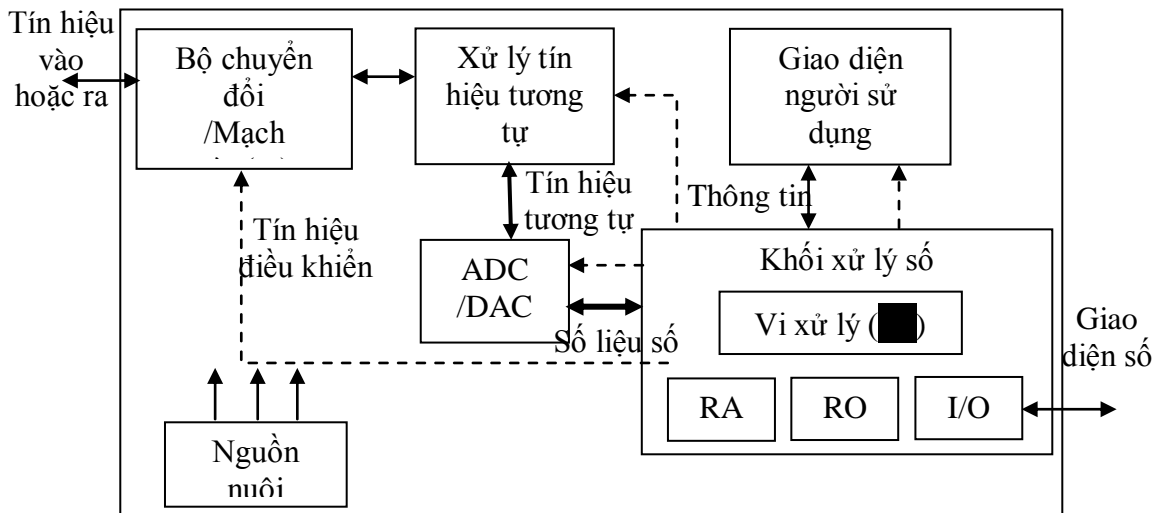
Vấn đề tin học hóa phương pháp đo, số hoá cấu trúc thiết bị đo đã làm thay đổi chất lượng của quá trình đo lường, mà điều quan trọng hơn cả là nâng cao được về độ chính xác của thiết bị đo và tự động hóa được quá trình đo.

Các thiết bị đo lường số đang có xu hướng dần thay thế các thiết bị đo tương tự. Tuy vậy, các thiết bị đo số vẫn còn có những hạn chế do chính phương pháp đo số và cấu trúc cơ sở của mạch đo gây ra (ví dụ như sai số do không đồng bộ, sai số do độ trễ của các phần tử logic, và sai số lượng tử ...).

### 3.2.1. Sơ đồ cấu trúc chung của máy đo số

Máy đo số hiện nay thường được thiết kế dựa trên các hệ vi xử lý, hay hệ vi điều khiển có cấu trúc như một máy tính chuyên dụng. Sơ đồ cấu trúc tổng quát của một thiết bị đo số (cả máy đo và thiết bị tạo tín hiệu) như sau:

Trong số đồ trên, tín hiệu mang thông tin đo hoặc tín hiệu tạo ra được đưa vào hoặc đưa ra từ bộ chuyển đổi /Mạch vào(ra).



Hình 3.5 – Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo số

- **Bộ chuyển đổi** (Transducer)/ **Mạch vào(ra)**: Biến đổi các đại lượng phi điện thành đại lượng điện, hoặc biến đổi các dạng năng



lượng ở đầu vào thành tín hiệu điện... Nếu đầu vào hoặc đầu ra là tín hiệu điện thì đó là khối Mạch vào, còn nếu là thiết bị tạo tín hiệu thì đó là Mạch ra. Ví dụ các bộ chuyển đổi dùng trong đo lường như sau: Cặp nhiệt điện, Điện trở nhiệt, tinh thể áp điện (biến đổi áp suất thành điện áp), biến đổi công suất siêu cao tần thành tín hiệu điện, các loại bộ cảm biến sensor...

- **Khối xử lý tín hiệu tương tự:** Thực hiện các tiền xử lý với tín hiệu tương tự khuếch đại, lọc nhiễu, phối hợp trở kháng, đổi tần, phân áp, suy giảm, khuếch đại công suất, lấy mẫu và giữ mẫu... Sử dụng những mạch riêng biệt để tách những đặc tính riêng trong dạng tín hiệu vào và có thể có chức năng quan trọng nữa là so sánh tín hiệu tương tự với một tín hiệu chuẩn tương tự, tạo ra tín hiệu có tỉ lệ biên độ, tần số, dạng ... phù hợp với đầu vào của tầng tiếp theo.

- **ADC/DAC:** Trong trường hợp là thiết bị đo thì thực hiện chức năng ADC - biến đổi tín hiệu tương tự - tín hiệu số. Còn trong trường hợp máy tạo tín hiệu thì thực hiện chức năng DAC - biến đổi tín hiệu số thành tín hiệu tương tự.

- **Khối xử lý tín hiệu:** bản chất như một máy tính chuyên dụng (gồm có các bộ vi xử lý, bộ nhớ và giao diện vào ra I/O) được thiết kế phù hợp với những yêu cầu điều khiển và tính toán trong máy đo. Khối này có thể có một hay nhiều bộ vi xử lý, bộ vi điều khiển, bộ xử lý tín hiệu số DSP... để thực hiện việc điều khiển chung cho máy đo và thực hiện tính toán số liệu thô từ ADC. Số liệu này sẽ được tính toán thành các thông tin đo lường theo một thuật toán nào đó. Các thao tác xử lý tín hiệu số chủ yếu ở khối này có thể là:

+ Chọn lọc thông tin: ví dụ như tính toán biên độ, chu kỳ tín hiệu...

+ Chuyển đổi các thông tin trên thành dạng có ý nghĩa hơn ví dụ như thực hiện DFT biến đổi số liệu biểu diễn trong miền thời gian thành số liệu biểu diễn trong miền tần số.

+ Kết hợp với những thông tin thích hợp.

+ Định dạng thông tin cho truyền thông qua giao diện thông tin: giao diện người sử dụng, giao diện máy tính..., ví dụ như số liệu 3 chiều có thể miêu tả bằng màn hình 2 chiều ...

Chức năng khác của khối này là ứng dụng những hệ số chuẩn hóa cho số liệu, thực hiện kết hợp bù sai số, hệ số chuẩn hóa với thông tin để làm tăng độ chính xác, độ tuyến tính, độ tin cậy của phép đo. Bên cạnh đó khối này còn thực hiện điều khiển các khối khác.

- **Giao diện người sử dụng:** Thực hiện chỉ thị các kết quả đo, hay nhận các thao tác điều khiển thiết bị từ người sử dụng như điều khiển từ bàn phím, nút xoay, chuột..., yêu cầu của khối này là phải hiển thị kết quả dễ dàng cho người sử dụng, tránh hiểu sai thông tin đưa ra bởi máy đo. Màn hình chỉ thị thường dùng cơ cấu chỉ thị số như màn hình LCD với nhiều số và nhiều dòng văn bản, màn hình ma trận, màn hình ống tia điện tử ...

- **Giao diện số:** Ví dụ như RS232, Ethernet, USB hay một số chuẩn giao diện số đặc biệt dùng trong đo lường như GPIB..., cho phép truyền thông tin giữa máy đo với máy tính hay với các máy đo khác trong hệ thống thông tin đo lường. Các chuẩn giao diện này quy định khuôn dạng thông tin, ngôn ngữ điều khiển, cấu trúc dữ liệu để thực hiện trao đổi thông tin và điều khiển giữa máy đo và máy tính.

### **3.2.3. Ưu điểm của máy đo số**

#### **+ Tăng chức năng đo cho thiết bị**

Những máy đo nhiều chức năng không có vi xử lý trước đây, phải chuyển chức năng đo bằng chuyển mạch, quy **tình** đã được chế tạo cố định, nên không thay đổi được, vì phần cứng và mạch logic là cố định.

Khi có sử dụng vi xử lý, thì có thể đổi thiết bị đang năng chế tạo bằng các mạch logic cố định trước đây thành thiết bị đo có chương trình hóa, bằng cách cài đặt chương trình điều hành trong các bộ nhớ ROM khác nhau.

Các máy đo có lưu trữ chương trình như vậy đã làm tăng khả năng mềm dẻo của máy thỏa mãn yêu cầu đo mà không phải thay đổi mạch điện.

Đồng thời, logic chương trình hóa cũng đã làm giảm đáng kể giá thành của máy đo.

#### **+ Nâng cao độ chính xác đo lường**

Độ chính xác của thiết bị đo phụ thuộc vào cấp chính xác của nó. Sai số của thiết bị còn phụ thuộc vào đặc tính đo lường của thiết bị đo đó. Có nhiều cách để nâng cao độ chính xác, xong với bản thân máy đo thì ở khả năng như:

Thực hiện tự loại bỏ sai số hệ thống, ví dụ khả năng tự động xác định điểm không khi bắt đầu đo.

Thực hiện tự chuẩn, tử thử được chính xác. Khả năng này còn có sai số ngẫu nhiên, nên cần phải thực hiện đo nhiều lần và lấy trung bình thống kê các kết quả đo.

Máy đo số dùng vi xử lý có khả năng thực hiện các yêu cầu trên.

**+ Mở rộng khả năng đo**

Cấu trúc của máy đo số cho phép mở rộng và phát triển khả năng đo lường của máy để thích hợp với các dạng yêu cầu khác nhau của kỹ thuật đo, ví dụ yêu cầu đo gián tiếp một đại lượng vật lý nào đó.

Một đại lượng vật lý phải đo gián tiếp thì được thực hiện thông qua tính toán bằng những quan hệ toán học giữa các đại lượng đo trực tiếp, ví dụ: Hệ số khuếch đại của một mạch được tính toán từ các trị số đo của điện áp đầu vào và đầu ra. Tổng quát hơn, một đại lượng vật lý  $R$  cần đo có mối quan hệ với các đại lượng  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (mà các đại lượng này có thể đo trực tiếp được):  $R=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Với máy đo số có thể thiết kế để cho phép đo các đại lượng khác nhau đó, mỗi phép đo có thể được chương trình hóa và lưu vào bộ nhớ chương trình, việc lưu trữ kết quả và thực hiện tính toán cũng dễ dàng, đặc biệt là với tốc độ tính toán của Vi xử lý hiện nay.

**+ Điều khiển đơn giản**

Máy đo số có thể thực hiện nhiều chức năng, tuy nhiên những chức năng đó đã được chương trình hóa và việc điều khiển được thực hiện tự động, nên mặt máy cũng đã được đơn giản đi nhiều.

Một thiết bị đo càng thông minh nếu như nó càng ít đi sự điều khiển từ người sử dụng. Sự đơn giản điều khiển của máy đo có vi xử lý rõ nét hơn cả là sự tự động chọn cấu hình máy đo như chọn chức năng đo, chọn thang đo, chọn khoảng thời gian chuẩn, chọn các điều kiện thao tác. Một số thiết bị đo còn có thiết bị báo lỗi khi người đo có nhầm lẫn và có hướng dẫn cách thực hiện đúng trên màn hiển thị của máy.

+ ***Thực hiện được các phép tính mong muốn cho kết quả đo***

Nhiều trường hợp người đo mong muốn thực hiện một hàm số toán học nào đó cho kết quả đo hơn là chỉ biết bản thân kết quả riêng biệt. Máy đo có vi xử lý cho khả năng chương trình hóa để thực hiện các biến đổi kết quả này. Như các yêu cầu hiệu chỉnh kết quả, xác định sai số, biến đổi đơn vị đo, tạo mối quan hệ tuyến tính, hay thực hiện phân tích thông kê đo lường.

+ ***Có tối thiểu hóa cấu hình thiết bị***

Nhờ khả năng chương trình hóa và khả năng tích hợp vi mạch với mật độ cao nên cấu hình phần cứng của máy đo giảm nhỏ.

+ ***Máy đo có giá thành ngày càng giảm***

Giá hạ do cấu hình thiết bị nhỏ, giá thành chế tạo giảm nhỏ, nhưng chức năng lại tăng

+ ***Có thể nâng cao được độ tin cậy***

Cấu hình phần cứng giảm nhỏ, sử dụng ít linh kiện nên độ tin cậy tăng lên.

+ ***Giảm thời gian đo***

Vì có thư viện mẫu, các chương trình con, nên thao tác phần mềm đã làm đơn giản, thời gian tính toán các thuật toán phức tạp cũng giảm. Tính thông minh của máy làm giảm bớt thời gian điều khiển máy của người đo.

+ ***Phối hợp tổ chức được trong hệ thống đo, mạng đo***

Máy đo có thêm các card ghép nối, cho phép tổ chức thành một hệ thống đo hay một mạng đo của nhiều máy đo riêng biệt.

### **3.3. THIẾT BỊ ĐO GHÉP NỐI VỚI MÁY TÍNH**

Các hệ thống đo lường ghép nối với máy tính đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng. Các hệ thống này được sử dụng rất nhiều lý do: Quá trình điều khiển đo nhanh hơn, quá trình

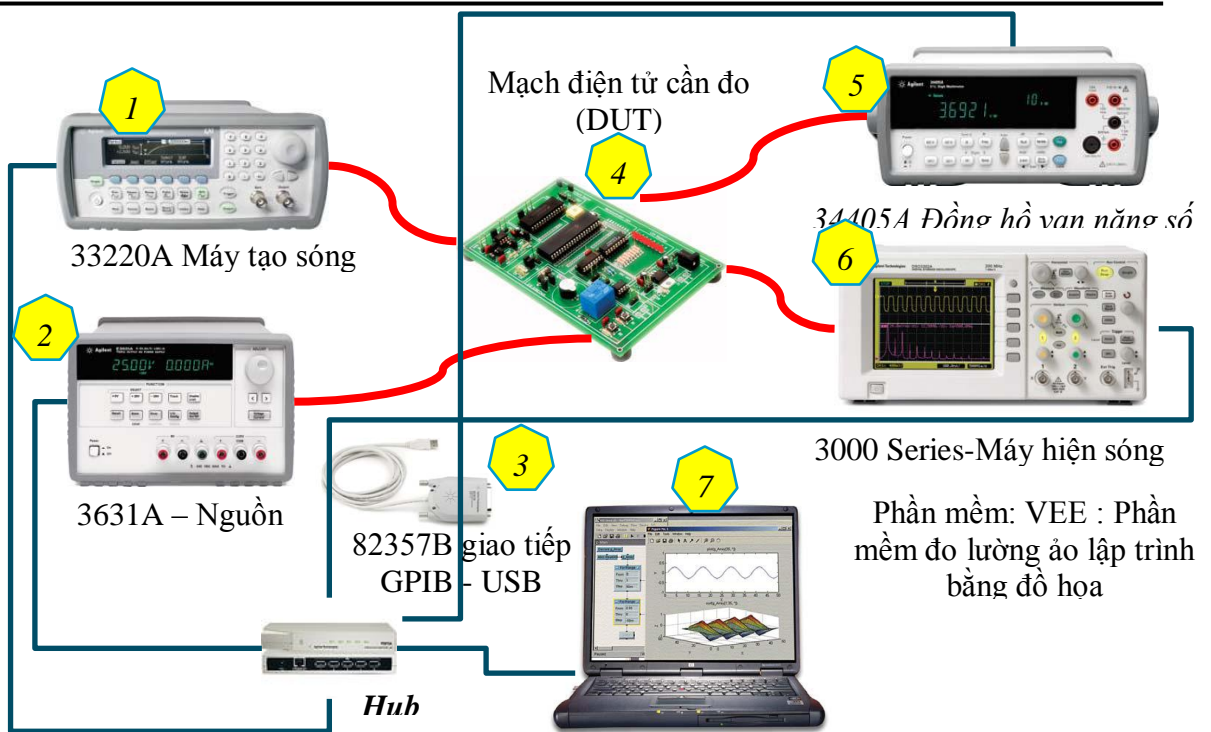
tự động hóa cao hơn, chính xác hơn, giảm nhỏ sai lầm của người sử dụng. Nhiều phép đo, quá trình đo phức tạp có thể được thực hiện nhờ sự trợ giúp của máy tính. Có nhiều mức độ điều khiển khác nhau của máy tính đến máy đo, đến hệ thống đo. Nhiều máy đo có vai trò như là hệ thống thu thập số liệu hay đo lường đa năng, phần mềm cài đặt trên máy tính vừa có nhiệm vụ điều khiển máy đo vừa thu thập số liệu, cũng như vừa có nhiệm vụ tính toán, phân tích, đo lường, đánh giá số liệu thu nhận được từ máy đo và biểu diễn kết quả dưới dạng mong muốn của người sử dụng. Máy tính còn có vai trò điều khiển từ máy đo, thu thập kết quả từ nhiều máy đo khác nhau trong hệ thống đo lường và thực hiện phân tích kết quả đo lường của hệ thống đo đó... Hệ thống thu thập số liệu - DAS là một mô hình hệ thống đo ghép nối với máy tính điển hình, quá trình đo lường được thực hiện chủ yếu trên phần mềm.

Các mô hình ghép nối máy đo với máy tính điển hình như Hình 3.6:

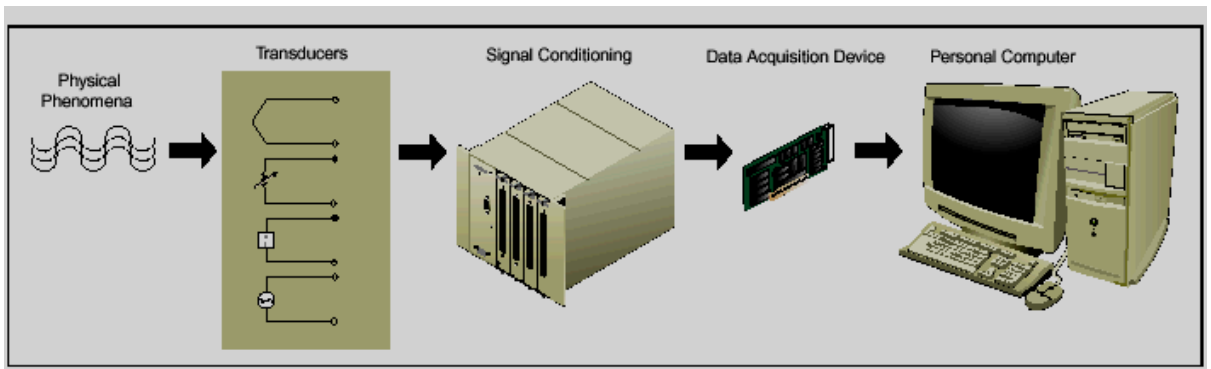
- Máy đo được ghép nối với máy tính
- Nối mạng các máy đo thành hệ thống đo lường
- Hệ thống thu thập số liệu DAS



(a) – Máy đo được ghép nối với máy tính



(b) - Nối mạng các máy đo thành hệ thống đo lường

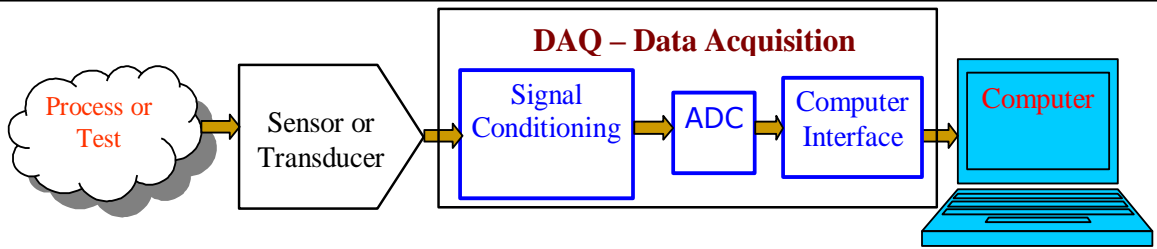


(c) – Hệ thống thu thập số liệu DAS

Hình 3.6 - Hệ thống đo ghép nối với máy tính

### + Hệ thống thu thập số liệu

Hệ thống thu thập số liệu DAS (*Data acquisition (DAQ) systems*) là hệ thống thu thập tín hiệu đo lường từ nhiều nguồn khác nhau, thực hiện số hóa rồi thực hiện lưu trữ, phân tích, đo lường, đánh giá, và biểu diễn trên máy tính. DAS gồm các thành phần chính như Hình 3.7:



Hình 3.7 - Hệ thống thu thập số liệu DAS

1. Sensor or Transducer - Thiết bị cảm biến hoặc Chuyển đổi:

Thu nhận các đại lượng vật lý trong thực tế cần đo như nhiệt độ, cường độ sáng, áp suất, lực cơ học, v.v.., thực hiện biến đổi các đại lượng vật lý phi điện đó thành tín hiệu điện có thể đo được như tín hiệu điện áp hoặc tín hiệu dòng điện. Khái niệm Cảm biến và Chuyển đổi đồng nghĩa với nhau trong hệ thống DAS. Có nhiều dạng Thiết bị Chuyển đổi khác nhau, bảng sau giới thiệu một số loại thiết bị Chuyển đổi cho các đại lượng vật lý phổ biến:

<b>Đại lượng</b>	<b>Thiết bị chuyển đổi</b>
<i>Nhiệt độ</i>	<i>Cặp nhiệt điện, RTD, Điện trở nhiệt</i>
<i>Ánh sáng</i>	<i>Cảm biến ánh sáng</i>
<i>Âm thanh</i>	<i>Microphone</i>
<i>Lực và Áp lực</i>	<i>Strain Gage Chuyển đổi áp điện</i>
<i>Vị trí và độ dịch chuyển</i>	<i>Potentiometer, LVDT, Optical Encoder</i>
<i>Gia tốc</i>	<i>Accelerometer</i>
<i>pH</i>	<i>pH Electrode</i>



2. *Signal Conditioning – Thiết bị gia công thông tin đo (Gọi tắt là Thiết bị Mạch vào)*: Sau thiết bị cảm biến thường yêu cầu có thiết bị gia công thông tin đo để gia công tín hiệu đo phù hợp, chính xác hơn trước khi đưa tới thiết bị số hóa. Thiết bị này có thể bao gồm nhiều chức năng như: khuếch đại tín hiệu, suy hao, lọc nhiễu, cách ly điện, ghép kênh tín hiệu tương tự ... Ngoài ra nhiều loại thiết bị chuyển đổi còn yêu cầu có tín hiệu điện áp hoặc dòng kích thích, hoàn chỉnh mạch cầu, thực hiện tuyến tính hóa, hay khuếch đại để tăng sự chính xác và sự hoàn hảo của thiết bị chuyển đổi. Như vậy Thiết bị mạch vào có vai trò quan trọng trong hệ thống thu thập số liệu nói riêng trong các hệ thống đo số nói chung. Thiết bị mạch vào được thiết kế dưới dạng module độc lập hoặc các card ghép nối với máy tính, tham khảo Hình 3.8.



Hình 3.8 - Các loại thiết bị mạch vào

Mỗi loại Cảm biến hay thiết bị chuyển đổi có yêu cầu về chức năng của Thiết bị mạch vào khác nhau. Bảng sau là đặc tính điện của các loại thiết bị cảm biến phổ biến và yêu cầu của thiết bị mạch vào cơ bản:

**Bảng 3.1 – Các loại thiết bị cảm biến thông dụng**

Sensor	Đặc tính điện	Yêu cầu mạch vào
Thermocouple (Cặp nhiệt điện)	Đầu ra điện áp thấp Độ nhạy thấp Đầu ra phi tuyến	Cảm biến nhiệt chuẩn Mạch khuếch đại hệ số lớn Mạch tuyến tính hóa
RTD	Trở kháng thấp (phổ biến 100 $\Omega$ ) Độ nhạy thấp Đầu ra phi tuyến	Yêu cầu dòng kích thích Cấu hình 4-dây/3-dây Mạch tuyến tính hóa
Strain gauge	Thiết bị trở kháng thấp Độ nhạy thấp Đầu ra phi tuyến	Yêu cầu dòng hoặc điện áp kích thích Mạch khuếch đại hệ số lớn Các nhánh cầu Mạch tuyến tính hóa Điện trở sơn tiêu chuẩn
Thermistor (Điện trở nhiệt)	Điện trở Trở kháng và độ nhạy cao Đầu ra phi tuyến	Cần dòng và điện áp kích thích với các điện trở chuẩn Mạch chỉnh tuyến tính
Active Accelerometers	High-level voltage or current output Linear output	Power source Moderate amplification
AC Linear Variable Differential Transformer (LVDT)	AC voltage output	AC excitation Demodulation Linearization

3. *Data Acquisition Device* - Thiết bị thu thập số liệu: Đây là thiết bị phần cứng thực hiện ghép nối máy tính với thế giới bên

ngoài. Thiết bị thu thập số liệu có nhiệm vụ chủ yếu là số hóa tín hiệu tương tự (biến đổi ADC) và tạo ra chuẩn giao tiếp số với máy tính.

Thiết bị thu thập số liệu và Thiết bị mạch có thể được chế tạo riêng, tuy nhiên cũng có thể được ghép chung và gọi là Bộ thu thập số liệu DAQ.

4. *Máy tính cài phần mềm điều khiển và đo lường*: Máy tính được ghép nối với Thiết bị thu thập số liệu thông qua các chuẩn giao tiếp số điển hình như GPIB, USB, Ethernet, RS232, RS485, .... và được các phần mềm điều khiển thiết bị cũng như phần mềm đo lường. Các quá trình lưu trữ số liệu cũng như thực hiện xử lý số liệu, tính toán đo lường, cũng như hiển thị kết quả được thực hiện trên phần mềm đo lường đó. Ngoài ra hiện nay có có nhiều phần mềm cho phép người sử dụng lập trình để tạo ra các chức năng điều khiển và đo lường mới, điển hình nhất là phần mềm LABVIEW của NI.

### **3.4. MỘT SỐ MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG TÍN HIỆU ĐO CƠ BẢN**

Trong kỹ thuật đo lường điện tử, quá trình đo lường được thực hiện nhờ mạch đo lường và gia công tín hiệu. Chúng là các mạch điện thực hiện việc thu nhận tín hiệu đo, biến đổi, gia công, so sánh, tính toán ... tín hiệu đo và được phối hợp với nhau trong một hệ vật lý thống nhất tạo ra các thiết bị đo, máy đo, hệ thống đo.

Theo chức năng của các mạch đo và gia công tín hiệu ta có thể phân loại thành nhiều loại mạch đo như sau:

- *Mạch tỉ lệ*: Mạch thực hiện một phép nhân, hoặc chia tín hiệu với hệ số  $k$ , ví dụ như: Mạch suy giảm (mạch phân áp, chia dòng), biến áp, biến dòng, mạch ghép và chia công suất, v.v..

- *Mạch khuếch đại*: Cũng giống như mạch tỉ lệ, mạch khuếch đại có nhiệm vụ nhân thêm tham số nào đó của tín hiệu với một hệ số K (hệ số khuếch đại), tuy nhiên ở mạch khuếch đại thì công suất ra lớn hơn công suất vào (điều này ngược với mạch tỉ lệ), nghĩa là đại lượng đầu vào điều khiển đại lượng ra).

- *Mạch gia công và tính toán*: bao gồm các mạch thực hiện các phép tính đại số như cộng, trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân, v.v..

- *Mạch so sánh tương tự*: là mạch so sánh giữa 2 điện áp.

- *Mạch cầu*.

- *Mạch tạo hàm*: Là mạch tạo ra những hàm số theo yêu cầu của phép đo nhằm mục đích tuyến tính hóa các đặc tính của tín hiệu đo ở đầu ra các bộ phận cảm biến, ví dụ như các mạch bình phương, lũy thừa (exp), logarit (log), v.v..

- *Mạch biến đổi A/D, D/A, mạch S&H (lấy mẫu và giữ mẫu)*.

- *Mạch lọc và mạch cộng hưởng tương tự*.

- *Mạch số và vi xử lý*.

...

Mạch điện được sử dụng trong đo lường điện tử rất đa dạng, một số mạch đo đặc thù trong đo lường mới được trình bày trong phần này.

### **3.5. CƠ CẤU CHỈ THỊ ĐO LƯỜNG**

Cơ cấu chỉ thị đóng một vai trò quan trọng trong thiết bị đo, nó có nhiệm vụ hiển thị chính xác kết quả đo dưới dạng phù hợp với khả năng nhận biết của con người. Cơ cấu chỉ thị cũng ảnh hưởng đến độ chính xác, tốc độ của máy đo... Trong thực tế có nhiều dạng cơ cấu chỉ thị khác nhau dùng cho đo lường, mỗi loại cơ cấu đo có những ưu nhược điểm khác nhau về kỹ thuật đo, giá

thành, về công nghệ chế tạo... Các loại cơ cấu chỉ thị phổ biến như sau:

- + Các cơ cấu chỉ thị kim.
- + Ống tia điện tử CRT
- + Cơ cấu chỉ thị số (dùng LED 7 đoạn hay LCD 7 đoạn).
- + Màn hình ma trận (LED, LCD, Flasma, OLED...).

### **3.5.1 Cơ cấu chỉ thị kim (Cơ cấu đo điện cơ bản - CCD)**

Cơ cấu chỉ thị kim hay còn gọi là cơ cấu đo điện cơ bản (CCĐ) dùng nhiều trong các thiết bị đo điện (như đo dòng điện, đo điện áp, đo công suất, đo điện trở, ...) ở tần số thấp. Đây là những dụng cụ đo biến đổi thẳng. Đại lượng điện cần đo  $X$  (dòng điện mang thông tin của đối tượng đo) được biến đổi thành góc quay của phần động (phần có gắn kim chỉ thị)  $\theta$  với phần tĩnh  $\theta_0$  với phần tĩnh  $\theta_0 = f(X)$

#### ***Nguyên lý cấu tạo chung của CCD:***

Cấu tạo của CCD bao gồm 2 thành phần cơ bản : phần tĩnh và phần động. CCD hoạt động theo nguyên tắc biến đổi liên tục điện năng thành cơ năng làm quay phần động của nó. Trong quá trình quay lực cơ sinh công cơ học một phần thắng lực ma sát, một phần làm biến đổi thế năng phần động.

Quá trình biến đổi năng lượng trong CCD như sau: Khi có dòng điện  $I_x$  (hoặc điện áp  $U_x$ ) vào CCD sẽ có sự biến đổi thành năng lượng điện từ  $W_e$ ,  $W_e$  tạo ra sự tương tác với phần động và phần tĩnh và tạo ra Momen quay  $M_q$  làm quay phần động một góc  $\theta$  tỷ lệ với  $f(I_x)$  hoặc  $f(U_x)$ .

Giả sử cơ cấu đo có  $n$  phần tĩnh điện (mang điện tích) và  $n$  cuộn dây.

Thông thường điện áp được đưa vào cuộn dây. Năng lượng điện từ sinh ra được xác định như sau:

$$W_e = \frac{1}{2} \sum_{i,j} C_{ij} U_{ij}^2 + \sum_i L_i I_i^2 + \sum_{i,j} M_{ij} I_i I_j$$

Trong đó:

- +  $i$  : cuộn dây thứ  $i$ .
- +  $j$  : phần tử mang điện tích thứ  $j$ .
- +  $C_{ij} U_{ij}^2$  điện áp và điện dung giữa 2 phần tử tích điện  $i$  và  $j$ .
- +  $I_i I_j$  : dòng điện trong các cuộn dây  $i$  và  $j$ .
- +  $L_i$ : điện cảm của cuộn dây  $i$
- +  $M_{ij}$ : hồ cảm giữa hai cuộn dây  $i$  và  $j$

Năng lượng điện từ sinh ra và phụ thuộc vào điện áp, điện dung, dòng điện, cuộn cảm, và hồ cảm.

Tương tác giữa phần tĩnh và phần động tạo ra 1 momen quay bằng sự biến thiên của năng lượng từ trên sự biến thiên góc quay.  $M_q = \frac{dW_e}{d\theta}$

Để tạo ra sự phụ thuộc giữa góc quay và giá trị đo, trong khi đo người ta sử dụng thêm lò xo phản kháng để tạo ra momen phản kháng chống lại sự chuyển động của phần động.

$$M_{pk} = D \theta$$

Trong đó:  $D$  là hệ số của lò xo phản kháng,  $\theta$  là góc lệch của kim chỉ thị.

Kim chỉ thị sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng khi:







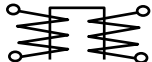

$$M_{pk} = M_q \Rightarrow D \theta = \frac{dW_e}{d\theta} \Rightarrow \theta = \frac{1}{D} \frac{dW_e}{d\theta}$$

$W_e$  : phụ thuộc vào điện áp  $U_x$  , dòng điện  $I_x$  đặt vào cuộn dây.

Biểu thức trên được gọi là phương trình đặc trưng của thang đo, cho ta biết đặc tính của thang đo và tính chất của CCD.

Ngoài 2 momen cơ bản trên, trong thực tế phần độ còn chịu tác dụng của nhiều momen khác như momen ma sát, momen cản dũa, momen động lượng ...

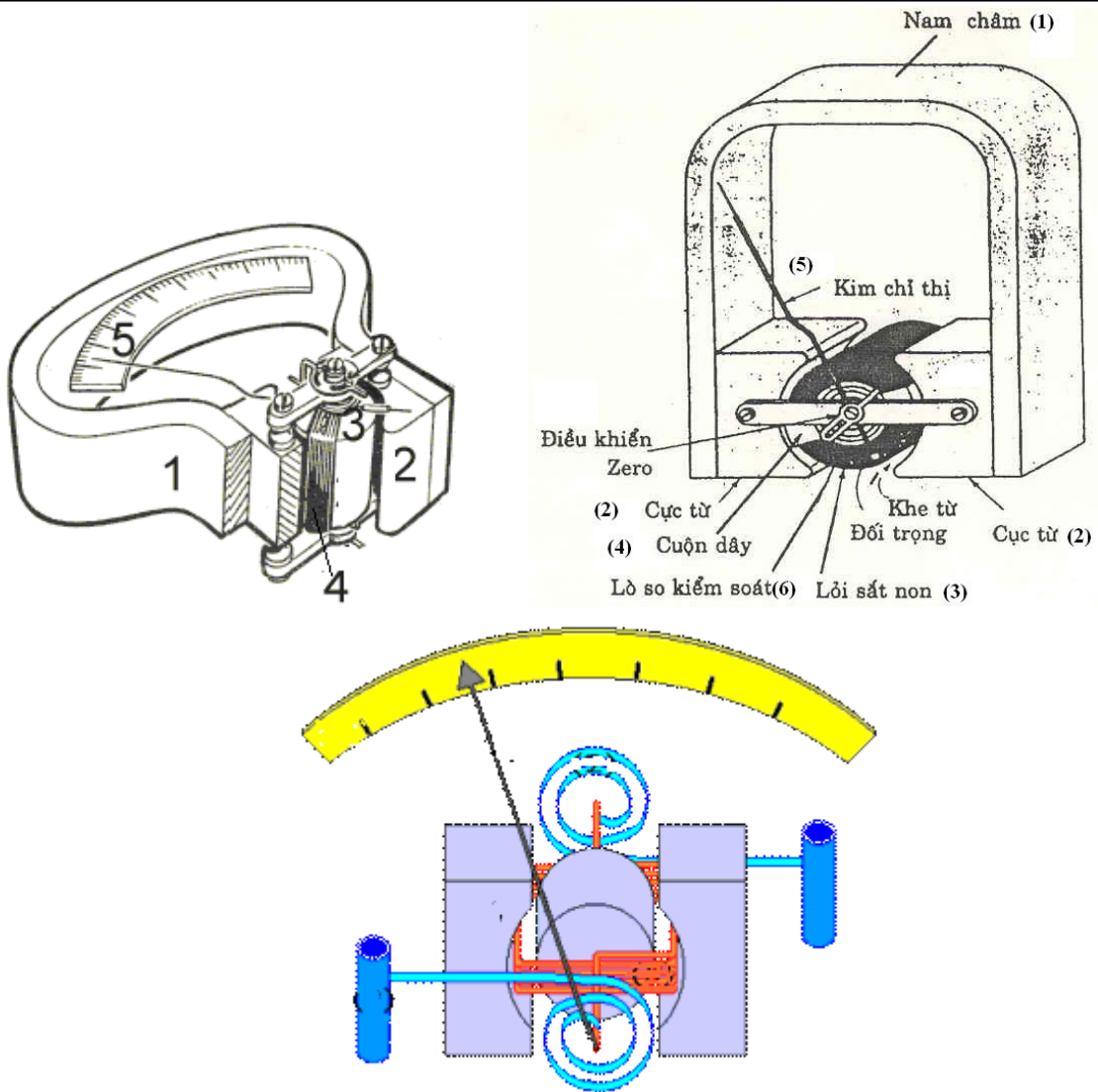
Mỗi dạng cơ cấu đo có cách tạo ra năng lượng điện từ và cách biến đổi thành cơ năng tạo ra momen quay khác nhau. Dựa vào các biến đổi đó người ta phân chia CCD thành các loại khác nhau như sau:

<i>Loại cơ cấu đo</i>	<i>Ký hiệu</i>
<i>Cơ cấu đo từ điện</i>	
<i>Cơ cấu đo điện từ</i>	
<i>Cơ cấu đo điện động</i>	
<i>Cơ cấu đo tĩnh điện</i>	
<i>Cơ cấu đo cảm ứng</i>	
<i>Logô mét điện động</i>	
<i>Logô mét điện từ</i>	
<i>Logô mét từ điện</i>	

**a. Cơ cấu đo từ điện**

Cơ cấu đo từ điện hoạt động theo nguyên lý biến đổi điện năng thành cơ năng tạo ra momen quay nhờ sự tương tác giữa từ trường của 1 nam châm vĩnh cửu và từ trường của dòng điện I qua khung dây động.





Hình 3.9 – Cấu tạo của cơ cấu đo từ điện

### Cấu tạo

Cấu tạo của cơ cấu đo từ điện như hình Hình 3.9, gồm 2 phần cơ bản:

**Phần tĩnh:** Gồm nam châm vĩnh cửu (1) hình chữ U được chế tạo bằng thép đặc biệt như hợp kim Vonfram, hợp kim Crôm, 2 má cực từ (2), lõi sắt từ hình trụ (3). Giữa (2) và (3) tạo thành khe hẹp hình vành khuyên cho phép khung dây quay xung quanh và có từ trường đồng hướng tâm, khe hẹp này có độ từ cảm B đồng đều.

**Phần động:** Gồm :

- *Khung quay (4)* – khung chữ nhật bằng nhôm, trên khung có cuộn dây đồng các điện (cỡ 0,03 mm) cho phép dòng điện I chạy qua. Toàn bộ khối lượng khung quay phải càng nhỏ càng tốt sao cho momen quán tính rất nhỏ. Khung quay được đặt trên trục quay hoặc bởi dây treo. Dòng điện I được đưa vào khung dây thông qua trục của khung dây.

- *Kim chỉ thị (5)* được gắn chặt trên trục quay hoặc dây treo. Phía sau kim chỉ thị có mang đối trọng để sao cho trọng tâm của kim chỉ nằm trên trục quay hoặc dây treo và ngoài ra còn có vít điều chỉnh lệch không (Điều khiển zero).

- *Lò xo phản kháng (6)* một đầu gắn vào trục quay đầu kia được giữ cố định có nhiệm vụ kéo kim chỉ thị về vị trí ban đầu hoặc tạo ra lò xo phản kháng giữ kim chỉ thị tại vị trí cân bằng.

**Nguyên lý hoạt động**

Khi có dòng điện I qua khung dây sẽ tạo nên năng lượng điện từ và tương tác với từ trường B của nam châm vĩnh cửu tạo ra momen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

Trong đó:  $d\Phi$  là độ biến thiên của từ thông qua khung dây N vòng, diện tích là S:

$$d\Phi = B.N.S.d\alpha$$

+  $d\alpha$ : độ biến thiên góc quay của khung dây.

$$\Rightarrow M_q = I.B.N.S$$

Mômen quay  $M_q$  làm quay khung dây, giả sử kim chỉ thị lệch một góc  $\alpha$  thì momen phản kháng do lò xo (6) sinh ra tác động lên khung dây tăng:  $M_{pk} = D.\alpha$  (D- Hệ số của lò xo phản kháng).

Kim chỉ thị sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng khi:

$$M_q \propto I_{pk}$$

$$\propto B.N.S \cdot D$$

$$\propto \frac{B.N.S}{D} \cdot I \propto S_0 \cdot I$$

Trong điều kiện tiêu chuẩn  $S_0 \propto \frac{B.N.S}{D} \propto const$  - được gọi là độ nhạy của CCD từ điện.

**Kết luận:** Độ lệch góc quay của kim chỉ thị tỷ lệ tuyến tính với cường độ dòng điện qua khung dây. Như vậy, có thể khắc độ thang đo của dòng điện I tuyến tính theo góc quay của kim chỉ thị.

**Đặc tính của cơ cấu đo từ điện:**

- Thang đo tuyến tính.
- Chỉ làm việc với dòng 1 chiều qua khung dây.
- Độ nhạy dòng điện của cơ cấu đo từ điện:

$$S_i \propto \frac{d\alpha}{dI} \propto S_0$$

Nghĩa là độ nhạy dòng điện được tương ứng với sự biến thiên của góc quay khi có sự biến thiên của dòng điện. Trong thực tế người ta thường dùng tham số dòng điện toàn thang  $I_{tt}$  – dòng điện lớn nhất cho phép qua CCD và khi đó kim chỉ thị vị trí cực đại  $\alpha_x$  (thường bằng khoảng  $105^\circ$ ) – để chỉ độ nhạy. Có thể tăng độ nhạy bằng cách tăng  $M_q$  và giảm  $M_{pk}$ .

- Dòng toàn thang ( $I_{tt}$ ) rất nhỏ (vài mA)
- Độ nhạy điện áp của cơ cấu:  $S_v \propto \frac{d\alpha}{dU}$ . Nếu nội trở của khung

dây là  $R_i$  thì:

$$S_v \propto \frac{d\alpha}{R_i dI} \propto \frac{1}{R_i} S_i$$

Ưu điểm của cơ cấu đo từ điện: CCD từ điện có ưu điểm so với những CCD khác nhờ những điểm sau đây:

- Độ chính xác cao, có thể tạo ra các thang đo có cấp chính xác tới 0,5%, do từ trường của nam châm vĩnh cửu mạnh nên độ nhạy ít bị ảnh hưởng của từ trường bên ngoài.

- Công suất tiêu thụ nhỏ, tùy theo dòng  $I_{tt}$  mà công suất tiêu thụ khoảng từ 25 mW đến 200 mW.

- Phương trình đặc tính là tuyến tính nên có thể tạo thang đo tuyến tính.

Nhược điểm của cơ cấu đo từ điện

- Cuộn dây của khung quay thường chịu đựng quá tải nhỏ nên thường dễ bị hư hỏng nếu có dòng điện quá lớn đi qua.

- Chỉ sử dụng với dòng một chiều.

- Cấu tạo phức tạp, dễ bị hư hỏng khi có va đập mạnh.

### **Ứng dụng:**

Cơ cấu đo từ điện được dùng rất nhiều làm cơ cấu chỉ thị cho các thiết bị đo điện như Vôn mét, Ampe mét, dụng cụ đo điện vạn năng, cơ cấu chỉ thị trong phép đo cầu cân bằng...



**Hình 3.7 - Một số thiết bị đo điện sử dụng CCD từ điện**

**b. Cơ cấu đo điện từ**

Cơ cấu đo điện từ hoạt động theo nguyên lý: năng lượng điện từ được biến đổi liên tục thành cơ năng nhờ sự tương tác giữa từ trường của cuộn dây tĩnh khi có dòng điện đi qua với phần động của cơ cấu là các lá sắt từ.

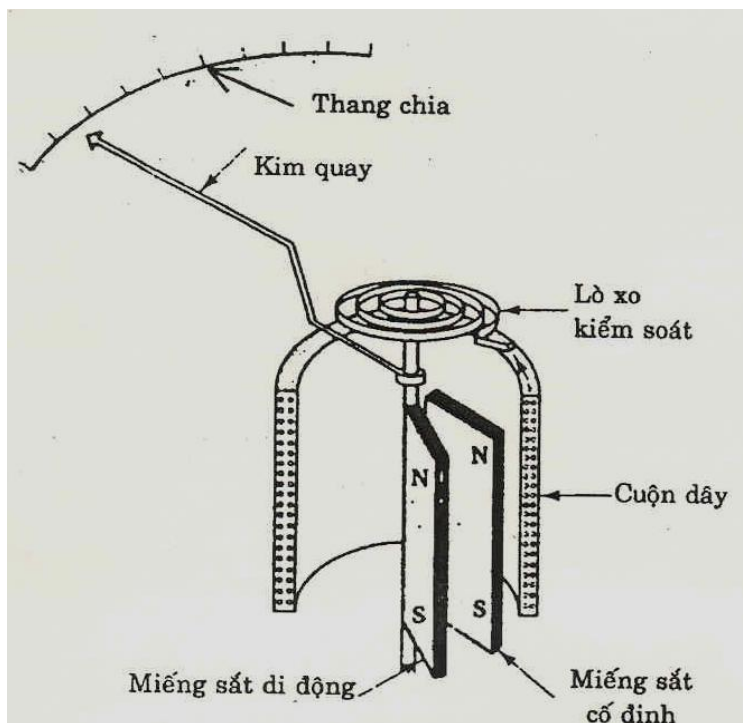
CCĐ điện từ có 2 loại:

Loại lực hút (loại cuộn dây hình dẹt) có cấu tạo như Hình 3.10.

Loại lực đẩy (loại cuộn dây hình tròn) có cấu tạo như Hình 3.11.

**Cấu tạo**

+ **Loại cuộn dây hình tròn:**

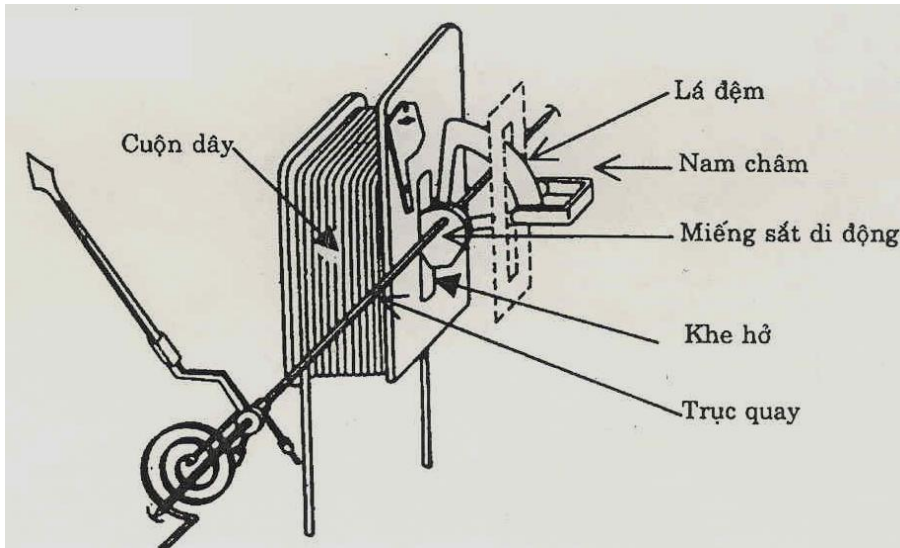


**Hình 3.10 - Cơ cấu điện từ loại cuộn dây hình tròn**

- Phần tĩnh: là 1 cuộn dây hình trụ, phía trong thành ống có gắn lá sắt từ mềm uốn quanh.

- Phần động: gồm 1 lá sắt từ cũng được uốn cong và gắn vào trục quay nằm đối diện. Trên trục quay có gắn kim chỉ thị và lò xo phản kháng.

+ **Loại cuộn dây dẹt:**



**Hình 3.11 – Cơ cấu điện từ loại cuộn dây dẹt**

- Phần tĩnh: gồm 1 cuộn dây dẹt, ở giữa có 1 khe hẹp.
- Phần động: Gồm 1 đĩa sắt từ được gắn lệch tâm, chỉ 1 phần nằm trong khe hẹp và có thể quay xung quanh trục. Trên trục của đĩa sắt từ có gắn kim chỉ thị và lò xo phản kháng.

**Nguyên lý hoạt động chung:**

Cuộn dây tĩnh khi có dòng điện  $I$  (một chiều hoặc xoay chiều) đi qua sẽ tạo ra 1 năng lượng từ:

$$W_{dt} = \frac{1}{2} LI^2$$

Trong đó:  $L$  là điện cảm cuộn dây, tùy thuộc vào vị trí tương đối của lá sắt từ động và tĩnh.  $L=f(x)$ .

Momen quay là:  $M_q = \frac{dW_{dt}}{dx}$

Khi kim chỉ thị quay, mômen phản kháng tăng:  $M_{pk} = -D$

Tại vị trí cân bằng:

$$M_{pk} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\theta}$$

$$S_0 = \frac{1}{2D} \frac{dL}{d\theta} I^2$$

$$S_0 I^2$$

Góc quay của kim chỉ thị tỷ lệ với bình phương của dòng điện qua cuộn dây.



Hình 3.12 – Đồng hồ đo điện áp cao sử dụng CCD điện từ

**Đặc điểm của CCD điện từ:**

- Tiêu thụ năng lượng nhiều hơn cơ cấu đo từ điện.
- Làm việc được với cả dòng điện một chiều và xoay chiều.
- Thang đo phi tuyến.
- Công nghệ chế tạo dễ dàng hơn, cơ cấu vững chắc, khả năng chịu tải tốt.
- Độ nhạy kém do từ trường phần tĩnh yếu.
- Có hiện tượng từ dư trong lá sắt non nên kém chính xác hơn cơ cấu đo từ điện.
- Do từ trường tạo ra bởi cuộn dây nhỏ nên dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường bên ngoài, cần phải bảo vệ bằng cách chắn từ cho cơ cấu.

- Độ chính xác thấp do dễ bị ảnh hưởng của từ trường bên ngoài và do tổn hao của sắt từ lớn. Tuy nhiên vẫn được dùng nhiều trong các loại đồng hồ đo điện áp cao.

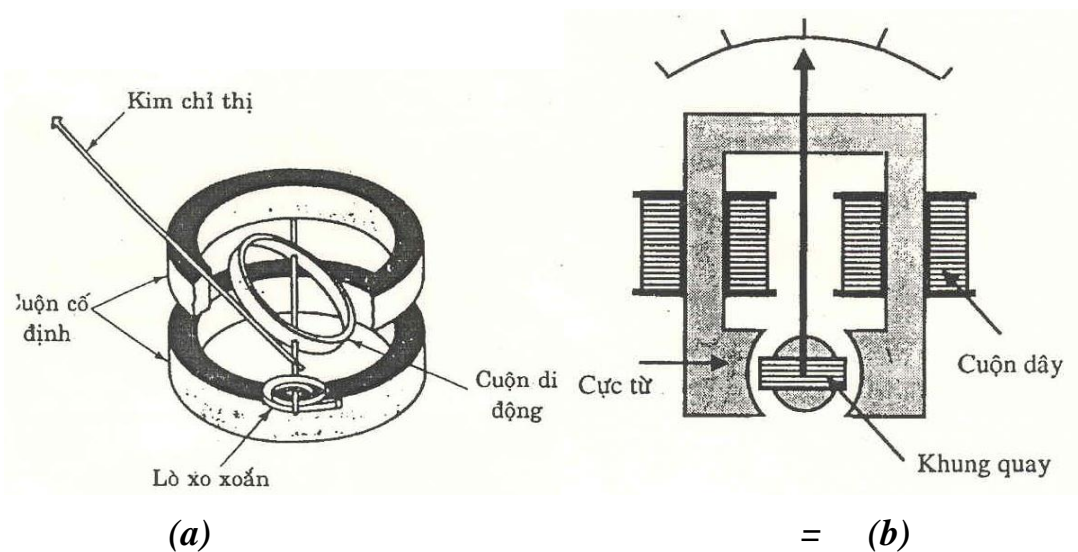
**c. Cơ cấu đo điện động**

Là cơ cấu có sự phối hợp giữa cơ cấu từ điện và cơ cấu điện từ. Hoạt động theo nguyên lý biến đổi liên tục điện năng thành cơ năng nhờ sự tương tác giữa từ trường của cuộn dây tĩnh và cuộn dây động khi có dòng điện đi qua.

**Cấu tạo**

Cơ cấu đo điện động cũng có 2 loại là Cơ cấu điện động (a) và cơ cấu sắt điện động (b), cấu tạo như Hình 3.13 .

Cấu tạo cơ cấu điện động gồm có cuộn dây tĩnh và cuộn dây động (khung quay). Thông thường cuộn dây động không có lõi sắt non tránh được hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy. Cuộn động nằm trong vùng từ trường được tạo ra bởi cuộn tĩnh. Nếu cuộn tĩnh được cuốn trên một lõi sắt từ thì đó là cơ cấu sắt điện động.



**Hình 3.13 – Cơ cấu đo điện động**

**Nguyên lý hoạt động**



Khi có dòng điện  $I_1, I_2$  (một chiều hoặc xoay chiều) đi vào cuộn dây động và cuộn tĩnh sẽ tạo ra momen quay:

$$M_q = K_q I_1 I_2 = NBSI_1 I_2 \text{ (dòng điện DC)}$$

$$\text{Hoặc } M_q = K_q \int i_1 i_2 dt \text{ (dòng điện AC)}$$

$$\text{Vậy góc quay } \frac{K_q}{D} I_1 I_2 \text{ hoặc } \frac{K_q}{D} \int i_1 i_2 dt$$

Trong đó  $D$  là hệ số của lò xo phản kháng hoặc của dây treo.

Để thang đo tuyến tính theo  $I_1 I_2$  thì  $K_q/D$  là hằng số.

### Đặc điểm của cơ cấu đo điện động

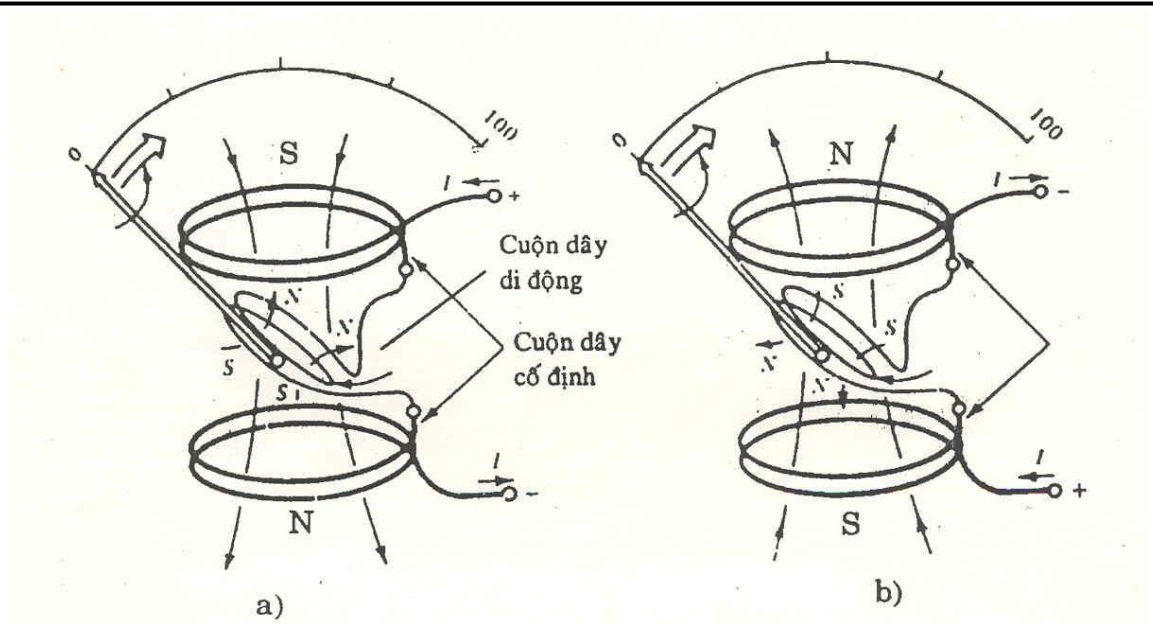
Cơ cấu đo điện động có ưu điểm là nhược điểm của cơ cấu từ điện và cơ cấu điện từ

Thường dùng làm bộ chỉ thị cho Vônmet hoặc Ampemét hay Watt mét công suất tải 1 pha hay 3 pha.

Ngoài ra người ta còn sử dụng để chế tạo tỷ số kế điện động dùng đo hệ số công suất  $\cos \phi$

Chiều quay của cơ cấu điện động và sắt điện động được xác định trước khi hoạt động với dòng xoay chiều (như Hình 3.14). Như vậy khi kim chỉ thị của cơ cấu bị lệch ngược thì phải đổi cực tính của cuộn dây để kim chỉ thị quay thuận

Cơ cấu điện động hay được sử dụng cho thiết bị đo công suất của điện áp cao.



Hình 3.14 – Chiều quay của kim chỉ thị phụ thuộc vào chiều dòng điện



Hình 3.15 – Đồng hồ đo công suất điện áp cao dùng CCD điện động.

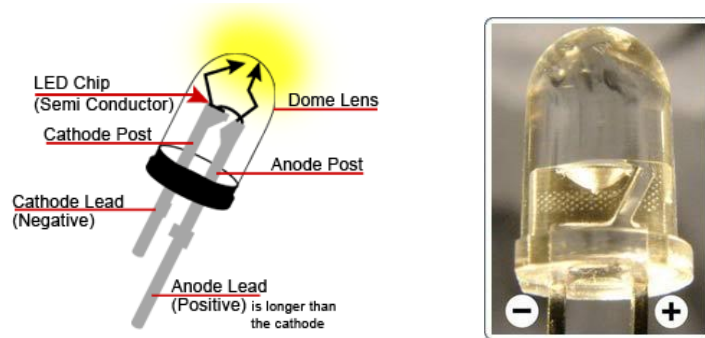
### 3.5.2 Thiết bị chỉ thị dùng LED

#### a. Cơ cấu chỉ thị dùng LED- Light emitting diode

##### a.1. LED đơn

LED là một tiếp xúc p-n, vật liệu chế tạo đều là các liên kết của nguyên tố nhóm 3 và nhóm 5 của bảng hệ thống tuần hoàn

**Mendeleeev** như GaAs (LED có màu đỏ), GaP (LED có màu đỏ hoặc màu lục), GaAsP (LED có màu đỏ hoặc vàng).



Hình 3.16 – LED đơn

Khi LED được phân cực thuận các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N (điện tử tự do từ n sang p, lỗ trống từ p sang n) chúng gặp nhau sẽ tái hợp và phát sinh ra photon ánh sáng. Cường độ phát sáng của LED tỉ lệ với dòng điện qua điốt. Độ sụt áp khi phân cực thuận điốt là 1,2V và dòng thuận khi có độ chói hợp lí là 20mA.

Để có ánh sáng có màu khác nhau thì sử dụng loại bán dẫn khác nhau hoặc dùng nhựa bọc có màu khác nhau. Thông thường LED phát ra tia hồng ngoại hên người ta thường bao quanh LED một lớp Phosphor vì vậy do bức xạ của Phosphor nhìn thấy ta nhận ra được ánh sáng phát ra.

Nhược điểm của LED là cần dòng tương đối lớn, nhưng ưu điểm của nó là nguồn điện áp một chiều thấp, khả năng chuyển mạch nhanh, bền, kích thước nhỏ.

### ➤ Tính chất của LED

Tùy theo mức năng lượng giải phóng cao hay thấp mà bước sóng ánh sáng phát ra khác nhau (tức màu sắc của LED sẽ khác nhau). Mức năng lượng (và màu sắc của LED) hoàn toàn phụ thuộc vào cấu trúc năng lượng của các nguyên tử chất bán dẫn. LED thường có điện thế phân cực thuận cao hơn điốt thông

thường, trong khoảng 1,5 đến 3Volt. Nhưng điện thế phân cực nghịch ở LED thì không cao. Do đó, LED rất dễ bị hư hỏng do điện thế ngược gây ra.

➤ **Cách xác định hai cực của LED**

Để phân biệt chân Anode và chân Catode của LED, ta dùng đồng hồ kim để ở thang đo điện trở. Hai đầu que đo có điện áp (do nguồn pin lắp trong đồng hồ phát ra) que đen là dương nguồn, que đỏ là âm nguồn. Khi có thông dòng qua LED làm LED sáng, cực nào của LED nối que dương là cực dương, cực kia là cực âm.

Hai cực của LED có thể phân biệt bằng cách nhìn vào 2 khối bán dẫn nằm bên trong LED, cái nào to hơn là cực âm, nhỏ hơn là cực dương.

➤ **Chọn điện trở cho LED**

Việc mắc nối tiếp R để hạn chế dòng điện qua LED là cần thiết. Dòng điện sẽ quyết định cường độ sáng của LED, có nghĩa là khi tăng dòng lên thì LED sẽ sáng mạnh hơn, thông thường từ 10 đến 20mA.

Khi có dòng chạy qua, thì điện áp rơi trên LED ở khoảng 1,6V. Vì vậy nên lắp thêm R để điều khiển dòng - điều chỉnh độ sáng theo mong muốn.

Thông số cơ bản khi chọn LED:

<b>Màu</b>	<b>Điện áp</b>
<i>Infrared</i>	<i>1.6 V</i>
<i>Red</i>	<i>1.8 V ÷ 2.1 V</i>
<i>Orange</i>	<i>2.2 V</i>
<i>Yellow</i>	<i>2.4 V</i>
<i>Green</i>	<i>2.6 V</i>
<i>Blue</i>	<i>3.0 V ÷ ÷ 3.5 V</i>

White	$3.0\text{ V} \div 3.5\text{ V}$
Ultraviolet	$3.5\text{ V}$

### **-Ứng dụng của LED.**

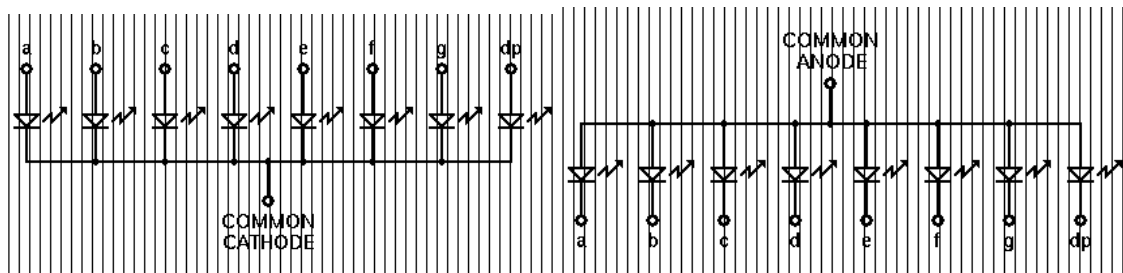
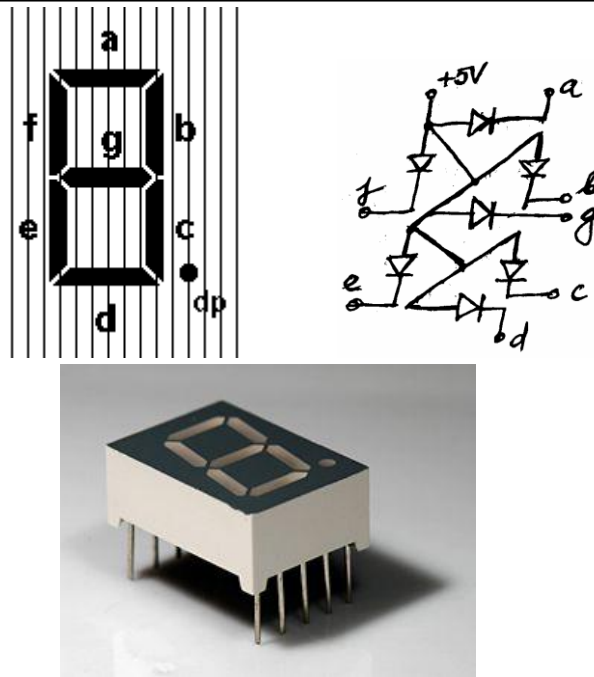
Ngày nay, LED được coi là một giải pháp tiết kiệm năng lượng mới. Với các ưu điểm nổi bật như tiêu hao nhiệt rất ít, LED hầu như không nung nóng môi trường xung quanh; ánh sáng đèn LED ổn định, không gây chói, mỏi mắt, không phát ra tia cực tím; đèn LED có tuổi thọ lên đến 80.000 – 100.000 giờ. Vì vậy, đèn LED ngày càng được ứng dụng nhiều trong thực tế. LED được dùng để làm bộ phận hiển thị trong các thiết bị điện, điện tử, biển quảng cáo, đèn trang trí, đèn giao thông... Đèn chiếu sáng bằng LED có ưu điểm bền, gọn nhẹ, tiết kiệm năng lượng.

+ LED được dùng làm bộ phận hiển thị trong các thiết bị điện tử



### **a.2. LED 7 đoạn**

Các dụng cụ đo hiển thị số thường dùng bộ chỉ thị 7 đoạn sáng LED ghép lại với nhau theo hình số 8. Khi cho dòng điện chạy qua những đoạn thích hợp có thể hiện hình bất kì số nào từ 0-9.



Hình 3.17 - Cơ cấu LED 7 đoạn

Các cách mắc LED thông dụng: LED 7 đoạn sáng Anốt chung, LED 7 đoạn sáng Katốt chung.

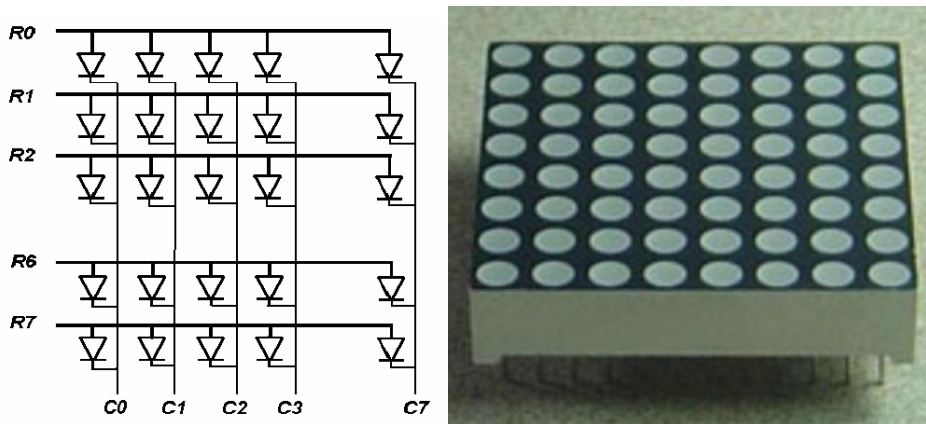
*LED 7 đoạn sáng Katốt chung:* Katốt của tất cả các điốt đều được nối chung với điểm có điện thế bằng 0 (hay cực âm của nguồn). Tác động vào đầu vào (Anốt) của điốt mức logic 1 → điốt sáng.

*LED 7 đoạn sáng Anốt chung:* các anốt được nối chung với cực dương của nguồn (mức logic 1). Tác động vào đầu vào (Katốt) của điốt mức logic 0 → điốt sáng.

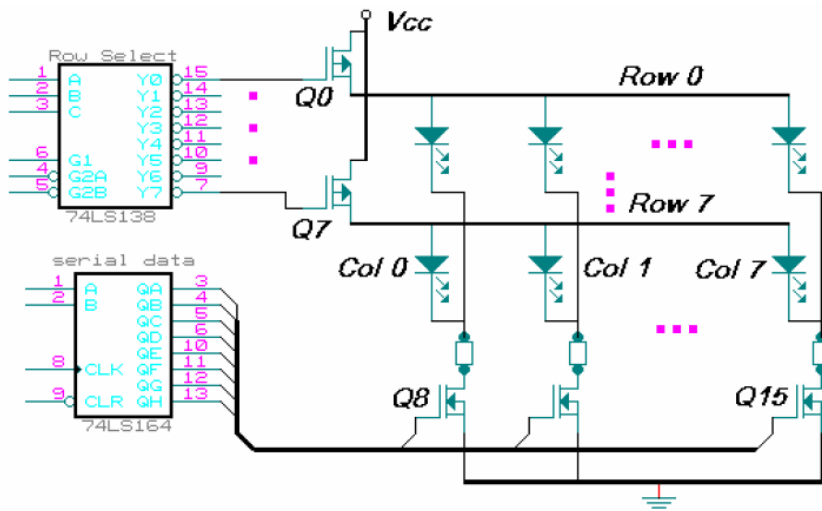
### a.3. Màn hình ma trận LED

Các điểm LED được sắp xếp thành ma trận điểm sáng. Ví dụ ma trận LED8x8 như Hình 3.18, trong đó các tín hiệu điều khiển

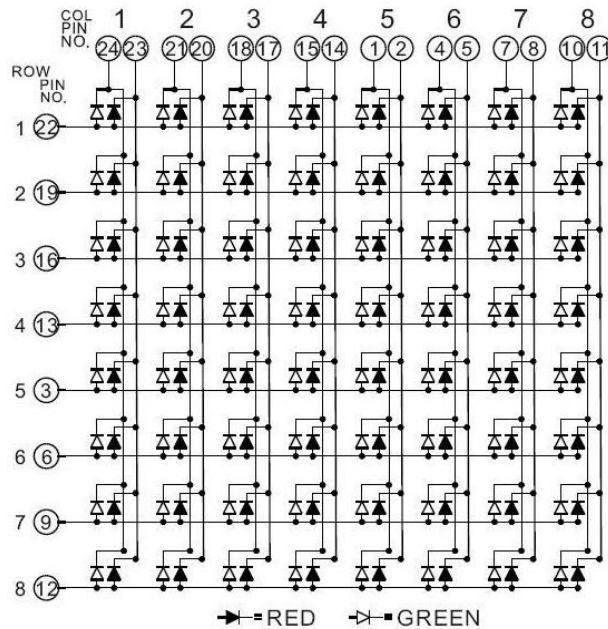
hàng  $R_i$  được nối với Anode của tất cả các LED trên cùng một hàng, còn các tín hiệu điều khiển cột  $C_i$  cũng được nối với Cathode của tất cả các LED trên cùng một cột. Khi có một tín hiệu điều khiển ở cột và hàng, các chân Anode của các led trên hàng tương ứng được cấp điện áp cao, đồng thời các chân Cathode của các led trên cột tương ứng được cấp điện áp thấp. Tuy nhiên lúc đó chỉ có một LED sáng, vì nó có đồng thời điện thế cao trên Anode và điện thế thấp trên Cathode. Như vậy khi có một tín hiệu điều khiển hàng và cột, thì tại một thời điểm chỉ có duy nhất một led tại chỗ gặp nhau của hàng và cột là sáng. Các bảng quang báo với số lượng led lớn hơn cũng được kết nối theo cấu trúc như vậy.



**Hình 3.18 Ma trận LED**



Hình 3.19 - Ví dụ mạch điều khiển ma trận LED



Hình 3.20 - Sơ đồ chân ma trận LED 8x8 hai màu (M23088C/DEG)

Ma trận led có thể là loại chỉ hiển thị được một màu hoặc hiển thị được 2 màu trên một điểm, khi đó led có số chân ra tương ứng: đối với ma trận LED 8x8 hiển thị một màu thì số chân ra là 16, trong đó 8 chân dùng để điều khiển hàng và 8 chân còn lại dùng để điều khiển cột. Đối với loại 8x8 có 2 màu thì số chân ra của LED là 24 chân, trong đó có 8 chân dùng để điều khiển cột (hoặc hàng) chung cho cả hai màu, 16 chân còn lại thì 8 chân dùng để điều khiển hàng (hoặc cột) của màu thứ nhất, 8 chân còn lại dùng để điều khiển hàng (hoặc cột) của màu thứ 2.

### 3.5.3 Thiết bị chỉ thị dùng LCD - Liquid Crystal Display

#### a. Nguyên lý của màn hình LCD

Tinh thể lỏng là tên trạng thái của một vài hợp chất hữu cơ đặc biệt. Các chất này nóng chảy ở 2 trạng thái: lúc đầu ở trạng thái nóng chảy liên tục, sau đó nếu nhiệt độ tiếp tục tăng thì chuyển sang chất lỏng đẳng hướng bình thường. Pha trung gian giữa hai



trạng thái này là trạng thái tinh thể lỏng (vừa có tính chất lỏng vừa có tính chất tinh thể).

- Các phân tử tinh thể lỏng sắp xếp dọc theo khe rãnh.

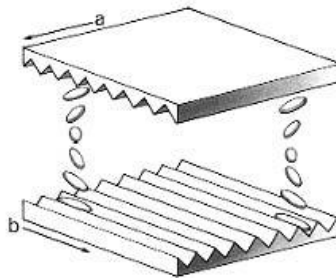
- Ở trạng thái tự nhiên, các phân tử tinh thể lỏng sắp xếp không theo trật tự nào cả.

- Khi được tiếp cận với bề mặt có khe rãnh, các phân tử tinh thể lỏng sắp xếp song song dọc theo khe rãnh.



*Hình 3.21 - Trạng thái tự nhiên Khi tiếp cận với bề mặt có khe rãnh*

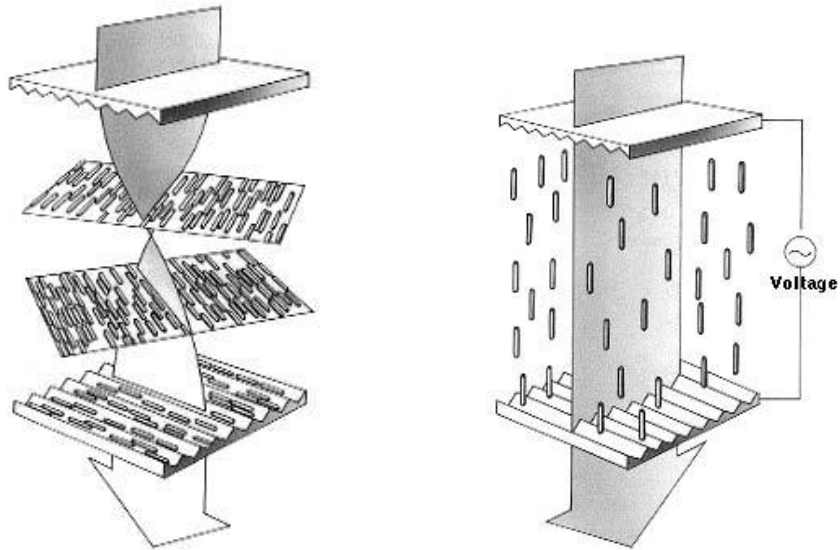
- Khi các tinh thể lỏng đan xen vào giữa các phiến trên và phiến dưới chúng sắp xếp thẳng hàng với khe rãnh lần lượt theo hướng "a" và "b".



*Hình 3.22 - Sắp xếp phân cực của tinh thể lỏng*

Các phân tử phía trên dọc theo chiều "a" còn phía dưới dọc theo chiều khác là "b" đây tinh thể lỏng sắp xếp theo một cấu trúc xoay  $90^\circ$ .

- Ánh sáng xuyên qua vùng không gian (khoảng trống) của phân tử sắp xếp.



a. Khi chưa có nguồn phân cực phân cực

b. Khi có nguồn phân cực

Hình 3.23 - Sự lan truyền ánh sáng trong lớp tinh thể lỏng

- Ánh sáng cũng xoay khi xuyên suốt, hết như các tinh thể lỏng xoay.

- Ánh sáng xuyên qua các tinh thể lỏng, tiếp đó hướng vào các phân tử đã sắp xếp xoay  $90^\circ$  như hình vẽ  $\Rightarrow$  ánh sáng cũng xoay  $90^\circ$  xuyên qua các tinh thể lỏng.

- Ánh sáng bẻ uốn cong  $90^\circ$  như các phân tử khi xoay.

- Các phân tử sắp xếp khi có điện trường đặt vào.

Khi có điện trường đặt vào, tinh thể lỏng cấu trúc lại làm xoay ánh sáng khi xuyên qua.

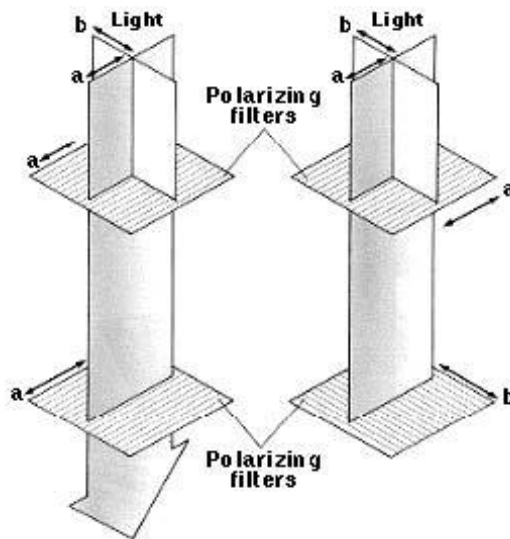
- Cấu trúc phân tử trong các tinh thể lỏng sắp xếp một cách dễ dàng khi có điện trường đặt vào hoặc điện cực Anot ngoài tác dụng. Khi có điện áp đặt, các phân tử tự sắp xếp theo chiều dọc (dọc theo điện trường) và ánh sáng cũng xuyên suốt dọc theo chiều sắp xếp của phân tử.

- Chặn sáng với 2 bộ lọc phân cực (Polarizing filters - bộ lọc phân cực)

- Khi có điện áp đặt vào, kết hợp cả 2 bộ lọc phân cực làm xoay tinh thể lỏng trở thành 1 hiển thị LCD.

- Ánh sáng sẽ xuyên qua khi hai bộ lọc phân cực sắp xếp với trục phân cực như hình vẽ trái.

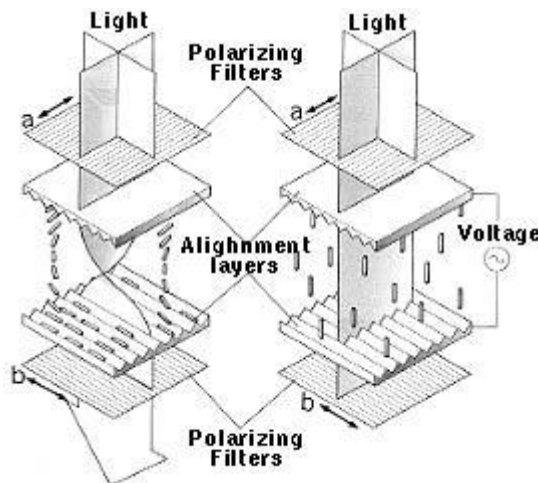
- Ánh sáng sẽ bị chặn khi 2 bộ lọc phân cực sắp xếp với trục phân cực như hình vẽ phải.



*Hình 3.24 - Sử dụng bộ lọc phân cực*

### ***b. Cấu tạo của Màn hình LCD***

Kết hợp cả hai bộ lọc phân cực và sự xoay của tinh thể lỏng tạo lên một màn hình tinh thể lỏng.



Hình 3.25 - Nguyên lý cấu tạo màn hình LCD

■ Polarizing Filters: Bộ lọc phân cực.

■ Alignment layers: Sắp xếp lớp.

■ Voltage: Điện áp.

■ Light: Ánh **sang**.

■ Chỉ hai bộ lọc phân cực sắp xếp dọc suốt theo hướng vuông góc với trục điện cực, ánh sáng đi vào từ phía trên, đổi hướng  $90^\circ$  dọc theo hướng đường hình xoắn ốc của các phân tử tinh thể lỏng, vì vậy ánh sáng xuyên qua bộ lọc dưới.

■ Chỉ có điện áp đặt vào, các phân tử tinh thể lỏng nắn thẳng trên đường ra từ hình đường xoắn ốc và dừng, đổi hướng rẽ của ánh sáng, do vậy đã ngăn cản ánh sáng xuyên qua bộ lọc dưới (bộ lọc thấp)

■ Hình vẽ miêu tả nguyên lý điện hình **cửa** sự xoay màn hình tinh thể lỏng trong LCD, các tinh thể lỏng nơi mà các phân tử xoay hình đường xoắn ốc là đan xen giữa hai bộ lọc điện cực (phân cực). Khi có điện áp đặt vào ánh sáng bị chặn và màn hình xuất hiện đen.

### c. Các hệ thống hiển thị.

Có hai kiểu cấu tạo màn hình tinh thể lỏng chính, khác nhau ở thiết kế nguồn sáng.

Trong kiểu thứ nhất, ánh sáng được phát ra từ một đèn nền, có vô số phương phân cực như các ánh sáng tự nhiên. Ánh sáng này được cho lọt qua lớp kính lọc phân cực thứ nhất, trở thành ánh sáng phân cực phẳng chỉ có phương thẳng đứng. Ánh sáng phân cực phẳng này được tiếp tục cho truyền qua tấm thủy tinh và lớp điện cực trong suốt để đến lớp tinh thể lỏng. Sau đó, chúng tiếp tục đi tới kính lọc phân cực thứ hai; có phương phân cực vuông góc

với kính lọc thứ nhất, rồi đi tới mắt người quan sát. Kiểu màn hình này thường áp dụng cho màn hình màu ở máy tính hay TV. Để tạo ra màu sắc, lớp ngoài cùng, trước khi ánh sáng đi ra đến mắt người, có kính lọc màu.

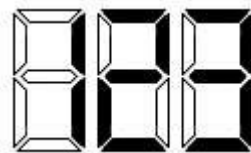
Ở loại màn hình tinh thể lỏng thứ hai, chúng sử dụng ánh sáng tự nhiên đi vào từ mặt trên và có gương phản xạ nằm sau, dội ánh sáng này lại cho người xem. Đây là cấu tạo thường gặp ở các loại màn hình tinh thể lỏng đen trắng trong các thiết bị bỏ túi. Do không cần nguồn sáng nên chúng tiết kiệm năng lượng.

### ***Các nguyên lý hiển thị***

• Các ký tự, chữ số và đồ họa được hiển thị cơ bản dựa theo 3 phương pháp hiển thị:

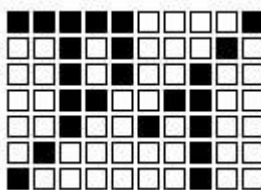
#### ***1. Hệ thống thanh đoạn***

Hiển thị độ dài sắp xếp theo dạng hình số "8" để hiển thị số.



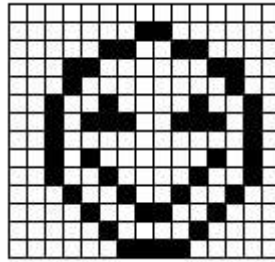
#### ***2. Hệ thống ma trận điểm (hiển thị ký tự)***

Hiển thị sắp xếp theo các hàng và các cột để hiển thị ký tự.



#### ***3. Hệ thống ma trận điểm (hiển thị đồ họa)***

Hiển thị sắp xếp theo các hàng và các cột để hiển thị đồ họa

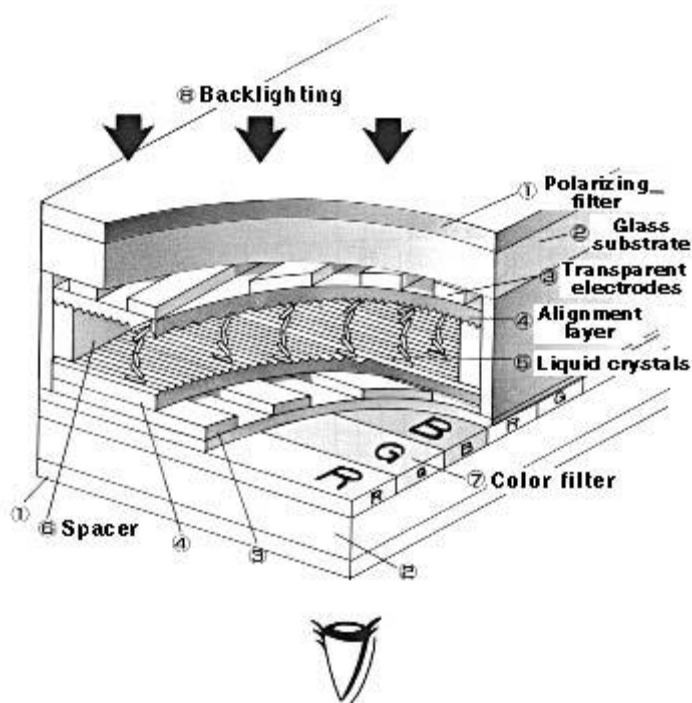


### c. Nguyên lý hiển thị màu

• Màu được hiển thị nhờ các bộ lọc màu dành cho mỗi thành phần hiển thị, trong hệ thống ma trận điểm, các điểm màu đỏ (R), xanh lá (G), xanh dương (B) nhận được do sử dụng các bộ lọc màu, ba màu cơ bản trên kết hợp lại cho ta một điểm ảnh, mỗi điểm màu sẽ cho một màu có cường độ sáng

khác nhau, một điểm ảnh có thể cho vô số màu và là màu tổng hợp được từ ba màu cơ bản trên.

### Cấu trúc màn hình LCD



Hình 3.26 - Cấu trúc màn hình LCD màu

Cấu trúc màn hình LCD màu như Hình 3.26, trong đó gồm:

1. Polarizing filter (Bộ lọc phân cực) Điều khiển ánh sáng đi vào và thoát ra.

3. Glass substrate (Hợp chất thủy tinh đặc biệt) Lọc chặn điện từ các điện cực.

3. Transparent electrodes (Điện cực trong suốt) Là các thanh dẫn điện trong suốt cho phép ánh sáng xuyên qua.

4. Alignment layer (Sắp xếp lớp) Là hai bề mặt có rãnh, ở giữa là các phân tử tinh thể lỏng, Các phân tử được sắp xếp theo hình xoắn ốc 90o.

5. Liquid crystals (Các tinh thể lỏng).

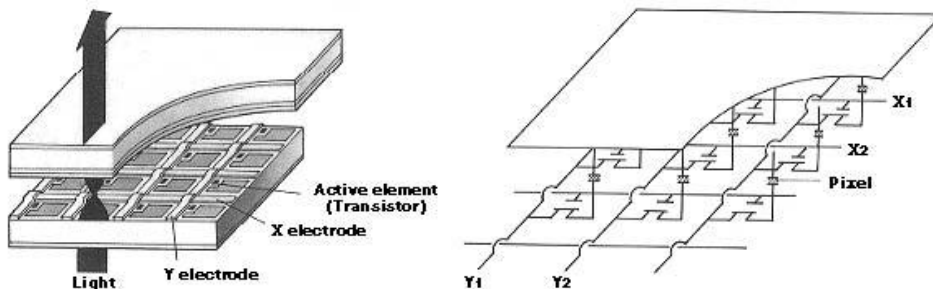
6. Spacer (Khoảng trống) Duy trì khoảng cách đều giữa các tấm kính.

7. Color filter (Bộ lọc màu) Màu được lọc và thể hiện khi dùng các bộ lọc R, G và B.

8. Backlighting (Ánh sáng phía sau) Ánh sáng được chiếu từ phía sau màn hình xuyên qua các

lớp trên, ở màn hình điện thoại, người ta sử dụng ánh sáng chiếu từ xung quanh sau đó dùng lớp phản xạ để hướng ánh sáng chiếu thẳng góc với màn hình từ sau về phía trước.

### **Nguyên tắc hoạt động**



+ Active element (Transistor) - Phần tử tích cực (Transistor).

+ X Electronic - Điện cực X.

+ Y Electronic - Điện cực Y.

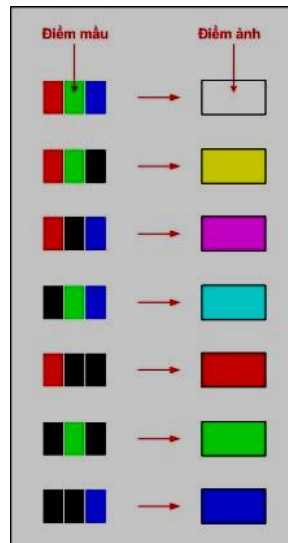
+ Light - Ánh **sang**.

*Hình 3.27 - Cấu tạo các phần tử điều khiển điểm ảnh*

Cấu tạo các phần tử điều khiển điểm ảnh cho màn hình LCD như Hình 3.27. Trong đó:

- Các điện cực X và Y sắp xếp thành hàng và dãy, mỗi điểm giao nhau có một Transistor trường, chân S đấu vào điện cực Y, chân G đấu vào điện cực X, khi Transistor dẫn thì chân D sẽ có điện áp bằng điện cực Y tạo ra một điện áp chênh lệch với đế trên của LCD.

- Mỗi Transistor sẽ điều khiển một điểm màu, các tín hiệu ngắt mở được đưa đến điện cực X, tín hiệu Video được đưa đến điện cực Y, điện áp chênh lệch giữa điện cực X và Y sẽ làm Transistor dẫn tạo ra một điểm màu có cường độ sáng nhất định.



● Mỗi điểm màu do một Transistor điều khiển, mỗi điểm màu sẽ phát ra một màu có cường độ sáng khác nhau, cường độ sáng phụ thuộc vào tín hiệu Video đặt vào điện cực Y.

● Ba điểm màu mang ba màu khác nhau R(đỏ), G (Xanh lá) và B (Xanh lơ) tạo lên một điểm ảnh, khi thay đổi cường độ sáng



của các điểm màu sẽ tạo ra cho điểm ảnh có vô số màu sắc khác nhau (Nguyên lý trộn màu trong tự nhiên).

- Màn hình điện thoại có độ phân giải là 96 x 128 nghĩa là sẽ có  $96 \times 128 = 12338$  điểm ảnh  $\Leftrightarrow$  hoặc có  $12338 \times 3 = 37014$  điểm màu.

#### ***d. Phân loại màn hình LCD***

##### **LCD ma trận thụ động**

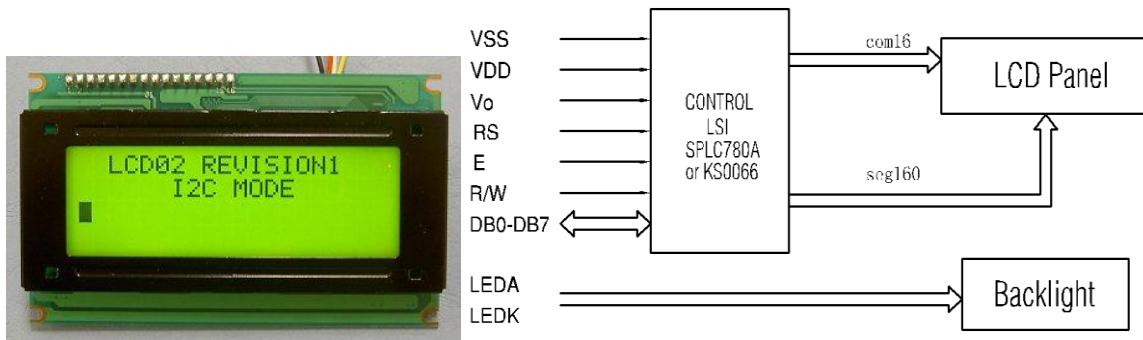
LCD ma trận thụ động (Dual Scan Twisted Nematic, DSTN LCD) có đặc điểm là đáp ứng tín hiệu khá chậm (300ms) và dễ xuất hiện các điểm sáng xung quanh điểm bị kích hoạt khiến cho hình có thể bị nhòe. Các công nghệ được Toshiba và Sharp đưa ra là HPD (hybrid passive display), cuối năm 1990, bằng cách thay đổi công thức vật liệu tinh thể lỏng để rút ngắn thời gian chuyển đổi trạng thái của phân tử, cho phép màn hình đạt thời gian đáp ứng 150ms và độ tương phản 50:1. Sharp và Hitachi cũng đi theo một hướng khác, cải tiến giải thuật phân tích tín hiệu đầu vào nhằm khắc phục các hạn chế của DSTN LCD, tuy nhiên hướng này về cơ bản chưa đạt được kết quả đáng chú ý.

##### **LCD ma trận chủ động**

LCD ma trận chủ động thay thế lưới điện cực điều khiển bằng loại ma trận Transistor phiên mỏng (thin film transistor, TFT LCD) có thời gian đáp ứng nhanh và chất lượng hình ảnh vượt xa DSTN LCD. Các điểm ảnh được điều khiển độc lập bởi một transistor và được đánh dấu địa chỉ phân biệt, khiến trạng thái của từng điểm ảnh có thể điều khiển độc lập, đồng thời và tránh được bóng ma thường gặp ở DSTN LCD.

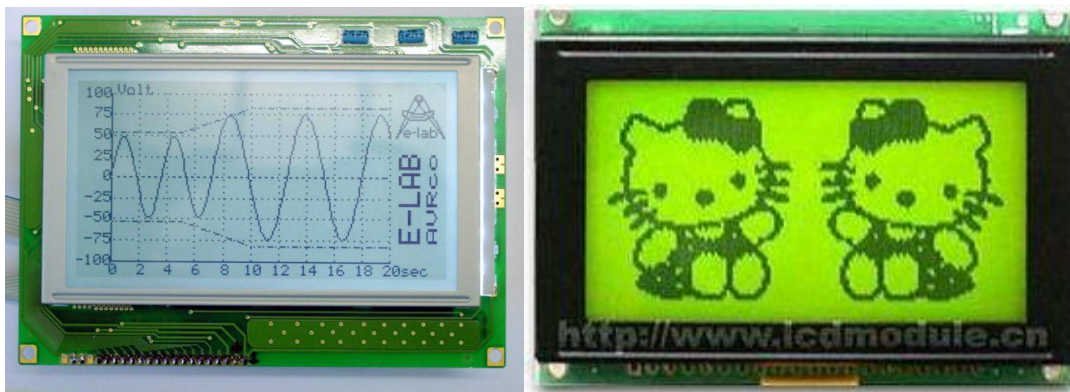
### **Một số hình ảnh Màn hình LCD trong thực tế**

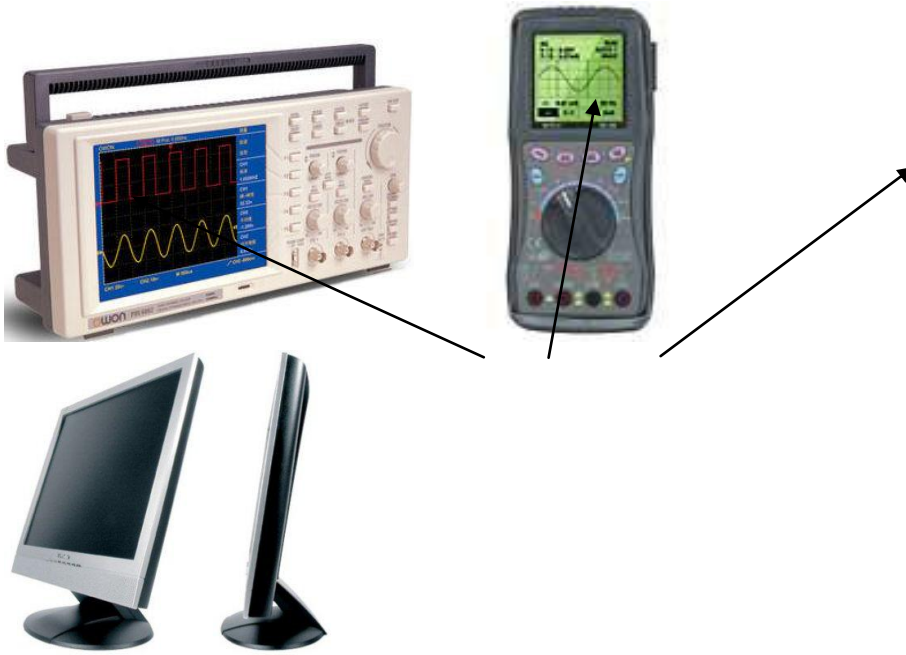
+ Màn hình ký tự LCD 4x16



Symbol	Level	Description
VSS	--	Ground for Logic
VDD	--	Power supply for Logic
Vo	--	Power supply for LCD drive
RS	H/L	Register selection (H:Data register, L:Instruction register)
R/W	H/L	Read/write selection (H:Read,L:Write)
E	H/H-L	Enable signal for LCM
DB0-DB7	H/L	Data Bus lines
LEDA	--	Power supply for Backlight(+)
LEDK	--	Power supply for Backlight(-)

+ Màn hình đồ họa LCD





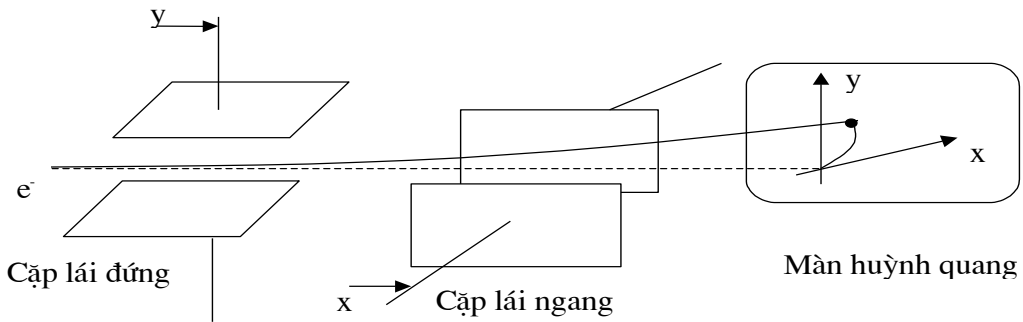
Màn hình ma trận LCD

### 3.5.4 Ống tia điện tử - CRT

Ống tia điện tử - CRT (Cathode Ray Tube), hay còn được sử dụng khá phổ biến trong gọi là ống tia âm cực được máy đo lường điện tử (như Ô-xi-lô, máy phân tích phổ, máy vẽ đặc tính biên độ - tần số...), cho phép hiển thị dạng tín hiệu trên màn hình.

#### Nguyên lý chung của CRT:

Cho chùm tia  $e^-$  bay trong chân không đi qua lần lượt 2 bản kim loại nằm ngang nhận tín hiệu điện áp  $y$  và 2 bản thẳng đứng nhận tín hiệu điện áp  $x$  và đập **tới** màn huỳnh quang (Như Hình 3.28). Do  $e^-$  chịu tác dụng của điện trường tạo bởi 2 cặp bản kim loại đó nên  $e^-$  sẽ phải bay lệch theo phương  $x$  và  $y$ , độ lệch theo phương  $y$  tỉ lệ với tín hiệu  $y$ , độ lệch theo phương  $x$  tỉ lệ với tín hiệu  $x$ . Kết quả vết sáng trên màn huỳnh quang sẽ nằm tại tọa độ  $(x,y)$ . Khi tín hiệu  $x$  và  $y$  thay đổi vết sáng vẽ một đường dao động đồ nào đó trên màn hình.



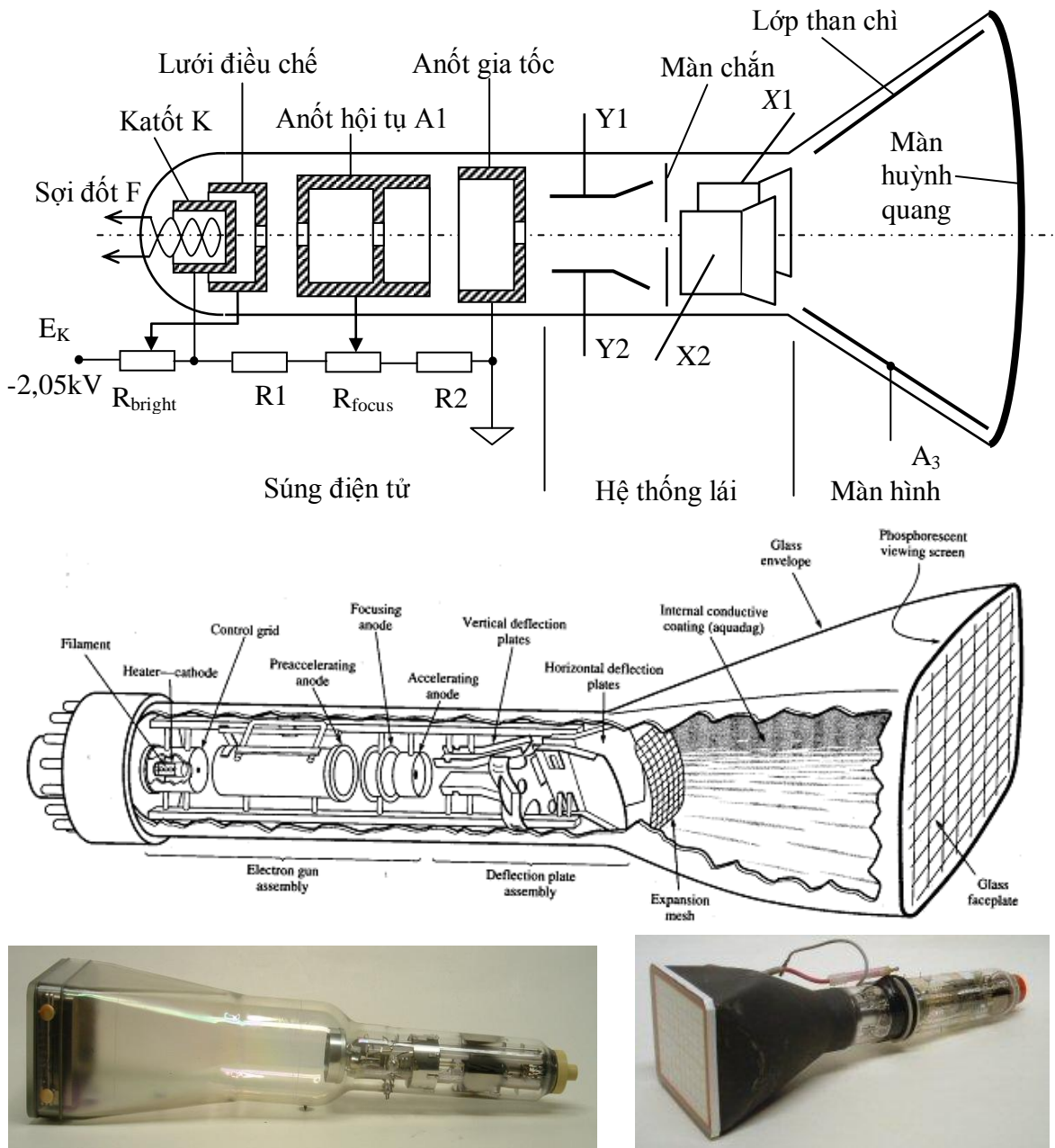
Hình 3.28 – Nguyên tắc chung của CRT

Như vậy, CRT là một loại dụng cụ điện tử mà trong đó có chùm điện tử e- được bức xạ từ Katốt bị nung nóng, chúng được gia tốc, hội tụ bằng điện trường hay từ trường, tạo thành một chùm điện tử nhỏ gọn bắn tới màn huỳnh **quan** (hợp chất của Phosphor), màn phát sáng tại điểm có điện tử bắn tới. Chùm điện tử được làm lệch theo chiều đứng và chiều ngang trên màn hình theo quy luật điện áp đặt vào các tấm làm lệch, tạo ra dạng hình ảnh (dạng **dao động đồ**) trên màn hình. Dao động đồ có thể là dạng tín hiệu (waveforms), hay là các hình ảnh (pictures)...

Có nhiều loại CRT: Loại CRT khống chế bằng từ trường (màn hình ti vi và màn hình máy vi tính); Loại CRT khống chế bằng điện trường (dùng nhiều trong các thiết bị đo).

### **CRT khống chế bằng điện trường**

Cấu tạo CRT khống chế bằng điện trường như Hình 3.29, trong đó CRT được cấu tạo từ 1 ống thủy tinh hình trụ có độ chân không cao (áp suất khoảng từ  $10^{-5}$  đến  $10^{-4}$  mN/cm<sup>2</sup>) – để không ngăn cản sự chuyển động của chùm điện tử từ Katốt tới màn hình). Đầu ống hình trụ tròn có chứa súng điện tử và hệ thống lái tia, phía cuối loe ra hình nón cụt, mặt đáy được phủ 1 lớp huỳnh quang tạo thành màn hình. Cấu tạo của CRT gồm 3 phần chính: màn huỳnh quang, súng điện tử, hệ thống lái tia.



Hình 3.29 – Cấu tạo CRT không chế bằng điện trường

**a. Màn huỳnh quang**

Lớp huỳnh quang thường là hợp chất của Phosphor (P). Khi có điện tử bắn tới màn hình, tại vị trí va đập, điện tử sẽ truyền động năng cho điện tử lớp ngoài cùng của nguyên tử P, điện tử này sẽ nhảy từ mức năng lượng thấp lên mức năng lượng cao và tồn tại trong 1 thời gian rất ngắn rồi tự nhảy về mức năng lượng thấp ban

đầu và phát ra photon ánh sáng. Ví trí nào bị bắn phá ví trí đó được phát sáng, ánh sáng được lưu lại trong một khoảng thời gian nhất định (gọi là độ dư huy của màn hình), cộng với độ lưu ảnh của võng mạc, làm cho người **qua** sát có cảm giác điểm sáng đó tồn tại lưu trên màn hình, hình ảnh dao động đồ được quan sát như là liên tục.

Màu sắc ánh sáng phát ra tùy thuộc vào hợp chất của P, thường màu xanh lá cây nhạy cảm với mắt người (hợp chất có chứa Silicat Kẽm), ánh sáng màu tím (hợp chất của Vonframát Canxi) tích cực với thuốc ảnh.

Độ dư huy của màn hình sẽ phụ thuộc vào chất huỳnh quang, thông thường khoảng từ vài  $\mu$ s đến vài s. Khi quan sát tín hiệu có tần số thấp thì dùng màn hình có độ dư huy lớn, còn khi quan sát tín hiệu tần số cao thì dùng màn hình có độ dư huy nhỏ.

Chất huỳnh quang cách điện và phát xạ điện tử thứ cấp khi có tia điện tử bắn tới, điện tử thứ cấp này phải được thu gom bằng Anốt hậu (lớp than chì xung quanh màn hình) để không tạo thành lớp điện tử che lấp màn hình, ngăn cản chuyển động của chùm tia điện tử.

Ngoài ra người ta còn dùng kiểu ống có màng nhôm mỏng cho kết tủa tại bề mặt nơi có điện tử bắn tới, màng nhôm cho chùm điện tử đi qua và thu gom điện tử thứ cấp dẫn chúng xuống đất của máy, và còn tác dụng phản xạ ánh sáng làm tăng cường độ sáng và là nơi tiêu nhiệt làm tăng tuổi thọ cho màn hình.

### ***b. Súng điện tử***

Súng điện tử: Có nhiệm vụ tạo, gia tốc và hội tụ chùm tia điện tử. Cấu tạo gồm: sợi đốt F, Katốt K bao quanh sợi đốt, lưới điều chế G, Anốt hội tụ  $A_1$ , Anốt gia tốc  $A_3$ . Các điện cực có dạng hình trụ có lỗ nhỏ ở giữa, làm bằng Niken, riêng K có phủ một lớp ôxít

kim loại ở đáy để tăng khả năng bức xạ điện tử. Các điện cực phía sau (theo chiều chuyển động của chùm tia điện tử) thường có vành rộng hơn điện cực phía trước và có nhiều vách ngăn có tác dụng để các chùm điện tử không đi quá xa trục ống, việc hội tụ sẽ dễ dàng hơn. Với cấu tạo đặc biệt của các điện cực như vậy sẽ tạo ra 1 điện trường không đều đặc biệt có thể hội tụ và gia tốc chùm tia.

Các điện cực được cấp nguồn nhờ các phân áp như hình vẽ ( $U_K = -2kV$ ,  $U_{KG} = 0V$ ,  $U_{A2} = 0V$ ,  $U_{A1} = 50V$ ). Triết áp  $R_{\text{bright}}$  điều chỉnh điện áp  $U_{GK}$  làm thay đổi lượng điện tử bắn tới màn huỳnh quang, làm thay đổi độ sáng của dao động đồ. Triết áp này thường được đưa ra ngoài mặt máy ký hiệu là “**Bright** hay **Intensity**”. Triết áp  $R_{\text{focus}}$  thay đổi điện áp trên A1 làm thay đổi độ tụ của chùm tia điện tử và cũng được đưa ra ngoài mặt máy ký hiệu là “**Focus**”.

Lưới điều chế G được cung cấp điện áp âm hơn so với K và được ghép sát K để dễ dàng cho việc điều chỉnh cường độ của chùm điện tử bắn tới màn hình.

Anốt  $A_2$  (Anốt gia tốc) thường được nối đất để tránh méo dao động để khi điện áp cung cấp cho các điện cực không phải là điện áp đối xứng.

### Xét quỹ đạo chuyển động của chùm điện tử khi đi qua điện trường của các điện cực

Quy luật chuyển động của các hạt mang điện trong điện trường và từ trường về cơ bản cũng giống quy luật lan truyền ánh sáng trong môi trường quang học. Quy luật chuyển động của điện tử trong điện trường tĩnh tuân theo quy luật sau:

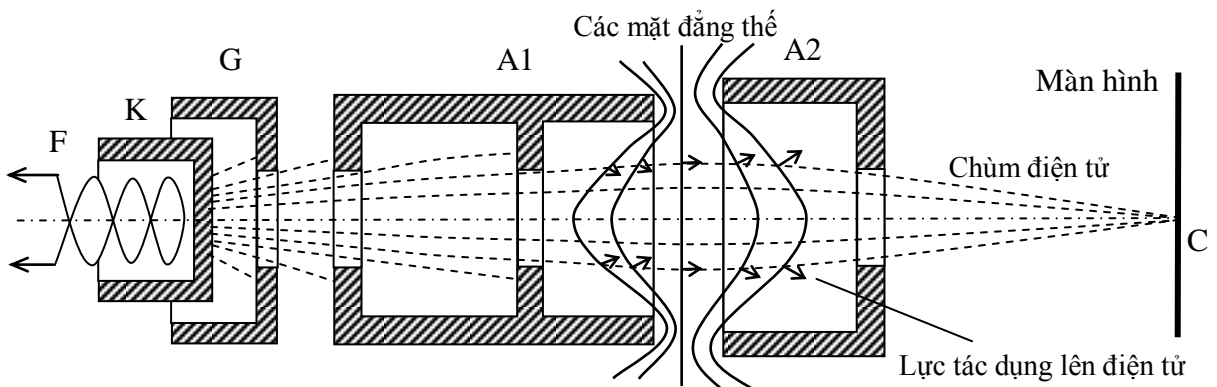
- + Điện tử chuyển động thẳng trong vùng có thể không đổi.
- + Nếu chùm điện tử chuyển động trong vùng điện trường không đồng đều thì nó có thể bị khúc xạ hay phản xạ khi chuyển

động qua mặt đẳng thế. Nếu bị phản xạ thì góc phản xạ bằng góc tới. Nếu bị khúc xạ thì khi điện tử chuyển động từ vùng có điện thế  $U_1$  sang vùng có điện thế  $U_2$  hướng và độ lớn vận tốc của điện tử thay đổi và được xác định theo quy luật khúc xạ như sau:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_1}}$$

Nếu  $U_2 > U_1$  thì  $v_2 > v_1$  điện tử được tăng tốc.

Xét quỹ đạo chuyển động của chùm tia điện tử khi đi qua điện



trường giữa A1 và A2 như hình vẽ:

Hình 3.30 – Chùm điện tử chuyển động qua điện trường giữa các điện cực

Trong không gian giữa A1 và A2 hình thành các mặt đẳng thế, lực tác dụng của điện trường lên điện tử tại một vị trí nào đó là:  $\vec{F} = q\vec{E}$ . Mặt đẳng thế hướng bẻ lõm về phía Katot có tác dụng hội tụ chùm tia, còn mặt đẳng thế có hướng lõm quay về phía Katot có tác dụng phân kỳ chùm tia. Nhưng tổng hợp lại thì điện trường giữa A1-A2 có tác dụng hội tụ chùm tia (tương đương với một thấu kính điện hội tụ).



Cơ cấu G, A1, A2 tương tự như một hệ thống kính được thiết kế sao cho điện trường không đều giữa chúng có tác dụng gia tốc và hội tụ chùm tia điện tử tạo thành chùm điện tử nhỏ gọn, mảnh bắn tới màn huỳnh quang.

**c. Hệ thống lái tia**

Hệ thống lái tia có nhiệm vụ làm lệch chùm tia điện tử bắn tới màn hình theo chiều đứng hoặc chiều ngang của màn hình.

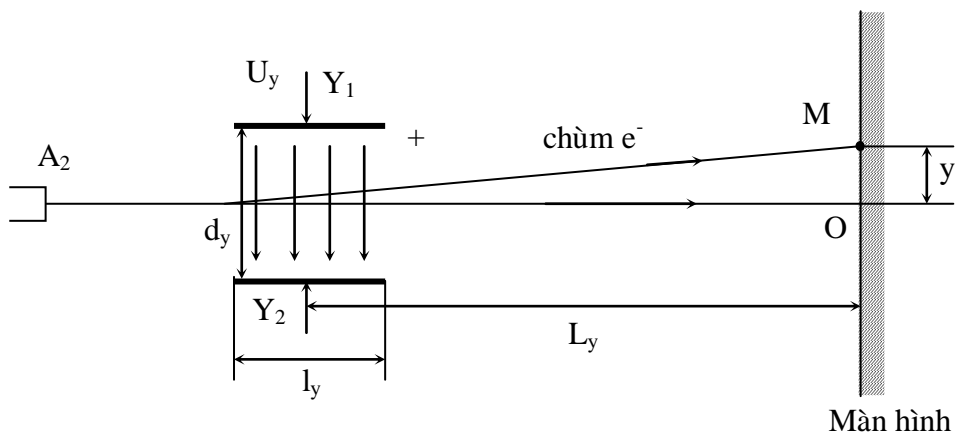
Cấu tạo gồm 2 cặp phiến làm lệch được đặt trước, sau và bao quanh trục của ống.

+ Cặp lái đứng  $Y_1Y_2$  : 2 phiến kim loại đặt song song với nhau theo phương nằm ngang.

+ Cặp lái ngang  $X_1X_2$ : 2 phiến kim loại đặt song song với nhau theo phương thẳng đứng.

Giữa các cặp phiến làm lệch tạo ra điện trường đều có tác dụng làm lệch quỹ đạo chuyển động của chùm tia điện tử khi qua nó.

Xét quỹ đạo chuyển động của chùm tia khi qua cặp lái đứng như hình vẽ ...



*Hình 3.31 – Quỹ đạo chuyển động của chùm điện tử qua cặp lái đứng*

- Khi  $U_y=0$ , tia điện tử bắn thẳng tới chính giữa màn hình tại điểm O.

- Khi  $U_y \neq 0$ , điện trường giữa các phiến làm lệch sẽ làm lệch quỹ đạo của tia điện tử theo chiều đứng và bắn tới màn hình tại vị trí M, lệch 1 khoảng theo chiều đứng là  $y$  so với điểm O.

Khoảng lệch đứng  $y$  tỉ lệ thuận với cường độ điện trường trong cặp lá chắn  $E_y$  (mà  $E_y [V/mm] = U_y/d_y$  – trong đó:  $U_y$  – điện áp giữa Y1 và Y2,  $d_y [mm]$  - khoảng cách giữa Y1 và Y2) và độ dài của phiến làm lệch  $l_y [mm]$ , và thời gian bay của điện tử. Thời gian bay tỉ lệ nghịch với vận tốc của chùm tia hay tỉ lệ nghịch với điện áp gia tốc  $U_A$  (phụ thuộc chủ yếu vào  $U_{A2K}$ ) và tỉ lệ thuận với khoảng cách từ cặp lá chắn tới màn hình  $L_y [mm]$ . Như vậy độ lệch đứng trên màn hình được xác định như sau:

$$y \approx \frac{U_y \cdot L_y \cdot l_y}{2d_y \cdot U_A} \quad \text{hay} \quad y \approx S_{0y} \cdot U_y$$

$$S_{0y} [mm/V] \approx \frac{y}{U_y} \approx \frac{L_y \cdot l_y}{2d_y \cdot U_A} \approx \text{const} - \text{được gọi là độ nhạy của ống tia}$$

điện tử theo phương đứng.  $S_{0y}$  đặc trưng cho đặc tính của CRT và là độ lệch đứng của tia điện tử khi bắn tới màn hình tính theo mm khi điện áp đặt vào cặp lá chắn là 1 V. Thông thường  $S_{0y}=0,1$  mm/V.

Trong nhiều trường hợp, muốn tăng độ nhạy mà không thể tăng chiều dài  $l_y$  vì không thể tăng quá mức chiều dài của ống tia nên cặp lá chắn thường được cấu tạo loe ra ở đầu cuối chứ không phải bản phẳng hoàn toàn.

Tương tự, ta có độ lệch của tia điện tử theo chiều ngang.

$$x \approx \frac{U_x \cdot L_x \cdot l_x}{2d_x \cdot U_A} \quad \text{hay} \quad x \approx S_{0x} \cdot U_x$$

$S_{0x} [mm/V] = \frac{x}{U_x} \cdot \frac{L_x \cdot l_x}{2d_x \cdot U_A} \cdot \text{const}$  - được gọi là độ nhạy của ống tia

điện tử theo phương ngang.  $S_{0x}$  đặc trưng cho đặc tính của CRT và là độ lệch ngang của tia điện tử khi bắn tới màn hình tính theo mm khi điện áp đặt vào cặp lái ngang là 1 V. Thông thường  $S_{0x} = 0,1$  mm/V.

**Kết luận:** Độ lệch tia điện tử trên màn hình theo phương đứng và phương ngang tỉ lệ tuyến tính với điện áp tương ứng đặt vào cặp lái đứng và cặp lái ngang tương ứng.

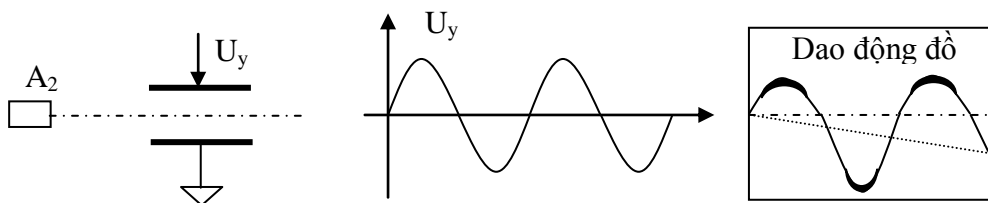
### **Vấn đề gây méo dao động đồ**

Độ sáng của dao động đồ trên màn huỳnh quang của CRT phụ thuộc vào năng lượng của mỗi điện tử, mà còn phụ thuộc vào số lượng điện tử được bắn tới màn hình trong một đơn vị thời gian, (tức là phụ thuộc vào mật độ chùm điện tử). Vì vậy, nếu thay đổi được mật độ của chùm tia điện tử thì có thể thay đổi độ sáng của dao động đồ. Thay đổi mật độ chùm điện tử có thể thực hiện dễ dàng bằng cách thay đổi điện áp trên cực điều chế G. Ta đã biết, giữa G và A1 cũng có tạo thành điện trường không đều như A1 và A2 có tác dụng hội tụ chùm tia. Do vậy nếu thay đổi điện áp của G thì độ tụ của chùm tia cũng sẽ bị ảnh hưởng. Đó là lý do tại sao mà khi thực hiện điều chế độ sáng ta chỉ được dùng điện áp biên độ nhỏ. Vì nếu cực G có điện thế dương lớn thì không những độ sáng của dao động đồ tăng mạnh mà còn gây méo dao động đồ trên màn do độ tụ giảm đi. Phép đo do vậy cũng có sai số.

Độ sáng của dao động đồ còn tăng khi tăng điện áp trên A2, nhưng khi tăng điện áp trên A2 thì độ nhạy giảm đi. Để khắc phục mâu thuẫn này, trong CRT thường được cấu tạo thêm Anốt hậu A3 ở sau các phiến làm lệch. Cấu tạo của A3 là lớp than chì dẫn điện được phủ xung quanh thành ống ở gần sát màn hình. Điện áp trên

A3, thường lớn gấp đôi điện áp  $U_{A2K}$ . Dưới tác dụng của điện trường này, điện tử được gia tốc thêm nhưng độ nhạy hầu như không bị ảnh hưởng gì. Tuy nhiên, điện tử cũng vẫn được tăng tốc khi đi qua các cặp phiến do tác dụng của A3, nhưng khoảng thời gian này không đáng kể so với khoảng thời gian điện tử đi từ cặp phiến lái tia đến màn hình. Hơn nữa, sự giảm độ nhạy do A3 có thể được bù lại bằng cách giảm điện áp  $U_{A2K}$ .

Độ nhạy và độ tụ của CRT còn bị ảnh hưởng bởi hiệu điện thế giữa A2 và các cặp phiến làm lệch. Để khử bỏ ảnh hưởng này, thì phải làm có điện thế của A2 bằng điện thế giữa 2 cặp phiến (tức là điện thế trên đường trục giữa của ống tia). Để dễ dàng thực hiện điều này, người ta thường nối đất A2 và cung cấp điện áp âm cho K. Nếu không quan tâm đến vấn đề này, mà nối đất một phiến trong 2 phiến làm lệch, còn phiến kia đưa điện áp xoay chiều vào thì có hiện tượng méo dạng dao động đồ như hình vẽ... Thật vậy, ứng với từng thời điểm khác nhau, điện thế tại trục giữa 2 cặp phiến là  $U_{A2}+U_y/3$ . Như vậy khi ứng với  $U_y=U_m$  có trị số dương thì điện thế tại điểm giữa là  $U_{A2}+U_m/2$ , khi đó độ nhạy có giá trị nhỏ nhất, độ tụ giảm đi. Ứng với  $U_y = -U_m$  có trị số âm, thì điện thế tại điểm giữa phiến là:  $U_{A2}-U_m/2$ , khi đó độ nhạy lại có trị số cao nhất, độ tụ giảm đi. Dao động đồ biểu diễn tín hiệu hình sin  $U_y$  sẽ không còn đối xứng với trị số trung bình nữa.



Hình 3.32 – Méo dao động đồ do cung cấp điện áp không đối xứng cho cặp lái tia

Vì độ hội tụ phụ thuộc vào điện trường giữa các phiến và A2, trong trường hợp này là chúng có thay đổi, nên sự hội tụ chỉ thực hiện được tốt ứng với một thời điểm nào đó mà thôi. Nếu nếu như độ tụ tốt nhất khi  $U_y=0$ , thì khi độ tụ sẽ giảm đi ứng với các thời điểm điện áp  $U_y=$             m.

Để khử hiện tượng méo dao động đồ này, người ta thực hiện nối đất A2 và đồng thời cung cấp điện áp đối xứng cho các cặp lái tia (tức là điện áp trên 2 cặp phiến đồng thời lệch pha nhau  $180^\circ$ ). Như vậy thì điện thế tại các điểm giữa các cặp phiến là không đổi khi có điện áp đặt vào. Để thực hiện được điều này, thì tầng khuếch đại tín hiệu cuối trước khi đưa vào các cặp lái tia là các bộ khuếch đại đối xứng dùng kiểu khuếch đại đẩy kéo hay tự động đảo pha.

***b/ ứng dụng của CRT:***

Thường làm màn hình chỉ thị cho máy hiện sóng, các máy phân tích phổ, máy vẽ đặc tuyến biên độ, tần số...



(a)



(b)

(a): CRT không chế bằng điện trường ứng dụng cho máy đo.

(b): CRT không chế bằng từ trường ứng dụng cho màn hình máy vi tính.

*Hình 3.33 – Ứng dụng của ống tia điện tử - CRT*

## **CÂU HỎI ÔN TẬP**

1. Trong cơ cấu đo chỉ thị kim, kim chỉ thị sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng khi có sự cân bằng của 2 mômen nào, viết phương trình cân bằng của 2 mômen đó.
2. Nêu nguyên tắc hoạt động của bộ chỉ thị kiểu từ điện?
3. Nêu nguyên tắc hoạt động của bộ chỉ thị kiểu điện từ?
4. Nêu cấu tạo, hoạt động và đặc điểm của cơ cấu đo điện từ?
5. Nêu cấu tạo, hoạt động và đặc điểm của cơ cấu đo từ điện?
6. Sơ đồ khối và nguyên lý hoạt động chung của cơ cấu chỉ thị số?
7. Các ưu điểm, nhược điểm của cơ cấu chỉ thị số?
8. Kể tên 2 loại bộ chỉ thị số thường dùng?
9. Khái niệm LED 7 đoạn sáng Katốt chung? Muốn hiển thị số 0, 5 thì phải làm gì?
10. Khái niệm LED 7 đoạn sáng Anốt chung? Muốn hiển thị số 3, 6 thì phải làm gì?
11. Khái niệm LCD và các ưu, nhược điểm của LCD? (chú ý: không cần nêu nguyên lý hoạt động)

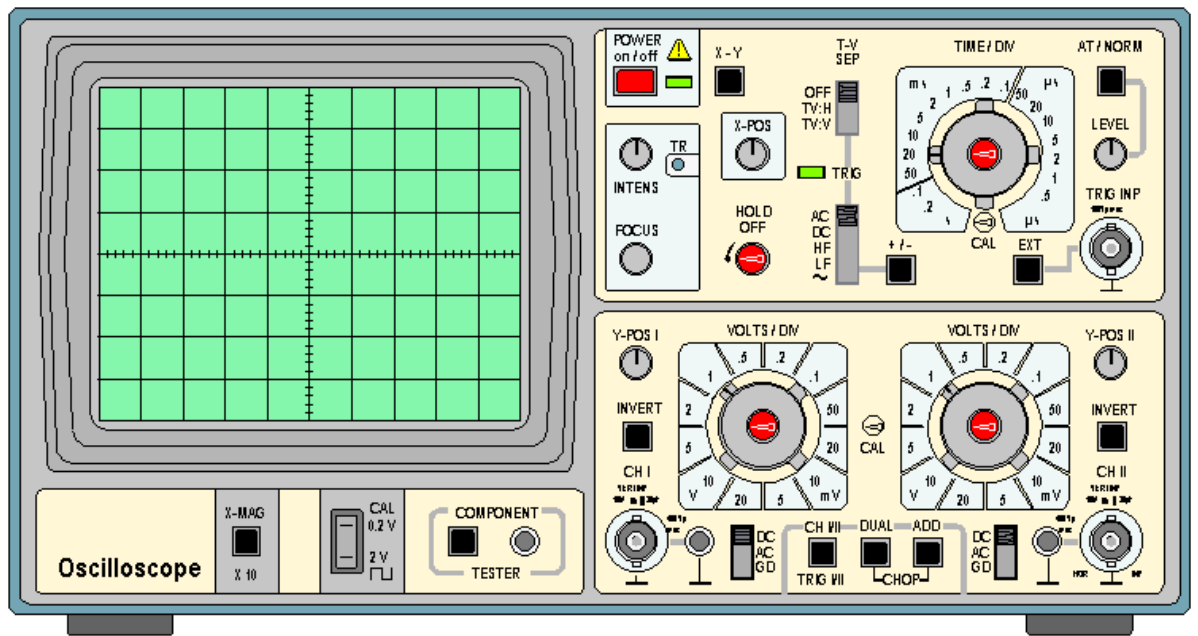
## CHƯƠNG 4 - MÁY HIỆN SÓNG (Ô-XI-LÔ)

### 4.1 GIỚI THIỆU CHUNG

#### 4.1.1 Khái niệm chung về quan sát dạng tín hiệu

Trong lĩnh vực Điện, Điện tử, và Viễn thông có nhiều dạng tín hiệu khác nhau, mỗi dạng tín hiệu có một số tham số đặc trưng nào đó. Trong đo lường điện tử, một trong những yêu cầu cơ bản để xác định tín hiệu là quan sát dạng của tín hiệu.





Hình 4.1 - Hình ảnh Máy hiện sóng (Ô-xi-lô)

Các tín hiệu thường được biểu diễn theo mối quan hệ biến thiên theo thời gian hay theo tần số. Giả sử tín hiệu được biểu diễn theo thời gian như sau  $u=f(t)$ . Nếu ta có tín hiệu  $y=b.f(t)$  và tín hiệu  $x=a.t$  thì có thể biểu diễn  $y=b.f(x/a)$ . Do vậy quan hệ giữa  $y$  và  $x$  cũng tỉ lệ như quan hệ giữa  $u$  và  $t$ . Nếu có thiết bị vẽ được trực tiếp đồ thị của  $y=b.f(x/a)$  thì ta cũng nhận được đồ thị biến thiên của tín hiệu theo thời gian. Như vậy ngoài việc quan sát được trực tiếp dạng tín hiệu ta còn đo lường được các thông số cường độ ( $U_m$ ) và thông số thời gian (Chu kỳ  $T$ )... của tín hiệu.

Ngoài ra ta có thể xác định được tín hiệu khi biết được phổ của nó (Theo biến đổi Frierier ngược). Giả sử tín hiệu có mật độ phổ là  $S(\omega)$ . Nếu ta tìm được tín hiệu  $y=b.S(\omega)$  và tín hiệu  $x=a.\omega$  thì có thể biểu diễn  $y=b.S(x/a)$ . Do vậy quan hệ giữa  $y$  và  $x$  cũng tỉ lệ như quan hệ giữa  $S$  và  $\omega$ . Nếu có thiết bị vẽ được trực tiếp đồ thị của  $y=b.S(x/a)$  thì ta cũng nhận được phổ của tín hiệu và từ đó cũng xác định được các thông số khác của tín hiệu như năng lượng phổ, dải tần...



Tóm lại ta có thể biểu diễn tín hiệu theo thời gian hay theo tần số trên màn hình phẳng. Đo lường bằng phương pháp quan sát dạng tín hiệu như vậy có nhiều hiệu quả, ta có thể xác định định tính tín hiệu một cách nhanh chóng, *phân biệt được loại tín hiệu* và có thể định lượng chính xác các đại lượng cần đo của tín hiệu. Thiết bị quan sát dạng sóng tín hiệu thường được sử dụng rất phổ biến trong kỹ thuật đo.

Thiết bị trực tiếp dùng để nghiên cứu dạng của tín hiệu là Ô-xi-lô, còn gọi là *máy hiện sóng (oscilloscope)* hay thực tế thường gọi theo phiên âm tiếng nước ngoài là *ô-xi-lô*. Ô-xi-lô thực hiện vẽ dao động đồ của tín hiệu trên màn hình.

#### **4.1.2 Các ưu điểm và khả năng ứng dụng của ô-xi-lô.**

Ô-xi-lô là loại thiết bị đo đa năng: ngoài việc cho phép quan sát dạng tín hiệu, còn có thể đo được hầu hết các thông số của các loại tín hiệu điện. Ngoài ra còn có thể ghi lại được trên phim ảnh các giá trị tức thời của các tín hiệu điện biến đổi có chu kỳ hay phi chu kỳ.

Ô-xi-lô là loại máy đo có nhiều tính năng tốt như : trở kháng vào lớn; độ nhạy cao (đo được điện áp từ vài   tới hàng chục kV); quán tính ít, dải tần rộng (từ 0 Hz tới vài chục GHz), màn chỉ thị (có thể dùng ống tia điện tử) khá sắc nét và màn hình rộng (từ 70-150mm) máy càng lớn chất lượng càng cao thì màn sáng hiện thị càng lớn....

Ô-xi-lô được sử dụng rất rộng rãi và là một trong những dụng cụ đo quan trọng nhất trong quá trình kiểm tra mạch và thiết bị điện tử, chủ yếu được dùng để quan sát dạng tín hiệu thay đổi theo thời gian ở đầu vào/ra, hay các vị trí khác nhau trong mạch, bên cạnh đó nó còn cho phép đo các tham số của tín hiệu như: Các trị số điện áp, chu kỳ, tần số, góc lệch pha, độ méo dạng, hệ số điều

ché,... Ngoài ra khi kết hợp với một số thiết bị chuyển đổi dạng năng lượng thì Ô-xi-lô có thể đo lường được nhiều dạng đại lượng vật lý biến đổi khác nhau như trong cơ học, trong sinh học, trong y học...

Bên cạnh đó khi kết hợp với một số thiết bị phụ trợ khác thì Ô-xi-lô có thể trở thành máy đo các thông số của mạch điện tử. (Ví dụ vẽ đặc tuyến biên độ tần số của mạch...).

Tóm lại Ô-xi-lô là một thiết bị đo vạn năng không những được dùng khá rộng rãi trong lĩnh vực Điện tử - Viễn thông mà còn được dùng nhiều trong các ngành công nghiệp khác nữa.

### **4.1.3 Phân loại ô-xi-lô.**

Có nhiều cách phân loại ô-xi-lô khác nhau tùy theo ứng dụng và cấu tạo...

Phân loại theo chế độ đồng bộ:

■ Ô-xi-lô không đồng bộ dùng để quan sát những tín hiệu phi chu kỳ.

■ Ô-xi-lô đồng bộ dùng để quan sát tín hiệu có chu kỳ.

Phân loại theo dải tần làm việc:

■ Ô-xi-lô tần số thấp.

■ Ô-xi-lô tần số cao,

■ Ô-xi-lô tần số siêu cao.

Phân loại theo cấu tạo:

■ Ô-xi-lô 1 kênh.

■ Ô-xi-lô 2 kênh.

■ Ô-xi-lô hỗn hợp (2 kênh tương tự +16 kênh tín hiệu số)).

Ô-xi-lô có nhớ kiểu tương tự hay kiểu số.

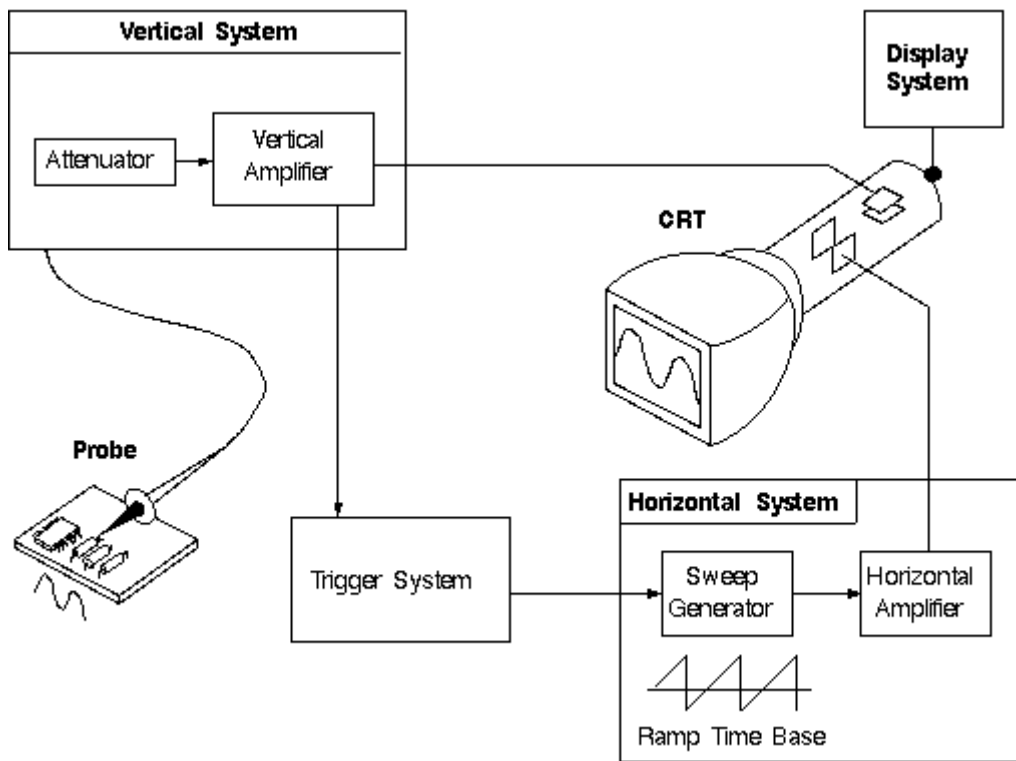
Ô-xi-lô xung để quan sát tín hiệu có khoảng thời gian tồn tại ngắn.

## 4.2 Ô-XI-LÔ TƯƠNG TỰ

### 4.2.1 Sơ đồ khối và nguyên lý làm việc của ô-xi-lô tương tự 1 kênh.

Như đã xét ở trên, có rất nhiều loại ô-xi-lô khác nhau: ô-xi-lô số, ô-xi-lô tương tự, ô-xi-lô 1 tia hay 2 tia ... nhưng sau đây ta chỉ xét chi tiết cấu tạo và nguyên lý hoạt động của ô-xi-lô tương tự 1 tia.

#### a. Cấu trúc chung của Ô-xi-lô tương tự dùng CRT



**Probe:** Dây đo

**Vertical System:** Kênh lệch đứng Y

**Attenuator:** Bộ phân áp

**Vertical Amplifier:** Khuếch đại lệch đứng Y

**Trigger System:** Khối kích khởi (đồng bộ)

**Horizontal System:** Kênh lệch ngang X

**Sweep Generator:** Bộ tạo điện áp quét

**Horizontal Amplifier:** Khuếch

đại lệch ngang

**Display System:** Kênh điều chỉnh độ sáng Z

*Hình 4.2 - Cấu trúc chung của Ô-xi-lô tương tự 1 kênh*

Cấu trúc chung của Ô-xi-lô tương tự 1 kênh dùng CRT gồm:

+ **CRT:** Màn chỉ thị ống tia điện tử không chế bằng điện trường. Có nhiệm vụ hiển thị dạng sóng trên màn hình. Đây bộ phận trung tâm của Ô-xi-lô. Và là đối tượng điều khiển chính trong ô-xi-lô.

Về cấu tạo ống tia điện tử là một ống chân không vô thủy tinh, bên trong có chứa các điện cực. Đầu ống hình trụ có chứa súng điện tử và 2 cặp phiến làm lệch. Đầu cuối ống loe to hình nón cụt, đáy ống là màn huỳnh quang có tác dụng phát sáng khi có tia  $e^-$  đập vào. ống điện tử có nhiệm vụ tạo ra tia  $e^-$  xuất phát từ Catot đến màn hình tạo ra vết sáng có dạng phụ thuộc vào quy luật của tín hiệu đưa đến các phiến làm lệch Y1Y2 và X1X2 của ống tia. Các khối khác của Ô-xi-lô Điện áp điều khiển cặp lái đứng  $U_{Y1Y2}$  và cặp lái ngang  $U_{X1X2}$ .

+ **Kênh lệch đứng Y (Vertical System):** Có nhiệm vụ nhận tín hiệu cần quan sát  $U_{th}$  được đưa vào từ dây đo (**Probe**) thực hiện các chức năng biến đổi tín hiệu và tạo ra tín hiệu phù hợp (dạng điện áp đối xứng) đưa tới cặp lái đứng Y1Y2 của CRT.

+ **Khối đồng bộ (Triger System):** hay còn được gọi là Khối kích khởi, có nhiệm vụ nhận tín hiệu đồng bộ (tín hiệu kích khởi)  $U_{đb}$  tạo ra xung đồng bộ  $U_{xđb}$  để điều khiển kênh lệch ngang X.

+ **Kênh lệch ngang X (Horizontal System):** Tạo ra điện áp quét răng cưa hay nhận tín hiệu quét từ bên ngoài (qua đầu vào Ext) để tạo ra điện áp quét ngang đưa tới cặp lái ngang X1X2 của CRT.

Tùy theo dạng điện áp quét mà hình ảnh sáng trên CRT có dạng khác nhau:

+ Nếu  $U_q$  là điện áp răng cưa tuyến tính thì dao động đồ là dạng tín hiệu theo thời gian.

+  $U_q$  giống dạng tín hiệu vào thì dao động đồ là các hình ảnh phức tạp dạng cánh hoa, ... được gọi là dao động đồ Lissajous.

### ***b. Nguyên lý và các phương pháp quét***

Đưa điện áp của tín hiệu cần nghiên cứu lên cặp phiến lệch Y, và điện áp quét răng cưa lên cặp phiến lệch X. Do tác dụng đồng thời của cả hai điện trường lên 2 cặp phiến mà tia điện tử dịch chuyển cả theo phương trục X và Y. Quỹ đạo của tia điện tử dịch chuyển trên màn sẽ vạch nên hình dáng của điện áp nghiên cứu biến thiên theo thời gian. Nếu điện áp quét là hàm liên tục theo thời gian thì được gọi là quét liên tục, nếu điện áp quét là hàm gián đoạn theo thời gian thì được gọi là quét đợi.

#### ***b.1. Nguyên lý quét tuyến tính liên tục***

Điện áp quét tuyến tính liên tục có tác dụng lái tia điện tử dịch chuyển lặp đi lặp lại 1 cách liên tục theo phương ngang tỷ lệ bậc nhất với thời gian. Để quét tuyến tính liên tục cần phải dùng điện áp biến đổi tuyến tính liên tục (tăng tuyến tính hay giảm tuyến tính).

Giả sử:

+  $U_{th} \sin \omega t$  đưa vào kênh Y và đưa tới cặp lái đứng  $Y_1Y_2$

+  $U_q \cdot t$  đưa tới cặp lái ngang  $X_1X_2$  -> điện áp trên các cặp lái tia như sau:

$$U_y = U_{y1y2} = U_{th} S_y$$

$$U_x = U_{x1x2} = U_q S_x$$

Trong đó: +  $S_y K_y S_{oy}$ : độ nhạy của kênh Y  
 +  $S_x K_x S_{ox}$ : độ nhạy của kênh X  
 +  $K_X$  và  $K_Y$  là hệ số khuếch đại tổng cộng của kênh Y và X.

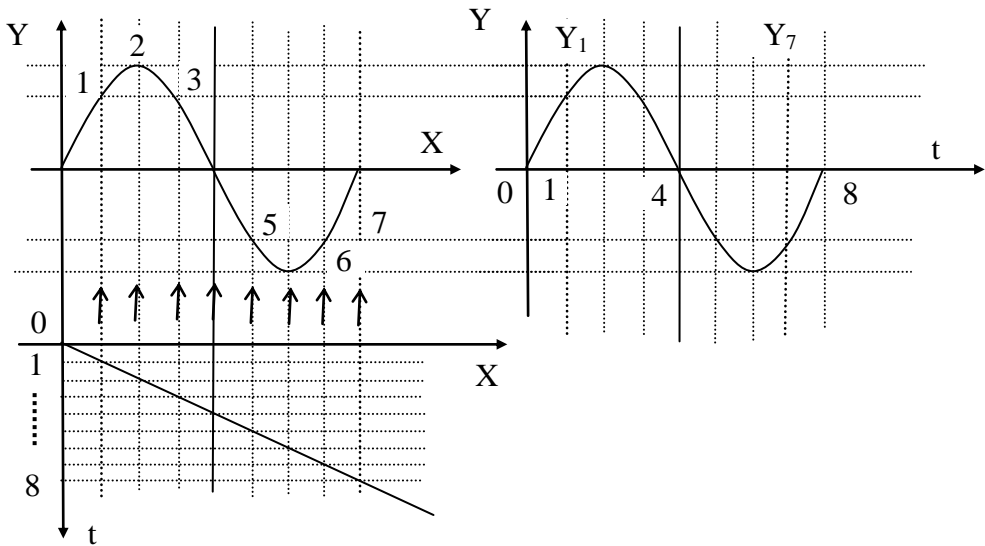
Như vậy độ lệch tia trên màn hình theo chiều đứng và chiều ngang

$$y = U_{th} K_y S_{oy} \sin \left( \frac{2\pi}{K_x S_{ox} a} x \right)$$

$$x = U_q K_x S_{ox} a \sin \left( \frac{2\pi}{K_x S_{ox} a} x \right) \quad (1)$$

Trong đó:  $Y_m = K_y S_{oy} U_m$

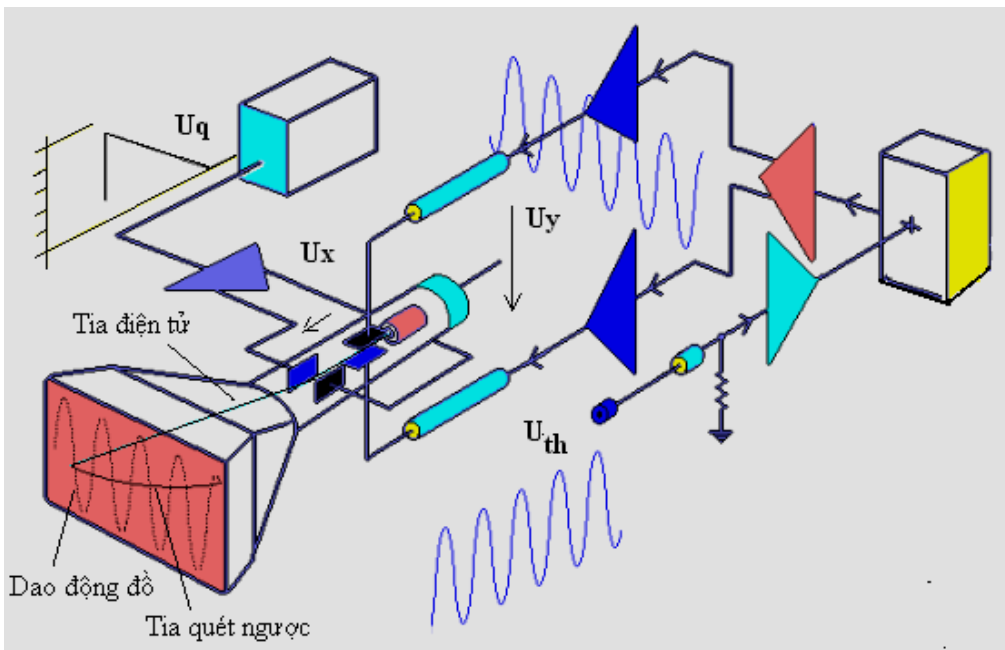
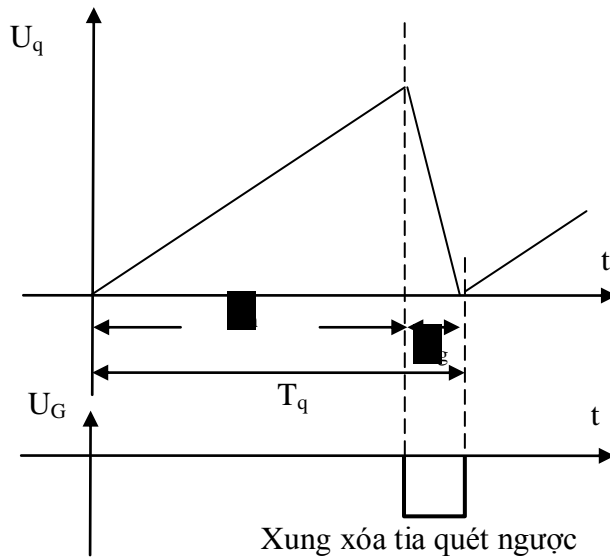
Biểu thức (1) chính là đồ thị của dao động đồ trên màn hình, nó có dạng giống dạng  $U_{th}$  cần quan sát. Như vậy khi điện áp quét được đưa vào cặp lái ngang  $X_1 X_2$  là điện áp tuyến tính thì dạng dao động đồ trên màn hình chính là dạng tín hiệu cần nghiên cứu theo thời gian. Minh họa nguyên lý quét tuyến tính như Hình 4.3



Hình 4.3 – Minh họa nguyên lý quét tuyến tính

Nếu  $t \rightarrow$  thì tia điện tử vượt quá giới hạn màn hình điện áp quét được sử dụng phải là dạng điện áp quét răng cưa tuyến tính. Điện áp quét răng cưa lý tưởng thời gian quét ngược  $t_g = 0$  trường hợp này sẽ không có tia quét ngược. Tuy nhiên trong thực tế  $t_g \neq 0$ .  $T_q = t_h + t_g$  Do tồn tại thời gian quét ngược nên điểm sáng trên màn hình sẽ chuyển ngược từ trái qua phải tạo nên 1 đường quét ngược không mong muốn, để loại trừ thì chọn  $T_{th} \gg t_g$ . Để loại trừ hoàn toàn, trong thời gian quét ngược người ta tạo ra 1 xung âm đưa tới cực điều chế G của CRT để xóa tia quét ngược đó.

Nếu tần số quét đủ cao, màn huỳnh quang có độ dư huy đủ mức cần thiết thì khi mới chỉ có  $U_q$  đặt vào cặp phiến X1X2 đã có một đường sáng theo phương ngang. Khi có cả  $U_{th}$  đặt vào cặp phiến Y và nếu  $T_q = nT_{th}$  thì trên màn xuất hiện dao động đồ của một hay vài chu kì của điện áp nghiên cứu ( $U_{th}$ ).



Hình 4.4 – Minh họa nguyên lý tạo ảnh trên màn hình

Để có ảnh quan sát với chất lượng cao cần chọn:

$$t_g \ll T_q \text{ hay } T_q \gg t_g$$

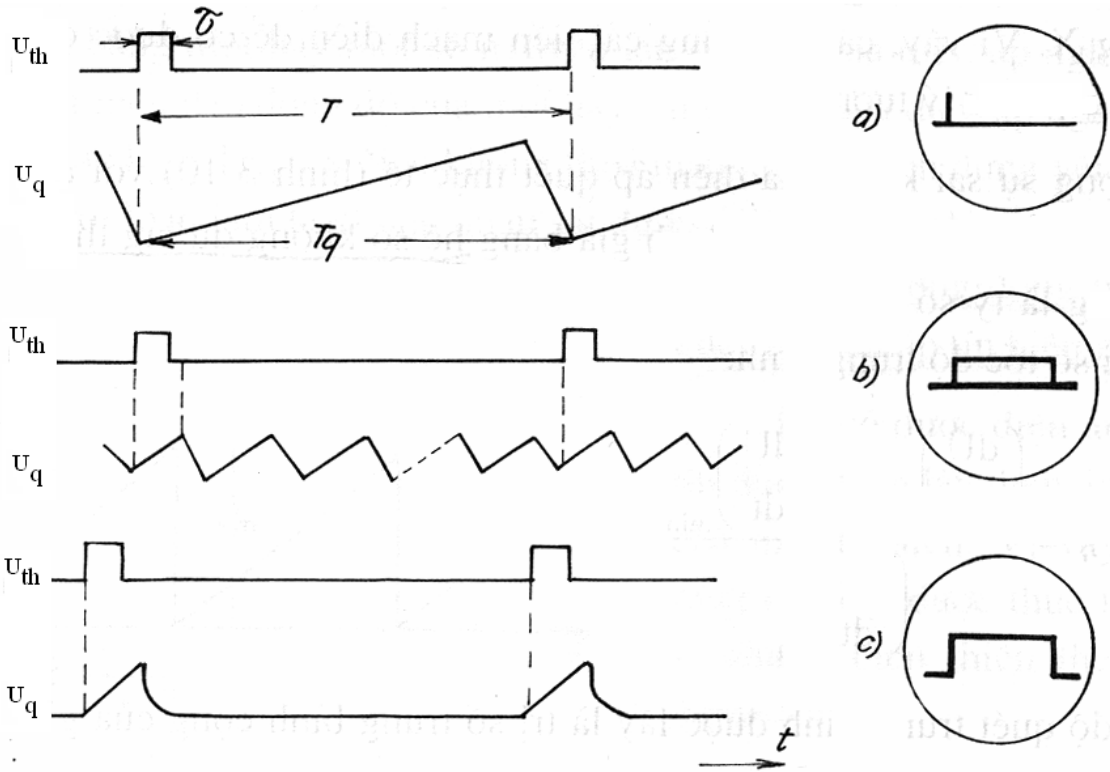
Điều kiện đồng bộ phải thỏa mãn:  $T_q = nT_{th}$

### b.2. Nguyên lý quét đợi

Quét đợi là chế độ quét tuyến tính mà điện áp quét không xuất hiện liên tục, tuần hoàn mà chỉ xuất hiện khi tín hiệu vào cần quan sát được đưa tới kênh Y của của Ô-xi-lô đạt được biên độ và cực



tính nhất định. Chế độ này thường dùng để quan sát các dạng xung có độ xấp lớn (hệ số lấp đầy  $\ll T$  bé), hoặc tín hiệu xung không tuần hoàn. Ví dụ minh họa nguyên lý quét đợi như



Hình 4.5 - Minh họa chế độ quét đợi

Giả sử tín hiệu xung  $U_{th}$  có hệ số lấp đầy nhỏ  $\ll T$ , hình ảnh dao động đồ tương ứng với các trường hợp khác nhau của điện áp quét như Hình 4.5.

(a):  $U_q$  liên tục và  $T_q = T_{th}$  : xung chỉ xuất hiện trong một thời gian rất bé ( $\ll T_{th}$ ) nên rất khó quan sát và đo lường đợc.

(b):  $U_q$  liên tục và  $T_q \ll T_{th}$  Hình dáng xung đã đợc khuếch đại ra, tuy nhiên xung mờ so với đường nền ở dưới nên cũng khó quan sát và đo lường, mặt khác khó thực hiện đồng bộ nên dao động đồ không ổn định, không quan sát đợc đầy đủ dạng xung (sườn xung, đỉnh xung,...).

(c):  $U_q$  dạng điện áp quét đơi: chỉ có điện áp quét khi có xung, như vậy hình dáng xung đã được khuếch đại ra, dễ dàng quan sát hơn, để quan sát toàn bộ xung nghiên cứu thì nên điều chỉnh để  $>$  một chút.

**c. Nguyên lý đồng bộ và các phương pháp kích khởi**

+ Hiện tượng mất đồng bộ:

Trong các trường hợp khi chúng ta quan sát trên ô-xi-lô ở chế độ tuyến tính liên tục thì thấy có xảy ra hiện tượng dao động đồ không đứng yên mà có cảm giác như là chuyển động trên màn hình, hoặc hình ảnh dao động đồ không phản ánh trung thực dạng tín hiệu. Hiện tượng đó gọi là hiện tượng mất đồng bộ. Để dao động đồ đứng yên ta phải thực hiện nguyên lý đồng bộ.

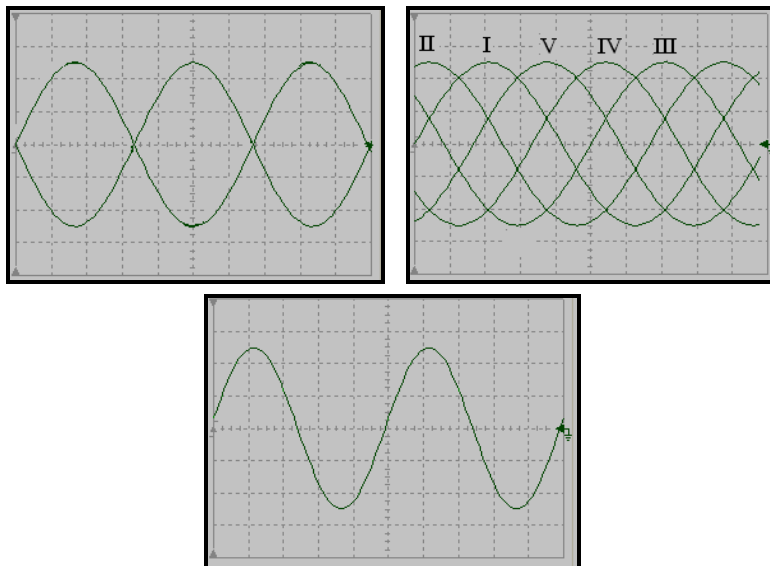
+ Điều kiện đồng bộ:

Để rút ra điều kiện đồng bộ, ta xét dao động đồ khi của tín hiệu  $U_{th}$  là dạng điện áp hình sin trong các trường hợp chu kỳ điện áp quét tuyến tính liên tục khác nhau sau:

(a)  $T_q = 2T_{th}$

(b)  $T_q = \frac{2}{5}T_{th}$

(c)  $T_q = T_{th}$



Hình 4.6 - Hình ảnh dao động đồ với các trường hợp  $T_q$  khác nhau

(a):  $T_q \ll T_{th}$ : Hình ảnh dao động đồ đứng yên và lặp lại sau 2 chu kỳ điện áp quét, nhưng không phản ánh đúng dạng tín hiệu -> Ô-xi-lô mất đồng bộ.

(b)  $T_q \approx T_{th}$ : Ứng với 5 chu kỳ quét liên tiếp dao động đồ xuất hiện ở các vị trí khác nhau I, II, III, IV, V, như vậy dao động đồ lặp lại sau khoảng thời gian rất lớn, bằng 6 chu kỳ điện áp quét, do đó khi quan sát dao động đồ sẽ chuyển động trên màn hình -> Ô-xi-lô mất đồng bộ.

(c)  $T_q = n.T_{th}$ : Qua mỗi chu kỳ quét dao động đồ dao động đồ xuất hiện trên màn hình trên một đường duy nhất, như vậy dao động đồ quan sát được ổn định, rõ nét, như vậy Ô-xi-lô đạt điều kiện đồng bộ.

Tóm lại điều kiện đồng bộ đối với chế độ quét tuyến tính liên tục như sau:

$$T_q = n.T_{th} \quad (n: \text{nguyên dương})$$

Như vậy để thỏa mãn điều kiện đồng bộ, chu kỳ điện áp quét tuyến tính liên tục phải bằng số nguyên lần chu kỳ tín hiệu cần quan sát.

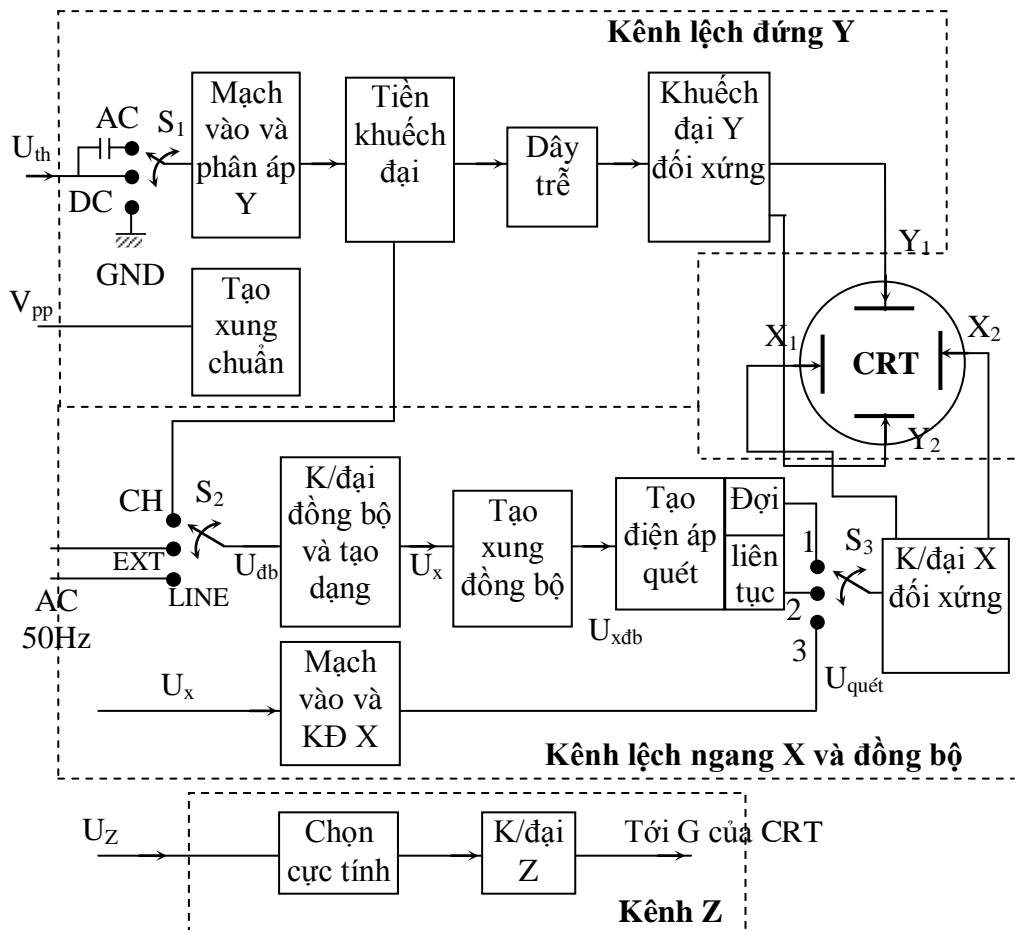
Quá trình thiết lập và duy trì điều kiện này là quá trình đồng bộ của Ô-xi-lô. Quá trình này được thực hiện theo sơ đồ đồng bộ.

+ Các chế độ đồng bộ:

- Đồng bộ trong: tín hiệu đồng bộ lấy từ kênh Y của Ô-XI-LÔ
- Đồng bộ ngoài (EXT)
- Đồng bộ điện lưới (LINE)

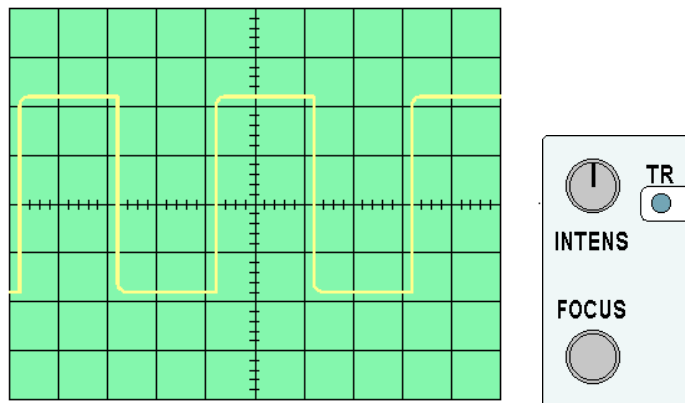
**d. Sơ đồ khối chi tiết của ô-xi-lô tương tự.**

Sơ đồ khối điển hình của một Ô-xi-lô tương tự (có ống tia điện tử không chế bằng điện trường) như sau: (hình 3.3)



+ Chức năng các khối trong sơ đồ cấu tạo của ô-xi-lô tương tự.

**Màn hình ống tia CRT:**

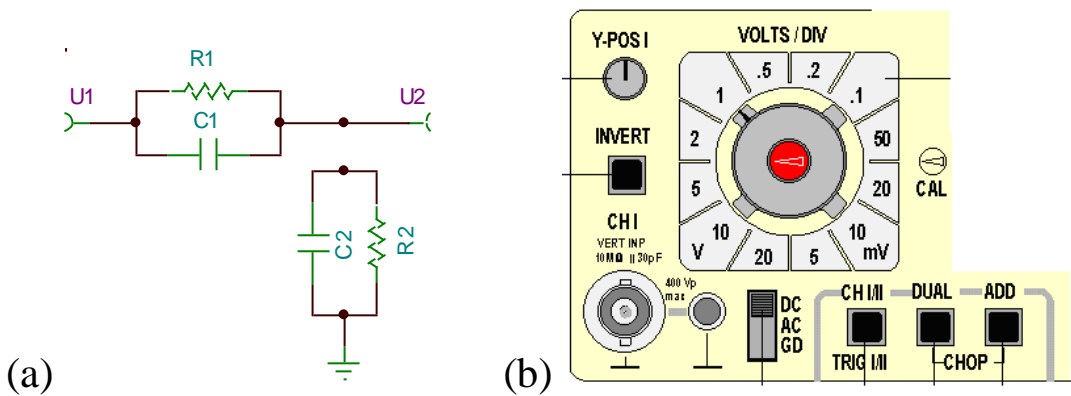


**Kênh lệch đứng y (Kênh tín hiệu):**

Có tác dụng biến đổi điện áp tín hiệu cần nghiên cứu phù hợp với độ lệch tia theo chiều đứng. Kênh lệch đứng y bao gồm:

+ *Khối suy giảm hay bộ phân áp* vào thường là mạch điện dung-điện trở và có hệ số phân áp không đổi trong dải tần rộng để đưa điện áp có giá trị biên độ thích hợp vào mạch vào và tầng khuếch đại kênh y để có thể mở rộng lượng trình điện áp cần đo. Chuyển mạch của bộ phân áp được ghi ra ngoài mặt máy Volts/Div (Div độ chia dọc).

Ví dụ sơ đồ tương đương khâu suy giảm R-C như hình vẽ (a):



Hình 4.7 – Chuyển mạch phân áp

Hệ số chia áp của khâu phân áp RC là:

$$H = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Trong đó  $Z_1, Z_2$  là trở kháng tương đương của mỗi khâu phân áp.

$$Z_1 = \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} \quad \text{và} \quad Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}$$

Để hệ số phân áp không phụ thuộc tần số, chọn  $R_1 C_1 = R_2 C_2$ , khi đó:

$$H \frac{R_1 R_2}{R_2} - \text{không phụ thuộc vào tần số}$$

+ *Khối mạch vào và tiền khuếch đại y*: Tăng  $Z_v$  của kênh y (hay chính của ô-xi-lô) và để phối hợp trở kháng vào của kênh y với trở kháng sóng của cáp dẫn tín hiệu đến. Tiền KĐ y để làm tăng độ nhạy kênh y: ( $K_{\text{tổng}} = K_{\text{tiền KĐy}} + K_{\text{KĐ đối xứng}}$ ) Mạch này còn tham gia vào dải thông tần của kênh y. (Mạch vào thường là tầng KĐ dùng dalinhtror mắc CC, JFET, MOS-FET, sau đó là tiền KĐ y là KĐTT mắc vi sai). Triết áp điều chỉnh đưa ra mặt máy để biến đổi  $K_{\text{tiền KĐ}}$  để dao động đồ biến thiên theo chiều y.

+ *Khối dây trễ*: thường là chuỗi các phần tử LC dùng khi tín hiệu  $U_y$  là dạng xung, để tạo trễ giữa xung vào đưa đến phiến làm lệch đứng với điện áp đưa đến phiến lệch ngang để khi quan sát tín hiệu không bị mất sườn trước của xung, và sử dụng trong trường hợp quét đơi.

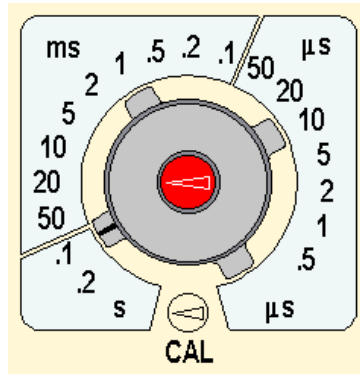
+ *Bộ khuếch đại y đối xứng*: làm tăng độ nhạy chung của kênh y, thực hiện đảo pha tín hiệu để cung cấp đối xứng cho cặp phiến làm lệch độ tiêu tụ chùm tia tới mới tốt, độ nhạy mới đối xứng nhau đối với trục x, và không làm méo dạng đồ thị dao động do cách cung cấp tín hiệu không đối xứng gây nên.

+ *Khối tạo dao động có biên độ chuẩn*  $U_{pp}$  cố định để kiểm chuẩn thang khắc độ của chuyển mạch phân áp y trước khi thực hiện phép đo biên độ điện áp. Thường là là bộ dao động đa hài đối xứng tự dao động.

### **Kênh lệch ngang x.**

Đùng để tạo nên điện áp quét và truyền đạt điện áp để cặp phiến làm lệch ngang. Và khuếch đại tín hiệu đồng bộ với điện áp lệch ngang. Trong kênh lệch ngang gồm có:

+ Trường hợp quét trong thì có : *Bộ tạo điện áp quét răng cưa* (quét nội ) tăng hay giảm tuyến tính (có thể là điện áp răng cưa quét liên tục hay quét đợt) .



+ Trường hợp quét ngoài thì cần có :

- *Mạch vào và tiền khuếch đại* thường là bộ phối hợp trở kháng và suy giảm để giảm nhỏ biên độ điện áp quét ngoài đến mức cần thiết.

+ *Bộ khuếch đại đối xứng kênh X* để khuếch đại điện áp quét trong hay quét ngoài đến mức cần thiết.

### **Khối đồng bộ**

Giải quyết vấn đề pha của tín hiệu cần quan sát  $U_q$  với tín hiệu quét ngang, để được dao động đồ cố định và trung thực, rõ ràng. Có 3 loại tín hiệu đồng bộ đưa đến chuyển mạch S1:

- *Đồng bộ ngoài* : Tín hiệu đồng bộ ngoài cho qua bộ đảo cực tính, sau đó tới khuếch đại và tạo dạng xung đồng bộ, tiếp đó qua bộ tạo xung kích phát quét , xoá, chiếu sáng, và tiếp đó tới bộ tạo quét (liên tục hay đợt) và cuối cùng đưa tới bộ khuếch đại X đối xứng. Trường hợp này dùng khi quan sát tín hiệu xung có độ rộng hẹp, tần số xung lớn.

- *Đồng bộ trong* : Lấy một phần tín hiệu  $U_y$  cần quan sát từ khối tiền Khuếch đại Y đưa xuống đồng bộ, trường hợp này dùng để quan sát tín hiệu  $U_y$  là sin hoặc xung trong dải tần số thấp, cao.

- Đồng bộ 50 Hz xoay chiều : Lấy một phần tín hiệu điện áp xoay chiều nguồn nuôi 50Hz đưa vào chuyển mạch đồng bộ. Dùng để quan sát tín hiệu ở phạm vi tần số thấp, tần số công nghiệp dạng sin...

**Kênh khuếch đại z :**

Bao gồm mạch vào, đổi cực tính, khuếch đại z và vào cực điều chế G để thay đổi độ sáng trên màn. Sử dụng trong trường hợp có tín hiệu điều chế độ sáng vào.

**Khởi nguồn nuôi :**

Đảm bảo cấp nguồn cho toàn bộ máy hiện sóng.

**Một số chế độ làm việc:**

- Quét liên tục đồng bộ trong (ngoài): Dùng để quan sát ảnh của tín hiệu liên tục theo thời gian và đo các tham số của chúng. S2 ở vị trí CH (hoặc EXT nếu là đồng bộ ngoài), S3 ở vị trí 2. Tín hiệu từ lối vào kênh Y, qua Mạch vào và bộ phân áp Y được khuếch đại tới một mức nhất định, sau đó được giữ chậm lại rồi đưa qua Bộ KĐ Y đối xứng để tạo 2 tín hiệu có biên độ đủ lớn, đảo pha nhau đưa tới 2 phiến đứng

- Quét đợt đồng bộ trong: Dùng để quan sát và đo tham số của dãy xung không tuần hoàn hoặc dãy xung tuần hoàn có độ hỏng lớn. S2 ở vị trí CH, S3 ở vị trí 1. Quá trình hoạt động: giống chế độ 1

- Chế độ khuếch đại (chế độ quét lissajous): Dùng để đo tần số, góc lệch pha, độ sâu điều chế, vẽ đặc tính Vôn-Ampe của diốt hoặc dùng làm thiết bị so sánh. Hình nhận được trên màn Ô-XI-LÔ gọi là hình **Lissajous**. S3 ở vị trí 3. Bộ tạo quét trong được ngắt ra khỏi quá trình hoạt động. Ô-XI-LÔ làm việc theo 2 kênh độc lập X,Y và đầu vào X cũng là đầu vào tín hiệu.



### **4.2.2 Ô-xi-lô nhiều kênh.**

Trong những trường hợp cần so sánh nhiều tín hiệu cần đo, ta phải khảo sát hai hay nhiều quá trình trên một Ô-xi-lô. Vấn đề này được giải quyết bằng các biện pháp:

- Mỗi quá trình nghiên cứu được dùng một tia điện tử riêng biệt.

- Chỉ dùng một tia điện tử để ghi cả hai quá trình nhưng làm cho tia điện tử thay đổi có chu kỳ để ghi từ quá trình này sang quá trình khác.

Phương pháp thứ nhất phải dùng nhiều Ô-xi-lô khác nhau, mỗi Ô-xi-lô nghiên cứu một quá trình riêng biệt. Cách thực hiện như vậy thì rất tốn kém, vì phải dùng nhiều Ô-xi-lô. Hơn nữa, vì độ nhạy của các ống tia điện tử khác nhau, tỷ lệ xích về thời gian không giống nhau, nên phương pháp này ít dùng.

Trên thực tế, người ta dùng Ô-xi-lô nhiều tia, mà phổ biến là loại hai tia. Trong các loại Ô-xi-lô này, ống tia điện tử được cấu tạo theo hai cách.

- Loại ống tia có ngăn đôi (hoặc nhiều hơn), hệ thống súng điện tử. Những hệ thống này tạo nên hai tia điện tử (hay nhiều tia) tác dụng lên cùng một màn hình.

- Loại ống có tia điện tử phát ra từ cùng một catốt ra một số tia.

Cả hai loại ống trên đều có khó khăn trong chế tạo là làm sao để khử bỏ được tác dụng ảnh hưởng lẫn nhau của các tia điện tử. Khó khăn này càng lớn khi số tia điện tử càng nhiều. Vì vậy, thông thường chỉ có loại ống có hai tia. Trong một số quá trình có cùng tần số, có thể khảo sát đồng thời trên màn của một Ô-xi-lô có ống tia điện tử có một tia. Cách này được thực hiện theo biện pháp thứ

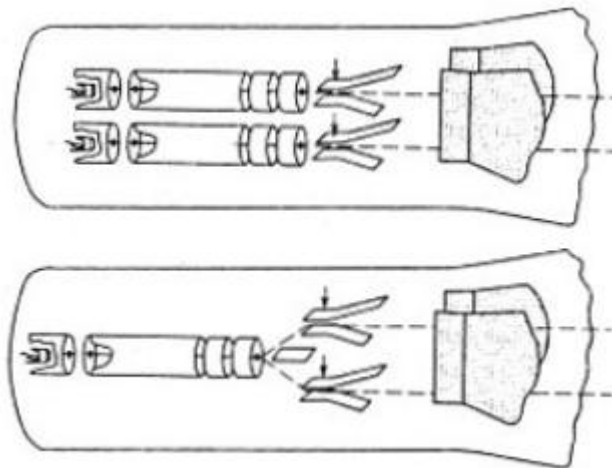
hai đã nói ở trên; nó được kèm theo một bộ phận phụ của Ô-xi-lô nữa là chuyển mạch điện tử.

Chuyển mạch điện tử là thiết bị dùng đèn điện tử hoặc đèn bán dẫn, đầu vào được đưa tới cả hai quá trình điện áp cần nghiên cứu. Đầu ra của nó đưa tới cặp phiến lệch Y (hay bộ khuếch đại y) của Ô-xi-lô.

Tác dụng của chuyển mạch điện tử là làm cho tia điện tử chuyển đổi thời gian quét để ghi quá trình cần nghiên cứu này sang quá trình cần nghiên cứu khác. Sự chuyển mạch trên được thực hiện do sự không chế dao động xung vuông đối xứng được tạo ra từ một bộ đa hài. Điện áp chuyển mạch cần yêu cầu dạng xung của nó gần vuông góc, có như vậy thì sự chuyển trạng thái mới tức thời, không gây mờ rối dao động đồ cần quan sát. Xung điện áp này cần phải đối xứng, tức thời gian hai khoảng chu kỳ dương và âm phải bằng nhau, có như vậy thì độ sáng của hai dao động đồ mới bằng nhau.

**a. Ô-xi-lô 2 kênh dùng CRT 2 tia**

Cấu tạo của Ô-xi-lô hai tia được minh họa như ở Hình 4.8

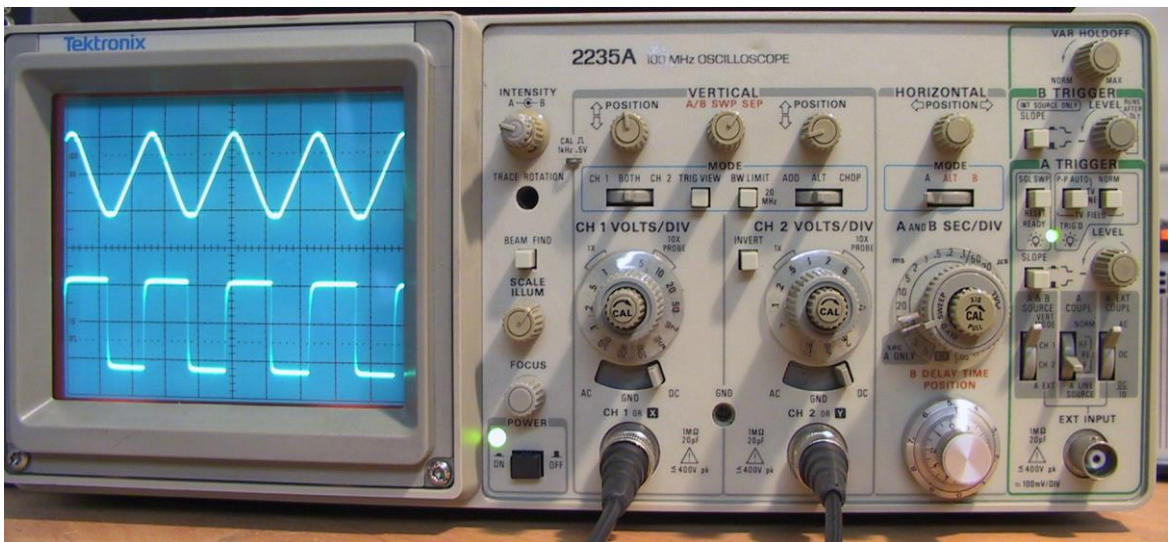


**Hình 4.8 - CRT 2 tia**

## Chương 4 – Máy hiện sóng (Ô-xi-lô)

Cấu tạo cơ bản của Ô-xi-lô điện tử hai tia giống như Ô-xi-lô một tia, nhưng ở Ô-xi-lô hai tia cần chú ý rằng trong một ống tia điện tử có hai súng phóng tia điện tử riêng biệt, tức là gần đôi hệ thống súng điện tử, ta có hai súng phóng tia điện tử riêng biệt. Mỗi chùm tia điện tử cho một vết dạng sóng. Mỗi tia điện tử được súng điện tử tạo ra từ catốt qua các điện cực đến màn huỳnh quang được qua các cặp phiến làm lệch riêng của nó (Y11; Y12 và Y21; Y22) để lái tia điện tử (1) và (2) theo chiều đứng. Dạng sóng quét răng cưa từ bộ tạo góc thời gian đưa vào cặp phiến lệch ngang và cả hai chùm tia điện tử này được làm lệch ngang màn hình một cách đồng thời. Ô-xi-lô sử dụng CRT 2 tia có lối vào cặp phiến lệch đứng tách biệt hoàn toàn, kênh A và kênh B. Mỗi kênh đều có các mạch khuếch đại làm lệch riêng biệt của nó để tới một cặp phiến làm lệch đứng. Bộ tạo góc thời gian điều khiển một bộ duy nhất các tấm lái tia ngang.

### b. Ô-xi-lô 2 kênh dùng CRT 1 tia kết hợp chuyển mạch điện tử



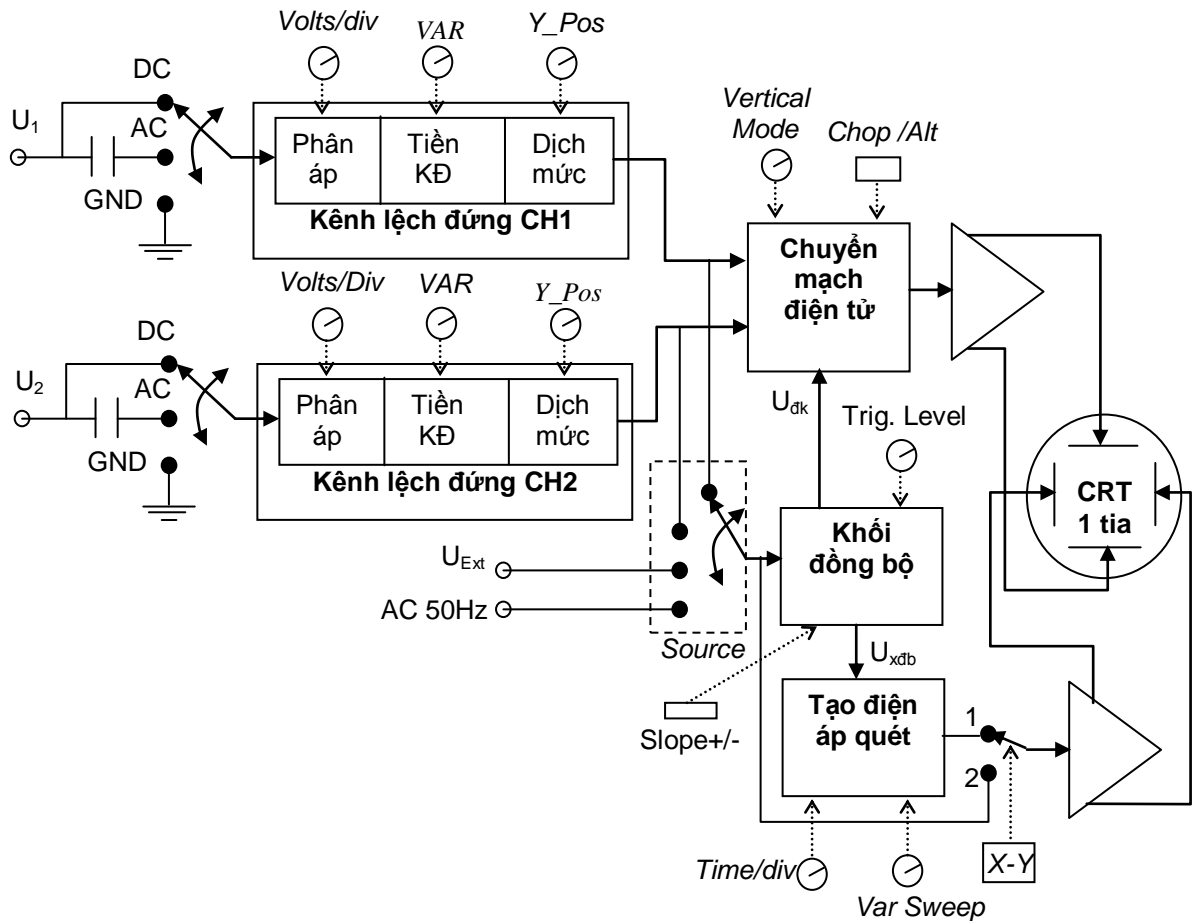
Hình 4.9 - Hình ảnh của Ô-xi-lô tương tự 2 kênh dùng CRT 1 tia

Sơ đồ nguyên lý của Ô-xi-lô 2 kênh dùng CRT 1 tia kết hợp chuyển mạch điện tử như 150. Trong đó hai tín hiệu cần quan sát ( $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ) sẽ được đưa vào 2 kênh lệch đứng riêng biệt giống

nhau rồi đưa tới chuyển mạch điện tử. Chuyển mạch điện tử sẽ được điều khiển để tại 1 thời điểm chỉ có 1 tín hiệu qua nó và đưa tới khuếch đại Y đối xứng để đưa tới cặp lái đứng  $Y_1Y_2$  và tín hiệu đó sẽ được hiển thị trên màn hình. Hai tín hiệu sẽ được lần lượt hiển thị trên màn hình theo 2 chế độ quét: quét tuần tự và quét xen kẽ.

+Chế độ quét tuần tự (**Alt Mode**): Nguyên lý: lần lượt qua mỗi chu kỳ quét, các tín hiệu  $U_1(t)$  (giả sử là dạng điện áp hình sin) và  $U_2(t)$  (giả sử là dạng điện áp tam giác) được đưa qua chuyển mạch điện tử và đưa qua khuếch đại Y đối xứng để lần lượt hiển thị trên màn hình. Giả sử trong các chu kỳ quét lẻ  $U_1$  được hiển thị còn trong các chu kỳ quét chẵn  $U_2$  được hiển thị. Minh họa chế độ quét tuần tự như

Ưu điểm của chế độ quét tuần tự là tốc độ chuyển mạch không cần lớn, rất phù hợp để quan sát nhưng tín hiệu có tần số cao, nhược điểm điểm là khi tần số tín hiệu quan sát nhỏ,  $T_q$  lớn dao động đồ quan sát không ổn định.



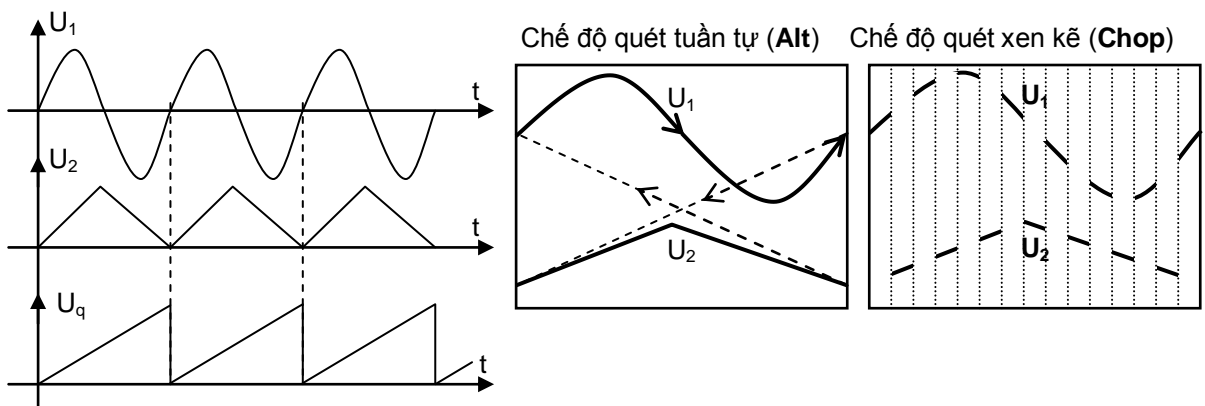
Hình 4.10 - Sơ đồ nguyên lý ô-xi-lô 2 kênh

+ Chế độ quét xen kẽ (**Chop Mode**): Trong 1 chu kỳ  $T_q$ , người ta chia làm nhiều khoảng thời gian bằng nhau. Lần lượt qua mỗi khoảng thời gian này các tín hiệu  $U_1$ ,  $U_2$  được đưa qua chuyển mạch điện tử và đưa tới k/đại Y đối xứng để hiển thị lên màn hình. Giả sử trong khoảng thời gian lẻ  $U_1$  được hiển thị, trong khoảng thời gian chẵn  $U_2$  được hiển thị. Như vậy, trong 1 chu kỳ  $T_q$ , cả 2 tín hiệu đều được hiển thị trên màn hình dưới dạng các đoạn sáng đứt nét xuất hiện xen kẽ nhau. Tuy nhiên những chỗ đứt nét ở dạng sóng đã tạo ra ngấn tới mức không thể nhận ra chúng khi tần số chuyển mạch là cao. Khi tín hiệu nghiên cứu ở tần số thấp thì tín hiệu hiện hình trên máy xem sóng gần như liên tục. Khi tín hiệu nghiên cứu ở tần số cao, thực hiện không đồng bộ

(chọn  $T_q$  thì đoạn ngắt bị lấp do độ dư huy của ống và độ lưu ảnh của mắt.

Để khắc phục nhược điểm này của kiểu luân phiên đối với tần số thấp ta sử dụng chuyển mạch ngắt quãng. Bởi vì những chỗ đứt quãng trong từng vết ngắn tới mức không thể nhìn thấy được, khiến cả hai dạng sóng tín hiệu đều được hiện hình một cách liên tục, dễ dàng cho việc quan sát so sánh.

Ưu điểm của chế độ quét xen kẽ là dao động đồ ổn định khi quan sát những tín hiệu có tần số nhỏ, nhưng nhược điểm là tốc độ chuyển mạch làm việc phải lớn, do đó không phù hợp khi quan sát những tín hiệu có tần số lớn.



Hình 4.11 - Minh họa các chế độ quét

### 4.3 ĐÂY ĐO DÙNG CHO Ô-XI-LÔ

Dây đo (Probe) được sử dụng để đưa các tín hiệu vào máy đo nói chung hay Ô-xi-lô nói riêng. Dây đo thường được cấu tạo gồm đầu dò (thường là đầu móc vào điểm đo trong mạch), các phân tiền xử lý (phân áp, hoặc khuếch đại,...), cáp dẫn đồng trục, và connector chuẩn BNC. Dây đo cũng có vai trò quan trọng và ảnh hưởng lớn đến sai số của phép đo.

Có 2 dạng dây đo chính:

- + Dây đo thụ động.

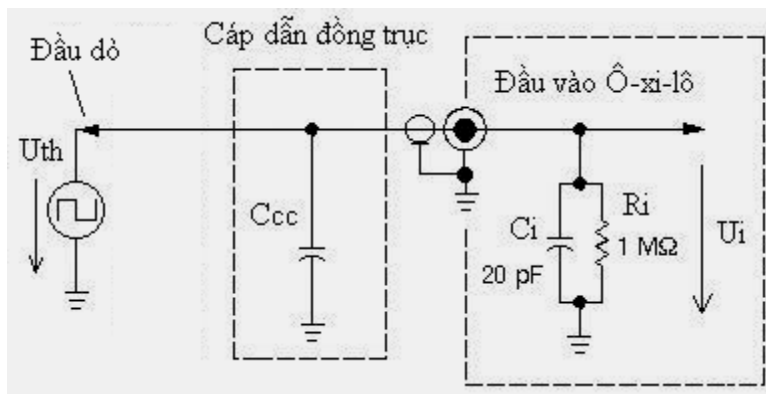
+ Dây đo tích cực.

### 4.3.1 Dây đo thụ động trở kháng cao

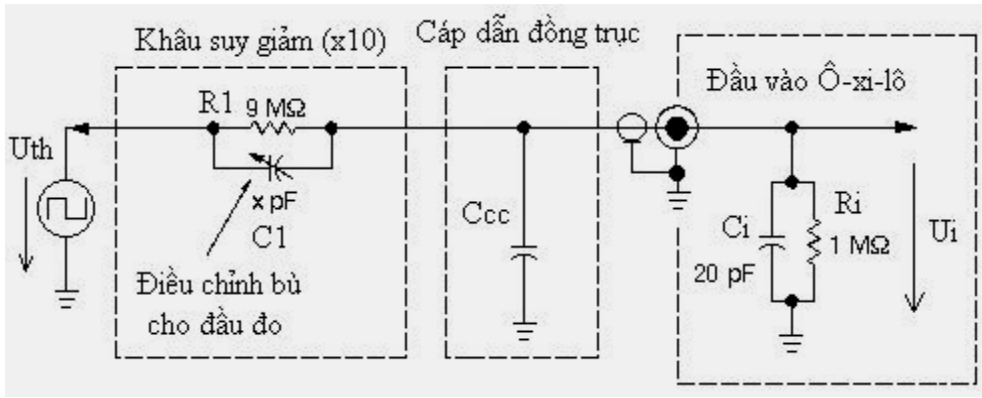


Hình 4.12 - Hình ảnh của dây đo thụ động

Dây đo thụ động trở kháng cao thường có 2 chế độ làm việc: Không suy giảm (ví trí x1) và có suy giảm (vị trí x10 – làm suy giảm tín hiệu vào 10 lần). Sơ đồ tương đương của dây đo loại này trong các trường hợp như Hình 4.13.



(a) Dây đo không suy giảm (vị trí x1)

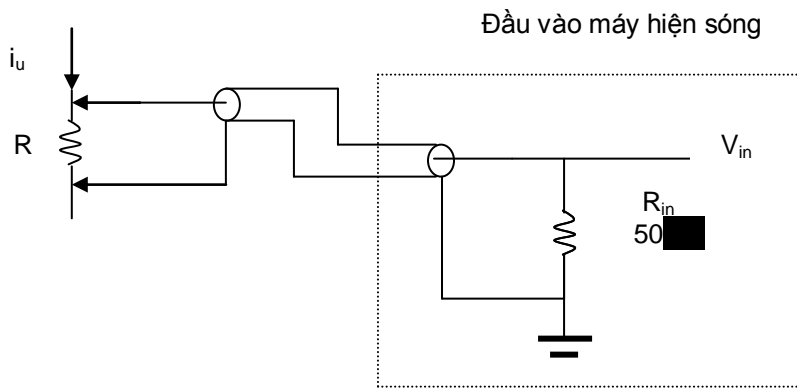


(b)- Dây đo có suy giảm (vị trí x10)

Hình 4.13 - Sơ đồ tương đương dây đo thụ động có khâu suy giảm (x1/x10)

### 4.3.2 Dây đo tích cực

Dây đo tích cực thường được tích hợp thêm các bộ khuếch đại tín hiệu, hay bộ biến dòng vào đầu đo điện áp. Các dạng dây đo dòng như Hình 4.14 và Hình 4.15.



Hình 4.14 – Dây đo dòng dùng điện trở Shun

Một bộ chuyển đổi tạo ra điện thế đầu vào tỷ lệ với dòng trong mạch điện sử dụng thì được gọi là "Đầu dò dòng điện". Một điện trở và một đầu dò điện thế 1:1 như Hình 4.14 và chúng là phương thức sử dụng ở trạng thái chắc chắn. Tuy thế việc xen điện trở vào mạch điện sử dụng có một vài bất lợi. Sự tạo ra sụt áp đủ lớn trước điện trở tương ứng trong Ô-xi-lô sẽ có bất lợi ảnh hưởng đến sự vận hành mạch điện và phải kết nối đầu ra đất của máy dò tới mạch



điện ở điểm dòng điện được giám sát. Sử dụng đầu dò vi sai sẽ cho phép đo dòng vào và ra của nút mà nó không được nối đất.

Đầu dò dòng điện thực hiện được nếu sử dụng biến áp có hiệu quả, cho điện trở nhỏ vào mạch điện sử dụng Hình 4.15, đặt đúng vào đầu dò một biến áp có cuộn dây thứ cấp  $n_s$  vòng cấp điều khiển đầu dò 50  $\mu\text{A}$  mà đầu cuối ví dụ điện trở 50  $\Omega$  tới đầu vào Ô-xi-lô. Dòng điện được đo trong mạch sử dụng được dẫn qua cuộn dây sơ cấp 1 vòng, khi nó phụ thuộc vào biến áp, phương pháp này không được đo dòng điện DC, i, e... nó bị ghép AC. Phương trình cho biến áp được trình bày rõ ràng như sau:

$$(1) i_s = i_u/n_s$$

$$(2) \text{Độ nhạy của đầu dò là } R_{in}/n_s \text{ V/A.}$$

$$(3) \text{Điện trở của cuộn sơ cấp dĩ nhiên là } R_{in}/n_s$$

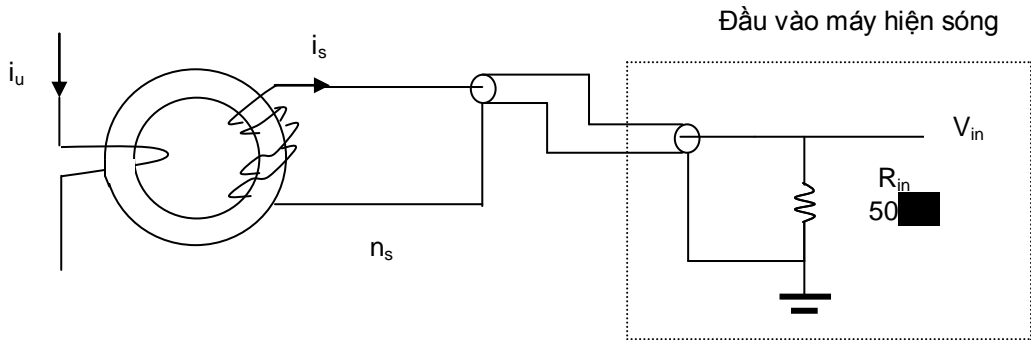
Khi biến áp đầu dò dòng điện sử dụng chiều mạch điện trên dây nối trong mạch điện sử dụng, điện trở  $R_{in}/n_s^2$  được biểu diễn thêm vào dây mà ảnh hưởng tải của dòng điện đo không thể là cuối cùng.

Đáng tiếc là đầu dò chế tạo thường xuyên gặp tình trạng số các vòng quấn của cuộn thứ cấp máy biến áp là không rõ ràng, nhưng có thể đưa lại điện trở đầu cuối và độ nhạy, số vòng cuộn thứ cấp có thể tính toán dễ dàng.

Đầu dò dòng điện thực hiện với việc sử dụng "hiệu ứng lớn" hoặc một "bộ tự dao động lớn", lấy tức thời cường độ qua nam châm trong lõi biến áp phát sinh ra một tín hiệu điện thế, được khuếch đại và đưa tới đầu vào Ô-xi-lô. Phương pháp này để đo dòng DC nhưng nó có hạn chế khi đo tín hiệu tần số tương đối thấp.

Đầu dò dòng điện ghép phối hợp với một biến áp và một bộ tạo động lớn đưa vào một khối tích phân và phối hợp các đầu ra để

cung cấp những đặc trưng nhất của hai kiểu đó. Độ rộng băng đo được có giá trị xấp xỉ 50MHz. Trong kiểu này dòng điện biến áp có một đoạn dây ngắn qua lõi biến áp và dây này được xen vào nhánh của mạch điện sử dụng cần đo. Có kiểu sắp đặt lõi biến áp đưa vào hai phân di chuyển được song biến áp có thể có phạm vi xung quanh các vòng dây, nó được tách rời đầu kia. Tỷ số vòng dây biến áp và độ nhạy đầu dò có thể thay đổi bởi hai vòng hoặc nhiều vòng của dây mang dòng điện qua biến áp. Cộng hoặc trừ dòng điện trong các nhánh khác nhau của mạch điện sử dụng có thể thực hiện bằng sự liên kết các dòng điện đồng thời qua đầu dò dòng điện, nhưng sẽ có vài phép đo cặp chéo giữa các nhánh.



*Hình 4.15 - Đầu dò biến đổi dòng*

## **4.4 Ô-XI-LÔ SỐ**

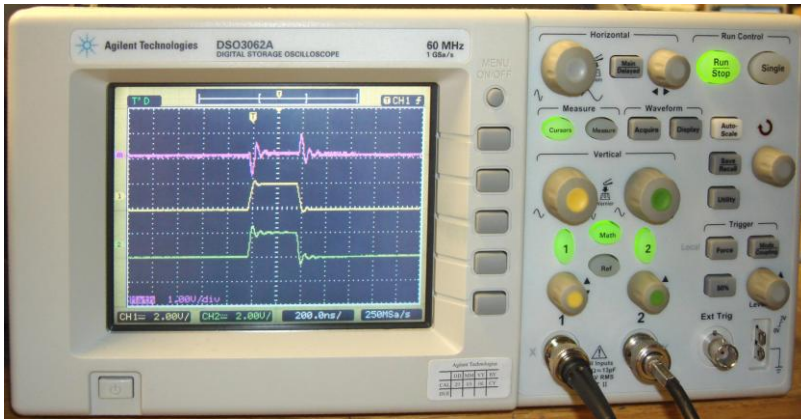
### **4.4.1 Khả năng của ôxilô số**

Ôxilô điện tử số có các ưu điểm là:

- Duy trì hình ảnh dạng của tín hiệu trên màn hình với khoảng thời gian không hạn chế.
- Tốc độ đọc có thể thay đổi trong giới hạn rộng.
- Các đoạn hình ảnh lưu giữ có thể xem lại được ở tốc độ thấp hơn nhiều, tốc độ quét có thể tới 1cm/1h.
- Tạo được hình ảnh dao động đồ tốt hơn, tương phản hơn loại ôxilô tương tự.

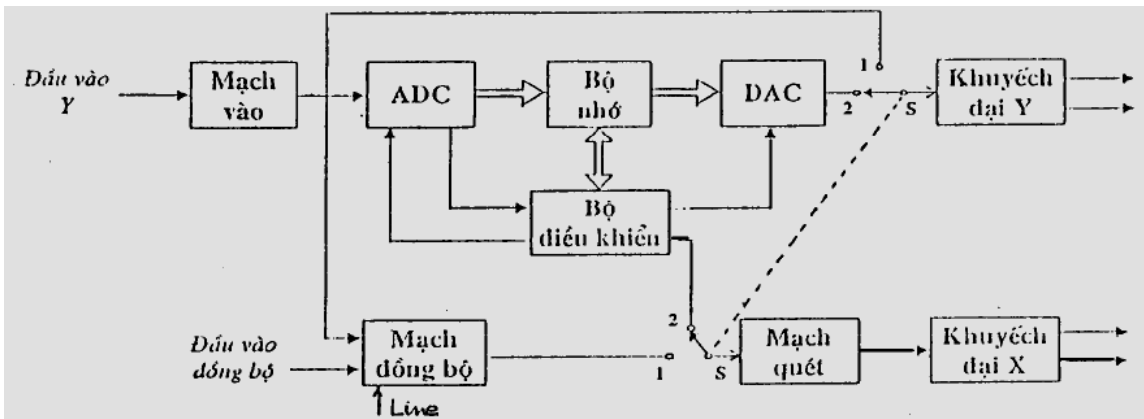
## Chương 4 – Máy hiện sóng (Ô-xi-lô)

- Đơn giản hơn trong sử dụng, vận hành.
- Có thể truyền trực tiếp số liệu của tín hiệu cần quan sát dưới dạng số, ghép trực tiếp với máy tính hay được xử lý trong ôxilô.



### 4.4.2 Cấu trúc ô-xi-lô số

Sơ đồ khối cấu tạo của ôxilô (có nhớ) số, được vẽ cơ bản như Hình 4.16.



Hình 4.16 - Sơ đồ khối nguyên lý cấu tạo Ô-xi-lô số

Khi chuyển mạch S (đồng trục) có vị trí 1 thì ôxilô làm việc như một ôxilô đa năng thông thường.

Khi chuyển mạch S đặt ở vị trí 2 thì ôxilô làm việc là một ôxilô có nhớ số. Điện áp tín hiệu cần quan sát được đưa vào đầu vào Y, tới bộ biến đổi tương tự - số ADC. Tại thời điểm đó ( $t_1$ ), khối điều khiển gửi một lệnh tới đầu vào điều khiển của bộ ADC và khởi động quá trình biến đổi. Kết quả là điện áp tín hiệu được

số hóa, có nghĩa là bộ biến đổi lấy mẫu dạng tín hiệu ở nhiều điểm và biến đổi giá trị tức thời của biên độ tại mỗi điểm thành giá trị mã nhị phân tỷ lệ với biên độ đó. Tại thời điểm kết thúc quá trình biến đổi, bộ ADC gửi tín hiệu kết thúc tới bộ điều khiển.

Mỗi số nhị phân được chuyển tới bộ nhớ và được nhớ ở vị trí ô nhớ riêng biệt. Bởi vì đây là bộ nhớ không linh hoạt (cố định – nonvolatile memory) nên nó có thể lưu trữ lượng lưu trữ lớn các số nhị phân với bất kỳ độ dài thời gian nào. Khi cần thiết, một lệnh từ khối điều khiển có thể làm cho các số nhị phân này được sắp xếp theo chuỗi lại theo thứ tự đã xác định và được đưa tới bộ biến đổi DAC. Bộ biến đổi số - tương tự sẽ biến các giá trị nhị phân thành điện áp tương tự, và điện áp này được đưa qua bộ khuếch đại Y và tới cặp phiến làm lệch Y của ống tia điện tử.

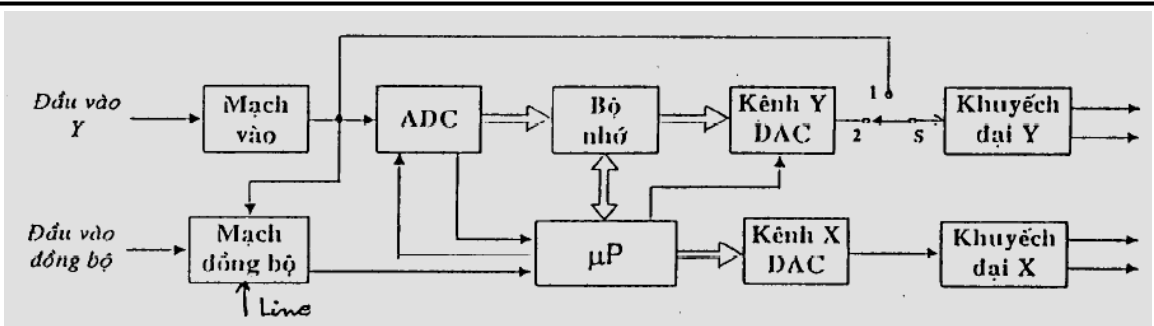
Do bộ nhớ được liên tiếp quét nhiều lần trong một giây nên màn hình được sáng liên tục và hiện lên dạng sóng là hình vẽ các điểm sáng, biểu thị dạng sóng cần quan sát.

Để đạt được một đường sáng liên tục, còn có thể có thêm một mạch nội suy (làm mượt) giữa bộ DAC và bộ khuếch đại Y.

Một điểm hạn chế của ôxilô có nhớ số vừa mô tả trên là dải tần bị hạn chế, do tốc độ của bộ biến đổi ADC thấp (thông thường hiện nay, ôxilô có nhớ số có dải tần 1-10 MHz).

Gần đây, các ôxilô có nhớ số có dải tần rộng được phát triển nhờ có cài đặt microprocessor, các bộ biến đổi ADC có tốc độ biến đổi nhanh hơn, kỹ thuật số hóa mới hơn, cách nội suy và phương pháp thể hiện tín hiệu.

Một loại ôxilô có nhớ khác được trình bày như Hình 4.17.



Hình 4.17 - - Sơ đồ khối nguyên lý cấu tạo Ô-xi-lô số sử dụng Vi xử lý

Sơ đồ Hình 4.17 khác với sơ đồ Hình 4.17 ở chỗ bộ dao động quét thực sự là bộ biến đổi DAC kênh X, được điều khiển từ số liệu của Vi xử lý. Đầu ra bộ DAC tạo ra điện áp nhảy bậc, sao cho sự nhảy bậc thang không khác biệt quá nhiều so với điện áp bậc thang được tạo từ bộ dao động quét tương tự.

Với ADC loại 10 bit, số bước nhảy là  $2^{10}=1024$ . Toàn bộ đoạn điện áp ra được chia thành 1023 bước riêng biệt, và sự lệch ngang của tia điện tử thực tế là tỷ lệ theo thời gian. Tốc độ biến đổi DAC và bộ điều khiển quét quyết định tốc độ quét cực đại. Tốc độ quét có thể điều chỉnh được bằng việc thay đổi số đến đầu vào số của bộ DAC.

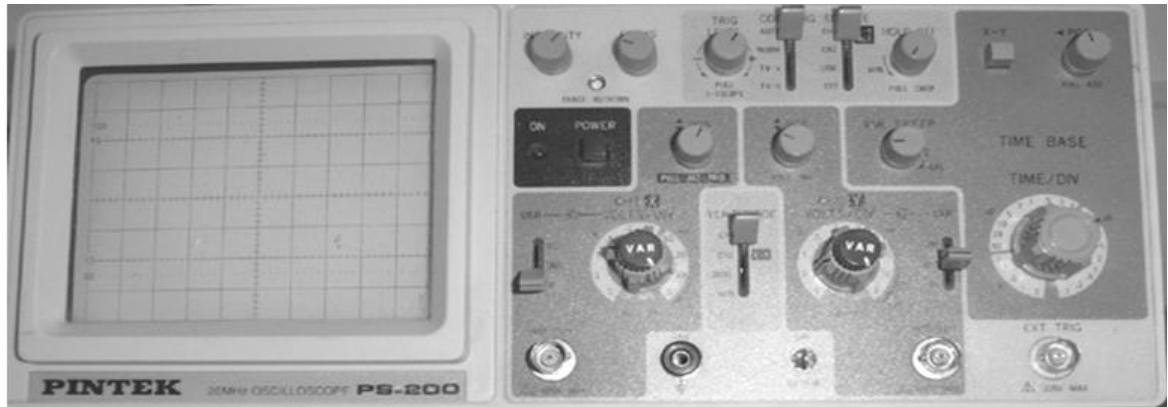
Còn tổ hợp các bộ phận phía trên, gồm: ADC, bộ nhớ, và DAC của kênh Y cho phép khả năng thay đổi trễ của tín hiệu vào hệ thống làm lệch Y trong một giới hạn rộng, đồng thời nó có thể kết hợp được với DAC của kênh X, như vậy đảm bảo sự đồng bộ chính xác.

#### 4.5 ỨNG DỤNG ĐO LƯỜNG DÙNG Ô-XI-LÔ

Ô-xi-lô là một loại thiết bị đo rất thông dụng và đa năng, ngoài chức năng hiển thị dạng tín hiệu trên màn hình còn cho phép đo các tham số của nó. Mỗi loại Ô-xi-lô khác nhau có cách điều chỉnh khác nhau để thực hiện phép đo, tuy nhiên về cơ bản chúng

đều có những nguyên lý đo giống nhau. Để hiểu rõ hơn các phép đo dùng Ô-xi-lô bài giảng có giới thiệu một loại Ô-xi-lô tương tự cụ thể và hướng dẫn cách thực hiện phép đo theo Ô-xi-lô đó.

+ **Giới thiệu về 1 loại ô-xi-lô tương tự 2 kênh dùng CRT 1 tia**



### CRT

-Núm INTENSITY: điều chỉnh độ sáng của dao động đồ trên màn hình.

-Núm FOCUS : điều chỉnh độ hội tụ của chùm tia điện tử, thay đổi độ nét của dao động đồ.

### KÊNH LỆCH ĐÚNG Y (CH1 và CH2)

- Vert. Mode: Thay đổi chế độ hiển thị

- Chuyển mạch kết nối đầu vào: gồm AC, GND, DC.

■ Khi chuyển mạch đặt ở AC: chỉ có thành phần xoay chiều của tín hiệu được hiển thị trên màn.

■ Khi chuyển mạch đặt ở DC: cả thành phần xoay chiều và 1 chiều của tín hiệu được hiển thị trên màn.

■ Khi chuyển mạch đặt ở GND: tín hiệu GND được đưa vào lối vào của MHS.

- Núm VOLTS/DIV thay đổi hệ số phân áp của kênh Y.

- VAR : Thay đổi hệ số khuếch đại của mạch tiền KĐ

**Chú ý:** khi tính biên độ của tín hiệu dựa vào số ô tương ứng với biên độ của tín hiệu cần tính và hệ số volts/div, cần điều chỉnh núm VAR (màu đỏ nằm phía trên núm volts/div về vị trí chuẩn (CAL) của nó (xoay theo chiều kim đồng hồ về vị trí tận cùng).

-Núm X-Y: ấn nút này để chuyển sang chế độ khuếch đại, ảnh trên màn hình là hình Lixazu. Chú ý: thông thường trong chế độ này thì chuyển mạch SOURCE lựa chọn tín hiệu đưa vào kênh X, chuyển mạch VERTICAL MODE lựa chọn tín hiệu đưa vào kênh Y.

-Núm POS↑ để dịch ảnh trên màn theo chiều dọc.

### **KÊNH LỆCH NGANG X**

-Núm Time/Div: thay đổi chu kỳ quét thích hợp.

- VAR SWEEP : Thay đổi liên lục thời gian quét thuận

**Chú ý:** khi tính chu kỳ của tín hiệu dựa vào số ô trong 1 chu kỳ và hệ số time/div, cần điều chỉnh núm VARSWEEP về vị trí chuẩn (CAL) của nó (xoay theo chiều kim đồng hồ về vị trí tận cùng).

-Núm POS←→ Khi chuyển mạch đặt ở để dịch ảnh trên màn theo chiều ngang.

-Núm HOLD OFF: kết hợp với việc điều chỉnh chuyển mạch SOURCE để điều chỉnh đồng bộ.

### **ĐỒNG BỘ VÀ KÍCH KHỞI**

-Núm TRIG LEVEL: Điều chỉnh mức kích khởi

-Chuyển mạch COUPLING: lựa chọn chế độ kích khởi .

■ AUTO: chế độ kích khởi động tự động. Tín hiệu quét được tạo ra khi không có tín hiệu kích khởi phù hợp và tự động trở

lại hoạt động  
hợp.

■ NORM: chế  
tạo ra khi c

■ TV-V: phạm

■ TV-H: phạm vi băng thông kích khởi là 1kHz-100kHz

-Chuyển mạch SOURCE: Nguồn tín hiệu đồng bộ

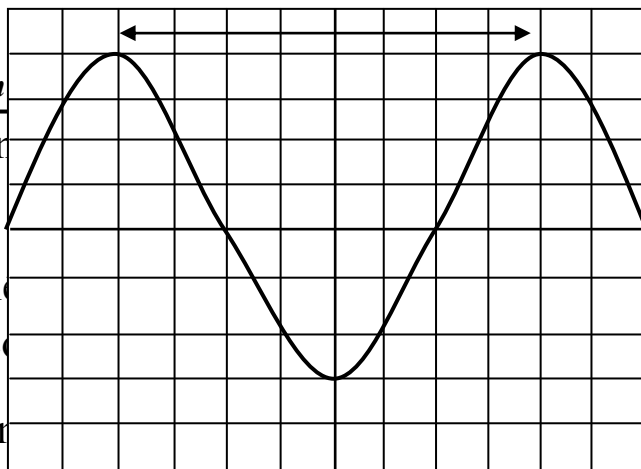
■ CH1: tín hiệu từ kênh CH1 trở thành nguồn kích khởi không quan tâm đến việc lựa chọn ở chuyển mạch VERTICAL MODE.

■ CH2: tín hiệu từ kênh CH2 trở thành nguồn kích khởi.

■ Khi CM ở vị trí CH1 hoặc CH2 ta có **đồng bộ trong (tự đồng bộ)**.

■ LINE: tín hiệu xoay chiều từ lưới điện được dùng làm nguồn kích khởi (đồng bộ với lưới điện, tần số 50Hz).

■ EXIT: tín hiệu kích khởi lấy từ đầu nối EXIT TRIG (đồng bộ ngoài).

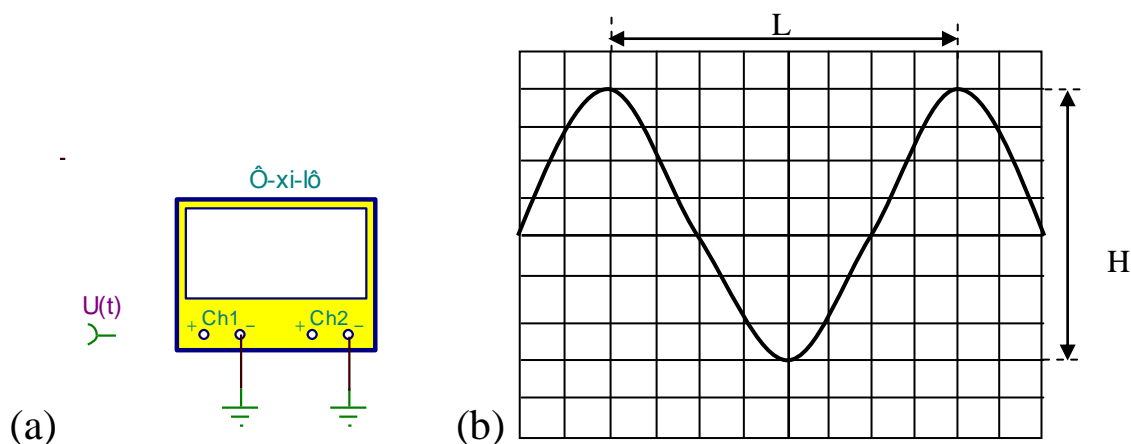


ích khởi phù

uết chỉ được

Z

### 4.5.1 Đo tham số tín hiệu điện áp





Hình 4.18 - Đo tham số của tín hiệu điện áp  $U(t)$

Giả sử sử dụng Ô-xi-lô tương tự 2 kênh để đo tham số của tín hiệu điện áp. Đưa tín hiệu điện áp cần đo  $U(t)$  (giả sử là dạng điện áp hình sin) vào đầu vào kênh CH1 hoặc CH2 của Ô-xi-lô. Điều chỉnh Ô-xi-lô ở chế độ quét trong tuyến tính liên tục và đồng bộ sao cho có ít nhất một chu kỳ tín hiệu hiển thị trên màn hình với biên độ đủ lớn và nằm trong giới hạn màn hình (ví dụ hình ảnh dao động đồ như hình Hình 4.18-b). Giả sử các hệ số lệch đứng và ngang của Ô-xi-lô là: Volts/div = 2mV/div, Time/div=1ms.

+ **Đo điện áp đỉnh – đỉnh  $U_{pp}$** : Dựa vào dao động đồ, xác định độ lệch theo chiều đứng giữa đỉnh và đỉnh dưới H(div) như hình vẽ.

$$U_{pp} = H(\text{div}) \times [\text{Volts/div}]$$

$$\Rightarrow U_{pp} = 7 \text{ div} \times (2\text{mV/div}) = 14 \text{ mV}$$

Với  $U(t)$  là dạng điện áp hình sin:  $\Rightarrow$  Biên độ  $U_m = U_{pp}/2$ ; giá trị hiệu dụng  $U_{RMS} = \frac{U_{pp}}{2\sqrt{2}}$ .

+ **Đo chu kỳ  $T$** : Dựa vào dao động đồ, xác định độ lệch theo chiều ngang của 1 chu kỳ tín hiệu L (div) (ví dụ độ lệch giữa 2 đỉnh liên tiếp).

$$T = L(\text{div}) \times [\text{Time/div}]$$

$$\Rightarrow f = 1/T$$

+ **Đo thành phần 1 chiều  $U_{DC}$** : có thể thực hiện theo 2 cách sau đây:

- Xác định vị trí đường điện áp 0V (GND) bằng cách đưa chuyển mạch (AC-GND-DC)  $\rightarrow$  GND, sau đó đưa lại chuyển mạch về vị trí DC, thành phần một chiều chính là khoảng điện áp giữa đường 0V và đường trung bình của dạng điện áp hiển thị trên màn hình ở chế độ DC.

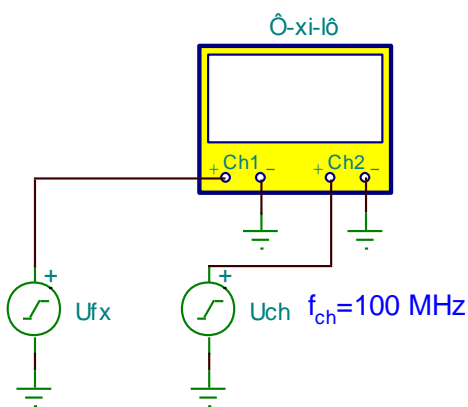
- Đưa chuyển mạch (AC-GND-DC)->AC, đánh dấu một đỉnh bất kỳ của dao động đồ, sau đó đưa chuyển mạch về vị trí DC, xác định độ dịch chuyển của đỉnh đó (div).

$U_{DC}$  (div) (olts/div) - Nếu đỉnh dịch chuyển lên trên  
 (div) (olts/div) - Nếu đỉnh dịch chuyển xuống dưới

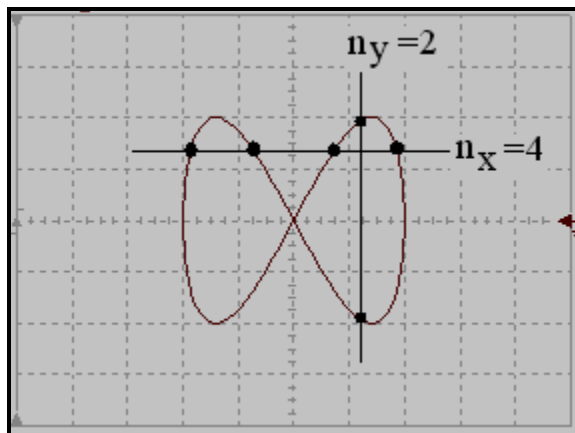
**4.5.2 Đo tần số bằng phương pháp Lissajous**

Đo chu kỳ hay tần số bằng phương pháp quét tuyến tính có độ chính xác không cao nhất là khi tín hiệu có tần số lớn. Mặt khác phương pháp đó bị hạn chế bởi giới hạn của tần số quét của Ô-xi-lô, do đó với những yêu cầu phép đo tần số lớn với yêu cầu độ chính xác cao người ta phải chuyển sang đo bằng phương pháp Lissajous (phương pháp quét X-Y, hay phương pháp khuếch đại).

Bản chất của đo tần số bằng phương pháp là phương pháp so sánh tần số của tín hiệu chưa biết với một tần số chuẩn đã biết có độ chính xác cao thông qua hình ảnh của dao động đồ Lissajous. Sơ đồ đo của phương pháp này như Hình 4.19.



(a)- Sơ đồ đo



(b)- Kết quả đo

**Hình 4.19 - Đo tần số bằng phương pháp Lissajous**

## Chương 4 – Máy hiện sóng (Ô-xi-lô)

Giả sử ta đo bằng Lissajous Ô-xi-lô 2 kênh, ta phải điều chỉnh:

+ Tín hiệu cần đo tần số:  $U_{fx} \rightarrow$  Kênh CH<sub>1</sub>  $\rightarrow$  Kênh Y

+ Điện áp chuẩn  $U_{fch} \rightarrow$  Kênh CH<sub>2</sub>  $\rightarrow$  Kênh X.

+ Điều chỉnh Oxilo làm việc ở chế độ quét Lissajous ( $U_{fx} \rightarrow Y_1-Y_2$ ;  $U_{fch} \rightarrow X_1-X_2$ ).

■ Chọn chuyển mạch X-Y

■ Vert.Mode  $\rightarrow$  CH<sub>1</sub>  $\Leftrightarrow$   $U_{CH1} \rightarrow$  Kênh Y

■ Source  $\rightarrow$  CH<sub>2</sub>  $\Leftrightarrow$   $U_{CH2} \rightarrow$  Kênh X

+Điều chỉnh các chuyển mạch Volts/div (CH<sub>1</sub> và CH<sub>2</sub>); POS-Y (CH<sub>1</sub>); POS-X

để nhận được dao động đồ Lissajous nằm chính giữa và trong giới hạn màn hình.

+Thay đổi tần số chuẩn fch để nhận được dao động đồ Lissajous ổn định trên màn hình.

### Xác định $f_x$ :

■ Xác định số điểm cắt dao động đồ của một cắt tuyến nằm ngang (phương X) bất kỳ :  $n_X$

■ Xác định số điểm cắt dao động đồ của một cắt tuyến thẳng đứng (phương Y) bất kỳ :  $n_Y$

■ Tỷ số giữa tần số của tín hiệu đưa vào kênh X và tần số của tín hiệu đưa vào kênh Y sẽ lệ nghịch với tỷ số của số điểm cắt dao động đồ của cắt tuyến theo phương X và phương Y tương ứng:

$$\frac{f_X}{f_Y} \quad \blacksquare \quad \frac{n_Y}{n_X}$$

Giả sử kết quả đo như Hình 4.19-b, ta có:

$$\frac{f_x}{f_{ch}} \quad \blacksquare \quad \frac{f_{CH1}}{f_{CH2}} \quad \blacksquare \quad \frac{f_Y}{f_X} \quad \blacksquare \quad \frac{n_X}{n_Y}$$

$$\Rightarrow f_x \ll f_{ch} \frac{n_x}{n_y} \ll 0,4 \cdot 200 \text{MHz}$$

Phép đo tần số bằng phương pháp Lissajous có độ chính xác bằng với độ chính xác của tần số  $f_{ch}$ , và giới hạn tần số đo được lớn, bằng giới hạn tần số của kênh lệch đứng.

Để việc số đếm cắt dễ dàng, thường điều chỉnh  $f_{ch}$  sao cho dao động đồ không quá phức tạp và số đếm cắt dao động đồ không quá lớn.

### 4.5.3 Đo góc lệch pha

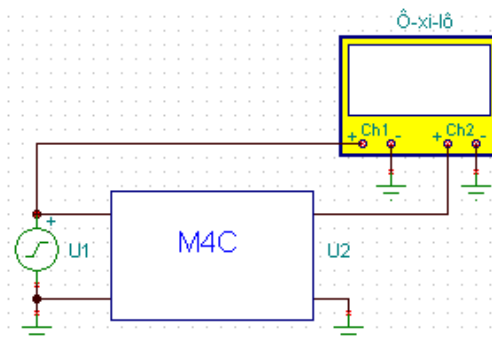
Giả thiết đo độ lệch pha của tín hiệu qua 1 mạng 4 cực (M4C) sử dụng Ô-xi-lô 2 kênh.

#### a. Sử dụng phương pháp quét tuyến tính

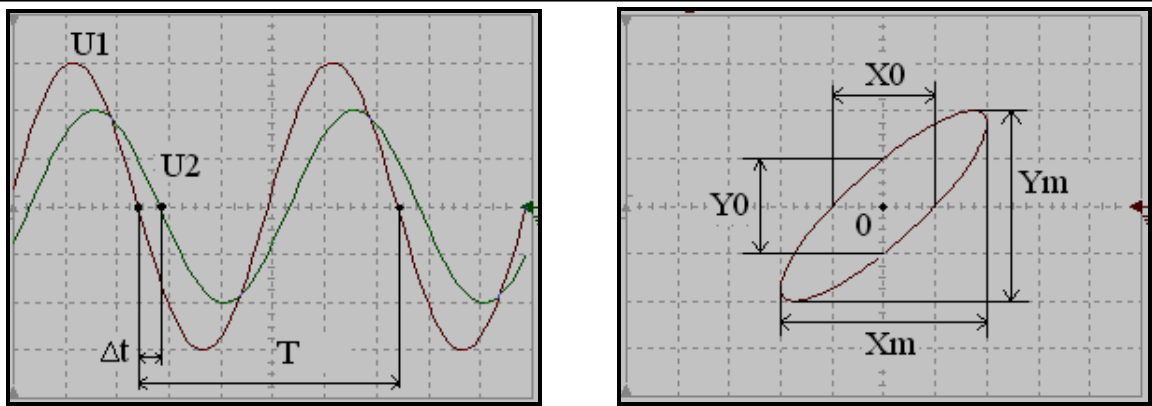
Sơ đồ đo như Hình 4.20: Điện áp vào hình sin  $U_1(t)$  được đưa vào kênh CH1, Điện áp ra  $U_2(t)$  được đưa vào kênh CH2.

+ Điều chỉnh Ô-xi-lô ở chế độ hiển thị 2 kênh, quét trong tuyến tính liên tục.

+ Điều chỉnh các hệ số lệch tia và vị trí sao cho nhận được ít nhất một chu kỳ của các tín hiệu, biên độ đủ lớn và nằm trong giới hạn màn hình. Giả sử kết quả hiển thị như Hình 4.21-a.



Hình 4.20 - Sơ đồ đo độ lệch pha của mạng 4 cực



(a)- Đo bằng phương pháp quét tuyến tính (b) – Đo bằng phương pháp Lissajous

Hình 4.21 - Kết quả đo góc lệch pha

### b. Sử dụng phương pháp quét lissajous

Sơ đồ đo như Hình 4.20: Điện áp vào hình sin  $U_1(t)$  được đưa vào kênh CH1, Điện áp ra  $U_2(t)$  được đưa vào kênh CH2. Điều chỉnh Ô-xi-lô ở chế độ quét Lissajous sao cho:

■  $U_1(t) \rightarrow$  kênh CH<sub>1</sub>  $\rightarrow$  kênh Y

■  $U_2(t) \rightarrow$  kênh CH<sub>2</sub>  $\rightarrow$  kênh X

Điều chỉnh các chuyển mạch như sau:

■ Chọn chuyển mạch X-Y (chuyển sang chế độ quét lissajous)

■ Vert.Mode  $\rightarrow$  CH<sub>1</sub> = U<sub>CH1</sub>  $\rightarrow$  Kênh Y

■ Source  $\rightarrow$  CH<sub>2</sub> = U<sub>CH2</sub>  $\rightarrow$  Kênh X

+ Điều chỉnh các hệ số Volts/div (CH<sub>1</sub> và CH<sub>2</sub>), POS-Y (CH<sub>1</sub>), POS-X để nhận được dao động đồ Lissajous nằm chính giữa và trong giới hạn màn hình. Dao động đồ sẽ có đường thẳng hoặc đường Elip hay đường tròn.

+ Xác định góc trung tâm của dao động đồ: đưa các chuyển mạch kết nối đầu vào của cả 2 kênh về vị trí GND, trên màn hình

sẽ là 1 điểm sáng, dịch chuyển điểm sáng đó về chính giữa màn hình (điểm O).

+ Đưa các chuyển mạch kết nối đầu vào về vị trí AC, khi đó sẽ nhận được dao động đồ có dạng đường thẳng hoặc Elip. Giả sử kết quả là đường Elip như Hình 4.21-b.

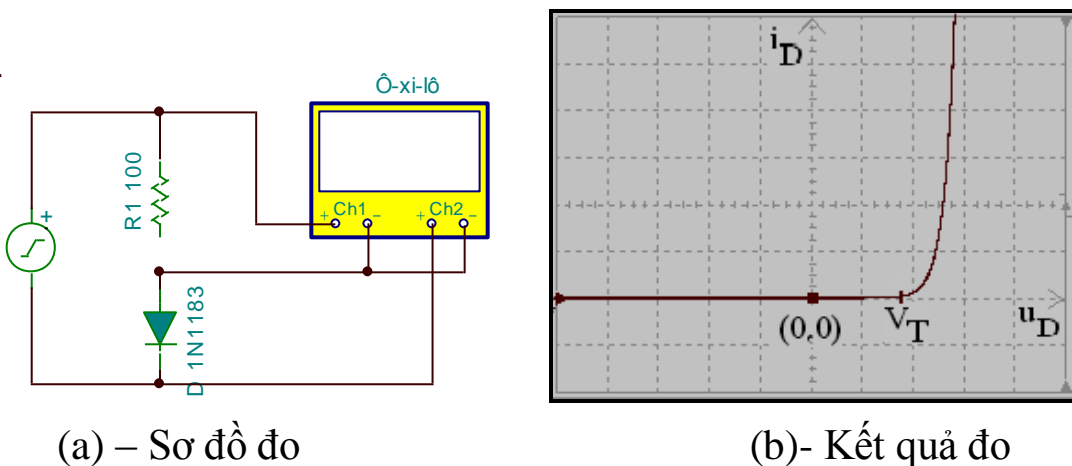
+Xác định góc lệch pha: Xác định các khoảng lệch không và cực đại (Y0 và Ym) hoặc (X0 và Xm).

$$\left| \sin \frac{Y_0}{Y_m} - \frac{X_0}{X_m} \right|$$

$$\Rightarrow \left| \arcsin \frac{Y_0}{Y_m} - \arcsin \frac{X_0}{X_m} \right|$$

Tùy theo từng dạng dao động đồ mà cách định giá trị khác nhau. Phương pháp này không xác định được dấu của góc lệch pha. Muốn xác định được dấu của hay muốn biết tín hiệu nào sớm pha hay chậm pha hơn, ta sẽ chuyển sang quan sát rất nhanh ở chế độ quét tuyệt tính.

**4.5.4. Vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt**



**Hình 4.22 - Vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe của Điốt**

+ Chọn R1=100 hoặc 1k

+ Điều chỉnh máy tạo sóng phát ra xung tam giác, điều chỉnh biên độ xung (khoảng 10V) và mức điện áp một chiều của xung (phím OFFSET) bằng 0V, tần số của xung khoảng 200-300 Hz.

+ Thực hiện các bước điều chỉnh để vẽ đặc tuyến V-A của Điốt theo lý thuyết đã học.

+ Chuyển ôxilô sang chế độ đo x-y (chế độ quét Lissajous).

+ Đảo cực tính kênh 2 : Pull (POS\_Y của kênh CH2).

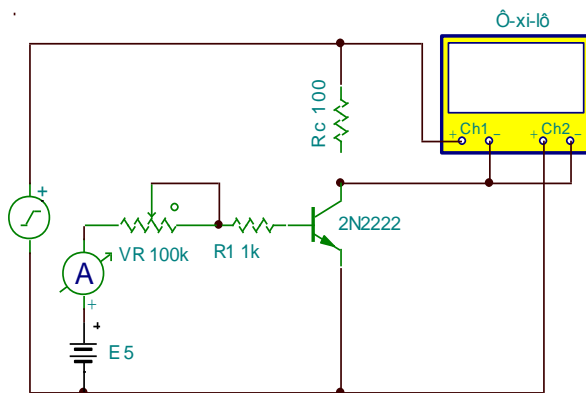
+ Xác định gốc tọa độ bằng cách ấn các phím GND của cả hai kênh CH1, CH2 sao đó chuyển sang chế độ DC

+ Bật máy phát xung và điều chỉnh biên độ hoặc mức một chiều của xung để nhận được dạng đặc tuyến V-A của điốt. Vẽ dạng đặc tuyến đo được.

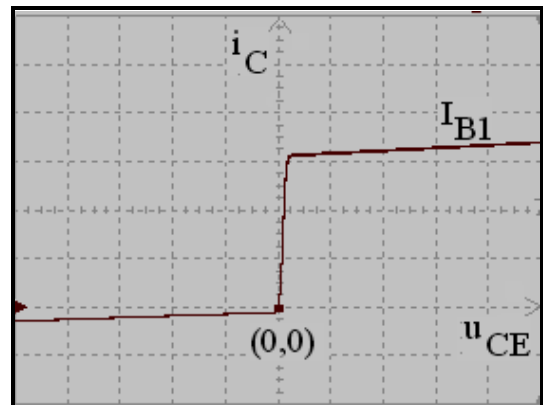
+ Xác định điện áp thông của điốt.

#### **4.5.5. Vẽ đặc tuyến ra của BJT**

Mắc mạch đo như Hình 4.23-a.



(a)- Sơ đồ đo



(b)- Kết quả đo

**Hình 4.23 - Vẽ đặc tuyến ra của BJT**

+ Điều chỉnh máy tạo sóng phát ra xung tam giác, điều chỉnh biên độ xung (khoảng 10V) và mức điện áp một chiều của xung (phím OFFSET) bằng 0V, tần số của xung khoảng 200-300 Hz.

+ Thực hiện các bước điều chỉnh để vẽ đặc tuyến ra của BJT theo lý thuyết đã học.

+ Chuyển ôxilô sang chế độ đo x-y (chế độ quét Lissajous).

+ Đảo cực tính kênh 2 : Pull (POS\_Y của kênh CH2).

+ Xác định gốc tọa độ bằng cách ấn các phím GND của cả hai kênh CH1, CH2 sao đó chuyển sang chế độ


+ Bật máy phát xung và điều chỉnh biên độ hoặc mức một chiều của xung để nhận được dạng đặc tuyến ra của BJT. Vẽ dạng đặc tuyến đo được.

+ Thay đổi biến trở VR để vẽ đặc tuyến ra ứng với các giá trị dòng  $I_B$  khác nhau.

## **CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP**

1. Nêu các tính năng cơ bản của ôxilô?
2. Độ nhạy (hệ số lái tia theo chiều dọc) của một MHS là 20mV/cm cho ta biết điều gì?
3. Độ nhạy (hệ số lái tia theo chiều dọc) của một MHS là 500mm/V cho ta biết điều gì?
4. Có nhận xét gì khi quan sát dao động đồ trên màn MHS nếu có  $\tau_q$  (n nguyên dương)?
5. Khi MHS làm việc ở chế độ khuếch đại, bộ tạo quét trong hoạt động ở chế độ quét liên tục hay quét đợi?
6. Ở MHS 2 kênh dùng ống tia điện tử 1 tia và chuyển mạch điện tử thì khi cần quan sát tín hiệu cao tần ta nên dùng chuyển mạch điện tử kiểu ngắt quãng hay chuyển mạch điện tử kiểu luân phiên?
7. Các yêu cầu để ảnh quan sát có chất lượng cao?
8. Khi nào thì quét đợi được sử dụng? Nêu vắn tắt khái niệm quét đợi?



9. Khi quan sát tín hiệu trên MHS đôi khi ảnh bị trôi, nháy là do nguyên nhân gì? Cách khắc phục?
10. Có nhận xét gì khi quan sát dao động đồ trên màn MHS nếu có  $T_q$   (a,b nguyên dương)
11. Trong MHS, kênh Z có nhiệm vụ gì?
12. Trong MHS, kênh Y có nhiệm vụ gì?
13. Trong MHS, kênh X có nhiệm vụ gì?
14. Nêu các chế độ đồng bộ ở MHS?
15. Vẽ sơ đồ khối kênh Y và trình bày nhiệm vụ kênh Y, chức năng của các thành phần cấu tạo nên kênh Y?
16. Vẽ sơ đồ khối kênh X và trình bày nhiệm vụ kênh X, chức năng của các thành phần cấu tạo nên kênh X?
17. Nêu tên 3 bộ phận cơ bản cấu tạo nên ống tia điện tử?
18. Nêu nhiệm vụ và cấu tạo của súng điện tử trong ống tia điện tử?
19. Nêu một số ưu điểm của ôxilô điện tử số?
20. Cấu tạo và hoạt động của ôxilô điện tử số?

## CHƯƠNG 5 – CÁC PHÉP ĐO ĐIỆN CƠ BẢN

### 5.1 GIỚI THIỆU CHUNG

Đo điện áp, đo cường độ dòng điện, đo điện trở là những phép đo cơ bản được sử dụng nhiều không chỉ trong kỹ thuật mà trong cả cuộc sống hàng ngày. Các tham số này có thể được đo trực tiếp, gián tiếp và so sánh.

Phương pháp đo trực tiếp: dùng các dụng cụ đo tương ứng như Vôn mét (để đo điện áp), Ampe mét (để đo dòng điện), Ôm mét (để đo điện trở), kết quả đọc trực tiếp trên dụng cụ đo. Dụng cụ đo đơn chức năng được chế tạo tương ứng với mỗi đại lượng, tên của dụng cụ đo thường được đặt theo tên của đơn vị đo của đại lượng đo. Hiện nay để tối ưu việc đo cũng như tăng độ chính xác cũng như giới hạn đo mà người ta có ta chế tạo những dụng cụ đo đơn chức năng như vậy ví dụ; picoampe mét, Megaohm mét, Microhm mét...

Phương pháp gián tiếp: Theo định luật ôm  $U=I.R$ , như vậy có thể thực hiện đo gián tiếp các 3 đại lượng điện áp, dòng điện, điện trở thông qua đo giá trị của một đại lượng kia trên một đại lượng mẫu và áp dụng công thức tính toán để xác định đại lượng cần đo còn lại. Ví dụ đo dòng trên một điện trở mẫu sẽ xác định được điện áp đặt trên điện trở  $U_{\text{cần đo}}=I_{\text{đo được}} \cdot R_{\text{mẫu}}$ . Nhờ tính chất này mà hiện nay người ta thường chế tạo các loại dụng cụ đo vạn năng cho phép đo được cả 3 đại lượng cơ bản nói trên (Multimeters).

Phương pháp so sánh: Đo điện áp, dòng điện, điện trở bằng cách so sánh với điện áp, dòng điện, điện trở mẫu tương ứng thông qua các thiết bị so sánh. Ở trạng thái cân bằng, đại lượng cần đo thường bằng với đại lượng mẫu.

Có nhiều phương pháp đo điện áp, dòng điện, điện trở khác nhau, phần này sẽ trình bày tổng quan về các phương pháp và kỹ thuật đo điện áp, dòng điện, điện trở.

## **5.2 ĐO DÒNG ĐIỆN**

Phép đo dòng điện có phạm vi đo rộng (từ vài pA đến vài MA), dải tần rộng (từ đo dòng 1 chiều đến đo dòng xoay chiều tần số tới hàng GHz). Tùy phạm vi đo và dải tần đo lại sử dụng các phương pháp đo khác nhau. Tuy nhiên trong thực tế phép đo dòng điện thường chỉ được thực hiện ở dải tần tới hàng trăm MHz, còn ở dải tần số siêu cao người ta thường đo công suất.

Dụng cụ đo dòng điện được gọi là Ampe mét (Ampe kế), với đồng hồ vạn năng khi để chức năng đo dòng thì cũng được gọi là Ampe mét. Ký hiệu của Ampe mét trong sơ đồ là một vòng tròn có chữ A ở giữa và có thể thêm ký hiệu các cực dương và âm hai bên cho dòng điện một chiều:



Có 2 dạng Ampe mét khác nhau: Ampe mét can thiệp và Ampe mét không can thiệp.

### **5.2.1 Ampe mét can thiệp**

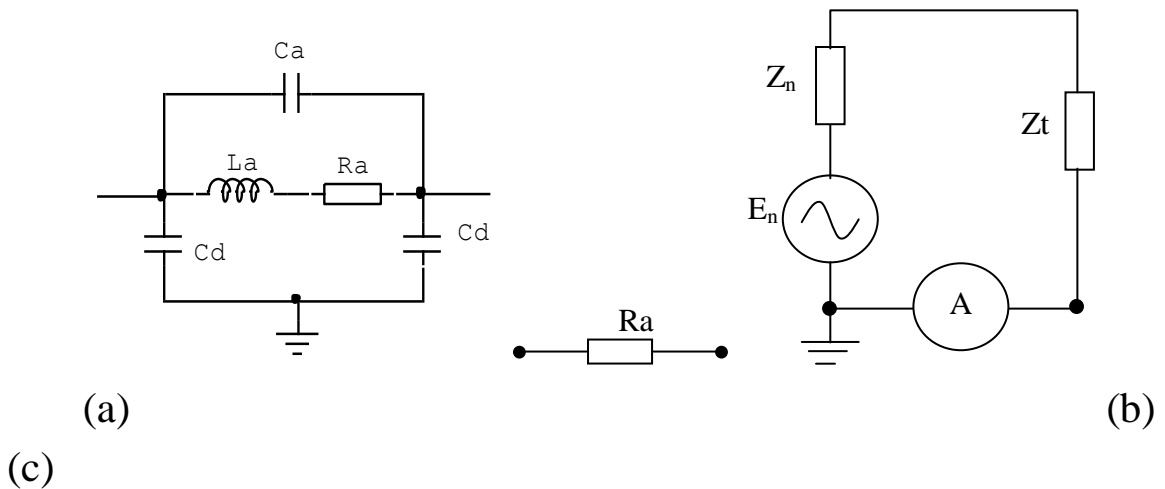
Khi đo dòng điện chạy trong một dây điện Ampe mét phải được mắc nối tiếp với dây điện, nó sẽ tiêu thụ một hiệu điện thế nhỏ nối tiếp trong mạch điện.

Để giảm ảnh hưởng đến mạch điện cần đo, hiệu điện thế tiêu thụ trong mạch của ampe kế phải càng nhỏ càng tốt. Điều này nghĩa là trở kháng tương đương của ampe mét trong mạch điện phải rất nhỏ so với điện trở của mạch.

Khi mắc ampe mét vào mạch điện một chiều, chú ý nối các cực điện theo đúng chiều dòng điện. Luôn chọn thang đo phù hợp

trước khi đo: chọn thang lớn nhất trước, rồi hạ dần cho đến khi thu được kết quả nằm trong thang đo.

Mỗi Ampe mét đều có trong kháng trong, khi đo dòng một chiều và xoay chiều tần số thấp, có thể coi trở kháng của ampe mét là thuần trở  $R_a$  (Hình 5.1-b). Nhưng tần số cao trở kháng tương đương của ampe mét còn cần phải tính đến các thành phần điện dung và điện cảm ký sinh, sơ đồ tương đương như Hình 5.1-a (trong đó:  $L_a$ - điện cảm của cuộn dây,  $C_a$ - điện dung giữa 2 đầu ampe mét,  $C_d$ - điện dung giữa 2 đầu ampe mét với đất).



Hình 5.1 - Trở kháng tương đương của ampe mét.

Để giảm sai số do điện dung ký sinh ở tần số cao người ta mắc ampe mét vào vị trí nào có điện thế thấp nhất so với đất. Ví dụ như cách mắc ở Hình 5.1-c, trong đó  $Z_n$  – trở kháng của nguồn,  $Z_t$  – trở kháng phụ tải.

Khi mắc ampe mét vào mạch đo bao giờ cũng làm cho dòng điện qua mạch thay đổi so với giá trị thực  $I_x$

$$I_x \left[ \frac{E_n}{Z_n + Z_t} \right]$$

Sau khi mắc ampe mét vào mạch dòng điện mà ampe mét chỉ thị là:

$$I_{đo} = \frac{E_n}{Z_n + Z_t + Z_A}$$

Sai số tương đối do ảnh hưởng của trở kháng trong ampe mét được xác định như sau:

$$\left| \frac{I_x - I_{đo}}{I_x} \right| \cdot 100 = \left| \frac{1}{1 + \frac{Z_t + Z_0}{Z_n + Z_a}} \right| \cdot 100$$

Để giảm nhỏ sai số tương đối cần chọn ampe mét có trở kháng trong nhỏ.

Để mở rộng thang đo dòng điện cho ampe mét ở mạch một chiều và tần số thấp người ta mắc ampe mét song song với điện trở Shunt với tác dụng phân chia dòng điện. Ở tần số cao do ảnh hưởng của hiệu ứng bề mặt, Shunt điện trở được thay bằng Shunt điện cảm, Shunt điện dung hay biến dòng đo lường cao tần.

Các phương pháp cơ bản đo dòng điện theo kiểu can thiệp như sau:

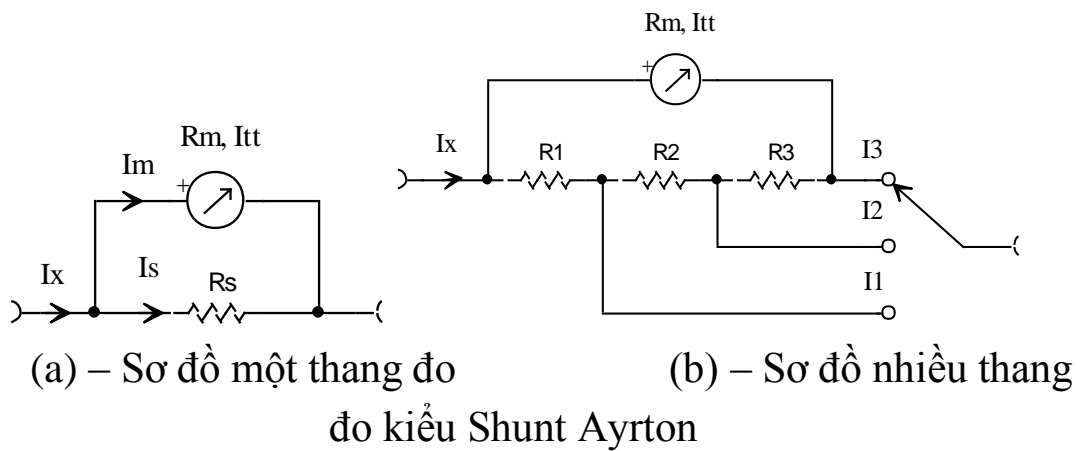
- Đo dòng điện dùng cơ cấu đo từ điện
- Đo dòng bằng phương pháp nhiệt điện
- Đo dòng bằng phương pháp quang điện,

...

### a. Đo dòng điện dùng cơ cấu đo từ điện

#### a.1 Đo dòng điện một chiều DC dùng cơ cấu từ điện

Cơ cấu đo từ điện làm việc với dòng một chiều, nhưng dòng toàn thang  $I_{tt}$  khá nhỏ, do đó phải mở rộng thang đo cho phù hợp bằng cách mắc CCD song song với điện trở Shunt  $R_s$ .



Hình 5.2 – Sơ đồ thang đo dòng một chiều dùng CCD từ điện

Sơ đồ thang đo dòng một chiều dùng CCD từ điện như Hình 5.2-a. Dòng điện đo:

$$I_x = I_m + I_s$$

Dòng điện đo được lớn nhất của thang đo là  $I_{max}$ . Khi  $I_x = I_{max}$  thì  $I_m = I_{tt}$ , do đó điện trở Shunt được xác định như sau:

$$R_s = \frac{R_m}{n}, \text{ với } n = \frac{I_{max}}{I_{tt}} - \text{hệ số mở rộng thang đo.}$$

Với Ampe mét có nhiều thang đo thì dùng nhiều điện trở Shunt, thông thường các điện trở Shunt được mắc nối tiếp theo kiểu Shunt Ayrton như Hình 5.2-b với 3 thang đo là  $I_1, I_2, I_3$ , hệ số mở rộng của mỗi thang đo là  $n_k (k=1,2,3)$ .

$$R_{sk} = \frac{R_{mk}}{n_k}, \text{ với } n_k = \frac{I_k}{I_{tt}}$$

+ Thang đo  $I_1$ :  $R_{s1} = R1, R_{m1} = Rm + R2 + R3$ .

+ Thang đo  $I_2$ :  $R_{s2} = R1 + R2, R_{m2} = Rm + R3$ .

+ Thang đo  $I_3$ :  $R_{s3} = R1 + R2 + R3, R_{m3} = Rm$ .

### a.2 Đo dòng điện xoay chiều AC dùng cơ cấu từ điện

Cơ cấu đo từ điện chỉ làm việc với dòng một chiều, do đó khi đo dòng xoay chiều AC phải biến đổi dòng AC thành dòng DC khi

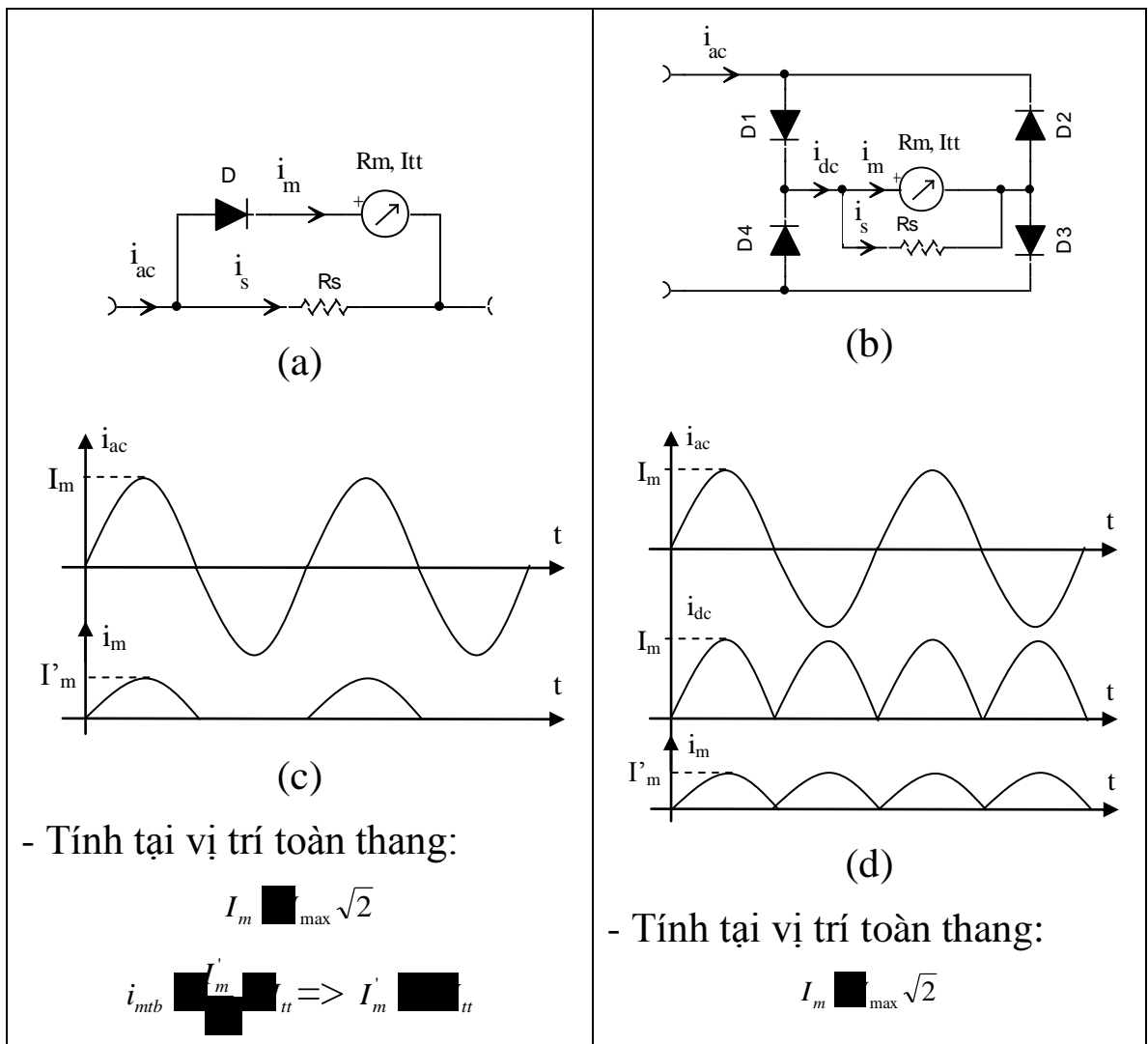
qua CCD theo các cách khác nhau như: Dùng phương pháp chỉnh lưu bằng Điốt, Dùng phương pháp biến đổi nhiệt điện.

- Dùng phương pháp chỉnh lưu bằng Điốt:

Ví dụ thang đo dòng AC dùng mạch chỉnh lưu  $\frac{1}{2}$  chu kỳ như Hình 5.3-a, và dùng mạch chỉnh lưu cầu như Hình 5.3-b. Xây dựng thang đo trị số hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin cho các thang đo này. Giả sử dòng điện AC là  $i_{ac} = I_m \sin \omega t$

Nếu giới hạn của thang đo là  $I_{max}$ , thì khi dòng điện AC có giá trị hiệu dụng  $I_{RMS} = I_{max}$  thì dòng điện trung bình qua CCD là  $i_{mtb} = I_{tt}$ .

Hình 5.3 – Thang đo dòng xoay chiều



$\Rightarrow R_s \frac{I_m R_m}{I_m} \frac{J_D}{I_m}$	$i_{mb} \frac{2I_m}{I_m} \Rightarrow I_m \frac{I_m}{2}$ $\Rightarrow R_s \frac{I_m R_m}{I_m}$
---	---

### 5.2.2. Ampe mét không can thiệp

Ampe mét can thiệp có nhược điểm là cần phải được lắp đặt như một thành phần trong mạch điện. Chúng không dùng được cho các mạch điện đã được chế tạo khó thay đổi. Đối với các mạch điện này, người ta có thể đo đặc từ trường sinh ra bởi dòng điện để suy ra cường độ dòng điện. Phương pháp đo như vậy không gây ảnh hưởng đến mạch điện, an toàn, nhưng đôi khi độ chính xác không cao bằng phương pháp can thiệp.

#### a. Đo dòng điện bằng hiệu ứng Hall

Hiệu ứng Hall là một hiệu ứng vật lý được thực hiện khi áp dụng một từ trường vuông góc lên một bản làm bằng kim loại hay chất bán dẫn hay chất dẫn điện nói chung (thanh Hall) đang có dòng điện chạy qua. Lúc đó người ta nhận được hiệu điện thế (hiệu thế Hall) sinh ra tại hai mặt đối diện của thanh Hall. Tỷ số giữa hiệu thế Hall và dòng điện chạy qua thanh Hall gọi là điện trở Hall, đặc trưng cho vật liệu làm nên thanh Hall. Hiệu ứng này được khám phá bởi Edwin Herbert Hall vào năm 1879.

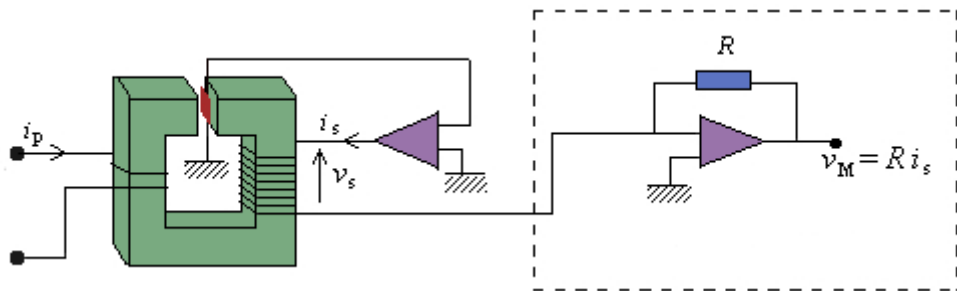
Hiệu ứng Hall được giải thích dựa vào bản chất của dòng điện chạy trong vật dẫn điện. Dòng điện này chính là sự chuyển động của các điện tích (ví dụ như electron trong kim loại). Khi chạy qua từ trường, các điện tích chịu lực Lorentz bị đẩy về một trong hai phía của thanh Hall, tùy theo điện tích chuyển động đó âm hay dương. Sự tập trung các điện tích về một phía tạo nên sự tích điện trái dấu ở 2 mặt của thanh Hall, gây ra hiệu điện thế Hall.



Công thức liên hệ giữa hiệu thế Hall, dòng điện và từ trường là:  $V_H = (I.B)/(d.e.n)$ , trong đó  $V_H$  là hiệu thế Hall,  $I$  là cường độ dòng điện,  $B$  là cường độ từ trường,  $d$  là độ dày của thanh Hall,  $e$  là điện tích của hạt mang điện chuyển động trong thanh Hall, và  $n$  mật độ các hạt này trong thanh Hall.

Phương pháp đo này sử dụng hiệu ứng Hall tạo ra một hiệu điện thế tỷ lệ thuận (với hệ số tỷ lệ biết trước) với cường độ dòng điện cần đo.

Hiệu điện thế Hall  $V$  gần như tỷ lệ thuận với cường độ từ trường sinh ra bởi dòng điện, do đó tỷ lệ thuận với cường độ của dòng điện đó. Chỉ cần cuốn một hoặc vài vòng dây mang dòng điện cần đo quanh một lõi sắt từ của đầu đo là ta có được từ trường đủ để kích thích hoạt động của đầu đo. Thậm chí đôi khi chỉ cần kẹp lõi sắt cạnh đường dây là đủ.



Sơ đồ mạch điện của một đầu đo cường độ dòng điện sử dụng hiệu ứng Hall. Sử dụng lõi sắt từ, thanh Hall, bộ khuếch đại điện, điện trở. Điện thế ra  $v_M$  tỷ lệ với cường độ dòng điện vào  $i_p$ .

Tuy nhiên hiện tượng từ trễ không tuyến tính trong sắt từ có thể làm giảm độ chính xác của phép đo. Trên thực tế người ta có thể sử dụng một mạch điện hồi tiếp để giữ cho từ thông trong lõi sắt luôn xấp xỉ không, giảm thiểu hiệu ứng từ trễ và tăng độ nhạy của đầu đo, như trong hình vẽ. Dòng điện hồi tiếp  $i_s$  được chuyển hóa thành hiệu điện thế ra  $v_s$  nhờ bộ khuếch đại điện. Tỷ lệ giữa

số vòng cuộn trên lõi sắt từ  $m$  (thường trong khoảng từ 1000 đến 10000) cho phép liên hệ giữa dòng cần đo và dòng hồi tiếp:  $i_s = 1/m \cdot i_p$ .

**Các ưu điểm:**

Hiệu điện thế tiêu thụ trên đoạn dây cuộn vào đầu đo chỉ chừng vài mV.

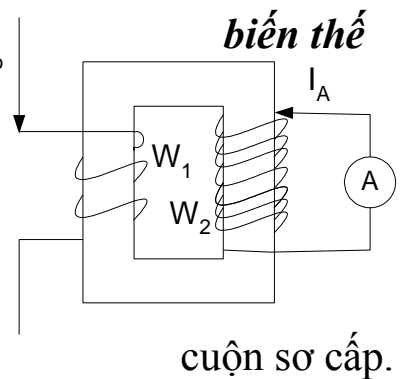
Hệ thống rất an toàn do được cách điện với mạch điện.

Hệ thống có thể đo dòng điện xoay chiều có tần số từ 0 (tức là điện một chiều) đến 100kHz

Hệ thống này cũng được ứng dụng trong đồng hồ vạn năng điện tử, hay thậm chí trong máy hiện sóng.

**b. Đầu dò biến đổi dòng – điện áp dùng  $I_{do}$**

Khi đo dòng điện xoay chiều, nhất là đo dòng điện lớn, có thể dùng đầu dò biến đổi dòng – điện áp dùng biến thế theo nguyên lý như hình vẽ bên:



$$\frac{I_{do}}{I_A} = \frac{W_2}{W_1}, \quad W_1 - \text{số vòng dây của}$$

$W_2$  - số vòng dây của cuộn thứ cấp.

$n = \frac{W_2}{W_1} \cdot I_A$ ,  $n$  được gọi là hệ số biến dòng.

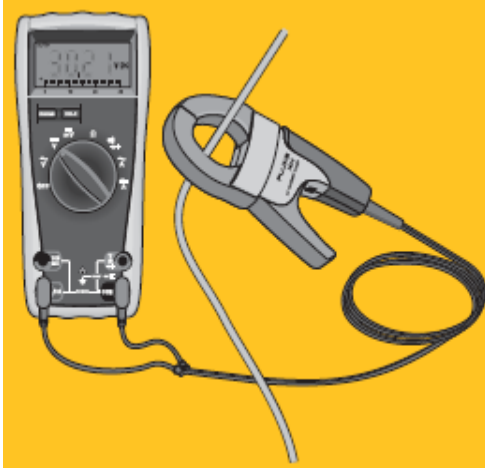
\* Ampe mét không can thiệp sử dụng đầu dò dòng hiệu ứng hall hoặc đầu dò biến đổi dòng - điện áp dùng biến thế thường được chế tạo dưới dạng Ampe kìm (clamp Ampemeter).



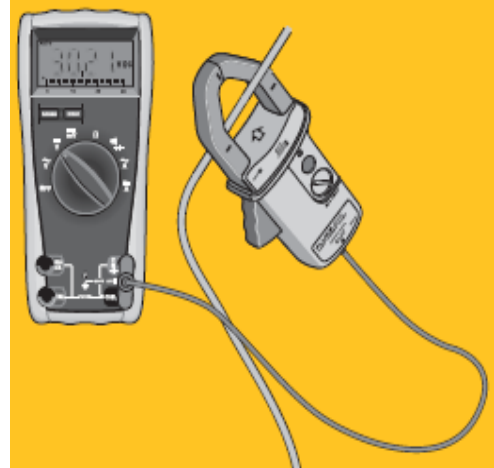
(a)



(b)



(c): Đầu dò dòng dùng biến áp  
dùng hiệu ứng Hall



(d) Đầu dò dòng

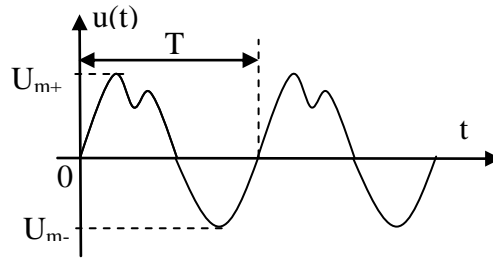
Hình 5.4 – Ampe mét kìm (clamp Ampemeter)

### 5.3. ĐO ĐIỆN ÁP

Phép đo điện áp có phạm vi đo rộng (từ vài  $\mu$ V đến vài kV), dải tần rộng (từ đo dòng 1 chiều đến đo dòng xoay chiều tần số tới hàng GHz). Tùy phạm vi đo và dải tần đo lại sử dụng các phương pháp đo khác nhau. Tuy nhiên trong thực tế phép đo điện áp thường chỉ được thực hiện ở dải tần tới hàng trăm MHz, còn ở dải tần số siêu cao người ta thường đo công suất.

#### 5.3.1. Các trị số điện áp

Trong thực tế tín hiệu điện áp biến thiên có nhiều dạng nhau, do đó các trị số điện áp của nó cũng khác nhau. Phép đo điện áp là phép đo để xác định các trị số điện áp này. Giả sử tín hiệu điện áp tuần hoàn theo chu kỳ T, ví dụ dạng điện áp như Hình 5.5.



Hình 5.5 – Đồ thị tín hiệu điện áp

+ Biên độ điện áp:

- Biên độ điện áp dương:  $U_{m+}$
- Biên độ điện áp âm:  $U_{m-}$

Nếu điện áp có  $U_{m+} = -U_{m-} = U_m$ , thì chỉ cần đo biên độ điện áp  $U_m$ .

+ Thành phần điện áp một chiều  $U_{DC}$  hay  $U_0$

$$U_{DC} = J_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt$$

+ Trị số điện áp trung bình  $U_{tb}$  hay  $\bar{U}$

$$U_{tb} = \bar{U} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |u(t)| dt$$

+ Trị số điện áp hiệu dụng  $U_{hd}$  hay  $U_{RMS}$

$$U_{RMS} = U_{hd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) dt}$$

+ Hệ số biên độ

$$k_b = \frac{U_m}{U_{RMS}}$$

+ Hệ số dạng

$$k_d = \frac{U_{RMS}}{U_{tb}}$$

Ví dụ điện áp điều hòa hình sin:  $u(t)=U_m \sin(\omega t + \varphi)$  (V). Các trị số điện áp là:

$$U_{m+} = -U_{m-} = U_m$$

$$U_{DC} = 0 \text{ V}$$

$$U_{RMS} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ (V)}$$

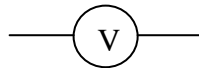
$$U_{tb} = \frac{2U_m}{\sqrt{2}} \text{ (V)}$$

$$k_b = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad k_d = \frac{1}{2\sqrt{2}} \quad (11)$$

Trong khi đó điện áp dạng xung vuông chuẩn có  $k_b = k_d = 1$ .

### 5.3.2. Giới thiệu về dụng cụ đo điện áp

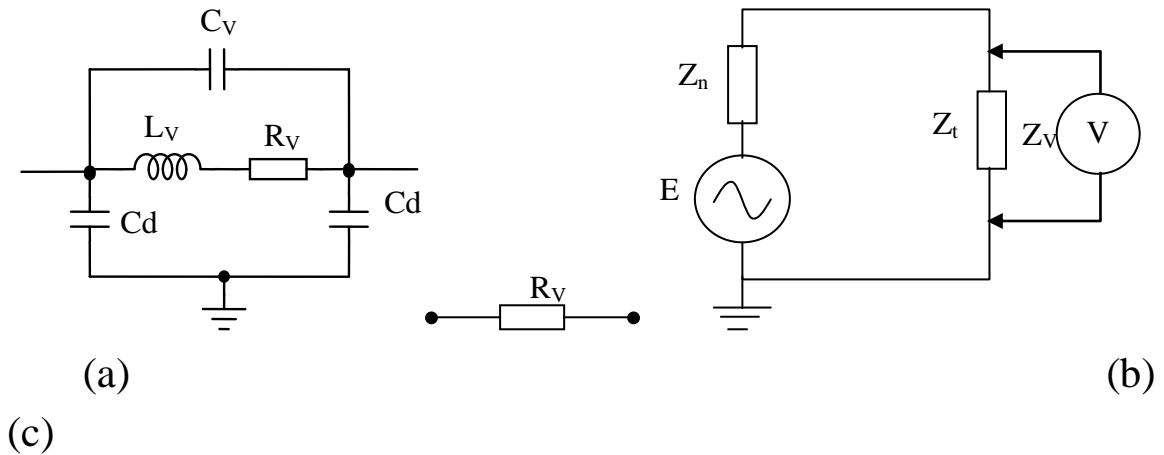
Dụng cụ đo dòng điện được gọi là Vôn mét (Vôn kế), với đồng hồ vạn năng khi để chức năng đo điện áp thì cũng được gọi là Vôn mét. Ký hiệu của Vôn Ampe mét trong sơ đồ là một vòng tròn có chữ V ở giữa và có thể thêm ký hiệu các cực dương và âm hai bên cho dòng điện một chiều:



Khi đo điện áp phải được mắc song song Vôn mét với đoạn mạch cần đo điện áp. Để giảm ảnh hưởng đến mạch điện cần đo, dòng điện trong mạch của Vôn mét phải càng nhỏ càng tốt. Điều này nghĩa là trở kháng tương đương của Vôn mét  $Z_V$  trong mạch điện phải lớn hơn rất nhiều trở kháng tương đương của đoạn mạch cần đo điện áp.

Khi mắc Vôn mét vào mạch điện một chiều, chú ý nối các cực điện theo đúng chiều điện áp. Luôn chọn thang đo phù hợp trước khi đo: chọn thang lớn nhất trước, rồi hạ dần cho đến khi thu được kết quả nằm trong thang đo.

Mỗi Vôn mét đều có trở kháng trong hữu hạn, khi đo điện áp một chiều và xoay chiều tần số thấp, có thể coi trở kháng của Vôn mét là thuần trở  $R_V$  (Hình 5.6-b). Nhưng tần số cao trở kháng tương đương của ampe mét còn cần phải tính đến các thành phần điện dung và điện cảm ký sinh, sơ đồ tương đương như Hình 5.6- a (trong đó:  $L_V$ - điện cảm của cuộn dây,  $C_V$ - điện dung giữa 2 đầu Vôn mét,  $C_d$ - điện dung giữa 2 đầu Vôn mét với đất).



Hình 5.6 - Trở kháng tương đương của Vôn mét

Ví dụ như cách mắc Vôn mét đo điện áp trên tải  $Z_t$  như Hình 5.6-c, trong đó  $Z_0$  – trở kháng của nguồn,  $Z_t$  – trở kháng phụ tải.

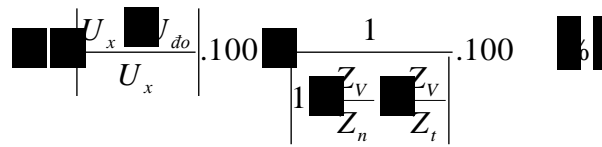
Khi mắc Vôn mét vào mạch đo bao giờ cũng làm cho điện áp trên tải thay đổi so với giá trị thực  $U_x$

$$U_x = \frac{E \cdot Z_t}{Z_n + Z_t}$$

Sau khi mắc Vôn mét vào mạch điện áp mà Vôn mét chỉ thị là:

$$U_{do} = \frac{E \cdot Z_{td}}{Z_n + Z_{td}} \text{ trong đó } Z_{td} = \frac{Z_t \cdot Z_V}{Z_t + Z_V}$$

Sai số tương đối do ảnh hưởng của trở kháng trong ampe mét được xác định như sau:



Để giảm nhỏ sai số tương đối cần chọn Vôn mét có trở kháng trong càng lớn càng tốt.

Các Vôn mét dùng trong đo lường điện tử được phân loại căn cứ vào các tính năng sau đây:

- Dạng chỉ thị: Vôn mét chỉ thị kim hay Vôn mét chỉ thị số.
- Thông số của điện áp đo: Vôn mét đo điện áp đỉnh, điện áp trung bình hay điện áp hiệu dụng.
- Dải trị số điện áp đo: Micro Vôn mét, Mili Vôn mét hay Kilo Vôn mét.
- Mục đích sử dụng: Vôn mét mẫu (để làm chuẩn), Vôn mét xoay chiều, Vôn mét một chiều, Vôn mét xung hay Vôn mét có tính năng đặc biệt (Vôn mét nhạy pha, Vôn mét chọn lọc ...).

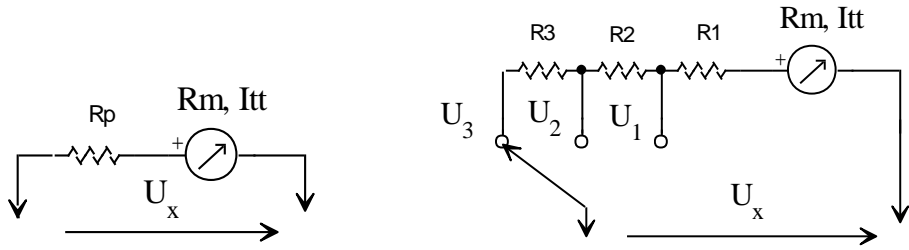
Các phương pháp cơ bản đo điện áp:

- Đo điện áp dùng cơ cấu đo.
- Đo dòng dùng Vôn mét điện tử tương tự, Vôn mét điện tử số.
- ...

### 5.3.3. Đo điện áp sử dụng cơ cấu đo từ điện

#### a. Đo điện áp một chiều DC

Cơ cấu đo từ điện làm việc với điện áp một chiều, nhưng điện áp toàn thang khá nhỏ  $U_{tt} = R_m \cdot I_{tt}$ , nên do đó phải mở rộng thang đo điện áp cho phù hợp bằng cách mắc CCD nối tiếp với điện trở phụ  $R_p$ .



(a) – Sơ đồ một thang đo

(b) – Sơ đồ nhiều thang điện

áp

Hình 5.7 – Sơ đồ thang đo điện áp một chiều dùng CCD từ điện

Sơ đồ thang đo điện áp một chiều dùng CCD từ điện như Hình 5.7-a. Điện áp đo:

$$U_x = U_{Rp} + U_m$$

Điện áp đo được lớn nhất của thang đo là  $U_{max}$ . Khi  $U_x = U_{max}$  thì  $I_m = I_{tt}$ , đó đó điện trở phụ được xác định như sau:

$$R_p \blacksquare R_m (n \blacksquare), \text{ với } n \blacksquare \frac{I_{max}}{I_{tt}} \blacksquare \frac{I_{max}}{I_{tt} R_m} - \text{ hệ số mở rộng thang đo.}$$

Với Vôn mét có nhiều thang đo thì dùng nhiều điện trở phụ, thông thường các điện trở phụ được mắc theo kiểu nối tiếp như Hình 5.7-b với 3 thang đo là  $U_1, U_2, U_3$ , hệ số mở rộng của mỗi thang đo là  $n_k (k=1,2,3)$ .

$$R_{pk} \blacksquare \frac{R_m}{n_k}, \text{ với } n_k \blacksquare \frac{I_k}{I_{tt}} \blacksquare \frac{U_k}{I_{tt} R_m}$$

+ Thang đo  $U_1$ :  $R_{p1} = R1$ .

+ Thang đo  $U_2$ :  $R_{p2} = R1 + R2$ .

+ Thang đo  $U_3$ :  $R_{p3} = R1 + R2 + R3$ .

Chú ý: Trong trường hợp  $I_{tt}$  nhỏ, có thể mắc thêm điện trở Shunt  $R_s$  song song với CCD để tăng dòng toàn thang tổng trước khi mắc nối tiếp với các điện trở phụ.



**b. Đo điện áp xoay chiều AC dùng cơ cấu từ điện**

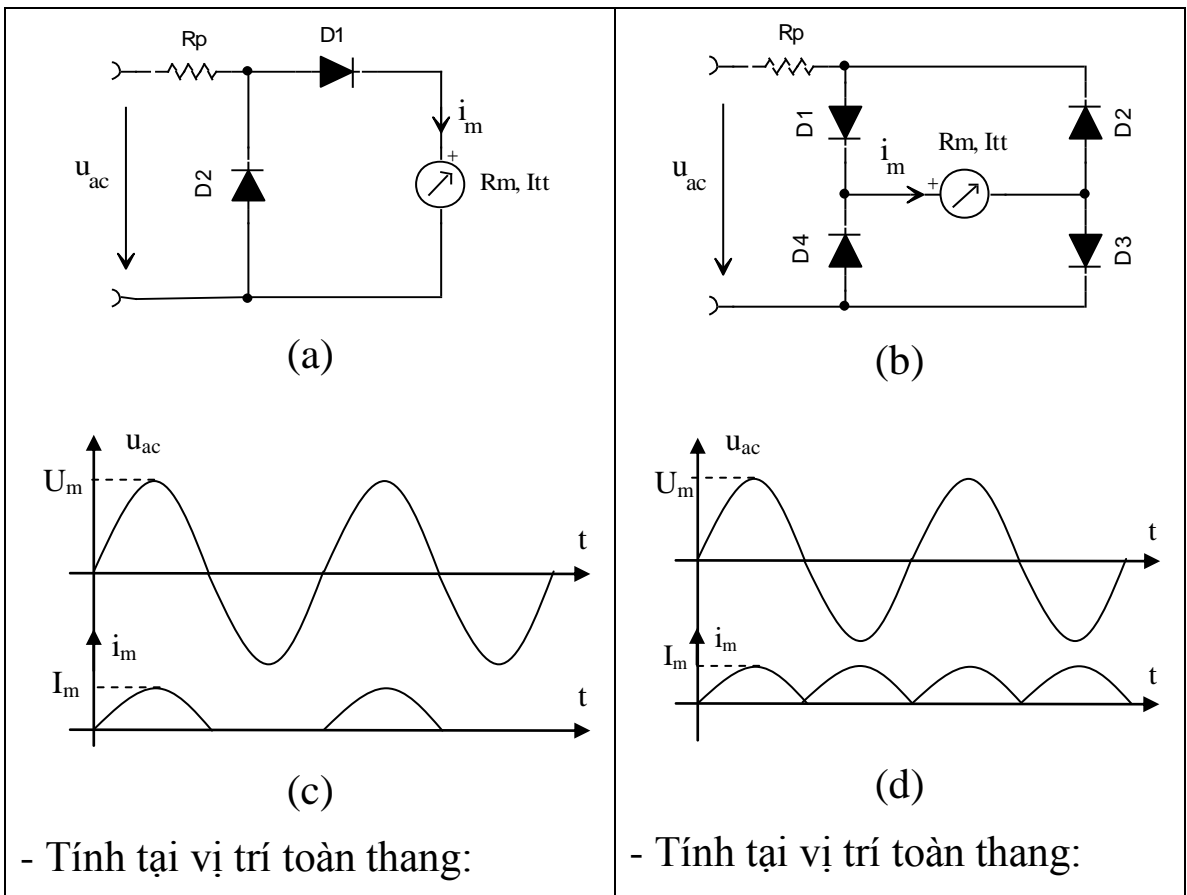
Cơ cấu đo từ điện chỉ làm việc với điện áp một chiều, do đó khi đo điện áp xoay chiều AC phải biến đổi điện áp AC thành điện áp DC đặt vào CCD theo các cách khác nhau như: Dùng phương pháp chỉnh lưu bằng Điốt, Dùng phương pháp biến đổi nhiệt điện.

**Dùng phương pháp chỉnh lưu bằng Điốt:**

Ví dụ thang đo dòng AC dùng mạch chỉnh lưu 1/2 chu kỳ như Hình 5.8-a, và dùng mạch chỉnh lưu cầu như Hình 5.8-b. Xây dựng thang đo trị số hiệu dụng của điện áp xoay chiều hình sin cho các thang đo này. Giả sử dòng điện AC là  $u_{ac}=U_m \sin \omega t$

Nếu giới hạn của thang đo là  $U_{max}$ , thì khi điện áp AC có giá trị hiệu dụng  $U_{RMS}=U_{max}$  thì dòng điện trung bình qua CCD là  $i_{mtb}=I_{tt}$ .

Hình 5.8 – Thang đo dòng xoay chiều



$U_m \sqrt{2} = I_m R_p$ $\Rightarrow R_p = \frac{U_m \sqrt{2}}{I_m}$	$U_m \sqrt{2} = I_m R_p$ $\Rightarrow R_p = \frac{U_m \sqrt{2}}{I_m}$
---	---

### 5.3.4. Vôn mét điện tử

Khi đo điện áp xoay chiều cao tần, thì thiết bị đo được sử dụng nhiều hơn cả là Vôn mét điện tử. vì vôn-mét điện tử có một số ưu điểm cơ bản như : trở kháng vào lớn, độ nhạy cao, tiêu thụ ít năng lượng của mạch điện được đo, và chịu được quá tải.

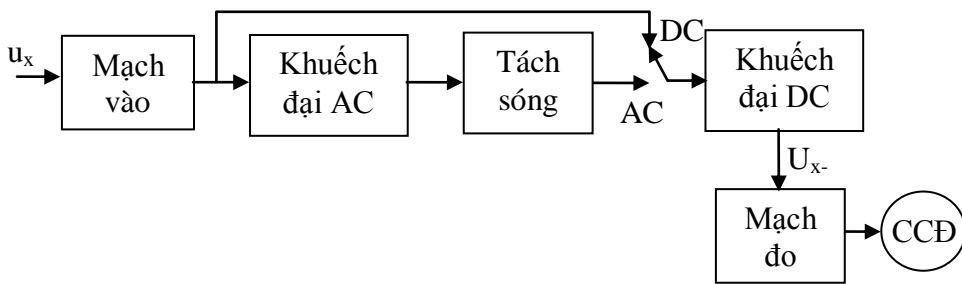
Tuy nhiên vôn-mét điện tử cũng có những nhược điểm là cần yêu cầu có nguồn cung cấp, nguồn cung cấp cần phải ổn định, và độ chính xác của thang độ chỉ thị phụ thuộc nhiều vào đặc tính thông số của phần tử tích cực như Điốt, BJT, KĐT, ... nên khi thay thế phần tử này thì thiết bị đo có thể bị ảnh hưởng.

Vôn-mét điện tử có nhiều loại, tùy theo cấu tạo mà nó có thể dùng để đo điện áp một chiều, điện áp xoay chiều hay đo cả hai loại điện áp này. Cũng tùy theo cấu tạo mà kết quả đo được chỉ thị bằng kim hay chỉ thị bằng số.

#### a. Vôn mét điện tử chỉ thị kim

Sơ đồ khối rút gọn của Vôn mét điện tử chỉ thị kim như Hình 5.9. Cũng như các máy đo thông số tín hiệu khác, thiết bị vào ở đây thường gồm các phần tử để biến đổi điện áp đo ở đầu vào, như bộ phân áp, suy giảm và mạch khuếch đại đệm vào để tăng trở kháng vào của vôn-mét.

Chức năng đo điện áp sau khuếch đại một chiều DC sẽ được thực hiện ở mạch đo và chỉ thị bằng cơ cấu đo chỉ thị kim, CCD từ điện được sử dụng phổ biến nhất trong trường hợp này.



Hình 5.9 – Sơ đồ khối rút gọn của Vôn mét điện tử chỉ thị kim

Khối tách sóng có nhiệm vụ biến đổi điện áp xoay chiều thành điện áp 1 chiều trị số trung bình tỉ lệ với trị số điện áp nào đó của điện áp xoay chiều. Có các cách phân loại mạch Tách sóng như sau:

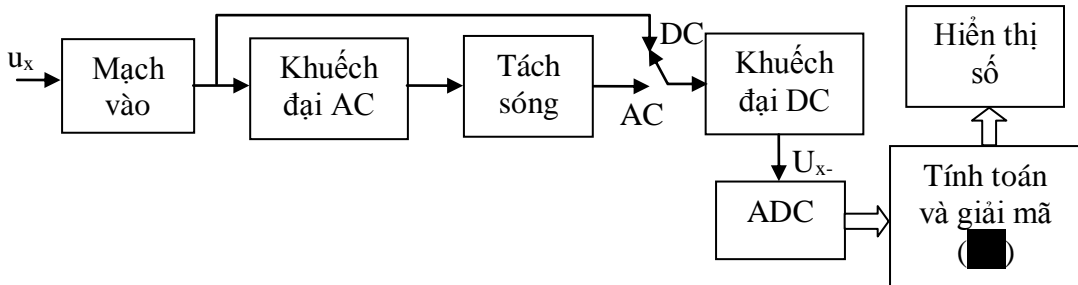
- Theo trị số điện áp hay theo dòng điện ra của bộ tách sóng: Tách sóng đỉnh (biên độ), Tách sóng hiệu dụng hay Tách sóng trung bình.
- Theo chế độ tách sóng: chế độ A, chế độ B hay chế độ C.
- Theo mạch điện tách sóng: Tách sóng mạch Điốt, Tách sóng dùng Transistor,...
- Theo cấu tạo mạch vào tách sóng: Tách sóng mạch vào đóng hay tách sóng mạch vào mở.
- Theo đặc tuyến tách sóng: Tách sóng đường thẳng hay tách sóng bậc hai.

Trong phần này, ta sẽ xét bộ tách sóng của vôn-mét theo cách phân loại đầu tiên, vì nó tương đối tổng quát và phù hợp với cách phân loại các loại vôn-mét hơn.

### **b. Vôn mét điện tử chỉ thị số**

Sơ đồ khối rút gọn của Vôn mét điện tử số như Hình 5.10. Về cơ bản Vôn mét điện tử số cũng có khác khối chức năng như Vôn mét điện tử chỉ thị kim, chúng chỉ khác nhau ở phần đo điện áp  $U_x$ .

sau khuếch đại một chiều. Trong Vôn mét điện tử số điện áp một chiều này được biến đổi sang tín hiệu số nhờ ADC và được tính toán và giải mã bằng mạch số hoặc sử dụng vi xử lý/ vi điều khiển (■) rồi kết quả đo được hiển thị số sử dụng các cơ cấu chỉ thị số.



Hình 5.10 – Sơ đồ khối rút gọn của Vôn mét điện tử số

Bộ biến đổi ADC (biến đổi tương tự - số) là một bộ phận quan trọng của Vôn mét điện tử số, nó thực hiện tất cả mọi thao tác để biến đổi một tín hiệu biến đổi liên tục theo thời gian thành một số hữu hạn trong một hệ thống đã cho. Thường là khâu nối giữa bộ phận nguồn tin và xử lý tin trong hệ thống đo lường số nói chung.

Thông thường, quá trình biến đổi của ADC là quá trình:

-*Tạo điện áp chuẩn*: Điện áp chuẩn ví dụ như là tập hợp các giá trị khác nhau của một điện áp ổn định, hay điện áp biến đổi tuyến tính theo thời gian.

-*Thực hiện so sánh*: Điện áp tương tự cần biến đổi với điện áp chuẩn.

-*Tạo mã số*: Thực hiện do bộ đếm xung hay trực tiếp do các khối thuật toán thực hiện.

Các thông số của bộ biến đổi ADC:

-*Tốc độ biến đổi*.

-*Độ chính xác biến đổi*: Có sai số do nguyên lý biến đổi và sai số do dụng cụ biến đổi.

- *Dải biến đổi*: Biên độ tín hiệu vào từ cực tiểu đến cực đại.

Ngoài ra còn có: độ nhạy, độ tin cậy, khả năng biến đổi nhiều kênh, điện trở vào, kích thước...

Phân loại các bộ biến đổi ADC

Có nhiều cách phân loại, ở đây chúng ta sẽ chủ yếu hai cách:

- *Theo đại lượng tương tự*: Thời gian - số, điện áp - số ...,
- *Theo thuật toán biến đổi*: Đếm nối tiếp, mã theo từng bit, đếm song song.

Nói chung, khi phân tích mạch cụ thể thì thường phân loại theo đại lượng biến đổi và kết cấu mạch. Khi tổng hợp mạch một cách tổng quát thì theo thuật toán hay phương pháp biến đổi.

Trong đo lường thường sử dụng loại ADC tuyến tính, độ phân giải cao, điển hình nhất là loại ADC thời gian xung hay còn gọi là ADC tích phân: ADC tích phân 1 sườn dốc và ADC tích phân 2 sườn dốc. Do độ phân giải cao, khả năng chống nhiễu tốt nên ADC tích phân 2 sườn dốc được sử dụng phổ biến nhất trong Vôn mét điện tử số.

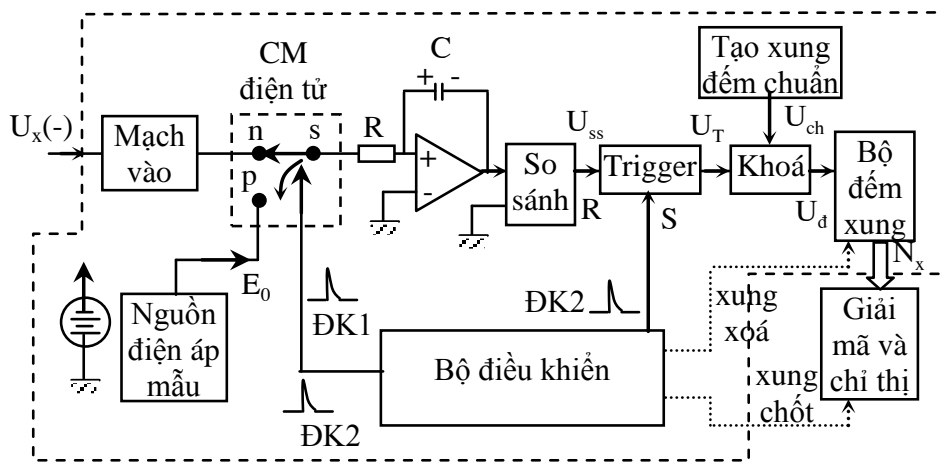
### **Vôn mét số một chiều thời gian xung**

Ví dụ sơ đồ khối của Vôn mét số một chiều thời gian xung (Nguyên lý của ADC tích phân 2 sườn dốc (Dual-slope ADC) Hình 5.11.

+ *Nguyên lý làm việc*:

- Khi chưa đo, khoá S hở (không ở vị trí nạp n hoặc phóng p).
- Quá trình biến đổi được thực hiện theo 2 bước tích phân sau:
  - \* Bước 1: Tại thời điểm  $t_1$ , bộ điều khiển đưa ra xung điều khiển ĐK1 đưa khoá S về vị trí n, điện áp  $U_x$  qua mạch vào qua R nạp cho C, nên  $U_C$  tăng.

\* Bước 2: Đến thời điểm  $t_2$ , bộ điều khiển đưa ra xung điều khiển ĐK2 đưa S về vị trí p và kết thúc quá trình nạp, C sẽ phóng điện qua nguồn điện áp mẫu (nguồn điện áp không đổi, 1 chiều  $E_0$ ),  $u_C$  giảm đến thời điểm  $t_3$  thì  $u_C = 0$ , bộ so sánh đưa ra xung so sánh  $U_{SS}$ , xung ĐK2 và xung  $U_{SS}$  này sẽ được đưa vào đầu vào thiết lập (S) và xoá (R) của Trigger, kết quả đầu ra của Trigger là xung vuông có độ rộng  $T_x$  tỉ lệ với  $U_x$ , xung này sẽ điều khiển đóng mở khoá để cho phép xung đếm chuẩn qua khoá kích thích cho bộ đếm xung. Giả sử trong thời gian  $T_x$  có  $N_x$  xung qua khoá, số xung đếm được trong khoảng thời gian này cũng tỉ lệ với điện áp một chiều vào  $U_x$ . Như vậy số xung  $N_x$  được đưa qua mạch giải mã và chỉ thị để biểu thị kết quả là điện áp một chiều cần đo.



Hình 5.11 – Sơ đồ khối Vôn mét số một chiều thời gian xung

Xác định  $U_x = f(N_x)$ ?

- Quá trình C nạp:

$$u_C(t_1) = \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} K_v \cdot U_x \cdot dt$$

$K_v$ : hệ số truyền đạt của mạch vào.

Giả sử trong thời gian biến đổi,  $U_x = \text{const}$ :

$$U_n = u_C(t_2) - u_C(t_1) = \frac{1}{RC} \cdot K_v \cdot U_x \cdot (t_2 - t_1) = \frac{K_v \cdot U_x \cdot T_1}{RC} \text{ với } T_1 = t_2 - t_1$$

- Quá trình C phóng:

$$u_c(t_3) = \int_{t_2}^{t_3} \frac{1}{RC} E_0 dt$$

$$= \frac{1}{RC} E_0 (t_3 - t_2)$$

$$u_c(t_3) = \frac{K_v U_x T_1}{RC} E_0 T_x \text{ với } T_x = t_3 - t_2$$

$$U_c(t_3) = \frac{K_v U_x T_1}{E_0} N_x T_{ch} \text{ với } T_{ch} \text{ là chu kỳ của xung đếm}$$

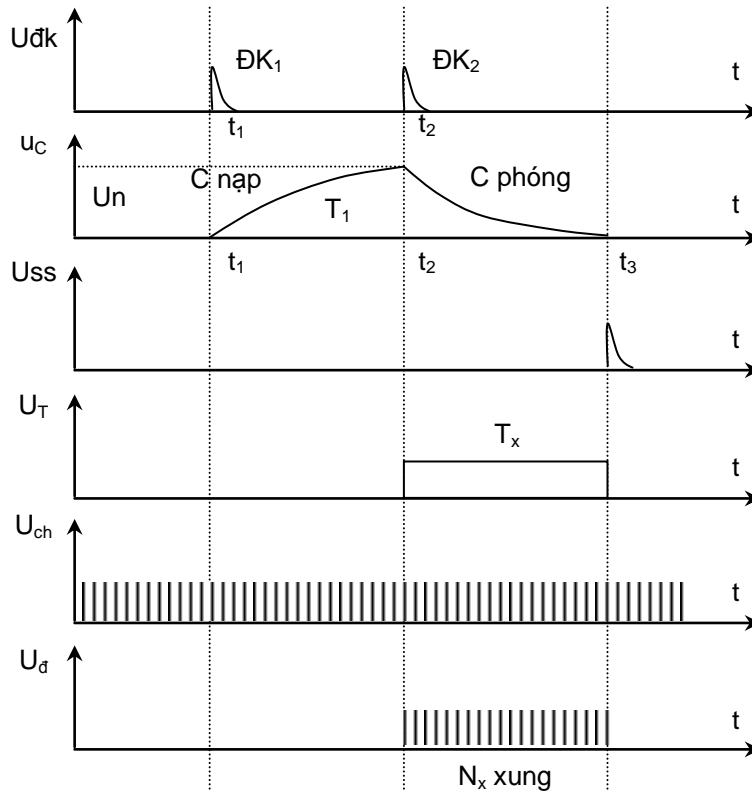
chuẩn.

$$J_x = \frac{T_{ch} \cdot E_0}{K_v \cdot T_1} \cdot N_x \cdot S_0 \cdot N_x$$

$$\text{với } S_0 = \frac{T_{ch} \cdot E_0}{K_v \cdot T_1} \cdot const, \text{ (thường chọn } S_0 = 10^k \text{ với } k=0, \dots)$$

$$J_x = 10^k \cdot N_x$$

+ Giải đồ thời gian:



+ **Đánh giá sai số:** Kết quả đo bị ảnh hưởng bởi các sai như sau:

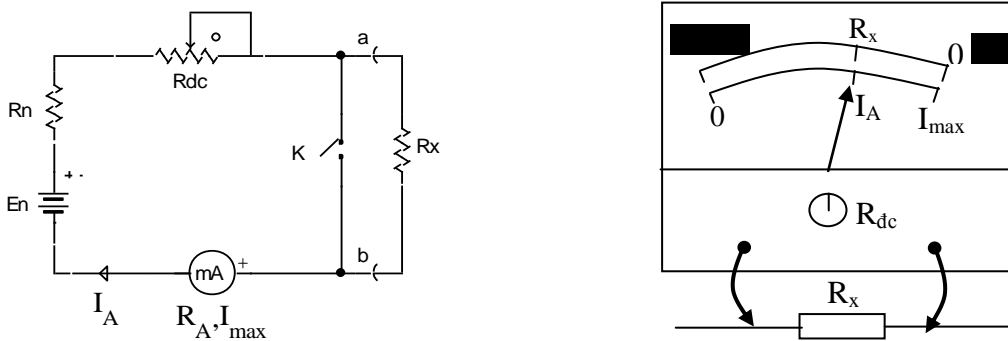
- Sai số  $T_{ch}$ ,  $K_v$ ,  $E_0$ ,  $T_1$ .
- Sai số lượng tử (do xấp xỉ  $T_x = T_{ch}N_x$ ).
- Sai số do độ trễ của các Trigger.
- Sai số do nhiễu tác động từ đầu vào. Tuy nhiên, với phương pháp tích phân 2 lần, có thể loại trừ hoàn toàn nhiễu chu kỳ nếu chọn  $T_1 = n \cdot T_{nh}$  với  $T_{nh}$  là chu kỳ của nhiễu.

#### **5.4. ĐO ĐIỆN TRỞ**

Đo điện trở cũng là một phép đo điện cơ bản thường được thực hiện cùng với các phép đo điện áp và đo dòng điện. Các phương pháp đo trở kháng nói chung, đo điện trở nói riêng sẽ được trình bày trong chương 9, nên trong phần này chỉ tập trung trình bày một ứng dụng của phương pháp Vôn-ampe để xây dựng thang đo điện trở sử dụng cơ cấu đo từ điện - một thang đo được sử dụng khá phổ biến trong các dụng cụ đo vạn năng (MultiMeter).

Theo định luật Ôm:  $R_x = \frac{U_x}{I_x}$ , nếu  $U_x = \text{const}$  thì đo  $I_x$  sẽ xác định được  $R_x$ , như vậy có thể xây dựng được thang đo điện trở trên cơ sở sử dụng thang đo dòng điện sử dụng CCD từ điện, và thang đo được khắc độ theo đơn vị đo điện trở. Thang đo điện trở theo phương pháp này có thể được xây dựng theo sơ đồ mắc nối tiếp hoặc song song, trong phần này chỉ trình bày sơ đồ mắc nối tiếp như Hình 5.12.





Hình 5.12 – Sơ đồ một thang đo điện trở kiểu nối tiếp

Sơ đồ thang đo có sử dụng thang đo dòng mA có nội trở  $R_A$ , giới hạn thang đo  $I_{max}$ , nguồn pin  $E_n = const$ , có nội trở  $R_n$ , biến trở điều chỉnh  $R_{dc}$ .

+ Khi chưa đo, để hở 2 đầu que đo a và b, tương ứng với  $R_x = \infty$  dòng điện qua mA bằng không, góc quay của kim chỉ thị 0 A, vị trí này được khắc độ  $\infty$

+ Khi bắt đầu đo, nối tắt 2 que đo a và b, ứng với  $R_x = 0$  dòng qua mA đạt giá trị cực đại  $I_{max}$  và góc quay của kim chỉ thị đạt giá trị cực đại, vị trí này khắc độ 0. Do đó nếu kim chỉ thị lệch khỏi vị trí 0 trên thang khắc độ thì ta phải điều chỉnh biến trở  $R_{dc}$  để kim chỉ đúng 0 khi đó:

$$I_A \cdot (R_n + R_A + R_{dc}) = \frac{E_n}{I_{max}}$$

$$\Rightarrow (R_n + R_A + R_{dc}) = \frac{E_n}{I_{max}}$$

+ Khi đo nối  $R_x$  vào 2 đầu que đo a và b, lúc này dòng qua mA là  $I_A$ :

$$R_x \cdot \frac{E_n}{I_A} + R_n + R_A + R_{dc} = \frac{E_n}{I_{max}} - \text{Phương trình khắc độ thang đo}$$

Như vậy có thể khắc độ thang đo theo đơn vị đo điện trở tương ứng từ thang đo dòng điện với phương trình khắc độ thang đo như trên. Tuy nhiên thang đo điện trở theo phương pháp đo

dòng là thang đo phi tuyến. Để xây dựng thang đo điện trở tuyến tính thì phải sử dụng nguồn dòng  $I_x = \text{const}$ , đo điện áp  $U_x$  để xác định điện trở  $R_x$ :  $U_x = R_x \cdot I_x$ .

Trong thực tế thang đo điện trở trong các dụng cụ đo vạn năng sử dụng CCD từ điện được xây dựng theo nguyên lý đo dòng có thể được mắc theo cách trình bày ở trên hay theo các cách mắc khác như:  $R_{dc}$  như một điện trở Shunt được mắc song song với CCD hay mắc nối tiếp với CCD rồi mới mắc song song với điện trở Shunt.

## **5.5. THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ VẠN NĂNG (MULTIMETERS)**

Thiết bị đo điện tử vạn năng hay còn gọi là Đồng hồ vạn năng (Multimeters) là một loại dụng cụ đo điện cơ bản đa chức năng được dùng khá phổ biến, có các chức năng cơ bản là đo dòng điện, đo điện áp, và đo điện trở ngoài ra có một số đồng hồ còn có thể đo tần số dòng điện, điện dung tụ điện, kiểm tra điốt, kiểm tra Transistor lưỡng cực... Đồng hồ vạn năng được thiết kế trên cơ sở chức năng đo cơ bản là đo dòng điện hoặc đo điện áp, và từ đó xây dựng thêm các chức năng đo khác. Có 2 loại đồng hồ vạn năng đó là: Đồng hồ vạn năng tương tự (hay còn được gọi tắt là VOM – Volt-Ohm-Milliammeter), và đồng hồ vạn năng số (DMM – Digital Multimeter).

### **5.5.1. Đồng hồ vạn năng tương tự - VOM**

#### **a. Chức năng**

Đồng hồ vạn năng tương tự thường có các chức năng đo như sau:

- Đo điện áp một chiều: DCV
- Đo giá trị hiệu dụng của điện áp xoay chiều: ACV.
- Đo cường độ dòng điện một chiều: DCA

■ Đo điện trở: ■

Ngoài ra có một số đồng hồ còn có thêm chức năng khác như:

■ Đo điện dung tụ điện

■ Kiểm tra điốt, kiểm tra Transistor lưỡng cực...

VOM thường được cấu tạo từ 1 cơ cấu đo từ điện, và sử dụng các mạch đo khác nhau sẽ tạo thành chức năng đo và thang đo khác nhau, sử dụng chuyển mạch để chọn chức năng đo và thang đo, và thang chỉ thị của CCD được khắc độ phù hợp với mỗi chức năng và thang đo tương ứng.

VOM trong thực tế rất đa dạng, Hình – là ví dụ về hình ảnh của các các VOM có trong thực tế.

Sơ đồ khối tổng quát của một VOM đơn giản như hình vẽ,



Hình 5.13 - Đồng hồ vạn năng tương tự - VOM

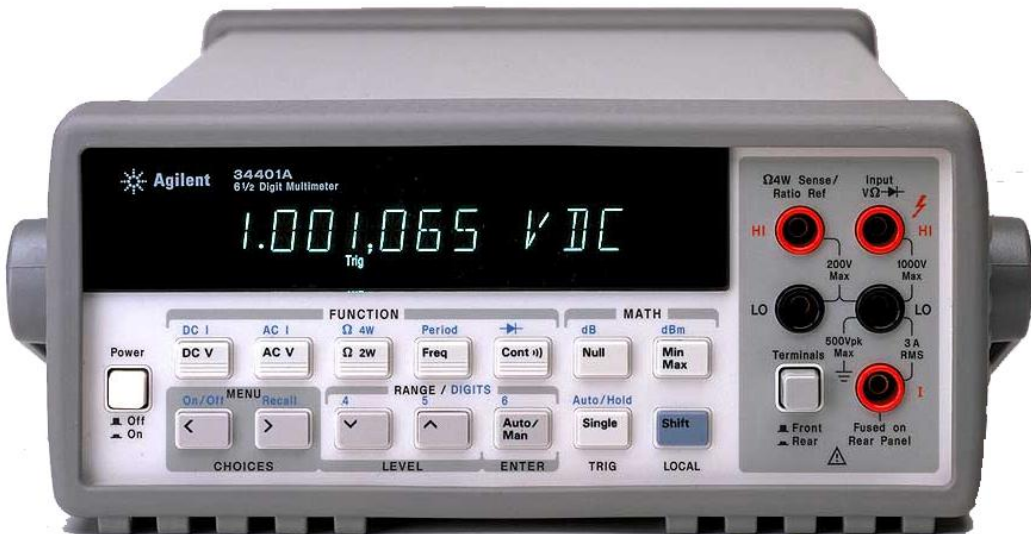
b. Sơ đồ cấu tạo

5.5.2. Đồng hồ vạn năng số - DMM.

a. Chức năng



Hình 5.14 – Đồng hồ vạn năng số cầm tay (Handheld DMM)



Hình 5.15 – Đồng hồ vạn năng số để bàn (Bench DMM)

Đồng hồ vạn năng số DMM có nhiều tính năng đo nội bật hơn đồng hồ vạn năng tương tự, cũng có các chức năng đo cơ bản như của VOM như:

■ Đo điện áp một chiều

■ Đo giá trị hiệu dụng (trị số đỉnh hoặc trung bình) của điện áp xoay chiều.

■ Đo cường độ dòng điện một chiều

■ Đo trị số hiệu dụng (trị số đỉnh hoặc trung bình) cùng dòng điện xoay chiều

■ Đo điện trở

Ngoài ra có một số đồng hồ còn có thêm chức năng nổi bật khác như:

■ Đo tần số dòng điện.

■ Kiểm tra điốt, kiểm tra Transistor lưỡng cực..

■ Kiểm tra nối mạch: máy kêu "bíp" khi điện trở giữa 2 đầu đo (gần) bằng 0.

■ Hiển thị số thay cho kim chỉ trên thước.

■ Có thêm các bộ khuếch đại điện để đo hiệu điện thế hay cường độ dòng điện nhỏ, và điện trở lớn.

■ Đo độ tự cảm của cuộn cảm và điện dung của tụ điện. Có ích khi kiểm tra và lắp đặt mạch điện.

■ Hỗ trợ cho đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt.

■ Đo tần số trung bình, khuếch đại âm thanh, để điều chỉnh mạch điện của radio. Nó cho phép nghe tín hiệu thay cho nhìn thấy tín hiệu (như trong máy hiện sóng).

■ Dao động kế cho tần số thấp. Xuất hiện ở DMM có giao tiếp với máy tính.

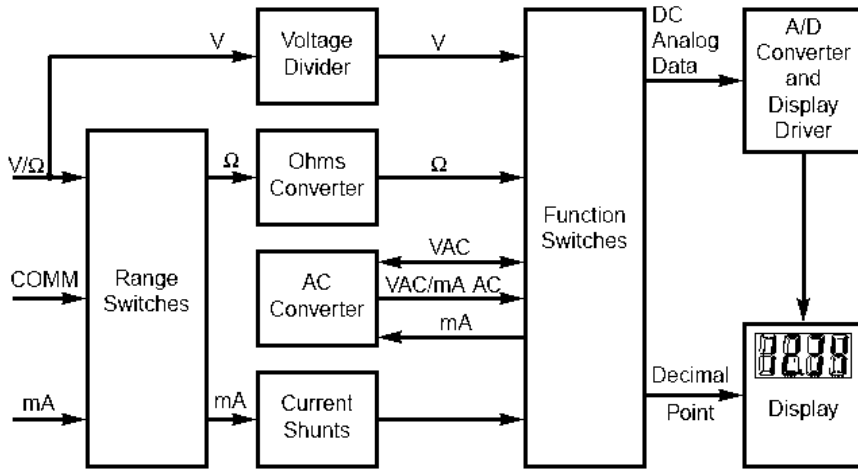
■ Bộ kiểm tra điện thoại.

■ Bộ kiểm tra mạch điện ô-tô.

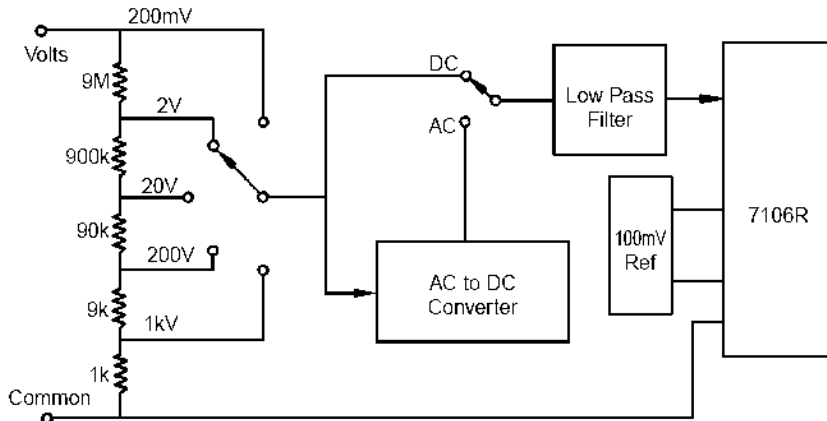
■ Lưu giữ số liệu đo đạc và tính toán kết quả.

Trong thực tế có 2 loại DMM đó là DMM cầm tay (Handheld DMM) và loại DMM để bàn (Bench DMM). Loại để DMM bàn thường có tính năng, dải trình đo, độ chính xác, giá thành cao hơn loại DMM cầm tay.

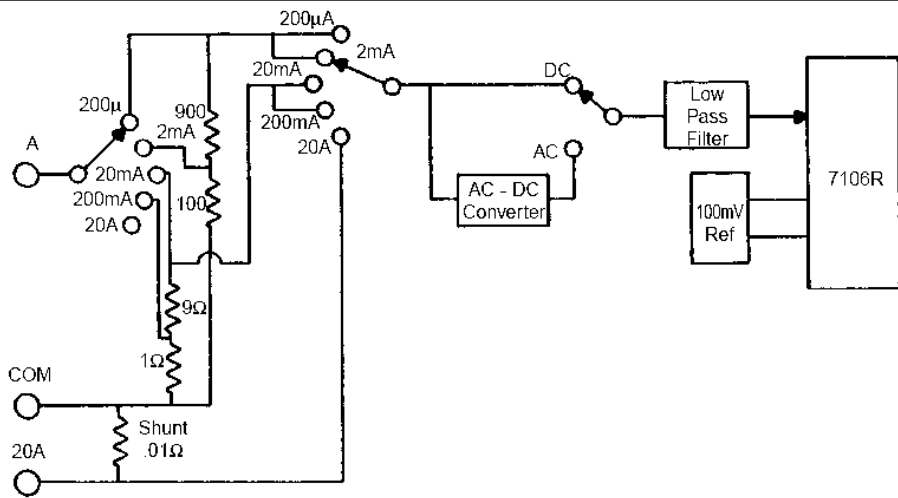
**b. Sơ đồ cấu tạo**



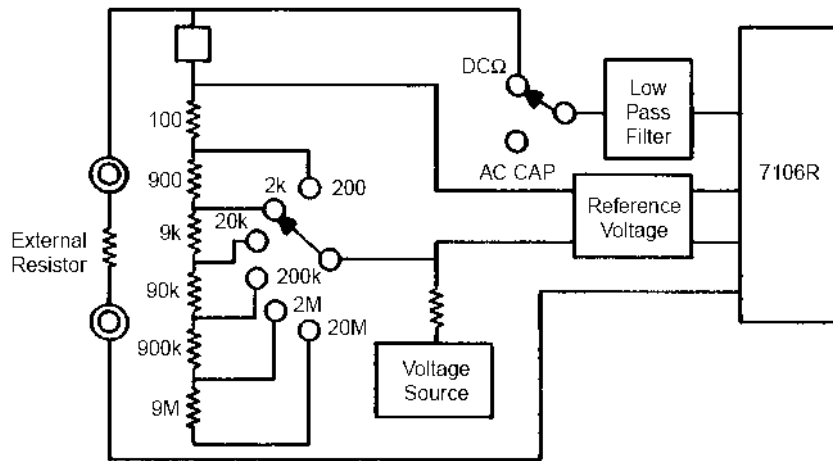
Hình 5.16 – Sơ đồ khối rút gọn của DMM số.



Hình 5.17 – Sơ đồ rút gọn của chức năng đo điện áp

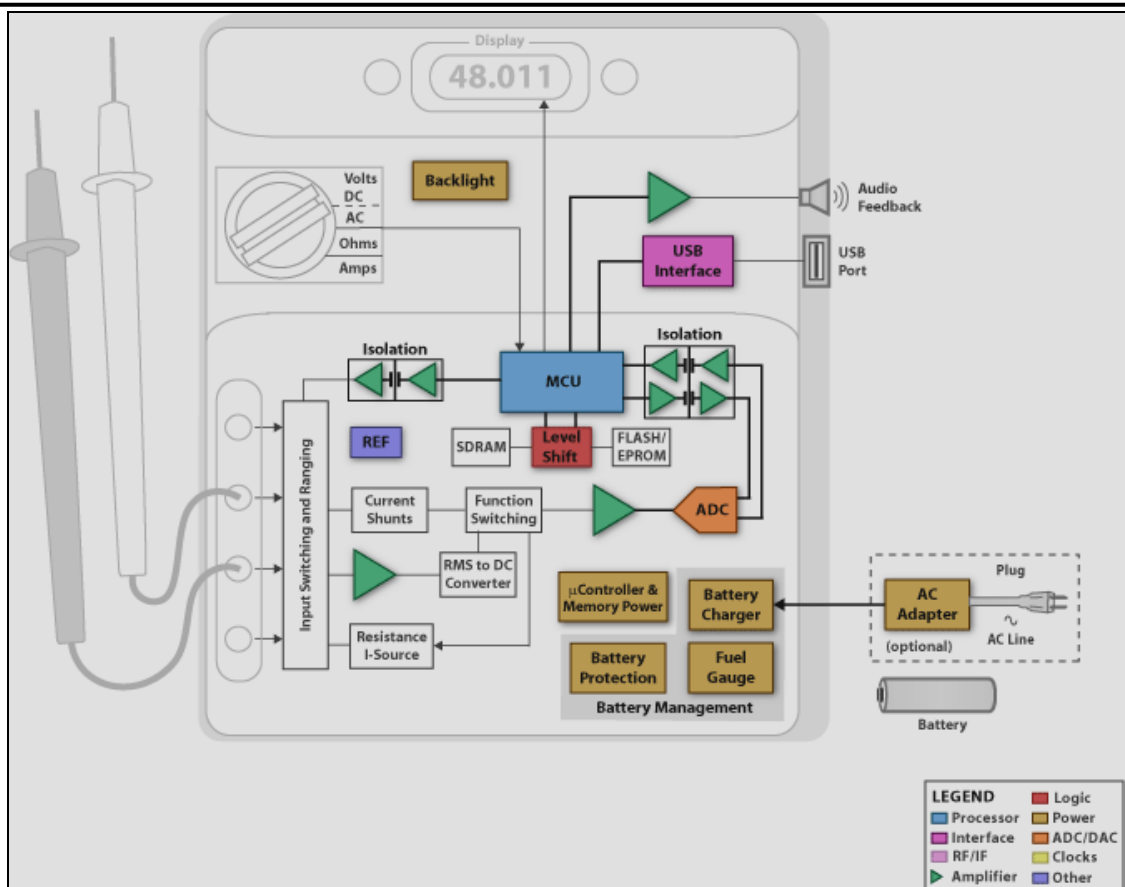


Hình 5.18 – Sơ đồ rút gọn của chức năng đo dòng



Hình 5.19 – Sơ đồ rút gọn của chức năng đo điện trở





Hình 5.20 – Sơ đồ cấu tạo của một DMM trong thực tế

## CHƯƠNG 6 - ĐO TẦN SỐ, KHOẢNG THỜI GIAN VÀ GÓC LỆCH PHA

### 6.0. GIỚI THIỆU CHUNG

Tần số, chu kỳ, các khoảng thời gian, góc pha là các tham số quan trọng của tín hiệu. Trong kỹ thuật điện tử, thường hay dùng các tín hiệu có phổ tần số rất rộng. Dải phổ tần số này bắt đầu từ các tần số bằng một vài phần trăm Hz đến hàng trăm GHz. Toàn bộ tần phổ này có thể chia làm nhiều dải tần số có tính chất khác nhau:

- Dải tần thấp:  $< 16\text{Hz}$
- Dải tần số âm thanh:  $16\text{ Hz} < f < 20\text{ KHz}$
- Dải tần số siêu âm:  $20\text{ KHz} < f < 200\text{ KHz}$
- Dải tần số cao:  $200\text{ KHz} < f < 30\text{ MHz}$
- Dải tần số siêu cao:  $30\text{ MHz} < f < 3000\text{ MHz}$
- Dải tần số quang học:  $> 3\text{GHz}$

Các dải tần số khác nhau có các phương pháp đo tần số khác nhau. Giới hạn dùng và kỹ thuật đo lường các tần số cao tần tăng lên cùng với sự phát triển của kỹ thuật điện tử và ngày nay đã xác định được các tần số hàng trăm GHz.

*Các tham số về tần số:*

Xét tín hiệu xoay chiều điều hòa biến thiên theo thời gian:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

- Pha của tín hiệu  $(\omega t + \varphi)$  =  $\omega t + \varphi$

- Tần số góc  $\omega$  biểu thị tốc độ thay đổi pha của dao động:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 2\pi f$$

- Tần số  $f$  – là số dao động toàn phần (số chu kỳ) của dao động trong 1 đơn vị thời gian.

- Chu kỳ  $T$  – khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó ( $u(t+T)=u(t)$ ),  $T=1/f$ .

- Bước sóng  $\lambda$  là khoảng không gian của môi trường truyền dẫn dao động được truyền đi trong một chu kỳ:

$$\lambda = T \cdot v = \frac{v}{f}$$

Trong đó  $v$  là vận tốc truyền sóng của môi trường. Sóng điện từ lan truyền trong chân không bằng vận tốc ánh sáng  $c=3 \cdot 10^8$  m/s. Với môi trường truyền sóng có hệ số điện môi tương đối là  $\epsilon_r$  thì:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Như vậy  $f$  không phụ thuộc vào điều kiện lan truyền, còn  $\lambda$  phụ thuộc vào vận tốc truyền sóng trong môi trường truyền dẫn.

Đơn vị đo tần số  $f$ : Hz, kHz, MHz, GHz, THz, ...

Đơn vị đo chu kỳ  $T$ : s, ms,  $\mu$ s, ns, ps, ...

Đơn vị đo bước sóng  $\lambda$ : m, mm,  $\mu$ m, nm, pm, ...

Việc đo  $\lambda$ ,  $T$ ,  $f$  có ý nghĩa như nhau, tuy nhiên ở tần thấp và cao tần thường đo  $\lambda$ ,  $T$ ,  $f$ , ở dải siêu cao tần thường đo  $f$ .

Trong kỹ thuật điện tử, truyền thông phép đo tần số được thực hiện trong các trường hợp sau:

- Cần khắc độ và chuẩn lại các máy tạo tín hiệu đo lường, phát phát, máy thu,...
- Xác định tần số cộng hưởng của mạch dao động.

- Xác định dải thông của bộ lọc, mạng 2 cực,...
- Kiểm tra độ lệch tần số của các thiết bị đang hoạt động,..
- ...

Ngoài các tham số  $f$ ,  $T$ , góc pha cũng là tham số cơ bản của tín hiệu, nó gắn liền với dao động điều hòa:  $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$  trong đó  $\varphi$  là pha ban đầu tại thời điểm  $t=0$ . Thực tế góc pha của tín hiệu biến thiên theo thời gian và pha ban đầu cũng thay đổi khi thay đổi gốc thời gian, do đó phép đo pha thường được thực hiện là phép đo góc lệch pha của 2 tín hiệu cùng tần số.

Giả sử:  $u_1(t) = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$

$$u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

Góc lệch pha giữa  $u_2$  và  $u_1$  là  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

Nếu  $\Delta\varphi = \text{const}$  thì  $\Delta\varphi = \text{const}$ .

Với tín hiệu tuần hoàn dạng bất kỳ, thì phép đo tần số là phép đo tần số của thành phần sóng hai bậc nhất (thành phần tần số cơ bản) của tín hiệu và phép đo góc lệch pha cũng là góc lệch pha của các thành phần hài bậc nhất, nhưng phổ biến là phép đo chu kỳ và độ lệch thời gian.

## 6.1. ĐO TẦN SỐ

Các phương pháp đo tần số thông dụng trong kỹ thuật điện tử là:

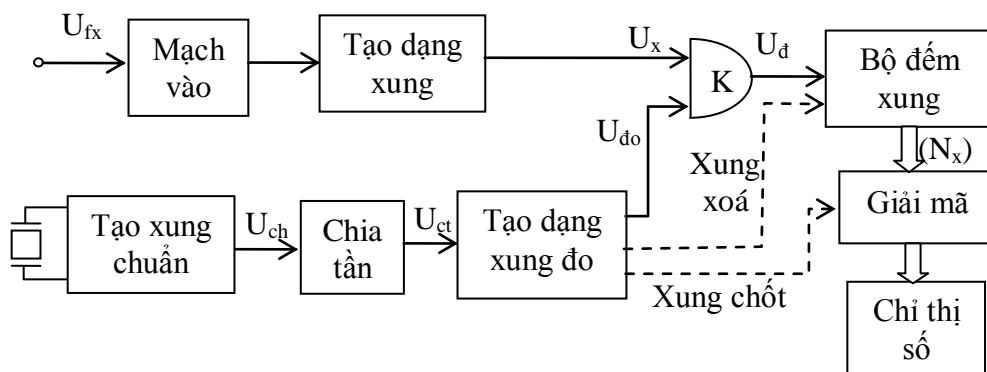
- Phương pháp so sánh: Dùng ô-xi-lô, Phương pháp đếm xung.
- Phương pháp dùng mạch điện có tham số phụ thuộc tần số: Mạch cầu cân bằng, Mạch cộng hưởng.
- Phương pháp đo tần số bằng phương pháp phóng nạp điện cho tụ.

### 6.1.1. Đo tần số bằng phương pháp đếm xung

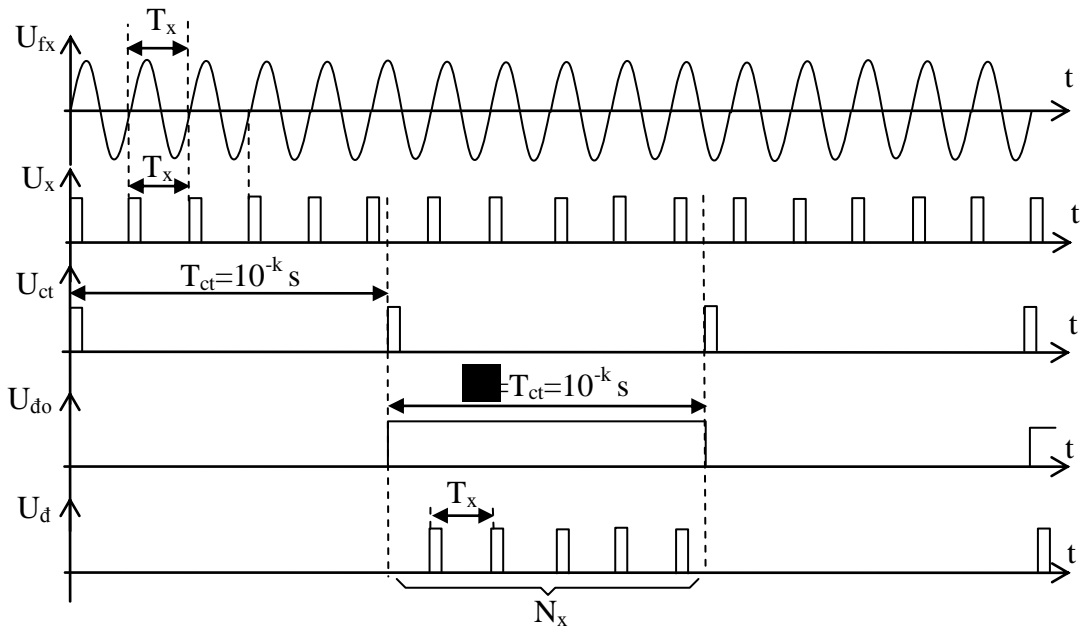
**Đặt vấn đề** : Một phương pháp khác để đo tần số là phương pháp đếm xung dựa trên cơ sở các bộ đếm xung. Giả sử nếu đưa 1 sóng xung tới đầu vào của một bộ đếm xung trong một chu kỳ đúng bằng 1s thì bộ đếm sẽ chỉ thị tần số của dạng xung. Phương pháp này hiện được sử dụng rất phổ biến để đo tần số. Tần số mét cấu tạo theo phương pháp này còn được gọi là máy đếm tần (frequency counter). Sử dụng thiết bị này để đo tần số rất thuận tiện, nhanh chóng, độ chính xác cao, độ nhạy lớn, tốc độ đo lớn, tự động hoàn toàn quá trình đo, kết quả đo hiển thị dưới dạng số...

#### a. Máy đếm tần theo phương pháp xác định nhiều chu kỳ

Nguyên lý chung của Máy đếm tần theo phương pháp xác định nhiều chu kỳ là thực hiện quá trình đếm xung có chu kỳ bằng chu kỳ của tín hiệu cần đo tần số trong một đơn vị thời gian. Sơ đồ khối rút gọn của máy đếm tần này như Hình 6.1.



Hình 6.1 - Sơ đồ khối của máy đếm tần theo phương pháp xác định nhiều chu kỳ



Hình 6.2 – Giải đồ thời gian minh họa hoạt động của máy đếm tần  
Tín hiệu cần đo tần số  $U_{fx}$  được đưa vào Mạch vào.

- **Mạch vào** : Có trở kháng lớn để không ảnh hưởng đến mạch ra của nguồn tín hiệu và có khuếch đại dải rộng để tăng dải tần công tác của máy đếm tần, và có mạch phân áp để tạo ra tín hiệu phù hợp đưa vào mạch tạo xung (thông thường là tín hiệu điều hoà có chu kỳ bằng chu kỳ tín hiệu cần đo  $T_x$  và có biên độ ổn định không phụ thuộc vào biên độ và tần số tín hiệu vào). ... hoặc biến đổi tín hiệu tuần hoàn dạng bất kỳ ở đầu vào thành hình sin hoặc xung chuẩn cùng chu kỳ với tín hiệu cần đo.

- **Mạch tạo dạng xung** : Có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện áp điều hoà (hay tín hiệu xung chuẩn có chu kỳ) thành tín hiệu xung đếm đơn cực tính  $U_x$  (xung nhọn hoặc xung vuông) có chu kỳ bằng chu kỳ tín hiệu vào  $T_x$  và có biên độ, độ rộng xung, sườn xung phù hợp cho hoạt động của bộ đếm (ví dụ yêu cầu xung vào bộ đếm xung có mức TTL, CMOS...). Khối này thường được xây dựng dựa vào mạch Trigger Schmitt.

- **Bộ tạo xung chuẩn:** Tạo ra các xung vuông chuẩn, đơn cực tính có tần số chuẩn  $f_{ch}$  lớn với độ chính xác cao, nó thường dùng bộ tạo xung dùng thạch anh, bộ tổ hợp tần số...

- **Bộ chia tần:** chia tần xung chuẩn  $f_{ch}$  để được các tần số thích hợp để đưa vào khối tạo dạng đo, thông thường các tần số chia  $f_{ct}=f_{ch}/n=10^k$  Hz ( $k=0,1,-1,2, -2\dots$ ), ví dụ tần số 10kHz, 1kHz, 100Hz, 10Hz, 1Hz, 0.1 Hz,... tương ứng với các tần số này là các chu kỳ chuẩn: 0,1ms; 1ms; 10ms, 100ms, 1s, 10s, ...

- **Khối tạo dạng đo:** Tạo xung điều khiển quá trình đo cụ thể là tạo xung vuông gốc thời gian để điều khiển khóa K có độ rộng  $\tau = 1/f_{ct} = 10^{-k}$  s - đây là khoảng thời gian xung đếm  $U_x$  qua khóa K kích thích cho Bộ đếm. Khối này còn tạo ra xung xóa bộ đếm trước khi bắt đầu quá trình đếm, và xung chốt để chốt giữ liệu vào mạch giải mã ngay sau khi kết thúc quá trình đếm để giữ lại kết quả cho đến khi có kết quả đo mới của lần đo tiếp theo.

Nguyên lý hoạt động của máy đếm tần này còn được minh họa qua giản đồ thời gian dưới Hình 6.2.

Trong thời gian có xung đo  $U_{do}$ , khóa K sẽ được mở, khi đó chuỗi xung đếm chu kỳ  $T_x$  qua khóa để kích thích cho bộ đếm, giả sử trong khoảng thời gian gốc thời gian  $\tau$  này số xung đếm được là  $N_x$ :

$$f_x = \frac{N_x}{\tau} = N_x \cdot \frac{n}{f_{ch}} = N_x \cdot 10^k \text{ Hz}$$

Như vậy số xung đếm được  $N_x$  tỉ lệ với tần số tín hiệu vào, số xung này được đưa qua bộ giải mã và kết quả là tần số cần đo  $f_x$  được hiện thị dưới dạng số thập phân bằng cơ cấu chỉ thị số sử dụng LED7 đoạn hay LCD.

Phương pháp trên có độ chính xác khá cao, tiệm cận được tới độ chính xác của tần số chuẩn  $f_{ch}$  và thường dùng để chế tạo tần số mét cao tần.

**Các nguyên nhân gây sai số và cách khắc phục.**

Có các nguyên nhân gây sai số chủ yếu của máy đếm tần như sau:

+ Sai số của xung chuẩn  $\left| \frac{\Delta f_{ch}}{f_{ch}} \right|$ .

**Khắc phục:** Sử dụng bộ tạo dao động có độ ổn định cao như dùng bộ tạo dao động thạch anh, thường xuyên kiểm chuẩn, hiệu chỉnh thiết bị.

+ Sai số do độ trễ của các mạch Tạo dạng xung, Khối tạo xung đo, Khóa K, ngoài ra còn do nhiều xung tác động nên tại thời điểm mà các khối mạch này chuyển trạng thái sẽ bị xô dịch thời điểm của điện áp tín hiệu khi vượt qua mức không, do đó độ dài của xung được tạo ra sẽ khác với yêu cầu nên gây ra sai số trong quá trình đếm xung.

**Khắc phục :** Chồng nhiễu, bọc kim tạo lồng Faraday để tránh tác động của điện từ trường ngoài...

+ Sai số do sự không đồng bộ giữa xung mở cổng và chuỗi xung đếm trong khoảng thời gian bằng độ rộng xung cửa có thể làm cho số lượng xung đếm được lớn hơn hay bé hơn 1 xung đếm so với giá trị thực, phụ thuộc vào thời điểm đóng mở cổng, sai số của  $\Delta N_x$  là  $\Delta N_x$ . Sai số này còn được gọi là sai số  $\Delta N_x$  xung, sai số này còn gọi là sai số lượng tử, sai số này càng có ảnh hưởng lớn khi tần số đo càng thấp, nghĩa là số lượng xung đếm  $N_x$  giảm do đó sai số tương đối  $\left| \frac{\Delta N_x}{N_x} \right|$  tăng, Khi đo tần số cao  $N_x$  tăng do đó sai



số tương đối  $\left| \frac{\blacksquare}{N_x} \right|$  giảm, đây là loại sai số này đặc biệt riêng cho thiết bị đo số.

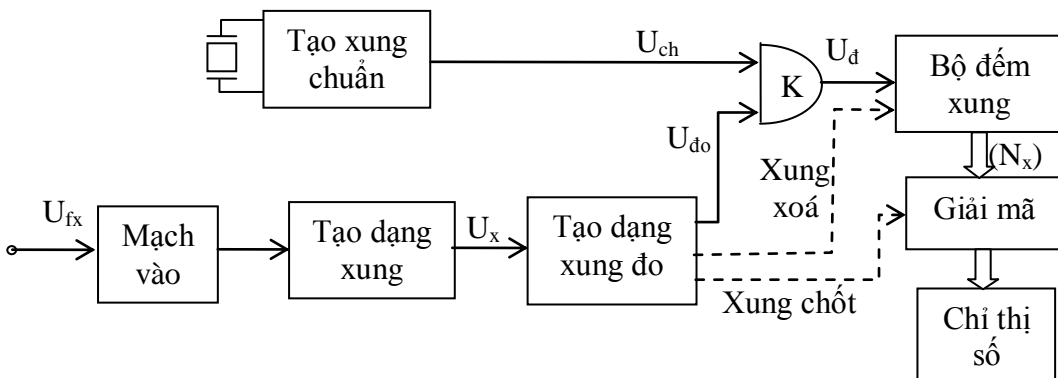
Sai số này là sai số do phương pháp đo và phương pháp số hoá gây ra có tính chất ngẫu nhiên, ta không thể loại bỏ hoàn toàn mà chỉ có khả năng nghiên cứu làm giảm tối thiểu nó.

**Khắc phục sai số lượng tử:**

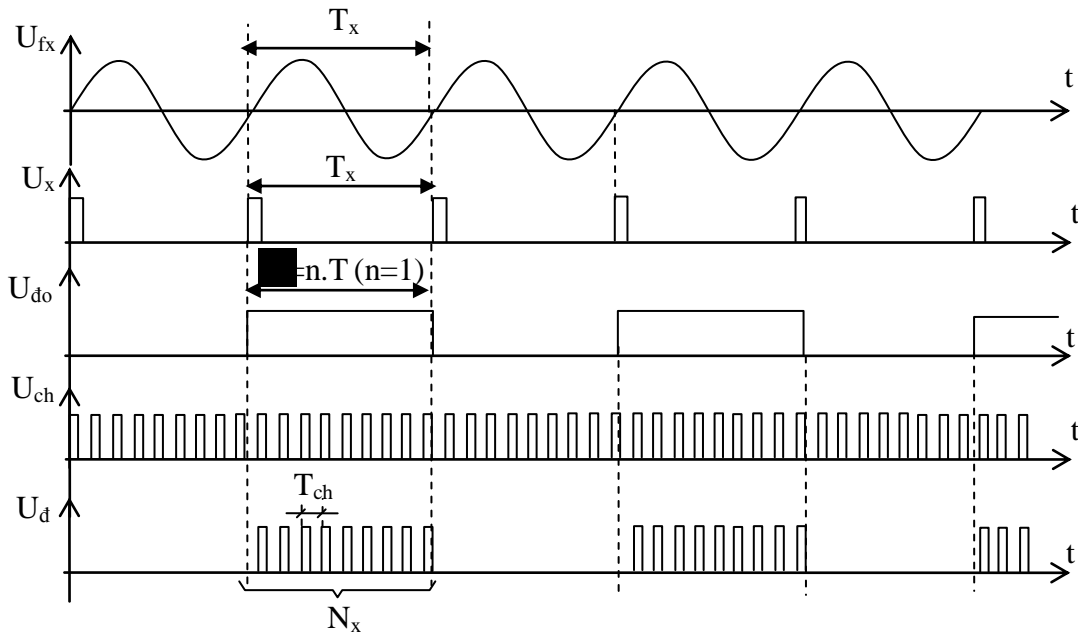
- Tăng thời gian đo  $\blacksquare$  để tăng  $N_x$  nhưng khi đo ở tần số thấp thì thời gian đo sẽ kéo dài, do đó ở tần số thấp chủ yếu dùng phương pháp đo xác định một chu kỳ như trình bày ở phần sau.

**b. Máy đếm tần theo phương pháp xác định một chu kỳ**

Nguyên lý chung của máy đếm tần theo phương pháp xác định một chu kỳ (phương pháp xác định theo chu kỳ) là thực hiện đếm số xung chuẩn tần số xác định  $f_{ch}$  trong khoảng thời gian tỉ lệ với chu kỳ  $T_x$  của tín hiệu cần đo. Sơ đồ khối rút gọn của máy đếm tần này như Hình 6.3.



Hình 6.3 - Máy đếm tần theo phương pháp xác định một chu kỳ.



Hình 6.4 – Giản đồ thời gian minh họa hoạt động của máy đếm tần

Phương pháp xác định một chu kỳ ngược với cách đo tần số theo phương pháp xác định nhiều chu kỳ ở trên. Về nguyên tắc cấu tạo của các khối trong sơ đồ của máy đếm tần này cũng tương tự như ở máy đếm tần theo phương pháp xác định nhiều chu kỳ. Khác nhau ở đây là xung đếm là dãy xung chuẩn  $T_{ch}$ . Thời gian đo  $\blacksquare$  thường lấy bằng  $n.T_x$ . Nguyên lý hoạt động của máy đếm tần theo phương pháp đo này được minh họa rõ hơn qua giản đồ thời gian sau ở Hình 6.4.

Tín hiệu  $U_{fx}$  đưa qua Mạch vào tới Bộ tạo dạng xung để tạo ra xung nhọn có chu kỳ  $T_x$ . Xung này sẽ điều khiển Bộ tạo dạng xung đo để tạo ra xung đo điều khiển đóng mở khóa K có độ rộng  $\blacksquare = n.T_x$  (ví dụ  $n = 1$ )

Trong thời gian có xung đo  $\blacksquare$  xung đếm chuẩn  $U_{ch}$  qua khoá kích thích cho bộ đếm xung. Giả sử đếm được  $N_x$  xung thì số xung  $N_x$  này sẽ được đưa qua mạch giải mã và chỉ thị để đạt được kết

quả là chu kỳ cần đo hoặc tần số cần đo (nếu máy đếm tần có sử dụng Vi xử lý).

Ta có:

$$T_x = \frac{T_{ch}}{N_x}, \text{ với } T_{ch} \text{ là chu kỳ xung đếm chuẩn}$$

$$\Rightarrow T_x = \frac{T_{ch}}{n} N_x$$

Nếu chọn  $\frac{T_{ch}}{n} = 0,1 \text{ s}$  với  $k = 0, 1, 2, \dots \Rightarrow T_x = 0,1 \cdot N_x$

Hoặc :  $f_x = \frac{n}{N_x} f_{ch}$ , việc giải mã kết quả là tần số cần đo là khá

phức tạp do đó sử dụng các bộ vi xử lý hay vi điều khiển nếu muốn hiển thị kết quả là tần số cần đo.

**Đánh giá sai số:** Có các nguyên nhân gây sai số chủ yếu của máy đếm tần này như sau:

+ *Sai số của xung đếm.* Sai số của nguồn tín hiệu tần số chuẩn

$$\left| \frac{\Delta f_{ch}}{f_{ch}} \right|.$$

+ *Sai số do độ trễ của các mạch tạo dạng xung, mạch tạo xung đo, khóa.*

+ *Sai số lượng tử*  $\left| \frac{\Delta N_x}{N_x} \right|$ . Sai số do sự không đồng bộ của xung

cửa và xung đếm. Trong khoảng thời gian bằng độ rộng xung cửa có thể làm cho số lượng xung đếm được lớn hơn hay bé hơn 1 xung đếm so với trị số trước, nó tùy thuộc vào thời điểm đóng mở cửa xung. Sai số này bằng:  $\pm T_{ch}$

Để giảm sai số lượng tử có thể tăng thời gian đo  $n \cdot T_x$ .

Một phương pháp khắc phục sai số lượng tử là tăng tần số  $f_{ch}$  nhưng lại bị hạn chế bởi giới hạn tần số cao của mạch khóa, mạch

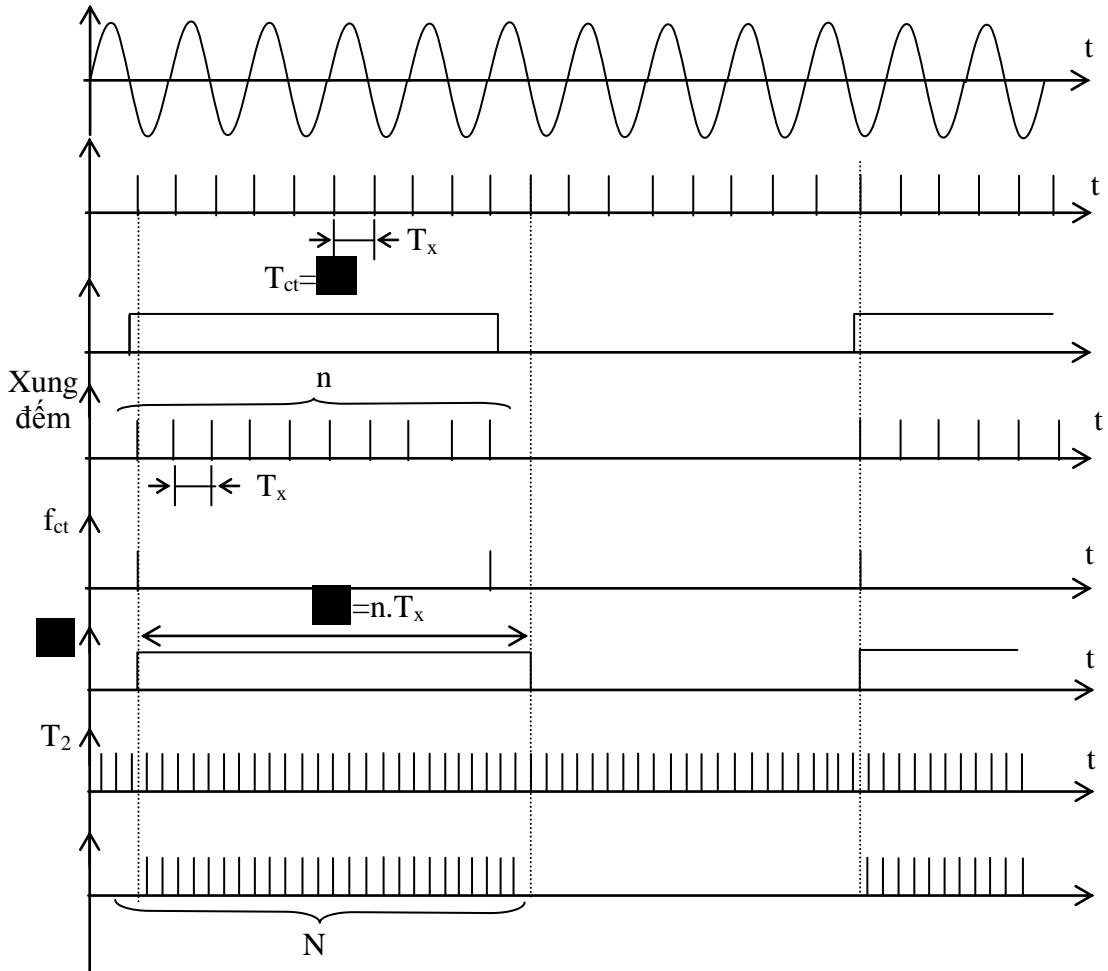
đếm. Để mở rộng phạm vi đo tần số người ta sử dụng các bộ chia tần của tín hiệu cần đo và tăng thời gian xung mở công.

Để thực hiện được các phương pháp hay sử dụng để giảm nhỏ sai số ■ hay nâng cao độ chính xác là sử dụng máy đếm tần *cài đặt vi xử lý* và *sử dụng phương pháp đếm nội suy*, sẽ được xét trong phần sau.

***c. Máy đếm tần cài đặt vi xử lý (Microprocessor).***

Trong nhiều thiết bị đo số có sử dụng Vi xử lý để nâng cao tốc độ, độ chính xác cũng như tăng sự linh hoạt, mềm dẻo của thiết bị đo... Nguyên lý máy đếm tần có cài đặt Vi xử lý có thể được thực hiện như sau, minh họa bằng giản đồ thời gian như Hình 6.5.

Tín hiệu cần đo tần số  $f_x$  được biến đổi thành chuỗi xung nhọn có chu kỳ  $T_x$ .



Hình 6.5 – Giản đồ thời gian minh hoạt động của máy đếm tần cài đặt Vi xử lý

Tín hiệu điều khiển công thứ nhất  $\blacksquare$  được tạo ra từ phần tạo xung điều khiển khóa, trong khoảng thời gian này đếm được  $n$  xung  $T_x$  và ghi giữ giá trị này trong bộ nhớ. Như vậy  $f_x' = n / \blacksquare \blacksquare_x$  cần đo, do có sai số  $\blacksquare$ .

Cùng đồng thời tiến hành với quá trình trên, 1 xung điều khiển công thứ 2 được tạo ra nhưng sườn trước của xung này trùng với xung đếm thứ nhất trong thời gian  $\blacksquare$  và sườn sau của nó trùng đúng với xung  $T_x$  đầu tiên xuất hiện ngay sau sườn sau của xung

điều khiển  $\Delta$ . Độ rộng của xung điều khiển thứ 2 này là  $\Delta = n \cdot T_X$ , xung này điều khiển mở khóa để xung đếm có chu kỳ chuẩn  $T_{ch}$  qua cổng kích thích cho bộ đếm thứ 2, kết quả là trong thời gian  $\Delta$  đếm được  $N$  xung  $T_{ch}$ , giá trị này cũng được ghi giữ lại trong bộ nhớ.

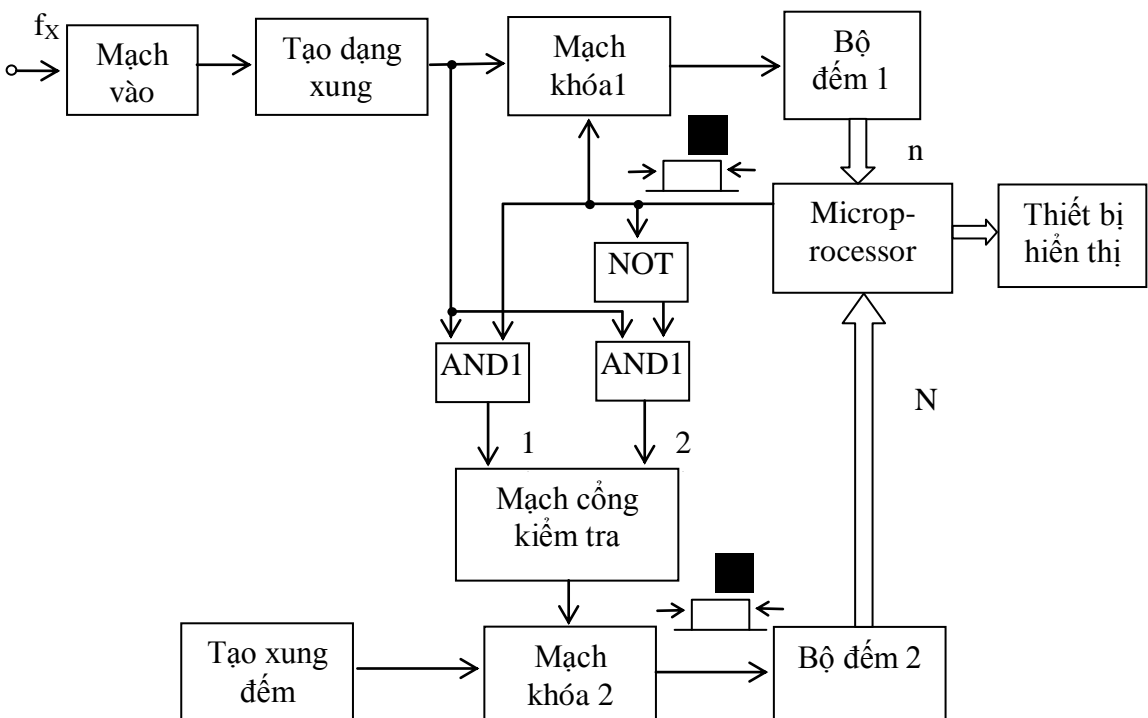
Như vậy:  $N = \frac{\Delta}{T_{ch}} = \frac{n \cdot T_X}{T_{ch}} = \frac{n \cdot f_{ch}}{f_x}$  do đó  $f_x = \frac{n}{N} \cdot f_{ch}$

Thực tế cũng còn sai số  $\Delta$  khi đo khoảng thời gian  $n \cdot T_X$  bằng chu kỳ xung chuẩn  $T_{ch}$ , và sai số tuyệt đối  $\Delta$  trong trường hợp này là:  $\Delta = \Delta_{ch}$ , sai số tương đối là:  $\frac{\Delta}{N} = \frac{T_{ch}}{n \cdot T_X} = \frac{f_x}{n} \cdot T_{ch}$ .

Theo nguyên tắc tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp, sai số đo  $f_x$  là:

$\frac{\Delta}{f_x} = \frac{1}{f_{ch} \cdot n}$ , sai số này chỉ phụ thuộc vào sai số của  $f_{ch}$  và  $n$  và độc lập với tần số của tín hiệu cần đo  $f_x$ , nó cũng là hằng số trên toàn bộ các thang đo tần số. Trên cơ sở nguyên lý đo như trên sơ đồ khối của máy đếm tần có cài đặt vi xử lý như Hình 6.6.

### Sơ đồ khối của máy đếm tần có cài đặt vi xử lý



Hình 6.6 - Sơ đồ máy đếm tần có cài đặt vi xử lý.

Tín hiệu cần đo tần số  $f_x$  được đưa qua các mạch vào và tạo dạng xung để tại ra dãy xung nhọn đưa vào mạch cổng 1. Xung điều khiển cổng  $\blacksquare$  ( $=1s$ ) được đưa ra từ Vi xử lý để điều khiển mở cổng 1 cho xung đếm  $T_x$  kích thích cho bộ đếm 1, kết quả đếm được  $n$  xung và giá trị  $n$  này được ghi giữ lại trong bộ nhớ.

Mạch cổng kiểm tra tạo ra xung điều khiển cổng  $\blacksquare$ , xung này xuất hiện khi có xung nhọn đầu tiên vào chân 1 và kết thúc xung khi có xung nhọn đầu tiên xuất hiện ở chân 2. Xung này điều khiển mở cổng 2 cho xung đếm chuẩn  $T_C$  được tạo ra từ bộ tạo xung đếm qua cổng kích thích cho bộ đếm 2, kết quả đếm được  $N$  xung, giá trị này cũng được lưu vào bộ nhớ.

Vi xử lý thực hiện phép tính  $f_x = \frac{n}{N} \cdot f_{ch}$ , kết quả được hiện thị số trên màn hình hiển thị sử dụng màn tinh thể lỏng LCD hay LED 7 đoạn...

Ngoài ra Vi xử lý còn cho phép tự động chọn thang đo, định vị trí dấu phẩy, đơn vị đo... hay mở rộng phạm vi đo, chức năng đo lường của thiết bị (chu kỳ, tần số, khoảng thời gian ...).

### 6.1.2. Đo tần số bằng phương pháp dùng mạch cộng hưởng

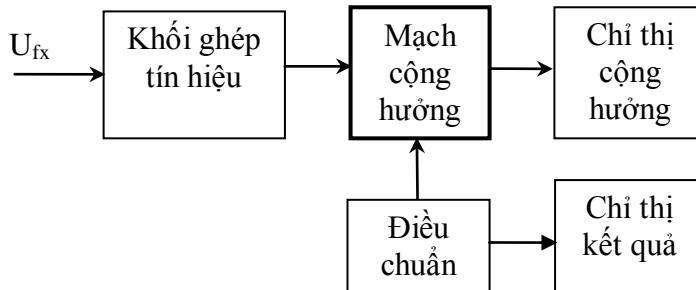
Phương pháp này chủ yếu dùng để đo tần số cao và siêu cao.

Nguyên tắc chung: dựa vào nguyên lý chọn lọc tần số của mạch cộng hưởng. Sơ đồ nguyên lý đo của phương pháp này như Hình 6.7. Khối cơ bản của tần số mét theo phương pháp này là *Mạch cộng hưởng*. Mạch này được kích thích bằng nguồn tín hiệu cần đo tần số cần đo thông qua *Khối ghép tín hiệu*. Việc điều chỉnh để thiết lập trạng thái cộng hưởng nhờ dùng *Khối điều chuẩn*. Hiện tượng cộng hưởng được phát hiện bằng *Khối chỉ thị cộng hưởng*.

Khối này thường dùng Vân mét tách sóng đỉnh. Thang đo tần số có thể được khắc độ trên thang chia độ của *khối điều chuẩn*.

Tùy theo dải tần số mà cấu tạo của mạch cộng hưởng khác nhau. Có 3 loại mạch cộng hưởng:

- Mạch cộng hưởng có L, C tập trung.
- Mạch cộng hưởng có L, C phân bố.
- Mạch cộng hưởng có L phân bố, C tập trung.



*Hình 6.7 – Sơ đồ nguyên lý phương pháp đo tần số dùng mạch cộng hưởng*

**a. Tần số mét cộng hưởng có tham số tập trung**

Sử dụng mạch cộng hưởng L-C, trong đó C và L đều là các linh kiện có thông số tập trung. Bộ phận điều chỉnh cộng hưởng chính là tụ biến đổi C có thang khắc độ theo đơn vị tần số.

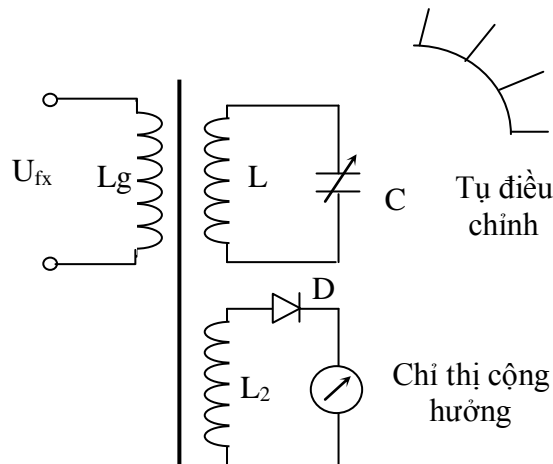
Tín hiệu cần đo tần số  $U_{fx}$  được ghép vào mạch cộng hưởng thông qua cuộn ghép  $L_g$ . Mạch chỉ thị cộng hưởng là mạch ghép hỗ cảm giữa cuộn dây  $L_2$  và L và sử dụng mạch tách sóng bằng Điốt kết hợp với Vân mét một chiều dùng CCD từ điện để xác định biên độ điện áp trên cuộn  $L_2$ .

Khi đo ta đưa  $U_{fx}$  vào và điều chỉnh tụ C để mạch cộng hưởng. Khi đó cơ cấu đo sẽ chỉ thị cực đại.

$$f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Tần số mét loại này thường dùng trong dải sóng: 10 kHz 00 MHz, sai số khoảng từ 0,25% đến 3%.



Hình 6.8 – Tần mét sử dụng mạch cộng hưởng có tham số tập trung

**b. Tần số mét cộng hưởng có tham số phân bố dùng ống dẫn sóng**

Mạch cộng hưởng là một đoạn ống dẫn sóng, có thể là loại ống dẫn sóng chữ nhật hay ống dẫn sóng tròn, một đầu được ngắn mạch, đầu kia được ngắn mạch bởi Piston P có thể điều chỉnh dọc theo ống bởi hệ thống ròng rọc xoắn ốc được khắc độ đo tần số. Cơ cấu như vậy tạo ra hốc cộng hưởng. Tín hiệu siêu cao tần cần đo bước sóng được ghép vào hốc cộng hưởng thông qua vòng ghép  $V_g$ . Còn vòng ghép  $V_d$  ghép tín hiệu ra mạch chỉ thị cộng hưởng sử dụng Von mét tách sóng sử dụng CCD từ điện. Ví trí các vòng ghép ở gần vị trí nốt tắt cố định để sao cho các vị trí này gần với vị trí bụng sóng trong quá trình điều chỉnh.

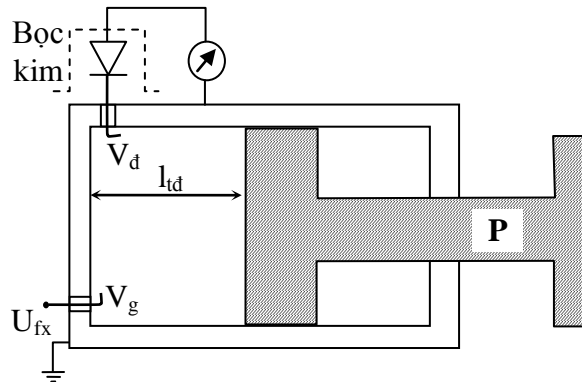
Điều chỉnh Piston để CCD chỉ thị cực đại, như vậy sẽ nhận được nhiều vị trí khác nhau của Piston mà khi đó tại  $V_g$  có cộng hưởng, tại vị trí của  $V_g$  là bụng sóng. Khi dịch chuyển Piston với độ dịch chuyển bằng bội số nguyên lần 2 sẽ đạt các điểm cộng hưởng liên tiếp. Có thể xác định bước sóng bằng xác định độ dịch chuyển của Piston tại 2 điểm cộng hưởng lân cận:

$$I_{i+1} - I_i = \dots$$

Như vậy có thể khắc độ thang đo bước sóng hoặc tần số trực tiếp trên hệ thống điều chỉnh của Piston.

Tần số mét với hốc cộng hưởng nay thích hợp với dải sóng nhỏ hơn 3cm.

Do có hệ số phẩm chất cao (khoảng 30000) nên sai số của nó nhỏ khoảng (0,01...0,05)%.



Hình 6.9 – Tần mét cộng hưởng dùng ống dẫn sóng

## 6.2. ĐO GÓC LỆCH PHA

### 6.2.1. Khái quát các phương pháp đo góc lệch pha

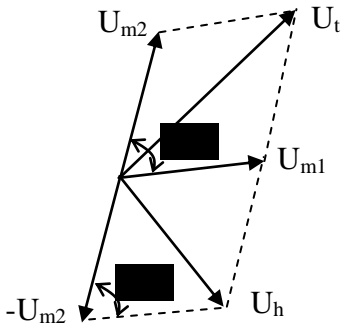
Các phương pháp cơ bản được sử dụng để đo góc lệch pha giữa 2 tín hiệu cùng tần số: Phương pháp đo dựa vào đồ thị dạng sóng của tín hiệu, Phương pháp biến đổi góc lệch pha thành điện áp, Phương pháp biến đổi góc lệch pha thành khoảng thời gian.

#### a. Phương pháp đo dựa vào đồ thị dạng sóng của tín hiệu

Phương pháp này thường sử dụng ô-xi-lô để quan sát đồng thời 2 tín hiệu và dựa vào dạng sóng này để xác định góc lệch pha của chúng, hoặc sử dụng chế độ quét lissajous, dựa vào dạng dao động đồ lissajous để xác định góc lệch pha. Các cách đo này đã được trình bày trong chương 4.

**b. Phương pháp biến đổi góc lệch pha thành điện áp**

Giả sử cần đo góc lệch pha của 2 tín hiệu  $u_1$  và  $u_2$ .



$$u_1(t) = U_{m1} \sin(\omega t)$$

$$u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \phi)$$

Góc lệch pha giữa  $u_2$  và  $u_1$  là:  $\phi$

Xét điện áp tổng  $u_t = u_1 + u_2$  và điện áp hiệu  $u_h = u_1 - u_2$ .

Tổng hợp bằng giản đồ Vector ta có biểu thức tính biên độ của điện áp tổng và hiệu như sau:

$$U_t^2 = U_{m1}^2 + U_{m2}^2 + 2U_{m1}U_{m2} \cos \phi$$

$$U_h^2 = U_{m1}^2 + U_{m2}^2 - 2U_{m1}U_{m2} \cos \phi$$

Chọn  $U_{m1} = U_{m2} = U_m$  ta có:  $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{U_h}{U_t}$

$$\alpha = 2 \arctg \frac{U_h}{U_t}$$

Như vậy nếu đo được biên độ của điện áp tổng và điện áp hiệu là  $U_t$  và  $U_h$  thì sẽ xác định được độ lớn góc lệch pha giữa 2 điện áp  $\alpha$

**c. Phương biến đổi góc lệch pha thành khoảng thời gian**

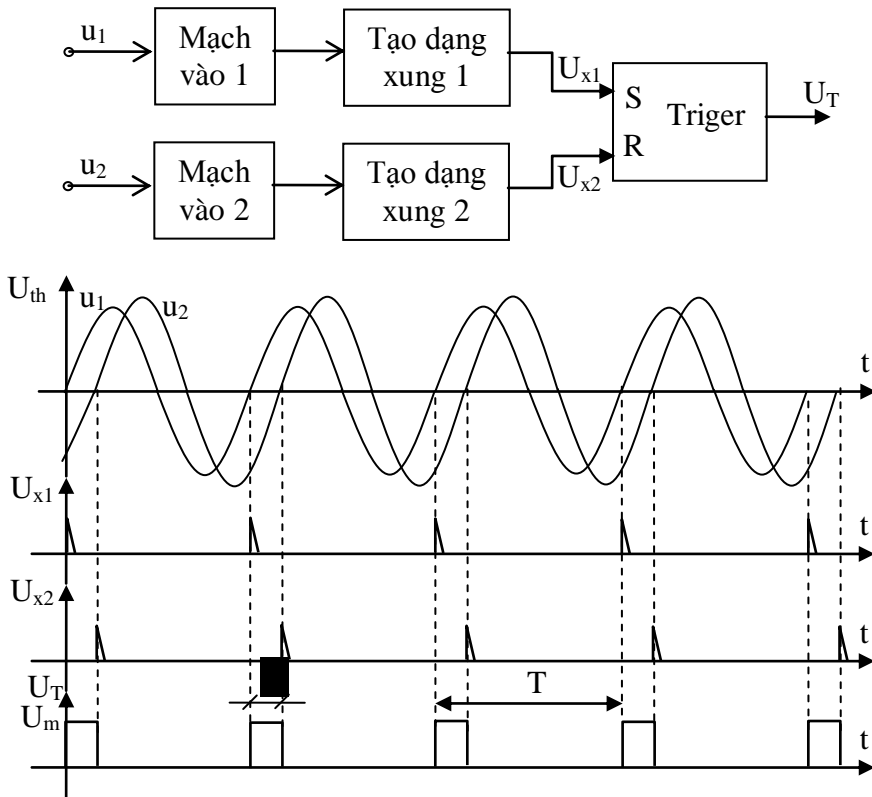
Nguyên lí chung:

Biến đổi các điện áp  $u_1$  và  $u_2$  có dạng hình sin thành các xung nhọn đơn cực tính tương ứng  $U_{x1}$  và  $U_{x2}$  với các thời điểm mà điện

áp biến đổi qua giá trị 0 với giá trị đạo hàm cùng dấu, nhờ mạch tạo dạng xung.

Xác định khoảng thời gian giữa 2 xung gần nhau của 2 điện áp xung, khoảng thời gian này tỉ lệ với góc lệch pha của chúng:

$$2\pi \frac{\Delta t}{T} \text{ (rad) hay } 360^\circ \frac{\Delta t}{T}$$



Hình 6.10 – Sơ đồ và giản đồ thời gian minh họa phương pháp biến đổi góc lệch pha thành khoảng thời gian

Để việc xác định tỉ số  $\frac{\Delta t}{T}$  thuận lợi, đưa xung  $U_{x1}$ ,  $U_{x2}$  vào các đầu vào thiết lập S và xóa R của Triger để tạo ra xung vuông  $U_T$  có độ rộng xung  $\Delta t$  chu kỳ  $T=T_1=T_2$ , biên độ  $U_m=const$ . Dựa vào xung  $U_T$  có thể dùng phương pháp tương tự hoặc phương pháp số để đo tỉ số đó.

+ Phương pháp tương tự:

Sử dụng Vôn mét trung bình để đo trị số điện áp trung bình của  $U_T$ , khi đó:

$$\bar{U}_T = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cos 60^\circ$$
$$\Rightarrow \bar{U}_T = 0,707 U_m$$

Như vậy có thể khắc độ thang đo góc lệch pha trên thang đo của Vôn mét trung bình.

+ Phương pháp số: Đo  $\frac{U_T}{U_m}$  bằng phương pháp đếm xung, nguyên lý đo này thường được sử dụng cho Pha mét số.

### **6.2.2. Pha mét số**

Pha mét số thường được thiết kế theo phương pháp biến đổi góc lệch pha thành khoảng thời gian, và các khoảng thời gian này được đo bằng phương pháp đếm xung. Sơ đồ khối rút gọn của Pha mét số theo nguyên lý này như Hình 6.11. Chức năng chính của các khối trong sơ đồ như sau:

+ Mạch vào: thực hiện tiền xử lý tín hiệu vào, lọc nhiễu, phân áp, tiền khuếch đại,..

+ Tạo dạng xung: biến đổi tín hiệu vào tạo ra các xung nhọn đơn cực tính  $U_{x1}$ ,  $U_{x2}$  tại các thời điểm mà điện áp biến đổi qua giá trị 0 với giá trị đạo hàm cùng dấu, chu kỳ xung  $T=T_1=T_2$  - chu kỳ tín hiệu vào.

+ Trigger: tạo ra xung vuông có độ rộng và chu kỳ T chính là nhờ  $U_{x1}$ ,  $U_{x2}$  ( $U_{x1}$  được đưa vào đầu thiết lập S của Trigger,  $U_{x2}$  được đưa vào đầu xoá R của Trigger).

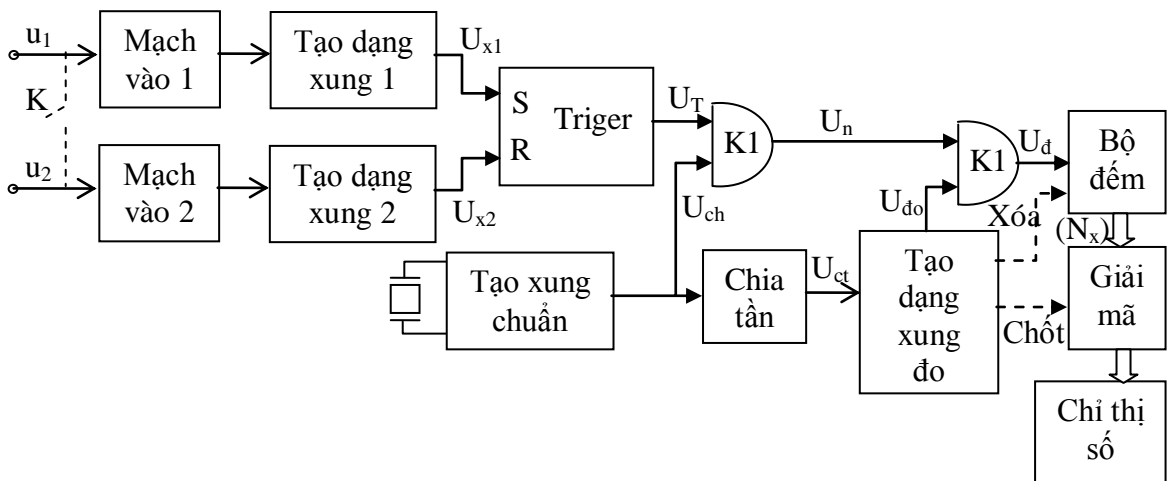
+ Tạo xung chuẩn: Tạo xung dùng thạch anh, tạo xung vuông có tần số lớn, độ chính xác cao, chu kỳ là  $T_{ch}$

+ Tạo dạng xung đo: Tạo xung đo có độ rộng  $T_{đo}$  điều khiển đóng mở khóa K2, và tạo ra xung xóa bộ đếm, xung chốt mạch giải mã.

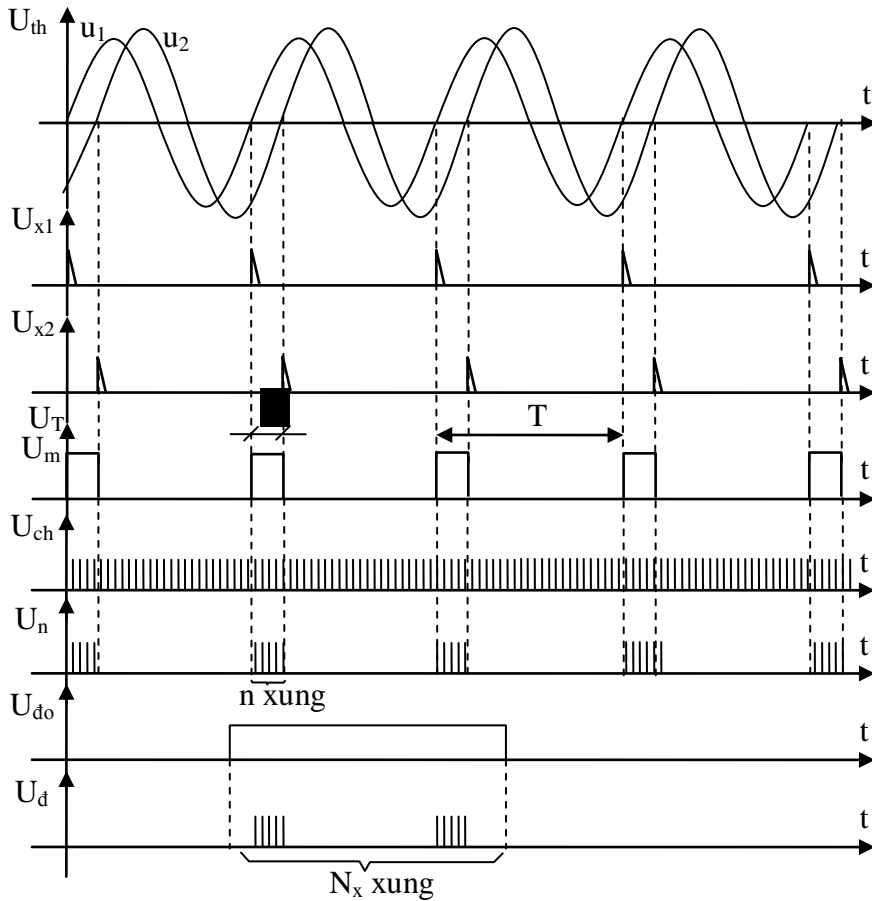
Giản đồ thời gian minh họa hoạt động của nó như Hình 6.12.

Xung  $U_T$  từ Trigger sẽ điều khiển đóng mở Khóa 1. Mỗi khi có xung, xung đếm  $U_{ch}$  từ bộ tạo xung chuẩn sẽ được đưa qua Khóa 1 và đầu ra của khóa 1 là xung  $U_n$  - là 1 chuỗi gồm nhiều nhóm xung chuẩn và được đưa vào Khóa 2.

Xung đo  $U_d$  điều khiển đóng mở Khóa 2 trong thời gian có xung đo  $T_{đo}$ .



Hình 6.11 – Pha mét số



Hình 6.12 – Giải đồ thời gian minh họa hoạt động của Pha mét số

Giả sử có h nhóm xung được đưa qua Khoá 2 vào kích thích cho bộ đếm xung, tổng số xung đếm được là  $N_x$ , số xung  $N_x$  này được đưa qua mạch giải mã và mạch chỉ thị để hiển thị kết quả là góc lệch pha cần đo.

Ta có góc lệch pha giữa 2 tín hiệu  $u_1(t)$  và  $u_2(t)$  là:

$$\alpha = 360^\circ \frac{n}{N_x}$$

(n là số xung của 1 nhóm xung,  $T_{ch}$  là chu kỳ xung chuẩn).

$$\Rightarrow n = \alpha \frac{N_x}{360^\circ} \text{ và } T = T_{do} / h \text{ với } n = \frac{N_x}{h}$$

$$\alpha = 360^\circ \frac{T_{ch}}{T_{do}} \cdot N_x$$

**Đánh giá sai số:** Sai số của máy đo do các nguyên nhân sau:

- Do sai số của  $f_{ch}$ .

- Do sai số lượng tử :  $\left| \frac{\Delta h}{h} \right|$  và  $\frac{\Delta n}{n}$

- Sai số do độ không đồng nhất của kênh 1, kênh 2 là

*Khắc phục:*

+ Đưa tín hiệu  $u_1(t)$  hoặc  $u_2(t)$  vào cả 2 kênh, giả sử Phamét chỉ thị giá trị là  $\Delta$  thì kết quả đo được hiệu chỉnh lại như sau:

$\Delta$   $\Delta$

+ Quá trình hiệu chỉnh này có thể được thực hiện nhờ bộ đếm xung thuận nghịch.

### **CÂU HỎI ÔN TẬP**

1. Nêu khái niệm tần số và tần số góc?
2. Nêu tên các nhóm phương pháp đo tần số?
3. Nêu một số ứng dụng của phép đo tần số?
4. Nêu tên 2 phương pháp đo tần số bằng các mạch điện có các thông số phụ thuộc tần số?
5. Kể tên 3 thiết bị đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng?
6. Kể tên 2 phương pháp đo tần số bằng phương pháp số?
7. Vẽ sơ đồ khối, nêu chức năng các khối, giản đồ thời gian và nguyên lí làm việc, sai số của Tần số mét số theo phương pháp xác định nhiều chu kì.
8. Vẽ sơ đồ khối, nêu chức năng các khối, giản đồ thời gian và nguyên lí làm việc, sai số của Tần số mét số theo phương pháp xác định một chu kì.
9. Trình bày nguyên lí đo di pha bằng phương pháp đo khoảng thời gian?

Vẽ sơ đồ khối, nêu chức năng các khối, giản đồ thời gian và nguyên lí làm việc, sai số của pha mét số.



## CHƯƠNG 7 – ĐO CÔNG SUẤT

### 7.1. KHÁI NIỆM VỀ ĐO CÔNG SUẤT

Công suất và năng lượng là các đại lượng cơ bản của phần lớn các đối tượng quá trình và hiện tượng vật lý. Vì vậy việc xác định công suất và năng lượng là một phép đo rất phổ biến. Trong giới hạn của bài giảng này chỉ tập chung vào đo công suất tác dụng của tín hiệu điện tử trên tải hay truyền qua vật dẫn.

#### 7.1.1 Các thành phần công suất

**Khái niệm:** Công suất là năng lượng điện từ truyền giữa các hệ thống hay giữa các phần tử của hệ thống trong một đơn vị thời gian.

Công suất tác dụng là năng lượng điện từ trường tiêu thụ trên tải trong một đơn vị thời gian. Nếu tín hiệu trên tải là tuần hoàn với chu kỳ T, công suất tác dụng được xác định như sau:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t).i(t).dt = \frac{1}{n.T} \int_0^{n.T} u(t).i(t).dt$$

Trong đó, công suất tức thời  $p=u(t).i(t)$ , với  $u(t)$  và  $i(t)$  là trị số tức thời của điện áp và dòng điện trên tải.

#### a. Tín hiệu một chiều

+ Công suất tác dụng một chiều trên tải thuần trở:

$$P=U.I=I^2.R=U^2/R$$

Trong đó U, I là điện áp và dòng điện một chiều trên tải R.

#### b. Tín hiệu xoay chiều điều hòa một pha

+ Công suất tác dụng:

$$P=U_{RMS}.I_{RMS}.COS\phi$$

Trong đó  $U_{RMS}$  và  $I_{RMS}$  là trị số hiệu dụng, còn  $\varphi$  là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện. Trị số  $\cos \varphi$  được gọi là hệ số công suất, biểu thị đặc tính của tải:

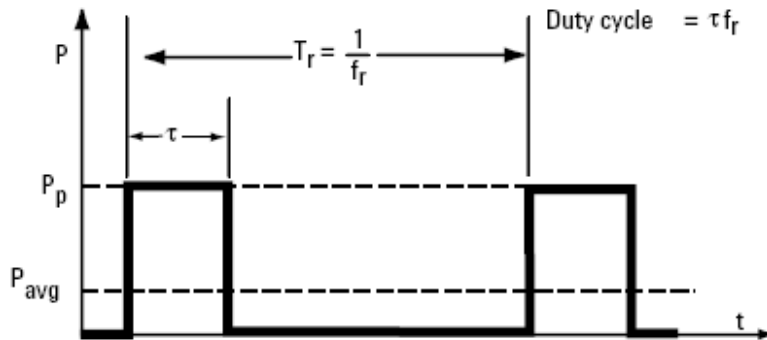
$$\cos \varphi = \frac{R_{td}}{Z_{td}}$$

$Z_{td} = \sqrt{R_{td}^2 + X_{td}^2}$  là trở kháng tương đương,  $R_{td}$ ,  $X_{td}$  là điện trở và điện kháng của tải.

+ Công suất toàn phần:  $S = U_{RMS} \cdot I_{RMS}$

+ Công suất phản kháng:  $Q = U_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \sin \varphi$

### c. Tín hiệu xung



Khi mạch điện công tác ở chế độ xung, thì cần xác định trị số công suất xung. Trị số công suất xung là trị số công suất trung bình trong khoảng thời gian tồn tại của xung.

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} P_p \cdot u \cdot dt$$

Trị số công suất trung bình thì bằng trị trung bình trong khoảng chu kỳ lặp lại của xung:

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} P_p \cdot u \cdot dt$$

Quan hệ giữa  $P_p$  và  $P_{avg}$  là:

$$P_{avg} = P_p \frac{\tau}{T}$$

Trong đó:  $\frac{P}{T}$  được gọi là hệ số tải, hay hệ số lấp đầy (*Duty Cycle*)

#### d. Công suất siêu cao tần

Trong dải siêu cao tần phép đo công suất được sử dụng chủ yếu để đánh giá năng lượng của tín hiệu. Trong đó công suất tác dụng chung bình được sử dụng phổ biến cho các tín hiệu RF và siêu cao tần, còn khái niệm công suất xung, công suất đường bao đỉnh được sử dụng hiệu quả hơn cho các dạng tín hiệu xung của các hệ thống Rada hay hệ thống định vị.

Trong kỹ thuật điện tử, thông tin, giới hạn lượng trình đo công suất khá rộng. Từ các thiết bị có công suất lớn như máy phát, đến các thiết bị có công suất nhỏ như máy thu, máy đo... Các thiết bị này có công suất từ  $10^{-6}W$  đến  $10^7W$ , ở các chế độ công tác khác nhau, như chế độ công tác liên tục hay chế độ xung.

#### 7.1.2. Đơn vị công suất

Về đơn vị đo công suất, đơn vị tuyệt đối là Oát (W); kể cả các đơn vị ước số và bội số của oát, từ micro oát ( $\mu W$ ) tới mega oát (MW). Ngoài ra trong đo lường còn được dùng các đơn vị công suất tương đối như đêxiben oát, đêxiben mili oát... (dbW, dbm ...)

Đơn vị công suất tương đối:

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} = 10 \log_{10} \frac{P[W]}{1W}$$

Trong đó, P là trị số công suất tính bằng W;  $P_{ref}$  là trị số công suất ban đầu, và thường bằng 1W.

$$dBm = 10 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} = 10 \log_{10} \frac{P[mW]}{1mW}$$

Trong đó, P là trị số công suất tính bằng mW;  $P_{ref}$  là trị số công suất ban đầu, và thường bằng 1mW.

Với các đơn vị công suất tương đối này, cho ta khái niệm về so sánh các mức công suất ở các vị trí khác nhau một cách thuận tiện, nhất là trong kỹ thuật thông tin. Ví dụ nói dải công suất từ +63dB đến -153dB ngắn gọn hơn là nói dải công suất từ  $2 \times 10^6 \text{W}$  đến  $0,5 \times 10^{-15} \text{W}$ .

### 7.1.3 Các nguyên lý đo công suất

Việc đo công suất trong kỹ thuật điện tử, ngoài điều phải thực hiện với một dải lượng trình đo lớn, ta còn phải thực hiện với một dải tần số đo rất rộng. Do đó có nhiều phương pháp đo khác nhau thích ứng với các trường hợp cụ thể để đạt được sai số cho phép. Thường thì các phương pháp đo cơ bản tùy thuộc vào khả năng chế tạo thiết bị nên chỉ thích hợp cho sử dụng trong từng tần đoạn. Tuy nhiên, cũng có các phương pháp có thể áp dụng với mọi tần đoạn tùy theo yêu cầu cụ thể của phép đo với một mức độ nào đó.

Ở các mạch điện một chiều, mạch xoay chiều tần số công nghiệp (50Hz, 60Hz), âm tần, và cả tần số cao tần, thì phép đo công suất được thực hiện bằng phương pháp đo trực tiếp hay đo gián tiếp. Đo trực tiếp công suất có thể thực hiện bằng oát-mét. Oát-mét có độ biến đổi các đại lượng điện là một thiết bị “nhân” điện áp, và dòng điện trên tải để sao cho nó đầu ra được trực tiếp chỉ thị đại lượng đo là:  $P = U_{\text{RMS}} I_{\text{RMS}} \cos \varphi$ . Thiết bị nhân này ví dụ như dụng cụ điện động, loại oát-mét dùng bộ biến đổi “Hôn” và loại dùng các bộ nhân điện tử.

Đo gián tiếp công suất thì được thực hiện bằng phép đo dòng điện, điện áp và trở kháng. Phép đo công suất bằng vôn-mét và ampe-mét thì đơn giản, song trong nhiều trường hợp, không thể được thuận lợi như phương pháp đo trực tiếp.

Ở siêu cao tần, đo công suất là một trong những phép đo cơ bản, chủ yếu để xác định thông số đặc tính của tín hiệu. Phép đo được thực hiện bằng các phương pháp biến đổi năng lượng điện từ thành các dạng năng lượng khác để đo. Các dạng năng lượng khác ví dụ như quang năng (phương pháp dùng tế bào quang điện), nhiệt năng (phương pháp dùng nhiệt lượng-mét, điện trở), hay cơ năng (phương pháp dùng tác dụng cơ học của sóng điện từ). Các phần tiếp theo sau đây sẽ xét tới các phương pháp cơ bản để đo công suất siêu cao tần.

Hiện nay, có một phương pháp đo công suất được dùng nhiều ở tất cả các tần đoạn trong dải tần số trong điện tử là phương pháp dùng hiệu ứng “Hôn” trong chất bán dẫn. Ta cũng sẽ xét tới phương pháp này.

Độ chính xác của các phép đo công suất ở kỹ thuật điện tử, được coi là cao nếu như sai số không quá 5%, và là trung bình nếu sai số không quá 25%.

Về mức độ, thì công suất của thiết bị được coi là lớn khi có trị số lớn hơn 10W; là trung bình khi có trị số từ 10W đến 0,1W; và được coi là bé khi trị số từ 0,1W đến  $10^{-6}$ W.

Về cơ bản có hai nguyên lý chung được sử dụng chủ yếu để công suất đó là:

+ *Nguyên lý đo công suất kiểu truyền dẫn (Transmission Type)*: Thiết bị đo công suất sẽ xác định công suất truyền từ nguồn đến tải thông qua thiết bị đo. Bản thân thiết bị đo công suất không hấp thụ hoặc hấp thụ một phần rất nhỏ công suất từ nguồn truyền tới tải. Thiết bị đo công suất ở tần thấp và cao tần thường được xây dựng theo nguyên lý này.

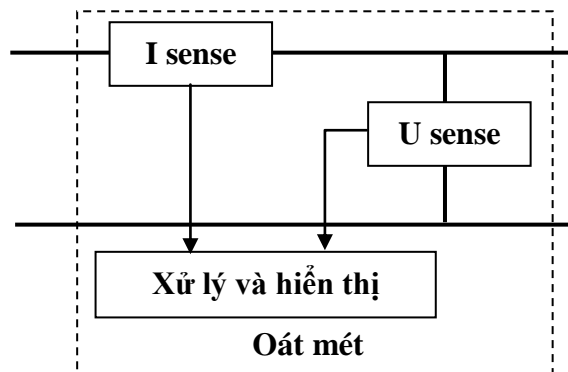
+ *Nguyên lý đo công suất kiểu hấp thụ (Absorption Type)*: Thiết bị đo công suất hấp thụ hoàn toàn hay một phần công suất

cần đo, nó như một tải hấp thụ công suất của nguồn công suất cần đo. Thiết bị đo công suất trong dải siêu cao tần thường được xây dựng theo nguyên lý này.

## 7.2. ĐO CÔNG SUẤT Ở TẦN SỐ THẤP VÀ TẦN SỐ CAO

Vấn đề đo công suất ở âm tần và cao tần ít được quan tâm. Vì khi cần khảo sát mạch điện hay thiết bị ở âm tần và cao tần, ta có thể thực hiện các phép đo lường đơn giản hơn qua các thông số đặc tính của trường hợp khác như dòng điện hay điện áp. Song cũng có những trường hợp đo trực tiếp công suất thì tiện lợi hơn. Ta sẽ xét tới những phương pháp đo công suất ở âm tần và cao tần hay dùng, đồng thời nó cũng là cơ sở cấu tạo của Oát-mét ở tần đoạn này.

Đo công suất ở tần thấp thường sử dụng phương pháp đo công suất kiểu truyền dẫn (Transmission-type), mà ở đó Oát mét được thiết kế để được kết nối giữa tải và nguồn. Nguyên lý cơ bản để xây dựng Oát mét tần thấp là sử dụng các phần tử thu nhận dòng (I sense) và điện áp (V Sense) trên tải và thực hiện các phép xử lý để xác định công suất tác dụng theo công thức tổng quát đã định nghĩa. Nguyên lý này được minh họa như 0.



– Nguyên lý cơ bản của Oát-mét tần số thấp

Các phương pháp đo công suất tần thấp cơ bản như sau:

- **Phương pháp cơ điện:** phép nhân được dựa trên cơ cấu chỉ thị như điện động, sắt điện động, tĩnh điện và cảm ứng, trong đó góc quay  $\alpha$  của phần động là hàm của công suất cần đo.

- **Phương pháp điện:** phép nhân được thực hiện bởi các mạch nhân tương tự cũng như nhân số điện tử, tín hiệu ra của nó là hàm của công suất cần đo.

- **Phương pháp nhiệt điện:** sử dụng phương pháp biến đổi thẳng công suất điện thành nhiệt. Phương pháp này thường được ứng dụng khi cần đo công suất và năng lượng trong mạch tần số cao cũng như của nguồn laze.

- **Phương pháp so sánh:** là phương pháp chính xác vì thế nó thường được sử dụng để đo công suất trong mạch xoay chiều tần số cao.

### 7.2.1 - Phương pháp cơ điện

Phương pháp này sử dụng cơ cấu đo điện động hoặc sắt điện động để xây dựng Oát met đo công suất tiêu thụ trên tải một chiều hoặc xoay chiều một pha tần số công nghiệp cũng như tần số siêu âm đến 15kHz.

Với Oát met điện động có thể đạt tới cấp chính xác là  $0,01 \div 0,1$  với tần số dưới 200Hz và trong mạch một chiều, ở tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,1% và hơn nữa. Với Oát met sắt điện động với tần số dưới 200Hz sai số đo là  $0,1 \div 0,5$  % còn với tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,2 % và hơn nữa.

Sơ đồ mạch đo công suất trên tải  $R_L$  sử dụng cơ cấu đo điện động như 0. Trong đó ở mạch nối tiếp cuộn tĩnh a được nối tiếp với phụ tải  $R_L$ . ở mạch song song cuộn động b được nối tiếp với điện trở phụ  $R_p$ . Cuộn tĩnh và cuộn động được nối với nhau ở hai đầu có đánh dấu \*.

Phương trình đặc tính tổng quát của cơ cấu điện động:

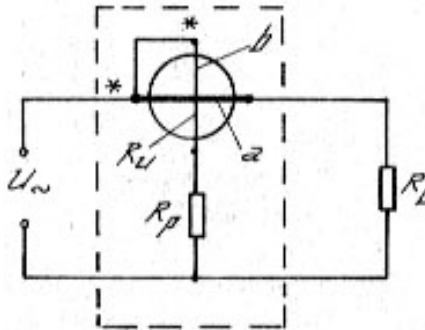
$$\frac{K_q}{D} \int_0^t i_2 dt$$

Trong đó:

$$i_1 = i_a \quad i_2 = i_b \quad \text{và} \quad i_2 = \frac{u(t)}{R_p}$$

$$\Rightarrow \frac{K_q}{D} \int_0^t i_a(t) \cdot \frac{u(t)}{R_p} dt = \frac{K_q}{D \cdot R_p} \cdot P_L = \beta \cdot P_L$$

Như vậy có thể khắc độ thang đo theo công suất tác dụng trên tải.



– Đo công suất bằng Oát met điện động

### 7.2.2. Phương pháp điện

Đo công suất theo phương pháp điện thì phép nhân được thực hiện bởi mạch nhân điện tử tương tự và số. Tín hiệu ra của chúng là hàm của công suất cần đo.

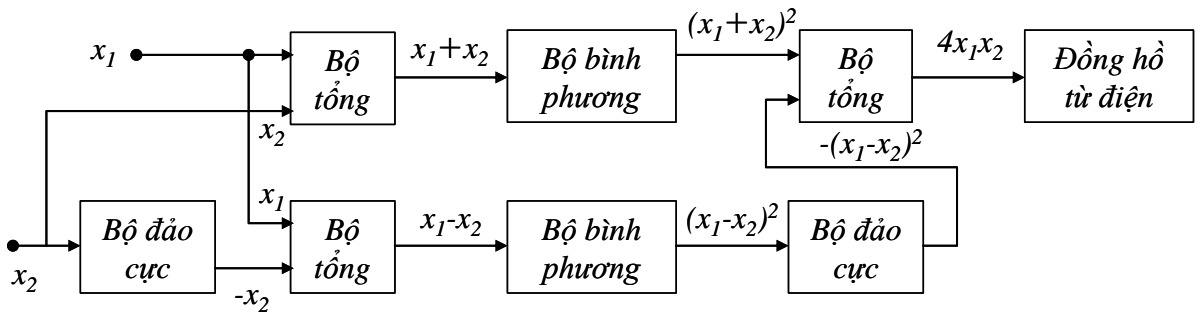
Các phương pháp đo công suất bằng phương pháp điện phổ biến gồm:

- Phương pháp sử dụng mạch nhân tương tự
- Phương pháp dùng chuyển đổi Hall
- Phương pháp điều chế tín hiệu

#### a. Phương pháp sử dụng mạch nhân tương tự



Như đã trình bày ở trên, nếu muốn đo công suất tác dụng trên tải trong trường hợp dòng điện là điều hòa  $P=U_{RMS}I_{RMS}\cos\phi$ . Việc đo công suất trên tải có thể thực hiện trực tiếp phép nhân điện áp và dòng điện trên tải bằng một thiết bị nhân. Một thiết bị mạch nhân có nhiều ưu điểm và được phổ biến dùng là thiết bị nhân được xây dựng từ mạch tính toán số học đơn giản. Oát met theo phương pháp này có sơ đồ khối như 0.



– Sơ đồ khối Oát met sử dụng mạch nhân tương tự

Nguyên lý của mạch nhân được xây dựng dựa vào thuật toán sau:

$$x_1 x_2 = \frac{1}{4} [(x_1 + x_2)^2 - (x_1 - x_2)^2]$$

Nếu ở đầu vào mạch điện mà có:  $x_1 = U_m \sin \omega t$  và  $x_2 = I_m \sin \omega t$ , tức là các thành phần điện áp và dòng điện trên tải, thì ở đầu ra sẽ có điện áp:

$$4x_1 x_2 = U_m I_m \sin^2 \omega t$$

Biến đổi lượng giác tích số trên, ta có:

$$4x_1 x_2 = \frac{1}{2} U_m I_m \cos(2\omega t - \phi) + \frac{1}{2} U_m I_m \cos(\phi)$$

$$\Rightarrow x_1 x_2 = \frac{1}{2} U_m I_m \cos(2\omega t - \phi) + \frac{1}{2} U_m I_m \cos(\phi)$$

$$x_1 x_2 = I_{RMS} U_{RMS} \cos(\phi) + \frac{1}{2} U_m I_m \cos(2\omega t - \phi)$$

Ở đây, điện áp được đo bằng đồng hồ từ điện, song song với đồng hồ có được mắc tụ điện, nên trị số chỉ thị của kim đồng hồ là chỉ tương ứng với thành phần một chiều chính là công suất tác dụng cần đo trên tải.

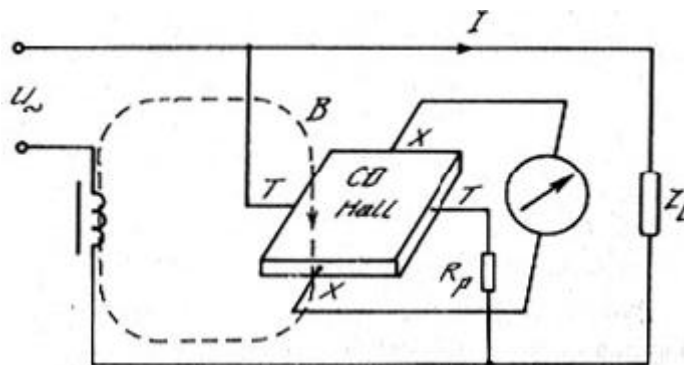
Để có được phân tử có đặc tuyến bậc hai thì có thể dùng nhiều cách như các phân tử tách sóng hiệu dụng. Ví dụ như phần đầu của đặc tuyến dòng điện-điện áp của đi-ốt hoặc của tranzito. Nhược điểm của các oát-mét dùng phương pháp nhân bằng đặc tuyến bậc hai là yêu cầu đèn phải có đặc tuyến đồng nhất. Vì vậy nó thường có sai số khi đèn có biến đổi đặc tuyến, như khi đèn bị già đi, khi đèn bị thay thế hay khi có sự thay đổi điện áp cung cấp. Để nâng cao độ chính xác thì điện áp cung cấp cho mạch phải ổn định; nên thường hay thực hiện hồi tiếp dòng điện.

Sai số của các loại oát-mét này thường vào khoảng 0%.

**b. Phương pháp đo công suất bằng hiệu ứng “Hall”**

Đo công suất bằng phương pháp hiệu ứng “Hall” là dùng oát-mét cấu tạo bằng bộ biến đổi Hall.

Bộ biến đổi Hall là bộ biến đổi dùng hiệu ứng Hall, đó là thiết bị có thể thực hiện được phép nhân hai đại lượng. Kết quả biến đổi được cho dưới dạng điện áp, và là một trị số tỷ lệ với tích số của hai đại lượng đưa vào bộ biến đổi.



– Sơ đồ nguyên lý Oát met dùng biến đổi Hall

Hiệu ứng Hall thực hiện bằng vật liệu bán dẫn thì cho dòng linh động lớn. Vì vậy các bộ biến đổi Hall thường được cấu tạo bằng các chất bán dẫn (Ge, Si, Se...).

Nguyên lý Oát met dùng biến đổi Hall như 0. Cấu tạo của bộ biến đổi Hall gồm một bản mỏng bằng chất bán dẫn đơn tinh thể, có hai cặp điện cực: cặp dòng điện T-T được mắc vào nguồn điện một chiều hoặc xoay chiều. Cặp điện áp X-X. Khi đặt vuông góc với bề mặt chuyển đổi một từ trường thì xuất hiện ở hai đầu X-X một thế điện động gọi là thế điện động Hall được tính như sau:

$$e_x = k_x B i_x$$

Trong đó:

+  $k_x$ : là hệ số mà giá trị của nó phụ thuộc vào vật liệu, kích thước và hình dáng của chuyển đổi, ngoài ra còn phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường xung quanh và giá trị của từ trường.

+ B: là độ từ cảm của từ trường.

Thực hiện một Oát met bằng chuyển đổi Hall bằng cách đặt chuyển đổi vào khe hở của một nam châm điện. Dòng điện đi qua cuộn hút L của nó chính là dòng điện đi qua phụ tải  $Z_L$ . Còn ở hai cực T-T có dòng điện tỉ lệ với điện áp đặt lên phụ tải  $Z_L$ . Điện trở phụ  $R_L$  để hạn chế dòng. Hướng của từ trường được minh họa bởi đường chấm chấm như trong hình vẽ. Nam châm điện được cấu tạo sao cho quan hệ giữa dòng điện  $i_L$  và B là tuyến tính:

$$B = k_i i_L = k_u u_L$$

Thế điện động Hall lúc đó sẽ được tính:

$$e_x = k_x k_u u_L i_x = k_x k_u i_x u_L = k_x P$$

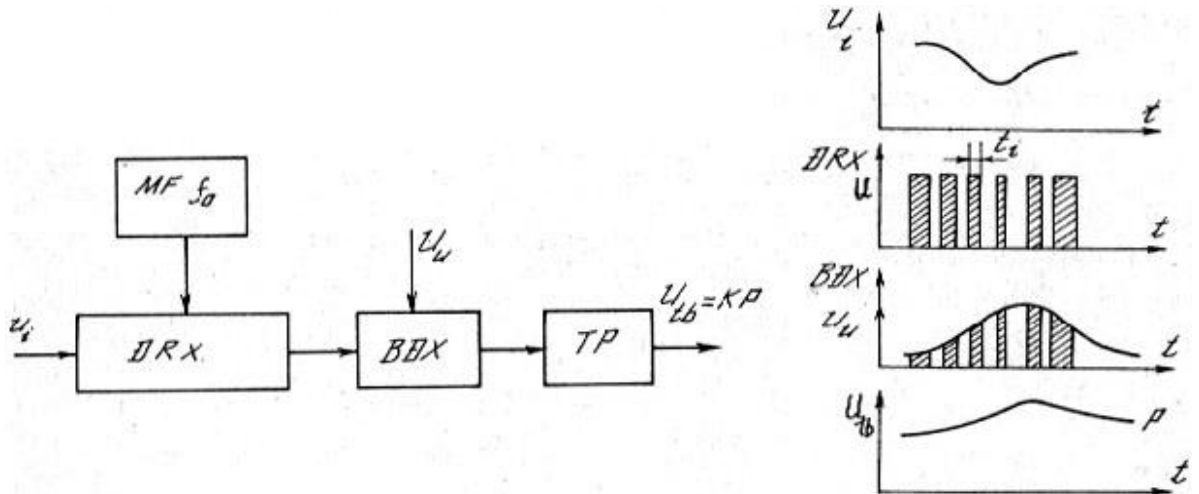
Như vậy  $e_x$  được đo bằng milivônmet và tỉ lệ với công suất cần đo.

Đặc điểm của Oát met sử dụng chuyển đổi Hall: cho phép đo công suất xoay chiều với tần số đến hàng trăm MHz.

Ưu điểm: không có quán tính, có cấu tạo đơn giản, bền, tin cậy.

Nhược điểm: có sai số do nhiệt độ lớn.

**c. Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu**



(a) – Sơ đồ khối

(b) – Giải đồ thời gian

– Oát met theo phương pháp điều chế độ rộng xung với điều chế biên độ xung

Phương pháp điều chế tín hiệu dựa trên việc nhân các tín hiệu  $u_u$  (tỉ lệ với điện áp trên tải cần đo) và  $u_i$  (tỉ lệ với dòng điện trên tải cần đo) trên cơ sở điều chế hai lần tín hiệu xung. Các tín hiệu tương tự  $u_u$  và  $u_i$  được biến đổi thành tần số, chu kì, biên độ, độ rộng của tín hiệu xung sau đó lấy tích phân. Thông dụng nhất là kết hợp giữa các loại điều chế sau đây:

- + Điều chế độ rộng xung với điều chế biên độ xung: (ĐRX-BDX).
- + Điều chế độ rộng xung với tần số xung : (ĐRX-TSX).
- + Điều chế tần số xung và biên độ xung: TSX-BDX.

Xét Oát met trên phương pháp ĐRX–BĐX: có sơ đồ cấu trúc như 0-a và nguyên lý như 0-b.

Tín hiệu vào  $u_i$  được điều chế thành độ rộng  $t$  của xung (ĐRX) được phát ra từ máy phát tần số chuẩn  $f_0=1/T_0$ . Ở đầu ra của điều chế ĐRX có các xung với độ rộng  $t_i = k.u_i$ , tín hiệu này sẽ được đặt vào bộ điều chế biên độ xung BĐX và được điều chế biên độ bằng tín hiệu  $u_u(t)$ . Khi  $T_0 \rightarrow 0$  thì diện tích của mỗi xung ở đầu ra của bộ điều chế biên độ tỉ lệ với công suất tức thời:

$$S(t) = u_u t_i = k.u_u u_i$$

Như vậy điện áp ra của bộ tích phân (TP) sẽ có giá trị tỉ lệ với công suất trung bình  $P$ .

Sai số của các Oát met sử dụng các cặp điều chế là ở chỗ độ dài của chu kỳ điều chế bị hạn chế. Điều này làm cho dải tần bị hạn chế.

Ví dụ: với  $T_0 = 5\mu s$  và tần số của các tín hiệu vào là 10kHz thì sai số của Oát met điều chế ĐRX–BĐX cỡ khoảng 0,1%.

Ở Nhật Bản phương pháp điều chế đã được sử dụng để chế tạo chuẩn đơn vị công suất điện trong khoảng tần số từ 40Hz đến 1000Hz có độ chính xác cao, với sai số hệ thống từ 0,01÷0,2%.

### 7.2.3. Phương pháp so sánh

Đo công suất của một nguồn điện ở cao tần, có thể bằng cách so sánh nó với nguồn công suất dòng điện một chiều hay nguồn dòng điện có tần số thấp.

Ta đã biết phương pháp đo công suất dòng điện một chiều hay dòng điện tần số công nghiệp (50Hz-60Hz); các phương pháp đo này thường dễ thực hiện và có độ chính xác cao. Ví dụ như đo công suất bằng oát-mét điện động thì sai số có thể đạt tới (0,1%-0,2%).

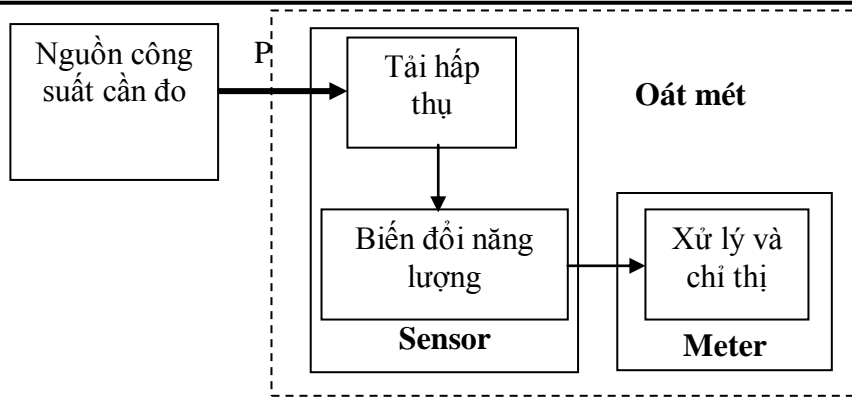
Phép đo so sánh nguồn công suất có thể được thực hiện bằng nhiều cách. Một trong các cách này được dùng thông dụng là so sánh cường độ sáng của hai đèn. Trong hai đèn này, một đèn được nối với nguồn công suất cần đo, đèn thứ hai được nối với một nguồn công suất một chiều hay tần số thấp. Khi độ sáng của hai đèn bằng nhau, điều này có thể xác định được nhờ một thiết bị đo ánh sáng (quang độ-mét), hay bằng tế bào quang điện. Khi đã xác định được nguồn có công suất dòng điện một chiều, có thể biết được công suất của nguồn công suất cao tần cần đo.

### **7.3. ĐO CÔNG SUẤT Ở DẢI SIÊU CAO TẦN**

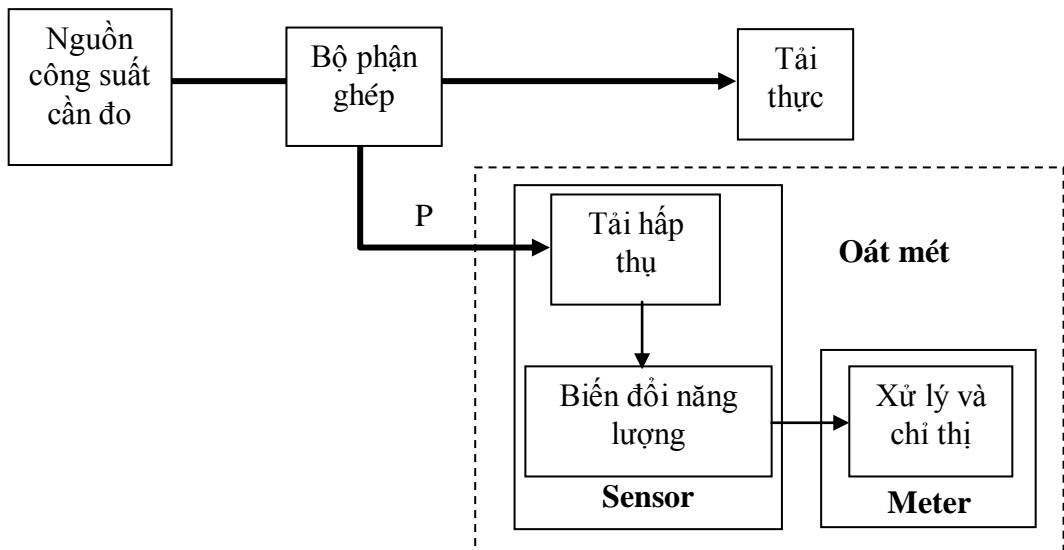
Trong đo công suất, ở siêu cao tần, thường có hai nhiệm vụ phải giải quyết:

1. Đo công suất trên tải có phối hợp trở kháng, hay đo công suất cực đại được hấp thụ, của năng lượng từ một nguồn có công suất cần đo. Trong phép đo này, tải được xác định, có trị số bằng trở kháng đặc tính của đường dây và tải là thuần điện trở. Sơ đồ khối của phép đo này như 0.

Khi đo, Oát-mét được mắc với nguồn công suất cao tần cần đo thông qua dây truyền tải. Như vậy công suất hấp thụ trên điện trở tải của oát-mét phụ thuộc vào sự phối hợp của nguồn công suất cần đo không những chỉ phụ thuộc vào cấp chính xác của oát-mét mà còn phụ thuộc cả vào mức độ phối hợp của đường dây với nguồn và với tải.



– Đo công suất hấp thụ



– Đo công suất truyền thông

2. Đo công suất được hấp thụ trên tải bất kỳ hay đo công suất truyền thông. Trong phép đo này, công suất đo được là một phần của nguồn công suất cần đo. Ví dụ cần đo công suất bức xạ trên anten từ nguồn công suất phát ra của một máy phát; hay công suất đưa tới tầng công suất cuối của tầng trước cuối của một máy phát... Sơ đồ khối của phép đo này như 0.

Đo công suất trong dải siêu cao tần thường được thực hiện theo nguyên lý hấp thụ. Oát met theo nguyên lý này về cơ bản gồm 2 thành phần đó là:

+ Cảm biến công suất (Power Sensor): Hấp thụ toàn bộ hay một phần tỉ lệ công suất cần đo và biến đổi năng lượng đó thành

tín hiệu một chiều hoặc tần thấp tỉ lệ với công suất đã hấp thụ. Có thể coi thiết bị này gồm 2 thành phần chính đó là tải hấp thụ và thiết bị biến đổi năng lượng.

+ Thiết bị xử lý và chỉ thị (Power Meter): Bao gồm mạch khuếch đại, mạch xử lý cho phép đánh giá công suất đo được và hiển thị kết quả. Thiết bị này có thể sử dụng chung cho nhiều loại cảm biến công suất ở các dải tần và dải trình đo khác nhau. Thiết bị này có thể chỉ đơn giản là các máy đo tương tự điều chỉnh bằng tay, nhưng hiện nay nó là máy đo số nhiều kênh sử dụng vi xử lý.



*– Hình ảnh của Oát met ở dải siêu cao tần*

Tùy theo phương pháp đo mà người ta có các biện pháp biến đổi năng lượng thích hợp và trực tiếp hay gián tiếp chỉ thị. Đó cũng chính là cơ sở cấu tạo của các loại oát-mét.

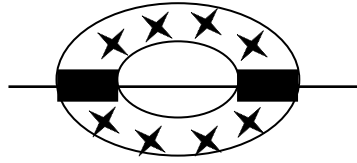
Hiện nay trong dải siêu cao tần có 3 loại cảm biến công suất trung bình được sử dụng phổ biến đó là: Điện trở nhiệt (Thermistor), Cặp nhiệt điện (Thermocouple), và Bộ tách sóng bằng điốt (Diode Detector). Mỗi loại cảm biến sử dụng các khác nhau để biến đổi công suất sóng RF và siêu cao tần thành tín hiệu một chiều hay tần thấp.

### **7.3.1. Oát met sử dụng cảm biến điện trở nhiệt**

*a/ Cấu tạo của điện trở nhiệt:*



**Cấu tạo của Bôlômét:** là 1 sợi dây điện trở rất mảnh làm bằng bạch kim hay vonfram, được đặt trong bình thủy tinh.



Trong bình có chứa khí trơ hay có độ chân không cao để giảm sự truyền nhiệt ra môi trường và tăng tốc độ đốt nóng dây điện trở. Chiều dài của sợi dây điện trở phải thỏa mãn đk:  $\frac{l}{8} \leq l \leq \frac{l}{2}$ , để sự phân bố dẫn điện trên sợi dây được đồng đều, ở đây  $l$  là độ dài cực tiểu của bước sóng điện từ của nguồn công suất cần đo.

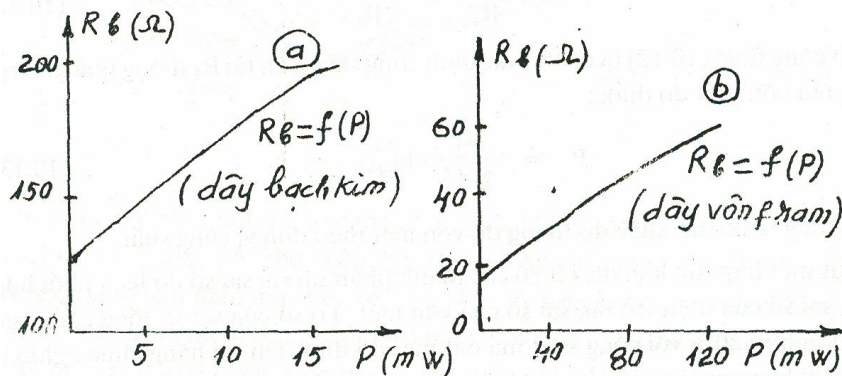
+ Quan hệ giữa điện trở của Bôlômét và công suất cần đo

$$R_b = R_0 + a.P^b$$

$R_0$  : điện trở của Bôlômét khi  $P = 0$ ;

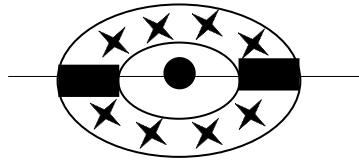
$a, b$  : hệ số tỉ lệ, phụ thuộc kích thước, vật liệu của bôlômét

+ Dải điện trở của bôlômét: hàng chục đến vài trăm ôm với độ nhạy  $(3 \div 2) \times 10^{-4} W$



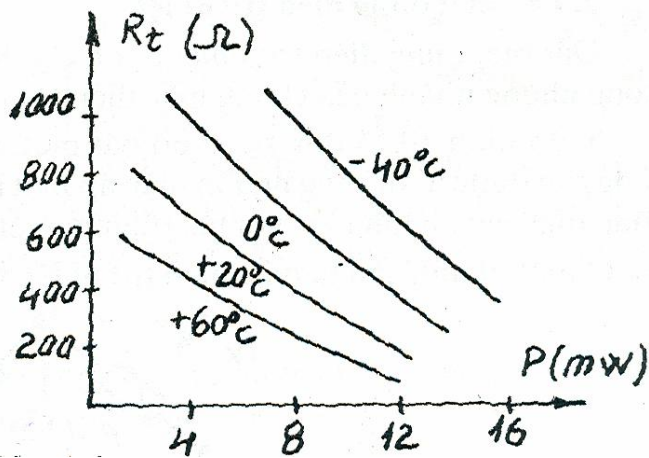
- Quan hệ giữa điện trở của Bôlômét và công suất cần đo

**Cấu tạo của Tesmitor:** là điện trở cân bằng bán dẫn có hệ số nhiệt âm.



Hai dây bạch kim hoặc iridian có đường kính (20- $\rightarrow$  30)  $\blacksquare$  nối với nhau tại hạt cầu làm bằng bán dẫn, tất cả được đặt trong bình thủy tinh. Điện trở của Tesmitor khoảng (100- $\rightarrow$  3000)  $\blacksquare$

+ Quan hệ giữa điện trở của Bôlômét và công suất cần đo (hình 7.9)

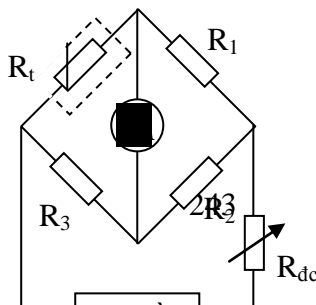


\* So sánh giữa bôlômét và tesmitor:

+ Bôlômét có ưu điểm là dễ chế tạo, đặc tính ít phụ thuộc nhiệt độ môi trường; nhược điểm: dễ bị quá tải, kích thước lớn nên hạn chế sử dụng ở đoạn sóng cm, Zvào nhỏ nên khó thực hiện phối hợp trở kháng với đường truyền.

+ Tesmitor có ưu điểm là độ nhạy cao, ít bị quá tải, trị số R lớn, trị số L,C bản thân nhỏ, kích thước nhỏ, độ bền cao; nhược điểm: khó chế tạo, đặc tính phụ thuộc t0 môi trường.

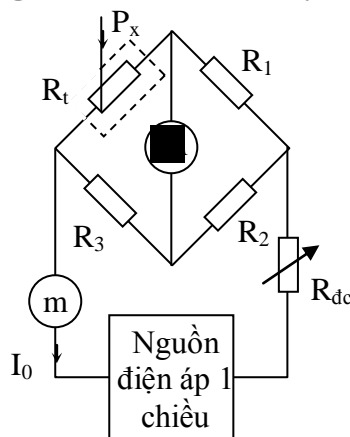
**b/ Sơ đồ Oátmét dùng điện trở nhiệt xây dựng trên mạch cầu đơn không cân bằng và hoạt động của nó:**



Sơ đồ Oátmét được nuôi bằng nguồn điện áp 1 chiều với chiết áp  $R_{dc}$  dùng để điều chỉnh dòng qua các nhánh cầu, với MicroAmpemet chỉ dòng mất cân bằng trong nhánh chỉ thị. Ở 1 nhánh cầu ta mắc điện trở nhiệt, Trước khi đo cần thay đổi điện trở Tesmitor bằng nhiệt năng của dòng điện qua chuyển đổi (Đ/chỉnh chiết áp  $R_{dc}$ ) để cầu cân bằng. Lúc này MicroAmpemet chỉ "0".

Khi có nguồn công suất cao tần tác động lên  $R_t$  làm cho nó giảm  $R$ , dẫn tới mất cân bằng cầu. Lúc này xuất hiện dòng điện qua MicroAmpemet với thang đo khắc độ trực tiếp qua công suất. Sai số của Oátmét loại này khoảng 10% phụ thuộc chủ yếu vào sự thay đổi nhiệt độ môi trường, sự không phối hợp trở kháng của Oátmét với đường truyền và sai số của thiết bị chỉ thị.

*c/ Sơ đồ và hoạt động của oát mét xây dựng trên mạch cầu đơn cân bằng.*



Trong sơ đồ,  $R_t$  chỉ thị cân bằng cầu, mA cho biết trị số của công suất.  $R_t$  mắc vào 1 nhánh cầu ta lựa chọn  $R_1=R_2=R_3=R_t=0=R$ .

Khi chưa có nguồn c/suất t/đ lên  $R_t$ , tương tự như TH trên ta điều chỉnh đđ trong mạch để thay đổi  $R_t$  và thiết lập cân bằng cầu. Ở thời điểm cầu cân bằng,  $R_t$  chỉ "0", còn mA chỉ dòng điện  $I_0$  khi có nguồn C/S t/đ lên  $R_t$  làm cho  $R_t$  cầu mất cân bằng. Để cầu cân bằng ta phải tăng đ.trở = cách giảm dòng điện trong mạch. ở thời điểm cân bằng mA chỉ  $I_0$ .

Qua hai bước đ/chỉnh cân bằng cầu, điện trở của Tesmitor không đổi nên công suất tiêu thụ trên Tesmitor trong 2 bước như nhau do đó:

$$P_t = \frac{I_0^2 R_t}{4} = \frac{(I_0')^2 R_t}{4} = P_x$$

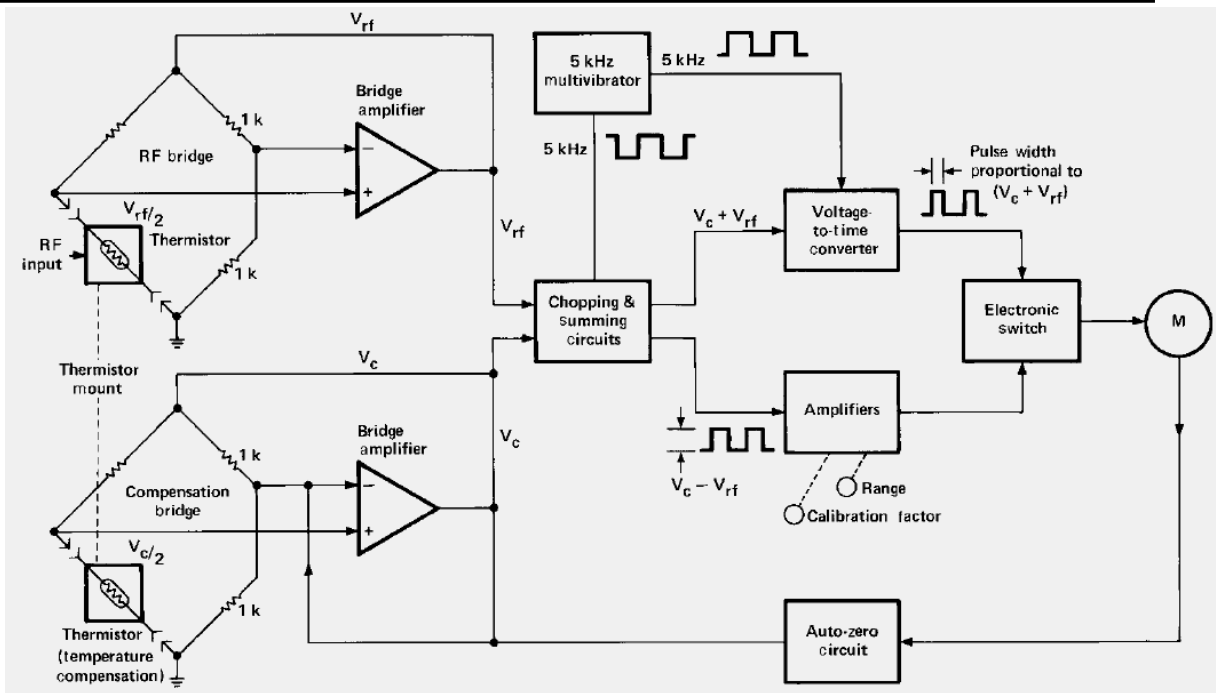
Từ đây ta xđ được công suất cao tần  $P_x$  thông qua 2 trị số dòng điện:

$$P_x = \frac{R_t}{4} (I_0')^2$$

Ưu điểm cơ bản của mạch cầu cân bằng đã xét đảm bảo được sự phối hợp trở kháng vì điện trở Tesmitor  $R_t$  không thay đổi dưới tác động của công suất  $P_x$  ở các thời điểm cân bằng cầu. Tuy nhiên thang đo của mA không khắc độ trực tiếp theo công suất vì dòng  $I_0$  luôn thay đổi theo nhiệt độ môi trường khi  $P_x=0$ .

***d. Oát mét số dùng điện trở nhiệt***

# Chương 7 – Đo công suất

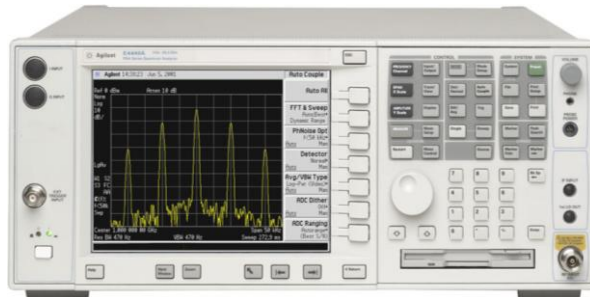


## CHƯƠNG 8 – PHÂN TÍCH PHỔ TÍN HIỆU

### 8.1. GIỚI THIỆU CHUNG PHÂN TÍCH TÍN HIỆU

#### 8.1.1 Giới thiệu chung về máy phân tích tín hiệu

Các máy phân tích tín hiệu (Signal Analyzers) là những máy đo cho phép xác định đặc tính tần số, thời gian, biên độ (điện áp hoặc công suất), hay đặc tính logic của tín hiệu. Như vậy Ô-xi-lô, máy phân tích logic cũng là máy phân tích tín hiệu. Tuy nhiên trong chương này chỉ tập trung vào trình bày máy phân tích tín hiệu trong miền tần số bao gồm máy phân tích phổ (Spectrum Analyzer), máy phân tích dạng sóng (Wave Analyzer), và máy phân tích méo dạng (Distortion Analyzer).



- Máy phân tích phổ là thiết bị đo biểu diễn đồ thị phổ của tín hiệu (đồ thị biên độ theo tần số) của tín hiệu trên màn hình.

- Máy phân tích dạng sóng bản chất là Vôn mét chọn lọc tần số với dải thông hẹp được điều chỉnh được cho phép chọn lọc theo một thành phần tần số của tín hiệu trong khi loại bỏ các thành phần tần số còn lại.

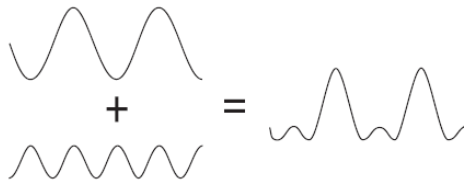
- Máy phân tích méo dạng, ngược với máy phân tích dạng sóng, cho phép xác định năng lượng trong khoảng tần số ngoài dải tần xác định của tín hiệu.

Trong chương này chủ yếu trình bày về phương pháp xây dựng máy phân tích phổ cũng như ứng dụng đo lường của nó.

### 8.1.2. Đồ thị phổ của tín hiệu

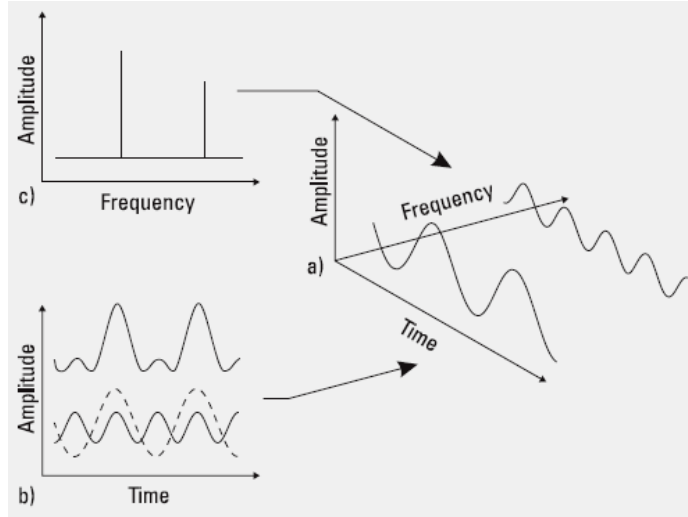
Từ hơn một trăm năm trước Baron Jean Baptiste Fourier đã chỉ ra rằng bất kỳ dạng tín hiệu này tồn tại trong thế giới thực có thể được tạo ra bằng cách cộng những dạng sóng hình sin. Hay về biểu diễn toán học biểu đồ Fourier là minh chứng của vấn đề này.

Ví dụ dưới đây minh họa dạng sóng được tổ hợp từ 2 sóng sin

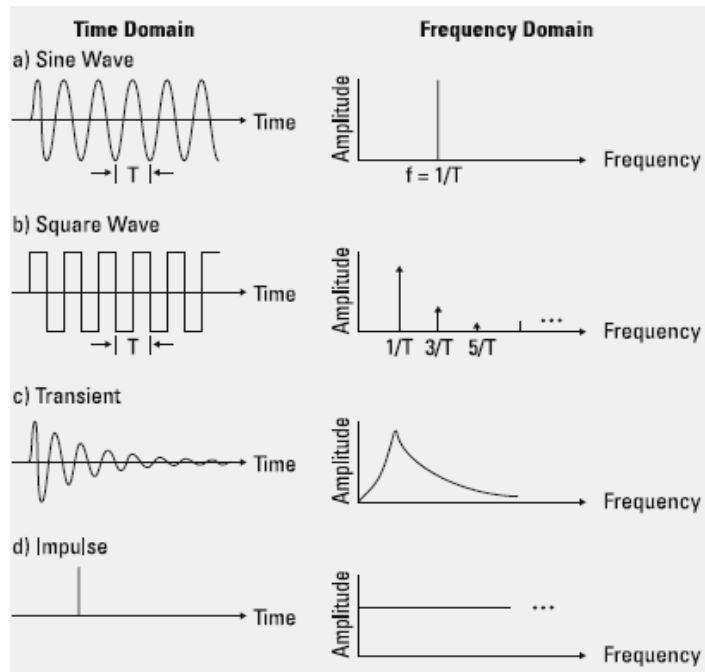


– Cộng hai tín hiệu hình sin

Như vậy chúng ta có thể biểu diễn bất kỳ dạng tín hiệu trong thế giới thực nào bằng một tổ hợp duy nhất của các dạng tín hiệu hình sin. Đồ thị biểu diễn biên độ của các tín hiệu hình sin đó theo tần số chính là phổ biên độ của tín hiệu hay gọi tắt là phổ của tín hiệu. Hình 1.7 biểu diễn mối quan hệ giữa biểu diễn tín hiệu trong miền thời gian và miền tần số. Trong đó hình (a) là đồ thị 3 chiều của biên độ, thời gian, tần số biểu diễn riêng biệt các tín hiệu hình sin theo thời gian ở các tần số khác nhau, hình (b) là dạng tín hiệu được tổ hợp từ các dạng tín hiệu hình sin đó, hình (c) biểu diễn biên độ của các tín hiệu hình sin tổ hợp nên tín hiệu theo tần số - hay đây chính là đồ thị phổ của tín hiệu, mỗi đường biểu diễn tín hiệu hình sin trên đó được gọi là một thành phần tần số của tín hiệu tổng.



Hình 1.7 – Mối quan hệ giữa biểu diễn tín hiệu ở miền thời gian và miền tần số



– Phổ của một số dạng tín hiệu

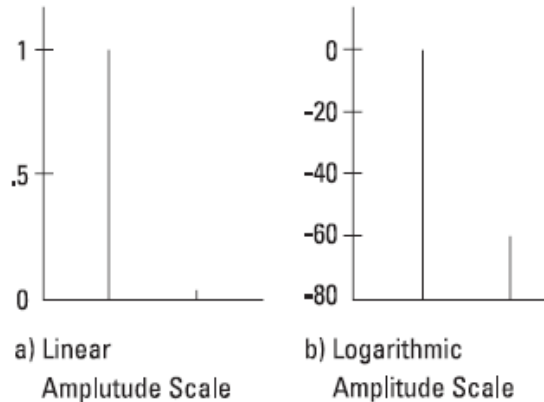
Ở đây là ví dụ đồ thị thời gian và đồ thị phổ của một số loại tín hiệu phổ biến.

Trong nhiều trường hợp biên độ của tín hiệu quá nhỏ, khó biểu diễn và quan sát trên đồ thị biểu diễn tuyến tính, trong trường hợp này đồ thị phổ có thể được chuyển sang biểu diễn theo thang



logarit (thang dB) như minh họa trong 0, công thức chuyển đổi như sau:

$$\text{dB} = 10 \lg(P[W]) = 20 \lg(U[V])$$



– Biểu diễn đồ thị phổ theo thang tuyến tính và thang logarit (thang dB)

## 8.2. MÁY PHÂN TÍCH PHỔ

### 8.2.1. Ứng dụng đo lường của máy phân tích phổ

- Máy phân tích phổ cho phép quan sát toàn cảnh phổ biên độ của tín hiệu, quan sát đồ thị phổ theo quan hệ bình phương của biên độ đối với tần số (phổ công suất) rất hiệu quả trong việc nghiên cứu các tín hiệu tạp âm.

- Máy phân tích phổ còn cho phép đo lường các đặc tính và tham số của tín hiệu như:

+ Đánh giá biên độ, tần số của các thành phần tần số của tín hiệu

+ Đánh giá độ rộng phổ tín hiệu, sự phân bố năng lượng của tín hiệu theo tần số.

+ Đánh giá được các thành phần nhiễu, hệ số S/N, độ méo dạng của tín hiệu,..

+ Đánh giá được các đặc tính tần số của tín hiệu điều chế: hệ số điều chế, chất lượng điều chế, EVM, Độ không cân bằng IQ,...

+ Sử dụng như thiết bị chỉ thị, ví dụ như chỉ thị độ chọn lọc tần số, chỉ thị độ suy giảm, chỉ thị độ di tần của tín hiệu điều chế.

### 8.2.2. Các nguyên lý máy phân tích phổ

Có một số nguyên lý khác nhau để xây dựng Máy phân tích phổ.

**Nguyên lý 1:** Dựa vào phép biến đổi Fourier, tín hiệu liên tục được số hóa và sử dụng kỹ thuật xử lý tín hiệu số (DSP) để thực hiện biến đổi Fourier nhanh FFT và hiển thị tín hiệu trong miền tần số.



– Sơ đồ nguyên lý máy phân tích phổ dùng biến đổi Fourier

Ưu điểm của nguyên lý là khả năng của nó để mô tả hiện tượng đơn lẻ, Có thể đánh giá được cả pha và biên độ của các thành phần tần số.

Tuy nhiên, phân tích phổ dùng biến đổi Fourier có một số hạn chế về dải tần số, độ nhạy, và dải trình, và thường được chỉ sử dụng trong các ứng dụng phân tích phổ tín hiệu ở băng gốc giới hạn tới 40 MHz.

**Nguyên lý 2:** Kiểu phân tích tín hiệu vector (Vector Signal Analyzer - VSA), dựa vào nguyên lý 1 nhưng mở rộng cho phép phân tích tín hiệu tần số vô tuyến RF. Sử dụng kỹ thuật đổi tần để đưa dải tần tín hiệu xuống dải tần thấp và thực hiện số hóa rồi và sử dụng FFT. Máy phân tích phổ kiểu VSA này có dải tần tới 6GHz.

Ưu điểm của máy phân tích phổ theo nguyên lý VSA là nhanh, độ phân giải cao, và đặc biệt hữu ích cho phân tích đặc tính

của các dạng tín hiệu phức tạp như tín hiệu điều chế sử dụng trong các ứng dụng truyền thông, quảng bá, video, siêu âm,...

**Nguyên lý 3:** Phân tích phổ dựa vào tính chất chọn lọc tần số của các mạch cộng hưởng. Như ta đã biết, các mạch cộng hưởng có dải thông tần hẹp (có hệ số phẩm chế khá cao), thì biên độ của dao động cưỡng bức sẽ cực đại nếu như tần số tác động trùng với tần số cộng hưởng của mạch và biên độ đó có trị số rất nhỏ khi có lệch cộng hưởng. Như vậy, mạch cộng hưởng ở đây có tác dụng như một bộ lọc, bộ lọc này có khả năng tách riêng được các thành phần tần số khác nhau của tín hiệu trùng với tần số cộng hưởng của mạch và vẽ lại biên độ của các thành phần tần số đó trên màn hình tạo thành đồ thị phổ của tín hiệu. Nguyên lý này cho phép xây dựng các máy phân tích phổ có dải tần làm việc rất cao, hiện nay lên tới hàng chục GHz. Trong bài giảng này chỉ trình bày máy phân tích phổ được xây dựng theo nguyên lý này. Máy phân tích phổ theo nguyên lý này có thể được xây dựng theo kiểu song song hoặc nối tiếp.

### 8.2.3. Máy phân tích phổ song song

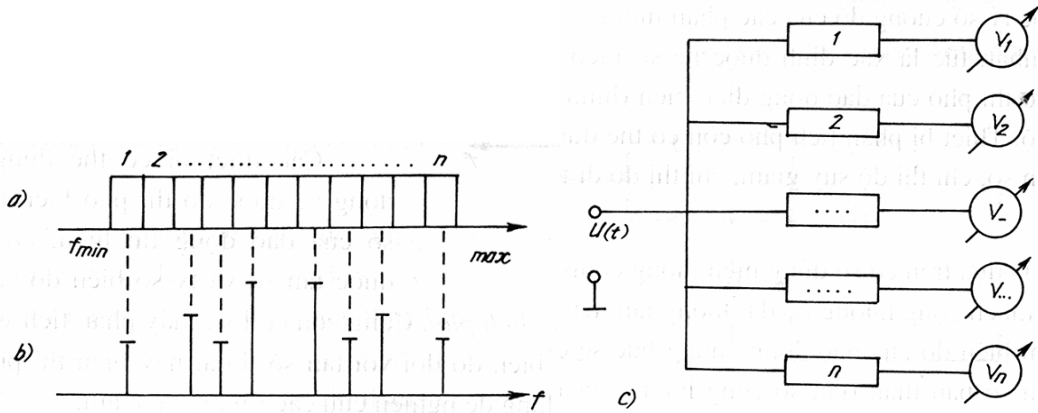
#### a. Nguyên lý chung

Theo nguyên lý phân tích phổ song song sử dụng các bộ lọc cộng hưởng như 0.

Giả sử có một hệ thống bộ lọc dải hẹp được sắp xếp liên tiếp kề sát nhau theo thang tần số trong dải tần từ  $f_{\min}$  đến  $f_{\max}$ . Mỗi đường cong cộng hưởng của bộ lọc được biểu thị đơn giản bằng một hình CN, dải thông tần của bộ lọc là  $\Delta f$  (0-a). Trong dải tần của máy phân tích phổ có n bộ lọc.

$$n \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\Delta f}$$

Nếu tín hiệu được phân tích có phổ nằm trong dải tần số công tác của bộ lọc trên (0-b) thì khi có tín hiệu vào, mỗi bộ lọc sẽ được tác động đối với riêng từng thành phần phổ mà tần số của thành phần phổ này tương ứng với tần số của bản thân bộ lọc.



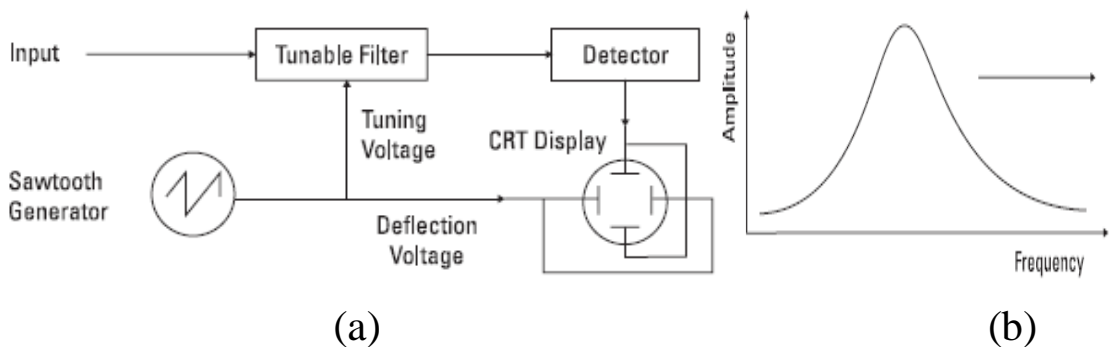
– Nguyên lý máy phân tích phổ song song

Điện áp ở đầu ra của mỗi bộ lọc sẽ tỷ lệ với biên độ của thành phần phổ tương ứng. Các điện áp này được đo bởi các Vôn mét (0-c). Từ trị số chỉ thị của các vôn mét và tần số cộng hưởng của mỗi bộ lọc có thể vẽ lại đồ thị phổ của tín hiệu điện áp nghiên cứu.

Máy phân tích phổ theo nguyên lý này có tốc độ cao, độ phân giải thấp, giá thành tăng cao do cần một số lượng rất lớn bộ lọc nếu dải tần tín hiệu phân tích lớn, nên nó không thích hợp cho máy phân tích phổ ở tần số cao và siêu cao tần.

**8.2.4. Máy phân tích phổ nối tiếp**

*a. Nguyên lý chung*



– Sơ đồ nguyên lý máy phân tích phổ nối tiếp

Nguyên lý phân tích phổ nối tiếp (hay còn gọi là phân tích phổ kiểu quét) chỉ sử dụng một bộ lọc cộng hưởng duy nhất và thay đổi tần số cộng hưởng của nó liên tục trong dải tần làm việc cần quan tâm để lần lượt tách được từng thành phần tần số của tín hiệu vào và hiển thị trên màn hình (ví dụ sử dụng CRT). 0 mô tả sơ đồ nguyên lý của máy phân tích phổ nối tiếp, biểu diễn biên độ tín hiệu ra của bộ lọc theo tần số cộng hưởng của nó sẽ nhận được phổ của tín hiệu vào. Nguyên lý này được sử dụng phổ biến cho máy phân tích phổ tần số RF và siêu cao tần.

Máy phân tích phổ theo nguyên lý này có độ phân giải cao, giá thành thấp nhưng thời gian đo lớn (đặc biệt là ở máy có độ phân giải cao) do thời gian đáp ứng của bộ lọc lớn, tốc độ quét không được quá nhanh. Như vậy nguyên lý này chỉ thích hợp cho phân tích tín hiệu có phổ không thay đổi theo thời gian một chu kỳ quét, nhưng không thích hợp phân tích tín hiệu có thời gian tồn tại ngắn hoặc có phổ thay đổi theo thời gian.

***b. Máy phân tích phổ nối tiếp dùng màn hiển thị CRT***

Trong thực tế thường sử dụng bộ lọc cộng hưởng có tần số cộng hưởng cố định và sử dụng nguyên lý đổi tần để dịch chuyển phổ của tín hiệu vào lần lượt đi qua dải thông của bộ lọc, do đó từng thành phần tần số cũng sẽ được tách ra và được hiển thị trên màn hình. Trong trường hợp này tín hiệu vào thường được trộn tần với tín hiệu quét tần số. Sơ đồ rút gọn của máy phân tích phổ nối tiếp theo nguyên lý này và sử dụng màn hiển thị CRT như 0. Có thể coi cấu tạo của máy phân tích phổ này gồm 2 phần: Mạch chọn lọc tần số và Điều khiển hiển thị sử dụng ống tia điện tử CRT (giống như một ô-xi-lô).

Mạch chọn lọc tần số: có nhiệm vụ lần lượt tách từng biên độ thành phần tần số của tín hiệu vào  $U_{th}$  và đưa tới kênh lệch đứng Y của khối điều khiển hiển thị, phần này bao gồm các khối sau:

- Khối mạch vào và phân áp: Nhận tín hiệu cần phân tích phổ vào, thực hiện các phép tiền xử lý như phối hợp trở kháng, phân áp, tiền khuếch đại, ...

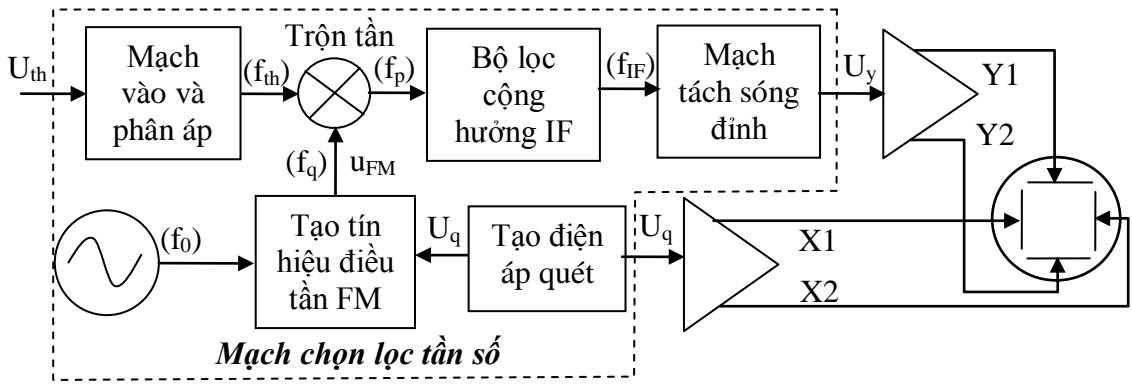
- Khối tạo điện áp quét: tạo ra điện áp quét răng cưa tuyến tính liên tục có chu kỳ  $T_q$  vừa được đưa tới Khuếch đại X đối xứng của khối điều khiển hiển thị CRT vừa đưa tới khối tạo tín hiệu điều tần FM.

- Khối tạo tín hiệu điều tần FM: thực hiện điều tần tín hiệu cao tần tự bộ tạo sóng chuẩn  $f_0$  theo điện áp quét răng cưa tuyến tính  $U_q$  tạo ra tín hiệu điều tần  $u_{FM}$  có dạng quét tần số:  $f_q = f_0 + K_f \cdot U_q = (f_{min} \dots f_{max})$ , biên độ không đổi.

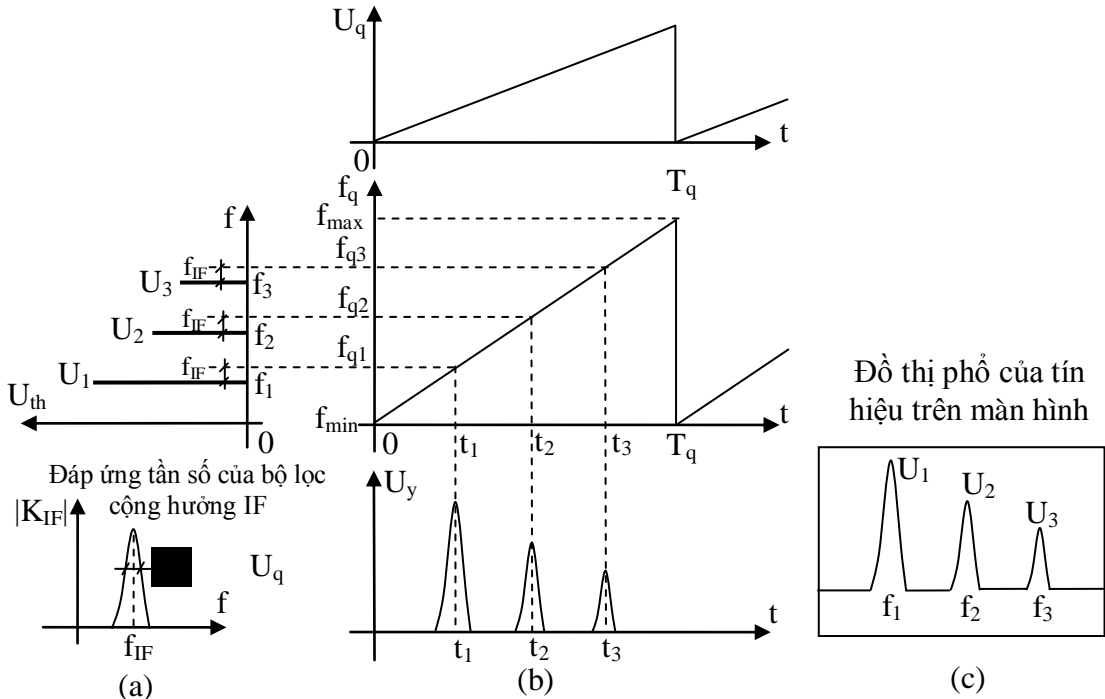
- Bộ lọc cộng hưởng IF: Bộ lọc có chọn lọc tần số cao, cộng hưởng tại tần số trung tần  $f_{IF}$ , có dải thông hẹp (nhỏ), đáp ứng biên độ tần số này có dạng như 0-a.

- Khối trộn tần: trộn tần tín hiệu vào có tần số  $f_{th}$  và tín hiệu quét tần số  $u_{FM}$  tạo ra tần số phách, sao cho tần số phách bậc nhất  $f_p = f_q - f_{th}$  lần lượt đi qua dải thông của bộ lọc cộng hưởng.

- Mạch tách sóng đỉnh: Mạch tách sóng đỉnh tín hiệu ra của bộ lọc cộng hưởng, dạng đường bao biên độ  $U_y$  được đưa tới khối khuếch đại Y đối xứng để tạo ra điện áp điều khiển cặp lái đứng  $Y_1 Y_2$  của CRT. Hình ảnh dao động đồ có dạng như điện áp này.



– Sơ đồ khối rút gọn của máy phân tích phổ nối tiếp dùng CRT



– Giải đồ thời gian minh họa hoạt động của máy phân tích phổ nối tiếp

Giả sử phổ của tín hiệu vào  $U_{th}$  gồm có các thành phần tần số  $f_1, f_2, \dots, f_n$  với biên độ tương ứng là  $U_1, U_2, \dots, U_n$ , ví dụ  $n=3$ , giải đồ thời gian minh họa hoạt động của máy phân tích phổ nối tiếp như 0.

$$u_{th}(t) = \sum_{i=1}^n U_i \sin(2\pi f_i t)$$

Như vậy tại đầu ra của khối trộn tần cũng gồm có  $n$  tần số phách bậc nhất:  $f_{pi}=f_q-f_i$  có biên độ tỉ lệ với thành phần tần số  $f_i$ .

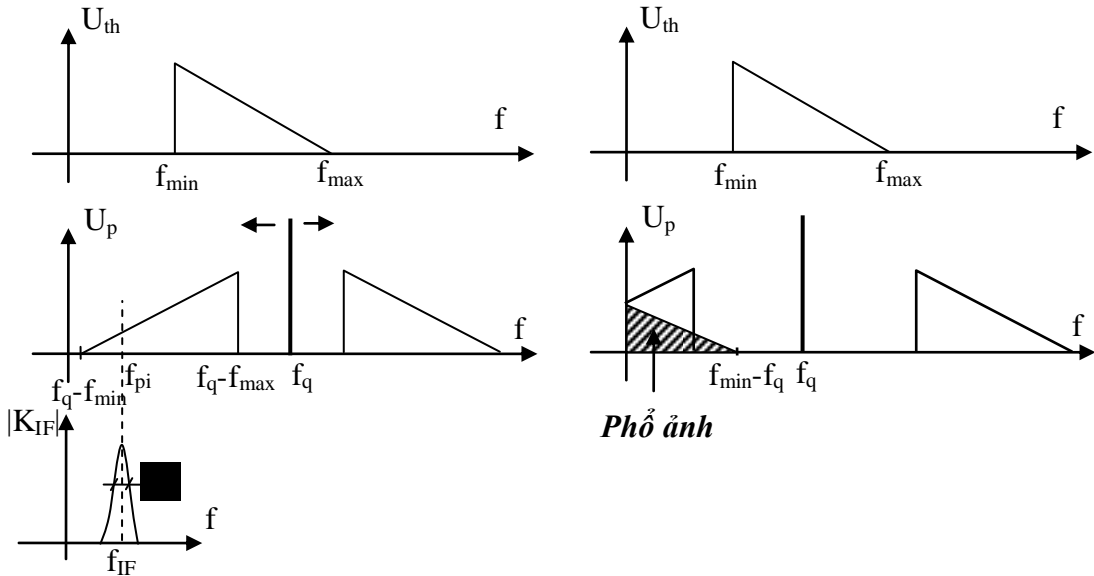
Trong 1 chu kỳ quét hiển thị  $T_q$ , giả sử tại các thời điểm  $t_i$  có:  $f_{pi}=f_{qi}-f_i=f_{IF}$ , thì thành phần phách này sẽ chọn lọc bởi bộ lọc cộng hưởng và được đưa tới Mạch tách sóng đỉnh để tách được đường bao biên độ của thành phần phách này và được vẽ trên màn hình CRT, dạng của đường bao biên độ phụ thuộc vào đáp ứng biên độ - tần số của Bộ lọc cộng hưởng và giá trị lớn nhất của đường bao biên độ biên độ đó cũng tỉ lệ với biên độ của thành phần tần số  $f_i$  của tín hiệu vào, như vậy có thể nói rằng thành phần tần số  $f_i$  được riêng và vẽ lên màn hình tại thời điểm  $t_i$ .

Nếu  $f_q$  được điều chỉnh thích hợp thì trong thời gian  $T_q$  lần lượt từng thành phần tần số của tín hiệu sẽ được vẽ trên màn hình CRT, ví dụ như 0-c.

**+ Đặc tính của máy phân tích phổ nối tiếp:**

- Để dạng đồ thị phổ trên màn hình trung thực thì đặc tuyến của mạch tạo tín hiệu điều tần  $u_{FM}$  phải tuyến tính.
- Dải thông của Bộ lọc cộng hưởng      được lựa chọn tùy theo mục đích vẽ phổ:
  - Nếu khoảng cách giữa các thành phần tần số của tín hiệu vào đủ lớn thì phải chọn      đủ nhỏ để trên đồ thị phổ phân biệt được 2 thành phần tần số lân cận.
  - Khi phân tích phổ của tín hiệu có băng tần rộng, các thành phần tần số gần nhau, thì nên chọn      đủ lớn để nhận được đường bao biên độ của phổ này.





Phổ ảnh

– Hiện tượng phổ ảnh

- Tốc độ biến đổi của  $U_q$  phải phù hợp với tốc độ đáp ứng của các khối tạo tín hiệu điều tần, khối trộn tần, bộ lọc cộng hưởng, mạch tách sóng đỉnh...
- Các mạch vào, mạch khuếch đại, phân áp không được gây méo dạng tín hiệu vào, tránh làm phát sinh các tần số không mong muốn.
- Tần số  $f_q$  phải được lựa chọn thích hợp để tránh phổ ảnh làm sai lệch đồ thị phổ vẽ được trên màn hình, như minh họa trong 0:

$$f_{q\max} - f_{\min} \ll f_{IF} \text{ và } f_{q\min} - f_{\max} \ll f_{IF}$$

- Các tham số của  $f_q$  ( $f_{q\min}$ ,  $f_{q\max}$ ),  $f_{IF}$  cần phải điều chỉnh phù hợp để máy có thể phân tích được toàn bộ dải phổ của tín hiệu ( $f_{\min}$  -  $f_{\max}$ ):

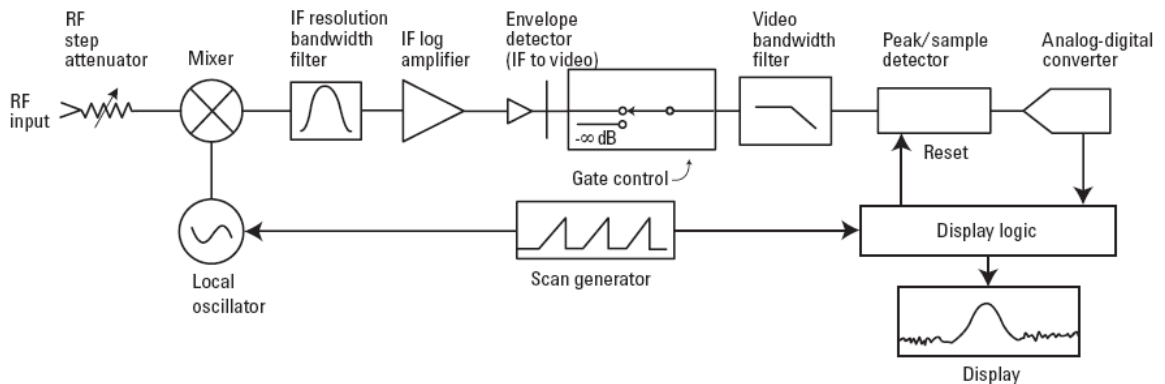
$$f_{\min} - f_{q\min} < f_{IF}$$

**b. Máy phân tích phổ nối tiếp dùng màn hiển thị đồ họa**

Về cơ bản sơ đồ khối máy phân tích phổ nối tiếp dùng màn hiển thị đồ họa tương tự như sơ đồ khối của máy phân tích phổ nối

## Chương 8 – Phân tích tín hiệu

tiếp dùng màn hiển thị CRT, chỉ khác nhau ở phần xử lý và hiển thị hình ảnh phổ trên màn hình, tín hiệu phản ánh hình ảnh đồ thị phổ sau bộ tách sóng đỉnh được số hóa, được xử lý số, tính toán tạo ra hình ảnh biểu diễn phổ của tín hiệu và biểu diễn trên các màn hình đồ họa ví dụ như màn hình LCD. Ví dụ sơ đồ khối của một loại máy phân tích phổ nối tiếp sử dụng màn hiển thị đồ họa trong thực tế như 0.



– Sơ đồ khối rút gọn máy phân tích phổ dùng màn hiển thị đồ họa

## CHƯƠNG 9 - ĐO THAM SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN TỬ

- Giới thiệu chung
- Đo và kiểm tra các phần tử và mạch điện có tham số tập trung
- Đo các phần tử của mạch điện có tham số phân bố
- Máy đo và kiểm tra linh kiện bán dẫn
- Máy phân tích mạng mạch điện (Network Analyzer)
- Máy đo theo phương pháp phản xạ mét TDR
- Máy phân tích logic

### 9.0. GIỚI THIỆU CHUNG

Tùy thuộc vào tính chất của các phần tử được sử dụng trong mạch điện có thể chia thành mạch tuyến tính và mạch phi tuyến. Bản chất của chúng khác nhau nên các thông số và đặc tính của chúng cũng khác nhau.

Mạch tuyến tính tạo thành từ phần tử có giá trị không phụ thuộc vào dòng điện qua nó (có thể áp dụng nguyên lý xếp chồng). Đặc tuyến Vôn-ampe của phần tử, của mạch là đường thẳng. Nguyên lý máy đo, phương pháp đo dựa vào các tính chất trên. Các phần tử của mạch tuyến tính thường là điện trở, tụ điện, điện cảm không có lõi sắt, đèn điện tử, đèn bán dẫn, các phần tử khuếch đại khác... làm việc ở đoạn đường thẳng của đặc tuyến Vôn-ampe.

Tùy theo dải tần công tác của mạch mà cấu tạo các phần tử cũng khác nhau do đó mạch tuyến tính phân thành 2 loại: Mạch có các phần tử tập chung và mạch điện có phần tử phân bố.

Mạch phi tuyến trong đó giá trị của các linh kiện của mạch phụ thuộc vào cường độ dòng điện chảy qua nó, nên không dùng thông số của bản thân nó. Ví dụ điôt, transistor... làm việc ở phần đặc tuyến không tuyến tính.

## **9.1. CÁC THAM SỐ VÀ ĐẶC TÍNH MẠCH ĐIỆN**

### **9.1.1. Các tham số, đặc tính của mạch điện có các phần tử tập chung.**

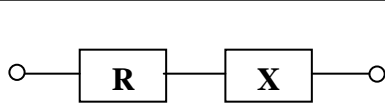
Mạch có các phần tử tập chung dùng ở dải tần nhỏ hơn vài chục MHz. Giá trị của các phần tử tuyến tính không phụ thuộc vào dòng chảy qua nó, người ta lấy các giá trị này làm thông số đặc trưng cho các phần tử của mạch. Các phần tử thụ động : điện trở R thuần túy tiêu hao năng lượng, các phần tử điện cảm L và điện dung C có thể tích lũy năng lượng. Tổ hợp của chúng tạo thành mạng 2 cực và mạng 4 cực tuyến tính.

Bản thân mỗi phần tử R, L, C riêng biệt xem như là mạng 2 cực nên các thông số của mạng 2 cực là giá trị điện trở R, điện cảm L và điện dung C.

Mạng 4 cực thường bao gồm các phần tử R, L, C mắc nối tiếp, song song hay hỗn hợp 2 cách mắc đó.

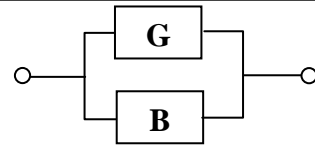
#### **Tham số trở kháng**

Đặc trưng của mạch, linh kiện là tham số trở kháng trở kháng tương đương toàn phần  $Z(\blacksquare)$  – mô hình tương đương nối tiếp, và dẫn nạp tương đương toàn phần  $Y(\blacksquare)$  – mô hình tương đương song song như minh họa trong 0.



$$Z=R+j.X$$

(a) – Sơ đồ tương đương nối tiếp  
đương song song



$$Y=G+j.B$$

(b) – Sơ đồ tương đương song song

$$Y \blacksquare \frac{1}{Z} \quad G \blacksquare \frac{1}{R}$$

$$B \blacksquare \frac{1}{X}$$

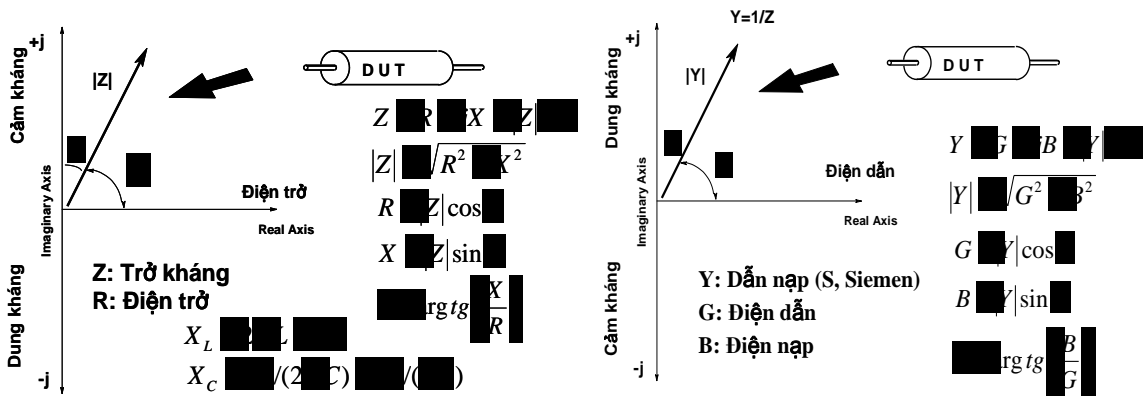
– Sơ đồ tương đương của mạch, linh kiện điện tử

+ Trở kháng tương đương:  $Z=R+j.X$

Trong đó R, X là điện trở và điện kháng tương đương của mạch.

+ Dẫn nạp tương đương :  $Y=G+j.B$

Trong đó G, B là điện dẫn và điện nạp của mạch.



– Mặt phẳng đo lường trở kháng và dẫn nạp

Đối với mạch cộng hưởng (mạch dao động), các linh kiện tụ điện, cuộn cảm,.. loại mạch hay linh kiện này có thêm các thông số khác là hệ số phẩm chất Q, hệ số tổn hao D, trở kháng đặc tính, tần số cộng hưởng  $f_{ch}$ .

$$Q \blacksquare \frac{1}{D} \blacksquare \frac{P_{pk}}{P_{th}} \blacksquare \frac{1}{\text{tg} \theta} \blacksquare \frac{X_L}{R} \blacksquare \frac{X_C}{R} \blacksquare \frac{B_L}{G} \blacksquare \frac{B_C}{G}$$

Các thông số kê trên của mạch có phân tử tập chung được đo bằng các máy đo: Máy đo điện trở (Ôm mét), máy đo điện cảm điện dung, máy đo trở kháng toàn phần, máy đo hệ số phẩm chất... Thực tế thường sử dụng các thiết bị đo vạn năng đo được nhiều các tham số trên. Hai loại thiết bị vạn năng phổ biến thường được sử dụng là máy đo RLC và máy phân tích trở kháng, chúng có thể đo các tham số sau:  $|Z|$ ,  $\theta$ ,  $|Y|$ ,  $R$ ,  $X$ ,  $G$ ,  $B$ ,  $Q$  hay  $D$ .

### **Đặc tính của mạch điện tử**

+ **Đặc tính thời gian:** đặc trưng cho đáp ứng của mạch đối với những tác động đột biến người ta còn dùng đặc tính thời gian (đặc tính quá độ), đặc tính thời gian có thể quan sát trực tiếp trên màn hình ôxilô của máy đo đặc biệt hay máy đo đặc tính thời gian, từ đặc tính thời gian có thể xác định các thông số như: Hằng số thời gian, hệ số phẩm chất, và tần số cộng hưởng...

+ **Đặc tính tần số:** đặc trưng cho phản ứng của mạch đối với những tác động điều hoà, đặc tính tần số bao gồm :

- Đặc tính biên độ tần số  $A(\omega) = |U_{ra}|/|U_{vào}|$  (cho tần số  $\omega$  iến đổi);
- Đặc tính pha tần số- quan hệ giữa pha của tín hiệu ra so với tín hiệu vào khi tần số  $\omega$  iến đổi  $\phi(\omega) = \phi_{ra} - \phi_{vào}$ .

Để vẽ các đặc tính tần số này sử dụng bộ tạo dao động điều hoà mà tần số có thể biến đổi được trong dải rộng và dùng Vôn mét, pha mét đo biên độ điện áp vào và ra góc lệch pha của chúng, ghi lại kết quả và vẽ từng điểm sẽ được đặc tính tần số. Thiết bị đặc biệt có thể quan sát trực tiếp đặc tính biên độ tần số trên màn hình gọi là máy tự động vẽ đặc tuyến biên độ - tần số hay máy Vobulator.

Đối với mạch phi tuyến giá trị của các linh kiện của mạch phụ thuộc vào cường độ dòng điện chảy qua nó, nên không dùng

thông số của bản thân nó. Điện áp rơi trên các phần tử phi tuyến không tỷ lệ thuận với dòng điện chảy qua. Tuy khó khăn về tính toán và sử dụng nhưng phần tử phi tuyến không thể thiếu trong kỹ thuật điện tử – viễn thông. Khi sử dụng thiết kế mạch cần phải biết chính xác dạng đặc tuyến Vôn-Ampe của các phần tử và mạch phi tuyến. Cần phải có máy vẽ đặc tuyến này ngay sau khi dây truyền sản xuất phần tử phi tuyến và in vào sổ tay kèm theo linh kiện.

### **9.1.2. Các tham số và đặc tính của mạch điện có phần tử phân bố**

Như đã biết, mạch có phần tử tập chung là mạch có thể phân tích bằng các lý thuyết mạch điện thông thường với giả định là khi có một điện áp đặt vào mạch thì tức khắc nó gây tác dụng đồng thời trên mọi điểm của mạch, và dòng điện trên một mạch vòng khép kín nào đó của mạch sẽ có trị số về biên độ và pha như nhau. Do vậy, các phương pháp đo thông số của mạch là có thể dựa theo các định luật cơ bản như định luật Ôm, Kirchoff...

Tuy nhiên, khi kích thước của mạch, nghĩa là chiều dài các dây dẫn và các linh kiện của mạch bằng một tỷ số đáng kể nào đó so với bước sóng của năng lượng truyền lan dọc theo dây dẫn, lúc đó nếu có một điện áp đặt vào mạch, thì dòng điện có trị số pha khác nhau tại các điểm khác nhau trong mạch. Khi đó, dùng phương pháp phân tích mạch, các phương pháp đo các thông số như trên sẽ không hoàn toàn chính xác nữa và ngay cả từ các khái niệm về các thông số như điện cảm, điện dung... như mạch có phần tử tập trung cũng không còn đúng nữa. Với loại mạch như vậy, tức mạch mà sự truyền năng lượng phải mất một thời gian đáng kể, không thể bỏ qua được thì là loại mạch có phần tử phân bố. Do vậy, các thông số của mạch cũng được đặc trưng một cách khác. Ví dụ như ở đây có hiện tượng xuất hiện sóng đứng của dòng

điện và điện áp trên đường dây truyền và trở kháng vào của một đoạn mạch là đại lượng thay đổi theo tần số. Các phương pháp đo các thông số cũng khác, mà cơ sở của nó là lý thuyết truyền sóng trên đường dây (dây đồng trục, ống dẫn sóng).

Để biểu thị tính chất và mức độ phối hợp trở kháng của đường dây truyền sóng hai thông số thường được dùng nhiều hơn cả là: hệ số phản xạ (gamma hoa) và hệ số sóng đứng SWR (**standing wave ratio**).

+ Hệ số phản xạ là tỷ số của điện áp phản xạ (tức điện áp của sóng phản xạ  $V_r$ ) và điện áp tới (tức điện áp của sóng tới  $V_i$ ) tại tải:

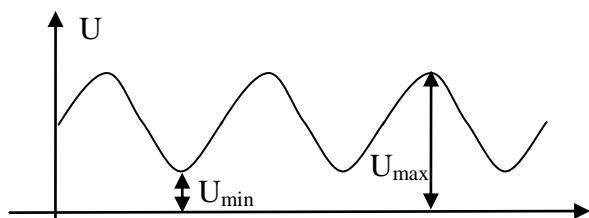
$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i}$$

Nói chung  $\Gamma$  là một số phức, đúng ra phải gọi là “hệ số phản xạ điện áp tại tải”, để phân biệt với hệ số phản xạ dòng điện, và để lưu ý là hệ số phản xạ thay đổi theo vị trí trên đường dây truyền.

Hệ số phản xạ khi được tính theo trị số trở kháng của tải  $Z_t$  và trở kháng đặc tính của đường dây truyền sóng  $Z_0$  thì công thức như sau:

$$\Gamma = \frac{Z_t - Z_0}{Z_t + Z_0}$$

Với  $w = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \frac{U_{\min}}{I_{\min}}$



– Ví dụ phân bố điện áp trên đường dây truyền sóng



Như vậy, hệ số phản xạ có thể dùng để biểu thị chế độ công tác của đường dây truyền sóng. Song trong thực tế đo lường thì việc xác định trị số phản xạ thường phức tạp hơn vì cần phải đo được riêng rẽ môđun của điện áp sóng tới và của điện áp sóng phản xạ. Nên có một thông số thường còn được dùng hơn là hệ số sóng đứng, ký hiệu là SWR. Hệ số sóng đứng là tỷ số điện áp tại điểm cực đại  $U_{\max}$  và điện áp tại điểm cực tiểu  $U_{\min}$  trên đường dây:

$$\text{SWR} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

Quan hệ giữa hệ số phản xạ và hệ số sóng đứng là:

$$\text{SWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\text{hay: } |\Gamma| = \frac{\text{SWR} - 1}{\text{SWR} + 1}$$

Về phương pháp đo, khi đo hệ số sóng đứng, và đo môđun của hệ số phản xạ, thì cần phải hoặc là đo biên độ điện áp tại các điểm cực đại và cực tiểu hoặc đo riêng rẽ được biên độ của điện áp sóng tới và của sóng phản xạ. Muốn đo trở kháng thì còn phải xác định được thêm vị trí điện trường cực tiểu, hay xác định được góc lệch pha giữa sóng tới và sóng phản xạ. Vì vậy, các thiết bị dùng để đo các thông số này có thể phân chia thành các loại sau:

+ Loại thiết bị dùng để đo được tỷ số điện áp tại điểm có điện trường cực đại và cực tiểu, hay xác định vị trí của điện trường cực tiểu (hay cực đại) tính từ một điểm cuối nào đó... Các thiết bị này ví dụ như các loại dây đo, loại dây đo có đầu đo di động được, và loại dây đo có đầu đo đặt cố định có thêm bộ biến đổi pha hay bộ nối tắt biến đổi được.

+ Loại thiết bị đo thứ hai là loại dùng để đo được tỷ số biên độ của điện áp sóng tới và sóng phản xạ. Các thiết bị của loại này ví dụ như phản xạ mét cấu tạo bằng các bộ phân mạch định hướng.

+ Loại thiết bị đo thứ ba là các loại cầu đo bằng dây đồng trục hay ống dẫn sóng, dùng để đo trở kháng. Các cầu này dùng phương pháp đo so sánh trở kháng cần đo với trở kháng mẫu.

## 9.2 ĐO TRỞ KHÁNG CỦA MẠCH VÀ LINH KIỆN ĐIỆN TỬ

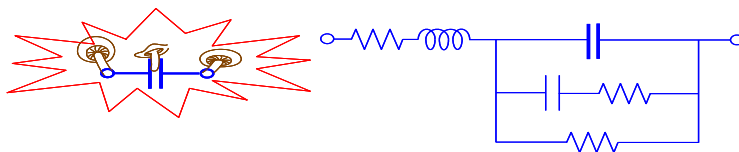
### 9.2.1 Sai số của phép đo trở kháng

Phép đo trở kháng thường có sai số khá lớn, và thường có sự khác nhau khá đáng kể giữa các kết quả đo cùng một đối tượng với các máy đo khác nhau. Nguyên nhân chính xảy ra sự không đồng nhất này là:

- Thanh phần ký sinh.
- Mô hình giá trị tham số của linh kiện.
- Các yếu tố ảnh hưởng đến giá trị đo.
- Sai số của kỹ thuật đo.
- Mô hình mạch.

#### a. Thành phần ký sinh

Các thuộc tính cơ bản của phần tử R, L, C thường được biểu diễn bởi giá trị danh định của chúng trong điều kiện tiêu chuẩn hay điều kiện cụ thể nào đó. Tuy nhiên tất cả các phần tử của mạch thường có tham số và đáp ứng không lý tưởng, chúng có các tham số ký sinh: Điện trở có điện cảm ký sinh, Tụ điện có điện trở ký sinh, Cuộn cảm có điện dung ký sinh,... Do có các tham số ký sinh nên một phần tử giống như một mạch phức tạp. Ví dụ sơ đồ tương đương của tụ điện như 0.



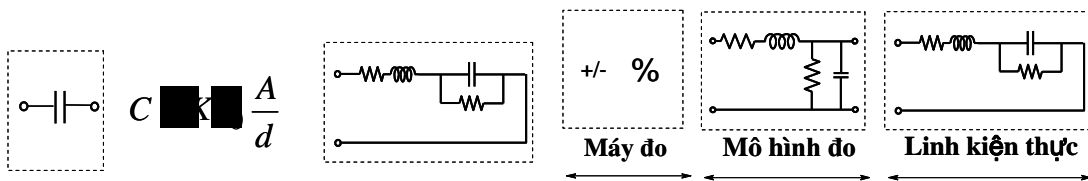
– Tụ điện và sơ đồ tương đương của nó

Do các tham số ký sinh ảnh hưởng đến đặc tính của các phần tử, giá trị của các tham số R, L, C, D, Q và các tham số trở kháng khác liên quan khác phụ thuộc vào điều kiện hoạt động của các phần tử. Những sự phụ thuộc này sẽ được trình bày trong các phần sau.

**b. Các mô hình giá trị tham số của linh kiện**

Khi xác định tham số trở kháng của một phần tử (điện trở, tụ điện, hay cuộn cảm) cần phải hiểu rõ giá trị được xác định trong thực tế. Có 3 loại giá trị tham số của linh kiện: Giá trị lý tưởng, Giá trị thực, Giá trị được đo.

- **Giá trị lý tưởng:** là giá trị tham số của linh kiện không tính đến ảnh hưởng của các tham số ký sinh. Mô hình của các phần tử là các phần tử thụ động lý tưởng, tham số thuần không phụ thuộc vào tần số. Trong trường hợp này, giá trị lý tưởng có thể được xác định bằng các quan hệ toán học liên quan đến cấu trúc vật lý của linh kiện, ví dụ mô hình lý tưởng của tụ điện như 0-a. Mô hình lý tưởng chủ yếu được dùng trong môi trường học thuật.



(a)-Giá trị lý tưởng      (b)-Giá trị thực      (c)-Giá trị đo được

– Các loại mô hình giá trị tham số của linh kiện

- **Giá trị thực (còn gọi là giá trị hiệu dụng):** Mô hình giá trị tham số của kiện tính đến cả những ảnh hưởng của các tham số ký sinh, ví dụ mô hình tham số thực của tụ điện như 0-b. Giá trị thực là tổng đại số các vector điện trở và phản kháng của phần tử, do đó nó phụ thuộc vào tần số.

- **Giá trị đo được:** là giá trị được xác định và được hiện thị bởi máy đo, ví dụ như 0-c, nó phản ánh sự không chính xác và tổn hao liên quan đến máy đo. Giá trị đo luôn có sai số khi so sánh với giá trị thực và giá trị lý tưởng, và nó cũng khác nhau với máy đo khác nhau. Sự sai khác này phụ thuộc vào nhiều yếu tố.

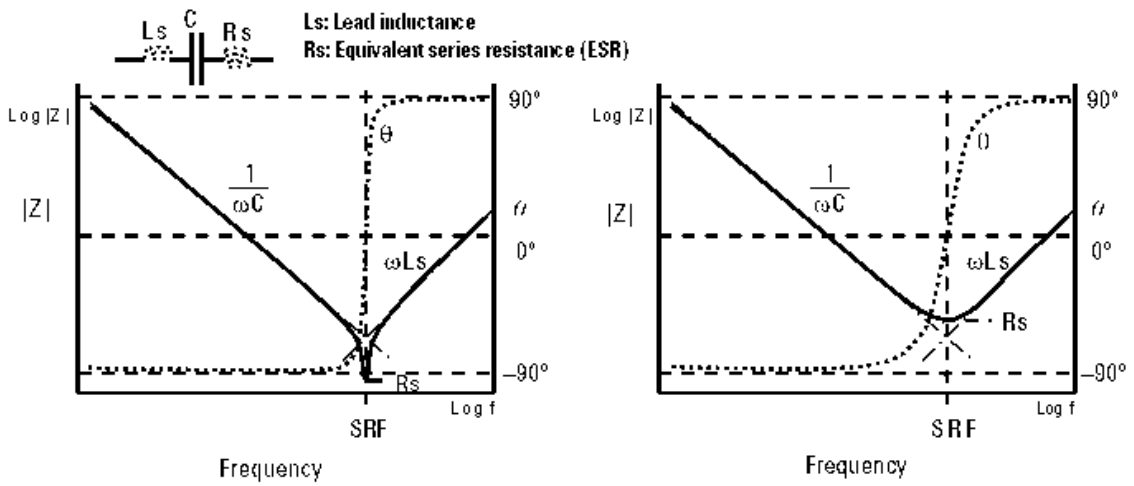
***c. Các yếu tố ảnh hưởng đến giá trị đo trở kháng linh kiện và mạch điện tử***

Giá trị trở kháng đo được của mỗi linh kiện hay mạch điện tử phụ thuộc vào một số điều kiện đo như tần số và mức tín hiệu thử. Ảnh hưởng của những yếu tố phụ phụ thuộc phần tử này khác nhau đối với các loại vật liệu được sử dụng cho linh kiện. Những yếu tố đó như sau:

**+ Tần số tín hiệu thử**

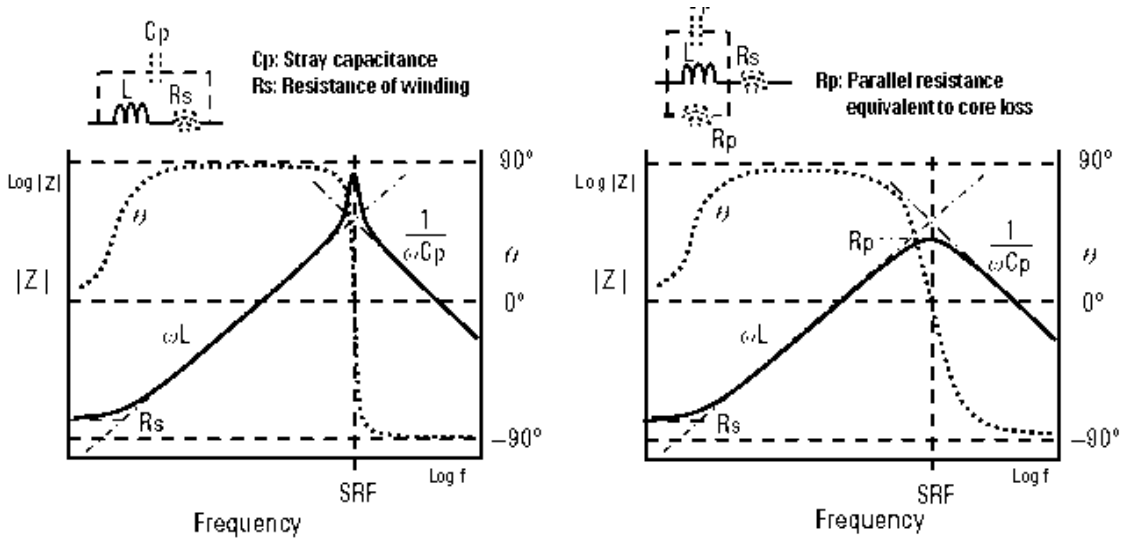
Tần số tín hiệu thử ảnh hưởng đến tham số của linh kiện do có các tham số ký sinh. Không phải tất cả các tham số ký sinh đều ảnh hưởng đến kết quả đo, nhưng một số tham số ký sinh chủ yếu lại ảnh hưởng đến đặc tính tần số của linh kiện. Các tham số ký sinh đó sẽ khác nhau khi giá trị trở kháng của phần tử ban đầu khác nhau. Các 0 đến 0 biểu diễn đáp ứng tần số điển hình của tụ điện, cuộn cảm, điện trở thực tế.

Với tụ điện, điện cảm ký sinh là nguyên nhân chính dẫn đến đáp ứng tần số có dạng như 0. Tại tần số tự cộng hưởng SRF dung kháng của tụ C và cảm kháng của điện cảm ký sinh nối tiếp  $L_s$  bằng nhau, đáp pha của tụ điện là  $0^0$ , ở dải tần lớn hơn tần số này đáp ứng pha của tụ điện là  $90^0$ , điện cảm ký sinh lại chiếm ưu thế và trở kháng của tụ điện lại có tính chất cảm kháng.



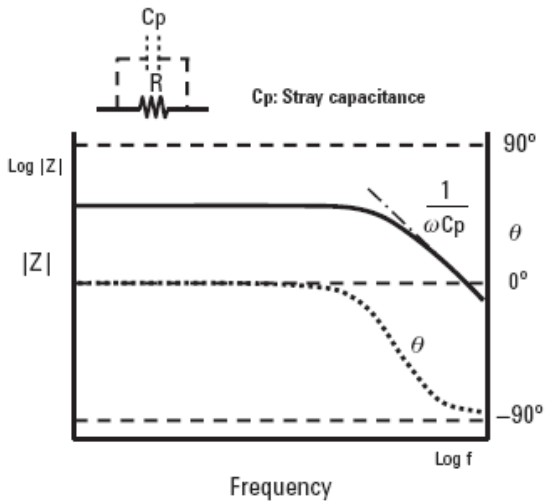
(a)- Tụ điện thông thường (b)- Tụ điện có điện trở ký sinh nối tiếp lớn

– Đáp ứng tần số của Tụ điện

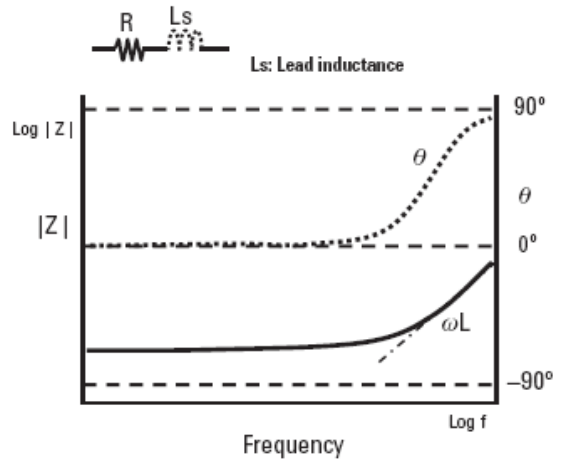


(a)- Cuộn cảm thông thường (b)- Cuộn cảm có tổn hao lõi lớn

– Đáp ứng tần số của Cuộn cảm



(a)- Điện trở có trị số lớn

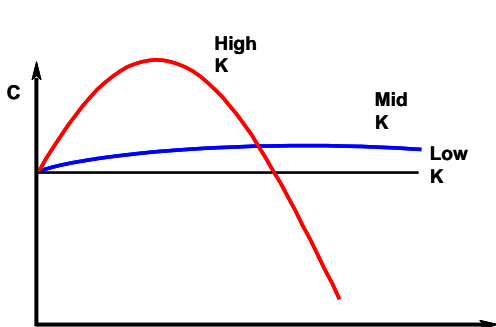


(b)- Điện trở có trị số nhỏ

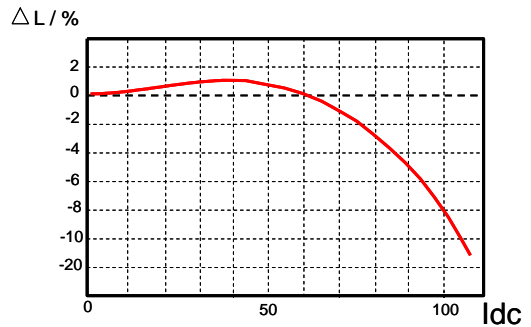
– Đáp ứng tần số của điện trở

+ **Mức tín hiệu thử**

Tín hiệu thử xoay chiều (AC) có thể ảnh hưởng đến kết quả đo của một số linh kiện. Ví dụ kết quả đo tụ điện ceramic phụ thuộc vào mức điện áp thử có dạng như 0-a. Sự phụ thuộc này cũng thay đổi theo hằng số điện môi K của vật liệu. Trị số điện cảm của cuộn cảm có lõi cũng phụ thuộc vào mức dòng điện thử do hiện tượng điện từ trễ của vật liệu chế tạo lõi. Sự phụ thuộc này được minh họa như 0-b.



(a)



(b)

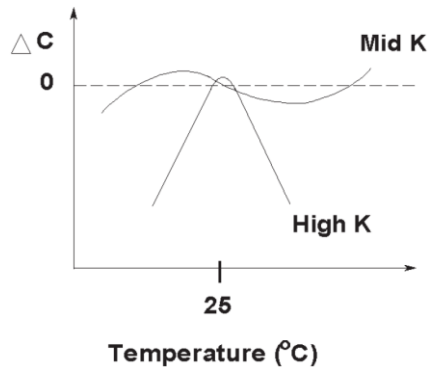
– Điện dung và điện cảm phụ thuộc và mức tín hiệu thử

### + Điện áp định thiên DC

Điện áp định thiên DC của tín hiệu thử ảnh hưởng rất phổ biến đến các linh kiện tích cực như Điốt, BJT, FET,... Các loại linh kiện như tụ điện Ceramic có hằng số điện môi cao cũng phụ thuộc vào thành phần một chiều DC của điện áp thử. Cuộn cảm loại có lõi cũng có trị số điện cảm phụ thuộc vào thành phần một chiều DC của dòng điện thử, do đặc tính bão hoà từ của vật liệu lõi.

### + Nhiệt độ

Hầu hết trị số của các linh kiện đều phụ thuộc vào nhiệt độ. Hệ số nhiệt là một tham số quan trọng của điện trở, tụ điện, cuộn cảm.  $\alpha$  là độ thị biểu diễn sự thay đổi của điện dung với hằng số điện môi khác nhau theo nhiệt độ.



### – Điện dung phụ thuộc nhiệt độ

### + Các yếu tố khác

Một số yếu tố môi trường vật lý và điện khác cũng ảnh hưởng đến kết quả đo trở kháng của linh kiện như: độ ẩm, trường điện từ trường ngoài, ánh sáng, áp suất, thời gian,...

## 9.2.2. Mô hình mạch tương đương của các linh kiện

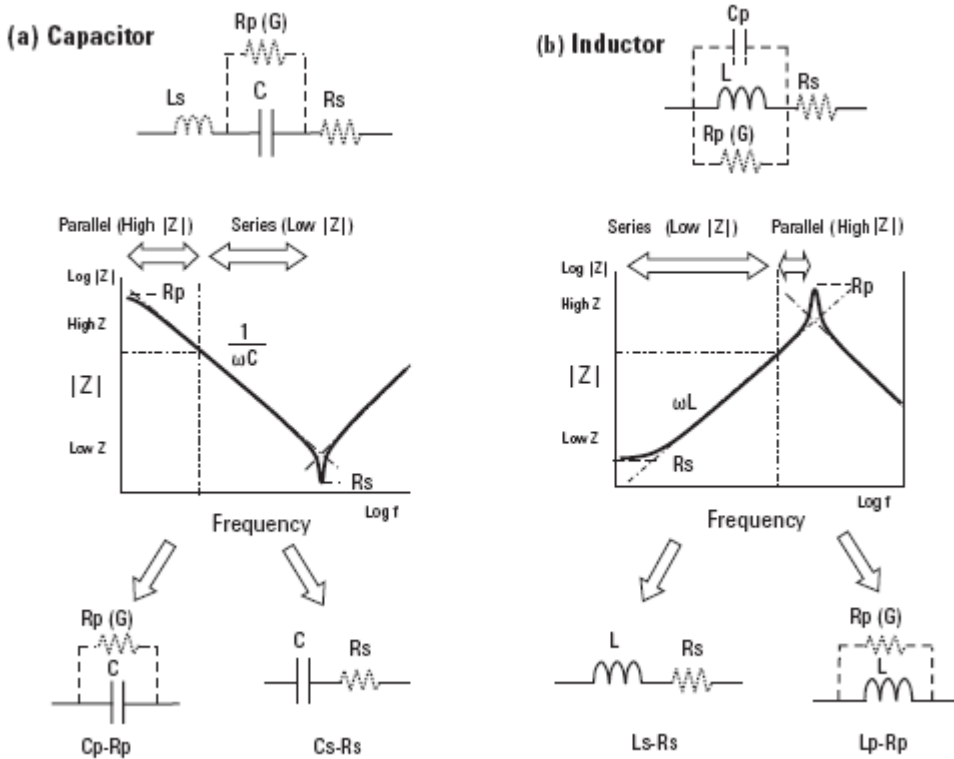
Mặc dù mô hình mạch tương đương của các linh kiện có các tham số ký sinh khá phức tạp, nó có thể được rút gọn bằng mô hình mạch song song hoặc nối tiếp đơn giản, trở kháng tương đương được biểu diễn thành phần thực (điện trở tương đương) và

thành phần ảo (điện kháng tương đương). Ví dụ trong 0-a biểu diễn mô hình tương đương tổng quát của tụ điện gồm: Điện dung  $C$ , các tham số ký sinh như điện trở nối tiếp  $R_s$ , điện cảm nối tiếp  $L_s$ , điện trở song song  $R_p$ . Khảo sát đặc tuyến tần số của tụ điện này, khi tụ làm việc ở vùng tần số thấp hơn nhiều tần số tự cộng hưởng SRF, có thể bỏ qua thành phần điện cảm ký sinh  $L_s$ . Trong dải tần thấp này tụ điện  $C$  có dung kháng lớn, điện trở ký sinh song song  $R_p$  càng có ảnh hưởng lớn, còn điện trở ký sinh nối tiếp  $R_s$  không đáng kể có thể bỏ qua. Như vậy có thể thay thế sơ đồ mạch tương đương tổng quát của tụ bằng mạch tương đương song song gồm có  $C$  và  $R_p$ . Còn ở tần số cao thì dung kháng của tụ điện  $C$  nhỏ, nên có thể bỏ qua  $R_p$  và điện trở  $R_s$  là khá đáng kể. Như vậy có thể thay thế sơ đồ tương đương tổng quát của tụ bằng sơ đồ tương đương nối tiếp gồm  $C$  và  $R_s$ .

Tóm lại tụ điện làm việc ở tần số thấp có thể thay thế bằng sơ đồ tương đương song song, còn tụ điện làm việc ở tần số cao thì thay thế bằng sơ đồ tương đương nối tiếp.

Phân tích tương tự với cuộn cảm có sơ đồ tương đương tổng quát như 0-b, với cuộn cảm làm việc ở tần số thấp có thể thay thế bằng sơ đồ tương đương nối tiếp, còn cuộn cảm làm việc ở tần số cao thì thay thế bằng sơ đồ tương đương song song.



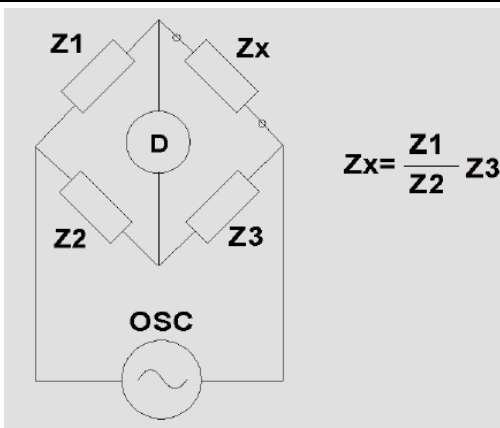


– Mô hình mạch tương đương của linh kiện

### 9.2.3. Tổng quan các phương pháp đo trở kháng

Có nhiều phương pháp đo trở kháng của mạch và linh kiện điện tử. Mỗi phương pháp có những ưu nhược điểm riêng. Không có một phương pháp đo nào đáp ứng được tất cả các khả năng và yêu cầu đo. Do đó tùy theo dải tần, dải trình đo, các yêu cầu và điều kiện đo mà lựa chọn các phương pháp đo phù hợp. Trong phần này sẽ giới thiệu tổng quan các phương pháp đo và nêu ra những ưu và nhược điểm của chúng.

## 1. Phương pháp cầu 4 nhánh cân bằng



- Sử dụng cầu 4 nhánh cân bằng như hình vẽ bên. Trong đó trở kháng cần đo  $Z_x$  được mắc vào một nhánh cầu, 3 nhánh cầu còn lại mắc các trở kháng mẫu  $Z_1, Z_2, Z_3$ .

- Nguồn tín hiệu hình sin OSC được điều chỉnh ở tần số làm việc của  $Z_x$ .

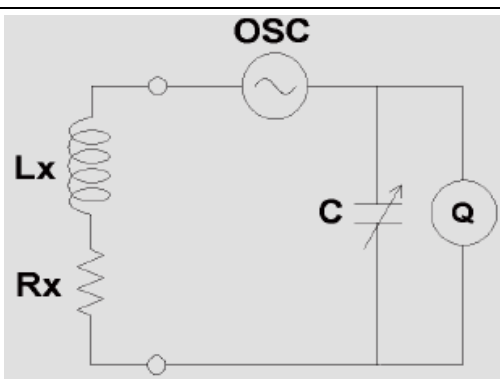
- Thiết bị chỉ thị cân bằng D (có thể sử dụng điện kế, Vôn met, Ampe mét, Ô-xi-lô, Tai nghe... Khi D chỉ thị 0 nghĩa là không có dòng qua D thì cầu đạt trạng thái cân bằng.

- Điều chỉnh một hoặc một số trở kháng mẫu để cầu cân bằng, khi đó  $Z_x$  được tính theo tham số của các trở kháng mẫu dựa vào điều kiện cầu cân bằng:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_x \cdot Z_2$$

$$\Rightarrow Z_x = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot Z_3$$

## 2. Phương pháp cộng hưởng



- Ứng dụng nguyên lý cộng hưởng của mạch LC. Nguyên lý đo này thường được sử dụng để xác định hệ số phẩm chất Q.

- Mắc nối tiếp trở kháng cần đo với trở kháng mẫu. Sử dụng trở kháng

mẫu (điện dung hoặc điện cảm mẫu) có tính chất ngược với trở kháng cần đo. Ví dụ Trở kháng cần đo  $Z_x$  có tính chất cảm kháng và mô hình tương đương nối tiếp ( $L_x$  và  $R_x$ ) thì sơ đồ nguyên lý mạch đo như hình bên và tụ điện mẫu  $C$  được sử dụng.

- Nguồn tín hiệu hình sin OSC có biên độ  $E$  không đổi và thường được điều chỉnh tại tần số làm việc của  $Z_x$ .

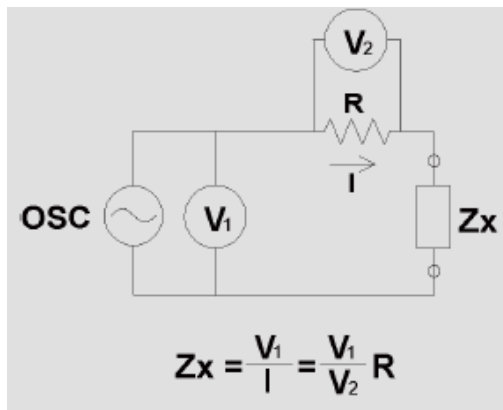
- Sử dụng Vôn met  $Q$  (đo trị số hiệu dụng hoặc đỉnh) để đo điện áp trên  $C$ . Có thể khắc độ thang đo  $Q$  trên vôn met này.

- Khi đo điều chỉnh tụ điện mẫu  $C$  để mạch chỉ thị trên  $Q$  lớn nhất, khi đó mạch cộng hưởng:

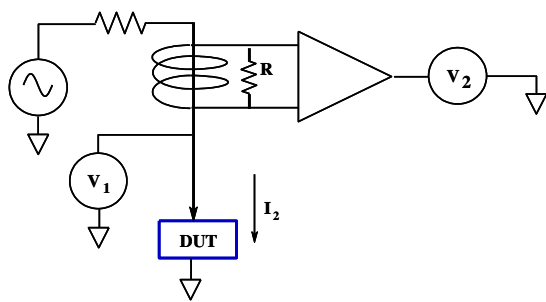
$$X_c \cdot \frac{U_c}{I_c} = \frac{R_x \cdot U_c}{E}$$

$$Q_x = \frac{|X_L|}{R_x} = \frac{|X_C|}{R_x} = \frac{U_c}{E}$$

### 3. Phương pháp I-V tần thấp



- Thường sử dụng đầu rò dòng



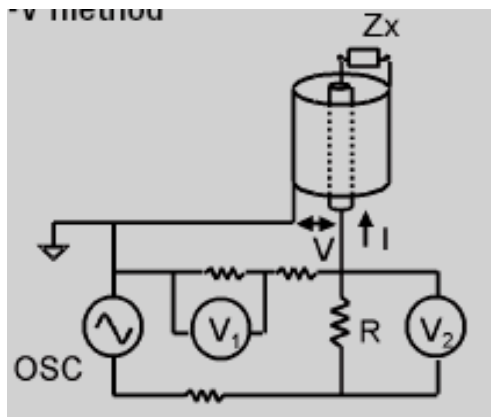
- Trở kháng cần đo  $Z_x$  có thể được xác định từ giá trị điện áp và dòng điện qua nó. Trong đó dòng điện có thể được tính thông qua đo điện áp trên điện trở  $R$  mắc nối tiếp với  $Z_x$ .

$$Z_x = \frac{V_1}{I} = \frac{V_1}{V_2} \cdot R$$

- Thang đo điện trở trong đồng hồ vạn năng là một ứng dụng của phương pháp này, với  $V_1 = \text{const}$ , dùng Ampe met để đo dòng.

### 4. Phương pháp FR I-V

Sơ đồ đo trở kháng thấp

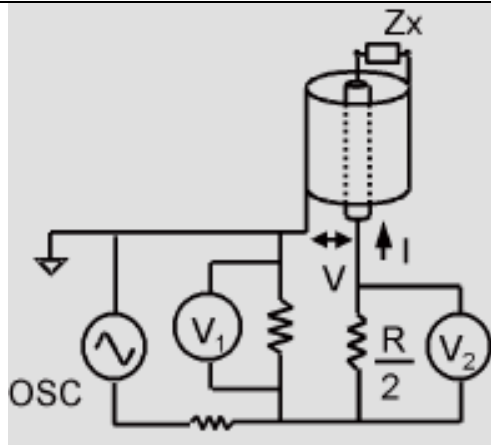


Sơ đồ đo trở kháng cao

- Phương pháp đo này có cùng nguyên tắc với phương pháp I-V ở trên, nhưng cấu hình mạch đo khác nhau nhờ sử dụng mạch đo được phối hợp trở kháng (50Ω) và công đo nối với cáp đồng trục độ chính xác cao. Có hai cách mắc Vôn mét và Ampe mét khác nhau để phù hợp với phép đo trở kháng thấp và trở kháng cao.

- Nguồn tín hiệu hình sin OSC điều chỉnh ở tần số radio.

- Dòng điện qua  $Z_x$  được xác định



thông qua đo điện áp trên điện trở R xác định. Trong thực tế biến áp cao tần suy hao thấp được sử dụng để thay thế R. Tuy nhiên nhược điểm của biến áp là suy hao lớn ở đoạn tần thấp.

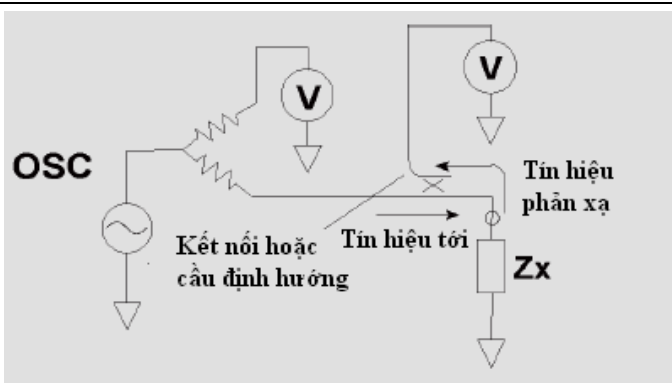
+ Theo sơ đồ đo trở kháng thấp:

$$Z_x = \frac{V}{I} = \frac{2R}{\frac{V_2}{V_1}}$$

+ Theo sơ đồ đo trở kháng cao:

$$Z_x = \frac{V}{I} = \frac{R}{2} \left| \frac{V_1}{V_2} \right|$$

### 5. Phương pháp phân tích mạch điện



- Phương pháp này chủ yếu dùng trong dải siêu cao tần.

- Hệ số phản xạ được là tỉ số giữa tín hiệu phản xạ và tín hiệu tới. Sử dụng kết nối hoặc cầu định hướng để thu tín hiệu phản xạ từ nguồn:

$$\Gamma = \frac{V_R}{V_{INC}} = \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0}$$

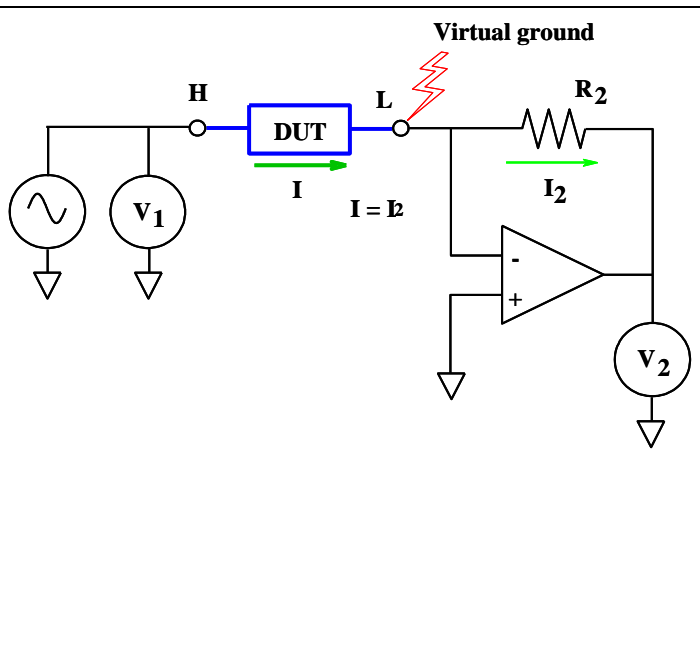
( $Z_0$ : trở kháng sóng của đường truyền)

- Bộ phân tích mạch điện vừa có nhiệm vụ tạo ra

tín hiệu truyền tới tải vừa có nhiệm vụ thu tín hiệu phản xạ cũng như tính toán và đo hệ số phản xạ.

- Phương pháp này còn được sử dụng để chế tạo máy đo phản xạ miền thời gian TDR

### 6. Phương pháp cầu tự cân bằng



- Sơ đồ mạch đo theo phương pháp này như hình vẽ. Trong đó sử dụng mạch Khuếch đại thuật toán làm phần tử tạo ra sự cân bằng giữa dòng I trên  $Z_x$  (DUT) và dòng  $I_2$  trên  $R_2$ .

$$V_2 = I_2 R_2$$

$$Z_{(DUT)} = \frac{V_1}{I_2} = \frac{V_1 R_2}{V_2}$$

Ngoài 6 phương pháp tổng quát kể trên, khi đo điện trở, tụ điện thuần còn có thể sử dụng phương pháp biến đổi thời gian – xung. Nguyên lý chung của phương pháp này là biến đổi các tham số mạch về các đại lượng như điện áp, tần số, thời gian... nhờ các khâu biến đổi thẳng hay tạo ra các đại lượng mẫu thay đổi theo quy luật nào đó, so sánh với các đại lượng cần đo trong các mạch biến đổi cân bằng, và các đại lượng đó được đo bằng phương pháp đếm xung và hiển thị số.

9.2.2. So sánh các phương pháp đo

Phương pháp	Ưu điểm	Nhược điểm	Dải tần ứng dụng	Ứng dụng đo lường
Phương pháp cầu 4 nhánh cân bằng	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Độ chính xác cao (0.1%).</li> <li>- Dải tần rộng nếu sử dụng nhiều loại cầu khác nhau.</li> <li>- Giá thành thấp.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cần phải điều chỉnh cầu cân bằng.</li> <li>- Dải tần hẹp nếu chỉ sử dụng một loại cầu.</li> </ul>	DC ■ 300MHz	Sử dụng cho các phòng thí nghiệm về chuẩn đo lường
Phương pháp cộng hưởng	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có độ chính xác cao cho phép đo <math>Q</math> cao và <math>D</math> nhỏ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phải điều chỉnh cộng hưởng.</li> <li>- Độ chính xác của phép đo trở kháng thấp</li> </ul>	10kHz ■ 100 kHz.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phép đo hệ số phẩm chất và Hệ số tổn hao của linh kiện</li> </ul>
Phương pháp I-V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dễ sử dụng.</li> <li>- Phép đo linh kiện đã được nối đất.</li> <li>- Phù hợp với nhu cầu đo kiểu sử</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dải tần bị giới hạn bởi biến áp sử dụng cho đầu rò dòng.</li> </ul>	10 kHz ■ 100 MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đo mạch và linh kiện có nối đất</li> </ul>

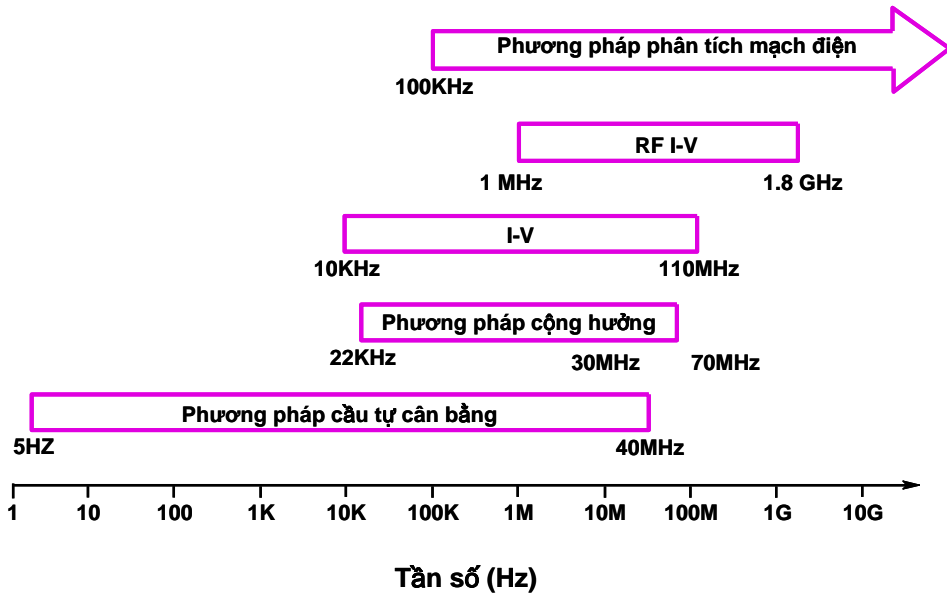
**Chương 9 – Đo tham số của mạch và linh kiện điện tử**

	dụng đầu rò dòng.			
Phương pháp RF I-V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Độ chính xác cao (1%)</li> <li>- Dải trình đo trở kháng rộng ở tần số cao.</li> </ul>	- Dải tần số làm việc bị giới hạn bởi các biến áp được sử dụng ở các đầu đo.	1Mhz ■ 3 GHz	- Đo các linh kiện ở dải RF và siêu cao tần
Phương pháp phân tích mạch điện	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dải tần đo cao</li> <li>- Độ chính xác cao khi trở kháng cần đo gần bằng với trở kháng đặc tính của đường truyền.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phải thực hiện quá trình điều chuẩn mỗi khi thực hiện phép đo.</li> <li>- Dải trình đo trở kháng nhỏ.</li> </ul>	Lớn hơn 300 kHz	- Đo các linh kiện ở dải RF và siêu cao tần
Phương pháp cầu tự cân bằng	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có độ chính xác cao nhất (0.05%),</li> <li>- Dải tần đo thấp</li> <li>- Dễ sử dụng</li> </ul>	- Không sử dụng ở tần số cao	20 Hz ■ 110MHz	- Thường được sử dụng cho các máy đo RLC, xác định các tham số <b>C, L, D, Q, R, X, G, B, Z,</b>

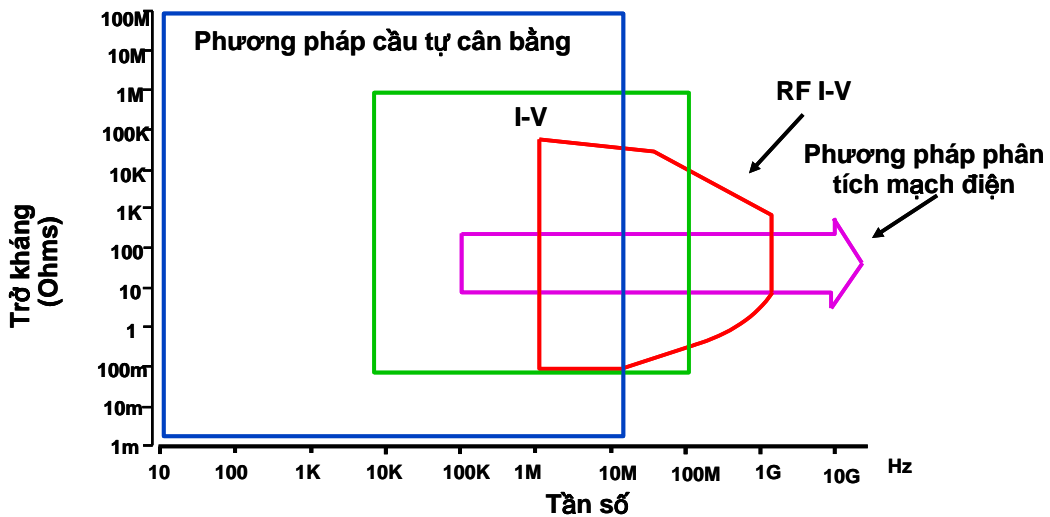


**Chương 9 – Đo tham số của mạch và linh kiện điện tử**

				Y,...
--	--	--	--	-------



– Phương pháp đo và dải tần ứng dụng



– Phương pháp đo và dải trình đo

Ví dụ máy đo của hãng Agilent (HP) theo các phương pháp đo khác nhau:

Phương pháp đo	Máy đo
Phương pháp cộng hưởng	HP 42851A Q Adapter ( with HP 4285A)

Phương pháp I-V	HP 41941A Impedance Probe HP 4193A Vector Impedance Meter
Phương pháp RF I-V	HP 4286A RF LCR Meter HP 4291A Impedance/Material Analyzer
Phương pháp phân tích mạch điện	HP 4195A Network/Spectrum Analyzer with HP 41951A Impedance Test Set HP 4396A Network/Spectrum Analyzer with HP 43961A Impedance Test Kit HP 8751A Network Analyzer HP 8752C/8753D RF Network Analyzers HP 8510B Network Analyzer HP 8719C/8720C Network Analyzers
Phương pháp cầu tự cân bằng	HP 4263A LCR Meter HP 427xA LCR Meters HP 4284A Precision LCR Meter HP 4285A Precision LCR Meter HP 4192A LF Impedance Analyzer HP 4194A Impedance/Gain-Phase Analyzer
TDR	HP 54121T Digitizing Oscilloscope and TDR HP 8752C/8753D RF Network Analyzers HP 8510B Network Analyzer HP 8719C/8720C Network Analyzers

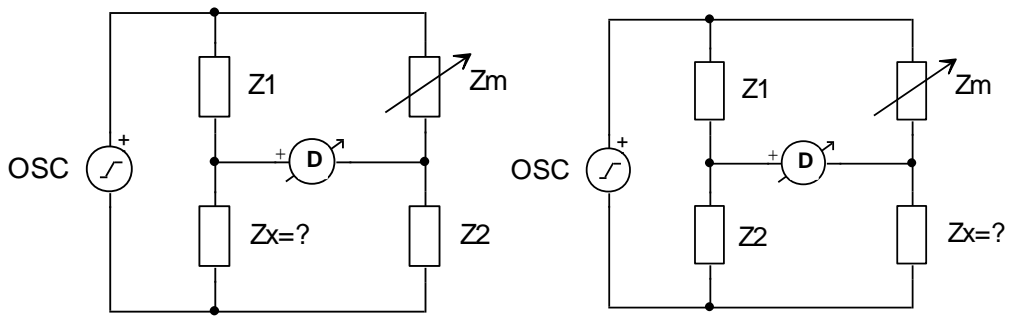
### 9.3. ỨNG DỤNG CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO TRỞ KHÁNG

Có thể sử dụng các phương pháp khác nhau để đo trở kháng của linh kiện hoặc mạch điện tử. Mỗi phương pháp có những ưu nhược điểm riêng và thường được ứng dụng đo khác nhau để phát huy những ưu điểm của chúng. Với các phương pháp này có ứng dụng để chế tạo các máy đo trở kháng (máy đo RLC, hay máy phân tích trở kháng,...) Ngoại trừ phương pháp cầu 4 nhánh cân bằng, các phương pháp còn lại đều có thể xây dựng các máy đo trở kháng hiển thị số nhờ sử dụng các loại Vôn mét số.

#### 9.3.1. Phương pháp cầu 4 nhánh cân bằng

Phương pháp cầu 4 nhánh cân bằng được sử dụng rộng rãi trong để đo điện trở, điện cảm, điện dung, góc tổn hao của tụ, hệ số phẩm chất của cuộn cảm. Nguyên lý chung của cầu 4 nhánh là mỗi nhánh cầu có thể mắc hỗn hợp các điện trở, điện dung, điện cảm hay chỉ một loại ...,  $Z_x$  cần đo thường được mắc ở một nhánh và điều chỉnh tham số ở các nhánh cầu còn lại để mạch cân bằng, thông thường người ta chỉ điều chỉnh tham số của một nhánh cầu  $Z_m$ , 2 nhánh còn lại giữ không đổi. Như vậy có thể có 2 loại cầu đo là cầu tỷ số và cầu tích số.

Yêu cầu nguồn cung cấp OSC cho mạch cầu đo phải là điện áp điều hoà vì điều kiện cân bằng chỉ thực hiện với một trị số tần số đã được xác định, thông thường sử dụng thêm bộ khuếch đại chọn lọc tần số ở mạch chỉ thị để làm giảm ảnh hưởng của các thành phần hài và tăng độ chính xác của phép đo. Ngoài ra cũng phải kể đến ảnh hưởng do hiện tượng ghép tạp tán giữa các linh kiện, phải dùng các phần tử có kích thước bé và có bọc kim.



(a) – Cầu tích số

(b) – Cầu tỉ số

– Cầu đo 4 nhánh cân bằng

+ Cầu tích số (0-a)

Với cầu tích số  $Z_m$  mắc ở nhánh cầu đối xứng với  $Z_x$ , điều chỉnh trở kháng  $Z_m$  (thường có khắc độ) để cầu cân bằng, khi đó điện kế D chỉ 0.

- Điều kiện cân bằng cầu là:

$$Z_1 \cdot Z_2 = Z_m \cdot Z_x$$

$$\Leftrightarrow |Z_1| \cdot \exp(j\varphi_1) \cdot |Z_2| \cdot \exp(j\varphi_2) = |Z_m| \cdot \exp(j\varphi_m) \cdot |Z_x| \cdot \exp(j\varphi_x)$$

$$\Leftrightarrow |Z_1| \cdot |Z_2| \cdot \exp(j(\varphi_1 + \varphi_2)) = |Z_m| \cdot |Z_x| \cdot \exp(j(\varphi_m + \varphi_x))$$

$\Rightarrow |Z_1| \cdot |Z_2| = |Z_m| \cdot |Z_x|$  - Điều kiện cân bằng biên độ.

$\Rightarrow \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_m + \varphi_x$  - Điều kiện cân bằng pha.

Vậy phải điều chỉnh đồng thời cân bằng pha và cân bằng biên độ. Thông thường  $Z_1$  và  $Z_2$  là các điện trở thuần có trị số cố định nên  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ , do đó  $\varphi_m + \varphi_x = 0 \Rightarrow \varphi_m = -\varphi_x$ . Nếu  $Z_m$  và  $Z_x$  là 2 điện kháng thì chúng phải khác tính chất để đảm bảo cân bằng pha. Thường chọn biểu thức  $Z_m$  đồng dạng với biểu thức của  $Y_x$  hoặc biểu thức  $Y_m$  đồng dạng với biểu thức của  $Z_x$ .

+ Cầu tỉ số (0-b).

Với cầu tỉ số  $Z_m$  mắc ở nhánh cầu kề với  $Z_x$ , điều chỉnh trở kháng  $Z_m$  (thường có khắc độ) để cầu cân bằng, khi đó điện kế D chỉ 0.

- Điều kiện cân bằng cầu là:

$$Z_1 \cdot Z_x = Z_2 \cdot Z_m$$

$$\Leftrightarrow |Z_1| \cdot |Z_x| \cdot \exp(j(\varphi_1 - \varphi_x)) = |Z_2| \cdot |Z_m| \cdot \exp(j(\varphi_2 - \varphi_m))$$

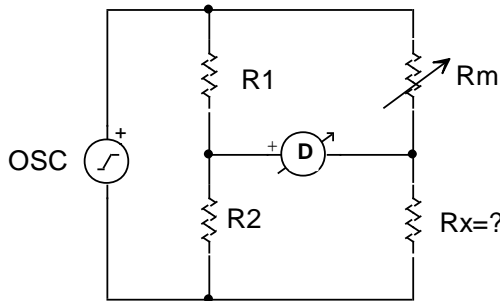
$\Rightarrow |Z_1| \cdot |Z_x| = |Z_2| \cdot |Z_m|$  - Điều kiện cân bằng biên độ.

$\Rightarrow \varphi_1 - \varphi_x = \varphi_2 - \varphi_m$  - Điều kiện cân bằng pha.

Vậy phải điều chỉnh đồng thời cân bằng pha và cân bằng biên độ. Thông thường  $Z_1$  và  $Z_2$  là các điện trở thuần có trị số cố định nên  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ , do đó  $\varphi_x = \varphi_m$ . Nếu  $Z_m$  và  $Z_x$  là 2 điện kháng thì chúng phải cùng tính chất để đảm bảo cân bằng pha. Thường chọn biểu thức  $Z_m$  đồng dạng với biểu thức của  $Z_x$  hoặc biểu thức  $Y_m$  đồng dạng với biểu thức của  $Y_x$ .

### a. Cầu đo điện trở

Để đo điện trở ta có thể dùng cầu tỷ số hoặc cầu tích số đều thuận lợi như nhau. Ví dụ sử dụng cầu tỷ số.



- Cầu đo điện trở (cầu Weatstone)

Khi cầu cân bằng ta có  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_m$

Vậy để điều chỉnh cầu cân bằng thay đổi tỷ số  $R_2/R_1$  và điều chỉnh  $R_m$  để cầu cân bằng.

Độ nhạy của cầu bằng tích độ nhạy của mạch cầu và độ nhạy của thiết bị chỉ thị. Độ nhạy của mạch cầu là tỷ số giữa sự thay đổi điện áp trên đường chéo chỉ thị và sự thay đổi điện trở nhánh  $R_x$ ,

có thể chứng minh được rằng mạch cầu có độ nhạy cực đại khi các điện trở tất cả các nhánh cầu bằng nhau.

Biểu thức xác định sai số tương đối của mạch cầu đo như sau:

$$\Delta \frac{R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4}$$

Sai số do hạn chế về độ nhạy của thiết bị chỉ thị tính bằng tỷ số giữa ngưỡng độ nhạy và độ nhạy của thiết bị chỉ thị.

Ngoài ra còn phải kể đến sai số lượng tử bằng 1 đơn vị đề các nhỏ nhất của thang khắc độ trên các hộp điện trở mẫu.

Phép đo điện trở dùng cầu có độ chính xác cao, các điện trở mẫu dùng trong các nhánh cầu thường được làm bằng manganin có hệ số nhiệt nhỏ, độ ổn định cao theo thời gian.

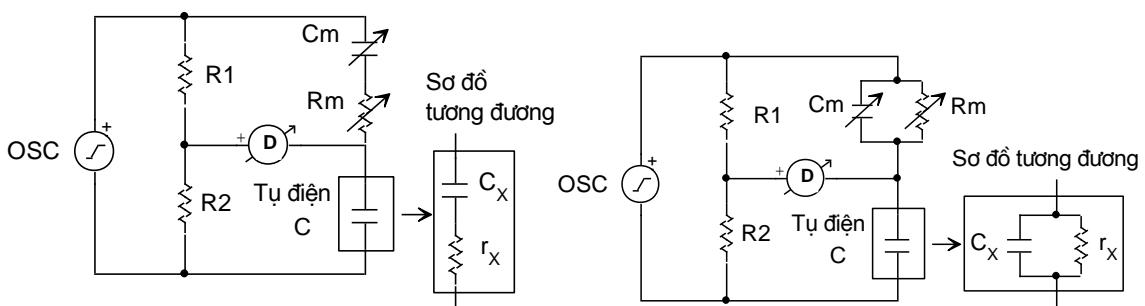
### b. Cầu đo điện dung

Tụ điện lý tưởng không tiêu thụ công suất, nhưng thực tế trong tụ có tổn hao công suất được đặc trưng bằng điện trở tổn hao  $r_x$ .

- Với tụ điện làm việc ở tần số cao sử dụng sơ đồ tương đương nối tiếp (tụ điện lý tưởng  $C_x$  mắc nối tiếp với điện trở tổn hao  $r_x$ ).

- Với tụ điện tổn làm việc ở tần số thấp sử dụng sơ đồ tương đương song song (tụ điện lý tưởng  $C_x$  mắc song song với điện trở tổn hao  $r_x$ ).

Thường sử dụng tụ điện mẫu do đó để đo điện dung ta dùng cầu tỷ số là thuận lợi hơn cả. Do sử dụng cách mắc  $Z_m$  như sơ đồ tương đương của tụ điện.

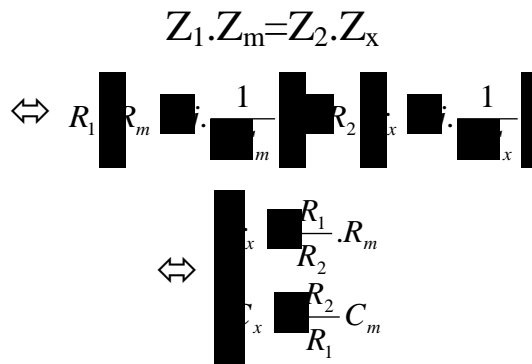


(a) – Cầu đo tụ điện ở tần số cao  
tần số thấp

(b)- Cầu đo tụ điện ở

– Cầu tỉ số đo điện dung

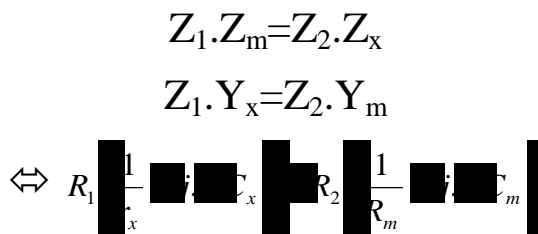
+ **Cầu đo tụ điện ở tần số cao:** Mắc sơ đồ đo như 0-a. Sử dụng  $C_m$  và  $R_m$  là các điện dung và điện trở thuần điều chỉnh được, và có khắc độ và mắc nối tiếp với nhau. Ban đầu điều chỉnh  $R_m$  để  $D$  chỉ nhỏ nhất, sau đó điều chỉnh  $C_m$  để  $D$  chỉ thị 0, khi đó cầu cân bằng:

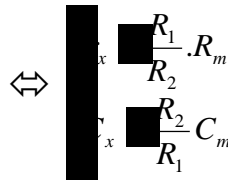


Hệ số tổn hao của tụ ở tần số cao:

$$D_m = \frac{P_{th}}{P_{pk}} = g \frac{r_x}{|X_C|} = r_x \cdot R_m$$

+ **Cầu đo tụ điện ở tần số thấp:** Mắc sơ đồ đo như 0-b. Sử dụng  $C_m$  và  $R_m$  là các điện dung và điện trở thuần điều chỉnh được và có khắc độ và mắc song song với nhau. Ban đầu điều chỉnh  $R_m$  để  $D$  chỉ nhỏ nhất, sau đó điều chỉnh  $C_m$  để  $D$  chỉ thị 0, khi đó cầu cân bằng:





Hệ số tổn hao của tụ ở tần số thấp:

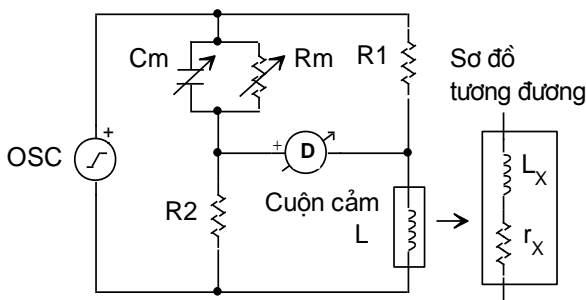
$$D_{//} = \frac{P_{th}}{P_{pk}} = g \frac{X_c}{r_x} = \frac{1}{r_x} \frac{1}{\omega C_m R_m}$$

### c. Cầu đo điện cảm

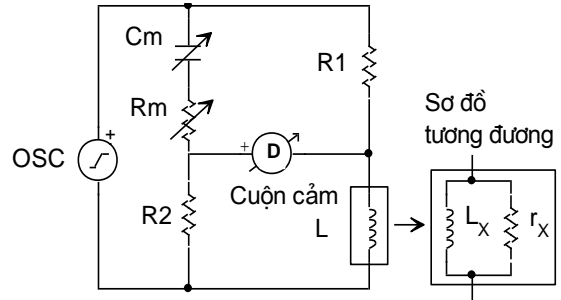
Cuộn cảm lý tưởng không tiêu thụ công suất, nhưng thực tế trong cuộn cảm có tổn hao công suất và được đặc trưng bằng điện trở tổn hao  $r_x$ . Các thông số của một cuộn cảm là điện cảm  $L_x$ , điện trở tổn hao  $r_x$  và hệ số phẩm chất của cuộn dây  $Q$ .

Để đo điện cảm ở tần số cao và để việc điều chỉnh thuận lợi người ta thường dùng các điện dung mẫu, muốn vậy ta phải mắc theo sơ đồ cầu tích số (Nếu dùng điện cảm mẫu để đo thì 2 cuộn cảm gây nhiễu ảnh hưởng đến nhau khó điều chỉnh cân bằng).

Khi tần số làm việc lớn coi sơ đồ tương đương cuộn cảm gồm  $L_x$  và  $r_x$  mắc song song còn (Cuộn cảm có tổn hao nhỏ), còn ở dải tần số thấp coi sơ đồ tương đương cuộn cảm gồm  $L_x$  và  $R_x$  mắc nối tiếp. (Cuộn cảm có tổn hao lớn).



(a) – Cầu Maxwell



(b) Cầu Hay

– Cầu tích số đo điện cảm

+ **Cầu đo cuộn cảm ở tần số thấp:** Mắc sơ đồ đo như 0-a. Sử dụng  $C_m$  và  $R_m$  là các điện dung và điện trở thuận điều chỉnh



được, và có khắc độ và mắc song song với nhau (biểu thức của  $Y_m$  và  $Z_x$  đồng dạng). Ban đầu điều chỉnh  $R_m$  để D chỉ nhỏ nhất, sau đó điều chỉnh  $C_m$  để D chỉ thị 0, khi đó cầu cân bằng:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

$$\Leftrightarrow Z_x = Z_1 \cdot Z_2 \cdot Y_m$$

$$r_x \parallel \frac{1}{R_m} \parallel \frac{R_1 R_2}{r_x} \parallel \frac{1}{R_m}$$

$$\Leftrightarrow \frac{r_x \parallel \frac{R_1 R_2}{r_x}}{R_m} \parallel R_1 R_2 C_m$$

Hệ số tổn hao của cuộn cảm có tổn hao nhỏ:

$$Q_{nt} = \frac{P_{pk}}{P_{th}} = \frac{X_L}{r_x} \parallel \frac{R_m}{r_x} \parallel R_m$$

+ **Cầu đo cuộn cảm ở tần số cao:** Mắc sơ đồ đo như 0-b.

Sử dụng  $C_m$  và  $R_m$  là các điện dung và điện trở thuần điều chỉnh được, và có khắc độ và mắc nối tiếp với nhau (biểu thức của  $Z_m$  và  $Z_x$  đồng dạng). Ban đầu điều chỉnh  $R_m$  để D chỉ nhỏ nhất, sau đó điều chỉnh  $C_m$  để D chỉ thị 0, khi đó cầu cân bằng:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

$$\Leftrightarrow Z_m = Z_1 \cdot Z_2 \cdot Y_x$$

$$R_m \parallel \frac{1}{R_m} \parallel \frac{R_1 R_2}{r_x} \parallel \frac{1}{r_x} \parallel \frac{1}{R_m}$$

$$\Leftrightarrow \frac{r_x \parallel \frac{R_1 R_2}{r_x}}{R_m} \parallel R_1 R_2 C_m$$

Hệ số tổn hao của cuộn cảm có tổn hao lớn:

$$Q_{//} = \frac{P_{pk}}{P_{th}} = \frac{r_x}{X_L} \parallel \frac{r_x}{r_x} \parallel \frac{1}{R_m}$$

Các sơ đồ cầu đo điện trở, tụ điện có thể sử dụng để đo trở điện trở, điện dung của các đôi dây trong cáp điện thoại, hay cáp điện lực.

### **9.3.2. Phương pháp cộng hưởng**

Nguyên lý của phương pháp đo thông số mạch điện bằng phương pháp cộng hưởng là lợi dụng hiện tượng cộng hưởng của mạch dao động, phương pháp này có độ chính xác khá cao và dùng được ở các dải tần sử dụng trong điện tử – viễn thông.

Các nguyên nhân chủ yếu gây sai số của phương pháp này là sự không chính xác vị trí điểm cộng hưởng của mạch điện; do sự không ổn định của tần số bộ tạo dao động; do ảnh hưởng các thông số điện kháng tạp tán của mạch đo, sai số của phương pháp này khoảng 25%.

So với phương pháp cầu, thì phương pháp cộng hưởng có ưu điểm là đo được trị số các thông số của phần tử cần đo tại tần số công tác của phần tử đó, có thể đo được các trị số rất nhỏ do tần số của nguồn đo cũng lớn tới hàng trăm MHz.

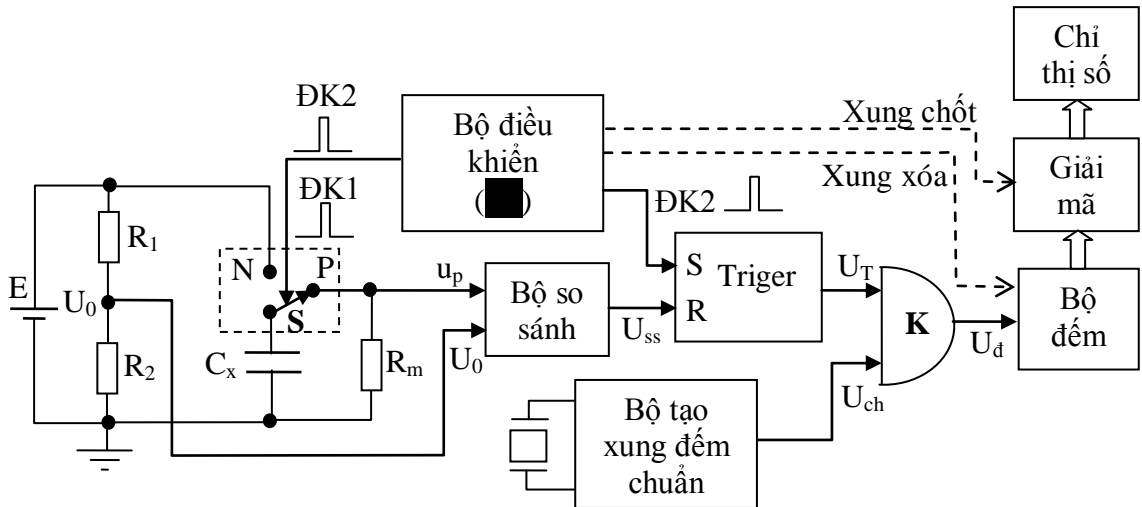
Phương pháp cộng hưởng thường được sử dụng để chế tạo máy đo hệ số phẩm chất Q với độ chính xác khá cao. Bên cạnh đó có thể sử dụng phương pháp này để đo điện dung, điện cảm và điện trở của linh kiện cũng như mạch điện. Sinh viên tự tìm hiểu các sơ đồ đo này.

### **9.3.3. Phương pháp cầu tự cân bằng**

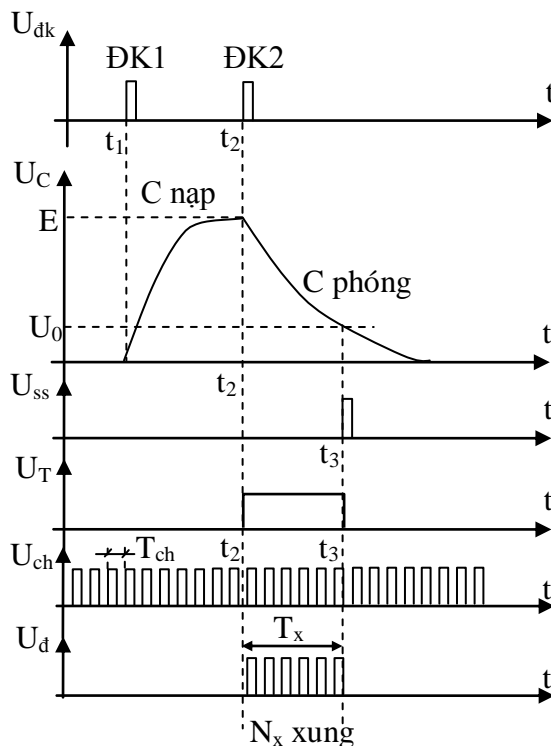
### **9.3.4. Phương pháp biến đổi thời gian - xung**

Phương pháp này được sử dụng khá phổ biến để xây dựng các thiết bị đo điện trở, điện dung hiển thị số. Ưu điểm của máy đo theo phương pháp này là dễ đọc kết quả đo, có độ chính xác khá

cao, tuy nhiên cấu tạo thiết bị đo phức tạp hơn. Sau đây ta sẽ xét một phương pháp đo điện trở và điện dung thông qua biến đổi thời gian – xung.



– Sơ đồ khối máy đo điện dung theo phương pháp thời gian - xung



– Giải đồ thời gian minh họa hoạt động của máy đo điện dung

Phương pháp biến đổi thời gian – xung này thực hiện điều khiển việc sử dụng nguồn mẫu việc nạp cho tụ điện mẫu  $C_m$  (nếu

đo điện trở) hay tụ điện cần đo  $C_x$  (nếu là đo điện dung) và phóng điện qua điện trở cần đo  $R_x$  hay điện trở mẫu  $R_m$ . Thời gian phóng của tụ sẽ tỉ lệ với điện dung và điện trở, đo thời khoảng thời gian này bằng phương pháp đếm xung.

Sơ đồ khối của máy đo điện dung  $C_x$  chỉ thị số dựa trên nguyên lý biến đổi thời gian – xung như 0 và giản đồ thời gian minh họa hoạt động như 0.

Nguyên lý hoạt động của máy đo như sau:

- Khi máy không hoạt động chuyển mạch điện tử S ở trạng thái mở,  $U_C=0V$ .

- Khi bắt đầu đo tại thời điểm  $t_1$  bộ điều khiển phát ra xung xoá bộ đếm và điều khiển ĐK1 đưa chuyển mạch S về vị trí nạp N, tụ cần đo  $C_x$  nhanh chóng được nạp tới điện áp của nguồn E.

- Đến thời điểm  $t_2$ , Bộ điều khiển phát ra xung ĐK2 đưa chuyển mạch về vị trí phóng P, tụ điện  $C_x$  phóng điện qua điện trở mẫu  $R_m$ , đồng thời xung ĐK2 cũng được đưa tới đầu vào S thiết lập Trigger lên trạng thái cao '1', lúc này khoá K mở, xung đếm chuẩn qua khoá kích thích bộ đếm.

- Điện áp trên tụ  $u_C$  giảm đến thời điểm  $t_3$  khi đó  $u_C(t_3) = U_0 \cdot e^{-\frac{R_2}{R_1} \frac{t}{RC}}$  thì đầu ra của bộ so sánh có 1 xung ra tác động vào đầu vào xóa R làm Triger, xóa trạng thái thấp '0', khoá K sẽ đóng, kết thúc quá trình đếm, giả sử tổng số xung đếm được là  $N_x$ . Thời điểm nay Bộ điều khiển phát ra xung chốt để đưa số xung  $N_x$  này đưa qua mạch giải mã và đưa tới màn hiển thị số là kết quả của điện dung cần đo  $C_x$ .

Tụ  $C_x$  phóng điện qua điện trở mẫu  $R_m$  với hằng số phóng là  $\tau = R_m C_x$ , biểu thức điện áp của tụ trong quá trình phóng là :

$$u_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R_m C_x}} - E \cdot e^{-\frac{t_3}{R_m C_x}}$$

$$\Rightarrow u_C(t_3) = E \cdot e^{-\frac{t_3}{R_m C_x}} - E \cdot e^{-\frac{t_1}{R_m C_x}} = U_0$$

Chọn  $U_0 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{E}{e} \Rightarrow E = e \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_0$

$$T_x = R_m C_x = N_x \cdot T_{ch}$$

$$\Rightarrow C_x = \frac{1}{R_m f_{ch}} N_x$$

Chọn  $\frac{1}{R_m f_{ch}} = const$ , vậy  $C_x$  tỷ lệ với số xung đếm được  $N_x$ .

Ví dụ  $f_{ch} = 1\text{MHz}$ ,  $R_m = 1\text{M}\Omega \Rightarrow C_x = N_x$  (pF)

Thay đổi  $R_m$  thì có thể chuyển mạch thang đo điện dung từ 1000pF đến 100pF.

Cũng phương pháp đo như trên nếu thay các điện trở mẫu bằng các điện dung mẫu thì có thể đo được điện trở bằng các thiết bị chỉ thị số.

Ngoài nguyên tắc hoạt động ở trên, máy đo theo điện dung, điện trở có thể được xây dựng theo nguyên tắc đếm xung trong khoảng thời gian nạp điện tích của tụ từ điện áp nạp bằng 0 đến điện áp bằng  $E/e$ .

*Đánh giá sai số của máy đo:* Sai số của kết quả đo  $C_x$  bao gồm các thành phần sai số chính như sau:

- Sai số lượng tử  $\left| \frac{1}{N_x} \right|$ , ví dụ nếu đo điện dung 1000pF thì ứng với 1000 xung đếm, sai số đếm xung là  $\frac{1}{1000}$ , sai số tương đối là 0,1%.

- Sai số của tần số xung đếm chuẩn  $\left| \frac{\Delta f_{ch}}{f_{ch}} \right|$

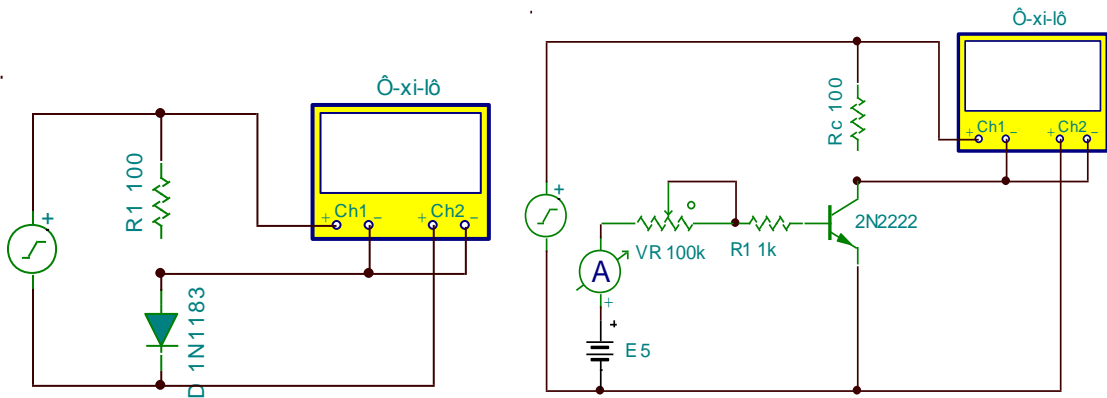
- Sai số do độ trễ của bộ so sánh và Trigger.

- Sai số của điện trở mẫu.

## 9.4. ĐO THAM SỐ VÀ ĐẶC TÍNH CỦA LINH KIỆN VÀ MẠCH PHI TUYẾN

### 9.4.1. Vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe.

Thay đổi điện áp đặt vào mạch, xác định dòng điện ứng với mỗi thay đổi đó, từ đó ghi lại kết quả và vẽ được đặc tuyến Vôn-ampe của mạch. Có thể dùng Ô-xi-lô để tự động vẽ đặc tuyến Vôn-ampe của linh kiện, mạch điện rất thuận tiện. Ví dụ sơ đồ nguyên lý mạch đo để vẽ đặc tuyến Vôn-ampe của điốt và đặc tuyến ra của BJT dùng Ô-xi-lô (đã trình bày trong chương 4) như hình dưới đây:



– Sơ đồ mạch đo để vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt và đặc tuyến ra của BJT

### 9.4.2. Vẽ đặc tuyến biên độ tần số của mạng 4 cực.

Muốn vẽ được đặc tuyến biên độ tần số của mạng 4 cực có thể dùng dao động điều hoà tác động vào đầu vào, cho tần số biến đổi xác định biên độ của điện vào và ra của mạng 4 cực từ đó ghi lại và vẽ được đặc tuyến biên độ tần số của mạng 4 cực đó – phương pháp lấy từng điểm. Cách làm này thường không chính xác lắm nhiều công. Thực tế thường dùng các thiết bị tự động vẽ đặc tuyến biên độ tần số – còn gọi là các máy Vobulator. Máy Vobulator có

thể được cấu tạo theo nguyên lý sử dụng mạch tương tự hay dùng kỹ thuật số và có cài đặt vi xử lý. Trong phần này chủ yếu xét máy Vobulator dùng kỹ thuật tương tự sử dụng máy phát điều tần và màn chỉ thị CRT để biểu diễn được đặc tuyến biên độ tần số của mạng 4 cực trên màn hình.

## **9.5. ĐO LƯỜNG, KIỂM NGHIỆM CÁC MẠCH ĐIỆN TỬ SỐ VÀ VI XỬ LÝ**

### **9.5.1. Khái niệm và đặc tính chung của mạch số**

Các thiết bị dùng mạch điện tử số và vi xử lý cũng cần kiểm tra để phán đoán hư hỏng như những thiết bị khác. Song có các lý do:

- Với các thiết bị tương tự, (mạch điện dùng kỹ thuật tương tự dựa trên cơ sở hàm thời gian và tần số), thì có thể dùng các thiết bị như ôxilô, máy phân tích phổ, vôn-mét điện tử để đo lường, kiểm tra.

- Thiết bị dùng kỹ thuật mạch điện tử số, có vi xử lý thì hoạt động trên cơ sở xử lý số liệu, nên không thể dùng các thiết bị đo thông thường như trên.

- Vấn đề kiểm tra là khá phức tạp, thậm chí việc sửa chữa còn khó khăn hơn là chế tạo một máy mới. Do thiết bị có dùng vi xử lý là cần nhiều thủ tục phức tạp, cần người điều hành hiểu biết sâu sắc về thiết bị.

Nếu những thủ tục kiểm tra không được thiết kế trước, thì hầu như không kiểm soát nổi hệ thống.

Để lập bộ kiểm tra thiết bị có hệ thống vi xử lý cần chú ý các đặc điểm:

- Hệ thống vi xử lý điều khiển lưu lượng thông tin số liệu, với tổ hợp những từ, số nhị phân có độ dài khác nhau một cách ngẫu nhiên, và thời gian tồn tại cũng thay đổi.

- Hệ thống vi xử lý có cấu trúc rất phức tạp, có nhiều đường vận chuyển số liệu được điều khiển bởi chương trình. Chương trình có được thực hiện tốt hay không là nhờ quan hệ thời gian giữa sự thay đổi của tín hiệu đầu vào và đầu ra.

- Hệ thống vi xử lý có khác nhau cơ bản với các thiết bị đa năng chỉ có kết cấu mạch cứng. Ví dụ như muốn thay đổi một chức năng nào đó, thay vì thay đổi phần cứng mạch điện, thì lại thay đổi chương trình thuật toán chứa trong ROM.

- Tín hiệu thông tin số không lặp lại, tồn tại trong khoảng thời gian cực ngắn. Sự kiện xảy ra trong thiết bị có vi xử lý có tốc độ rất cao rất nhanh.

- Hệ thống vi xử lý có sử dụng bus hai chiều, nó càng phức tạp khi cần thông dịch xem nó là địa chỉ hay số liệu.

- Thiết bị kiểm tra phải kiểm soát một số rất lớn các hoạt động cơ bản.

Trong các thiết bị dùng vi xử lý, chương trình xử lý có thể lên tới hàng ngàn bước thực hiện.

Những hỏng hóc liên quan tới bộ vi xử lý là rất khó phát hiện, lại càng khó hơn khi muốn cô lập nó ra. Vì vậy, những thiết bị kỹ thuật kiểm tra truyền thống thông thường rất dễ sai lầm khi đo lường chúng.

Do những lý do trên, cùng với sự phát triển của vi xử lý, việc tìm ra phương tiện và kỹ thuật mới mà hữu hiệu cho việc kiểm tra chúng là vấn đề rất cần được nghiên cứu.



Những hình thức và phương pháp kiểm nghiệm đã được sử dụng là:

- Tự động chuẩn đoán (dự đoán có chương trình).
- Kiểm nghiệm thống kê.
- Phân tích logic.
- Phân tích theo nhận dạng (theo mã chỉ dẫn)

Ta sẽ xét các phương pháp trên.

### **Phương pháp tự động chuẩn đoán**

Là phương pháp sử dụng một chương trình chuẩn đoán ở ngay bên trong của thiết bị, để gỡ rối, kiểm tra, phát hiện điểm hỏng.

Chương trình chuẩn đoán có thể tự động khởi động, hoặc được khởi động bởi người sử dụng.

Trong một vài loại thiết bị, nó lần lượt kiểm tra các chức năng, phần tử của thiết bị và đưa ra màn chỉ thị những thông báo trạng thái một cách vắn tắt và có thể tham khảo theo hướng dẫn của tài liệu sử dụng để phát hiện lỗi. Do vậy cũng ít cần sự phân tích về phương pháp này.

### **Phương pháp kiểm nghiệm thống kê**

Là phương pháp dựa trên cơ sở coi hoạt động của thiết bị giống như tổ hợp liên tiếp các trạng thái đo. Vì vậy người ta không quan tâm lắm tới quá trình hoạt động, mà có thể tiến hành kiểm nghiệm hệ thống, các trạng thái khác nhau được mô phỏng giả.

Để làm được điều này, cần thiết đưa thiết bị bộ tạo chuyển mạch. Với sự trợ giúp của bộ phận này, có thể tạo ra tất cả các trạng thái có thể.

Việc lựa chọn một tổ hợp nhất định của các chuyển mạch cho phép đưa tín hiệu tới kênh địa chỉ và điều khiển tương ứng (ví dụ

RAM), và kiểm tra khả năng làm việc của thiết bị. Cũng ít cần quan tâm nhiều đến phương pháp này.

## **9.5.2. Các phương pháp phân tích**

### **9.5.2.1. Phương pháp phân tích logic**

Phương pháp phân tích logic sử dụng ba loại thiết bị phân tích logic là:

- Bộ phân tích trạng thái logic.
- Bộ phân tích biểu đồ thời gian (định thời) logic.
- Bộ phát tín hiệu đồng bộ.

#### **a. Khái niệm**

Trước khi đưa ra những nguyên tắc của thiết bị, cần xác định thêm các khái niệm trạng thái logic và biểu đồ thời gian của thiết bị điện tử số.

#### *Trạng thái logic:*

Tín hiệu nhị phân dùng trong mạch điện tử số sử dụng hai mức điện áp rõ rệt: một mức được coi là logic “0”, mức kia là logic “1”.

Trong mạch điện thực tế, những mức này không được định nghĩa với trị số điện áp chính xác, mà nó sẽ ở trong một khoảng giá trị điện áp nào đó. Ví dụ như đối với họ vi mạch TTL LSI, mức logic 0 là trong khoảng điện áp nhỏ hơn 0,4v và mức điện áp lớn hơn 2,4v được coi là mức logic 1. Nói cách khác, logic 0 là mức thấp và logic 1 là mức cao, và cách quy ước này coi là logic khẳng định (logic dương). Nếu mức điện áp thấp được quy ước là mức 1, thì cách quy ước gọi mạch điện được xây dựng trên cơ sở của logic phủ định (logic âm).

Sự tổ hợp của một chuỗi các số các số logic 0 và 1 tại đầu ra của mạch số quyết định trạng thái của nó.

*Biểu đồ thời gian của tín hiệu logic:*

Trong quá trình phân tích hệ thống, gỡ rối chương trình, kiểm tra hoặc tìm lỗi của một hệ có vi xử lý, việc nghiên cứu và biểu diễn của dãy số liệu theo thời gian có thể nhiều khi cho biết về hệ thống hơn hẳn so với bảng trạng thái logic.

Những nhược điểm đặc trưng cho mạch tuyến tính cũng có thể xảy ra trong mạch số, ví dụ như méo sườn xung, sự không ổn định và nhấp nháy khi chuyển mạch.

*Ba dạng biểu diễn kết quả phân tích*

Ta có thể biểu diễn thông tin nhận được trong việc thử nghiệm các mạch số dưới ba dạng sau:

- Bảng trạng thái.
- Biểu đồ thời gian.
- Các thẻ trạng thái

1. Hiện thị bảng trạng thái được dùng để phân tích trạng thái logic. Nó cho phép quan sát trạng thái logic dưới dạng bảng số: Hệ cơ số 2, Hệ cơ số 8, Hệ cơ số 10, Hệ cơ số 16. Sự hiện thị này đôi khi được gọi là sự hiện thị phản ánh thông tin trong vùng số liệu.

2. Biểu đồ thời gian logic được biểu diễn thông qua màn hình tương tự như màn hình ôxilô nhiều kênh bình thường có thể quan sát đồng thời 8 biểu đồ thời gian cùng một lúc.

3. Tám thẻ trạng thái: Khi biểu diễn dưới dạng “tám thẻ trạng thái”, ta không dùng bảng bit mà dùng ma trận vạch sáng. Ở đây mỗi vạch tương ứng với một byte nhất định. Qua quan hệ giữa các vạch sáng trên màn hình, có thể quan sát quá trình xử lý số liệu trong mạch.

Tám thẻ trạng thái cho phép dễ dàng kiểm tra trạng thái chức năng của các mạch số làm việc tuần hoàn.

Khi dùng phân tích logic theo chương trình phương pháp hiển thị tám thẻ trạng thái như miêu tả ở trên để kiểm tra hoạt động chương trình hệ thống vi xử lý, ta có được những dạng đặc biệt riêng. Nếu nắm vững cách phân biệt các dạng hình ảnh đặc trưng cho từng hệ thống vi xử lý riêng, thì có thể dễ dàng kiểm tra quá trình hoạt động của chương trình.

***b. Thiết bị phân tích trạng thái logic (Logic State Analyzers)***

Để có thể phân tích, tìm ra hỏng hóc một cách có hiệu quả. Bộ phân tích trạng thái logic (đôi khi còn gọi là bộ phân tích đồng bộ) phải có những yêu cầu sau:

1- Số liệu cần phải được đọc và hiển thị dạng nhị phân, để dễ đọc mà không cần bất cứ một sự thông dịch nào.

2- Có đủ đầu vào để trong một thời điểm có thể cùng lúc hiển thị, kiểm tra toàn bộ một từ số liệu.

3- Một từ kích khởi phải được yêu cầu bởi một từ số liệu riêng, duy nhất trong một chuỗi vào.

4- Phải có một sự trễ cần thiết để đủ thời gian chuyển số hiển thị đến từ cần tham khảo.

5- Phải có khả năng lưu trữ để lưu trữ các sự kiện xảy ra.

6- Việc nối máy phân tích vào hệ thống phải đảm bảo không ảnh hưởng đến những tham số của hệ thống hoặc làm thay đổi sự hoạt động của chương trình.

7- Đầu đo cần được nối với máy phân tích một cách chắc chắn nhất trong suốt quá trình kiểm tra, đo thử.

8- Màn hiển thị phải dễ đọc dễ hiểu.

Như vậy, có nghĩa là: Số liệu phân tích được đưa vào thể hiện dưới dạng mã nhị phân, tức là dưới dạng tổ hợp các bit; cần có đủ số lượng các đầu vào ra song song để có thể cho phép kiểm

tra đồng thời một từ nguyên vẹn; vấn đề điều khiển số liệu ở đầu vào và phân định chu kỳ trong thiết bị thử nghiệm cần được tiến hành bằng một xung đồng bộ duy nhất; khoảng thời gian cần thiết để xử lý số liệu của thiết bị để xử lý số liệu của thiết bị phân tích cần phải rất ngắn; việc kết nối thiết bị phân tích với mạch cần khảo sát phải không làm ảnh hưởng tới các thông số của mạch cũng như không đòi hỏi phải thay đổi chế độ hay chương trình làm việc của mạch; đầu vào của thiết bị phải có cấu trúc sao cho có thể dễ dàng kết nối với mạch cần khảo sát; thiết bị phải có màn hình hiển thị để quan sát và nhận dạng để xử lý thông tin.

Theo yêu cầu thứ hai đã có nhà sản xuất thiết bị phân tích trạng thái có thể 8, 16, 32 hay 64 kênh.

### ***c. Thiết bị phân tích biểu đồ thời gian Logic (Logic timing Analyzers)***

Thiết bị phân tích trạng thái logic cho phép xác định hiện tượng (và đôi khi ngay cả vị trí) xuất hiện hư hỏng của mạch số được thử nghiệm. Tuy nhiên sau đó vẫn cần đòi hỏi tìm hiểu thêm về tính chất và nguyên nhân của hư hỏng. Lỗi sai sót thường xuất hiện do xung nhiễu trong thời gian ngắn; do đầu vào tín hiệu không đồng thời, mất đồng bộ, do câu lệnh sai. Trong những tình huống đó, việc sử dụng thiết bị phân tích biểu đồ thời gian logic (cũng còn có thể gọi là thiết bị phân tích lệnh đồng bộ) là rất hiệu quả. Nó cũng đặc biệt tiện lợi để kiểm tra các thiết bị giao diện chuẩn đối với các thông tin trên kênh truyền điều khiển, các số liệu được truyền qua các thiết bị vào/ra.

Khi phân tích theo thời gian, phải khảo sát tín hiệu và các quá trình có khoảng thời gian rất nhỏ so với thời gian của một từ, vì vậy tần số làm việc, tốc độ lấy mẫu của thiết bị phân tích biểu đồ

thời gian logic càng lớn hơn nhiều so với thiết bị trạng thái logic khi cùng làm việc với một dạng số liệu.

Trong đa số các trường hợp thì các thiết bị phân tích biểu đồ thời gian logic đều có khả năng làm việc trong cả hai chế độ; đồng bộ và dị bộ (không đồng bộ). Cách thứ hai có tốc độ làm việc cao hơn. Tốc độ cực đại phụ thuộc vào yêu cầu của thiết bị phải làm việc. Người ta đã sản xuất các thiết bị có tốc độ nhanh với tần số trên 20, 50, 100 và 200 MHz. Thiết bị có tốc độ nhanh là vô cùng cần thiết để khảo sát hệ thống vi xử lý. Ví dụ với vi xử lý Intel 8080A, mặc dù thời gian nhịp là 500ns (tần số nhịp là 2 MHz), nhưng thông tin trạng thái được truyền theo đường số liệu 8 bit, chỉ cho phép xử lý trong khoảng thời gian rất ngắn, bằng chu kỳ đồng bộ của hệ thống, nghĩa là cỡ 50ns. Trong khoảng thời gian này có một từ trạng thái (8 bit) qua và các trạng thái logic thay đổi ở hai đường đồng bộ. Để phân tích biểu đồ thời gian tương ứng với tín hiệu nêu trên, khoảng thời gian 50ns phải được chia thành 5 phần, để mỗi phần là 10ns. Rõ ràng điều này chỉ thực hiện khi tốc độ lấy mẫu (thời điểm tác động) của thiết bị phân tích không nhỏ hơn 100MHz. Có thể bổ sung thêm trong ví dụ đã nêu là kể cả với các hệ vi xử lý có tốc độ thấp (1-2MHz), thời gian lưu giữ số liệu vào và ra không thể vượt quá 10ns. Vì vậy, để phân tích quan hệ thời gian giữa tín hiệu của vi xử lý và các vi mạch ngoại vi nhất thiết phải có thiết bị phân tích có tốc độ nhanh. Ưu điểm rất quan trọng của phân tích thời gian logic mà không thể có ở phân tích trạng thái logic là khả năng phát hiện tín hiệu giả, thường là những xung gây nhiễu có độ rộng xung rất nhỏ trong dòng số liệu. Nó có thể phá vỡ hoạt động chức năng thông thường của hệ thống số mà trong chế độ hoạt động đồng bộ khó có thể phát hiện được. Trong một số các thiết bị phân tích trạng thái logic, có thể thấy các mạch flip-flop đặc biệt, cho phép ghi lại các xung giả (thậm chí có thể

phát hiện các xung có độ rộng 5 ns). Những mạch như vậy, các xung hẹp sẽ được mở rộng tới mức gần bằng khoảng thời gian lấy mẫu, điều đó cho phép phát hiện xung giả một cách đảm bảo.

Để dễ dàng quan sát số liệu, ở bộ phân tích biểu đồ thời gian, bộ hiển thị của nó có sử dụng con trỏ. Con trỏ là một vạch thẳng đứng, có thể di chuyển con trỏ dọc theo màn hình và dừng lại ở bất kỳ điểm mong muốn khảo sát nào. Với sự trợ giúp của con trỏ ta dễ dàng xác định sự dịch chuyển tương đối theo thời gian của một điểm trên biểu đồ thời gian với các điểm khác. Ở một vài thiết bị phân tích khác, lại có hai con trỏ như vậy, nó cho phép đo trực tiếp được khoảng thời gian giữa hai điểm giữa hai con trỏ mà không cần phải tính toán gì thêm.

Bộ phân tích thời gian logic được thiết kế cùng với một ôxilô hay được thiết kế phối ghép với một ôxilô riêng, để có thể hiển thị biểu đồ thời gian. Có loại được thiết kế hiển thị một bảng biểu đồ thời gian, tùy theo yêu cầu sử dụng.

### ***9.5.2.2. Phương pháp phân tích nhận dạng mã địa chỉ (Signature Analysis)***

Như đã phân tích, việc thử nghiệm đối với hệ thống vi xử lý và các thiết bị số có dùng vi xử lý là công việc rất khó khăn. Thiết bị phân tích trạng thái logic đã khảo sát ở phần trên chỉ giải quyết được một phần của vấn đề. Nó giúp sự dõi theo từng bước việc của bộ vi xử lý thông qua các chương trình thực hiện. Tuy nhiên quá trình tìm kiếm và phát hiện nguyên nhân hư hỏng đòi hỏi nhiều công sức và khả năng có thể phân tích tốt được những kết quả, những hình ảnh thu được. Ta cũng không loại trừ hoàn toàn khả năng sử dụng của các máy đo truyền thống trong lĩnh vực thời gian hay lĩnh vực tần số, như ôxilô, máy phân tích phổ, vôn-mét điện tử,... Song để xác định được nguyên nhân hư hỏng gây nên bởi vi

xử lý hoặc các phân mạch nối ghép với nó thông qua giao diện thì mất quá nhiều thời gian, công sức và cũng cần có những chuyên gia trình độ cao.

Một trong những cách hiệu quả nhất để tìm kiếm hư hỏng trong đa số các thiết bị số và đặc biệt trong các thiết bị có dùng vi xử lý là sử dụng thiết bị phân tích mã chỉ dẫn (Signature Analysis). Nguyên tắc và việc chế tạo các thiết bị này cũng mới được hình thành trong thời gian gần đây.

Tên gọi phân tích “mã chỉ dẫn” được bắt nguồn từ “chữ ký” (signature), nó có rất nhiều nghĩa cho nhiều lĩnh vực khác nhau như âm nhạc, in ấn,... song với nghĩa đơn giản nhất là chữ ký của người mang tên chữ ký đó. Trong vấn đề tìm kiếm hư hỏng của thiết bị số, thì “mã chỉ dẫn” là một số được cấu thành từ 4 ký hiệu chữ và số của hệ mã cơ số 16, được đặc trưng duy nhất cho từng điểm nút của thiết bị được khảo sát.

#### ***a. Mô tả bản chất của sự phân tích***

Phân tích mã chỉ dẫn là việc so sánh sự trùng hợp giữa mã chỉ dẫn thực của điểm nút cụ thể nào đó được phản ánh trên màn hình phân tích với mã chỉ dẫn của điểm nút này hoặc với bảng hướng dẫn sử dụng thiết bị khảo sát. Sự không trùng hợp của mã chỉ dẫn chứng tỏ về sự hư hỏng, hoạt động chức năng không bình thường của thiết bị. Ví dụ, nếu trên màn hình xuất hiện mã chỉ dẫn F865, còn trên mạch tại điểm nút đã cho thì cần phải có mã chỉ dẫn A953, như vậy rõ ràng là đã có hư hỏng. Để tìm hiểu nguyên nhân, ta có thể tiến hành khảo sát tiếp các điểm nút khác. Bằng cách đó có thể kết luận bộ phận hư hỏng là bộ phận mà ở đầu ra của nó, mã chỉ dẫn thực và mã chỉ dẫn mẫu khác nhau, trong khi ở đầu vào của nó, mã chỉ dẫn thực và mã chỉ dẫn mẫu trùng hợp nhau



Thoạt nhìn bên ngoài, quy trình phân tích mã chỉ dẫn rất giống với quy trình phát hiện hư hỏng trong các thiết bị tương tự. Trên sơ đồ nguyên lý của thiết bị tương tự tại các điểm đặc trưng, người ta chỉ ra hình dạng của tín hiệu và giá trị điện áp tại điểm đó. Có thể dùng ôxilô để quan sát hình dạng của tín hiệu và dùng vôn-mét điện tử để đo giá trị điện áp, qua đó xác định thiết bị khảo sát có làm việc bình thường hay không.

Đối với các thiết bị có chương trình, rất tiếc không thể sử dụng hệ thống kiểm tra dựa trên cơ sở so sánh tình trạng trên ôxilô được vì không thể phân biệt được dãy các giá trị nhị phân trên màn hình. Hơn nữa trong các thiết bị dùng vi xử lý, không có sự tương ứng đồng nhất giữa đặc tính của thiết bị với những điểm nút cụ thể.

Do đó, bộ phân tích mã chỉ dẫn là một công cụ thiết bị rất hiệu quả cho mục đích trên.

### ***b. Nguyên lý tạo lập mã chỉ dẫn***

Để có thể tiến hành phân tích mã chỉ dẫn của hệ thống số dùng vi xử lý, nhất thiết phải có tín hiệu thử nghiệm, đó là dãy giá trị nhị phân, nghĩa là dãy xung vuông có độ rộng xung rất nhỏ, biên độ của nó chỉ có thể nhận hai giá trị rất khác nhau theo mức điện áp, được gọi là bit 0 và bit 1.

Dãy các giá trị 0 và 1 gọi là số liệu, được tạo ra nhờ chương trình vi xử lý đặc biệt nằm bên trong thiết bị thử nghiệm. Từ dãy giá trị này hình thành tín hiệu thử nghiệm, dãy thử nghiệm.

Nguyên lý nhận mã chỉ dẫn từ dãy thử nghiệm với sự trợ giúp của thiết bị phân tích được miêu tả trên hình 9-5.

Mã chỉ dẫn được hình thành trong mạch có chứa thanh ghi dịch 16 bit (16 flip – flop), 4 bộ cộng modulo-2 mắc nối tiếp vào đường phản hồi nối từ các đầu ra của các flip-flop thứ 7,9,12 và 16

tới các đầu vào thứ hai của các bộ cộng thứ 1, 2, 3, và 4 một cách tuần tự. Thanh ghi dịch chuyển có hai đầu vào: đầu vào cơ sở, ký hiệu S (Data), được đưa vào là dãy các bit nhị phân. Và đầu vào thứ 2, ký hiệu C (Clock), được đưa vào là xung nhịp (xung đồng bộ). Như vậy, đầu vào D nhận các bit của bộ thử cơ số 2, và đầu vào nhận C nhận xung nhịp mà nó chuyển dịch bit theo bộ ghi.

Đầu vào của mạch chính là cửa vào đầu tiên của bộ cộng modulo-2 thứ nhất. Dãy tín hiệu thử nghiệm được đưa tới đây. Dãy này có thể có độ dài bất kỳ, nhưng kết thúc quá trình bao giờ cũng là một số 16 bit, được lưu lại trong thanh ghi. Số này được biểu diễn dưới dạng mã cơ số 16, đó chính là mã chỉ dẫn thu được từ dãy thử nghiệm cho trước. Chính vì số các mã hiệu trong mã chỉ dẫn nhỏ hơn nhiều so với số bit trong dãy thử nghiệm nên có thể nói thiết bị phân tích mã chỉ dẫn đã thực hiện “nén” thông tin.

Cũng cần phải lưu ý rằng mã 16 bit được dùng trong phân tích mã chỉ dẫn có một số đổi khác so với mã 16 thông thường (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F) và được viết dưới dạng 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A C F H P U. Việc lựa chọn ký hiệu như trên có liên quan đến việc sử dụng các bộ chỉ thị, thể hiện số và chữ thông qua các segment. Sự thay đổi trên cho phép đọc mã chỉ dẫn dễ dàng hơn và không bị nhầm lẫn. Nếu vẫn sử dụng các mã 16 thông thường, sẽ rất khó phân biệt giữa chữ B với số 8, giữa chữ D với số 0 (xem mã chỉ dẫn như hình 9-6).

Mã chỉ dẫn được hình thành như sau: ở đầu vào của mạch vẽ trên hình 9-5, ta đưa sẵn thử nghiệm nhị phân với độ dài xác định, ví dụ 20 bit (hình 9-7).

Những bit này được đưa tới đầu vào D của thanh ghi sau khi đã đi qua dãy các bộ cộng modulo-2. Ở bộ cộng đầu tiên, mỗi bit của dãy thử nghiệm sẽ được cộng theo modulo-2 với bit thứ 7 của

thanh ghi, bit đầu ra của bộ cộng thứ nhất sẽ được cộng theo modulo-2 với bit thứ 6 của thanh ghi tại bộ cộng thứ 2...

Ở đây có quy luật như sau: nếu tại tất cả các cửa vào thứ 2 của 4 bộ cộng là bit 0 hoặc số chẵn các bộ cộng là bit 1, thì bit được đưa vào đầu vào của mạch sẽ được truyền tới đầu vào D của thanh ghi giữ nguyên giá trị; khi bit 1 xuất hiện ở các cửa vào thứ hai của số lẻ các bộ cộng thì tại đầu vào D của thanh ghi sẽ nhận được bit có giá trị đối so với đầu vào của mạch (theo phép cộng modulo-2 thì kết quả sẽ là 1 khi có bit khác mức logic cộng với, nếu bit cộng với cùng mức thì kết quả là 0).

Trước khi bắt đầu làm việc, tất cả các flip-flop của thanh ghi đều nằm ở trạng thái 0. Xung nhịp đầu tiên được đưa tới cửa vào C của thanh ghi sẽ cho FF1 giá trị bit đầu tiên của dãy thử nghiệm, đưa vào kênh D. Xung nhịp thứ hai sẽ đẩy bit đầu tiên sang bên trái một bước, nghĩa là từ FF1 sang FF2 và đưa tới FF1 giá trị bit thứ hai của dãy. Mỗi xung nhịp lại đẩy giá trị của thanh ghi sang bên trái một bước và đưa vào FF1 giá trị tiếp theo của dãy thử nghiệm. Toàn bộ quá trình này được kết thúc khi và chỉ khi bit thứ 20 của dãy thử nghiệm (trong ví dụ đang xét, chiều dài dãy thử nghiệm là 20), được đưa vào FF1 (sau khi đã đi qua dãy các bộ cộng modulo-2). Mã được tạo thành trong thanh ghi được biểu diễn theo hệ cơ số 16 và nhận được mã chỉ dẫn của dãy thử nghiệm đã cho.

Bây giờ ta xét mối tương quan giữa các mẫu ở dạng nhị phân tại đầu ra và đầu vào của chuỗi bộ cộng modulo-2.

Giả sử rằng chuỗi cập nhật có n bit ở đầu vào:  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , trong đó  $a_i$  là bằng 0 hay bằng 1.

Do đã có quy ước tại thời điểm làm việc ban đầu, đầu ra của các flip-flop của thanh ghi ở trạng thái logic, nên giá trị các đường

hồi tiếp từ đầu ra của các flip-flop 7, 9, 12 và 16 được duy trì ở giá trị 0 logic ít ra trong thười gian tính bằng 7 xung nhịp. Như vậy tính từ thời điểm bắt đầu xuất hiện xung nhịp (clock) thứ nhất tới thời điểm kết thúc xung nhịp thứ 7, thì bit vào thứ 2 của các bộ cộng modulo-1 ở mức 0. Căn cứ vào bảng trạng thái của bộ cộng modulo-2, ta khẳng định chắc chắn rằng trong khoảng thời gian này giá trị của các bit thuộc chuỗi mẫu kiểm tra qua chuỗi bộ cộng modulo-2 hoàn toàn không bị thay đổi. Như vậy 7 bit đầu của hai chuỗi đầu vào và đầu ra là trùng nhau;  $a_i = b_i$ , với  $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ .

Từ bit thứ 8 trở đi, bit thứ  $i$  có giá trị 0 hay 1, được xác định bởi sự cân bằng:

ở đây  $i$  nằm trong dải từ 8 đến  $n$ ;  $\square$  là số bù của  $a_i$ ;  $\square$  là cộng của modulo  $-2$ .

Nếu trọng số của bit  $b_{ik}$  nhỏ hơn hay bằng 0 ( $i < k$ ) thì có thể bỏ qua sự có mặt của bit đó trong biểu thức cộng modulo  $-2$  trên.

Ví dụ:

Giả sử bit đó là  $b_{10}$ ,  $i = 10$  rõ ràng là:

bỏ qua  $b_{i-16}$  và  $b_{i-12}$

$$i - 9 = 1$$

$$i - 7 = 3$$

Để có được mã ký hiệu ở dạng nhị phân, ta loại bỏ trước các bit có thứ tự từ  $(n-16)$  trở đi trong chuỗi bit  $b_1, b_2, \dots, b_n$ ; 16 bit còn lại sẽ là mã ký hiệu chỉ dẫn mong muốn ở dạng nhị phân.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Quý Điềm, *Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2001.
- [2]. Nguyễn Ngọc Tân, *Kỹ thuật đo*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2001.
- [3]. Phạm Thượng Hàn, *Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý*, tập1, tập 2, Nhà xuất bản giáo dục, 1996.
- [4]. Bùi Văn Sáng, *Đo lường điện - vô tuyến điện*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 1996.
- [5]. Bob Witte, *Electronic Test Instruments: Analog and Digital Measurement*, Prentice Hall, 2002.
- [6]. Joseph J. Carr, *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*, 1996.
- [7]. Clyde F. Coombs, *Electronic Instrument Handbook*, McGraw-Hill, 1999.
- [8]. Albert D. Helfrick, William D. Cooper, *Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques*, Prentice Hall, 1990.
- [9]. David Buchla, Wane McLachlan, *Applied Electronic Instrumentation and Measurement*, Macmillan 1992.



# Bài Giảng

## Kỹ thuật Đo lường Điện

**MỤC LỤC**

<b>LỜI NÓI ĐẦU.....</b>	<b>3</b>
<b>PHẦN I: ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN.....</b>	<b>4</b>
1.1.1. <i>Khái niệm về đo lường.</i> .....	4
1.1.2. <i>Khái niệm về đo lường điện.</i> .....	4
1.1.3. <i>Các phương pháp đo.</i> .....	4
<b>1.2. CÁC SAI SỐ VÀ TÍNH SAI SỐ.....</b>	<b>7</b>
1.2.1. <i>Khái niệm về sai số.</i> .....	7
1.2.2. <i>Các loại sai số.</i> .....	8
1.2.3. <i>Phương pháp tính sai số.</i> .....	10
1.2.4. <i>Các phương pháp hạn chế sai số.</i> .....	11
<b>PHẦN II. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO THÔNG DỤNG .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. KHÁI NIỆM VỀ CƠ CẤU ĐO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO. ....</b>	<b>13</b>
2.2.1. <i>Cơ cấu đo từ điện.</i> .....	13
2.2.2. <i>Cơ cấu đo điện từ.</i> .....	16
2.2.3. <i>Cơ cấu đo điện động.</i> .....	17
2.2.4. <i>Cơ cấu đo cảm ứng.</i> .....	18
<b>PHẦN III. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN CƠ BẢN .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. ĐO ĐẠI LƯỢNG U, I.....</b>	<b>20</b>
3.1.1. <i>Đo dòng điện.</i> .....	20
3.1.2. <i>Đo điện áp.</i> .....	26
<b>3.2. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG R, L, C.....</b>	<b>34</b>
3.2.1. <i>Đo điện trở.</i> .....	34
3.2.2. <i>Đo điện cảm.</i> .....	41
3.2.3. <i>Đo điện dung.</i> .....	43
3.3.1. <i>Đo tần số.</i> .....	43
3.3.2. <i>Đo công suất và điện năng (năng lượng).</i> .....	45
<b>PHẦN IV. SỬ DỤNG CÁC LOẠI MÁY ĐO THÔNG DỤNG .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. SỬ DỤNG VOM, MΩ. ....</b>	<b>53</b>
4.1.1. <i>Sử dụng VOM.</i> .....	53
4.1.2. <i>Sử dụng MΩ.</i> .....	55
<b>4.2. SỬ DỤNG AMPE KÌM, OSC. ....</b>	<b>56</b>
4.2.1. <i>Sử dụng AMPE KÌM.</i> .....	56
4.2.2. <i>Sử dụng Dao động ký (Oscilloscope).</i> .....	59
<b>4.3. SỬ DỤNG MÁY BIẾN ÁP ĐO LƯỜNG. ....</b>	<b>69</b>
4.3.1. <i>Máy biến điện áp.</i> .....	69
4.3.2. <i>Máy biến dòng điện.</i> .....	71
<b>PHẦN V. TÀI LIỆU CẦN THAM KHẢO.....</b>	<b>74</b>

***Lời nói đầu***

Môn học kỹ thuật đo lường trình bày các kiến thức về kỹ thuật đo dùng trong ngành điện hiện nay. Giới thiệu những phép đo cơ bản để ứng dụng cho các ngành sản xuất công nghiệp.

Kỹ thuật Đo lường Điện là môn học nghiên cứu các phương pháp đo các đại lượng vật lý: đại lượng điện: điện áp, dòng điện, công suất,... và đại lượng không điện: nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc...

Bài giảng Kỹ thuật Đo lường Điện được biên soạn dựa trên các giáo trình và tài liệu tham khảo mới nhất hiện nay, được dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các ngành: Điện công nghiệp, Điện dân dụng, Kỹ thuật Viễn thông, Kỹ thuật Thông tin, Tự động hoá, Trang thiết bị điện, Tín hiệu Giao thông.

Cung cấp cho sinh viên những kiến thức cơ bản và chuyên sâu về kỹ thuật đo lường trong ngành điện. Trình bày các dụng cụ đo, nguyên lý đo và phương pháp đo các thông số. Trên cơ sở đó, người học biết cách sử dụng dụng cụ đo và xử lý kết quả đo trong công việc sau này.

Trong quá trình biên soạn, đã được các đồng nghiệp đóng góp nhiều ý kiến, mặc dù cố gắng sửa chữa, bổ sung cho cuốn sách được hoàn chỉnh hơn, song chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót, hạn chế.

Mong nhận được các ý kiến đóng góp của bạn đọc.



## **Phần I: ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN**

Trong quá trình nghiên cứu khoa học nói chung và cụ thể là từ việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, thử nghiệm cho đến khi vận hành, sửa chữa các thiết bị, các quá trình công nghệ... đều yêu cầu phải biết rõ các thông số của đối tượng để có các quyết định phù hợp. Sự đánh giá các thông số quan tâm của các đối tượng nghiên cứu được thực hiện bằng cách đo các đại lượng vật lý đặc trưng cho các thông số đó.

### **1.1 KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN.**

#### **1.1.1. Khái niệm về đo lường.**

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo. Kết quả đo lường ( $A_x$ ) là giá trị bằng số, được định nghĩa bằng tỉ số giữa đại lượng cần đo ( $X$ ) và đơn vị đo ( $X_0$ ):

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng:  $A = \frac{X}{X_0}$  và ta có  $X = A \cdot X_0$

Trong đó:  $X$  - đại lượng đo

$X_0$  - đơn vị đo

$A$  - con số kết quả đo.

Từ (1.1) có phương trình cơ bản của phép đo:  $X = A_x \cdot X_0$ , chỉ rõ sự so sánh  $X$  so với  $X_0$ , như vậy muốn đo được thì đại lượng cần đo  $X$  phải có tính chất là các giá trị của nó có thể so sánh được, khi muốn đo một đại lượng không có tính chất so sánh được thường phải chuyển đổi chúng thành đại lượng có thể so sánh được.

#### **1.1.2. Khái niệm về đo lường điện.**

Đại lượng nào so sánh được với mẫu hay chuẩn thì mới đo được. Nếu các đại lượng không so sánh được thì phải chuyển đổi về đại lượng so sánh được với mẫu hay chuẩn rồi đo. Đo lường điện là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng điện cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo.

#### **1.1.3. Các phương pháp đo.**

Phương pháp đo là việc phối hợp các thao tác cơ bản trong quá trình đo, bao gồm các thao tác: xác định mẫu và thành lập mẫu, so sánh, biến đổi, thể hiện kết quả hay chỉ thị. Các phương pháp đo khác nhau phụ thuộc vào các phương pháp nhận thông tin đo và nhiều yếu tố khác như đại lượng đo lớn hay nhỏ, điều kiện đo, sai số, yêu cầu...

Tùy thuộc vào đối tượng đo, điều kiện đo và độ chính xác yêu cầu của phép đo mà người quan sát phải biết chọn các phương pháp đo khác nhau để thực hiện tốt quá

trình đo lường. Có thể có nhiều phương pháp đo khác nhau nhưng trong thực tế thường phân thành 2 loại phương pháp đo chính là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo kiểu so sánh.

**1.1.3.1. Phương pháp đo biến đổi thẳng**

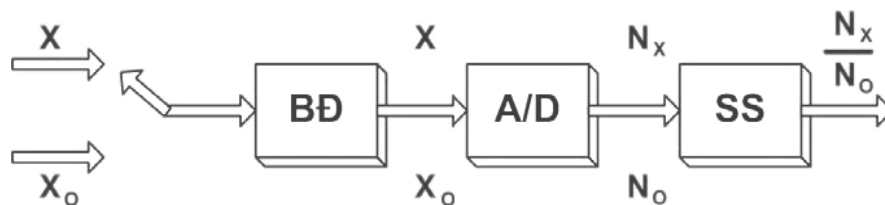
- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu biến đổi thẳng, nghĩa là không có khâu phản hồi.

- **Quá trình thực hiện:**

\* Đại lượng cần đo X qua các khâu biến đổi để biến đổi thành con số  $N_x$ , đồng thời đơn vị của đại lượng đo  $X_0$  cũng được biến đổi thành con số  $N_0$ .

\* Tiến hành quá trình so sánh giữa đại lượng đo và đơn vị (thực hiện phép chia  $N_x/N_0$ ),

\* Thu được kết quả đo:  $A_x = X/X_0 = N_x/N_0$ .



*Hình 1.2. Lưu đồ phương pháp đo biến đổi thẳng.*

Quá trình này được gọi là quá trình biến đổi thẳng, thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị đo biến đổi thẳng. Tín hiệu đo X và tín hiệu đơn vị  $X_0$  sau khi qua khâu biến đổi (có thể là một hay nhiều khâu nối tiếp) có thể được qua bộ biến đổi tương tự - số A/D để có  $N_x$  và  $N_0$ , qua khâu so sánh có  $N_x/N_0$ .

Dụng cụ đo biến đổi thẳng thường có sai số tương đối lớn vì tín hiệu qua các khâu biến đổi sẽ có sai số bằng tổng sai số của các khâu, vì vậy dụng cụ đo loại này thường được sử dụng khi độ chính xác yêu cầu của phép đo không cao lắm.

**1.1.3.2. Phương pháp đo kiểu so sánh:**

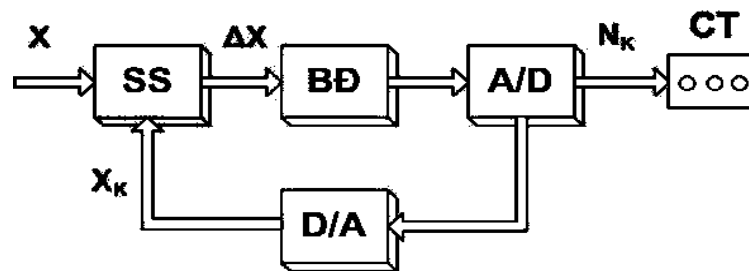
- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu mạch vòng, nghĩa là có khâu phản hồi.

- **Quá trình thực hiện:**

+ Đại lượng đo X và đại lượng mẫu  $X_0$  được biến đổi thành một đại lượng vật lý nào đó thuận tiện cho việc so sánh.

+ Quá trình so sánh X và tín hiệu XK (tỉ lệ với  $X_0$ ) diễn ra trong suốt quá trình đo, khi hai đại lượng bằng nhau đọc kết quả XK sẽ có được kết quả đo.

Quá trình đo như vậy gọi là quá trình đo kiểu so sánh. Thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị đo kiểu so sánh (hay còn gọi là kiểu bù).



Hình 1.3. Lưu đồ phương pháp đo kiểu so sánh.

+ **Các phương pháp so sánh:** bộ so sánh SS thực hiện việc so sánh đại lượng đo X và đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K$ , qua bộ so sánh có:  $\Delta_X = X - X_K$ . Tùy thuộc vào cách so sánh mà sẽ có các phương pháp sau:

- **So sánh cân bằng:**

\* **Quá trình thực hiện:** đại lượng cần đo X và đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K = N_K \cdot X_0$  được so sánh với nhau sao cho  $\Delta_X = 0$ , từ đó suy ra  $X = X_K = N_K \cdot X_0$

+ suy ra kết quả đo:  $A_X = X/X_0 = N_K$ . Trong quá trình đo,  $X_K$  phải thay đổi khi X thay đổi để được kết quả so sánh là  $\Delta_X = 0$  từ đó suy ra kết quả đo.

\* **Độ chính xác:** phụ thuộc vào độ chính xác của  $X_K$  và độ nhạy của thiết bị chỉ thị cân bằng (độ chính xác khi nhận biết  $\Delta_X = 0$ ).

**Ví dụ:** cầu đo, điện thế kế cân bằng

- **So sánh không cân bằng:**

\* **Quá trình thực hiện:** đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K$  là không đổi và biết trước, qua bộ so sánh có được  $\Delta_X = X - X_K$ , đo  $\Delta_X$  sẽ có được đại lượng đo  $X = \Delta_X + X_K$  từ đó có kết quả đo:  $A_X = X/X_0 = (\Delta_X + X_K)/X_0$ .

\* **Độ chính xác:** độ chính xác của phép đo chủ yếu do độ chính xác của  $X_K$  quyết định, ngoài ra còn phụ thuộc vào độ chính xác của phép đo  $\Delta_X$ , giá trị của  $\Delta_X$  so với X (độ chính xác của phép đo càng cao khi  $\Delta_X$  càng nhỏ so với X).

Phương pháp này thường được sử dụng để đo các đại lượng không điện, như đo ứng suất (dùng mạch cầu không cân bằng), đo nhiệt độ...

- **So sánh không đồng thời:**

\* **Quá trình thực hiện:** dựa trên việc so sánh các trạng thái đáp ứng của thiết bị đo khi chịu tác động tương ứng của đại lượng đo X và đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K$ , khi hai trạng thái đáp ứng bằng nhau suy ra  $X = X_K$ .

Đầu tiên dưới tác động của  $X$  gây ra một trạng thái nào đó trong thiết bị đo, sau đó thay  $X$  bằng đại lượng mẫu  $X_K$  thích hợp sao cho cũng gây ra đúng trạng thái như khi  $X$  tác động, từ đó suy ra  $X = X_K$ . Như vậy rõ ràng là  $X_K$  phải thay đổi khi  $X$  thay đổi.

\* **Độ chính xác:** phụ thuộc vào độ chính xác của  $X_K$ . Phương pháp này chính xác vì khi thay  $X_K$  bằng  $X$  thì mọi trạng thái của thiết bị đo vẫn giữ nguyên. Thường thì giá trị mẫu được đưa vào khắc độ trước, sau đó qua các vạch khắc mẫu để xác định giá trị của đại lượng đo  $X$ . Thiết bị đo theo phương pháp này là các thiết bị đánh giá trực tiếp như vônmet, ampe mét chỉ thị kim.

- **So sánh đồng thời:**

\* **Quá trình thực hiện:** so sánh cùng lúc nhiều giá trị của đại lượng đo  $X$  và đại lượng mẫu  $X_K$ , căn cứ vào các giá trị bằng nhau suy ra giá trị của đại lượng đo.

**Ví dụ:** xác định 1 inch bằng bao nhiêu mm: lấy thước có chia độ mm (mẫu), thước kia theo inch (đại lượng cần đo), đặt điểm 0 trùng nhau, đọc được các điểm trùng nhau là: 127mm và 5 inch, 254mm và 10 inch, từ đó có được:  $1 \text{ inch} = 127/5 = 254/10 = 25,4 \text{ mm}$

Trong thực tế thường sử dụng phương pháp này để thử nghiệm các đặc tính của các cảm biến hay của thiết bị đo để đánh giá sai số của chúng.

Từ các phương pháp đo trên có thể có các cách thực hiện phép đo là:

- **Đo trực tiếp :** kết quả có chỉ sau một lần đo
- **Đo gián tiếp:** kết quả có bằng phép suy ra từ một số phép đo trực tiếp
- **Đo hợp bộ:** như gián tiếp nhưng phải giả một phương trình hay một hệ phương trình mới có kết quả
- **Đo thống kê:** đo nhiều lần và lấy giá trị trung bình mới có kết quả

## **1.2. CÁC SAI SỐ VÀ TÍNH SAI SỐ.**

### **1.2.1. Khái niệm về sai số.**

Ngoài sai số của dụng cụ đo, việc thực hiện quá trình đo cũng gây ra nhiều sai số. Nguyên nhân của những sai số này gồm:

- Phương pháp đo được chọn.
- Mức độ cẩn thận khi đo.

Do vậy kết quả đo lường không đúng với giá trị chính xác của đại lượng đo mà có

sai số, gọi là sai số của phép đo. Như vậy muốn có kết quả chính xác của phép đo thì trước khi đo phải xem xét các điều kiện đo để chọn phương pháp đo phù hợp, sau khi đo cần phải gia công các kết quả thu được nhằm tìm được kết quả chính xác.

### **1.2.2. Các loại sai số.**

*\* Sai số tuyệt đối, sai số tương đối, sai số hệ thống.*

- **Sai số của phép đo:** là sai số giữa kết quả đo lường so với giá trị chính xác của đại lượng đo.

- **Giá trị thực Xth của đại lượng đo:** là giá trị của đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó (thường nhờ các dụng cụ mẫu có cấp chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét).

*Giá trị chính xác (giá trị đúng) của đại lượng đo thường không biết trước, vì vậy khi đánh giá sai số của phép đo thường sử dụng giá trị thực Xth của đại lượng đo.*

Như vậy ta chỉ có sự đánh giá gần đúng về kết quả của phép đo. Việc xác định sai số của phép đo - tức là xác định độ tin tưởng của kết quả đo là một trong những nhiệm vụ cơ bản của đo lường học. Sai số của phép đo có thể phân loại theo cách thể hiện bằng số, theo nguồn gây ra sai số hoặc theo qui luật xuất hiện của sai số.

Tiêu chí phân loại Theo cách thể hiện bằng số

Theo nguồn gây ra sai số

Theo qui luật xuất hiện của sai số

Loại sai số

- Sai số tuyệt đối.
- Sai số tương đối.
- Sai số phương pháp.
- Sai số thiết bị.
- Sai số chủ quan.
- Sai số bên ngoài.
- Sai số hệ thống.
- Sai số ngẫu nhiên.

<b>Tiêu chí phân loại</b>	<b>Theo cách thể hiện bằng số</b>	<b>Theo nguồn gây ra sai số</b>	<b>Theo qui luật xuất hiện của sai số</b>
Loại sai số	- Sai số tuyệt đối - Sai số tương đối	- Sai số phương pháp - Sai số thiết bị. - Sai số chủ quan. - Sai số bên ngoài.	- Sai số hệ thống. - Sai số ngẫu nhiên

*Bảng 2.1. Phân loại sai số của phép đo.*

\* **Sai số tuyệt đối  $\Delta X$** : là hiệu giữa đại lượng đo X và giá trị thực  $X_{th}$  :

$$\Delta X = X - X_{th}$$

\* **Sai số tương đối  $\gamma_X$**  : là tỉ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị thực tính bằng

phần trăm:  $\left| \frac{\Delta X}{X_{th}} \right| \cdot 100(\%)$ ;

Vì  $X \approx X_{th}$  nên có thể có:  $\left| \frac{\Delta X}{X} \right| \cdot 100(\%)$

Sai số tương đối đặc trưng cho chất lượng của phép đo.

**Độ chính xác của phép đo  $\varepsilon$**  : đại lượng nghịch đảo của sai số tương đối:

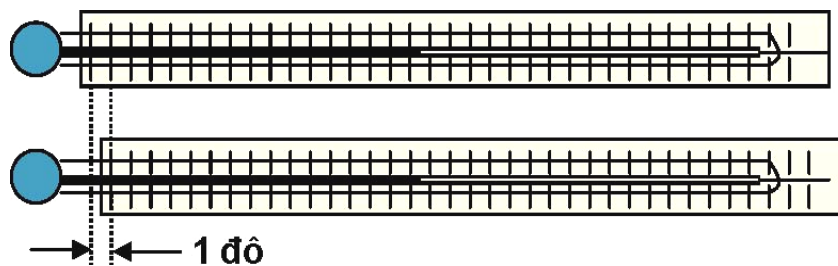
$$\varepsilon = \frac{1}{\left| \frac{\Delta X}{X_{th}} \right|}$$

\* **Sai số hệ thống (systematic error)**: thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hoặc thay đổi có qui luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo.

*Qui luật thay đổi có thể là một phía (dương hay âm), có chu kỳ hoặc theo một qui luật phức tạp nào đó.*

*Ví dụ: sai số hệ thống không đổi có thể là: sai số do khắc độ thang đo (vạch khắc độ bị lệch...), sai số do hiệu chỉnh dụng cụ đo không chính xác (chỉnh đường tâm ngang sai trong dao động ký...)...*

*Sai số hệ thống thay đổi có thể là sai số do sự dao động của nguồn cung cấp (pin yếu, ổn áp không tốt...), do ảnh hưởng của trường điện từ...*



Hình 2.1. Sai số hệ thống do khắc vạch là 1 độ - khi đọc cần hiệu chỉnh thêm 1 độ.

**1.2.3. Phương pháp tính sai số.**

Dựa vào số lớn các giá trị đo được có thể xác định qui luật thay đổi của sai số ngẫu nhiên nhờ sử dụng các phương pháp toán học thống kê và lý thuyết xác suất. Nhiệm vụ của việc tính toán sai số ngẫu nhiên là chỉ rõ giới hạn thay đổi của sai số của kết quả đo khi thực hiện phép đo nhiều lần, như vậy phép đo nào có kết quả với sai số ngẫu nhiên vượt quá giới hạn sẽ bị loại bỏ.

- **Cơ sở toán học:** việc tính toán sai số ngẫu nhiên dựa trên giả thiết là sai số ngẫu nhiên của các phép đo các đại lượng vật lý thường tuân theo luật phân bố chuẩn (luật phân bố Gau-xơ-Gauss). Nếu sai số ngẫu nhiên vượt quá một giá trị nào đó thì xác suất xuất hiện sẽ hầu như bằng không và vì thế kết quả đo nào có sai số ngẫu nhiên như vậy sẽ bị loại bỏ.

**- Các bước tính sai số ngẫu nhiên:**

Xét n phép đo với các kết quả đo thu được là  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

\*. **Tính ước lượng kì vọng toán học  $m_x$  của đại lượng đo:**

$$m_x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

chính là giá trị trung bình đại số của n kết quả đo.

\*. **Tính độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình vi :**



$$v_i = x_i - \bar{x}$$

$v_i$  (còn gọi là sai số dư).

\*. **Tính khoảng giới hạn của sai số ngẫu nhiên:** được tính trên cơ sở đường phân bố chuẩn:  $\pm \sigma$ , thường chọn:  $\pm 2\sigma$  với:

$$\pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$$

với xác suất xuất hiện sai số ngẫu nhiên ngoài khoảng này là 34%.

\* **Xử lý kết quả đo:** những kết quả đo nào có sai số dư vi nằm ngoài khoảng   sẽ bị loại.

#### **1.2.4. Các phương pháp hạn chế sai số**

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của mỗi phép đo chính xác là phải phân tích các nguyên nhân có thể xuất hiện và loại trừ sai số hệ thống. Mặc dù việc phát hiện sai số hệ thống là phức tạp, nhưng nếu đã phát hiện thì việc loại trừ sai số hệ thống sẽ không khó khăn.

\* **Việc loại trừ sai số hệ thống có thể tiến hành bằng cách:**

- **Chuẩn bị tốt trước khi đo:** phân tích lý thuyết; kiểm tra dụng cụ đo trước khi sử dụng; chuẩn bị trước khi đo; chỉnh "0" trước khi đo...

- **Quá trình đo có phương pháp phù hợp:** tiến hành nhiều phép đo bằng các phương pháp khác nhau; sử dụng phương pháp thế...

- **Xử lý kết quả đo sau khi đo:** sử dụng cách bù sai số ngược dấu (cho một lượng hiệu chỉnh với dấu ngược lại); trong trường hợp sai số hệ thống không

đổi thì có thể loại được bằng cách đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh:

+ **Lượng hiệu chỉnh:** là giá trị cùng loại với đại lượng đo được đưa thêm vào kết quả đo nhằm loại sai số hệ thống.

+ **Hệ số hiệu chỉnh:** là số được nhân với kết quả đo nhằm loại trừ sai số hệ thống.

*Trong thực tế không thể loại trừ hoàn toàn sai số hệ thống. Việc giảm ảnh hưởng sai số hệ thống có thể thực hiện bằng cách chuyển thành sai số ngẫu nhiên.*

\* **Xử lý kết quả đo.**

*Như vậy sai số của phép đo gồm 2 thành phần: sai số hệ thống  $\theta$  - không đổi hoặc thay đổi có qui luật và sai số ngẫu nhiên  $\Delta$  - thay đổi một cách ngẫu nhiên không có qui luật. Trong quá trình đo hai loại sai số này xuất hiện đồng thời và sai số phép đo  $\Delta X$  được biểu diễn dưới dạng tổng của hai thành phần sai số đó:  $\Delta X = \theta + \Delta$ . Để nhận được các kết quả sai lệch ít nhất so với giá trị thực của đại lượng đo cần phải tiến hành đo nhiều lần và thực hiện gia công (xử lý) kết quả đo (các số liệu nhận được sau khi đo).*

Sau  $n$  lần đo sẽ có  $n$  kết quả đo  $x_1, x_2, \dots, x_n$  là số liệu chủ yếu để tiến hành gia công kết quả đo.

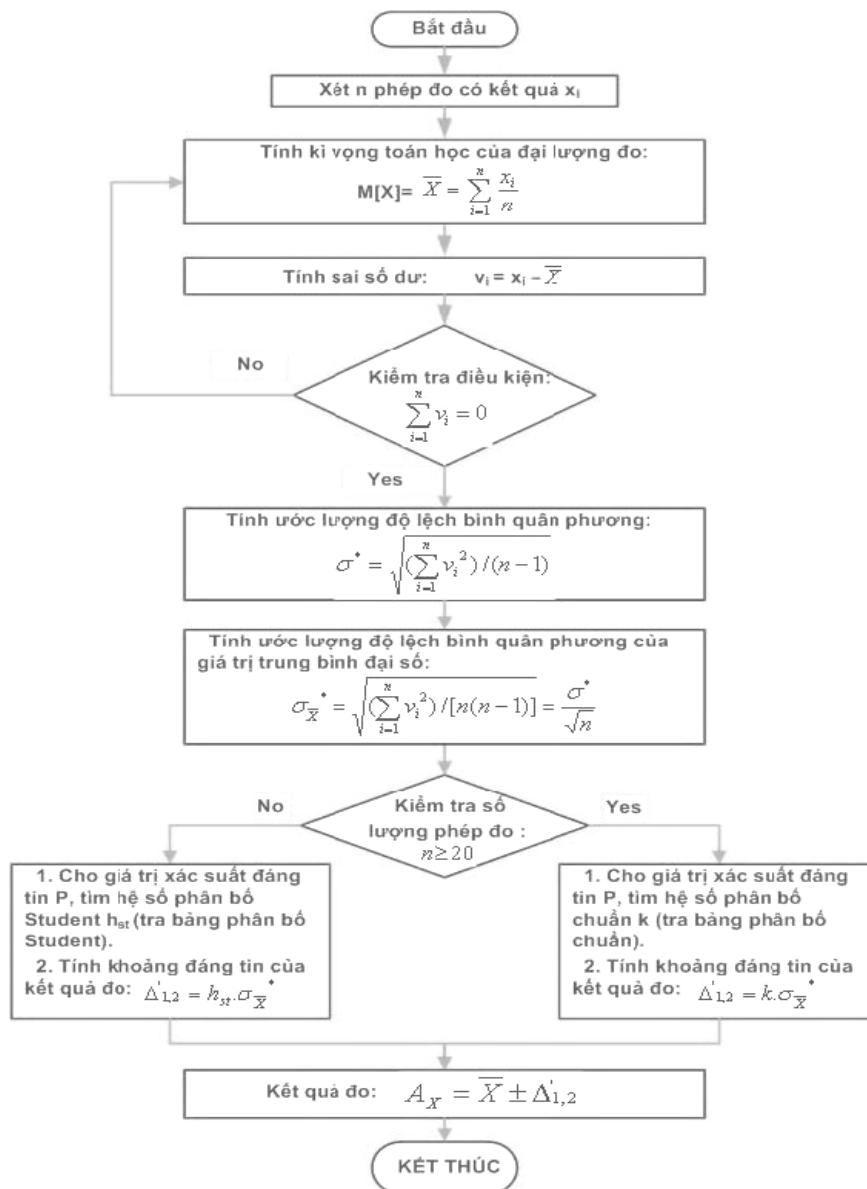
\* **Loại trừ sai số hệ thống.**

Việc loại trừ sai số hệ thống sau khi đo được tiến hành bằng các phương pháp.

- Sử dụng cách bù sai số ngược dấu



- Đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh



Hình 2.2. Lưu đồ thuật toán quá trình gia công kết quả đo.

## Phần II. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO THÔNG DỤNG

### 2.1. KHÁI NIỆM VỀ CƠ CẤU ĐO.

Cơ cấu đo là thành phần cơ bản để tạo nên các dụng cụ và thiết bị đo lường ở dạng tương tự (analog) và hiện số Digitans.

- Ở dạng tương tự (analog) là dụng cụ đo biến đổi thẳng: đại lượng cần đo X như điện áp, dòng điện, tần số, góc pha... được biến đổi thành góc quay  $\alpha$  của phần động (so với phần tĩnh), tức là biến đổi từ năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học.

Từ đó có biểu thức quan hệ:

■ X) với X là đại lượng điện.

Các cơ cấu chỉ thị này thường dùng trong các dụng cụ đo các đại lượng: dòng điện, điện áp, công suất, tần số, góc pha, điện trở... của mạch điện một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp.

- Hiện số (Digitans) là cơ cấu chỉ thị số ứng dụng các kỹ thuật điện tử và kỹ thuật máy tính để biến đổi và chỉ thị đại lượng đo.

Có nhiều loại thiết bị hiện số khác nhau như: đèn sợi đốt, đèn điện tích, LED 7 thanh, màn hình tinh thể lỏng LCD, màn hình cảm ứng...

## 2.2. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO.

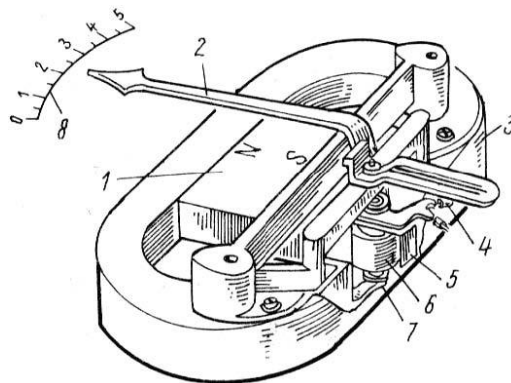
### 2.2.1. Cơ cấu đo từ điện..

*\* lôgômét từ điện (Permanent Magnet Moving Coil).*

a) **Cấu tạo chung:** gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** gồm: nam châm vĩnh cửu 1; mạch từ và cực từ 3 và lõi sắt 6 hình thành mạch từ kín. Giữa cực từ 3 và lõi sắt 6 có khe hở không khí đều gọi là khe hở làm việc, ở giữa đặt khung dây quay chuyển động.

- **Phần động:** gồm: khung dây quay 5 được quấn bằng dây đồng. Khung dây được gắn vào trục quay (hoặc dây căng, dây treo). Trên trục quay có hai lò xo cân 7 mắc ngược nhau, kim chỉ thị 2 và thang đo 8.



Hình 2.1. Cơ cấu chỉ thị từ điện.

b) **Nguyên lý làm việc chung:** khi có dòng điện chạy qua khung dây 5 (phần động), dưới tác động của từ trường nam châm vĩnh cửu 1 (phần tĩnh) sinh ra mômen quay  $M_q$  làm khung dây lệch khỏi vị trí ban đầu một góc  $\alpha$ . Mômen quay được tính theo biểu thức:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = B.S.W.I$$

với B: độ từ cảm của nam châm vĩnh cửu

S: tiết diện khung dây

W: số vòng dây của khung dây

Tại vị trí cân bằng, mômen quay bằng mômen cản:

$$M_q = M_c \cdot B.S.W.I \cdot D \cdot \frac{1}{D} \cdot B.S.W.I \cdot S_l \cdot I$$

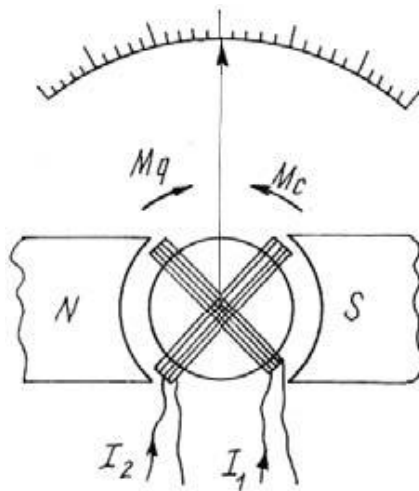
Với một cơ cấu chỉ thị cụ thể do B, S, W, D là hằng số nên góc lệch  $\alpha$  tỷ lệ bậc nhất với dòng điện I chạy qua khung dây.

**c) Các đặc tính chung:** từ biểu thức (5.1) suy ra cơ cấu chỉ thị từ điện có các đặc tính cơ bản sau:

- Chỉ đo được dòng điện một chiều.
- Đặc tính của thang đo đều.
- Độ nhạy  $S_l = \frac{1}{D} \cdot B.S.W$  là hằng số
- **Ưu điểm:** độ chính xác cao; ảnh hưởng của từ trường ngoài không đáng kể (do từ trường là do nam châm vĩnh cửu sinh ra); công suất tiêu thụ nhỏ nên ảnh hưởng không đáng kể đến chế độ của mạch đo; độ cản dẹt tốt; thang đo đều (do góc quay tuyến tính theo dòng điện).
- **Nhược điểm:** chế tạo phức tạp; chịu quá tải kém (do cuộn dây của khung quay nhỏ); độ chính xác của phép đo bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ, chỉ đo dòng một chiều.
- **Ứng dụng:** cơ cấu chỉ thị từ điện dùng để chế tạo ampemét vônmet, ômmét nhiều thang đo và có dải đo rộng; độ chính xác cao (cấp 0,1 ÷ 0,5).
  - + Chế tạo các loại ampemét, vônmet, ômmét nhiều thang đo, dải đo rộng.
  - + Chế tạo các loại điện kế có độ nhạy cao có thể đo được: dòng đến 10-12A, áp đến 10 - 4V, đo điện lượng, phát hiện sự lệch điểm không trong mạch cần đo hay trong điện thế kế.
  - + Sử dụng trong các mạch dao động ký ánh sáng để quan sát và ghi lại các giá trị tức thời của dòng áp, công suất tần số có thể đến 15kHz; được sử dụng để chế tạo các đầu rung.
  - + Làm chỉ thị trong các mạch đo các đại lượng không điện khác nhau.
  - + Chế tạo các dụng cụ đo điện tử tương tự: vônmet điện tử, tần số kế điện tử, pha kế điện tử...
  - + Dùng với các bộ biến đổi khác như chỉnh lưu, cảm biến cặp nhiệt để có thể đo được dòng, áp xoay chiều.

**d) Lôgômét từ điện:** là loại cơ cấu chỉ thị để đo tỉ số hai dòng điện, hoạt động theo nguyên lý giống cơ cấu chỉ thị điện từ, chỉ khác là không có lò xo cản mà thay bằng một khung dây thứ hai tạo ra mômen có hướng chống lại mômen quay của khung dây thứ nhất.

**Nguyên lý làm việc:** trong khe hở của từ trường của nam châm vĩnh cửu đặt phần động gồm hai khung quay đặt lệch nhau góc  $\delta$  ( $300 \div 900$ ). Hai khung dây gắn vào một trục chung. Dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  đưa vào các khung dây bằng các dây dẫn không mômen.



Hình 2.2. Lôgômét từ điện

- Dòng  $I_1$  sinh ra mômen quay  $M_q$ :  $M_q \propto I_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{d\alpha}$

- Dòng  $I_2$  sinh ra mômen cản  $M_c$ :  $M_c \propto I_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{d\alpha}$

với  $\Phi_1, \Phi_2$ : từ thông của nam châm móc vòng qua các khung dây, thay đổi theo  $\alpha$ .

Dấu của  $M_q$  và  $M_c$  ngược nhau. Các giá trị cực đại của các mômen lệch nhau góc  $\delta$ .

Ở trạng thái cân bằng có:

$$M_q \propto M_c \propto \frac{d\Phi_1}{d\alpha} = I_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{d\alpha} \propto I_2 \cdot \frac{d}{d\alpha} \left( \frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)} \right)$$

với  $f_1(\alpha), f_2(\alpha)$  là các đại lượng xác định tốc độ thay đổi của từ thông móc vòng.

Từ biểu thức trên có:  $\propto F\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$

**Đặc tính cơ bản:** góc lệch  $\alpha$  tỉ lệ với tỉ số của hai dòng điện đi qua các khung dây.

**Ứng dụng:** lôgômét từ điện được ứng dụng để đo điện trở, tần số và các đại lượng không điện.

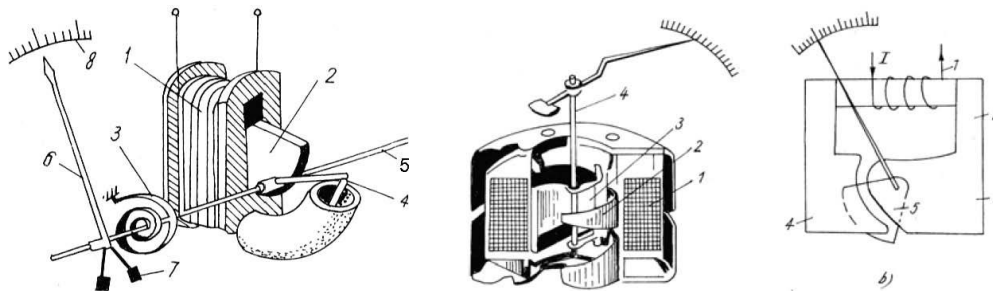
**2.2.2. Cơ cấu đo điện từ.**

*\* lôgômet điện từ.*

**a) Cấu tạo chung:** gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- *Phần tĩnh:* là cuộn dây 1 bên trong có khe hở không khí (khe hở làm việc).

- *Phần động:* là lõi thép 2 được gắn lên trục quay 5, lõi thép có thể quay tự do trong khe làm việc của cuộn dây. Trên trục quay có gắn: bộ phận cản dộ không khí 4, kim chỉ 6, đối trọng 7. Ngoài ra còn có lò xo cản 3, bảng khắc độ 8.



*Hình 2.3. Cấu tạo chung của cơ cấu chỉ thị điện từ.*

**b) Nguyên lý làm việc:** dòng điện I chạy vào cuộn dây 1 (phần tĩnh) tạo thành một nam châm điện hút lõi thép 2 (phần động) vào khe hở không khí với mômen quay:

$$M_q \propto \frac{dW_e}{d\alpha} \quad \text{với} \quad W_e \propto \frac{LI^2}{2}$$

với L là điện cảm của cuộn dây, suy ra:

$$M_q \propto \frac{1}{2} \cdot I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Tại vị trí cân bằng có:

$$M_q \propto M_c \propto \frac{1}{2D} \frac{dL}{d\alpha} I^2$$

là phương trình thể hiện đặc tính của cơ cấu chỉ thị điện từ.

**c) Các đặc tính chung:**

- Góc quay  $\alpha$  tỉ lệ với bình phương của dòng điện, tức là không phụ thuộc vào chiều của dòng điện nên có thể đo trong cả mạch xoay chiều hoặc một chiều.

- Thang đo không đều, có đặc tính phụ thuộc vào tỉ số  $dL/d\alpha$  là một đại lượng phi tuyến.

- Cản dộ thường bằng không khí hoặc cảm ứng.

- *Ưu điểm:* cấu tạo đơn giản, tin cậy, chịu được quá tải lớn.

- *Nhược điểm:* độ chính xác không cao nhất là khi đo ở mạch một chiều sẽ bị sai

số (do hiện tượng từ trễ, từ dư...); độ nhạy thấp; bị ảnh hưởng của từ trường ngoài (do từ trường của cơ cấu yếu khi dòng nhỏ).

**d) Ứng dụng:** thường được sử dụng để chế tạo các loại ampe-mét, vôn-mét trong mạch xoay chiều tần số công nghiệp với độ chính xác cấp 1÷2. Ít dùng trong các mạch có tần số cao.

### 2.2.3. Cơ cấu đo điện động.

#### \* lô-gô-mét điện động.

**a) Cấu tạo chung:** như hình 2.4: gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** gồm: cuộn dây 1 (được chia thành hai phần nối tiếp nhau) để tạo ra từ trường khi có dòng điện chạy qua. Trục quay chui qua khe hở giữa hai phần cuộn dây tĩnh.

- **Phần động:** gồm một khung dây 2 đặt trong lòng cuộn dây tĩnh. Khung dây 2 được gắn với trục quay, trên trục có lò xo cân, bộ phận cản dẹt và kim chỉ thị. Cả phần động và phần tĩnh được bọc kín bằng màn chắn để ngăn chặn ảnh hưởng của từ trường ngoài.

**b) Nguyên lý làm việc chung:** khi có dòng điện  $I_1$  chạy vào cuộn dây 1 (phần tĩnh) làm xuất hiện từ trường trong lòng cuộn dây. Từ trường này tác động lên dòng điện  $I_2$  chạy trong khung dây 2 (phần động) tạo nên mômen quay làm khung dây 2 quay một góc  $\alpha$ .

Mômen quay được tính:  $M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}$

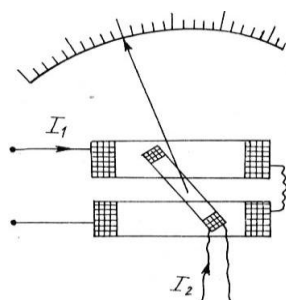
với:  $W_e$  là năng lượng điện từ trường. Có hai trường hợp xảy ra:

-  $I_1, I_2$  là dòng điện một chiều:  $M = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2$

với:  $M_{12}$  là hồ cảm giữa cuộn dây tĩnh và động.

-  $I_1$  và  $I_2$  là dòng điện xoay chiều:  $M = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi$

với:  $\psi$  là góc lệch pha giữa  $I_1$  và  $I_2$ .



Hình 2.4. Cấu tạo của cơ cấu chỉ thị điện động

**c) Các đặc tính chung:**

- Có thể dùng trong cả mạch điện một chiều và xoay chiều.
- Góc quay  $\alpha$  phụ thuộc tích  $(I_1.I_2)$  nên thang đo không đều
- Trong mạch điện xoay chiều  $\alpha$  phụ thuộc góc lệch pha  $\psi$  giữa hai dòng điện nên có thể ứng dụng làm Oátmét đo công suất.
- *Ưu điểm cơ bản:* có độ chính xác cao khi đo trong mạch điện xoay chiều.
- *Nhược điểm:* công suất tiêu thụ lớn nên không thích hợp trong mạch công suất nhỏ. Chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, muốn làm việc tốt phải có bộ phận chắn từ. Độ nhạy thấp vì mạch từ yếu.

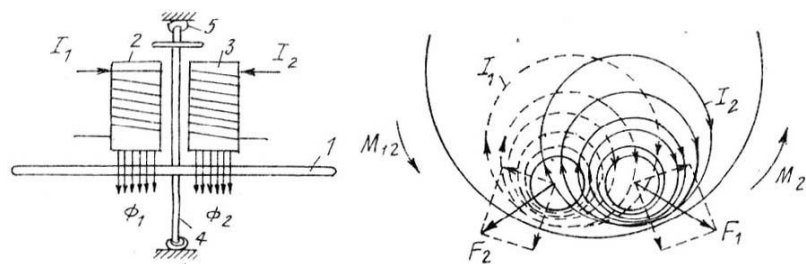
**d) Ứng dụng:** chế tạo các ampemét, vônmet, oátmét một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp; các pha kế để đo góc lệch pha hay hệ số công suất  $\cos\phi$ .

Trong mạch có tần số cao phải có mạch bù tần số (đo được dải tần đến 20KHZ).

**2.2.4. Cơ cấu đo cảm ứng.**

**a) Cấu tạo chung:** như hình 2.5: gồm phần tĩnh và phần động.

- **Phần tĩnh:** các cuộn dây điện 2,3 có cấu tạo để khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ sinh ra từ trường móc vòng qua mạch từ và qua phần động, có ít nhất là 2 nam châm điện.
- **Phần động:** đĩa kim loại 1 (thường bằng nhôm) gắn vào trục 4 quay trên trụ 5.



Hình 2.5. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

**b) Nguyên lý làm việc chung:** dựa trên sự tác động tương hỗ giữa từ trường xoay chiều (được tạo ra bởi dòng điện trong phần tĩnh) và dòng điện xoáy tạo ra trong đĩa của phần động, do đó cơ cấu này chỉ làm việc với mạch điện xoay chiều:

Khi dòng điện  $I_1, I_2$  vào các cuộn dây phần tĩnh  $\rightarrow$  sinh ra các từ thông  $\Phi_1, \Phi_2$  (các từ thông này lệch pha nhau góc  $\psi$  bằng góc lệch pha giữa các dòng điện tương ứng), từ thông  $\Phi_1, \Phi_2$  cắt đĩa nhôm 1 (phần động)  $\rightarrow$  xuất hiện trong đĩa nhôm các sức điện động tương ứng  $E_1, E_2$  (lệch pha với  $\Phi_1, \Phi_2$  góc  $\pi/2$ )  $\rightarrow$  xuất hiện các dòng điện xoáy  $I_{x1}, I_{x2}$  (lệch pha với  $E_1, E_2$  góc  $\alpha_1, \alpha_2$ ).

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Các từ thông  $\Phi_1, \Phi_2$  tác động tương hỗ với các dòng điện  $I_{x1}, I_{x2} \rightarrow$  sinh ra các lực  $F_1, F_2$  và các mômen quay tương ứng  $\rightarrow$  quay đĩa nhôm (phần động). Mômen quay được tính:  $M_q = C \cdot f \cdot \sin \psi$

với: C là hằng số

f là tần số của dòng điện  $I_1, I_2$

$\psi$  là góc lệch pha giữa  $I_1, I_2$

### c) Các đặc tính chung:

- Điều kiện để có mômen quay là ít nhất phải có hai từ trường.
- Mômen quay đạt giá trị cực đại nếu góc lệch pha  $\psi$  giữa  $I_1, I_2$  bằng  $\pi/2$ .
- Mômen quay phụ thuộc tần số của dòng điện tạo ra các từ trường.
- Chỉ làm việc trong mạch xoay chiều.
- Nhược điểm: mômen quay phụ thuộc tần số nên cần phải ổn định tần số.

d) **Ứng dụng:** chủ yếu để chế tạo công tơ đo năng lượng; có thể đo tần số...

TT	Cơ cấu chỉ thị	Kí hiệu	Tín hiệu đo	Ứng dụng
1	Cơ cấu chỉ thị từ điện		$I =$	A, V, $\Omega$ , G
2	Lôgômét từ điện		$I_1 = I_2 =$	$\Omega$ , đo không điện
3	Cơ cấu chỉ thị điện từ		$I^2 \approx$	A, V
4	Lôgômét điện từ		$(I_1 / I_2 \approx)^2$	Tần số kế, ômkế, đo góc pha...
5	Cơ cấu chỉ thị điện động		$I_1 \cdot I_2 \approx$	A, V, $\Omega$ , W, $\cos \varphi$ , tần số kế...
6	Cơ cấu chỉ thị sắt điện động		$I_1 \cdot I_2 \approx$	A, V, $\Omega$ , tự ghi
7	Lôgômét điện động		$I_1 / I_2 \approx$	$\Omega$ , tần số kế, $\cos \varphi$
8	Cơ cấu chỉ thị tĩnh điện		$U^2 \approx$	V, kV
9	Cơ cấu chỉ thị cảm ứng		$I_1, I_2 \approx$	Công tơ

*Bảng A. Bảng tổng kết các loại cơ cấu chỉ thị cơ điện*



**Phần III. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN CƠ BẢN**

**3.1. ĐO ĐẠI LƯỢNG U, I.**

**3.1.1. Đo dòng điện.**

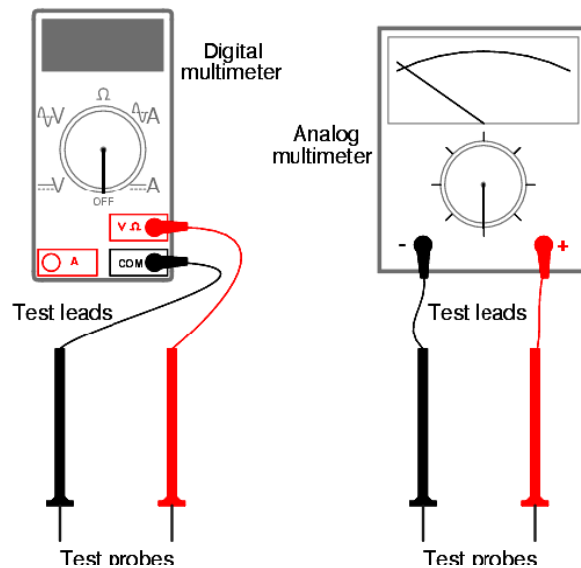
**\* Khái niệm chung**

Dụng cụ được sử dụng để đo dòng điện gọi là ampe kế hay ampemet

Ký hiệu là: A

Ampe kế có nhiều loại khác nhau, nếu chia theo kết cấu ta có:

- + Ampe kế từ điện
- + Ampe kế điện từ
- + Ampe kế điện động
- + Ampe kế nhiệt điện
- + Ampe kế bán dẫn



*Hình 1.1: Đồng hồ số và kim*

Nếu chia theo loại chỉ thị ta có:

- + Ampe kế chỉ thị số (Digital)
- + Ampe kế chỉ thị kim (kiểu tương tự /Analog)

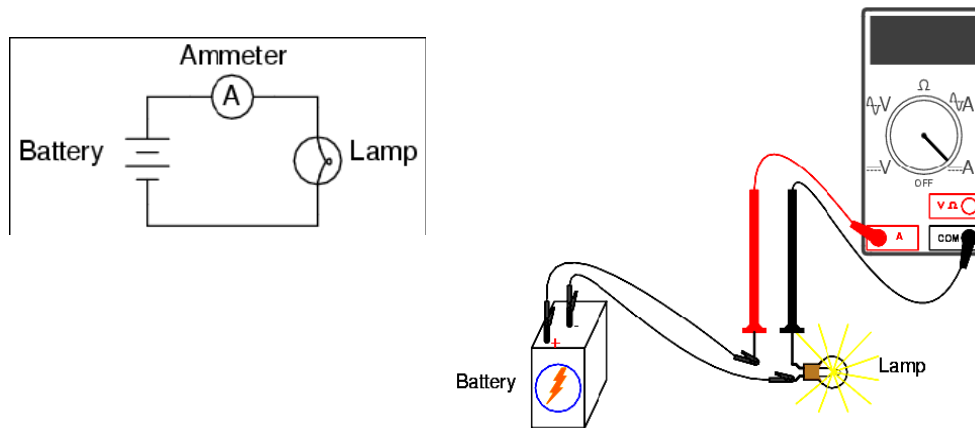
Hình bên là hai loại đồng hồ vạn năng số và kim. Nếu chia theo tính chất của đại lượng đo, ta có:

- + Ampe kế một chiều

+ Ampe kế xoay chiều

**\* Yêu cầu đối với dụng cụ đo dòng điện là:**

- Công suất tiêu thụ càng nhỏ càng tốt, điện trở của ampe kế càng nhỏ càng tốt và lý tưởng là bằng 0.
- Làm việc trong một dải tần cho trước để đảm bảo cấp chính xác của dụng cụ đo
- Mắc ampe kế để đo dòng phải mắc nối tiếp với dòng cần đo (hình dưới)



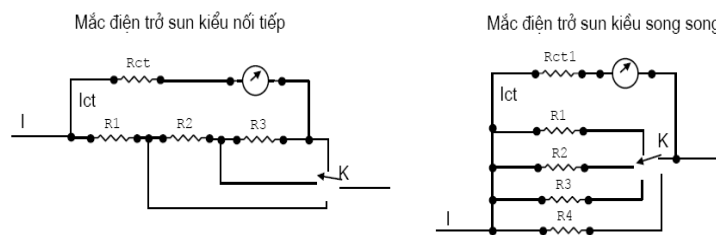
Hình 1.2: Dùng đồng hồ số đo dòng điện

**A. Ampe kế một chiều**

Ampe kế một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Như đã biết, độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quấn bằng dây có tiết diện bé nên khả năng chịu dòng rất kém. Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng 10 - 4 đến 10-2 A; điện trở của cuộn dây từ 20Ω đến 2000Ω với cấp chính xác 1,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05.

Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị có giá trị như sau:

$R_s = n \frac{R_{CT}}{n}$  với  $n = \frac{I}{I_{CT}}$  gọi là hệ số mở rộng thang đo của ampe kế



Hình 3.3: Mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị

I là dòng cần đo và  $I_{CT}$  là dòng cực đại mà cơ cấu chịu đựng được (độ lệch cực đại của thang đo)

**Chú ý:** Khi đo dòng nhỏ hơn 30A thì điện trở sun nằm ngay trong vỏ của ampe kế còn khi đo dòng lớn hơn thì điện trở sun như một phụ kiện kèm theo. Khi ampe kế có nhiều thang đo người ta mắc sun như sau:

Việc tính điện trở sun ứng với dòng cần đo được xác định theo công thức như trên nhưng với n khác nhau. ở hình a)

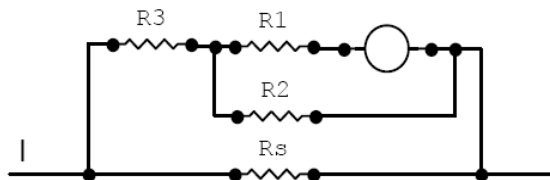
$$R_{S1} \parallel R_1 \parallel r_{ct} \parallel \frac{R_{S2} \parallel R_{S3}}{n_1} \quad \text{Với } n_1 \parallel \frac{I_1}{I_{CT}}; \quad R_{S2} \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel \frac{r_{ct} \parallel R_3}{n_2} \quad \text{Với } n_2 \parallel \frac{I_2}{I_{CT}}$$

$$R_{S3} \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel \frac{r_{ct}}{n_3} \quad \text{Với } n_3 \parallel \frac{I_3}{I_{CT}}$$

Ở hình b:  $R_{S1} \parallel \frac{r_{ct}}{n_1}$  Với  $n_1 \parallel \frac{I_1}{I_{CT}}; \quad R_{S2} \parallel \frac{r_{ct}}{n_2}$  Với  $n_2 \parallel \frac{I_2}{I_{CT}}$

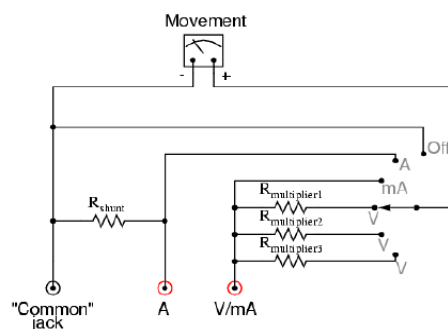
$$R_{S3} \parallel \frac{r_{ct}}{n_3} \quad \text{Với } n_3 \parallel \frac{I_3}{I_{CT}}; \quad R_{S4} \parallel \frac{r_{ct}}{n_4} \quad \text{Với } n_4 \parallel \frac{I_4}{I_{CT}}$$

**Chú ý:** điện trở sun được chế tạo bằng Manganin có độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu đo ít nhất là 1 cấp. Do cuộn dây động của cơ cấu chỉ thị được quấn bằng dây đồng mảnh, điện trở của nó thay đổi đáng kể khi nhiệt độ của môi trường thay đổi và sau một thời gian lumen việc bản thân dòng điện chạy qua cuộn dây cũng tạo ra nhiệt độ. Để giảm ảnh hưởng của sự thay đổi điện trở cuộn dây khi nhiệt độ thay đổi, người ta mắc thêm điện trở bù bằng Manganin hoặc Constantan với sơ đồ như sau:

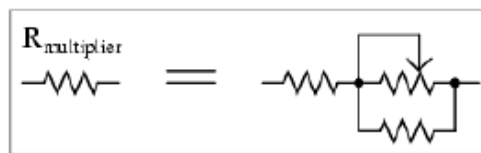


R1, 3: điện trở bằng Mr  
R2: điện trở bằng Cu

Dưới đây là ví dụ thực tế của một sơ đồ mắc điện trở sun của một dụng cụ đo cả dòng và áp



" $R_{multiplier}$ " resistors are actually rheostat networks

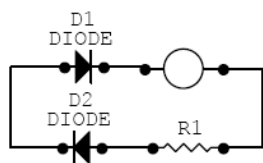


**B. Ampemet xoay chiều**

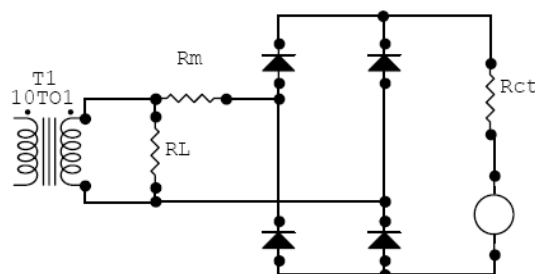
Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng ampemet từ điện chỉnh lưu, ampemet điện từ, và ampemet điện động.

**C. Ampemet chỉnh lưu**

Là dụng cụ đo dòng điện xoay chiều kết hợp giữa cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diode.



*Chỉnh lưu nửa chu kỳ*



*Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ*

Biến áp sử dụng là loại biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là  $W_1$  và  $W_2$ . Khi đó tỉ số dòng thứ cấp trên dòng sơ cấp được tính bằng:

Kim chỉ thị dừng ở vị trí chỉ dòng trung bình qua cuộn dây động.  $R_L$  được chọn để gánh phần dòng dư thừa giữa  $I_{2tb}$  và  $I_{ct}$

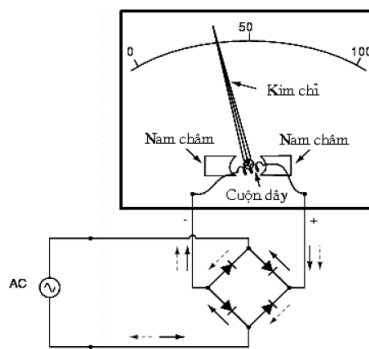
Mối quan hệ giữa dòng đỉnh  $I_p$ , dòng trung bình  $I_{trb}$  và dòng trung bình bình phương  $I_{rms}$  của sơ đồ mạch chỉnh lưu cầu như sau:

$$I_{tb} = 0,637 \cdot I_p$$

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_p$$

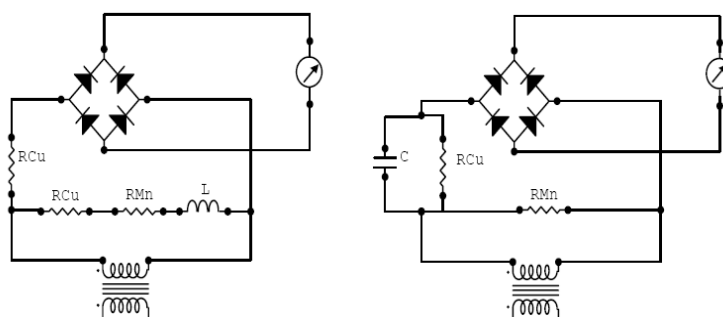
$$I_{rms} = 1,1 \cdot I_{tb}$$

**Chú ý:** Giá trị dòng mà kim chỉ thị dừng là giá trị dòng trung bình nhưng thang khắc độ thường theo giá trị rms.



*Hình a : Ampemet chỉnh lưu*

**Chú ý:** Nói chung các ampe kế chỉnh lưu có độ chính xác không cao (từ 1 tới 1,5) do hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ và thay đổi theo tần số. Có thể sử dụng sơ đồ bù sai số đo nhiệt và đo tần số cho ampe kế chỉnh lưu như sau:

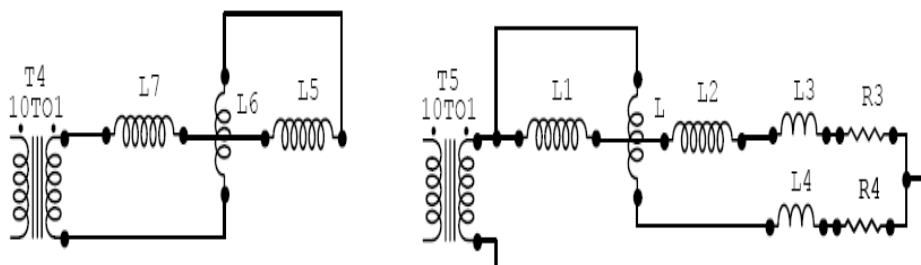


*Hình b: Ampe kế chỉnh lưu*

#### **D. Ampemet điện động**

Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 0,2).

Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song như (hình sau).



*Hình c: Ampemet điện động*

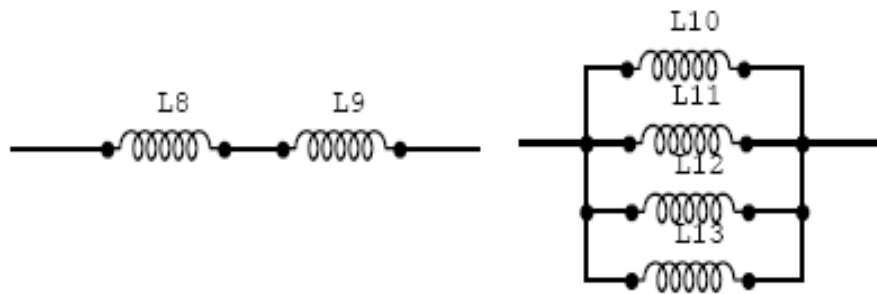
Trong đó các điện trở và cuộn dây ( $L_3, R_3$ ), ( $L_4, R_4$ ) là để bù sai số do nhiệt (thường làm bằng manganin hoặc constantan) và sai số do tần số (để dòng qua hai cuộn tĩnh và cuộn động trùng pha nhau).

Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với  $I_2$  nên máy đo chỉ giá trị rms. Giá trị rms của dòng xoay chiều có tác dụng như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể đọc thang đo của dụng cụ như dòng một chiều hoặc xoay chiều rms.

**E. Ampemet điện từ**

Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng xác định ( $I.W$  là một hằng số)

Khi đo dòng có giá trị nhỏ người ta mắc các cuộn dây nối tiếp và khi đo dòng lớn người ta mắc các cuộn dây song song.



Hình d: Ampemet điện từ

**G. Ampemet nhiệt điện**

Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện. Cặp nhiệt điện (hay còn gọi là cặp nhiệt ngẫu) gồm 2 thanh kim loại khác loại được hàn với nhau tại một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ  $t_1$ ), hai đầu kia nối với milivonkế gọi là đầu tự do (nhiệt độ  $t_0$ ).

Khi nhiệt độ đầu làm việc  $t_1$  khác nhiệt độ đầu tự do  $t_0$  thì cặp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

$$E_t = \zeta_1 \Delta t$$

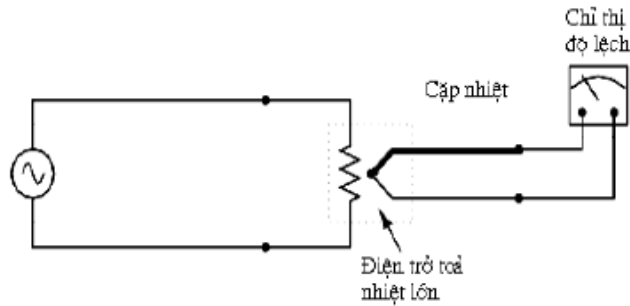
$$\Delta t = t_1 - t_0$$

Khi dùng dòng  $I_x$  để đốt nóng đầu  $t_1$  thì:

$$\Delta t = \zeta_2 \cdot I_x^2$$

$$E_t = \zeta_1 \cdot k_2 \cdot I_x^2 = \zeta_x \cdot I_x^2$$

Như vậy kết quả hiển thị trên milivon kế tỉ lệ với dòng cần đo



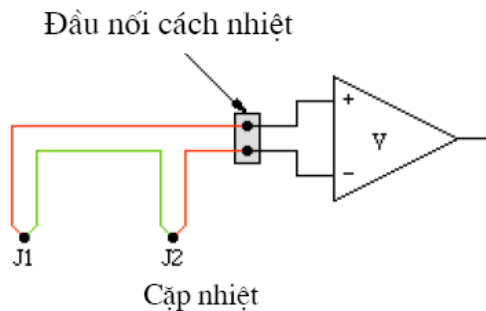
Hình e: Ampemet nhiệt điện

Vật liệu để chế tạo cặp nhiệt điện có thể là sắt – constantan; đồng – constantan; crom – alumen và platin – rodi

Ampemet nhiệt điện có sai lớn do tiêu hao công suất, khả năng chịu quá tải kém nhưng có thể đo ở dải tần rất rộng từ một chiều tới hàng MHz.

Thông thường để tăng độ nhạy của cặp nhiệt, người ta sử dụng một bộ khuếch đại áp như sơ đồ dưới đây:

J1, J2 là 2 đầu đo nhiệt



**Chú ý:** Để đo giá trị điện áp của nguồn xoay chiều người ta cũng làm như trên vì khi đó nhiệt độ đo được tỉ lệ với dòng qua điện trở nhiệt mà dòng này lại tỉ lệ với áp trên hai đầu điện trở, do vậy cũng xác định được giá trị của điện áp thông qua giá trị nhiệt độ. Đây chính là nguyên tắc để chế tạo Vôn kế nhiệt điện.

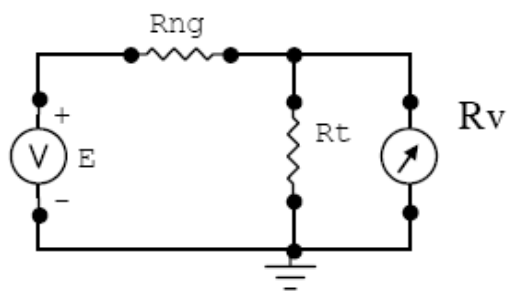
### 3.1.2. Đo điện áp.

#### a. Mở đầu

Dụng cụ dùng để đo điện áp gọi là Vôn kế hay Vôn met (Voltmeter)

Ký hiệu là: V

Khi đo điện áp bằng Vôn kế thì Vôn kế luôn được mắc song song với đoạn mạch cần đo như hình dưới đây:



Hình a: Mạch đo điện áp

- Khi chưa mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_t = \frac{E}{R_t + R_{ng}} \cdot R_t$$

- Khi mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_v = \frac{E}{R_e + R_{ng}} \cdot R_e$$

$$R_e = R_v // R_t = \frac{R_v \cdot R_t}{R_v + R_t}$$

Vậy sai số của phép đo điện áp bằng Vôn kế là:

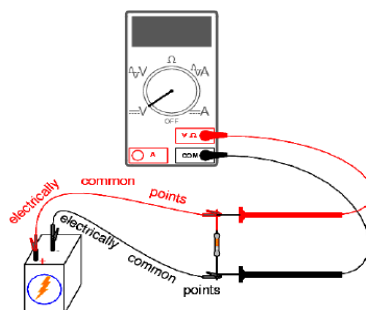
$$\gamma = \frac{U_t - U_v}{U_t} = \frac{U_t - U_v}{U_t} = \frac{1}{1 + \frac{R_t \cdot R_{ng}}{R_v \cdot (R_t + R_{ng})}}$$

Như vậy, muốn sai số nhỏ thì yêu cầu  $R_v$  phải càng lớn càng tốt và lý tưởng là  $R_v \approx \infty$ ?

Kết quả đo nếu muốn tính chính xác thì phải sử dụng công thức:

$$U_v = (1 + \gamma_u) \cdot U_t$$

Để đo điện áp của một phân tử nào đó người ta mắc Vôn kế như hình dưới:



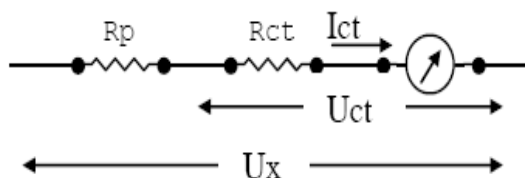
Hình b: Dùng đồng hồ số đo điện áp

**a. Vôn kế một chiều**

**\* Nguyên tắc hoạt động**



Độ lệch của dụng cụ đo TĐNCVC tỉ lệ với dòng qua cuộn dây động. Dòng qua cuộn dây tỉ lệ với điện áp trên cuộn dây nên thang đo của máy đo TĐNCVC có thể được chia để chỉ điện áp. Nghĩa là, Vôn kế chỉ là ampe kế dòng rất nhỏ với điện trở rất lớn. Điện áp định mức của chỉ thị vọt khoảng 50 – 75mV nên cần nối tiếp nhiều điện trở phụ (còn gọi là điện trở nhân) với chỉ thị để làm tăng khoảng đo của Vôn kế. Sơ đồ mắc như sau:



Trong đó:

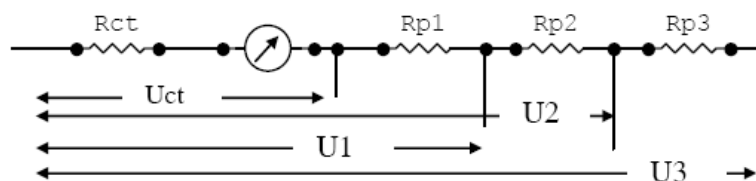
$$I_{CT} = \frac{U_{CT}}{R_{CT}} = \frac{U_X}{R_P + R_{CT}}$$

$$R_P + R_{CT} = \frac{U_X}{I_{CT}} = \frac{U_X}{\frac{U_{CT}}{R_{CT}}} = \frac{U_X}{U_{CT}} \cdot R_{CT} = m \cdot R_{CT}$$

với  $m = \frac{U_X}{U_{CT}}$  gọi là hệ số mở rộng thang đo về áp

Vôn kế nhiều thang đo thì các điện trở phụ được mắc như sau:

Sơ đồ mắc nối tiếp:



Trong đó:

$$R_{p1} = R_{ct}(m_1 - 1)$$

$$R_{p1} + R_{p2} = R_{ct}(m_2 - 1)$$

$$R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} = R_{ct}(m_3 - 1)$$

$$m_1 = \frac{U_1}{U_{ct}}$$

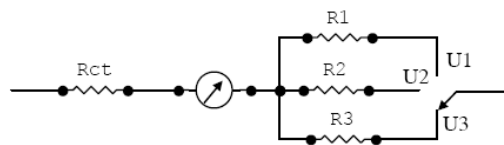
$$m_2 = \frac{U_2}{U_{ct}}$$

$$m_3 = \frac{U_3}{U_{ct}}$$

Hoặc sơ đồ mắc song song:

$$\begin{aligned}
 R1 &= Rct(m1 - 1) \\
 R2 &= Rct(m2 - 1) \\
 R3 &= Rct(m3 - 1)
 \end{aligned}
 \quad \text{với}$$

$$\begin{aligned}
 m1 &= \frac{U1}{Uct} \\
 m2 &= \frac{U2}{Uct} \\
 m3 &= \frac{U3}{Uct}
 \end{aligned}$$



**Nhận xét:** Thang đo có vạch chia đều (tính chất của cơ cấu từ điện)

**b. Vôn kế xoay chiều**

**\* Vôn kế từ điện đo điện áp xoay chiều**

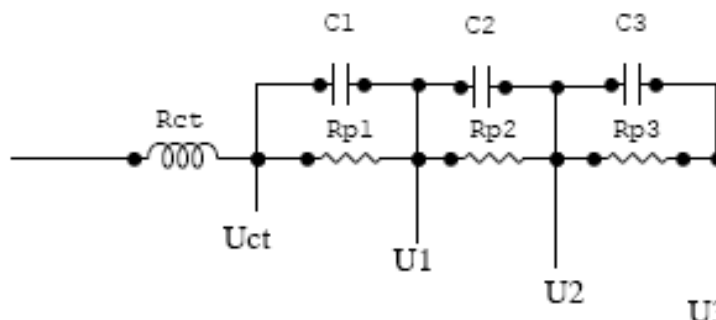
Sử dụng cơ cấu từ điện thì dụng cụ có tính phân cực và phải mắc đúng sao cho độ lệch dương (trên thang đo). Khi dòng xoay chiều có tần số rất thấp chạy qua dụng cụ TĐNCVC thì kim có xu hướng chỉ theo giá trị tức thời của dòng xoay chiều. Như vậy, khi giá trị dòng tăng theo chiều + thì kim cũng tăng tới giá trị cực đại sau đó giảm tới 0 và xuống bán kỳ âm thì kim sẽ bị lệch ngoài thang đo. Trường hợp này xảy ra khi tần số của dòng xoay chiều cỡ 0,1Hz hoặc thấp hơn.

Khi dòng xoay chiều có tần số công nghiệp (50/60Hz) hoặc cao hơn thì cơ cấu làm nhụt vệt quán tính chuyển động của cơ cấu động (toàn máy đo) không biến đổi theo mức dòng tức thời mà thay vào đó kim của dụng cụ sẽ dừng ở vị trí trung bình của dòng chạy qua cuộn động. Với sóng sin thuần túy kim lệch sẽ ở vị trí zero mặc dù dòng Irms có thể có giá trị khá lớn vệt có khả năng gây hỏng dụng cụ.

Do đó, để sử dụng dụng cụ TĐNCVC làm thành dụng cụ đo xoay chiều người ta phải sử dụng các bộ chỉnh lưu (*nửa sóng hoặc toàn sóng*) để các giá trị của dòng chỉ gây ra độ lệch dương.

**c. Vôn kế điện từ**

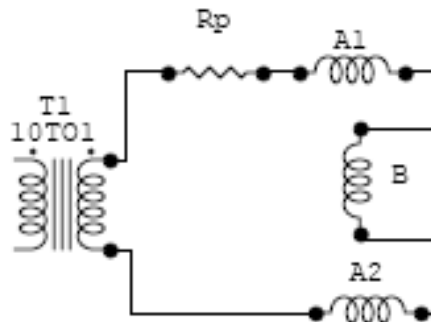
Là dụng cụ để đo điện áp xoay chiều tần số công nghiệp. Cuộn dây tĩnh có số vòng dây rất lớn từ 1000 – 6000 vòng. Để mở rộng thang đo người ta mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ.



Các tụ C được mắc song song với các điện trở phụ để bù sai số do tần số khi tần số lớn hơn tần số công nghiệp.

**d. Vôn kế điện động**

Cuộn kích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau và nối tiếp với cuộn động. Độ lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với  $I_2$  nên kim dừng ở giá trị trung bình của  $I_2$  tức giá trị tức thời rms.



**\* Đặc điểm của Vôn kế điện động**

- + Tác dụng của dòng rms giống như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể khác độ theo giá trị một chiều và dùng cho cả xoay chiều
- + Dụng cụ điện động thường đòi hỏi dòng nhỏ nhất là 100mA cho ĐLTT nên Vôn kế điện động có độ nhạy thấp hơn nhiều so với Vôn kế từ điện (chỉ khoảng 10Ω/V)
- + Để giảm thiểu sai số chỉ nên dùng ở khu vực tần số công nghiệp

**e. Đo điện áp bằng phương pháp so sánh**

**\*Cơ sở lý thuyết**

Các dụng cụ đo điện đã trình bày ở trên sử dụng có cấu cơ điện để chỉ thị kết quả đo nên cấp chính xác của dụng cụ không vượt quá cấp chính xác của chỉ thị. Để đo điện áp chính xác hơn người ta dùng phương pháp bù (so sánh với giá trị mẫu).

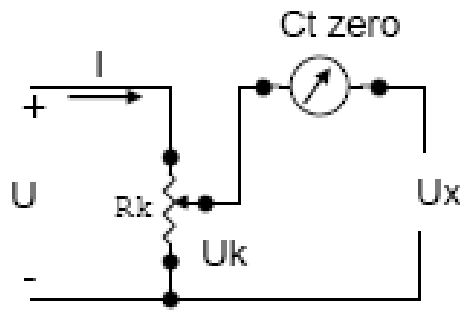
Nguyên tắc cơ bản như sau:

+  $U_k$  là điện áp mẫu với độ chính xác rất cao được tạo bởi dòng điện  $I$  ổn định đi qua điện trở mẫu  $R_k$ . Khi đó:

$$U_k = I.R_k$$

+ Chỉ thị là thiết bị phát hiện sự chênh lệch giữa điện áp mẫu  $U_k$  và điện áp cần đo  $U_x$

$$\Delta U = U_x - U_k$$



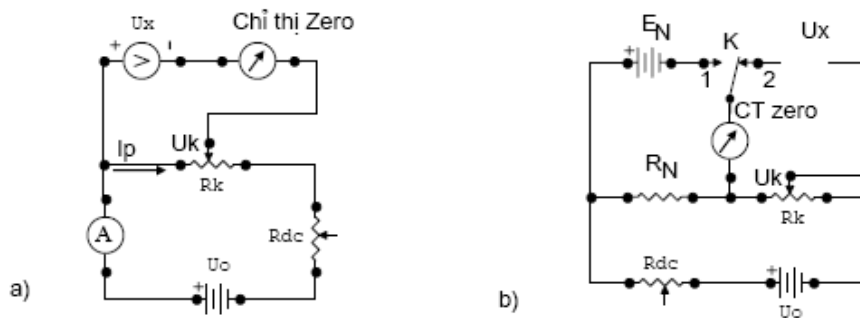
Khi  $\Delta U \neq 0$  điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu  $R_k$  sao cho  $U_x = U_k$ , nghĩa là làm cho  $\Delta U = 0$ ; chỉ thị chỉ zero.

+ Kết quả được đọc trên điện trở mẫu đã được khắc độ theo thứ nguyên điện áp.

**Chú ý:** Các dụng cụ bù điện áp đều có nguyên tắc hoạt động như trên nhưng có thể khác nhau phần tạo điện áp mẫu  $U_k$

**g. Điện thế kế một chiều**

\* Sơ đồ mạch:



**Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ a)**

- + Xác định dòng công tác  $I_p$  nhờ nguồn điện áp  $U_0$ ,  $R_{dc}$  và Ampe kế.
- + Giữ nguyên giá trị của  $I_p$  trong suốt thời gian đo
- + Điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu  $R_k$  cho đến khi chỉ thị chỉ zero
- + Đọc kết quả trên điện trở mẫu, khi đó:  $U_x = U_k = I_p \cdot R_k$

Trong sơ đồ a, vì sử dụng Ampe kế nên độ chính xác của điện thế kế không thể cao hơn độ chính xác của Ampe kế.

Người ta cải tiến mạch bằng cách sử dụng nguồn pin mẫu ( $E_N$ ) và điện trở mẫu ( $R_k$ ) có độ chính xác cao như ở hình b.

**\* Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ b)**

- + Khi K ở vị trí 1, điều chỉnh  $R_{dc}$  để chỉ thị chỉ zero.

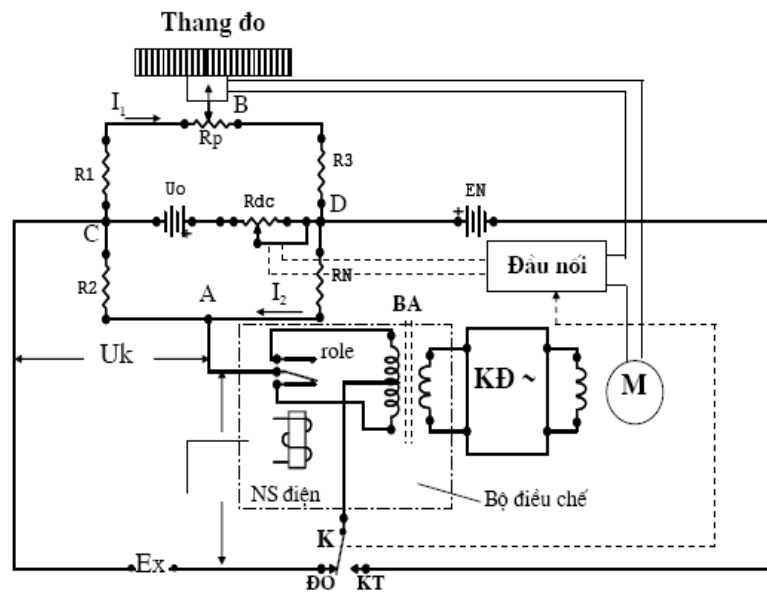
$$\text{Khi đó: } I_p = \frac{E_N}{R_N}$$

+ Giữ nguyên R<sub>đc</sub> vµ chuyển K sang vị trí 2, điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu để chỉ thị về zero.

$$\text{Khi đó: } U_x = U_k = I_p \cdot R_k = \frac{E_N}{R_N} \cdot R_k$$

**Chú ý:** trên thực tế, người ta thường sử dụng điện thế kế một chiều tự động cân bằng (để đo sức điện động của các cặp nhiệt ngẫu đo nhiệt độ)

*Sơ đồ mạch của điện thế kế một chiều tự động cân bằng*



Trong đó:

R<sub>N</sub>, E<sub>N</sub> là điện trở và nguồn điện mẫu có độ chính xác cao

U<sub>0</sub> là nguồn điện áp ổn định

Động cơ thuận nghịch hai chiều để điều chỉnh con chạy của R<sub>p</sub> và R<sub>đc</sub>

Bộ điều chế làm nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều (ΔU) thành điện áp xoay chiều để điều khiển động cơ

**Hoạt động:**

Trước khi đo, khóa K được đặt ở vị trí KT (kiểm tra) khi đó dòng I<sub>2</sub> qua điện trở mẫu R<sub>N</sub> và ΔU = E<sub>N</sub> - I<sub>2</sub>R<sub>N</sub>

ΔU qua bộ điều chế để chuyển thành tín hiệu xoay chiều (role được điều khiển bởi nam châm điện nên có tần số đóng/cắt phụ thuộc vào dòng chạy trong nam châm điện). Tín hiệu xoay chiều này thường có giá trị rất nhỏ nên phải qua bộ khuếch đại để

tăng tới giá trị đủ lớn có thể điều khiển động cơ thuận nghịch hai chiều. Động cơ này quay và kéo con chạy của  $R_{dc}$  để làm thay đổi  $I_2$  tới khi  $\Delta U = 0$ .

Đồng thời nó cũng kéo con trượt của  $R_p$  về vị trí cân bằng.

+ Khi K ở vị trí đo ta có:  $\Delta U = E_x - U_k$

với  $U_k = I_1 (R_1 + R_{p1}) - I_2 \cdot R_2$

Nếu  $E_x > U_k$  thì động cơ sẽ kéo con chạy để tăng  $U_k$  tới khi  $\Delta U = 0$

Nếu  $E_x < U_k$  thì động cơ sẽ kéo con chạy để giảm  $U_k$  tới khi  $\Delta U = 0$

Vị trí của con chạy và kim chỉ sẽ xác định giá trị của  $E_x$ . Ưu điểm của điện thế kế một chiều tự động cân bằng là tự động trong quá trình đo và có khả năng tự ghi kết quả trong một thời gian dài.

### ***h. Điện thế kế xoay chiều***

Nguyên tắc hoạt động chung giống như điện thế kế một chiều, nghĩa là, cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng công tác chạy qua. Tuy nhiên, do không sử dụng pin mẫu mà sử dụng dòng xoay chiều nên việc điều chỉnh cho  $U_x$  và  $U_k$  bằng nhau là rất phức tạp.

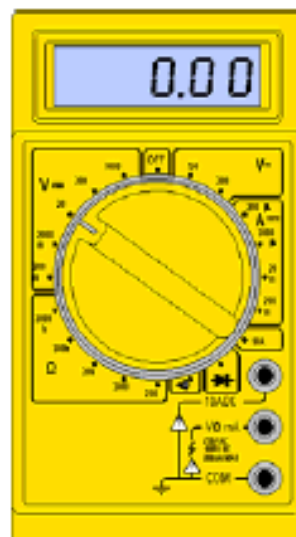
Muốn  $U_x$  và  $U_k$  cân bằng nhau thì phải thỏa mãn 3 điều kiện:

- +  $U_x$  và  $U_k$  cùng tần số
- +  $U_x$  và  $U_k$  bằng nhau về trị số
- +  $U_x$  và  $U_k$  ngược pha nhau (180°)

### ***i. Vôn kế số***

Vôn kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo. Tùy thuộc vào phương pháp biến đổi người ta phân thành:

- + Vôn kế số chuyển đổi thời gian
- + Vôn kế số chuyển đổi tần số
- + Vôn kế số chuyển đổi bù



### 3.2. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG R, L, C.

#### 3.2.1. Đo điện trở.

##### A. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp

##### a) Đo điện trở bằng vôn mét và am pe mét

Sơ đồ đo điện trở R dựa trên định luật Ôm. Mặc dù có thể sử dụng các dụng cụ đo chính xác nhưng giá trị điện trở nhận được bằng phương pháp này có thể có sai số lớn. tùy theo cách mắc am pe mét và vôn mét mà giá trị  $R_x$  đo được sẽ khác nhau

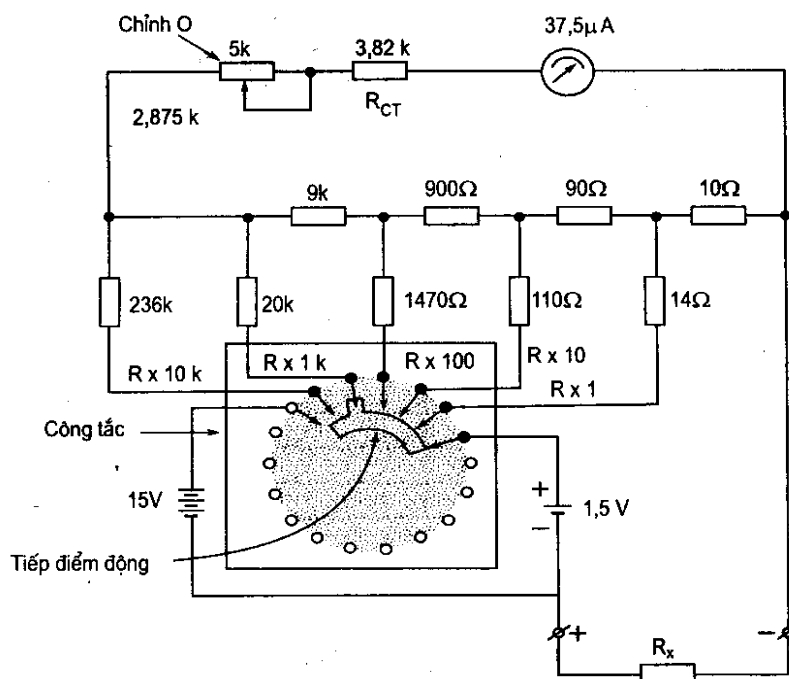
##### b. Đo điện trở bằng Ômmét

##### \*Ômmét mắc song song

Là loại dụng cụ đo trong  $R_x$  mắc song song với cơ cấu chỉ thị hình 5-5a. Ưu điểm của Ômmét loại này là có thể đo được điện trở tương đối nhỏ (cỡ  $k\Omega$  trở lại) và điện trở vào của ômmét  $R_\Omega$  nhỏ khi dòng điện từ nguồn cung cấp không lớn lắm. Do  $R_x$  mắc song song với cơ cấu chỉ thị nên khi  $R_x = \infty$  (chưa có  $R_x$ ) dòng điện qua chỉ thị là lớn nhất ( $I_{CT} = I_{CTmax}$ ) với  $R_x = 0$  dòng điện qua chỉ thị  $I_{CT} = 0$ . Thang đo được khắc độ giống như vôn mét hình 5-5b.

Điều chỉnh thang đo của ômmét trong trường hợp nguồn cung cấp thay đổi cũng dùng một biến trở  $R_M$  và điều chỉnh ứng với  $R_x = \infty$ . Xác  $R_p$  và  $R_M$  giống như sơ đồ ômmét mắc nối tiếp.

##### \*Ômmét nhiều thang đo.



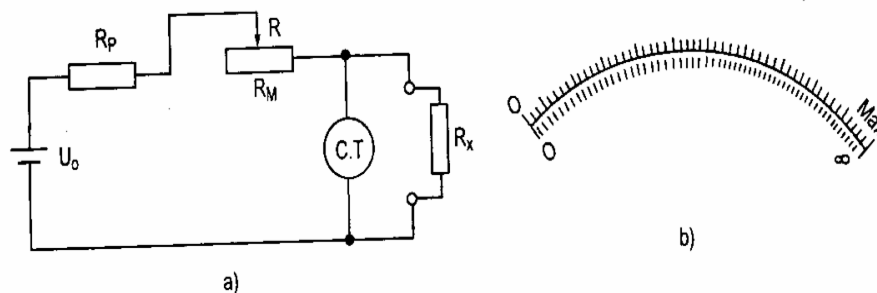
Hình 5-6a. Ômmét nhiều thang đo

Ômmét

nhieu thang đo thực hiện theo nguyên tắc chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở của ômmét với một

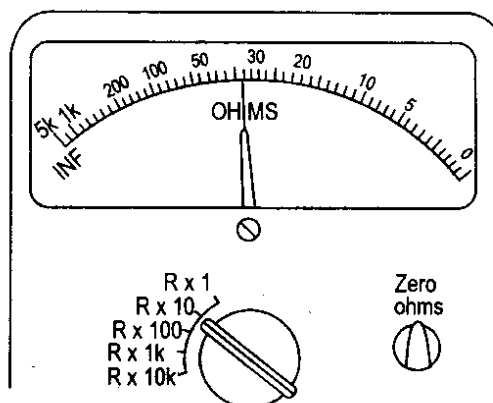
Số lần nhất định sao cho khi  $R_x = 0$  kim chỉ thị vẫn đảm bảo lệch thang đo (nghĩa là dòng qua cơ cấu đo bằng giá trị định mức đã chọn).

Để mở rộng giới hạn đo của ômmét có thể thực hiện bằng cách dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân dòng (điện trở sun) cho các thang cấp với các điện trở sun tương ứng có chất lượng tốt.



**Hình 5 - 5.** Ômmét chỉ thị mắc song song

Thiết bị có dòng chỉ thị định mức  $I_{CT} = 37.5 \mu A$ , điện trở của chỉ  $R_{TC} = 3,82 k\Omega$ . Điều chỉnh zêrô là một biến trở  $5 k\Omega$  (với mức bình thường). Pin 1,5 V dùng cho tất cả các khoảng đo  $R \times 1$ ;  $R \times 100$  và  $R \times 1 k$  pin 15V dùng cho khoảng đo  $R \times 10 k$ .  $R_x$  được mắc vào các đầu ra của mạch (+, -).



**Hình 5 - 6b.** Núm điều chỉnh ômmét

Công tắc đo có phần tiếp xúc động có thể xoay từng nấc cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ. Hình 5-6b minh họa ômmét thường dùng và núm điều chỉnh ômmét.

**c. Cầu đo điện trở:**

Cầu đo điện trở thường được chia thành hai loại: Cầu đơn và cầu kép (cầu wheatstone và cầu Kelvin)



**\*Cầu đơn:( cầu Wheatstone)**

Cầu đơn là một thiết bị dùng để đo điện trở rất chính xác. Mạch cầu hình 5-7 gồm hai điện trở cố định  $R_2$  và  $R_3$  và điện trở điều chỉnh được  $R_1$ , điện trở cần đo  $R_x$  và điện kế chỉ không(CT). Cầu được cung cấp bằng nguồn điện một chiều  $U_0$ . Các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  được chế tạo bằng điện trở Manganin có độ ổn định và độ chính xác cao.

Để xác định điện trở chưa biết  $R_x$  người ta điều chỉnh biến trở  $R_1$  cho tới khi điện kế chỉ zêrô, lúc đó cầu đang ở chế độ cân bằng nghĩa là điện kế tại hai điểm  $V_a=V_b(U_{ab}=0)$  do dòng điện không đi qua điện kế nên  $I_1$  sẽ chạy qua  $R_1, R_2$  và  $I_2$  chạy qua  $R_3, R_x$ , ta có:

$$I_1 R_2 = I_2 R_3 \quad (5-12)$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_x \quad (5-13)$$

Chia biểu thức (5-12) cho(5-13) ta được

$$\frac{I_1 R_2}{I_1 R_1} = \frac{I_2 R_3}{I_2 R_x} \text{ hay } \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_x} \text{ và } R_x R_2 = R_1 R_3$$

Từ đó tính được điện trở chưa biết

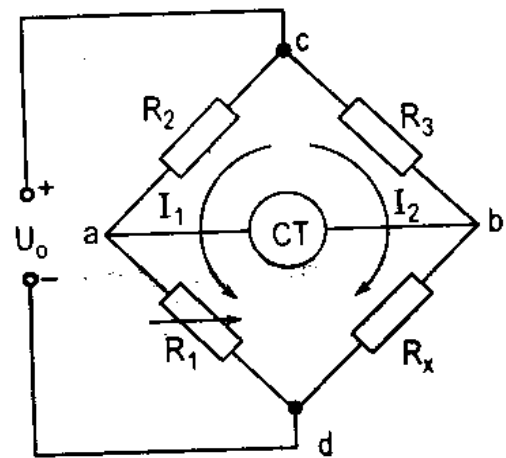
$$R_x = \frac{R_3}{R_2} R_1$$

Với  $R_3$  và  $R_2$  là các điện trở cố định

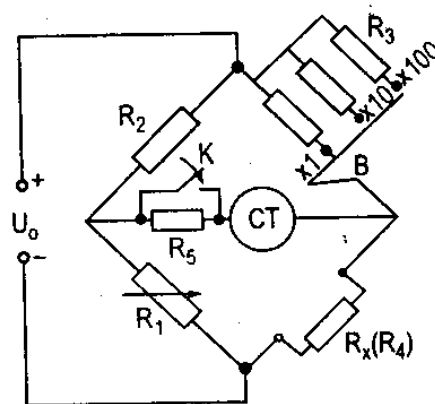
do đó tỷ số  $\frac{R_3}{R_2} = k$ ; là hệ số nhân. Nếu thay

đổi điện trở  $R_3$  bằng một số các điện trở có giá trị lớn hơn nhau 10 lần

Và giữ nguyên điện trở  $R_2$  thì ta sẽ có các hệ số nhân khác nhau. Nên có thể mở rộng thang đo của cầu như hình 5-8



**Hình 5 - 7. Cầu đơn**



**Hình 5 - 8. Cầu hộp**

Điện trở  $R_5$  (hình 5-8) dùng để điều chỉnh độ nhạy cảm của chỉ thị chỉ không. Trước khi đo khóa K được mở ra để chỉnh thô (bảo vệ quá dòng điện cho chỉ thị). Khi

cầu đã tương đối cân bằng người ta đóng khóa K lại để chỉnh tinh cho đến khi cầu cân bằng hoàn toàn.

Độ chính xác của cầu cân bằng phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị và điện áp cung cấp, vì vậy chỉ thị không cần có độ nhạy cảm cao, nguồn cung cấp đảm bảo dòng qua chỉ thị không vượt quá dòng cho phép Ngoài cầu hộp như hình 5-8 người ta còn sử dụng cầu biến trở (hình 5-9).

Trong cầu biến trở, điện trở  $R_2$  và  $R_3$  là một biến trở có thể thay đổi được trị số,  $R_1$  là một dãy các điện trở có trị số lớn hơn nhau 10 lần. Khi đó, điện trở  $R_x$  được mắc vào mạch và điều chỉnh trị số  $R_3/R_2$  cho đến khi chỉ thị Zêro (cầu đã cân bằng)

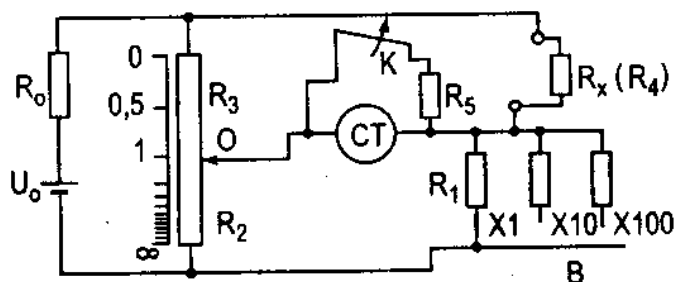
Giá trị điện trở cần đo  $R_x$  được xác định theo công thức

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

Mở rộng giải đo của cầu bằng cách chế tạo điện trở  $R_1$  thành nhiều điện trở có giá trị khác nhau và thông qua chuyển mạch B để thay đổi các giá trị

Ưu điểm của cầu biến trở là chế tạo gọn nhẹ nhưng độ chính xác không cao do sai số của biến trở và con chạy.

Cấp chính xác của cầu đơn đo điện trở thuần phụ thuộc vào giới hạn đo.



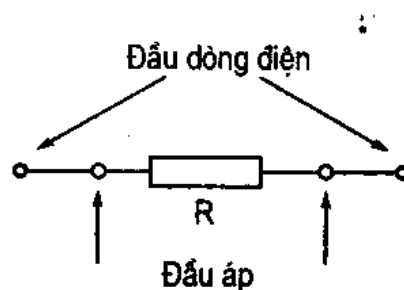
**Hình 5 - 9. Cầu biến trở**

**Ví dụ:** giải đo  $R = 50 \div 10^5 \Omega$  cấp chính xác 0,05 % với giải đo  $R = 10^5 \div 10^6 \Omega$  đạt cấp 0,5%.

**\*Cầu kép (Cầu Kelvin)**

Cầu kép là thiết bị đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà các cầu đơn trong quá trình đo không thuận tiện và có sai đó lớn do điện trở nối dây và điện trở tiếp xúc.

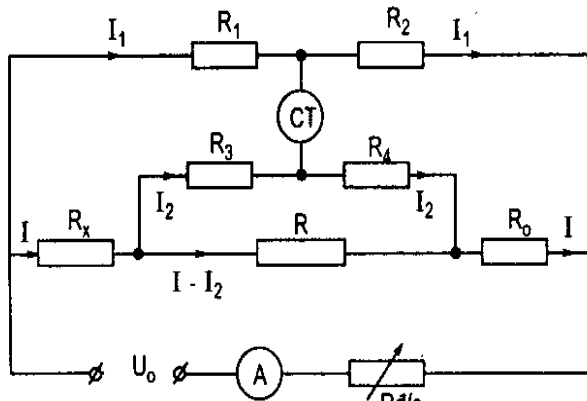
Các điện trở có trị số nhỏ như điện trở sun của ampemét phải có các đầu ra điện trở xác định chính xác. Để tránh những sai số do tiếp xúc khi chịu những dòng điện lớn gây ra, các điện trở trên thường được chế tạo bốn đầu, hai đầu dòng và hai đầu áp (hình 5-10).



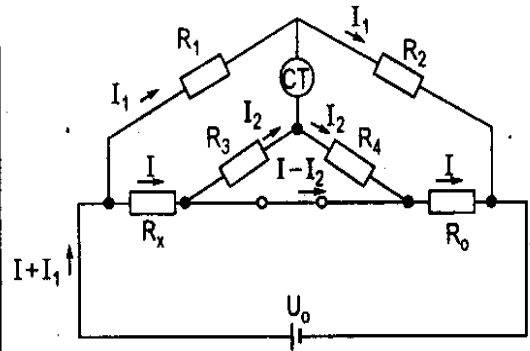
**Hình 5 - 10. Điện trở nhỏ 4 đầu**

Các đầu ra dòng lớn hơn và nằm ở các đầu mút ngoài của điện trở. Đầu ra áp nằm giữa 2 đầu dòng và những đầu ra đó thường dùng với các dòng điện nhỏ cỡ  $\mu A$  hoặc  $mA$  nên không có sự sụt áp do tiếp xúc tại các đầu ra điện áp. Điện trở được xác định đúng bằng điện trở tồn tại giữa các đầu điện áp.

Để đo các điện trở nhỏ người ta thường dùng cầu kép, hình 5-11. Cầu kép khác với cầu đơn ở chỗ có thêm một số điện trở, trong đó  $R_0$  là điện trở chuẩn có giá trị nhỏ và  $R_1, R_2, R_3, R_4$  là những điện trở điều chỉnh được.



**Hình 5 - 11.** Mạch nguyên lí của cầu kép



**Hình 5 - 12.** Cầu kép thông thường

Nếu tỉ số  $R_3/R_4$  giống như  $R_1/R_2$  thì sai số do độ sụt áp trên  $R$  được bỏ qua. Giả sử khi chỉ thị chỉ zêrô (không có dòng điện qua chỉ thị) và điện áp đầu ra của chỉ thị là  $U_{CT} = 0$  (hình 5-11). Với điều kiện trên ta có dòng  $I_1$  sẽ chạy qua  $R_1$  và  $R_2$ , dòng  $I$  chạy qua  $R_X, R_0$ , dòng  $I_2$  qua  $R_4$  và  $R_3$  và  $I - I_2$  chạy qua  $R$ .

Do cầu cân bằng ( $U_{CT}=0$ ) nên điện áp rơi trên  $R_2$  bằng tổng các điện áp rơi trên  $R_0$  và  $R_4$ :

$$I_1 R_2 = I_2 R_4 + I R_0$$

Ta có 
$$I R_0 = I_1 R_2 - I_2 R_4$$

Hoặc 
$$I R_0 = R_2 \left( I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right) \tag{5-16}$$

Cũng như vậy, điện áp rơi trên  $R_1$  bằng tổng điện áp rơi trên  $R_3$  và  $R_X$

$$I_1 R_1 = I R_X$$

Ta có 
$$I R_X = I_1 R_1 - I_2 R_3$$

Hoặc 
$$I R_X = R_1 \left( I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1} \right) \tag{5-17}$$

Chia phương trình (5-17) cho (5-16) ta được 
$$\frac{I R_X}{I R_0} = \frac{R_1 \left( I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1} \right)}{R_2 \left( I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right)}$$

Với điều kiện  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$  hoặc  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_4}{R_2}$  ta có :

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \text{ và } R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (5-18)$$

Trong quá trình đo người ta điều chỉnh  $R_1, R_2, R_3, R_4$  sao cho luôn giữ được tỉ số  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$ . Khi đó giá trị của điện trở  $R_x$  được xác định qua biểu thức 5-18.

Hình 5-12 cho thấy các biểu diễn cầu kép thông thường trong đó  $R_0$  và  $R_x$  là các điện trở có 4 đầu ra và  $R_1, R_2, R_3, R_4$  được mắc vào các đầu ra điện áp của chúng. Khoảng đo của cầu kép thông thường từ  $10\mu\Omega$  (hoặc  $10^{-5}\Omega$ ) đến  $1\Omega$ . Tùy thuộc vào độ chính xác của linh kiện mà độ chính xác của phép đo có thể đạt đến  $\pm 0,2\%$ .

#### **d. Đo điện trở lớn**

##### ***\*Đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp***

Phương pháp gián tiếp (vônmet và ampemét) có thể đo các điện trở lớn  $10^5 \div 10^{10}\Omega$  như điện trở cách điện. Trong quá trình đo cần loại trừ dòng điện rò qua dây dẫn hoặc qua cách điện của thiết bị. Muốn tránh dòng điện rò cần phải sử dụng màn chắn tĩnh điện hoặc dây dẫn bọc kim.

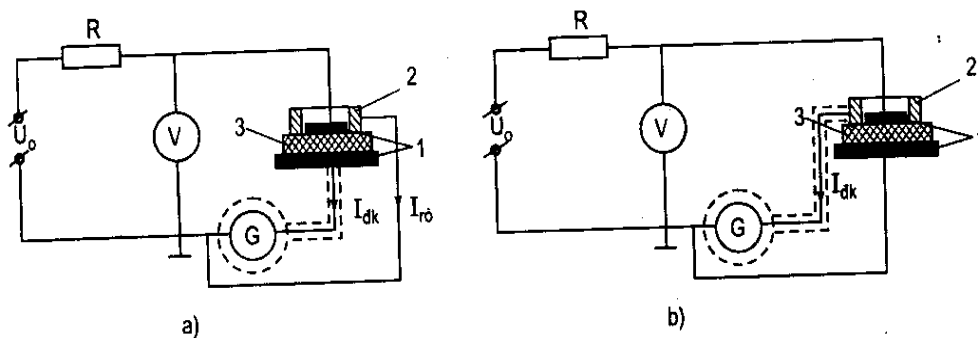
Một vấn đề xuất hiện khi đo những điện trở rất nhỏ là có hai thành phần điện trở : điện trở khối và điện trở rò bề mặt. Trong thực tế điện trở bề mặt và điện trở khối tổ hợp lại đó là điện trở hiệu dụng của lớp cách điện. Tuy nhiên trong một số trường hợp phải tách riêng hai điện trở đó ra. Để tách hai thành phần điện trở người ta sử dụng các điện cực đo và cực phụ hình 5-13.

Khi đo điện trở cách điện khối mạch đo được bố trí như hình 5-13a trong đó điện kế G đo dòng điện xuyên qua khối cách điện (cỡ  $\mu A$ ), còn dòng điện rò trên bề mặt vật liệu qua điện cực phụ nối đất. Điện trở cần đo được xác định qua vônmet và điện kế G

$$R_x = \frac{U}{I_{dk}}$$

Nguồn điện cung cấp cho mạch đo cỡ kilôvôn, điện trở R khoảng  $1M\Omega$ .

Để đo điện trở các điện mặt sơ đồ mạch được bố trí như hình 5-13b, trong đó dòng điện rò trên bề mặt của vật liệu được đo bằng điện kế G, dòng điện xuyên qua khối vật liệu được nối qua cực chính xuống đất. Điện trở cũng được xác định qua vônmet và điện kế G.

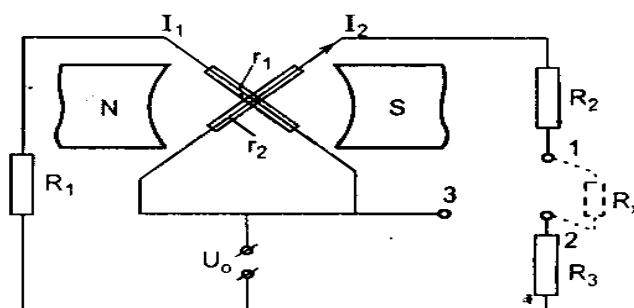


**Hình 5-13.** a) Sơ đồ đo điện trở khối b) Sơ đồ đo điện trở mặt  
1 - Hai điện cực đo 2- Cực phụ 3- Tấm cách điện

**\* Mêgômét**

Mêgômét là dụng cụ đo xách tay được dùng rộng rãi để kiểm tra điện trở cách điện của các dây cáp điện, các động cơ, máy phát và biến áp điện lực.

Dụng cụ gồm có nguồn cao áp cung cấp từ máy phát điện quay tay, điện áp có thể có trị số 500 V hoặc 1000V và chỉ thị là 1 lôgômét từ điện. Chỉ thị lôgômét (hình 5-14a) gồm hai khung dây, một khung tạo mômen quay và một khung dây tạo mômen phản kháng. Góc quay  $\alpha$  của cơ cấu đo tỷ lệ với tỷ số của hai dòng điện chạy qua hai khung dây trong đó dòng điện  $I_1$  đi qua khung dây  $W_1$ , điện trở  $R_1$ ,  $I_2$  đi qua khung dây  $W_2$ , điện trở  $R_2, R_x, R_3$ .



**Hình 5 - 14a.** Mạch nguyên lí mêgômét

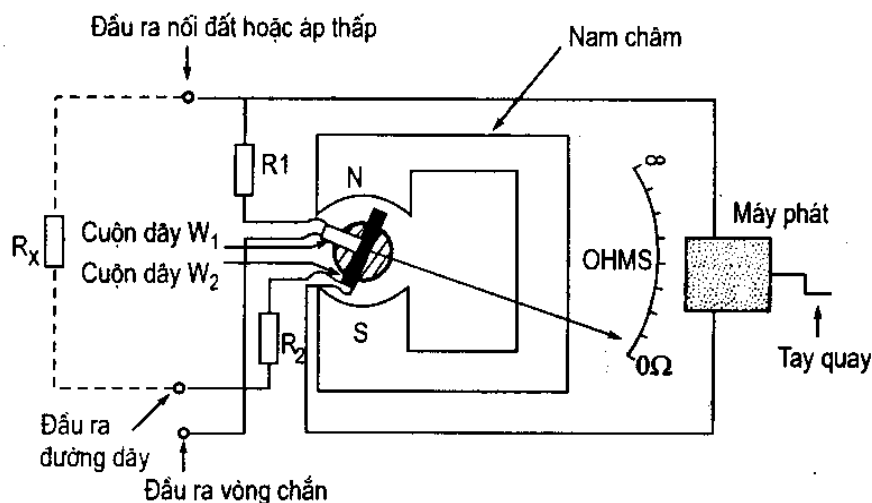
Ta có :  $I_1 = \frac{U_0}{R_1 + r_1}$

$I_2 = \frac{U_0}{R_2 + r_2 + R_x + R_3}$   $r_1, r_2$  điện trở của khung dây

Dưới tác động của lực điện từ giữa từ trường và dòng điện qua các khung sẽ tạo ra mômen quay  $M_1$  và mômen cản  $M_2$ .

Ở tại thời điểm cân bằng  $M_1 = M_2$

Ta có :  $\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = F\left(\frac{R_2 + R_3 + r_2 + R_x}{R_1 + r_1}\right)$  (5-19)



**Hình 5 - 14b. Mègôm-mét thông thường**

Các giá trị  $R_1, R_2, R_3$  và  $r_1, r_2$  là hằng số nên góc quay tỷ lệ với  $R_x$  và không phụ thuộc vào điện áp cung cấp. hình 5-14b là sơ đồ của Mègôm-mét thường dùng.

### 3.2.2. Đo điện cảm.

#### \* Khái niệm chung

Cuộn cảm lí tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng ( $X_L = \omega L$ ) hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm  $L$ , nhưng trong thực tế các cuộn dây, ngoài thành phần kháng  $X_L$  còn có điện trở của cuộn dây  $R_L$ . Điện trở  $R_L$  càng lớn độ phẩm chất của cuộn dây càng kém. Nếu gọi  $Q$  là độ phẩm chất của cuộn dây thì  $Q$  được đặc trưng bởi tỉ số giữa điện kháng  $X_L$  và điện trở của cuộn dây đó.

$$Q = \frac{X_L}{R_L} \quad (5-36)$$

Để đo các thông số  $X_L$ ,  $L$  và  $Q$  người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều bốn nhánh.

#### b. Các mạch cầu đo thông số cuộn cảm

##### \* Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

Mạch cầu so sánh điện cảm như hình vẽ 5-20 trong đó  $L_x, L_N$  là các thông số điện cảm và điện trở cần xác định;  $R_M, R_N$  là các cuộn dây điện cảm và điện trở chuẩn. Hai nhánh còn lại là các điện trở  $R_1$  và  $R_2$  cũng là các điện trở có độ chính cao. Khi đo người ta điều chỉnh các điện trở  $R_M$  và  $R_1, R_2$  để đạt được cân bằng cầu.

Ở chế độ cân bằng ta có:

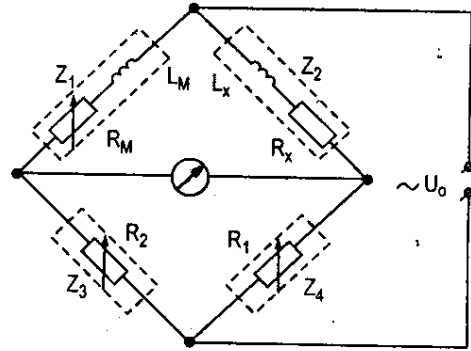
$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

$$Z_1 = R_M + j\omega L_M$$

$$Z_3 = R_2$$

$$Z_2 = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_4 = R_1$$



**Hình 5 - 20.** Cầu đo điện cảm

**\* Cầu điện cảm Maxwell**

Các tụ điện chuẩn chính xác dễ chế tạo hơn các cuộn dây điện cảm chuẩn, do đó người ta thường dùng điện dung chuẩn để đo điện cảm hơn là sử dụng các cuộn điện cảm chuẩn. Cầu có tụ điện như vậy được gọi cầu Maxwell (hình 5-21)

Trong mạch cầu, tụ điện chuẩn C3 mắc song song với điện trở R3, các nhánh còn lại là điện trở R1 và R4. Các điện trở R3, R1, R4 là các điện trở có thể điều chỉnh được Rx và Lx biểu diễn cuộn cảm cần đo. Khi mạch cầu cân bằng ta có:

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

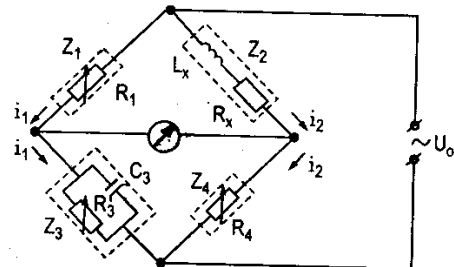
Trong đó:

$$Z_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_3}$$

$$Z_2 = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_4 = R_4$$



**Hình 5 - 21.** Cầu điện cảm Maxwell

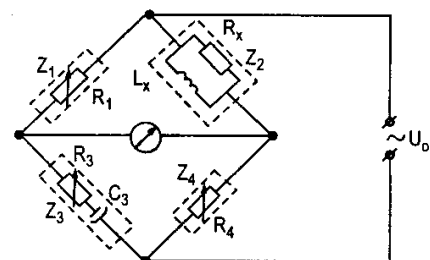
**\* Cầu điện cảm Hay**

Cầu điện cảm Hay tương tự như cầu Maxwell chỉ khác ở chỗ điện trở R3 được mắc kết nối tiếp tụ C3 (hình 5-22) và điện cảm Lx và Rx được biểu diễn dưới dạng mạch song song và Rx, Lx đo được là các thành phần của mạch song song.

Khi cầu ở trạng thái cân bằng ta có:

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

Trong đó:



**Hình 5 - 22.** Cầu điện cảm Hay

$$Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega C_x}}$$

$$Z_3 = R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}$$

$$Z_1 = R_1 \quad Z_4 = R_4$$

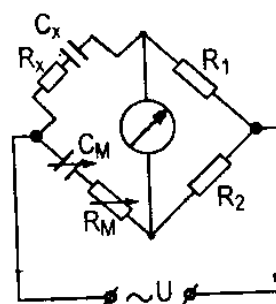
### 3.2.3. Đo điện dung

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không đi qua tụ) nhưng trong thực tế do có lớp điện môi nên vẫn có dòng điện nhỏ đi qua từ cực này đến cực kia. vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất.

#### a. Cầu đo xoay chiều đo điện dung

##### \* Cầu đo điện dung tổn hao nhỏ

Hình 5-18 là sơ đồ cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ. Cầu gồm có 4 nhánh trong đó  $R_1, R_2$  là thuần trở các nhánh còn lại là  $X_x, R_x$  và điện trở mẫu  $R_m, C_m$  điều chỉnh được. Đường chéo cầu được mắc điện kế G chỉ cân bằng và nguồn cung cấp xoay chiều U.



**Hình 5 - 18.** Cầu xoay chiều đo tụ điện có tổn hao ít

##### \* Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

Hình 5-19 là sơ đồ mạch cầu đo tụ điện có tổn hao lớn, trong đó  $R_1, R_2$  là các điện trở thuần,  $C_m$  mắc song song với  $R_m$  là điện dung và điện trở mẫu;  $R_x, C_x$  là điện trở và điện dung của tụ điện cần đo.

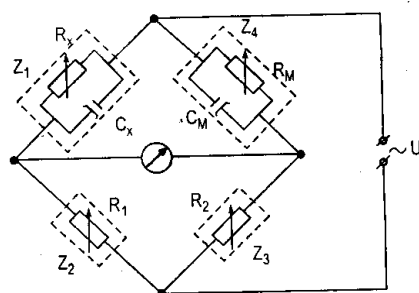
Khi cần cân bằng ta có:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

Trong đó  $Z_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega C_x}}$

$$Z_2 = R_1; Z_3 = R_2$$

$$Z_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_m} + \frac{1}{j\omega C_m}}$$



**Hình 5 - 19.** Cầu xoay chiều đo tụ điện có tổn hao lớn

## 3.3. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG TẦN SỐ, CÔNG SUẤT, ĐIỆN NĂNG.

### 3.3.1. Đo tần số.

#### a. Khái niệm chung.

- **Tần số (f: frequency):** được xác định bởi số các chu kỳ lặp lại của sự thay đổi tín hiệu trong một đơn vị thời gian. Tần số là một trong các thông số quan trọng nhất



của quá trình dao động có chu kỳ.

- **Chu kỳ (Time period, Time cycle):** là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó (tức là thoả mãn phương trình  $u(t) = u(t + T)$ ). Quan giữa tần số và chu kỳ của tín hiệu dao động là:

$$f[\text{Hz}] = \frac{1}{T[\text{s}]}$$

- **Tần số góc tức thời ( $\omega$ ):** được xác định như là vi phân theo thời gian của góc pha của tín hiệu, tức là:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} [\text{grad}]$$

Quan giữa tần số góc tức thời và tần số là:

$$\omega(t) = 2\pi \cdot f(t) \Leftrightarrow f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t)$$

với  $f(t)$  là tần số tức thời.

Đối với tín hiệu dao động điều hòa (tín hiệu hình sin) vì có góc pha biến đổi theo thời gian theo quy luật tuyến tính nên tần số góc tức thời là một hằng số:

$$\omega(t) = d\varphi / dt = \omega_0 = \text{const}$$

→ tần số  $f$  là một đại lượng không đổi:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t) = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

Khoảng tần số được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như: vô tuyến điện tử, tự động hoá, vật lý thí nghiệm, thông tin liên lạc...với dải tần từ một phần Hz đến hàng nghìn GHz.

- **Tần số kế:** là dụng cụ để đo tần số. Ngoài ra còn có thể đo tỉ số giữa hai tần số, tổng của hai tần số, khoảng thời gian, độ dài các xung...

- **Các phương pháp đo tần số:** việc lựa chọn phương pháp đo tần số được xác định theo khoảng đo, theo độ chính xác yêu cầu, theo dạng đường cong và công suất nguồn tín hiệu có tần số cần đo và một số yếu tố khác. Để đo tần số của tín hiệu điện có hai phương pháp: phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp so sánh:

\* **Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng:** được tiến hành bằng các loại tần số kế cộng hưởng, tần số kế cơ điện, tần số kế tụ điện, tần số kế chỉ thị số:

- **Các tần số kế cơ điện tương tự** (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động): được sử dụng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz ÷ 2,5kHz trong các mạch nguồn với cấp chính xác không cao (cấp chính xác 0,2; 0,5; 1,5; 2,5).

Các loại tần số kế này nói chung hạn chế sử dụng vì tiêu thụ công suất khá lớn và bị rung.

+ **Các tần số kế điện dung tương tự:** để đo tần số trong dải tần từ 10Hz ÷ 500kHz, được sử dụng khi hiệu chỉnh, lắp ráp các thiết bị ghi âm và radiô v.v...

+ **Tần số kế chỉ thị số:** được sử dụng để đo chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz ÷ 50GHz. Còn sử dụng để đo tỉ số các tần số, chu kỳ, độ dài các xung, khoảng thời gian.

\***Đo tần số bằng phương pháp so sánh:** được thực hiện nhờ ôxilôscôp, cầu xoay chiều phụ thuộc tần số, tần số kế đổi tần, tần số kế cộng hưởng...

+ **Sử dụng OSILLOSCOPE:** được thực hiện bằng cách đọc trực tiếp trên màn hình hoặc so sánh tần số cần đo với tần số của một máy phát chuẩn ổn định (dựa trên đường cong Litsazua). Phương pháp này dùng để đo tần số các tín hiệu xoay chiều hoặc tín hiệu xung trong dải tần từ 10Hz đến 20MHz.

+ **Tần số kế trượt tần:** sử dụng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng từ 100kHz ÷ 20GHz trong kỹ thuật vô tuyến điện tử.

+ **Cầu xoay chiều phụ thuộc tần số:** để đo tần số trong khoảng từ 20Hz - 20kHz.

+ **Tần số kế cộng hưởng:** để đo tần số xoay chiều tần số tín hiệu điều chế biên độ, điều chế xung trong khoảng từ 50kHz ÷ 10GHz; thường sử dụng khi lắp thiết bị thu phát vô tuyến.

Trong những năm gần đây tần số kế chỉ thị số được sử dụng rộng rãi và còn cài đặt thêm  $\mu P$  để điều khiển và sử dụng kết quả đo nữa...

Dưới đây sẽ tiến hành xét một số phương pháp và dụng cụ đo tần số phổ biến nhất, bao gồm:

- + Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng
- + Tần số kế điện từ
- + Cầu đo tần số
- + Tần số kế chỉ thị số

### **3.3.2. Đo công suất và điện năng (năng lượng).**

#### **a. Cơ sở chung về đo công suất và năng lượng.**

Công suất và năng lượng là các đại lượng cơ bản của phần lớn các đối tượng, quá trình và hiện tượng vật lý. Vì vậy việc xác định công suất và năng lượng là một phép đo rất phổ biến. Việc nâng cao độ chính xác của phép đo đại lượng này có ý nghĩa rất to lớn trong nền kinh tế quốc dân, nó liên quan đến việc tiêu thụ năng lượng, đến việc tìm những nguồn năng lượng mới, đến việc tiết kiệm năng lượng.

Công suất cũng như năng lượng có mặt dưới nhiều dạng khác nhau đó là: năng lượng điện, nhiệt cơ, công suất, phát xạ... tuy nhiên quan trọng nhất vẫn là việc đo công suất và năng lượng điện, còn các dạng năng lượng khác cũng thường được đo bằng phương pháp điện.

Dải đo của công suất điện thường từ  $10^{-20}$  W đến  $10^{+10}$  W. Công suất và năng lượng điện cũng cần phải được đo trong dải tần rộng từ không (một chiều) đến  $10^9$  Hz và lớn hơn.

**Ví dụ:** Công suất của tín hiệu một đài phát thanh khoảng  $10^{-16}$  W còn công suất của một đài phát thanh hiện đại khoảng trên  $10^{10}$  W. Năng lượng từ một thiên hà đến trái đất trong 1s là  $10^{-40}$  June, còn năng lượng cho ra của một máy phát điện trong một năm cỡ  $10^{20}$  June.

### **b. Công suất trong mạch một chiều:**

Công suất trong mạch một chiều được tính theo một trong các biểu thức sau đây:

$$P = U.I; \quad P = I^2 R; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = k.q$$

trong đó: I - dòng điện trong mạch

U - điện áp rơi trên phụ tải với điện trở R

P - lượng nhiệt toả ra trên phụ tải trong một đơn vị thời gian.

### **c. Công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha:**

Trong trường hợp khi dòng và áp có dạng hình sin thì công suất tác dụng được tính là :

$$P = U.I.\cos \varphi$$

hệ số  $\cos\varphi$  được gọi là hệ số công suất.

Còn đại lượng  $S = U.I$  gọi là công suất toàn phần được coi là công suất tác dụng khi phụ tải là thuần điện trở tức là, khi  $\cos\varphi = 1$ .

Khi tính toán các thiết bị điện để đánh giá hiệu quả của chúng, người ta còn sử dụng khái niệm công suất phản kháng. Đối với áp và dòng hình sin thì công suất phản kháng được tính theo :

$$Q = U.I.\sin\varphi$$

Trong trường hợp chung nếu một quá trình có chu kỳ với dạng đường cong bất kỳ thì công suất tác dụng là tổng các công suất của các thành phần sóng hài.

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} P_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k$$

Hệ số công suất trong trường hợp này được xác định như là tỉ số giữa công suất tác dụng và công suất toàn phần:

$$k_p = \frac{P}{S} \quad \text{và khi hình sin thì: } K_p = \cos \varphi.$$

#### **d. Công suất tác dụng trong mạch 3 pha:**

Biểu thức tính công suất tác dụng và công suất phản kháng là :

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos \varphi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos \varphi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos \varphi_C$$
$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_{\Phi A} I_{\Phi A} \sin \varphi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \sin \varphi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \sin \varphi_C$$

với:  $U_{\varphi}, I_{\varphi}$  : điện áp pha và dòng pha hiệu dụng

$\varphi_C$  : góc lệch pha giữa dòng và áp của pha tương ứng.

Biểu thức để đo năng lượng điện được tính như sau:

$$W_i = P_i \cdot t$$

với: P: công suất tiêu thụ

t: thời gian tiêu thụ

Trong mạch 3 pha có:

$$W = W_A + W_B + W_C$$

Như vậy công tơ đo năng lượng điện phải bao gồm một bộ phận chuyển đổi để đo công suất, một bộ tích phân. Bộ chuyển đổi đo công suất được thực hiện theo nhiều công suất khác nhau gồm:

- **Phương pháp cơ điện:** phép nhân được dựa trên cơ cấu chỉ thị như điện động, sắt điện động, tĩnh điện và cảm ứng, trong đó góc quay  $\alpha$  của phần động là hàm của công suất cần đo.

- **Phương pháp điện:** phép nhân được thực hiện bởi các mạch nhân tương tự cũng như nhân số điện tử, tín hiệu ra của nó là hàm của công suất cần đo.

- **Phương pháp nhiệt điện:** sử dụng phương pháp biến đổi thẳng công suất điện thành nhiệt. Phương pháp này thường được ứng dụng khi cần đo công suất và năng lượng trong mạch tần số cao cũng như của nguồn laze.

- **Phương pháp so sánh:** là phương pháp chính xác vì thế nó thường được sử dụng để đo công suất trong mạch xoay chiều tần số cao.

#### **e. Đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha.**

Có các phương pháp đo cơ bản sau:

**- Đo theo phương pháp cơ điện:**

+ Watmet điện động

+ Watmet sắt điện động

**- Đo theo phương pháp điện:**

+ Watmet chỉnh lưu điện tử

+ Watmet dùng phương pháp nhiệt điện

**e. Đo theo phương pháp cơ điện:**

Công suất trong mạch một chiều có thể đo được bằng cách đo điện áp đặt vào phụ tải U và dòng I qua phụ tải đó. Kết quả là tích của hai đại lượng đó. Tuy nhiên đây là phương pháp gián tiếp, phương pháp này có sai số của phép đo bằng tổng sai số của hai phép đo trực tiếp (đo điện áp và đo dòng điện).

Trong thực tế thường đo trực tiếp công suất bằng w atmet điện động và sắt điện động. Những dụng cụ đo này có thể đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha tần số công nghiệp cũng như tần số siêu âm đến 15kHz.

Với watmet điện động có thể đạt tới cấp chính xác là 0,01÷0,1 với tần số dưới 200Hz và trong mạch một chiều, ở tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,1% và hơn nữa.

Với watmet sắt điện động với tần số dưới 200Hz sai số đo là 0,1 ÷ 0,5 % còn với tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,2 % và hơn nữa.

**\* Đo trực tiếp công suất bằng watmet điện động:**

Để đo công suất tiêu thụ trên phụ tải  $R_L$  ta mắc watmet điện động. Trong đó ở mạch nối tiếp với một điện trở phụ  $R_p$ . Cuộn tĩnh và cuộn động được nối với nhau ở hai đầu có đánh dấu \*.

**i. Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha, công tơ một pha.**

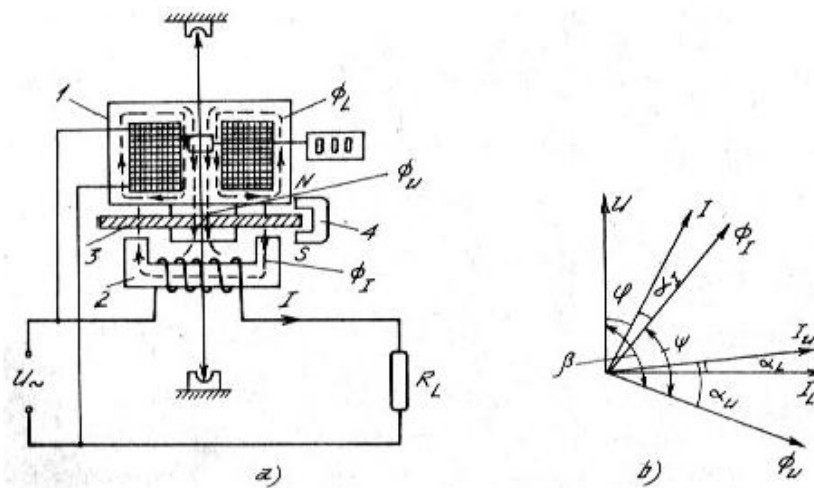
Năng lượng trong mạch xoay chiều một pha được tính:

$$A=P.t$$

với:  $P = U.I.\cos\varphi$  là công suất tiêu thụ trên tải.

t là khoảng thời gian tiêu thụ của tải.

Dụng cụ đo để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng. Chỉ rõ sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng:



Hình 3.1. sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng

**\* Công tơ một pha:**

**Cấu tạo:** như hình 3.1a, gồm các bộ phận chính:

- Cuộn dây 1 (tạo nên nam châm điện 1): gọi là cuộn áp được mắc song song với phụ tải. Cuộn này có số vòng dây nhiều, tiết diện dây nhỏ để chịu được điện áp cao.
- Cuộn dây 2 (tạo nên nam châm điện 2): gọi là cuộn dòng được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn này dây to, số vòng ít, chịu được dòng lớn.
- Đĩa nhôm 3: được gắn lên trục tì vào trụ có thể quay tự do giữa hai cuộn dây 1, 2.
- Hộp số cơ khí: gắn với trục của đĩa nhôm.
- Nam châm vĩnh cửu 4: có từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm để tạo ra mômen hãm.

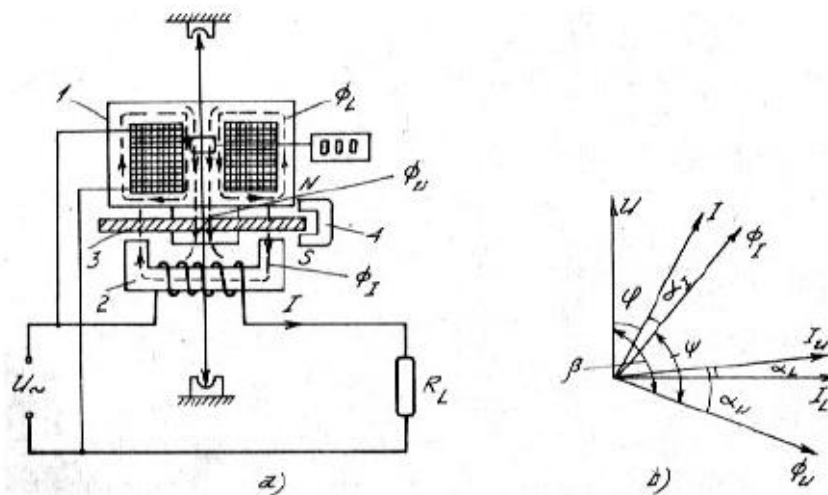
**\*Nguyên lý làm việc:** khi có dòng điện I chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra từ thông  $\Phi_I$  cắt đĩa nhôm hai lần. Đồng thời điện áp U được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng  $I_U$ , dòng này chạy trong cuộn áp tạo thành hai từ thông:

- $\Phi_U$ : là từ thông làm việc, xuyên qua đĩa nhôm
- $\Phi_I$ : không xuyên qua đĩa nhôm do vậy mà không tham gia việc tạo ra mômen quay.

Từ sơ đồ vectơ như hình 3.1b có:

$$\Phi_I = k_I \cdot I ; \quad \Phi_U = k_U \cdot I_U = k_U \cdot \frac{U}{Z_U}$$

với:  $k_I, k_U$ : là hệ số tỉ lệ về dòng và áp;  $Z_U$ : là tổng trở của cuộn áp



Hình 3.2. Công tơ một pha: a) Sơ đồ cấu tạo; b) Biểu đồ vector

**Sai số của công tơ được tính như sau:**

$$\beta_w \% = \frac{W_N - W_{đo}}{W_{đo}} = \frac{C_{PN} - C_{pđđ}}{C_{pđđ}}$$

với:  $W_N, C_{PN}$ : là năng lượng và hằng số công tơ định mức.

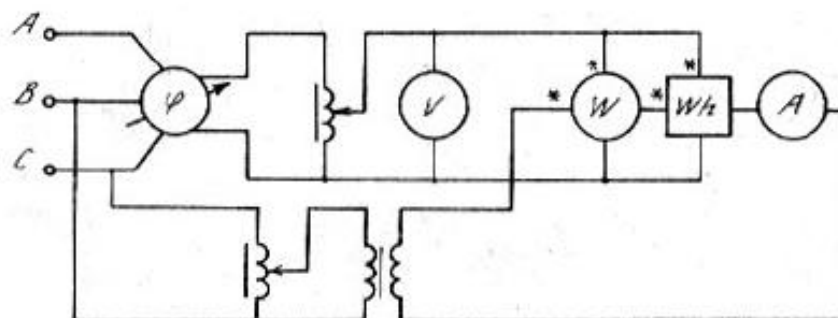
$W_{đo}, C_{pđđ}$ : là năng lượng và hằng số công tơ đo được.

Cấp chính xác của công tơ thường là: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5.

**\* Kiểm tra công tơ:**

Để công tơ chỉ được chính xác, trước khi đem sử dụng người ta thường phải kiểm tra hiệu chỉnh và cấp chì.

Để kiểm tra công tơ ta phải mắc chúng theo sơ đồ hình 3.3:



Hình 3.3. Sơ đồ kiểm tra công tơ

Từ nguồn điện 3 pha qua bộ điều chỉnh pha để lấy ra điện áp một pha có thể lệch pha với bất kỳ pha nào của nguồn điện từ  $0$  đến  $360^{\circ}$ . Sau đó qua biến dòng (dưới dạng biến áp tự ngẫu)  $L_1$ , dòng điện ra được mắc nối tiếp với phụ tải  $Z_T$  ampe-mét và các cuộn dòng của watmet và công tơ.

Điện áp được lấy ra từ một pha bất kỳ của nguồn điện (ví dụ pha BC), qua biến áp tự ngẫu  $L_2$  và đặt vào cuộn áp của watmet cũng như của công tơ, vônmet chỉ điện áp đó ở đầu ra của biến áp tự ngẫu  $L_2$ .

**\*Việc kiểm tra công tơ theo các bước sau đây:**

1. Điều chỉnh tự quay của công tơ: điều chỉnh  $L_2$ , đặt điện áp vào cuộn áp của watmet và công tơ bằng điện áp định mức  $U = U_N$ ; điều chỉnh  $L_1$  sao cho dòng điện vào cuộn dòng của watmet và công tơ bằng không  $I = 0$ , lúc này watmet chỉ 0 và công tơ phải đứng yên. Nếu công tơ quay thì đó là hiện tượng tự quay của công tơ.

Nguyên nhân của hiện tượng này là khi chế tạo để thắng được lực ma sát bao giờ cũng phải tạo ra một mômen bù ban đầu, nếu mômen này quá lớn (lớn hơn mômen ma sát giữa trục và trụ) thì xuất hiện hiện tượng tự quay của công tơ.

Để loại trừ hiện tượng tự quay, ta phải điều chỉnh vị trí của mấu từ trên trục của công tơ sao cho tăng mômen hãm, tức là giảm mômen bù cho đến khi công tơ đứng yên thì thôi.

2. Điều chỉnh góc  $\theta = \beta - \alpha_1 = 2/\pi$ : cho điện áp bằng điện áp định mức  $U = U_N$ , dòng điện bằng dòng điện định mức  $I = I_N$ . Điều chỉnh góc lệch pha  $\varphi = \pi/2$  tức là  $\cos \varphi = 0$ . Lúc này watmet chỉ 0, công tơ lúc này phải đứng yên, nếu công tơ quay điều đó có nghĩa là  $\alpha_1 > 2$  và công tơ không tỉ lệ với công suất.

Để điều chỉnh cho góc  $\alpha_1 > 2$  ta phải điều chỉnh góc  $\beta$  hay từ thông  $\Phi_u$  bằng cách điều chỉnh bộ phận phân nhánh từ của cuộn áp, hoặc có thể điều chỉnh góc  $\alpha_1$  hay từ thông  $\Phi_1$  bằng cách điều chỉnh vòng ngắn mạch của cuộn dòng. Cứ thế cho đến khi công tơ đứng yên. Lúc này thì số chỉ của công tơ tỉ lệ của công suất, tức là góc  $\alpha_1 = 2$ .

3. Kiểm tra hằng số công tơ: để kiểm tra hằng số công tơ  $C_p$  thì cần phải điều chỉnh sao cho  $\cos \Phi = 1$  (tức là  $\Phi = 0$ ), lúc này watmet chỉ  $P = U.I$ .

Cho  $I = I_N$ ,  $U = U_N$  lúc đó  $P = U_N I_N$

Đo thời gian quay của công tơ bằng đồng hồ bấm giây t. Đếm số vòng N mà công tơ quay được trong khoảng thời gian t. Từ đó ta tính được hằng số công tơ:

$$C_p = \frac{N}{U_N I_N t} = \frac{N}{P_N t}$$

Hằng số này thường không đổi đối với mỗi loại công tơ và được ghi trên mặt công tơ.



**Ví dụ:** trên công tơ có viết : “1kWh = 600vòng” . Điều này có nghĩa là  $C_p = 600$  vòng /1kWh.

Trong thực tế đôi khi người ta sử dụng một đại lượng nghịch đảo với hằng số  $C_p$  đó là hằng số k:

$$k = \frac{1}{C_p} = \frac{P.t}{N} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{so vong}} \right]$$

Để thuận tiện, trên hộp số người ta tính toán để cho  $k = 1\text{kWh}/1$  số, sẽ dễ dàng cho người dùng. Nếu  $C_p$  (hoặc k) không bằng giá trị định mức đã ghi trên mặt công tơ thì ta phải điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng (hoặc giảm) mômen cản  $M_c$  cho đến khi  $C_p$  (hoặc k) đạt được giá trị định mức.

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\gamma_c \% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} . 100(\%) \quad \text{hoặc} \quad \gamma_k \% = \frac{k_N - k_{do}}{k_{do}} . 100(\%)$$

Sau khi tính nếu sai số này nhỏ hơn hoặc bằng cấp chính xác ghi ở trên công tơ là được. Trường hợp lớn hơn thì phải sửa chữa và hiệu chỉnh lại công tơ rồi kiểm tra lại.

### **m. Công tơ điện tử:**

Để chế tạo công tơ điện tử, người ta biến đổi dòng điện I thành điện áp  $U_1$  tỉ lệ với nó:

$$U_1 = k_1 I$$

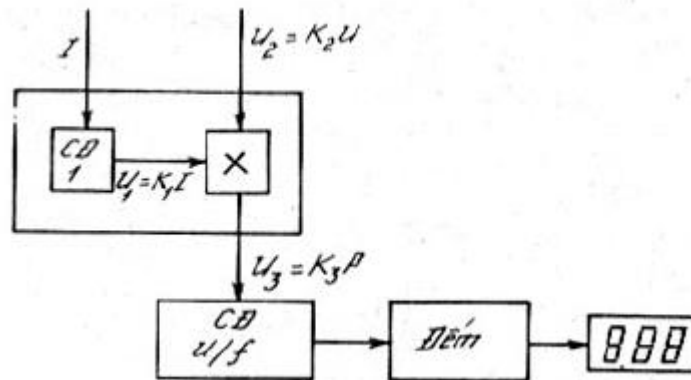
một điện áp khác tỉ lệ với điện áp đặt vào U:

$$U_2 = k_2 U$$

qua bộ phận điện tử (nhân analog) sẽ nhận được điện áp  $U_3$  tỉ lệ với công suất P:

$$U_3 = k_3 . P$$

Tiếp theo điện áp này sẽ lần lượt qua các khâu: qua bộ biến đổi điện áp-tần số (hoặc bộ biến đổi A/D), vào bộ đếm, ra chỉ thị số. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số sẽ tỉ lệ với năng lượng  $N = CW$  trong khoảng thời gian cần đo năng lượng đó.



Hình 3.4. Sơ đồ khối nguyên lý của công tơ điện tử

Tất cả các bộ biến đổi trên đây đều thực hiện bằng mạch điện tử.

Công tơ điện tử có thể đạt tới cấp chính xác 0,5.

## **Phần IV. SỬ DỤNG CÁC LOẠI MÁY ĐO THÔNG DỤNG**

### **4.1. SỬ DỤNG VOM, MΩ.**

#### **4.1.1. Sử dụng VOM.**

Đồng hồ vạn năng (VOM) là thiết bị đo không thể thiếu được với bất kỳ một kỹ thuật viên điện tử nào, đồng hồ vạn năng có 4 chức năng chính là Đo điện trở, đo điện áp DC, đo điện áp AC và đo dòng điện.

Ưu điểm của đồng hồ là đo nhanh, kiểm tra được nhiều loại linh kiện, thấy được sự phóng nạp của tụ điện, tuy nhiên đồng hồ này có hạn chế về độ chính xác và có trở kháng thấp khoảng 20K/Vol do vậy khi đo vào các mạch cho dòng thấp chúng bị sụt áp.

**Đồng hồ vạn năng** hay **vạn năng kế** (VOM) là một dụng cụ đo lường điện có nhiều chức năng. Các chức năng cơ bản là ampe kế, vôn kế, và ôm kế, ngoài ra có một số đồng hồ còn có thể đo tần số dòng điện, điện dung tụ điện, kiểm tra bóng bán dẫn (transistor)...

**Đồng hồ vạn năng điện tử**, còn gọi là **vạn năng kế điện tử** là một đồng hồ vạn năng sử dụng các linh kiện điện tử chủ động, và do đó cần có nguồn điện như pin. Đây là loại thông dụng nhất hiện nay cho những người làm công tác kiểm tra điện và điện tử. Kết quả của phép đo thường được hiển thị trên một màn tinh thể lỏng nên đồng hồ còn được gọi là (*đồng hồ vạn năng điện tử hiện số*).



*Một vạn năng kế điện tử*



*Bên trong một đồng hồ vạn năng điện tử*

Việc lựa chọn các đơn vị đo, thang đo hay vị chỉnh thường được tiến hành bằng các nút bấm, hay một công tắc xoay, có nhiều nấc, và việc cắm dây nối kim đo vào đúng các lỗ. Nhiều vạn năng kế hiện đại có thể tự động chọn thang đo.

**Vạn năng kế điện tử còn có thể có thêm các chức năng sau:**

1. Kiểm tra nối mạch: máy kêu "bíp" khi điện trở giữa 2 đầu đo (gần) bằng 0.
2. Hiển thị số thay cho kim chỉ trên thước.
3. Thêm các bộ khuếch đại điện để đo hiệu điện thế hay cường độ dòng điện nhỏ, và điện trở lớn.
4. Đo độ tự cảm của cuộn cảm và điện dung của tụ điện. Có ích khi kiểm tra và lắp đặt mạch điện.
5. Kiểm tra diode và transistor. Có ích cho sửa chữa mạch điện.
6. Hỗ trợ cho đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt.
7. Đo tần số trung bình, khuếch đại âm thanh, để điều chỉnh mạch điện của radio. Nó cho phép nghe tín hiệu thay cho nhìn thấy tín hiệu (như trong dao động kế).

8. Dao động kế cho tần số thấp. Xuất hiện ở các vạm năng kế có giao tiếp với máy tính.
9. Bộ kiểm tra điện thoại.
10. Bộ kiểm tra mạch điện ô-tô.
11. Lưu giữ số liệu đo đạc (ví dụ của hiệu điện thế).

**Đồng hồ vạm năng hiển thị kim**



*Một vạm năng kế tương tự*



*Bên trong đồng hồ vạm năng thường*

Loại này ra đời trước và dần bị thay thế bởi vạm năng kế điện tử. Bộ phận chính của nó là một Gavanô kế. Nó thường chỉ thực hiện đo các đại lượng điện học cơ bản là cường độ dòng điện, hiệu điện thế và điện trở. Hiển thị kết quả đo được thực hiện bằng kim chỉ trên một thước hình cung. Loại này có thể không cần nguồn điện nuôi khi hoạt động trong chế độ đo cường độ dòng điện và hiệu điện thế.

**4.1.2. Sử dụng MΩ.**

Tính năng của thiết bị đo điện trở đất



***Mô tả đặc tính kỹ thuật:***

Chức năng đo: điện trở đất, điện áp xoay chiều (Grounding Voltage).

Dải đo và cấp chính xác:

Điện trở đất: 3 thang đo 10/100/1000 Ohm; Cấp chính xác: +/-2.5% f.s

Điện áp xoay chiều: 0 - 30 V; cấp chính xác: +/-3% f.s

Dòng đo: max :15mA AC , min : 3mA AC.

Tần số đo: 575Hz hoặc 600Hz.

Điện áp cực mở: max 50V AC.

Đồng hồ đo sử dụng phương pháp sai pha xoay chiều.

Nguồn cung cấp: Pin R6P x 6.

Kích thước: 164 x 119 x 88 mm.

Trọng lượng: 800g.

Phụ kiện kèm theo:

Cáp đo: Model 9215

Hộp đựng máy: 9393.

Que đo đất phụ: 9214.

Phụ kiện tùy chọn:

Mạng đất: Model 9050.

**4.2. SỬ DỤNG AMPE KÌM, OSC.**

**4.2.1. Sử dụng Ampe kìm.**

**\* Ampe kế kìm**



*Ampe kế kìm đo cường độ dòng điện*

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Trong dòng điện xoay chiều, từ trường biến thiên sinh ra bởi dòng điện có thể gây cảm ứng điện từ lên một cuộn cảm nằm gần dòng điện. Đây là cơ chế hoạt động của Ampe kế kim.



- Chức năng đo: dòng và áp xoay chiều, điện trở, tần số, nhiệt độ (chọn thêm đầu đo nhiệt), kiểm tra dẫn điện...
- Có chức năng kiểm tra méo dạng sóng, đo giá trị đỉnh sóng. Slow/Peak/C.F/RMS/Record mode/Auto-off/Conduction.
- Đường kính kim mở lớn nhất: 33 mm.
- Màn hình tinh thể lỏng hiển thị số và thanh hiển thị (35 vạch) giá trị.
- Không cần cầu chì bảo vệ trong dải điện áp tới 600V.
- Kích thước: 62x218x39 mm.
- Trọng lượng: 350g.

### **Đặc tính kỹ thuật:**

*Dải đo dòng xoay chiều (3 thang đo):*

Giá trị hiệu dụng: 30 — 600A, Cấp chính xác:  $\pm 1\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$

$I_{\text{max}}$ : 75 — 1000A,  $\pm 3\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$

*Dải đo điện áp xoay chiều (2 thang đo):*

Giá trị hiệu dụng: 300 — 600V, Cấp chính xác:  $\pm 1\% \text{rdg.} \pm 3 \text{dgt}$

$U_{\text{max}}$ : 750 — 1000V,  $\pm 3\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$

Tần số dòng xoay chiều: 40 — 1000Hz.

Đo trở kháng: 1 — 10kW.

Đo nhiệt độ: - 50 tới 150°C.

Đo tần số: 100 — 1000Hz,  $\pm 0,3\% \text{rdg.} \pm 1 \text{dgt}$ .

Kiểm tra dẫn điện: 1kW.

Hệ số méo dạng sóng: 1.00 — 5.00,  $\pm 10\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$ .

Tốc độ lấy mẫu: max 2 — 4 lần/s, min 1 lần/3s.

*Phụ kiện kèm theo:*

Đầu đo: Model 9207-10 , 70cm.

Hộp đựng máy: 9399.

*Phụ kiện tùy chọn:*

Đầu đo nhiệt độ: Model 9462 , 1.2m, -50 tới 150°C.

**Modull: Đo lường điện**



Ampe kìm model 3280-10 của hãng Hioki - Nhật bản với tính năng sử dụng đơn giản và an toàn. Dùng đo dòng, áp xoay chiều, điện trở, kiểm tra dẫn điện.

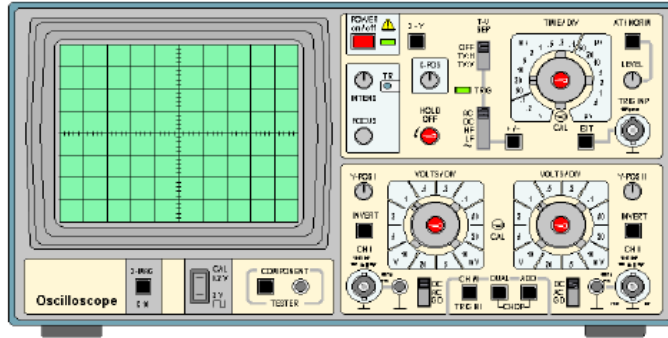
- Kích thước gọn nhẹ: 57x175x16 mm.
- Trọng lượng: 100g.
- Nguồn cung cấp cho máy: 1 pin CR2032 (3V DC).
- Đường kính mở của kìm đo: 33 mm.

**Đặc tính kỹ thuật:**

Chức năng đo	Dải đo và cấp chính xác
Dòng xoay chiều (50/60Hz)	Có 3 thang đo: 0.06 - 4/420/1000A. Cấp chính xác : +/-1.5%rdg+/-5dgt.
Điện áp một chiều	420mV/42V/420V/600V. Cấp chính xác: +/-1.3%rdg+/-4dgt.
Điện áp xoay chiều (50/500Hz)	4.2/42/420/600V. Cấp chính xác: +/-2.3%rdg+/-8dgt.
Điện trở	420W/4.2k/420k/4,2M/42MW. Cấp chính xác: +/-2.0%rdg+/-6dgt
Kiểm tra thông mạch	420W. Cấp chính xác: +/-2.0%rdg+/-6dgt

- + Tự động chuyển đổi thang đo, lưu giữ kết quả, cảnh báo pin.
- + Màn hình hiển thị LCD 4199 digits.
- + Tốc độ lấy mẫu : max 2,5 lần/s, min 1 lần/3s.
- + Bảo vệ quá áp: AC V/DC V 600V.
- + Phụ kiện kèm theo:
  - + Đầu đo: Model 9208.
  - + Hộp đựng: Model 9398.
  - + Phụ kiện tùy chọn:
    - + Đầu đo tiện dụng: Model 9209 (chỉ 1 que đo gắn vào thân máy).

**4.2.2. Sử dụng Dao động ký (Oscilloscope).**



*Hình 4.1: Hình ảnh máy hiện sóng điện tử*

**4.2.2.1. Mở đầu**

Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng. Nó chủ yếu được sử dụng để vẽ dạng của tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. **Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được: ?**

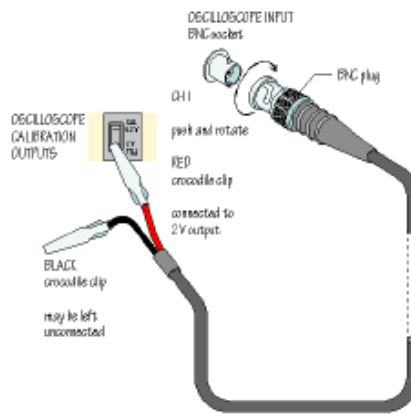


*Hình 4.2: Máy hiện sóng Oscilloscope và đầu dây đo*

- + Giá trị điện áp và thời gian tương ứng tín hiệu
- + Tần số dao động của tín hiệu
- + Góc lệch pha giữa hai tín hiệu
- + Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử
- + Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như thế nào
- + Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không

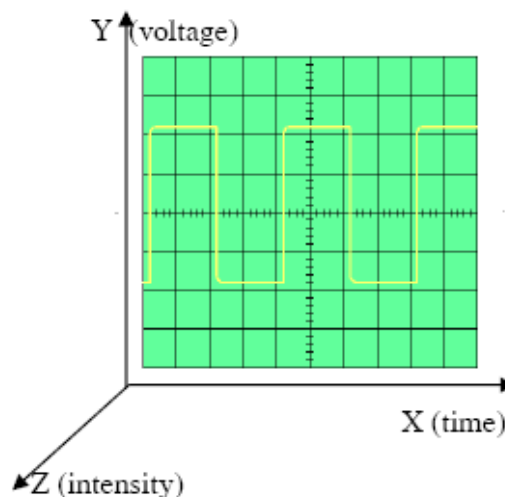
Một máy hiện sóng giống như một máy thu hình nhỏ nhưng có màn hình được kẻ ô và có nhiều phần điều khiển hơn TV. Dưới đây là panel của một máy hiện sóng thông dụng với phần hiển thị sóng; phần điều khiển theo trục X, trục Y, đồng bộ và chế độ màn hình; phần kết nối đầu đo ....





*Hình 4.3: Đầu dây đo của máy hiện sóng Oscilloscope*

Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian: trục đứng Y là trục điện áp, trục ngang X là trục thời gian.

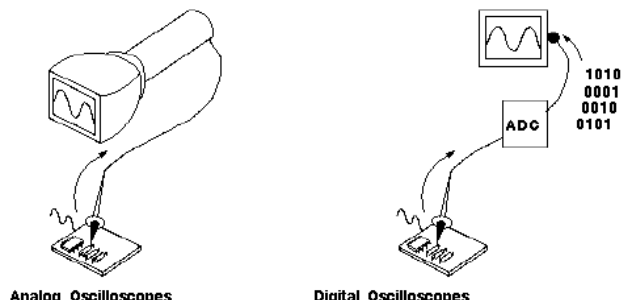


*Hình 10.4: Biểu diễn các trục trên màn hình máy hiện sóng Oscilloscope*

Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi độ chói trục Z. Máy hiện sóng có thể được dùng ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không đơn thuần trong lĩnh vực điện tử. Với một bộ chuyển đổi hợp lý ta có thể đo được thông số của hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý. Bộ chuyển đổi ở đây có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điện tương ứng với đại lượng cần đo, ví dụ như các bộ cảm biến âm thanh, ánh sáng, độ căng, độ rung, áp suất hay nhiệt độ ...

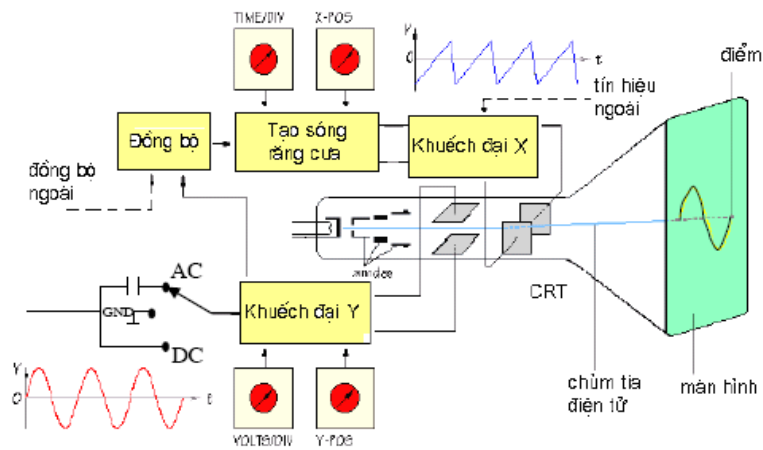
Các thiết bị điện tử thường được chia thành 2 nhóm cơ bản là thiết bị tương tự và thiết bị số, máy hiện sóng cũng vậy. Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên hình. Trong khi đó, máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự/số (ADC). Sau đó nó sử dụng các thông tin dưới

dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình. Tùy vào ứng dụng mà người ta sử dụng máy hiện sóng loại nào cho phù hợp.



Thông thường, nếu cần hiển thị dạng tín hiệu dưới dạng thời gian thực (khi chúng xảy ra) thì sử dụng máy hiện sóng tương tự. Khi cần lưu giữ thông tin cũng như hình ảnh để có thể xử lý sau hay in ra dạng sóng thì người ta sử dụng máy hiện sóng số có khả năng kết nối với máy tính với các bộ vi xử lý. Phần tiếp theo của tài liệu chúng ta sẽ nói tới máy hiện sóng tương tự, loại dùng phổ biến trong kỹ thuật đo lường điện tử.

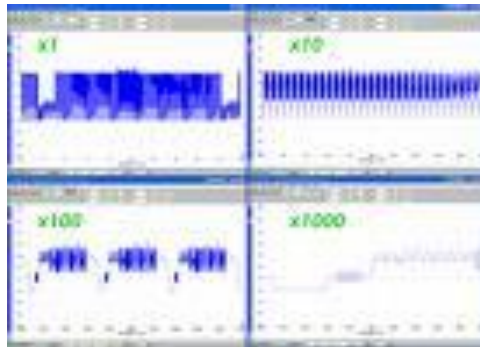
#### 4.2.2.2. Sơ đồ khối của một máy hiện sóng thông dụng



Hình 4.5: Sơ đồ khối của máy hiện sóng Oscilloscope

Tín hiệu vào được đưa qua bộ chuyển mạch AC/DC (khoá K đóng khi cần xác định thành phần DC của tín hiệu còn khi chỉ quan tâm đến thành phần AC thì mở K). Tín hiệu này sẽ qua bộ phân áp (hay còn gọi là bộ suy giảm đầu vào) được điều khiển bởi chuyển mạch núm xoay nôm xoay VOLTS/DIV, nghĩa là xoay núm này cho phép ta điều chỉnh tỉ lệ của sóng theo chiều đứng. Chuyển mạch Y- POS để xác định vị trí theo chiều đứng của sóng, nghĩa là có thể di chuyển sóng theo chiều lên hoặc xuống tùy ý bằng cách xoay núm vặn này. Sau khi qua phân áp, tín hiệu vào sẽ được bộ khuếch đại Y khuếch đại làm lệch rồi đưa tới điều khiển cặp làm lệch đứng. Tín hiệu của bộ KĐ Y cũng được đưa tới trigo (khối đồng bộ), trường hợp này gọi là đồng bộ trong, để kích thích mạch tạo sóng răng cưa (còn gọi mạch phát quét) và đưa tới điều khiển cặp làm lệch ngang để tăng hiệu quả điều khiển, một số mạch còn sử dụng thêm các bộ khuếch đại X sau khối tạo điện áp răng cưa). Đôi khi người ta cũng cho mạch

làm việc ở chế độ đồng bộ ngoài bằng cách cắt đường tín hiệu từ khuếch đại Y, thay vào đó là cho tín hiệu ngoài kích thích khối tạo sóng răng cưa.



Đi vào khối tạo sóng răng cưa còn có hai tín hiệu điều khiển từ nút vặn TIME/DIV và X - POS. TIME/DIV (có nhiều máy kí hiệu là SEC/DIV) cho phép thay đổi tốc độ quét theo chiều ngang, khi đó dạng sóng sẽ dừng trên màn hình với n chu kỳ nếu tần số của sóng đó lớn gấp n lần tần số quét). X - POS là nút điều chỉnh việc di chuyển sóng theo chiều ngang cho tiện quan sát.

Ống phóng tia điện tử CRT đã được mô tả ở phần trước.

Sau đây ta sẽ xem xét phần điều khiển, vận và các ứng dụng thông dụng nhất của một máy hiện sóng.

#### **4.2.2.3. Thiết lập chế độ hoạt động và cách điều khiển một máy hiện sóng**

##### **a. Thiết lập chế độ hoạt động cho máy hiện sóng**

Sau khi nối đất cho máy hiện sóng ta sẽ điều chỉnh các nút vặn hay công tắc để thiết lập chế độ hoạt động cho máy.



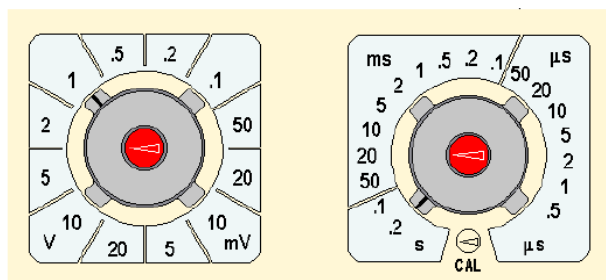
Panel trước của máy hiện sóng gồm 3 phần chính là VERTICAL (phần điều khiển đứng), HORIZONTAL (phần điều khiển ngang) và TRIGGER (phần điều khiển đồng bộ). Một số phần còn lại (FOCUS - độ nét, INTENSITY - độ sáng...) có thể khác nhau tùy thuộc vào hãng sản xuất, loài máy, và model.

Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình trên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có 2 que đo ứng với 2 kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mọi kênh.

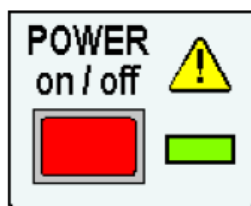
Một số máy hiện sóng có chế độ AUTOSSET hoặc PRESET để thiết lập lại

toàn bộ phần điều khiển, nếu không ta phải tiến hành bằng tay trước khi sử dụng máy.

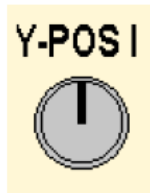
Các bước chuẩn bị như sau:



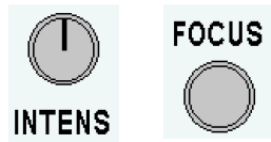
1. + Đưa tất cả các nút bấm về vị trí OUT  
+ Đưa tất cả các thanh trượt về vị trí UP  
+ Đưa tất cả các núm xoay về vị trí CENTRED  
+ Đưa nút giảm của VOLTS/DIV, TIME/DIV, HOLD OFF về vị trí CAL (cân chỉnh)
2. Vặn VOLTS/DIV và TIME/DIV về vị trí 1V/DIV và .2s/DIV
3. Bật nguồn



4. Xoay Y-POS để điều chỉnh điểm sáng theo chiều đứng (điểm sáng sẽ chạy ngang qua màn hình với tốc độ chậm). Nếu vặn TIME/DIV ngược chiều kim đồng hồ (theo chiều giảm) thì điểm sáng sẽ di chuyển nhanh hơn và khi ở vị trí cỡ  $\mu\text{s}$  trên màn hình sẽ là một vạch sáng thay cho điểm sáng.



5. Điều chỉnh INTENS để thay đổi độ chói vệt FOCUS để thay đổi độ nét của vạch sáng trên màn hình.



6. Đưa tín hiệu chuẩn để kiểm tra độ chính xác của máy đưa đầu đo tới vị trí lấy chuẩn (hoặc là từ máy phát chuẩn hoặc ngay trên máy hiện sóng ở vị trí CAL 1Vpp, 1kHz). Với giá trị chuẩn như trên nếu VOLTS/DIV ở vị trí 1V/DIV và TIME/DIV ở vị trí 1ms/DIV thì trên màn hình xuất hiện một sóng vuông có biên độ đỉnh đỉnh 1 ô trên màn hình và độ rộng xung cũng là 1 ô trên màn hình. (xoay Y - POS và X - POS để đếm ô một cách chính xác)

Sau khi lấy lại các giá trị chuẩn ở trên, tùy thuộc chế độ làm việc mà ta sử dụng các nút điều khiển tương ứng.

### **b. Các phần điều khiển chính**

#### **\* Điều khiển màn hình**

Phần này bao gồm:

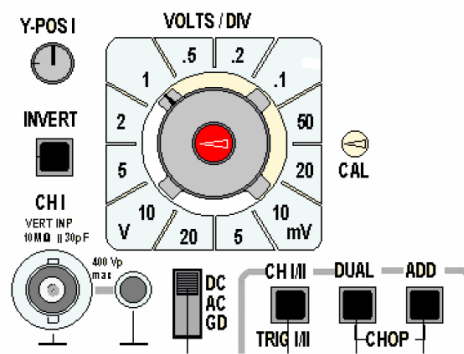


+ Điều chỉnh độ sáng - INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lưới

+ Điều chỉnh độ nét – FOCUS - của dạng sóng. Thực chất là điều chỉnh điện áp các anot A1, A2 và A3

+ Điều chỉnh độ lệch của trục ngang – TRACE - (khi vị trí của máy ở những điểm khác nhau thì tác dụng của từ trường trái đất cũng khác nhau nên đôi khi phải điều chỉnh để có vị trí cân bằng)

#### **c. Điều khiển theo trục đứng**



Phần này sẽ điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều đứng. Khi tín hiệu đưa vào càng lớn thì VOLTS/DIV cũng phải ở vị trí lớn và ngược lại. Ngoài ra còn một số phần như

INVERT: Đảo dạng sóng

DC/AC/GD: hiển thị phần một chiều/xoay chiều/đất của dạng sóng

CH I/II: Chỉnh kênh 1 hoặc kênh 2

DUAL: Chỉnh cả 2 kênh

ADD: Cộng tín hiệu của cả hai kênh

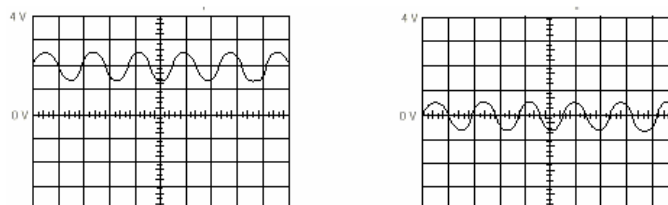
Khi bấm nút INVERT dạng sóng của tín hiệu sẽ bị đảo ngược lại đảo pha

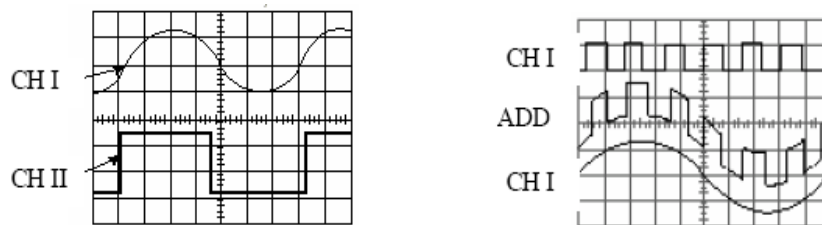
1800)

Khi gạt công tắc về vị trí GD trên màn hình sẽ xuất hiện một vệt ngang, dịch chuyển vị trí của đường này để xác định vị trí đất của tín hiệu.

Gạt công tắc về vị trí DC nghĩa là trong tín hiệu bao gồm cả thành phần một chiều và xoay chiều, gạt về vị trí AC là hiện dạng sóng đã tách thành phần một chiều. Xem hình dưới đây: (bên trái là ở chế độ DC và bên phải ở chế độ AC)

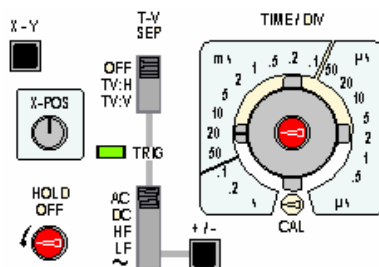
Khi ấn nút DUAL để chọn cả hai kênh thì trên màn hình sẽ xuất hiện 2 đồ thị của 2 dạng sóng ứng với 2 đầu đo. ADD để cộng các sóng với nhau. Nói chung vị trí của 3 nút CH I/II, DUAL và ADD sẽ cho các chế độ hiển thị khác nhau tùy thuộc vào từng loại máy.





**d. Điều khiển theo trục ngang**

Phần này điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều ngang. Khi tín hiệu đưa vào có tần số càng cao thì TIME/DIV phải càng nhỏ và ngược lại. Ngoài ra còn một số phân sau:



X - Y: ở chế độ này kênh thứ 2 sẽ làm trục X thay cho thời gian như ở chế độ thường.

**Chú ý:** Khi máy hoạt động ở chế độ nhiều kênh thì cũng chỉ có một phần điều khiển theo trục ngang nên tần số quét khi đó sẽ là tần số quét chung cho cả 2 dạng sóng.

**e. Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường**

Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần chỉ là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu nhận thông tin và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu ...

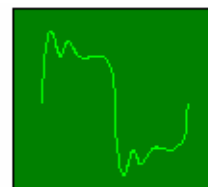
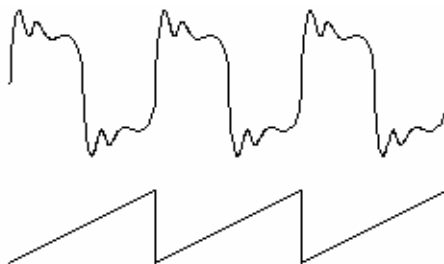
Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng.

**f. Quan sát tín hiệu**

Để quan sát được tín hiệu chỉ cần thiết lập máy ở chế độ đồng bộ trong và điều chỉnh tần số quét và trigô để dạng sóng đứng yên trên màn hình. Khi này có thể xác định được sự biến thiên của tín hiệu theo thời gian như thế nào. Các máy hiện sóng hiện đại có thể cho phép cùng một lúc 2, 4 hoặc 8 tín hiệu dạng bất kỳ cùng một lúc và tần số quan sát có thể lên tới 400MHz.

Tín hiệu cần  
quan sát đưa  
vào trục Y

Tín hiệu quét  
đưa vào  
trục X



Dạng sóng trên  
màn hình

### \* Đo điện áp

Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV

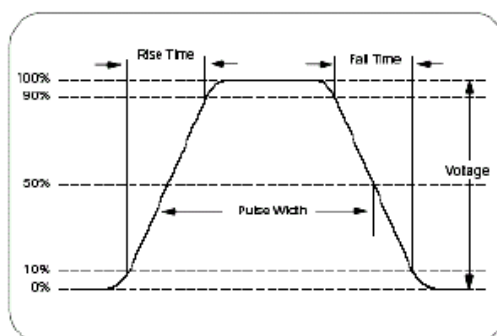
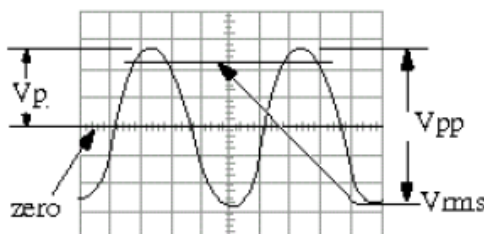
**Ví dụ:** VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở hình trên có:

$$V_p = 2,7 \text{ ô} \times 1V = 2,8V$$

$$V_{pp} = 5,4 \text{ ô} \times 1V = 5,4V$$

$$V_{rms} = 0,707V_p = 1.98V$$

Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình dưới.



### \* Đo tần số và khoảng thời gian

Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV

Việc xác định tần số của tín hiệu được thực hiện bằng cách tính chu kỳ theo cách như trên. Sau đó nghịch đảo giá trị của chu kỳ ta tính được tần số.

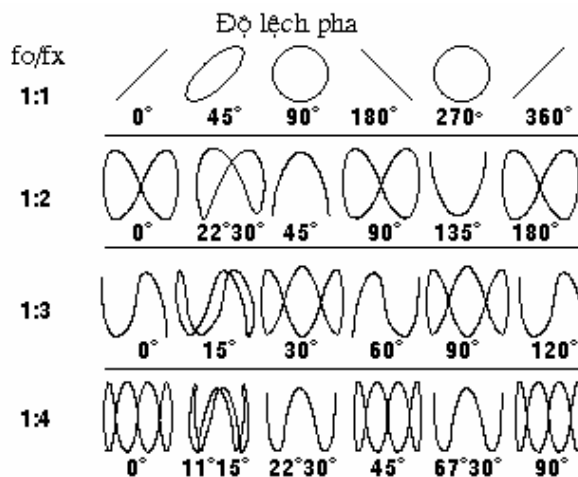


**Ví dụ:** ở hình bên s/div là 1ms. Chu kỳ của tín hiệu điện dài 16 ô, do vậy chu kỳ là 16ms →  $f=1/16\text{ms}=62,5\text{Hz}$

**\* Đo tần số và độ lệch pha bằng phương pháp so sánh**

Ngoài cách đo tần số thông qua việc đo chu kỳ như ở trên, có thể đo tần số bằng máy hiện sóng như sau: so sánh tần số của tín hiệu cần đo  $f_x$  với tần số chuẩn  $f_0$ . Tín hiệu cần đo đưa vào cực Y, tín hiệu tần số chuẩn đưa vào cực X. Chế độ làm việc này của máy hiện sóng gọi là chế độ X-Y mode và các sóng đều có dạng hình sin. Khi đó trên màn hình sẽ hiện ra một đường cong phức tạp gọi là đường cong Lissajou.

Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc là ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dạng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng. Xem hình bên.



Ta có:  $\frac{f_0}{f_x} = \frac{m}{n}$

Với n là số múi theo chiều ngang và m số múi theo chiều dọc (hoặc có thể lấy số điểm cắt lớn nhất theo mỗi trục hoặc số điểm tiếp tuyến với hình Lissajou của mỗi trục)

Phương pháp hình Lissajou cho phép đo tần số trong khoảng từ 10Hz tới tần số giới hạn của máy.

Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho 2 tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y - POS và X - POS sao cho tâm của elip trùng với tâm của màn hình hình (góc tọa độ). Khi đó góc lệch pha được tính bằng:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{A}{B}\right)$$

A với A, B là đường kính trục dài và đường kính trục ngắn của elip

Nhược điểm của phương pháp này là không xác định được dấu của góc pha và sai số của phép đo khá lớn (5 – 10%)

### **4.3. SỬ DỤNG MÁY BIẾN ÁP ĐO LƯỜNG.**

**Câu hỏi 1 :**

Cơ cấu đo dùng trong công tơ điện là loại cơ cấu đo nào sau đây:

- a. Cơ cấu đo kiểu từ điện.
- b. Cơ cấu đo kiểu điện động
- c. Cơ cấu đo kiểu cảm ứng.

Câu hỏi 1 :

Cơ cấu đo dùng trong công tơ điện là loại cơ cấu đo nào sau đây:

- a. Cơ cấu đo kiểu từ điện.
- b. Cơ cấu đo kiểu điện từ.
- c. Cơ cấu đo kiểu cảm ứng.

**Trả lời:** Câu trả lời đúng là c

**Câu hỏi 2 :**

Cơ cấu đo kiểu điện từ là cơ cấu đo có :

- a. Cuộn dây đứng yên khi làm việc.
- b. Cuộn dây quay tròn khi làm việc.
- c. Cuộn dây chuyển động tịnh tiến khi làm việc.

**Câu hỏi 2 :**

Cơ cấu đo kiểu điện từ là cơ cấu đo có :

- a. Cuộn dây đứng yên khi làm việc.
- b. Cuộn dây quay tròn khi làm việc.
- c. Cuộn dây chuyển động tịnh tiến khi làm việc.

**Trả lời:** Câu trả lời đúng là a.

#### **4.3.1. Máy biến điện áp.**

Máy biến điện áp trong đo lường hầu hết là máy biến áp giảm áp. Chúng được thiết kế để là giảm điện áp cuộn thứ cấp xuống còn khoảng 100 (V) , (đây là giá trị điện áp thích hợp với hầu hết các thiết bị đo).

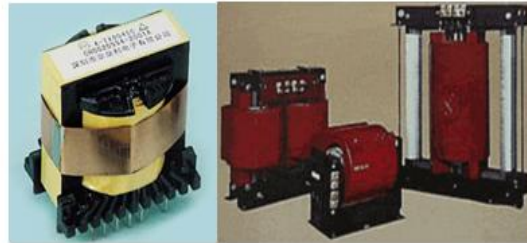
Máy biến áp dùng để biến điện áp cao thành điện áp nhỏ để đo lường và điều khiển. Công suất của máy biến điện áp  $25 \div 1000 \text{VA}$ . Máy biến điện áp có dây quấn sơ nối với lưới điện và dây quấn thứ nối với Vôn mét, cuộn dây áp của Watt kế, cuộn dây của các rơ le bảo vệ, hoặc các thiết bị điều khiển khác. Các loại dụng cụ này có tổng trở  $Z$  rất lớn nên máy biến điện áp xem như làm việc ở chế độ không tải, do đó sai số về trị số nhỏ và bằng:

$$\Delta U\% = \frac{U_2 \frac{W_1}{W_2} - U_1}{U_1} 100$$

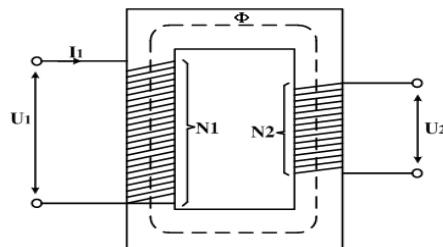
Góc  $\delta_u$  giữa  $U_1$  và  $U'_2$  cũng nhỏ.

**\* Cấu tạo**

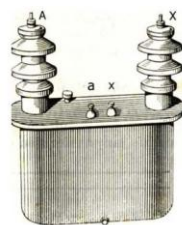
Máy biến điện áp là một máy biến áp cách ly với cuộn sơ cấp có số vòng lớn và cuộn thứ cấp có ít vòng.



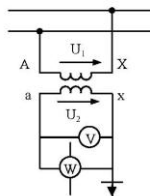
Hình dạng bên ngoài của máy biến điện áp.



**Đặc điểm cấu tạo của máy biến điện áp**



(a)



(b)



(c)

Hình 7.6 Máy biến điện áp

**Cấp chính xác và sai số của máy biến điện áp**

Cấp chính xác	0.5	1	3
Sai số $\Delta U$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 40'$

A - Máy Biến Áp phân phối 1 pha 8.66-12.7/ 0.46-0.23 KV

- Tần số 50 Hz.
- Chế độ làm mát : ONAN.
- Chất làm mát : Dầu khoáng cách điện
- Dung lượng : 10 KVA ~ 100 KVA.
- Điện áp sơ cấp : 8.66 - 12.7 KV
- Điện áp thứ cấp : 0.46 - 0.23 KV
- Vật liệu chế tạo cuộn dây: Đồng.
- Màu sơn vỏ máy : Màu xám nhạt.
- Nơi đặt : Trong nhà hoặc ngoài trời
- Vận hành : Liên tục



**\* Nguyên lý làm việc của máy biến điện áp**

Máy biến điện áp được thiết kế sao cho điện áp dây quấn thứ cấp ít thay đổi khi tải thay đổi từ lúc không tải đến đầy tải (tải định mức).

Trạng thái làm việc của các máy biến áp điện áp gần như không tải vì chúng làm việc với những thiết bị có tổng trở lớn (Volt kế, cuộn áp Wat kế, cuộn áp role bảo vệ. . .).

**Khi sử dụng máy biến áp điện áp cần chú ý không được nối tắt mạch thứ cấp vì sẽ gây sự cố ngắn mạch lưới điện ở sơ cấp.**

**4.3.2. Máy biến dòng điện.**

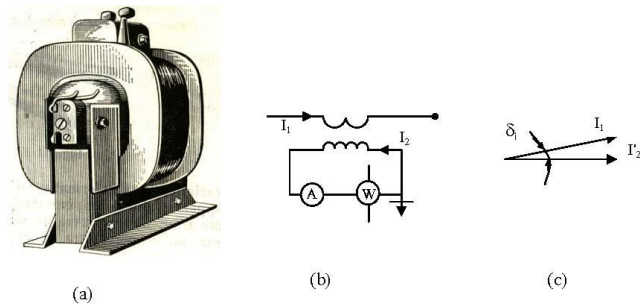
Trong hầu hết các thiết bị đo lường và điều khiển dòng điện đều được qui về chuẩn 5A nên các máy biến dòng điện sử dụng trong các lĩnh vực này thường có dòng điện ngõ ra cuộn thứ cấp là 5A.

Như đã đề cập đến ở trên, cuộn thứ cấp của máy biến dòng thường được nối với các thiết bị đo như ampere kế, watt kế hoặc các thiết bị tự động khác. Có một lưu ý là khi sử dụng máy biến dòng để cung cấp cho nhiều thiết bị thì phải mất nối tiếp các thiết bị này với nhau.

Máy biến dòng điện dùng để biến dòng điện lớn thành dòng điện nhỏ để đo lường bằng các dụng cụ đo tiêu chuẩn và điều khiển.

*Cấp chính xác và sai số của máy biến dòng điện*

Cc xác	0.2	0.5	1	3	10
S số $\Delta I$					



Hình 7.7 Máy biến dòng điện

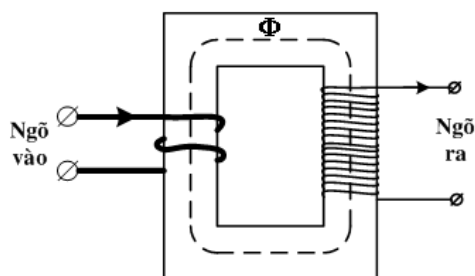
**\* Cấu tạo**

Máy biến dòng điện cũng giống như một máy biến áp cách ly thông thường gồm có lõi thép được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện, hai cuộn dây quấn sơ cấp và thứ cấp đặt trên lõi thép.

Điểm đặc biệt của máy biến dòng nằm ở tiết diện và số vòng dây quấn cuộn sơ cấp và thứ cấp.

Cuộn dây sơ cấp được quấn rất ít vòng thường chỉ được quấn một vòng dây. Dây quấn sơ cấp có tiết diện rất lớn do máy phải làm việc ở điều kiện gần như ngắn mạch. Đường kính dây quấn sơ cấp phụ thuộc vào cấp công suất của máy biến dòng; máy biến dòng có công suất càng lớn thì đường kính dây quấn sơ cấp càng lớn.

Dây quấn thứ cấp của máy biến dòng có tiết diện nhỏ và có rất nhiều vòng .



*Sơ đồ nguyên lý máy biến dòng.*

Hình dạng bên ngoài của máy biến dòng điện thường là hình tròn . Vì có dạng hình tròn kín nên thông thường máy biến dòng được lắp trong lúc lắp đặt mạng điện.



*Hình dáng bên ngoài của máy biến dòng điện*



**\* Nguyên lý hoạt động của máy biến dòng:**

Như đã đề cập đến ở trên, máy biến dòng thường xuyên hoạt động ở tình trạng gần như ngắn mạch. Do đó, một điều rất quan trọng khi sử dụng máy là không được phép để máy hoạt động ở chế độ không tải vì điện áp không tải phía thứ cấp của máy biến dòng điện rất lớn có thể gây hỏng lớp cách điện dẫn đến phá huỷ máy.

Trạng thái làm việc của máy biến dòng ở trạng thái ngắn mạch vì chúng làm việc với các thiết bị có tổng trở rất nhỏ (Ampere kế, cuộn dòng Wat kế, cuộn dòng role bảo vệ. **Khi sử dụng máy biến dòng điện cần chú ý không được để dây quấn thứ cấp hở mạch vì dòng điện từ hóa sẽ rất lớn, lõi thép bảo hòa sâu sẽ nóng lên và làm cháy dây quấn.**

Ngoài ra, suất điện động sẽ nhọn đầu gây nên điện áp cao đến hàng nghìn Volt ở thứ cấp dẫn đến không an toàn cho người sử dụng.

**Câu hỏi:**

- 1. Em hãy cho biết vì sao khi sử dụng máy biến dòng điện không được để dây quấn thứ cấp hở mạch ? Giải thích ?**
- 2. Khi sử dụng máy biến điện áp người ta nối tắt mạch thứ cấp điện hay không ? Hãy trình bày hiện tượng xảy ra khi ta nối tắt mạch thứ cấp ?**

**PHẦN V. TÀI LIỆU CẦN THAM KHẢO**

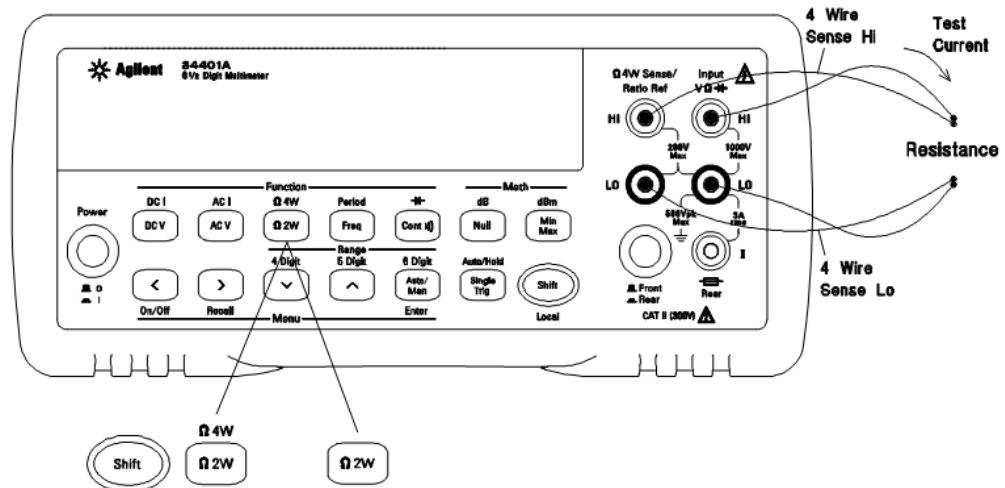
- [1] Kỹ thuật đo - Ngô Văn Ky, Trường Đại Học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh, 1993.
- [2] Cẩm nang kỹ thuật kèm ảnh dùng cho thợ đường dây và trạm mạng điện trung thế
- [3] Trần Nguyên Thái, Trường Kỹ Thuật Điện, Công Ty Điện lực 2, Bộ năng lượng - 1994.
- [4] Vật liệu điện - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.
- [5] Cung cấp điện - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.
- [6] Đo lường và điều khiển bằng máy tính - Ngô Diên Tập, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1997.
- [7] Sửa chữa điện máy công nghiệp - Bùi Văn Yên, NXB Đà Nẵng, 1998.
- [8] Kỹ Thuật Điện - Đặng Văn Đào, NXB Giáo Dục, 1999. Giáo trình An toàn lao động - Nguyễn Thế Đạt, Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề - NXB Giáo Dục, 2002.
- [9] Giáo trình An toàn điện - Nguyễn Đình Thắng, Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề - NXB Giáo Dục, 2002.
- [10] Giáo trình Đo lường các đại lượng điện và không điện - Nguyễn Văn Hoà, Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề - NXB Giáo Dục, 2002.
- [11] Phạm Thượng Hàn (chủ biên) - *Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý T1,2* – NXB Giáo dục 1997.
- [12] Lê Văn Doanh (chủ biên) - *Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển* - NXB KH&KT 2001.
- [13] Nguyễn Ngọc Tân (chủ biên) - *Kỹ thuật đo* - NXB KH&KT 2000.
- [14] Phan Quốc Phô (chủ biên) - *Giáo trình cảm biến* - NXB KH&KT 2005.
- [15] Ernest O. Doebelin - *Measurement Systems-Application and Design - 5st edition* - McGraw-Hill
- [16] Các trang web của các hãng sản xuất thiết bị đo lường và cảm biến: OMRON, ABB, FLUKE, SIEMENS, HP, HONEYWELL, OMEGA ...
- [17] Tạp chí “Tự động hóa ngày nay” + Trang web của tạp chí Tự động hóa ngày nay: [www.automation.org.vn](http://www.automation.org.vn) - chuyên mục “Thế giới cảm biến”.
- [18] Trang web [www.hiendaihoa.com](http://www.hiendaihoa.com)

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA ĐÀ NẴNG  
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



DỰ QUANG BÌNH

# ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ







---

## CHƯƠNG 1: PHÉP ĐO VÀ KỸ THUẬT ĐO ĐIỆN TỬ

Đo lường điện tử là phương pháp xác định trị số của một thông số nào đó ở một cấu kiện điện tử trong mạch điện tử hay thông số của hệ thống thiết bị điện tử. Thiết bị điện tử dùng để xác định giá trị được gọi là "thiết bị đo điện tử", chẳng hạn, đồng hồ đo nhiều chức năng [multimeter] dùng để đo trị số của điện trở, điện áp, và dòng điện v.v. . . trong mạch điện.

Kết quả đo tùy thuộc vào giới hạn của thiết bị đo. Các hạn chế đó sẽ làm cho giá trị đo được (hay giá trị biểu kiến) hơi khác với giá trị đúng (tức là giá trị tính toán theo thiết kế). Do vậy, để quy định hiệu suất của các thiết bị đo, cần phải có các định nghĩa về độ chính xác [accuracy], độ rõ [precision], độ phân giải [resolution], độ nhạy [sensitivity] và sai số [error].

### 1.1 ĐỘ CHÍNH XÁC [accuracy]

*Độ chính xác sẽ chỉ mức độ gần đúng mà giá trị đo được sẽ đạt so với giá trị đúng của đại lượng cần đo.* Ví dụ, khi một trị số nào đó đọc được trên đồng hồ đo điện áp [voltmeter] trong khoảng từ 96V đến 104V của giá trị đúng là 100V, thì ta có thể nói rằng giá trị đo được gần bằng với giá trị đúng trong khoảng  $\pm 4\%$ . Vậy độ chính xác của thiết bị đo sẽ là  $\pm 4\%$ . Trong thực tế, giá trị 4% của ví dụ trên là 'độ không chính xác ở phép đo' đúng hơn là độ chính xác, nhưng dạng biểu diễn trên của độ chính xác đã trở thành chuẩn thông dụng, và cũng được các nhà sản xuất thiết bị đo dùng để quy định khả năng chính xác của thiết bị đo lường. Trong các thiết bị đo điện tử số, độ chính xác bằng  $\pm$  số đếm cộng thêm độ chính xác của khối phát xung nhịp hay của bộ gốc thời gian.

#### 1.1.1 Độ chính xác của độ lệch đầy thang.

Thông thường, thiết bị đo điện tử tương tự thường có độ chính xác cho dưới dạng phần trăm của độ lệch toàn thang đo [fsd - full scale deflection]. Nếu đo điện áp bằng đồng hồ đo điện áp [voltmeter], đặt ở thang đo 100V (fsd), với độ chính xác là  $\pm 4\%$ , chỉ thị số đo điện áp là 25V, số đo sẽ có độ chính xác trong khoảng  $25V \pm 4\%$  của fsd, hay (25 - 4)V đến (25 + 4)V, tức là trong khoảng 21V đến 29V. Đây là độ chính xác  $\pm 6\%$  của 25V. Điều này được gọi là *sai số giới hạn*.

Ví dụ trên cho thấy rằng, điều quan trọng trong khi đo là nên thực hiện các phép đo gần với giá trị toàn thang đo nếu có thể được, bằng cách thay đổi chuyển mạch thang đo. Nếu kết quả đo cần phải tính toán theo nhiều thành phần, thì sai số giới hạn của mỗi thành phần sẽ được cộng với nhau để xác định sai số thực tế trong kết quả đo. Ví dụ, với điện trở  $R$  có sai số  $\pm 10\%$  và

---

dòng điện  $I$  có sai số  $\blacksquare$ 5%, thì công suất  $I^2R$  sẽ có sai số bằng  $5 + 5 + 10 = 20\%$ . Trong các đồng hồ số, độ chính xác được quy định là sai số ở giá trị đo được  $\blacksquare$  chữ số. Ví dụ, nếu một đồng hồ có khả năng đo theo 3 chữ số hoặc  $3 \frac{1}{2}$  chữ số, thì sai số sẽ là  $1/10^3 = 0,001 = \blacksquare$ 0,1% + 1 chữ số).

### 1.1.2 Độ chính xác động và thời gian đáp ứng.

Một số thiết bị đo, nhất là thiết bị đo công nghiệp dùng để đo các đại lượng biến thiên theo thời gian. Hoạt động của thiết bị đo ở các điều kiện như vậy được gọi là điều kiện làm việc động. Do vậy, *độ chính xác động* là độ gần đúng mà giá trị đo được sẽ bằng giá trị đúng mà nó sẽ dao động theo thời gian, khi không tính sai số tĩnh.

Khi thiết bị đo dùng để đo đại lượng thay đổi, một thuật ngữ khác gọi là *đáp ứng thời gian* được dùng để chỉ khoảng thời gian mà thiết bị đo đáp ứng các thay đổi của đại lượng đo. Độ trì hoãn đáp ứng của thiết bị đo được gọi là *độ trễ* [lag].

### 1.2 ĐỘ RÕ [precision].

*Độ rõ của thiết bị đo là phép đo mức độ giống nhau trong phạm vi một nhóm các số liệu đo.* Ví dụ, nếu 5 phép đo thực hiện bằng một voltmeter là 97V, 95V, 96V, 94V, 93V, thì giá trị trung bình tính được là 95V. Thiết bị đo có độ rõ trong khoảng  $\blacksquare$ 2V, mà độ chính xác là  $100V - 93V = 7V$  hay 7%. Độ rõ được tính bằng giá trị căn trung bình bình phương của các độ lệch. Ở ví dụ trên, các độ lệch là: + 2, 0, + 1, - 1, - 2. Nên giá trị độ lệch hiệu dụng là:

$$\sqrt{\frac{4\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare}{5}} \blacksquare$$

Do đó mức trung bình sai lệch là 2. Như vậy, độ rõ sẽ phản ánh tính không đổi (hay khả năng lặp lại - repeatability) của một số kết quả đo, trong khi độ chính xác cho biết độ lệch của giá trị đo được so với giá trị đúng. Độ rõ phụ thuộc vào độ chính xác. Độ chính xác cao hơn sẽ có độ rõ tốt hơn. Nhưng ngược lại sẽ không đúng. Độ chính xác không phụ thuộc vào độ rõ. Độ rõ có thể rất cao nhưng độ chính xác có thể không nhất thiết là cao. Khi độ chính xác gắn liền với độ lệch thực tế của đồng hồ đo (hoặc số hiển thị thực tế ở đồng hồ số), thì độ rõ gắn liền với sai số ở số đọc của giá trị đo. Sai số như vậy có thể tăng lên do thị sai ở các đồng hồ đo tương tự hoặc không ổn định ở các bộ chỉ thị số.

### 1.2 ĐỘ PHÂN GIẢI [resolution].

*Độ phân giải là sự thay đổi nhỏ nhất ở các giá trị đo được (không phải là giá trị 0) mà một thiết bị đo có thể đáp ứng để cho một số đo xác định.* Độ phân giải thường là giá trị vạch chia nhỏ

nhất trên thang đo độ lệch. Nếu một ammeter có 100 vạch chia, thì đối với thang đo từ 0 đến 1mA, độ phân giải sẽ là  $1\text{mA}/100 = 10\mu\text{A}$ . Ở các đồng hồ đo số, độ phân giải là 1 chữ số. Độ phân giải cần phải được cộng thêm với sai số do số đo nằm trong khoảng giữa hai vạch chia lân cận không thể đọc một cách chính xác. Độ phân giải cũng được phản ánh theo sai số của độ rõ ngoài các yếu tố khác như thị sai.

#### 1.4 ĐỘ NHẠY [sensitivity].

Độ nhạy là tỷ số của độ thay đổi nhỏ nhất ở đáp ứng ra của thiết bị đo theo độ thay đổi nhỏ nhất ở đại lượng đầu vào. Ví dụ, nếu độ lệch đầy thang của một ammeter A cho bằng 50mA, và bằng 100mA ở ammeter B, thì ammeter A nhạy hơn so với ammeter B. Độ nhạy được thể hiện cho voltmeter dưới dạng ohm / volt. Một đồng hồ đo có độ lệch đầy thang (fsd) là 50mA sẽ có điện trở là 20 000Ω mắc nối tiếp để cho fsd ở mức 1V, trong khi một đồng hồ có fsd là 100mA sẽ có điện trở là 10 000Ω để cho fsd ở mức 1V. Vậy voltmeter 20 000Ω có độ nhạy cao hơn so với voltmeter 10 000Ω.

##### a) Ngưỡng độ nhạy.

Ngưỡng độ nhạy là mức tín hiệu nhỏ nhất có thể được phát hiện dưới dạng có nhiễu và tạp âm. Các tín hiệu rất nhỏ có thể lẫn trong tạp âm, do vậy không thể tăng độ nhạy của một hệ thống đo vô cùng. Thông thường sử dụng phép đo đối với ngưỡng độ nhạy là biên độ của tín hiệu vào mà tỷ số tín hiệu trên nhiễu bằng đơn vị hoặc 0dB.

##### b) Yêu cầu độ rộng băng tần.

Độ rộng băng tần chọn lọc được dùng để cải thiện mức ngưỡng. Khi tần số nhiễu cao hơn phổ tần của tín hiệu cần đo, thì phải sử dụng mạch lọc thông thấp để tín hiệu truyền qua với mức nhiễu không đáng kể. Nếu nhiễu có tần số thấp hơn phổ tần của tín hiệu đo, thì sử dụng bộ lọc thông cao. Tổ hợp bộ lọc thông thấp và bộ lọc thông cao sẽ suy ra độ rộng băng tần để chặn nhiễu. Nếu nhiễu chiếm độ rộng trong phạm vi phổ tần của tín hiệu cần đo, thì bộ lọc chặn có thể nén nhiễu cùng với một phần nhỏ tín hiệu đo.

#### 1.5 CÁC LOẠI SAI SỐ [errors].

Mỗi thiết bị đo có thể cho độ chính xác cao, nhưng đều có các sai số do các hạn chế của thiết bị đo, do các ảnh hưởng của môi trường, và các sai số do người đo khi thu nhận các số liệu đo. Các loại sai số có ba dạng: Sai số thô, sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên.

##### a) Sai số thô.

Các sai số thô có thể quy cho giới hạn của các thiết bị đo hoặc là các sai số do người đo.

---

***Giới hạn của thiết bị đo.*** Ví dụ như ảnh hưởng quá tải gây ra bởi một voltmeter có độ nhạy kém. Voltmeter như vậy sẽ rẽ dòng đáng kể từ mạch cần đo và vì vậy sẽ tự làm giảm mức điện áp chính xác. Ảnh hưởng do quá tải sẽ được giải thích chi tiết ở mục 1.7.

***Sai số do đọc.*** Là các sai lệch do quan sát khi đọc giá trị đo. Các nhầm lẫn như vậy có thể do thị sai, hay do đánh giá sai khi kim nằm giữa hai vạch chia. Các thiết bị đo số không có các sai số do đọc.

### **b) Sai số hệ thống.**

Sai lệch có cùng dạng, không thay đổi được gọi là sai số hệ thống. Các sai số hệ thống có hai loại: Sai số do thiết bị đo và sai số do môi trường đo.

#### ***Sai số của thiết bị đo.***

Các sai số do thiết bị đo là do ma sát ở các bộ phận chuyển động của hệ thống đo hay do ứng suất của lò xo gắn trong cơ cấu đo là không đồng đều. Ví dụ, kim chỉ thị có thể không dừng ở mức 0 khi không có dòng chảy qua đồng hồ. Các sai số khác là do chuẩn sai, hoặc do dao động của nguồn cung cấp, do nối đất không đúng, và ngoài ra còn do sự già hoá của linh kiện.

***Sai số do môi trường đo*** là sai số do các điều kiện bên ngoài ảnh hưởng đến thiết bị đo trong khi thực hiện phép đo. Sự biến thiên về nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, từ trường, có thể gây ra các thay đổi về độ dẫn điện, độ rò, độ cách điện, điện cảm và điện dung. Biến thiên về từ tính có thể do thay đổi mô men quay (tức độ lệch). Các thiết bị đo tốt sẽ cho các phép đo chính xác khi việc che chắn các dụng cụ đến mức tối đa, sử dụng các màn chắn từ trường, v. v. . . Các ảnh hưởng của môi trường đo cũng có thể gây ra độ dịch chuyển nhỏ ở kết quả, do thay đổi nhỏ về dòng điện.

### **c) Sai số ngẫu nhiên.**

Các sai số ngẫu nhiên do các nguyên nhân chưa biết, xuất hiện mỗi khi tất cả các sai số thô và sai số hệ thống đã được tính đến. Khi một voltmeter, đã được hiệu chuẩn chính xác và thực hiện phép đo điện áp ở các điều kiện môi trường lý tưởng, mà người đo thấy rằng các số đo có thay đổi nhỏ trong khoảng thời gian đo. Độ biến thiên này không thể hiệu chỉnh được bằng cách định chuẩn, hay hiệu chỉnh thiết bị đo, mà chỉ bằng phương pháp suy luận các sai số ngẫu nhiên bằng cách tăng số lượng các phép đo, và sau đó xác định giá trị gần đúng nhất của đại lượng cần đo.

## **1.6 GIỚI HẠN CỦA THIẾT BỊ ĐO**

Một thiết bị đo có thể có các giới hạn về thang đo, công suất (hay khả năng tải dòng), tần số, trở kháng và độ nhạy (ảnh hưởng quá tải). Các vấn đề đó được giải thích như sau.

---

- **Giới hạn về thang đo.** Mỗi thiết bị đo có khoảng đo lớn nhất về một thông số cần đo. Khoảng đo sẽ được chia thành các thang đo nhỏ thích hợp. Ví dụ, một voltmeter có thể đo cao nhất là 300V chia thành 5 thang đo phụ: 3V, 10V, 30V, 100V và 300V.

Chuyển mạch thang đo sẽ thiết lập tại các vị trí chính xác tùy thuộc vào giá trị đo yêu cầu. Giả sử phép đo điện áp là 9V thì chúng ta sẽ sử dụng thang đo 10V. Các thang đo cần phải có cho tất cả các thông số cần đo. Cần phải chọn thang đo đúng cho mỗi thông số đo thích hợp. Nếu đo điện áp trên thang đo dòng điện, thì đồng hồ đo sẽ hư hỏng.

- **Độ mở rộng thang đo.** Là thuật ngữ được sử dụng chỉ sự chênh lệch giữa giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của một thang đo. Đối với giá trị đo của đồng hồ ở mức nhỏ nhất là 10mA và 100mA ở mức cao nhất, thì độ mở rộng của thang đo là  $100\text{mA} - 10\text{mA} = 90\text{mA}$ . Một đồng hồ đo điện áp có mức 0V ở giữa, với + 10V một bên và - 10V ở phía khác, sẽ có độ mở rộng thang đo là 20V.

- **Giới hạn về công suất.** Mỗi thiết bị đo đều có khả năng xử lý công suất lớn nhất, nên công suất của tín hiệu vào không được vượt quá giới hạn công suất đo. Công suất vượt quá có thể làm hỏng đồng hồ đo hay mạch khuếch đại bên trong đồng hồ đo.

- **Giới hạn về tần số.** Phần lớn cơ cấu động ở đồng hồ đo tương tự có vai trò như một điện cảm mắc nối tiếp và do vậy sẽ suy giảm ở dải tần số cao. Trong các thiết bị đo sử dụng các mạch chỉnh lưu và các mạch khuếch đại, các điện dung của tiếp giáp được cho là một hạn chế đối với tín hiệu đo ở dải tần số cao.

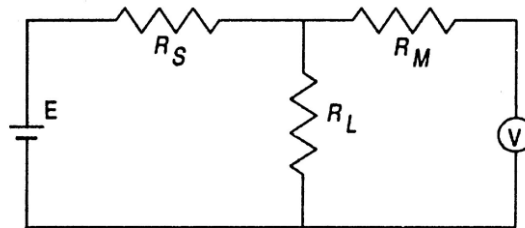
Cơ cấu đo điện động có thể chỉ được sử dụng để đo tín hiệu có tần số lên đến 1000Hz (do điện cảm nối tiếp), các cơ cấu đo từ điện (có bộ chỉnh lưu) có thể sử dụng để đo tín hiệu có tần số lên đến 10 000Hz, millivoltmeter xoay chiều có thể đo các tín hiệu có tần số lên đến một vài MHz. Các hạn chế tần số khác có thể gây ra do các điện dung song song. Máy hiện sóng có thể sử dụng để đo các tín hiệu có tần số ở dải megahertz, nhưng giá thành sẽ tăng khi cần độ rộng băng tần cao hơn. Máy hiện sóng không sử dụng cuộn dây và hệ thống chỉ thị kim, do vậy ảnh hưởng bất lợi ở phần lớn các cơ cấu đo sẽ được hạn chế và loại bỏ.

- **Giới hạn về trở kháng.** Các thiết bị đo được dùng để đo các tín hiệu *ac*, có trở kháng ra phụ thuộc vào mạch ra của transistor được sử dụng. Một máy phát tín hiệu tần số cao có thể có trở kháng là 75Ω hay 50Ω để phù hợp với trở kháng vào của hệ thống cần đo. Các thiết bị đo điện áp như voltmeter và máy hiện sóng có trở kháng vào cao. Một voltmeter tốt vừa phải có thể có trở kháng vào khoảng 20000Ω, trong khi một máy hiện sóng và đồng hồ đo số hay đồng hồ

đo điện tử có thể có trở kháng vài megohm. Thiết bị đo điện áp có trở kháng cao hơn sẽ cho độ chính xác của phép đo cao hơn, hay có ảnh hưởng quá tải ít hơn. Trở kháng của các cơ cấu đo cuộn dây động tùy thuộc vào độ nhạy của đồng hồ, còn trở kháng của máy hiện sóng kiểu ống tia phụ thuộc vào trở kháng vào của bộ khuếch đại dọc sử dụng trong máy hiện sóng.

### 1.7 ẢNH HƯỞNG DO QUÁ TẢI

Ảnh hưởng do quá tải có nghĩa là *sự suy giảm về trị số của thông số ở mạch cần đo khi mắc thiết bị đo vào mạch*. Thiết bị đo sẽ tiêu thụ công suất từ mạch cần đo và sẽ làm tải của mạch cần đo. Điện trở của đồng hồ đo dòng sẽ làm giảm dòng điện trong mạch cần đo. Tương tự, một voltmeter khi mắc song song với mạch có điện trở cao, thực hiện vai trò như một điện trở song song [shunt], nên sẽ làm giảm điện trở của mạch. Điều này tạo ra mức điện áp thấp trên tải đọc được trên đồng hồ đo. Do đó, đồng hồ sẽ chỉ thị mức điện áp thấp hơn so với điện áp thực, nghĩa là cần phải lấy mức điện áp cao hơn để có độ lệch đúng. Như vậy, ảnh hưởng do quá tải sẽ hạn chế độ nhạy và do đó cũng được gọi là *giới hạn độ nhạy*. Ảnh hưởng quá tải sẽ được biểu hiện ở đồng hồ đo điện áp [voltmeter] như sau.



Hình 1.1: Mạch dùng để tính ảnh hưởng do quá tải

Cho điện trở tải là  $R_L$  và nội trở của đồng hồ là  $R_M$ . Cùng với một điện trở mắc nối tiếp với tải  $R_L$  là  $R_S$  (hình 1.1). Điện áp thực tế trên  $R_L$  là  $V_L$  khi không mắc đồng hồ đo vào mạch, và  $V_M$  là điện áp trên tải khi có đồng hồ đo được tính theo phương trình (1.1) và (1.2) tương ứng.

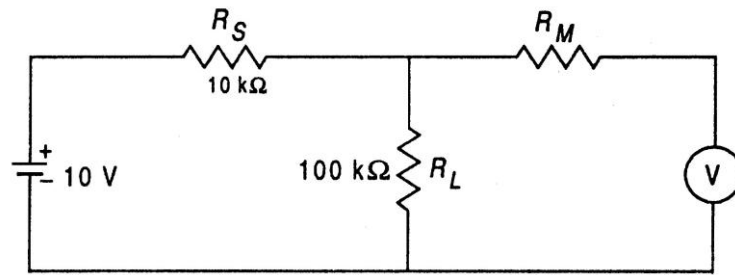
$$V_L = E \frac{R_L}{R_S + R_L} \quad (1.1)$$

$$V_M = E \frac{R_L // R_M}{R_S + R_L // R_M} \quad (1.2)$$

Ảnh hưởng quá tải tính theo phần trăm có thể tính bằng  $(V_L - V_M) \times 100 / V_L$ , như ở ví dụ 1.1 và 1.2.

**Ví dụ 1.1:** Với hai đồng hồ đo điện áp, một đồng hồ có độ nhạy là 20 000  $\Omega/V$ , và đồng hồ còn lại có độ nhạy là 1000  $\Omega/V$ , đo điện áp trên  $R_L$  trong mạch ở hình 1.2, trên thang đo 10V của

đồng hồ. Tính sai số do quá tải cho cả hai đồng hồ.



Hình 1.2: Mạch dùng để tính ảnh hưởng do quá tải ở ví dụ 1.1.

Trường hợp thứ nhất:

$$R_L // R_M = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Điện áp thực tế khi chưa có đồng hồ} = \frac{10 \cdot 100}{100 + 10} = 9,1 \text{ V}$$

$$\text{Điện áp đo được} = \frac{10 \cdot \frac{200}{3}}{10 + \frac{200}{3}} = 6,7 \text{ V}, \text{ Vậy, sai số theo phần trăm là } 4,4\%$$

Trường hợp thứ 2: Điện áp thực tế là 9,1V (như đã tính ở trên)  $R_L // R_M = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ k}\Omega$

$$\text{Điện áp đo được} = \frac{10 \cdot \frac{100}{11}}{10 + \frac{100}{11}} = 7,8 \text{ V}, \text{ Vậy, sai số theo phần trăm là } 47,3\%$$

Ví dụ 1.1, là đối với nguồn điện áp hằng. Ví dụ 1.2, cho thấy ảnh hưởng khi nguồn cung cấp cho tải là được cung cấp từ một nguồn dòng hằng.

**Ví dụ 1.2:** Một nguồn dòng điện không đổi sẽ cung cấp dòng điện là 1,5mA cho tải điện trở là 100k. Tính điện áp đúng và điện áp gần đúng trên tải khi sử dụng đồng hồ đo có điện trở là 100k để đo điện áp trên thang đo 100V. Tính sai số do quá tải theo phần trăm.

$$\text{Điện áp đúng} = 1,5 \text{ mA} \times 100 \text{ k}\Omega = 150 \text{ V}$$

$$\text{Điện trở của đồng hồ đo} = 100 \text{ V} \times 1000 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Điện trở tương đương} = 100 \text{ k}\Omega // 100 \text{ k}\Omega = 50 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Điện áp trên điện trở } 50 \text{ k}\Omega = 1,5 \text{ mA} \times 50 \text{ k}\Omega = 75 \text{ V}$$



---

Vây điện áp đo được	= 75V
Sai số % do quá tải	= $(150V - 75V) \times 100 / 150V = 50\%$

### 1.8 CAN NHIỀU Ở PHÉP ĐO.

So với tạp nhiễu bên trong được tạo ra bởi các gợn sóng của nguồn cung cấp, hay bằng sự di chuyển lớn một cách ngẫu nhiên về cả số lượng và vận tốc của các điện tử trong các cấu kiện chủ động và thụ động (gọi là nhiễu Johnson hay nhiễu trắng, nhiễu vạch), hoặc do các quá trình quá độ gây ra bởi sự giảm đột ngột thông lượng qua một điện cảm, các thiết bị đo có thể bị can nhiễu từ bên ngoài được giải thích như sau.

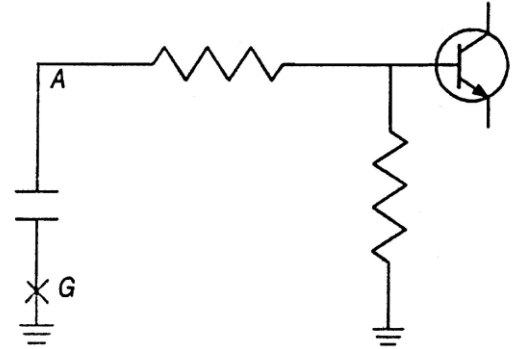
1. *Can nhiễu tần số thấp.* Khi các dây dẫn điện nguồn cung cấp chính *ac* chạy song song gần với các đầu dây tín hiệu đo, thì nhiễu mạnh *ac* (tần số 50Hz) sẽ can nhiễu vào đầu tín hiệu đo do hiệu ứng điện dung giữa các dây dẫn.

2. *Can nhiễu tần số cao.* Các tín hiệu tần số cao được tạo ra bất cứ khi nào có sự phát ra tia lửa điện ở vùng xung quanh thiết bị đo. Tia lửa điện có thể tạo ra khi chuyển mạch nguồn cung cấp, do các hệ thống đánh lửa, do các động cơ điện một chiều, do các máy hàn, do sự phóng điện hào quang (tức sự ion hoá không khí gần các mạch điện áp cao), và do hồ quang điện trong các đèn huỳnh quang. Tia chớp là các nguồn tần số cao trong tự nhiên. Phát thanh quảng bá từ các đài thu phát vô tuyến và các đài phát thanh di động công suất cao, được lắp đặt gần các thiết bị đo cũng tạo ra các tín hiệu tần số cao. Các tín hiệu cao tần đó đều có thể can nhiễu vào thiết bị đo, các tín hiệu cao tần có thể được chỉnh lưu bằng các cấu kiện bán dẫn có trong các thiết bị đo, và như vậy sẽ tác động đến các kết quả đo do điện áp không mong muốn thể hiện dưới các dạng khác nhau trong phép đo, làm cho kết quả đo sai hoàn toàn. Một số phép đo *dc* tiến hành ở các điểm đo trong mạch có cả điện áp *dc* và điện áp của các tín hiệu tần số cao. Các phép đo điện áp *dc* sẽ không chính xác nếu không lọc bỏ điện áp cao tần trước khi tín hiệu đo được chỉnh lưu trong thiết bị đo.

***Các cách phòng ngừa và khắc phục ở các phép đo để loại bỏ can nhiễu cao tần.***

1. Trước tiên là bao bọc có hiệu quả thiết bị đo để không bị can nhiễu ngoài trực tiếp vào thiết bị đo.
  2. Thiết bị đo phải được nối đất.
  3. Cần phải lọc các tín hiệu không mong muốn tại mạch vào, dây đo và dây nguồn cung cấp để các tín hiệu cao tần sẽ được lọc bỏ trước khi chỉnh lưu, phải có mạch chọn băng tần tín hiệu đo để loại bỏ nhiễu và can nhiễu tần số cao. Mạch nối với bộ máy cần phải đảm bảo. Mỗi hàn bị
-

nút hay thiếu kết nối, sẽ tạo ra một điện trở giữa đầu vào và đất đối với các tín hiệu tần số cao, nên điện áp cao tần sẽ xâm nhập tại đầu vào như minh họa ở hình 1.3. Tụ điện trong hình 1.3, dùng để lọc bỏ các tín hiệu cao tần, có vai trò như một ngắn mạch đối với tần số cao. Nếu tụ hở mạch, hay điểm G không kết nối với đất (do áp lực nào đó hay mối hàn bị nứt), thì tín hiệu tần số cao sẽ có tại điểm A sẽ được đưa đến đầu vào của mạch khuếch đại bằng transistor, nên sẽ được khuếch đại và chỉnh lưu (phản phi tuyến của đặc tuyến) và sẽ có tại đầu ra dưới dạng điện áp dc. Các đài phát thanh quang bá địa phương thỉnh thoảng nghe được trong ống nghe điện thoại do can nhiễu đó.



Hình 1.3: Trích dẫn tần số cao khi lọc.

4. Khi thực hiện phép đo *dc* tại điểm có cả điện áp *dc* cũng như điện áp cao tần, điện áp cao tần có thể gây ra mức dòng điện lớn chảy qua đầu que đo bởi vì đầu que đo gần như được ngắn mạch với bộ máy đối với tín hiệu cao tần thông qua ảnh hưởng điện dung, có thể làm nóng đầu que đo (thực tế này xảy ra khi đo các điện áp *dc* trong máy phát). Mắc nối tiếp cuộn cảm RF với đầu que đo để loại bỏ tình trạng trên.

5. Sử dụng mạch khuếch đại thuật toán ở chế độ vi sai sẽ làm giảm các tín hiệu nhiễu đồng kênh rất cơ bản, có thể loại bỏ nhiễu đồng kênh lên đến mức 100dB. (Nếu mặc dù đã có các dự phòng nhiễu cao tần trên, hư hỏng hệ thống có thể từ tầng này đến tầng khác, thì nguyên nhân có thể là vỏ bảo vệ, nối đất, mạch lọc và cuộn cảm cao tần, cần phải kiểm tra kỹ các vấn đề đó).

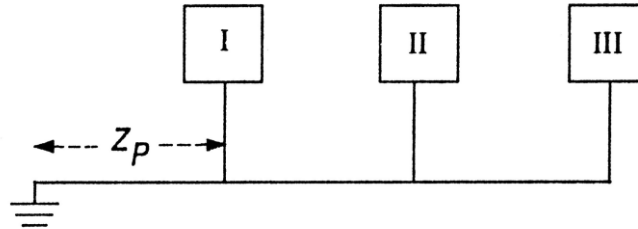
### 1.9 VỎ BẢO VỆ.

Vỏ bảo vệ là lớp chặn bằng vật liệu dẫn điện được lắp ở phần có tín hiệu nhiễu. Hiệu quả của lớp bảo vệ tùy thuộc vào: (i) kiểu lớp bảo vệ, (ii) các đặc tính của vật liệu làm lớp bảo vệ và (iii) độ hở của lớp bảo vệ.

Trường nhiễu có thể là điện trường hoặc từ trường. Các lớp bảo vệ bằng từ tính sử dụng vật liệu sắt từ như sắt. Các lớp bảo vệ tĩnh điện sử dụng vật liệu dẫn điện không nhiễm từ như nhôm. Các vật liệu dẫn điện có đặc tính điện môi kém nên sẽ hấp thụ các nhiễu do điện trường tĩnh. Ngoài việc hấp thụ, nhiễu cũng sẽ giảm do sự phản xạ của điện trường khỏi lớp bảo vệ. Độ hấp thụ nhiễu tỷ lệ với độ dày của vật liệu. Sự phản xạ sẽ xảy ra khi có gián đoạn trở kháng đặc trưng giữa lớp bảo vệ và môi trường xung quanh lớp bảo vệ.

### 1.10 NỐI ĐẤT

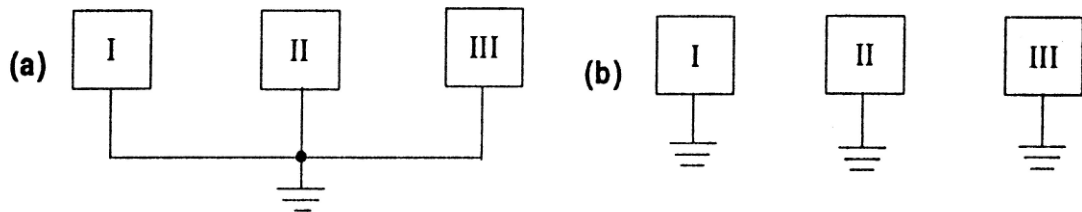
Có đường dẫn trở lại mức đất trên bảng mạch in, thường là đường mạch rộng và có điện trở rất thấp. Dây tín hiệu cần phải được đặt gần với đường nối đất để giảm ảnh hưởng điện cảm. Đường mức đất trên mạch bảng mạch sẽ được nối với đường đất hiệu dụng.



Hình 1.4: Nối đất sai.

Mức đất, như mạch ở hình 1.4, là không đúng, bởi vì điện áp được bộc lộ trên chiều dài  $Z_p$  do phần tử II sẽ được nối trở lại phần tử I. Ảnh hưởng sẽ xấu nếu phần tử I có độ nhạy cao, hoặc nếu phần tử II là thiết bị công suất lớn.

Các cách nối đất như mạch ở hình 1.5a, và 1.5b, là thích hợp, nhất là đối với tín hiệu có tần số trên 10MHz, nếu chú ý chọn để tránh việc hình thành các vòng đất.



Hình 1.5: Nối đất đúng.

### 1.11 SO SÁNH THIẾT BỊ ĐO TƯƠNG TỰ VÀ THIẾT BỊ ĐO SỐ.

Các thiết bị đo tương tự sử dụng độ lệch của kim chỉ thị do tương tác giữa dòng điện và từ trường, hoặc giữa hai từ trường. Đa số các bộ phận cơ cấu động đều có ma sát, nên có nhiều hạn chế (như giới hạn tần số cao, độ nhạy, sai số do quá tải) và các sai số. Trong các đồng hồ đo số, không liên quan đến sự làm lệch, số chỉ thị được đọc ở bộ hiển thị (hiển thị bằng tinh thể lỏng hay bằng LED), nên các đồng hồ đo số không có các sai số như của các đồng hồ đo tương tự.

Các ưu điểm của thiết bị đo số so với các loại đồng hồ đo tương tự như sau.

#### a) Ưu điểm của đồng hồ đo số so với đồng hồ đo tương tự.

1. Độ chính xác cao (thông dụng là 0,0005% hay 5ppm)
2. Độ rõ cao (khi số lượng đo được thể hiện bằng chữ số, nên sẽ không thay đổi giá trị của nó (điển hình là 1ppm).
3. Độ phân giải tốt hơn (tình trạng không rõ ràng chỉ bị giới hạn nhiều nhất là một chữ số).

4. Không có sai số do thị sai.
5. Không có sai số do đọc. Không có sai số trong việc chuyển đổi số liệu đo.
6. Trở kháng vào rất cao (điển hình là 10M $\Omega$ ) và điện dung vào thấp là 40pF) và vì vậy sai số do quá tải không đáng kể.
7. Trở kháng vào hầu như không thay đổi trên tất cả các thang đo.
8. Sự định chuẩn từ các nguồn mẫu bên trong đồng hồ là hoàn toàn ổn định.
9. Không có sai số do dạng sóng tín hiệu.
10. Hiển thị cực tính tự động, có khả năng tự động chỉnh 0 và tự động chuyển thang đo. Các thang đo thay đổi theo các nấc thập phân thay vì thang đo  $\sqrt{10}$ , nên có số lượng thang đo ít hơn, khả năng mở rộng thang đo lớn hơn.
11. Có khả năng xử lý số đo bằng máy tính. Các số liệu đo có thể được lưu trữ và truy xuất bất kỳ lúc nào.
12. Có khả năng xử lý các tín hiệu đo ở dải tần số rộng hơn.
13. Thao tác đo đơn giản, chỉ cần ấn nút ấn để thiết lập lại tự động chính xác thiết bị đo cho các số liệu đo mới.
14. Có khả năng kết hợp nhiều thiết bị đo vào một thiết bị bằng kỹ thuật số. Có thể lập trình phép đo dễ dàng.
15. Thiết bị đo gọn và kết cấu chắc chắn hơn.

#### **b) Các nhược điểm của đồng hồ đo số.**

1. Cần phải có nguồn cung cấp do sử dụng các vi mạch (IC).
2. Các đại lượng thay đổi chậm, như khi nạp tụ không thể quan sát được. Các đồng hồ tương tự có thể quan sát các biến thiên như khi đo thử tụ điện phân.
3. Khi đo thử diode không thể thực hiện như cách thông thường, nên có bổ sung mạch chuyên dụng dành riêng cho mục đích đo thử diode ở một số đồng hồ đo số (tức chức năng đo mức sụt áp trên tiếp giáp *pn*).
4. Giá thành cao, nhưng giá thành sẽ giảm xuống theo sự phát triển của công nghệ chế tạo các IC mới.

Vẫn còn nhiều tranh luận giữa các lợi thế của thiết bị đo tương tự so với các hiển thị số. Tuy nhiên, các ưu điểm của thiết bị đo số có phần được chú trọng hơn các loại thiết bị đo tương tự, nên thiết bị đo số ngày càng trở nên thông dụng hơn, nhất là khi giá thành của thiết bị đo số giảm xuống. Trong các hệ thống đo rất phức tạp, cơ cấu đo tương tự chỉ thị kim có thể thể hiện

bằng hình vẽ trên máy tính ngoài hiển thị số.

### 1.12 CHỌN KHOẢNG ĐO TỰ ĐỘNG VÀ ĐO TỰ ĐỘNG

Khoảng đo tự động sẽ định vị dấu chấm thập phân một cách tự động để nhận được độ phân giải tối ưu. Nếu số chỉ thị dưới 200, thiết bị đo số 3 ½ - chữ số sẽ tự động được chuyển mạch đến thang đo có độ nhạy cao hơn, còn nếu giá trị hiển thị cao hơn 1999, thì thang đo có độ nhạy ít hơn tiếp theo sẽ được chọn. Bộ đếm và bộ giải mã sẽ thay đổi vị trí dấu chấm thập phân khi yêu cầu khoảng đo tự động.

Một đồng hồ đo tự động hoàn toàn chỉ cần tín hiệu cần đo có tại hai đầu vào của đồng hồ đo và điều chỉnh để đo thông số nào, còn sau đó toàn bộ các tiến trình đo (chính 0, chỉ thị cực tính, thang đo, hiển thị) sẽ được tiến hành tự động.

Đối với các thiết bị đo tinh vi, khuynh hướng là kết hợp nhiều thiết bị đo vào một thiết bị. Ví dụ, bộ giám sát thông tin có các thiết bị đo như sau:

Máy tạo tín hiệu RF	Máy tạo tín hiệu AF
Đồng hồ đo công suất RF	Voltmeter số
Đồng hồ đo công suất AF	Đồng hồ đo độ nhạy
Đồng hồ đo hệ số méo dạng	Bộ đếm tần số
Máy phân tích phổ	Máy hiện sóng nhớ số

Bất kỳ thiết bị đo nào trong số các thiết bị đo trên có thể hình thành hoạt động theo lập trình. Chế độ làm việc đã được chọn, thiết bị đo sẽ được chọn, loại phép đo yêu cầu đã được lập trình theo lệnh, nên tín hiệu ra sẽ được hiển thị hay được in, toàn bộ được điều khiển bằng bàn phím. Phép đo theo chương trình trên máy tính cũng gọi là đo tự động.

### 1.13 ĐO TRONG MẠCH (ICT)

Việc đo thử trong mạch có thể đo thử IC mức độ nhỏ hay trung bình mà không cần tháo IC ra khỏi mạch. Điểm mấu chốt của ICT là giao diện BON. Các đầu kẹp là các đầu que đo ở bộ giao tiếp sẽ được bật để gắn được tải, nối chắc chắn đến điểm cần đo thử. Chương trình đo thử tự động sẽ cung cấp dữ liệu vào để đo thử linh kiện. Ví dụ, để đo thử một IC, bộ đo thử trong mạch sẽ truy xuất bảng trạng thái cho IC từ RAM của thiết bị đo thử tự động (ATE), và sẽ so sánh với dữ liệu ra của IC cần đo thử với bảng trạng thái chính xác.

### 1.14 KỸ THUẬT ĐO ĐIỆN TỬ

Phép đo cần phải được thực hiện một cách cẩn thận và sự thể hiện các số liệu đo phải phù hợp sau khi đã có tính toán đến các giới hạn về độ nhạy, độ chính xác và khả năng của thiết bị đo.

---

Đôi khi số đo có thể đúng nhưng nếu thể hiện kết quả sai, người ta có thể hiểu mạch đang tốt là có sai hỏng và ngược lại. Hơn nữa, việc sử dụng thiết bị đo sai có thể tạo ra các nguy hiểm cho sự an toàn của người đo và thiết bị đo. Các kỹ thuật đo sau đây cần phải tuân theo khi đo thử hay thực hiện các phép đo trong việc chẩn đoán hư hỏng, sửa chữa và bảo dưỡng các thiết bị điện tử.

1. Nối thiết bị đến nguồn điện lưới, tốt hơn hết là thông qua đầu nối ba chân, và thực hiện bật nguồn cho hệ thống theo trình tự sau:

Các điểm quan trọng được chuyển mạch ON đầu tiên, tiếp theo là đóng [ON] nguồn cung cấp, sau đó đóng [ON] thiết bị đo, và cuối cùng đóng nguồn cung cấp cho mạch cần đo thử. Khi tắt (chuyển mạch sang OFF), thì trình tự là ngược lại, thì trình tự phải được thực hiện ngược lại: trước tiên tắt nguồn cung cấp cho mạch cần đo, tiếp theo là tắt thiết bị đo, sau đó tắt nguồn cung cấp và cuối cùng là ngắt điện lưới. Điều này sẽ bảo vệ thiết bị đo và thiết bị cần đo khỏi các xung quá độ. Không hàn hay tháo mỗi hàn linh kiện khi nguồn cung cấp đang bật.

2. Bất kỳ lúc nào cũng phải tắt thiết bị đo còn nếu thiết bị đo được chuyển mạch sang đóng [on] ngay sau đó thì cần phải có khoảng thời gian đáng kể để cho phép các tụ trong thiết bị xả.

3. Các thiết bị đo thử cần phải được nối đất một cách hiệu quả để giảm thiểu các biến thiên của nhiễu.

4. Chọn thang đo phù hợp theo tham số cần đo, tùy theo giá trị đo yêu cầu. Nếu không biết giá trị đo yêu cầu, thì hãy chọn thang đo cao nhất và sau đó giảm dần thang đo cho phù hợp, để tránh cho thiết bị đo bị quá tải và bị hư hỏng. Thang đo được chọn cuối cùng sẽ cho kết quả đo gần với độ lệch lớn nhất có thể có đối với phép đo điện áp và dòng điện, và gần mức trung bình đối với phép đo điện trở, để có độ chính xác tối ưu đối với hệ thống đo.

5. Khi giá trị đo bằng 0, thì đồng hồ đo cần phải chỉ thị bằng 0, nếu không thì cần phải được chỉnh 0 phù hợp.

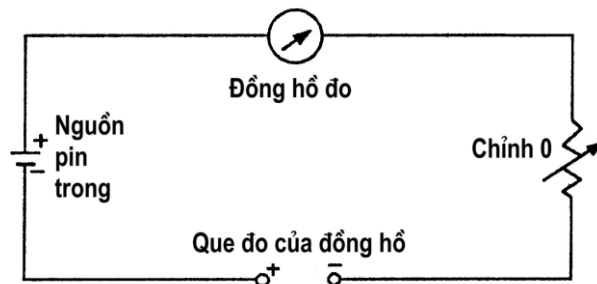
6. Không sử dụng các đầu đo có kích thước lớn vì chúng có thể gây ngắn mạch. Các đầu que đo cần phải nhọn nhất nếu có thể được.

7. Điểm quan trọng là kết nối phép đo tại các điểm đo thử: các hãng chế tạo thiết bị thường quy định các điểm đo thử tại các vị trí thuận tiện trên bảng mạch in. Điện trở, mức điện áp  $dc$ , mức điện áp tín hiệu và các dạng sóng của tín hiệu sẽ được quy định cho mỗi điểm đo thử. (điểm đo thử thường là chốt lắp đứng trên bảng mạch in). Các điểm đo thử có các mạch đệm tốt nhất để tránh nguy hiểm quá tải cho mạch cần đo. Các điểm đo thử được thiết kế bởi các nhà chuyên

---

môn có kinh nghiệm, khi cần khảo sát thiết bị, không được bỏ qua các điểm đo thử trong quá trình sửa chữa.

8. Thông thường các đầu que đo mang dấu dương và âm đối với các phép đo điện áp và dòng điện trong mạch. Nguồn pin bên trong đồng hồ đo sẽ có cực tính ngược lại, tức là đầu que đo âm của nguồn pin trong đồng hồ đo sẽ được nối đầu que được đánh dấu dương (que đo màu đen) và ngược lại, như thể hiện ở hình 1.6. Thực tế này cần phải nhớ khi đo thử các diode, các tụ điện phân, các transistor và các vi mạch.



Hình 1.6: Thể hiện cực tính ghi trên các que đo của đồng hồ và cực tính của nguồn pin trong

9. Nếu các điểm đo thử là không cho trước, hoặc nếu các phép đo là được thực hiện tại các điểm khác nhau, thì cần phải chú ý các điểm như sau:

- Khi đo các điện áp  $dc$ , phép đo cần phải được thực hiện ngay tại các linh kiện thực tế, và đối với vi mạch đo trực tiếp trên các chân.
- Sử dụng đầu kẹp đo thử IC để thực hiện các phép đo trên các chân của IC.
- Khi cần đo tín hiệu trên mạch in trong bảng mạch, nên kẹp đầu đo trên chân của cấu kiện điện tử được nối với đường mạch in.
- Khi thực hiện các phép đo trên bảng mạch, cần phải đảm bảo rằng các IC không bị điện tích tĩnh do thiết bị đo.
- Khi kiểm tra hờ mạch, hãy tháo một đầu của cấu kiện điện tử rồi thực hiện phép đo. Nếu cấu kiện không được tháo một đầu, thì các cấu kiện khác mắc song song với cấu kiện nghi ngờ sẽ chỉ thị không đáng tin cậy. Có thể kiểm tra cấu kiện nghi ngờ bằng cầu đo. . .

Khi tháo mỗi hàn ra khỏi bảng mạch in là khó khăn thì có thể cắt đường mạch in liên quan, do dễ dàng hàn lại vết cắt hơn so với việc tháo mỗi hàn cấu kiện để đo rồi hàn lại, nhưng khi hàn lại vết cắt, cần đề phòng mỗi hàn bị nứt không xảy ra.

f) Việc tháo và hàn IC là một quá trình khá phức tạp cần phải hết sức cẩn thận. Cần phải tháo mỗi hàn cho IC để đo thử chỉ khi xác minh chắc chắn các phép đo trên bảng mạch cho thấy IC đã thực sự hỏng.

- 
10. Cần phải tuân theo các lưu ý về an toàn để đảm bảo an toàn cho người đo và thiết bị đo.
  11. Cần phải tuân theo các chỉ dẫn từ hướng dẫn sử dụng thiết bị đo thử, cũng như trình tự đo thử.
  12. Cần phải nghiên cứu kỹ cách vận hành thiết bị đo để thực hiện phép đo và cần phải tuân theo tất cả các điểm lưu ý đã được đề cập.

### **TÓM TẮT NỘI DUNG CHƯƠNG 1.**

Các thiết bị đo dùng để xác định giá trị thông số của một thiết bị hay hệ thống điện tử. Các thuật ngữ độ chính xác, độ rõ, độ phân giải và độ nhạy dùng để quy định một thiết bị đo.

Có thể có các kiểu sai số khác nhau kèm theo trong các kết quả đo là các sai số thô, các sai số hệ thống và các sai số ngẫu nhiên.

Thiết bị đo có thể có giới hạn về thang đo, độ nhạy, tần số, trở kháng, ảnh hưởng do quá tải và già hoá.

Thiết bị đo có thể bị can nhiễu từ bên ngoài do không nối đất thiết bị đo, hay do không lọc tín hiệu tần số cao.

Ở các đồng hồ đo kiểu tương tự, do trọng lượng, sự cân bằng và ma sát của cơ cấu đo kiểu độ lệch nên có hạn chế về tần số, hạn chế về độ nhạy và các sai số khác. Đối với các thiết bị đo kiểu số, do không sử dụng cơ cấu đo kiểu độ lệch, nên sẽ có độ chính xác cao, độ rõ cao, độ phân giải tốt hơn, không có sai số do đọc, không có sai số do dạng sóng và ảnh hưởng do quá tải không đáng kể. Ngoài ra còn có các ưu điểm khác về thang đo và xử lý tính toán kết quả đo tự động ở đồng hồ đo số.

Để đo các thông số một cách chính xác, cần phải tuân theo các lưu ý như trình tự đóng - mở đúng, hiệu chỉnh 0, nối đất thiết bị đo, chọn thang đo và cực tính đúng, và các lưu ý về an toàn điện thông thường.

---



---

## CHƯƠNG 2: THIẾT BỊ ĐO VÀ QUAN SÁT TÍN HIỆU

Thiết bị đo và quan sát tín hiệu hay máy hiện sóng, gọi tắt là CRO [Cathode - Ray Oscilloscope], là thiết bị đo điện tử đa năng, dùng để đo thử trong các hệ thống điện tử. Máy hiện sóng sẽ hiển thị các dạng sóng của tín hiệu trên màn hình, nên có thể đo biên độ cũng như tần số của tín hiệu. Về cơ bản, máy hiện sóng dùng để đo điện áp, nhưng cũng có thể đo dòng điện, nếu dòng điện được biến đổi thành điện áp khi cho dòng điện chảy qua một điện trở cố định. Tương tự, máy hiện sóng có thể đo điện trở nếu dòng điện từ một nguồn dòng hằng được chảy qua điện trở cần đo như đối với DMM (chương 3). Máy hiện sóng hai vết có thể dùng để so sánh hai dạng sóng khác nhau, còn máy hiện sóng hai chùm tia có thể dùng để so sánh các thay đổi về pha liên quan ở hai dạng sóng. Máy hiện sóng có thể được sử dụng hiệu quả để quan sát dạng sóng thực tế trên màn hình và để định lượng dạng sóng. Máy hiện sóng có thể dùng để hiển thị đại lượng bất kỳ nếu có thể biến đổi được thành điện áp. Do máy hiện sóng là thiết bị đo đa dụng nên cũng được sử dụng trong các lĩnh vực đo và quan sát khí tượng, sinh học, y tế và công nghiệp.

### 2.1 NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY HIỆN SÓNG TƯƠNG TỰ

Máy hiện sóng bao gồm ống tia cathode (CRT), và các mạch làm lệch để hiển thị dạng sóng. Nguyên lý hoạt động của ống tia cathode và các mạch làm lệch được giải thích như sau:

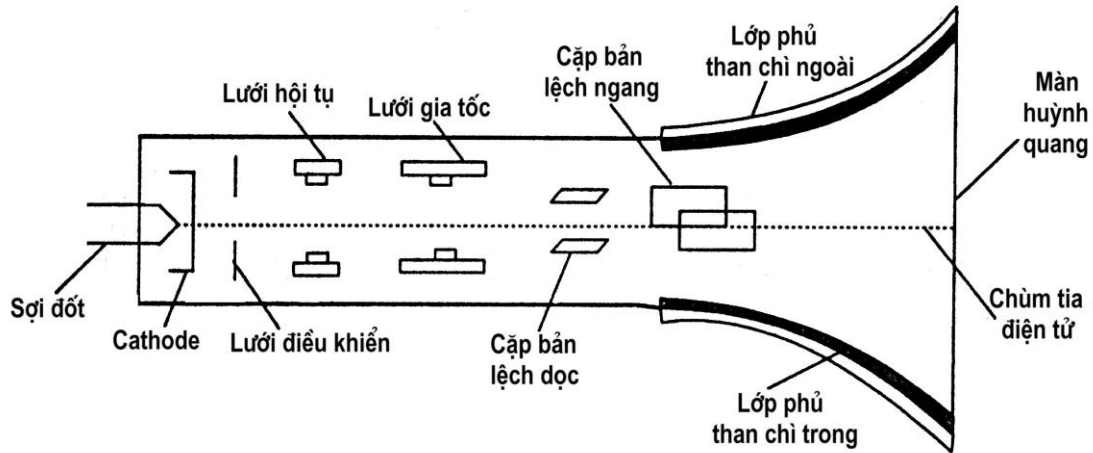
#### a) Ống tia cathode.

Bộ phận chính của máy hiện sóng là ống tia cathode, đó là một đèn phát xạ điện tử do nhiệt độ cao bao gồm một súng điện tử, các bản làm lệch và màn hình huỳnh quang. Tất cả được bọc trong vỏ bằng thủy tinh, rút chân không như ở hình 2.1.

Súng điện tử gồm cathode được làm bằng Vonfram sẽ được đốt nóng để phát xạ các điện tử. Sự di chuyển của các điện tử được điều khiển bởi lưới điều khiển có điện áp âm hơn so với cathode. Các điện tử di chuyển qua các điện trường tạo ra bởi các lưới hội tụ và lưới gia tốc, để tạo thành tia hội tụ sắc nét. Chùm tia điện tử năng lượng cao sẽ đập vào màn hình huỳnh quang, nên sẽ làm cho các phần tử phosphor loé sáng. Ở phần loe của ống thủy tinh, có phủ lớp than chì cả hai bên lớp vỏ thủy tinh. Lớp than chì bên trong sẽ ngăn các điện tử khỏi phát xạ thứ cấp, còn lớp than phủ bên ngoài làm nhiệm vụ bảo vệ, để tránh sự bức xạ nhiễu tín hiệu quét. Một lớp nhôm mỏng cũng được đặt gần sát màn hình để chặn các ion dịch chuyển khỏi sự va chạm màn hình huỳnh quang và cũng dùng để phản xạ ánh sáng trở lại phía màn hình nhằm cải thiện độ

---

phát sáng của tia sáng. Ống tia cần phải có điện áp vài kV (gọi là đại cao áp hay điện thế EHT) đặt vào lớp phủ than chì bên trong. Các lưới khác sẽ lấy các mức điện áp  $dc$  thích hợp từ điện áp cao thông qua mạch phân áp.



Hình 2.1: Cấu tạo của ống tia cathode (CRT) của máy hiện sóng thông dụng.

Sự làm lệch tia theo chiều ngang có được bằng cách sử dụng tín hiệu răng cưa. Sự làm lệch tia theo chiều dọc nhờ tín hiệu cần quan sát. Các mạch điều khiển độ lệch tia ở máy hiện sóng (ngoài ống tia), sử dụng các transistor nên yêu cầu các mức điện áp  $dc$  thấp để hoạt động.

### b) Làm lệch chùm tia.

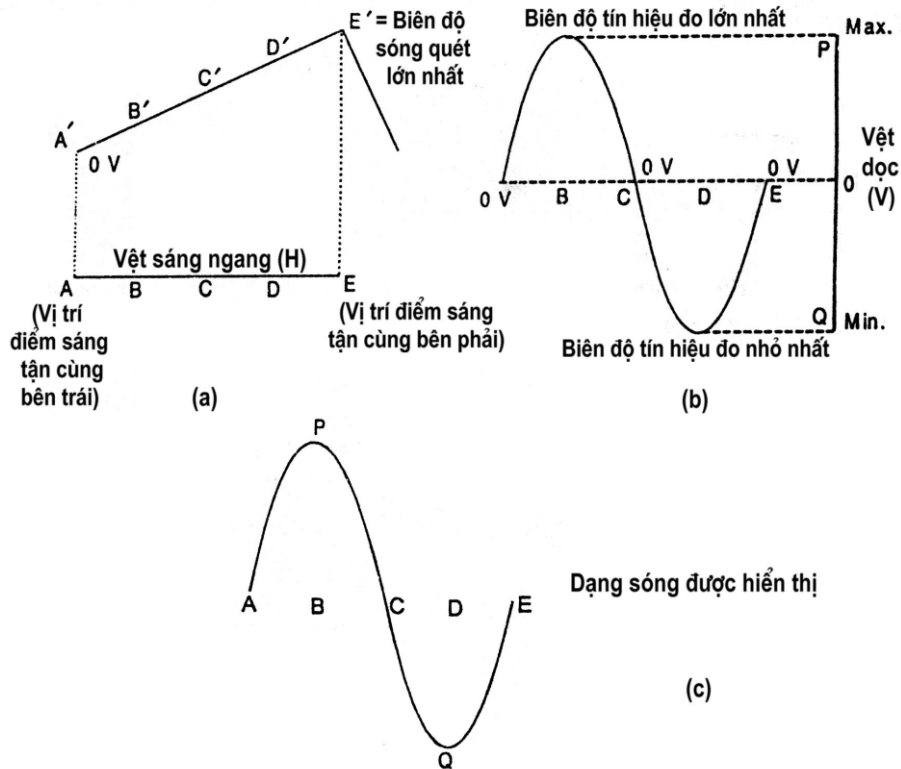
**Nguyên lý hoạt động của bộ gốc thời gian (làm lệch ngang).** Chùm tia sẽ được làm lệch theo chiều ngang bằng cách áp đặt một điện áp răng cưa (như ở hình 2.2a), lên cặp bản lệch (gọi là cặp bản lệch ngang) theo kiểu làm lệch tĩnh điện. Khi không có điện áp tín hiệu lên hai bản lệch (điểm A' của tín hiệu răng cưa ở hình vẽ), điểm sáng do tia tạo ra tại điểm bắt đầu A trên màn hình. Khi mức điện áp của bản lệch bên phải tăng dần so với bản lệch bên trái, thì điểm sáng sẽ di chuyển về bên phải nên lần lượt qua đến các điểm B, C, D và E trên màn hình, tương ứng với mức điện áp răng cưa B', C', D' và E'. Sau đó điện áp răng cưa sẽ trở về lại mức 0 nên điểm sáng sẽ trở lại điểm A ban đầu.

**Sự làm lệch dọc.** Cặp bản lệch thứ hai gọi là cặp bản làm lệch dọc. Tín hiệu vào cần đo sẽ được đặt vào cặp bản lệch dọc sau khi đã được khuếch đại. Do ảnh hưởng của mức điện áp lệch dọc mà chùm tia điện tử sẽ bị lệch theo chiều dọc trong khoảng P và Q, như ở hình 2.2b.

Như vậy, chùm tia sẽ chịu hai sự làm lệch ngang và dọc đồng thời, nên ảnh hưởng hợp thành là tái tạo lại tín hiệu có biên độ thay đổi theo thời gian, như thể hiện ở hình 2.2c. Khi sự làm lệch theo chiều ngang điều khiển điểm sáng từ A đến B, thì làm lệch dọc sẽ kéo điểm sáng đến P,

nên sau khoảng thời gian AB, điểm sáng không phải tại B mà là tại P. Tương tự, sau khoảng thời gian AC điểm sáng là tại C; sau khoảng thời gian AD, điểm sáng là tại Q, và sau khoảng thời gian AE, điểm phát sáng là tại E, v. v. . . . Do vậy, các phần tử phát quang APCQE sẽ lần lượt phát sáng và hiển thị dạng sóng vào. Ô lưới khắc độ trên mặt máy hiện sóng sẽ cho phép đo khoảng thời gian trên trục ngang (X), và biên độ trên trục dọc (Y).

**Xoá tia quét ngược hay tia quay về.**



**Hình 2.2: Hiển thị dạng sóng do sự làm lệch theo chiều ngang và dọc.**

Tín hiệu răng cưa giảm rất nhanh từ giá trị lớn nhất về 0, gọi là tia quay về, hay tia quét ngược. Tín hiệu quét ngược sẽ không được nhìn thấy trên màn hình, nếu không thì dạng sóng được hiển thị sẽ trở nên méo dạng lớn. Do đó trong suốt khoảng thời gian quét ngược, ống tia sẽ được giữ ở trạng thái ngưng phát sáng, gọi là xoá tia, bằng cách cung cấp mức điện áp âm cho lưới điều khiển so với cathode.

### c) Đồng bộ.

Đồng bộ được sử dụng để thể hiện quá trình làm cho dạng sóng ổn định. Dạng sóng sẽ ổn định nếu tín hiệu quét bắt đầu tại giá trị 0 của tín hiệu vào. Giả sử thời gian quét thể hiện 5 chu kỳ của tín hiệu vào, tiếp theo sau khi quét ngược, vệt sáng sẽ phải bắt đầu với điểm đầu là chu kỳ thứ 6 của tín hiệu vào. Điều này có thể thực hiện hoặc bằng sự kích khởi bộ tạo dao động quét một trạng thái bền liên tục với một xung từ tín hiệu vào, hoặc bằng một tín hiệu ngoài bất kỳ,

hay nếu tín hiệu quét tuần hoàn thì bằng cách điều chỉnh mạch quét dựa trên việc tinh chỉnh định thời. Tinh chỉnh độ biến thiên thời gian, có thể thực hiện bằng cách cung cấp một phần nhỏ tín hiệu vào cho mạch dao động tạo tín hiệu quét tuần hoàn.

Số lượng chu kỳ dạng sóng được hiển thị trên màn hình sẽ tùy thuộc vào khoảng thời gian cần thiết để điểm sáng di chuyển từ điểm bắt đầu (điểm tận cùng bên trái của màn hình) đến điểm tận cùng bên phải, và chu kỳ (hay tần số) của tín hiệu vào. Nếu khoảng thời gian của tín hiệu rỗng của bằng một nửa chu kỳ ( $T/2$ ) của dạng sóng vào, thì một nửa chu kỳ dạng sóng vào sẽ được hiển thị. Nếu thời gian quét của tín hiệu rỗng của bằng một chu kỳ của tín hiệu vào thì toàn bộ chu kỳ sẽ được hiển thị. Nếu thời gian quét của tín hiệu rỗng của bằng 2 chu kỳ tín hiệu vào thì hai chu kỳ sẽ được hiển thị, v. v. . . Do vậy, khi biết khoảng thời gian tạo vết theo chiều ngang và số lượng chu kỳ được hiển thị trên màn hình, thì có thể xác định chu kỳ hay tần số của tín hiệu vào. Khoảng thời gian tạo vết ngang sẽ được chỉ thị trên chức năng điều khiển *thời gian/vạch chia* [Time/Div], tính theo đơn vị ms/div hay  $\mu\text{s}/\text{div}$ .

#### **d) Độ nhạy của sự làm lệch.**

Biên độ của dạng sóng vào sẽ được xác định bằng cách đếm số vạch chia theo chiều dọc trên màn hình từ đỉnh đến đỉnh của dạng sóng. Suy ra một nửa số vạch chia sẽ là biên độ đỉnh của dạng sóng cần đo. Giá trị của mỗi vạch chia theo chiều dọc sẽ được chỉ trên chuyển mạch điều khiển hệ số khuếch đại dọc theo mV/div hay V/div. Chuyển mạch điều khiển dọc được gọi là độ nhạy của sự làm lệch. Độ nhạy lệch tùy thuộc vào các điện trở phân áp và hệ số khuếch đại điện áp của mạch khuếch đại dọc.

**Ví dụ 2.1:** Với tín hiệu vào dc là 100mV (đỉnh - đỉnh) đặt vào đầu vào. Mạch phân áp sẽ làm giảm tín hiệu vào ở mức một phần 10 tại đầu vào của mạch khuếch đại dọc có hệ số khuếch đại là 40dB. Tính mức điện áp thực tế theo vạch chia trên màn hình và vị trí độ nhạy dọc nếu tín hiệu đo chiếm 5 vạch chia trên màn hình.

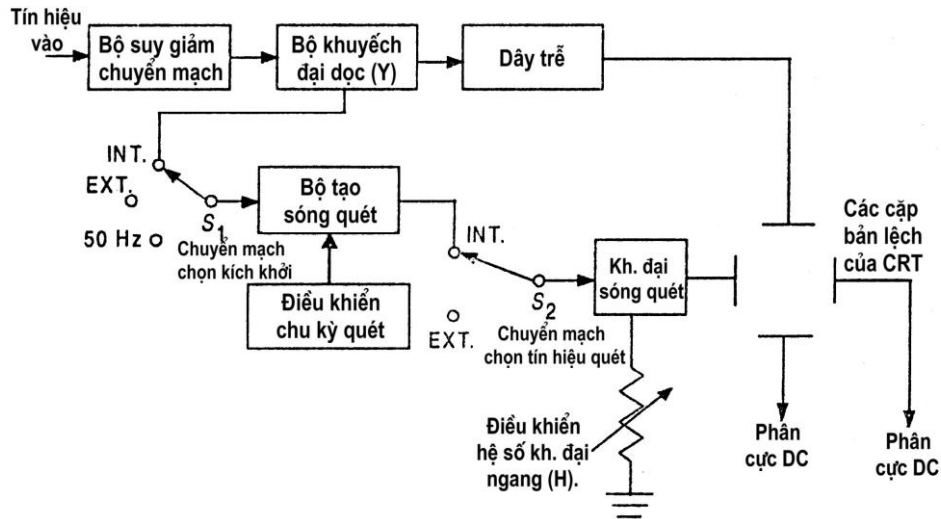
Tín hiệu tại đầu vào của mạch khuếch đại dọc =  $100 \times 1/10 = 10\text{mV}$

Hệ số khuếch đại 40dB có nghĩa là sự khuếch đại điện áp lên 100 lần.

Do vậy, tín hiệu tại đầu ra của mạch khuếch đại dọc =  $10\text{mV} \times 100 = 1000\text{mV}$ .

Mức tín hiệu này chiếm 5 vạch chia, nên mức điện áp thực tế trên một vạch chia là 200mV, nhưng thang độ nhạy sẽ được đặt ở mức 20mV / div, để có giá trị chỉ thị đúng là 100mV (đỉnh - đỉnh).

#### **e) Máy hiện sóng vết đơn.**



Hình 2.3: Sơ đồ khối của máy hiện sóng vệt đơn cỡ bản.

Sơ đồ khối của máy hiện sóng vệt đơn (theo kiểu quét kích khởi) như ở hình 2.3. Tín hiệu vào thông qua mạch suy giảm (như trong voltmeter điện tử) theo các thang đo khác nhau đối với phép đo biên độ. Tín hiệu sau đó sẽ được khuếch đại bởi mạch khuếch đại dọc (khuếch đại - Y), và sẽ được cung cấp đến cặp bản lệch dọc để làm lệch theo chiều dọc. Mạch dao động quét sẽ tạo ra tín hiệu răng cưa và được khuếch đại để cung cấp đến cặp bản lệch ngang. Khoảng thời gian của tín hiệu quét được điều khiển bởi mạch điều khiển góc thời gian nên giá trị của khoảng thời gian theo vạch chia sẽ được chỉ trên chuyển mạch điều khiển định thời trên mặt máy hiện sóng. Đối với một số ứng dụng đo (chẳng hạn như các mẫu hình Lissajous hay các phép đo độ điều chế), cần phải đặt theo vị trí quét ngoài và do vậy chuyển mạch  $S_2$  sẽ cung cấp tín hiệu quét trong hay quét ngoài đến mạch khuếch đại tín hiệu quét theo yêu cầu.

Để giữ ổn định dạng sóng hiển thị, cần phải có các thời điểm khởi đầu quét tại cùng một vị trí của chu kỳ tín hiệu vào, tức là đảm bảo sự đồng bộ, tín hiệu vệt ngang được tạo ra bởi xung kích khởi lấy từ mạch khuếch đại dọc (khuếch đại - Y) sẽ kích khởi mạch dao động quét bằng bộ đa hài đơn ổn. Khi cần kích khởi ngoài, hay kích khởi bằng tín hiệu điện *ac* 50Hz (gắn bên trong máy hiện sóng) cũng có thể sử dụng bằng chuyển mạch  $S_1$ .

Dây trễ dùng để bù độ trễ gây ra do sự khởi động mạch quét sau khi kích khởi. Vì vậy, dây trễ sẽ làm cho tín hiệu đo và tín hiệu quét đến các cặp bản lệch trong ống tia một cách đồng thời.

#### f) Quét lặp lại.

Máy hiện sóng sử dụng mạch đa hài chạy tự do nên không cần tín hiệu kích khởi. Mạch quét sẽ nhận được tín hiệu lặp lại theo mỗi chu kỳ của mạch dao động đa hài. Để dạng sóng ổn định, cần phải có sự đồng bộ giữa tần số quét và tần số của tín hiệu cần đo. Điều này có thể thực hiện

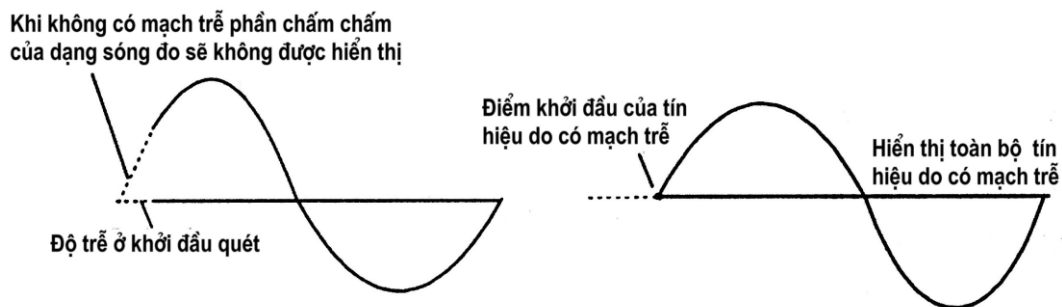
bằng cách thay đổi tần số quét nhờ việc điều khiển định thời.

**Sự khác nhau giữa quét lặp lại và quét kích khởi.** Tần số và pha của tín hiệu quét lặp lại cần phải được đồng bộ với tín hiệu vào để tạo ra dạng sóng hiển thị ổn định. Nếu tần số sai lệch, thì sự hiển thị dạng sóng sẽ không ổn định.

Quét kích khởi sẽ hiển thị vệt theo chu kỳ thời gian quy định và vì vậy sẽ ổn định mà không liên quan đến tần số tín hiệu vào.

### g) Máy hiện sóng quét trễ.

Do xung kích khởi, sự khởi đầu quét sẽ bị trễ, nên sẽ không thể quan sát vệt sáng trên màn hình trong một khoảng thời gian nào đó. Tín hiệu ở bản lệch dọc là liên tục, nên một phần của tín hiệu cần đo sẽ bị mất. Do vậy, cũng cần phải làm trễ tín hiệu. Vì tín hiệu không được đặt trực tiếp vào cặp bản lệch dọc mà phải truyền qua mạch dây trễ, để tạo ra khoảng thời gian cần thiết cho mạch quét khởi đầu tại cặp bản lệch ngang trước khi tín hiệu cần đo đến cặp bản lệch dọc. Nếu độ trễ tín hiệu là 200ns, và sóng quét bị trễ khoảng 80ns, thì tín hiệu cần quan sát sẽ được hiển thị theo tín hiệu quét đúng khi bắt đầu quét, như thể hiện ở hình vẽ 2.4.

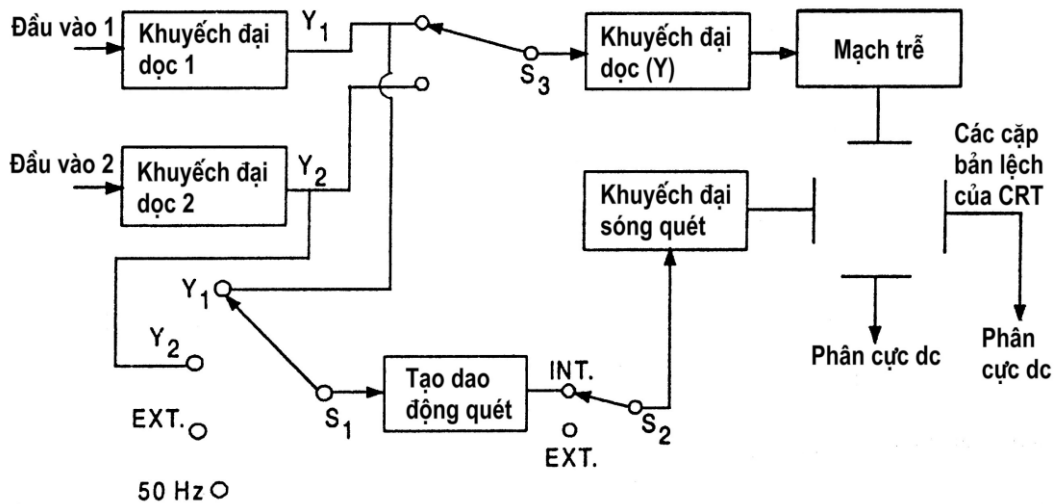


Hình 2.4: Tác dụng của mạch làm trễ tín hiệu.

### h) Máy hiện sóng vệt kép.

Ở máy hiện sóng vệt kép hay hai vệt, một mạch quét đơn sẽ được hiển thị tại hai vị trí dọc khác nhau trên màn hình theo từng chu kỳ răng cưa luân phiên. Sơ đồ khối máy hiện sóng hai vệt như ở hình 2.5.

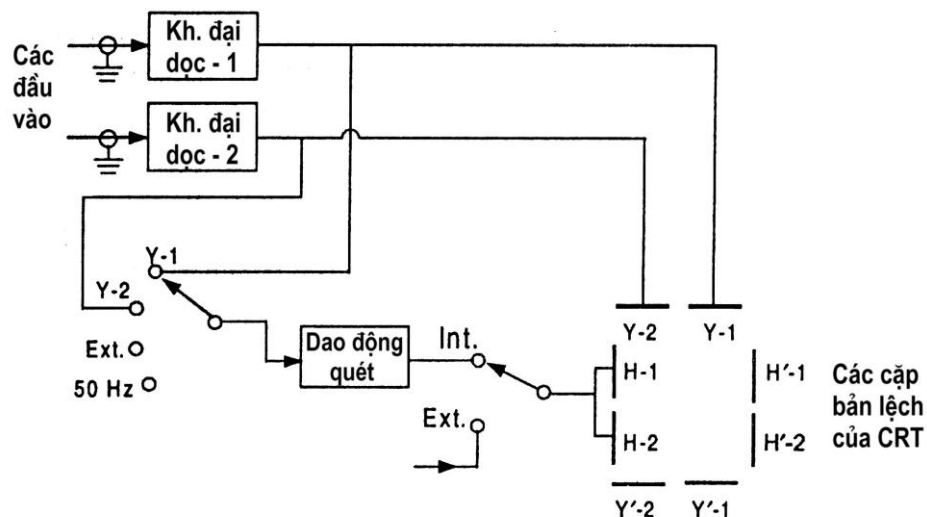
Chuyển mạch điện tử  $S_3$  sẽ chọn tín hiệu vào dọc ( $Y_1$ ), được đưa đến mạch khuếch đại dọc ( $Y$ ) trong một khoảng thời gian nào đó, còn tín hiệu  $Y_2$  sẽ được cung cấp đến mạch khuếch đại dọc trong khoảng thời gian tiếp theo. Chuyển mạch  $S_1$  sẽ cho phép kích khởi hoặc bằng tín hiệu  $Y_1$  hoặc bằng tín hiệu  $Y_2$ , hay bằng tín hiệu ngoài, hay kích khởi bằng tín hiệu mạng điện 50Hz. Cấu trúc mạch như đối với máy hiện sóng vệt đơn. Chuyển mạch tự động có tốc độ đủ nhanh để cả hai tín hiệu có thể quan sát một cách rõ ràng trên màn hình (do độ lưu sáng của chất huỳnh quang và độ lưu sáng ở võng mạc mắt).



Hình 2.5: Sơ đồ khối của máy hiện sóng hai vệt.

Ở máy hiện sóng hai vệt, chỉ có một mạch quét, nên đối với một chu kỳ tín hiệu quét sẽ điều khiển sự làm lệch dọc của một dạng sóng vào, và đối với chu kỳ quét tiếp theo của cùng một mạch quét, tín hiệu quét sẽ điều khiển sự làm lệch dọc của tín hiệu vào thứ hai. Vậy hai dạng sóng của hai tín hiệu vào riêng sẽ được hiển thị, nhưng không được hiển thị đồng thời. Do đó không thể so sánh độ lệch pha giữa hai dạng sóng. Để so sánh quan hệ về pha, cần phải có hai dạng sóng được hiển thị đồng thời tại cùng thời điểm, tức là có thể thực hiện bằng máy hiện sóng hai chùm tia.

### i) Máy hiện sóng hai tia.



Hình 2.6: Sơ đồ khối đơn giản hóa của máy hiện sóng hai tia.

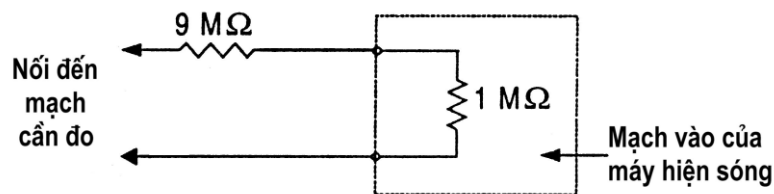
Ở máy hiện sóng tia kép hay hai tia có hai súng điện tử, hai cặp bản lệch dọc và hai cặp bản lệch ngang. Hai cặp bản lệch ngang được đặt song song và được điều khiển bởi cùng một một quét ngang (mạch gốc thời gian), tức là cùng một tín hiệu quét sẽ xuất hiện đồng thời tại hai cặp bản

lệch ngang. Sơ đồ khối của máy hiện sóng hai tia như ở hình 2.6, trong đó có một mạch dao động quét có trong hình vẽ, nhưng ở các máy hiện sóng đắt tiền có hai mạch tạo sóng quét.

### k) Dây que đo của máy hiện sóng.

Dây que đo là các đầu nối máy hiện sóng đến thiết bị hay mạch điện tử cần đo thử. Ngoài chức năng dây que đo đơn giản bằng cáp đồng trục thông thường, cần phải có các dây que đo dùng riêng cho máy hiện sóng để đảm bảo tín hiệu đo trung thực nhất.

**Dây que đo DC 10:1.** Mạch khuếch đại dọc (Y) có trở kháng vào khoảng  $1\text{M}\Omega$  mắc song song với một tụ khoảng  $50\text{pF}$ . Cáp đồng trục có thể có điện dung ký sinh khoảng  $50\text{pF}$ . Điều này sẽ gây ra quá tải rất lớn đối với mạch điện tử cần đo có trở kháng cao. Giải pháp để hạn chế sự quá tải là mắc một điện trở  $9\text{M}\Omega$  nối tiếp như ở hình 2.7. Mạch cần đo sẽ xem điện trở vào của máy hiện sóng là  $10\text{M}\Omega$  thay cho  $1\text{M}\Omega$  nhưng tín hiệu tại các đầu vào của máy hiện sóng bằng một phần mười tín hiệu đặt vào. Độ suy giảm có thể được bù bằng mạch khuếch đại dọc.



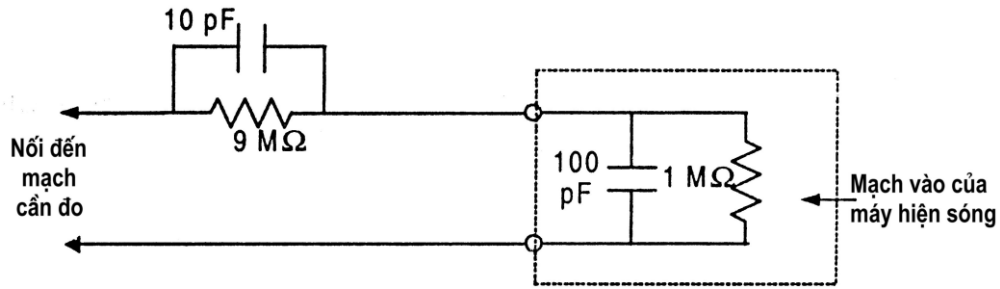
Hình 2.7: Dây que đo dc của máy hiện sóng.

**Dây que đo 10:1 tần số cao.** Vấn đề về dung kháng thấp của tụ  $100\text{pF}$  đối với tín hiệu đo ở dải tần số cao được giải quyết bằng cách sử dụng một tụ điện nhỏ có trị số  $C = 1/10$  so với tụ điện song song như mạch hình 2.8. Trimmer (tụ xoay)  $10\text{pF}$  mắc nối tiếp với điện dung  $100\text{pF}$  để có điện dung thực tế vào khoảng  $9\text{pF}$  là tương đối thấp nên sẽ không gây quá tải cho mạch của hệ thống có tần số cao, nhưng sẽ làm giảm mức tín hiệu ac vào khoảng một phần mười. Các ảnh hưởng của que đo sẽ được kiểm tra bằng cách cung cấp xung vuông vào que đo để quan sát dạng xung vuông trên máy hiện sóng, sẽ cho tín hiệu tần số thấp (phần bằng phẳng) cũng như tín hiệu tần số cao (các cạnh).

**Dây que đo tích cực** Đầu đo tích cực gồm một mạch FET lặp lại cực nguồn theo kiểu mạch lặp lại emitter ở BJT, để có điện trở vào cao và điện trở ra thấp nên sẽ loại bỏ sự quá tải cho mạch cần đo khi nối que đo của máy hiện sóng vào mạch. Đầu đo cũng cho mức điện dung rất nhỏ, do vậy sẽ cải thiện đáp ứng tần số cao (khi cần đo các xung tăng nhanh). Ngoài ra, đầu đo tích cực có độ suy giảm thấp hơn nhiều so với đầu đo 10:1. Do đó đầu đo tích cực sử dụng hiệu quả để đo các tín hiệu nhỏ. Tuy nhiên, đầu đo tích cực có giá thành cao nên ít được sử dụng. Đầu đo



10:1 được sử dụng phổ biến hơn.

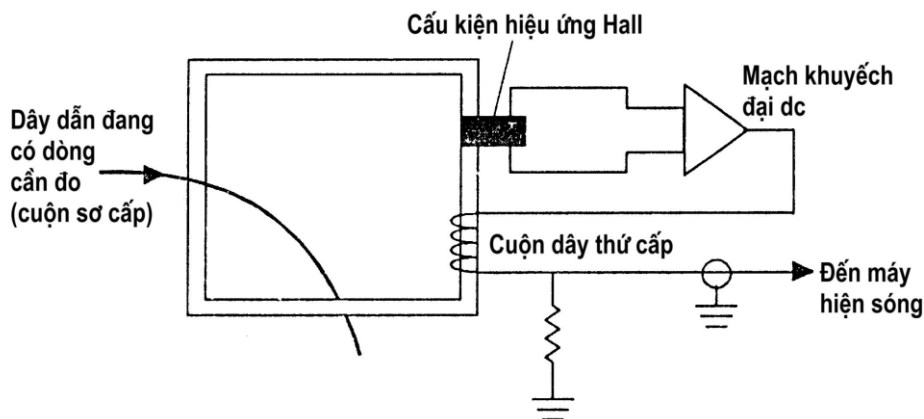


Hình 2.8: Dây que đo 10:1 dùng đo tín hiệu tần số cao

**Dây que đo kiểu tách sóng** Đầu đo sử dụng mạch tách sóng bằng diode để tách tín hiệu điều chế ra khỏi tín hiệu cao tần (RF) đã được điều chế, và cũng sẽ chỉnh lưu tín hiệu sóng mang cao tần (RF) thành một chiều (*dc*). Biên độ đỉnh của sóng mang sẽ được hiển thị theo dạng sóng được chòng chập trên tín hiệu *dc*. Như vậy, đầu đo sẽ làm việc như mạch phát hiện tín hiệu ở các máy thu thanh và máy thu thông tin, trong đó tín hiệu có thể trong dải vài megahertz. Khi dùng đầu đo kiểu tách sóng biến đổi các tín hiệu tần số cao thành dải âm tần, nên có thể sử dụng máy hiện sóng có độ rộng băng tần thấp.

**Dây que đo cảm ứng dòng.** Đầu đo cảm ứng dòng gồm một vòng lõi từ có thể kẹp được dây dẫn để đo được dòng điện như ở mạch hình 2.9.

Dây dẫn có dòng điện chảy qua cần đo đóng vai trò như một cuộn dây sơ cấp của tín hiệu xoay chiều. Cuộn dây quấn trên lõi từ làm cuộn thứ cấp. Khi có dòng *dc* chảy qua, dòng điện tử trong cấu kiện hiệu ứng Hall giảm xuống, tức là làm tăng mức chênh lệch điện thế sẽ được khuếch



Hình 2.9: Dây que đo dòng điện cảm ứng dùng cho máy hiện sóng.

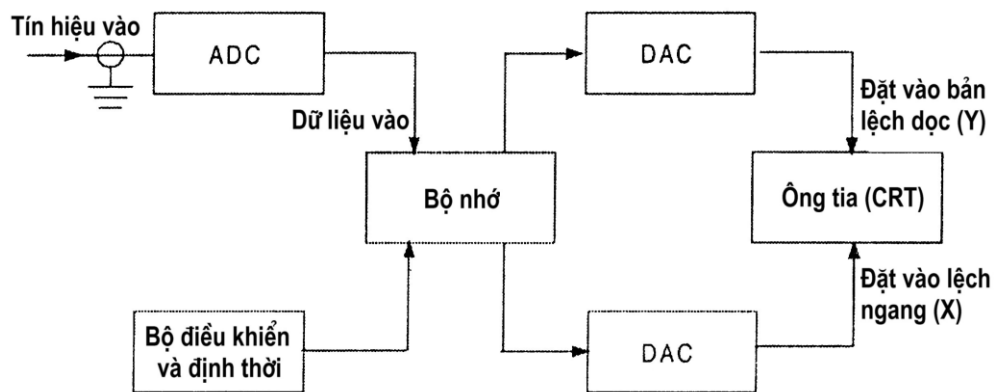
đại để cung cấp đến máy hiện sóng.

## 2.2 MÁY HIỆN SÓNG SỐ.

Máy hiện sóng số có chức năng nhớ - DSO [Digital Storage Oscilloscope], là thiết bị đo có giá thành cao và phức tạp, nhất là máy hiện sóng có chức năng xử lý tín hiệu, cho khả năng tính

toán các giá trị trung bình, hiệu dụng [r.m.s], biến đổi Fourier và phân tích phổ. Kiểu máy hiện sóng sử dụng vi xử lý không cần thiết trong các dịch vụ sửa chữa, mà thông dụng hơn là kiểu máy hiện sóng không có vi xử lý, để xác định các hư hỏng và các xung chấp chờn.

Máy hiện sóng nhớ - số sử dụng ống tia cathode thông thường (không phải kiểu ống tia có chức năng nhớ). Các mẫu dạng sóng sẽ được lưu trữ trong bộ nhớ, và có thể hiển thị trên màn hình của máy hiện sóng thông thường. Sơ đồ khối của máy hiện sóng nhớ - số kiểu không xử lý tín hiệu cho ở hình 2.10.



Hình 2.10: Sơ đồ khối của máy hiện sóng số có chức năng nhớ

Tín hiệu cần đo đặt vào máy hiện sóng sẽ được lấy mẫu theo từng khoảng thời gian đều đặn. Mỗi mức mẫu sẽ được chuyển đến bộ biến đổi tương tự sang số (ADC) để tạo ra các tín hiệu logic nhị phân tương ứng với mức biên độ của tín hiệu đã được lấy mẫu. Tín hiệu nhị phân sẽ được lưu trữ trong bộ nhớ nên có thể sử dụng khi cần thiết. Khi cần quan sát, tín hiệu nhị phân sẽ được đưa đến bộ biến đổi số - tương tự, để biến đổi tín hiệu nhị phân thành dạng tín hiệu tương tự ban đầu cung cấp cho ống tia cathode. Các tín hiệu điều khiển và định thời sẽ kích hoạt bộ nhớ bất cứ lúc nào khi yêu cầu ghi và đọc dữ liệu. Ngoài ra, mạch điều khiển và định thời sẽ cung cấp tín hiệu nhị phân cho bộ gốc thời gian để biến đổi thành tín hiệu gốc thời gian tương tự đưa đến cặp bản làm lệch ngang (H), để tạo ra vệt sáng trên màn hình.

## 2.3 ỨNG DỤNG ĐO BẰNG MÁY HIỆN SÓNG

### a) Sử dụng máy hiện sóng để phát hiện sai hỏng

Máy hiện sóng là thiết bị đo có độ nhạy rất cao, chính xác và không gây quá tải cho hệ thống cần đo, do không có cơ cấu đo kiểu quay. Máy hiện sóng sẽ hiển thị dạng sóng thực tế của tín hiệu vào, nên có thể biết mạch có khuếch đại và méo dạng hay không một cách dễ dàng. Máy hiện sóng có thể dùng để đo mức điện áp  $dc$ , khảo sát các tín hiệu xung, các tín hiệu răng cưa, tam giác, sóng sin và các tín hiệu có dạng phức tạp khác. Máy hiện sóng có thể đo tần số của

các bộ dao động và các bộ tạo xung nhịp. Máy hiện sóng vệt kép có thể kiểm tra hai tín hiệu vào (trong trường hợp ở các mạch op - amp và các cổng), cũng như kiểm tra tín hiệu đầu vào và đầu ra trong mạch điện tử. Do vậy, máy hiện sóng được sử dụng phổ biến trong việc đo thử, sửa chữa các mạch khuếch đại, các mạch dao động, các máy phát, máy thu và trong các hệ thống mạch số.

### **b) Các chức năng điều khiển trên mặt máy hiện sóng.**

Các chức năng điều khiển trên mặt máy hiện sóng thông thường gồm:

- *Điều khiển cường độ tia* [Intensity control] dùng để điều chỉnh độ sáng của vệt.
- *Điều khiển độ hội tụ* [Focus control] dùng để điều khiển độ sắc nét của vệt sáng.
- *Điều khiển định thời.* Điều chỉnh khoảng thời gian / vạch chia của mạch dao động quét (gốc thời gian).
- *Điều khiển hệ số khuếch đại dọc* (Y) dùng để điều chỉnh biên độ của dạng sóng hiển thị theo chiều dọc, trong khoảng từ 5mV/div đến 20V/div.
- *Điều khiển hệ số khuếch đại ngang* (H) dùng để điều chỉnh độ dài của vệt theo chiều ngang.
- *Điều khiển quét* dùng để chọn mạch quét trong hay quét ngoài.
- *Điều khiển kích khởi* [Trigger control] dùng để chọn xung kích khởi từ bộ khuếch đại dọc (Y), hoặc từ tín hiệu điện lưới hay tín hiệu ngoài (đối với các loại máy hiện sóng hiện nay có thêm chức năng điều khiển đồng bộ).
- *Điều khiển mức kích khởi*, dùng để điều chỉnh mức của xung kích khởi.
- *Điều khiển vị trí ngang*, dùng để điều chỉnh vị trí của dạng sóng hiển thị theo chiều ngang.
- *Điều khiển vị trí dọc* dùng để điều chỉnh vị trí của dạng sóng hiển thị theo chiều dọc.
- *Định chuẩn trong* sẽ cung cấp tín hiệu tần số 1kHz, biên độ không đổi (thường là 2V<sub>pp</sub>), để kiểm tra việc định chuẩn que đo.

### **c) Sử dụng máy hiện sóng.**

1. Khi chưa bật chuyển mạch nguồn cung cấp, đặt các núm chức năng điều khiển độ hội tụ [focus], cường độ chùm tia [intensity] và điều khiển hệ số khuếch đại [V/div] ở vị trí thấp nhất (tận cùng bên trái), và các chức năng điều khiển vị trí dọc và ngang ở vị trí gần điểm giữa.
2. Tiếp theo là bật chuyển mạch nguồn cung cấp chính của máy hiện sóng.
3. Sau khoảng thời gian khởi động của máy hiện sóng để cho cathode cần phải được đốt nóng hoàn toàn, tạo ra cường độ chùm tia yêu cầu.

4. Điều chỉnh chức năng điều khiển cường độ chùm tia để có vệt sáng rõ ràng xuất hiện trên màn hình. Điều chỉnh chức năng điều khiển vị trí dọc và ngang nếu cần. (Đôi khi hệ số khuếch đại ngang có thể biểu hiện thành vệt sáng nếu điểm sáng bắt đầu ngoài khung màn hình). Khi điểm sáng có thể nhìn thấy, di chuyển điểm sáng vào trung tâm và điều chỉnh độ hội tụ, độ nhòe để làm cho điểm sáng gọn. Chức năng điều khiển cường độ tia cần phải được điều chỉnh để điểm sáng không quá chói, hoặc không quá mờ.
5. Đặt chế độ quét theo vị trí quét trong [Int.], và điều chỉnh hệ số khuếch đại ngang để mở rộng điểm sáng thành đường sáng đầy đủ ngang trên màn hình.
6. Kiểm tra sự di chuyển theo chiều dọc của đường sáng ngang. Mạch khuếch đại dọc định chuẩn có sẵn trong thiết bị đo.
7. Đặt đầu que đo vào hệ thống cần đo. Chuyển mạch nguồn của hệ thống cần đo bật [ON].
8. Điều chỉnh chức năng điều khiển hệ số khuếch đại dọc để có độ cao của dạng sóng yêu cầu trên màn hình.
9. Điều chỉnh dao động quét (gốc thời gian) để có số chu kỳ cần thiết trên màn hình. Đối với máy hiện sóng đã được kích khởi, chu kỳ cần phải ổn định.
10. Khảo sát dạng sóng, đo biên độ và kiểm tra đặc tính của tín hiệu.
11. Để có các mẫu hình Lissajous, đưa tín hiệu ngoài được cung cấp từ máy tạo sóng đến đầu vào quét ngoài, dùng cho phép đo tần số và pha.

#### **d) Các phép đo với máy hiện sóng.**

**Đo điện áp của tín hiệu vào** Giá trị đỉnh - đỉnh của điện áp được đo bằng cách đếm số vạch chia theo chiều dọc giữa hai đỉnh. Chẳng hạn, nếu biên độ đỉnh - đỉnh của dạng sóng chiếm 4 vạch chia trên thang độ nhạy 500mV/div, thì trị số đỉnh - đỉnh là  $500\text{mV/div} \times 4\text{div} = 2\text{V}$ , vậy biên độ đỉnh là 1V.

**Đo khoảng thời gian của chu kỳ** Chu kỳ của tín hiệu đo được bằng cách tính số chu kỳ trên bộ gốc thời gian. Giá trị gốc thời gian có trong một chu kỳ sẽ là chu kỳ của tín hiệu. Ví dụ, trên thang đo 50  $\mu\text{s/div}$ , có 2 chu kỳ tín hiệu chiếm 4 vạch chia, thì số vạch chia chiếm bởi một chu kỳ là 2 vạch chia, nên chu kỳ tín hiệu là  $100 \mu\text{s}$ . Tính nghịch đảo của chu kỳ sẽ cho tần số của tín hiệu, trong ví dụ sẽ tính được là  $1/100 \mu\text{s} = 10\text{kHz}$ .

**Đo tần số theo mẫu hình Lissajous** Đo tần số tín hiệu theo mẫu hình Lissajous thực hiện bằng cách đưa tín hiệu có tần số cần đo vào đầu vào dọc, và nối tín hiệu có tần số đã biết vào đầu vào quét ngoài, sẽ thu được các mẫu hình khác nhau trên màn hình tùy thuộc vào tỷ số của hai tần

số và độ lệch pha của hai tín hiệu. Các mẫu hình Lissajous như ở hình 2.11.

	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{1}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{2}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{3}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{2}{3}$					

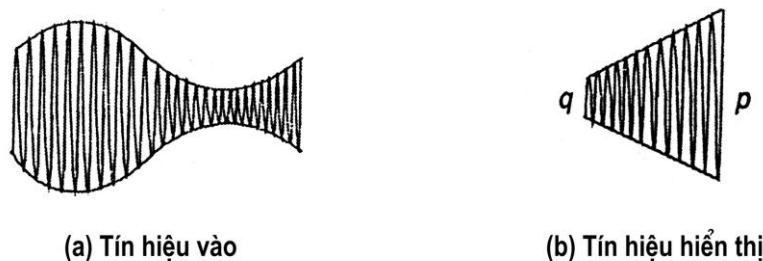
Hình 2.11: Các mẫu hình Lissajous

Khi hai tần số bằng nhau, độ lệch pha bằng  $0^\circ$  sẽ tạo ra một đường thẳng nghiêng  $45^\circ$  so với đường ngang; với độ lệch pha  $180^\circ$ , đường thẳng sẽ tạo một góc bằng  $135^\circ$  so với đường ngang. Khi độ lệch pha là  $90^\circ$ , sẽ tạo ra một đường tròn. Đối với các độ lệch pha bất kỳ khác sẽ tạo ra các hình ellipse.

Khi hai tần số tín hiệu không bằng nhau, thì tỷ số của tần số chưa biết ( $f_v$ ) đối với tần số đã biết (đọc tần số trên máy tạo sóng) ( $f_h$ ) sẽ được xác định bằng tỷ số của số lượng các vòng theo đường ngang đối với số lượng các vòng theo đường dọc.

**Đo chỉ số điều chế của tín hiệu AM** Khi tín hiệu điều chế được áp đặt làm tín hiệu quét ngoài, và tín hiệu đã được điều chế làm tín hiệu dọc (Y) như thể hiện ở hình 2.12a. Mẫu hình sẽ được hiển thị như ở hình 2.12b. Chỉ số điều chế sẽ được tính bằng  $(p - q)/(p + q)$ .

**Đo độ méo của xung** Xung vào và xung ra có thể được hiển thị trên máy hiện sóng hai vết. Độ võng hoặc độ vượt quá của phần nằm ngang, và độ tăng hay độ giảm của các cạnh xung có thể quan sát trên màn hình. Thời gian tăng (ứng với mức thay đổi từ 10% đến 90% biên độ xung) và



Hình 2.12: (a) Tín hiệu đã được điều chế (b) Hiển thị mẫu của chỉ số điều chế.

---

khoảng thời gian giảm (ứng với mức thay đổi từ 90% đến 10% biên độ xung) có thể đo được trên mẫu xung. Độ rộng của xung sẽ được đo trong khoảng từ mức 50% của cạnh tăng đến mức 50% của cạnh giảm.

**e) Các điểm lưu ý khi sử dụng máy hiện sóng.**

1. Nối vỏ máy hiện sóng với đất.
  2. Cường độ chùm tia điện tử cần phải giữ ở mức thấp có thể quan sát thuận lợi. Điểm sáng không được để lâu tại một vị trí trên màn hình. Trong trường hợp cần phải giữ do một lý do nào đó, thì hãy để ở mức cường độ thấp.
  3. Nên bắt đầu phép đo với mức độ nhạy nhỏ nhất ở mạch khuếch đại dọc và tăng dần cho đến khi đạt được mức thiết lập thích hợp.
  4. Định chuẩn độ lệch dọc trước khi thực hiện các phép đo. Có sẵn nguồn điện áp trong máy hiện sóng cho việc định chuẩn.
  5. Sử dụng que đo phù hợp khi thực hiện phép đo trên các tín hiệu tần số cao, hay khi tín hiệu vào quá lớn.
  6. Khi tháo máy hiện sóng để sửa chữa, hãy cẩn thận có điện áp rất cao khoảng vài kilovolt. Ngay cả trong trạng thái ngắt chuyển mạch nguồn điện lưới, các tụ lọc có điện áp cao có thể gây nguy hiểm cho người sử dụng, do vậy tụ cần phải được xả khi tiến hành công việc trên máy hiện sóng ở trạng thái cắt nguồn.
  7. Phải cẩn thận khi sử dụng ống tia, hư hỏng ngẫu nhiên bất kỳ sẽ dẫn đến hỏng màn hình.
  8. Màn hình phát quang có thể phát xạ tia - x nhẹ, khi cần thay thế nên mua CRT tiêu chuẩn từ nhà sản xuất có uy tín.
-

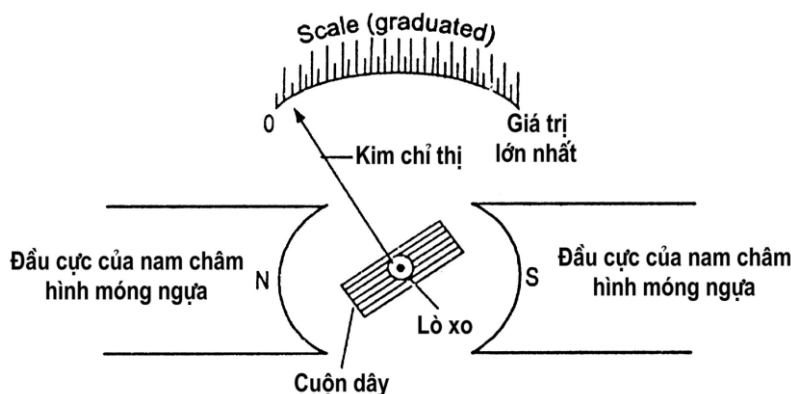
### CHƯƠNG 3: THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ NHIỀU CHỨC NĂNG & CHUYÊN DỤNG

Thiết bị đo điện tử được giới thiệu trong chương này là thiết bị cơ bản, rất cần thiết trong việc chế tạo, sửa chữa, đo thử các cấu kiện, mạch điện tử và hệ thống điện tử. Sẽ rất bất lợi nếu không có các thiết bị đo để đo thử mạch, đo giá trị của các thông số. Các mục sau mô tả nguyên lý cơ bản và ứng dụng của một số thiết bị đo thông dụng. Các thiết bị đo thử BJT và thiết bị vẽ đặc tuyến BJT sẽ được giải thích ở mục 4.1, thiết bị đo thử IC tuyến tính và IC số sẽ được mô tả ở chương 4.4 và 4.5 tương ứng. Các chỉ tiêu kỹ thuật của một số thiết bị đo giới thiệu ở phần phụ lục I.

#### 3.1 ĐỒNG HỒ ĐO KIỂU TỪ - ĐIỆN

##### a) Nguyên lý hoạt động của cơ cấu đo kiểu từ - điện

Đồng hồ đo tương tự thường dùng trong đo lường điện – điện tử trước đây, sử dụng cơ cấu cuộn dây di chuyển trong từ trường của nam châm vĩnh cửu (PMMC), còn gọi là cơ cấu D'Arsonval, tức là cơ cấu đo kiểu từ - điện. Về cơ bản, đồng hồ đo kiểu từ - điện là đồng hồ đo dòng một chiều (*dc*), tạo nên bởi các thành phần khác nhau như ở hình 3.1, với ba bộ phận chính là: (i) bộ phận tạo ra lực làm lệch, (ii) bộ phận điều khiển, và (iii) bộ phận làm nhụt.



Hình 3.1: Cơ cấu đo từ - điện.

**Bộ phận tạo lực làm lệch** trong các đồng hồ từ - điện là tương tác giữa từ trường và dòng điện như trong động cơ điện một chiều. Khi cuộn dây mang dòng được đặt trong từ trường, sẽ tạo ra mô men xoắn bằng  $B \times A \times N \times I$  (Newton-mét), trong đó  $B$  là mật độ từ thông tính theo  $\text{Wb/m}^2$ ,  $A$  là tiết diện của cuộn dây tính theo  $\text{m}^2$ ,  $N$  là số vòng dây trong cuộn dây, và  $I$  là dòng điện tính theo ampere. Mô men sẽ làm cho cuộn dây xoay. Dòng điện cao hơn, sẽ cho mô men quay lớn hơn. Kim được gắn trên cuộn dây, sẽ di chuyển trên thang đo. Cuộn dây quấn trên một khung nhôm nhẹ và được lắp trên trục thẳng, để khung dây có thể xoay tự do trong từ trường đều do

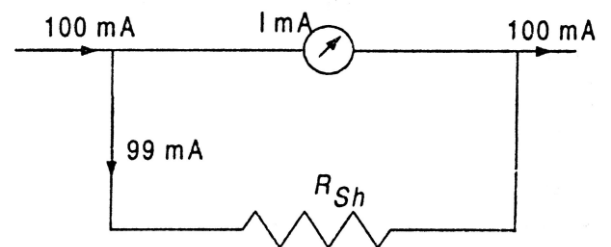
mô men quay.

Từ trường đều và mạnh sẽ được tạo ra bởi nam châm hình móng ngựa làm bằng vật liệu từ tính. **Bộ phận điều khiển** bao gồm lò xo được gắn vào cuộn dây động, cản lại lực làm lệch, nên sẽ bằng  $k \times q$ , trong đó  $k$  là hệ số lò xo (tùy thuộc vào các kích thước và độ mềm dẻo của lò xo), còn  $q$  là góc làm lệch tính theo độ. Khi lực điều khiển bằng với mô men xoắn, kim chỉ thị sẽ dừng tại giá trị cần đo. Khi dòng điện dừng chảy trong cuộn dây, lực xoắn bằng 0, lò xo sẽ bắt đầu phục hồi lại và sẽ đưa kim chỉ thị về vị trí mức dòng bằng 0.

**Bộ phận làm nhụt** gồm các bộ tạo dòng xoáy không khí, có vai trò ổn định kim chỉ thị tại vị trí chỉ thị.

### b) Đồng hồ đo dòng điện bằng cơ cấu từ - điện

Đồng hồ đo kiểu từ - điện về cơ bản là đồng hồ đo dòng một chiều (*dc*), được chế tạo để cho độ lệch toàn thang tại các giá trị dòng thấp, 1mA hoặc thấp hơn (50  $\mu$ A). Tuy nhiên, cơ cấu đo có thể dùng để đo các mức dòng cao bằng cách sử dụng các điện trở có trị số thấp mắc song song



Hình 3.2: Đồng hồ đo dòng điện.

với cuộn dây động gọi là các điện trở shunt. Giả sử ta muốn đo dòng 100mA bằng đồng hồ đo có độ lệch toàn thang là 1mA, thì điện trở shunt phải có trị số sao cho mức dòng 99mA chảy qua shunt và chỉ 1mA chảy qua cuộn dây động, như thể hiện ở mạch hình 3.2.

Trị số điện trở của shunt có thể tính từ phương trình (3.1).

$$I_M \frac{I_T R_{Sh}}{R_M} \text{ hay } R_{Sh} = \frac{I_M R_M}{I_T - I_M} \quad (3.1)$$

Trong đó,  $I_T$  là dòng toàn bộ,  $I_M$  là dòng được phép chảy qua cơ cấu đo,  $R_M$  là điện trở của cơ cấu đo, và  $R_{Sh}$  là giá trị điện trở của shunt. Ví dụ 3.1, cho cách tính điện trở shunt.

**Ví dụ 3.1:** Điện trở của cơ cấu đo là 1000  $\Omega$  là dòng có thể chảy qua cơ cấu đo lớn nhất là 1mA. Giá trị của  $R_{Sh}$  là bao nhiêu để cho phép đồng hồ đo chỉ thị 100mA? Nếu sử dụng cùng cơ cấu đo để đo dòng 1A, thì shunt của đồng hồ cần phải có là bao nhiêu?

$$R_{Sh} = \frac{I_M R_M}{I_T - I_M} = \frac{1 \cdot 1000}{100 - 1} = 10,1 \Omega$$

Cơ cấu đo có thể định chuẩn để chỉ thị mức dòng 100mA thay cho 1mA khi mắc shunt 10,1  $\Omega$  vào mạch đo.



Tương tự, để đo mức dòng 1A, cần phải có shunt vào khoảng 1mΩ bằng cách tính như sau:

$$R_{sh} = \frac{I_M}{I_T} \cdot R_M = \frac{1}{1000} \cdot \frac{1000}{999} \Omega$$

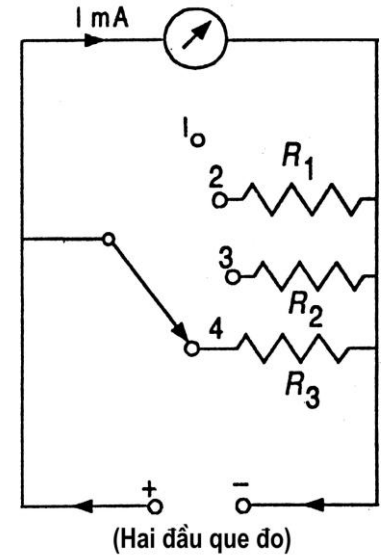
Đồng hồ đo có thể có các thang đo dòng khác bằng chuyển mạch đến các điện trở shunt khác nhau như ở hình 3.3.

Vị trí để trống bên trái của chuyển mạch là thang đo nhỏ nhất (từ 0 đến 1mA) khi không mắc shunt vào phép đo. Các vị trí chuyển mạch 2, 3, và 4 sẽ đặt điện trở  $R_1$ ,  $R_2$ , và  $R_3$  mắc song song với cơ cấu đo để cho các thang cao hơn tương ứng.

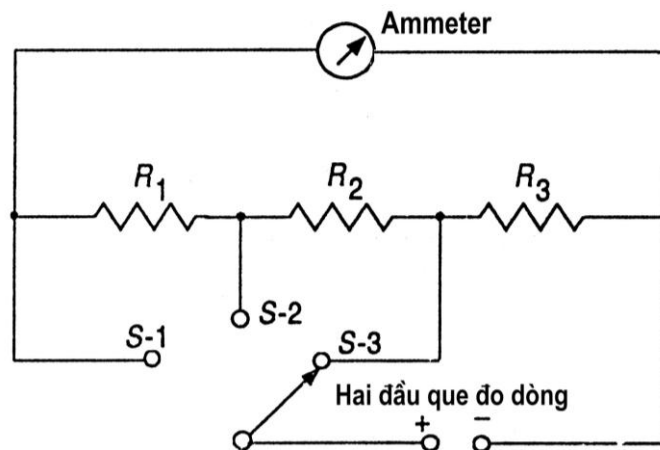
Theo phương pháp trên, cơ cấu đo vẫn giữ nguyên không có shunt ở vị trí thang đo thấp nhất. Phương pháp đo dòng khác là phương pháp shunt vạn năng hay shunt Aryton.

#### **Shunt vạn năng [shunt Aryton]**

Shunt vạn năng gồm hàng loạt điện trở được mắc song song với cơ cấu đo thông qua các vị trí của chuyển mạch thang đo, như ở hình 3.4. Ở vị trí S-1 của chuyển mạch, shunt của đồng hồ là  $R_1 + R_2 + R_3$ . Ở vị trí S-2, shunt  $R_2 + R_3$  và  $R_1$  sẽ trở thành mắc nối tiếp với cơ cấu đo. Ở vị trí S-3,  $R_3$  sẽ song song còn  $R_1 + R_2$  trở nên mắc nối tiếp với cơ cấu đo. Vậy shunt Aryton sẽ hoạt động theo hai cách. Thứ nhất, dùng để rẽ mạch dòng; thứ hai sẽ làm giảm độ nhạy của cơ cấu đo bằng điện trở mắc nối tiếp với cơ cấu đo.



Hình 3.3: Ammeter nhiều thang đo



Hình 3.4: Shunt đa năng hay shunt Aryton.

#### **c) Đồng hồ đo điện áp bằng cơ cấu đo từ - điện**

Đồng hồ đo dòng bằng cơ cấu đo từ - điện cũng có thể sử dụng làm đồng hồ đo áp [Voltmeter] bằng cách mắc nối tiếp một điện trở lớn cộng với điện trở của cơ cấu đo. Giá trị của điện trở nối tiếp có giá trị lớn để đảm bảo chỉ mức dòng chấp nhận được chảy qua cơ cấu đo. Nếu mức dòng

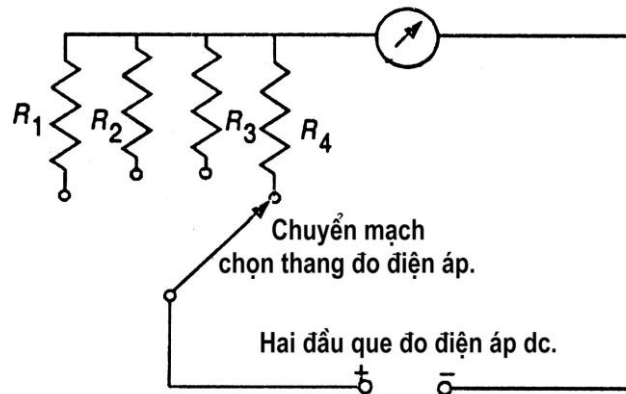
của cơ cấu đo là  $I_M$  và điện áp cần đo là  $V_{me}$  Volt, giá trị của điện trở toàn bộ  $R$  (bằng điện trở mắc nối tiếp + điện trở của cơ cấu đo) sẽ được tính bằng phương trình (3.2).

$$\frac{V_{me}}{R} = I_M \quad (3.2)$$

**Ví dụ 3.2:** Cơ cấu đo từ - điện dùng để đo 100V trên một mạch điện, nếu mức dòng chảy qua cơ cấu đo là 1mA, xác định trị số điện trở mắc nối tiếp. Điện trở của cơ cấu đo là 1000

$\frac{V_{me}}{R} = I_M = \frac{100V}{R} = 1mA$ , vậy  $R = 100k$  nên điện trở nối tiếp =  $100k - 1k = 99k$

Khi nhiều điện trở mắc nối tiếp, có thể chọn bằng một chuyển mạch được kết nối để thiết bị đo trở thành một voltmeter nhiều thang đo, như ở hình 3.5.

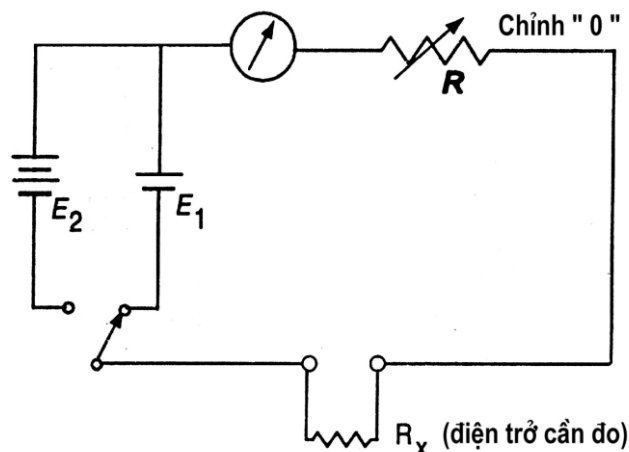


Hình 3.5: Voltmeter tương tự nhiều thang đo.

#### d) Đồng hồ đo điện trở bằng cơ cấu đo từ - điện

Sử dụng nguồn pin trong (pin khô), cơ cấu đo từ - điện có thể dùng làm đồng hồ đo điện trở [ohmmeter] để đo các điện trở chưa biết trị số như mạch ở hình 3.6.

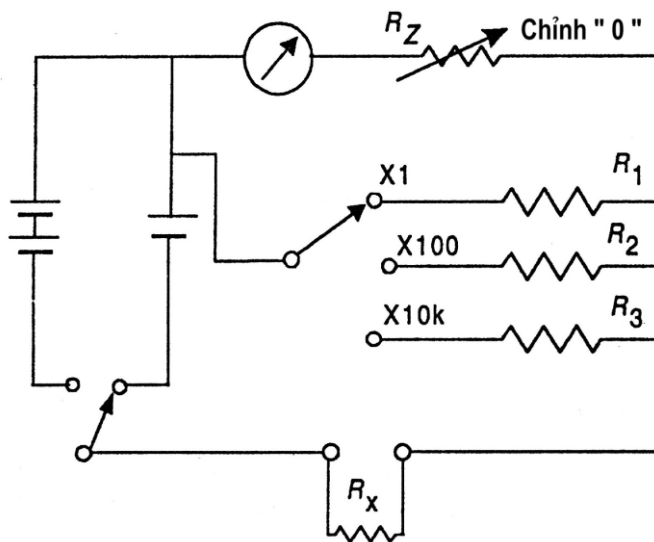
Dòng chảy qua cơ cấu đo sẽ chảy qua điện trở cần đo ( $R_X$ ). Giá trị của dòng điện là độ lệch của kim chỉ thị của cơ cấu đo sẽ tùy thuộc vào trị số của điện trở chưa biết. Thang đo của ohmmeter



Hình 3.6: Mạch Ohmmeter cơ bản.

có thể định chuẩn và khắc độ theo ohm (Nếu điện trở quá lớn, nguồn pin có thể không cung cấp đủ do dòng sẽ quá nhỏ, nên cần phải có nguồn dự phòng bằng pin lớn hơn ( $E_2 > E_1$ ) thực hiện thông qua chuyển mạch. Biến trở  $R$  phải được hiệu chỉnh để đảm bảo rằng khi điện trở chưa biết bằng 0 (tức là hai đầu que đo được ngắn mạch với nhau), cơ cấu đo phải chỉ thị mức điện trở bằng 0 (độ lệch toàn bộ). Thang điện trở sẽ thể hiện điện trở bằng 0 tại độ lệch đầy thang do điện trở bằng 0 nghĩa là mức dòng lớn nhất chảy qua cơ cấu đo. Điện trở vô cùng nghĩa là không có dòng điện, và đó là tận cùng bên trái của thang đo (vạch mức dòng bằng 0) phải được đánh dấu bằng trên thang đo điện trở. Các thang đo điện trở khác như thang 100, thang 10k, thang 10M sẽ có được bằng cách sử dụng các điện trở khác nhau nhờ chuyển mạch nhiều thang đo như ở hình 3.7.

Để đo ở thang đo điện trở thấp nhất, điện trở shunt phải là điện trở thấp nhất. Đối với các thang cao hơn, phải tăng trị số của các điện trở shunt. Theo hình 3.7,  $R_1$  nhỏ hơn so với  $R_2$ , và  $R_2$  nhỏ



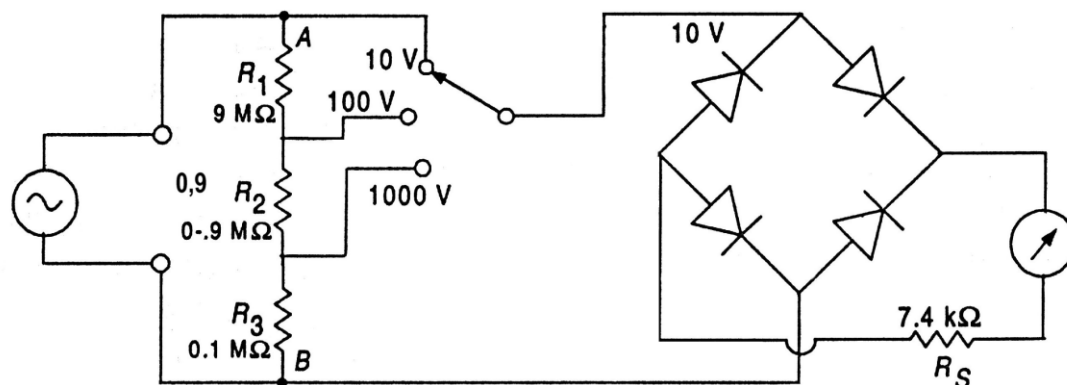
Hình 3.7: Ohmmeter nhiều thang đo.

hơn so với  $R_3$ , v. v. . .  $R_Z$  là biến trở chỉnh 0. Nếu cơ cấu đo có độ lệch đầy thang là 1mA,  $R_Z$  cần phải được điều chỉnh để mạch có dòng 1mA khi ngắn mạch hai đầu que đo với nhau (tức là khi  $R_X = 0$ ).

#### e) Voltmet xoay chiều bằng cơ cấu đo từ - điện

Cơ cấu đo từ - điện về cơ bản là đồng hồ đo  $dc$ . Nếu đưa tín hiệu xoay chiều ( $ac$ ) đến đồng hồ thì kim chỉ thị sẽ dao động xung quanh điểm 0 do quán tính. Nên để đo điện áp  $ac$  phải sử dụng mạch chỉnh lưu bằng diode. Diode sẽ chỉnh lưu điện áp  $ac$ , biến đổi điện áp  $ac$  thành xung đập mạch  $dc$ . Đồng hồ đo sẽ chỉ thị giá trị trung bình như điện áp  $dc$ . Đối với bộ chỉnh lưu bán kỳ, mức điện áp  $dc$  trung bình sẽ bằng với  $V_m/$  trong đó  $V_m$  là mức điện áp đỉnh của xung đập

mạch), còn đối với bộ chỉnh lưu toàn kỳ, mức điện áp  $dc$  trung bình là  $2V_m/\pi$ . Mặc dù kim chỉ thị của đồng hồ đo sẽ lệch tùy theo trị số trung bình, nhưng thang đo sẽ được định chuẩn để chỉ thị giá trị hiệu dụng (rms) của tín hiệu  $ac$ . (việc định chuẩn theo các mức tín hiệu vào sóng sin và do đó số chỉ thị sẽ không đúng giá trị hiệu dụng đối với các dạng sóng khác). Thường sử dụng mạch chỉnh lưu cầu để cho giá trị trung bình cao hơn, độ gợn thấp hơn, và không cần biến áp điểm giữa đắt tiền, như mạch ở hình 3.8.



Hình 3.8: Mạch dùng cơ cấu đo kiểu từ - điện để đo điện áp xoay chiều.

Các điện trở  $R_1$ ,  $R_2$ , và  $R_3$  có vai trò như mạch phân áp. Các diode của mạch chỉnh lưu cầu sẽ chỉnh lưu điện áp  $ac$  thành  $dc$ . Mức điện áp  $dc$  trung bình được tạo ra bằng 90% của trị số hiệu dụng (đối với bộ chỉnh lưu bán kỳ mức điện áp  $dc$  trung bình bằng 45% của giá trị hiệu dụng). Ở mạch chỉnh lưu cầu sử dụng các diode silicon, sụt áp trên hai diode là 1,4V. Mức điện áp thực sẽ được đặt ngang qua cơ cấu đo và điện trở nhân ( $R_S$ ). Chẳng hạn, nếu  $R_1$ ,  $R_2$  và  $R_3$  ở mạch hình 3.8, là 9M, 0,9M và 0,1M tương ứng, điện áp đưa đến mạch chỉnh lưu sẽ là  $10V_{rms}$ , nếu điện áp đặt vào (như được ghi tại các vị trí đầu cực của chuyển mạch) là 10V, 100V; hay 1000V ngang qua mạch phân áp AB, thì trị số trung bình  $dc$  của điện áp chỉnh lưu sẽ là  $2 \times 10V \times 1,4/\pi$  bằng 9V. Sau khi trừ sụt áp 1,4V trên các diode, điện áp  $dc$  thực ngang qua mạch cơ cấu đo sẽ là 7,6V nên cần phải có điện trở 7,6k để cả điện trở của cơ cấu đo (đối với cơ cấu đo 1mA). Vậy độ nhạy của voltmeter  $ac$  khi dùng mạch cầu là chỉ bằng 76% của độ nhạy của cơ cấu đo  $dc$ . (đối với mạch chỉnh lưu bán kỳ, độ nhạy sẽ giảm xuống hơn nữa đến mức 38%)

#### f) Đồng hồ đo dòng xoay chiều

Chức năng đo dòng  $ac$  chỉ có ở một số đồng hồ đo. Dòng điện cần đo chảy qua một điện trở cố định và đo sụt áp trên điện trở bằng voltmeter  $ac$ . Điện áp  $ac$  sẽ tỷ lệ với dòng khi điện trở có trị số không đổi. Để đo dòng  $ac$ , thường sử dụng mạch biến đổi dòng thành áp bằng IC op - amp. Trong một số đồng hồ đo giá thành cao sử dụng các bộ nhiệt ngẫu. Sụt áp  $dc$  ngang qua tiếp

giáp của nhiệt ngẫu sẽ tỷ lệ với hiệu ứng nhiệt tùy thuộc vào cường độ hiệu dụng của dòng điện. Do vậy, sẽ đo được giá trị *rms* của dòng điện bất kể dạng sóng của tín hiệu.

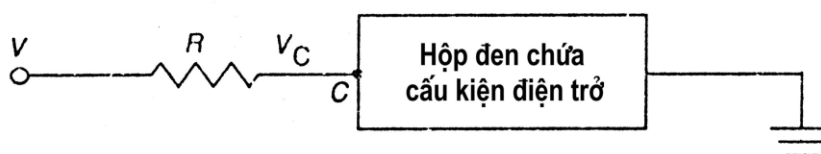
### g) Đồng hồ đo đa năng

Khi cơ cấu đo từ - điện hợp thành các mạch thành ammeter nhiều thang đo, voltmeter nhiều thang đo, và ohmmeter nhiều thang đo, toàn bộ trong một thiết bị đo, thì thiết bị đo được gọi là đồng hồ đo đa năng. Đồng hồ đo đa năng cũng được gọi là đồng hồ đo AVO (Ampere Volt Ohm). Khi sử dụng đồng hồ đo đa năng để thực hiện các phép đo cần phải tuân theo các lưu ý sau:

1. Chọn chuyển mạch thông số đo đúng. Nếu muốn đo điện áp, đừng bao giờ để đồng hồ đo ở thang đo dòng điện.
2. Chọn đúng thang đo của một thông số đo. Nếu muốn đo giá trị được cho là 80V, không để đồng hồ ở thang đo 0 – 10V, mà để đồng hồ đo ở thang đo 0 – 100V.
3. Nếu không biết giá trị cần đo, thì hãy để đồng hồ đo ở thang đo cao nhất theo thông số đo, và sau đó giảm dần thang đo theo các nấc giảm dần cho đến khi xác định được thang đo thích hợp.
4. Thang đo được chọn cần phải có số chỉ thị gần với độ lệch đầy thang (fsd) ở mức có thể được đối với phép đo điện áp và dòng điện, và gần một nửa thang đo đối với phép đo điện trở, bởi vì đồng hồ đo sẽ cho sai số phép đo nhỏ nhất.
5. Nếu kim chỉ thị của đồng hồ đo không ở tại vị trí 0 ngay khi không có tín hiệu vào, thì phải hiệu chỉnh bằng bộ phận cơ khí (độ căng của lò xo cân bằng gắn trên khung dây), để có điều chỉnh 0 chính xác.
6. Khi đo điện trở, điều chỉnh biến trở chỉnh 0 để có độ lệch đầy thang (fsd) khi ngắn mạch hai đầu que đo với nhau.

### h) Sử dụng đồng hồ đo đa năng để dò tìm hư hỏng.

Đồng hồ đo đa năng thường được sử dụng để đo điện trở, điện áp và dòng điện *dc*. Dĩ nhiên, đôi khi đồng hồ đo đa năng cũng có thể đo điện áp *ac*. Phần lớn các mạch hư hỏng có thể xác định được bằng phép đo điện áp *dc*. Chẳng hạn, trong mạch hình 3.9, nếu điện trở *R* hở mạch, thì



Hình 3.9: ảnh hưởng điện áp tại C khi có các cấu kiện hỏng.

điện áp  $V_C$  tại  $C$  sẽ bằng 0. Nếu cầu kiện (transistor) hở mạch, điện áp tại  $C$  sẽ bằng điện áp nguồn cung cấp. Nếu cầu kiện bị ngắn mạch, thì điện áp tại  $C$  sẽ bằng 0. Khi đo điện áp sẽ thể hiện một giá trị điện trở hở mạch nào đó, điện trở có thể được kiểm tra bằng chức năng đo điện trở của đồng hồ đo đa năng bằng cách ngắt kết nối một đầu điện trở ra khỏi mạch.

Chức năng đo điện trở có thể xác định tụ điện bị rò hay bị ngắn mạch, hoặc cuộn dây có bị hở mạch hay không. Cầu kiện bán dẫn có thể đo thử bằng cách đo điện trở ở các trạng thái phân cực ngược hay phân cực thuận của tiếp giáp bán dẫn. Sự thông mạch khi thực hiện dò mạch có thể kiểm tra bằng đồng hồ đo điện trở ở thang đo thấp nhất của ohmmeter.

Đồng hồ đo đa năng là dụng cụ đo thông thường, dùng trong các dịch vụ đo thử, sửa chữa do cách sử dụng đơn giản, cấu trúc chắc chắn, tương đối chính xác và không yêu cầu nguồn cung cấp ngoài, cũng như không ảnh hưởng bởi từ trường ký sinh.

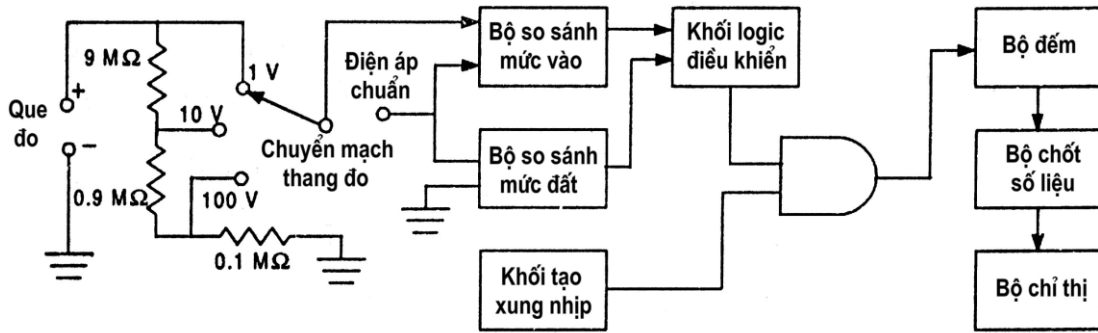
### 3.2 VOLTMETER SỐ (DVM)

Voltmeter số sử dụng nguyên lý của mạch số để đo điện áp tương tự. Voltmeter số có tất cả các ưu điểm của mạch điện tử số khi so với mạch điện tử tương tự.

#### a) Nguyên lý

Sau khi mạch suy giảm cho việc chọn thang đo; tín hiệu vào sẽ được chuyển đổi thành tín hiệu số bởi bộ biến đổi tương tự - số (ADC). Khối ADC có thể sử dụng kỹ thuật tích phân đơn sườn hay hai sườn dốc. Ở dạng cơ bản nhất, ADC sẽ so sánh tín hiệu vào với điện áp mẫu (các phương pháp nhận điện áp mẫu có thể khác nhau). Chỉ cần điện áp vào lớn hơn so với điện áp mẫu, thì tín hiệu ra của bộ so sánh sẽ cho mức logic 1, sẽ giữ cho cổng AND mở và các xung nhịp sẽ truyền qua cổng AND. Bộ đếm sẽ đếm các xung nhịp đó. Ngay khi điện áp vào trở nên bằng với điện áp mẫu, thì tín hiệu ra của bộ so sánh sẽ bằng 0. Cổng AND sẽ đóng và dừng việc đếm. Mức ra của bộ đếm sẽ được chốt và các LED hay tinh thể lỏng sẽ hiển thị giá trị đo. Hình 3.10, là mạch nguyên lý cơ bản cùng với chuyển mạch thang đo.

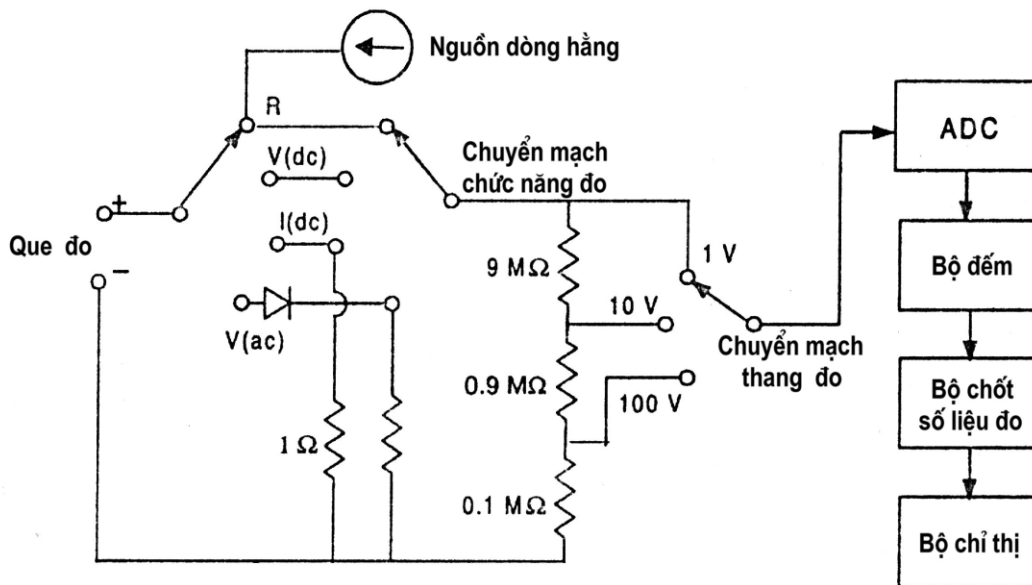
Chuyển mạch thang đo ở hình 3.10, sẽ chọn tín hiệu ra từ mạch phân áp. Các trị số của các điện trở phân áp có thể là  $9M\Omega$ ,  $9M\Omega$  và  $0,1M\Omega$  để chọn ra 1V tại đầu vào của ADC cho các đầu vào 1, 10 và 100V của tín hiệu cần đo. Nếu tín hiệu cần đo là 100V, thì tín hiệu vào đưa đến bộ so sánh sẽ là  $(100/10) \times (1/10)$  sẽ là 1V do mạch phân áp. Nếu tín hiệu cần đo là 10V, thì tín hiệu vào đưa đến bộ so sánh sẽ vẫn là 1V. Như vậy, bộ so sánh sẽ lấy  $V_{in}$  trong khoảng từ 0 đến 1V bất kể điện áp thực tế cần đo. Mức điện áp vào (từ 0 đến 1V) sẽ được biến đổi thành tín hiệu số mà sẽ được đếm và hiển thị.



Hình 3.10: Sơ đồ khối của Voltmeter số.

### b) Đồng hồ đo số đa năng (DMM).

Về cơ bản, DMM là một voltmeter số. Tất cả các thông số khác điện áp, như điện trở, dòng điện, điện áp *ac* đều được biến đổi thành điện áp *dc* nhờ chuyển mạch chọn chức năng đo như ở hình 3.11. Sau đó phép đo điện áp *dc* sẽ cho giá trị của thông số cần đo.



Hình 3.11: Các bộ phận của đồng hồ số đa năng - DMM.

Để đo điện trở, thì điện trở phải được chuyển đổi thành điện áp *dc* bằng mức dòng chảy qua điện trở cần đo từ một nguồn dòng hằng. Nếu mức dòng hằng là 1mA, thì suy ra mức điện áp *dc* được tạo ra trên điện trở chưa biết sẽ tỷ lệ trực tiếp theo mV. Nếu điện trở chọn là 1k $\Omega$  thì mức điện áp được tạo ra sẽ là 1V. Đối với phép đo dòng điện, dòng điện sẽ được biến đổi thành điện áp *dc* bằng cách cho dòng điện chảy qua một điện trở không đổi, chọn là 1 $\Omega$ . Do vậy mức điện áp *dc* sụt trên điện trở sẽ bằng mức dòng điện (điện áp = dòng điện x 1 $\Omega$ ). Đối với phép đo điện áp *ac*, điện áp *ac* trước hết phải được chỉnh lưu và sau đó sẽ được xem như điện áp *dc* để có thể đo được.

Việc định chuẩn DMM sẽ được kiểm tra bằng phép đo điện trở 0 bằng cách ngắn mạch hai đầu que đo, khi đặt chức năng của đồng hồ đo ở vị trí chuyển mạch đo điện trở, hoặc có thể đo điện áp khi biết mức điện áp  $dc$  trên thang đo điện áp.

### c) Ý nghĩa của chữ số bán phần và ba phần tư.

Bộ chỉ thị 3 - chữ số ở DVM cho thang đo từ 0 đến 1V sẽ chỉ các giá trị từ 0 đến 999mV. Bước mức tăng nhỏ nhất là 1mV. Việc bổ sung thêm một chữ số (0 đến 9 thành nhóm 4 bit) về thực chất sẽ làm tăng giá thành, nên biện pháp tiết kiệm nhất là có thể sử dụng chỉ một bit (0 hoặc 1). Bit bổ sung sẽ cho phép DVM chỉ thị các trị số lên đến 1999 thay cho 999, tức mở rộng thang đo lên gấp đôi. Khi chữ số thứ 4 có thể chỉ có giá trị 0 hoặc 1, thì thang đo được gọi là chữ số bán phần ( $1/2$ ), nên gọi là đồng hồ đo  $3 \frac{1}{2}$  chữ số. Đồng hồ đo có  $4 \frac{1}{2}$  chữ số sẽ chỉ thị giá trị đo lên đến 19999mV.

Tương tự, bằng cách bổ sung hai bit 11, thì chữ số tận cùng bên trái có thể tạo ra là 3. Đồng hồ đo 3 - chữ số sẽ cho phép đọc 999 tiếp theo là 1999 hoặc 2999 hoặc 3999 (bằng cách sử dụng 01, 10, và 11 tương ứng), tức là tăng thang đo lớn nhất vào khoảng 4 lần. Việc bổ sung thang đo như vậy được gọi là đồng hồ đo  $3 \frac{3}{4}$  - chữ số. Đồng hồ đo  $4 \frac{3}{4}$  - chữ số sẽ cho số chỉ thị lên đến 39999. Với việc bổ sung  $\frac{1}{2}$  - chữ số hoặc  $\frac{3}{4}$  - chữ số sẽ làm cho độ chính xác tăng lên như được minh họa ở ví dụ 6.3.

**Ví dụ 3.3:** Các số chỉ thị 12,375V và 32,375V sẽ được hiển thị như thế nào ở các đồng hồ đo (a) có 3 - chữ số, (b) có  $3 \frac{1}{2}$  - chữ số, (c) có  $4 \frac{1}{2}$  - chữ số, và (d) có  $4 \frac{3}{4}$  - chữ số ?

(a) Đồng hồ đo có 3 - chữ số sẽ chỉ thị trên thang đo 99,9V, do đó kết quả đo là 12,375V và 32,375V sẽ đọc được là 12,3V và 32,3V tương ứng.

(b) Đồng hồ đo  $3 \frac{1}{2}$  - chữ số sẽ chỉ thị số 12,375V là 12,37V trên thang đo 19,99V và số đo 32,375V là 32,3V trên thang đo 099,9V.

(c) Đồng hồ đo  $4 \frac{1}{2}$  - chữ số sẽ chỉ thị số 12,375V là 12,375V trên thang đo 19,999V, nhưng đối với số đo 32,375V, thì đồng hồ đo  $4 \frac{1}{2}$  - chữ số sẽ chỉ thị là 32,37V trên thang đo 99,99V.

(d) Đồng hồ đo  $4 \frac{3}{4}$  - chữ số sẽ chỉ thị số 12,375V là 12,375V trên thang đo 19,999V, và đối với số đo 32,375V sẽ chỉ thị là 32,375V trên thang đo 39,999V.

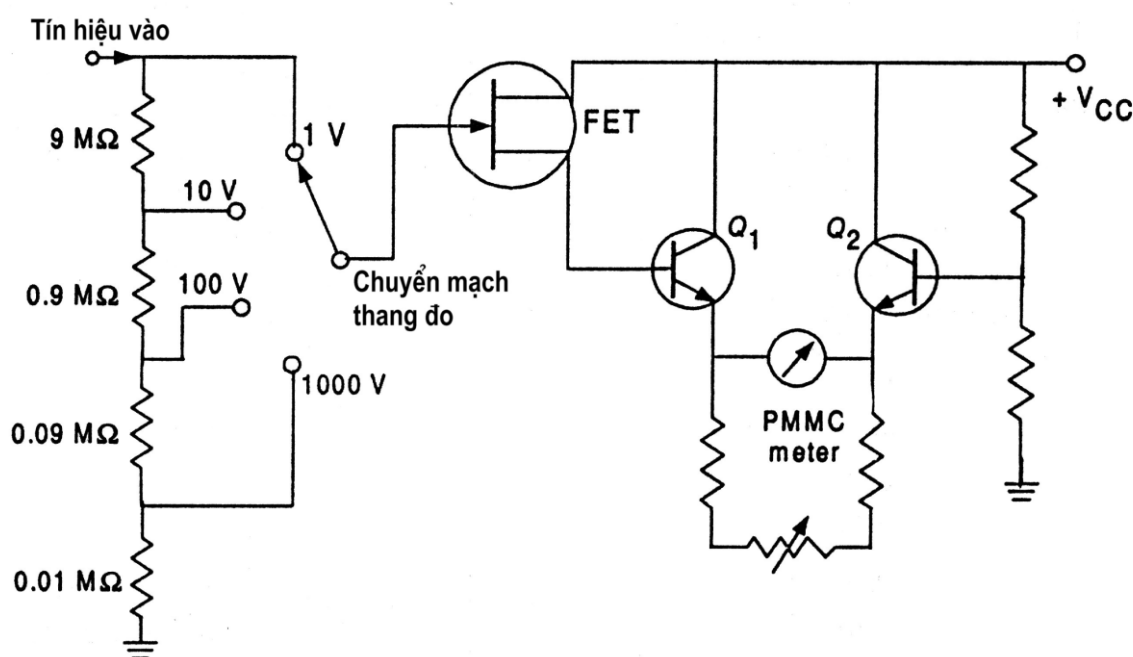
### 3.3 VOLTMETER ĐIỆN TỬ

Voltmeter điện tử sử dụng mạch khuếch đại một chiều, hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại sẽ cho phép sử dụng thiết bị đo để đo các điện áp ở dải millivolt và microvolt. Trước đây, các voltmeter điện tử được gọi là VTVM (vacuum tube voltmeter). Hiện nay thuật ngữ VTVM



vẫn được sử dụng mặc dù đèn chân không đã được thay thế bằng các transistor. Tên gọi mới của thiết bị đo là voltmeter điện tử (EVM) hay voltmeter bằng transistor (TVM).

Voltmeter điện tử có thể lắp theo các kiểu mạch khuếch đại khác nhau, chẳng hạn như mạch khuếch đại bằng transistor đơn hay mạch khuếch đại cân bằng, hoặc bằng op - amp. Mục đích cơ bản của việc sử dụng mạch khuếch đại *dc* là để có hệ số khuếch đại và điện trở vào cao (tức là có thể đo được các tín hiệu yếu), và để cách ly đồng hồ đo với mạch vào của thiết bị đo (tức là có thể sử dụng đồng hồ chắc chắn hơn và độ nhạy kém hơn). Voltmeter điện tử điển hình như mạch ở hình 3.12.



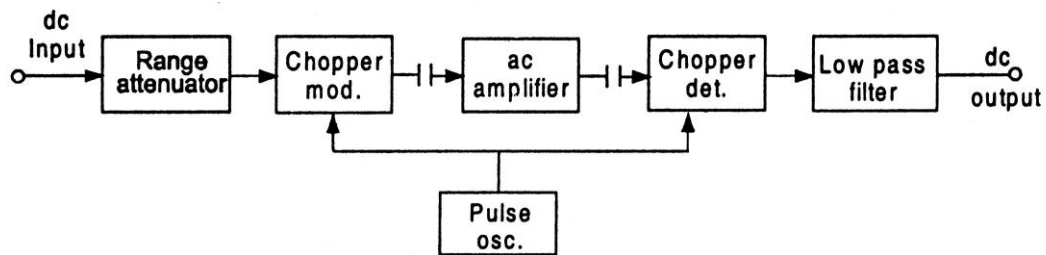
Hình 3.12: Mạch voltmeter điện tử.

EVM sử dụng mạch khuếch đại bằng FET làm tầng đầu. Cấu kiện bằng FET có trở kháng vào rất cao, nên sẽ không gây ra quá tải cho mạch cần đo, cho độ chính xác cao. Mạch phân áp được mắc để làm chuyển mạch thang đo, cho phép điều khiển các thang đo điện áp khác nhau. Các điện trở ở mạch hình 3.12, sẽ biến đổi mức vào là 1V, 10V, 100V và 1000V thành 1V tại cổng của FET. Các transistor  $Q_1$  và  $Q_2$  tạo thành mạch cầu. Cầu sẽ được cân bằng sao cho mặt chỉ thị của đồng hồ sẽ chỉ thị số đo bằng 0 khi tín hiệu vào bằng 0.

Khi sử dụng mạch khuếch đại thuật toán, nguồn điện áp hằng, khoảng 1V, sẽ cung cấp tín hiệu đưa đến đầu vào không đảo thông qua một biến trở được định chuẩn. Mức vào *dc* sẽ được giảm xuống đến 0 đối với 1V nhờ các mạch suy giảm thang đo, sẽ cung cấp tín hiệu đến đầu vào đảo. Đồng hồ đo mắc ở đầu ra để quan sát mức 0. Điện thế kế của điện áp mẫu sẽ được hiệu chỉnh để có mức 0 trên đồng hồ. Sau đó điện áp vào là cân bằng với điện áp chuẩn đã được chia thang,

chỉ thị trên mặt số của điện thế kế. Mặc dù, phương pháp cân bằng mức 0 có độ chính xác cao hơn, nhưng ở các thiết bị đo giá thấp, điện áp vào  $dc$  phải được chuyển đổi thành millivolt, khoảng 10mV, hệ số khuếch đại của op - amp được điều chỉnh đến mức 100 và sau đó mắc đồng hồ đo vào đầu ra để định chuẩn, cho phép chỉ thị trực tiếp mức điện áp vào.

Mạch khuếch đại  $dc$  hay bị trôi dòng ra (do nhiệt độ của tiếp giáp), do đó một số thiết bị đo sử dụng mạch ngắt quang để ngắt điện áp  $dc$  thành các xung, để có thể sử dụng mạch khuếch đại  $ac$  như mạch ở hình 3.13. Sau khi khuếch đại các xung sẽ được biến đổi thành một chiều và được đo bằng cách sử dụng mạch vi sai.



Hình 3.13: Sơ đồ khối của voltmeter điện tử sử dụng mạch ngắt quang (chopper).

#### a) Các ưu điểm của EVM

1. Trở kháng vào của EVM rất cao, nên ảnh hưởng do quá tải không đáng kể trên mạch cần đo thử. Do vậy, độ chính xác của phép đo cao.
2. Có thể đo điện áp ngay ở các mức microvolt nhờ sự khuếch đại tín hiệu đo. Ở kiểu cơ cấu đo từ - điện, đo mức điện áp dưới 100mV rất khó khăn.
3. Điện dung vào của voltmeter điện tử là rất nhỏ, vào khoảng vài picofarad. Do đó có thể đo được các mức điện áp tín hiệu tần số cao sau khi chỉnh lưu.
4. Đồng hồ có độ nhạy thấp, 1000  $\mu$ V, và vì vậy rẽ tiền, thô, có thể sử dụng cho các phép đo.
5. Nguồn cung cấp cho mạch khuếch đại không lấy từ mạch cần đo, mà lấy từ  $V_{CC}$ .
6. Ở kiểu mạch cầu cân bằng (như thể hiện ở hình 3.12), ảnh hưởng của các thay đổi ở các thông số của FET và BJT là thấp nhất.
7. Độ dịch mức 0 trong quá trình hoạt động không xảy ra.

#### b) Nhược điểm của EVM

1. Nhược điểm chính là cần phải có khối nguồn cung cấp cho mạch khuếch đại, nên EVM có giá thành cao và kích thước lớn.
2. Mạch khuếch đại  $dc$  bị trôi mức tín hiệu ra.

#### c) Đồng hồ đo điện tử đa năng

Đồng hồ đo điện tử đa năng (EMM) về cơ bản là voltmeter một chiều, nhưng sẽ làm việc như

nhiều đồng hồ đo như chuyển mạch chức năng kết nối các thiết bị đo để biến đổi các thông số đo khác thành điện áp  $dc$ , như đã giải thích ở DMM.

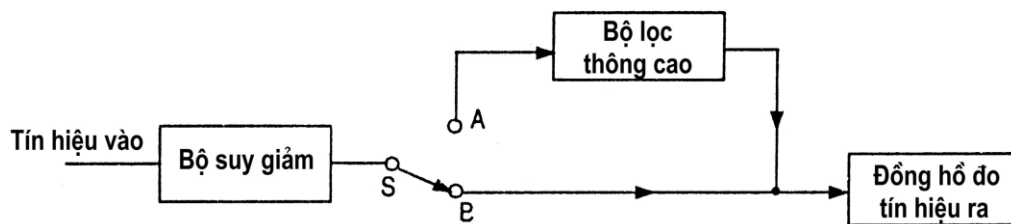
### 3.4 ĐỒNG HỒ ĐO HỆ SỐ MÉO DẠNG TÍN HIỆU

#### a) Nguyên lý

Đồng hồ đo hệ số méo dạng dùng để đo độ méo hài tổng có trong tín hiệu ra. Tần số cơ bản sẽ được triệt nhờ mạch lọc thông cao, mà tần số cắt của mạch lọc hơi cao hơn so với tần số cơ bản. Tín hiệu tần số cơ bản sẽ thoát xuống đất và các tần số cao hơn so với tần số cơ bản (hài bậc 2, hài bậc 3, v. v. . .) sẽ đưa đến voltmeter tạo ra mức điện áp do toàn bộ các hài có trong tín hiệu. Đồng hồ đo độ méo có thể là kiểu nhiệt ngẫu hoặc voltmeter điện tử. Sơ đồ khối của đồng hồ đo độ méo điển hình cho ở hình 3.14.

#### b) Thực hiện phép đo độ méo

Tín hiệu vào sẽ được cung cấp từ máy tạo sóng đưa đến bộ khuếch đại cần đo thử độ méo. Tín



Hình 3.14: Sơ đồ khối của đồng hồ đo hệ số méo tín hiệu.

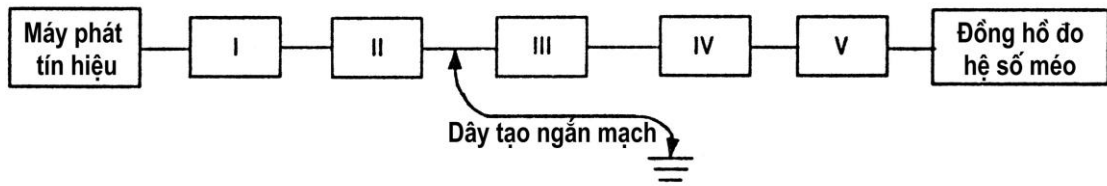
hiệu ra của bộ khuếch đại là tín hiệu vào của thiết bị đo. Khi chuyển mạch S đặt tại vị trí B, sẽ thu được toàn bộ tín hiệu ở đồng hồ đo đầu ra. Tín hiệu toàn bộ hoặc sẽ được điều chỉnh đến mức lệch đầy thang (fsd), hoặc mức cố định nào đó được ghi dấu trên mặt chỉ thị của đồng hồ nhờ mạch suy giảm. Tiếp theo, chuyển mạch đặt tại vị trí A, nên bộ lọc thông cao sẽ loại bỏ tín hiệu tần số cơ bản cho đến khi nhận được mức biên độ giảm ở mặt chỉ thị của đồng hồ. Mức chỉ thị đó là mức tổng trừ đi tần số cơ bản, tức là lượng các sóng hài. Đồng hồ đo sẽ được định chuẩn theo phần trăm của độ méo dạng mà có thể đọc trực tiếp trên vạch chia thấp nhất.

#### c) Sử dụng đồng hồ đo độ méo trong việc dò tìm hư hỏng

Có thể đo được độ méo xuất hiện trong thiết bị cần đo thử. Nguyên nhân gây méo dạng có thể được xác định bằng ngắn mạch lần lượt các tầng của thiết bị, như ở hình 3.15.

Chẳng hạn, nếu tầng III được làm ngắn mạch theo hình vẽ, và độ méo vẫn còn, tầng nào đó trong số các tầng III, hay IV, hoặc V là tầng gây méo dạng. Nếu méo dạng được loại bỏ, thì tầng I hoặc tầng II có thể bị hỏng. Toàn bộ các tầng có thể được đo thử theo phương pháp này để nhận diện tầng hỏng. Khi xác định được tầng hỏng theo phương pháp trên, ta có thể đo thử thêm

để biết nguyên nhân gây méo dạng và sửa chữa hư hỏng.



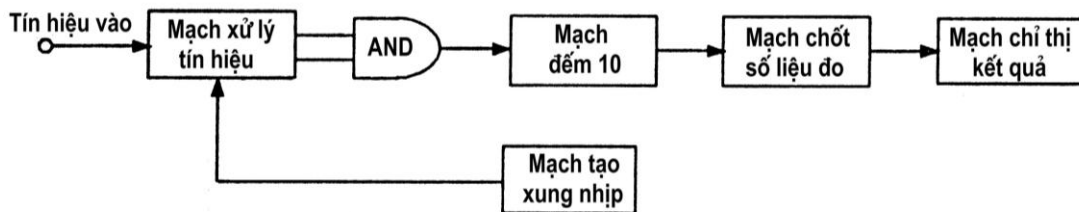
Hình 3.15: Sử dụng đồng hồ đo hệ số méo để xác định tầng hỏng.

### 3.5 BỘ ĐẾM TẦN SỐ

Bộ đếm tần là một thiết bị đo số có thể dùng để đo tần số, khoảng thời gian giữa hai tín hiệu, chu kỳ xung, tỷ số của hai tần số và có thể đếm số xung.

#### a) Nguyên lý hoạt động.

Ở kiểu đo cơ bản nhất đó là tín hiệu cần đo được đặt vào cổng AND, cổng chỉ mở trong khoảng thời gian cố định bằng một xung mở cổng. Xung ra của cổng AND sẽ được đưa đến bộ đếm 10 và chốt số liệu để sau đó đưa đến khối hiển thị như thể hiện theo sơ đồ khối ở hình 3.16.



Hình 3.16: Sơ đồ khối của bộ đếm tần.

Mạch xử lý tín hiệu gồm một khối khuếch đại và khối trigger Schmitt. Tín hiệu dạng sóng sin vào được khuếch đại và chuyển đổi thành các xung vuông để được đưa đến một đầu vào của cổng AND, đầu vào còn lại lấy xung định thời từ mạch tạo xung nhịp (khối gốc thời gian).

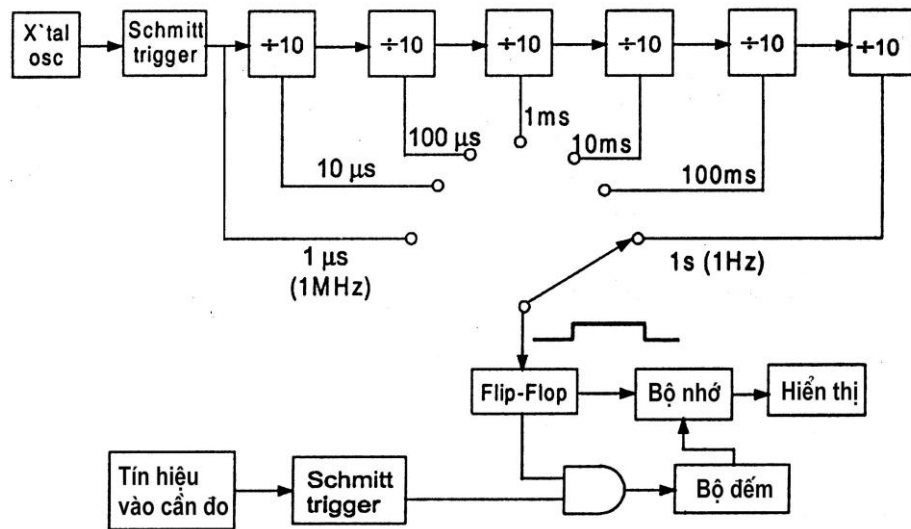
#### b) Các phép đo bằng bộ đếm tần.

**Phép đo tần số:** Cổng AND sẽ duy trì việc mở cổng theo chu kỳ của xung định thời, nên sẽ cho các xung tín hiệu cần đo tần số tại đầu ra của cổng AND trong khoảng thời gian mở cổng. Bộ đếm sẽ đếm các xung và số đếm sẽ được lưu trữ vào bộ nhớ cũng như được hiển thị. Xung định thời kích khởi bộ đếm tại thời điểm xuất hiện cạnh trước và dừng bộ đếm tại thời điểm xuất hiện cạnh sau của xung nhờ flip – flop. Tương tự, xung định thời cũng sẽ điều khiển bộ nhớ.

Nếu khoảng thời gian của xung định thời là 1 giây, bộ đếm mở cổng trong khoảng thời gian là 1 giây, bộ đếm cho số chu kỳ tín hiệu truyền qua cổng trong một giây, tức là đo trực tiếp tần số của tín hiệu.

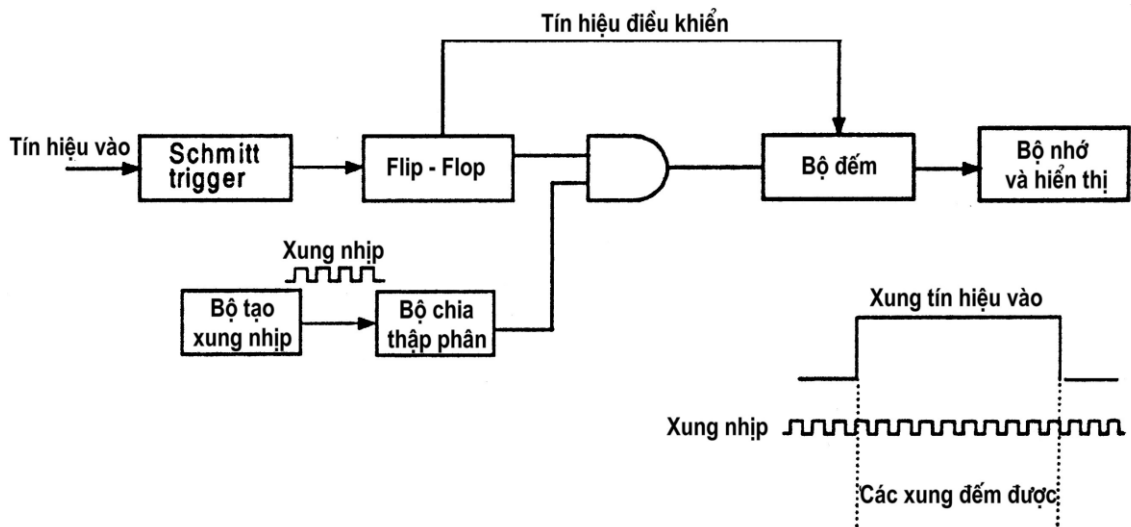
Đối với các tần số cao, sử dụng mạch chia 10 để tạo ra các xung định thời từ 1s đến 1ms tùy theo các vị trí đặt của chuyển mạch nhiều vị trí. Nếu có 1000 xung của tín hiệu cần đo truyền

qua cổng AND trong khoảng thời gian 1ms, thì tần số của tín hiệu là 1000MHz. Các bộ đếm không thể đếm các tần số quá cao (ở dải gigahertz), nên các tần số cao sẽ được đo bằng kỹ thuật ‘chia thang trước’, tức là tần số tín hiệu sẽ được chia 2, 4, 8, v. v. . . sao cho tần số sau khi chia thang trước phù hợp với thang đo của bộ đếm tần. Sơ đồ khối bộ đếm tần có mạch chia tần số xung nhịp (mạch chia gốc thời gian) như ở hình 3.17.



Hình 3.17: Sơ đồ khối của bộ đếm tần nhiều thang đo.

**Đo chu kỳ:** Để đo chu kỳ, xung tín hiệu vào có tác dụng như một xung định thời dùng để mở cổng truyền các xung nhịp qua cổng AND. Tín hiệu vào sẽ mở và đóng cổng AND, nên số đếm là số lượng xung nhịp đã được truyền qua cổng sẽ cho biết chu kỳ thời gian của xung tín hiệu cần đo. Sơ đồ khối của mạch đo chu kỳ như ở hình 3.18a và b.

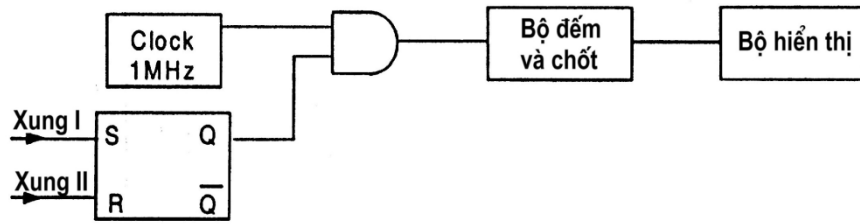


Hình 3.18: (a) Sơ đồ khối của mạch đo chu kỳ

(b) Hoạt động của cổng AND.

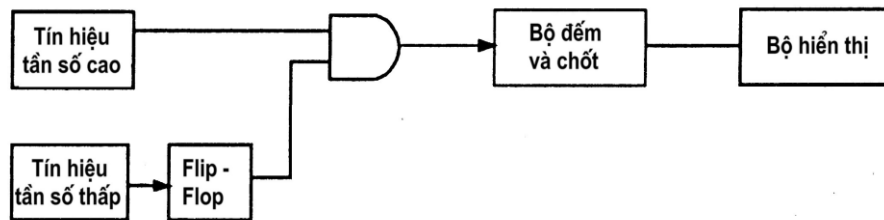
**Đo khoảng thời gian giữa hai xung:** Có thể đo khoảng thời gian giữa hai xung bằng cách sử dụng một tín hiệu để mở cổng và tín hiệu còn lại để đóng cổng AND. Tín hiệu xung nhịp dùng

để đo khoảng thời gian khi mở và đóng công. Phép đo được thể hiện ở hình 3.19. Xung 1 làm cho đầu vào  $S = 1$  và  $R = 0$ , nên  $Q = 1$ , khi xung 2 xuất hiện làm cho  $S = 0$  và  $R = 1$ , nên  $Q = 0$ .



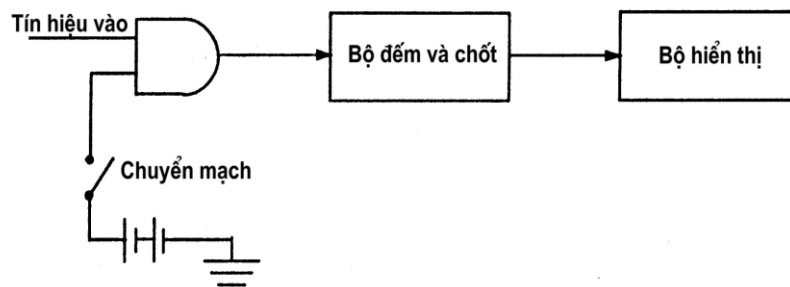
Hình 3.19: Phương pháp đo khoảng thời gian giữa hai xung.

**Đo tỷ số tần số của hai tín hiệu:** Nếu có hai tín hiệu, thì tín hiệu tần số thấp được sử dụng làm xung định thời, còn tín hiệu tần số cao sẽ được đếm trong khoảng thời gian của xung định thời. Phép đo cho biết tỷ số của hai tần số trên khối hiển thị như ở sơ đồ khối hình 3.20.



Hình 3.20: Phương pháp đo tỷ số của hai tần số.

**Đếm xung:** Mạch đơn giản như ở hình 3.21, sẽ cho biết là bộ đếm sẽ đếm tổng số xung truyền qua công trong suốt khoảng thời gian chuyển mạch giữ ở trạng thái kín mạch.



Hình 3.21: Phương pháp đếm tổng số xung.

### c) Bộ đếm tần số đa năng.

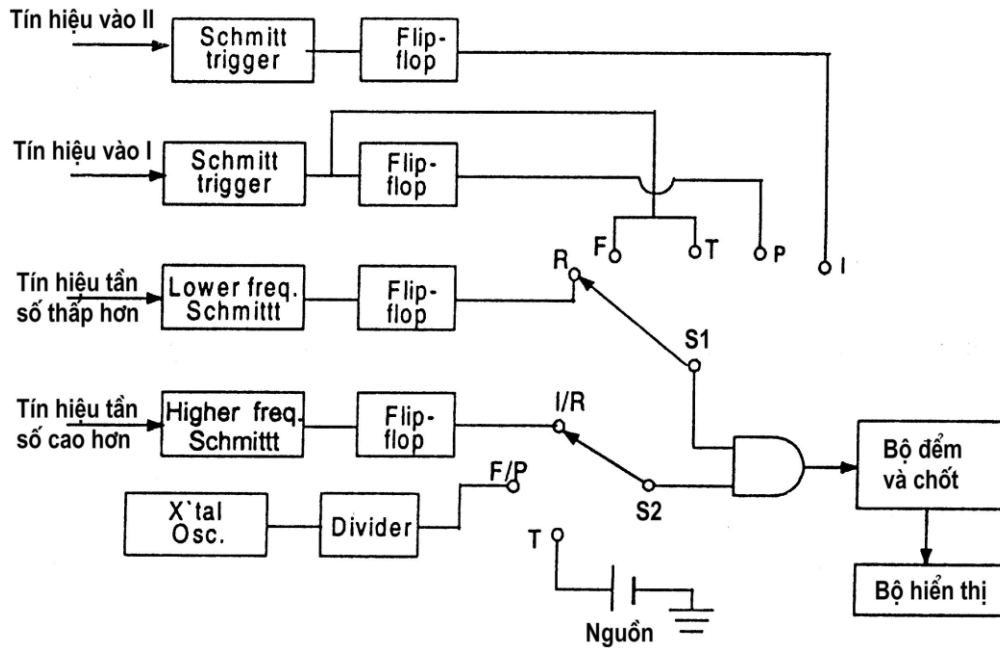
Bộ đếm tần số đa năng kết hợp tất cả các phép đo trong thiết bị đo đơn nhờ các vị trí đặt của mạch chuyển mạch. Mạch đo cơ bản theo các vị trí chuyển mạch như ở hình 3.22.

### d) Các ưu điểm của bộ đếm tần số kiểu số.

Các ưu điểm của bộ đếm tần số kiểu số gồm:

1. Độ rõ cao (6 đến 8 digit)
2. Độ chính xác cao (do sự ổn định của mạch dao động bằng tinh thể)

3. Tốc độ đo cao.
4. Đồng hồ đo sẽ không đáp ứng đối với nhiễu và tạp âm mức thấp khi đặt mức kích khởi cao.
5. Dễ đọc số chỉ thị.



Hình 3.22: Sơ đồ khối của bộ đếm tần đa năng.

#### e) Sử dụng máy đếm tần số dò tìm trạng thái hỏng của thiết bị.

Tần số của các bộ tạo xung nhịp (trong máy tính), các bộ dao động nội (trong các máy thu) và các bộ dao động cao tần (RF) (trong các máy phát tín hiệu và trong các máy thu - phát), có thể được đo để kiểm tra nếu các tầng có hư hỏng. Máy tạo xung và máy tạo hàm có thể được kiểm tra để tìm sai hỏng bằng cách đo tần số, độ rộng xung và khoảng thời gian của các xung đã được tạo ra. Các điểm đo thử thường có sẵn trên bảng mạch của thiết bị điện tử để có thể lấy tín hiệu cần đo bằng đồng hồ đo tần số.

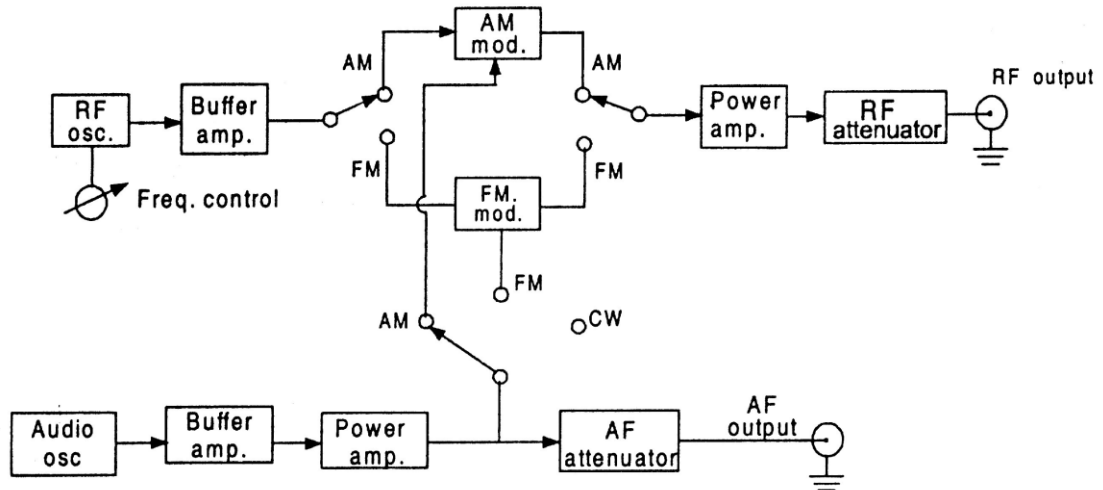
### 3.6 MÁY PHÁT TÍN HIỆU CAO TẦN (RF)

Máy phát tín hiệu cao tần sẽ tạo ra tín hiệu tần số radio dùng để điều chế tín hiệu cao tần với tín hiệu âm tần theo kiểu điều biên hay điều tần. Việc điều chế tín hiệu âm tần sẽ được tạo ra bởi thiết bị đo. Cũng có thể cung cấp tín hiệu điều chế ngoài. Sơ đồ khối của máy tạo tín hiệu RF như ở hình 3.23.

Bộ suy giảm sẽ được định chuẩn để cho mức suy giảm mỗi nấc là 20dB tương ứng với 1V. Tín hiệu âm tần cũng có thể lấy ra thông qua mạch suy giảm khác để kiểm tra các tầng âm tần.

#### a) Sử dụng máy phát tín hiệu RF

Máy phát tín hiệu RF phải được nối với máy thu cần đo thông qua cáp có bảo vệ chống nhiễu.



Hình 3.23: Sơ đồ khối của máy tạo tín hiệu RF.

Chọn băng tần và tần số dao động. Chọn kiểu điều chế và độ sâu điều chế. Bộ suy giảm đặt tại vị trí mức ra của phép đo yêu cầu. Đầu ra của máy tạo sóng phải được nối với đầu vào của thiết bị cần đo thử. Nối nguồn cung cấp và tiếp theo bật công tắc nguồn của máy phát tín hiệu [ON]. Máy thu được điều chỉnh để thu tín hiệu. Có thể mắc voltmeter điện tử (EVM), hay đồng hồ đo mức công suất âm tần tại đầu ra của máy thu. Nếu không có tín hiệu ra ở máy thu, thì mức ra của máy phát tín hiệu cần phải được tăng thêm, sao cho máy thu có thể nhận được tín hiệu ra không méo. Tất cả các phép đo thực hiện với mức ra ở mức không đổi và mức ra thay đổi của máy phát tín hiệu.

#### b) Sử dụng máy tạo tín hiệu trong việc chẩn đoán hỏng.

Máy tạo tín hiệu cao tần được sử dụng phổ biến để chẩn đoán tình trạng hỏng trong các máy thu. Tín hiệu phải được cung cấp đến máy thu và sử dụng máy hiện sóng để quan sát dạng sóng tín hiệu có ở đầu vào và đầu ra của các tầng khác nhau. Nếu một tầng thể hiện tín hiệu ra bình thường, thì tất cả các tầng trước tầng đó là bình thường và sai hỏng có thể ở tầng sau đó kế tiếp. Theo cách này có thể xác định tầng hỏng.

Máy tạo tín hiệu cũng cần cho việc cân chỉnh máy thu để tần số dao động nội và tần số tín hiệu RF là bằng nhau (cùng tần số) tại tất cả mức thiết lập trên núm tinh chỉnh trong băng tần. Thủ tục và trình tự cân chỉnh để đo các thông số của máy thu sẽ được giải thích ở mục 5.4, chương 5.

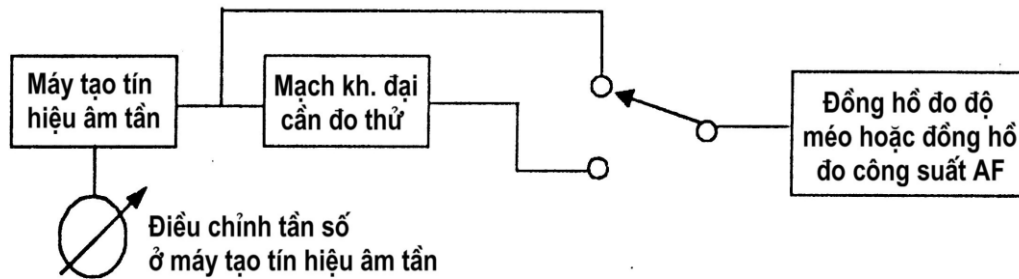
### 3.7 MÁY TẠO TÍN HIỆU ÂM TẦN.

Máy tạo tín hiệu âm tần bao gồm bộ dao động âm tần (thường sử dụng bộ dao động kiểu cầu Wien), bộ khuếch đại đệm và bộ khuếch đại công suất kết nối với bộ suy giảm định chuẩn như ở sơ đồ khối hình 3.24.



### **Sử dụng máy tạo sóng âm tần để chẩn đoán tình trạng hỏng trong các mạch khuếch đại.**

Máy tạo tín hiệu âm tần dùng để cung cấp tín hiệu chuẩn, không nhiễu để đo thử hiệu suất và đo các thông số của mạch khuếch đại âm tần (như hệ số khuếch đại, độ rộng băng tần cũng như độ méo dạng). Cách thiết lập phép đo như ở hình 3.24. Trình tự các bước thực hiện phép đo như sau:

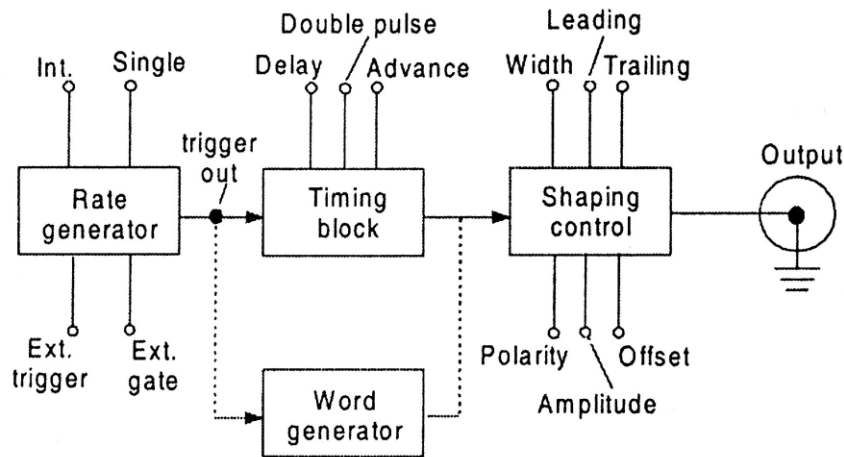


**Hình 3.24: Thiết lập phép đo các thông số của mạch khuếch đại âm tần (AF).**

1. Nối máy tạo tín hiệu âm tần với bộ khuếch đại. Mắc đồng hồ đo mức công suất âm tần tại đầu ra của bộ khuếch đại.
2. Điều chỉnh tần số của máy tạo tín hiệu ở mức 1000Hz, và điều chỉnh độ suy giảm của tín hiệu ra của máy tạo sóng ở mức mà bộ khuếch đại có thể cho tín hiệu ra không méo. Ghi nhận mức chỉ thị độ suy giảm là  $x_1$ , và mức chỉ thị của đồng hồ đo công suất phát ra là  $w_1$ .
3. Tiếp theo, mắc máy phát tín hiệu trực tiếp với đồng hồ đo công suất song song với bộ khuếch đại cần đo thử. Mức chỉ thị trên đồng hồ có thể giảm. Tăng dần mức công suất phát ra của máy tạo tín hiệu cho đến khi số chỉ thị của đồng hồ đo bằng trở lại trị số  $w_1$ . Ghi nhận số chỉ thị mới của máy phát tín hiệu là  $x_2$ . Tính tỷ số của hai số chỉ thị của máy phát tín hiệu  $x_2/x_1$ , biểu diễn theo dB, sẽ cho hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại.
4. Để đo độ rộng băng tần, hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại phải được đo tại các tần số khác nhau, từ 20Hz đến 20kHz, và vẽ đặc tuyến giữa tần số (trên trục -  $x$  theo thang logarithmic) theo hệ số khuếch đại theo dB (trên trục -  $y$  tuyến tính), từ đặc tuyến ta có thể xác định độ rộng băng tần ở mức 3dB.
5. Để đo độ méo, cần phải sử dụng đồng hồ đo độ méo dạng, như đã được giải thích ở mục 3.4. Đồng hồ đo độ méo dạng sẽ đo độ méo hài tổng tạo ra do mạch khuếch đại đối với tín hiệu cung cấp từ máy tạo tín hiệu. (phải đảm bảo rằng tín hiệu phát ra của máy tạo tín hiệu không bị méo). Phép đo này cũng sẽ cho biết mức tín hiệu ra âm tần lớn nhất có thể nhận được từ mạch khuếch đại trong giới hạn độ méo cho phép.

### **3.8 MÁY PHÁT XUNG.**

Máy phát xung phức tạp hơn so với máy tạo sóng sin. Một sóng sin chỉ có hai thông số là biên độ và tần số, trong khi sóng xung có hàng loạt các thông số như biên độ xung, độ rộng xung, tần số lặp lại của xung, chu kỳ, công suất xung, chu kỳ chuyển trạng thái (quá độ) v.v. . Sơ đồ khối của máy phát xung như ở hình 3.25.



Hình 3.25: Sơ đồ khối của máy phát xung.

**Bộ tạo xung** Bộ tạo xung gồm mạch dao động cầu Wien được ghép với mạch kích khởi Schmitt. Tần số xung tạo ra của mạch kích khởi Schmitt có thể được điều khiển hoặc bên trong (điều khiển trong - Int. control), hoặc điều khiển bên ngoài (điều khiển ngoài - Ext. control). Xung đơn [Single] sẽ điều khiển các thông số của xung bằng tay. Cổng ngoài [Ext. gate] sẽ tạo ra các cụm xung.

**Khởi định thời** Khối định thời thực hiện các chức năng như sau:

1. Làm trễ hay làm sớm pha của xung so với xung kích khởi.
2. Mỗi xung sẽ được tạo ra hai xung. Xung thứ nhất sẽ trùng với xung kích khởi, xung thứ hai sẽ thay đổi theo thời gian.

**Bộ phát từ số** Máy phát xung được sử dụng phổ biến trong các phép đo thử và chẩn đoán hỏng trong các mạch số. Máy phát từ sẽ thay thế khối định thời để tạo ra dữ liệu.

**Bộ điều khiển dạng xung** Bộ điều khiển dạng xung sẽ điều khiển độ rộng xung, chu kỳ chuyển trạng thái (thời gian tăng và thời gian giảm của các cạnh xung), cực tính của xung, biên độ xung và độ dịch xung (từ 0Vdc).

Máy phát xung có trở kháng ra đặc trưng là 50 ████ Máy phát xung sẽ ngăn chặn sự hình thành sóng dừng trên đường truyền.

Máy phát xung loại tốt sẽ tạo ra xung mịn với đỉnh xung ngang và các cạnh đứng. Tuy nhiên, nếu khảo sát hư hỏng, các xung có thể bị suy biến thể hiện preshoot, độ quá mức trên

[overshoot], dao động tắt dần [ringing], độ không tuyến tính [non – linearity] và độ suy giảm [droop] hay độ nghiêng [sag].

Các dấu hiệu trên thể hiện ở hình 3.26. Các sai hỏng ở xung có thể quan sát bằng máy hiện sóng.

### **Các công dụng của máy tạo xung.**

1. Đo thử các mạch số bằng cách cung cấp các xung để thử nghiệm các cổng logic.
2. Đo độ nhạy và tỷ lệ bit lỗi trong hệ thống thông tin số liệu.
3. Máy tạo xung dùng để phát hiện lỗi trên các đường dây điện thoại. Xung sẽ truyền qua đường dây điện thoại ở tốc độ ánh sáng ( $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ ). Khi gặp đường dây hở mạch, xung sẽ được phản xạ về máy phát. Đo khoảng thời gian trống như trong radar, thì có thể tính được chiều dài của cáp khi bị đứt.
4. Các xung từ máy tạo xung có thể được sử dụng để đo thử hệ số khuếch đại và đáp ứng tần số của các bộ khuếch đại. Các xung vuông ngắn sẽ làm giảm sự tiêu tán công suất cho mạch.
5. Máy tạo xung cũng có thể được dùng làm tín hiệu điều chế đến các bộ dao động vi ba, radar.
6. Thông số thời gian hồi phục ngược của các diode có thể xác định bằng cách sử dụng các xung từ máy tạo xung.

### **3.9 MÁY TẠO HÀM – FUNCTION GENERATOR.**

Trong khi các máy tạo tín hiệu chỉ tạo ra các sóng sin, và các máy tạo xung tạo ra các xung vuông hoặc chữ nhật, thì máy tạo hàm sẽ tạo ra các loại dạng sóng khác nhau. Các dạng sóng mà máy tạo hàm có thể tạo ra là sóng sin, các xung vuông hoặc chữ nhật, các sóng tam giác và các tín hiệu răng cưa.

Các dạng sóng khác nhau được tạo ra bằng máy tạo hàm có thể được lấy ra đồng thời. Máy tạo hàm cũng có thể được khóa pha với tín hiệu ngoài.

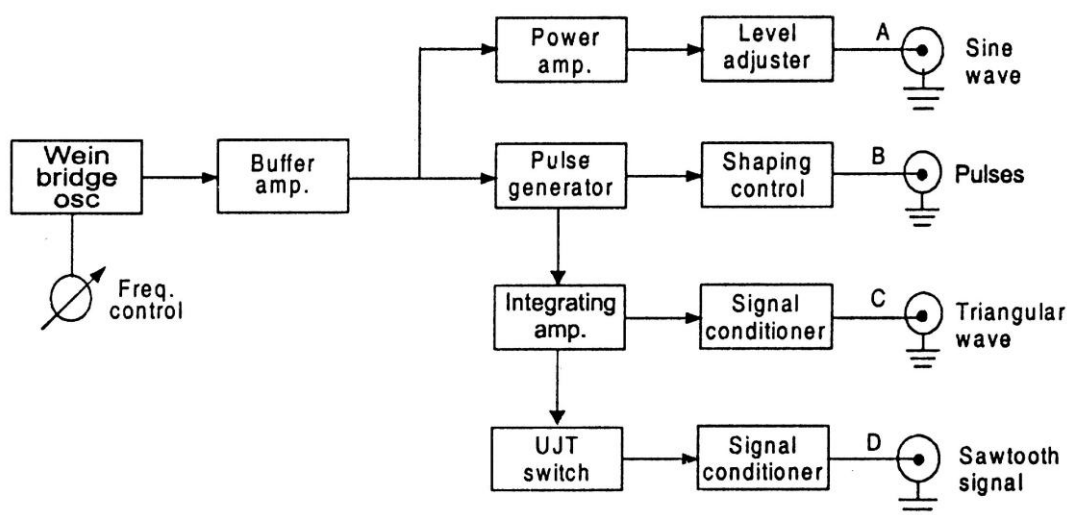
Mạch dao động cơ bản của thiết bị có thể là mạch dao động đa hài hay mạch dao động tạo sóng sin như kiểu cầu Wien. Các dạng dao động, nếu không phải là sóng sin có thể được biến đổi từ sóng sin bằng mạch sửa dạng kiểu điện trở - diode. Các dao động có dạng bất kỳ có thể biến đổi thành các xung bằng mạch kích khởi Schmitt. Hình 3.27, là sơ đồ khối của máy tạo hàm cơ bản.

Mạch dao động cầu Wien có thể tạo ra tín hiệu sóng sin có băng tần rộng, từ vài hertz đến dải megahertz. Bộ khuếch đại đệm sẽ đảm bảo tín hiệu dao động không bị suy giảm. Mạch khuếch đại công suất và mạch suy giảm mức tín hiệu (các hộp suy giảm dB) sẽ tạo ra sóng sin tại đầu ra A. (một số máy tạo hàm sử dụng các mạch đa hài, tín hiệu ra sẽ được sửa dạng ban đầu)

mạch sửa dạng diode và điện trở để có sóng sin).

Bộ tạo xung sử dụng mạch kích khởi Schmitt để biến đổi sóng sin thành xung. Bộ điều chỉnh dạng xung tạo ra các xung có độ rộng, p.r.f, và công suất xung theo yêu cầu tại đầu ra B.

Tín hiệu ra của mạch kích khởi Schmitt sẽ được cung cấp đến mạch tích phân bằng op – amp và tiếp theo đến mạch điều hòa tín hiệu để có sóng tam giác tại đầu ra C.



Hình 3.27: Sơ đồ khối của máy tạo hàm cơ bản.

Chuyển mạch bằng UJT có thể biến đổi sóng tam giác thành tín hiệu răng cưa, sau khi điều hòa tín hiệu sẽ có tại đầu ra D.

### Các công dụng của máy tạo hàm.

1. Tín hiệu sóng sin có thể dùng để đo thử hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại.
2. Sóng vuông có thể đo thử đáp ứng tần số thấp và tần số cao của mạch khuếch đại nhờ máy hiện sóng. Độ nghiêng nào đó của phần đỉnh ngang của xung sẽ cho biết đáp ứng tần số thấp của mạch khuếch đại kém. Sự thay đổi ở thời gian tăng và thời gian giảm (tức sườn xung) của các cạnh xung sẽ cho biết đáp ứng tần số cao của mạch khuếch đại kém. Các xung cũng có thể sử dụng để đo thử các cổng số.
3. Các sóng tam giác có thể dùng để đo thử độ tuyến tính của các mạch mà sóng tam giác truyền qua. Bất kỳ sự méo dạng của các cạnh tam giác, khi quan sát trên màn hình của máy hiện sóng, sẽ cho biết độ không tuyến tính được tạo ra bởi mạch khuếch đại.
4. Tín hiệu răng cưa có thể được dùng để đo thử các bộ tạo sóng quét và các mạch khuếch đại quét trong các máy thu hình, các máy hiện sóng và các monitor.

## CHƯƠNG 4: ĐO THỬ CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

### 4.1 ĐO THỬ BJT

BJT được sử dụng nhiều trong các mạch khuếch đại, các mạch dao động, mạch trộn, mạch điều chế và các mạch chuyên mạch. Quy trình đo thử BJT là đo các đặc tính quy định khả năng hoạt động của BJT. Đo thử BJT bao gồm các phép đo một số thông số quan trọng của transistor và mạch BJT, bằng các thiết bị đo thông dụng cơ bản và thực tế nhất.

#### 4.1.1 CÁC PHÉP ĐO THỬ THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA BJT

Trong quá trình chế tạo, BJT đã qua nhiều phép đo thử nghiệm khác nhau. Trong thực tế cần phải có 4 phép đo thử cơ bản: *đo thử hệ số khuếch đại, dòng rò, thử điện áp đánh thủng, và đo thông số thời gian chuyển mạch*. Đặc tính chuyển mạch không quan trọng nếu không sử dụng transistor trong các ứng dụng xung-số.

Phép đo thử thực tế duy nhất trong phân tích mạch, cuối cùng là đo thử ngay trên mạch điện sử dụng transistor. Ngoại trừ trường hợp đặc biệt, các transistor sẽ hoạt động với các thông số hợp lý trong mạch khi có đủ các đặc tính: (1) BJT thể hiện có độ khuếch đại thích hợp, (2) không bị đánh thủng (hỏng) khi làm việc với mức điện áp lớn nhất, (3) mức dòng rò, nếu có phải thấp tức là có trị số trong khoảng cho phép, và (4) các đặc tính chuyển mạch (thời gian trễ, thời gian giữ, v. v. . .) của BJT trong các mạch xung-số, cần phải có giá trị trong dải cho phép.

Có hai ngoại lệ đối với quy tắc trên. Đặc tính của *transistor thay đổi theo* sự thay đổi về *tần số và nhiệt độ* làm việc. Ví dụ, transistor được đo thử ở 1MHz có độ khuếch đại đủ lớn để đáp ứng với đòi hỏi của mạch, nhưng ở 10MHz, độ khuếch đại của cùng transistor này có thể bằng 0. Có nhiều yếu tố gây nên sai lệch đó, chẳng hạn như tất cả transistor đều có điện dung đầu vào, đầu ra. Khi tần số tăng lên, làm thay đổi dung kháng giảm xuống. Do vậy ở tần số cao hơn, transistor có thể trở nên không thích hợp với mạch (không đủ độ khuếch đại, dao động không ổn định, v. v. . .). Đối với nhiệt độ, dòng trong các tiếp giáp phân cực ngược của transistor tăng theo sự tăng nhiệt độ. Transistor được thử độ rò ở nhiệt độ môi trường danh định và cho độ rò toàn bộ trong mức sai lệch cho phép. Cùng một transistor khi dùng trong mạch có nhiệt độ tăng, độ rò tăng đến mức không phù hợp với hoạt động chính của mạch.

Sẽ không thực tế khi đo thử transistor trên toàn bộ dải tần và khoảng nhiệt độ làm việc mà transistor được sử dụng, do vậy các transistor thường được đo thử tại các điều kiện đã ghi ở trang số liệu. Nên sử dụng các đặc tuyến có ở trang số liệu để đánh giá các đặc tính của transistor ở các tần số và nhiệt độ khác. Trong một số mạch ứng dụng tần số cao (RF) transistor phải được đo thử ở tần số làm việc đã định trong mạch thử riêng, tương tự như mạch làm việc.

#### 4.1.2 ĐO THỬ DÒNG RÒ CỦA BJT

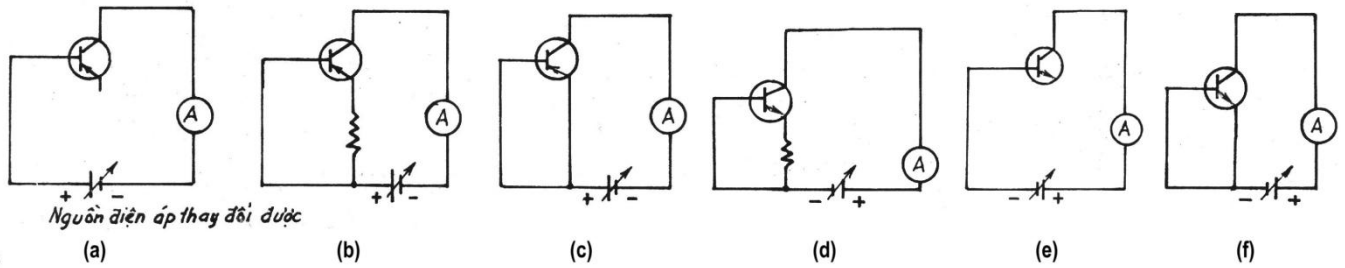
Đối với mục đích đo thử, cả transistor *pnp* và *npn*, đều được xem như hai diode mắc đối nghịch nhau, nên quy trình đo thử transistor tương tự như quy trình thực hiện với diode. Theo nguyên lý, không có dòng chảy qua tiếp giáp diode khi diode được phân cực ngược, do vậy nếu đo được mức dòng chảy nào đó ở điều kiện diode phân cực ngược thì đó là dòng rò. Trong trường hợp BJT, tiếp giáp C-B được phân cực ngược, nên sẽ không có dòng lớn chảy qua. Tuy nhiên, trong phần lớn các ứng dụng thực tế, có một mức dòng rò nhất định chảy qua tiếp giáp C-B, nhất là khi điện áp collector gần mức giới hạn cho phép và khi nhiệt độ làm việc tăng lên.

##### a) Dòng rò collector

*Dòng rò collector* được ký hiệu là  $I_{CBO}$  hoặc  $I_{BO}$  ở hầu hết các trang số liệu của BJT. Dòng rò collector có thể được gọi là *dòng tần số cắt collector* ở các trang số liệu khác, ở đây ghi rõ mức dòng danh định và / hoặc lớn nhất đối với điện áp collector-base và nhiệt độ môi trường đã xác định trước. Dòng rò collector-base thông thường được đo khi emitter hở mạch, nhưng cũng có thể đo với emitter ngắn mạch với base hoặc liền mạch với base qua điện trở.

Hình 4.1, là mạch cơ bản để đo thử dòng rò collector-base, nhưng mạch (a) và (b) là thông dụng nhất. Quy trình thực hiện đo thử theo các mạch ở hình 4.1, là như nhau. Nguồn điện áp được điều chỉnh đến trị số đã cho (phân cực ngược), nên dòng rò (nếu có sẽ được chỉ thị trên đồng hồ). Dòng rò phải thấp

dưới mức lớn nhất đã xác định đối với điện áp phân cực ngược cho trước.



Hình 4.1: Mạch đo thử dòng rò collector của BJT pnp và npn.

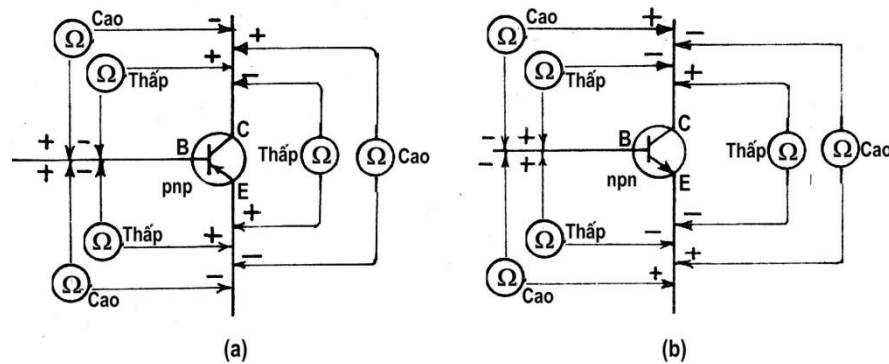
Nhiệt độ là yếu tố quan trọng khi đo dòng rò. Ví dụ, mức dòng rò collector lớn nhất của BJT làm việc ở dải video điện hình ở 25°C là 2μA với điện áp giữa collector-base là 30V. Khi giảm thấp mức điện áp đến 5V (đối với các mạch số thông dụng) và nhiệt độ tăng lên đến 150°C, thì mức dòng rò collector lớn nhất là 50μA.

**b) Dòng rò emitter**

Một vài trang số liệu cũng có ghi mức dòng rò emitter, nhưng mức dòng rò emitter không phải là thông số phổ biến, vì tiếp giáp emitter-base được phân cực thuận với phần lớn các mạch BJT. Nếu cần thiết có thể dùng mạch ở hình 4.1, để đo thử mức dòng rò emitter-base ( $I_{eo}$  hoặc  $I_{ebo}$ ) chỉ cần thay đổi vị trí cực collector cho emitter. Tiếp giáp emitter-base được phân cực ngược, điện cực collector hở mạch nên đồng hồ được mắc ở mạch emitter-base, tương tự khi đo dòng rò collector-base.

**c) Đo thử dòng rò của BJT bằng đồng hồ đo điện trở**

Có thể kiểm tra nhanh mức độ rò bằng ohmmeter, vì BJT được xem như hai diode đầu ngược nhau. Mỗi diode sẽ biểu hiện điện trở thuận nhỏ và điện trở ngược lớn. Các điện trở thuận, nghịch có thể đo bằng ohmmeter như vẽ ở hình 4.2.



Hình 4.2: đo thử độ rò của BJT bằng Ohmmeter (a) pnp, (b) npn.

Trên cùng một thang đo của ohmmeter, đo điện trở ở mỗi cặp chân (base-emitter, base-collector, và collector-emitter). Đối với BJT công suất, giữa collector-emitter có thể chỉ thị ohm thấp.

Chú ý là không nên sử dụng thang đo  $R \times 1$  của ohmmeter vì điện áp nguồn trong ohmmeter cao, có thể làm hỏng transistor công suất thấp.

Nếu phép đo có cả số chỉ thị điện trở thuận và nghịch đều rất lớn, thì BJT bị hở mạch. Ngược lại, chỉ thị số đo bất kỳ biểu hiện sự ngắn mạch hoặc điện trở rất nhỏ thì BJT bị ngắn mạch hoặc quá rò. Nếu số chỉ thị điện trở thuận và nghịch bằng nhau (hoặc gần bằng nhau) thì BJT hỏng.

Điện trở thuận điển hình trong khoảng vài trăm ohm (từ 300Ω ÷ 700Ω), điện trở nghịch điển hình vào khoảng vài chục kΩ (tức là từ 10kΩ ÷ 60kΩ). Trị số điện trở thực phụ thuộc thang đo của ohmmeter và điện áp nguồn pin mà không phụ thuộc đặc tính BJT thuận-nghịch. Do đó, tỷ số của điện trở thuận và nghịch là chỉ báo tốt nhất để đánh giá BJT. Phần lớn BJT có tỷ số điện trở thuận-nghịch vào khoảng 1:30 và một số transistor là 1:100 hoặc nhỏ hơn.

Lưu ý: Không được đo thử bất kỳ đặc tính nào khác của transistor ngoài các đặc tính đã nêu. Transistor có thể bị hỏng nếu không tuân theo đúng quy tắc dưới đây. Ngay cả khi không bị hỏng thì kết quả đo

thử cũng không chính xác.

Không bao giờ đo thử transistor với điện áp hoặc dòng lớn hơn các trị số danh định. Dòng danh định lớn nhất thường bị bỏ qua. Ví dụ, transistor được thiết kế để làm việc với điện áp collector lớn nhất là 45V, BJT có thể được coi là an toàn đối với nguồn 9V khi đo thử. Tuy nhiên, giả sử transistor có điện trở trong (emitter-collector) là  $90\Omega$ , và dòng collector danh định lớn nhất là 25mA. Khi nối trực tiếp 9V giữa collector và emitter, thì dòng chảy qua collector-emitter là 100mA, như vậy là gấp 4 lần dòng danh định lớn nhất, sẽ gây quá nhiệt cho tiếp giáp và làm hỏng transistor.

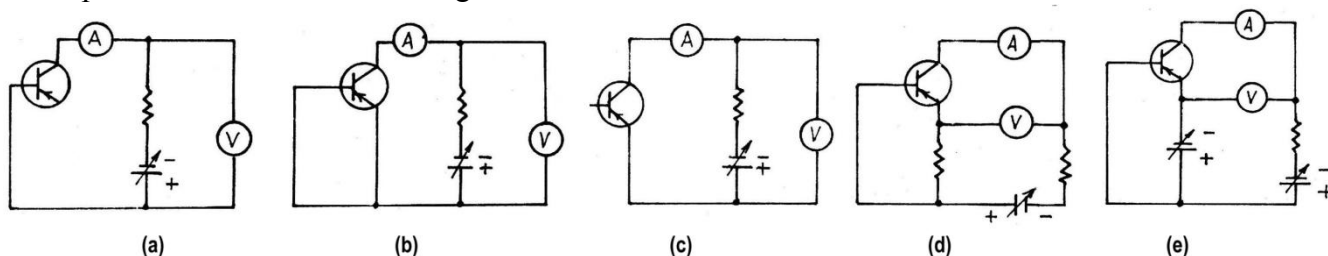
#### 4.1.3 ĐO THỬ ĐIỆN ÁP ĐÁNH THÙNG TRANSISTOR

Mạch và quy trình đo thử *đánh thủng transistor* như đo thử dòng rò. Đo thử đánh thủng quan trọng nhất là để xác định mức điện áp đánh thủng collector-base, trong đó tiếp giáp collector-base được phân cực ngược với emitter hở mạch và điều chỉnh nguồn điện áp đạt đến trị số đã cho của dòng rò, rồi so sánh với mức điện áp đánh thủng collector nhỏ nhất đã xác định đối với transistor. Ví dụ, điện áp đánh thủng collector nhỏ nhất là 45V (với dòng rò  $50\mu\text{A}$  tại nhiệt độ môi trường đo là  $25^\circ\text{C}$ ). Nếu có mức dòng rò  $50\mu\text{A}$  chảy qua khi điện áp nhỏ hơn 45V thì tiếp giáp collector-base bị đánh thủng.

Một thử nghiệm đánh thủng khác ghi ở một số trang số liệu là mức điện áp đánh thủng collector-emitter. Ở phép đo thử này collector và emitter được phân cực ngược, để hở mạch base. Điều chỉnh nguồn điện áp để có trị số đã cho của dòng rò chảy qua cả hai tiếp giáp collector-base và emitter-base. Đo thử điện áp đánh thủng collector-emitter cũng đồng thời xác định tình trạng cả hai tiếp giáp.

Ở hầu hết các trang số liệu, điện áp đánh thủng được ký hiệu là  $BV_{CBO}$  (collector-base với emitter hở mạch),  $BV_{CES}$  (emitter ngắn mạch với base) hoặc  $BV_{CEO}$  (collector-emitter, với base hở mạch). Mức điện áp đánh thủng thường đo với emitter (hoặc base) để hở, nhưng cũng có thể đo với emitter ngắn mạch với base hoặc nối với base qua điện trở hoặc với phân cực ngược tiếp giáp emitter-base.

Hình 4.3, là các mạch cơ bản để đo thử điện áp đánh thủng đối với transistor *pnp*. Có thể dùng các mạch hình 4.3, để đo transistor *npn* với các nguồn điện áp được đảo cực tính. Trong tất cả các trường hợp, nguồn điện áp được điều chỉnh theo dòng rò đã cho, rồi sau đó so sánh mức điện áp đo được với mức điện áp nhỏ nhất đã xác định ở trang số liệu.



Hình 4.3: Mạch đo áp đánh thủng. (a)  $BV_{cbo}$ ; (b)  $BV_{ces}$ ; (c)  $BV_{ceo}$ ; (d)  $BV_{cer}$ ; (e)  $BV_{cex}$ .

#### 4.1.4 ĐO THỬ HỆ SỐ KHUYẾT ĐẠI CỦA BJT

Hệ số khuếch đại động của transistor được xác định bằng độ thay đổi tín hiệu ra đối với sự thay đổi tín hiệu vào. Thực tế là đo sự thay đổi dòng ra đối với sự thay đổi đã cho ở dòng vào, khi giữ mức điện áp ra không đổi.

Khi transistor mắc trong mạch base-chung, collector tạo thành mạch ra và emitter tạo thành mạch vào. Hệ số khuếch đại dòng ở mạch base-chung được gọi là alpha,  $\alpha$ .

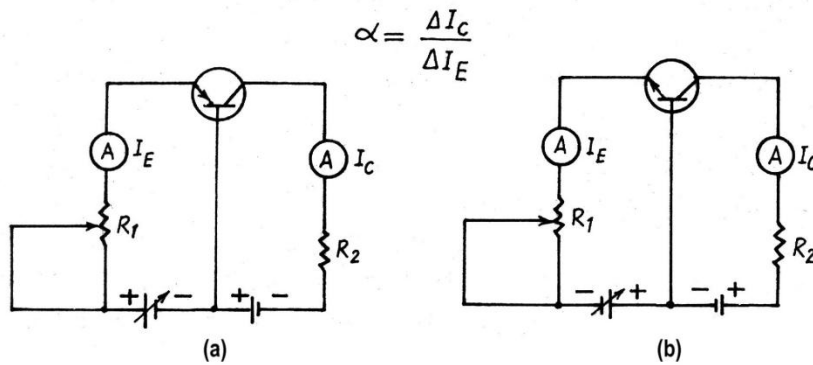
Hệ số khuếch đại ghi ở hầu hết các trang số liệu là transistor mắc theo mạch emitter-chung mà không phải là mạch base-chung. Ở mạch emitter-chung, base là đầu vào, collector là đầu ra. Hệ số khuếch đại dòng ở mạch emitter-chung được gọi là beta,  $\beta$ .

Ngoài các hệ số khuếch đại alpha và beta, các trang số liệu còn có thêm một số thuật ngữ khác để chỉ độ khuếch đại như *hệ số truyền đạt dòng thuận* và  $h_{fe}$  là thông dụng nhất để chỉ độ khuếch đại dòng của BJT. Khi dùng các chữ thường  $h_{fe}$  để ghi đặc tính của BJT là cho biết độ khuếch đại dòng được đo bằng cách ghi sự thay đổi của dòng xoay chiều ở collector đối với sự thay đổi đã cho của dòng xoay chiều ở base, tức là hệ số  $\beta$  xoay chiều hoặc  $\beta$  động. Khi thể hiện bằng chữ in  $h_{FE}$  hoặc  $H_{FE}$  trong các thông số kỹ thuật của BJT tức là hệ số khuếch đại dòng được đo bằng cách ghi sự thay đổi dòng *dc* ở collector với dòng *dc* đã cho ở base hay gọi là  $\beta_{dc}$ .

Đo hệ số khuếch đại xoay chiều - một chiều. Đo độ khuếch đại dòng một chiều tiến hành với các điều kiện đo ở khoảng rộng hơn và dễ thực hiện hơn. Đo độ khuếch đại  $ac$  cần mạch đo thử phức tạp hơn và kết quả đo thử thay đổi theo tần số của tín hiệu  $ac$  dùng để đo thử. Tuy nhiên, phép đo độ khuếch đại  $ac$  là thực tế hơn vì các transistor thường làm việc với các tín hiệu  $ac$ .

### a) Đo thử hệ số khuếch đại $dc$ của BJT

**Đo hệ số khuếch đại  $\alpha$ .** Hình 4.4, là mạch đo  $\alpha$  cơ bản của BJT  $pnp$  và  $npn$ . Cả dòng emitter  $I_E$  và dòng collector  $I_C$  được đo ở điều kiện tĩnh. Sau đó thay đổi dòng  $I_E$  bằng  $R_1$  hoặc bằng cách thay đổi điện áp nguồn emitter-base và giữ cố định điện áp collector.



Hình 4.4: Mạch đo thử alpha của BJT  $pnp$  và  $npn$ .

không đổi, thay đổi dòng base  $I_B$  theo lượng đã cho và ghi nhận độ chênh lệch ở dòng collector  $I_C$ , để xác định beta. Ví dụ, giả sử đo lần đầu dòng base  $I_B$  là 7mA và dòng collector  $I_C$  là 43mA. Khi dòng  $I_B$  tăng lên mức 10mA (tăng 3mA), dòng  $I_C$  tăng lên đến 70mA (tăng 27mA), tức là  $I_C$  tăng 27mA đối với dòng  $I_B$  tăng 3mA, nên hệ số khuếch đại dòng  $\beta$  là 9 (27mA/3mA).

**Các điểm lưu ý khi đo thử hệ số khuếch đại của BJT.** Khi dùng mạch ở hình 4.4, và 4.5, thay cho thiết bị đo thử transistor, cần phải lưu ý các điểm sau:

1. Điện trở tải collector và emitter (hoặc base) (thể hiện bằng  $R_1$  và  $R_2$  trên hình 4.4, và 4.5) phải có trị số thích hợp để hạn dòng, đảm bảo không vượt quá mức dòng lớn nhất của BJT. Trong trường hợp BJT công suất, trị số công suất danh định của điện trở tải phải đủ lớn để tiêu tán nhiệt.

2. Ở phép đo có dòng rò collector lớn, dòng rò phải được tính đến theo các điều kiện đo thử. Đo dòng rò bằng cách dùng cùng cách đo dòng và điện áp như đối với phép đo thử hệ số khuếch đại. Sau đó trừ mức dòng rò khỏi mức dòng  $I_C$  khi đo thử hệ số khuếch đại.

3. Tác động của đồng hồ đo trong mạch đo thử cũng phải đưa vào tính toán. Nếu  $I_B$ ,  $I_C$  và  $I_E$  có trị số nhỏ (thường ở khoảng đo microampe) thì bất kỳ mức dòng nào ở chỉ thị của đồng hồ đo cũng ảnh hưởng đến phép đo thử.

**b) Đo thử hệ số khuếch đại  $ac$  của BJT**

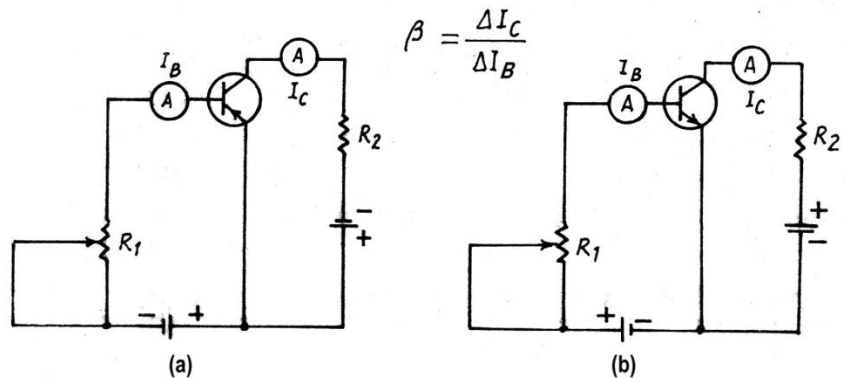
Có một số mạch dùng để đo thử  $ac$  hoặc thử động của BJT. Một số bộ đo thử transistor dùng mạch giống mạch cơ bản ở hình 4.4, và 4.5, ngoại trừ là tín hiệu  $ac$  được đưa đến đầu vào và hệ số khuếch đại được đo ở đầu ra. Muốn đo thử transistor ở các tần số cao, một số mạch đo thử lấy tín hiệu tần số cao từ máy tạo tín hiệu tần số cao ngoài.

### c) Đo thử hệ số khuếch đại của BJT bằng Ohmmeter

Có thể kiểm tra nhanh độ khuếch đại của BJT bằng Ohmmeter. Mạch đo cơ bản như ở hình 4.6. Ở trạng thái bình thường chỉ có mức dòng nhỏ hoặc không có dòng chảy giữa emitter và collector cho đến

Ghi nhận độ chênh lệch dòng  $I_C$  và tính trị số  $\alpha$  theo công thức ghi trên hình. Ví dụ, giả sử độ thay đổi của dòng emitter  $I_E$  là 4mA dẫn đến độ thay đổi của dòng collector  $I_C$  là 3mA, thì hệ số khuếch đại dòng là 0,75 (3mA/4mA).

**Đo hệ số khuếch đại  $\beta$ .** Hình 4.5, là mạch đo thử  $\beta$  cơ bản của BJT  $pnp$  và  $npn$ . Cả dòng base  $I_B$  và dòng collector  $I_C$  đều được đo ở điều kiện tĩnh. Sau đó giữ điện áp collector



Hình 4.5: Mạch đo thử hệ số khuếch đại beta của BJT  $pnp$  và  $npn$ .



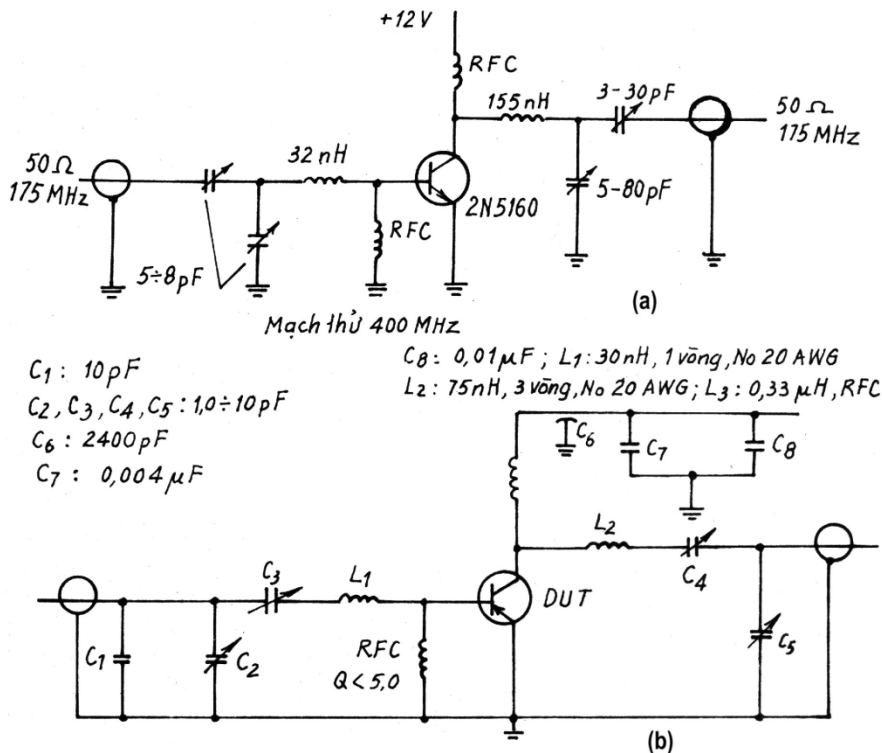
khi tiếp giáp base-emitter được phân cực thuận. Đặc tính này dùng làm cơ sở để đo thử độ khuếch đại của BJT.

Trong đó sử dụng Ohmmeter ở thang đo  $R \times 1$  với nguồn áp trong đồng hồ đo không vượt quá mức điện áp đánh thủng collector-emitter lớn nhất. Khi  $S_1$  vị trí A, không có điện áp đưa đến base nên tiếp giáp base-emitter không được phân cực thuận. Do đó ohmmeter chỉ thị mức điện trở lớn. Khi  $S_1$  đặt ở vị trí B, tiếp giáp base-emitter được phân cực thuận (bằng mức phân áp trên  $R_1$  và  $R_2$ ) nên có dòng chảy trong mạch emitter-collector, chỉ thị mức điện trở nhỏ trên ohmmeter. Tỷ số điện trở là 10:1 (hoặc có thể lớn hơn) là thông thường với phần lớn BJT.

#### d) Đo thử hệ số khuếch đại RF của BJT

Các phép đo thử đề cập ở phần trên dùng để xác định hệ số khuếch đại của BJT làm việc ở tần số thấp, mà không xác định được hệ số khuếch đại của BJT tần số cao (RF).

Cách đo thử duy nhất là đo hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại (hoặc độ khuếch đại điện áp hoặc độ khuếch đại công suất) là mắc cấu kiện trong mạch đang làm việc và đo hệ số khuếch đại thực. Phương pháp thực tế nhất là đo hệ số khuếch đại cho cấu kiện đang làm việc trong mạch sử dụng cấu



Hình 4.7: Mạch đo thử hệ số khuếch đại RF điển hình của BJT.

kiện. Tuy nhiên, thuận tiện hơn là sử dụng các mạch đo đa năng hoặc mạch chuẩn để đo thử độ khuếch đại BJT khác, với các tần số khác bằng cách thay đổi trị số của mạch.

Sử dụng mạch ở hình 4.7, cũng chỉ đơn giản là đưa tín hiệu RF (ở tần số cần quan tâm) đến đầu vào và đo cả điện áp đầu vào và điện áp đầu ra bằng Voltmeter RF (hoặc đồng hồ có đầu đo RF). Nếu cần đo hệ số khuếch đại công suất thì dùng điện trở tải ở đầu vào và đầu ra (điện trở thuần). Đo điện áp RF đầu vào và đầu ra, rồi tính độ khuếch đại công suất theo  $P = E^2/R$ . Tỷ số của mức công suất ra / mức công suất vào chính là hệ số khuếch đại công suất.

#### 4.1.5 ĐO THỬ ĐẶC TÍNH CHUYỂN MẠCH CỦA BJT

Khi sử dụng BJT trong các mạch ứng dụng xung-số, cần phải đo thử các đặc tính chuyển mạch của BJT, chẳng hạn như đo độ trễ thời gian trước lúc xung xuất hiện ở đầu ra khi đưa tín hiệu xung đến đầu vào của transistor. Tương tự, khi xung đã kết thúc ở đầu vào, có một độ trễ bổ sung trước khi xung ra của transistor trở về mức bình thường. Khoảng thời gian chuyển mạch hoặc thời gian đóng và ngắt thường là  $\mu\text{s}$  hoặc  $\text{ns}$  đối với các transistor xung và số.

Đặc tính chuyển mạch của BJT dùng cho mạch số thường được ghi ở trang số liệu. Mỗi hãng sản xuất BJT ghi theo kiểu riêng. Tuy nhiên, có 4 thông số (thời gian tăng, thời gian giảm, thời gian trễ và thời

gian tồn tại xung) là thông dụng ở phần lớn các trang số liệu của transistor dùng để làm việc với tín hiệu xung-số.

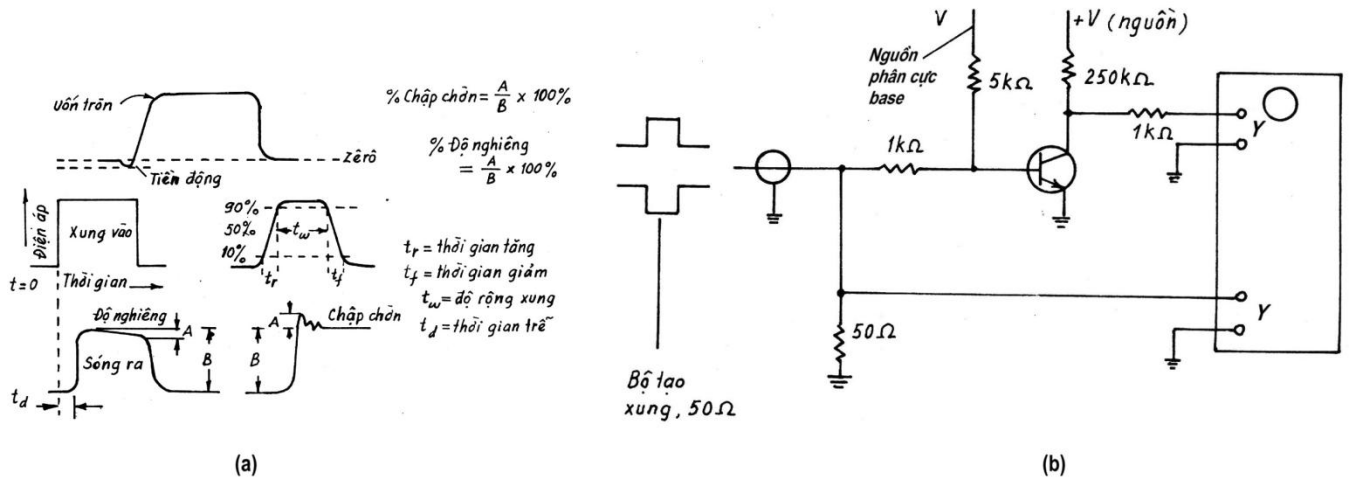
Đặc tính chuyển mạch của BJT đặc biệt quan trọng khi khoảng thời gian tồn tại xung ngắn. Ví dụ, giả sử thời gian chuyển sang dẫn (turn-on) của transistor là 10ns và thời gian tồn tại xung là 5ns được đưa đến đầu vào của transistor thì sẽ không có xung ở đầu ra hoặc có xung bị méo dạng.

**a) Các thông số của xung vuông**

Các thông số của xung và sóng vuông cũng được dùng cho transistor.

Các thuật ngữ minh họa ở hình 4.8a, thường được dùng khi mô tả các đặc tính của xung cũng như sóng vuông. Xung vào biểu diễn bằng dạng sóng vuông lý tưởng để so sánh với dạng sóng ra điển hình (để biết quan hệ giữa đầu vào và đầu ra). Các đặc tính của xung được định nghĩa như sau:

*Thời gian lên* ( $t_r$ ) là khoảng thời gian để biên độ điện áp ra thay đổi từ mức 10% đến 90% của biên độ lớn nhất ở sườn lên của xung.



Hình 4.8: (a) định nghĩa xung, (b) Mạch đo thử đặc tính chuyển mạch của BJT.

*Thời gian xuống* ( $t_f$ ) là khoảng thời gian để biên độ điện áp ra thay đổi từ mức 90% đến 10% của biên độ lớn nhất ở sườn xuống của xung.

*Độ rộng xung* ( $t_w$ ) là khoảng thời gian đo được giữa các mức biên độ là 50% của biên độ lớn nhất ở sườn lên và sườn xuống của xung.

*Thời gian trễ* ( $t_d$ ) là khoảng thời gian giữa lúc khởi đầu của xung vào ( $t = 0$ ) và thời điểm khi phần lên của xung ra đạt đến mức biên độ là 10% mức biên độ lớn nhất ở sườn lên của xung.

Các thuật ngữ khác ghi trên hình 4.8a.

**b) Đo thử thời gian chuyển mạch của BJT**

Hình 4.8b, là mạch dùng để đo thử đặc tính chuyển mạch của BJT bằng máy hiện sóng vệt kép. Máy hiện sóng cần phải có đáp tuyến tần số rộng và đặc tính quá độ tốt (thời gian tăng nhanh hơn thời gian tăng của xung cần đo).

Kênh dọc của máy hiện sóng được định chuẩn theo điện áp thông thường và kênh ngang phải định chuẩn theo thời gian (mà không chuẩn theo tần số quét). BJT cần đo thử sẽ nhận xung vào base với phân cực riêng đặt vào base, đồng thời xung vào cũng đưa đến một trong các đầu vào dọc của máy hiện sóng.

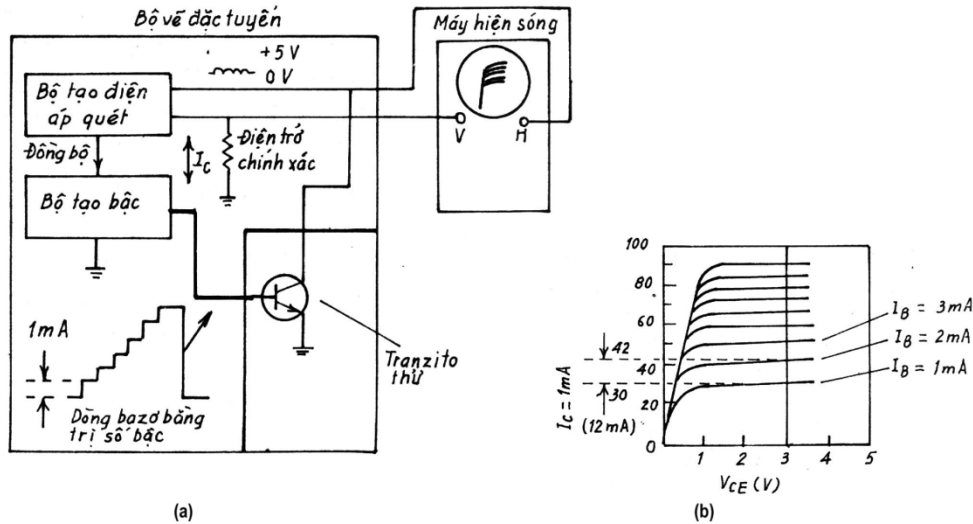
Đầu ra collector của BJT (đảo pha 180° vì mạch emitter-chung) được đưa đến đầu vào dọc còn lại của máy hiện sóng. Hai xung (vào và ra) sẽ được so sánh về thời gian tăng, thời gian giảm, thời gian trễ, thời gian tồn tại xung v. v. . . Đặc tính xung ra của BJT cần phải được so sánh với các đặc điểm kỹ thuật của BJT ghi ở trang số liệu của nhà sản xuất.

**4.1.6 ĐO THỬ BJT BẰNG BỘ VẼ ĐẶC TUYẾN**

Đối với transistor được xem là còn tốt khi dùng bộ đo thử BJT (trong mạch hoặc ngoài mạch, hoặc cả hai) và thông qua phép đo thử đặc tính chuyển mạch RF ghi ở trang số liệu (mục 4.1.4 và 4.1.5). Tuy vậy, phép đo thử chỉ hoàn chỉnh khi sử dụng bộ vẽ họ đặc tuyến cơ bản của BJT. Công dụng của bộ vẽ họ đặc tuyến còn dùng để kiểm tra đặc tuyến của cấu kiện khác nhau (FET, UJT, SCR v. v. . .).

### a) Đo thử BJT bằng bộ vẽ đặc tuyến

Hình 4.9, là sơ đồ khối cơ bản của bộ vẽ họ đặc tuyến điển hình khi đo thử BJT, bộ vẽ họ đặc tuyến tạo ra các mức thay đổi ở dòng base theo các trị số bằng nhau (có thể chọn nấc trị số đã biết). Các mức dòng xuất hiện ở cùng tốc độ khi điện áp cung cấp cho collector được quét giữa 0V và trị số đỉnh nào đó và trở về 0, tức là tạo nên đặc tuyến riêng ứng với mỗi trị số khác nhau của dòng base.



Hình 4.9: Cách nối mạch đo thử và hình hiện trên máy hiện sóng của bộ vẽ đặc tuyến ra của BJT.

Khi các đặc tuyến thể hiện quan hệ dòng collector đối với điện áp collector (theo các trị số khác nhau của dòng base), sự thay đổi ở dòng collector được tăng theo từng bậc của dòng base tỷ lệ với khoảng cách đứng giữa các đặc tuyến kề nhau. Sự thay đổi ở dòng collector có thể đọc trực tiếp trên thang đo ở màn hình của máy hiện sóng. Mỗi mức dòng collector tương ứng với điện áp collector riêng.

BJT mắc trong mạch đo thử hình 4.9, theo kiểu mạch emitter nối đất. Các bậc dòng chính xác 1mA được đưa đến base. Điện áp quét từ 0 đến khoảng 5V được đưa đến collector. Độ lệch đứng của máy hiện sóng nhận được theo kết quả dòng collector. Toàn bộ thao tác đo được thực hiện bằng cách điều chỉnh các chuyển mạch trên bộ vẽ họ đặc tuyến.

Ở một số bộ vẽ họ đặc tuyến, mỗi sóng quét phải bắt đầu riêng biệt, trong khi thiết bị vẽ khác tự động tạo ra một loạt 10 đặc tuyến (hoặc hơn) liên tiếp. Khi đã có họ đặc tuyến, thì có thể xét như sau:

Chọn đường thẳng đứng tương ứng với điện áp collector xác định, chẳng hạn chọn đường thẳng đứng ở mức 3V như ở hình 4.9. Đánh dấu (trên đường thẳng đứng đã chọn) khoảng cách giữa hai đặc tuyến xuất hiện ở phía trên và dưới mức dòng base đã xác định (hoặc mức dòng collector đã xác định). Ví dụ, giả sử BJT ở mạch đo thử hình 4.9, được cho hoạt động với mức dòng collector từ 30mA đến 40mA tương ứng với mức 3V ở collector. Hai đặc tuyến hợp lý nhất là đặc tuyến có mức dòng base 1mA và 2mA. Khoảng cách giữa các đặc tuyến biểu diễn độ chênh lệch dòng collector là 12mA. Đặc tuyến có mức dòng base 1mA cắt đường đường dọc 3V ở mức 30mA và đặc tuyến ứng với dòng base 2mA cắt đường thẳng dọc 3V ở mức dòng collector 42mA.

Lấy tỷ số giữa độ chênh lệch dòng collector và độ chênh lệch dòng base đã tạo ra. Vì mỗi bậc của dòng base là 1mA và chênh lệch ở dòng collector là 12mA, nên hệ số khuếch đại ( $\beta$ ) là 12. Nếu mỗi bậc của dòng base là 0,1mA (như ở một số bộ vẽ đặc tuyến) và các điều kiện khác là như nhau thì  $\beta = 120$  ( $12/0,1 = 120$ ).

### b) Đo thử $\beta$ xoay chiều bằng bộ vẽ đặc tuyến

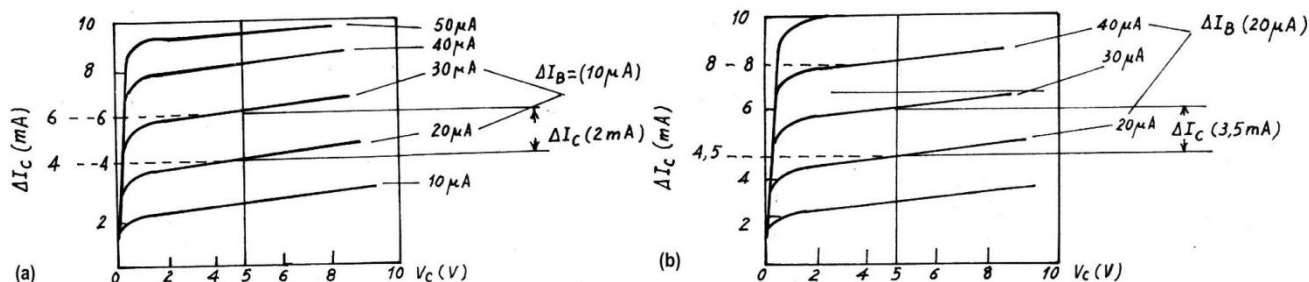
Hình 4.10, cho thấy kỹ thuật sử dụng bộ vẽ đặc tuyến để đo thử  $\beta_{ac}$  (công dụng chính của bộ vẽ đặc tuyến). Theo định nghĩa, hệ số khuếch đại dòng động hay  $ac$  của BJT có thể xác định bằng tỷ số của độ thay đổi ở dòng collector đối với độ thay đổi ở dòng base (tại mức điện áp collector đã xác định).

Đo độ chênh lệch dòng collector ( $\Delta I_C$ ) giữa hai đặc tuyến trên hình hiện ở màn hình của máy hiện sóng (chỉnh các chức năng điều khiển của bộ vẽ đặc tuyến và / hoặc máy hiện sóng xác định lượng dòng collector được thể hiện theo mỗi vạch chia đứng của thang đo hình hiện). Ở hình 4.10, mỗi vạch đứng thể hiện mức dòng collector là 2mA). Phải đảm bảo cả hai số đo dọc đặc tuyến được chọn ở cùng mức

điện áp collector, ở hình 4.10, cả hai số đo dọc được lấy ở mức 5V.

Ghi nhận độ thay đổi ở dòng base ( $\Delta I_B$ ) tạo ra theo mỗi đặc tuyến. Trong hình 4.10, mỗi đặc tuyến được tạo nên bởi độ thay đổi  $10\mu\text{A}$ . Do vậy,  $\Delta I_B$  là  $10\mu\text{A}$  đối với đặc tuyến bất kỳ. Xác định  $\beta$  bằng cách chia  $\Delta I_C$  cho  $\Delta I_B$ . Ví dụ, nếu  $\Delta I_C = 2\text{mA}$  và  $\Delta I_B = 10\mu\text{A}$  (hình 4.10a) thì  $\beta_{ac} = 200$ .

Để dễ dàng hơn nên sử dụng hai đặc tuyến ở chính giữa hình hiện để đo  $\beta_{ac}$ . Tuy nhiên, nếu khó khăn trong việc xác định  $\Delta I_C$  của hai đặc tuyến kề nhau thì có thể đo  $\Delta I_C$  giữa hai đặc tuyến không kề nhau. Ví dụ, độ chênh lệch giữa mức dòng collector của đặc tuyến thứ 2 và đặc tuyến thứ 4 được chọn để đo  $\Delta I_C$  như vẽ ở hình 4.10b, thì phải sử dụng 2 bậc của dòng base để xác định  $\Delta I_B$  khi tính  $\beta$ . Dùng các trị ở hình 4.10b, thì  $\beta_{ac}$  là  $3,5\text{mA}/20\mu\text{A} = 175$  (tại mức  $V_C = 5\text{V}$ ).



Hình 4.10: Sử dụng phương pháp vẽ đặc tuyến để đo  $\beta_{ac}$ .

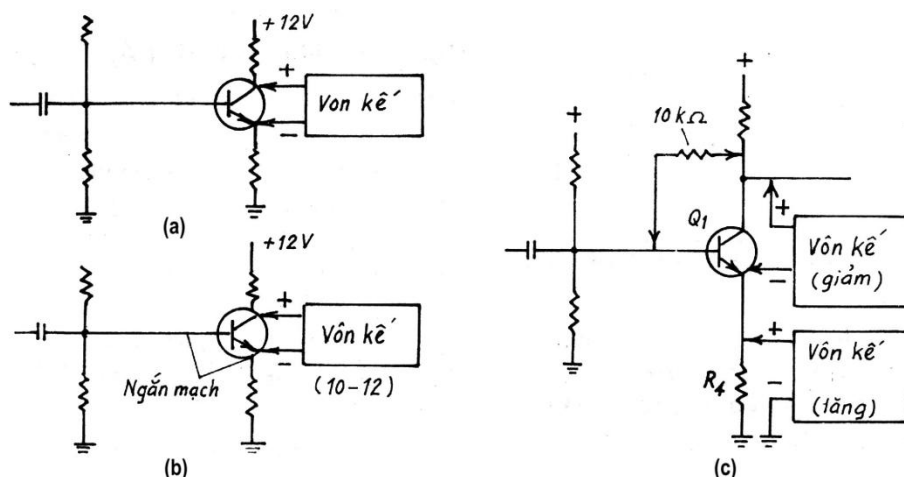
Nếu có sẵn trang số liệu của BJT thì đo  $\beta_{ac}$  ở mức dòng collector xấp xỉ và mức điện áp đã xác định. Nếu không có trị số đã xác định, thì điều chỉnh bộ vẽ đặc tuyến để hiện hình đặc tuyến có khoảng cách rộng và đều đặn.

#### 4.1.7 ĐO THỬ BJT TRONG MẠCH

Hai phương pháp đo thử transistor trong mạch gồm: phương pháp ngắt điện áp phân cực thuận và phương pháp cần phải bổ sung điện áp phân cực thuận từ ngoài vào mạch phân cực.

##### a) Đo thử BJT trong mạch bằng cách ngắt điện áp phân cực thuận

Hình 4.11a, là cách mắc mạch để đo thử BJT trong mạch bằng cách ngắt điện áp phân cực thuận. Trước tiên, đo điện áp emitter-collector ở trạng thái mạch hoạt động bình thường, sau đó ngắt mạch tiếp giáp emitter-base và ghi nhận mức thay đổi điện áp emitter-collector. Nếu transistor đang hoạt động thì khi ngắt phân cực thuận sẽ làm ngưng dòng collector nên điện áp đo được giữa emitter-collector phải tăng lên (hoặc gần bằng) 12V. Nếu điện áp  $V_{CE}$  không thay đổi khi ngắt mạch emitter-base thì transistor hỏng hoặc có thể bị rò mạnh.



Hình 4.11: Cách đo thử hoạt động của BJT trong mạch.

##### b) Đo thử BJT trong mạch khi bổ sung mức điện áp phân cực thuận ngoài vào mạch

Hình 4.11b, là cách mắc mạch để đo thử BJT bằng cách đưa điện áp phân cực thuận vào mạch. Đầu tiên đo độ chênh lệch điện áp emitter-collector ở trạng thái mạch bình thường (hoặc đo điện áp trên  $R_4$  như hình vẽ). Tiếp theo mắc điện trở  $10\text{k}\Omega$  giữa collector và base, và chú ý sự thay đổi bất kỳ ở điện áp

emitter-collector (hoặc sự thay đổi điện áp trên  $R_4$ ).

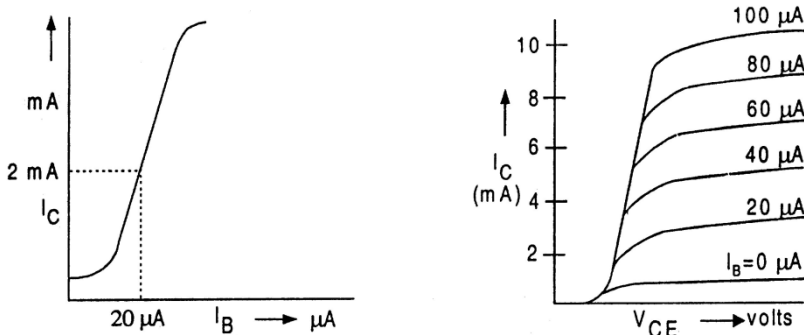
Nếu BJT đang hoạt động thì việc đưa thêm điện áp phân cực thuận vào base sẽ gây ra dòng collector (hoặc tăng lên), nên điện áp emitter-collector giảm (hoặc điện áp trên  $R_4$  tăng lên). Nếu  $V_{CE}$  không thay đổi khi bổ sung mức điện áp phân cực thuận thì BJT hỏng.

### c) Đo thử trạng thái BJT làm việc / không làm việc

Cách đo thử ở mạch đo hình 4.11, cho biết transistor đang hoạt động trên cơ sở làm việc / không làm việc, và thường là đủ đối với các ứng dụng để phát hiện BJT hỏng. Tuy phép đo thử không cho biết độ khuếch đại hoặc độ rò của transistor và không xác định được trạng thái của BJT hoạt động ở tần số cao. Do đó, cách đo thử transistor duy nhất đáp ứng là đo thử hoạt động trong mạch. Nếu transistor không hoạt động đúng chức năng đã định trong mạch thì phải thay transistor.

### 4.1.8 HOẠT ĐỘNG KHUYẾCH ĐẠI CỦA BJT

Hoạt động chuyển tiếp dòng điện từ emitter đến collector của BJT có thể xem là dùng một dòng điện nhỏ đưa vào mạch base (để giữ tiếp giáp emitter được phân cực thuận), sẽ dẫn đến dòng emitter lớn phù hợp trong mạch collector và điện trở tải. Ví dụ, dòng base  $20 \mu\text{A}$  có thể tạo ra dòng collector  $2\text{mA}$ , suy ra hệ số khuếch đại dòng là 100, thể hiện bởi họ đặc tuyến ở hình 4.12a, và b.



Hình 4.12: (a) đặc tuyến truyền đạt.

(b) Họ đặc tuyến ra của BJT.

Hình 4.12a, là đặc tuyến giữa dòng base và dòng collector (đặc tuyến truyền đạt). Mức dòng  $I_C$  nhỏ ngay cả khi  $I_B$  bằng 0, sẽ cho biết mức dòng rò qua BJT. Hình 4.12b, các đặc tuyến của dòng ra theo điện áp collector – emitter ( $V_{CE}$ ) đối với các mức dòng base khác nhau.

BJT là cấu kiện nhạy dòng. Dòng collector bằng hiệu của dòng emitter và dòng base. Do mức dòng base nhỏ không đáng kể, nên dòng emitter xấp xỉ bằng dòng collector trong các tính toán thực tế.

### a) Các thông số của transistor trong mạch.

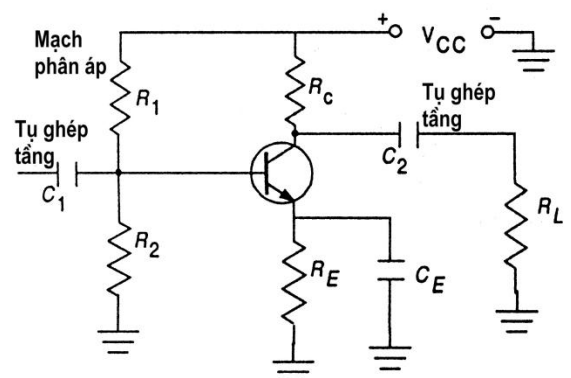
Transistor được đặc trưng bởi hệ số khuếch đại dòng điện, hay tỷ số của độ thay đổi ở dòng ra theo độ thay đổi ở dòng vào), điện trở vào, điện trở ra, hệ số khuếch đại điện áp và độ rộng băng tần. Tần số lớn nhất,  $f_t$  là tần số mà tại đó hệ số khuếch đại trở nên bằng đơn vị, cũng là một trong các thông số của transistor, và tương đương với tích hệ số khuếch đại và độ rộng băng tần đối với mạch khuếch đại  $dc$  và tần số thấp.

### b) Phân cực cho mạch khuếch đại bằng transistor.

Thay cho việc sử dụng hai nguồn cung cấp riêng biệt (một nguồn để phân cực tiếp giáp collector-base, và nguồn còn lại phân cực cho tiếp giáp emitter-base). Để sử dụng chỉ một bộ nguồn đơn, cần phải cung cấp điện áp  $dc$  cố định đến base nhờ mạch phân áp như ở mạch hình 4.13, cho transistor  $n\text{pn}$ . Đối với transistor  $p\text{np}$ , sử dụng nguồn pin có cực tính ngược lại.

Nguồn điện áp  $dc$  đơn gọi là  $V_{CC}$  (điện áp nguồn cung cấp trên mạch collector). Hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$  tạo thành mạch phân áp, làm cho mức điện áp tại base bằng  $V_{CC} \times R_2 / (R_1 + R_2)$ .

Điện áp base đối với điện áp emitter do dòng emitter gây ra trên điện trở emitter sẽ cho mức điện áp phân cực yêu cầu. Ví dụ, cho điện áp base là  $2\text{Vdc}$  do mạch phân áp tạo

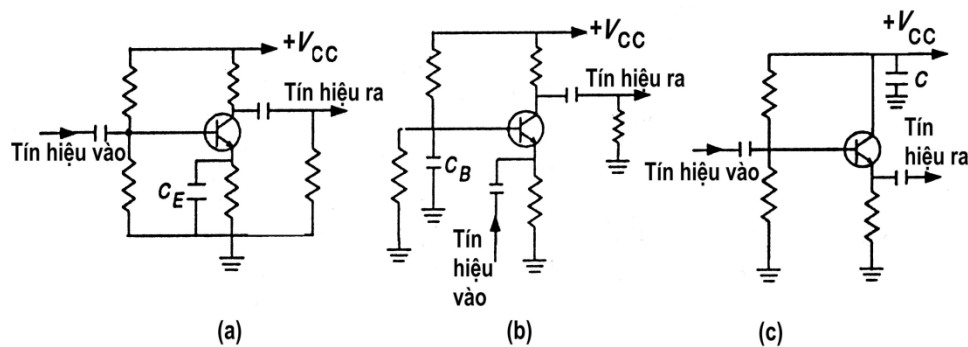


Hình 4.13: Mạch phân cực cho transistor npn.

ra, và nếu điện áp base so với điện áp emitter yêu cầu mức  $0,7V_{dc}$  (đối với transistor silicon) để phân cực thuận tiếp giáp emitter, thì điện áp emitter sẽ phải bằng  $1,3V_{dc}$ , được tạo ra bằng cách sử dụng điện trở  $R_E$  trong mạch emitter,  $R_E$  cần phải có trị số để dòng chảy qua sẽ tạo ra điện áp emitter bằng  $1,3V$ . Cấu hình mạch phân áp sẽ cho điện áp phân cực ổn định. Nếu do nhiệt độ tăng lên, dòng rò qua tiếp giáp collector - base và cả chảy qua  $R_2$  sẽ tăng lên, điện áp base sẽ tăng (tạo ra dòng collector lớn hơn và do đó nhiệt độ cao hơn). Tác động tích lũy này được gọi là sự gia nhiệt, rất dễ làm hỏng transistor. Nhưng khi dòng rò tăng cũng sẽ làm tăng dòng emitter, điện áp emitter tăng, làm giảm điện áp phân cực base - emitter nên cân bằng độ tăng lên ở dòng collector, tạo ra sự ổn định do nhiệt độ. Do tính ổn định nhiệt, mà mạch phân cực phân áp (cũng gọi là mạch tự phân cực) được sử dụng phổ biến nhất trong các mạch khuếch đại bằng BJT.

### c) Cấu hình mạch transistor.

Có ba cấu hình mạch BJT cụ thể là, (a) mạch emitter-chung, (b) mạch base-chung, và (c) mạch collector-chung, như ở hình 4.14a, b, và c, tương ứng.



Hình 4.14: (a) Mạch emitter-chung; (b) Mạch base-chung; (c) Mạch collector-chung.

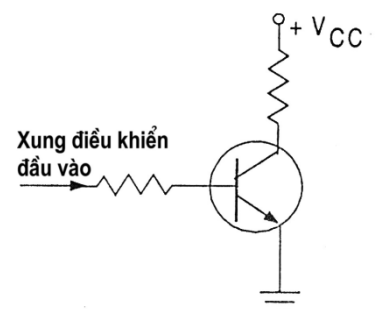
- **Mạch emitter chung** Ở cấu hình mạch emitter-chung, tín hiệu vào sẽ được đưa vào giữa base và emitter, và tín hiệu ra được lấy trên collector và emitter. Ở đây emitter được nối đất thực tế đối với tín hiệu vào thông qua tụ rẽ mạch  $C_E$ . Hệ số khuếch đại điện áp và hệ số khuếch đại dòng điện của mạch emitter-chung là cao. Các điện trở vào và ra ở mức trung bình. Đây là cấu hình thông dụng nhất cho phép ghép các tầng của mạch khuếch đại.

- **Mạch base-chung** Mạch base-chung là mạch có tín hiệu vào được cung cấp giữa emitter và base, và tín hiệu ra nhận được giữa collector và base. Cực base thực sự được nối đất đối với tần số tín hiệu thông qua tụ điện  $C_B$ . Hệ số khuếch đại dòng của mạch base chung nhỏ hơn 1, nhưng hệ số khuếch đại áp cao. Điện trở vào của mạch thấp (vào khoảng  $50\Omega$  thích hợp để phối hợp trở kháng với ăng ten), còn điện trở ra của mạch base-chung cao. Mức tạp âm nội của mạch là thấp nhất, nên mạch base-chung được sử dụng làm mạch khuếch đại tầng đầu trong các máy thu tần số rất cao (VHF) và siêu cao (UHF).

- **Mạch collector-chung hay mạch lặp lại emitter** Mạch collector-chung có tín hiệu vào được đưa vào giữa base và collector, và tín hiệu ra sẽ lấy giữa emitter và collector. Cực collector được nối đất thực sự đối với tín hiệu thông qua  $V_{CC}$  hoặc tụ lọc  $C$  của nguồn cung cấp. Hệ số khuếch đại điện áp của mạch nhỏ hơn 1 nhưng hệ số khuếch đại dòng cao. Do điện trở vào của mạch collector chung rất cao, nên mạch được dùng trong các mạch cần điện trở vào cao (để tránh cho mạch dao động không bị quá tải). Trở kháng ra của mạch thấp (vài chục  $\Omega$  do đó mạch cũng được dùng để phối hợp trở kháng. Hệ số khuếch đại dòng của mạch collector chung theo kiểu cặp Darlington là  $\beta^2$ ).

### 4.1.9 HOẠT ĐỘNG CHUYỂN MẠCH CỦA BJT

Đối với hoạt động chuyển mạch, transistor không cần mạch phân cực base. Tín hiệu xung vào (logic 1) sẽ làm cho base dương (cao hơn nhiều so với điện áp ngưỡng), nên transistor sẽ trở nên dẫn bão hoà cho điện trở rất thấp. Khi xung vào không có (mức logic 0), transistor sẽ ngưng dẫn, nên điện trở giữa collector và emitter rất cao. Mạch chuyển mạch điện



Hình 4.15: Chuyển mạch bằng BJT.

hình như ở hình 4.15.

Thông số phân cực thuận chuẩn của transistor có thể được dùng để đo thử mạch transistor mà không cần phải tháo transistor và không cần dùng thiết bị đo thử. BJT Germanium thường có điện áp phân cực thuận giữa emitter-base từ 0,2V đến 0,4V, và BJT Silicon có điện áp phân cực thuận giữa emitter-base từ 0,4V đến 0,8V. Các cực tính que đo đặt ở emitter và base tùy thuộc loại transistor (*pnp* hoặc *npn*).

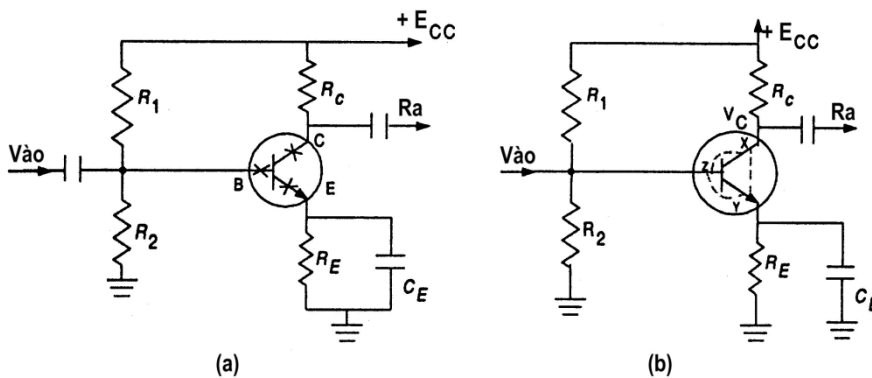
Điện áp phân cực thuận giữa emitter-base đủ để chuyển BJT sang dẫn, tức là dẫn đến một mức dòng tương ứng chảy qua emitter-collector. Ngắt điện áp phân cực thuận hoặc điện áp phân cực thuận không đủ sẽ tạo ra kết quả ngược lại, tức là transistor ngưng dẫn (không có dòng emitter-collector hoặc mức dòng rất nhỏ).

#### 4.1.10 CÁC SAI HỒNG Ở CÁC BJT

Một số trạng thái sai hỏng thông thường có thể xảy ra trong các transistor là:

1. Base, collector hay emitter có thể bị hở mạch.
2. Ngắn mạch có thể xuất hiện giữa collector và emitter, hay giữa collector và base, hay giữa emitter và base.
3. Tiếp giáp collector-base có thể bị rò.

Các ảnh hưởng của hư hỏng do hở mạch có thể xem xét như ở mạch hình 4.16a, thể hiện hở mạch bằng dấu (x). Nếu base hay emitter bị hở mạch, thì các hạt tải điện đa số sẽ không chảy ra khỏi vùng emitter, không có dòng điện, do đó sẽ không có sụt áp nào trên  $R_C$ . Do vậy, điện áp tại collector (C) sẽ bằng  $E_{CC}$  (đáng lẽ vào khoảng 50% của  $E_{CC}$ ).



Hình 4.16: (a) Sai hỏng kiểu hở mạch trong BJT; (b) Sai hỏng kiểu ngắn mạch trong BJT.

Nếu collector bị hở mạch, thì base và emitter sẽ hoạt động như diode thông thường (mà không phải là hoạt động của transistor) và dòng emitter của transistor sẽ chảy qua base, nên dòng chảy qua  $R_1$  sẽ tăng lên, dẫn đến làm giảm điện áp base, dòng emitter cũng sẽ giảm xuống đến giữ  $V_{BE} = 0,7V$ . Tuy nhiên, cực base được thiết kế chịu mức dòng chỉ vào khoảng 2% mức dòng emitter, nên cực base có thể bị đứt khi toàn bộ dòng emitter chảy qua, hoặc  $R_1$  có thể cháy. Khi collector và emitter bị ngắn mạch, như thể hiện bằng đường đứt nét xy ở mạch hình 4.16b, transistor có biểu hiện như một đường dẫn tốt. Điện trở collector có thể cháy hay điện trở emitter có thể cháy, hoặc tụ rẽ emitter có thể bị đánh thủng do điện áp collector ( $V_C$ ) là đặt trực tiếp ngang qua tụ.

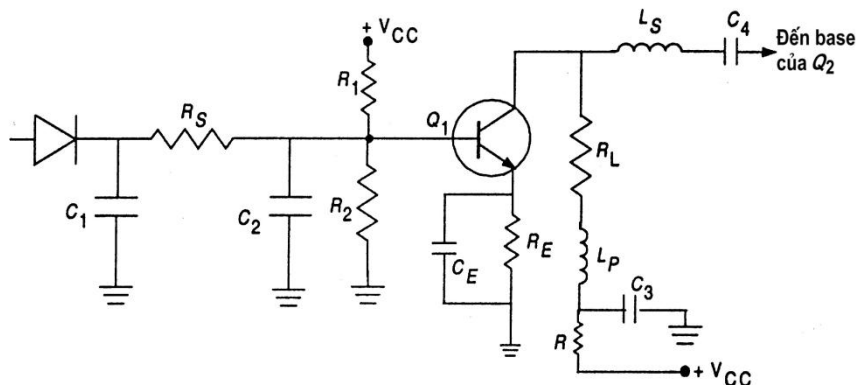
Nếu collector và base bị ngắn mạch, như thể hiện bằng đường đứt nét xz, base sẽ lấy điện áp dương cao từ  $+E_{CC}$  và do đó transistor sẽ biểu hiện như một diode được phân cực thuận mạnh, có thể làm cháy  $R_E$  do mức dòng lớn chảy qua  $R_E$ , và mức điện áp cao sẽ xuất hiện ngang qua  $C_E$  có thể đánh thủng tụ. Nếu emitter và base bị ngắn mạch như biểu hiện bằng đường đứt nét yz, điện áp base sẽ trở nên bằng 0 so với emitter, và do đó transistor không hoạt động, nhưng dòng một chiều chảy qua  $R_1$  và  $R_E$  sẽ tăng lên, có thể làm cháy điện trở. Vậy ngắn mạch bất kỳ giữa các chân của BJT, đầu tiên sẽ tạo ra mức dòng mạnh, sau đó sẽ làm cháy hoặc là điện trở  $R_1$ , hoặc là transistor, hay điện trở  $R_E$ .

Nhiều khi transistor vẫn tốt, nên có thể có hư hỏng ở điện trở hoặc tụ ngoài hoặc mối hàn. Ví dụ, nếu  $R_1$  bị hở mạch, điện áp tại base sẽ trở nên bằng 0 và tình trạng hỏng giống như transistor bị hở mạch bên trong. Do đó, trước khi thay transistor bị nghi ngờ hỏng thì hãy chắc chắn rằng không có sai hỏng ở mạch liên quan.

Các sai hỏng trong một vài mạch ứng dụng sẽ được giải thích ở các ví dụ từ 4.1 đến 4.4.

**Ví dụ 4.1:** Mạch ở hình 4.17, là mạch khuếch đại băng rộng trong các máy thu hình để khuếch đại tín hiệu ảnh [video]. Hãy xác định ảnh hưởng do hư hỏng của từng cấu kiện đến hoạt động của mạch khuếch đại.

Khi mạch khuếch đại âm tần [audio] chỉ xử lý tín hiệu có độ rộng băng tần trong khoảng 20kHz, thì các tín hiệu video có tần số cao hơn, trong khoảng 5MHz để hiển thị các chi tiết của ảnh mịn nhất. Điện dung tiếp giáp của transistor sẽ gây ra sự suy giảm mức tín hiệu ở dải tần số cao. Do đó, để khuếch đại tín hiệu ảnh, phải chọn các transistor có điện dung tiếp giáp khá nhỏ. Ngoài ra, phải sử dụng cuộn cảm cao tần mắc nối tiếp với tải để tăng dải tần số cao.



Hình 4.17: Mạch khuếch đại băng rộng.

Tụ lọc ở đầu ra của mạch tách sóng sẽ loại bỏ ảnh hưởng của điện dung vào của  $Q_1$ . Việc bù tần số cao được thực hiện bằng cuộn cảm cao tần  $L_P$ . Một cuộn cảm khác,  $L_S$  mắc nối tiếp với base của transistor tầng tiếp theo sẽ làm việc như một bộ triệt xung. Như vậy, các tần số thấp và cao của tín hiệu ảnh đã bị loại bỏ cho sự khuếch đại băng rộng. Ảnh hưởng do sai hỏng của mỗi cấu kiện cho ở bảng 4.1.

**Bảng 4.1** Ảnh hưởng do các cấu kiện sai hỏng ở mạch khuếch đại băng rộng.

Sai hỏng ở cấu kiện	Ảnh hưởng
1. $C_1$ hay $C_2$ bị ngắn mạch	Tín hiệu ảnh ở đầu vào sẽ bằng 0.
2. $C_1$ bị hở mạch	Tín hiệu ảnh ở đầu ra yếu.
3. $C_2$ hở mạch	Tác dụng lọc sẽ mất gọn trung tần (IF) không được lọc.
4. $R_S$ bị hở mạch	Tín hiệu ảnh ở đầu vào bằng 0 tại base của $Q_1$
5. $Q_1$ hay $R_E$ hoặc $R_1$ bị hở	$Q_1$ sẽ ngưng nên tại collector có $V_{CC}$ . Không có tín hiệu ảnh ở đầu ra.
6. $R_2$ hở mạch	Điện áp cao tại base của $Q_1$ sẽ làm cho $Q_1$ dẫn bão hoà, nên mạch không khuếch đại.
7. $Q_1$ bị ngắn mạch	Tín hiệu ảnh tại đầu ra của $Q_1$ sẽ bằng 0.
8. $R_L$ hay $L_P$ hoặc $R$ bị hở mạch	Điện áp trên collector bằng 0. Mất tín hiệu ảnh ở đầu ra.
9. $C_E$ hở mạch	Hồi tiếp âm sẽ làm giảm hệ số khuếch đại của $Q_1$
10. $C_3$ hở mạch	Tín hiệu sẽ thông qua nguồn cung cấp, nên có thể tạo ra hồi tiếp dương đến một số tầng trước gây méo dạng.
11. $C_3$ bị ngắn mạch	Mất điện áp nguồn cung cấp trên collector.
12. $L_S$ hoặc $C_4$ hở mạch	Không có tín hiệu ảnh tại base của $Q_2$ nên mất tín hiệu ảnh ở đầu ra.
13. $L_S$ bị ngắn mạch	Các xung quá độ hay xung vượt quá mức trên sẽ không được lọc.
14. $C_4$ bị ngắn mạch	$Q_2$ dẫn mạnh do có phân cực thuận cao. Không có hệ số khuếch đại.

**Ví dụ 4.2:** Mạch khuếch đại RF của một máy thu thông tin như ở hình 4.18, (để rõ ràng chỉ thể hiện 2 băng trong mạch). Hãy giải thích các hư hỏng có thể xảy ra trong các trường hợp sau:

(a) Thu chương trình trên kênh 1 bình thường, nhưng không thu được trên kênh 2.

(b) Không thu được chương trình trên kênh nào cả.

(c) Tỷ số tín hiệu / nhiễu của máy thu thấp.

(d) Hệ số khuếch đại thấp.



Điểm đặc trưng để phân biệt mạch khuếch đại RF là có các mạch điều hưởng [tuned] ở đầu vào và đầu ra của mạch để chọn đúng băng tần và đài phát thanh cần thu trong băng tần đó. Phân tích các sai hỏng trên gồm:

(a) Thu chương trình bình thường trên một kênh, transistor hoạt động tốt. Tự điều hưởng chính và các điểm nối đất đều đúng. Hư hỏng có thể ở tụ xoay [trimmer]  $C_{T2}$  của kênh 2, hoặc chuyển mạch chọn băng tần có thể không tiếp xúc tại điểm nối 2 trong các mạch đầu vào hoặc các mạch đầu ra.

(b) Không thu được trên kênh nào cả chứng tỏ rằng hoặc ăng ten không tiếp xúc với chuyển mạch chọn băng tần, hoặc tiếp xúc mỗi hàn nối đất tại  $G_1$ , hay

$G_2$  hoặc  $G_3$  bị nứt hay đứt. Nếu các mạch ngoài đều tốt, có thể hỏng transistor. Hư hỏng cũng có thể do nếu tụ điều hưởng chính hoặc tụ giải ghép bị ngắn mạch (một tụ giải ghép bị ngắn mạch, làm ngắn mạch điểm nguồn cung cấp, tạo ra điện áp base bằng 0).

(c) Tỷ số tín hiệu trên tạp âm thấp sẽ cho biết transistor của tầng khuếch đại RF bị rò. Nếu tiếp giáp collector – base có mức dòng rò cao hơn mức bình thường, thì mức tạp âm sẽ tăng và hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại RF sẽ bị giảm, nên mạch trộn tín hiệu gần như trở thành tầng khuếch đại đầu tiên. Trong trường hợp này, tạp âm sẽ tăng hơn nữa, bởi vì một transistor khi được sử dụng vừa làm khuếch đại và trộn sẽ tạo ra tạp âm lớn hơn so với cùng một transistor khi được dùng làm nhiệm vụ khuếch đại thuần túy. Ảnh hưởng thực tế sẽ làm cho tỷ số tín hiệu trên tạp âm kém. Hư hỏng khác có thể là mất kết nối hồi tiếp sẽ làm giảm mức tín hiệu và làm tăng mức tạp âm.

(d) Hệ số khuếch đại của mạch thấp có thể do hở mạch tụ  $C_E$  (tụ rẽ mạch emitter), gây ra hồi tiếp âm, Hư hỏng cũng có thể do mạch tự động điều chỉnh độ khuếch đại - AGC (không thể hiện trong hình vẽ) làm cho mức điện áp quá âm trên cực base so với emitter. Hệ số khuếch đại thấp dẫn đến việc cân chỉnh của các mạch điều hưởng không đúng.

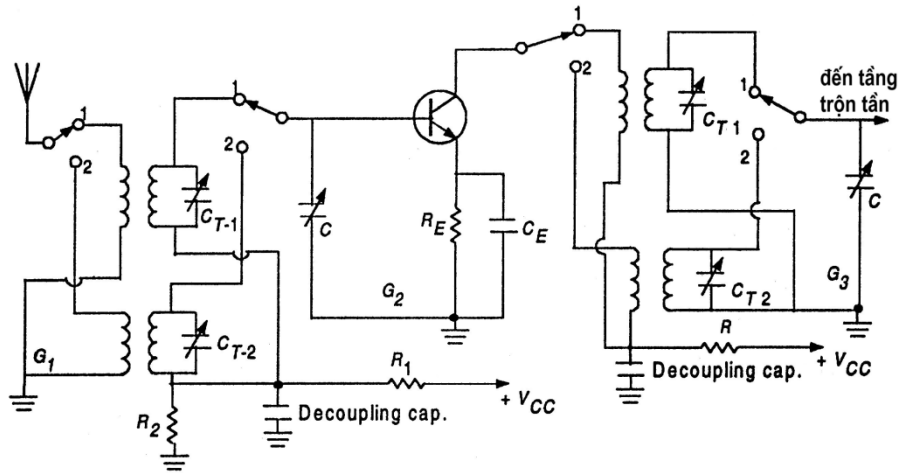
**Ví dụ 4.3:** Mạch dao động Hartley như ở hình 4.19. Hãy xác định sai hỏng có thể có nếu mạch dao động không dao động. Các mức điện áp DC bình thường.

Một mạch dao động phải thỏa mãn ba điều kiện để tạo ra dao động:

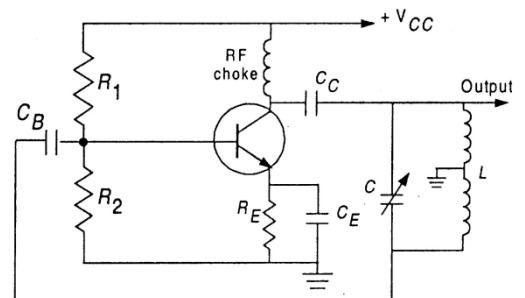
1. Mạch phải có khả năng dao động, tức là phải sử dụng mạch cộng hưởng (mạch LC ở hình 4.19).
2. Mạch phải có mạch khuếch đại để khuếch đại tín hiệu ra của mạch cộng hưởng (transistor làm việc như một mạch khuếch đại).
3. Các dao động được tạo ra bởi mạch cộng hưởng sẽ bị giảm dần do suy hao ở các phần tử của mạch cộng hưởng, tức là suy hao trong cuộn dây và tụ điện. Do đó phải có hồi tiếp đúng thời điểm và đúng chiều (hồi tiếp dương) và có biên độ đủ lớn để bù độ suy giảm. [cuộn dây L sẽ cung cấp hồi tiếp dương khi một đầu của cuộn dây được nối với collector (điểm lệch pha  $180^\circ$  so với tín hiệu đầu vào của transistor) và đầu còn lại (lệch pha  $180^\circ$  so với điểm collector) nối đến cực base qua tụ chặn  $C_B$ . Rẽ mạch trên cuộn dây sẽ điều khiển biên độ của tín hiệu hồi tiếp].

Khi không thỏa mãn một điều kiện bất kỳ trên, mạch dao động sẽ không tạo ra dao động. Do đó, các sai hỏng có thể có khi mạch không dao động sẽ là:

1. Tụ  $C_C$  hoặc  $C_B$  có thể bị hở mạch. Tụ bị hở mạch sẽ không cho tín hiệu hồi tiếp dương điều kiện thiết



Hình 4.18: Mạch khuếch đại RF dùng cho ví dụ 4.2.



Hình 4.19: Mạch dao động Hartley.

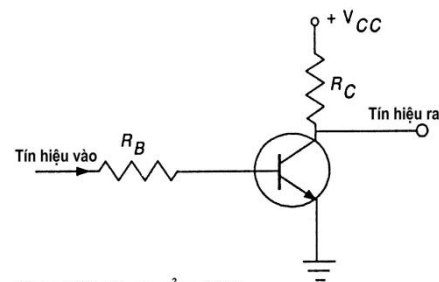
yếu để duy trì dao động.

2. Tự điều chỉnh  $C$  có thể xảy ra hở mạch hoặc ngắn mạch.

3. Nối đất với cuộn dây  $L$  có thể bị hở mạch.

4. Có thể đứt trong cuộn dây  $L$ .

**Ví dụ 4.4:** Transistor làm chuyển mạch như công phủ định [NOT] ở mạch hình 4.20. Hãy giải thích các lỗi: (a) Đầu ra bị ghim ở mức 1, (b) Đầu ra bị ghim ở mức 0.



Hình 4.20: Mạch cổng NOT.

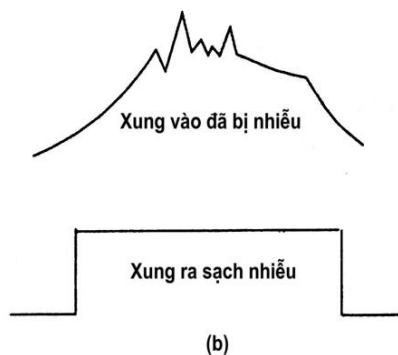
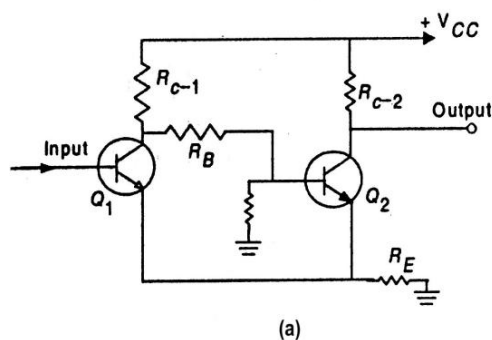
Ở chế độ hoạt động bình thường, khi đưa tín hiệu có mức logic 1 (xung mức cao) đến đầu vào của mạch, thì transistor sẽ chuyển sang dẫn [ON] bão hoà, tạo ra mức logic 0 (xung mức thấp) tại đầu ra. Khi mức vào có mức 0, transistor sẽ trở lại ngưng dẫn [OFF], và do đó mức là mức logic 1.

(a) Đầu ra sẽ bị ghim tại mức 1 nếu  $R_B$ , hay mối nối đất hoặc transistor bị hở mạch. Nếu  $R_C$  bị ngắn mạch, thì collector cũng sẽ có mức 1.

(b) Đầu ra sẽ bị ghim tại mức logic 0, nếu  $R_C$  hở mạch hay collector và emitter của transistor bị ngắn mạch, hoặc đường nguồn cung cấp bị hở.

**4.1.11 MẠCH KÍCH KHỞI SCHMITT.**

Mạch kích khởi Schmitt là mạch thông dụng, dùng để cung cấp các xung vuông như mạch ở hình 4.21a. Mạch sử dụng kiểu ghép trực tiếp giữa  $Q_1$  và  $Q_2$ . Nếu tín hiệu vào là xung bị méo dạng. Khi biên độ của dạng sóng tín hiệu vào vượt quá mức điện áp ngưỡng,  $Q_1$  sẽ chuyển mạch sang dẫn [ON], cung cấp mức điện áp thấp tại base của  $Q_2$ , làm cho  $Q_2$  ngưng dẫn [OFF], nên tại đầu ra của mạch kích khởi có biên độ



điện áp bằng mức  $V_{CC}$ . Khi biên độ tín hiệu vào thấp hơn 0,7V so với emitter,  $Q_1$  sẽ không dẫn, cho mức điện áp cao tại base của  $Q_2$ , làm cho  $Q_2$  dẫn bão hoà nên cho mức điện áp gần bằng 0 tại đầu ra. Như vậy, xung méo dạng đã được biến đổi thành xung vuông hoàn toàn.

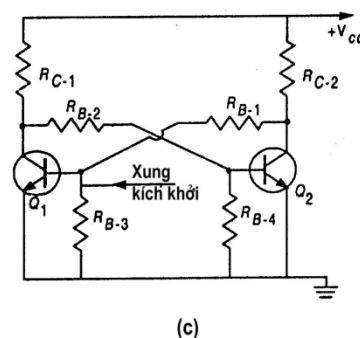
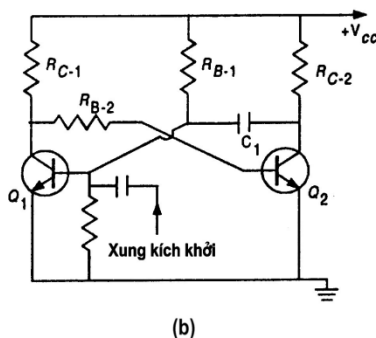
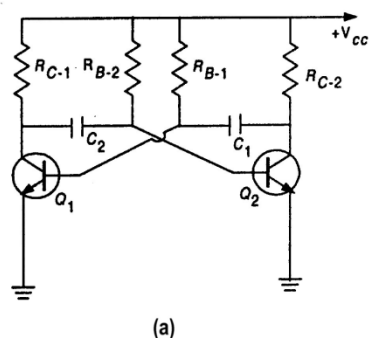
Hình 4.21: (a) Mạch kích khởi Schmitt; (b) Dạng xung vào - ra.

**4.1.12 CÁC MẠCH ĐA HÀI – MULTIVIBRATORS.**

Transistor có thể dùng để tạo ra dãy xung liên tục, xung kích khởi, hoặc xung điều khiển tùy thuộc vào cấu hình mạch. Các mạch có chức năng tạo xung như vậy gọi là các mạch đa hài theo ba kiểu mạch: 1. Mạch đa hài tự dao động [astable] hay phi ổn, 2. Mạch đa hài một trạng thái ổn định [monostable] hay đơn ổn, và 3. Mạch đa hài hai trạng thái ổn định [bistable] hay hai trạng thái bền hay song ổn.

- **Mạch đa hài tự dao động.** Mạch ở hình 4.22a, sẽ tạo ra dãy xung liên tục nên được sử dụng làm bộ dao động tạo tần số nhịp trong các hệ thống số có vi xử lý.

- **Mạch dao động một trạng thái bền.** Mạch như ở hình 4.22b, sẽ thay đổi trạng thái ra (từ mức 0 lên mức 1, hoặc từ mức 1 về mức 0) khi có xung kích khởi và sẽ trở lại trạng thái ban đầu của nó sau một



Hình 4.22: (a) Mạch đa hài tự dao động (phi ổn); (b) Mạch đa hài một trạng thái bền (đơn ổn); (c) Mạch đa hài 2 trạng thái bền (song ổn).

khoảng thời gian nào đó khi hết xung kích khởi, do đó mạch cũng được gọi là mạch đa hài một xung, nên mạch được sử dụng trong các mạch báo hiệu, và cũng được sử dụng làm mạch dao động tạo sóng quét kích khởi trong các máy hiện sóng.

- **Mạch đa hài song ổn.** Mạch như ở hình 4.22c, sẽ thay đổi trạng thái khi có xung kích khởi và sẽ tồn tại ở trạng thái đó sau khi hết xung kích khởi, mạch sẽ thay đổi trở lại trạng thái ban đầu khi có xung kích khởi khác đưa tới. Như vậy mạch dao động khi có một trạng thái ổn định sẽ thay đổi trạng thái của mạch khi có xung kích khởi đặt vào và sẽ duy trì trạng thái đã được thay đổi (trạng thái ổn định thứ hai), nên mạch được gọi là mạch song ổn (hai trạng thái ổn định) hay mạch flip – flop và được dùng trong các công logic dây.

#### 4.1.13 SAI HỒNG TRONG CÁC MẠCH ĐA HÀI.

Các sai hỏng thông thường trong các mạch đa hài cũng giống như các mạch BJT khác, chẳng hạn transistor có thể bị hở mạch hay rò, hoặc bị ngắn mạch, hoặc có thể do hư hỏng ở các linh kiện ngoài (điện trở hay tụ), hoặc do mối hàn bị nứt, hoặc đứt kết nối mạch. Các dấu hiệu sẽ xuất hiện dưới dạng như sự thay đổi ở độ rộng xung, thời gian tăng và giảm, tần số xung, dạng xung. Dao động tắt dần có thể xảy ra. Tất cả các dấu hiệu có thể quan sát trên màn hình của máy hiện sóng và có thể áp dụng suy luận đúng để xác định linh kiện bị hỏng hay đứt kết nối. Một số hư hỏng điển hình liệt kê ở bảng 4.2.

**Bảng 4.2:**

<i>Các dấu hiệu hỏng</i>	<i>Nguyên nhân sai hỏng có thể do</i>
1. Mạch dao động đa hài không dao động	Tụ hồi tiếp (hở mạch tụ $C_1$ hay $C_2$ ở mạch hình 4.22a. Một transistor nào đó bị hở mạch hay ngắn mạch.
2. Tần số xung nhịp của mạch dao động đa hài bị thay đổi	Tần số phụ thuộc vào sự nạp và xả của các tụ thông qua các điện trở tương ứng. Sự thay đổi ở tần số có nghĩa là thay đổi về trị số của điện trở hay rò rỉ ở tụ (hình 4.22a).
3. Mạch không thay đổi trạng thái trước sau khi đã đặt xung kích khởi	Xung kích khởi bị ngắt. Mạch vào của transistor bị hở mạch (hình 4.22b, c).
4. Mạch đa hài đơn ổn không trở lại trạng thái ban đầu sau khi loại bỏ xung kích khởi	Tụ hồi tiếp ( $C_1$ ) hỏng (hình 4.22b)
5. Chức năng hai trạng thái không xảy ra	Một trong hai điện trở hồi tiếp ( $R_{B1}$ hoặc $R_{B2}$ ) hở mạch (hình 4.22c). Tiếp giáp base – emitter của một transistor bị hở mạch hoặc bị ngắn mạch.

## 4.2 ĐO THỬ FET

### 4.2.1 CÁC KIỂU HOẠT ĐỘNG CỦA FET

Cũng như trường hợp transistor lưỡng cực, FET được đo thử thông số cơ bản cả động và tĩnh. Đo thử tĩnh cho thấy sự đáp ứng của FET đối với các biến đổi  $dc$ . Đo thử động cho thấy đáp ứng với  $ac$  hoặc các tín hiệu. FET hoạt động theo ba kiểu. Mặc dù cả JFET và MOSFET đều làm việc theo nguyên lý dòng “kênh” được điều khiển bằng điện trường nhưng cơ chế điều khiển của hai loại là khác nhau, dẫn đến các đặc tính khác nhau. Sự khác nhau chủ yếu giữa JFET và MOSFET là ở đặc tính cổng. Đầu vào của JFET đóng vai trò (tác dụng) như diode được phân cực ngược, trong khi đầu vào của MOSFET giống như tụ điện.

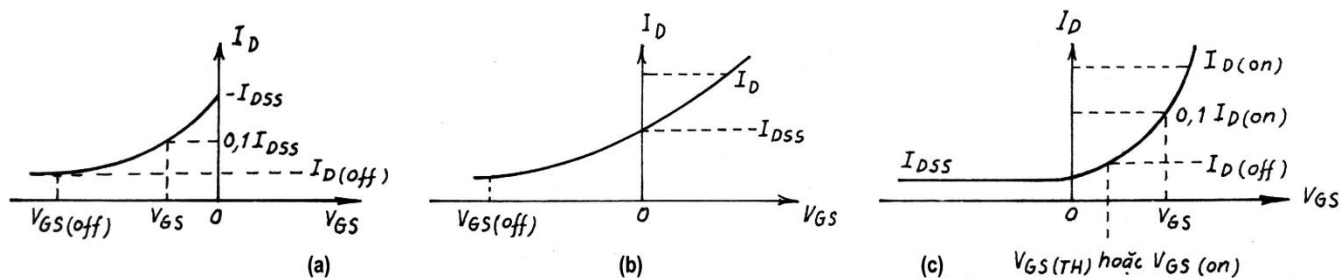
#### a) FET kiểu nghèo [Depletion mode]

*FET chỉ nghèo* (đặc tuyến truyền đạt như ở hình 4.23a) có dòng máng ( $I_D$ ) lớn đối với điện áp cổng bằng 0. Không dùng điện áp cổng thuận (tức điện áp phân cực thuận cổng-nguồn dương đối với FET kênh  $n$ ). Dòng máng lớn nhất khi điện áp cổng-nguồn ( $V_{GS}$ ) bằng 0. Dòng máng giảm theo điện áp phân cực ngược vào cổng, tức là  $I_D$  giảm khi  $V_{GS}$  ngược tăng.

#### b) FET kiểu nghèo / tăng cường [Depletion / Enhancement mode]

*FET nghèo / tăng cường* (hình 4.23b) cũng có dòng máng đáng kể khi  $V_{GS} = 0$  (nhưng không lớn như loại chỉ nghèo). Tăng dòng máng bằng cách đưa điện áp phân cực thuận cổng-nguồn và giảm bằng cách đặt điện áp phân cực ngược cổng-nguồn. Đối với JFET được dùng như loại nghèo / tăng cường, dòng

máng có thể tăng bằng điện áp cổng chỉ đến khi tiếp giáp  $pn$  công-nguồn trở nên phân cực thuận, vì tại thời điểm này sự tăng thêm của điện áp cổng thuận không tạo ra sự tăng trong dòng máng.



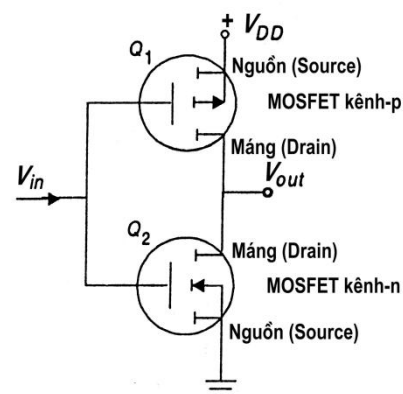
Hình 4.23: Các kiểu hoạt động và đặc tính truyền đạt đơn giản hóa của FET.

#### c) FET kiểu tăng cường [Enhancement mode]

FET chỉ tăng cường (hình 4.23c) có dòng máng nhỏ hoặc bằng 0 khi điện áp cổng bằng 0. Dòng máng không xuất hiện cho đến khi có điện áp cổng thuận lớn hơn 0 tùy loại, gọi là *điện áp ngưỡng*  $V_{GS(TH)}$ . Khi đã đạt đến ngưỡng, đặc tính dòng máng tăng mạnh.

#### d) CMOS.

Khi MOSFET kênh- $p$  và MOSFET kênh- $n$  được nối với nhau, tạo thành MOS hồ bổ [Complementary MOS] hay CMOS. Cấu kiện kiểu CMOS được sử dụng phổ biến trong các công logic do các CMOS tiêu tán công suất cực kỳ thấp (vào khoảng vài picowatt). Các mạch bằng CMOS được dùng trong các vệ tinh, các máy tính bỏ túi, các đồng hồ số, v. v. . . mà ở đó thường chú trọng nguồn cung cấp rất nhiều. Một loại công phủ định [NOT] điển hình dựa trên cấu trúc CMOS như mạch ở hình 4.24. Khi  $V_{in}$  có mức logic 1 (mức điện áp dương trên mức ngưỡng),  $Q_2$  sẽ dẫn điện, nên  $V_{out}$  có mức logic 0. Khi  $V_{in}$  có mức logic 0, (điện áp âm hay mức điện áp dương thấp hơn mức ngưỡng),  $Q_2$  sẽ giữ ở trạng thái ngưng dẫn [OFF],  $Q_1$  sẽ dẫn, do vậy  $V_{out}$  có mức logic 1, tức là có chức năng phủ định mức tín hiệu vào hay chức năng của công NOT.



Hình 4.24: Cấu trúc CMOS.

### 4.2.2 XỬ LÝ MOSFET

**Hãy thận trọng khi sử dụng các FET.** Các MOSFET là cấu kiện nhạy cảm với điện tích tĩnh của cơ thể người, do lớp dioxide silicon rất mỏng, nên điện áp do điện tích tĩnh có thể làm hỏng MOSFET. Vì vậy, các hãng sản xuất bao gói các MOSFET sau khi nối các chân với nhau bằng một vòng dây.

Không được tháo hay lắp các FET khi nguồn cung cấp đang bật [ON], do các xung quá độ được tạo ra có thể làm hỏng FET. Việc kết nối điện áp máng đến cổng là rất nguy hiểm do mức  $V_D$  cao có thể đánh thủng lớp dioxide silicon cách điện.

Để ngăn ngừa khả năng gây hư hỏng do tích tĩnh điện khi di chuyển và làm việc với MOSFET, trước hết phải ngắt nguồn cung cấp. Nếu MOSFET cần phải tháo ra thì tay người thao tác sẽ phải cùng mức điện thế với khối chứa mà từ đó cấu kiện được tháo ra. Thực hiện bằng cách đặt một tay lên bộ máy trước khi tháo MOSFET. Nếu MOSFET được nối với bộ đo thử bên ngoài, thì đặt tay cầm MOSFET lên panel của bộ đo thử và nối dây đất từ bộ đo thử vào chân MOSFET (hoặc để cầm MOSFET).

Khi xử lý MOSFET các chân của MOSFET phải nối với nhau. Thường thực hiện bằng vòng hoặc lò xo ngắn mạch. Khi đo thử MOSFET thì nối dây của bộ đo thử vào MOSFET (hợp lý là nối dây cực nguồn trước), rồi mới tháo vòng ngắn mạch ra khỏi các điện cực.

Khi hàn hoặc tháo MOSFET, đầu mỏ hàn phải ở điện thế đất (tức không nạp tĩnh điện). Nối một dây có đầu kẹp từ thân của dụng cụ hàn vào bộ máy. Không nên dùng mỏ hàn kiểu súng để hàn MOSFET.

Ngắt nguồn vào mạch trước khi đưa MOSFET vào hoặc lấy ra (hoặc các module chân cắm chứa đựng MOSFET). Sự phát sinh nhất thời của điện áp khi các đầu cực để riêng rẽ có thể làm hỏng MOSFET.

### 4.2.3 MẠCH BẢO VỆ MOSFET

Do vấn đề xả tĩnh điện, nên thường có một số dạng mạch bảo vệ cho các MOSFET. Thông thường,

mạch bảo vệ dưới dạng diode hoặc các diode gắn liền như một phần vật liệu gốc của MOSFET. Có thể bỏ qua các mạch bảo vệ, ngoại trừ khi đo thử điện áp đánh thủng.

Khi đo thử điện áp đánh thủng MOSFET, đặc điểm quan trọng cần lưu ý là điện áp đánh thủng là mức điện áp của cấu kiện bảo vệ (diode) mà không phải của MOSFET. Ngoài ra, các trang số liệu đôi khi ghi là *điện áp ghim của diode bảo vệ* (thường được biết như mức *điện áp khuỷu* -  $V_{KNEE}$ ).

Với các phép đo thử bất kỳ thì điện áp công hoặc điện áp vào không được vượt quá trị số khuỷu, mặc dù điện áp cực nguồn, cực máng có thể cao hơn.

#### 4.2.4 ĐO THỬ ĐIỆN ÁP ĐIỀU KHIỂN FET

Điện áp cổng-nguồn ( $V_{GS}$ ) được xem là điện áp (hoặc tín hiệu) điều khiển của FET, tức là  $V_{GS}$  điều khiển dòng máng-nguồn ( $I_D$ ).  $V_{GS(OFF)}$  là điện áp cổng cần có để giảm dòng máng-nguồn ( $I_D$ ) về 0 hoặc đến trị số đã xác định nào đó gần bằng 0.  $V_{GS(TH)}$  là điện áp cổng bắt đầu xuất hiện dòng  $I_D$  chỉ với kiểu tăng cường. Một số trang số liệu ghi  $V_{GS(off)}$  như mức điện áp cổng tạo ra dòng  $I_D$  là 1pA hoặc 1nA.

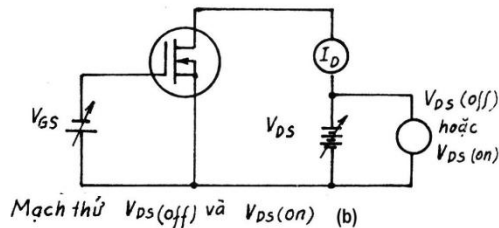
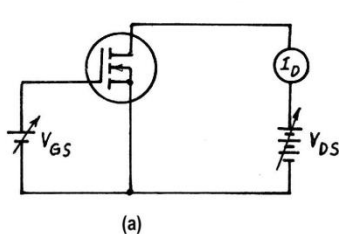
##### a) Đo thử $V_{GS(off)}$

Hình 4.25c, là mạch cơ bản dùng để đo thử  $V_{GS(off)}$ , chỉ áp dụng cho FET kiểu nghèo và kiểu nghèo / tăng cường, trong đó  $V_{DS}$  được điều chỉnh đến trị số cố định, và điện áp phân cực ngược  $V_{GS}$  được điều chỉnh cho đến khi  $I_D$  có trị số không đáng kể được xác định. Thực chất đây là phép đo thử trị số ngắt dòng (cut-off). Ví dụ, trang số liệu của FET 3N128 kênh-n ghi là  $V_{DS}$  là 15V và  $I_D$  là 50 $\mu$ A,  $V_{GS}$  trong khoảng từ - 0,5V đến - 8V đối với  $I_D$  là 50 $\mu$ A. Theo chỉ dẫn,  $V_{DS}$  phải ít nhất bằng 1,5 lần mức  $V_{GS(off)}$  để có chế độ hoạt động của mạch phù hợp.

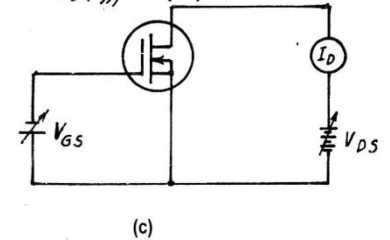
##### b) Đo thử $V_{GS(TH)}$ hoặc $V_{GS(on)}$

$V_{GS(TH)}$  hoặc  $V_{GS(on)}$  thực chất giống như thông số  $V_{GS(off)}$ , ngoại trừ là  $V_{GS(TH)}$  và  $V_{GS(on)}$  thường chỉ áp dụng cho cấu kiện tăng cường. Dùng mạch đo thử cơ bản hình 4.25a, nhưng  $V_{GS}$  được nối để có phân cực thuận (cực cổng dương đối với kênh N). Cần phải có điện áp cổng-nguồn phân cực thuận để có dòng  $I_D$  chảy trong cấu kiện kiểu tăng cường. Điều chỉnh  $V_{GS}$  tăng dần từ 0V cho đến khi  $I_D$  đạt đến trị số xác định. Ví dụ, FET MRF137 có  $V_{GS(TH)}$  điển hình là 3V với  $I_D$  là 25mA.

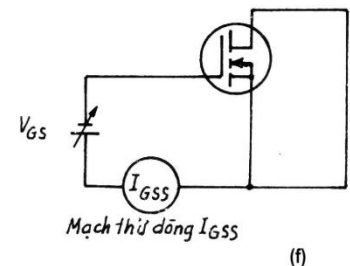
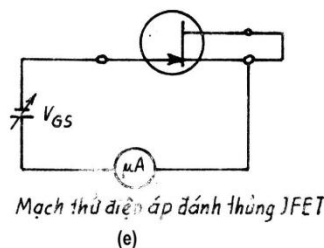
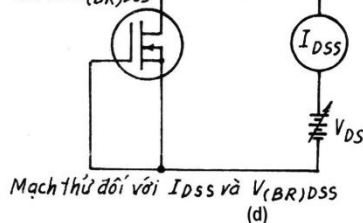
$V_{GS}$  là điện áp phân cực thuận đối với  
phép đo  $V_{GS(TH)}$ ,  $V_{GS(on)}$ ,  $I_D(on)$



$V_{GS}$  là phân áp ngược đối với  $V_{GS(off)}$ ,  
 $I_D(off)$  và  $V_{(BR)DSS}$



Không nối cực nền với nguồn (khi có thể)  
đối với  $V_{(BR)DSS}$



Hình 4.25: Mạch đo thử điện áp điều khiển, điện áp làm việc, dòng làm việc, và điện áp đánh thủng FET.

#### 4.2.5 ĐO THỬ ĐIỆN ÁP LÀM VIỆC CỦA FET

Điện áp máng-nguồn ( $V_{DS}$ ) được xem là điện áp làm việc của FET. Thông thường, điều quan tâm duy nhất là  $V_{DS}$  không được vượt quá trị số lớn nhất ghi ở trang số liệu. Tuy nhiên, trong phần lớn các ứng dụng  $V_{DS}$  ít nhất cần phải có trị số 1,5 lần  $V_{GS}$ .

Khi sử dụng FET làm chuyển mạch hoặc bộ ngắt quãng (bộ rung), các thông số  $V_{DS(on)}$  và  $V_{DS(off)}$  đòi

khi xuất hiện ở trang số liệu.  $V_{DS(on)}$  tương tự điện áp bão hòa trong BJT.  $V_{DS(off)}$  là mức điện áp máng-nguồn tại đó  $I_D$  tăng rất ít đối với sự tăng điện áp máng-nguồn, với  $V_{GS}$  được giữ ở 0V. Đôi khi còn gọi là điện áp thất  $V_P$ . Tuy nhiên,  $V_P$  thường dùng cho JFET hơn là cho MOSFET. Các trị số khác nhau của  $V_{DS}$  phụ thuộc điện trở nguồn  $R_S$ , điện trở cực máng  $R_D$  hoặc điện trở máng-nguồn  $R_{DS}$ . Tất cả các trị số trên là trị số dc tĩnh và ít khi có ở trang số liệu, mà các trị số động thường quan trọng hơn nhiều.

#### a) Đo thử $V_{DS(off)}$ và $V_{DS(on)}$ bão hòa

Mạch đo thử điện áp bão hòa cơ bản như ở hình 4.25b. Đo thử bão hòa thường chỉ quan tâm khi FET được sử dụng trong các ứng dụng chuyển mạch hoặc rung, khi đo giữ cố định trị số của  $V_{GS}$ , và tăng  $V_{DS}$  cho đến khi  $I_D$  đạt lớn nhất hoặc tăng rất ít khi tăng thêm  $V_{DS}$ . Chú ý không được tăng vượt quá mức  $V_{DS}$  lớn nhất trong khi đo thử. Thông thường,  $V_{DS(on)}$  được thực hiện đo thử với vài trị số đặc biệt của  $V_{GS}$ , ngược lại  $V_{DS(off)}$  thực hiện đo thử với  $V_{GS} = 0$  (cổng ngắt mạch với nguồn).

### 4.2.6 ĐO THỬ DÒNG LÀM VIỆC CỦA FET

Dòng máng-nguồn ( $I_D$ ) được xem như dòng làm việc của FET.  $I_D$  tương đương với dòng collector ở BJT. Thông thường, chỉ cần chú ý là không được vượt quá mức dòng  $I_D$  lớn nhất cho ở trang số liệu.

Ở một số trang số liệu có các thông số  $I_{D(on)}$  và  $I_{D(off)}$ .  $I_{D(on)}$  là trị số dòng tùy ý (thường là gần bằng mức dòng danh định lớn nhất) xác định tại mức dòng trong kiểu hoạt động tăng cường (hình 4.24).  $I_{D(off)}$  là mức dòng tương ứng với điện áp  $V_{GS(off)}$ . Khi FET hoạt động ở kiểu chỉ tăng cường, trị số  $I_{D(off)}$  cho ở trang số liệu là mức dòng tương ứng với  $V_{GS(TH)}$ .

#### a) Đo thử $I_{DSS}$

Mạch đo thử cơ bản  $I_{DSS}$  cho ở hình 4.25. Cách đo thử này dùng cho cấu kiện kiểu chỉ nghèo và nghèo / tăng cường. Như ở hình vẽ,  $V_{DS}$  được điều chỉnh ở trị số cố định nào đó và  $V_{GS} = 0$  (cổng nối với nguồn).  $I_{DSS}$  là mức dòng chảy ứng với mức điện áp phân cực 0V. Ví dụ, đối với FET 3N128 ghi ở điều kiện  $V_{DS} = 15V$  và  $V_{GS} = 0V$ , có  $I_D$  trong khoảng từ 5mA đến 25mA.

#### b) Đo thử $I_{DS(on)}$

$I_{DS(on)}$  thực chất giống như thông số  $I_{DSS}$ , ngoại trừ là  $I_{DS(on)}$  thường dùng cho cấu kiện tăng cường (loại nghèo / tăng cường, và loại tăng cường). Dùng mạch đo thử cơ bản ở hình 4.25. Ở kiểu tăng cường,  $V_{GS}$  cần phải được phân cực thuận (cổng dương đối với kênh N) để có dòng  $I_D$ , còn đối với kiểu nghèo / tăng cường không cần phân cực thuận cổng-nguồn vẫn có dòng  $I_D$ . Tuy vậy,  $I_{D(on)}$  là mức dòng gần lớn nhất (hoặc mức dòng bão hòa). Khi đo thử,  $V_{GS}$  và  $V_{DS}$  được điều chỉnh đến các trị số cố định, và đo trị số dòng  $I_{D(on)}$  sau cùng.

#### c) Đo thử $I_{D(off)}$

Mạch đo thử  $I_{D(off)}$  giống như mạch đo thử  $V_{GS(off)}$  ở hình 4.25. Vì  $I_{D(off)}$  là dòng xuất hiện tương ứng với  $V_{GS(off)}$ . Điều chỉnh  $V_{DS}$  và  $V_{GS}$  ở các trị số cố định và cuối cùng đo trị số  $I_{D(off)}$ . Chẳng hạn, FET 3N128 ở điều kiện ghi là  $V_{DS} = 20V$ ,  $V_{GS} = -8V$  thì dòng  $I_D$  lớn nhất là 50 $\mu$ A.

Ở các cấu kiện tăng cường, trị số của  $I_{D(off)}$  là  $I_D$  xuất hiện tương ứng với  $V_{GS(TH)}$ . Cho nên trị số cố định của  $V_{GS}$  luôn luôn là điện áp phân cực thuận.

### 4.2.7 ĐO THỬ ĐIỆN ÁP ĐÁNH THỦNG FET

*Điện áp đánh thủng* là đặc tính kỹ thuật đặc biệt quan trọng của FET. Có một số đặc điểm kỹ thuật để chỉ rõ điện áp lớn nhất có thể áp dụng cho các yếu tố khác nhau gồm:

Điện áp đánh thủng cổng-nguồn  $V_{(BR)GSS}$  là điện áp đánh thủng với ngắt mạch cực máng-nguồn, cũng là điều kiện ở đặc tính đánh thủng tiếp giáp cổng-kênh (diode PN ở JFET và lớp oxide ở MOSFET), vì cực nguồn và cực cổng liên quan đến kênh dẫn. Chú ý rằng, đối với MOSFET  $V_{(BR)GSS}$  sẽ đánh thủng vật lý lớp oxide.

$V_{(BR)DGO}$  là điện áp đánh thủng cực máng - cực nguồn về thực chất có đặc điểm kỹ thuật như  $V_{(BR)GSS}$ , ngoại trừ là  $V_{(BR)DGO}$  biểu thị sự đánh thủng từ cổng đến máng.  $V_{(BR)DGO}$  dùng cho JFET là đúng hơn, nhưng cũng xuất hiện ở trang số liệu của MOSFET.

#### a) Đo thử điện áp đánh thủng JFET

Đối với JFET,  $V_{(BR)GSS}$  là mức điện áp lớn nhất có thể đặt vào cổng-kênh dẫn đến sự đánh thủng tiếp giáp cổng-kênh. Như mạch đo ở hình 4.25e, mức điện áp ngược cao tăng dần đặt vào giữa cực cổng và cực nguồn. Sự đánh thủng tiếp giáp có thể xác định bằng dòng cổng (khác với mức dòng tiêu chuẩn  $I_{GSS}$ ) vốn cho thấy sự bắt đầu điều kiện hiệu ứng thác lũ ( $V_A$ ).

### b) Đo thử điện áp đánh thủng MOSFET

Đối với MOSFET,  $V_{(BR)GSS}$  là điện áp đánh thủng cổng-nguồn và là điện áp lớn nhất mà không phải là điện áp thử. Các phép thử thường chỉ tiến hành trong quá trình chế tạo (như một phần của thử phá hủy để xác lập sự đánh thủng đối với loại cấu kiện cụ thể). Thay vào đó, một số trang số liệu ghi  $V_{(BR)DSS}$  (đối với MOSFET tăng cường). Như mạch đo ở hình 4.25d, cho thấy  $V_{(BR)DSS}$  được thực hiện với ngắn mạch cực cổng và cực nguồn, vì không cần phân cực ngược để ngắt (cut-off) đối với cấu kiện tăng cường (cũng là mạch để đo  $I_{DSS}$ ). Với  $V_{GS} = 0$ , điều chỉnh tăng dần  $V_{DS}$  cho đến khi có dòng  $I_D$  xuất hiện khá lớn (không phải đánh thủng phá hỏng). Ví dụ, MFR137 ghi rõ  $V_{(BR)DSS} = 65V$  nhỏ nhất với  $V_{GS} = 0$  và  $I_D = 10mA$ .

### 4.2.8 ĐO THỬ DÒNG RÒ CỰC CỔNG CỦA FET

Rò cực cổng là đặc tính quan trọng của FET, vì độ rò liên quan trực tiếp đến điện trở vào. Khi dòng rò cực cổng cao, điện trở vào thấp và ngược lại. Dòng rò cực cổng thường được xác định theo  $I_{GSS}$  (dòng phân áp ngược cổng-nguồn với ngắn mạch máng-nguồn) và là số đo của trở kháng đầu vào ngắn mạch ở trạng thái tĩnh.

#### a) Đo thử $I_{GSS}$

Mạch đo thử như ở hình 4.25f,  $V_{DS} = 0$  (ngắn mạch cực máng với cực nguồn), điều chỉnh  $V_{GS}$  đến trị số đã định, và đo dòng rò  $I_{GSS}$  cuối cùng. Ví dụ, FET MRF137 với các điều kiện đo ghi là  $V_{DS} = 0$  và  $V_{GS} = 20V$ , thì  $I_{GSS}$  không được vượt quá  $1\mu A$  tại  $25^\circ C$ .

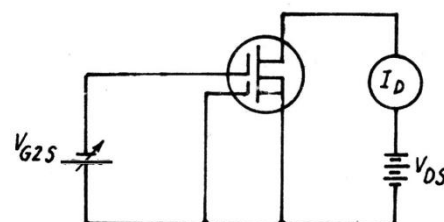
### 4.2.9 ĐO THỬ FET CỔNG KÉP

Cùng với các đặc tính trên, FET cổng kép có các đặc tính kỹ thuật khác cần phải tiến hành đo thử. Ví dụ, với MOSFET cổng kép, cả hai cổng đều điều khiển dòng  $I_D$ . Kết quả là có nhiều trang số liệu kỹ thuật thể hiện điện áp của một cổng tác động đến  $I_D$  như thế nào khi cực cổng còn lại được giữ ở điện áp xác định hoặc ở  $0V$ . Tương tự, có trang số liệu cho biết độ rò cực cổng hoặc dòng cực cổng bị tác động bởi điện áp cực cổng còn lại. Đối với các ứng dụng thực tế, đặc tính cổng kép quan trọng nhất gồm có điện áp ngắt, điện áp đánh thủng và dòng cổng.

#### a) Đo thử $V_{G1S(off)}$ và $V_{G2S(off)}$

Phép đo thử điện áp ngưng dùng cho cấu kiện cổng kép, hoạt động theo kiểu nghèo và nghèo / tăng cường. Cấu kiện cổng kép cũng có thể đo thử  $V_{GS(off)}$  như mục 4.2.4a, khi nối cả hai cổng với nhau.

Mạch đo thử cơ bản ở hình 4.26, dùng để đo  $V_{G1S(off)}$  và  $V_{G2S(off)}$ . Cả hai trường hợp đều phải điều chỉnh  $V_{DS}$  đến trị số xác định, một cổng được phân cực thuận ở trị số xác định, cổng còn lại được phân cực ngược. Điều chỉnh điện áp phân cực ngược  $V_{G1S}$  hoặc  $V_{G2S}$  cho đến khi  $I_D$  có trị số nhỏ không đáng kể, biểu hiện trạng thái ngắt.



Hình 4.26: Mạch đo thử FET cổng kép.

#### b) Đo thử điện áp đánh thủng cổng kép

MOSFET cổng kép thường cần phải đo thử điện áp đánh thủng thuận và nghịch giữa cổng-nguồn. Mạch đo thử cơ bản hình 4.26.  $V_{DS}$  và một cổng ở  $0V$  (cả hai ngắn mạch với cực nguồn). Điện áp thay đổi được đưa đến cổng còn lại và đo dòng cổng. Ví dụ, để đo  $V_{(BR)G1SSF}$ , của MOSFET 40841 ghi  $V_{DS}$  và  $V_{G2S}$  là  $0mV$  và  $I_{G1SSF}$  là  $100\mu A$  với  $V_{G1}$  điển hình là  $9V$  được đặt vào cổng  $G_1$ . Đo  $V_{(BR)G1SSR}$  theo cùng cách đo điện áp đánh thủng thuận, ngoại trừ là cực cổng được phân cực ngược. Kết quả là như nhau ( $I_{G1SSR}$  là  $100\mu A$  đối với 40841).  $V_{(BR)G2SSR}$  cũng đo bằng cách như trên, ngoại trừ là cổng 1 được nối với cực nguồn và điện áp được đặt vào cổng 2.

#### c) Đo thử dòng cổng kép

Đo thử dòng cổng kép cũng dùng mạch cơ bản để đo thử điện áp đánh thủng cổng như ở hình 4.26. Sự khác nhau trong quy trình là điện áp cực cổng được điều chỉnh đến trị số xác định và đo dòng kết quả. Ví dụ, để đo  $I_{G1SSF}$ , MOSFET với điều kiện đo ghi là  $V_{DS}$  và  $V_{GRS}$  là  $0V$  và  $V_{G1}$  là  $6V$  sẽ xuất hiện dòng  $I_{G1SSF}$  lớn nhất là  $60nA$ . Đo  $I_{G1SSR}$  theo cùng cách, nhưng  $V_{G1S}$  là  $-6V$ . Dòng  $I_{G2SSF}$  và  $I_{G2SSR}$  đo theo cùng cách đo dòng trên cổng 1, nhưng cổng 1 được nối với cực nguồn và điện áp được đặt vào cổng 2.

#### d) Đo thử $I_{DS}$

Phép đo này dùng cho các FET cổng kép hoạt động kiểu nghèo và nghèo / tăng cường. Cấu kiện cổng kép cũng có thể đo thử như đối với phép đo  $I_{DSS}$  ở mục 4.2.6 khi cả hai cổng được nối với nhau.

Mạch đo thử  $I_{DS}$  như ở hình 4.26, điều chỉnh điện áp  $V_{DS}$  đến trị số xác định, công 1 ngắn mạch với cực nguồn, và điều chỉnh điện áp đặt trên công 2 đến trị số xác định;  $I_{DS}$  được coi như cách đo thử dòng xuất hiện với phân áp 0, mặc dù một công có phân áp thuận. Ví dụ, 4084 với điều kiện đo ghi là  $V_{DS}$  là 15V,  $V_{G1S}$  là 0V và  $V_{G2S}$  là +4V, thì dòng  $I_D$  điển hình đo được là 10mA.

#### 4.2.10 ĐO THỬ CÁC ĐẶC TÍNH ĐỘNG CỦA FET

Khác với các đặc tính tĩnh ở trên, các đặc tính động (ac hoặc tín hiệu) của FET áp dụng như nhau cho các loại FET. Tuy nhiên các điều kiện và sự thể hiện của đặc tính động phụ thuộc phần lớn vào ứng dụng đã xác định. Mục này không xét các ứng dụng của FET mà đề cập vào quy trình đo thử đặc tính động của FET.

##### a) Tham số y

Đo thử tham số y được xem như là phép thử nghiệm động quan trọng nhất phù hợp với bất kỳ ứng dụng nào của FET. Đo thử tham số y xác định 4 dẫn nạp cơ bản (độ dẫn nạp thuận, độ dẫn nạp ngược, dẫn nạp vào và dẫn nạp ra) cần cho thiết kế mạch FET. *Độ dẫn nạp thuận* (cũng được hiểu như *độ hỗ dẫn*) có ghi ở tất cả các bản số liệu của FET, mặc dù có thể gọi bằng tên khác. Ví dụ, MFR137 ghi độ dẫn nạp thuận là  $g_{fs}$  (trị số điển hình là 750mmhos).

Theo định nghĩa đơn giản thì *dẫn nạp* là nghịch đảo của trở kháng. Trở kháng ( $Z$ ) là tổ hợp của điện trở ( $R$ , phần thực) và hư kháng ( $X$ , phần ảo). Dẫn nạp ( $y$ ) gồm điện dẫn ( $g$ , phần thực) và điện nạp ( $j_b$ , phần ảo). Vậy,  $g$  là nghịch đảo của  $R$  và  $j_b$  là nghịch đảo của  $X$ .

Để xác định  $g$ , lấy nghịch đảo của  $R$ ; hoặc tính  $R$ , lấy nghịch đảo của  $g$ .  $Z$  biểu thị theo Ohm. Dẫn nạp  $y$  là nghịch đảo của trở kháng tính theo mho hoặc millimho (mmho). Chẳng hạn như trở kháng  $Z$  là  $50\Omega$ , thì dẫn nạp là 20mmho ( $1/50\Omega = 0,02\text{mho} = 20\text{mmho}$ ).

Tham số y là biểu diễn của dẫn nạp dưới dạng:

$$y_i = g_i + j_{bi}$$

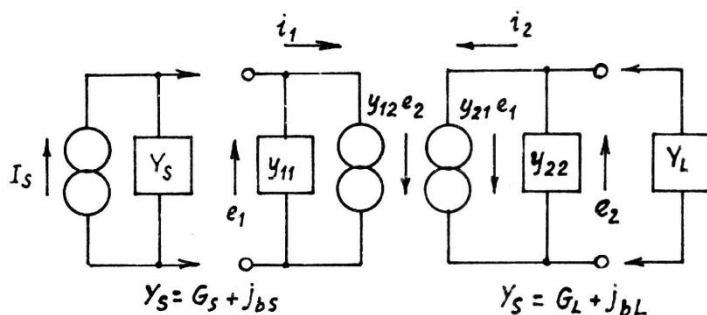
trong đó:  $g_i$  là phần thực (điện dẫn) của dẫn nạp đầu vào;  $j_{bi}$  là phần ảo (điện nạp) của dẫn nạp đầu vào; và  $y_i$  là dẫn nạp đầu vào (nghịch đảo của  $Z$ ).

Biểu thức  $y_i = g_i + j_{bi}$  biểu diễn tham số y ở dạng tọa độ vuông góc. Một số trang số liệu của nhà chế tạo cho tham số y dưới dạng tọa độ cực.

##### b) Bốn tham số y cơ bản

Hình 4.27, là mạch tương đương tham số y của FET. Chú ý là tham số y có thể biểu diễn bằng số hoặc bằng chữ dưới dòng. Biểu diễn theo dạng chỉ số dưới dòng bằng chữ là phổ biến.

Các lưu ý dưới đây dùng để chuẩn hóa tên gọi tham số y. Chữ s ở chỉ số dưới dòng chỉ hoạt động kiểu nguồn-chung của FET.



Hình 4.27: Mạch tương đương tham số y của FET.

$y_{11}$  là dẫn nạp đầu vào và tương đương với  $y_{is}$

$y_{12}$  là độ hỗ dẫn ngược và tương đương với  $y_{rs}$

$y_{21}$  là độ hỗ dẫn thuận và tương đương với  $y_{fs}$

$y_{22}$  là dẫn nạp đầu ra và tương đương với  $y_{os}$

Dẫn nạp đầu vào với  $Y_L = \text{vô cùng}$  (ngắn mạch tải) được biểu diễn như sau:

$$y_{11} = g_{11} + j_{b11} = di_1 / de_1 \quad (\text{với } e_2 = 0) \quad (4.1)$$

nghĩa là  $y_{11}$  bằng độ chênh lệch điện áp  $e_1$  chia cho độ chênh lệch vi phân của dòng  $i_1$  với điện áp  $e_2$  ở mức 0V. Các dòng và điện áp liên quan như ở mạch hình 4.27.



Một số trang số liệu không cho  $y_{11}$  ở bất kỳ tần số nào, mà thay vào đó cho điện dung vào  $C_{iss}$ . Ví dụ, MRF137 ghi  $C_{iss}$  là 48pF ở tần số 1MHz (điện dung vào sẽ được xem xét ở mục 4.2.12). Nếu giả sử rằng điện dẫn vào là hoàn toàn (hoặc phần lớn) dung tính, thì có thể tính trở kháng vào bằng cách nhân điện dung vào  $C_{iss}$  với  $6.28f$  ( $f$  là tần số tính theo Hz) rồi tính nghịch đảo.

Vì dẫn nạp là nghịch đảo của trở kháng, dẫn nạp được xác định bằng cách nhân điện dung vào với 6,28f (ở đây dẫn nạp là dung tính). Ví dụ, nếu tần số là 100MHz, điện dung vào  $C_{iss}$  là 9pF, thì dẫn nạp vào là:  $6,28 \times (100 \times 10^6) \times (9 \times 10^{-12}) \approx 5$  hoặc 6mmho.

Dẫn nạp thuận (hoặc hỗ dẫn) với  $Y_L = \infty$  (ngắn mạch tải) được viết như sau:

$$y_{21} \text{ (hoặc } g_{fs}) = g_{21} + j_{b21} = di_2 / de_1 \text{ (với } e_2 = 0) \quad (4.2)$$

nghĩa là  $y_{21}$  bằng độ chênh lệch dòng ra  $i_2$  chia cho độ chênh lệch điện áp vào  $e_1$  với điện áp  $e_2 = 0V$ . Nói cách khác  $y_{21}$  biểu diễn độ chênh lệch dòng ra đối với độ chênh lệch điện áp vào.

Dẫn nạp ra với  $Y_S = \infty$  (ngắn mạch cổng-nguồn hoặc đầu vào) được biểu diễn theo:

$$y_{22} = g_{22} + j_{b22} = di_2 / de_2 \text{ (với } e_1 = 0) \quad (4.3)$$

Dẫn nạp ngược, với  $Y_S = \infty$  (ngắn mạch cổng-nguồn hoặc đầu vào) được biểu diễn theo:

$$y_{12} = g_{12} + j_{b12} = di_1 / de_2 \text{ (với } e_1 = 0) \quad (4.4)$$

$y_{12}$  thường không được xem là tham số quan trọng của FET, nhưng  $y_{12}$  có thể có trong các phương trình liên quan để thiết kế mạch RF.

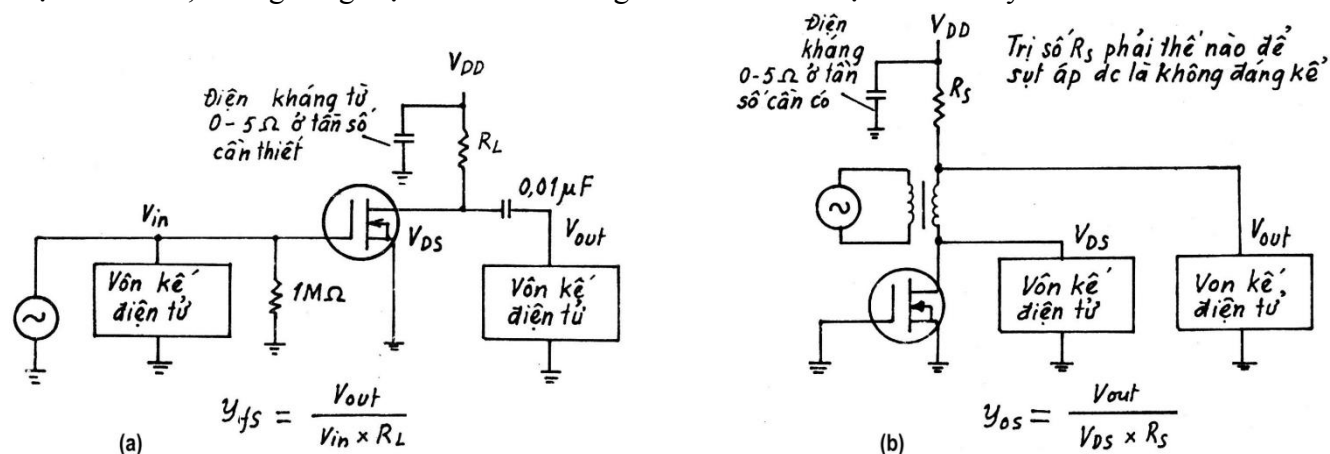
### c) Đo tham số dẫn nạp (tham số $y$ )

Tham số dẫn nạp thường không cho sẵn hoặc cho ở dạng thuận tiện. Trong thực tế thiết kế, phải đo tham số  $y$  bằng thiết bị đo thử. Quan trọng là khi đo tham số  $y$  là phép đo được thực hiện với điều kiện mô phỏng điều kiện mạch đã được thiết kế hoàn chỉnh. Ví dụ nếu điện áp nguồn, điện áp phân cực và tần số làm việc không đồng nhất với mạch hoàn chỉnh thì các phép đo thử nghiệm có thể bị sai lệch.

Phương pháp cơ bản để đo tham số  $y$  của FET là đo trực tiếp thông số (như sự thay đổi ở đầu ra tương ứng với thay đổi ở đầu vào).

### d) Đo trực tiếp độ dẫn nạp thuận ( $y_{fs}$ , $g_{fs}$ , $y_{21}$ )

Hình 4.28a, là mạch đo cơ bản để đo trực tiếp độ dẫn nạp thuận (độ hỗ dẫn thuận). Mặc dù trên hình vẽ một kiểu FET, nhưng cùng mạch đo có thể dùng để đo cho cấu kiện đơn bất kỳ.



Hình 4.28: (a) Mạch đo trực tiếp độ dẫn nạp thuận  $y_{fs}$ . (b) Mạch đo trực tiếp độ dẫn nạp ra  $y_{os}$ .

Trị số của  $R_L$  cần phải thích hợp để độ sụt áp tạo ra bởi dòng máng của FET là không đáng kể và mức điện áp làm việc ( $V_{DS}$  đối với FET) là đúng với mức điện áp nguồn cung cấp đã cho ( $V_{DD}$ ) và dòng làm việc ( $I_D$ ). Ví dụ, nếu  $I_D$  là 10mA,  $V_{DD}$  là 20V và  $V_{DS}$  là 15V, sụt áp trên  $R_L$  cần phải là 5V ở mức dòng 10mA. Vậy trị số của  $R_L$  là  $5V/0,01A = 500\Omega$ .

Trong quá trình đo thử, điều chỉnh nguồn tín hiệu đến tần số cần đo. Biên độ nguồn tín hiệu  $V_{in}$  điều chỉnh đến mức thích hợp, bằng 1V hoặc 100mV. Trị số của  $y_{fs}$  ( $g_{fs}$  hoặc  $y_{21}$ ) được tính theo biểu thức:

$$y_{fs} = \frac{V_{out}}{V_{in} \times R_L} \quad (4.5)$$

Tính theo mho (mmho, hoặc  $\mu$ mho). Ví dụ, giả sử  $R_L$  là  $1000\Omega$ ,  $v_{in}$  là 1V và  $v_{out}$  là 8V, thì trị số của  $y$  là

$8/(1 \times 1000) = 0,008\text{mho} = 8\text{mmho} = 8000\mu\text{mho}$ .

#### e) Đo trực tiếp dẫn nạp ra ( $y_{os}, y_{22}$ )

Hình 4.28b, là mạch đo trực tiếp dẫn nạp ra điển hình. Trị số của  $R_1$  cần phải đảm bảo để tạo nên sụt áp không đáng kể (vì  $V_{DC}$  phải giữ ở mức đã định đối với  $V_{DD}$  và  $I_D$  đã cho). Trong khi đo thử, nguồn tín hiệu được điều chỉnh đến tần số cần thiết. Đo  $v_{out}$  và  $v_{DS}$ . Tính trị số  $y_{os}$  hoặc  $y_{22}$  theo biểu thức:

$$y_{os} = \frac{v_{out}}{v_{DS} R_S} \quad (4.6)$$

Một số trang số liệu không cho biết  $y_{os}$  hoặc  $y_{22}$ , mà cho điện dung ra  $C_{oss}$  (xem mục 4.2.13), chẳng hạn như MRF137 có  $C_{oss}$  là 54pF. Dẫn nạp ra được tính bằng điện dung ra nhân với 6,28f.

#### f) Đo trực tiếp dẫn nạp vào ( $y_{is}, y_{11}$ )

Mặc dù  $y_{is}$  hoặc  $y_{11}$  không phải là thông số quan trọng đối với FET, nhưng cần phải biết trị số của  $y_{is}$  để tính mạch phối hợp trở kháng của bộ khuếch đại RF dùng FET. Nếu cần xác định phần ảo ( $j_{bis}$ ) thì dùng đồng hồ đo dẫn nạp hoặc đồng hồ đo  $R_X$ .

Hầu hết các trang số liệu FET cho điện dung vào  $C_{iss}$  (xem mục 4.2.12), chẳng hạn như MRF137 ghi  $C_{iss}$  là 48pF. Dẫn nạp vào được tính bằng cách nhân điện dung vào với 6,28f.

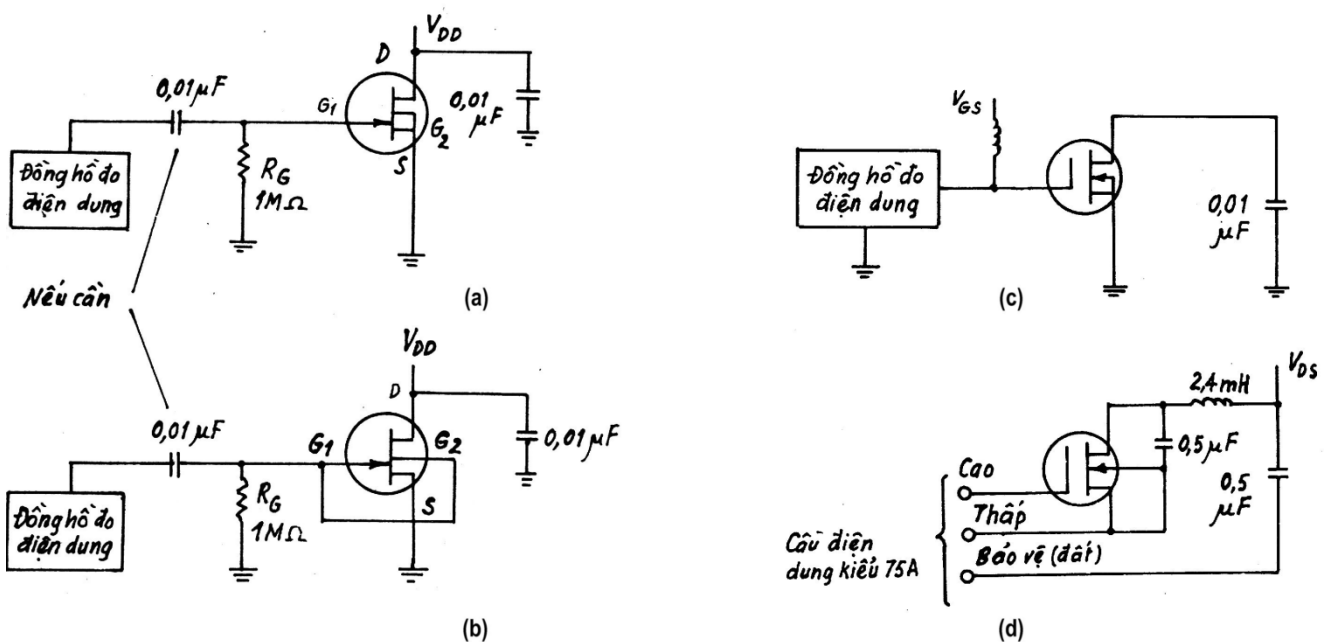
#### g) Đo trực tiếp hệ số truyền dẫn ngược ( $y_{rs}, y_{12}$ )

Mặc dù  $y_{rs}$  cũng không phải là thông số quan trọng đối với FET, nhưng cần biết trị số  $y_{rs}$  để tính mạch phối hợp trở kháng (ở một số quy trình thiết kế). Phần thực ( $g_{rs}$ ) được giữ bằng 0 đối với mọi điều kiện và tại tất cả các tần số, phần ảo ( $j_{brs}$ ) không thay đổi theo điện áp, dòng và tần số. Điện nạp ngược thay đổi và với các điều kiện xác định có thể tạo ra hồi tiếp không mong muốn từ đầu ra đến đầu vào, nên phải tính toán đối với thiết kế bộ khuếch đại RF để ngăn ngừa hồi tiếp gây nên dao động. Nếu cần xác định phần ảo ( $j_{brs}$ ) thì dùng đồng hồ đo dẫn nạp hoặc đồng hồ đo  $R_X$ .

Phần lớn các trang số liệu của FET đều cho điện dung truyền ngược  $C_{rss}$  (mục 4.2.14). Chẳng hạn như MRF137 ghi  $C_{rss}$  là 11pF. Tính độ dẫn nạp ngược bằng cách nhân điện dung truyền ngược với 6,28f.

### 4.2.11 HỆ SỐ KHUYẾT ĐẠI CỦA FET

Hệ số khuếch đại của FET thường không có ở hầu hết các trang số liệu do sự khuếch đại thường không có giá trị lớn trong phần lớn các áp dụng tín hiệu nhỏ của FET (thường dùng hệ số khuếch đại



Hình 4.29: Mạch đo thử  $C_{iss}$  của JFET (a), (b); và của MOSFET (c), (d).

công suất kiểu nguồn-chung  $g_{ps}$  nhiều hơn). Hệ số khuếch đại xác định mối quan hệ giữa điện áp tín hiệu ra và điện áp tín hiệu vào khi mức dòng ra giữ không đổi, hoặc hệ số khuếch đại bằng  $\Delta V_{DS} / \Delta V_{GS}$  khi  $I_D$  giữ không đổi. Cũng có thể tính hệ số khuếch đại bằng  $y_{fs} / y_{os}$ .

#### 4.2.12 ĐO THỬ ĐIỆN DUNG VÀO CỦA FET

Điện dung vào ( $C_{iss}$ ) là điện dung vào kiểu nguồn-chung khi ngắn mạch đầu ra và được dùng thay thế cho  $y_{is}$  ở tần số thấp, do  $y_{is}$  có dung tính hoàn toàn ở tần số thấp. Để xác định trị số gần đúng của  $y_{is}$  ở tần số thấp (dưới 1MHz) cần phải nhân  $C_{iss}$  với  $6,28f$ , kết quả là  $j_{bis}$  hoặc phần ảo của  $y_{is}$ . Ở tần số thấp,  $g_{is}$  có thể được xem như bằng 0.  $C_{iss}$  là đặc tính quan trọng đối với FET trong ứng dụng làm chuyển mạch hoặc mạch rung, do điện áp chuyển mạch lớn ở cực cổng phải xuất hiện trên điện dung  $C_{iss}$ .

##### a) Đo thử $C_{iss}$

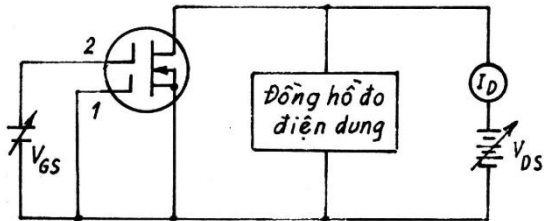
Mạch ở hình 4.29a, b, c, d, là mạch cơ bản để đo thử  $C_{iss}$ . Hình 4.29a, b, dùng cho JFET, còn hình 4.29c, d, cho MOSFET. Đối với MOSFET cổng kép, phép đo điện dung là phép đo giữa cổng 1 và tất cả các điện cực khác. Với MOSFET cổng đơn, phép đo điện dung là phép đo giữa cực cổng và tất cả các điện cực khác.

Mạch ở hình 4.29c, là mạch đo cho MOSFET, cần phải đặt vào điện áp  $V_{GS}$  xác định, mà không cần  $V_{DS}$ . Mạch ở hình 4.29d, sử dụng cầu đo điện dung ba đầu (cao, thấp, và đầu bảo vệ hoặc đất).

Sử dụng hai mạch đo là do một số trang số liệu về MOSFET cho  $V_{DS}$ ,  $I_D$ , và  $V_{GS}$  ở mức xác định khi đo  $C_{iss}$ . Các trang số liệu khác định rõ  $V_{DS} = 0$  và đôi khi  $V_{GS} = 0V$ .

#### 4.2.13 ĐO THỬ ĐIỆN DUNG RA CỦA FET

Điện dung ra  $C_{oss}$  là điện dung ra của mạch nguồn-chung với một đầu vào ngắn mạch. Mạch ở hình 4.30, là mạch cơ bản để đo thử  $C_{oss}$  Mặc dù vẽ FET cổng kép, mạch cũng dùng cho FET cổng đơn. Tuy nhiên, với FET cổng đơn, đặt  $V_{GS} = 0V$  (cổng ngắn mạch với cực nguồn).



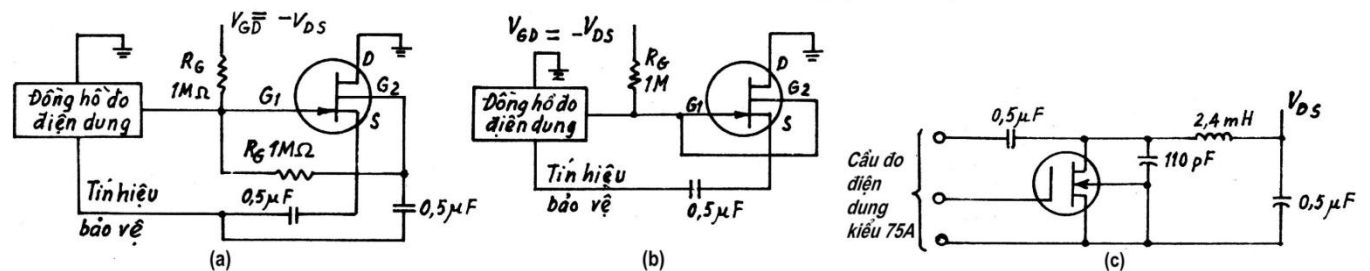
Hình 4.30: Mạch đo thử  $C_{oss}$  của FET.

#### 4.2.14 ĐO THỬ ĐIỆN DUNG TRUYỀN NGƯỢC

Điện dung truyền ngược  $C_{rss}$  được xác định như điện dung truyền ngược nguồn-chung với đầu vào ngắn mạch.  $C_{rss}$  thường dùng thay cho  $y_{rs}$ , dẫn nạp truyền ngược ngắn mạch, vì  $y_{rs}$  gần như là hoàn toàn dung tính ở dải tần số hữu dụng của đa số FET.  $C_{rss}$  cũng là yếu tố quan trọng chính với FET dùng làm chuyển mạch.  $C_{rss}$  nạp và phóng trong khoảng thời gian chuyển mạch.

##### a) Đo thử $C_{rss}$

Hình 4.31a, b, là mạch đo thử cơ bản của  $C_{rss}$ . Hình 4.31a,b, dùng cho JFET, còn hình 4.31c, dùng cho MOSFET. Cách đo ba đầu dùng cho mọi trường hợp. Đối với MOSFET cổng kép, cổng 2 và cực nguồn được đưa trở về đầu bảo vệ và thực hiện phép đo điện dung giữa cổng 1 và cực máng.



Hình 4.31: (a), (b) Mạch đo thử  $C_{rss}$  của JFET, (c) Mạch đo thử  $C_{rss}$  của MOSFET.

#### 4.2.15 ĐO THỬ ĐIỆN DUNG THÀNH PHẦN CỦA FET

Giữa các bộ phận của FET đều có một điện dung nào đó. Một số điện dung có ảnh hưởng đến đặc tính động của FET. Điện dung tiếp giáp giữa đế-máng  $C_{d(sub)}$  là điện dung thành phần quan trọng nhất của FET.  $C_{d(sub)}$  thường có ở trang số liệu của FET dùng làm chuyển mạch, do  $C_{d(sub)}$  xuất hiện song song với tải trong mạch chuyển mạch và được nạp và phóng giữa hai mức logic trong thời gian chuyển mạch. Điện dung máng-nguồn  $C_{ds}$  là đặc tính kỹ thuật khác có ở một số trang số liệu của FET chuyển mạch.  $C_{ds}$  cũng xuất hiện song song với tải trong các ứng dụng chuyển mạch và logic. Điện dung giữa các thành phần của FET có thể đo bằng đồng hồ đo điện dung. Không cần cách mắc mạch đặc biệt khi đo thử. Một số trang số liệu ghi rõ cách mắc mạch và điều kiện xác định như tất cả các thành phần còn lại

được nối với cực nguồn, hoặc cực cổng nối với cực nguồn.

#### 4.2.16 ĐO THỬ ĐIỆN TRỞ KÊNH DẪN CỦA FET

Điện trở kênh dẫn là đặc tính quan trọng của FET dùng làm chuyển mạch. Điện trở kênh biểu thị điện trở khối của kênh kết nối giữa cực máng và cực nguồn và gọi là  $r_{d(on)}$ ,  $r_{DS}$ ,  $R_{DS}$ ,  $R_{ds}$ ,  $r_{d(off)}$ , v. v. . . tùy trang số liệu của các hãng chế tạo FET.

Trong thực tế, có 2 đặc tính kỹ thuật của điện trở kênh liên quan đến các ứng dụng chuyển mạch là đặc tính đóng "on" và ngắt "off". Đặc tính "on" là điện trở kênh khi FET được phân cực dẫn. Ở FET kiểu nghèo, trạng thái dẫn có thể được tạo ra bằng điện áp phân cực 0 ( $V_{GS} = 0$ ). Ở kiểu tăng cường, trạng thái dẫn yêu cầu phân cực thuận. Ngược lại, trạng thái ngưng dẫn của FET kiểu nghèo cần phải có điện áp phân cực ngược ( $< V_{GS(off)}$ ), còn với kiểu FET tăng cường, trạng thái ngưng dẫn cần điện áp phân cực bằng 0 ( $< V_{GS(TH)}$ ).

##### a) Đo thử $r_{ds(on)}$ và $r_{ds(off)}$

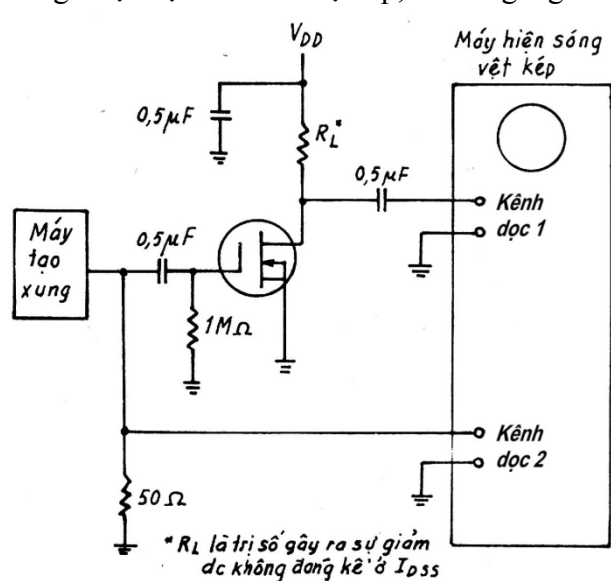
Hình 4.32, là mạch cơ bản để đo thử cả hai điện trở kênh. Đối với FET kiểu / tăng cường,  $r_{ds(on)}$  được đo bằng cách điều chỉnh  $V_{GS}$  đến 0V (hoặc đơn giản là ngắt mạch cực cổng và cực nguồn). Điều chỉnh nguồn điện áp ac đến trị số thích hợp (1V, 10V, v. v. . .), đo dòng kênh. Trị số  $r_{ds} = V/I$ . Nếu FET là loại chỉ tăng cường thì cần phải có điện áp điều khiển phân cực thuận đặt ở cổng và điều chỉnh  $V_{GS}$  đến trị số xác định. Mạch hình 4.32, cũng có thể dùng để đo điện trở kênh "off"  $r_{ds(off)}$ , nhưng điều kiện phân cực cổng là ngược

lại với phép đo  $r_{ds(on)}$ . Đối với FET kiểu nghèo và kiểu nghèo / tăng cường, cực cổng cần phải có điện áp phân cực ngược bằng cách điều chỉnh  $V_{GS}$  đến trị số xác định. Đối với FET kiểu chỉ tăng cường, cực cổng phải được ngắt mạch với cực nguồn. Mạch hình 4.32, cũng dùng để đo điện trở kênh dẫn của FET cổng kép. Thông thường, cách đơn giản nhất là nối cả hai cổng với nhau, nhưng cũng có một số trang số liệu ghi rõ phân áp cố định ở 1 hoặc cả 2 cổng. Số liệu tham khảo điện trở "on" của một MOSFET điển hình là khoảng 200 $\Omega$ , và điện trở "off" là lớn hơn 10<sup>10</sup> $\Omega$ .

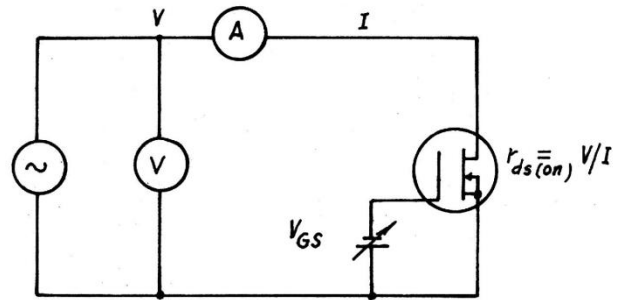
Đối với FET kiểu nghèo và kiểu nghèo / tăng cường, cực cổng cần phải có điện áp phân cực ngược bằng cách điều chỉnh  $V_{GS}$  đến trị số xác định. Đối với FET kiểu chỉ tăng cường, cực cổng phải được ngắt mạch với cực nguồn. Mạch hình 4.32, cũng dùng để đo điện trở kênh dẫn của FET cổng kép. Thông thường, cách đơn giản nhất là nối cả hai cổng với nhau, nhưng cũng có một số trang số liệu ghi rõ phân áp cố định ở 1 hoặc cả 2 cổng. Số liệu tham khảo điện trở "on" của một MOSFET điển hình là khoảng 200 $\Omega$ , và điện trở "off" là lớn hơn 10<sup>10</sup> $\Omega$ .

#### 4.2.17 ĐO THỬ ĐẶC TÍNH CHUYỂN MẠCH CỦA FET

Cách đo thử đặc tính chuyển mạch của BJT cũng áp dụng cho FET như thực hiện việc xác định các thông số của xung vào và ra. Mạch ở hình 4.21, là mạch đo thử đặc tính chuyển mạch của FET (thời gian tăng, thời gian giảm, thời gian trễ và thời gian tồn tại xung). Máy hiện sóng phải có đáp tuyến tần số rộng và đặc tính truyền đạt tốt (thời gian tăng nhanh hơn xung sử dụng). Các kênh dọc của máy hiện sóng được định chuẩn điện áp, kênh ngang chuẩn theo thời gian. FET được đo thử bằng cách đưa xung vào cổng đồng thời với một đầu vào dọc của máy hiện sóng. Trong một số trường hợp còn đưa điện áp phân cực vào cực cổng của FET. Tín hiệu đầu ra của FET đưa vào đầu vào dọc còn lại của máy hiện sóng. So sánh hai xung (đầu vào và đầu ra của FET) về thời gian tăng, thời gian giảm, thời gian trễ, thời gian tồn tại xung, dạng v.v. . . Đặc tính xung ra của FET được so với đặc tính kỹ thuật của FET.



Hình 4.33: Mạch đo thử đặc tính chuyển mạch của FET.



Hình 4.32: Mạch đo thử  $r_{ds(on)}$  và  $r_{ds(off)}$ .

So sánh hai xung (đầu vào và đầu ra của FET) về thời gian tăng, thời gian giảm, thời gian trễ, thời gian tồn tại xung, dạng v.v. . . Đặc tính xung ra của FET được so với đặc tính kỹ thuật của FET.

#### 4.2.18 ĐO THỬ ĐỘ KHUYẾT ĐẠI CỦA FET

Trang số liệu của FET dùng khuếch đại thường ghi đặc tính khuếch đại như độ khuếch đại công suất ở một tần số xác định với điều kiện đo thử xác định (như  $V_{GS}$ ,  $V_{DD}$ , và  $I_D$ ).

Độ khuếch đại được biểu thị theo dB, đôi khi là trị số lớn nhất hoặc nhỏ nhất. Ví dụ, MRF137 có độ khuếch đại công suất nguồn-chung ( $G_{ps}$ ) điển hình là 16dB ở 150MHz với  $V_{DD}$  là 28V và  $I_D$  là 25mA và

công suất ra ( $P_{out}$ ) là 30W.  $G_{ps}$  nhỏ nhất là 13dB với cùng điều kiện đo thử. Ở 400MHz,  $G_{ps}$  điển hình giảm xuống gần 7,7dB.

Cách đo thử  $Y_{fs}$  ở mục 4.2.10, có thể dùng để xác định độ khuếch đại của FET. Tuy nhiên, phép đo thử không cho biết độ khuếch đại ở mạch đang làm việc. Cách đo thử đúng duy nhất của độ khuếch đại là để FET hoạt động trong mạch đang làm việc và đo độ khuếch đại thực tế. Phương pháp thực tế nhất là cho FET làm việc ở mạch sử dụng. Tuy nhiên, nếu có mạch đo thử độ khuếch đại chuẩn hoặc đa năng để đo thử FET được thuận tiện.

#### 4.2.19 CÁC SAI HỒNG TRONG TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG.

Một số sai hỏng thông thường ở các FET gồm:

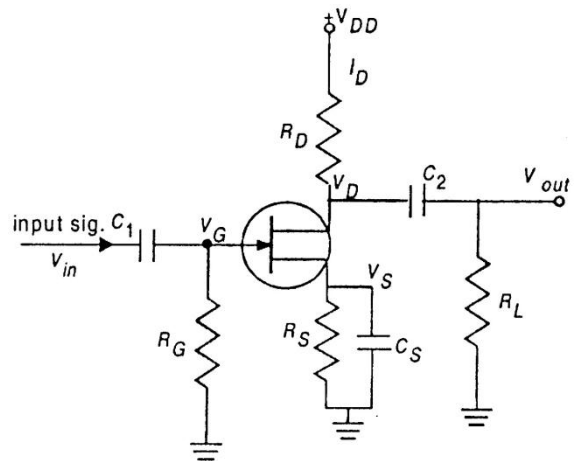
1. Cổng có thể bị hở mạch.
2. Cực nguồn có thể bị hở mạch.
3. Cực máng có thể bị hở mạch.
4. Giữa cực nguồn và cực máng có thể trở nên bị ngắn mạch.
5. Lớp cách điện bằng dioxide Silicon có thể bị đánh thủng trong các MOSFET.
6. Cực đế có thể trở nên bị hở mạch.
7. Cổng - Nguồn trong JFET có thể bị ngắn mạch.
8. Cổng - Máng trong JFET có thể trở thành bị ngắn mạch.

Khi một transistor hiệu ứng trường hỏng, thì cần phải thay thế. Thông thường FET là cấu kiện bán dẫn rất tin cậy. Trước khi nghi ngờ các FET bị hỏng, hãy thử thực hiện các phép đo để đảm bảo rằng không có hư hỏng ở cấu kiện nào hay kết nối khác trong mạch liên quan tới FET.

##### a) Phân tích hư hỏng trong một mạch khuếch đại bằng FET điển hình.

Hình 4.34, là một mạch khuếch đại bằng FET kênh- $n$  điển hình, theo kiểu mạch cực nguồn-chung.

Do có dòng  $I_D$ ,  $R_S$  sẽ có mức điện áp dương so với đất (0V). Cổng (G) đang có mức 0Vdc, có mức điện áp âm so với cực nguồn (S), tức là cổng được phân cực ngược. Tín hiệu đặt vào cổng thông qua tụ ghép  $C_1$ . Khi tín hiệu làm thay đổi mức phân cực, dòng máng sẽ thay đổi qua  $R_D$  nên điện áp ra tại cực máng (D) sẽ thay đổi. Tín hiệu ra lấy trên điện trở tải  $R_L$  thông qua một tụ ghép tầng  $C_2$ . Tụ rẽ mạch cực nguồn  $C_S$  sẽ tạo đường nối đất đối với dòng tín hiệu và do đó tránh hồi tiếp âm. Ở mạch bình thường, không có hư hỏng, điện áp dc tại cực cổng bằng 0, tại cực nguồn có mức điện áp dương (khoảng một phần mười  $V_{DD}$ ), điện áp tại cực máng dương (khoảng 50% mức  $V_{DD}$ ) và điện áp trên tải bằng 0. Điện áp tín hiệu vào ( $v_{in}$ ) tại cổng có biên độ nhỏ (trong dải millivolt) và  $V_{out}$  lớn (dải Volt). Các hư hỏng điển hình trong mạch FET ở hình 4.34, được liệt kê trong bảng 4.3, bảo dưỡng sửa chữa mạch. Lưu ý rằng, điện áp tín hiệu ac sẽ được chòng chập trên mức điện áp dc, do đó nếu không có dòng dc, thì tín hiệu ac cũng không có.



Hình 4.34: Mạch khuếch đại bằng FET.

**Bảng 4.3:** Các sai hỏng điển hình trong các mạch FET.

Trạng thái	Các sai hỏng
1. FET hở mạch	Không có dòng máng, nên $V_D$ sẽ bằng $V_{DD}$ và $v_{out}$ sẽ bằng 0, $V_S$ sẽ bằng 0.
2. FET bị ngắn mạch	$V_{DS}$ bằng 0, và $V_S$ sẽ cao. Không có ảnh hưởng của tín hiệu lên $I_D$ , nên $v_{out} = 0$ .
3. $R_G$ bị đứt	Không có mạch dc đối với các hạt tải điện thiểu số nên sẽ có tích tụ tại cực cổng và sẽ làm thay đổi mức điện áp phân cực.
4. $C_1$ đứt	Tín hiệu sẽ không đưa đến cổng, nên không có tín hiệu ra, nhưng các thông số dc vẫn không thay đổi.
5. $C_1$ ngắn mạch	Điện áp dc nếu có trong nguồn tín hiệu, sẽ được cung cấp đến

6. $C_2$ hở mạch	công cùng với tín hiệu vào ( $v_{in}$ ) sẽ làm thay đổi mức điện áp phân cực.
7. $C_2$ bị ngắn mạch	$v_{out} = 0$ . Không có thay đổi ở các thông số $dc$ . Có mức điện áp $dc$ nào đó sẽ được đặt đến $R_L$ , nên sẽ làm thay đổi mức phân cực của tầng tiếp theo.
8. $R_D$ hở mạch	$V_D = 0, V_S = 0, I_D = 0, v_{out} = 0$ .
9. $R_D$ bị ngắn mạch	$V_D = V_{DD}$ .
10. $R_S$ hở mạch	Toàn bộ $V_{DD}$ sẽ có tại cực nguồn thông qua kênh dẫn, có thể đánh thủng $C_S$ . Tín hiệu ra ( $v_{out}$ ) sẽ bằng 0.
11. $R_S$ hoặc $C_S$ bị ngắn mạch	Mất điện áp phân cực âm. Nên $I_D$ sẽ tăng lên, dẫn đến trạng thái bão hòa.
12. $C_S$ hở mạch	Xuất hiện hồi tiếp âm, làm giảm hệ số khuếch đại. Không ảnh hưởng lên các thông số $dc$ .

### 4.3 ĐO THỬ THYRISTOR VÀ SCR

Tên gọi chỉnh lưu có điều khiển và thyristor chỉ các cấu kiện bán dẫn có cấu trúc bốn lớp hoặc liên quan, thường dùng trong các ứng dụng điều khiển điện tử. Các cấu kiện quen thuộc nhất là SCR, SCS, chuyển mạch 4 lớp, triac, diac, SUS, SBS và GTO.

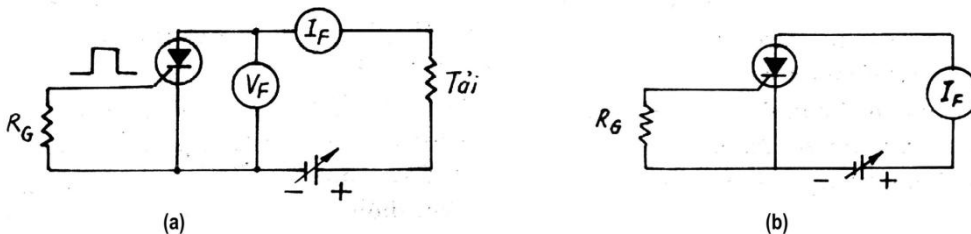
#### 4.3.1 NGUYÊN LÝ CƠ BẢN CỦA SCR VÀ THYRISTOR

Chỉnh lưu có điều khiển tương tự như diode nhưng có điểm khác biệt chính là SCR phải được khởi động hoặc turn-on bằng nguồn điện áp ngoài.

SCR có điện trở thuận và ngược lớn (tức không có dòng chảy qua khi chưa kích khởi). Khi được kích dẫn, điện trở thuận giảm xuống gần bằng 0 (hoặc nhỏ 1 đến 2V) nên có dòng thuận lớn, giống như diode cơ bản. Điện trở ngược giữ ở mức cao, nên không có dòng ngược chảy qua SCR, do đó SCR thường dùng để chỉnh lưu nguồn  $ac$ . Dòng thuận chảy liên tục khi còn điện áp thuận đặt vào. Nếu ngắt bỏ điện áp thuận thì dòng thuận ngưng và chỉnh lưu có điều khiển ngắt "turn off". Trong các ứng dụng, phần lớn các loại chỉnh lưu có điều khiển thực chất là cùng một kiểu (hoặc có cải biến đôi chút) nhưng được sản xuất dưới các tên thương mại hoặc các thiết kế khác nhau. Tên gọi *Thyristor* dùng cho nhiều kiểu chỉnh lưu có điều khiển. Thyristor được xác định như một chuyển mạch bán dẫn, có sự hồi tiếp xuất hiện trong hoạt động bình thường. Thyristor có thể là cấu kiện có hai, ba hoặc bốn điện cực, và có khả năng hoạt động theo cả một và hai chiều.

#### 4.3.2 ĐO THỬ CÁC THÔNG SỐ CỦA SCR

Các thông số quan trọng nhất của SCR thường được xem xét gồm: điện áp thuận, điện áp chặn thuận, dòng ngắt thuận, điện áp anode ngược, điện áp chặn ngược v.v. . . Các thông số đo thực tế có thể được so sánh với các thông số ở trang số liệu của chỉnh lưu có điều khiển và cấu kiện thyristor thông thương.



Hình 4.35: (a) Mạch đo thử cơ bản ở trạng thái làm việc thuận; (b) Mạch đo thử cơ bản ở trạng thái ngắt thuận.

*Điện áp thuận* là sụt áp giữa anode và cathode khi SCR ở trạng thái dẫn. Dòng anode thuận là trị số dòng từ anode qua cathode của SCR ở trạng thái làm việc.

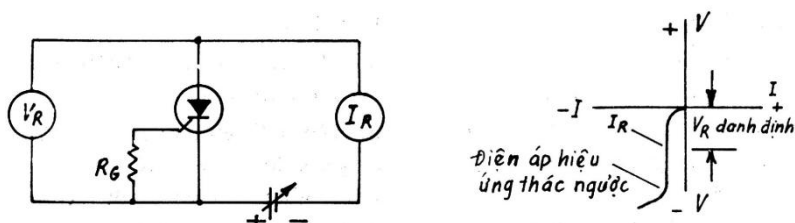
*Điện áp chặn thuận* là mức điện áp phân cực thuận trên anode-cathode lớn nhất của SCR chưa chuyển sang trạng thái dẫn khi dòng công bằng 0. Điện áp vượt quá mức ngắt thuận là trị số của điện áp anode thuận mà tại đó SCR chuyển sang trạng thái dẫn. Cách mắc mạch đo thử ở điều kiện làm việc thuận như ở hình 4.35a.

*Dòng ngắt thuận* là mức dòng anode chảy qua SCR khi ở trạng thái chặn thuận (phân cực thuận anode-

cathode), đôi khi còn gọi là dòng rò thuận. Hình 4.35b, là mạch đo thử cơ bản để đo dòng ngắt thuận. *Điện áp anode ngược* là trị số điện áp phân cực ngược anode-cathode. Điện áp ngược định mức của SCR là mức điện áp ngược đỉnh (PIV).

*Điện áp chặn ngược* là mức điện áp anode-cathode ngược lớn nhất (khi dòng công bằng 0) mà SCR có thể chịu được trước khi đánh thủng do điện áp như điện áp ngược đỉnh của diode thông thường.

*Dòng ngược* là dòng chảy qua SCR từ cathode sang anode ở điều kiện xác định của điện áp ngược và nhiệt độ. Cách mắc mạch đo thử cơ bản ở trạng thái ngược như ở mạch hình 4.36.

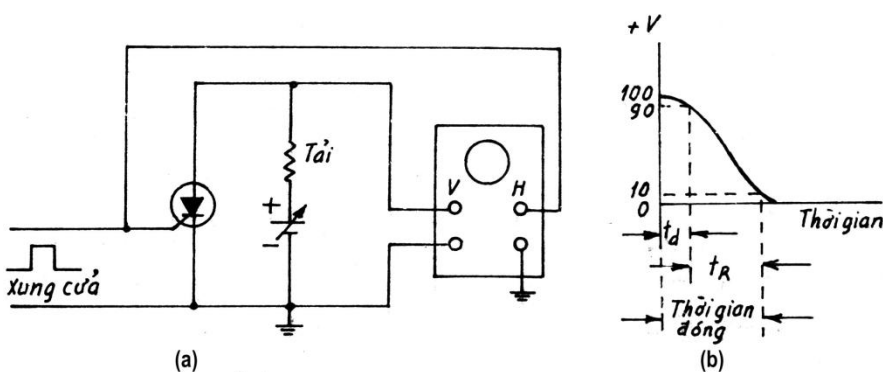


Hình 4.36: Mạch đo thử cơ bản trạng thái ngược của SCR.

*Dòng giữ* (holding current) là mức dòng nhỏ nhất chảy qua anode của thyristor đang dẫn mà cấu kiện không chuyển sang trạng thái ngắt (off).

*Nhiệt độ tiếp giáp* trong chỉnh lưu có điều khiển hoặc thyristor thường là nhiệt độ của cả ba tiếp giáp. Vì tất cả các thông số của thyristor đều phụ thuộc nhiệt độ, nên cần phải xem xét nhiệt độ làm việc của cấu kiện khi thực hiện phép đo thử nghiệm bất kỳ, nhất là rất quan trọng khi đo dòng giữ và thời gian trễ.

*Thời gian trễ* là khoảng thời gian giữa lúc bắt đầu có xung công và “thời điểm” tại đó mức điện áp chặn thuận giảm xuống 10% của biên độ lớn nhất. Hình 4.37, là mạch đo thử cơ bản để đo độ trễ và hình hiển thị trên máy hiện sóng, trong đó thời gian trễ là khoảng thời gian tiếp theo (ngay sau khi có xung công) cần để điện áp anode giảm đến mức 90% của trị số ban đầu. Thời gian trễ sẽ giảm khi tăng dòng công.



Hình 4.37: Mạch đo độ trễ của SCR.

*Thời gian tăng* là khoảng thời gian trong đó xung ra thay đổi từ 10% đến 90% của biên độ lớn nhất. Ở hình 4.37, thời gian tăng là khoảng thời gian cần để điện áp anode-cathode giảm từ 90% đến 10% của giá trị ban đầu.

*Thời gian mở* (turn on) thường được thể hiện như tổ hợp của thời gian trễ cộng với thời gian tăng.

*Thời gian ngắt* (turn off) là khoảng thời gian giữa lúc bắt đầu ngưng dẫn của SCR và thời điểm điện áp anode tăng trở lại mà SCR không dẫn. Khi SCR được kích dẫn và điện áp anode là dương thì SCR sẽ dẫn điện. Khi điện áp anode chuyển sang bán kỳ âm (xoay chiều) thì SCR ngưng dẫn. Tuy nhiên, nếu anode chuyển sang bán kỳ dương ngay lập tức (tín hiệu cao tần) thì SCR có thể dẫn trở lại mặc dù không có xung kích dẫn đặt vào công, tức là cần phải có một độ trễ nào đó giữa thời điểm SCR bắt đầu ngưng và thời điểm điện áp anode dương trở lại. Độ trễ như vậy được gọi là thời gian ngắt.

Các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian ngắt:

*Nhiệt độ tiếp giáp* Thời gian ngắt tăng khi nhiệt độ tiếp giáp tăng.

*Dòng thuận và tốc độ giảm của điện áp anode* Thời gian ngắt tăng theo dòng thuận và tốc độ giảm điện áp anode tăng.

*Dòng hồi phục* Nếu SCR phải chịu phân cực ngược (anode âm) ngay lập tức sau điều kiện dẫn thuận (như xuất hiện với dòng xoay chiều và điện áp anode giảm từ dương đến âm ở mỗi bán kỳ), thì dòng ngược (hoặc dòng hồi phục) chảy từ anode đến cathode. Bản chất của dòng hồi phục giống như dòng hồi phục của diode thông thường. Thời gian ngắt sẽ giảm khi dòng ngược (hay dòng hồi phục) tăng.

**Tốc độ tăng của điện áp thuận** Khi tốc độ tăng biên độ của điện áp thuận tăng thì thời gian ngắt tăng. **Tốc độ tăng ( $dV/dt$ )**. Khi điện áp anode-cathode tăng nhanh thì thyristor có thể bắt đầu dẫn mà không cần xung kích khởi và chưa đạt đến điện áp đánh thủng, nên gọi là *hiệu ứng tốc độ* hoặc *hiệu ứng  $dV/dT$*  ( $V/\mu s$ ) hoặc đôi khi gọi là hiệu ứng  $dI/dT$  ( $A/\mu s$ ).

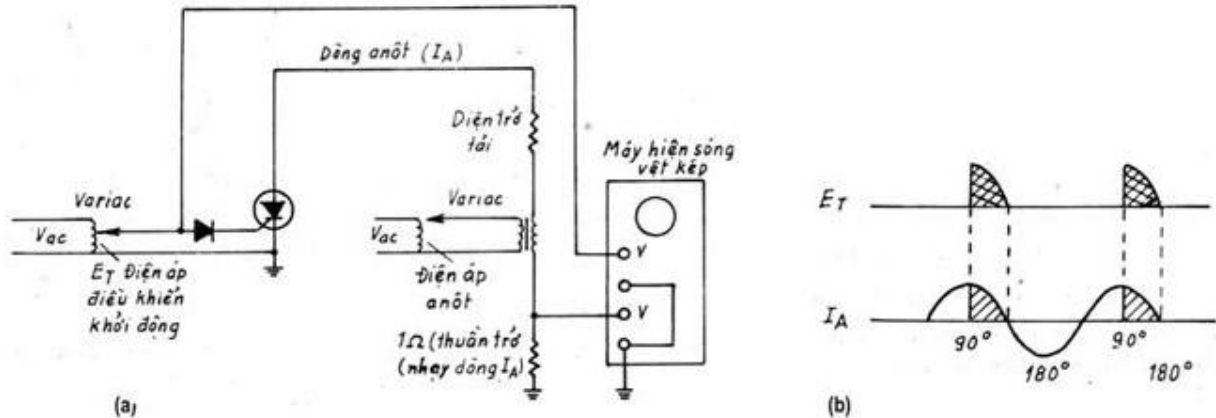
**Tốc độ tăng lớn nhất.** Mỗi thyristor có trị số tốc độ tăng tới hạn, nghĩa là nếu điện áp (hoặc dòng) tăng nhanh hơn trị số tăng của tốc độ lớn nhất thì cấu kiện dẫn (có hoặc không có kích khởi) mặc dù điện áp anode thực sự chưa vượt mức điện áp đánh thủng danh định. Đặc tính tăng của tốc độ lớn nhất đặc biệt quan trọng khi tín hiệu là dạng xung mà không phải là tín hiệu sin được đặt vào anode.

### 4.3.3 ĐO THỬ SCR và THYRISTOR CƠ BẢN

Cũng như đối với transistor và diode, SCR cần phải có nhiều thử nghiệm trong quá trình sản xuất. Cách đo thử đơn giản và toàn diện nhất đối với SCR là để SCR làm việc trong mạch tương tự điều kiện mạch thực tế (thường với nguồn *ac* và tải thích hợp ở anode, tín hiệu *ac* hoặc xung ở cổng) rồi đo góc dẫn trên máy hiện sóng vệt kép. Với cách đo thử này điện áp kích dẫn và điện áp anode cũng như dòng tải được điều chỉnh đến các điều kiện làm việc động bình thường (hoặc bất thường) và ghi kết quả. Ví dụ, điện áp kích dẫn có thể điều chỉnh trên mức kích dẫn nhỏ nhất và lớn nhất giả định, hoặc có thể ngắt kích dẫn và giảm điện áp anode đến mức điện áp ngắt thực. Phương pháp góc dẫn sẽ thử tất cả các đặc tính quan trọng của SCR, ngoại trừ đóng, ngắt và tốc độ tăng.

#### a) Đo thử góc dẫn

Có thể sử dụng máy hiện sóng vệt kép để đo góc dẫn của SCR hoặc thyristor như mạch đo ở hình 4.38, trong đó một kênh của máy hiện sóng sẽ hiện hình mức dòng anode, trong khi kênh còn lại hiện hình điện áp kích dẫn. Cả hai vệt phải được chuẩn theo điện áp. Đo dòng tải anode thông qua điện trở thuần  $1\Omega$ , nên sụt áp trên điện trở là bằng với mức dòng. Ví dụ, nếu chỉ thị 3V thu được trên vệt của máy hiện sóng sẽ là mức dòng 3A đang chảy trong mạch anode.



Hình 4.38: (a) Mạch đo góc dẫn của SCR. (b) Dạng sóng góc dẫn trên máy hiện sóng.

Điện áp kích dẫn được chỉ thị trực tiếp trên kênh còn lại của máy hiện sóng. Chú ý là diode ở mạch kích dẫn để cung cấp tín hiệu kích dẫn *dc* trong mạch *ac*. Do tín hiệu kích dẫn đồng bộ với dòng anode (cung cấp từ một nguồn), nên phần chu kỳ kích dẫn trong đó có dòng anode chảy qua là góc dẫn.

Quy trình đo thử góc dẫn của SCR như sau:

1. Mắc mạch như ở hình 4.38. Bật nguồn cho máy hiện sóng. Đặt quét và đồng bộ ở mức Internal (quét trong).
2. Đưa nguồn vào SCR. Điều chỉnh điện áp kích dẫn, điện áp anode và dòng anode đến mức theo yêu cầu. Điện áp anode có thể đo bằng cách tạm thời di chuyển đầu đo của máy hiện sóng (đầu đo đang được mắc để đo điện áp cực cổng) đến anode.
3. Điều chỉnh điều khiển quét của máy hiện sóng và đồng bộ để có hai hoặc ba chu kỳ ổn định của mỗi dạng sóng trên màn hình.
4. Trên cơ sở của xung kích dẫn bằng  $180^\circ$ , xác định góc của dòng anode bằng cách đối chiếu với vệt của điện áp kích dẫn. Ví dụ trên hình hiện ở hình 4.38, dòng anode bắt đầu chảy ở  $90^\circ$  và dừng ở  $180^\circ$ , sẽ cho góc dẫn là  $90^\circ$ .

Chú ý rằng, nếu cấu kiện đo thử là triac (hoặc tương tự như SBS) thì hình hiện quá trình dẫn ở cả hai



bán kỳ.

5. Để xác định mức điện áp kích dẫn cần thiết nhỏ nhất và lớn nhất thì phải thay đổi điện áp kích dẫn từ 0 đến khoảng hoạt động dự kiến, và chú ý mức của điện áp kích dẫn khi anode bắt đầu dẫn.

6. Để xác định mức điện áp đánh thủng, thì ngắt điện áp kích dẫn và chuyển đầu que đo của máy hiện sóng đến anode. Tăng điện áp anode cho đến khi bắt đầu dẫn và ghi mức điện áp anode tương ứng.

#### 4.3.4 CÁC SAI HỒNG ĐIỆN HÌNH Ở CÁC MẠCH SỬ DỤNG THYRISTOR.

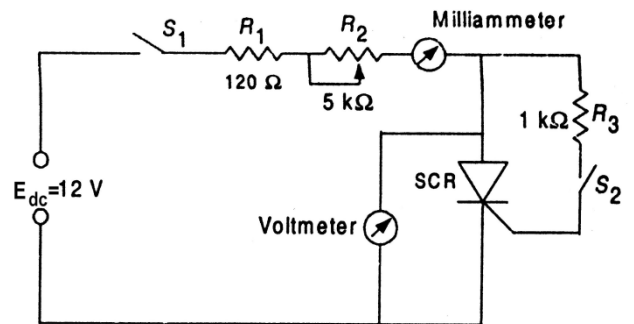
Mặc dù thyristor là các cấu kiện tin cậy nhưng cũng có một số sai hỏng liên quan tới các thyristor gồm:

1. Điện áp đánh thủng thấp.
2. Mất chức năng điều khiển của công.
3. Hở mạch giữa anode với cathode (do  $di/dt$  cao, trong đó  $di$  là độ biến thiên ở dòng anode trong khoảng thời gian  $dt$ ).
4. Ngắn mạch giữa anode và cathode (do  $dv/dt$  cao, trong đó  $dv$  là độ biến thiên ở điện áp anode trong khoảng thời gian  $dt$ ).
5. Hở mạch giữa công và cathode.
6. Ngắn mạch giữa công và cathode.
7. Hỏng ở mạch kích dẫn cho SCR.

#### 4.3.5 MẠCH ĐO THỬ ĐƠN GIẢN SCR

Các SCR có cùng đặc tính như các diode và có thể đo thử bằng cách đo điện trở giữa công và cathode. Ở trạng thái phân cực thuận, tiếp giáp pn của SCR vào khoảng từ 100 $\Omega$  đến 500 $\Omega$  còn ở điều kiện phân cực ngược vào khoảng 100k $\Omega$ . Mạch dùng cho việc đo thử SCR bằng multimeter như ở hình 4.39. Các bước đo như sau:

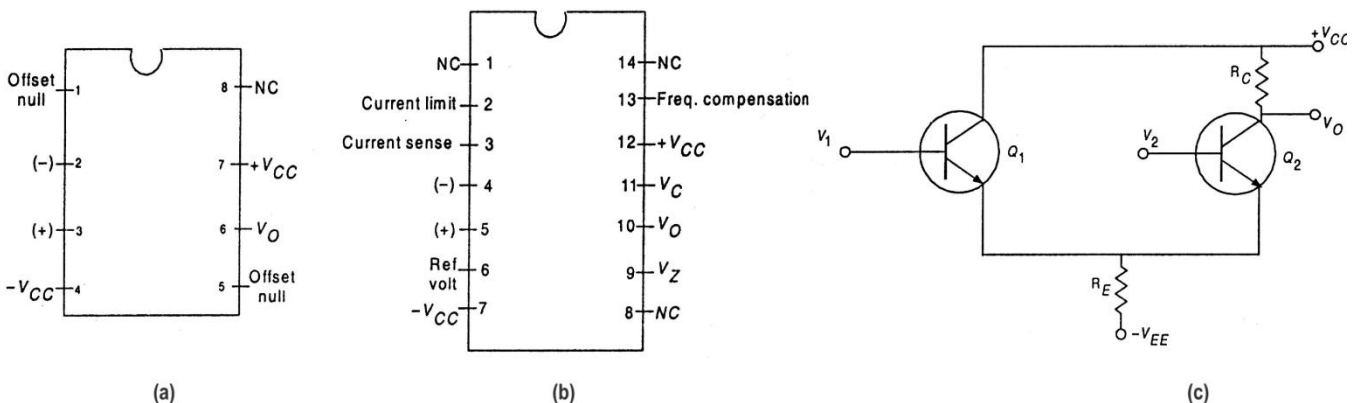
1. Đóng  $S_1$ , đặt biến trở 5k $\Omega$  vị trí = 0, chỉ thị trên milliammeter sẽ rất thấp, điển hình là 50 $\mu$ A, do SCR ngưng dẫn. Số chỉ thị của đồng hồ đo điện áp [Voltmeter] vào khoảng 12V.
2. Đóng  $S_2$ , để kích xung vào công, SCR sẽ dẫn, milliammeter sẽ chỉ thị mức dòng cao, khoảng 100mA, voltmeter chỉ thị khoảng 1V, tức là mức sụt áp thuận giữa anode và cathode của SCR.
3. Tăng dần điện trở của biến trở 5k $\Omega$  cho đến khi SCR chuyển sang ngưng dẫn do điện áp anode thấp. Giá trị đọc được trên milliammeter ngay trước khi SCR chuyển sang ngưng sẽ cho mức dòng giữ,  $I_H$ .



Hình 4.39: Thiết lập mạch đo thử SCR.

#### 4.4 ĐO THỬ VI MẠCH TƯƠNG TỰ – IC TUYẾN TÍNH OP AMP

Đo thử vi mạch tương tự điển hình là vi mạch thuật toán đa năng [operation amplifier]. Thuật ngữ 'khuyếch đại thuật toán' [op - amp], cho biết rằng bộ khuyếch đại có thể thực hiện các phép tính toán như phép cộng, phép trừ, phép vi phân, phép tích phân, v. v. . . với các tín hiệu tương tự. Các ứng dụng của op - amp không chỉ giới hạn ở các phép toán, mà OA còn được sử dụng rộng rãi như một bộ khuyếch đại lý tưởng đối với các thiết bị đo, như bộ so sánh trong các mạch biến đổi tương tự sang số và làm bộ điều hoà (hay ổn định điện áp) ở các hệ thống nguồn cung cấp. Op - amp cũng được dùng



Hình 4.40: (a), (b) Sơ đồ chân của các vi mạch tương tự OA 741 và ổn áp 723; (c) Mạch tăng vào của bộ khuyếch đại thuật toán.

trong các hệ thống audio và video để cung cấp hệ số khuếch đại cao, độ rộng băng tần lớn và độ méo dạng thấp. Các bộ khuếch đại được sử dụng như mạch khuếch đại tương tự hay các vi mạch tuyến tính, có hai chân dùng cho hai tín hiệu vào, một chân tín hiệu ra, hai chân nguồn cung cấp  $+V_{CC}$  và  $-V_{CC}$ . Sơ đồ chân của IC thông dụng nhất là op - amp 741 cho ở hình 4.40a, và của IC ổn định điện áp (IC723) như ở hình 4.40b. [NC - No connection trong sơ đồ nối chân, có nghĩa là 'không nối']. Cực được đánh dấu (-) là *chân đảo*, còn điện cực được đánh dấu (+) là *chân không đảo*.

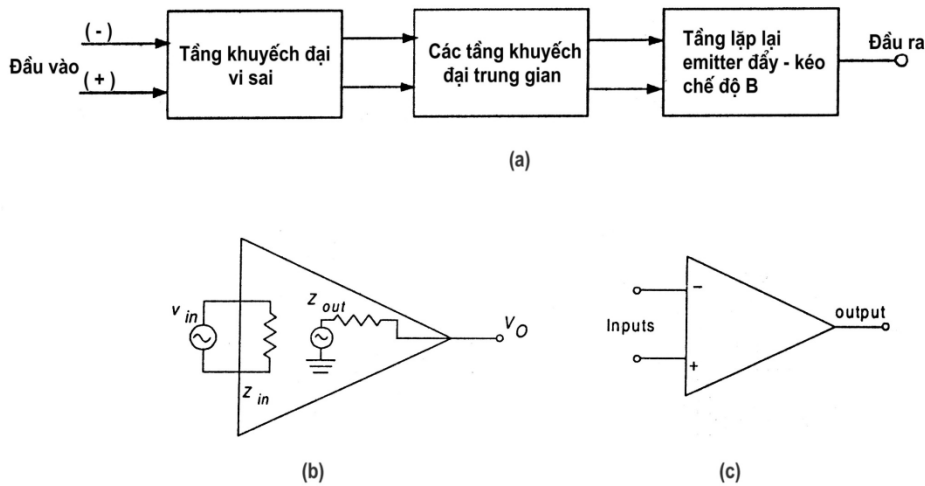
#### 4.4.1 NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA OP - AMP.

Tầng vào của op - amp như ở hình 4.40c, là một mạch khuếch đại vi sai với hai đầu vào đơn ( $V_1$  và  $V_2$ ) và một đầu ra đơn ( $V_o$ ). Hoạt động của mạch được giải thích như sau.

Khi  $V_1$  tăng lên, dòng chảy qua  $Q_1$  tăng, điện áp trên  $R_E$  tăng, sẽ làm giảm điện áp phân cực thuận của  $Q_2$ . Nên dòng chảy qua  $Q_2$  sẽ giảm xuống và vì vậy, điện áp tại collector tức là  $V_o$  sẽ tăng. Do đó khi tăng tín hiệu vào  $V_1$  sẽ dẫn đến làm tăng mức tín hiệu ra. Vậy đầu vào  $V_1$  được gọi là điện cực không đảo. Ngược lại, khi  $V_2$  tăng, điện áp phân cực thuận của  $Q_2$  sẽ tăng, làm tăng dòng emitter và do đó làm tăng dòng collector của  $Q_2$ , nên có mức sụt áp lớn hơn trên  $R_C$  và do đó làm giảm  $V_o$ . Vậy,  $V_2$  tăng sẽ dẫn đến việc làm giảm mức điện áp ra, nên đầu vào  $V_2$  được gọi là đầu vào đảo.

##### a) Sơ đồ khối của op - amp.

Ngoài tầng khuếch đại vi sai ở đầu vào, một vi mạch op - amp còn có các tầng khác để tăng hệ số khuếch đại và cuối cùng là một tầng lặp lại emitter kiểu đẩy kéo ở đầu ra. Sơ đồ khối của một op - amp điển hình như ở hình 4.41a.



Hình 4.41: (a) Sơ đồ khối của OA; (b) Ký hiệu theo chức năng; (c) Ký hiệu mạch của OA.

Ký hiệu op - amp theo chức năng như ở hình 4.41b, và ký hiệu mạch theo hình 4.41c.

##### b) Các thông số của op - amp.

- **Hệ số khuếch đại vòng hở.** Hệ số khuếch đại vòng hở là hệ số khuếch đại điện áp ( $A_v$ ) của mạch khuếch đại khi không có mạch hồi tiếp âm.

- **Hệ số khuếch đại vòng kín.** ( $A_{vcl}$ ) là hệ số khuếch đại điện áp khi có mạch hồi tiếp âm.

- **Điện trở vào.** Là điện trở giữa hai đầu vào, khi nhìn từ nguồn tín hiệu vào, nên gọi là điện trở vào ( $Z_{in}$ ).

- **Điện trở ra.** Giá trị điện trở đo được tại đầu ra ở trạng thái hở mạch tải gọi là điện trở ra ( $Z_{out}$ ).

- **Điện áp dịch đầu ra và dịch đầu vào.** Khi hai cực base của mạch khuếch đại vi sai đầu vào được nối đất, điện áp vi sai bằng 0, điện áp ra cũng phải bằng 0. Tuy nhiên, do không có sự đồng nhất lý tưởng ở hai transistor, nên mức điện áp ra không thể bằng 0. Mức điện áp ra khác 0 khi hai đầu vào nối đất gọi là *mức điện áp dịch đầu ra*, nghĩa là có một mức điện áp vào nào đó đã được đưa vào mạch mặc dù cả hai đầu vào đã được nối đất, mức điện áp vào đó sẽ bằng  $V_o / \text{hệ số khuếch đại điện áp}$ , nên được gọi là *điện áp dịch đầu vào*. Điện áp dịch đầu ra cũng có thể được xác định bằng điện áp chênh lệch cần phải được đặt vào hai đầu vào để làm triệt tiêu điện áp dịch đầu ra.

- **Độ trôi mức điện áp dịch đầu vào.** Được xác định bằng sự thay đổi ở mức điện áp dịch đầu vào theo độ thay đổi về nhiệt độ tuyệt đối.

- **Dòng dịch đầu vào.** Được xác định bằng độ chênh lệch giữa hai dòng base của tầng vào. Nếu các transistor đồng nhất về tất cả các thông số, thì dòng dịch đầu vào sẽ bằng 0.

- **Độ trôi mức dòng dịch đầu vào.** Độ trôi mức dòng dịch đầu vào được xác định bằng độ thay đổi ở mức dòng dịch đầu vào theo độ thay đổi về nhiệt độ tuyệt đối.

- **Dòng phân cực vào** Dòng phân cực vào là trung bình cộng của hai dòng base.

- **Tỷ số loại bỏ nhiễu đồng pha** [Common mode rejection ratio - CMRR]. Khi điện áp dịch đầu ra đã được loại bỏ, thì hai tín hiệu vào bằng nhau có cùng cực tính (tức là cả hai đều dương hoặc cả hai đều âm) tại hai đầu vào sẽ không tạo ra mức tín hiệu ở đầu ra. Hai tín hiệu có cùng cực tính được gọi là tín hiệu đồng pha. Các tín hiệu nhiễu có cùng cực tính được trích dẫn vào các đầu vào. Hệ số khuếch đại của op - amp đối với các tín hiệu đồng pha là rất nhỏ khi so với hệ số khuếch đại của hai tín hiệu vi sai (tức là hai tín hiệu có cực tính ngược nhau). Tỷ số của hệ số khuếch đại vi sai ( $A_D$ ) đối với hệ số khuếch đại đồng pha  $A_{CM}$  được gọi là tỷ số loại bỏ nhiễu đồng pha là:

$$CMRR \approx \frac{A_D}{A_{CM}} \quad (4.7a)$$

Đối với mạch khuếch đại vi sai, ta có:

$$A_D \approx \frac{R_C}{2r_e} \text{ và } A_{CM} \approx \frac{R_C}{2r_e + R_E} \text{ do vậy, } CMRR \approx \frac{r_e + R_E}{r_e} \approx \frac{R_E}{r_e} \text{ (khi } R_E \gg r_e) \quad (4.7b)$$

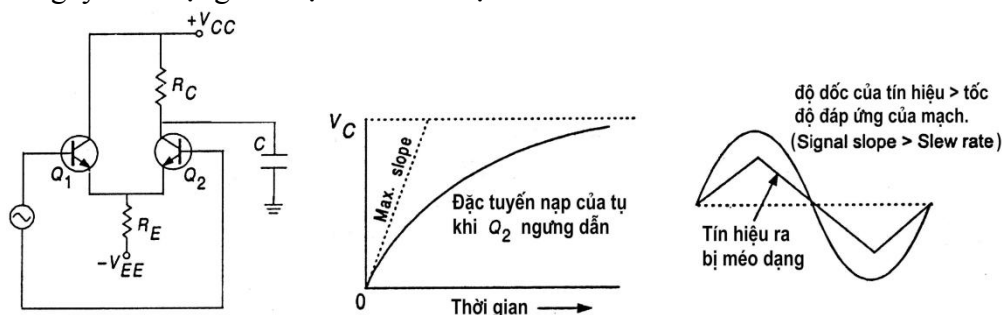
trong đó,  $R_E$  là điện trở emitter và  $r_e$  là điện trở của diode (tiếp giáp base - emitter) khi có mức dòng chảy qua diode bằng với  $I_E$ .

Thông thường,  $r_e$  rất bé (vài ohm, điển hình bằng  $25mV/I_E$ , trong đó  $I_E$  vào khoảng vài milliampere), và  $R_E$  rất lớn (vào khoảng vài megaohm) vì vậy, CMRR là rất cao.

- **Tốc độ thay đổi hay tốc độ đáp ứng (Slew rate).** Đối với các op - amp, thường sử dụng một tụ điện nhỏ (vài picofarad) ở mạch collector của tầng vào để có thể ổn định hệ số khuếch đại ở tần số cao (hoặc dùng để khử ảnh hưởng của điện dung ký sinh). Khi tín hiệu vào tăng lên từ 0, transistor thứ nhất ( $Q_1$ ) ở mạch hình 4.42a, sẽ trở nên bão hòa và transistor thứ hai ( $Q_2$ ) sẽ trở nên ngưng dẫn, cho phép tụ  $C$  nạp đến giá trị điện áp bằng với điện áp collector ( $V_C$ ). Hình 4.42b, thể hiện tốc độ nạp của tụ  $C$ . Tốc độ nạp lớn nhất (tại điểm bắt đầu của chu trình nạp) được gọi là tốc độ đáp ứng [slew rate - SR]. Cần phải có tốc độ thay đổi cao. Nếu tốc độ thay đổi của op - amp thấp hơn tốc độ thay đổi của tín hiệu vào, thì tín hiệu ra sẽ bị méo dạng. Biểu thức mô tả tốc độ thay đổi theo phương trình (4.8),

$$\text{Tốc độ đáp ứng} = dv/dt (\max) = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} (\max) \approx \frac{I_C (\max)}{C} \quad (4.8)$$

Tốc độ nạp tùy thuộc vào  $V_{out}$  tức là tùy thuộc vào  $R_C$ , tốc độ thay đổi sẽ giảm xuống khi  $R_C$  tăng và có thể gây méo dạng tín hiệu như thể hiện ở hình 4.42c.



Hình 4.42: (a) Mạch để ổn định hệ số khuếch đại tần số cao

(b) Đặc tuyến nạp của tụ

(c) Méo dạng do tốc độ thay đổi thấp

- **Độ rộng băng tần công suất.** Tần số lớn nhất,  $f_{max}$  của tín hiệu  $v = E \sin 2\pi f t$  để không làm méo dạng tín hiệu ra được cho bằng phương trình (4.9),

$$f_{max} \approx \frac{SR}{2\pi E} \quad (4.9)$$

trong đó,  $E$  là biên độ đỉnh của dạng sóng tín hiệu vào.

Tần số trên được gọi là độ rộng băng tần lớn nhất hay độ rộng băng tần công suất. Biên độ tín hiệu vào thấp hơn sẽ cho độ rộng băng tần công suất cao hơn. Giới hạn tần số cao nhất của IC741 là vào khoảng 1MHz.

- **Độ dao động điện áp ra.** Mức điện áp ra lớn nhất có thể là  $+V_{CC}$  hay  $-V_{EE}$ . Thường  $V_{EE} = V_{CC}$ . Vậy mức điện áp ra có thể dao động lý tưởng từ  $-V_{EE}$  đến  $+V_{CC}$ . Thực tế, độ dao động lớn nhất của điện áp ra thấp hơn khoảng 10% so với mức lý tưởng. Ở trạng thái hồng, mức ra của op - amp có thể ghim ở mức  $+V_{CC}$  hay tại mức  $-V_{EE}$ .

- **Tỷ số triệt mức điện áp nguồn cung cấp** [gọi tắt là PSRR - Power supply voltage rejection ratio]. PSRR là tỷ số của độ thay đổi ở mức điện áp dịch đầu vào ( $\Delta I_{i\text{off}}$ ) theo độ thay đổi ở mức điện áp nguồn cung cấp ( $\Delta V_{CC}$ ). Lý tưởng nhất, PSRR phải bằng 0. Trong thực tế, PSRR khá nhỏ (vào khoảng vài microvolt/volt).

- **Độ rộng băng tần hệ số khuếch đại bằng 1.** Là tần số tín hiệu tại mức hệ số khuếch đại điện áp bị giảm xuống bằng 1 (hay 0dB). Đối với IC741, độ rộng băng tần tương ứng với hệ số khuếch đại bằng 1 là 1MHz (mặc dù độ rộng băng tần ở mức 3dB chỉ là 10Hz). Có nghĩa là, khi IC741 có hệ số khuếch đại cao ở dc và dải tần số thấp, thì vi mạch không thể sử dụng ở mức tần số tín hiệu cao hơn 1MHz. Vi mạch LM318 có độ rộng băng tần ứng với hệ số khuếch đại bằng 1 là 15MHz (tốc độ thay đổi cao là 70V/μs).

- **Tích độ rộng băng tần-hệ số khuếch đại.** Tích độ rộng băng tần - hệ số khuếch đại của một op - amp là hằng số. Khi hệ số khuếch đại bị giảm xuống do hồi tiếp âm, thì độ rộng băng tần sẽ tăng lên. Ví dụ, khi hệ số khuếch đại bằng 100000 thì độ rộng băng tần là 10Hz (tích = 1000000). Khi hệ số khuếch đại bị giảm xuống còn 1000 do hồi tiếp âm, thì độ rộng băng tần sẽ bằng 1kHz (tích bằng 1000000), còn khi hệ số khuếch đại giảm xuống bằng 1, thì độ rộng băng tần bằng 1MHz (tích bằng 1000000). Ngoài việc sử dụng các op - amp cho việc tính toán số học, thì các IC tuyến tính cũng đã được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống audio và video. Vi mạch IM2002, thích hợp cho các mạch khuếch đại audio, có hệ số khuếch đại điện áp là 40dB, độ rộng băng tần là 100kHz và công suất ra là 8W. Vi mạch LM733, thích hợp cho việc khuếch đại cao tần (RF) có hệ số khuếch đại là 20dB và độ rộng băng tần là 120MHz. Vi mạch LM340 là vi mạch điều hoà (ổn định) điện áp nguồn cung cấp rất tốt khi tải biến thiên.

Các thông số thực tế và lý tưởng của IC741C, được liệt kê ở bảng 4.3.

**Bảng 4.3:** Các thông số của IC741C.

Thông số	Giá trị điển hình	Giá trị lý tưởng
1. Điện áp dịch đầu vào	1mV (lớn nhất là 5mV)	0
2. Dòng dịch đầu vào	20nA (lớn nhất là 200nA)	0
3. Dòng phân cực đầu vào	80nA (lớn nhất là 500nA)	0
4. Trở kháng vào	1MΩ (lớn nhất là 2MΩ)	∞
5. Trở kháng ra	75Ω	0
6. Điện dung vào	1.4pF	0
7. Hệ số khuếch đại vòng hở	160 000 (thấp nhất là 20 000)	∞
8. CMRR	90dB	∞
9. PSRR	30μV/V (lớn nhất là 150μV/V)	0
10. Độ dao động điện áp	lớn nhất là 3.5V	5V
11. Tốc độ đáp ứng	0.65V/μs	∞
12. Độ rộng băng tần (khi hệ số khuếch đại bằng 1)	1MHz	∞
13. Độ rộng băng tần công suất	200kHz	∞
14. Mức tiêu tán công suất (tại nhiệt độ môi trường là 25°C)	500mW (lớn nhất)	0

#### 4.4.2 ĐO THỬ CÁC THÔNG SỐ CỦA OP – AMP.

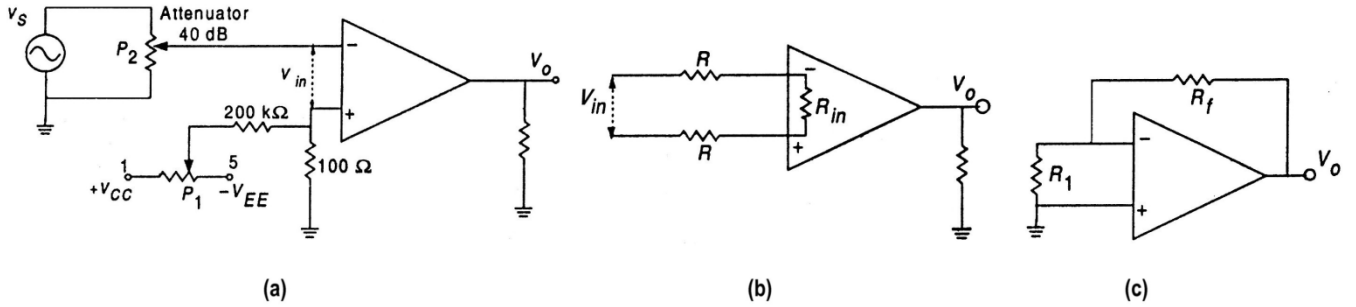
##### a) Đo hệ số khuếch đại vòng hở.

Mạch dùng để đo hệ số khuếch đại vòng hở như ở hình 4.43a, theo trình tự đo như sau.

1. Điều chỉnh điện áp dịch đầu ra bằng 0, bằng điện thế kế  $P_1$ .
2. Điều chỉnh dần bộ suy giảm  $P_2$  để có tín hiệu vào nhỏ.
3. Đo mức tín hiệu vào  $v_{in}$  bằng millivoltmeter *ac* và tín hiệu ra  $v_o$  bằng một đồng hồ đo điện áp.
4. Tính hệ số khuếch đại vòng hở theo công thức  $v_o / v_{in}$ .
5. Biểu thị hệ số khuếch đại vòng hở theo dB ( $= 20\log v_o/v_{in}$ ).

**b) Đo điện trở vào  $R_{in}$ .**

Mạch đo như ở hình 4.43b.



Hình 4.43: (a) Mạch đo hệ số khuếch đại vòng hở của OA; (b) Mạch đo trở kháng vào của OA; (c) Mạch đo điện áp dịch đầu vào của OA.

Tín hiệu vào  $V_{in}$  đặt vào giữa hai đầu vào thông qua hai điện trở  $R$  bằng nhau. Đo mức điện áp ra  $V_o$ . Suy ra,  $V_o$  được tính theo phương trình (4.10),

$$V_o = \frac{V_{in} \cdot R_{in} \cdot A_v}{2R \cdot R_{in}} \tag{4.10}$$

Khi đã biết  $V_{in}$ ,  $V_o$ , hệ số khuếch đại điện áp (vòng hở)  $A_v$  và  $R$ , có thể suy ra trị số điện trở vào  $R_{in}$ .

**c) Đo điện áp dịch đầu vào.**

Đo điện áp dịch đầu vào bằng mạch như ở hình 4.43c. Đây là mạch vòng kín nên hệ số khuếch đại bằng  $R_f/R_1$ . Đo  $V_o$  và đo các điện trở  $R_f$  và  $R_1$ , suy ra  $V_{in}$  bằng  $V_o \times R_f / R_1$ .

Khi không có điện áp vào, mà có mức điện áp nào đó ở đầu ra thì đó là mức điện áp dịch đầu ra do sự bất đối xứng ở các transistor trong tầng vi sai của OA, tức là gần như có một mức điện áp nhỏ tại đầu vào. Suy luận ngược phép tính trên là mức điện áp dịch đầu vào.

**d) Đo dòng phân cực đầu vào.**

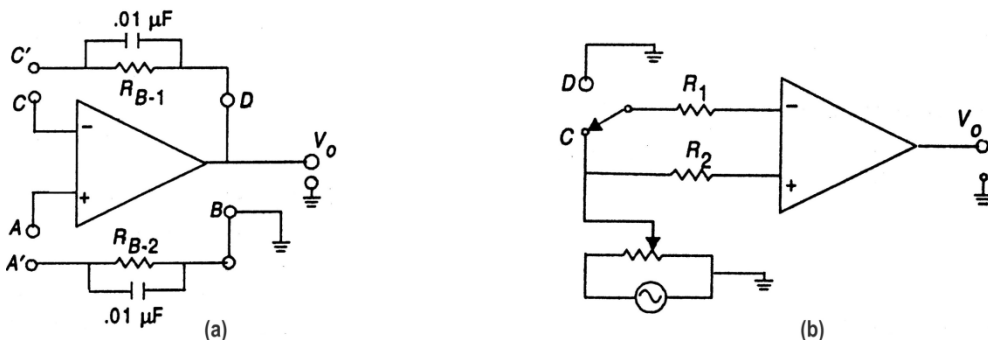
Mạch đo dòng phân cực đầu vào như ở hình 4.44a.

Cả hai điện trở  $R_{B-1}$  và  $R_{B-2}$  là có trị số bằng nhau ( $> 10M\Omega$ ). Khi nối cực A với A' và ngắn mạch CD. Dòng điện  $I_{B-2}$  sẽ chảy qua  $R_{B-2}$ , và mạch sẽ làm việc như mạch lặp điện áp (mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại bằng 1), nên điện áp ra,  $V_o$  sẽ bằng mức điện áp ngang qua  $R_{B-2}$ . Đo  $V_o$  và suy ra:

$$I_B \cdot R_{B-2} = V_o \text{ hay } I_{B-2} = \frac{V_o}{R_{B-2}} \tag{4.11}$$

Tháo ngắn mạch giữa C và D. Thực hiện ngắn mạch giữa A và B, và nối C với C'. Mức điện áp ngang qua  $R_{B-1}$  sẽ bằng với  $V_o$ . Do vậy,

$$I_B \cdot R_{B-1} = V_o \text{ hay } I_{B-1} = \frac{V_o}{R_{B-1}} \tag{4.12}$$



Hình 4.44: (a) Mạch đo dòng phân cực đầu vào của OA. (b) Mạch đo tỷ số loại bỏ nhiễu đồng pha-CMRR.

$I_{B1}$  và  $I_{B2}$  nhận được từ hai phương trình (4.11) và (4.12) tương ứng. Dòng phân cực đầu vào có thể tính bằng giá trị trung bình hai mức dòng trên.

Hai điện trở lớn  $R_{B1}$  và  $R_{B2}$  sẽ được mắc song song hai tụ điện để làm giảm nhiễu tần số cao.

### e) Đo thông số CMRR.

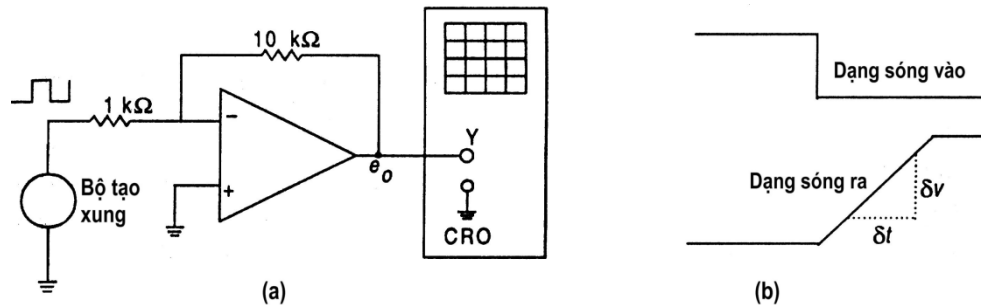
Mạch đo thông số CMRR cho ở hình 4.44b.

Khi chuyển mạch chuyển sang vị trí C, thì đầu vào + và - của op - amp sẽ được mắc đến cùng mức điện áp qua vị trí C của chuyển mạch, tức là cách mắc đồng pha. Điện áp ra  $V_o$  sẽ được chỉ thị, gọi là  $V_C$ . Chuyển mạch được đặt tại vị trí D, đầu vào đảo sẽ được nối đất thông qua  $R_1$  và đầu vào không đảo vẫn được mắc với điện áp vào. Vậy ở trạng thái này, hai đầu vào (+ và -) sẽ cho tín hiệu vi sai.  $V_o$  sẽ được chỉ thị, gọi là  $V_D$ . Sau đó tính tỷ số  $V_D/V_C$  sẽ có CMRR.

### f) Đo tốc độ thay đổi hay tốc độ đáp ứng [viết tắt là SR - Slew Rate].

Tốc độ thay đổi là tốc độ thay đổi của điện áp ra lớn nhất (V/micro giây). Đối với IC741, giá trị điển hình là 1V/

SR có thể đo bằng cách cung cấp một xung vuông tần số thấp từ một nguồn phát xung đến đầu vào của op - amp để đo theo mạch ở hình 4.45a.



Hình 4.45: (a) Thiết lập mạch đo tốc độ đáp ứng - SR. (b) độ nghiêng cạnh của sóng vuông do tụ bù.

Sóng vuông ở đầu vào sẽ tạo ra cạnh sườn lên ở đầu ra do sử dụng tụ bù. Cạnh nghiêng quan sát trên máy hiện sóng thể hiện như ở hình 4.45b.

Độ nghiêng là đồng đều, tốc độ biến thiên lớn nhất của điện áp ra sẽ như nhau tại mọi thời điểm trong khoảng thời gian tích phân sườn nghiêng. Bằng cách chọn các điểm thuận tiện trên sườn nghiêng, sẽ đo được  $\delta v$  và  $\delta t$  rồi lấy tỷ số  $\delta v / \delta t$  sẽ tính được tốc độ biến thiên.

Một phương pháp đo SR khác là cung cấp tín hiệu sóng sin từ một máy tạo sóng sin đến op - amp và quan sát dạng sóng ra trên màn hình của máy hiện sóng. Tần số của tín hiệu vào sẽ được tăng dần cho đến khi vừa có sự méo dạng xuất hiện trên màn hình của máy hiện sóng. Khi đó tần số ngay trước khi xuất hiện sự méo dạng là tần số lớn nhất ( $f_{max}$ ) để tính SR, theo công thức (4.9) là:  $f_{max} = SR / (2 \delta v)$ .

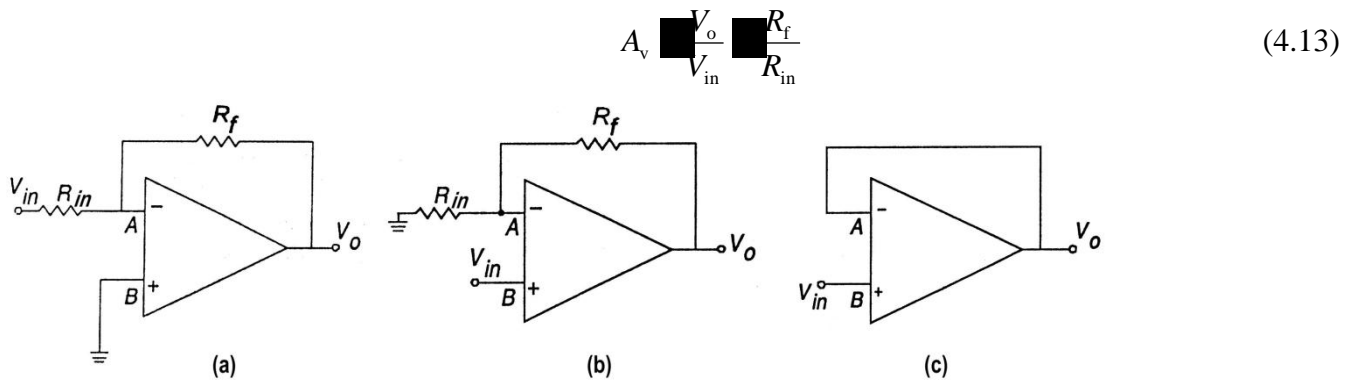
## 4.4.3 PHÂN TÍCH MẠCH OP - AMP.

### a) Khái niệm mức đất ảo.

Do hệ số khuếch đại vô cùng, điện áp vào bằng 0, nên nếu một trong hai đầu vào được nối đất, thì đầu vào còn lại cũng có thể được xem như được nối đất. Nếu một đầu vào không được nối đất, nhưng có mức điện áp  $V$ , thì đầu vào còn lại cũng có thể xem là đặt tại mức điện áp  $V$ . Hơn nữa, do trở kháng vào vô cùng, dòng vào bằng 0, vì vậy không có dòng chảy từ một đầu vào đến đầu vào còn lại. Tác dụng như vậy tại một điện cực được gọi bằng thuật ngữ *mức đất ảo* [virtual earth]. Như vậy, ở trạng thái mức đất ảo, mặc dù không có điểm được nối đất nhưng đóng vai trò như được nối đất nên không có dòng điện chảy từ điểm đất này đến điểm được nối đất khác. Sử dụng khái niệm mức đất ảo để phân tích các mạch op - amp.

- **Mạch khuếch đại đảo** Hình 4.46a, là mạch khuếch đại đảo, với tín hiệu vào  $V_{in}$  được đặt vào đầu vào đảo và  $R_f$  và  $R_{in}$  là điện trở hồi tiếp và điện trở nối tiếp, tương ứng trên hình vẽ. Không có dòng điện chảy giữa A và B do trở kháng vào vô cùng, nên dòng điện chảy qua  $R_{in}$  bằng dòng chảy qua  $R_f$ . Khi xét theo khái niệm mức đất ảo, dòng chảy qua điện trở  $R_{in}$  là  $V_{in} / R_{in}$ , bằng dòng chảy qua  $R_f$  là  $V_o / R_f$ , nên

ta có:  $\frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{V_o}{R_f}$  hay hệ số khuếch đại điện áp:



Hình 4.46: (a) Mạch khuếch đại đảo; (b) Mạch khuếch đại không đảo; (c) Mạch lặp lại bằng OA.

- **Mạch khuếch đại tổng.** Mạch khuếch đại đảo có thể làm việc như *mạch khuếch đại tổng*, nếu các điện áp vào  $V_1$ ,  $V_2$ , và  $V_3$  cần được cộng với nhau, tất cả được đặt vào đầu vào đảo thông qua các điện trở có các trị số  $R_1$ ,  $R_2$  và  $R_3$ , suy ra:

$$V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + V_3 \frac{R_f}{R_3} = V_o$$

Nếu  $R_1 = R_2 = R_3$ , thì suy ra  $V_1 + V_2 + V_3 = V_o$ .

- **Mạch khuếch đại không đảo.** Hình 4.46b, là mạch khuếch đại không đảo. Phân tích mạch sẽ cho kết quả ở phương trình (4.14). Đặt điện áp  $V_{in}$  vào đầu vào không đảo và điện áp hồi tiếp vào đầu vào đảo. Do hệ số khuếch đại vô cùng, nên điện áp giữa hai điểm A và B bằng 0, hay,  $V_A = V_B$ , có nghĩa là,

$$V_{in} \frac{R_{in}}{R_{in}} = \frac{V_o}{R_f} \Rightarrow V_o = V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_f}{R_{in}} \quad (4.14)$$

- **Mạch lặp điện áp hay mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại điện áp bằng 1.**

Mạch lặp như ở hình 4.46c.

Khi chênh lệch điện áp giữa B và A bằng 0 (hệ số khuếch đại vô cùng) thì  $V_o = V_{in}$ . Mạch khuếch đại đóng vai trò như một tầng đệm với trở kháng vào rất cao. Các tầng đệm như vậy là cần thiết giữa một tầng dao động và một tầng khuếch đại công suất để giữ cho các tín hiệu dao động không bị suy giảm. Mạch khuếch đại đảo với  $R_f = R_{in}$  (hình 4.46a), cũng là mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại bằng 1 với mức tín hiệu ra bị đảo (tức là  $V_o = -V_{in}$ ).

- **Mạch khuếch đại hiệu hay vi sai.** Khi hai mức điện áp khác nhau  $V_1$  và  $V_2$  được đặt vào hai đầu vào đảo và không đảo, như ở hình 4.47a, thì điện áp ra  $V_o$  sẽ tính theo phương trình (4.15).

$$V_o = \frac{V_2 \frac{R_f}{R_1} + V_1 \frac{R_f}{R_1}}{1 + \frac{R_f}{R_1}} - \frac{V_1 \frac{R_f}{R_1}}{1 + \frac{R_f}{R_1}}$$

Nếu  $R_f = R_1$ , thì:

$$V_2 - V_1 = V_o \quad (4.15)$$

Vậy, mạch khuếch đại chênh lệch đóng vai trò như một mạch trừ.

- **Mạch tích phân.** Hình 4.47b, là một mạch tích phân. Phân tích mạch sẽ cho kết quả bằng phương trình (4.16).

Điện áp tại đầu vào + bằng 0, nên điện áp trên tụ C bằng  $V_o$  (so với mức đất ảo).

Vậy, ta có:

$$V_o = \frac{Q}{C}, \text{ hay: } \frac{dV_o}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} = \frac{i}{C}$$

Mặt khác, do mức đất ảo tại đầu vào đảo, nên ta có:  $i = \frac{V_{in}}{R}$

Do vậy, ta có:  $\frac{V_{in}}{R} C \frac{dV_o}{dt}$ , hay:  $dV_o = \frac{1}{RC} V_{in} dt$

Tích phân hai vế, ta có:

$$V_o = \frac{1}{RC} \int V_{in} dt, \text{ hay: } V_o = \frac{1}{RC} \int V_{in} dt \quad (4.16)$$

Phương trình (4.16), cho thấy rằng, biên độ của điện áp ra bằng tích phân hàm số điện áp vào.

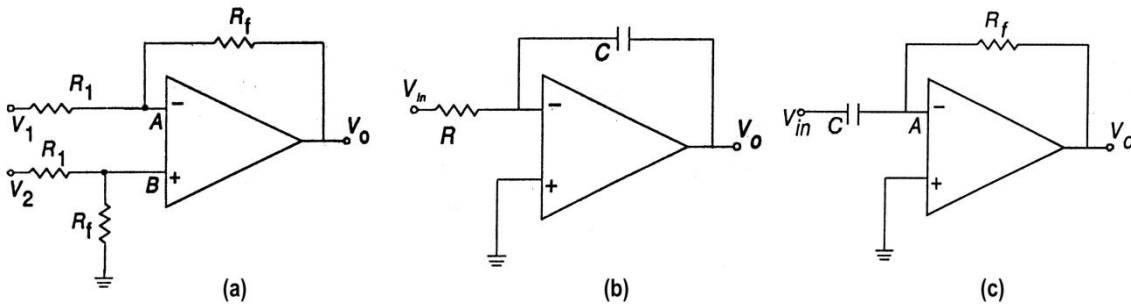
- **Mạch vi phân.** Hình 4.47c, là mạch vi phân. Phân tích mạch sẽ cho điện áp ra bằng vi phân điện áp vào bởi phương trình (4.17). Bằng khái niệm mức đất ảo, điểm A được nối đất và do vậy,  $V_{in}$  sẽ nạp điện cho tụ, nên:

$$Q = CV_{in} \text{ hoặc ta có: } \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV_{in}}{dt}, \text{ mặt khác: } i = \frac{V_o}{R_f}, \text{ nên: } \frac{V_o}{R_f} C \frac{dV_{in}}{dt}$$

hoặc:

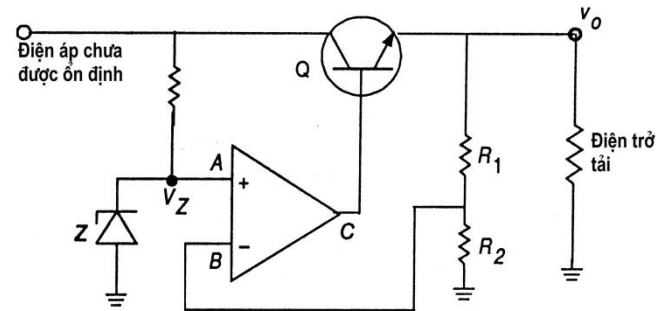
$$V_o = -R_f C \frac{dV_{in}}{dt} \quad (4.17)$$

Vậy, điện áp ra là vi phân của điện áp vào  $V_{in}$ .



Hình 4.47: (a) Mạch khuếch đại trừ; (b) Mạch tích phân; (c) Mạch vi phân bằng OA.

- **Mạch ổn định (điều hoà) điện áp.** Hình 4.48, là ứng dụng op - amp làm mạch ổn định điện áp.  $V_Z$  không đổi do tác dụng của diode zener. Do đó điện áp tại đầu vào A =  $V_Z$ . Một phần điện áp ra sẽ được đưa trở lại đầu vào B thông qua mạch phân áp bằng hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$ . Nếu điện áp tại B tăng lên, thì điện áp tại đầu ra C của op - amp sẽ giảm xuống, và vì vậy điện trở của transistor điều chỉnh, Q sẽ tăng lên, tức là sẽ làm giảm mức điện áp ra,  $V_o$  trên điện trở tải, bằng cách đó sẽ làm vô hiệu hoá mức điện áp tăng lên ban đầu. Quá trình ngược lại sẽ xảy ra nếu điện áp tại đầu vào B giảm. Như vậy, điện áp ra,  $V_o$  sẽ duy trì hầu như không đổi.



- **Mạch so sánh.** Là mạch được sử dụng phổ biến trong các bộ đếm, các bộ biến đổi tương tự sang số (ADC), và các bộ biến đổi số sang tương tự (DAC).  $V_{IN}$  sẽ được so sánh với điện áp mẫu  $V_R$ , như ở mạch hình 4.49a.

Hình 4.48: Mạch ổn định điện áp.

Khi  $V_{IN}$  hơi lớn hơn so với  $V_R$ , thì điện áp ra  $V_o$  sẽ dương (hay mức logic 1) do hệ số khuếch đại của op - amp rất cao. Khi  $V_{IN}$  hơi thấp hơn so với  $V_R$ , thì  $V_o$  sẽ âm (hay ở mức logic 0) và khi  $V_{IN} = V_R$ , thì  $V_o$  bằng 0 (mức logic 0).

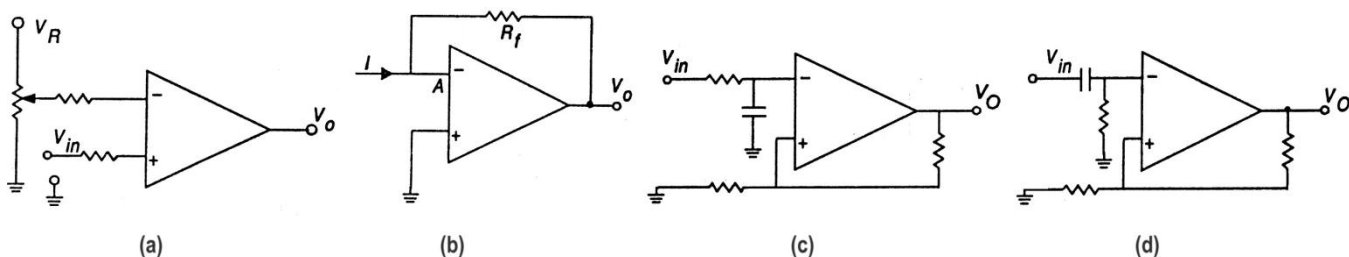
Như vậy, mạch ở hình 4.49a, so sánh điện áp vào với điện áp mẫu, cho biết điện áp vào hoặc là lớn hơn, hoặc nhỏ hơn hay bằng so với điện áp mẫu.

- **Mạch chuyển đổi dòng điện thành điện áp.** Một mạch op - amp có thể sử dụng để chuyển đổi dòng điện thành điện áp. Việc chuyển đổi dòng điện thành điện áp là cần phải có trong các voltmeter số và các voltmeter điện tử để đo dòng điện. Mạch biến đổi dòng thành áp như ở hình 4.49b.

Dựa theo mức đất ảo, ta có  $V_o = i \times R_f$ . Vậy,  $V_o$  tỷ lệ thuận với dòng điện  $i$ , trong đó dòng  $i$  là dòng điện



cần đo. Nếu  $R_f$  bằng  $1k\Omega$  giá trị của  $V_o$  sẽ cho mức dòng đọc trực tiếp theo milliamper.



Hình 4.49: (a) Mạch so sánh; (b) Mạch biến đổi dòng thành áp; (c) Mạch lọc thông thấp; (d) Mạch lọc thông cao bằng OA.

- **Mạch chuyển đổi điện áp thành dòng điện.** Nếu điện áp vào  $V_{in}$  được đưa đến đầu vào không đảo như mạch ở hình 4.46b, thì sẽ cho dòng điện  $I$  chảy qua điện trở hồi tiếp  $R_f$  sẽ là:

$$I = \frac{V_{in}}{R_{in}} \quad (\text{do mức đất ảo}), \text{ hoặc: } V_{in} = I R_{in}$$

Nếu cho  $R_{in}$  trong khoảng  $k\Omega$ , thì giá trị của  $V_{in}$  sẽ thể hiện trực tiếp mức dòng trong khoảng milliamper. Như vậy, điện áp đã được chuyển đổi thành dòng điện.

- **Đề đo các điện trở có trị số điện trở rất nhỏ.** Một op - amp có thể sử dụng để đo các giá trị điện trở rất nhỏ do sự mất cân bằng trong mạch cầu cân bằng khác nhau.

Nếu bốn nhánh của mạch cầu Wheatstone có các điện trở của mỗi nhánh bằng nhau, thì cầu sẽ cân bằng và vì vậy chênh lệch điện thế ngang qua nhánh của đồng hồ bằng 0. Khi một điện trở chưa biết được mắc nối tiếp với một nhánh cầu, thì sự cân bằng sẽ bị phá vỡ và sẽ xuất hiện một mức điện áp nhỏ  $V$ . Op - amp sẽ đo mức điện áp đó dưới dạng điện trở.

- **Các mạch lọc.** Op - amp có thể được sử dụng làm mạch lọc thông thấp, mạch lọc thông cao, mạch lọc dải, hay mạch lọc loại bỏ dải thông. Các mạch lọc như vậy được gọi là các mạch lọc chủ động. So với tác dụng chức năng lọc của mạch  $RC$ , thì hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại đóng vai trò quan trọng trong việc làm tăng thêm các đặc tính của bộ lọc. Mạch ở hình 4.49c, và 4.49d, là mạch lọc thông thấp và mạch lọc thông cao thông dụng tương ứng. Ngoài ra ở dải tần số thấp, các mạch lọc thông thường cần phải có các cuộn điện cảm lớn, nhưng ở các mạch lọc chủ động không cần các cuộn điện cảm, nên kích thước mạch lọc nhỏ gọn. Các mạch lọc chủ động đã trở nên thông dụng hơn nhiều so với các kiểu mạch lọc thông thường.

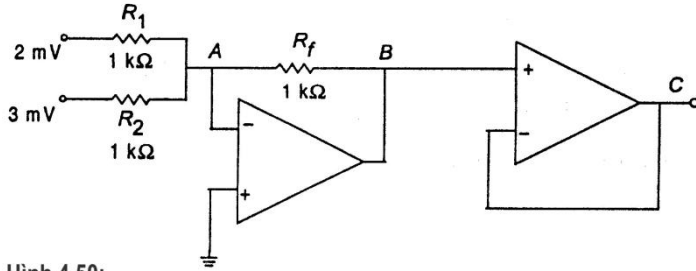
Tần số cắt trong cả hai mạch lọc bằng  $1/(2RC)$ . Mạch hồi tiếp âm sẽ làm tăng độ rộng băng tần. Khi mạch lọc thông thấp và mạch lọc thông cao được mắc nối tiếp, thì sẽ có mạch lọc thông dải. Khi mạch lọc thông thấp và thông cao được mắc song song, thì sẽ nhận được mạch lọc thông chặn.

#### 4.4.4 CÁC SAI HỒNG THÔNG THƯỜNG XẢY RA TRONG OP-AMP.

Các sai hồng thường xảy ra trong các mạch op-amp như sau:

1. Mức điện áp ra của mạch khuếch đại vi sai giữ ở mức  $+V_{CC}$ . Nguyên nhân có thể xảy ra: (i) nếu  $V_{CC}$  bị ngắn mạch với chân ra bên trong hay bên ngoài, hoặc (ii) điện trở collector bị ngắn mạch, hoặc (iii) transistor đầu ra trở nên hở mạch, hoặc (iv) điện trở emitter hở mạch, hoặc (v) điện áp tại cực không đảo là cao hơn nhiều so với điện áp tại cực đảo.
2. Tín hiệu ra của mạch khuếch đại vi sai giữ tại mức  $-V_{CC}$ , do: (i)  $-V_{CC}$  bị nối tắt với chân ra bên trong hay bên ngoài, hoặc (ii) điện áp tại chân đảo lớn hơn nhiều so với điện áp tại chân không đảo.
3. Mức ra có thể ở mức  $0V$  do: (i) chân ra đứt, hay (ii) chân ra bị ngắn mạch với đất.
4. Mức điện áp dịch đầu ra có thể cao do sự mất cân bằng ở các transistor.
5. Mức tín hiệu ra có thể bị méo do tốc độ thay đổi ( $SR$ ) trở nên thấp hơn so với tốc độ biến thiên của tín hiệu.
6. CMRR thấp là do: (i) các transistor không cân bằng, cho hệ số khuếch đại đồng pha cao, hoặc do (ii) hệ số khuếch đại vi sai trở nên thấp.
7. Hệ số khuếch đại vòng kín có thể thấp hay cao biểu thị điện trở hồi tiếp lỗi hoặc điện trở nối tiếp lỗi.

**Ví dụ 4.5:** Với các thông số mạch ở hình 4.50, hãy xác định các mức điện áp tại A, B, và C. Xác định các mức điện áp ảnh hưởng khi hở mạch của từng điện trở.



Hình 4.50:

Các mức điện áp ở trạng thái mạch bình thường.

Điện áp tại A sẽ gần bằng 0V do mức đất ảo.

Điện áp tại B sẽ bằng:  $-(2\text{mV} + 3\text{mV}) = -5\text{mV}$  (do mạch tính tổng)

Điện áp tại C sẽ bằng:  $-5\text{mV}$  (mạch lặp lại điện áp).

Các mức điện áp ở trạng thái lỗi.

Khi  $R_1$  hở mạch, thì  $V_A = 0$ ,  $V_B = -3\text{mV}$  và  $V_C = -3\text{mV}$ .

Khi  $R_2$  hở mạch, thì  $V_A = 0\text{V}$ ,  $V_B = -2\text{mV}$  và  $V_C = -2\text{mV}$ .

Khi  $R_f$  hở mạch, thì  $V_A = 1\text{mV}$ ,  $V_B = -13,5\text{V}$  và  $V_C = -13,5\text{V}$ .

**Ví dụ 4.6:** Nếu từng điện trở ở mạch hình 4.50 bị ngắn mạch thì mức điện áp có thể tại các điểm A, B, và C sẽ như thế nào?

Khi  $R_1$  bị ngắn mạch,  $V_A = 2\text{mV}$ ,  $V_B = -13,5\text{V}$  và  $V_C = -13,5\text{V}$ .

Khi  $R_2$  bị ngắn mạch,  $V_A = 3\text{mV}$ ,  $V_B = -13,5\text{V}$  và  $V_C = -13,5\text{V}$ .

Khi  $R_f$  bị ngắn mạch,  $V_A = 0\text{V}$ ,  $V_B = 0\text{V}$  và  $V_C = 0\text{V}$ .

**Ví dụ 4.7:** Tính các mức điện áp bình thường tại các điểm A, B, C, và D trong mạch ở hình 4.51.

Các mức điện áp bình thường.

$V_A = 0\text{V}$  (bằng mức đất ảo)

$V_B = -1\text{V}$  (do hệ số khuếch đại  $= -R_f/R_1 = -1$ )

$V_C = -3\text{V}$  (do hệ số khuếch đại điện áp bằng  $1 + (200/100) = 3$ )

$V_D = -1\text{V}$  (mạch phân áp).

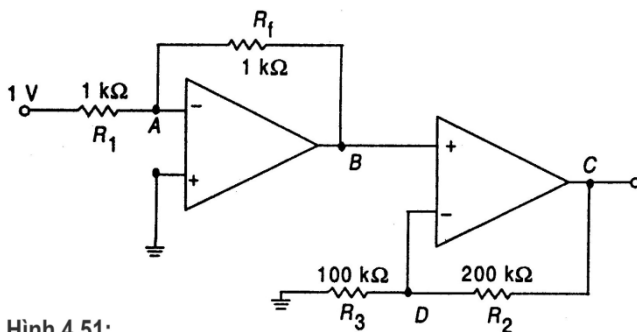
**Ví dụ 4.8:** Hãy xác định sai hỏng trong các trường hợp sau cho mạch ở hình 4.51.

(a)  $V_A = 1\text{V}$ ,  $V_B = V_C = -13,5\text{V}$  và  $V_D = -4,5\text{V}$ .

(b) Tất cả các điện áp là bình thường, trừ điện áp tại điểm C bằng  $-1\text{V}$  mà lẽ ra bằng  $-3\text{V}$ .

(c)  $V_A = V_B = V_C = V_D = 0\text{V}$ .

(d)  $V_C = -13,5\text{V}$ ,  $V_D = 0\text{V}$ , tất cả các điện áp khác đều bình thường.



Hình 4.51:

(a) Khi  $V_B$  bằng giá trị định, thì điện trở hồi tiếp,  $R_f$  bị hở mạch.

(b) Op - amp thứ hai làm việc như một mạch lặp điện áp do đó  $R_3$  bị hở mạch.

(c) Mức điện áp tại B bằng 0V sẽ cho thấy rằng,  $R_f$  bị ngắn mạch hoặc  $R_1$  bị hở mạch. Khi điện áp tại B bằng 0V thì điện áp tại C và D cũng sẽ bằng 0V.

(d) Điện trở 200k bị hở mạch, nên hệ số khuếch đại vòng hở sẽ tạo ra mức điện áp tại C,  $V_C = -13,5\text{V}$ , và  $V_D$  sẽ bằng 0V.

## 4.5 ĐO THỬ VI MẠCH SỐ

### 4.5.1 CÁC HỌ LOGIC.

Bản chất của các mạch logic là các chuyển mạch điện tử. Có thể sử dụng các diode, các BJT, và các FET dưới dạng các mạch tích hợp (các IC) để có các tác động chuyển mạch.

Các vi mạch có cùng các mức điện áp và các đặc tính giống nhau tạo thành một họ logic. Trong phạm vi một họ logic, đầu ra của một IC có thể kết nối với đầu vào của IC khác và do đó có thể nhận được các kiểu mạch logic rất đa dạng.

Trong thực tế, phân loại họ vi mạch theo cấu trúc gồm sáu họ logic là:

1. Họ vi mạch logic transistor-điện trở (RTL)
2. Họ vi mạch logic transistor-diode (DTL)
3. Họ vi mạch logic phóng thích tích hợp ( $I^2L$ )
4. Họ vi mạch logic transistor transistor (TTL)
5. Họ vi mạch cấu trúc bằng các cấu kiện MOS và CMOS
6. Họ vi mạch logic ghép emitter (ECL)

Ba họ vi mạch đầu ở trên hiện nay không còn sử dụng. Các họ vi mạch TTL, CMOS, và ECL đều có các thông số riêng, thích hợp với các ứng dụng cụ thể.

### 4.5.2 CÁC ĐẶC TÍNH CỦA HỌ LOGIC

Mỗi họ logic là tổ hợp các cấu kiện điện tử đặc trưng, tạo nên các đặc tính riêng của họ vi mạch logic như sau.

- **Mức tiêu tán công suất** Công suất tiêu tán trong cấu kiện khi có dòng điện chảy qua cấu kiện. Công suất tính bằng tích của dòng chảy qua và sụt áp trên cấu kiện điện tử. Cấu kiện điện tử tốt hơn nếu mức tiêu tán công suất thấp hơn. Mức công suất tiêu tán ở họ vi mạch CMOS là thấp nhất, còn mức công suất tiêu tán lớn nhất là ở họ vi mạch ECL.

- **Trễ truyền lan** Khi vi mạch hoạt động sẽ chuyển mạch từ trạng thái dẫn [ON] sang trạng thái ngưng dẫn [OFF] hoặc ngược lại, vi mạch cần một khoảng thời gian gọi là độ trễ truyền lan (tính bằng nanosecond) để đạt đến trạng thái ổn định là OFF hay ON. Trễ truyền lan nhỏ nhất ở họ vi mạch ECL (vào khoảng 2ns) và lớn nhất ở họ CMOS (khoảng 100ns). Họ vi mạch TTL có độ trễ truyền lan mức trung bình (khoảng 10ns). Nếu sử dụng diode Schottky, thì độ trễ ở họ TTL giảm xuống vào khoảng 3ns.

- **Tốc độ chuyển mạch** Tốc độ chuyển mạch thay thế cho độ trễ truyền. Độ trễ truyền của họ vi mạch cao hơn, vi mạch sẽ có tốc độ chuyển mạch thấp hơn.

- **Hệ số phẩm chất của cổng logic** Hệ số phẩm chất tính theo đơn vị picojoule của cổng logic là tích của mức công suất tiêu tán tính theo milliwatt và độ trễ truyền tính theo nano giây. Trị số của pJ thấp hơn cho vi mạch có chất lượng tốt hơn.

- **Độ dự trữ nhiễu** [Noise Margin] Các tín hiệu và các xung quá độ không mong muốn sẽ cảm ứng vào vi mạch theo dạng nhiễu. Nhiễu khi cảm ứng lên mức logic 1 hay 0 có thể tác động lên các mức logic và gây ra sự không rõ ràng trong việc xác định chính xác mức logic.

Độ dự trữ nhiễu hay độ kháng nhiễu là mức điện áp nhiễu lớn nhất có thể cho phép tại đầu vào mà không gây ra sự không rõ ràng ở mức ra đã cho. Độ dự trữ nhiễu (NM – Noise Margin) sẽ được xác định theo các phương trình (4.18) và (4.19).

$$\text{Giới hạn nhiễu của mức logic 1} = V_{OH} - V_{IH} \quad (4.18)$$

$$\text{Giới hạn nhiễu của mức logic 0} = V_{IL} - V_{OL} \quad (4.19)$$

trong đó,  $V_{OH}$  là mức điện áp cao nhỏ nhất tại đầu ra;  $V_{IH}$  là mức điện áp cao nhỏ nhất tại đầu vào;  $V_{IL}$  là mức điện áp thấp lớn nhất tại đầu vào;  $V_{OL}$  là mức điện áp thấp lớn nhất tại đầu ra.

**Độ dự trữ nhiễu của họ TTL** là 0,4V, sẽ được biểu thị như sau,

Đối với mức logic 1,  $NM = 2,4V - 2V = 0,4V$ , và đối với mức logic 0,  $NM = 0,8V - 0,4V = 0,4V$

**Độ dự trữ nhiễu của họ ECL** cũng là 0,4V

**Độ dự trữ nhiễu của họ CMOS** là 20% của  $V_{DD}$ , sẽ được biểu thị như sau,

Đối với mức logic 1,  $NM = 0,9 V_{DD} - 0,7 V_{DD} = 0,2 V_{DD} = 20\%$  của  $V_{DD}$ , và

Đối với mức logic 0,  $NM = 0,3 V_{DD} - 0,1 V_{DD} = 0,2 V_{DD} = 20\%$  của  $V_{DD}$

Các giá trị độ dự trữ nhiễu tại đầu ra là nghiêm ngặt hơn so với các giá trị độ dự trữ nhiễu tại đầu vào

để cho phép nhiều có thể thêm vào các xung logic trong suốt quá trình truyền từ đầu ra của vi mạch trước đến đầu vào của vi mạch sau.

Yêu cầu các mức điện áp nguồn cung cấp thông thường là:

$V_{CC}$  đối với họ TTL là 5V

$V_{CC}$  đối với họ ECL là - 5,2V cho loạt vi mạch kiểu 10K và - 4,2V cho loạt vi mạch kiểu 100K

$V_{DD}$  đối với họ CMOS là 3V đến 15V cho loạt vi mạch kiểu 4000 và 5V cho loạt vi mạch 74C00

- **Fan-in** Fan-in có nghĩa là số lượng lớn nhất của các đầu vào có thể mắc với cổng mà không ảnh hưởng chức năng của cổng. Ảnh hưởng của các mức vào fan-in do thời gian truyền lan, bởi vì mỗi đầu vào đều đóng góp mức điện dung nào đó. Mức fan-in lớn hơn sẽ có thời gian truyền lớn hơn và do đó vi mạch sẽ có tốc độ làm việc thấp hơn. Fan-in của cổng TTL tốc độ trung bình là 10. Nếu muốn tốc độ làm việc cao hơn, cần phải giảm mức fan-in.

- **Fan-out** Fan-out là số lượng cổng lớn nhất có thể kết nối tại đầu ra mà không ảnh hưởng đến hiệu suất của vi mạch. Mỗi đầu ra sẽ là tải của cổng logic nên mức dòng ra sẽ tăng. Vậy giới hạn số lượng tỏa ra sẽ được quyết định bởi mức dòng lớn nhất có thể chảy qua cổng nguồn. Mức fan-out của TTL là 10.

### 4.5.3 CHỌN LỰA HỌ LOGIC

Số lượng các họ logic đã được tăng lên nhằm cải thiện hiệu suất để cho mức ra có thể tốt nhất. Tuy nhiên, không có họ logic nào cho các thông số tốt nhất. Có một số thỏa hiệp nào đó nên việc chọn lựa tùy thuộc vào ứng dụng có thể chấp nhận dung sai. Trong các họ logic, trễ truyền thấp nhưng tiêu thụ công suất lớn (họ ECL). Các họ logic như vậy thích hợp cho các máy tính cấp cao cần tốc độ rất nhanh nhưng có thể chịu mức tiêu tán công suất cao, làm việc bằng nguồn điện lưới. Trong các họ logic khác, mức tiêu tán công suất là rất thấp, nhưng trễ truyền cao (họ CMOS). Các mạch CMOS thích hợp ứng dụng khi cần tiết kiệm nguồn cung cấp và có thể chịu tốc độ làm việc thấp, như ở các máy tính số [calculator], các đồng hồ số và các thiết bị số khác dùng nguồn pin. Đối với các sản phẩm VLSI cũng như vậy. Các họ vi mạch TTL có mức tiêu tán công suất trung bình và tốc độ ở mức khá tốt là được các nhà thiết kế sử dụng nhiều nhất. Tuy đang có các nghiên cứu cải thiện, nên các kiểu vi mạch đang được sử dụng phổ biến hiện nay là kiểu TTL kiểu Schottky tốc độ cao, TTL cao cấp công suất thấp và các vi mạch CMOS tốc độ cao.

Các thông số của các họ logic thông dụng sẽ được so sánh với nhau ở bảng 4.4.

**Bảng 4.4:** So sánh các đặc tính của các họ logic

Thông số	TTL	TTL	TTL cao cấp tốc độ	CMOS	ECL	
	Tiêu chuẩn	Schottky tốc độ cao	cao cấp công suất thấp		Seri 10K	Seri 100K
1. Mức công suất tiêu tán / cổng	10mW	19mW	1mW	10 $\mu$ W	28mW	40mW
2. Độ trễ truyền	10ns	3ns	4ns	100ns	2ns	1ns
3. Hệ số phẩm chất	100pJ	57pJ	4pJ	1pJ	56pJ	40pJ
4. Fan-out	10	10	40	50	30	20
5. Biên độ nhiễu	0,4V	0,4V	0,4V	20% của $V_{DD}$	0,4V	0,4V
6. Các mức logic						
(i) Mức 0 tại đầu vào (max)	0,8V	0,8V	0,8V	30% của $V_{DD}$	-1,6V	1,6V
(ii) Mức 0 tại đầu ra (max)	0,4V	0,4V	0,4V	20% của $V_{DD}$	-2V	2V
(iii) Mức 1 tại đầu vào (min)	2V	2V	2V	70% của $V_{DD}$	0,8V	0,8V
(iv) Mức 1 tại đầu ra (min)	2,4V	2,4V	2,4V	90% của $V_{DD}$	0,4V	2,4V

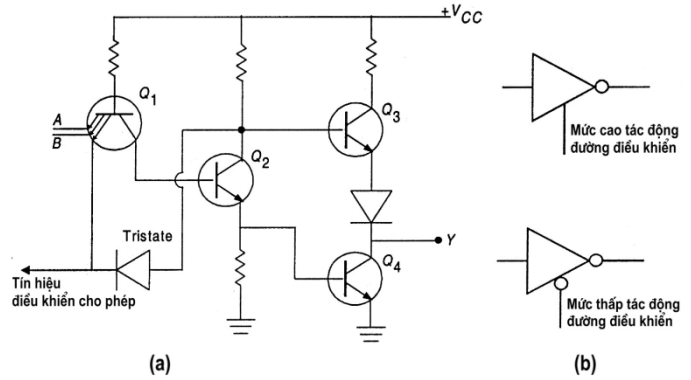
### 4.4.4 CÔNG BA TRẠNG THÁI.

Công ba trạng thái là cổng có trở kháng cao bất chấp các mức vào. Khi nhiều dụng cụ được nối đến đường dẫn chung (bus), chỉ một dụng cụ cần phải có khả năng truyền các xung đến bus tại thời điểm nào đó để tránh xung đột và do đó tránh sai lệch số liệu, thì tất cả các dụng cụ sẽ được kết nối đến mạch

có trở kháng cao (gần như hở mạch) bằng cách dùng dụng cụ điều khiển gọi là ‘điều khiển trạng thái thứ ba’, để duy trì các dụng cụ được hủy kết nối khỏi bus bằng cách cung cấp trở kháng cao và chỉ cho phép một dụng cụ được yêu cầu làm việc trên bus. Mạch ba trạng thái như ở hình 4.52.

Khi đầu điều khiển cho phép có mức 0, collector của  $Q_2$  sẽ có mức 0, nên base của  $Q_3$  có mức 0 do diode dẫn. Do  $Q_2$  ngưng dẫn nên base của  $Q_4$  cũng có mức 0. Vậy cả  $Q_3$  và  $Q_4$  đều ngưng dẫn nên sẽ cho trở kháng cao đối với tải tại đầu ra Y (đầu nối vào bus). Khi đầu vào điều khiển cho phép có mức 1, thì diode trạng thái thứ ba sẽ ngưng dẫn, nên mạch sẽ làm việc bình thường đối với tải tại đầu ra Y (tức là tín hiệu ra sẽ được truyền đến đầu bus).

Trạng thái thứ ba cho phép có thể kích hoạt ở mức cao hoặc ở mức thấp. Các ký hiệu của cổng ba trạng thái như ở hình 4.52b.

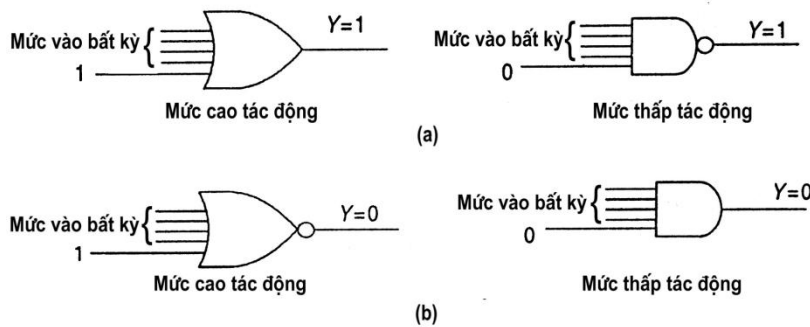


Hình 4.52: (a) Mạch hợp thành cổng ba trạng thái, (b) Mức điều khiển cổng ba trạng thái.

**4.5.5 CÁC ĐẦU VÀO ĐIỀU KHIỂN ĐẶT TRƯỚC [PRESET] VÀ XOÁ [CLEAR].**

**Preset** Đặt trước sẽ làm cho mức ra bằng 1, bất chấp trạng thái của các đầu vào, do vậy tín hiệu đặt trước sẽ ghi đè lên các tín hiệu vào, như thể hiện ở hình 4.53a.

Nếu mức logic 1 được đặt vào cổng OR như ở hình 4.53a, thì đầu ra sẽ có mức 1 bất kể trạng thái các đầu vào có thể có. Mạch được gọi là đặt trước mức cao tác động. Nếu mức 0 đặt vào cổng NAND như ở hình 4.53a, thì đầu ra sẽ vẫn có mức 1 bất chấp trạng thái các đầu vào. Kiểu đặt trước như vậy gọi là đặt trước ‘thấp tác động’.



Hình 4.53: (a) Mức tác động cao và thấp của điều khiển đặt trước [Preset], (b) Mức tác động cao và thấp của điều khiển xóa [Clear].

**Clear** Điều khiển xóa sẽ làm cho đầu ra bằng mức 0 bất chấp các trạng thái vào. Điều khiển xóa cũng có hai kiểu như ở hình 4.53b.

Mức logic 1 (cao tác động) đặt vào cổng NOR (hình 4.53b), sẽ làm cho đầu ra có mức 0 bất chấp các mức vào. Mức logic 0 (thấp tác động), đặt vào cổng AND (hình 4.53b) cũng sẽ làm cho đầu ra ở mức 0, bất kể trạng thái có thể có ở các đầu vào.

**4.5.6 CÁC SAI HỒNG TRONG MẠCH SỐ.**

Phần lớn các mạch số là dựa trên các transistor hoặc các FET, làm việc như các chuyển mạch. Một cổng logic cơ bản sử dụng rất ít các linh kiện và lắp thành dạng vi mạch (IC) nên cổng rất tin cậy. Nhưng vẫn có một số sai hỏng xảy ra như sau.

- **Cổng logic bị ghim ở mức 1:** Khi một transistor không dẫn do đã bị hở mạch,  $V_{CC}$  hay  $V_{DD}$  sẽ xuất hiện thường trực tại đầu ra. Ngoài ra, nếu cực base của BJT hay cực cổng của EnMOSFET đã bị ngắn mạch với điểm đất (0V đối với cực emitter hoặc cực nguồn [source]) ở mạch ngoài hay bên trong, cấu kiện sẽ không dẫn, cho mức logic 1 tại đầu ra. Cũng như vậy, nếu tín hiệu đặt trước không có, thì cổng sẽ giữ ở mức 1.

- **Cổng logic ghim ở mức 0:** Khi transistor là đang dẫn mạnh, thì transistor sẽ trở nên dẫn bão hoà, cho mức 0,2V hay mức logic 0 tại đầu ra. Sự dẫn điện mạnh có thể xuất hiện nếu bị ngắn mạch collector và emitter hoặc kênh dẫn ở FET trở nên bị ngắn mạch. Cũng vậy, nếu cực base của BJT hay cực cổng của FET bị ghim ở mức 1, thì đầu ra của cổng sẽ bị ghim ở mức 0. Nếu nguồn cung cấp mất kết nối với cấu kiện, thì cổng sẽ giữ tại mức 0V. Ngoài ra, nếu đầu điều khiển xóa [clear] không cho phép, cổng logic sẽ ở vị trí xoá (tức kẹt tại mức 0).

- **Đầu ra ghim ở mức trở kháng cao:** Nếu đầu điều khiển của cổng ba trạng thái vẫn ở tại trạng thái cho phép, thì cổng sẽ ở trạng thái trở kháng cao, ngay cả khi cổng được yêu cầu gửi các tín hiệu đến đường bus. Ngoài ra, do sự già hoá, ảnh hưởng của sự pha tạp giảm xuống, nên số lượng hạt tải điện có thể giảm xuống, dẫn đến điện trở cao hơn khi cổng mở [ON]. Cổng sẽ thay đổi mức logic 0 và đáng lẽ là mức 0,4V, cổng sẽ có mức 1V ở đầu ra. Điều này sẽ lật hoàn toàn chức năng của cổng.

- **Trích nhiễu ở cổng:** Các đầu vào hay các đầu giữa đầu ra của một cổng và đầu vào của cổng tiếp theo, có thể bị can nhiễu hay các tín hiệu nhiễu khác, đến mức độ điện áp tại đầu vào không phải mức 0 mà cũng không phải mức 1 tức trở nên không rõ ràng, mà có thể nhận được một giá trị trung gian nào đó giữa mức 0 và mức 1. Giả sử ở một cổng TTL chịu được biên độ nhiễu là 0,4V, nếu đầu vào ở mức 0,2V và trích nhiễu lên đến 0,8V, thì điện áp tại đầu vào sẽ là  $0,2V + 0,8V = 1V$ , tức là vượt quá giá trị lớn nhất cho phép là 0,8V đối với mức logic 0 tại đầu vào. Do vậy, cổng sẽ không nhận ra tín hiệu như mức logic 0. Mức ra của cổng sẽ trở nên không tin cậy.

Nếu đầu ra là 2,4V ở một cổng và xung này sẽ chuyển xung nhiễu âm là 0,8V, thì điện áp tại đầu vào của cổng tiếp theo sẽ là:  $2,4V - 0,8V = 1,6V$ . Mức điện áp này sẽ không được chấp nhận làm mức logic 1 cho cổng và do đó, quá trình tiếp theo sẽ bị lỗi.

- **Base của transistor bị hở.** Khi cực base bị hở mạch bên trong hay ở mạch ngoài, thì có thể xem là transistor ở trạng thái hở. Ở transistor *n*pn, các điện tử tự do sẽ di chuyển ra khỏi vùng emitter bằng vật liệu tạp dạng-*n* đến vùng base, để phần lớn các điện tử di chuyển đến vùng collector, một số điện tử được chiếm giữ ở vùng base để tạo thành dòng base chảy trong mạch ngoài. Khi cực base ở trạng thái lơ lửng (hở mạch), không có dòng base nên các điện tử bị chiếm giữ sẽ làm cho cực base được tích điện âm, sẽ tăng cường mức điện áp rào thế hay các điện tích âm sẽ đẩy các điện tử tự do ra xa khỏi emitter, nên sẽ làm giảm dòng điện và có thể làm ngưng dẫn toàn bộ, dẫn đến mức ra sẽ bất thường, hay mức ra có thể kẹt tại mức logic 1. Các vấn đề trên sẽ không ảnh hưởng về dòng của xung vào.

Ở JFET (kênh *n*), khi hở mạch cổng sẽ trở nên được tích điện âm và do vậy sẽ làm giảm dòng điện, nhưng kênh dẫn sẽ tồn tại và mức dòng bị giảm vẫn sẽ liên tục chảy, không có tác động của mức logic ngoài đặt vào cổng và cực máng sẽ kẹt tại mức logic 0 hay một trị số không chắc chắn nào đó. Ở En MOSFET, kênh dẫn sẽ không được tạo thành nên không có dòng điện chảy qua FET khi cổng ở trạng thái lơ lửng. Do đó mức ra sẽ kẹt tại mức logic 1.

- **Mất đồng bộ với xung nhịp:** Chuỗi mức logic sẽ làm cho hàng loạt các flip - flop theo từng bước hoạt động. Mỗi flip - flop có nhiều transistor, nên mỗi hệ thống dây có số lượng khá lớn các transistor. Tất cả các transistor, mặc dù cùng loại, không thể có các thông số đồng nhất. Sự biến thiên nhẹ về các thông số của các transistor khác nhau trong hệ thống sẽ dẫn đến làm rối loạn sự dịch chuyển liên tiếp của các xung qua các flip - flop khác nhau.

Sự lưu trữ trong bộ nhớ và phần lớn các phép tính số học như phép nhân và phép đếm tùy thuộc vào sự dịch chuyển chính xác. Vì vậy, các kết quả sẽ thất thường nếu tất cả các cổng trong hệ thống dây không làm việc đồng bộ với từng xung khác nhau. Do đó, cần phải sử dụng xung nhịp. Để hệ thống hoạt động một cách chính xác, bộ phát xung nhịp cần phải tạo ra các xung có độ rộng xung, khoảng thời gian, biên độ và tần số chính xác, tức là tín hiệu xung nhịp cần phải có độ ổn định rất cao trong mọi khía cạnh làm xuất hiện sai số.

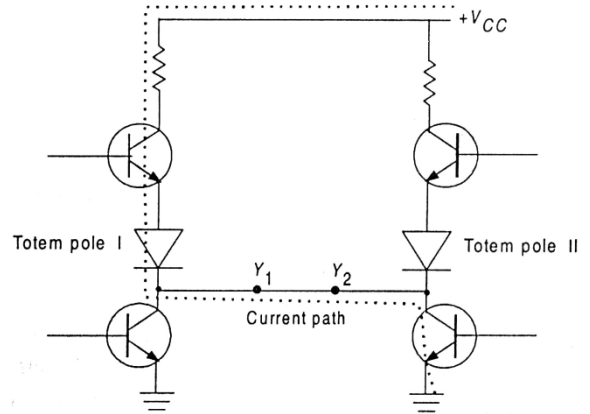
Mạch xung nhịp thường sử dụng bộ đa hài phi ổn (chạy tự do) và do đó lỗi bất kỳ trong bộ đa hài sẽ gây ra lỗi ở tín hiệu xung nhịp. Sử dụng phổ biến là IC định thời 555 để tạo ra các tín hiệu xung nhịp. Các lỗi trong bộ đa hài phi ổn có thể là: đường nguồn cung cấp bị đứt, hỏng mạch hằng số thời gian sử dụng các linh kiện *RC* và các transistor bị hở mạch hay bị ngắn mạch. Bộ dao động bằng tinh thể cũng có thể hỏng do sự già hoá. Phần lớn các hư hỏng ở các mạch dây có thể quy cho các mạch xung nhịp.

- **Dây xung sai** Mỗi khi có sai hỏng nào đó trong mạch dây, thì dây xung sẽ thay đổi. Nếu bộ biến đổi xung nhịp bị ngắn mạch trong flip-flop JK chủ - tớ, phần tớ có thể mất chức năng của nó nên các xung sẽ rộng, mức ra sẽ dao động giữa 1 và 0, làm nhiễu loạn chuỗi xung. Nếu đường hồi tiếp nào đó ở flip - flop JK bị đứt, thì xung sẽ bị nhiễu. Tất cả các flip - flop là các mạch đa hài song ổn, nên nếu một transistor nào đó trong hai transistor bị hở mạch hay ngắn mạch, hoặc nếu một điện trở bất kỳ bị đứt, thì chức năng song ổn sẽ ngưng. Ở các mạch hai trạng thái bằng các cổng NAND, các xung kích khởi S và

R đặt vào các bộ đảo, nên nếu một bộ đảo nào đó bị hở mạch hay ngắn mạch, thì flip-flop sẽ khởi động sai, xáo trộn hoạt động của mạch dãy.

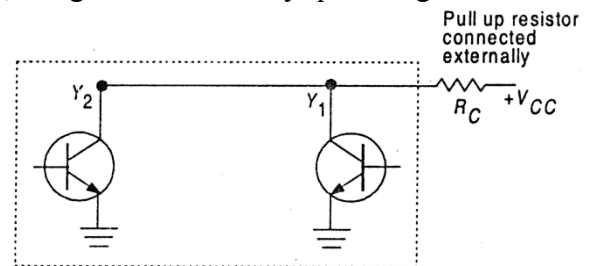
Các hư hỏng ở bus bất kỳ hay đường điều khiển trạng thái thứ ba cũng sẽ nhiễu loạn dãy xung. Lỗi ở khối điều khiển của CPU hay ở RAM hoặc ở ROM, hoặc ở thanh ghi nào đó của vi xử lý sẽ làm thay đổi dãy xung bình thường có trong các bus.

**- Các thông số của họ logic khác nhau nhiều** Một họ logic được đặc trưng bởi trễ truyền lan, công suất tiêu tán, độ dự trữ nhiễu, nguồn cung cấp và khả năng cung cấp tín hiệu từ đầu ra đến nhiều đầu vào [fan out]. Khi IC trong số họ vi mạch cụ thể không đúng chức năng, một thông số bất kỳ trong số các thông số có thể bị suy biến. Trễ truyền lan tăng sẽ làm cho tốc độ chuyển mạch thấp hơn. Nếu các xung vào xuất hiện nhanh hơn so với thời gian cần cho việc đang xử lý của xung trước, thì xung đột sẽ tăng, có thể mất một số xung. Công suất tiêu tán cao hơn có nghĩa là có mức dòng chảy qua cấu kiện cao hơn, cho thấy là cấu kiện điện tử có thể bị rò hoặc linh kiện ngoài nào đó đã trở nên bị ngắn mạch do mối hàn nối giữa các đường mạch in hoặc do các nguyên nhân khác.



Hình 4.54: ảnh hưởng quá tải ở đầu ra của cổng TTL.

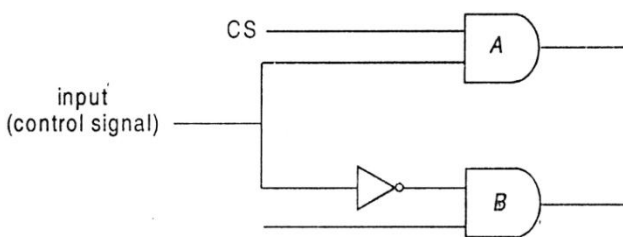
Nhiều có thể xâm nhập do chân cấu kiện khi kết nối đầu ra của tầng trước với đầu vào của tầng sau. Mức nhiễu có thể vượt quá độ dự trữ nhiễu tác động đến đầu ra của tầng tiếp theo. Cũng vậy, nhiệt độ tiếp xúc cao có thể làm giảm độ dự trữ nhiễu từ 0,4V ở họ TTL xuống còn 0,2V làm đảo lộn sự cân bằng xâm nhập nhiễu thông thường ở đầu ra. Nếu tăng tải, dòng lớn hơn sẽ chảy qua từ nguồn dẫn đến quá nhiệt. Ví dụ, nếu các đầu ra của hai nhánh của mạch toàn bộ nối song song và nếu hai nhánh không đồng bộ, thì có thể xảy ra sự dẫn điện đồng thời từ transistor phía trên của nhánh này sang transistor phía dưới của nhánh khác (hình 4.54), vượt quá mức dòng chảy qua transistor phía dưới.



Hình 4.55: Mạch collector-hở có điện trở kéo lên được mắc từ ngoài.

Ở mạch có mức dòng vượt quá sẽ gây hư hỏng cho một cấu kiện dễ hỏng trong mạch (hoặc là chính transistor hoặc là điện trở collector). Ở hệ thống collector hở (hình

4.55) nếu cả hai transistor đều dẫn thì điện trở kéo lên mắc ngoài có thể bị hỏng nhưng có thể dễ dàng thay thế khi so với việc thay thế toàn bộ vi mạch.



Hình 4.56: Mạch chọn chip.

**- Hỏng cấu kiện chọn chip [CS-Chip Selection]** Cấu kiện chọn chip sẽ chọn đúng chip tại đúng thời điểm. Nếu CS bị lỗi, chip đúng sẽ không được chọn, tức là đảo lộn chức năng và làm cho mức ra sai lệch. Cấu kiện chọn chip là cấu kiện điều khiển cho phép một thiết bị hoạt động và cấm thiết bị còn lại như thể hiện

ở hình 4.56. Khi đầu vào điều khiển ở mức 1, chip A sẽ được phép còn chip B sẽ không được phép. Khi đầu vào điều khiển ở mức 0, chip A sẽ bị cấm và chip B sẽ được chọn.

**- Mạch sửa lỗi không làm việc.** Trong các hệ thống truyền số liệu, sai số có thể tăng lên theo bit, phía thu sẽ nhận được các ký tự và các lệnh sai lệch. Các hệ thống phát hiện và sửa lỗi như kiểm tra chẵn lẻ, ma trận mã hamming, v. v. . . được sử dụng để phát hiện và sửa lỗi. Lỗi bất kỳ trong mạch truyền số liệu hoặc không phát hiện lỗi hoặc không sửa lỗi hoặc phát hiện và sửa lỗi sai. Lỗi ở mạch sửa lỗi sẽ gây sai lệch toàn bộ dữ liệu, bản tin có thể lẫn lộn và vô dụng.

**- Lỗi ROM** Hệ thống số sử dụng bộ nhớ chỉ đọc (ROM) trong tất cả các hệ thống điều khiển bằng vi xử

lý (như máy tính), nếu diode (hay transistor) chuyễn mạch nào đó trong mạch ma trận nối chéo bị ngắn mạch hay hở mạch bên trong, thì sẽ làm thay đổi nội dung chứa trong ROM và do đó sẽ làm sai lệch chức năng của ROM.

- **Lỗi RAM** Các mạch nạp dữ liệu có thể hỏng. Trong trường hợp bộ nhớ hỏng, các ô nhớ chỉ có thể chứa các bit 0. Các flip-flop lưu trữ các bit có thể bị hỏng (hở mạch hoặc ngắn mạch hoặc cấu kiện bị rò). Khi tất cả việc xử lý đều được thực hiện thông qua RAM, nếu RAM bị lỗi sẽ dẫn đến việc xử lý sai lệch hoàn toàn.

- **Các card băng mạch in (PCB card) bị mất kết nối** Trong các hệ thống số, có hàng loạt card được cố định trên bảng mạch chủ [motherboard]. Khi mất kết nối ở các chân sẽ gây các sai hỏng chập chờn sẽ gây các sai hỏng chập chờn. Nhiều khi chỉ cần tháo, làm sạch và kết nối chặt chẽ sẽ giải quyết được vấn đề.

- **Xuyên âm** Xuyên âm sử dụng trong các mạch âm tần, nhưng theo quy ước xuyên âm trở nên thông dụng đối với tương tác không mong muốn bất kỳ giữa hai đường mạch tín hiệu. Hai đường mạch gần nhau có thể trở nên ngắn mạch do mối hàn, làm cho tín hiệu trên một đường mạch có thể xuất hiện trên đường mạch khác.

- **Các modem giao tiếp và các khối ADC và DAC** Các modem giao tiếp và các khối ADC, DAC đóng vai trò quan trọng trong đường truyền của các hệ thống số với các hệ thống tương tự. Khối giao tiếp là một bảng mạch gồm có các chân cắm và tổ hợp logic các bộ giải mã, các bộ mã hóa. DAC và ADC cần phải sử dụng các cổng logic để biến đổi tín hiệu vào thành tín hiệu ra thích hợp. Các lỗi trong khối giao tiếp, ADC và DAC là các lỗi thông dụng như ghim ở mức 1 hai ở mức 0, hoặc ở mức trở kháng cao.

- **Các mạch sửa dạng sóng** Các hệ thống số cần phải có các xung rõ ràng với cạnh tăng và giảm sắc nét, duy trì đỉnh bằng phẳng ở mức biên độ và độ rộng yêu cầu và xuất hiện tại tần số quy định. Các xung có thể bị sai lệch do nhiễu, trích nhiễu RF, các thành phần quá độ, do biến thiên ở các thông số xung được tạo ra bởi transistor, hay các xung ở các mạch xử lý tín hiệu. Chức năng của mạch số phụ thuộc chính vào xung (1 hoặc 0), mạch số cần phải có các xung có dạng và độ lớn thích hợp. Dạng xung sẽ được sửa bằng mạch kích khởi Schmitt. Sai hỏng bất kỳ trong mạch sửa dạng đều dẫn đến vấn đề tạo xung xử lý trong hệ thống số.

Hầu hết các sai hỏng trên cuối cùng đều được thể hiện dưới dạng lỗi ghim ở mức 1 hoặc ghim ở mức 0. Các lỗi không được xếp vào loại ghim tại mức lỗi là 'lỗi điểm giao chéo' do các diode bị hở mạch hoặc ngắn mạch hay đứt cầu chì ở mạch ma trận ROM; các lỗi xuyên âm do tín hiệu của một đường truyền đến đường lân cận (cầu mối hàn) và một số lỗi không phải mức logic như trễ hay tốc độ truyền, nhiễu hay cảm ứng RF, đều không thuộc loại ghim tại các mức lỗi. Các lỗi trên có thể đo thử theo cách kiểm tra dãy xung nhị phân bằng thiết bị phân tích mức logic. Các thông số của các họ logic có thể đo thử bằng thiết bị đo thử IC số.

#### 4.5.7 MÔ HÌNH HƯ HỎNG TRONG CÁC MẠCH SỐ.

Trong các hệ thống tương tự, hư hỏng sẽ thấy rõ từ tín hiệu ra và có thể liên quan trực tiếp tới một vài khối, nên có thể xác định bằng cách áp dụng một tín hiệu vào đơn (sóng sin hoặc dạng sóng đã được điều chế hay một xung). Mối quan hệ giữa các dấu hiệu và sai hỏng có thể được thể hiện theo lưu đồ. Nhưng ở các hệ thống số, sai hỏng không thấy rõ ở tín hiệu ra. Mức tín hiệu ra ở mạch không bị hỏng cũng như ở mạch hỏng có thể như nhau (ghim ở mức 1 hay ghim ở mức 0) theo các chuỗi tín hiệu vào. Ví dụ, đối với cổng AND, nếu lỗi là 'đầu ra ghim ở mức 0', thì ngay cả mạch không có lỗi, thì đầu ra có thể là mức 0, nếu các tín hiệu đầu vào có mức 00, 01, hay 10. Như vậy, với các đầu vào ở mạch AND sẽ không thể phân biệt giữa mạch không bị lỗi và mạch bị lỗi. Để phân biệt rõ ràng, một vài mức tín hiệu vào riêng phải được quy định, để có  $y'$  (mức ra ở trạng thái hỏng) là ngược lại mức ra  $y$  hay bằng mức  $\bar{y}$  ( $y$  là mức ra ở trạng thái không bị hỏng).

Các mức tín hiệu vào như vậy để có thể phân biệt giữa vi mạch hỏng và vi mạch không bị hỏng được gọi là các *vector thử* [test vectors] hay *thiết bị thử để phát hiện lỗi* [Fault Detecting Test Set - FDTS]. Các lỗi thông thường nhất trong các mạch số là lỗi ghim ở mức 1 (viết tắt là s-a-1 [stuck-at-one]) hoặc ghim ở mức 0 (viết tắt là s-a-0 [stuck-at-zero]), nên mô hình hỏng thường dùng nhất là liên quan đến việc xác định vị trí của các lỗi trên nhờ vào các vector đo thử có liên quan (các xung vào).



Các ký hiệu thường được sử dụng cho mạch không bị lỗi và mạch lỗi cho ở các phương trình (4.20) và (4.21), tương ứng.

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{4.20}$$

$$y' = f^{p/d}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{4.21}$$

trong đó:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  là các biến vào,  $f$  là hàm số,  $p$  sẽ tương ứng với vị trí hay số lượng hay tên của đường mạch, hoặc đầu hoặc đường mạch gồm các đường mạch vào, các đường mạch trung gian và các đường mạch ra trong mạch số và  $d$  sẽ tương ứng độ sai lệch hay bản chất lỗi (tức là s-a-0 hay s-a-1). Ví dụ, nếu lỗi có ở đường mạch thứ ba và lỗi là s-a-0, thì phương trình lỗi sẽ là:

$$y' = f^{3/0}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

trạng thái lỗi là  $f^{3/0}$  cũng được viết là 3/0 (tức là  $y' = 3/0$ ).

Mạch số bị lỗi sẽ được nhận biết nhờ hiểu rõ về mạch đồng dạng chưa hỏng, khi có các mức vào riêng đúng, và sau đó bằng cách so sánh các đầu ra nhờ cổng XOR. Lỗi sẽ được xác minh trong mạch nếu thoả phương trình (4.22).

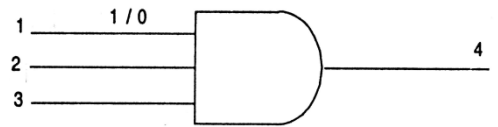
$$y' = \overline{y} \tag{4.22}$$

Phương trình (4.22), có nghĩa là đầu ra lỗi  $y'$  cần phải là đảo của đầu ra không lỗi  $y$ , tức là nếu  $y = 0$ , thì  $y'$  phải bằng 1 và nếu  $y = 1$ ,  $y'$  phải bằng 0.

#### 4.5.8 SỰ CẦN THIẾT CỦA VIỆC TẠO RA CÁC TÍN HIỆU THỬ RIÊNG (CÁC VECTOR ĐO THỬ).

Khi lỗi không được xác minh trong mạch cần đo thử, thì mạch có thể vẫn có lỗi, do mạch có đầu vào nào đó, các tổ hợp tạo ra cùng mức ra đối với  $y$  và  $y'$ . Điều này sẽ thấy rõ ở ví dụ 4.9.

**Ví dụ 4.9:** Trong mạch ở hình 4.57, (cổng AND ba đầu vào), có lỗi là 1/0 (tức là đường 1 kẹt tại mức logic 0). Hãy xác định các

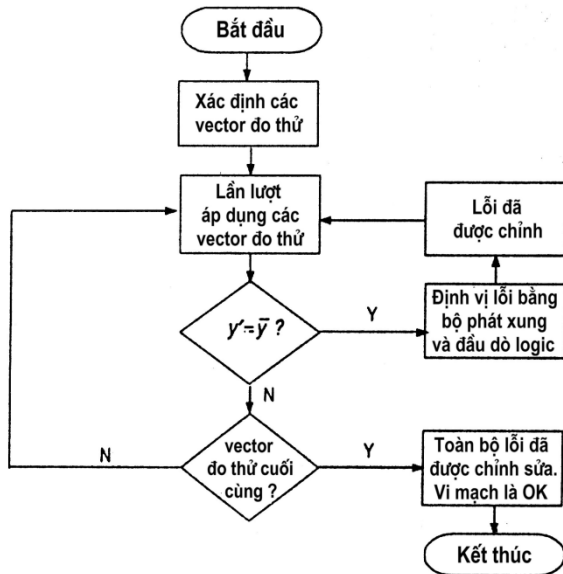


Hình 4.57: Cổng AND với lỗi 1/0.

vector đo thử.

Ba biến vào có thể là 000, 001, 010, 011, 101, 110, và 111. Mức ra không lỗi  $y$  và mức ra lỗi  $y'$  với đầu vào tại đường 1 ghim tại mức logic 0 sẽ có cùng giá trị ra (= 0) đối với tất cả các mức vào, trừ mức vào 111. Khi các mức tín hiệu vào 111 được đặt vào, thì mức ra của cổng AND sẽ là 1 ở trạng thái không lỗi. Nhưng do lỗi của 1/0, nên mức ra sẽ là 0 ở trạng thái lỗi, bởi vì mức logic 0 ở một đường vào bất kỳ của cổng AND sẽ cho mức ra 0.

Qua ví dụ 4.9, chúng ta thấy rằng một tổ hợp riêng tạo ra từ tám tổ hợp sẽ thiết lập lỗi là 1/0 ở mạch cần đo. Đối với các lỗi khác, các vector đo thử có thể sẽ khác. Do vậy, cần phải xác định các tổ hợp đầu vào (vector đo thử) để có thể nhận biết mạch lỗi. Mô hình lỗi đối với các mạch số có thể được biểu diễn dưới dạng lưu đồ cho ở hình 4.58. Lưu đồ dựa trên các vector đo thử có thể được áp dụng lần lượt cho đến khi tất cả các vector đo thử được sử dụng hết.



Hình 4.58: Lưu đồ để phát hiện hư hỏng trong các mạch số.

#### 4.5.9 CÁCH TẠO RA CÁC VECTOR ĐO THỬ.

Phương pháp so sánh mạch lỗi với mạch còn tốt là áp dụng tất cả các tổ hợp có thể có tại đầu vào và sau đó bỏ qua các tổ hợp có  $y' = y$ . Nếu tổ hợp các đầu vào nào đó, tạo ra  $y' = \overline{y}$  thì lỗi được xác định, nếu không thì mạch là không bị lỗi hay có lỗi chưa phát hiện được. Dù tối ưu nhưng phương pháp này sẽ mất nhiều thời gian và nhất là nặng nề đối với các hệ thống logic phức tạp, có nhiều đầu vào, nhiều đường trung gian, và đường ra.

Có ba phương pháp tạo ra các vector đo thử, để nhận biết các lỗi trong các mạch số.

(i) phương pháp bảng trạng thái; (ii) phương pháp đại số; và (iii) phương pháp dò đường.

Ba phương pháp được giải thích ở các mục sau.

**4.5.10 PHƯƠNG PHÁP BẢNG TRẠNG THÁI CỦA VIỆC TẠO RA CÁC VECTOR ĐO THỬ.**

Bảng trạng thái được lập cho  $y$  và  $y'$  đối với toàn bộ các tổ hợp đầu vào có thể có. Khi xác định  $y'$ , đầu vào thông thường sẽ được thay thế bằng đầu vào lỗi. Khi mỗi đường có thể có lỗi  $s$ -a-0 hay  $s$ -a-1, nên số lượng lỗi có thể có là  $2n$  (trong đó  $n$  là số lượng đường), như ở ví dụ 4.10, đối với 3 đường vào là các đầu vào  $x_1, x_2$  và  $x_3$  và một đường ra (đường thứ 4).

**Ví dụ 4.10:** Bảng 4.5, sẽ cho trạng thái của tất cả tám trạng thái lỗi của cổng AND ba đầu vào (đường thứ 1, thứ 2 và thứ 3) và một đường ra (đường thứ 4) ở hình 4.57.

**Bảng 4.5:** Bảng trạng thái đối với các lỗi khác nhau ở cổng AND.

Các mức vào			Mức ra không có lỗi	Mức ra $y'$ với các lỗi							
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$	(1/0)	(1/1)	(2/0)	(2/1)	(3/0)	(3/1)	(4/0)	(4/1)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1

(Các chữ số in đậm đối với  $y'$  là sai lệch với các chữ số của  $y$ )

Bảng trạng thái trên sẽ tạo ra các vector đo thử cho ở bảng 4.6.

**Bảng 4.6:** Các vector đo thử riêng của cổng AND.

Lỗi	Các vector đo thử để cho $y'$
1/0	111
1/1	011
2/0	111
2/1	101
3/0	111
3/1	110
4/0	111
4/1	000, 001, 010, 011, 100, 101, 110

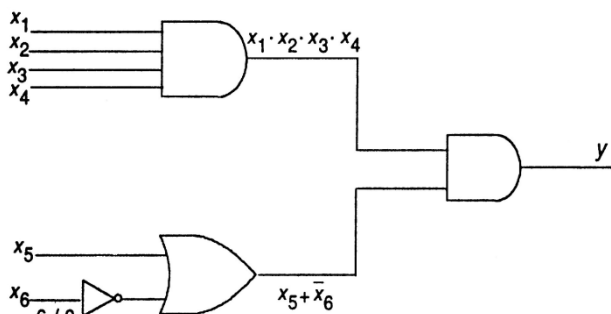
Một trong các vector 000, 001, 010, hay 100 sẽ nhận biết lỗi 4/1. (Các vector đo thử 011, 101, và 110 sẽ không được sử dụng để có lỗi 4/1, do các vector đó đáp ứng với các lỗi ghim tại mức 1 khác).

Sau khi tách được lỗi 4/1, các vector lỗi 011, 101, và 110 sẽ cho biết các lỗi 1/1, 2/1, và 3/1 tương ứng.

Sau đó vector đo thử 111 có thể được sử dụng để nhận biết các lỗi 1/0, 2/0, 3/0, hay 4/0. Lỗi riêng biệt có thể được nhận dạng bằng cách sử dụng thiết bị đo thử vệt dòng và các máy đo thử xung.

**4.5.11 PHƯƠNG PHÁP ĐẠI SỐ.**

Khi số lượng các biến lớn, phương pháp đại số thuận lợi hơn do bảng trạng thái trở nên cồng kềnh (khó sử dụng).



Hình 4.59: Mạch logic với lỗi 6/0.

Theo phương pháp đại số, ta đã biết biểu thức Boolean  $y$ , sẽ được đơn giản bằng cách áp dụng các định lý của đại số Boolean và sau đó xác định các vector đo thử bằng phương trình biểu thức đã được đơn giản hoá bằng 1, như ví dụ dưới đây.

**Ví dụ 4.11:** Hãy xác định các vector đo thử cho lỗi 6/0 trong mạch logic của hình 4.59.

Mức ra  $y$  không lỗi sẽ là:  $(x_1x_2x_3x_4)(x_5 \bar{x}_6)$ , và mức ra lỗi  $y'$  sẽ là  $(x_1x_2x_3x_4)(x_5 \bar{x}_6) + \bar{x}_1x_2x_3x_4$

Đặt  $x_1x_2x_3x_4$  bằng  $A$  và  $x_5x_6$  bằng  $B$

Suy ra công XOR sẽ cho:  $y = \overline{A}B + A\overline{B}$ , áp dụng định lý De-Morgan cho  $\overline{A\overline{B}}$  và ước lượng  $A\overline{A}$

Ta có:  $y = \overline{A}B + A\overline{B} = \overline{A\overline{B}} + A\overline{A\overline{B}}$

Để xác minh lỗi,  $y$  sẽ phải bằng 1, do đó:  $A\overline{B}$  hay  $A = 1$  và  $B = 0$ , hoặc:  $x_1x_2x_3x_4$  và  $x_5x_6$ .

Để có như vậy, chỉ khi  $x_1x_2x_3x_4, x_5, \overline{x_6}$ .

Vậy, bằng cách áp dụng phương pháp đại số, vector đo thử đối với lỗi 6/0 trong mạch logic ở hình 4.59, sẽ tạo ra 111101.

**4.5.12 PHƯƠNG PHÁP DÒ ĐƯỜNG.**

Phương pháp bảng trạng thái dài dòng, còn phương pháp đại số không thực sự được ưa chuộng, vì mỗi phương pháp đều phải nhớ nhiều định luật để rút gọn các biểu thức Boolean. Một phương pháp khác dùng để tạo ra các tín hiệu đo thử là 'phương pháp dò đường' sẽ khắc phục được khó khăn đã được đưa ra bởi các phương pháp bảng trạng thái và phương pháp đại số.

Theo phương pháp dò đường một đường sẽ được chọn từ đường bị lỗi đến đầu ra, thể hiện bằng đường đứt nét. Vector đo thử sẽ được xác định bằng cách tuân theo các bước cho dưới đây.

(. Giá trị logic (vector đo thử) đối với đường bị lỗi là được chọn sao cho đảo ngược với giá trị lỗi. Nếu lỗi ghim ở mức 0, thì mức vào ở đường được chọn là mức 1. Nếu lỗi bị ghim ở mức 1 thì mức vào sẽ được chọn là mức 0.

II. Tìm mức ra với vector lỗi của bước 1 trên đường lỗi và đảo ngược của mức ra trên đường đứt nét, bỏ qua các đường khác.

III. Ghi nhận nghịch đảo của mức ra ở bước II.

IV. Đường mạch khác hay các đường (không kể đường bị lỗi) cần phải có mức vào để mức ra bằng với giá trị ở bước III.

Ba ví dụ sau đây minh họa việc sử dụng các bước trên.

**Ví dụ 4.12:** Hãy xét cổng AND với lỗi 2/1 ở mạch hình 4.60.

(i). Vector đo thử của đường 2 là 0.

(ii). Mức ra 0,1 sẽ bằng 0.

(iii). Đảo mức ra = 1.

(iv). Để thực hiện mức ra = 1, các đường khác cần phải có các mức vào 1, 1.

Do vậy, các vector thử là 101. Để có các vector thử đó, thì  $y = 0$ , mà  $y'$  đối với lỗi 2/1 = 1. Vậy các vector thử là hợp lý.

**Ví dụ 4.13:** Hãy xét cổng OR với lỗi 1/0 ở mạch hình 4.61.

(i). Vector thử cho đường bị lỗi = 1.

(ii). Mức ra đối với hai mức vào 1, 0 trên hai đường bất kỳ = 1.

(iii). Mức ra đảo = 0.

(iv). Để có mức ra = 0, thì các đường vào khác đều phải là 0, 0.

Các vector thử là 100. Đối với các vector thử đó, thì  $y = 1$ , nên  $y'$  đối với 000 = 0. Vậy các vector đo thử là hợp lý.

**Ví dụ 4.14:** Hãy tìm các vector đo thử cho lỗi 1/0 ở mạch hình 4.62.

Mạch gồm một cổng AND và một cổng OR. Có ba đường vào, một đường trung gian và một đường ra (5 đường tất cả). Các bước được sử dụng như sau.

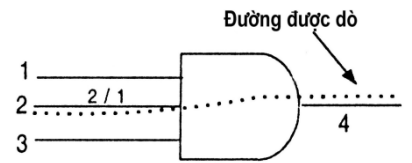
(i). Vector đo thử cho đường 1 = 1.

(ii). Với các mức vào 1, 0 ở cổng AND, thì mức ra ở đường 4 sẽ bằng 0.

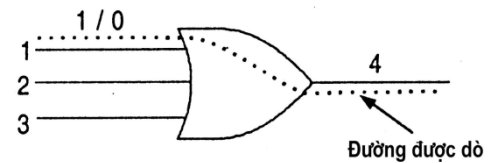
(iii). Đảo mức ra sẽ bằng 1.

(iv). Để có mức ra 1 từ cổng AND, thì đường còn lại trên cổng AND sẽ phải có vector đo thử là 1. Vậy các vector đo thử đối với các đường của cổng AND là 1, 1.

(v). Đầu vào lỗi đối với cổng OR bây giờ là 4/0, vậy vector đo thử đối với đường 4 là 1.



Hình 4.60: Cổng AND với lỗi 2/1.



Hình 4.61: Cổng OR với lỗi 1/0.

(vi). Mức ra đối với 1, 0 = 1  
 (vii). Đảo mức ra là 0.  
 (viii). Để có mức ra đảo là 0, thì cổng OR sẽ phải có mức vào 0 ở đường thứ 3.  
 Vậy các vector đo thử là 110 (các vector đo thử đó sẽ cho  $y = 1$  và  $y' = 0$ ). Do đó các vector là hợp lý.

**4.5.13 PHÁT HIỆN NHIỀU LỖI.**

Khi nhiều hơn một đường bị kẹt ở mức 0 hay mức 1, thì hệ thống được gọi là có nhiều lỗi. Trong số các lỗi đường đơn, có thể có  $2n$  lỗi (1 hoặc 0 đối với một đường trong số  $n$  đường), nhưng chỉ có một đường (đường bất kỳ) có lỗi. Đối với hệ thống nhiều lỗi, có thể có  $3^n - 1$  lỗi theo ba trạng thái (ghim ở mức 0, ghim ở mức 1 hay không lỗi) cho mỗi đường. Nó sẽ không bao gồm tất cả các đường là không lỗi, mà sẽ gồm các lỗi đơn.

Vector đo thử đối với nhiều lỗi không thể xác định bằng cùng các phương pháp như sử dụng đối với các lỗi đường đơn bởi vì số lượng các lỗi sẽ rất lớn (728 với 6 đường). Phương pháp tốt nhất để xác định nhiều lỗi là xét việc chuyển đổi mạch đã cho do một số lỗi thay cho việc xét các lỗi của chính nó. Nhiều tổ hợp các lỗi có thể cho kết quả dưới dạng các chuyển đổi đồng nhất. Các chuyển đổi như vậy sẽ là ít hơn nhiều so với  $3^n$ .

Khi đã xác minh mạch logic bị lỗi, lỗi thực tế có thể được xác định bằng máy phân tích logic hay máy phân tích ký hiệu.

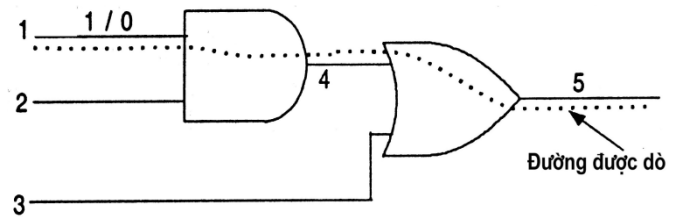
**4.5.14 CÁC LỖI KHÔNG RÕ RÀNG.**

Một lỗi có thể là không rõ ràng, nếu không tồn tại ngay cả khi thử mẫu có các lỗi đó. Lỗi sẽ xuất hiện ngẫu nhiên nếu mức ra  $y$  không lỗi và mức ra  $y'$  có lỗi là như nhau (tức là  $y = y'$ ) với tất cả các tổ hợp mức vào có thể. Các lỗi như vậy có thể phát hiện bằng kỹ thuật cách ly, việc cách ly các cổng lần lượt và đo thử bằng thiết bị vệt dòng - xung hay thiết bị đầu đo logic - xung.

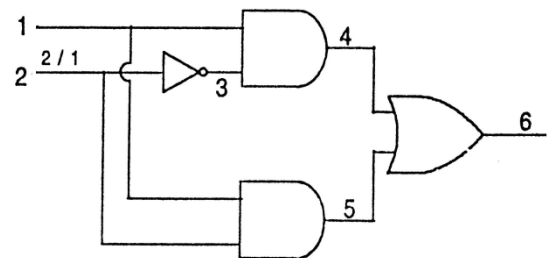
Ví dụ của lỗi nhập nhầm sẽ cho dưới đây.

**Ví dụ 4.15:** Hãy chứng minh rằng lỗi 2/1 ở mạch hình 4.63, là lỗi nhập nhầm.

Bảng trạng thái cho mạch hình 4.63, cho theo bảng 4.7.



Hình 4.62: Mạch logic với lỗi 1/0.



Hình 4.63: Mạch logic với lỗi không rõ ràng 2/1.

**Bảng 4.7:** Bảng trạng thái của  $y$  và  $y'$  cho mạch hình 4.63.

Các đầu vào		Đầu ra $y$ (không lỗi)	Đầu ra $y'$ có lỗi 2/1
Đường 1	Đường 2		
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	1	1

Bảng 4.7, chứng tỏ rằng  $y = y'$  đối với tất cả các tổ hợp mức vào và do đó có thể có lỗi không rõ ràng.

**4.5.15 ĐO THỬ CÁC MẠCH DÂY.**

Các mạch dây cũng sử dụng các cổng logic (NOT, AND, OR, NAND và NOR) như đã sử dụng ở các mạch logic tổ hợp, chỉ khác ở điểm là ở các mạch dây, trạng thái ra trước đó có vai trò quan trọng trong việc xác định trạng thái ra cuối cùng.

Ở kiểu mạch chốt D, cho hai mức vào tại đầu vào S của flip - flop D (1 hoặc 0), thì các mức vào của đầu vào R là cố định, tức là mức 0 khi  $D = 1$  và mức 1 khi  $D = 0$ . Vì vậy, các mức ra là không đổi. Khi  $D = 1$ , thì mức ra là 1 còn khi  $D = 0$ , thì mức ra sẽ bằng 0 và không có ảnh hưởng của trạng thái trước đó. Vậy, flip - flop D hoạt động như một cổng đệm. Mẫu thử sẽ như đối với logic tổ hợp. Nếu flip - flop D ghim ở mức 1, thì đo thử flip-flop D bằng mức vào 0. Nếu D ghim ở mức 0, thì đo thử D bằng mức vào 1. (đối với các cổng khác không thực hiện được theo cách này). Ví dụ cho FF JK. Đầu vào J ghim ở mức 1, bảng trạng thái như ở bảng 4.8.

**BẢNG 4.8:** Bảng trạng thái của flip-flop JK đối với lỗi J ghim tại mức 1 (s-a-1)

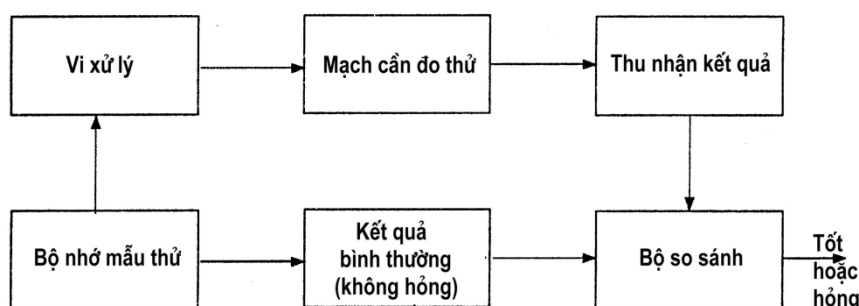
Các mức vào		Trạng thái trước	Mức ra (Y) không lỗi	Mức ra Y' có lỗi
J	K	$Q_n$	$Q_{n+1}$	với J ghim ở mức 1
0	0	0	0	1
		1	1	1
0	1	0	0	1
		1	0	0
1	0	0	1	1
		1	1	1
1	1	0	1	1
		1	0	0

Vậy có hai mẫu thử: (i)  $J = 0, K = 0$  và trạng thái trước đó = 0 và (ii)  $J = 0, K = 1$ , trạng thái trước đó = 0. Vậy đối với phép thử flip - flop JK cho lỗi J ghim ở mức 1, có sự duy trì trạng thái trước đó tại 0 và sau khi áp đặt các tín hiệu 00 hay 01 tại J và K. Nếu mức ra vẫn duy trì tại mức 1 mà lẽ ra là trở thành mức 0, thì lỗi J kẹt tại mức 1 đã được xác minh.

Trạng thái yêu cầu trước đó nhận được bởi trạng thái của máy được thể hiện theo giản đồ trạng thái hoặc bảng chuyển đổi.

#### 4.5.16 THIẾT LẬP PHÉP ĐO THỬ.

Hình 4.64, cho cách thiết lập phép đo thử đối với việc đo thử các cổng logic. Việc thiết lập phép đo là trực tiếp. Các vector đo thử sẽ được áp dụng đến mạch cần đo thử thông qua vi xử lý. Mẫu thử từ bộ nhớ sẽ được áp dụng.



Hình 4.64: Thiết lập phép đo thử các cổng logic.

Mức ra của mạch sẽ được chốt và truyền đến bộ so sánh. Bộ so sánh cũng sẽ thu kết quả không lỗi bình thường. Nếu mức ra của mạch chốt phù hợp với mức tham chiếu, thì mạch logic sẽ thông qua bằng tín hiệu OK, nếu không thì lỗi sẽ được biểu thị.

Thiết bị phân tích ký hiệu cũng có thể sử dụng để so sánh mức ra với ký hiệu đã được chuẩn tạo thành từ các vector đo thử. Số liệu đáp ứng đối với toàn bộ chuỗi các phép thử sẽ được nén thành số liệu đơn được gọi là ký hiệu. Nếu ký hiệu của mạch cần đo không tương thích với ký hiệu bình thường, thì mạch có lỗi.

#### 4.5.17 CÁC THIẾT BỊ ĐO THỬ MẠCH SỐ.

Ở các hệ thống tương tự, các chỉ thị của voltmeter và dạng sóng ở máy hiện sóng được đo tại các điểm đo quy định, góp phần cho việc chẩn đoán lỗi. Nhưng ở các mạch số, mức điện áp thấp hoặc cao và các xung không theo chu kỳ, dài và phức tạp. Ngoài ra, tất cả các dòng số liệu có vẻ như nhau. Do đó, các phương pháp thông thường không sử dụng được cho các mạch số.

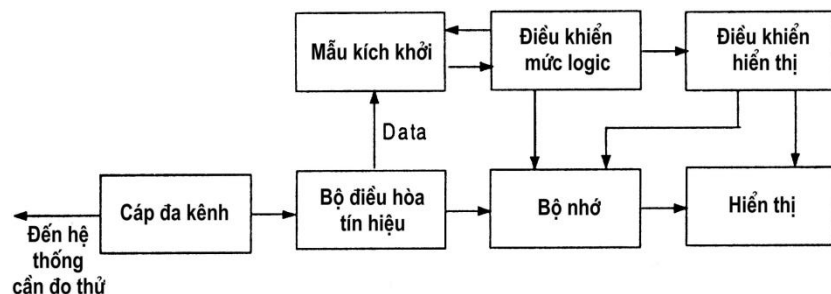
Thiết bị phân tích logic có thể sử dụng để ghi nhận dãy xung phức tạp, không chu kỳ, nhưng đó là thiết bị đo rất đắt tiền. Loại thiết bị đo đơn giản và giá thành thấp đó là thiết bị phân tích ký hiệu.

Ngoài ra, có một số máy đo rất đơn giản như đầu dò logic, bộ tạo xung logic, bộ tạo vết dòng, đầu kẹp logic và bộ so sánh được sử dụng rộng rãi để sửa chữa trong các bảng mạch số. Một số thiết bị đo thử mạch số được mô tả như sau.

##### a) Máy phân tích logic.

Các máy phân tích logic có hai loại: (1) máy phân tích logic trạng thái và (2) máy phân tích logic định

thời. Ở loại máy phân tích logic trạng thái, các tín hiệu xung nhịp nhận được từ hệ thống cần đo. Ở loại máy phân tích logic định thời, một bộ tạo xung nhịp riêng tốc độ cao hơn lắp trong máy phân tích. Cả hai loại có thể chế tạo dưới dạng thiết bị đo, nhưng 'máy phân tích trạng thái' sử dụng phổ biến hơn. Sơ đồ khối của máy phân tích logic trạng thái thông dụng như ở hình 4.65. Chức năng của mỗi khối như sau:



Hình 4.65: Sơ đồ khối của thiết bị phân tích logic.

**Cáp đa kênh.** Cáp đa kênh là cáp dây phẳng, 16 đầu đo nối với các chân của bus máy tính, một đầu cáp sẽ nối với chân *MREQ* để có các tín hiệu xung nhịp.

**Khối điều hoà tín hiệu.** Khối điều hoà tín hiệu sẽ tối thiểu hoá sự quá tải, sẽ bù sự méo dạng bất kỳ ở các đặc tính của tín hiệu do điện dung của các đầu đo, chuyển đổi mức của các xung để nếu hệ thống cần đo thử có họ logic khác, tính năng của máy phân tích không bị ảnh hưởng.

**Khối nhận mẫu.** Khối nhận mẫu sẽ nhận các từ số từ khối điều hoà tín hiệu và so sánh từng từ số với từ kích khởi quy định. Khi so sánh hoàn thành, nó sẽ kích hoạt khối điều khiển logic để dừng việc ghi nhận trong bộ nhớ.

**Khối điều khiển logic.** Tín hiệu nhận được từ khối ghi nhận mẫu sẽ chỉ thị cho bộ nhớ dừng việc ghi sau khi một số lượng các từ quy định (64 từ). Khi việc ghi nhận hoàn thành, khối điều khiển sẽ báo điều khiển hiển thị tiếp quản việc điều khiển.

**Điều khiển hiển thị.** Điều khiển hiển thị sau khi nhận tác động điều khiển sẽ lệnh cho bộ nhớ hiển thị số

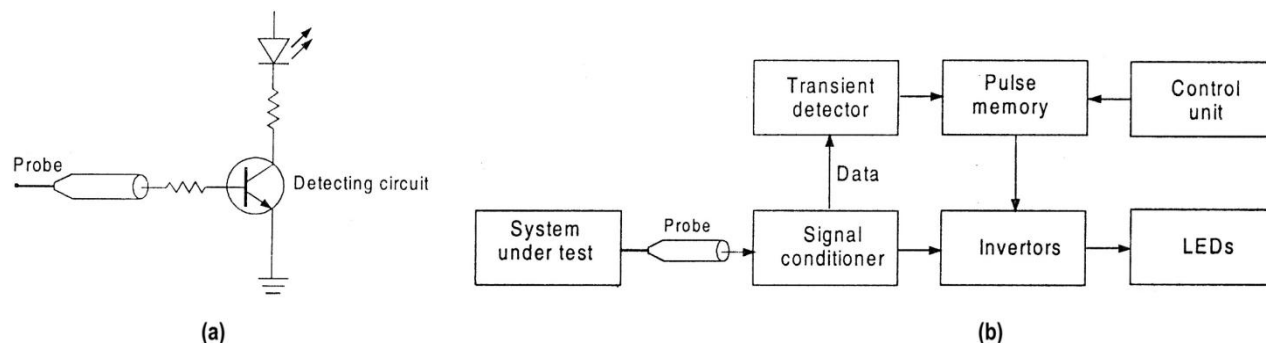
liệu đã được ghi nhận.

**Hiển thị.** Khối hiển thị là ống tia cathode sẽ hiển thị số liệu thu được do lệnh từ điều khiển hiển thị. Số liệu thu được có thể được phân tích trực tiếp hay vào thời điểm thích hợp như khi được thu nhận.

**Bộ nhớ.** Bộ nhớ là RAM tốc độ cao có khả năng lưu trữ số lượng các từ số quy định, khoảng 128 từ số. Bộ nhớ là bộ phận chính của máy phân tích.

## b) Đầu dò logic

Đầu dò logic là thiết bị đo thử để sử dụng, đo sự hiện diện của các xung nhị phân tại một điểm đo. Đầu dò logic cơ bản thể hiện ở mạch hình 4.66a.



Hình 4.66: (a) Đầu dò logic cơ bản, (b) Sơ đồ khối của đầu dò logic tinh vi.

Nếu có xung dương (mức logic 1) tại điểm cần đo, thì transistor sẽ dẫn và LED sẽ sáng. Đối với xung âm hay xung mức 0, thì transistor sẽ ngưng dẫn và LED sẽ tắt. Vậy về cơ bản thiết bị đo sẽ phát hiện sự hiện diện của một xung.

Đầu dò logic tinh vi có các đặc tính sau:

1. Bộ nhớ để lưu các chuyển đổi các xung quá độ và hiển thị đồng thời
2. Có khả năng mở rộng các xung ngắn (có thể yêu cầu mở rộng xung 10ns thành xung 100ns).
3. Lắp các LED để chỉ thị: một LED sẽ sáng chỉ mức xung cao và một LED khác sẽ sáng chỉ mức xung thấp.

Sơ đồ khối của đầu dò logic tinh vi hơn như ở hình 4.66b.

Chức năng của các khối sẽ được giải thích như sau:

- **Khối điều hoà tín hiệu.** Khối điều hoà tín hiệu sẽ điều hoà lại mức logic TTL hoặc CMOS đến các giá trị chuẩn cao và thấp. Để tránh quá tải cho hệ thống logic cần đo, thì khối điều hoà tín hiệu có thể có tầng đệm.

- **Khối phát hiện xung.** Khối phát hiện xung sẽ phát hiện đỉnh xung hay xung nhọn.

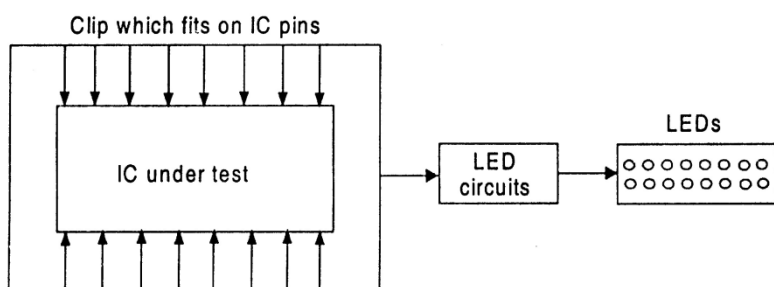
- **Khối nhớ xung.** Xung nhọn đã được phát hiện sẽ được lưu trữ vào bộ nhớ và sẽ được hiển thị cho đến khi nhấn nút đặt lại.

- **Các khối đảo.** Tầng đảo gồm hai mạch đảo có các LED. Khi có LED đỏ sáng sẽ chỉ thị có xung. Khi LED xanh sáng sẽ chỉ không có xung.

Đầu dò logic có thể hiển thị xung logic đơn cũng như chuỗi xung.

### c) Bộ ghim logic

Bộ ghim logic dùng để quan sát nhiều điểm đo, sẽ ghim trên các chân của vi mạch cần đo. Các chân IC sẽ được nối đến bộ chỉ thị gồm nhiều LED, nên sẽ cho biết giản đồ xung theo trạng thái ở các chân bằng các LED. Bộ ghim logic thường được chế tạo cho 14/16 chân, do đó không thích hợp cho việc đo thử vi xử lý. Đầu kẹp logic rất hữu dụng cho việc đo thử các bộ đếm và các thanh ghi dịch hay vi mạch có



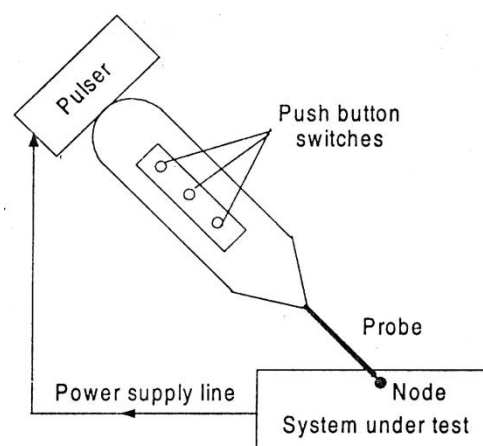
Hình 4.67: Sơ đồ khối của bộ ghim logic

bảng trạng thái nào đó. Mức dòng lớn nhất thường nhỏ hơn 50mA. Bộ ghim logic sẽ nhận mức dòng thấp hơn 15mA từ các chân của IC cần đo thử nên không gây quá tải cho IC. Sơ đồ khối cơ bản của đầu kẹp logic như ở hình 4.67.

Các mạch LED là các mạch đảo như được sử dụng trong đầu dò logic. Do vậy trong thực tế bộ ghim logic là đầu dò logic mở rộng. Sự hiển thị trên các LED sẽ cho biết các trạng thái tiếp theo của các chân IC hoặc là mức cao (LED sáng) hoặc ở mức logic thấp (LED không sáng) hoặc dãy xung (LED sáng mờ).

### d) Bộ tạo xung logic

So với đồng hồ đo tương tự bộ ghim logic đo thử nhanh hơn và tiện lợi hơn trong việc đo thử các IC, cho phép đo trong mạch và do đó rất thông dụng trong kỹ thuật số. Bộ tạo xung logic đôi khi cần để tạo ra các xung tại một điểm mà không cắt mạch hay không tháo IC. Bộ tạo xung có khả năng phát ra chuỗi xung vào điểm bất kỳ trong hệ thống, bất kể trạng thái hiện có tại điểm (hay nút) đó là đã có mức 0 hay mức 1. Nghĩa là bộ phát xung sẽ làm cho nút có mức cao thành mức 1 và nút mức thấp thành cao trong một khoảng thời gian ngắn, như thể hiện ở hình 4.68, trừ nút có lỗi ghim nào đó. Khi không có lỗi, LED ở đầu dò logic sẽ nhấp nháy khi sử dụng bộ phát xung. Ở trạng thái có lỗi, LED ở đầu dò logic sẽ phát sáng liên tục nếu lỗi ghim ở mức 1 [s-a-1] hoặc sẽ vẫn off nếu lỗi là ghim ở mức 0 [s-a-0]. Do vậy, thiết bị đơn giản này có thể xác định các lỗi ghim trong các mạch số đơn giản mà không cần phải sử dụng vector đo thử. Tuy nhiên, vector đo thử là cần cho mạch phức tạp gồm có hàng trăm đường.



Hình 4.68: Bộ tạo xung logic.

Bộ tạo xung logic khác với máy phát xung thông thường. Máy phát xung có trở kháng ra thấp nên sẽ gây quá tải ở nút cần đo thử. Ngược lại, bộ tạo xung logic điều chỉnh dạng sóng tạo ra ở trạng thái tĩnh cho điểm cần đo thử. Khi không làm việc, trở kháng của bộ tạo xung logic có mức cao. Khi làm việc, công suất xung là rất nhỏ (1 hoặc 2%) nên sự quá tải cho mạch cần đo là không đáng kể.

Bộ tạo xung được cấp nguồn từ mạch cần đo thử. Độ cao của xung được quy định từ nguồn cung cấp của mạch.

Bộ tạo xung được đặt trước để cung cấp xung 100Hz, 10Hz, và 1Hz ở đầu ra. Chọn tần số yêu cầu bằng chuyển mạch dạng nút ấn [Push button switches].

Có thể sử dụng bộ tạo xung để phát hiện xung điện áp cũng như các xung dòng (các ngắn mạch) khi tiếp xúc bằng đầu dò điện áp (đầu dò logic) và đầu dò dòng điện (bộ tạo vệt dòng) tương ứng.

### e) Bộ dò dòng logic (hay đầu dò dòng điện)

Nếu điểm đo thể hiện trạng thái ngắn mạch, thì có thể phát hiện cấu kiện gây ra trạng thái ngắn mạch mà các đầu dò logic tốt nhất cũng không thể phát hiện được. Nếu một IC được phát hiện bị ngắn mạch, không phải tất yếu ngắn mạch tự bên trong IC, mà có thể là do cầu nối hàn giữa các đường mạch trên bảng mạch in. Dù ngắn mạch có thể dò tìm đường mạch đứt hay bằng cách tháo IC, nhưng sẽ mất nhiều thời gian và nguy hiểm, cũng như có thể tạo ra các hư hỏng khác trong mạch. Đầu dò dòng hay bộ dò dòng là công cụ hiệu quả để phát hiện ngắn mạch.

Bộ dò dòng sẽ nhạy cảm từ trường được tạo ra bởi các xung tăng nhanh. Các xung tăng nhanh có thể được tạo ra từ ngoài bằng bộ phát xung logic.

Chỉ thị là một LED hiển thị có thể chỉ thị một xung đơn hay một chuỗi xung tùy thuộc xung vào. Khi từ trường yếu, bộ dò dòng sử dụng bộ khuếch đại có hệ số khuếch đại cao. Tín hiệu dò được che chắn để loại bỏ thay đổi của tín hiệu trích dẫn do các từ trường khác. Bộ dò dòng không nhạy cảm điện áp mà nhạy cảm dòng điện nên có thể làm việc ở tất cả các họ logic. Độ nhạy của bộ dò dòng là 1mA đến 1A. Bộ dò dòng có thể chỉ rõ mức dòng mà bộ dò dòng làm việc bằng dòng xoay chiều hay dòng xung, nên yêu cầu chính là phải có bộ tạo xung logic.

Sử dụng bộ dò dòng cùng với bộ tạo

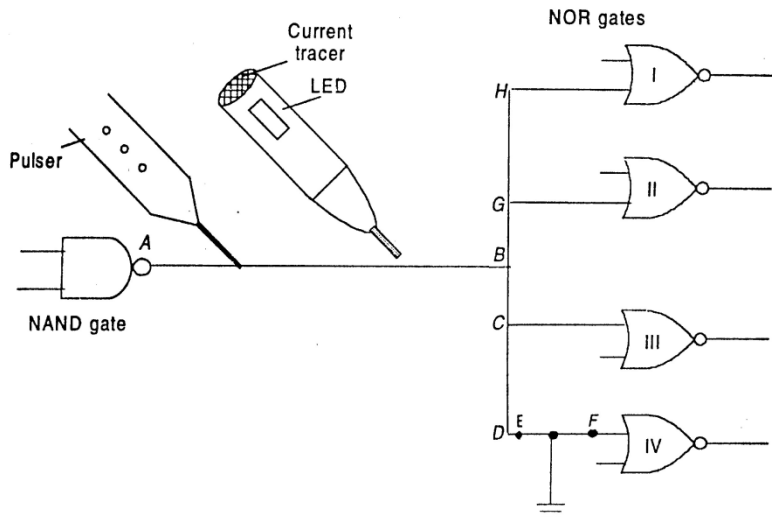
xung logic như ở hình 4.69, trong đó tồn tại điểm ngắn mạch tại E (ở tải là cổng IV). Bộ tạo xung logic sẽ tạo ra chuỗi xung ngắn đặt tại A. Di chuyển bộ dò dòng trên tải (không cần chạm vào mạch) từ điểm A đến B. LED sẽ phát sáng theo xung từ bộ tạo xung. LED không phát sáng giữa điểm B và điểm G mà sẽ sáng liên tục giữa điểm B và điểm C, tức là cho biết rằng không có ngắn mạch ở mạch phía trên điểm B (giữa B và G hoặc phía trên) mà có ngắn mạch ở đoạn mạch phía dưới điểm B, LED sẽ phát sáng tại C, D, và E, nhưng không sáng tại điểm F, chứng tỏ rằng có ngắn mạch giữa điểm E và F.

### f) Bộ so sánh logic

Bộ so sánh logic sẽ so sánh các mức ra của IC bị nghi ngờ có sai hỏng và IC còn tốt đã biết gọi là IC tham chiếu. Để thực hiện phép so sánh, sử dụng cổng hoặc-loại trừ (XOR).

Các đầu vào của cả hai IC được nối song song như ở hình 4.70. Các đầu ra được nối đến bộ so sánh. Bằng cách mắc như vậy, nếu cả hai IC đều tốt và các mức vào như nhau, thì các mức ra (tức các đầu vào đối với cổng XOR) cũng phải đồng nhất và do đó mức ra của cổng XOR sẽ phải bằng 0. Sự không đồng nhất bất kỳ ở hai IC sẽ thể hiện mức điện áp cao (mức logic 1).

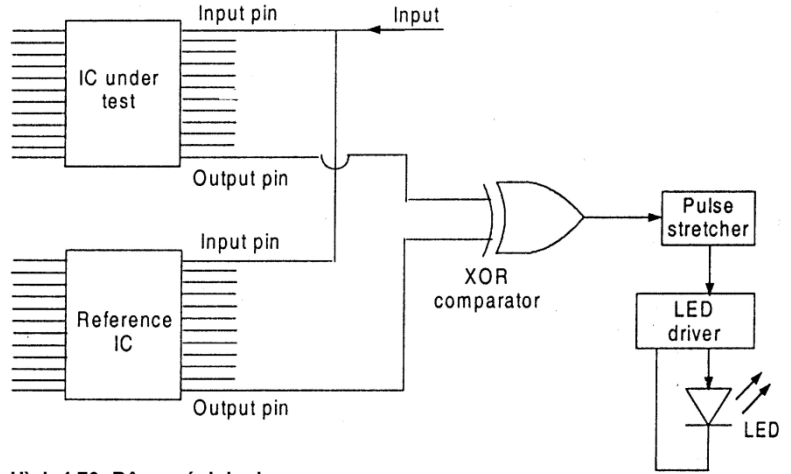
Độ rộng xung nhỏ vào khoảng từ 300ns đến 1ms sẽ cho chỉ thị ở LED ổn định. Các xung nhỏ thấp hơn 50ns là được bỏ qua.



Hình 4.69: Cách phát hiện ngắn mạch bằng bộ dò dòng.



Bộ so sánh logic thích hợp cho việc đo thử các vi mạch logic tổ hợp, logic dãy, các thanh ghi dịch, và các bộ nhớ. Tuy nhiên, bộ so sánh không thích hợp đối với logic kiểu ba trạng thái và logic kiểu collector hở. Ngoài ra, bộ so sánh không thể sử dụng cho cấu kiện MOS khi mức điện áp cao hơn của các cấu kiện MOS sẽ gây nguy hiểm cho bộ so sánh. Bộ so sánh không dùng để đo thử các IC tuyến tính (khuyếch đại thuật toán) khi mức ra của các IC tuyến tính là tín hiệu tương tự.



Hình 4.70: Bộ so sánh logic.

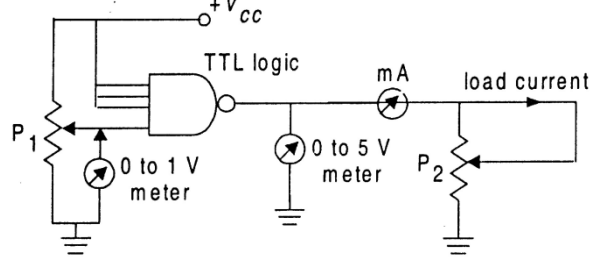
Bộ so sánh logic có bảng mạch chân

cắm [socket board] có thể đặt trước bằng các chuyển mạch. IC tham chiếu được đặt vào chân cắm. Bảng mạch chân cắm sẽ nhận các chân nguồn cung cấp và chân đất và sẽ hiển thị các sai lệch ở mức ra.

**g) Bộ đo thử IC số**

Về cơ bản, bộ thử IC số là một thiết bị đo đơn giản dùng để đo mức logic thấp nhất của mức 1 và mức logic cao nhất của mức 0, như thể hiện ở hình 4.71.

Biến trở  $P_1$  ở đầu vào của cổng NAND được điều chỉnh để có  $V_{in} = 0V$ , ở điều kiện này cổng NAND sẽ cho dòng chảy qua  $P_2$ .

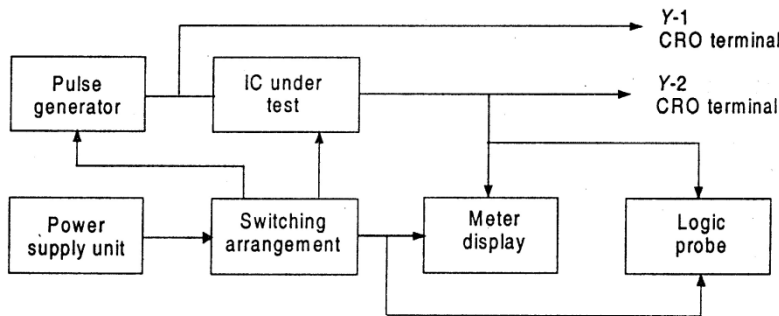


Hình 4.71: Thiết lập phép đo thử logic TTL.

$P_2$  sẽ được điều chỉnh để có dòng định mức lớn nhất (khoảng  $400\mu A$  đối với IC cục toàn bộ). Đọc mức điện áp ra ở đồng hồ đo mức ra. Nếu đồng hồ chỉ thấp hơn  $2,8V$ , thì tăng điện áp vào ( $V_{in}$ ) bằng cách điều chỉnh  $P_1$ . Điện áp vào lấy tại mức mà điện áp ra đọc trên đồng hồ là  $2,8V$ , đây là mức  $V_{IL}$ . Đối với vi mạch TTL tốt, mức điện áp vào sẽ không lớn hơn  $0,8V$ . Nếu cao hơn thì vi mạch TTL đã bị lỗi.

Để đo  $V_{IH}$ , có thể sử dụng cổng AND. Điện áp vào có thể giữ như trên để có điện áp ra là  $2,8V$ . Nếu không đủ mức điện áp ra, thì tăng điện áp vào cho đến khi có mức ra là  $2,8V$ . Giá trị điện áp vào theo giá trị điện áp ra là  $2,8V$  sẽ là mức  $V_{IH}$ . Giá trị  $V_{IH}$  nhỏ nhất là  $2V$  đối với vi mạch logic TTL tốt.

Bộ đo thử IC số (hình 4.72) có sẵn điện áp nguồn, các điện trở và các đồng hồ đo. Bộ đo thử IC số tinh vi hơn có lắp sẵn đầu dò logic để đo thử bằng trạng thái của IC. Một số bộ đo thử IC số có sẵn bộ phát xung và máy hiện sóng hai vết, cho phép đo độ trễ truyền  $P_d$ , hoặc từ mức cao xuống mức thấp ( $P_{dHL}$ ), hoặc từ mức thấp lên mức cao ( $P_{dLH}$ ), bằng cách khảo sát các sườn xung được tạo ra trên màn hình của máy hiện sóng. Bộ đo thử cũng có sẵn các chân cắm cho các IC khác nhau và lắp chuyển mạch để kết nối các chân đúng với các mức điện áp nguồn cung cấp và các đồng hồ đo.



Hình 4.72: Sơ đồ khối của bộ đo thử IC số.

## CHƯƠNG 5: ĐO THỬ CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ

### 5.1 ĐO THỬ THIẾT BỊ NGUỒN CUNG CẤP

Tất cả các thiết bị điện tử cần phải có nguồn cung cấp *dc*. Các thiết bị điện tử hiện nay đều yêu cầu các mức điện áp *dc* thấp, thường là từ 5V đến 15V lấy từ nguồn điện áp *ac* nhờ biến áp giảm áp, chỉnh lưu lọc và ổn định. Các bộ nguồn cung cấp sẽ cung cấp năng lượng cho các tầng của thiết bị, nối rẽ mạch vào đầu ra của bộ nguồn cung cấp. Bộ nguồn sẽ cung cấp tổng các mức dòng chảy qua các tầng riêng của thiết bị, chẳng hạn nếu có 5 tầng được nối với nguồn cung cấp có các mức dòng là 5mA, 10mA, 15mA, 30mA và 100mA, thì dòng chảy qua nguồn cung cấp sẽ là 160mA. Do có mức dòng lớn chảy qua bộ nguồn, nên bộ nguồn sẽ phát nhiệt nhiều, làm cho bộ nguồn dễ bị hỏng nhất. Ước tính sơ bộ ít nhất có đến 25% trong tổng số các sai hỏng ở hệ thống điện tử xảy ra riêng ở bộ nguồn cung cấp.

#### 5.1.1 TRÌNH TỰ ĐO THỬ ĐỐI VỚI CÁC BỘ NGUỒN CUNG CẤP.

Bộ nguồn cung cấp trước tiên phải được kiểm tra ở trạng thái ngắt nguồn (đo nguội) và sau đó đo ở trạng thái bật nguồn (đo nóng).

##### a) Đo nguội.

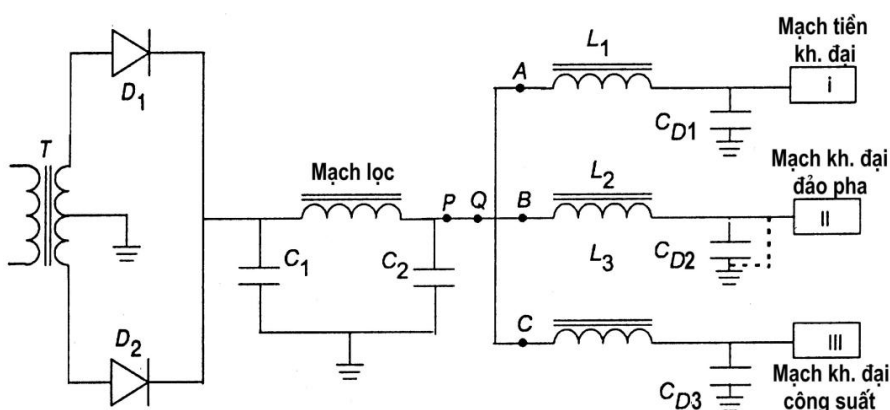
Trong trường hợp có dòng điện lớn chảy qua bộ nguồn cung cấp, hư hỏng đầu tiên phải là đứt dây chì. Nếu do sai lầm hoặc không biết, sử dụng dây chì chịu dòng cao hơn định mức thì linh kiện khác trong mạch có dòng chảy qua sẽ cháy, chẳng hạn như cuộn cảm của bộ lọc (hay điện trở), các diode chỉnh lưu và biến áp, tất cả đều có giá trị đắt hơn nhiều so với dây chì. Do đó, cầu chì phải luôn luôn giữ đúng định mức để khi có dòng chảy qua vượt quá 25% giá trị định mức, cầu chì sẽ cháy, nên bảo vệ được các cấu kiện trong mạch không bị hỏng. Cầu chì hợp lý là công cụ bảo vệ dự phòng của thiết bị điện tử.

Khi thiết bị hỏng, bước xem xét kiểm tra trước tiên bằng chức năng đo điện trở của đồng hồ [Ohmmeter] có bị ngắn mạch giữa dây nguồn cung cấp và vỏ máy hay không ! Cần phải ngắt nguồn điện chính, nên gọi là *đo nguội*. Nếu đo nguội cho thấy ngắn mạch, cần phải xác định vị trí ngắn mạch, tìm nguyên nhân và sửa chữa hư hỏng. Khi hư hỏng đã được sửa chữa phù hợp, thì ohmmeter sẽ không thể hiện ngắn mạch. Sau đó kiểm tra cầu chì. Thông thường, cầu chì có thể cháy. Nhưng nếu xác định cầu chì chưa bị thay thế, thì có thể cho rằng cầu chì cần dòng định mức cao hơn, nên cần phải thay thế cầu chì có dòng định mức thích hợp.

Ngắn mạch có thể trong mạch nguồn cung cấp, hoặc trong đường nguồn bất kỳ cấp nguồn đến tầng khác nào đó trong thiết bị. Ở trường hợp sau, tầng có liên quan sẽ mất điện áp, do không có dòng chảy qua tầng đó. Chỉ có bộ nguồn cung cấp bị ảnh hưởng bởi mức dòng lớn do ngắn mạch. Dòng nguồn lớn bởi vì đáng lẽ chảy qua các cấu kiện bán dẫn có điện trở, thì lúc này dòng chảy trực tiếp xuống đất.

Định vị điểm ngắn mạch có thể xác định bằng kỹ thuật đo cách điện.

Xét một bộ nguồn cung cấp cụ thể như ở mạch hình 5.1, thể hiện ngắn mạch khi đo điện trở điểm đầu ra P. Khi cắt mạch giữa P và Q, và đo tại P vẫn thể hiện ngắn mạch, có thể do tụ lọc  $C_1$  hoặc  $C_2$  bị ngắn mạch, diode  $D_1$  hoặc  $D_2$ . Trị số điện trở đo được tại P có thể không đúng ngắn mạch do cuộn cảm và cuộn dây biến áp, nhưng sẽ thấp hơn so với bình thường.



Hình 5.1: Sai hỏng do ngắn mạch ở hệ thống nguồn cung cấp.

Nếu sau khi cắt giữa P và Q, điểm đo P thể hiện trị số đo điện trở bình thường, thì nguồn cung cấp không bị ngắn mạch với vỏ, nên sai hỏng có thể do mạch ngoài, ở một trong số các tầng nối với đầu ra của bộ nguồn cung cấp. Khôi phục mỗi nối P và Q, và ngắt mạch tại A, nếu ngắn mạch đo được tại P vẫn còn, tầng 1 là tốt và ngắn mạch có thể ở tầng 2 hoặc tầng 3. Tiếp theo, thực hiện ngắt mạch tại B. Không có ngắn mạch tại P sẽ chứng tỏ rằng ngắn mạch có ở tầng 2, nếu không thì ngắn mạch là ở tầng thứ 3. Giả sử ngắn mạch ở tầng 2, thì có thể ngắn mạch nhiều nhất là tụ lọc  $C_{D2}$ .

Trong các thiết bị điện tử mới sử dụng bảng mạch in mật độ cao, việc tháo mỗi hàn và hàn lại tại các điểm khác nhau để đo thử sẽ rất khó khăn. Để xác định ngắn mạch, sử dụng đầu đo vệt dòng của máy hiện sóng. Cùng với máy tạo xung (sử dụng xung tần số thấp), có thể phát hiện dòng ngắn mạch. Hoặc có thể kiểm tra lần lượt các tụ lọc trực tiếp bằng ohmmeter.

### b) Đo nóng.

Sau khi ngắn mạch đã được xác định và sửa chữa, thì có thể bật [ON] nguồn cung cấp chính (điện lưới), để thực hiện các phép đo thử khác khi có nguồn điện lưới. Các phép đo như vậy gọi là 'đo nóng' do có nguồn cung cấp trong thiết bị. Các hiện tượng hư hỏng có thể có như sau:

- \* Điện áp ra bằng 0.
- \* Điện áp ra thấp hơn so với mức bình thường.
- \* Điện áp ra cao hơn so với mức bình thường.
- \* Điện áp không ổn định.
- \* Điện áp gợn cao hơn so với mức bình thường.

Trong các thiết bị điện tử mới phần lớn đều sử dụng nguồn cung cấp ổn định, với hai loại là ổn áp nối tiếp và ổn áp song song. Các bộ ổn định điện áp mới sử dụng các IC ổn áp ba chân. Để có hiệu suất cao hơn, sử dụng các hệ thống nguồn cung cấp kiểu chuyển mạch.

### 5.1.2 BỘ NGUỒN ỔN ÁP NỐI TIẾP.

Mạch ổn áp nối tiếp cơ bản sử dụng cấu kiện rời như ở hình 11.3.

Sự ổn định của điện áp ra nhận được nhờ diode Zener (Z), transistor phát hiện sai lệch ( $Q_2$ ) và transistor điều chỉnh ( $Q_1$ ) mắc nối tiếp với tải. Diode Zener sẽ giữ mức điện áp emitter của transistor  $Q_2$  không đổi thông qua hoạt động của zener. Một phần của điện áp ra sẽ được cung cấp đến base của  $Q_2$ . Mức điện áp  $V_{BQ2}$  sẽ trừ cho mức điện áp zener để tạo thành điện áp phân cực thuận cho  $Q_2$ .

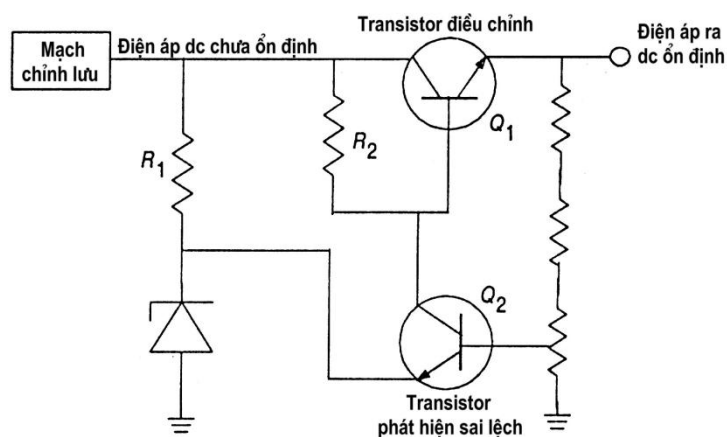
Nếu điện áp ra  $dc$  tăng lên, điện áp tại base của  $Q_2$  sẽ tăng và dòng collector của  $Q_2$  tăng, dẫn đến mức sụt áp lớn hơn trên  $R_2$ , và do đó điện áp tại collector của  $Q_2$  và điện áp tại base của  $Q_1$  giảm xuống, làm cho dòng chảy qua  $Q_1$  giảm xuống, nghĩa là làm giảm dòng

chảy qua tải, do vậy điện áp tải sẽ được giảm xuống. Tương tự, khi điện áp tải giảm xuống, điện áp phân cực thuận của  $Q_2$  sẽ giảm, điện áp phân cực thuận của  $Q_1$  sẽ tăng lên, sẽ làm tăng dòng chảy qua transistor nối tiếp  $Q_1$  và tải. Do đó điện áp ngang qua tải sẽ được tăng lên. Ảnh hưởng thực trong hoạt động của transistor phát hiện sai lệch,  $Q_2$  và transistor nối tiếp,  $Q_1$  có khuynh hướng bù lượng thay đổi bất kỳ ở điện áp ra  $dc$ , để giữ cho điện áp ra không đổi thường trong khoảng 0,5%.

#### a) Các sai hỏng trong mạch nguồn cung cấp.

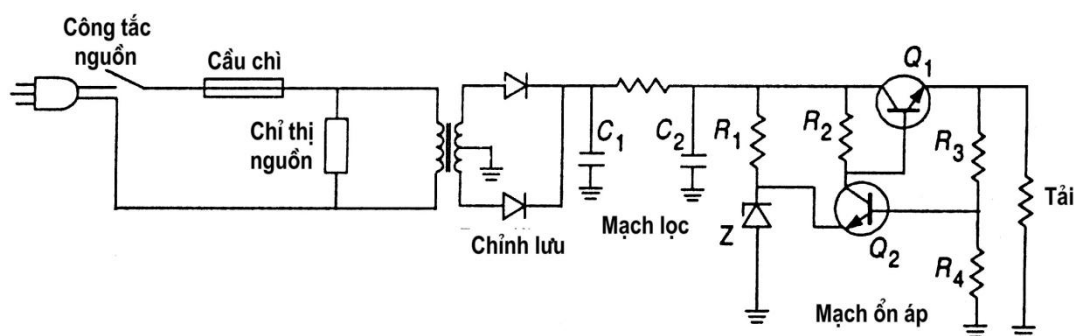
Ảnh hưởng do sai hỏng ở các linh kiện của mạch nguồn cung cấp (hình 5.3), sử dụng mạch chỉnh lưu toàn kỳ và mạch ổn áp nối tiếp gồm:

- **Mất kết nối ở đường điện lưới, chuyển mạch và cầu chì** Sẽ không có điện áp nguồn điện lưới đưa đến biến áp, do đó điện áp  $dc$  ở đầu ra sẽ bằng 0.
- **Đứt vòng dây của biến áp** Không có điện áp đưa đến các diode chỉnh lưu, nên điện áp  $dc$  ra sẽ bằng 0.
- **Các vòng dây của biến áp bị ngắn mạch với nhau** Mức dòng lớn sẽ chảy qua biến áp, tạo ra nhiệt



Hình 5.2: Mạch ổn áp nối tiếp cơ bản.

lượng lớn. Cầu chì bảo vệ có thể đứt.



Hình 5.3: Mạch nguồn ổn áp.

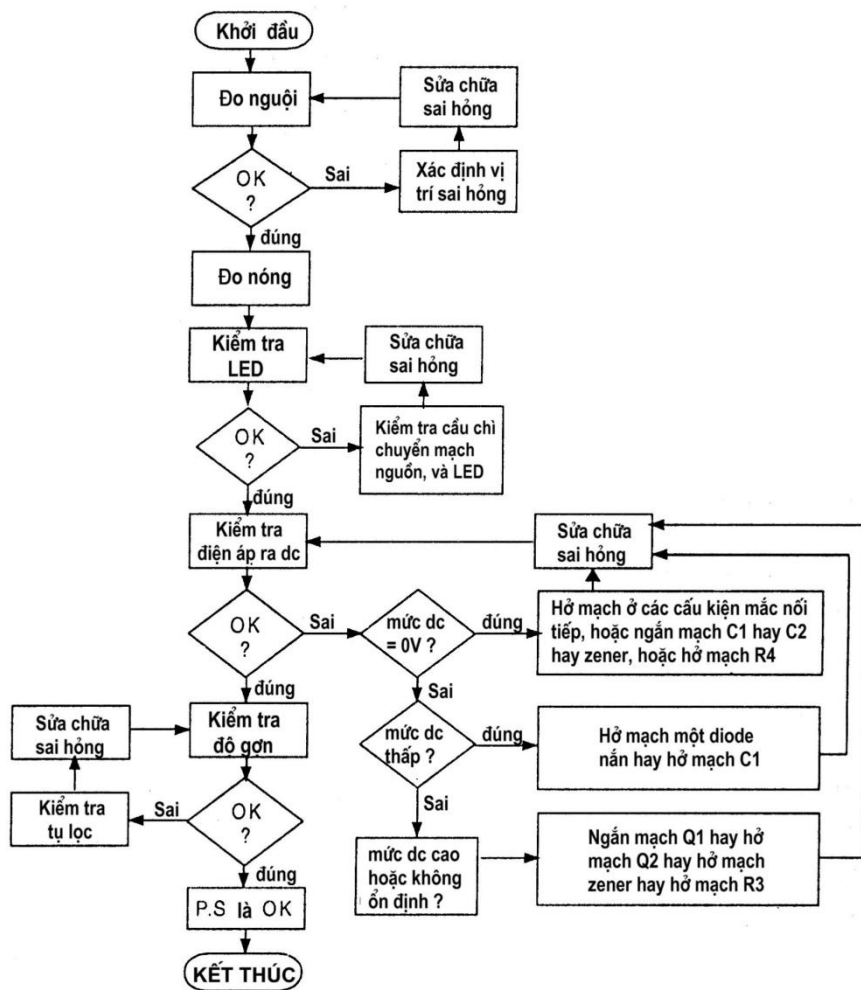
- **Mất kết nối điểm giữa cuộn thứ cấp với đất** Có thể xảy ra do nứt hay bong mối hàn, không có đường dẫn dòng của diode và do đó mất điện áp ra.
- **Một diode bất kỳ bị ngắn mạch** Sẽ không có sự chỉnh lưu. Tụ lọc sẽ ngắn mạch điện áp ac với đất, cầu chì sẽ đứt.
- **Một diode bị hở mạch** Nếu một diode bị đứt, mạch chỉnh lưu toàn kỳ sẽ hoạt động như mạch chỉnh lưu bán kỳ, tạo ra điện áp  $dc$  thấp hơn và điện áp gợn cao hơn bình thường.
- **Tụ lọc đầu vào bị ngắn mạch** Điện áp ra sẽ bằng 0.
- **Tụ lọc đầu vào bị hở mạch** Mạch lọc sẽ hoạt động như mạch lọc bằng cuộn cảm ở đầu vào mà đáng lẽ là mạch lọc bằng tụ ở đầu vào, do đó làm cho điện áp ra thấp hơn
- **Điện trở (hoặc cuộn cảm) của mạch lọc hở mạch** Ngắt dòng nên điện áp ra bằng 0. Đối với các mức điện áp ra thấp cần cho các mạch bằng IC và các transistor rời, thì sử dụng điện trở mắc nối tiếp thay cho cuộn cảm do các lý do sau:
  - (i) Cuộn cảm điện kháng cao cần để giảm mức điện áp gợn, sẽ có số lượng vòng dây lớn, nên điện trở dây quấn cao đối với điện áp  $dc$ , do đó sẽ làm giảm mức điện áp ra một chiều.
  - (ii) Cuộn cảm kích thước lớn nên không phù hợp cho việc giảm nhỏ kích thước bộ nguồn.
  - (iii) Cuộn cảm giá thành cao, nên thường không được sử dụng trong các hệ thống điện áp thấp, mà cuộn cảm được dùng làm nguồn điện áp  $dc$  cần mức áp trên 100V.
- **Tụ lọc đầu ra đứt** Mức điện áp gợn tăng.
- **Tụ lọc đầu ra ngắn mạch** Điện áp ra  $dc$  sẽ bằng 0.
- **$R_1$  đứt hoặc diode zener bị ngắn mạch** Emitter của  $Q_2$  sẽ có mức 0V, dẫn đến điện áp phân cực thuận cao đối với  $Q_2$  và điện áp vào khoảng 0,2V (trạng thái dẫn bão hòa của  $Q_2$ ) tại base của  $Q_1$ , làm cho  $Q_1$  ngưng dẫn, nên không có điện áp ra. Khi điện áp ra bằng 0,  $Q_2$  trở nên ngưng dẫn, cho mức điện áp cao tại base của  $Q_1$ , và do đó mức dòng cao chảy qua tải. Như vậy, điện áp ra sẽ dao động giữa 0 và giá trị cao. Tuy nhiên, khả năng phân cực thuận quá cao trên transistor có thể làm cháy transistor, và dẫn đến điện áp ra sẽ bằng 0.
- **Diode Zener đứt** Điện áp chưa ổn định sẽ được cung cấp vào emitter của  $Q_2$  và do đó sẽ không phát hiện ra mức điện áp sai lệch và cũng sẽ không có sự ổn định điện áp.
- **Transistor  $Q_1$  hở mạch hoặc  $R_2$  hở mạch** Không có điện áp ra.
- **Transistor  $Q_1$  bị ngắn mạch** Điện áp ra không được ổn định và có giá trị cao hơn so với mức điện áp được ổn định do không có sụt áp ngang qua  $Q_1$ .
- **Transistor  $Q_2$  đứt** Tại base của  $Q_1$  sẽ có mức điện áp chưa ổn định cao, nên có điện áp ra chưa ổn định cao. Hở mạch  $R_3$  cũng sẽ làm cho  $Q_2$  ngưng dẫn.
- **Transistor  $Q_2$  bị ngắn mạch** Sẽ gây ra mức điện áp thấp tại base của  $Q_1$ , nên  $Q_1$  như hở mạch và do đó không có điện áp ra hoặc điện áp ra thấp do điện áp phân cực thuận thấp. Hở mạch  $R_4$  sẽ làm tăng mức dòng chảy qua  $Q_2$  mà kết cục là điện áp ra sẽ thấp hơn.
- **Tải bị ngắn mạch** Mức dòng lớn sẽ chảy qua transistor điều chỉnh (nếu không sử dụng bảo vệ điện áp cao), thì cầu chì có thể đứt hay transistor điều chỉnh có thể cháy.
- **Tải hở mạch** Transistor  $Q_2$  sẽ nhận mức điện áp phân cực thuận cao nên có thể cháy.

Các ảnh hưởng trên cho thấy rằng, do linh kiện (hay kết nối) hỏng, điện áp ra có thể bằng 0, hoặc thấp hay cao, hoặc không ổn định, làm ảnh hưởng đến hiệu suất của thiết bị điện tử nối với các bộ nguồn cung cấp như vậy. Nếu điện áp ra bằng 0, thì thiết bị sẽ không có tín hiệu (ngưng hoạt động). Nếu điện áp nguồn thấp, thì hệ số khuếch đại của các mạch khuếch đại sẽ bị giảm, mạch dao động có thể không tạo ra dao động đúng tần số, các công logic có thể cho các chỉ thị không đúng. Nếu điện áp nguồn cung cấp cao, có thể dẫn đến sự chịu điện áp quá mức trên các linh kiện nên các trị số logic có thể thay đổi. Điện áp nguồn không ổn định có thể ảnh hưởng đến mạch dao động và các mạch logic.

Khi linh kiện mắc song song bất kỳ (chẳng hạn tụ lọc hay tụ giải ghép hay điện trở tải) trở nên bị ngắn mạch, thì cần phải ngắt chuyển mạch nguồn cung cấp, tiến hành đo nguội, xác định ngắn mạch và sửa chữa. Nếu biến áp bốc khói, thì có thể do bay hơi ở lớp cách điện của dây quấn, cần phải đề phòng. Nếu thiết bị điện tử không ngắt chuyển mạch ngay, biến áp có thể cháy, nên cần phải thay biến áp.

Các bộ ổn định mới sử dụng các IC tuyến tính để tạo ra điện áp ổn định. Các linh kiện rời chỉ tạo ra điện áp cố định. Khi cần có mức điện áp có thể thay đổi liên tục, thì số lượng linh kiện rời sẽ trở nên quá lớn. Các IC tuyến tính (các mạch op – amp) có thể sử dụng để cho độ ổn định cao. Do vậy, bộ ổn định bán dẫn dạng IC chỉ gồm một vài liên kết nên có thể thay thế cho toàn bộ hoặc phần lớn các cấu kiện rời, tùy theo nhu cầu.

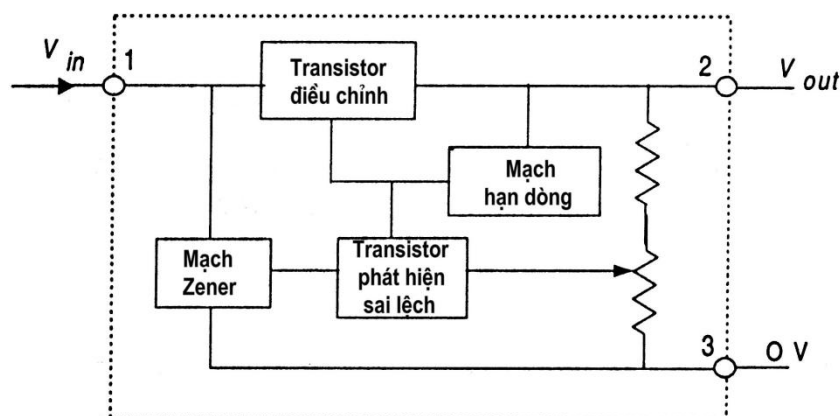
Hình 5.4, là lưu đồ biểu hiện trình tự các bước chẩn đoán hỏng trong một hệ thống nguồn cung cấp. Các bộ ổn áp dưới dạng chip đã được chế tạo vào những năm 1960, đầu tiên là IC 723 và LM 300 đều có một diode zener, một mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại cao và mạch hạn dòng. Các bộ ổn áp bằng IC trước đây, cần nhiều linh kiện ngoài và có nhiều chân (8 hoặc nhiều hơn) để kết nối mạch.



Hình 5.4: Trình tự các bước đo thử bộ nguồn cung cấp.

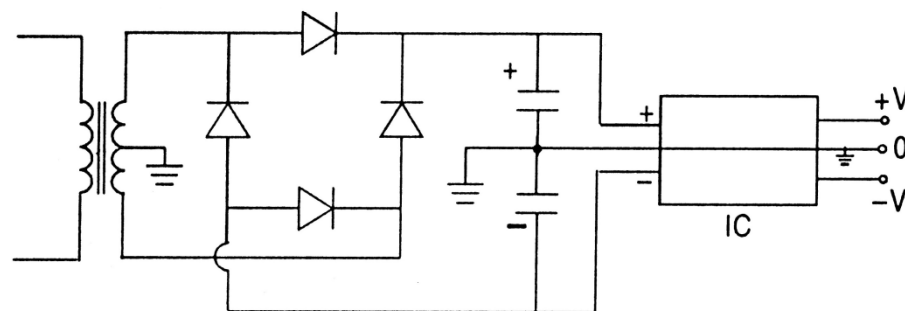
### 5.1.3 CÁC BỘ ỔN ÁP BA ĐIỆN CỰC.

Các bộ ổn áp dạng IC mới là các cấu kiện ba chân, chân thứ nhất để nối với điện áp  $dc$  chưa ổn định, chân thứ hai để lấy điện áp  $dc$  ổn định và chân thứ ba nối với mức điện áp  $0V$  hay mức đất. Các bộ ổn áp dạng IC rẽ và dễ sử dụng nên rất thông dụng. LM340 là cấu kiện ba chân điển hình của kiểu ổn áp mới. Loại vi mạch LM340 có khả năng điều chỉnh trước điện áp ra là  $15V$ ,  $5V$ , và  $12V$  để sử dụng với các IC họ CMOS, các IC họ TTL và các ứng dụng thông thường khác, tương ứng. IC 340 gồm mạch khuếch đại nối tiếp (hay điều chỉnh), transistor hạn dòng, transistor phát hiện sai lệch và các điện trở phân áp như mạch ở hình 5.5.



Hình 5.5: IC ổn áp ba chân.

Nguồn phân tách (hay nguồn đôi)  $+15V$  và  $-15V$ , dùng cấp nguồn cho các mạch khuếch đại thuật toán cũng có thể cấu tạo như mạch ở hình 5.6. Bộ ổn áp có thể gồm hai IC ba chân, một IC được nối với đầu vào  $+V$  và IC còn lại được nối với đầu vào  $-V$  từ mạch lọc.



Hình 5.6: Mạch ổn áp kiểu phân tách nguồn sử dụng IC.

Các lợi điểm khi sử dụng bộ ổn áp dạng IC.

1. Các IC ổn áp có sẵn toàn bộ các mức dòng và áp, ngay cả điện áp ra thay đổi cũng có thể nhận được.
2. Các IC có lắp bảo vệ để ngăn chặn quá tải và ngắn mạch.
3. Dễ dàng lắp đặt.
4. Có độ tin cậy cao.

Các hư hỏng trong các kiểu ổn áp ba chân tương tự như các hư hỏng ở kiểu ổn áp nối tiếp đã giải thích ở trên. Chỉ khác ở chỗ khi xảy ra hư hỏng ở transistor  $Q_1$  hoặc  $Q_2$  hay diode Zener hoặc  $R_1$  hoặc  $R_2$ , thì do đã được tích hợp trong IC nên không thể thay thế riêng, mà phải thay IC.

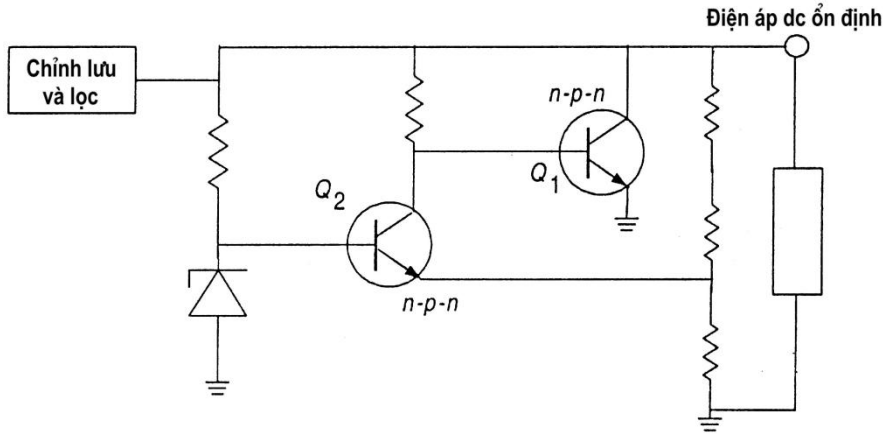
Trong trường hợp các hư hỏng ở các bộ nguồn cung cấp sử dụng các IC thay cho các cấu kiện rời, thì không phải thay ngay IC nghi ngờ hỏng, mà trước tiên cần phải đảm bảo rằng hư hỏng không phải do mạch ngoài.

### 5.1.4 MẠCH ỔN ÁP SONG SONG (HAY SHUNT).

Thay cho việc mắc nối tiếp transistor điều khiển (như ở mạch ổn áp nối tiếp ở trên), transistor được mắc song song với tải như mạch ở hình 5.7.

Khi điện áp trên tải tăng lên, điện áp phân cực thuận của  $Q_2$  sẽ giảm, và do đó làm tăng điện áp phân cực cho  $Q_1$ , tức làm giảm điện trở của transistor điều chỉnh  $Q_1$ , cho mức dòng chảy lớn hơn, nên dòng

chảy qua tải sẽ giảm xuống, làm giảm điện áp trên tải. Quá trình ngược lại sẽ xảy ra khi điện áp ngang qua tải giảm xuống. Vậy điện áp trên tải đã được ổn định. Khi transistor mắc song song xảy ra hở mạch, thì điện áp chưa được ổn định sẽ có trên tải, còn khi transistor mắc song song trở nên bị ngắn mạch, thì điện áp tải sẽ bằng 0. Mặc dù mạch ổn áp song song cho phép bảo vệ khỏi trạng thái quá tải, nhưng một nhược điểm chính của mạch là transistor điều chỉnh sẽ dẫn dòng ngay cả khi tải không kết nối. Đây là lý do tại sao mạch ổn áp song song không thông dụng.

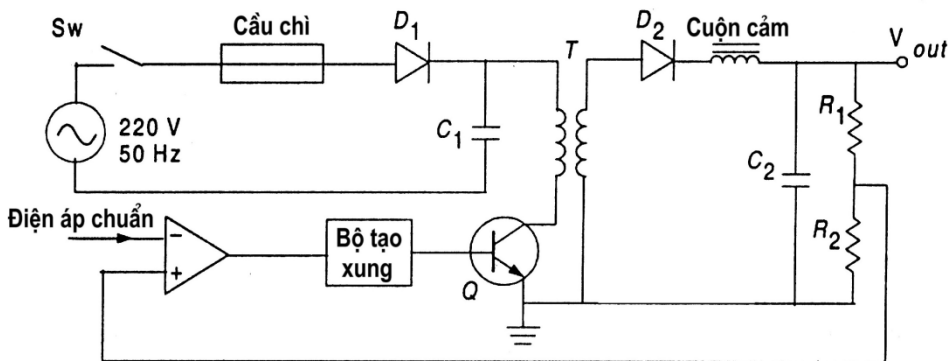


Hình 5.7: Mạch ổn áp song song (hay shunt)

### 5.1.5 NGUỒN CUNG CẤP KIỂU CHUYỂN MẠCH.

Các bộ ổn áp nối tiếp có hiệu suất thấp do transistor nối tiếp tiêu thụ công suất. Các bộ ổn áp nối tiếp có xu hướng nóng khi làm việc do phát nhiệt trong transistor điều chỉnh và transistor dò sai lệch, nên cần phải sử dụng cánh tản nhiệt lớn để giải nhiệt. Khả năng hư hỏng cao và độ ổn định điện áp nguồn điện lưới bị giới hạn trong khoảng từ 180V đến 280V. Các bộ ổn áp song song cũng có những nhược điểm đó. Các nhược điểm trên đã được giải quyết hoàn toàn bằng hệ thống nguồn cung cấp kiểu chuyển mạch, với các ưu điểm sau:

- \* Kích thước nhỏ.
  - \* Tiêu tán nhiệt thấp, nên có hiệu suất cao.
  - \* Không cần biến áp 50Hz, nặng vì sử dụng biến áp tần số cao có trọng lượng bé.
  - \* Độ ổn định tốt hơn với mức dao động ở điện áp điện lưới lớn. Mức điện áp mạng điện 220V giảm xuống thấp đến 140V có thể có mức điện áp ra *dc* không đổi yêu cầu từ các bộ nguồn chuyển mạch.
- Mạch cơ bản của nguồn ổn áp kiểu chuyển mạch như ở hình 5.8.



Hình 5.8: Bộ nguồn cung cấp ổn định điện áp kiểu chuyển mạch.

Điện áp điện lưới (50Hz) trước tiên sẽ được chỉnh lưu trực tiếp (không sử dụng biến áp 50Hz), được lọc bằng tụ  $C_1$  để có điện áp *dc* chưa ổn định. Điện áp *dc* được đưa đến transistor npn Q sẽ dẫn [ON] và ngưng dẫn [OFF] bởi các xung lấy từ bộ tạo xung đặt ở base của transistor. Độ rộng xung sẽ thay đổi thích hợp theo mức  $V_{out}$ .

Bộ khuếch đại thuật toán (op - amp) sẽ cân bằng và sẽ cho mức điện áp 0V đến bộ tạo xung đối với mức điện áp ra cụ thể  $V_{out}$ . Nếu có sự biến thiên ở  $V_{out}$ , thì mức điện áp đưa vào bộ tạo xung sẽ có mức

ương hoặc mức âm tùy thuộc vào mức  $V_{out}$  tăng lên hay giảm xuống. Bộ tạo xung là bộ dao động nghẹt [blocking oscillator] có tần số (số xung trong một giây) phụ thuộc vào điện áp.

Khi  $V_{out}$  tăng lên, mức điện áp dương từ op - amp sẽ làm tăng tần số và do đó làm giảm độ rộng xung. Độ rộng xung nhỏ hơn sẽ làm cho tụ nạp  $C_2$  có khoảng thời gian nạp nhỏ hơn, nên sẽ cho điện áp thấp hơn. Tương tự, khi  $V_{out}$  giảm xuống, mức điện áp âm từ op - amp sẽ làm tăng độ rộng xung, và do đó sẽ làm tăng thời gian nạp của tụ  $C_2$ , nên sẽ làm tăng  $V_{out}$ . Bằng cách như vậy  $V_{out}$  sẽ được ổn định. Chức năng của  $D_2$  là để ngăn tụ  $C_2$  không xả qua cuộn dây thứ cấp của biến áp trong suốt thời gian không có xung. Các xung tạo cho dòng điện chảy qua cuộn sơ cấp của biến áp. Do vậy, dòng điện chảy qua biến áp và Q là không liên tục, mà giới hạn ở tần số vào khoảng 20kHz, nên giữ cho Q không tỏa nhiệt. Tần số cao sẽ cho phép cuộn cảm sử dụng trong mạch lọc có kích thước nhỏ.

Mạch ổn áp kiểu chuyển mạch chế tạo dưới dạng IC (như TDA 4600). Một số dạng sai hỏng trong bộ nguồn ổn áp chuyển mạch được liệt kê ở bảng 5.1.

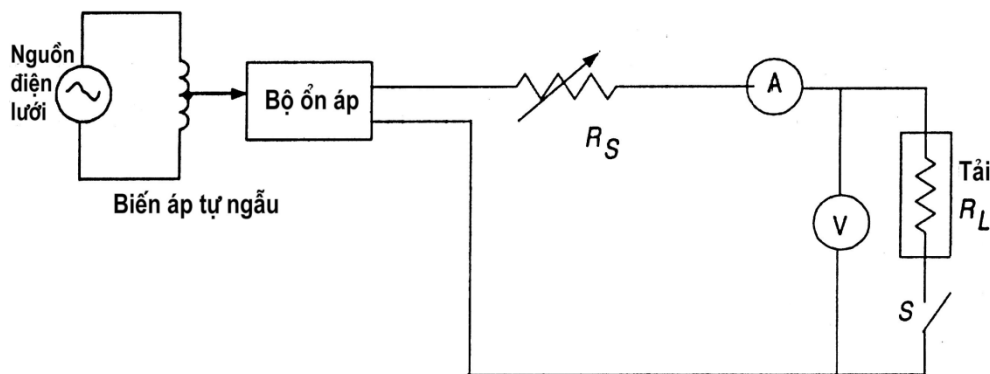
**Bảng 5.1** Các hư hỏng ở bộ nguồn ổn áp kiểu chuyển mạch.

Dấu hiệu	Các sai hỏng có thể có.
Mất điện áp ra	Nếu ổ cắm nguồn điện lưới, chuyển mạch nguồn, và dây dẫn đều nối đúng, thì hư hỏng có thể do: (i) đứt cầu chì; (ii) $C_1$ ngắn mạch; (iii) $D_1$ , hoặc $D_2$ hay cuộn cảm đứt; (iv) $C_2$ ngắn mạch; (v) transistor Q hở mạch.
Điện áp ra thấp	(i) $C_1$ hở; (ii) $C_2$ hở; (iii) $D_2$ hay Q bị ngắn mạch; (iv) Bộ so sánh bị ghim ở mức điện áp cao.
Điện áp ra cao	Op - amp bị ghim ở mức điện áp thấp.
Mức điện áp gợn cao	$C_1$ hoặc $C_2$ hở mạch.

Mỗi hàn nứt cũng có thể gây hư hỏng ở các bộ nguồn ổn áp chuyển mạch, nhất là trên các mối nối chân ra ở các cầu kiện hỏng, do các rung động ở tần số làm việc mà gây ra các đường nứt tròn ở các mối hàn xung quanh các chân. Do vậy, đặc biệt cần phải thực hiện chống rung cho các mối hàn.

### 5.1.6 ĐO THỬ ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA BỘ NGUỒN CUNG CẤP.

Một bộ nguồn cung cấp cần phải được đo các thông số: (i) Độ ổn định theo tải, và (ii) Độ ổn định theo nguồn điện lưới. Mạch đo được mắc như ở mạch hình 5.9, và trình tự các bước thực hiện như sau:



Hình 5.9: Thiết lập phép đo độ ổn định của bộ ổn áp theo sự biến thiên tải và điện lưới.

#### a) Đo độ ổn định theo tải.

- Giữ tải  $R_L$  ở trạng thái không kết nối, bằng cách đặt chuyển mạch S hở.
- Cung cấp điện áp vào ac định mức từ biến áp tự ngẫu.
- Đọc trị số trên voltmeter, đó là trị số  $V_0$ .
- Nối  $R_L$  bằng chuyển mạch S kín mạch.
- Thay đổi điện trở  $R_S$  để mức dòng đo được bằng đồng hồ đo dòng [ammeter] có trị số định mức lớn nhất theo nguồn cung cấp (không làm thay đổi điện áp vào ac).
- Đọc trị số trên voltmeter, đó là trị số  $V_L$ .

$$7. \text{ Suy ra độ ổn định do tải theo phần trăm} = \frac{V_0 - V_L}{V_0} \times 100$$



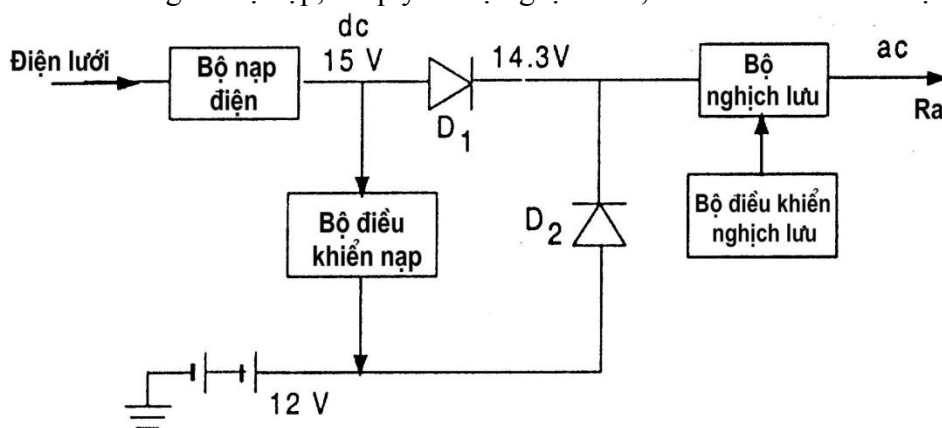
Ở các bộ ổn định tốt, độ ổn định cao nhất là 0.01%.

**b) Đo độ ổn định do điện lưới.**

1. Sử dụng biến áp tự ngẫu để cung cấp điện áp vào *ac* định mức mà nguồn cung cấp được cho để làm việc. Ghi mức điện áp đó là  $V_1$ .
2. Giảm điện áp vào *ac* bằng 10%. Ghi độ thay đổi 10% bằng  $\Delta V_L$ .
3. Đọc độ thay đổi ở điện áp ra. Ghi nhận độ thay đổi điện áp ra là  $\Delta V_L$ .
4. Độ ổn định theo nguồn điện lưới tính theo % cho bởi  $\frac{\Delta V_L}{V_1} \cdot 100$ .
5. Xác định độ ổn định theo nguồn điện lưới bằng cách tăng điện áp vào bằng một lượng 10%.
6. Mức cao hơn của hai giá trị sẽ được xem như độ ổn định nguồn điện lưới tính theo phần trăm.

**5.1.7 BỘ NGUỒN CUNG CẤP LIÊN TỤC - UPS [UNINTERRUPTED POWER SUPPLY UNIT]**

UPS cần cho các máy tính do nguồn điện lưới mất đột ngột sẽ xóa dữ liệu đã được xử lý lưu trữ trong RAM. UPS gồm bộ nạp, ắc quy và bộ nghịch lưu, có sơ đồ khối như mạch ở hình 5.10.



**Hình 5.10: Sơ đồ khối của UPS kiểu on-line.**

Bộ nạp điện sẽ biến đổi điện áp lưới *ac* thành điện áp *dc* thấp, bằng cách dùng mạch chỉnh lưu và lọc.

Điện áp điện lưới có thể thay đổi từ 180V đến 280V, nên có sự cung cấp điện áp ổn định hơn để duy trì điện áp *ac* ở mức  $230V \pm 1\%$  trị số điện áp *ac*. Bộ điều khiển nạp sẽ dò mức điện áp ra *dc* để điều chỉnh mức điện áp nạp cho ắc quy tại mức dòng nạp không đổi.

Khi có điện áp điện lưới, bộ nghịch lưu sẽ nhận điện nguồn vào từ bộ nạp thông qua diode  $D_1$ , diode  $D_2$  sẽ phân cực ngược do mức điện áp dương hơn tại cathode so với anode của  $D_2$ . Khi mất điện lưới, cathode của  $D_1$  trở nên 0V, và do đó  $D_2$  sẽ dẫn. Bộ nghịch lưu sẽ được nối với nguồn ắc quy. Trong mạch  $D_1$  và  $D_2$  chỉ là tượng trưng, mà thực tế là các chuyển mạch tốc độ cao, có khả năng xử lý công suất, nên có thể là các transistor hoặc các thyristor.

UPS như mạch ở hình 5.10, là UPS nối nguồn [on - line], trong đó không có chuyển mạch nối với chuyển mạch trên bộ nghịch lưu khi điện lưới mất, nên nguồn cung cấp luôn luôn thông qua bộ nghịch lưu. Có kiểu UPS khác, gọi là UPS ngắt nguồn [off - line], như mạch ở hình 5.11, trong đó bộ phát hiện mạch sẽ cảm nhận mất nguồn điện lưới và sẽ kích hoạt chuyển mạch điện tử nối đầu ra của bộ nghịch lưu đến hệ thống điện tử.

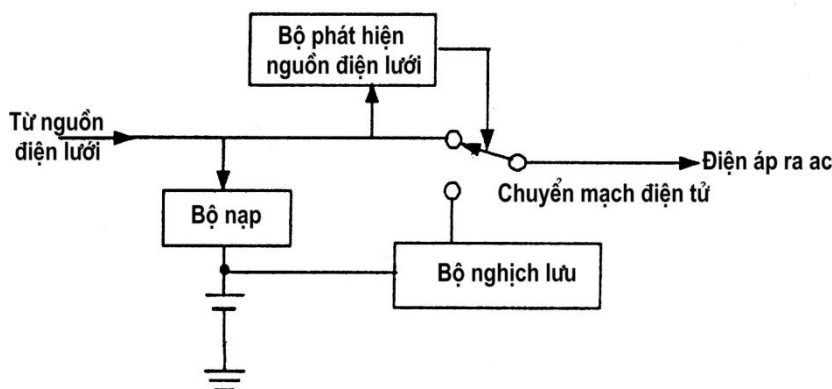
Bộ nghịch lưu trong cả hai loại UPS sử dụng các mạch cầu bằng FET, để biến đổi điện áp *dc* thành điện áp *ac* nhờ mạch điều khiển bộ nghịch lưu. Bộ điều khiển bộ nghịch lưu sẽ tạo ra sóng mang được điều chế bằng tín hiệu 50Hz. Nhờ các mạch logic và mạch RC để điều khiển chức năng của bộ nghịch lưu để có điện áp một pha *ac* 230V, 50Hz.

Một số hư hỏng thông thường ở UPS cần được lưu ý như sau:

*Dạng hỏng thứ nhất là không có điện áp ra khi có nguồn điện lưới.*

(i) Có thể có ngắn mạch tại đầu ra.

(ii) Chuyển mạch điện tử ở loại UPS off - line làm việc sai chức năng (hoặc bộ nghịch lưu hỏng ở loại UPS on - line).



Hình 5.11: UPS kiểu ngắt nguồn điện lưới [off-line].

Dạng hỏng thứ hai: Mất nguồn điện lưới, bộ nghịch lưu không cho điện áp ac.

(i) Cáp ổ quy có thể không được nối với ổ quy.

(ii) Cầu chì đầu vào ổ quy bị đứt.

(iii) Ổ quy có thể bị hỏng.

(iv) Mạch nghịch lưu có thể bị hỏng.

(v) Chuyển mạch điện tử ở loại UPS off – line có thể bị hỏng (hoặc diode chuyển mạch  $D_2$  hỏng ở loại UPS on – line).

Tóm lại, nguồn cung cấp là dễ bị hỏng nhất do nguồn cung cấp tiêu tán mức công suất lớn nhất. Ở trạng thái hỏng, mức điện áp ra của đường nguồn cung cấp có thể thấp hơn hoặc cao hơn, hoặc mức điện áp gợn có thể lớn hơn so với mức điện áp định mức. Các nguyên nhân gây hư hỏng có thể do các linh kiện bị hở mạch hay bị dò hoặc bị ngắn mạch, hay lung lay hoặc hở các kết nối. Các thiết bị điện tử sử dụng các nguồn ổn định điện áp theo ba kiểu: bộ ổn định điện áp nối tiếp, bộ ổn định điện áp song song, và nguồn cung cấp kiểu chuyển mạch. Trong đó nguồn cung cấp kiểu chuyển mạch có hiệu suất cao hơn so với các loại khác. Ở các loại ổn định điện áp nối tiếp, bộ ổn định bằng IC kiểu ba chân là thông dụng nhất. UPS sử dụng mạch nghịch lưu, là được dùng cho các máy tính để cung ứng nguồn cung cấp liên tục cho việc lưu trữ dữ liệu trên RAM ngay khi xảy ra mất điện lưới ac.

## 5.2 ĐO THỬ TRONG CÁC THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ

Các thiết bị đo điện tử cho thông tin chính để bảo dưỡng và sửa chữa, nên cần phải duy trì ở trạng thái làm việc bình thường. Trình tự xác định hỏng ở máy hiện sóng, máy tạo tín hiệu và đồng hồ đo số đã được giải thích theo các mục dưới đây. Các chuyển mạch chức năng cho các kết quả quan trọng để xác định các tầng hỏng. Các lưu đồ sẽ minh họa các bước trình tự cần thiết để dò tìm sai hỏng ở các thiết bị đo thông dụng.

### 5.2.1 ĐO THỬ Ở MÁY HIỆN SÓNG

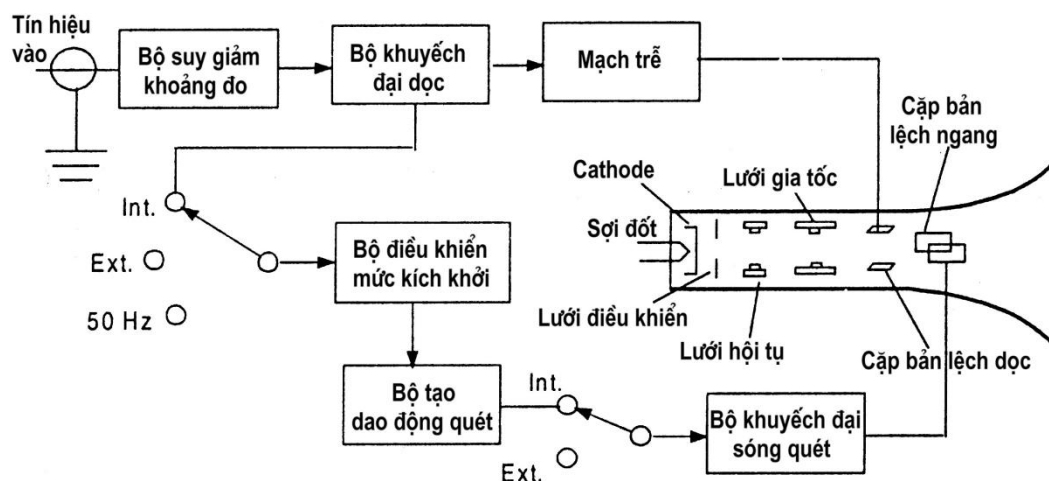
Máy hiện sóng tia cathode tạo ra chùm tia hội tụ sắc nét để có thể được làm lệch theo chiều ngang (trục-x), cũng như chiều dọc (trục-y) để hiển thị mẫu hình đúng của tín hiệu vào trên màn hình huỳnh quang. Sơ đồ khối của máy hiện sóng quét kích khởi thông dụng như ở hình 5.12.

#### a) Các sai hỏng điển hình ở máy hiện sóng và cách sửa chữa.

- **Không có vệt sáng** Nhận xét chung là phần lớn lỗi không vệt sáng có thể do các chức năng điều khiển vị trí dọc và ngang bị xáo trộn, nếu không thì có thể hỏng ở phần nguồn cung cấp cho ống tia [CRT]. Nếu vệt sáng không xuất hiện ngay cả sau khi thử điều chỉnh các chức năng điều khiển vị trí, thì cần phải kiểm tra bộ nguồn cung cấp và điện áp trên biến trở điều khiển cường độ tia. Nếu đúng như vậy, thì có thể phải tiếp tục kiểm tra sợi đốt, và sửa chữa sai hỏng. Nếu không có sai hỏng ở mạch ngoài ống tia, thì phải thay CRT.

#### - Có vệt sáng nhưng không thể điều khiển trên chức năng điều khiển cường độ tia (độ sáng)

Lưới điều khiển và cathode có thể bị ngắn mạch. Ngắn mạch có thể ở mạch ngoài ống tia hoặc trong ống tia. Nếu không phát hiện sai hỏng ở mạch ngoài, thì phải thay CRT do sai hỏng bên trong ống tia không thể sửa chữa được.



Hình 5.12: Sơ đồ khối của máy hiện sóng thông dụng.

- **Vệt sáng bị nhòe** Hãy điều chỉnh điện áp đặt trên lưới hội tụ bằng biến trở hội tụ [focus]. Nếu không khắc phục được nhòe, thì có thể hư hỏng bên trong ống tia, cần phải thay CRT.
- **Thiếu lệch ngang** Vệt sáng theo chiều ngang không phủ toàn bộ màn hình từ điểm tận cùng bên trái đến điểm tận cùng bên phải ô lưới màn hình. Hãy kiểm tra mức điện áp phân cực trên cặp bản lệch ngang và kiểm tra biến trở điều khiển hệ số khuếch đại ngang. Nếu tất cả bình thường, thì hãy kiểm tra biên độ sóng răng cưa bằng một máy hiện sóng khác, và sửa chữa sai hỏng.
- **Định thời góc không đúng** Định thời góc không đúng có thể do sóng răng cưa không tuyến tính. Độ tuyến tính của sóng răng cưa có thể được kiểm tra bằng máy hiện sóng khác. Nếu xác định do không tuyến tính, hãy kiểm tra các tầng dùng để tạo ra và khuếch đại tín hiệu răng cưa.
- **Mất lệch dọc (trong khi chỉ xuất hiện vệt ngang)** Điện áp phân cực trên cặp bản dọc có thể mất. Hãy kiểm tra mức điện áp phân cực trên cặp bản lệch dọc và sửa chữa nếu có sai hỏng. Điểm nối dây với cặp phiên lệch dọc có thể bị hở mạch bên trong ống tia, cần phải thay ống tia.
- **Thiếu lệch dọc** Kiểm tra tầng khuếch đại lệch dọc, nhất là biến trở điều chỉnh hệ số khuếch đại dọc và sửa chữa sai hỏng.
- **Dạng sóng không được tạo ra trên màn hình** Bộ khuếch đại dọc (Y) bị hở mạch hoặc bị ngắn mạch, hoặc chuyển mạch suy giảm thang đo bị hở mạch, hoặc linh kiện hay kết nối nào đó bị hở ở đường tín hiệu thông qua phần khuếch đại dọc. Hãy kiểm tra phân hệ lệch dọc bằng cách dò mức tín hiệu từ đầu vào đến đầu ra và sửa chữa sai hỏng.
- **Độ nhạy dọc kém** Kiểm tra hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại dọc (Y) và nếu cần, hãy thay thế transistor trong mạch khuếch đại dọc.
- **Đoạn khởi đầu của dạng sóng tín hiệu vào không quan sát được** Phải kiểm tra mạch trễ. Nguyên nhân khác, có thể có độ trễ vượt quá ở thời điểm bắt đầu sóng quét do xung kích khởi, hoặc hỏng ở mạch tạo dao động quét. Cần phải kiểm tra các bộ phận đó.
- **Dạng sóng không ổn định** Cần phải kiểm tra chức năng điều khiển du xích [vernier] của mạch gốc thời gian (đồng bộ) trong máy hiện sóng. Kiểm tra mạch kích khởi, chuyển mạch chọn kích khởi [trigger] có tiếp xúc tốt hay không, và mạch chọn mức [Level] kích khởi.
- **Méo ở dạng sóng hiển thị, mặc dù có sóng vào chuẩn** Nguyên nhân có thể do không tuyến tính ở các mạch làm lệch, nên phải kiểm tra và sửa chữa.

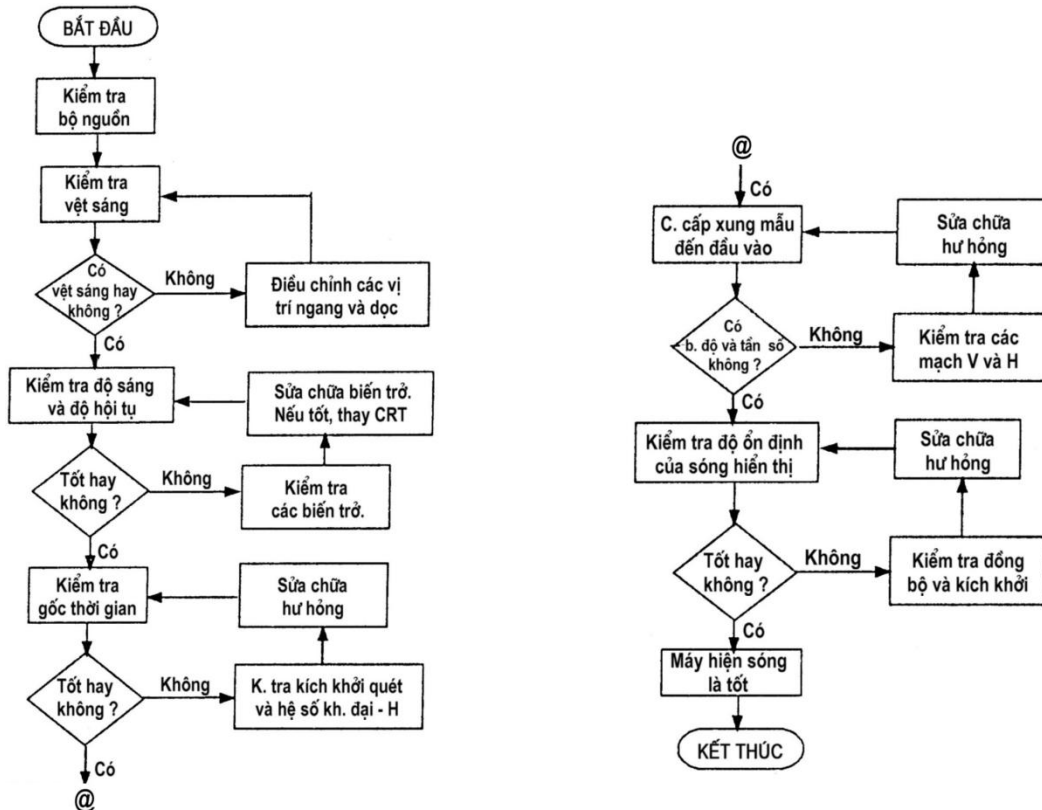
(Các máy hiện sóng thường dùng dùng để kiểm tra chất lượng của tín hiệu cần đo, tức là độ méo đã có ở tín hiệu đưa vào máy hiện sóng. Điều này có thể được kiểm tra chính xác nếu tự máy hiện sóng không có độ phi tuyến nào trong phần khuếch đại dọc hoặc mạch quét).

- **Mất định chuẩn dọc** Mất khuếch đại dọc có thể kiểm tra bằng tín hiệu đã biết có bên trong máy. Điều chỉnh hệ số khuếch đại dọc có thể giải quyết được vấn đề.

#### b) Trình tự các bước sửa chữa máy hiện sóng.

Hình 5.13, là lưu đồ minh họa các bước cơ bản khi sửa chữa ở máy hiện sóng. Các bước đo thử sẽ dẫn

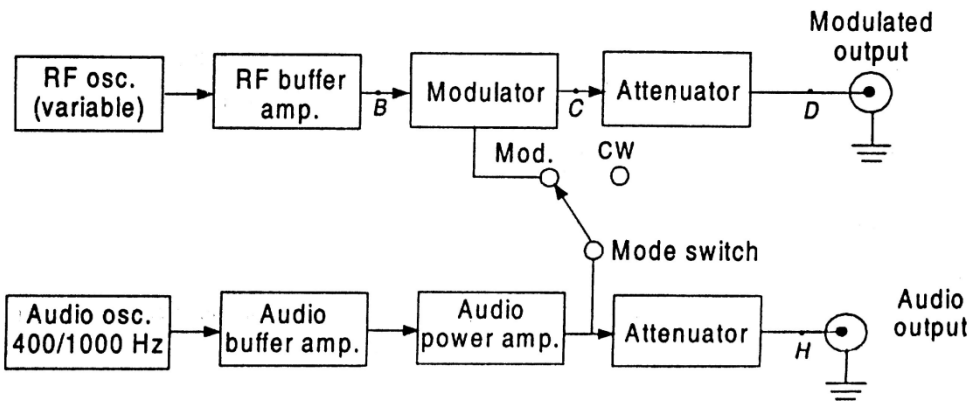
đến tầng hồng, mà tiếp theo có thể được kiểm tra kỹ lưỡng để tìm các cấu kiện hỏng bằng cách đo điện trở hoặc đo các mức điện áp  $dc$  tại các điểm chân linh kiện, hoặc các điểm đo thử quy định.



Hình 5.13: Lưu đồ thể hiện các bước xác định sai hỏng ở máy hiện sóng.

**5.2.2 MÁY TẠO TÍN HIỆU CAO TẦN – RF.**

Máy tạo sóng cao tần dùng để cung cấp tín hiệu đến máy thu để dò tìm hư hỏng, cân chỉnh máy thu và đo độ nhạy, độ chọn lọc, độ khử nhiễu, v. v. . . Máy tạo sóng gồm mạch dao động RF có thể điều chỉnh được tần số, mạch dao động AF, mạch khuếch đại đệm, mạch điều chế và các hộp suy giảm (để thiết lập mức biên độ ra theo yêu cầu). Sơ đồ khối của máy tạo sóng AF như ở hình 5.14.



Hình 5.14: Sơ đồ khối của máy tạo sóng có điều chế biên độ (AM).

Mặc dù máy tạo sóng RF là thiết bị điện tử có độ tin cậy cao, nhưng vẫn có thể xảy ra các hư hỏng bất kỳ thời điểm nào. Bản chất các hư hỏng cũng tương tự như các hệ thống điện tử khác, chẳng hạn như cấu kiện điện tử hở mạch hoặc bị rò hoặc ngắn mạch, hoặc do các kết nối bị hở mạch hoặc lỏng lẻo. Có 4 bộ phận riêng biệt, đó là phần RF, phần âm tần, chuyển mạch chọn chế độ hoạt động và phần nguồn cung cấp.

**a) Phân vùng chức năng để phát hiện sai hỏng ở máy tạo tín hiệu.**

Bộ phận hỏng có thể dễ dàng phát hiện bằng chuyển mạch chọn chế độ và đo tín hiệu ra. Để xác định hỏng nhanh và chính xác, tín hiệu ra có thể quan sát trên màn hình của máy hiện sóng.

Nếu không có phát sóng tại các đầu ra, không có tín hiệu và nhiễu, hư hỏng có thể ở nguồn cung cấp, nên trước hết phải sửa chữa nguồn trước khi chuyển sang xác định hỏng ở các phần khác.

Tiếp theo, bật chuyển mạch chọn chế độ sang vị trí CW, máy hiện sóng sẽ hiển thị sóng mang cao tần chưa điều chế, cho biết rằng bộ dao động RF, khuếch đại đệm, tầng điều chế và bộ suy giảm đang làm việc bình thường. Tín hiệu tạo ra từ bộ dao động RF truyền qua các tầng đến đầu ra. Nếu máy hiện sóng không thể hiện dạng sóng, thì hoặc là bộ dao động RF mất dao động hoặc có hở mạch hay ngắn mạch với bộ máy tại một điểm nào đó ở các tầng trên. Kiểm tra thêm có thể thực hiện bằng cách dò tín hiệu dao động RF bằng đầu dò của máy hiện sóng. Ví dụ, có tín hiệu tại điểm B và không có tín hiệu tại điểm C thì xác định được là có hỏng ở tầng điều chế.

Với chuyển mạch chọn chế độ ở vị trí điều chế 'MOD', nếu nhận được dạng sóng điều chế trên máy hiện sóng, thì phần RF cũng như phần audio đều bình thường. Nếu chỉ thu được sóng mang cao tần RF, thì hỏng ở phần audio.

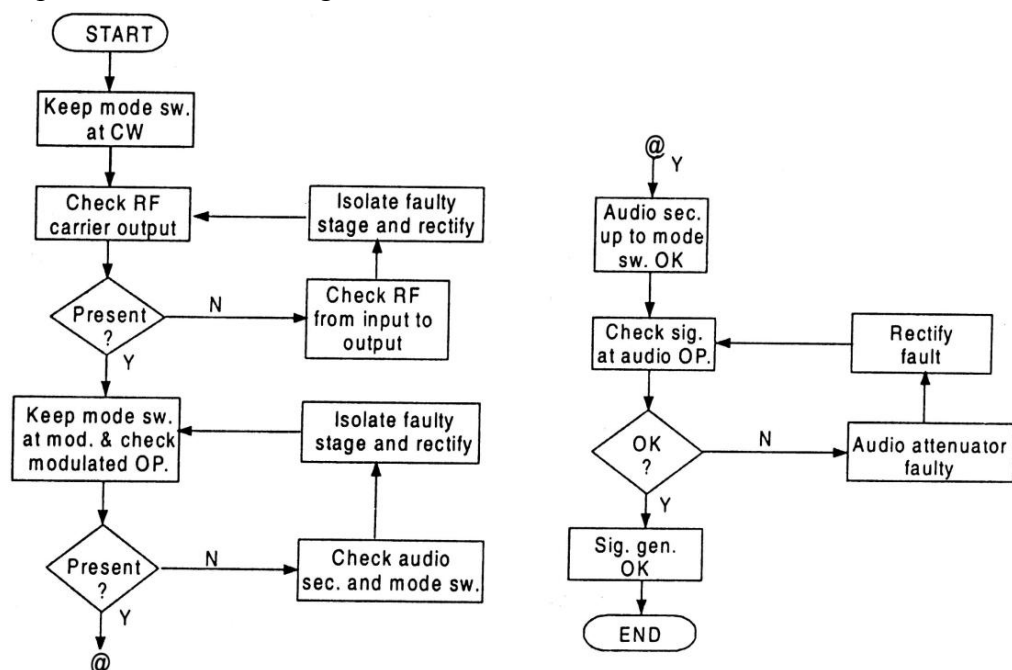
Nếu có tín hiệu tại RF điểm D, tín hiệu audio tại điểm H, nhưng không nhận được tín hiệu điều chế, thì chứng tỏ rằng, chuyển mạch chọn chế độ mất tiếp xúc với đầu cực ghi là 'MOD'. Nhưng nếu không có tín hiệu điều chế tại điểm đo D, cũng không có tín hiệu audio tại H, có thể hỏng tại điểm nào đó của tầng audio (mạch tạo dao động âm tần, tầng khuếch đại đệm hoặc công suất). Hư hỏng thực tế có thể xác định bằng cách dò tín hiệu. Kiểm tra thêm trong tầng có thể tiến hành bằng cách đo điện trở và điện áp tại các điểm đo thử để nhận dạng cấu kiện điện tử hỏng.

Khi đặt chuyển mạch chọn chế độ ở vị trí 'MOD', có tín hiệu đã điều chế tại D, nhưng không có tín hiệu âm tần tại H, thì hỏng ở mạch suy giảm của phần âm tần.

Việc định chuẩn [Calibration] mạch dao động RF có thể kiểm tra với máy tạo tín hiệu chuẩn và một máy thu tốt. Nếu phát hiện sai hỏng, thì kiểm tra độ ổn định điện áp nguồn hoặc có thể kiểm tra bộ dao động tinh thể, sẽ thể hiện ảnh hưởng già hóa. Đối với các mạch tổng hợp tần số, cần phải kiểm tra các cấu kiện của mạch vòng khóa pha [PPL].

(Phần âm tần của máy phát tín hiệu RF chỉ tạo ra hai tần số là 1000Hz và 400Hz, cho nên không thể dùng để đo đáp ứng tần số của các mạch khuếch đại âm tần. Máy tạo tín hiệu âm tần sử dụng để đo đáp ứng tần số của các mạch khuếch đại âm tần là thiết bị riêng, bao gồm mạch dao động âm tần đã được định chuẩn (thường là kiểu mạch dao động cầu Wien), phủ toàn bộ dải tần số âm tần (và ngay cả siêu âm), mạch khuếch đại đệm, khuếch đại công suất và hộp suy giảm đã được định chuẩn. Khi tất cả các tầng liên kết với nhau, bằng cách dò tín hiệu âm tần sẽ đủ để cô lập tầng hỏng).

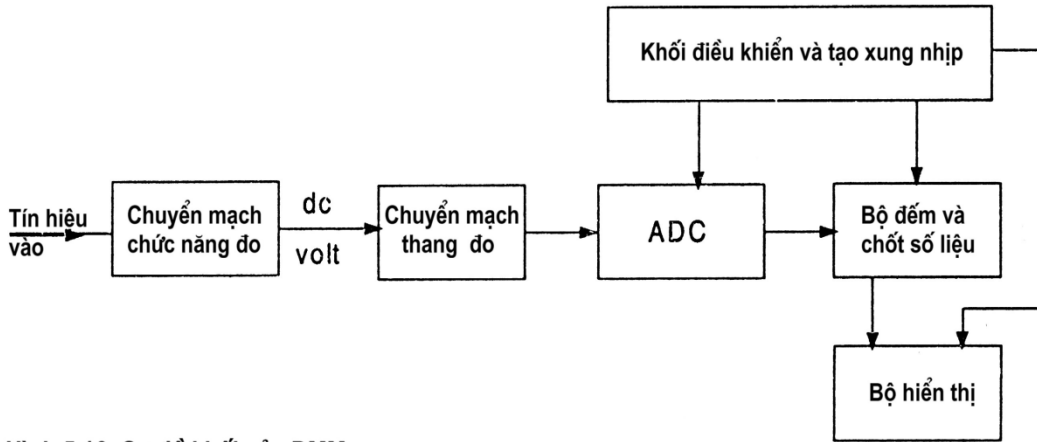
Lưu đồ ở hình 5.15, cho các bước thứ tự để chẩn đoán hỏng trong các máy tạo sóng RF, khi nguồn cung cấp đảm bảo bình thường.



Hình 5.15: Trình tự thực hiện các bước xác định sai hỏng đối với thiết bị tạo tín hiệu.

**5.2.3 ĐO THỬ SỬA CHỮA CÁC ĐỒNG HỒ ĐO ĐA NĂNG SỐ - DMM.**

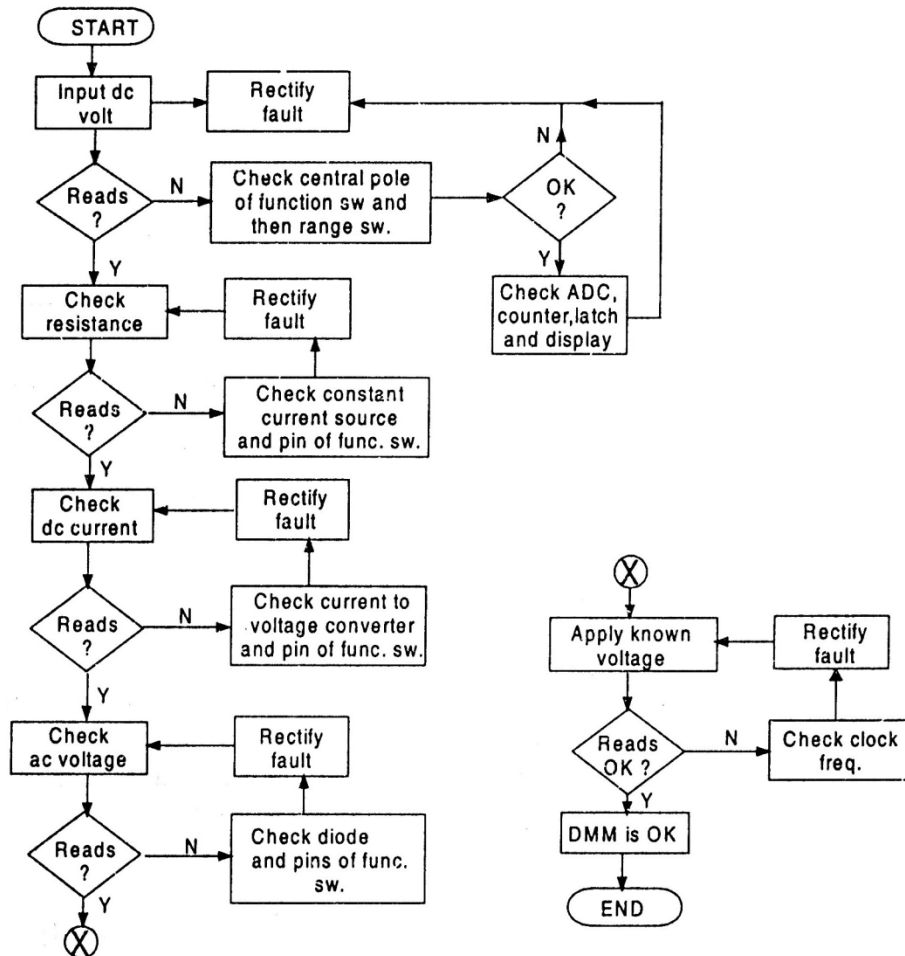
Đồng hồ đo đa năng số (DMM) đang được sử dụng nhiều, phát triển liên tục về số lượng và chủng loại do độ chính xác, độ rõ và độ phân giải của đồng hồ đo đa năng số cao hơn nhiều so với đồng hồ đo tương tự. Nguyên lý hoạt động của DMM đã được giải thích ở chương 3, và sơ đồ khối như ở hình 5.16.



Hình 5.16: Sơ đồ khối của DMM.

Các sai hỏng điển hình ở đồng hồ đo số đa năng gồm:

- **Đồng hồ đo không đọc chính xác thông số nào đo (mặc dù các mạch số đều hoạt động bình thường)** DMM về cơ bản là voltmeter *dc*, nên nếu DMM không chỉ thị mức điện áp *dc*, thì sẽ không chỉ thị thông số bất kỳ khác (điện trở, dòng điện, điện áp *ac*). Hư hỏng có thể ở mạch đầu cực trung tâm của chuyển mạch chọn chức năng đo, hoặc đầu cực trung tâm của chuyển mạch chọn thang đo. Mạch so sánh tuyến tính trong ADC có thể bị ghim ở mức +  $V_{CC}$  hoặc -  $V_{CC}$ , hoặc ghim tại mức 0V (đất).



Hình 5.17: Lưu đồ thể hiện trình tự các bước xác định sai hỏng trong DMM.

- **Đồng hồ đo có tín hiệu đưa đến bộ so sánh tuyến tính nhưng không hiển thị các số đo** Bộ đếm và chốt có thể bị ghim tại mức 1 hoặc mức 0, các xung nhịp trong phần mạch đếm có thể mất hoặc đầu ra xung nhịp có thể bị ghim tại mức 1. Các đầu điều khiển Preset hoặc Clear trong mạch đếm / chốt có thể bị ghim, nên giữ hệ thống thường xuyên ở mức 1 và 0 tương ứng. Có thể hở mạch điểm chung của mạch điều khiển LED. Bất cứ hư hỏng nào trong số các hư hỏng trên đều mất hiển thị các số đo. Phần hư hỏng thực tế có thể xác định bằng đầu dò mức logic.

- **Một thang đo điện áp không hoạt động, các thang đo khác hoạt động bình thường** Kết nối đầu cực ở chuyển mạch thang đo có thể bị hở khi thang đo hỏng.

- **Đồng hồ đo đọc chính xác tất cả các thông số trừ điện trở** Nguồn dòng hằng được nối đến chuyển mạch chức năng có thể hỏng, hoặc đầu cực liên quan của chuyển mạch chức năng đo có thể hở mạch.

- **Đồng hồ đo không chỉ thị mức dòng cần đo** Bộ biến đổi dòng thành áp được nối đến chuyển mạch chức năng đo có thể bị hỏng, hoặc đầu nối của chuyển mạch chức năng đo có thể bị hở mạch.

- **Đồng hồ đo không đọc mức điện áp ac** Có thể hở mạch hoặc ngắn mạch diode chuyển đổi ac thành dc, hoặc đầu nối của chuyển mạch chức năng bị hở.

- **Đồng hồ đo không chính xác** Một điện trở nào đó trong chuyển mạch thang đo có thể có điện trở cao hoặc điện trở tiếp xúc của chuyển mạch thang đo có thể trở nên cao do sự mài mòn, hoặc sự phục hồi của các xung nhị phân bằng mạch kích khởi Schmitt trong mạch ADC có thể không có. Sự thay đổi ở tần số của xung nhịp cũng có thể gây ra các số đo sai.

#### Trình tự các bước sửa chữa.

Trình tự các bước xác định hỏng ở DMM có thể theo lưu đồ ở hình 5.17.

### 5.3 ĐO THỬ TRONG CÁC THIẾT BỊ ÂM TẦN [AUDIO]

Âm thanh có thể được biến đổi thành tín hiệu điện thông qua microphone. Các tín hiệu điện có cùng tần số với tần số âm thanh gọi là 'tín hiệu âm tần' [audio], và có biên độ tỷ lệ theo âm thanh gốc. Các tín hiệu audio có thể được khuếch đại, ghi âm, truyền dẫn và tái tạo thành dạng ban đầu.

Các phần tử cơ bản của tất cả các hệ thống audio là:

- \* Microphone
- \* Mạch khuếch đại
- \* Mạch xử lý tín hiệu
- \* Loa.

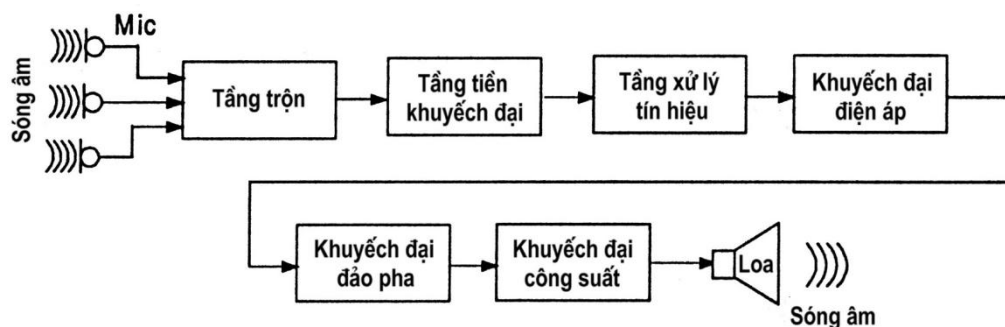
Microphone sẽ biến đổi âm thanh thành các tín hiệu âm tần, mạch khuếch đại sẽ khuếch đại các tín hiệu âm tần. Mạch xử lý sẽ sửa đổi các tín hiệu âm tần theo mục đích ghi nhận, truyền dẫn, và tái tạo. Cuối cùng loa sẽ biến đổi các tín hiệu âm tần trở lại thành âm thanh ban đầu.

Quy trình đo thử và sửa chữa sẽ được giới thiệu sau đây là các thiết bị audio thông dụng gồm:

- \* Hệ thống khuếch âm
- \* Hệ thống khuếch đại âm thanh nổi [stereo] có độ trung thực cao
- \* Máy quay đĩa nén [compact disc player]

#### 5.3.1 ĐO THỬ TRONG HỆ THỐNG TRANG ÂM.

Hệ thống trang âm - PA [Public Address] bao gồm microphone, tầng trộn, các mạch khuếch đại điện áp, mạch khuếch đại công suất, loa và khối nguồn cung cấp. Sơ đồ khối của hệ thống như ở hình 5.18.



Hình 5.18: Sơ đồ khối của hệ thống trang âm.

Microphone sẽ chuyển đổi các biến thiên của áp suất âm thanh thành các thay đổi tín hiệu điện (gọi là các tín hiệu âm tần hay tín hiệu audio). Micro thường được kết nối từ bên ngoài vào bộ khuếch âm nhờ các đầu phích cắm. Các hư hỏng ở microphone có thể là màng micro bị thủng, đứt cuộn dây hoặc dải băng ở loại micro kiểu điện động, độ nhạy thấp do màng đàn hồi chùng, già hóa, rò điện tích ở loại microphone điện dung, xâm thực âm ở loại microphone tinh thể hay carbon. Biến áp phối hợp trở kháng có thể hỏng, hay đứt, hoặc ngắn mạch đầu nối với vỏ bảo vệ.

Mạch trộn gồm bộ điều chỉnh âm lượng và các điện trở cách ly, sẽ cho phép sử dụng nhiều microphone. Trong trường hợp sai hỏng, sự cách ly không triệt để dẫn đến xuyên âm. Tín hiệu ra từ tầng trộn sẽ được cung cấp đến tầng tiền khuếch đại có hệ số khuếch đại cao, mức nhiễu thấp để khuếch đại. Các thành phần của bộ xử lý tín hiệu gồm các biến trở điều khiển âm lượng và điều khiển âm sắc [tone]. Bộ khuếch đại điện áp và khuếch đại đảo pha dùng để khuếch đại biên độ tín hiệu lên mức đủ lớn để lái mạch khuếch đại công suất, tạo ra công suất âm tần ra theo yêu cầu.

Các sai hỏng thông thường ở các bộ khuếch đại bao gồm các điện trở bị đứt, các tụ điện và các transistor bị hở mạch, rò hay ngắn mạch. Các đầu tiếp xúc đầu trượt của biến trở điều chỉnh âm lượng, âm sắc có thể bị bẩn, hay chập chờn, hoặc hở mạch.

Tầng cuối cùng của hệ thống khuếch đại là loa dùng để biến đổi các tín hiệu audio thành âm thanh. Các hư hỏng thông thường ở các loa là rách màng loa, hở mạch cuộn dây âm thanh, màng có độ đàn hồi kém, màng loa bị thủng và đầu dây nối bị hỏng (hở mạch hay ngắn mạch).

Sau khi phân tích các thông tin được người sử dụng cung cấp, và xem xét tình trạng vật lý của thiết bị, đo thử khối nguồn cung cấp đảm bảo. Nếu chưa nhận thấy dấu hiệu hư hỏng, các bước đo thử gồm:

Kiểm tra tín hiệu ra ở loa để phát hiện ra hư hỏng nếu thiết bị mất tín hiệu hay tín hiệu yếu hay bị tạp âm, hoặc tín hiệu bị méo dạng.

Nhận biết tầng hỏng: (i) bằng tín hiệu kích thích từ máy tạo tín hiệu âm tần mắc vào đầu vào, và đo thử tín hiệu ra tại các tầng khác nhau (theo phương pháp phân đôi) đối với các tầng liên tiếp nhau, và (ii) bằng kỹ thuật cách ly đối với các mạch rẽ, mạch ghép nối và mạch hồi tiếp. Nếu có tạp âm, sử dụng kỹ thuật ngắn mạch đầu vào (base được làm ngắn mạch với emitter) để xác định tầng hỏng.

Nhận biết sai hỏng ở cấu kiện hay kết nối bằng cách đo điện trở và đo điện áp  $dc$  tại các điểm chân cấu kiện hoặc các điểm đo thử quy định. Phép đo điện áp có thể nhận biết hỏng ở các tụ điện, các cuộn cảm và các mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại thấp.

Một số sai hỏng có thể xảy ra nhiều nhất ở thiết bị trang âm và các biện pháp sửa chữa cho ở bảng 5.2.

**Bảng 5.2** Bảng bảo dưỡng sửa chữa cho hệ thống trang âm.

<i>Dấu hiệu</i>	<i>Sai hỏng và cách sửa chữa</i>
1. Không có âm thanh phát ra loa, không có tiếng lụp bụp, không có tiếng ù, không có tiếng sôi. Thiết bị mất âm thanh hoàn toàn.	Thiết bị không nhận nguồn cung cấp. Cầu chì có thể bị đứt, hay mất nguồn điện lưới, hay hỏng ở khối nguồn cung cấp. Kiểm tra nguồn điện lưới và khối nguồn cung cấp để xác định điểm hỏng và sửa chữa.
2. Đo điện trở và điện áp $dc$ bên trong thiết bị bình thường, nhưng không tạp âm sôi hay tín hiệu phát ra.	Các đầu dây loa có thể đã bị ngắn mạch. Đo thử ngắn mạch bằng phép đo điện trở (dây feeder loại 16/02 có 6 00m) và đo thử dây feeder bằng phép đo điện dung (điện dung thông thường của dây feeder là 30pF trên một mét).
3. Có tạp âm sôi nhưng không có tín hiệu phát ra. Các điện trở và các điện áp $dc$ đều bình thường.	Có tạp âm sôi cho biết tiền khuếch đại và các tầng khác bình thường. Do đầu dây microphone hở mạch hay ngắn mạch với vỏ. Đo thử bằng đồng hồ đo điện trở và sửa chữa hư hỏng.
4. Biên áp nguồn cung cấp quá nóng	Ngắn mạch ở khối nguồn cung cấp, hoặc một tầng nào đó làm ngắn mạch đường nguồn cung cấp. Đo thử các mạch rẽ bằng phương pháp cách ly để định vị và sửa chữa hư hỏng.



5. Không có âm thanh ở một loa, âm thanh bình thường ở các loa khác.

6. Âm thanh phát ra yếu, điện trở và điện áp dc đều đúng.

7. Tiếng ù (hum) quá lớn

8. Độ méo vượt quá.

Hồng loa riêng biệt, hay hồng ở đầu dây hoặc đầu nối của loa. Đo thử loa và đầu dây của loa bằng phép đo điện trở để loại bỏ hư hỏng.

Hở mạch tụ rẽ emitter. Đo hệ số khuếch đại của các tầng bằng phương pháp phân đôi và do vậy cô lập tầng hồng. Sau đó nhận biết cấu kiện hồng trong tầng hồng.

Thiếu lọc ở nguồn cung cấp do tụ lọc bị hở hay rò. Gợn xâm nhập vào mạch base hay cổng của một tầng khuếch đại. Dây nguồn điện lưới có thể bị ghép với các dây microphone hoặc biến áp phối hợp có thể gần các tải ac hay gần biến áp ac.

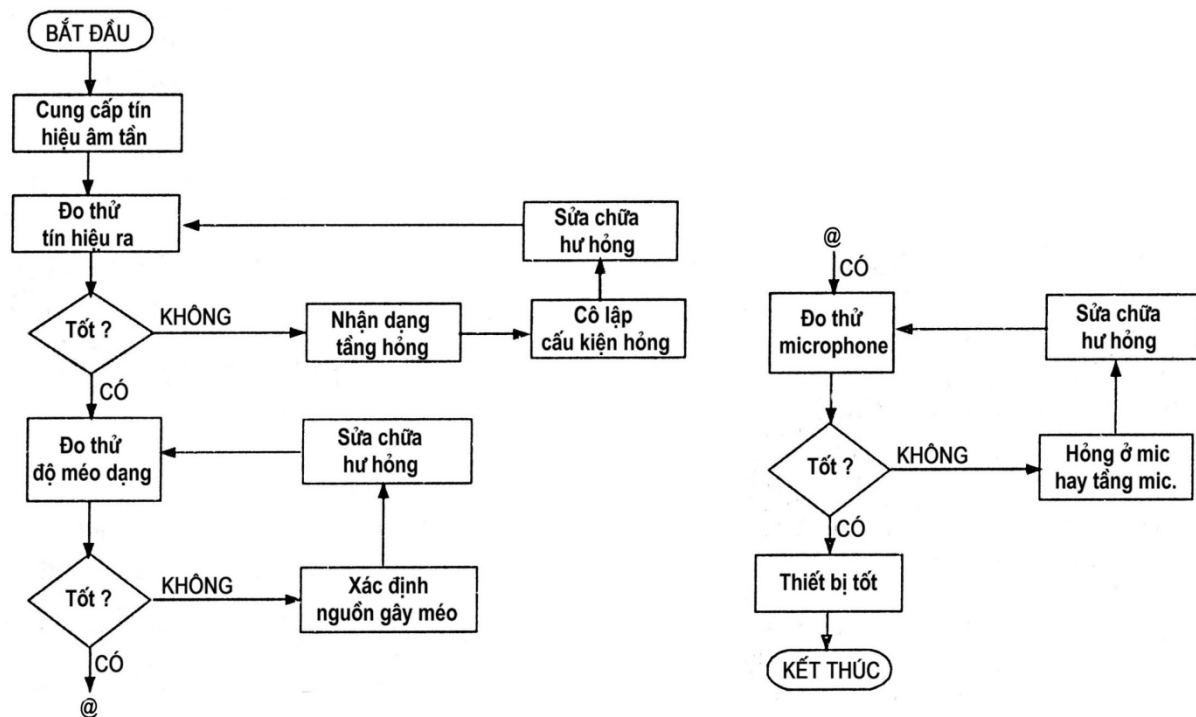
Đặt một tụ tốt song song với tụ lọc. Nếu hết tiếng ù, tụ lọc đứt, thay tụ. Nếu nguồn cung cấp bình thường, cung cấp tín hiệu từ máy tạo sóng âm tần (AF). Nếu có gợn, thì gợn được trích vào bởi đường base hay cổng. Nếu không có gợn, thì gợn được trích vào bởi đường microphone từ nguồn điện lưới. Xác định nguồn gợn và sửa chữa hư hỏng.

Hồi tiếp dương gây ra tiếng rú rít lớn. Đôi khi, tín hiệu ra có thể là tín hiệu siêu âm. Các tín hiệu dao động siêu âm như vậy sẽ không nghe được nhưng sẽ làm quá tải mạch khuếch đại và gây méo dạng. Ngoài ra, có thể do hồng mạch hồi tiếp âm.

Kiểm tra nguyên nhân gây méo dạng bằng cách ngắt mạch đầu vào của các tầng lần lượt và do đó nhận biết tầng hồng, hoặc do ghép nhiễu không mong muốn, để sửa chữa hư hỏng. Đo thử các linh kiện hồi tiếp âm và thay thế linh kiện hồng.

**Quy trình các bước đo thử để xác định hư hỏng.**

Quy trình các bước xác định hư hỏng trong hệ thống trang âm thể hiện theo lưu đồ cho ở hình 5.19.

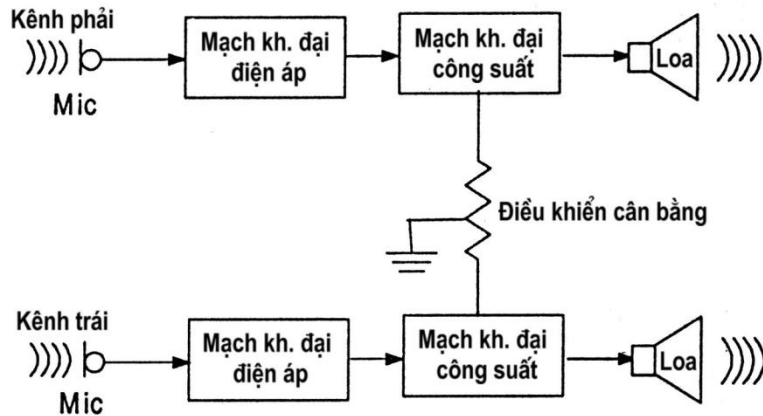


Hình 5.19: Quy trình đo thử để xác định các sai hỏng ở hệ thống trang âm.

**5.3.2 ĐO THỬ TRONG BỘ KHUYẾT ĐẠI ÂM THANH NỔI [STEREO].**

Bộ khuếch đại stereo gồm có hai kênh khuếch đại độc lập từ microphone đến loa. Các loa phải được đặt có khoảng cách bằng nhau ở hai góc của tam giác đều trên mặt nghiêng. Các sai hỏng ở hệ thống

stereo có thể là không có tín hiệu ra, tín hiệu ra yếu, méo, tạp âm, xuyên âm, tín hiệu ra mất cân bằng, v.v. . . Đo thử trong hệ thống stereo sẽ được giải thích dưới đây liên quan đến sơ đồ khối cho ở hình 5.20.

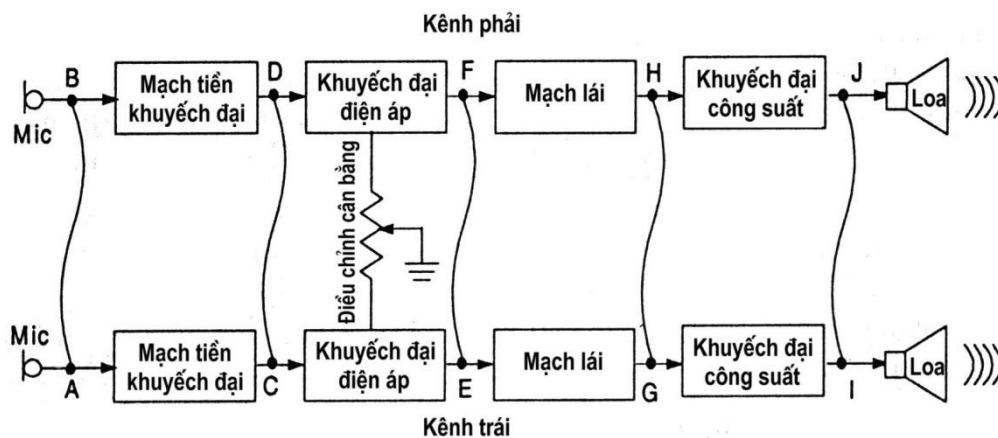


**Hình 5.20: Hệ thống khuếch âm stereo cơ bản.**

Mạch khuếch đại điện áp thể hiện trong hình 5.20, tương trưng cho mạch tiền khuếch đại, mạch xử lý tín hiệu (các mạch điều khiển âm lượng và âm sắc) và các mạch khuếch đại điện áp khác. Sau khi chắc chắn là nguồn cung cấp không bị hỏng, cần phải xác định sai hỏng trong mạch: hoặc là kênh trái hoặc là kênh phải; và tiếp theo là xác định cấu kiện hỏng trong kênh lỗi: hoặc là tầng microphone, hoặc loa, hoặc tầng khuếch đại. Các thiết bị đầu vào như microphone, máy ghi âm, máy ghi đĩa, v. v. . . là được nối với các mạch tiền khuếch đại thông qua chuyển mạch chọn chức năng (không vẽ trong hình), để có thể nhận dạng hoặc là thiết bị đầu vào hỏng, hoặc là bộ khuếch đại hỏng. Nếu không có tín hiệu ra tại vị trí bất kỳ của chuyển mạch chọn chức năng, thì bộ khuếch đại hỏng. Nếu không có tín hiệu ra của chỉ một thiết bị đầu vào thì hỏng ở thiết bị đầu vào đó. Nếu có tín hiệu ra ở cả hai kênh nhưng không nhận được cân bằng, thì hư hỏng ở biến trở điều chỉnh cân bằng. Nếu tín hiệu ra không có ở một trong hai kênh, thì hoặc do nguồn cung cấp hỏng hay nối đất của biến trở điều chỉnh cân bằng bị hở mạch. Trong trường hợp chỉ hỏng một kênh, ta có thể phát hiện ra kênh hỏng bằng cách tắt một kênh và nghe kênh còn lại.

**- Nhận dạng tầng hỏng trong các tầng khuếch đại.**

Tầng hỏng của bộ khuếch đại hỏng có thể được nhận biết bằng tín hiệu kích thử và phương pháp dò mạch, hay dễ dàng hơn bằng cách sử dụng một trong các tầng của kênh còn tốt để thay thế các tầng của kênh bị hỏng bằng các đầu dây đo thử ngoài như thể hiện ở hình 5.21.



**Hình 5.21: Cách kiểm tra kênh hỏng bằng kênh đang hoạt động tốt cùng bộ khuếch âm stereo.**

Giả sử kênh phải bị hỏng và kênh trái bình thường. Cung cấp tín hiệu vào kênh phải. Nếu tín hiệu ra của kênh trái bình thường khi đầu dây đo thử nối từ điểm A sang B, đầu vào của kênh trái không bị hỏng. Đầu dây đo thử lúc này sẽ được nối từ điểm C đến D. Nếu tín hiệu ra của kênh trái là tốt, thì mạch tiền

khuyếch đại của kênh phải là tốt. Tầng khác có thể được kiểm tra tương tự bằng cách nối đầu dây đo thử từ điểm E đến F, G đến H và I đến J cho đến khi tầng hỏng được nhận diện. Nếu tín hiệu đạt đến điểm J được xác định là bình thường, thì hư hỏng có thể ở loa hay các đầu nối của loa.

- **Nhận diện cấu kiện hỏng.** Các phép đo điện trở và điện áp tại các điểm chân của cấu kiện chủ động hay tại các điểm đo quy định sẽ nhận biết cấu kiện hoặc kết nối hỏng. Điện trở có thể đứt, tụ điện hay cuộn cảm hay cấu kiện bán dẫn có thể đứt hoặc ngắn mạch. Mỗi hàn có thể nứt, không kết nối, hay có thể chập giữa các đường mạch in của bảng mạch có khoảng cách sát nhau. Phần lớn các sai hỏng là được nhận biết bằng phép đo điện trở và đo điện áp *dc*. Một vài dạng hư hỏng có thể cần đến phép đo với tín hiệu *ac*, ví dụ đối với tụ điện bị nghi là đứt, hay cuộn dây bị ngắn mạch.

Một số kiểu hư hỏng, nguyên nhân gây sai hỏng và cách sửa chữa sẽ được giải thích dưới đây.

- **Mất tín hiệu ra ở vị trí nào đó của chuyển mạch chức năng trên một kênh.** Chuyển mạch chức năng cho phép các thiết bị vào (microphone, máy ghi âm, máy quay đĩa, bộ điều hưởng FM) được nối đến bộ khuếch đại stereo. Tất cả các thiết bị đầu vào không thể hư hỏng. Do đó hư hỏng có trong mạch khuếch đại của kênh liên quan.

Việc sửa chữa tùy vào sự đo thử mạch khuếch đại, lần lượt trên các tầng, bằng tín hiệu thay thế hoặc bằng tín hiệu kích thích, hay bằng cách dò, hoặc bằng phương pháp gõ. Việc nhận diện tầng hỏng và tiếp theo tiến đến xác định cấu kiện hỏng trong tầng hỏng bằng các phép đo điện áp và điện trở, để thay thế cấu kiện hỏng.

- **Mất tín hiệu ra chỉ ở một vị trí của chuyển mạch chức năng.** Khi tín hiệu ra ở tất cả các vị trí của chuyển mạch chức năng, trừ một vị trí là bình thường, thì các tầng khuếch đại đều bình thường. Thiết bị đầu vào gắn với vị trí cụ thể của chuyển mạch chức năng bị hỏng.

Đo thử thiết bị đầu vào bị hỏng. Microphone có thể hỏng, thay thế microphone khác. Nếu thiết bị hỏng là máy quay đĩa, kiểm tra kim bị mòn. Nếu hỏng thiết bị ghi âm, hãy kiểm tra đầu từ bị bẩn. Nếu thiết bị hỏng là bộ chọn kênh FM, thì phải kiểm tra bộ giải mã bằng máy tạo sóng stereo. Sửa chữa hư hỏng.

- **Tín hiệu ra yếu ở cả hai kênh tại tất cả các vị trí của chuyển mạch chức năng.** Sai hỏng có thể xảy ra là điện áp nguồn cung cấp thấp. Đo thử khối nguồn cung cấp và sửa chữa hư hỏng.

- **Mất tín hiệu ra ở một kênh.** Hư hỏng có thể xảy ra là mất nguồn cung cấp, hoặc hỏng ở mạch điều khiển cân bằng.

Đo thử nguồn cung cấp, cầu chì, đầu phích cắm điện lưới, hoặc ngắn mạch ở đường nguồn cung cấp, khắc phục hư hỏng. Nối đất của biến trở điều chỉnh cân bằng có thể đứt. Kiểm tra biến trở và sửa chữa hư hỏng.

- **Nhiều từ các nguồn tín hiệu khác.** Nguyên nhân có thể hở nối đất của tụ rơ RF, hoặc hở mạch trong tụ. Tín hiệu mạnh của các đài phát thanh địa phương, của các dịch vụ khác (như của quân đội, cảnh sát, hàng không v. v. . . ) có thể trích dẫn bởi bộ khuếch đại âm tần. Các tín hiệu rất mạnh có thể gây quá tải mạch khuếch đại và do đó có thể phát hiện do các đặc tính phi tuyến đối với các trạng thái quá tải. Kiểm tra tụ rơ mạch RF và nối đất của tụ.

- **Méo ở tín hiệu ra.** Hư hỏng có thể xảy ra là do hỏng mạch hồi tiếp âm, hay có thể có tự dao động ở tầng khuếch đại nào đó do tụ giải ghép bị hở mạch.

Kiểm tra mạch hồi tiếp âm, tụ cụ thể và sửa chữa hư hỏng. Phát hiện tầng gây dao động bằng cách ngắn mạch lần lượt các tầng để loại bỏ hư hỏng.

- **Tiếng ù (hum) ở tín hiệu ra của cả hai kênh.** Rõ ràng là do độ gợn cao. Tín hiệu *ac* ghép điện dung của các đầu dây nguồn điện lưới đến các đầu dây của hệ thống tại một điểm nào đó.

Kiểm tra tụ lọc hở mạch ở đường nguồn cung cấp điện áp, sửa chữa hư hỏng. Tiếng ù cũng có thể tạo ra do khoảng cách gần giữa dây điện lưới và các đầu vào của hệ thống. Nếu vậy, loại bỏ khoảng cách.

- **Tạp âm sôi (lào xào) quá cao ở tín hiệu ra.** Do độ không đồng đều ở các rãnh, hoặc ở băng từ, và cũng có thể do mức tạp âm vượt quá được tạo ra trong mạch tiền khuếch đại. Cần phải sử dụng các phương pháp để cải thiện tỷ số tín hiệu trên tạp âm và do đó làm giảm tạp âm sôi. Kiểm tra các mạch liên quan để loại bỏ hư hỏng.

- **Không tạo ra được hiệu ứng stereo.** Kiểm tra vị trí các loa và đảm bảo đã tuân theo các quy định của nhà sản xuất ghi trong hướng dẫn sử dụng. Kiểm tra tín hiệu ra mono đối với cả hai kênh riêng rẽ và điều chỉnh tất cả các chức năng điều khiển liên quan để có tín hiệu ra đồng nhất.

- **Các chức năng điều khiển trầm (bass) và bổng (treble) có thể không tác động.** Điều chỉnh các chức năng điều khiển trầm, bổng giảm xuống và tăng lên là phải nghe được, nếu không hãy đo thử các biến trở tương ứng và sửa chữa hư hỏng.

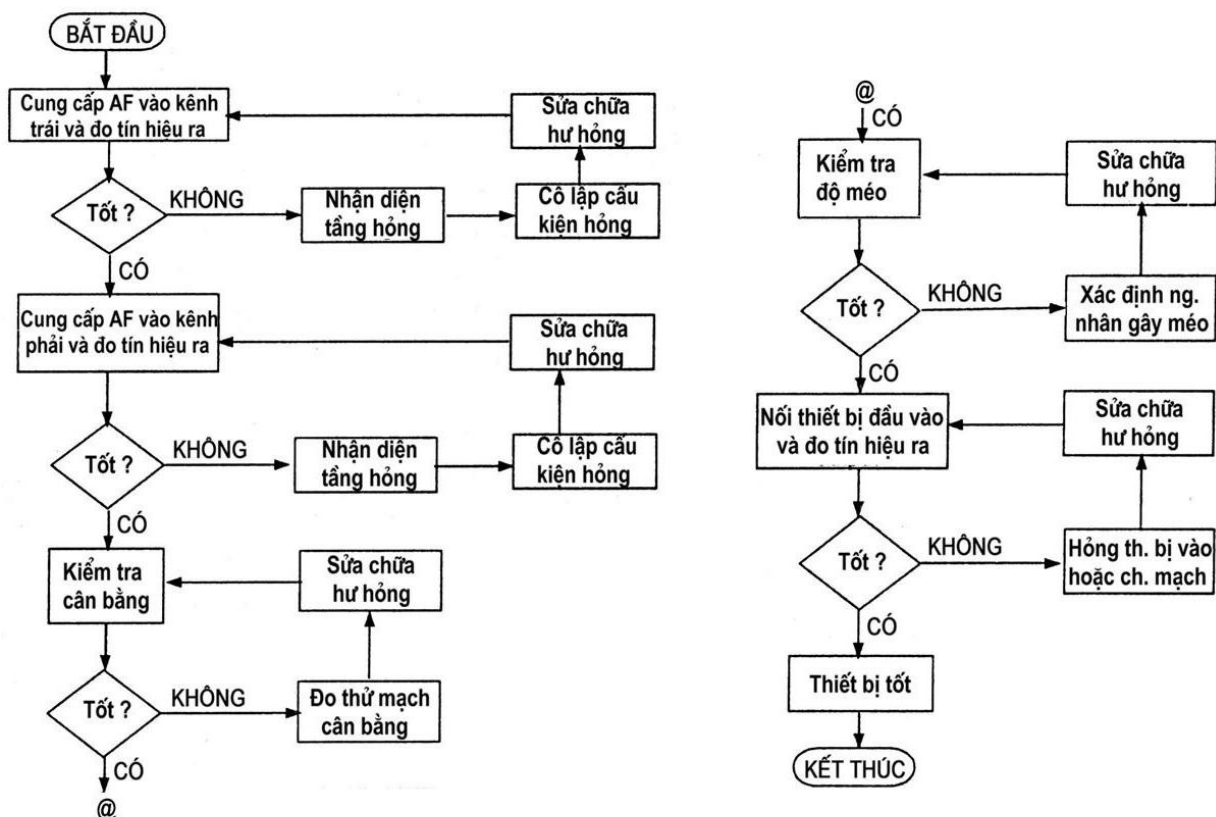
- **Âm nền khi mức volume thấp không tái tạo được chính xác.** Kiểm tra biến trở điều chỉnh âm lượng, làm sạch tiếp xúc, hoặc thay thế biến trở nếu cần.

- **Không thể điều chỉnh cân bằng.** Có thể hỏng mạch cân bằng. Kiểm tra biến trở cân bằng, làm sạch nếu cần. Thay thế biến trở nếu làm sạch không khắc phục được.

- **Xuyên âm.** Khi tín hiệu của một kênh có ở kênh khác thì gọi là xuyên âm. Mạch nguồn cung cấp chung cho cả hai kênh, hở tụ giải ghép có thể gây xuyên âm. Đo thử tụ giải ghép, nếu đứt thì cần phải thay thế.

### Quy trình đo thử để xác định sai hỏng ở hệ thống stereo.

Quy trình các bước để xác định hư hỏng trong hệ thống khuếch âm stereo được thể hiện theo lưu đồ cho ở hình 5.22.



Hình 5.22: Quy trình đo và sửa chữa bộ khuếch âm stereo.

### 5.3.3 ĐO THỬ TRONG MÁY QUAY ĐĨA NÉN - CD [COMPACT DISC].

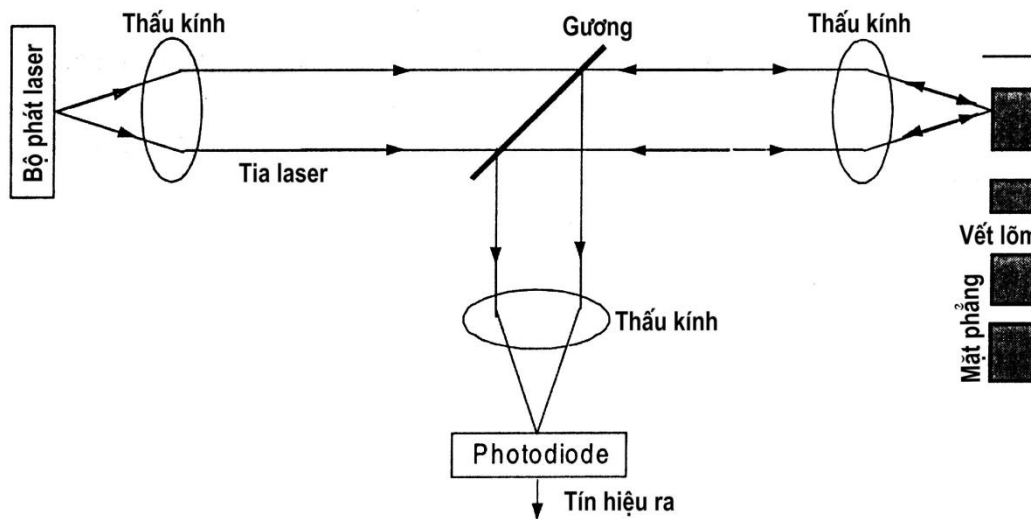
Đĩa compact là đĩa quang học làm bằng polycarbonate, bổ sung một lớp nhôm mỏng để đĩa phản xạ ánh sáng, và được bảo vệ nhờ lớp keo trong suốt. Ghi các chương trình âm thanh trên đĩa sẽ xảy ra từ tâm tiến dần ra biên. Đĩa được đựng trong hộp nhựa.

#### Nguyên lý

Tia laser được tạo ra từ bộ phát laser bán dẫn làm bằng aluminium-gallium-arsenide (bước sóng 780nm), gắn trên đĩa compact truyền qua một gương được tráng bạc bán phần. Gương cho phép tia truyền qua gương nhưng không cho phép tia hồi truyền qua. Tia hồi được phản xạ từ bề mặt phẳng bằng nhôm và sẽ tương ứng với bit số 1. Chỉ có tia phản xạ không đáng kể từ vết lõm tương ứng với bit số 0. Như vậy, tia laser phản hồi là bản sao của tia laser ban đầu được điều chế bởi các chữ số nhị phân của các tín hiệu audio. (Quá trình phản xạ cơ bản thể hiện ở hình 5.23).

Các chữ số nhị phân sẽ được tái tạo khi có ánh sáng bị phản xạ chiếu vào diode nhạy quang. Tín hiệu ra số của diode sẽ được xử lý và biến đổi thành tín hiệu tương tự ban đầu. Sơ đồ khối của mạch tách tín hiệu như ở hình 5.24. Các tín hiệu điều khiển cho phép tổ hợp bất kỳ của các rãnh để được quay theo

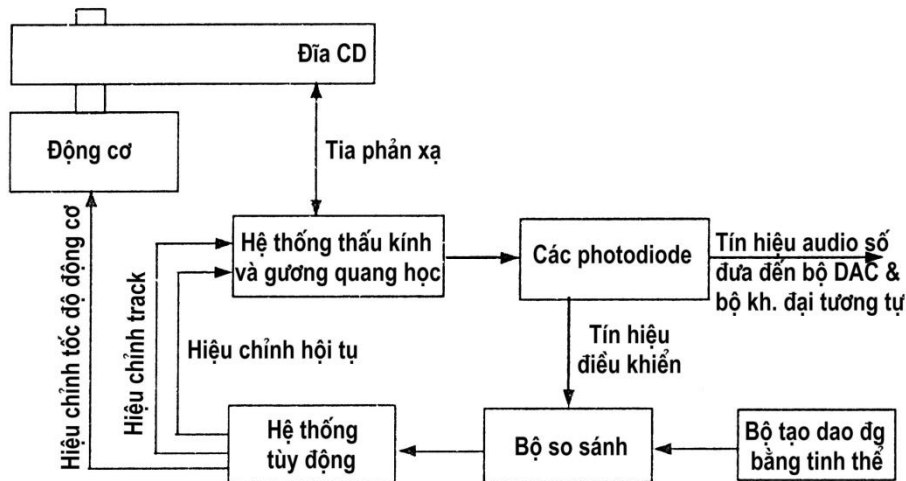
trình tự nào đó nhờ bàn phím. Cũng như vậy, việc hiển thị nội dung sẽ được cung cấp đến màn hình khi bản nhạc đang được thể hiện.



Hình 5.23: Sơ đồ truyền tia laser ở ổ đĩa compact.

Tín hiệu tốc độ cao nhận được từ đĩa, sẽ được so sánh với tín hiệu của bộ tạo dao động bằng tinh thể. Sự khác nhau bất kỳ sẽ tạo ra tín hiệu điều chỉnh đưa đến hệ thống tùy động [servo system].

Hệ thống tùy động có độ chính xác rất cao sẽ kết hợp âm thanh stereo. Các tín hiệu stereo được ghép kênh trước khi điều chế với tia laser. Sau khi tách tín hiệu, các tín hiệu ghép kênh phải được giải ghép để cung cấp cho hai kênh riêng rẽ của hệ thống stereo.



Hình 5.24: Sơ đồ khối mạch tách tín hiệu cơ bản ở máy quay đĩa CD.

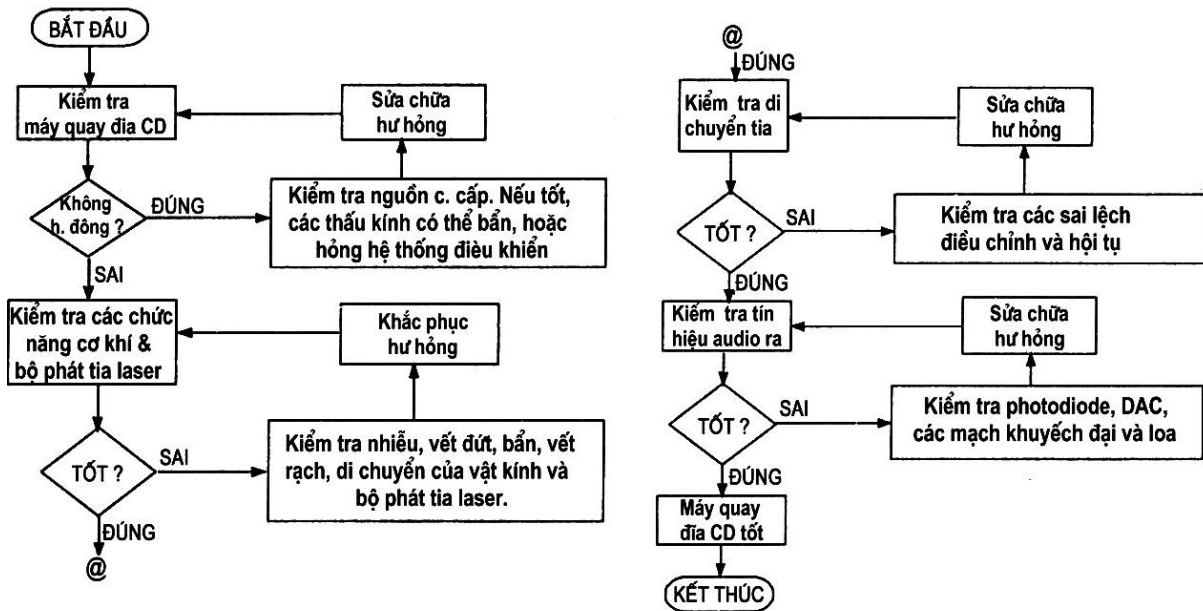
Việc quét các khe bằng tia laser tiến hành từ tâm tiến dần ra rìa của đĩa, nên đĩa phải được quay do đó tia laser sẽ được di chuyển từ tâm ra mép đĩa. Khi vòng tròn của các đường xoắn ốc ngoài cùng lớn hơn so với các vòng xoắn ốc trong cùng, tốc độ trên rãnh tạo ra không đổi (vận tốc đường không đổi) bằng cách thay đổi tốc độ quay của đĩa từ 500 vòng / phút tại tâm đến 200 vòng / phút tại mép ngoài cùng.

Tốc độ quét vào khoảng 1,2m/s. Tổng chiều dài của rãnh ghi là 6km, nên thời gian quay đĩa là 60 phút cộng với khoảng 20 phút cho hiệu chỉnh sai lệch. Đáp ứng tần số của đĩa compact từ 20Hz đến 20kHz và tỷ số tín hiệu trên tạp âm là 90dB.

Các hư hỏng thông thường ở máy quay đĩa CD có thể là:

1. Bộ phát laser ghim ở mức 1 hoặc 0.
2. Bắn các thấu kính.

3. Hỏng mạch hội tụ.
  4. Photodiode bị đứt hoặc ngắn mạch.
  5. Hỏng mạch biến đổi số sang tương tự.
  6. Hỏng mạch khuếch đại audio tương tự.
  7. Hệ thống tùy động không hoạt động làm cho tốc độ của động cơ quay đĩa và hệ thống thấu kính sai.
- Các bước đo thử sửa chữa máy quay đĩa compact cho theo lưu đồ hình 5.25.



Hình 5.25: Quy trình đo thử sửa chữa ổ đĩa CD.

Tóm lại, khi âm thanh được biến đổi thành các tín hiệu điện, thì tín hiệu điện được gọi là tín hiệu âm tần hay audio. Các bộ phận chính của một hệ thống audio là: microphone, mạch khuếch đại, mạch xử lý (mạch ghi âm / mạch phát, mạch điều chế / giải điều chế). Các hư hỏng thông thường trong thiết bị audio là: mất tín hiệu ra, âm lượng thấp, mức tạp âm và nhiễu vượt quá, xuyên âm, mất cân bằng (ở các hệ thống stereo) và méo tín hiệu ra. Tăng hỏng có thể cô lập bằng cách cung cấp tín hiệu âm tần từ một máy tạo tín hiệu audio và dò tìm hư hỏng bằng máy hiện sóng hoặc bằng đồng hồ đo. Cấu kiện hỏng có thể nhận biết từ các trị số đo được của điện trở, điện áp và dạng tín hiệu tại các điểm đo thử quy định. Các hư hỏng điển hình trong hệ thống trang âm, bộ khuếch âm stereo, máy quay đĩa CD đã được giải thích ở trên.

#### 5.4 ĐO THỬ CÁC THIẾT BỊ THÔNG TIN VÔ TUYẾN

Trong các hệ thống thông tin vô tuyến, các chương trình nguồn được biến đổi thành các tín hiệu điện (gọi là các tín hiệu băng gốc), và được máy phát truyền đến các máy thu tại các khoảng cách xa nhờ các sóng điện từ tần số cao đã điều chế và bức xạ từ antenna. Sóng điện từ truyền trong không gian với vận tốc ánh sáng sẽ thu được bằng cách cảm ứng vào ăng ten ở máy thu. Các tín hiệu băng gốc sẽ được tách sóng trong máy thu và cuối cùng được biến đổi thành các chương trình nguồn nhờ loa. Tổ hợp của thiết bị thu phát audio như ở hình 5.26.

Chiều dài của khung ăng ten tùy thuộc vào tần số sử dụng, thường bằng  $\frac{\lambda}{2}$  hoặc  $\frac{\lambda}{4}$ , trong đó  $\lambda$  là bước sóng của sóng điện từ sử dụng. Quan hệ giữa  $\lambda$  tính theo mét và tần số  $f$  tính theo MHz cho bởi phương trình,

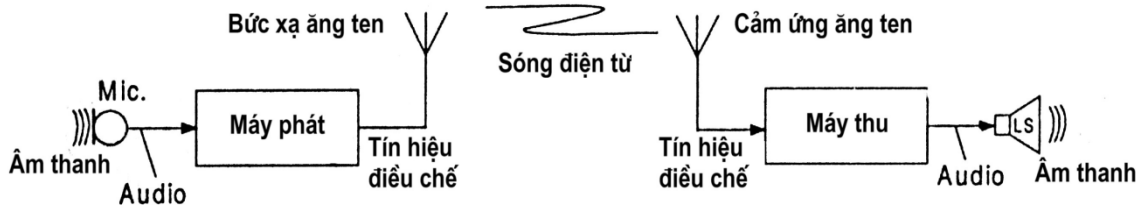
$$\lambda = \frac{300}{f}$$

##### 5.4.1 SỰ CẦN THIẾT CỦA VIỆC ĐIỀU CHẾ.

Thông tin hay các tín hiệu băng gốc là các tín hiệu tần số thấp. Ví dụ, dải tần số của các chương trình audio chỉ trong khoảng từ 16Hz đến 20kHz. Các chương trình như vậy không thể bức xạ trực tiếp vào

không gian bởi các lý do sau:

1. Do tất cả các chương trình đều nằm trong cùng dải tần số, nên sẽ gây nhiễu lẫn nhau với chương trình khác ở phía thu.
2. Độ dài của antenna yêu cầu sẽ quá lớn để có thể thu được tín hiệu. Chẳng hạn, đối với tín hiệu 1000Hz, tính một phần tư bước sóng sẽ cho độ dài antenna phải là 75km.



Hình 5.26: Tổ hợp thông tin vô tuyến cơ bản.

Các trở ngại trên sẽ được giải quyết bằng cách đặt các tín hiệu băng gốc tần số thấp lên trên sóng tần số cao nhờ một quá trình gọi là điều chế.

Sóng tần số cao sẽ có vai trò như sóng mang đối với các tín hiệu băng gốc. Tín hiệu băng gốc khi được đặt trên tín hiệu tần số cao sẽ trở thành một phần của sóng mang tần số cao theo cùng kiểu “như một gói bưu kiện được giữ trong máy bay sẽ trở thành một phần của máy bay. Tại điểm đích bưu kiện sẽ được lấy ra khỏi máy bay”. Tương tự, tại trạm thu tín hiệu băng gốc sẽ được khôi phục từ sóng mang tần số cao. Quá trình khôi phục tín hiệu từ sóng mang được gọi là ‘giải điều chế’ hay ‘tách sóng’.

Đối với thông tin vô tuyến, các tần số sóng mang được ký hiệu theo tần số trung bình hay băng sóng trung (dải tần số từ 300kHz đến 3MHz), băng sóng cao hay HF (từ 3MHz đến 30MHz), băng tần rất cao hay VHF (30MHz đến 300MHz), băng tần siêu cao hay UHF (300MHz đến 3000MHz) và băng tần siêu siêu cao hay SHF (3GHz đến 30GHz). Dải tần số cao UHF và SHF (2GHz đến 30GHz) cũng được gọi là vi ba. Các sóng cao tần như vậy cần ăng-ten có các độ dài thích hợp để có thể thực hiện truyền sóng. Ví dụ, tín hiệu 1MHz cần ăng-ten có chiều dài 75m; 10MHz, cần ăng-ten có độ dài 7,5m; 100MHz, cần ăng-ten có độ dài 75cm; 1000MHz, cần ăng-ten có độ dài 7,5cm.

Ngoài ra, các tín hiệu băng gốc chỉ chiếm một phần nhỏ của tần số sóng mang. Hàng loạt các tín hiệu băng gốc có thể được cung cấp trong một băng tần. Ví dụ, 300 chương trình có độ rộng băng tần 9kHz (các chương trình phát thanh quảng bá thông thường) có thể được cung cấp trong một băng tần từ 0,3MHz đến 3MHz (= 2700kHz), hoặc 27000 tín hiệu có độ rộng băng tần 1kHz (các tín hiệu điện báo morse) trong băng tần HF (3MHz đến 30MHz) mà không gây nhiễu lẫn nhau. Do đó, quá trình điều chế sẽ giải quyết được cả hai vấn đề đã đề cập ở trên.

#### 5.4.2 SỰ TRUYỀN LAN CỦA SÓNG ĐIỆN TỬ.

Trái đất được bao bọc bằng các lớp ion trong bầu khí quyển gọi là **tầng điện ly**, đóng vai trò quan trọng trong việc phản xạ các tín hiệu tần số cao và trung bình. Các lớp ion được ký hiệu là các lớp D, E, F và phân bố phía trên bề mặt trái đất tại vị trí cao độ khoảng 50km, 110km và 220km, tương ứng. Ban ngày, lớp D sẽ hấp thụ các tín hiệu sóng trung (nhưng không hấp thụ các sóng tần số cao), do vậy ban ngày các tín hiệu sóng trung có thể truyền đến máy thu theo đường truyền cùng với đất nhưng có sự suy giảm về cường độ tín hiệu, nên sẽ hạn chế khoảng cách truyền sóng. Nhưng vào ban đêm, lớp D sẽ biến mất và tín hiệu sóng trung cũng như tín hiệu sóng cao tần truyền khoảng cách xa hơn sau khi được phản xạ từ lớp E hoặc lớp F cao hơn, cho nên các tín hiệu phát thanh quảng bá sóng trung sẽ được cải thiện vào ban đêm. Khoảng cách ngắn nhất từ máy phát mà sóng phản xạ truyền đến đất gọi là *khoảng cách phản xạ*. Khoảng cách phản xạ tùy thuộc vào tần số. Tần số cao hơn sẽ cho khoảng cách phản xạ cao hơn. Nếu khoảng cách giữa máy phát và máy thu ngắn, sóng phản xạ có thể nhảy quá khoảng cách, khi bị phản xạ từ các độ cao trên mực nước biển. Để tránh các tình trạng đó, dải tần số thấp sẽ được sử dụng vào ban đêm để truyền thông tin.

Tầng điện ly là trong suốt với VHF và các tín hiệu tần số cao hơn, nên không bị phản xạ từ tầng điện ly. Do đó các tín hiệu VHF và tín hiệu tần số cao hơn sẽ truyền trong không gian theo đường thẳng giống như ánh sáng, và khoảng cách trên mặt đất giữa máy phát và máy thu sẽ bị giới hạn theo phương ngang

tức là bị hạn chế tầm nhìn thẳng, do độ cong của bề mặt trái đất. Độ cao ăng-ten phát cao hơn, khoảng cách tầm nhìn thẳng sẽ lớn hơn. Các tháp ăng-ten cao trên mặt đất giới hạn tầm nhìn thẳng vài chục km, nếu đặt ăng-ten trên các đồi cao sẽ làm tăng khoảng cách truyền lên đến vài trăm km, nhưng có thể làm tăng khoảng cách truyền lên đến vài ngàn km nhờ các vệ tinh thông tin.

**5.4.3 CÁC KIỂU ĐIỀU CHẾ**

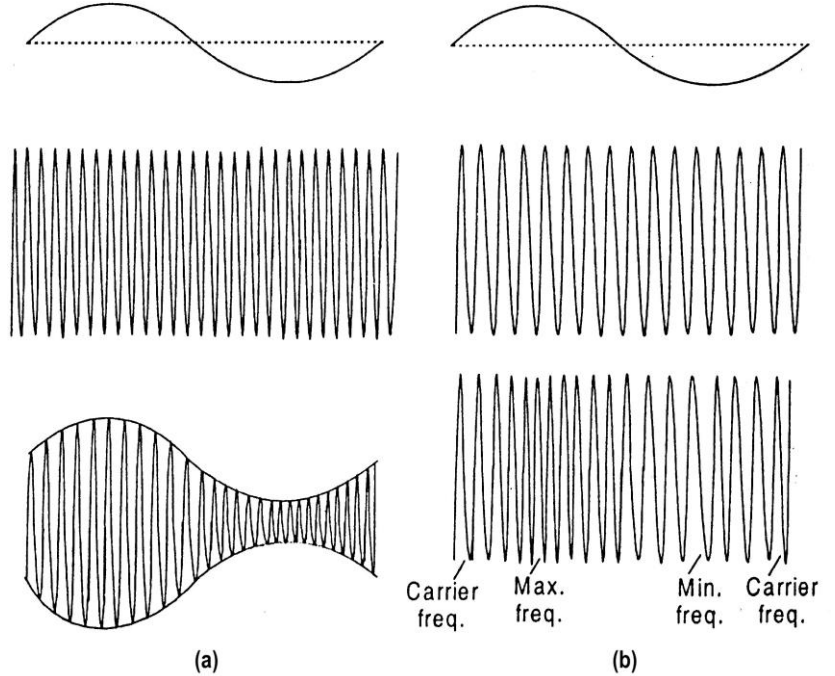
Trong thực tế, điều chế là phương pháp xử lý tín hiệu băng gốc làm thay đổi thông số của sóng mang cao tần; hoặc là biên độ, hoặc là tần số hay pha. Các kiểu điều chế thường sử dụng trong các hệ thống phát thanh quảng bá gồm: điều chế biên độ (AM), điều chế tần số (FM), điều chế pha (PM).

**- Điều chế biên độ**

Khi biên độ của sóng mang RF bị thay đổi tuân theo biên độ của tín hiệu băng gốc, thì quá trình được gọi là điều chế biên độ (AM).

**- Điều chế tần số**

Khi tần số của sóng mang cao tần (RF) thay đổi (trong phạm vi vài kilohertz) phù hợp với biên độ của tín hiệu băng gốc, thì quá trình được gọi là điều chế tần số (FM).



Hình 5.27: (a) điều chế biên độ, (b) điều chế tần số.

Dạng sóng của tín hiệu băng gốc, tín hiệu sóng mang cao tần và sóng mang RF điều chế của AM thể hiện ở hình 5.27a, còn đối với các dạng sóng FM ở các hình 5.27b.

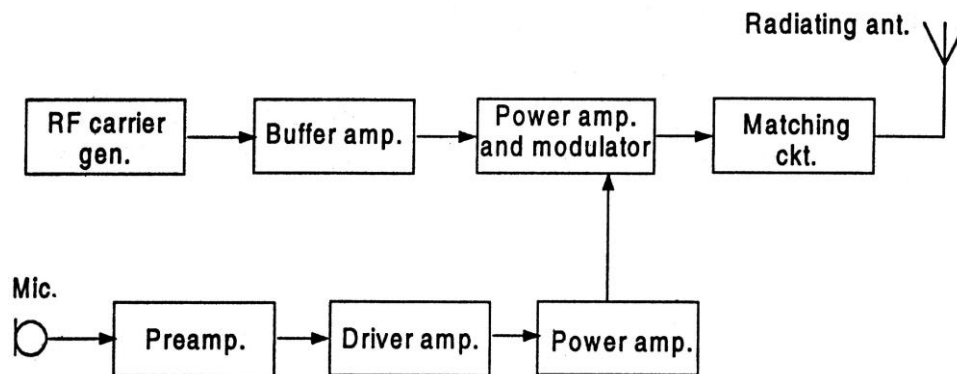
**- Điều chế pha**

Khi pha của sóng mang cao tần (RF) thay đổi phù hợp với biên độ của tín hiệu băng gốc, quá trình được gọi là ‘điều chế pha’ (PM). Khi pha của tín hiệu thay đổi, trong thực tế thực chất là thay đổi về tần số. Nếu xem xét kỹ hình 5.27b, ta sẽ thấy rằng pha của mỗi chu kỳ RF là sự thay đổi dần dần khi biên độ của tín hiệu băng gốc thay đổi. Vậy máy thu sẽ xem dạng sóng điều pha như dạng sóng điều tần. Ưu điểm của điều pha so với điều tần là ở chỗ có thể dùng bộ dao động tinh thể để tạo ra sóng mang RF ở bộ điều chế pha, nên cho độ ổn định cao hơn. Dao động tinh thể không thể sử dụng trực tiếp trong điều chế tần số.

**5.4.4 MÁY PHÁT AM**

Hình 5.28, là sơ đồ khối của máy phát AM điển hình.

Phần cao tần sẽ tạo ra sóng mang RF có tần số cao không đổi và biên độ không đổi, tín hiệu cao tần tạo



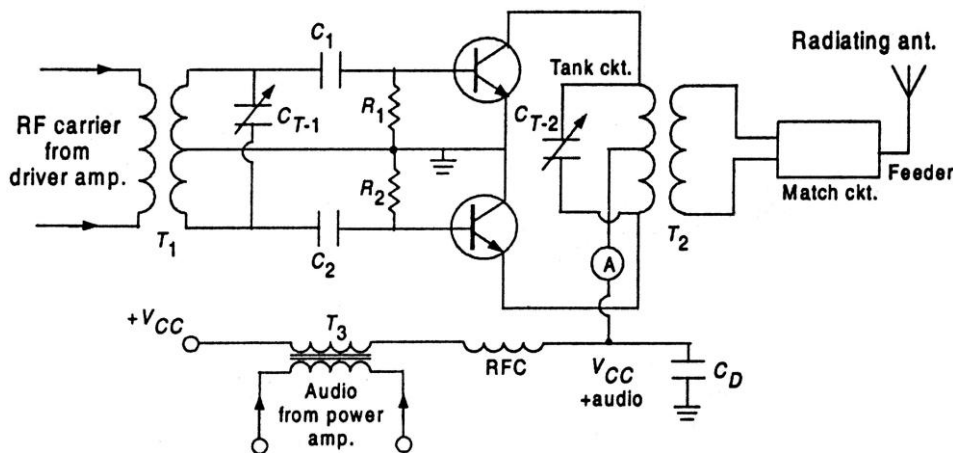
Hình 5.28: Sơ đồ khối của máy phát AM.



ra sẽ được khuếch đại bởi bộ khuếch đại đệm. Phần AF sẽ khuếch đại tín hiệu âm tần (thu được từ microphone) và sẽ cung cấp tín hiệu âm tần đến bộ điều chế. Bộ điều chế sẽ nhận hai tín hiệu, một tín hiệu là sóng mang RF và tín hiệu còn lại là tín hiệu âm tần. Chức năng của bộ điều chế là làm thay đổi biên độ của tín hiệu RF phù hợp với tín hiệu âm tần. Trở kháng lớn nhất của mạch RF được điều hưởng ở đầu ra sẽ làm giảm dòng cân bằng khi mạch được điều hưởng. Tín hiệu điều chế sẽ được đưa đến antenna thông qua mạch phối hợp trở kháng. Antenna sẽ bức xạ tín hiệu điều chế RF vào không gian dưới dạng sóng điện từ.

**a) Các sai hỏng thông thường ở máy phát AM**

Các sai hỏng ở bộ dao động và các bộ khuếch đại RF đã được giải thích ở chương 4 (mục 4.1.10). Do vậy, ở đây chỉ xem xét các hư hỏng điển hình ở tầng ra cuối của bộ điều chế RF (thường được gọi là tầng khuếch đại công suất - PA). Tầng điều chế AM điển hình của máy phát tần số cao như ở hình 5.29. Điện áp collector đưa đến các transistor của tầng PA không chỉ là  $V_{CC}$  mà là  $V_{CC}$  cộng với điện áp âm tần xuất hiện tại cuộn thứ cấp của biến áp điều chế  $T_3$ . Điện áp đó sẽ làm thay đổi  $V_{CC}$  có tại collector của các transistor ở tầng PA (được mắc theo kiểu dây kéo), gây ra dòng collector thay đổi tuân theo tín hiệu âm tần, và do đó sẽ có tín hiệu tần số cao điều chế biên độ trên cuộn thứ cấp của biến áp RF,  $T_2$  (còn gọi là mạch cộng hưởng). Tín hiệu đã điều chế sẽ được đưa đến ăng-ten máy phát thông qua bộ phối hợp trở kháng của ăng-ten và dây dẫn sóng [feeder] hay đường truyền. Khi mạch cộng hưởng (mạch cộng hưởng song song) ở đầu ra của tầng khuếch đại cuối được điều chỉnh để có tín hiệu AM lớn nhất theo tần số yêu cầu, thì đồng hồ đo dòng sẽ chỉ thị sự sụt giảm ở dòng collector bởi vì trở kháng của mạch cộng hưởng lớn nhất. Bảng 5.3: Liệt kê một số sai hỏng thường có ở mạch điều chế và ảnh hưởng của các sai hỏng trên tín hiệu ra.



Hình 5.29: Sơ đồ mạch điển hình của tầng điều chế AM.

**Bảng 5.3:** Các sai hỏng điển hình ở tầng điều chế

Cấu kiện/bộ phận sai hỏng	Ảnh hưởng
1. Biến áp điều chế $T_3$ bị ngắn mạch	Tín hiệu âm tần sẽ không làm $V_{CC}$ biến thiên và do đó không có điều chế
2. Cuộn thứ cấp của biến áp điều chế hay cuộn điện cảm cao tần (RFC) hở mạch	$V_{CC}$ sẽ không đưa đến các collector của tầng khuếch đại công suất (PA), nên không có tín hiệu ra tần số cao
3. Tụ $C_D$ bị hở mạch	Chức năng giải ghép mất tác dụng có thể tạo nên hồi tiếp dương đến mạch khuếch đại khác nào đó thông qua đường nguồn cung cấp và do đó sẽ làm méo dạng tín hiệu RF
4. Tụ $C_D$ bị ngắn mạch	Ngắn mạch tụ $C_D$ sẽ gây ra ngắn mạch đường nguồn cung cấp. Cầu chì bị nổ
5. Tụ của mạch cộng hưởng $C_{T2}$ bị ngắn mạch	Biến áp sẽ không được điều hưởng. Không có suy giảm ở đồng hồ đo dòng collector khi điều hưởng đạt được. Không có tín hiệu ra RF
6. Hở mạch tụ của khung	Biến áp sẽ không được điều hưởng. Không sụt giảm ở dòng collector.

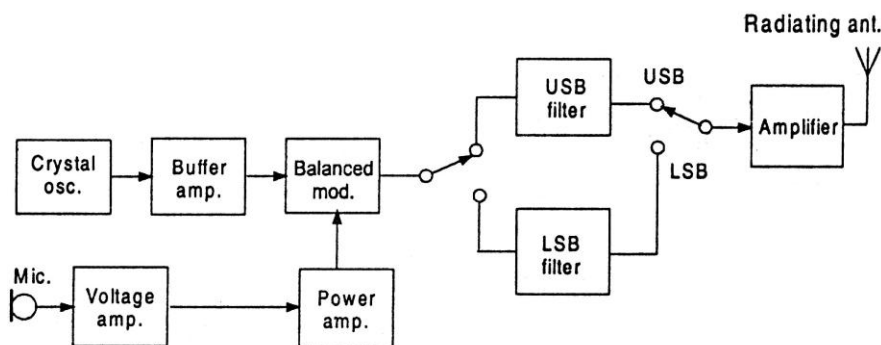
- cộng hưởng
7. Nối đất emitter bị hở mạch
8. Hở mạch một trong hai transistor nào đó
9. Một trong hai transistor nào đó bị ngắn mạch
10. Điện trở base  $R_1$  hay  $R_2$  đứt
11. Tụ ghép tầng  $C_1$  hoặc  $C_2$  đứt
12. Một tụ ghép nào đó bị ngắn mạch
13. Mạch điều hướng ở đầu vào bị ngắn mạch hay biến áp  $T_1$  bị đứt
14. Tụ  $C_{T1}$  hoặc  $C_{T2}$  bị đứt
15. Các mạch của máy phát không điều hướng đúng ở các tầng trước
- Tuy nhiên có thể có nhiều sóng hài ở tín hiệu RF.
- Transistor như bị hở mạch và do đó không có RF ở đầu ra. Ngoài ra cũng không có dòng collector
- Hoạt động đẩy kéo sẽ không có dẫn đến tăng độ méo dạng
- $V_{CC}$  sẽ bị ngắn mạch. Cầu chì sẽ nổ.
- Base sẽ hở mạch nên transistor liên quan sẽ ngưng dẫn
- RF sẽ không được cung cấp đến một transistor. Do đó không có hoạt động đẩy kéo
- Phân cực (được tạo ra do hoạt động của mạch) sẽ không có để đưa đến một transistor làm mất cân bằng ở mạch khuếch đại đẩy kéo gây ra méo dạng tín hiệu.
- Không có tín hiệu vào RF và do đó không có tín hiệu ra RF
- Tín hiệu vào tần số cao sẽ không bị suy giảm một cách thực chất nên tín hiệu ra RF không đáng kể.
- Tín hiệu ra RF thấp.

## b) Điều chỉnh và đo thử máy phát AM

Một máy phát tín hiệu gồm hàng loạt các mạch cộng hưởng, được điều chỉnh để có tần số quy định. Các mạch cộng hưởng được điều chỉnh lần lượt để cho điện áp RF tại đầu vào của mạch khuếch đại công suất ra cuối là lớn nhất, và cuối cùng là điều chỉnh mạch cộng hưởng ở đầu ra để cho sự suy giảm ở dòng hồ đo dòng collector. Tiếp theo là điều chỉnh mạch ăng-ten (hay mạch phối hợp) để tăng mức dòng collector có thể đạt đến giá trị lớn nhất.

Máy phát sẽ được đo thử với tần số cao đúng, công suất RF lớn nhất, tỷ số sóng dừng nhỏ nhất, không có các sóng hài, chỉ số điều chế yêu cầu ở tín hiệu ra và tín hiệu điều chế có độ méo dạng và tạp âm thấp nhất.

### 5.4.5 MÁY PHÁT SÓNG ĐƠN BIÊN - SSB



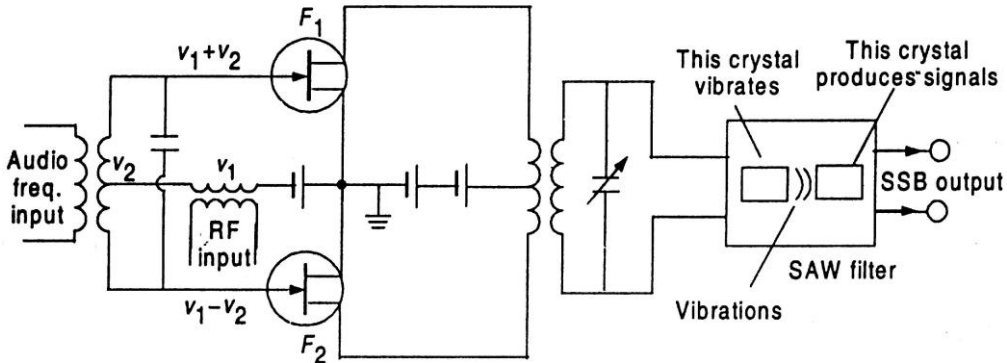
Hình 5.30: Sơ đồ khối của máy phát SSB cơ bản.

Điều chế biên độ sẽ tạo ra hai dải biên, gọi là dải biên trên (USB) và dải biên dưới (LSB), cùng với tín hiệu sóng mang. Kiểu điều chế như vậy được gọi là điều chế song biên AM - (AMDSB), và được ký hiệu là A3E. Hệ thống điều chế biên độ song biên đơn giản, dễ dàng tách sóng và sử dụng trong các hệ thống phát thanh quảng bá công cộng, nhưng hệ thống điều chế biên độ song biên chiếm khoảng phổ tần số cao và mức nguồn cung cấp lớn hơn nên hiệu suất thấp. Mức công suất âm tần đều có trong cả hai dải biên, vì vậy khi truyền một dải biên là đủ để khôi phục chương trình ở máy thu. Việc nén sóng mang

và dải biên còn lại sẽ cho phép tiết kiệm nguồn cung cấp. Hơn nữa, việc phát chỉ một dải biên sẽ tiết kiệm phổ tần số cao khi độ rộng kênh yêu cầu sẽ được giảm xuống một nửa.

Máy thu đơn biên có giá thành cao bởi vì cần phải có dao động nội của sóng mang RF và yêu cầu rất nhiều mạch lọc. Hệ thống máy thu đơn biên không sử dụng được ở hệ thống phát thanh quảng bá công cộng. Lý do đơn giản là máy thu chế tạo cho người dùng phải có giá thành thấp. Tuy nhiên, trong các trường hợp máy thu công cộng không phức tạp về mặt thông tin, nhưng cần phải tiết kiệm nguồn và phổ tần thì sử dụng hệ thống SSB. Các tổ chức sử dụng hệ thống SSB là các dịch vụ thông tin của quân đội, cảnh sát, hàng hải và người chơi vô tuyến nghiệp dư. Hệ thống SSB được gọi là hệ thống J3E. Hình 5.30, là sơ đồ khối của máy phát SSB cơ bản.

Khối cơ bản khác với máy phát AM là mạch điều chế cân bằng như ở hình 5.31.



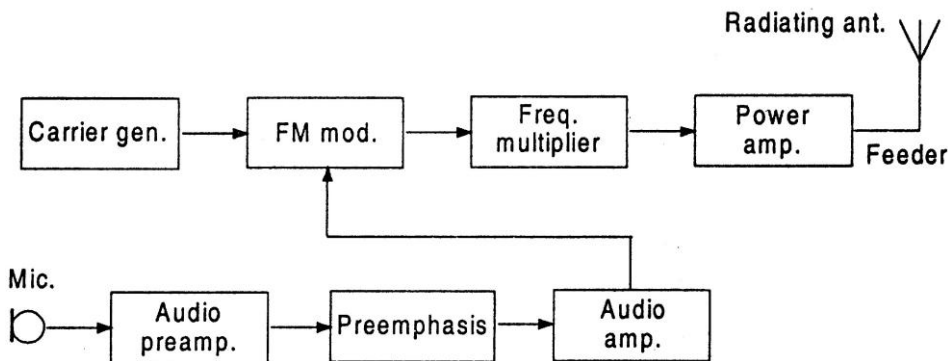
Hình 5.31: Mạch điều chế cân bằng.

Tín hiệu RF  $v_1$  sẽ được cung cấp vào các JFET  $F_1$  và  $F_2$  cùng pha, nhưng tín hiệu âm tần  $v_2$  có bán kỳ dương trên một JFET và có bán kỳ âm trên JFET còn lại tại hai đầu ngược nhau của cuộn thứ cấp của biến áp vào. Tác dụng của điều đó là làm cho sóng mang  $v_1$  sẽ được triệt tiêu khi chảy theo chiều ngược lại thông qua cuộn sơ cấp. Các tín hiệu liên quan với  $v_2$ , tức là dải băng cao hơn và dải băng thấp hơn có ở đầu ra. Một dải biên đã được suy giảm thấp nhất là 45dB bởi sóng âm thanh bề mặt (bộ lọc SAW - Surface Acoustic Wave, sử dụng hiệu ứng áp điện). Do vậy, ta có tín hiệu ra của hệ thống SSB.

Bộ điều chế cân bằng sẽ không cung cấp tín hiệu ra nếu đường nguồn cung cấp trở nên bị hở mạch hoặc ngắn mạch, nếu một FET bất kỳ bị ngắn mạch (tức sẽ làm ngắn mạch nguồn cung cấp), nếu biến áp audio bị hở mạch hay ngắn mạch, hoặc nếu tụ điều hưởng của mạch đầu ra bị ngắn mạch. Nếu bất kỳ một FET nào hở mạch, sẽ không có sự triệt tiêu sóng mang.

### 5.4.6 MÁY PHÁT ĐIỀU TẦN - FM

Phương pháp điều chế khác được sử dụng phổ biến là điều chế tần số (FM). Ở kiểu điều tần, ta có thể thay đổi tần số hoặc pha của sóng mang. Điều chế tần số được dùng rộng rãi ở phát thanh quảng bá có độ trung thực cao và dùng cho hai đường thông tin có khoảng cách gần của quân đội và cảnh sát hay cấp cứu y tế.



Hình 5.32: Sơ đồ khối của máy phát FM.

Ngoài ra, FM cũng được sử dụng trong thông tin vệ tinh và các hệ thống phát hình (dùng để điều chế sóng mang audio) do có mức nhiễu thấp. Sơ đồ khối của một máy phát FM điển hình cho ở hình 5.32.

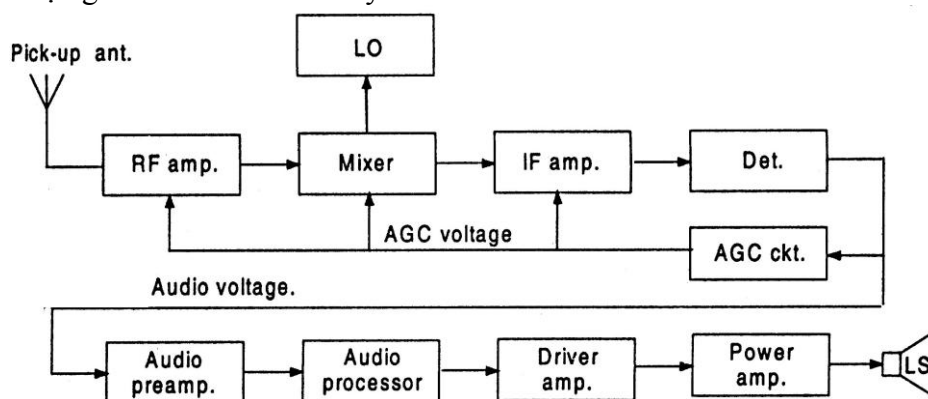
Điện kháng song song với mạch cộng hưởng của bộ tạo dao động sóng mang sẽ biến thiên theo tín hiệu audio và do đó sẽ biến thiên theo tần số, tạo nên sự điều chế tần số. Các sai hỏng ở máy phát sóng FM là ít hơn nhiều so với hư hỏng ở máy phát AM. Các dạng sai hỏng có thể là do các cấu kiện (thụ động cũng như tích cực) bị hở mạch hay ngắn mạch, hoặc đường nguồn cung cấp bị hở mạch hay ngắn mạch, hoặc các kết nối bị lỏng lẻo hay bị hở mạch. Hở mạch hay ngắn mạch phần audio sẽ không tạo ra sự điều chế, mặc dù vẫn có tín hiệu RF. Sai hỏng bất kỳ ở mạch dao động, điều chế, các mạch nhân tần hay hệ thống khuếch đại công suất cuối sẽ không cho các tín hiệu RF. Nếu có tín hiệu RF đã điều chế tại đầu ra của tầng khuếch đại công suất (FA), mà tín hiệu FM vẫn không được phát xạ khi thấy chỉ thị cường độ trường, thì hư hỏng có thể ở trong đường dây nối (feeder).

Hệ thống phát thanh quảng bá FM có độ trung thực cao, ngày càng trở nên phổ biến do mức nhiễu thấp, đáp ứng tần số bằng phẳng và độ méo thấp. Âm thanh nổi (stereo) dùng để tạo ra hiệu ứng thực tế có độ trung thực cao.

### 5.4.7 MÁY THU QUẢNG BÁ ĐIỀU BIÊN

#### a) Nguyên lý hoạt động

Sơ đồ khối của máy thu thanh quảng bá điều biên (AM) như ở hình 5.33. Chức năng của mỗi khối sẽ được giải thích như dưới đây.



Hình 5.33: Sơ đồ khối của máy thu đổi tần.

**b) Antenna thu.** Antenna thu trích dẫn năng lượng từ sóng điện từ truyền trong không gian. Sóng điện từ sẽ được biến đổi thành tín hiệu điện áp (tín hiệu cao tần - RF) và đưa đến tầng đầu tiên trong máy thu.

**c) Mạch khuếch đại cao tần [RF amp]** Các mạch bộ khuếch đại cao tần đã được đề cập ở chương 4 (hình 4.18). Các tầng khuếch đại cao tần là các tầng cơ bản có trong các máy thu thông tin, tuy nhiên không bắt buộc phải có trong các máy thu quảng bá. Mạch khuếch đại cao tần sẽ thực hiện các chức năng sau:

(i) Tạp âm nội của transistor khi dùng làm mạch khuếch đại là nhỏ hơn nhiều so với khi cùng transistor dùng làm mạch trộn không tuyến tính, nên mạch sẽ cải thiện tỷ số tín hiệu trên tạp âm.

(ii) Các mạch khuếch đại cao tần sẽ giúp loại bỏ nhiễu tần số ảnh. Các mạch điều hướng trong bộ khuếch đại sẽ được điều hướng đến tín hiệu tần số cao yêu cầu, nên sẽ suy giảm các tín hiệu tần số ảnh.

(iii) Mạch khuếch đại cao tần sẽ khuếch đại tín hiệu đưa vào mạch, và do đó sẽ cải thiện độ nhạy.

(iv) Bằng cách điều hướng đối với RF, độ rộng băng tần của mạch khuếch đại cao tần lớn (độ rộng băng tần =  $f_r / Q$ , trong đó  $f_r$  là tần số cộng hưởng, còn  $Q$  là hệ số phẩm chất của mạch cộng hưởng) và do vậy, mạch khuếch đại cao tần sẽ không ảnh hưởng đến việc cải thiện độ nhạy, mặc dù mạch loại bỏ các tín hiệu nhiễu nhưng chỉ một lượng nhỏ.

(v) Mạch khuếch đại cao tần sẽ tạo ra việc khử ghép tín hiệu dao động nội từ ăng-ten và do đó sẽ ngăn chặn sự phát xạ tín hiệu tần số dao động nội vào không gian.

#### d) Bộ dao động nội

Chức năng của bộ dao động nội (LO), là để tạo ra tín hiệu RF có biên độ không đổi và tần số không đổi đối với các kênh được chọn. Tần số của LO thường được giữ cao hơn so với tần số của kênh được chọn bằng trị số gọi là tần số trung gian hay trung tần - IF. Đối với các máy thu quảng bá, giá trị IF là 455kHz, và do vậy,  $f_o = f_s + 455\text{kHz}$ , trong đó  $f_o$  là tần số của LO và  $f_s$  là tần số của các tín hiệu sẽ được thu. Đối với các máy thu thông tin tần số cao, sử dụng hai mạch khuếch đại trung tần. Bộ IF thứ nhất có tần số cao hơn 1MHz, còn bộ IF thứ hai có tần số 455kHz hay thấp hơn. Đối với các máy thu quảng bá FM VHF, khối IF là 10,7MHz (các sai hỏng ở mạch khuếch đại cao tần và mạch dao động nội đã được giải thích ở chương 4).

#### e) Bộ trộn

Bộ trộn [mixer] là mạch khuếch đại phi tuyến, dùng để thu hai tín hiệu, một tín hiệu từ bộ dao động nội và một tín hiệu khác từ mạch khuếch đại cao tần (RF) (nếu không sử dụng mạch khuếch đại RF, thì tín hiệu thứ hai của bộ trộn nhận từ antenna). Do chức năng phi tuyến của bộ khuếch đại trộn, tín hiệu điều biến sẽ được tạo ra. Nếu  $f_o$  là tần số của LO, và  $f_s$  là tần số của kênh cần thu, thì tín hiệu ra của bộ trộn sẽ gồm các tín hiệu có tần số tín hiệu ( $f_s$ ), tần số dao động nội ( $f_o$ ), tổng của hai tần số ( $f_o + f_s$ ), hiệu của hai tần số ( $f_o - f_s$ ) [tần số trung gian hay trung tần - IF], các tần số hài ( $2f_o$  và  $2f_s$ ) và hàng loạt các tổ hợp tần số khác.

Nếu mạch điều hướng ở đầu ra của tầng trộn được điều chỉnh để có tần số  $f_o - f_s$  (= IF), thì ngoài tín hiệu có tần số  $f_o - f_s$ , tất cả các tần số khác sẽ hầu như bị loại bỏ bởi mạch điều hướng IF, khi các tần số đó có sai lệch so với tần số cộng hưởng của mạch điều hướng IF.

Mặc dù mạch trộn có tần số thấp hơn tần số của tín hiệu RF, nhưng tín hiệu điều chế vẫn không thay đổi ở tín hiệu trung tần (IF). Kỹ thuật tạo ra tín hiệu trung tần được gọi là tạo phách âm hay đơn giản là đổi tần, nên máy thu sử dụng kỹ thuật đổi tần gọi là *máy thu đổi tần*.

Tín hiệu không mong muốn bằng tần số của LO + tần số IF (hay tần số tín hiệu + 2IF) được gọi là *tín hiệu ảnh*, bởi vì bộ dao động nội (LO) cung cấp tín hiệu yêu cầu, cũng sẽ tạo ra tín hiệu ảnh như tín hiệu IF. Vì vậy, ta không thể phân biệt được tín hiệu yêu cầu và tín hiệu gây nhiễu. Do đó, tín hiệu này cần phải tránh trước khi đưa đến tầng trộn. Bất chấp nhược điểm duy nhất là tần số ảnh, tất cả các máy thu thông tin hiện đại đều là các máy thu đổi tần cho các ưu điểm mà IF sẽ cung cấp như sau.

#### Các ưu điểm của IF

1. Độ rộng băng tần của mạch thấp và do đó độ chọn lọc rất tốt. Nhiều kênh lân cận sẽ được khử đến mức rất rõ rệt (60dB hoặc cao hơn).
2. Tất cả các kênh sẽ được biến đổi thành một tần số đơn, nên không cần có sự hiệu chỉnh ở các tầng trung tần (IF).
3. Hệ số khuếch đại cao ở tín hiệu có tần số thấp không đổi.
4. Mạch khuếch đại tín hiệu tần số thấp không đổi ít có khuynh hướng dao động nên tín hiệu rất ổn định.

Các ưu điểm có giá trị nhiều hơn so với chỉ một nhược điểm là nhiễu tần số ảnh. Nhược điểm cũng sẽ khắc phục được khi sử dụng các mạch điều hướng cao tần trước khi trộn, để chỉ cho phép tần số kênh thu đưa đến tầng trộn.

Một tầng trộn điển hình như mạch ở hình 5.34.

Ở đây, tín hiệu LO đã có đưa đến cực cổng và tín hiệu RF đưa đến cực nguồn. Ở các FET cổng đôi, các tín hiệu LO và RF sẽ được đưa vào hai cổng của FET. Ảnh hưởng do các hư hỏng của cấu kiện trong mạch 5.34, sẽ được giải thích dưới đây.

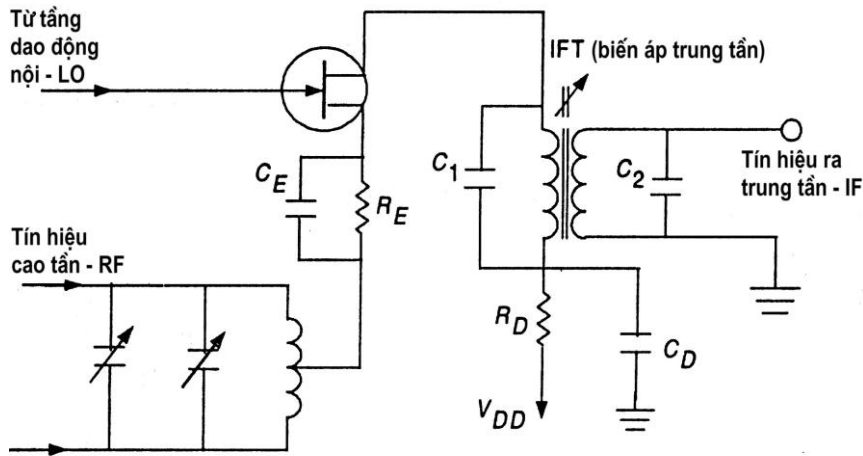
- **FET bị hở mạch hoặc bị ngắn mạch** Sẽ không có tín hiệu ra.

- **Đứt mạch của một đường tín hiệu nào đó (tín hiệu LO hay tín hiệu RF)** Sẽ không có tín hiệu ra, bởi vì tín hiệu IF sẽ không được cung cấp nên mạch điều hướng IF sẽ không truyền bất kỳ tín hiệu nào.

-  **$C_E$  bị hở mạch** Cả hai tín hiệu sẽ truyền qua  $R_E$ , nên sẽ suy giảm cả hai tín hiệu. Tín hiệu LO sẽ gây hồi tiếp âm, còn tín hiệu RF sẽ bị suy giảm do đưa đến  $R_E$  mắc nối tiếp.

-  **$C_E$  bị ngắn mạch**,  $R_E$  cũng sẽ được rẽ mạch đối với dc, làm cho cổng gần bằng 0V so với nguồn, và do đó có mức dòng lớn chảy qua FET. Mức tín hiệu ra sẽ bị giảm và FET sẽ trở nên bị quá nhiệt, dẫn đến đánh thủng FET.

-  $C_1$  hoặc  $C_2$  (tự trimmer) hỏng Khi các trimmer bị ngắn mạch, tín hiệu ra sẽ bằng 0. Các trimmer hở mạch sẽ tạo ra tín hiệu ra thấp, mặc dù điện áp dc vẫn bình thường.



Hình 5.34: Mạch tầng trộn điển hình.

- **Lỗi cuộn dây điều chỉnh sai** Mạch sẽ mất điều hưởng, kết quả là tín hiệu ra yếu và độ chọn lọc thấp hơn bình thường.

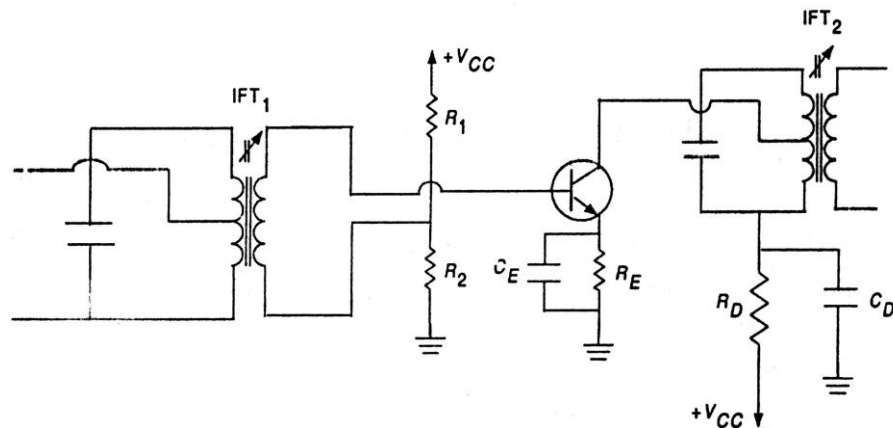
- **Tụ giải ghép  $C_D$  bị ngắn mạch** Nguồn cung cấp sẽ rẽ mạch FET, gây quá dòng nguồn cung cấp và do đó có thể đứt cầu chì.

-  **$C_D$  bị đứt**  $R_D$  sẽ trở nên mắc nối tiếp với mạch cộng hưởng IF và do đó hệ số phẩm chất  $Q$  của mạch cộng hưởng sẽ bị giảm xuống, làm giảm độ chọn lọc.

-  **$R_D$  bị đứt** Điện áp nguồn cung cấp ( $V_{DD}$ ) cung cấp đến FET sẽ mất và do đó mất tín hiệu ra.

#### f) Tầng khuếch đại trung tần (IF)

Mạch khuếch đại trung tần sẽ khuếch đại tín hiệu IF, nên mạch khuếch đại trung tần cần phải có hệ số khuếch đại và độ ổn định cao. Khi tần số trung gian nằm trong khoảng tần số radio, thì mạch khuếch đại IF cũng là mạch khuếch đại tần số cao với các mạch cộng hưởng song song IFT<sub>1</sub> và IFT<sub>2</sub> ở đầu vào và đầu ra của mạch khuếch đại (hình 5.35). Điện áp phân cực được cung cấp bằng  $R_1$ ,  $R_2$  và  $R_E$ , còn mạch giải ghép là  $R_D$  và  $C_D$ . Chỉ khác nhau ở điểm các mạch cộng hưởng ở bộ khuếch đại IF là được điều chỉnh theo IF cố định, trong khi ở bộ khuếch đại RF, các mạch điều hưởng là có thể điều hưởng đến các tần số khác tùy thuộc vào việc chọn kênh cần thu. Các hư hỏng ở bộ khuếch đại IF do đó tương tự như các hư hỏng ở bộ khuếch đại RF, ngoại trừ hư hỏng do tự điều hưởng chính và chuyển mạch thay đổi băng tần. Hơn nữa, nếu độ chọn lọc của kênh lân cận là kém và độ nhạy thấp, thì cần phải điều chỉnh các mạch điều hưởng để cho đáp ứng đỉnh đối với tín hiệu IF. Việc cân chỉnh các tầng



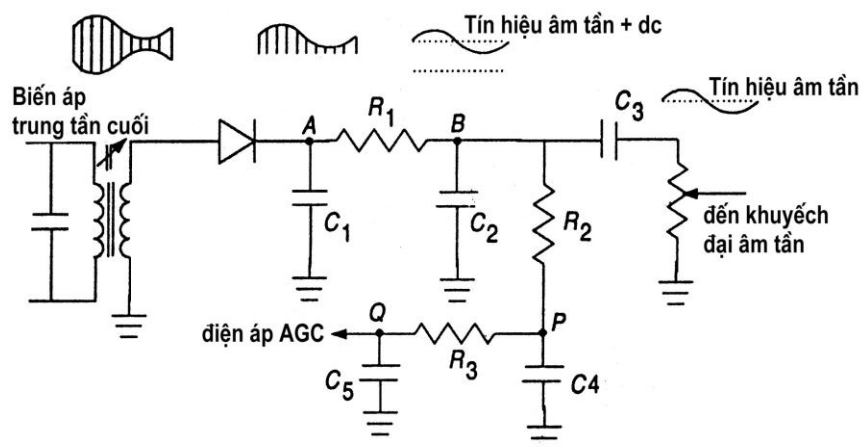
Hình 5.35: Mạch khuếch đại trung tần (IF).

RF và IF sẽ được giải thích ở mục 5.4.12.

#### g) Mạch tách sóng

Chức năng của mạch tách sóng là khôi phục các tín hiệu băng gốc từ tín hiệu điều chế.

Tín hiệu AM sẽ được tách sóng bằng một diode và mạch lọc đáp ứng với các biên độ đỉnh của tín hiệu IF trong mỗi chu kỳ của IF giống như các đáp ứng kết hợp chỉnh lưu - lọc đối với tín hiệu *ac* đỉnh. Hình 5.36, là mạch tách sóng bằng diode điển hình cùng với việc tạo ra điện áp cho mạch AGC (tự động điều chỉnh độ khuếch đại).



Hình 5.36: Mạch điện của tầng tách sóng điển hình.

Diode sẽ chỉnh lưu dạng sóng điều chế. Các giá trị của các tụ phải chọn sao cho  $C_1$  và  $C_2$  rẽ mạch tín hiệu IF chưa được điều chế xuống đất, nhưng không lọc bỏ tín hiệu âm tần (audio). Do vậy, tại điểm B, ta sẽ có tín hiệu *dc + audio*. Mức *dc* sẽ được chặn bởi  $C_3$ , nên chỉ có tín hiệu âm tần đưa đến điều chỉnh âm lượng để cung cấp đến mạch khuếch đại âm tần tiếp theo.

$R_2$  và  $C_4$  lọc bỏ tất cả các mức tín hiệu audio nhỏ hay tín hiệu IF đưa đến điểm P, để cho điện áp *dc*. Mức gợn của tín hiệu IF bất kỳ còn tồn tại sẽ được giảm thêm nữa bằng mạch lọc khác bao gồm  $R_3$  và  $C_5$ . Do vậy, tại điểm Q, ta sẽ có điện áp *dc* dương. Mức điện áp *dc* này được gọi là điện áp tự động điều chỉnh độ khuếch đại (AGC).

Chức năng của điện áp AGC là để điều khiển hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại RF, mạch khuếch đại trộn tần và mạch khuếch đại IF bằng cách cung cấp mức điện áp *dc* dương đưa đến cực emitter của các transistor *npn* ở các mạch khuếch đại, để bổ sung mức điện áp *dc* thông thường do dòng emitter của transistor. Điện áp dương thêm vào trên emitter của transistor *npn* sẽ làm giảm điện áp phân cực thuận và do đó làm giảm hệ số khuếch đại của các mạch khuếch đại tương ứng.

Mức điện áp AGC tùy thuộc vào tín hiệu sóng mang IF, tức là tùy thuộc vào sóng mang RF có trong sóng tín hiệu được tiếp nhận bởi antenna thu.

Như vậy, việc giảm hệ số khuếch đại tùy thuộc vào cường độ của sóng mang. Sóng mang mạnh hơn, sẽ cho mức điện áp AGC lớn hơn và do đó sẽ làm giảm hệ số khuếch đại nhiều hơn. Việc điều khiển tự động hệ số khuếch đại phụ thuộc vào cường độ của sóng mang RF của tín hiệu vào sẽ làm cho tín hiệu ra gần như không đổi.

#### - Các sai hỏng ở mạch tách sóng bằng diode và mạch AGC

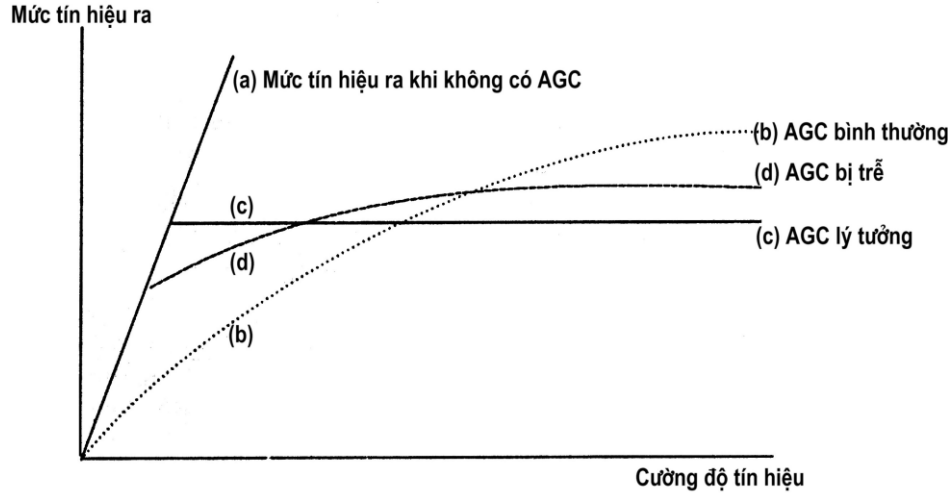
Nếu diode bị ngắn mạch hoặc bị hở mạch, sẽ không có sự chỉnh lưu và không có điện áp AGC.

Nếu tụ lọc  $C_1$  bị hở mạch, tín hiệu ra sẽ bị giảm.  $C_1$  hoặc  $C_2$  bị ngắn mạch hay  $R_1$  bị hở mạch sẽ làm cho tín hiệu ra bằng 0. Hở mạch  $C_3$  sẽ không đưa tín hiệu audio đến mạch khuếch đại audio và do đó mất tín hiệu ra audio. Tụ  $C_3$  bị ngắn mạch sẽ tạo cho điện áp *dc* đưa đến mạch khuếch đại audio thêm vào mức điện áp audio, gây quá tải mạch khuếch đại audio và do đó độ méo dạng sẽ tăng lên.

Hở mạch  $R_2$  hay  $R_3$ , hoặc  $C_4$  hay  $C_5$  bị ngắn mạch sẽ làm cho mức điện áp AGC bằng 0 và do đó hệ số khuếch đại của các tầng RF và IF sẽ cao, dẫn đến mức tín hiệu ra méo dạng và không đồng đều (âm thanh lúc to lúc nhỏ). Tín hiệu vào quá mạnh có thể cắt bỏ bởi transistor của mạch khuếch đại bằng cách tạo ra mức điện áp AGC quá cao. Nếu hằng số thời gian của mạch AGC là cao, thì mức điện áp này sẽ mất khoảng thời gian để giảm xuống nên các tín hiệu yếu sẽ được chặn không thay đổi trước khi điện áp AGC chưa trở nên bình thường.

Thông thường AGC sẽ làm giảm hệ số khuếch đại của các tầng khuếch đại RF và IF đối với tất cả các

tín hiệu. Như vậy ngay cả các tín hiệu yếu sẽ trở nên yếu hơn. Để giải quyết khó khăn này, sử dụng AGC được làm trễ, chỉ làm việc đối với các tín hiệu mạnh. AGC trễ nhận được bằng cách giữ cho cathode của diode ở mạch AGC dương, sao cho diode sẽ không dẫn cho đến khi anode là dương hơn so với cathode. Mức tín hiệu ra khi không có AGC và ảnh hưởng bằng phẳng của tín hiệu ra bởi AGC thông thường, AGC trễ và AGC lý tưởng được thể hiện ở hình 5.37.



Hình 5.37: ảnh hưởng của các kiểu AGC khác nhau ở tín hiệu ra.

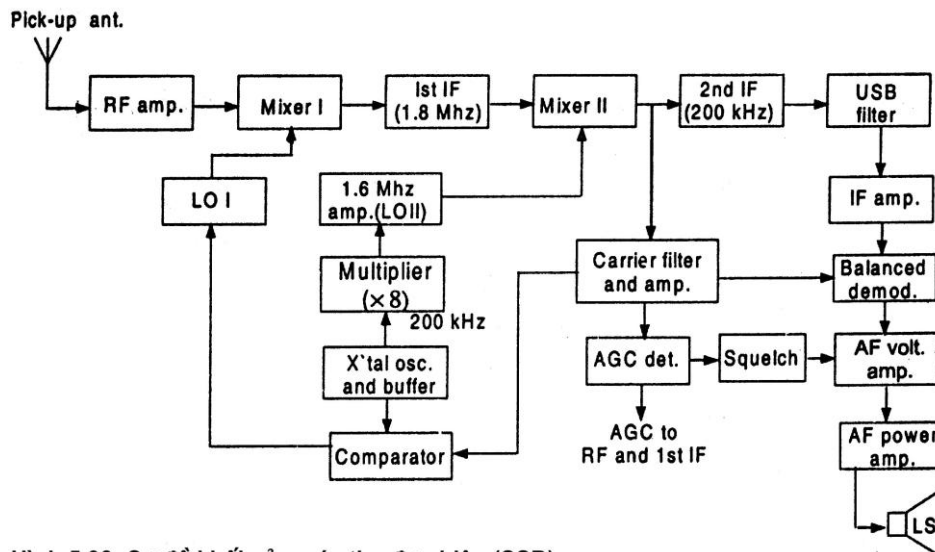
**h) Các mạch khuếch đại âm tần**

Mạch khuếch đại điện áp âm tần là mạch khuếch đại ghép RC và mạch khuếch đại công suất âm tần thường là mạch khuếch đại đẩy-kéo.

Mạch âm tần sẽ bao gồm mạch điều khiển âm lượng và cũng có thể gồm mạch điều khiển âm thấp [bass] và mạch điều khiển âm cao [treble]. Các hư hỏng của các mạch khuếch đại âm tần đã được giải thích chi tiết ở mục 5.3.1.

**5.4.8 MÁY THU ĐƠN BIÊN - SSB**

Sơ đồ khối của một máy thu SSB điển hình như thể hiện ở hình 5.38. Một số tầng là giống với máy thu song biên (đã được giải thích ở mục 5.4.8), như mạch khuếch đại RF, LO, mạch khuếch đại trộn tần và khuếch đại IF thứ nhất. Hiện có các máy thu đổi tần hai lần có thêm tầng IF thứ hai. Tầng IF thứ nhất có tần số cao 1,8MHz và tầng thứ hai có tần số thấp 200kHz. Hai tầng IF có ưu điểm là tầng IF cao hơn sẽ cho triệt tín hiệu ảnh cao hơn và tầng IF tần số thấp hơn sẽ cho độ chọn lọc tốt hơn. Nếu mạch dao động tinh thể, mạch lọc sóng mang và mạch khuếch đại bị hỏng, thì các tín hiệu SSB sẽ mất.

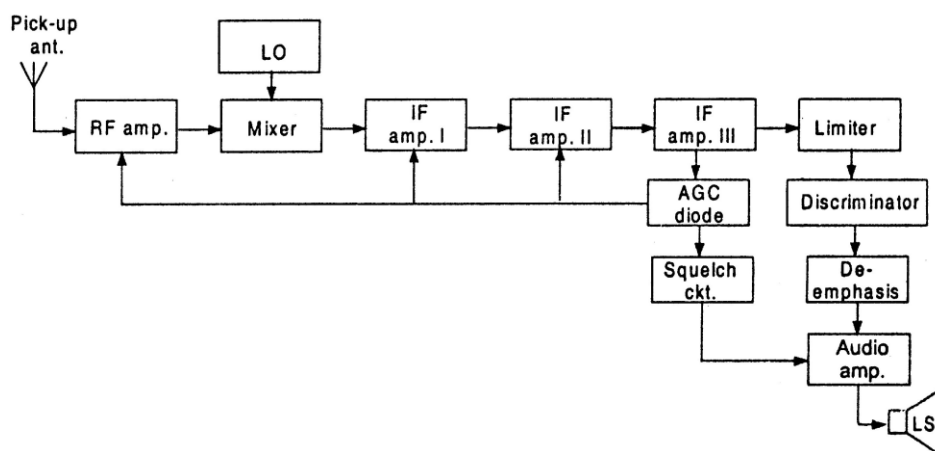


Hình 5.38: Sơ đồ khối của máy thu đơn biên (SSB).



### 5.4.9 MÁY THU FM

Sơ đồ khối của máy thu FM như ở hình 5.39.



Hình 5.39: Sơ đồ khối của máy thu FM.

Trong mạch có hàng loạt các tầng IF dùng để tạo ra độ rộng băng tần yêu cầu (200kHz) để đảm bảo hệ số khuếch đại thích hợp. Các tầng IF đều có bố trí điều hưởng. Mạch hạn chế cần phải có để loại bỏ các biên thiên điện áp. Bộ tách sóng điều tần sẽ cho tín hiệu ra âm tần. Mạch chặn sẽ giữ lại tín hiệu âm tần mà không có tín hiệu cao tần. Mạch hậu chỉnh sẽ thực hiện bù để cải thiện tỷ số tín hiệu trên nhiễu.

### 5.4.10 CÁC SAI HỒNG THÔNG THƯỜNG TRONG CÁC MÁY THU

Một số sai hồng thông thường ở các máy thu quang bá (thường gọi là các máy thu transistor) cho ở bảng 5.4, như sau:

**Bảng 5.4:** Một số sai hồng ở các máy thu thanh quang bá.

Các dấu hiệu	Các sai hồng có thể xảy ra và cách khắc phục
Thiết bị không hoạt động. Mất tín hiệu (không tạp âm và không có tín hiệu ra của chương trình).	(i) Thiết bị mất điện áp nguồn cung cấp. Kiểm tra cầu chì. Thực hiện các phép đo nguội, đo nóng, và sửa chữa hư hỏng. (ii) Cuộn thứ cấp của loa có thể đứt. Thay loa.
Có tạp âm nhưng không thu được chương trình phát ra. Antenna tốt.	Tầng LO bị hỏng. Hãy sửa chữa tầng LO. Kiểm tra ghép nối giữa tầng LO và tầng trộn.
Không thu được chương trình trên băng tần được chọn.	Kết nối đất của tụ điều hưởng chính bị đứt, hoặc tụ điều hưởng bị ngắn mạch, hoặc đầu nối trung tâm của chuyển mạch chọn băng tần không thực hiện tiếp xúc. Xác định điểm hỏng bằng phép đo điện trở.
Chương trình không thu được chỉ ở một băng tần cụ thể.	Hỏng mạch điều hưởng liên quan trimmer có thể bị ngắn mạch. Đầu cực liên quan của chuyển mạch chuyển đổi băng tần không tiếp xúc. Xác định hư hỏng bằng phép đo thông mạch và sửa chữa hư hỏng.
Khi tín hiệu vào có từ máy phát tín hiệu tín hiệu ra là bình thường, nhưng không thu được đài phát quang bá.	Đứt dây dẫn sóng antenna. Trong trường hợp này sẽ không có tạp âm. Đo - kiểm tra kết nối dây dẫn sóng [feeder].
Tiếng ù [hum] vượt quá ở các thu hoạt động bằng nguồn điện lưới.	Gợn có thể được đưa đến các base của mạch khuếch đại âm tần tạo ra tiếng ù. Kiểm tra các tụ lọc.
Tiếng ù ở các máy thu hoạt động bằng nguồn pin.	Mạch âm tần có thể bị trích dẫn tiếng ù từ đường dây điện lưới hay biến áp ở vị trí gần nào đó. Khắc phục lỗi bằng cách thay đổi vị trí máy thu để loại bỏ trích dẫn tiếng ù.
Tiếng ù do tín hiệu điều chế.	Nếu tín hiệu vào của tầng trộn trích dẫn tiếng ù thì tiếng ù sẽ điều chế tín hiệu RF. Sửa chữa bằng cách cách ly nguồn gây ù.

Tín hiệu ra yếu (tự dao động ở mạch khuếch đại nào đó).

Âm thanh lụp bụp (âm thanh tần số thấp trong khoảng từ 16Hz đến 25Hz).

Méo phi tuyến hay méo hài.

Tín hiệu ra có nhưng yếu.

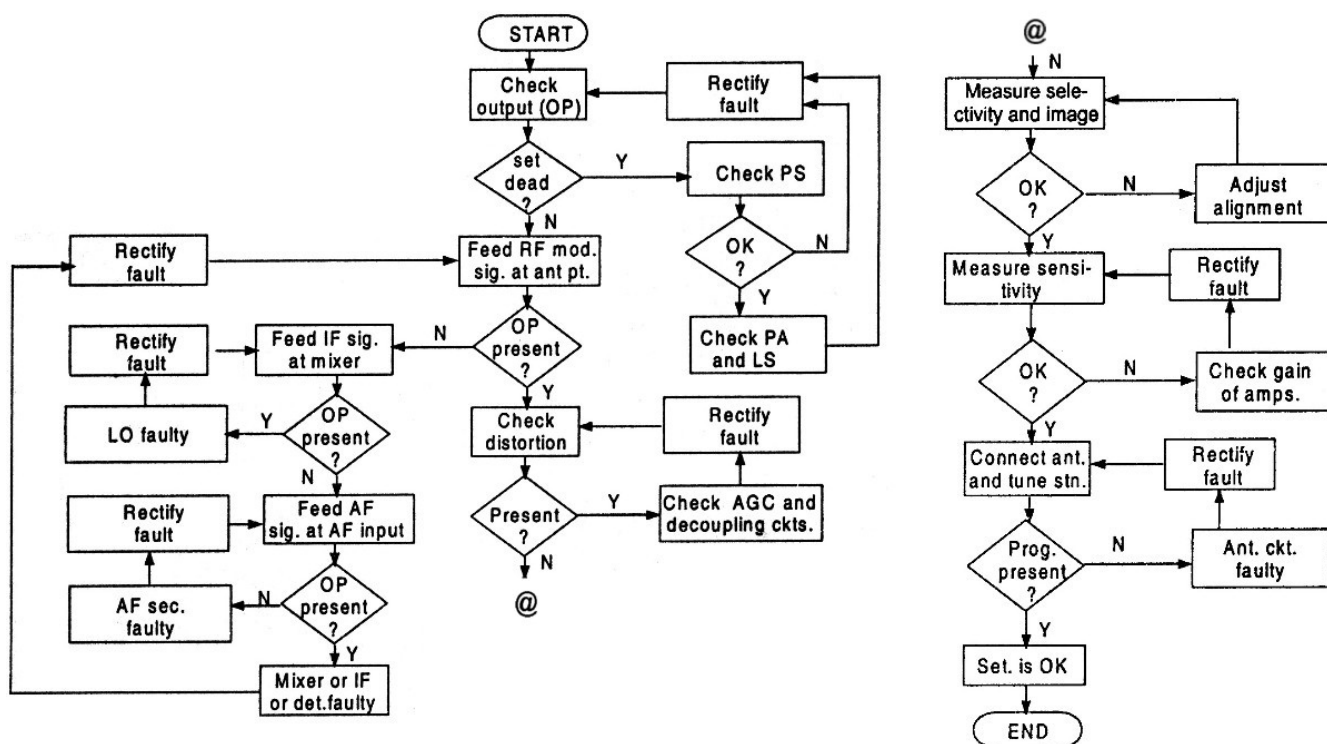
Méo dạng tồn tại do hồi tiếp dương. Hãy kiểm tra có hở mạch ở các tụ giải ghép. Sửa chữa hư hỏng.

(i) gây ra bởi việc giải ghép thiếu do các tín hiệu tần số thấp gây hồi tiếp dương ở mạch khuếch đại. (ii) Tự dao động trong các tầng RF có thể tạo ra AGC cao. Làm ngưng RF hoặc IF. Chu kỳ của các tín hiệu lặp lại tự dao động. Kiểm tra nguồn gây lụp bụp bằng kỹ thuật cách ly, và sửa chữa hư hỏng.

Mất điện áp AGC hay đứt mạch hồi tiếp âm. Các mạch làm việc trong tình trạng quá tải. Kiểm tra các mạch vòng kín bằng kỹ thuật cách ly xác định điểm hỏng và sửa chữa.

(i) Cân chỉnh sai. Cân chỉnh các mạch điều hướng và sửa chữa việc hiệu chỉnh sai. (ii) Tụ rã mạch emitter bị hở mạch. Kiểm tra tụ bằng cách thay thế.

Quy trình các bước chẩn đoán hư hỏng có hệ thống trong máy thu radio được minh họa theo lưu đồ như ở hình 5.40.



Hình 5.40: Quy trình các bước đo thử để dò tìm sai hỏng ở máy thu vô tuyến.

Trong các máy thu thông tin, lưu ý một số sai hỏng có thể có bổ sung dưới đây cùng với các phương pháp sửa chữa.

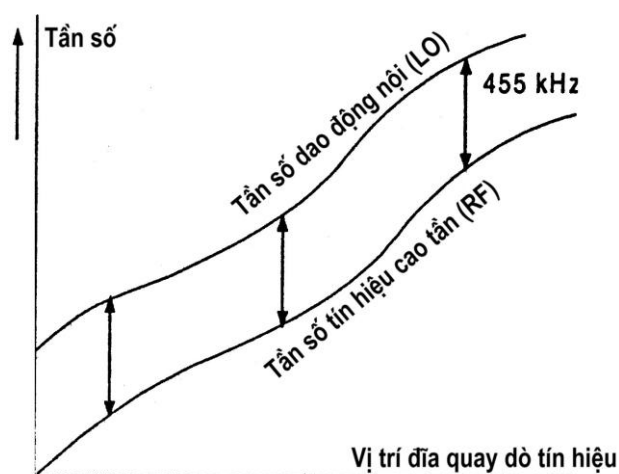
1. Không thu được các tín hiệu điện báo, mặc dù thu được chương trình audio bình thường. Có thể hỏng BFO. Kiểm tra BFO và cách ghép tín hiệu BFO đến tầng IF.
2. Mạch chặn bị khoá, không cắt ngay cả khi dò chương trình, làm mất tín hiệu ra. Kiểm tra mạch chặn hoặc mạch AGC. Xác định sai hỏng và sửa chữa sai hỏng.
3. Mất tín hiệu tách sóng SSB mặc dù tách sóng đối với DSB là bình thường. Kiểm tra mạch tái tạo sóng mang và mạch giải điều chế cân bằng, và kiểm tra mạch so sánh. Xác định sai hỏng và sửa chữa.
4. Độ nhạy kém (ở các máy thu đổi tần kép). Hệ số phẩm chất Q của mạch điều hướng ở tầng IF thứ hai suy giảm, có thể do quá tải bất thường có ở tầng tách sóng.
5. Hệ số nhiễu của máy thu kém. Mức tạp âm lớn. Có thể do hệ số khuếch đại của tầng khuếch đại RF bị suy giảm. Kiểm tra mạch điều chỉnh hệ số khuếch đại. Transistor có thể bị hỏng. Đo thử transistor và thay thế nếu cần.

Trong các máy thu FM có thể có một số sai hỏng bổ sung sau.

1. Độ trung thực cao bị suy giảm. Việc điều hướng bị sai lệch cần phải điều chỉnh để cho độ rộng băng tần lớn theo yêu cầu.
2. Méo nghiêm trọng do các âm cao được khuếch đại quá nhiều. Hồng mạch chỉnh giảm.
3. Mất tách sóng. Một trong số các tụ đầu ra của bộ tách pha có thể bị hở mạch hay ngắn mạch. Tụ nối với cuộn sơ cấp và thứ cấp của biến áp đầu vào bị hở mạch.
4. Thu được tạp âm điều chế biên độ. Tầng hạn chế hồng. Các cấu kiện phân cực bị hở mạch hay bị ngắn mạch.
5. Mạch chặn [squelch] bị khóa. Tín hiệu ra của chương trình phát thanh ngưng. Kiểm tra mạch squelch hoặc mức điện áp AGC.
6. Hệ số tạp âm thấp. Kiểm tra hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại cao tần. Thay thế transistor nếu cần.

#### 5.4.11 CÂN CHỈNH VÀ ĐỒNG CHỈNH MÁY THU ĐỔI TẦN

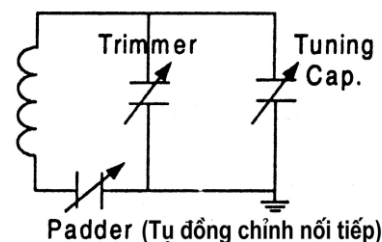
Trong các tầng RF và IF cũng như dao động nội, có hàng loạt các mạch điều hướng cần phải được cân chỉnh để thiết lập việc dò tìm đài phát đối với tần số được chọn nào đó giữ theo sự điều chỉnh ở các tụ xoay đúng với tần số cần tìm. Các mạch IF được điều chỉnh theo tần số trung gian cố định (455kHz đối với các máy thu quảng bá), các mạch RF điều chỉnh theo tần số tín hiệu và mạch LO điều chỉnh theo tần số bằng tần số tín hiệu + tần số IF. Việc duy trì độ chênh lệch giữa tần số LO và tần số tín hiệu bằng với IF đối với tất cả các thiết lập dò đài được gọi là *đồng chỉnh* [tracking]. Khái niệm đồng chỉnh như thể hiện ở hình 5.41.



Hình 5.41: đồng chỉnh máy thu đổi tần.

Trình tự các bước cân chỉnh và đồng chỉnh máy thu thông tin và máy thu quảng bá như sau.

1. Nối máy phát tín hiệu đến đầu vào của máy thu và mắc đồng hồ đo công suất âm tần vào đầu ra của máy thu. Giữ AGC ở trạng thái ngắt [off] và điều chỉnh âm lượng ở mức thuận lợi nhất.
2. Cung cấp tín hiệu IF (30% độ điều chế bởi tín hiệu âm tần 400Hz) tại đầu vào của tầng trộn.
3. Điều chỉnh tụ xoay [trimmer] IF cuối cùng để cho tín hiệu ra lớn nhất. Nếu cả hai phía thứ cấp và sơ cấp đều là các mạch điều hướng, thì điều chỉnh phía thứ cấp trước và sau đó điều chỉnh phía sơ cấp. Tiếp tục về phía sau, điều chỉnh các trimmer trung tần (IFTs) lần lượt để cho mức tín hiệu ra lớn nhất. Nếu cần, giảm tín hiệu vào để giữ mức tín hiệu ở mức 50mW đối với các máy thu thông tin và 500mW đối với các máy thu quảng bá. Khi tất cả các trimmer trung tần (IFT) đã được điều chỉnh, thì hãy kiểm tra lại bắt đầu từ trimmer trung tần cuối cùng.
4. Bây giờ cung cấp tín hiệu 1MHz (đã được điều chế ở mức 400Hz) giữa đầu antenna và điểm đất. Điều chỉnh máy thu ở băng sóng trung ở tần số 1MHz bằng cách điều chỉnh dò đài để có mức tín hiệu ra lớn nhất nhận được ở đồng hồ đo công suất âm tần. Điều chỉnh mức tín hiệu ra đến trị số chuẩn (50mW hoặc 500mW) bằng cách điều chỉnh mức tín hiệu ra của máy phát tín hiệu).
5. Điều chỉnh các trimmer của các mạch điều hướng của các bộ khuếch đại RF dần dần, bắt đầu từ đầu vào của tầng trộn và tiếp tục về phía sau đến tầng antenna, để cho mức tín hiệu ra lớn nhất theo mức tín hiệu vào nhỏ nhất từ máy phát tín hiệu. Trong suốt quá trình điều chỉnh này, trimmer của mạch LO và tụ đồng chỉnh là giữ ở vị trí chính giữa. (tụ đồng chỉnh [padder] là một tụ lớn mắc nối tiếp giữa trimmer của mạch LO như ở mạch hình 5.42).
6. Thiết lập tần số 1500kHz ở máy phát tín hiệu và điều chỉnh máy thu đến tần số đó. Không làm thay đổi việc điều chỉnh các mạch điều



Hình 5.42: Mạch điều hướng của bộ dao động nội (LO).

hường của bộ khuếch đại RF, để điều chỉnh mạch dao động nội. Tại phía tần số cao của băng sóng trung, tụ điều hướng của bộ dao động nội sẽ gần với giá trị nhỏ nhất. Do vậy tụ đồng chỉnh sẽ không có tác dụng. Điều chỉnh trimmer để cho mức tín hiệu ra lớn nhất.

7. Điều chỉnh máy phát tín hiệu để cho 600kHz (phía tần số thấp của băng sóng trung ở máy thu). Điều chỉnh máy thu. Ở mức tần số này, tụ điều hướng của mạch LO sẽ có trị số lớn nhất. Lúc này tụ đồng chỉnh [padder] sẽ có tác dụng và trimmer sẽ không ảnh hưởng. Điều chỉnh tụ đồng chỉnh để cho tín hiệu ra lớn nhất.

8. Lặp lại các bước 6 và 7 để điều chỉnh tinh hơn.

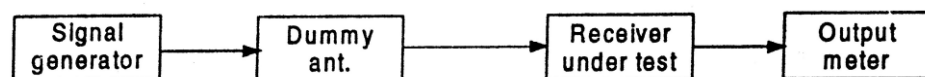
Lúc này thiết bị đã được đồng chỉnh đúng theo ba tần số và vì vậy sai lệch đồng chỉnh là nhỏ nhất.

#### 5.4.12 ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MÁY THU

Các máy thu đôi tần sẽ được đánh giá bằng cách đo độ nhạy, độ chọn lọc, tỷ lệ triệt ảnh và tỷ số triệt trung tần. Trình tự đo các thông số trên như sau.

##### a) Phép đo độ nhạy [sensitivity]

- **Độ nhạy thuần (đối với các máy thu AM)** Thiết lập phép đo độ nhạy máy thu như ở hình 5.43. Ăng-ten giả lập được sử dụng để tái tạo ăng-ten thực, để tính mức suy hao trong ăng-ten khi sử dụng máy thu.



Hình 5.43: Thiết lập phép đo độ nhạy máy thu.

Máy phát tín hiệu thiết lập ở mức tần số thích hợp, và được điều chế tại tần số 400Hz (độ điều chế 30%). Điều chỉnh máy thu để thu tín hiệu. Điều khiển âm lượng giữ ở mức lớn nhất và ngắt mạch AGC. Điều chỉnh mức tín hiệu ra của máy phát tín hiệu để có mức ra tiêu chuẩn (50mW không méo). Mức điện áp ra của máy phát tín hiệu sẽ cho giá trị đo độ nhạy thuần của máy thu. Đối với các máy thu quảng bá độ nhạy vào khoảng 30  $\mu$ V, và 2  $\mu$ V đối với các máy thu thông tin cấp cao.

- **Độ nhạy đối với tỷ số tín hiệu trên tạp âm là 20dB (cho các máy thu AM)** Thay cho phép đo độ nhạy thuần, là phép đo độ nhạy theo tỷ số tín hiệu trên tạp âm ở mức 20dB. Mức tạp âm đọc trên đồng hồ mắc ở đầu ra khi không điều chế, và tiếp theo đặt tín hiệu đã được điều chế và các mức của nó tại đầu ra của máy tạo tín hiệu sẽ được điều chỉnh để có 20dB tăng lên trên mức ra tạp âm của máy thu. Đây là mức ra mới của máy phát tín hiệu sẽ cho độ nhạy đối với tỷ số tín hiệu trên tạp âm. Độ nhạy này là hữu ích hơn so với độ nhạy thuần trong các phép đo tín hiệu RF nhỏ nhất yêu cầu bởi máy thu thực hiện chỉ một chương trình tai người có thể nghe rõ mà không có nhiễu.

- **Độ nhạy tĩnh (cho các máy thu FM)** Khi đưa tín hiệu chưa được điều chế đến máy thu FM thông qua một ăng-ten giả lập, thì tạp âm ở tín hiệu ra của máy thu sẽ được giảm xuống trong khi mức tín hiệu vào RF tăng lên. Độ nhạy tĩnh là được xác định theo mức tín hiệu vào RF sẽ suy giảm 20dB ở mức ra tạp âm của máy thu. Độ nhạy tĩnh được đo bằng cách giữ mức ra tạp âm tại mức 1V hay 0,1V nhờ điều chỉnh volume khi không có tín hiệu RF và tiếp theo đo độ nhạy tĩnh sau khi áp đặt tín hiệu RF chưa được điều chế, điều chỉnh mức RF cho đến khi mức ra tạp âm thấp hơn 20dB.

- **Độ nhạy SINAD (đối với các máy thu FM)** Thuật ngữ SINAD có nghĩa là tín hiệu cộng tạp âm cộng độ méo. Trong các máy thu FM, việc thu hiệu quả sẽ triệt tạp âm khi tín hiệu mạnh hơn tạp âm 3dB. Tuy nhiên, méo dạng có trong tín hiệu không được khử. Do đó độ nhạy SINAD là hữu ích hơn, và sẽ được đo như sau.

Tín hiệu ra của máy phát tín hiệu RF giữ ở mức 1mV. Công suất ra khi được đo bởi máy phân tích độ méo sẽ được duy trì tại giá trị định mức vào khoảng 5W bằng cách điều chỉnh âm lượng. Giảm công suất đến mức âm lượng 50% (tức vào khoảng 2,5W) bằng cách giảm tín hiệu ra của máy phát tín hiệu (không thay đổi điều chỉnh âm lượng). Tiếp theo, tần số âm tần cơ bản sẽ được lọc ở máy phân tích độ méo dạng và tạp âm còn lại cộng với độ méo dạng là được ghi nhận. Sau đó giảm tín hiệu ra của máy phát tín hiệu đến mức giảm 12dB ở giá trị tạp âm cộng với độ méo dạng. Mức ra của máy phát tín hiệu ở điều kiện đo sẽ cho độ nhạy SINAD 12dB.

**b) Độ chọn lọc [Selectivity]** là mức tín hiệu nhỏ nhất cần thiết để có mức tín hiệu ra chuẩn thể hiện tại tần số mà thiết bị đã được điều hưởng. Sau đó thay đổi tần số của tín hiệu từ tần số cộng hưởng trung tâm và tần số của tín hiệu ra của máy tạo tín hiệu sẽ được tăng dần giữ tín hiệu ra của máy thu như khi máy thu đã được đặt ở tần số trung tâm. Đặc tuyến thể hiện ở hình 5.44, nhận được từ đặc tuyến độ rộng băng tần.

**c) Độ loại trừ tần số ảnh** Độ nhạy được thể hiện đối với tần số yêu cầu và đối với tần số ảnh, khi giữ máy thu điều hưởng đến chỉ với tần số yêu cầu. Tín hiệu ra lớn hơn của máy tạo tín hiệu cần phải có đối với tần số ảnh. Tỷ số giữa hai tín hiệu ra của máy tạo tín hiệu đối với cùng tín hiệu ra ở máy thu sẽ cho độ loại trừ tần số ảnh, có thể tính theo dB.

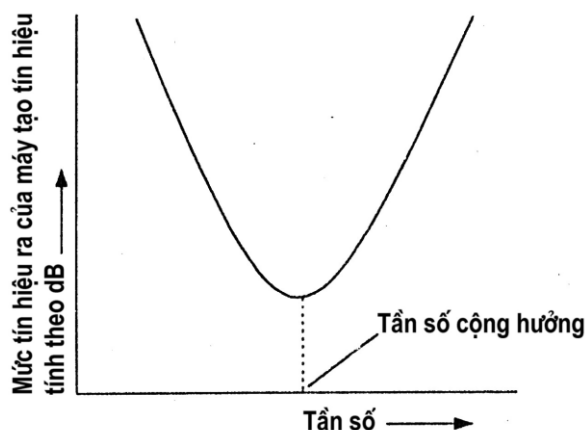
**d) Tỷ số khử trung tần (IF)** Máy thu sẽ được điều hưởng ở kênh yêu cầu từ máy tạo tín hiệu và ghi nhận mức chỉ thị của độ chọn lọc tuyệt đối. Tiếp theo điều chỉnh máy tạo tín hiệu đến tần số trung tâm quy định mà không nhiễu loạn tần số máy thu. Tăng dần tín hiệu từ đầu ra của máy tạo tín hiệu để có tín hiệu ra chuẩn ở máy thu. Tỷ số của hai số chỉ thị của máy tạo tín hiệu phát ra sẽ cho tỷ số khử IF thường được biểu hiện theo dB.

Tóm lại, tín hiệu băng gốc có thể được truyền với khoảng cách xa nhờ sóng mang tần số cao (RF) và ăng-ten bức xạ. Sóng mang được điều chế bởi tín hiệu băng gốc. Sự điều chế có thể là điều chế biên độ (DSB hay SSB) hoặc điều chế tần số.

Ở phía thu, ăng-ten cảm ứng sóng điện-từ truyền trong không gian truyền tín hiệu đến máy thu radio sử dụng nguyên lý đổi tần để cải thiện độ nhạy. Tín hiệu điều chế RF sẽ được biến đổi thành tín hiệu tần số trung tần (IF) bằng quá trình đổi tần sử dụng tầng trộn tần và mạch điều hưởng IF. Tín hiệu trung tần sẽ được khuếch đại và cung cấp đến mạch tách sóng để khôi phục tín hiệu băng gốc trước khi điều chế. Các kiểu tách sóng khác nhau sẽ được sử dụng cho các kiểu điều chế khác nhau (DSB, SSB, FM). Tín hiệu sau tách sóng sẽ được khuếch đại hoặc biến đổi thành thông tin ban đầu.

Bên cạnh các cấu kiện điện tử bị hở mạch, ngắn mạch hoặc rò, các sai hỏng thông thường khác có ở các hệ thống thông tin radio là các trimmer hay lõi bị sai lệch dẫn đến điều hưởng sai hay cân chỉnh sai. Thực hiện cân chỉnh máy thu nhờ máy tạo tín hiệu.

Đo các thông số máy thu như độ nhạy, độ chọn lọc, tỷ số loại bỏ tần số ảnh và tỷ số loại bỏ tín hiệu trung tần (IF) cần phải có máy tạo tín hiệu sử dụng điều chế 30% ở tần số âm tần 400Hz đối với AM và tần số 22,5kHz đối với FM.



Hình 5.44: đặc tuyến đo độ chọn lọc.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] R G Gupta. *Electronic Instruments and Systems*, Tata McGraw-Hill Company Limited, 2001.
- [2] Vũ Quý Điềm. *Đo lường điện tử*, KHKT, 2002.
- [3] Phạm Thượng Hàn (chủ biên). *Kỹ thuật Đo lường các đại lượng vật lý*. NXB Giáo dục, 1997.
- [4] S K Singh. *Industrial Instrumentation and Control*. Tata McGraw-Hill Company Limited, 2003.
- [5] Clyde F. Coombs. Jr. *Electronic Instrument Handbook*. McGraw-Hill, Inc. 1995.
- [6] Joseph J. Carr. *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*, Prentice Hall Inc, 1996.
-

TS. NGUYỄN HỮU CÔNG

# KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

## LỜI GIỚI THIỆU

*Quyển sách này nhằm mục đích cung cấp kiến thức cơ bản về thiết bị và phương pháp đo lường các đại lượng điện. Nội dung giáo trình phục vụ cho sinh viên các ngành Điện - Điện tử - Máy tính của các trường đại học. Đồng thời cũng giúp ích cho sinh viên các chuyên ngành khác và các cán bộ kỹ thuật có quan tâm đến lĩnh vực đo điện.*

*Khi viết giáo trình này chúng tôi có tham khảo kinh nghiệm của các nhà giáo đã giảng dạy nhiều năm ở các trường đại học, đồng thời đã cập nhật những nội dung mới, vừa đáp ứng yêu cầu nâng cao chất lượng đào tạo phục vụ sự nghiệp công nghiệp hoá - hiện đại hoá, vừa đảm bảo tính sát thực của các thiết bị đo cũng như phương pháp đo mà các cán bộ kỹ thuật đang vận hành trong thực tế.*

*Tuy các tác giả đã có nhiều cố gắng khi biên soạn, nhưng giáo trình sẽ không tránh khỏi những khiếm khuyết. Chúng tôi mong nhận được sự đóng góp ý kiến của quý đồng nghiệp và các bạn sinh viên để giáo trình này được hoàn thiện.*

*Sau hết chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự đóng góp đáng kể của Thạc sỹ Nguyễn Văn Chí, cảm ơn Khoa Điện tử, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên đã giúp đỡ và tạo điều kiện cho chúng tôi hoàn thành quyển sách này.*

*Tác giả*



# Chương 1

## KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG

### 1.1. Định nghĩa và phân loại thiết bị

#### 1.1.1. Định nghĩa

*Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đối tượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị.*

Với định nghĩa trên thì đo lường là quá trình thực hiện ba thao tác chính: Biến đổi tín hiệu và tin tức.

- So sánh với đơn vị đo hoặc so sánh với mẫu trong quá trình đo lường.

- Chuyển đơn vị, mã hoá để có kết quả bằng số so với đơn vị.

Căn cứ vào việc thực hiện các thao tác này ta có các phương pháp và hệ thống đo khác nhau.

#### ***Thiết bị đo và thiết bị mẫu***

Thiết bị đo là một hệ thống mà đại lượng đo gọi là lượng vào, lượng ra là đại lượng chỉ trên thiết bị (là thiết bị đo tác động liên tục) hoặc là con số kèm theo đơn vị đo (thiết bị đo hiện số). Đôi khi lượng ra không hiển thị trên thiết bị mà đưa tới trung tâm tính toán để thực hiện các Algorithm kỹ thuật nhất định.

- Thiết bị mẫu dùng để kiểm tra và hiệu chỉnh thiết bị đo và đơn vị đo.

Theo quy định hiện hành thiết bị mẫu phải có độ chính xác lớn hơn ít nhất hai cấp so với thiết bị kiểm tra.

*Ví dụ:* Muốn kiểm định công tơ cấp chính xác 2 thì bàn kiểm định công tơ phải có cấp chính xác ít nhất là 0,5.

#### 1.1.2. Phân loại

##### 1.1.2.1. Thiết bị đo lường

Có nhiều cách phân loại song có thể chia thiết bị đo lường thành hai loại chính là thiết bị đo chuyển đổi thẳng và thiết bị đo kiểu so sánh.

### ***Thiết bị đo chuyển đổi thẳng***

Đại lượng cần đo đưa vào thiết bị dưới bất kỳ dạng nào cũng được biến thành góc quay của kim chỉ thị. Người đo đọc kết quả nhờ thang chia độ và những quy ước trên mặt thiết bị, loại thiết bị này gọi là thiết bị đo cơ điện. Ngoài ra lượng ra còn có thể biến đổi thành số, người đo đọc kết quả rồi nhân với hệ số ghi trên mặt máy hoặc máy tự động làm việc đó, ta có thiết bị đo hiện số.

### ***Thiết bị đo kiểu so sánh***

Thiết bị so sánh cũng có thể là chỉ thị cơ điện hoặc là chỉ thị số. Tùy theo cách so sánh và cách lập đại lượng bù (bộ mã hoá số tương tự) ta có các thiết bị so sánh khác nhau như: thiết bị so sánh kiểu tự động (đại lượng đo  $x$  và đại lượng bù  $x_u$  luôn biến đổi theo nhau); thiết bị so sánh kiểu quét (đại lượng bù  $x_u$  biến thiên theo một quy luật thời gian nhất định và sự cân bằng chỉ xảy ra tại một thời điểm trong chu kỳ).

Ngoài ra cũng căn cứ vào việc lập đại lượng bù người ta chia thành dụng cụ mã hoá số xung, tần số xung, thời gian xung. Căn cứ vào điều kiện cân bằng người ta chia thành dụng cụ bù không lệch (zero) và dụng cụ bù có lệch (vi sai).

Căn cứ vào quan hệ giữa lượng ra và lượng vào, người ta chia thành: thiết bị đo trực tiếp (đại lượng ra biểu thị trực tiếp đại lượng vào), thiết bị đo gián tiếp (đại lượng ra liên quan tới nhiều đại lượng vào thông qua những biểu thức toán học xác định), thiết bị đo kiểu hợp bộ (nhiều đại lượng ra liên quan tới nhiều đại lượng vào thông qua các phương trình tuyến tính).

#### ***1.1.2.2. Chuyển đổi đo lường***

Có hai khái niệm:

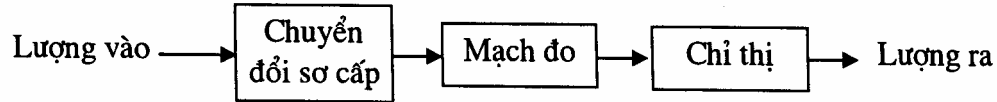
- Chuyển đổi chuẩn hoá: Có nhiệm vụ biến đổi một tín hiệu điện phi tiêu chuẩn thành tín hiệu điện tiêu chuẩn (thông thường  $U = 0 \div 10V$ ;  $I = 4 \div 20mA$ ).

Với loại chuyển đổi này chủ yếu là các bộ phân áp, phân dòng, biến điện áp, biến dòng điện, các mạch khuếch đại... đã được nghiên cứu kỹ ở các giáo trình khác nên ta không xét.

- Chuyển đổi sơ cấp (S: Sensor): Có nhiệm vụ biến một tín hiệu không điện sang tín hiệu điện, ghi nhận thông tin giá trị cần đo. Có rất nhiều loại chuyển đổi sơ cấp khác nhau như: chuyển đổi điện trở, điện cảm, điện dung, nhiệt điện, quang điện...

### **1.1.2.3. Tổ hợp thiết bị đo**

Với một thiết bị cụ thể (một kênh):



**Hình 1.1. Cấu trúc hệ thống đo một kênh**

+ Chuyển đổi đo lường: biến tín hiệu cần đo thành tín hiệu điện.

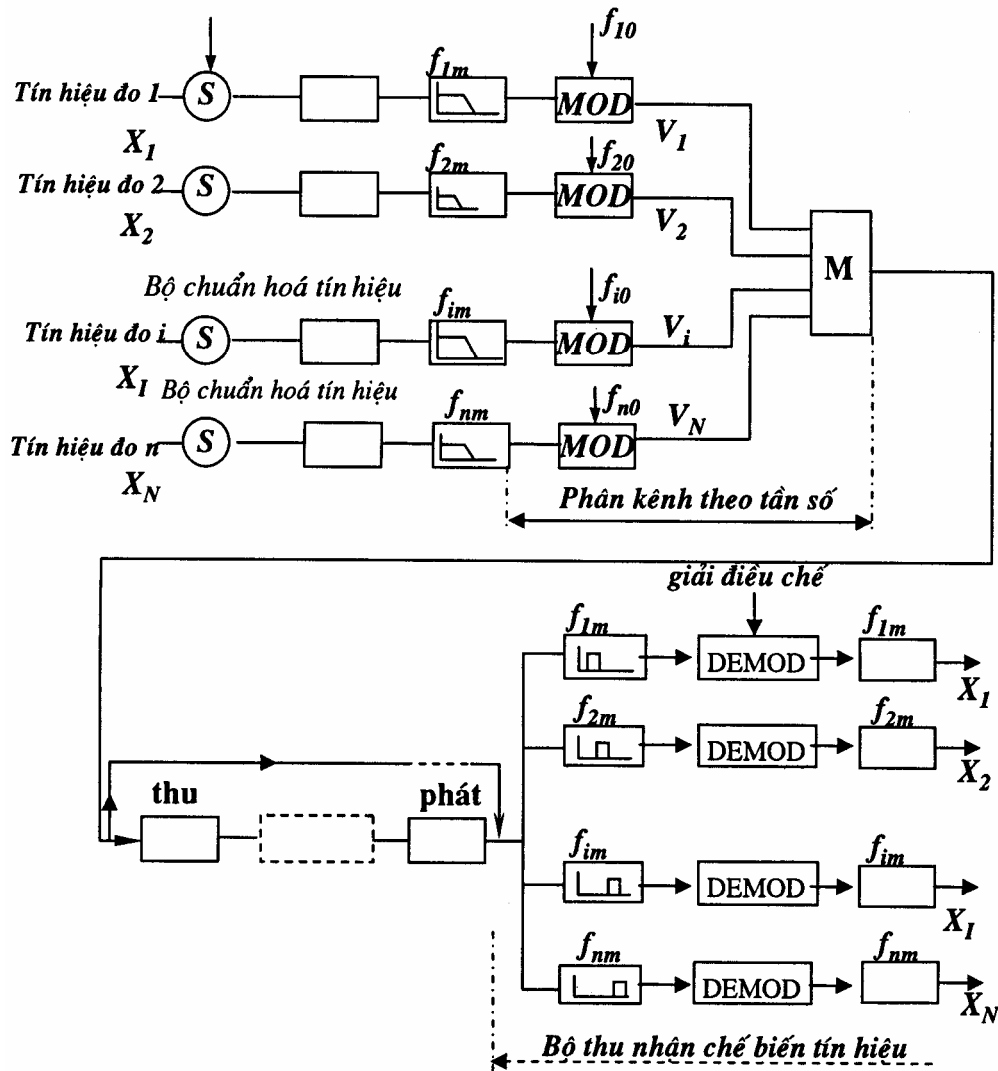
+ Mạch đo: thu nhận, xử lý, khuếch đại thông tin... bao gồm: nguồn, các mạch khuếch đại, các bộ biến thiên A/D, D/A, các mạch phụ...

+ Chỉ thị: thông báo kết quả cho người quan sát, thường gồm chỉ thị số và chỉ thị cơ điện, chỉ thị tự ghi, v.v...

### **1.1.2.4. Với hệ thống đo lường nhiều kênh**

Trường hợp cần đo nhiều đại lượng, mỗi đại lượng đo ở một kênh, như vậy tín hiệu đo được lấy từ các sensor qua bộ chuyển đổi chuẩn hoá tới mạch điều chế tín hiệu ở mỗi kênh, sau đó sẽ đưa qua phân kênh (multiplexer) để được sắp xếp tuần tự truyền đi trên cùng một hệ thống dẫn truyền. Để có sự phân biệt, các đại lượng đo trước khi đưa vào mạch phân kênh cần phải mã hoá hoặc điều chế (Modulation - MOD) theo tần số khác nhau (thí dụ như  $f_{10}$ ,  $f_{20}$ ...) cho mỗi tín hiệu của đại lượng đo.

Tại nơi nhận tín hiệu lại phải giải mã hoặc giải điều chế (Demodulation - DEMOD) để lấy lại từng tín hiệu đo. Đây chính là hình thức đo lường từ xa (TElemetry) cho nhiều đại lượng đo.



Hình 1.2. Hệ thống đo lường nhiều kênh

## 1.2. Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường

### 1.2.1. Hệ thống đo biến đổi thẳng

Trong hệ thống đo biến đổi thẳng, đại lượng vào  $x$  qua nhiều khâu biến đổi trung gian được biến thành đại lượng ra  $z$ . Quan hệ giữa  $z$  và  $x$  có thể viết:

$$z = f(x)$$

trong đó  $f()$  là một toán tử thể hiện cấu trúc của thiết bị đo.

Trong trường hợp quan hệ lượng vào và lượng ra là tuyến tính ta có thể viết:

$$z = S.x \quad (1.1)$$

ở đây S gọi là độ nhạy tĩnh của thiết bị.

- Nếu một thiết bị gồm nhiều khâu nối tiếp thì quan hệ giữa lượng vực và lượng ra có thể viết:

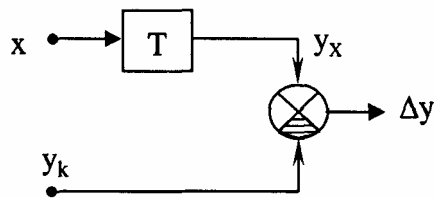
$$z = \prod_{i=1}^n S_i . x \quad (1-2)$$

trong đó  $S_i$  là độ nhạy của khâu thứ i trong thiết bị.

### 1.2.2. Hệ thống đo kiểu so sánh

Trong thiết bị đo kiểu so sánh đại lượng vào x thường được biến đổi thành đại lượng trung gian  $y_x$  qua một phép biến đổi T:

$$y_x = T.x.$$



Hình 1.3. Hệ thống đo kiểu so sánh

Sau đó  $y_x$  được so sánh với đại lượng bù  $y_k$

Ta có:  $\Delta y = y_x - y_k$

Có thể căn cứ vào thao tác so sánh để phân loại các phương pháp đo khác nhau.

#### 1.2.2.1. Phân loại phương pháp đo căn cứ vào điều kiện cân bằng

a) Phương pháp so sánh kiểu cân bằng (Hình 1.4)

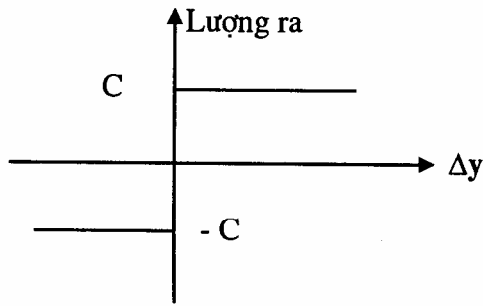
Trong phương pháp này, đại lượng vào so sánh:  $y_x = \text{const}$ ; đại lượng bù  $y_k = \text{const}$ .

Tại điểm cân bằng:

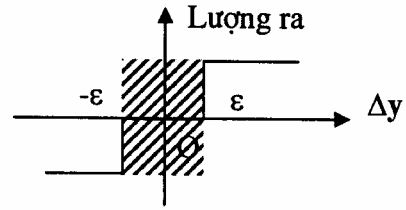
$$\Delta y = y_x - y_k \rightarrow 0.$$

b) Phương pháp so sánh không cân bằng (Hình 1.5)

Cũng giống như trường hợp trên song  $\Delta y \rightarrow \varepsilon \neq 0$



Hình 1.4. Phương pháp so sánh cân bằng



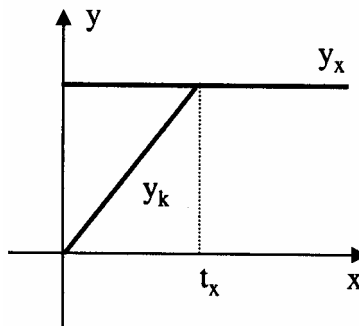
Hình 1.5. Phương pháp so sánh không cân bằng

### 1.2.2.2. Phân loại phương pháp đo căn cứ vào cách tạo điện áp bù

#### a) Phương pháp mã hoá thời gian

Trong phương pháp này đại lượng vào  $y_x = \text{const}$  còn đại lượng bù  $y_k$  cho tăng tỉ lệ với thời gian  $t$ :

$$y_k = y_0 \cdot t \quad (y_0 = \text{const})$$



Hình 1.6. Phương pháp mã hóa thời gian

Tại thời điểm cân bằng  $y_x = y_k = y_0 \cdot t_x$

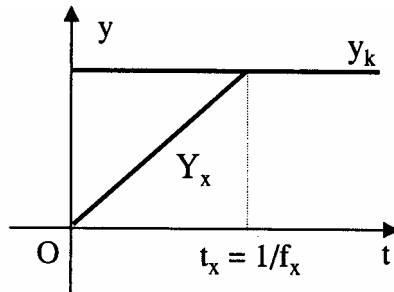
$$\Rightarrow t_x = \frac{y_x}{y_0} \quad (1-3)$$

Đại lượng cần đo  $y_x$  được biến thành khoảng thời gian  $t_x$  ở đây phép so sánh phải thực hiện một bộ ngưỡng

$$\Delta y = \text{sign}(y_x - y_k) = \begin{cases} 1 & y_x \geq y_k \\ 0 & y_x < y_k \end{cases}$$

b) Phương pháp mã hoá tần số xung

Trong phương pháp này đại lượng vào  $y_x$  cho tăng tỉ lệ với đại lượng cần đo  $x$  và khoảng thời gian  $t$ :  $y_x = t.x$ , còn đại lượng bù  $y_k$  được giữ không đổi.



Hình 1.7. Phương pháp mã hoá tần số xung

Tại điểm cân bằng có:

$$y_x = x.t_x = y_k = \text{const}$$

$$f_x = 1/t_x = x/y_k. \quad (1-4)$$

Đại lượng cần đo  $x$  đã được biến thành tần số  $f_x$ . Ở đây phép so sánh cũng phải thực hiện một bộ ngưỡng.

$$\Delta y = \text{sign}(y_k - y_x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } y_k \geq y_x \\ 0 & \text{nếu } y_k < y_x \end{cases}$$

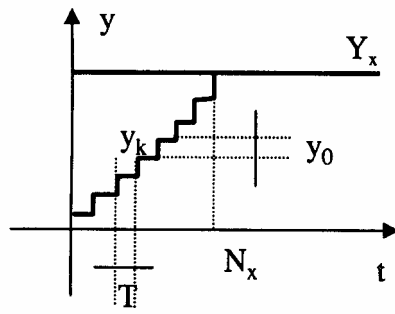
c) Phương pháp mã hoá số xung

Trong phương pháp này đại lượng vào  $y_x = \text{const}$ , còn đại lượng bù  $y_k$  cho tăng tỉ lệ với thời gian  $t$  theo quy luật bậc thang với những bước nhảy không đổi gọi là bước lượng tử.

$T = \text{const}$  còn gọi là xung nhịp.

Ta có:

$$y_k = y_0 \sum_{i=1}^n 1(t-iT) \quad (1-5)$$



Hình 1.8. Phương pháp mã hoá số xung

Tại điểm cân bằng đại lượng vào  $y_x$  được biến thành con số  $N_x$

$$y_x \approx N_x \cdot y_0 \quad (1-6)$$

Để xác định được điểm cân bằng, phép so sánh cũng phải thực hiện một bộ ngưỡng:

$$\Delta y = \text{sign}(y_x - y_k) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } y_x \geq y_k \\ 0 & \text{nếu } y_x < y_k \end{cases}$$

Ngoài ra còn phương pháp mã hoá số xung ngược, phương pháp đếm xung, phương pháp trùng phùng.

### 1.3. Các đặc tính của thiết bị đo

#### 1.3.1. Độ nhạy, độ chính xác và các sai số của thiết bị đo

##### 1.3.1.1. Độ nhạy và ngưỡng độ nhạy

Ta biết phương trình cơ bản của thiết bị đo là  $z = f(x)$ . Để có một sự đánh giá về quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của thiết bị đo, ta dùng khái niệm về độ nhạy của thiết bị:

$$S = \frac{\Delta z}{\Delta x} \quad (1-7)$$

trong đó:  $\Delta z$  là biến thiên của lượng ra và  $\Delta x$  là biến thiên của lượng vào.

Nói chung  $S$  là một hàm phụ thuộc  $x$  nhưng trong phạm vi  $\Delta x$  đủ nhỏ thì  $S$  là một hằng số. Với thiết bị có quan hệ giữa lượng vào và lượng ra là tuyến tính, ta có thể viết:  $z = S \cdot x$ , lúc đó  $S$  gọi là độ nhạy tĩnh của thiết



bị đo.

Trong trường hợp thiết bị đo gồm nhiều khâu biến đổi nối tiếp thì độ nhạy được tính  $S = \prod_{i=1}^n S_i$ , với  $S_i$  là độ nhạy của khâu thứ  $i$  trong thiết bị.

Theo lý thuyết khi xét tới quan hệ giữa  $z$  và  $x$  thì  $x$  có thể nhỏ bao nhiêu cũng được, song trên thực tế khi  $\Delta x < \varepsilon$  nào đó thì  $\Delta z$  không thể thấy được.

*Ví dụ 1.1:* Khi phụ tải tiêu thụ qua một công tơ một pha 10A nhỏ hơn 10W (chẳng hạn) thì công tơ không quay nữa.

Nguyên nhân của hiện tượng này rất phức tạp, có thể do ma sát, do hiện tượng trễ...  $\varepsilon$  được gọi là ngưỡng độ nhạy của thiết bị đo.

Có thể quan niệm ngưỡng độ nhạy của thiết bị đo là giá trị nhỏ nhất mà thiết bị đo có thể phân biệt được.

Tuy nhiên ngưỡng độ nhạy của các thiết bị đo khác nhau rất khác nhau nó chưa đặc trưng cho tính nhạy của thiết bị. Vì vậy để so sánh chúng với nhau người ta phải xét tới quan hệ giữa ngưỡng độ nhạy và thang đo của thiết bị.

Thang đo ( $D$ ) là khoảng từ giá trị nhỏ nhất tới giá trị lớn nhất tuân theo phương pháp đo lường của thiết bị

$$D = x_{\max} - x_{\min} \quad \{ x_{\min} \text{ thường} = 0 \}.$$

Từ đó đưa ra khái niệm về khả năng phân ly của thiết bị đo:

$$R = \frac{D}{\varepsilon} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\varepsilon}$$

và so sánh các  $R$  với nhau.

### **1.3.1.2. Độ chính xác và các sai số của thiết bị đo**

- Độ chính xác là tiêu chuẩn quan trọng nhất của thiết bị đo.. Bất kỳ một phép đo nào đều có sai lệch so với đại lượng đúng

$$\delta_i = x_i - x_d$$

trong đó  $x_i$  là kết quả của lần đo thứ

$x_d$  là giá trị đúng của đại lượng đo

$\delta_i$  là sai lệch của lần đo thứ  $i$

- Sai số tuyệt đối của một thiết bị đo được định nghĩa là giá trị lớn nhất của các sai lệch gây nên bởi thiết bị trong khi đo:

$$\Delta x = \max[\delta_i].$$

- Sai số tuyệt đối chùn đánh giá được tính chính xác và yêu cầu công nghệ của thiết bị đo. Thông thường độ chính xác của một phép đo hoặc một thiết bị đo được đánh giá bằng sai số tương đối:

+ Với một phép đo, sai số tương đối được tính

$$\beta = \frac{\Delta x}{x} \text{ với } x \text{ là giá trị đại lượng đo.}$$

+ Với một thiết bị đo, sai số tương đối được tính

$$\gamma = \frac{\Delta x}{D}.$$

Giá trị,  $\gamma\%$  gọi là sai số tương đối quy đổi dùng để sắp xếp các thiết bị đo thành các cấp chính xác.

Theo quy định hiện hành của nhà nước, các dụng cụ đo cơ điện có cấp chính xác: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; và 4.

Thiết bị đo số có cấp chính xác: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1.

Khi biết cấp chính xác của một thiết bị đo ta có thể xác định được sai số tương đối quy đổi và suy ra sai số tương đối của thiết bị trong các phép đo cụ thể.

Ta có:

$$\beta = \gamma \cdot \frac{D}{x} \quad (1-8)$$

trong đó  $\gamma$  là sai số tương đối của thiết bị đo, phụ thuộc cấp chính xác và không đổi nên sai số tương đối của phép đo càng nhỏ nếu  $D/x$  dần đến 1.

Vì vậy khi đo một đại lượng nào đó cố gắng chọn  $D$  sao cho:  $D \approx x$ .

### 1.3.2. Điện trở vào và tiêu thụ công suất của thiết bị đo

Thiết bị đo phải thu năng lượng từ đối tượng đo dưới bất kì hình thức

nào để biến thành đại lượng đầu ra của thiết bị. Tiêu thụ năng lượng này thể hiện ở phản tác dụng của thiết bị đo lên đối tượng đo gây ra những sai số mà ta thường biết được nguyên nhân gọi là sai số phụ về phương pháp. Trong khi đo ta cố gắng phân đấu sao cho sai số này không lớn hơn sai số cơ bản của thiết bị.

- Với các thiết bị đo cơ học sai số chủ yếu là phản tác dụng của chuyển đổi. Với các thiết bị đo dòng áp, sai số này chủ yếu là do ảnh hưởng của tổng trở vào và tiêu thụ công suất của thiết bị.

Tồn hao năng lượng với mạch đo dòng áp là:

$$\Delta P_A = R_A \cdot I^2.$$

$$\Delta P_U = U^2 / R_V.$$

Vậy ta tạm tính sai số phụ do ảnh hưởng của tổng trở vào là:

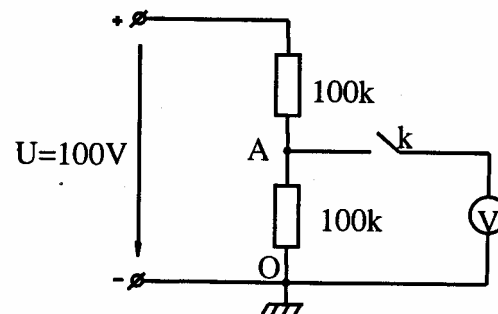
$$\gamma_I = R_A / R_t ; \gamma_U = R_t / R_V$$

với  $R_A$  là điện trở của ampermet hoặc phần tử phản ứng với dòng;

$R_V$  là điện trở của volmet hoặc phần tử phản ứng với áp;

$R_t$  là điện trở tải.

*Ví dụ 1.2:* Phân tích sai số phụ khi đo áp trên Hình 1.9.



**Hình 1.9. Ví dụ về sai số phụ**

+ Giả sử cần kiểm tra điện áp  $U_{A0}$ .

Theo lý lịch  $[U_{A0}] = 50 \pm 2$  (V).

+ Xét khi chưa đo (k mở), ta có ngay:

$$U_{A0} = 50 \text{ V.}$$

+ Xét khi đo (k đóng).

Giả sử  $R_V = 100 \text{ k}\Omega$ . Vậy điện áp đo được:  $U_V = U_{A0} = 33,3 \text{ V}$ .

Sai số từ 33 V trở lên 50 V chính là sai số phụ về phương pháp do ảnh hưởng điện trở của V sinh ra.

### 1.3.3. Các đặc tính động của thiết bị đo

Khi đo các đại lượng biến thiên ta phải xét đến đặc tính động của dụng cụ đo. Đặc tính động của dụng cụ đo thể hiện ở các đặc trưng sau:

- Hàm truyền đạt của thiết bị đo hay độ nhạy động của thiết bị đo  $K(p)$  tức là quan hệ giữa đại lượng ra và đại lượng vào ở trạng thái động

$$S(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}. \quad (1-9)$$

Đặc tính này thể hiện dưới các dạng sau:

+ Đặc tính quá độ ứng với tín hiệu vào có dạng bước nhảy:

$$x(t) = A.1(t - \tau);$$

+ Đặc tính xung hay tín hiệu vào là xung hẹp:

$$x(t) = A.\delta(t - \tau);$$

+ Đặc tính tần lúc tín hiệu vào có dạng hình sin:

$$x(t) = A.e^{j\omega t};$$

+ Đặc tính tần thể hiện ở hai dạng: đặc tính biên tần  $A(\omega)$  và đặc tính pha tần  $\theta(\omega)$ .

Đặc tính còn thể hiện dưới dạng sai số tần số, sai số này thể hiện ở sai số biên tần  $\gamma_A$  và sai số pha tần  $\gamma_\theta$ :

$$\gamma_A = \frac{A(\omega) - A_0}{A_0}$$

$$\gamma_\theta = \theta(\omega) - \theta_0$$

trong đó:  $A(\omega)$  là biên độ đầu ra phụ thuộc tần số;

$A_0$  là biên độ của khâu lý tưởng không phụ thuộc tần số;

$\theta(\omega)$  là góc pha ở đầu ra phụ thuộc tần số;

$\theta_0$  là góc pha lý tưởng không phụ thuộc tần số.

Trong dụng cụ đo các sai số này phải nhỏ hơn một giá trị cho phép

quy định bởi nhà nước. Giải tần của dụng cụ đo là khoảng tần số của đại lượng vào để cho sai số không vượt quá giá trị cho phép.

Thời gian ổn định hay thời gian đo của thiết bị là thời gian kể từ khi đặt tín hiệu vào của thiết bị cho tới khi thiết bị ổn định có thể biết được kết quả.

Chính dựa vào thời gian đo của thiết bị này cho phép ta tự động rời rạc hoá đại lượng cần đo để đo giá trị tức thời, sau đó dùng các phép gia công toán học hoặc dùng phương tiện để phục hồi lại hoàn toàn hiện tượng xảy ra.

#### 1.4. Gia công kết quả đo lường

Gia công kết quả đo lường là dựa vào kết quả của những phép đo cụ thể ta xác định giá trị đúng của phép đo đó và sai số của phép đo ấy.

$$x = x_d \pm \Delta x = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (1-10)$$

Dụng cụ đo nào cũng có sai số và nguyên nhân sai số rất khác nhau, vì vậy cách xác định sai số phải tùy theo từng trường hợp mà xác định. Hiện nay đã dùng nhiều phương pháp khác nhau để phép đo đảm bảo yêu cầu kỹ thuật đề ra.

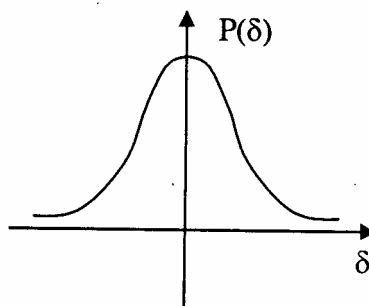
##### 1.4.1. Tính toán sai số ngẫu nhiên

- Để xác định sai số ngẫu nhiên ta dựa vào phương pháp thống kê nhiều kết quả đo lường. Sai số ngẫu nhiên của lần đo thứ  $i$  được tính

$$\delta_i = x_i - M[x] \quad (1-11)$$

trong đó:  $x_i$  là kết quả lần đo thứ  $i$ ;

$M[x]$  là kỳ vọng toán học của vô số lần đo đại lượng  $x$ .



Hình 1.10. Luật phân bố chuẩn

- Theo toán học thống kê thì sự phân bố của sai số ngẫu nhiên xung quanh giá trị kỳ vọng toán học theo một quy luật nhất định gọi là luật phân bố xác suất.

Trong các thiết bị đo lường và điều khiển thường theo quy luật phân bố chuẩn:

$$P(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1-12)$$

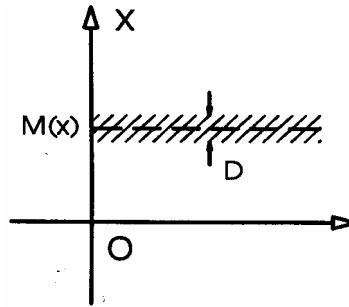
trong đó  $\sigma$  là độ lệch quân phương hay phương sai của sai số ngẫu nhiên.

Ta có công thức:

$$\sigma^2 = D = \int_{-\infty}^{\infty} \delta^2 P(\delta) d\delta \quad (1-13)$$

với D là độ tán xạ.

Trong kỹ thuật ta thường dùng khái niệm phương sai  $\sigma = \sqrt{D}$  vì nó có cùng thứ nguyên với đại lượng cần đo.



**Hình 1.11. Kỳ vọng và độ tán xạ của luật phân bố chuẩn**

Quá trình gia công kết quả như sau:

a) Khi số lần đo là rất lớn ( $n > 30$ )

Sai số ngẫu nhiên được tính:

$$\Delta x = k \cdot \sigma \quad (1-14)$$

trong đó k là hệ số, được tra trong sổ tay kỹ thuật (bảng hoặc đường cong).

b) Khi số lần đo có hạn ( $n \leq 30$ )

Quá trình gia công được tiến hành như sau:

+ Kỳ vọng toán học được lấy là trung bình cộng của n lần đo

$$M[x] = \bar{x} = x_d = \frac{\sum_{k=1}^n x_i}{n}. \quad (1-15)$$

+ Phương sai của sai số ngẫu nhiên được tính theo công thức BessE1

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\right)^2}{n-1}}. \quad (1-16)$$

Nếu ta lấy kết quả là giá trị trung bình của n lần đo thì phương sai sẽ giảm đi  $\sqrt{n}$  lần

$$\sigma_x^- = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (1-17)$$

+ Sai số ngẫu nhiên được tính:

$$\Delta x = k_{st} \cdot \sigma_x^-$$

trong đó  $k_{st}$  là hệ số Student, nó phụ thuộc vào số lần thu thập n và xác suất yêu cầu p. Hệ số  $k_{st}$  được tra trong các sổ tay kỹ thuật:  $k_{st} = f(n,p)$ .

+ Kết quả đo được tính:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x = \frac{\sum x_i}{n} \pm k_{st} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n(n-1)}} \quad (1-18)$$

*Chú ý:* Trong thực tế có những lần thu thập số liệu cho kết quả không đáng tin cậy (và ta thường gọi là nhiễu của tập số liệu), ta phải loại bỏ lần đo này nhờ thuật toán sau:

Sau khi tính  $\sigma$  ta so sánh các  $|\delta_i|$  với  $3\sigma$  với  $i = 1$  đến n, nếu lần đo nào có  $|\delta_i| \geq 3\sigma$  thì phải loại bỏ lần đo đó và tính lại từ đầu với (n - 1) phép đo còn lại. Có thể chứng minh rằng việc loại bỏ đó đã đảm bảo độ tin cậy 99,7%.

*Ví dụ 1.3:* Tính kết quả đo và sai số ngẫu nhiên với một xác suất

đáng tin  $p = 0,98$  của một phép đo điện trở bằng cầu kép với kết quả như sau (đơn vị tính =  $m\Omega$ ):

140,25; 140,5; 141,75; 139,25; 139,5; 140,25; 140; 126,75; 141,15; 142,25; 140,75; 144,15; 140,15; 142,75. Biết sai số ngẫu nhiên có phân bố chuẩn.

*Bài làm:*

$$\text{Sau khi tính } \bar{R} = M[R] = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{14} = 139,96 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

$$\text{Tiếp theo tính } \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 4,03 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

So sánh các  $\delta_i = R_i - \bar{R}$  với  $3\sigma$ . Ta thấy lần đo thứ 8 phạm phải sai lầm lớn ( $\delta_8 = R_8 - \bar{R} \geq 3\sigma$ ) nên ta bỏ qua lần đo này và tính lại từ đầu với 13 lần đo còn lại. Ta lập bảng sau:

**Bảng 1.1. Ví dụ về tính toán sai số ngẫu nhiên**

STT	$R_i$	$\delta_i$	$\delta_i^2$
1	140,25	-0,73	0,5329
2	140,5	-0,48	0,2304
3	141,75	0,77	0,5929
4	139,25	-1,73	2,9929
5	139,5	1,48	2,1904
6	140,25	-0,73	0,5329
7	140	-0,98	0,9624
8	141,15	0,17	0,0289
9	142,25	1,27	1,6129
10	140,75	-0,23	0,0529
11	144,15	3,71	13,7641
12	140,15	-0,83	0,6889
13	142,75	1,77	3,1329
		Tổng: 0	Tổng: 23,64



$$\text{Tính lại: } M[R] = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{13} R_i}{13} = 140,98$$

$$\sum_{i=1}^{13} \delta_i^2 = 23,64$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{13-1}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{13-1}} \approx 1,4 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

$$\sigma_{\bar{R}} = \frac{\sigma}{\sqrt{13}} \approx 0,38 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

$$\text{Với } P = 0,98; n = 13; \text{ chọn } k_{st} = \frac{2,72 + 2,65}{2} = 2,685$$

$$\Delta R = k_{st} \cdot \sigma_{\bar{R}} \approx 1,04 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

Kết quả

$$R = \bar{R} \pm \Delta R = 140,98 \pm 1,04 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

#### 1.4.2. Tính toán sai số gián tiếp

Trong thực tế có nhiều phương pháp đo mà kết quả được tính từ phép đo trực tiếp khác người ta gọi phép đo đó là phép đo gián tiếp.

Giả sử có một phép đo gián tiếp đại lượng  $y$  thông qua các phép đo trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$ :  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Ta có:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n. \quad (1-19)$$

Sai số tuyệt đối của phép đo gián tiếp được đánh giá

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta x_k\right)^2} \quad (1-20)$$

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ : sai số tuyệt đối của phép đo các đại lượng trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$

Sai số tương đối của phép đo gián tiếp được tính là:

$$\gamma_y = \frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{y}\right)^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta x_n}{y}\right)^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2} = \sqrt{\gamma_{x_1}^2 + \gamma_{x_2}^2 + \dots + \gamma_{x_n}^2}$$

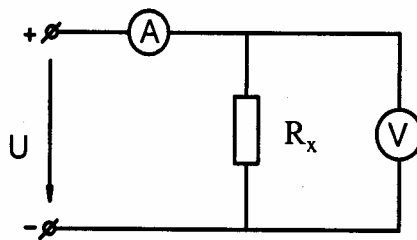
trong đó:  $\gamma_{x_1}, \gamma_{x_2}, \dots, \gamma_{x_n}$  là sai số tương đối của các phép đo trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

**Bảng 1.2. Bảng tính sai số tuyệt đối và sai số tương đối của một số hàm y thường gặp**

Hàm y	Sai số tuyệt đối $\Delta y$	Sai số tương đối $\gamma_y = \Delta y / y$
$x_1 + x_2$	$\pm \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$	$\pm \sqrt{\frac{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}{(x_1 + x_2)^2}}$
$x_1 \cdot x_2$	$\pm \sqrt{x_1^2 (\Delta x_2)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$
$\frac{x_1}{x_2}$	$\pm \sqrt{\frac{x_1^2 (\Delta x_2)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}{x_2^4}}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$
$x^n$	$\pm n x^{n-1} \Delta x$	$\pm n \left(\frac{\Delta x}{x}\right)$

*Ví dụ 1.4:* Người ta sử dụng ampeomet và volmet để đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp. Ampeomet có thang đo là 1A, cấp chính xác là 1. Volmet có thang đo là 150V, cấp chính xác 1,5. Khi đo ta được số chỉ của hai đồng hồ là:  $I = 1A, U = 100V$ .

Hãy tính sai số tuyệt đối và tương đối của phép đo điện trở trên.



**Hình 1.12. Ví dụ về tính toán sai số gián tiếp**

*Bài làm:*

+ Sai số tuyệt đối của ampeomet là:

$$\Delta I = D_I \gamma\% = 1. 1/100 = 0,01(\text{A}).$$

+ Sai số tuyệt đối của volmet là:

$$\Delta U = D_U \gamma\% = 150.1,5/100 = 2,25(\text{V}).$$

+ Giá trị điện trở theo phép đo là:

$$R = U/I = 100/1 = 100(\Omega).$$

+ Sai số tuyệt đối của phép đo điện trở là:

$$\Delta R = \pm \sqrt{\frac{I^2 \Delta U^2 + U^2 \Delta I^2}{I^4}} = \pm \sqrt{\frac{1 \times 2,25^2 + 100^2 \times 0,01^2}{1}} = 2,46\Omega$$

+ Sai số tương đối của phép đo điện trở

$$\begin{aligned} \gamma &= \pm \frac{\Delta R}{R} 100 = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \times 100 \\ &= \pm \sqrt{\left(\frac{2,25}{100}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{1}\right)^2} \times 100 \\ &= \pm 0,024 \times 100 = 2,4\%. \end{aligned}$$

## Chương 2

# CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ

### 2.1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện

#### 2.1.1. Cơ sở chung

##### 2.1.1.1. Khái niệm

Cơ cấu chỉ thị là dụng cụ đo mà số chỉ của nó là đại lượng tỉ lệ với đại lượng đo liên tục. Chỉ thị cơ điện là cơ cấu chỉ thị có tín hiệu vào là dòng điện và tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ thị. Đại lượng cần đo sẽ trực tiếp biến đổi thành góc quay của kim chỉ thị, tức là thực hiện việc chuyển đổi năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học làm quay kiến chỉ thị đi một góc  $\alpha$ :  $\alpha = f(x)$ ,  $x$  là đại lượng vào.

Cơ cấu chỉ thị cơ điện bao gồm hai phần: phần tĩnh và phần quay. Tùy theo phương pháp biến đổi năng lượng điện từ người ta chia thành cơ cấu chỉ thị kiểu từ điện, điện từ, điện động, cảm ứng và tĩnh điện.

##### 2.1.1.2. Các chi tiết cơ khí chung của chỉ thị cơ điện

###### a) Trục và trụ

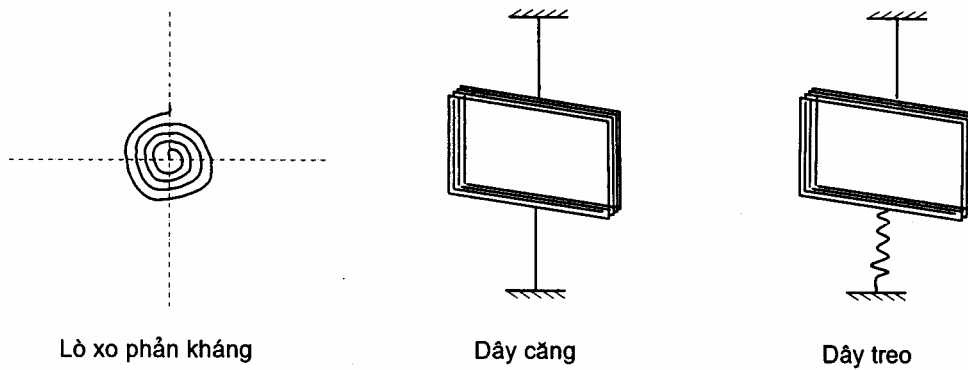
Trục và trụ là bộ phận quan trọng trong các chi tiết cơ khí của các cơ cấu chỉ thị cơ điện, đảm bảo cho phần động quay trên trục có gắn các chi tiết của phần động như kim chỉ thị, lò so phản, khung dây.

###### b) Bộ phận phản kháng

Bộ phận phản kháng bao gồm lò so phản kháng hoặc dây căng hoặc dây treo. Mục đích để tạo ra mômen phản kháng.

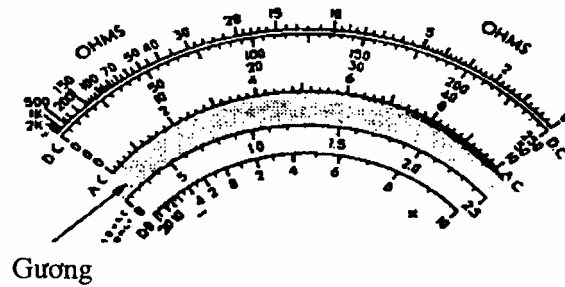
###### c) Kim chỉ thị góc quay $\alpha$

Kim chỉ thị góc quay  $\alpha$  được gắn với trục quay. Độ di chuyển của kim trên thang chia độ tỉ lệ với góc quay  $\alpha$ . Ngoài ra có thể chỉ thị góc quay bằng ánh sáng.



Hình 2.1a. Một số cơ cấu phản kháng

d) Thang chia độ



Hình 2.1b. Thang chia độ

Thang chia độ là mặt khắc độ thang đo, để xác định giá trị đo

e) Bộ phận cản dộ

Bộ phận cản dộ có tác dụng rút ngắn quá trình dao động của phần động, xác lập vị trí nhanh chóng trong cơ cấu chỉ thị. Thông thường có hai loại cản dộ được sử dụng, đó là cản dộ kiểu không khí và cản dộ kiểu cảm ứng.



a) Cơ cấu cản dộ kiểu không khí

b) Cơ cấu cản dộ kiểu cảm ứng

Hình 2.2. Một số cơ cấu cản dộ thường gặp

2.1.2. Phương trình đặc tính của cơ cấu cơ điện

### 2.1.2.1. Các mômen tác động lên phần cơ cấu

#### a) Mômen quay

Khi có dòng điện chạy trong cơ cấu chỉ thị, thì trong nó sẽ tích lũy một năng lượng điện từ, năng lượng này được biến thành cơ năng làm quay phần động đi một góc nào đó, có nghĩa là thực hiện một công cơ học:

$$dA = M_q d\alpha$$

trong đó:  $dA$  là lượng vi phân của công cơ học;

$M_q$  là mômen quay;

$d\alpha$  là lượng vi phân của góc quay.

Theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$dW_e = dA$$

$dW_e$  là lượng vi phân của năng lượng điện từ

$$\text{Vậy } M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

#### b) Mômen phản

Dưới tác dụng của mômen quay, nếu không có gì cản lại thì phần động của cơ cấu sẽ quay đi một góc lớn nhất có thể có được. Vì vậy người ta tạo ra các mômen phản tỷ lệ với góc quay  $\alpha$  nhờ các bộ phận phản kháng là lò xo xoắn, dây căng hoặc dây treo.

$$\text{Ta có: } M_p = D\alpha;$$

với  $D$  là hệ số phụ thuộc vào kích thước vật liệu chế tạo lò xo, dây căng hoặc dây treo.

Khi mômen quay cân bằng với mômen phản thì phần động đứng yên

$$M_q = M_p = D\alpha.$$

#### c) Mômen ma sát

Đối với các dụng cụ dùng trục quay ta phải xét đến ảnh hưởng của lực ma sát giữa trục và ổ, mômen ma sát được tính theo công thức kinh nghiệm

$$M_{ms} = K.G^n$$

trong đó K là hệ số tỷ lệ, G là trọng lượng phần động,  $n = (1,3 \div 1,5)$

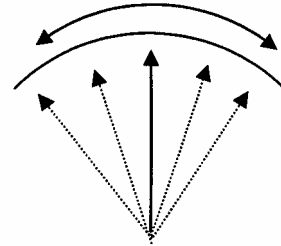
*d) Mômen cản dọi*

Khi trục quay dẫn đến kim chỉ thị quay theo cho tới vị trí cân bằng rồi mới dừng lại, do phần động có quán tính và lò so bị kéo nên kim sẽ dao động rồi mới đứng yên cho nên phải có bộ phận ổn định dao động kim hay bộ phận cản dọi.

Mômen cản dọi được chế tạo sao cho có trị số tỷ lệ với tốc độ quay của phần động

$$M_{cd} = p \frac{d\alpha}{dt}$$

với p là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào đặc điểm cấu tạo của bộ phận cản dọi. Từ biểu thức trên ta thấy khi phần động ở vị trí cân bằng thì  $\frac{d\alpha}{dt} = 0$ , như vậy mômen cản dọi không



Hình 2.3. Sự dao động của kim

làm ảnh hưởng đến kết quả đo.

**2.1.2.2. Phương trình cân bằng phần động của cơ cấu đo**

Theo định luật cơ học đối với một chuyển động quay, đạo hàm bậc nhất của mômen động lượng theo thời gian bằng tổng các mômen tác động lên vật quay ấy.

$$\frac{d}{dt} \left( J \frac{d\alpha}{dt} \right) = \sum M_i \Rightarrow J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \sum M_i$$

trong đó: J là mômen quán tính phần động;

$\sum M_i$  là tổng các mômen tác động lên phần động của cơ cấu, bao gồm:

$$M_q = \frac{dW_{dt}}{d\alpha}; M_{ms} = K.G^n; M_{cd} = p \frac{d\alpha}{dt}; M_p = D\alpha.$$

Thay các đại lượng trên vào phương trình, ta có:

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = M_q - M_p - M_{ms} \pm M_{cd}$$

$$\Rightarrow J \frac{d^2\alpha}{dt^2} \pm p \frac{d\alpha}{dt} + M_p + M_{ms} = M_q$$

Phương trình này chính là phương trình mômen chuyển động của cơ cấu Giải phương trình này ta tìm được  $\alpha(t)$ . Tùy theo quan hệ giữa J, P, D mà cơ cấu dao động hay không dao động và quyết định tính ổn định và thời gian đo của cơ cấu.

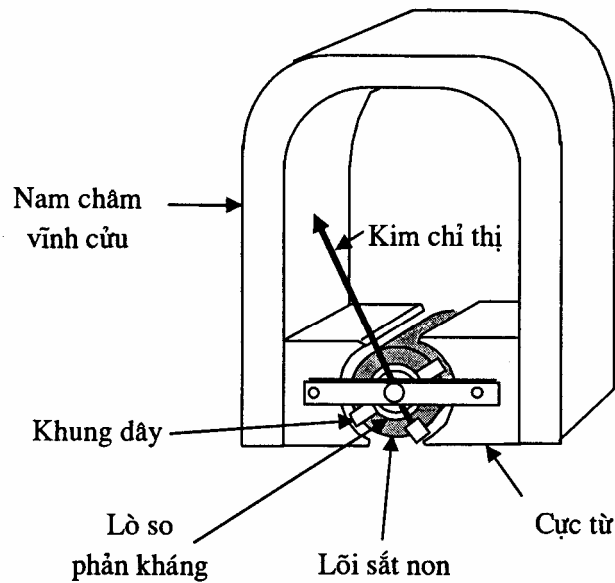
### 2.1.3. Cơ cấu đo từ điện

#### 2.1.3.1. Loại có một khung dây động

##### 1. Cấu tạo

Phần tĩnh gồm: nam châm vĩnh cửu, cực từ, lõi sắt non, trong đó khe hở không khí giữa cực từ và lõi sắt là đều nhau.

Phần động gồm: khung dây, lò so phản kháng, kiến chỉ thị.



Hình 2.4. Cơ cấu chỉ thị từ điện

##### 2. Nguyên lý làm việc

- Khi ta cho dòng điện một chiều I chạy vào khung dây, dưới tác dụng của từ trường nam châm vĩnh cửu trong khe hở không khí, các cạnh



của khung dây sẽ chịu tác dụng một lực:

$$F = B/lI$$

trong đó: B là trị số cảm ứng từ trong khe hở không khí; l là chiều dài tác dụng của khung dây; W là số vòng dây; I là trị số dòng điện.

Ta thấy hai cạnh của khung dây cùng chịu tác dụng của lực F nhưng ngược chiều nhau nên sẽ tạo ra mômen quay:

$$M_q = 2F \frac{d}{2} = B.l.d.W.I = B.S.W.I$$

trong đó: d là kích thước ngang của khung dây;

S = dl là thiết diện bề mặt khung dây.

Mômen phản của lò so:  $M_p = D.\alpha$ .

Vậy phần động sẽ cân bằng khi:

$$M_q = M_p \Leftrightarrow B.S.W.I = D\alpha \Leftrightarrow \alpha = \frac{B.S.W}{D}I = S_1.I.$$

Ở đây  $S_1 = \frac{B.S.W}{D} = \text{const}$  là độ nhạy của cơ cấu theo dòng điện.

Ta thấy  $\alpha$  tỷ lệ bậc nhất với I.

### 3. Đặc điểm và ứng dụng

#### **Đặc điểm:**

- Ưu điểm:

+ Dụng cụ có độ nhạy cao và không đổi trong toàn thang đo;

+ Độ chính xác cao, ít chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, tiêu thụ năng lượng ít;

+ Vì  $\alpha$  tỷ lệ bậc nhất với I nên thang chia độ của cơ cấu đều.

- Nhược điểm:

+ Chế tạo khó khăn, giá thành đắt;

+ Do khung dây ở phần động nên phải quấn bằng dây có kích thước nhỏ nên khả năng quá tải kém;

+ Chỉ đo được dòng một chiều. Thật vậy, khi ta cho dòng xoay chiều  $i = I_m \sin \omega t$  vào khung dây, ta có mômen quay tức thời theo thời gian:

$$m_q(t) = B.S.W.i$$

$$M_{qTB} = \frac{1}{T} \int_0^T m_q(t) dt = B.S.W.I_m \frac{1}{T} \int_0^T \sin \omega t dt = 0.$$

Vậy muốn đo các đại lượng xoay chiều ta phải kết hợp với bộ chỉnh lưu.

### **Ứng dụng:**

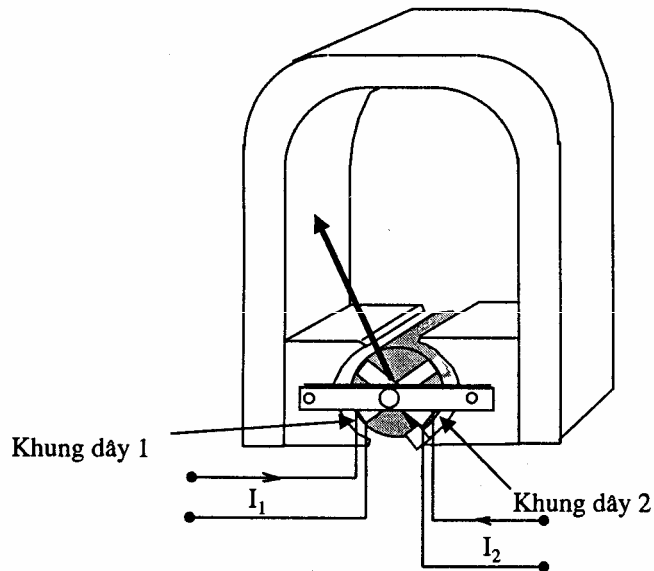
Dùng chế tạo ampemet, volmet, ommet, điện kế có độ nhạy cao, dùng làm cơ cấu chỉ không trong các đồng hồ vạn năng, trong các cầu đo...

### **2.1.3.2. Loại có hai khung dây động (Logomet từ điện)**

#### **1. Cấu tạo**

Phần tĩnh giống như cơ cấu một khung dây nhưng khe hở không khí giữa cực từ và lõi sắt non là không đều nhau.

- Phần động ta đặt hai cuộn dây chéo nhau  $60^\circ$ , gắn cứng trên trục quay và lần lượt cho dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  chạy qua sao cho chúng sinh ra hai mômen quay ngược chiều nhau. Phần động không có lò so phản.



**Hình 2.5. Logomet từ điện**

#### **2. Nguyên lý làm việc**

Khi ta cho các dòng một chiều  $I_1, I_2$  chạy vào các cuộn dây động, dưới tác dụng của từ trường nam châm vĩnh cửu sẽ tạo ra các mômen quay  $M_1, M_2$  với:

$$M_1 = B_1 \cdot S_1 \cdot W_1 \cdot I_1$$

$$M_2 = B_2 \cdot S_2 \cdot W_2 \cdot I_2$$

Vì khe hở không khí là không đều nên cảm ứng từ  $B$  phụ thuộc vị trí của khung dây động.

$$B_1 = f_1(\alpha) \rightarrow M_1 = f_1(\alpha) \cdot S_1 \cdot W_1 \cdot I_1;$$

$$B_2 = f_2(\alpha) \rightarrow M_2 = f_2(\alpha) \cdot S_2 \cdot W_2 \cdot I_2.$$

Vì không có lò so phản nên phần động sẽ cân bằng khi  $M_1 = M_2$ . Ta có:

$$f_1(\alpha) \cdot S_1 \cdot W_1 \cdot I_1 = f_2(\alpha) \cdot S_2 \cdot W_2 \cdot I_2.$$

Vậy

$$\frac{f_1(\alpha) \cdot S_1 \cdot W_1}{f_2(\alpha) \cdot S_2 \cdot W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Giải phương trình này ta tìm được quan hệ:  $\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$

### 3. Đặc điểm và ứng dụng

#### **Đặc điểm:**

Tương tự như cơ cấu một khung dây ở trên không có độ chính xác cao hơn, công suất tổn thất thấp, độ nhạy rất cao, ít bị ảnh hưởng của từ trường ngoài. Góc lệch  $\alpha$  tỷ lệ với tỷ số hai dòng điện đi qua các khung dây, điều này thuận lợi khi đo các đại lượng vật lý thụ động phải cho thêm nguồn ngoài. Nếu nguồn cung cấp thay đổi nhưng tỷ số hai dòng điện vẫn được giữ nguyên do vậy mà tránh được sai số.

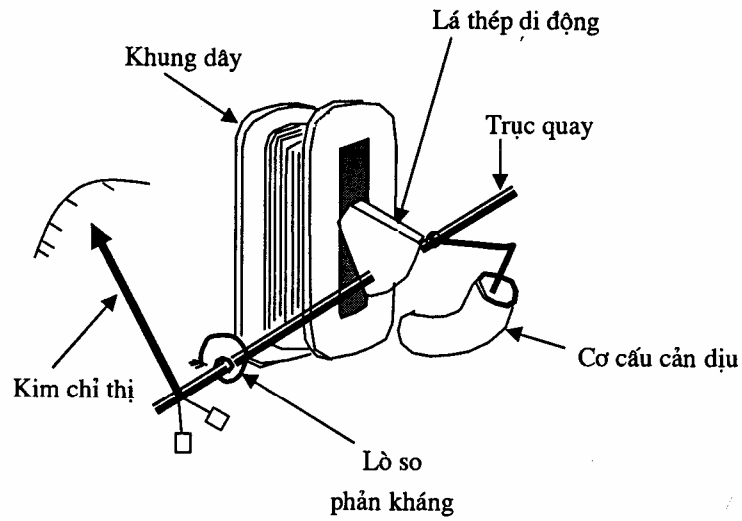
#### **Ứng dụng:**

Được dùng chế tạo các ommet, megommet.

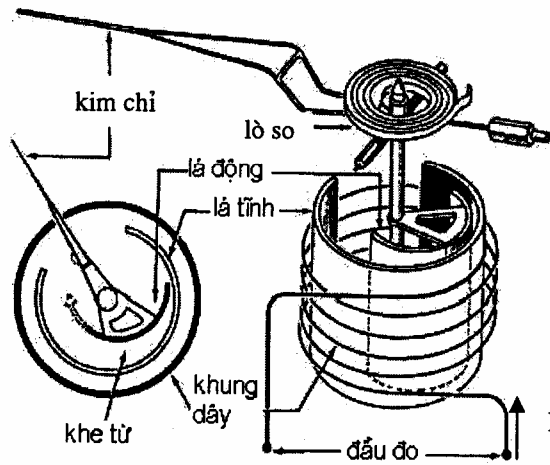
#### 2.1.4. Cơ cấu đo điện từ

#### **2.1.4.1. Cấu tạo**

Cơ cấu gồm hai loại chính: kiểu cuộn dây dẹt (cơ cấu chỉ thị điện từ loại hút) và kiểu cuộn dây tròn (cơ cấu chỉ thị điện từ loại đẩy). Cơ cấu cuộn dây dẹt có phần tĩnh là cuộn dây dẹt cho dòng điện cần đo đi qua, còn phần động là một lá thép đặt lệch tâm có thể quay trong khe hở cuộn dây tĩnh. Kiểu cuộn dây tròn có phần tĩnh là cuộn dây tròn bên trong gắn một lá thép. Phần động cũng là một lá thép gắn trên trục. Ngoài ra còn có bộ phận cản dọi, lò xo phản, kim chỉ thị



a) Cơ cấu điện từ loại hút



b) Cơ cấu điện từ loại đẩy

**Hình 2.6. Cơ cấu chỉ thị điện từ**

#### 2.1.4.2. Nguyên lý làm việc

Khi có dòng điện chạy vào cuộn dây tĩnh, trong lòng cuộn dây sẽ có một từ trường. Đối với cuộn dây dẹt từ trường này hút lá thép vào trong lòng cuộn dây tĩnh, còn đối với cuộn dây tròn thì từ trường sẽ từ hoá hai lá thép, khi đó hai lá thép có cùng cực tính nên đẩy nhau. Cả hai trường hợp trên sẽ làm cho phần động quay đi một góc  $\alpha$ .

- Khi cho dòng điện một chiều chạy vào cuộn dây:

Ta có mômen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha};$$

với  $W_e$  là năng lượng điện từ trường tích lũy ở cuộn dây

$$W_e = \frac{1}{2}LI^2$$

trong đó  $L$  phụ thuộc  $\alpha$ .

Vậy mômen quay:

$$M_q = \frac{1}{2}I^2 \frac{dL}{d\alpha}.$$

- Khi cho dòng điện xoay chiều vào cuộn dây:

Giả sử  $i = I_{\max}\sin\omega t$ . Lúc đó mômen quay  $M_q$  theo  $t$  sẽ là:

$$M_q(t) = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I_{\max}^2 \sin^2 \omega t.$$

Mômen quay trung bình:

$$M_{qtb} = \frac{1}{T} \int_0^T M_q(t) dt = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} \frac{1}{T} \int_0^T I_{\max}^2 \sin^2(\omega t) dt$$

$$M_{qtb} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I^2$$

với  $I$  là trị hiệu dụng của dòng hình sin.

Tại vị trí cân bằng  $M_q = M_p$ ;

$$\Rightarrow M_q = D\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{1}{2D} I^2 \frac{dL}{d\alpha}.$$

Vậy cơ cấu chỉ thị điện từ có thể đo được cả dòng một chiều và dòng xoay chiều.

### **2.1.4.3. Đặc điểm và ứng dụng**

**Đặc điểm:**

- Ưu điểm:

+ Có cuộn dây ở phần tĩnh nên có thể quấn bằng dây kích thước lớn nên khả năng quá tải tốt.

+ Dễ chế tạo, giá thành hạ.

+ Có thể đo được cả đại lượng một chiều và xoay chiều.

- Nhược điểm:

+ Góc quay tỷ lệ với bình phương của dòng điện và thang đo chia không đều (hình dáng lá thép được chế tạo sao cho  $\frac{dL}{d\alpha}$  giảm theo góc quay  $\alpha$  để thang chia độ có thể tương đối đều).

+ Độ chính xác thấp do có tổn hao trong lõi thép.

### **Ứng dụng:**

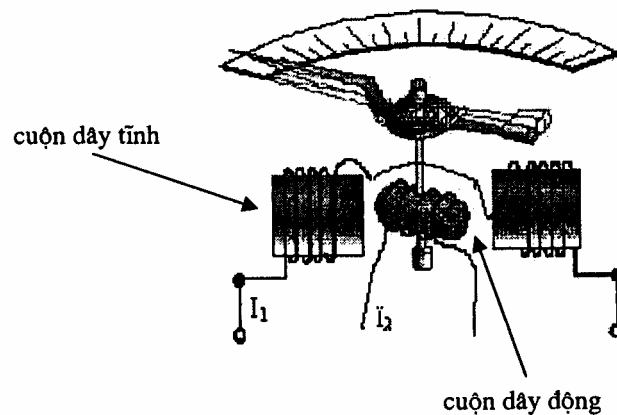
Chủ yếu đo dòng, áp xoay chiều tần số công nghiệp.

## **2.1.5. Cơ cấu đo điện động**

### **2.1.5.1. Loại có một khung dây động**

#### **a) Cấu tạo**

Cơ cấu gồm hai cuộn dây. Cuộn dây tĩnh có tiết diện lớn, ít vòng dây và thường chia làm hai phân đoạn. Phần động là một khung dây có nhiều vòng dây và tiết diện nhỏ. Ngoài ra còn có kim chỉ thị, bộ phận cản dọi, lò xo phản.



**Hình 2.7. Cơ cấu chỉ thị điện động**

#### **b) Nguyên lý làm việc**

- Xét khi cho các dòng điện một chiều  $I_1$  và  $I_2$  vào các cuộn dây phần tĩnh và động, trong lòng cuộn dây tĩnh sẽ tồn tại một từ trường. Từ trường này sẽ tác động lên dòng điện chạy trong cuộn dây động và tạo ra mômen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}.$$

Năng lượng từ trường tích lũy trong lòng cuộn dây là:

$$W_e = \frac{1}{2}L_1I_1^2 + \frac{1}{2}L_2I_2^2 + M_{12}I_1I_2$$

trong đó  $L_1, L_2$  là điện cảm của các cuộn dây và chúng không phụ thuộc vào góc quay  $\alpha$ ;  $M_{12}$  là hệ cảm của hai cuộn dây, thay đổi khi phần động quay. Mômen quay

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2.$$

- Xét khi hai dòng điện đưa vào các cuộn dây là dòng điện xoay chiều thì:

$$M_q(t) = \frac{dM_{12}}{d\alpha} i_1 i_2.$$

Giả sử  $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$  và  $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \Psi)$ .

Do phần động có quán tính mà không kịp thay đổi theo giá trị tức thời cho nên thực tế lấy theo giá trị trung bình trong một chu kỳ:

$$\begin{aligned} M_q &= \frac{1}{T} \int_0^T M_q(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T I_{1m} I_{2m} \sin \omega t \sin(\omega t - \Psi) \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt \\ &= \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \Psi \end{aligned}$$

Với  $\Psi$  là góc lệch pha giữa hai dòng điện;  $I_1, I_2$  là các giá trị hiệu dụng của dòng điện lần lượt chạy trong các cuộn dây tĩnh và động.

Tóm lại, trong mọi trường hợp ta đều có:



$$M_q = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \psi = K \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi$$

$$\text{Khi } M_q = M_p \Rightarrow \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \psi = D\alpha.$$

$$\text{Vậy } \alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \psi = K_1 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi.$$

c) *Đặc điểm và ứng dụng*

**Đặc điểm:**

- Ưu điểm:

- + Độ chính xác cao vì không có tổn hao trong lõi thép.
- + Có thể đo được cả đại lượng một chiều và xoay chiều.

- Nhược điểm:

- + Dễ chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.
- + Khả năng quá tải kém vì khung dây phần động kích thước nhỏ.
- + Cấu tạo phức tạp, đắt tiền.
- + Thang chia độ không đều (trừ khi chế tạo wattmet).

**Ứng dụng:**

- + Chế tạo các đồng hồ đo dòng, áp xoay chiều có tần số cao hoặc yêu cầu độ chính xác cao.
- + Chủ yếu chế tạo đồng hồ đo công suất tác dụng và phản kháng.

### **2.1.5.2. Loại có hai khung dây động (logomet điện động)**

a) *Cấu tạo*

Phần tĩnh gồm một cuộn dây được chia làm hai nửa. Trong lòng cuộn dây tĩnh có hai cuộn dây động gắn trên trục quay cùng với kim chỉ thị, không có lò so phản.

b) *Nguyên lý làm việc*

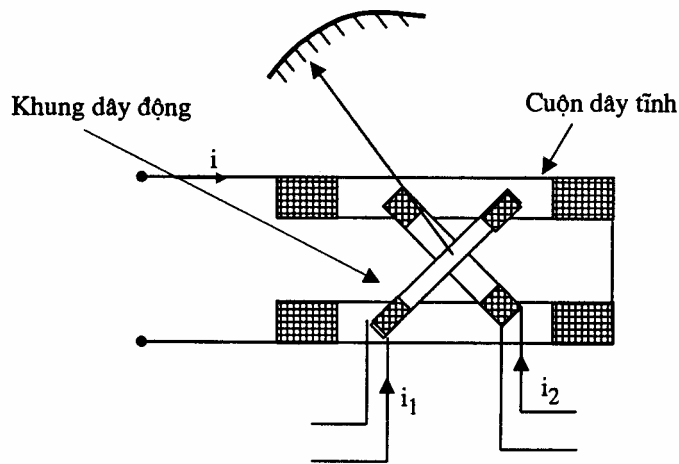
Khi cho hai dòng điện xoay chiều  $i$ ,  $i_1$ ,  $i_2$  lần lượt chạy vào cuộn dây tĩnh và các cuộn dây động, trong lòng cuộn dây tĩnh sẽ có một từ trường. Từ trường này sẽ tác động lên dòng điện chạy trong các cuộn dây động

sinh ra các mômen  $M_{q1}, M_{q2}$

$$M_{q1} = \frac{dM_1}{d\alpha} I_1 I_1 \cos \left( \overset{*}{I}, \overset{*}{I}_1 \right)$$

$$M_{q2} = \frac{dM_2}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \left( \overset{*}{I}, \overset{*}{I}_2 \right)$$

với  $M_1, M_2$  là hệ số hỗ cảm giữa cuộn dây tĩnh và lần lượt các cuộn dây động.



Hình 2.8. Logomet điện động

Người ta bố trí sao cho các mômen này ngược chiều nhau, vậy khi cân bằng phần động, ta có  $M_{q1} = M_{q2}$

$$\frac{dM_1}{d\alpha} I_1 I_1 \cos \left( \overset{*}{I}, \overset{*}{I}_1 \right) = \frac{dM_2}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \left( \overset{*}{I}, \overset{*}{I}_2 \right)$$

$$\rightarrow \frac{\frac{dM_1}{d\alpha}}{\frac{dM_2}{d\alpha}} = \frac{I_2 \cos \left( \overset{*}{I}, \overset{*}{I}_2 \right)}{I_1 \cos \left( \overset{*}{I}, \overset{*}{I}_1 \right)}$$

Giải phương trình trên, ta được:  $\alpha = f \left( \frac{I_2 \cos \beta_2}{I_1 \cos \beta_1} \right)$

với  $I_1, I_2$  là các giá trị hiệu dụng của các dòng điện  $i_1, i_2$ ;  $\beta_1, \beta_2$  là góc lệch pha giữa dòng điện  $i, i_1$  và  $i, i_2$

c) *Đặc điểm và ứng dụng*

Giống như cơ cấu một khung dây động nhưng chủ yếu để chế tạo đồng hồ đo  $\cos\varphi$  1 pha, 3 pha cho lưới điện xoay chiều.

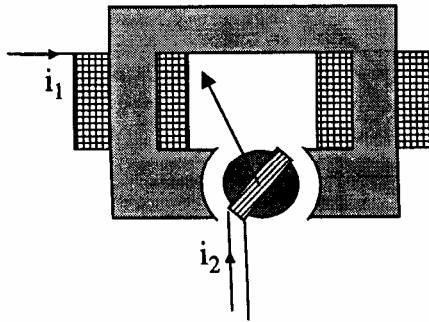
**2.1.5.3. Cơ cấu sắt điện động và logomet sắt điện động**

a) *Cơ cấu sắt điện động*

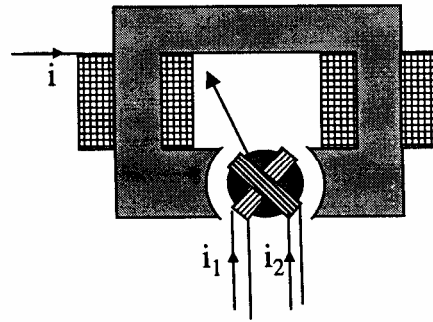
Gồm cuộn dây tĩnh, mạch từ nhằm tạo ra từ trường trong khe hở không khí. Khung dây động được gắn với trục quay cùng kim chỉ thị, lò xo phản và bộ phận cản dũa.

Góc quay được tính:

$$\alpha = K \cdot I_1 I_2 \cos(I_1, I_2).$$



Hình 2.9. Cơ cấu sắt điện động



Hình 2.10. Logomet sắt điện động

b) *Logomet sắt điện động*

Gồm mạch từ có cấu tạo sao cho tạo nên khe hở không khí không đều, phần động gồm hai khung dây đặt chéo nhau  $60^\circ$  và gắn trên trục quay cùng với kim chỉ thị. Góc quay được tính:

$$\alpha = f \left( \frac{I_2 \cos(I, I_2)}{I_1 \cos(I, I_1)} \right).$$

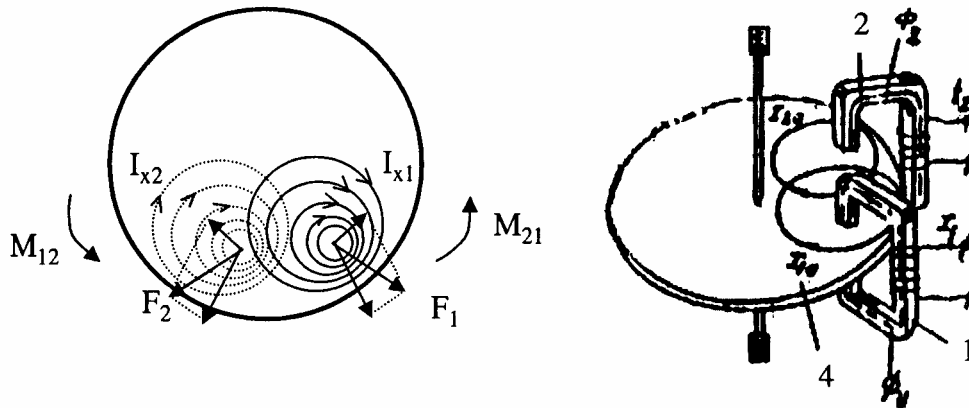
c) *Đặc điểm ứng dụng*

- Có thể đo dòng một chiều hoặc xoay chiều. Từ trường qua khung dây lớn nên ít chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.
- Tổn hao sắt từ lớn, độ chính xác không cao.
- Thường dùng để chế tạo các dụng cụ đo dòng, đo áp, công suất và góc lệch pha.

## 2.1.6. Cơ cấu đo cảm ứng

### 2.1.6.1. Cấu tạo

Cơ cấu cảm ứng được cấu tạo như hình 2.1 1.

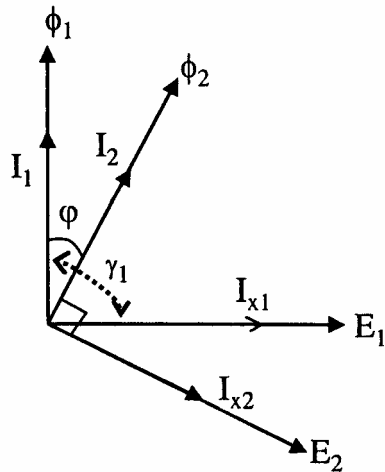


**Hình 2.11. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng**

1. Cuộn dây 1 ; 2. Cuộn dây 2 ; 3. Cơ cấu cân đọi ; 4. Đĩa nhôm và trục quay

### 2.1.6.2. Nguyên lý làm việc

Khi cho dòng điện  $i_1$  vào cuộn dây 1 thì cuộn dây 1 tạo ra từ thông  $\phi_1$  xuyên qua đĩa nhôm, dòng điện  $i_2$  vào trong cuộn dây 2 tạo ra từ thông  $\phi_2$  cũng xuyên qua đĩa nhôm.



**Hình 2.12. Đồ thị vectơ**

Từ thông  $\phi_1$  cảm ứng trên đĩa nhôm sức điện động  $e_1$  chậm pha hơn  $\phi_1$  một góc  $\pi/2$ .

Từ thông  $\phi_2$  cảm ứng trên đĩa nhôm sức điện động  $e_2$  chậm pha hơn  $\phi_2$  một góc  $\pi/2$ .

Vì đĩa nhôm được coi như rất nhiều vòng dây đặt sát nhau, cho nên  $E_1, E_2$  sẽ tạo ra trên đĩa nhôm các dòng điện xoáy  $i_{x1}$  và  $i_{x2}$  chậm pha hơn so với  $e_1$  và  $e_2$  các góc  $\alpha_1$  và  $\alpha_2$  vì ngoài điện trở thuần còn có thành phần cảm ứng, tuy nhiên

do các thành phần cảm ứng đó rất nhỏ nên ta giả thiết các góc  $\alpha_1$  và

$\alpha_2 \approx 0$ .

Do có sự tương hỗ giữa từ thông  $\phi_1, \phi_2$  với các dòng điện  $i_{x1}$  và  $i_{x2}$  mà sinh ra các lực  $F_1$  và  $F_2$  và các mômen tương ứng làm quay đĩa nhôm. Ta xét các mômen thành phần như sau:

$M_{11}$  là mômen sinh ra do  $\phi_1$  tác động lên  $i_{x1}$

$M_{12}$  là mômen sinh ra do  $\phi_1$  tác động lên  $i_{x2}$

$M_{21}$  là mômen sinh ra do  $\phi_2$  tác động lên  $i_{x1}$

$M_{22}$  là mômen sinh ra do  $\phi_2$  tác động lên  $i_{x2}$

Giá trị tức thời của mômen quay  $M_{1t}$  do sự tác động tương hỗ giữa  $\phi_1$  và dòng tức thời  $i_{x1}$  là:

$$M_{1t} = C\phi_1 i_{x1}$$

với  $C$  là hệ số tỷ lệ.

**Giả sử:**  $\phi_1 = \phi_{1m} \sin \omega t$

$$i_{x1} = I_{x1m} \sin(\omega t - \gamma)$$

với  $\gamma$  là góc lệch pha giữa  $\phi_1$  và  $i_{x1}$ , ta có:

$$M_{1t} = C\phi_{1m} I_{x1m} \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma).$$

Vì phần động có quán tính cho nên ta có mômen là đại lượng trung bình trong một chu kỳ  $T$ :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{T} \int_0^T M_{1t} dt = \frac{1}{T} \int_0^T C\phi_{1m} I_{x1m} \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma) dt \\ &= C\phi_1 I_{x1} \cos \gamma. \end{aligned}$$

Ta xét lần lượt các mômen trên

$$M_{11} = C_{11}\phi_1 I_{x1} \cos(\phi_1, I_{x1}) = C_{11}\phi_1 I_{x1} \cos(\pi/2) = 0$$

$$M_{12} = C_{12}\phi_1 I_{x2} \cos(\phi_1, I_{x2}) = C_{12}\phi_1 I_{x2} \cos(\pi/2 + \varphi) = -C_{12}\phi_1 I_{x2} \sin \varphi$$

$$M_{21} = C_{21}\phi_2 I_{x1} \cos(\phi_2, I_{x1}) = C_{21}\phi_2 I_{x1} \cos(\pi/2 - \varphi) = C_{21}\phi_2 I_{x1} \sin \varphi$$

$$M_{22} = C_{22}\phi_2 I_{x2} \cos(\phi_2, I_{x2}) = C_{22}\phi_2 I_{x2} \cos(\pi/2) = 0.$$

Như vậy mômen quay sẽ là tổng các mômen thành phần:

$$M_q = M_{12} + M_{21}$$

$M_{12}$  và  $M_{21}$  có dấu ngược nhau do vậy mômen tổng sẽ kéo đĩa nhôm về một phía duy nhất:

$$M_q = -M_{12} + M_{21} = C_{12}\phi_1 I_{x2} \sin\varphi + C_{21}\phi_2 I_{x1} \sin\varphi.$$

Nếu dòng điện tạo ra  $\phi_1$  và  $\phi_2$  là hình sin và đĩa nhôm là đồng nhất (chỉ có điện trở thuần) thì các dòng điện xoáy  $I_{x1}$  và  $I_{x2}$  sẽ tỷ lệ với tần số và từ thông sinh ra nó, tức là:

$$I_{x1} = C_3 f \phi_1, I_{x2} = C_4 f \phi_2.$$

Do vậy

$$\begin{aligned} M_q &= C_{12}\phi_1 C_4 f \phi_2 \sin\varphi + C_{21}\phi_2 C_3 f \phi_1 \sin\varphi \\ &= (C_{12}C_4 + C_{21}C_3) f \phi_1 \phi_2 \sin\varphi \\ &= C f \phi_1 \phi_2 \sin\varphi \end{aligned}$$

với  $C = C_{12}C_4 + C_{21}C_3$  là hằng số của cơ cấu chỉ thị cảm ứng.

### 2.1.6.3. Đặc điểm và ứng dụng

Điều kiện để có mômen quay là phải có hai từ trường, mômen quay cực đại khi  $\sin\varphi = 1$ , có nghĩa là góc lệch pha giữa hai từ thông  $\phi_1$  và  $\phi_2$  là  $\pi/2$ .

Cơ cấu phụ thuộc tần số, độ chính xác thấp vì khi làm việc dòng điện xoáy trong đĩa nhôm gây tổn hao công suất.

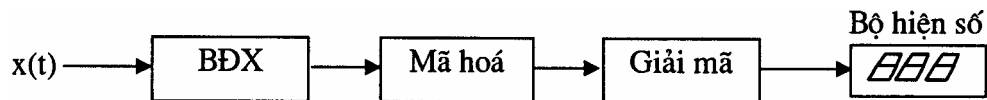
Cơ cấu được ứng dụng chủ yếu để chế tạo công tơ đo năng lượng tác dụng và phản kháng trong lưới điện xoay chiều.

## 2.2. Cơ cấu chỉ thị số

### 2.2.1. Khái niệm và nguyên lý cơ bản của cơ cấu chỉ thị số

Trong những năm gần đây xuất hiện và sử dụng rộng rãi các chỉ thị số, ưu việt của cơ cấu chỉ thị số là thuận lợi cho việc đọc ra kết quả, phù hợp với các quá trình đo lường xa, quá trình tự động hoá sản. xuất, thuận lợi cho những đối thoại giữa máy và người

Sơ đồ khối của cơ cấu chỉ thị số có thể tóm tắt như sau:



Hình 2.13. Sơ đồ khối của cơ cấu chỉ thị số

Đại lượng đo xin qua bộ biến đổi thành xung (BĐX), số xung N tỷ lệ với độ lớn  $x(t)$  được đưa vào bộ mã hoá (MH), bộ giải mã (GM) và bộ hiện số. Các khâu mã hoá, giải mã, bộ hiện số tạo thành bộ chỉ thị số.

### 2.2.2. Chỉ thị số

Có nhiều loại chỉ thị số khác nhau nhưng phổ biến hiện nay vẫn dùng chỉ thị số đèn phóng điện nhiều cực và chỉ thị số ghép 7 thanh bằng một phát quang hoặc tinh thể lỏng.

#### 2.2.2.1. Chỉ thị đèn phóng điện nhiều cực

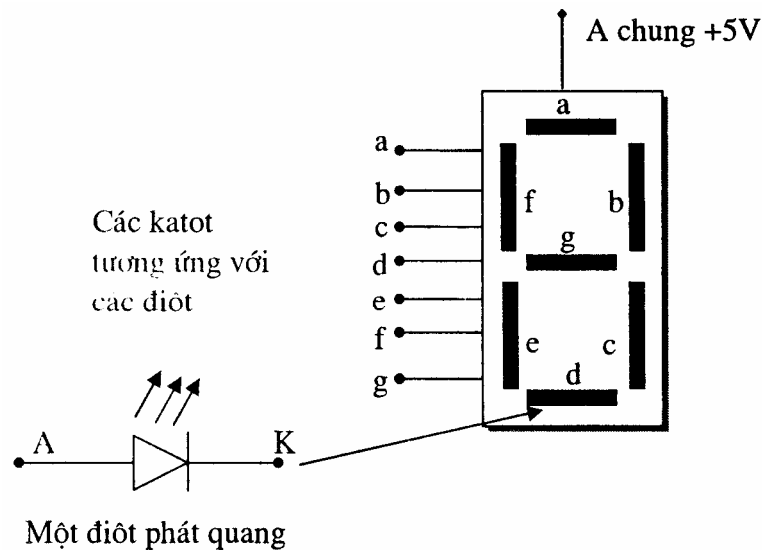
Chỉ thị là một đèn nê ông có một quật và 10 katot. Anot thường đặt ở điện áp 220V - 250V. Katot được chế tạo bằng dây Cr-Ni uốn thành hình các chữ số từ 0 - 9. Mỗi katot là một con số.

Khi có điện áp giữa quật và một katot nào đó đèn sẽ phóng điện, katot đó sẽ sáng lên và con số xuất hiện.

- Ưu điểm của chỉ thị này là hình dáng các con số đẹp.

- Nhược điểm: Kích thước cồng kềnh, nguồn điện áp cung cấp cao, chỉ phù hợp trong công nghiệp.

#### 2.2.2.2. Chỉ thị số ghép 7 thanh



Hình 2.14. Sơ đồ nguyên lý của LED 7 thanh

Chỉ thị này được ghép bằng 7 thanh dùng một phát quang (LED: Light Emitting Diode) hoặc tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display).

Điốt phát quang là những chất bán dẫn mà phát ra ánh sáng dưới tác dụng của dòng điện một chiều. Tinh thể lỏng là những màng mỏng làm bằng chất tinh thể lỏng. Đó là những chất dưới tác dụng của điện áp một chiều chuyển pha từ dạng lỏng sang dạng tinh thể và ngược lại. Khi ở dạng tinh thể thanh này trở nên trong suốt, ta có thể nhìn thấy màu sắc ở nền đằng sau. Một ưu điểm cơ bản tinh thể lỏng tiêu thụ dòng điện rất nhỏ:  $0,1\mu\text{A}/\text{thanh}$ , trong khi đó một phát quang cỡ:  $10\text{mA}/\text{thanh}$ .

Trong thực tế còn chỉ thị số 16 thanh, ma trận điểm...

### 2.2.3. Mã và các mạch biến đổi mã

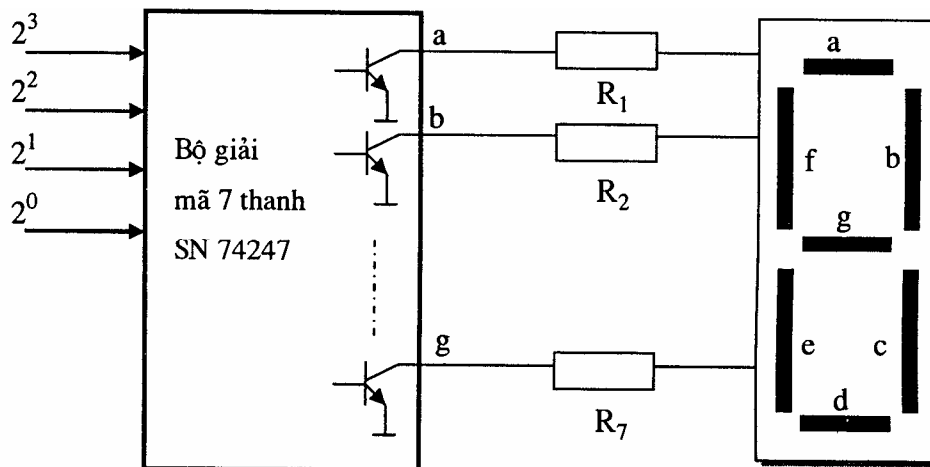
#### 2.2.3.1. Mã

Mã số là những ký hiệu về một tập hợp số, từ tổ hợp của các ký hiệu ta có thể mô tả được các con số khác nhau. Có các loại mã số sau:

- Mã cơ số 10, đó là hệ đếm thập phân có 10 ký tự từ 0, 1, 2,..., 9.
- Mã cơ số 2 là loại mã có hai trạng thái được ký hiệu từ 0 và 1 (còn gọi là mã nhị phân).
- Mã 2 - 10 (còn gọi là mã BCD) là sự liên hệ giữa mã cơ số 2 và mã cơ số 10 để dễ quan sát và dễ đọc.

Đối với cơ cấu chỉ thị số thì hiện nay chủ yếu người ta sử dụng mã cơ số 2.

#### 2.2.3.2. Các mạch biến đổi mã



Hình 2.15. Mạch giải mã từ mã nhị phân sang chỉ thị 7 thanh



Mạch biến đổi mã là thiết bị dùng để biến đổi từ mã cơ số 2 hoặc mã 2 - 10 thành mã cơ số 10, nghĩa là thể hiện dưới dạng số thập phân. Ngày nay các bộ giải mã được chế tạo dưới dạng vi mạch. Ví dụ như vi mạch SN74247 có các đầu ra hở cực góp dùng để điều khiển LED có chung anốt 5V. Các điện trở  $R_1, R_2, \dots, R_7$  để hạn chế dòng.

Phần sau đây sẽ trình bày nguyên lý một số mạch biến đổi từ mã. Dựa vào nguyên lý của các mạch biến đổi mã này mà người ta chế tạo thành các vi mạch chuyên dụng.

*a) Mạch biến đổi từ mã thập phân sang nhị phân*

Tổng quát có m đầu vào tương ứng với m số thập phân từ 0, 1, 2... m-1 và n đầu ra tương ứng với n bit của mã số nhị phân. Người ta thường tổng hợp bộ biến đổi mã với số đầu vào  $m = 10$  tức là gồm  $x_0, x_1, \dots, x_9$  ứng với các số thập phân từ 0, 1, 2, ... 9. Như vậy bộ biến đổi mã sẽ có bốn đầu ra tương ứng  $y_8, y_4, y_2, y_1$  ứng với bốn bit của mã nhị phân có trọng số 8, 4, 2, 1. Ta có bảng trạng thái như sau:

**Bảng 2.1. Bảng trạng thái biến đổi từ số thập phân sang nhị phân**

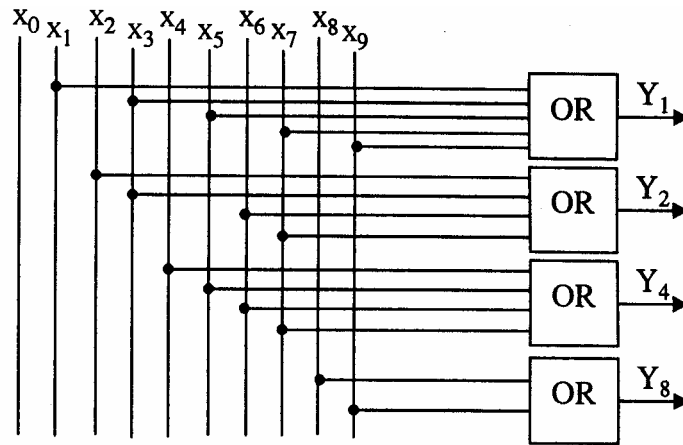
Số thập phân	Mã nhị phân			
	$Y_8$	$Y_4$	$Y_2$	$Y_1$
$X_0 (0)$	0	0	0	0
$X_1 (1)$	0	0	0	1
$X_2 (2)$	0	0	1	0
$X_3 (3)$	0	0	1	1
$X_4 (4)$	0	1	0	0
$X_5 (5)$	0	1	0	1
$X_6 (6)$	0	1	1	0
$X_7 (7)$	0	1	1	1
$X_8 (8)$	1	0	0	0
$X_9 (9)$	1	0	0	1

Từ bảng trạng thái ta có:

$$Y_1 = X_1 + X_3 + X_5 + X_7 + X_9; \quad Y_2 = X_2 + X_3 + X_6 + X_7;$$

$$Y_4 = X_4 + X_5 + X_6 + X_7; \quad Y_8 = X_8 + X_9.$$

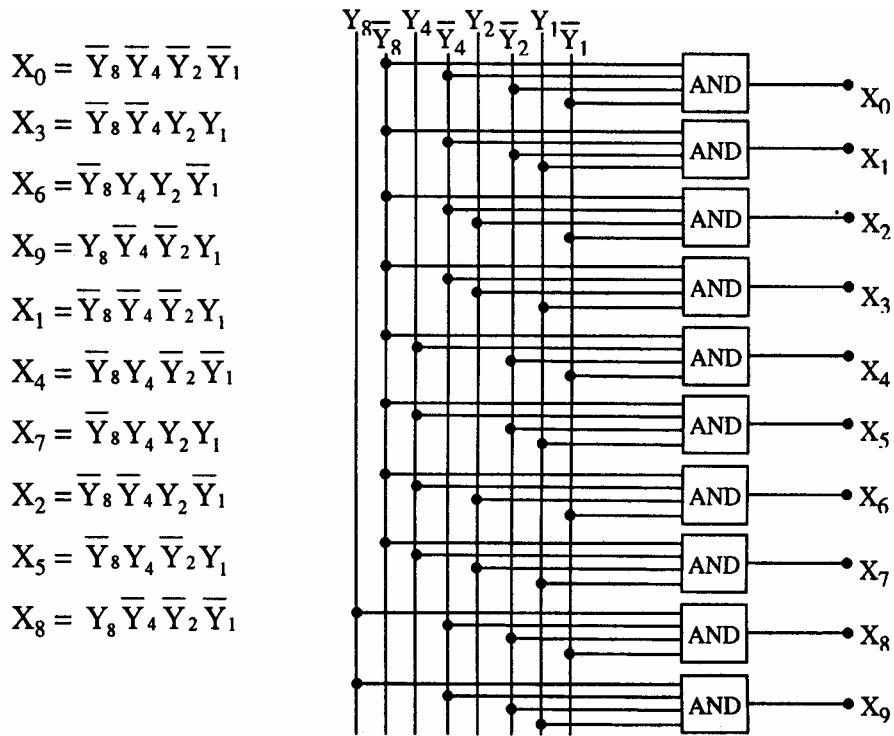
Vậy ta có thể thành lập mạch biến đổi mã từ thập phân sang nhị phân như sau:



**Hình 2.16. Mạch tuần đổi mã từ thập phân sang nhị phân**

*b) Mạch biến đổi mã từ nhị phân sang thập phân*

Nhiệm vụ của mạch này ngược với mạch trên. Với bảng trạng thái 2.1 ta có  $X_0 \div X_9$  là các biến phụ thuộc còn  $Y_1 \div Y_8$  là các biến độc lập. Vì vậy ta có các phương trình logic và sơ đồ mạch logic tương ứng:



Hình 2.17. Mạch biến đổi từ mã nhị phân sang thập phân

c) Mạch biến đổi từ số thập phân sang chỉ thị 7 thanh

Đầu vào là các số tự nhiên từ 0 ÷ 9, đầu ra là trạng thái các thanh sáng của chỉ thị 7 thanh bằng một phát quang hoặc tinh thể lỏng. Xuất phát từ thực tế ta có bảng trạng thái như sau:

Bảng 2.2. Bảng trạng thái biến đổi từ số nhị phân sang thập phân

Số thập phân	Trạng thái các phần tử						
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>
X <sub>0</sub> (0)	1	1	1	1	1	1	0
X <sub>1</sub> (1)	0	1	1	0	0	0	0
X <sub>2</sub> (2)	1	1	0	1	1	0	1
X <sub>3</sub> (3)	1	1	1	1	0	0	1
X <sub>4</sub> (4)	0	1	1	0	0	1	1
X <sub>5</sub> (5)	1	0	1	1	0	1	1
X <sub>6</sub> (6)	1	0	1	1	1	1	1

$X_7$ (7)	1	1	1	0	0	0	0
$X_8$ (8)	1	1	1	1	1	1	1
$X_9$ (9)	1	1	1	1	0	1	1

Từ bảng trạng thái ta có thể viết được phương trình như sau (với số thứ tự các thanh như phần trước)

$$Y_1 = X_0 + X_2 + X_3 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$Y_2 = X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$Y_3 = X_0 + X_1 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

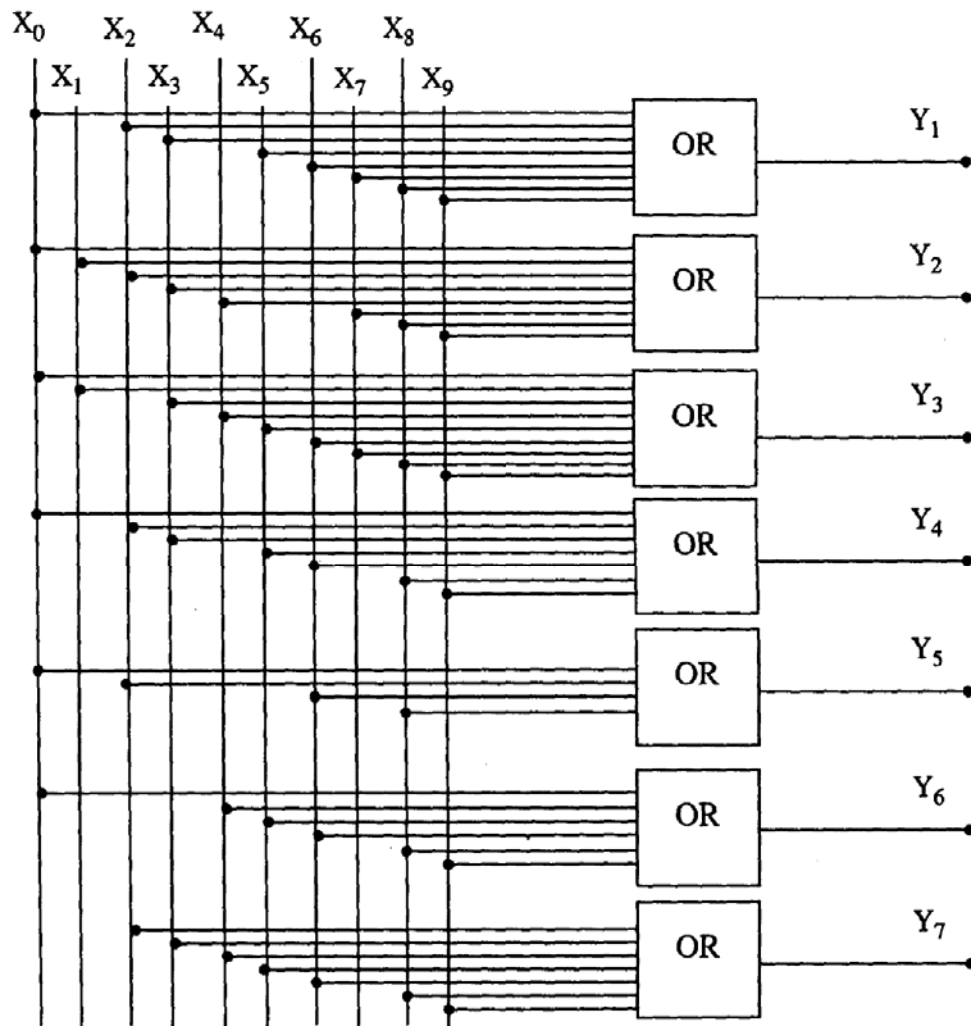
$$Y_4 = X_0 + X_2 + X_3 + X_5 + X_6 + X_8 + X_9$$

$$Y_5 = X_0 + X_2 + X_6 + X_8$$

$$Y_6 = X_0 + X_4 + X_5 + X_6 + X_8 + X_9$$

$$Y_7 = X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_8 + X_9$$

Từ đây ta có thể thiết lập mạch logic sau:



Hình 2.18. Mạch biến đổi từ mã thập phân sang chỉ thị 7 thanh

*d) Mạch biến đổi mã từ mã nhị phân sang chỉ thị 7 thanh*

Đầu vào là mã số nhị phân (8 4 2 1) ta gán các tên biến là  $X_8, X_4, X_2, X_1$ . Đầu ra là trạng thái các thanh sáng của chỉ thị 7 thanh. Ta có bảng trạng thái sau:

**Bảng 2.3. Bảng trạng thái biến đổi từ số nhị phân sang chỉ thị 7 thanh**

Số thập phân	Số nhị phân				Trạng thái các thanh sáng						
	X <sub>8</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

Từ bảng trạng thái ta viết được các phương trình logic quan hệ giữa đầu ra Y<sub>1</sub>, ..., Y<sub>7</sub> với các đầu vào X<sub>8</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>1</sub>. Tuy nhiên các phương trình này phức tạp và đòi hỏi phải tối giản bằng bảng bìa các nô (tối giản hàm).

Ví dụ:

$$\begin{aligned}
Y_1 = & \bar{X}_8 \bar{X}_4 \bar{X}_2 \bar{X}_1 + \bar{X}_8 \bar{X}_4 X_2 \bar{X}_1 + \bar{X}_8 \bar{X}_4 X_2 X_1 \\
& + \bar{X}_8 X_4 \bar{X}_2 X_1 + \bar{X}_8 X_4 X_2 \bar{X}_1 + \bar{X}_8 X_4 X_2 X_1 \\
& + X_8 \bar{X}_4 \bar{X}_2 \bar{X}_1 + X_8 \bar{X}_4 \bar{X}_2 X_1.
\end{aligned}$$

## Chương 3

### ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP

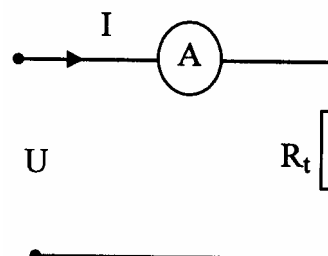
#### 3.1. Những yêu cầu cơ bản của việc đo dòng điện và điện áp

##### 3.1.1. Yêu cầu về điện trở

###### 3.1.1.1. Khi đo dòng điện

Ampemet là một phần tử đặc trưng cho nhóm các phần tử phản ứng với dòng điện như: cuộn dòng của công tơ, wattmet; các role dòng điện... nên khi xét tới yêu cầu đối với ampemet là xét chung cho cả nhóm.

Khi đo dòng, ampemet được mắc nối tiếp với tải (như Hình 3.1) nên điện trở ampemet sẽ ảnh hưởng đến kết quả đo như sau:



Hình 3.1. Sơ đồ đo dòng điện

Giả sử phụ tải có điện trở là  $R_t$ , trước khi mắc A vào mạch thì dòng điện được tính:  $I = \frac{U}{R_t}$ .

Khi mắc A nối tiếp vào mạch, do ảnh hưởng của điện trở A, dòng điện được tính:  $I_A = \frac{U}{R_t + R_A}$ .

Với  $I_A$  là dòng điện chỉ bởi ampemet,  $R_A$  là điện trở của ampemet,  $R_t$  là điện trở tải. Sai số phụ trong quá trình đo lường sẽ được tính:

$$\gamma_p = \frac{|I - I_A|}{I} = \frac{R_A}{R_t + R_A} \approx \frac{R_A}{R_t}, \text{ vì } R_A \ll R_t$$

Ta thấy sai số do A gây ra đối với mạch tải càng nhỏ nếu điện trở của ampemet càng nhỏ so với điện trở tải. Vì thế yêu cầu đối với ampemet đo dòng điện là điện trở của ampemet càng nhỏ càng tốt.

Với một phụ tải có điện trở là  $R_t$  cấp chính xác của ampemet sử dụng là  $\gamma$  (hoặc độ chính xác yêu cầu của mạch lấy tín hiệu dòng là  $\gamma$ ) thì điện trở của ampemet phải đảm bảo điều kiện sao cho:

$$\gamma_p \leq \gamma, \text{ hay ta có } R_A \leq R_t \gamma. \quad (3-1)$$

Nếu không đảm bảo điều kiện trên, sai số phụ gây ra sẽ lớn hơn sai số yêu cầu lúc đó ta phải sử dụng công thức hiệu chỉnh:

$$I = I_A \left( 1 + \frac{R_A}{R_t} \right) = I_A (1 + \gamma_p). \quad (3-2)$$

Trong trường hợp điện trở trong của nguồn cung cấp đáng kể so với điện trở tải, thì  $R_t$  được tính là điện trở tải cộng thêm với điện trở nguồn.

*Ví dụ 3.1:* Tính điện trở của (A) khi thí nghiệm đo điện trở một chiều cuộn dây thứ cấp của MBA 560KVA, 10/0,4 KV như Hình 3.2, biết độ chính xác yêu cầu  $\gamma\% = 0,5\%$ .

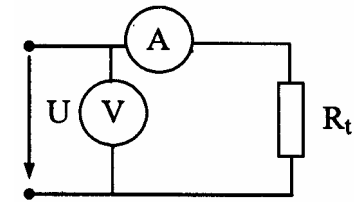
Theo lý lịch, điện trở một chiều của cuộn dây thứ cấp là  $R_t = 50 \text{ (m}\Omega\text{)}$ .

**Giải:**

$$\gamma\% = 0,5\%, \text{ ta có: } \gamma = 0,005$$

Theo công thức (3.1)

$$R_A \leq \gamma \cdot R_t = 50 \cdot 0,005 = 0,25 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$



Hình 3.2

Như vậy điều kiện cần của việc lấy tín hiệu dòng qua tải đảm bảo sai số nhỏ hơn 0,5% là  $R_A \leq 0,25 \text{ (m}\Omega\text{)}$ .

Trong thực tế không có (A) nào thỏa mãn nên sơ đồ thí nghiệm này không có ý nghĩa.

### 3.1.1.2. Khi đo điện áp

Volmet là một phần tử đặc trưng cho nhóm các phần tử phản ứng với điện áp như: cuộn áp của công tơ, wattmet; các rơle điện áp, các mạch khuếch đại điện áp... nên khi xét tới yêu cầu đối với volmet là xét chung cho cả nhóm.

Khi đo điện áp, volmet được mắc song song với tải như Hình 3.3. Như vậy ta thấy điện trở của tải được mắc song song thêm với điện trở của volmet và làm thay đổi điện áp trên tải và gây ra sai số phụ trong quá trình đo lường. Xét khi chưa mắc volmet vào mạch, điện áp trên tải được tính:



$$U_t = \frac{E \cdot R_t}{R_t + R_n}$$

trong đó: E là sức điện động của nguồn,  $R_t$  là điện trở tải,  $R_n$  là nội trở của nguồn.

Xét khi mắc volmet vào mạch, điện áp  $U_v$  do volmet đo được sẽ là:

$$U_v = \frac{U_t R_v}{R_0 + R_v}; \text{ với } R_0 = \frac{R_t R_n}{R_t + R_n}$$

Sai số phụ  $\gamma_p$  do volmet gây ra được tính:

$$\gamma_p = \frac{U_t - U_v}{U_t} = \frac{R_0}{R_0 + R_v} \approx \frac{R_0}{R_v} \text{ (nếu } R_0 \ll R_v \text{)}$$

Ta thấy sai số phụ do volmet gây ra càng nhỏ nếu điện trở của nó càng lớn so với điện trở tải. Vì thế yêu cầu đối với volmet là điện trở càng lớn càng tốt. Thực tế trên các thiết bị đo hiện đại hoặc trên đồng hồ vạn năng người ta ghi tổng trở vào của nó.

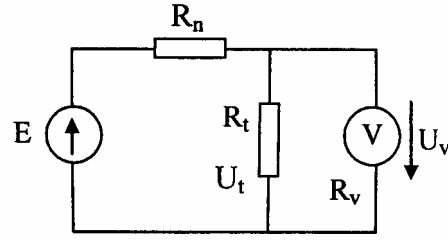
Với một phụ tải có điện trở  $R_t$  đặt trong mạch có điện trở nguồn  $R_n$  nếu dùng volmet cấp chính xác  $\gamma$  (hoặc độ chính xác yêu cầu của mạch lấy tín hiệu áp là  $\gamma$ ) thì điện trở của volmet phải đảm bảo điều kiện sao cho  $\gamma_p < \gamma$  hay ta có:

$$R_v \geq \frac{R_0}{\gamma} \quad (3-3)$$

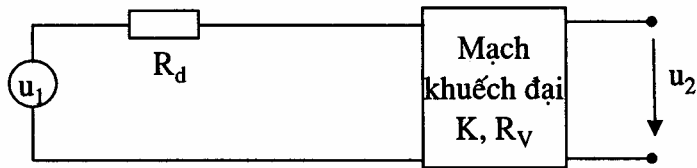
Nếu không đảm bảo điều kiện trên, sai số phụ do volmet gây ra lớn hơn sai số của bản thân cơ cấu chỉ thị và ta phải dùng công thức hiệu chỉnh.

$$U_t = (1 + \gamma_p) U_v \quad (3-4)$$

*Ví dụ 3.2:* Tính tổng trở vào yêu cầu của mạch khuếch đại của một máy điện tim như Hình 3.4. Biết  $u_1 = 7\text{mv}$ ,  $R_d = 100\text{k}\Omega$ . (điện trở trung bình da người), độ chính xác yêu cầu  $\gamma\% = 1\%$ .



Hình 3.3. Sơ đồ đo điện áp



Hình 3.4

Bài làm:

Ta có  $\gamma\% = 1\%$  nên  $\gamma = 0,01$ .

$$\text{Để } \gamma_p \leq \gamma \text{ suy ra } R_v \geq \frac{R_d}{\gamma} = \frac{100\text{k}\Omega}{0,01} = 10(\text{M}\Omega)$$

### 3.1.2. Yêu cầu về đặc tính tần

Ngoài yêu cầu về điện trở các ampepet và volmet xoay chiều phải có đặc tính tần thích hợp với dải tần số cần đo. Làm việc ở ngoài dải tần số đó sẽ gây sai số phụ do tần số. Sai số này phải tính đến ảnh hưởng của các mạch đo lường đi theo chỉ thị như Shunt, biến dòng, biến áp, chỉnh lưu, khuếch đại v.v. Cũng vì vậy trong nhiều ampepet và volmet, lúc cần đảm bảo sai số do tần số nhỏ hơn giá trị quy định (thường là bé hơn cấp chính xác quy định cho dụng cụ) ta phải sử dụng trong mạch đo có những những khâu bù tần số. Có trường hợp người ta phải sử dụng những linh kiện đặc biệt để đảm bảo tần số làm việc của dụng cụ. Trên các dụng cụ đo dòng và áp xoay chiều có ghi tần số hay dải tần số làm việc.

## 3.2. Đo dòng điện trung bình và lớn bằng các loại ampepet

### 3.2.1. Phương pháp sử dụng

Người ta sử dụng một số cơ cấu chỉ thị cơ điện để chế tạo ampepet đo trong mạch một chiều và xoay chiều.

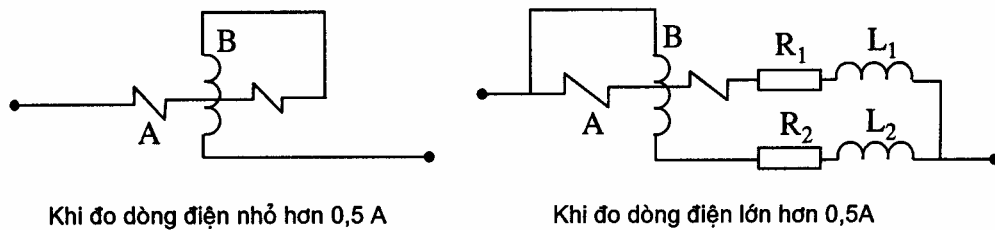
*Ampepet từ điện:* Chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện, có đặc điểm là rất nhạy, tiêu thụ ít năng lượng nên thường dùng để chế tạo ampepet có cấp chính xác từ (0,5 ÷ 2). Đối với ampepet từ điện, khi nhiệt độ thay sẽ làm cho điện trở của cuộn dây thay đổi dẫn tới sai số. Để giảm sai số người ta thường dùng phương pháp bù nhiệt, tức là dùng một nhiệt điện trở có hệ số nhiệt điện trở âm mắc nối tiếp trong mạch của

ampemet, vì vậy sẽ làm cho điện trở của ampemet gần như không thay đổi theo nhiệt độ. Ampemet từ điện chỉ có thể đo dòng điện một chiều.

*Ampemet điện từ.* Được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Loại này có độ chính xác thấp hơn nhưng nó bền chắc, dễ sử dụng và rẻ tiền nên được sử dụng rộng rãi hơn trong công nghiệp. Ampemet điện từ có thể đo được cả dòng một chiều và dòng xoay chiều nhưng chủ yếu là đo dòng xoay chiều. Có nhiều loại ampemet điện từ, chúng giống nhau về nguyên lý làm việc song chỉ khác nhau về hình thức, số vòng dây và kích thước cuộn dây đặt ở phần tĩnh.

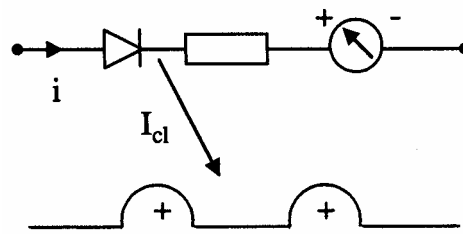
*Ampemet điện động:* Có cấu tạo phức tạp và đắt tiền nên chỉ dùng trong những trường hợp cần độ chính xác cao, hoặc tín hiệu đo có tần số cao hơn. Sai số tần số trong dải từ một chiều tới 3000Hz được xem như không đáng kể.

Với các ampemet điện động khi dòng định mức  $I \leq 0,5A$  thì cuộn dây động và cuộn dây tĩnh nối tiếp nhau, còn khi dòng định mức lớn hơn thì cuộn dây động và cuộn dây tĩnh mắc song song với nhau như hình vẽ:



**Hình 3.5. Các sơ đồ nối các cuộn dây của ampemet điện động**

*Ampemet chỉnh lưu:* Khi đo dòng có tần số cao hàng kHz hoặc mạch đo dòng trong các đồng hồ vạn năng người ta thường dùng các ampemet từ điện chỉnh lưu. Các ampemet chỉnh lưu có thể sử dụng chỉnh lưu một nửa hay hai nửa chu kỳ. Tuy nhiên số chỉ của ampemet



**Hình 3.6. Sơ đồ ampemet chỉnh lưu**

chỉnh lưu là giá trị trung bình của dòng xoay chiều, nhưng thông thường các dụng cụ đo điện từ hoặc điện động lại chỉ giá trị hiệu dụng của dòng

xoay chiều. Vì thế để thống nhất sử dụng người ta quy ước khắc vạch các dụng cụ chỉnh lưu theo các giá trị hiệu dụng, với điều kiện dòng điện là hình sin. Vậy nếu đem dụng cụ chỉnh lưu đo dòng không sin sẽ phạm thêm sai số về hình dáng, ta phải xác định để hiệu chỉnh.

Nếu chỉnh lưu một nửa chu kỳ thì giá trị dòng điện trung bình qua cơ cấu là:

$$I_{TB} = 0,455I = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I$$

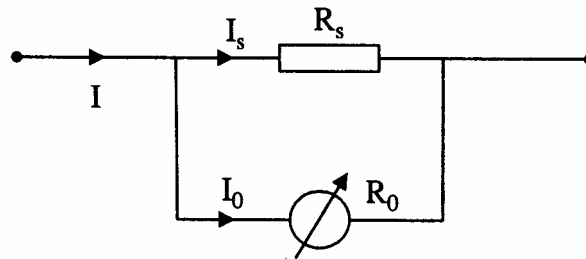
với  $I$  là giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều. Nếu chỉnh lưu hai nửa chu kỳ thì

$$I_{cltb} = 2 \frac{\sqrt{2}}{\pi} I.$$

### 3.2.2. Các phương pháp mở rộng thang đo

#### 3.2.2.1. Đối với ampemet một chiều

Ta đã biết cơ cấu chỉ thị từ điện dùng chế tạo các ampemet cho mạch một chiều. Khung dây được quấn bằng dây đồng có kích thước nhỏ từ  $0,02 \div 0,04$  mm. Vì vậy dòng điện chạy qua khung dây thông thường nhỏ hơn hoặc bằng 20mA. Vì vậy khi cần đo dòng điện lớn hơn ta phải dùng  $R_s$  (điện trở Shunt) đó là điện trở được chế tạo bằng hợp kim của magan có độ ổn định cao so với nhiệt độ. Điện trở Shunt được mắc song song với cơ cấu đo như Hình 3.7 (Shunt = rẽ nhánh).



Hình 3.7. Phương pháp mở rộng thang đo cho ampemet một chiều

Ta gọi  $I$  là dòng điện cần đo,  $I_0$  là dòng điện chạy qua cơ cấu,  $I_s$  là dòng chạy qua điện trở Shunt  $R_s$ ,  $R_0$  điện trở của cơ cấu đo.

Ta có:

$$I = I_0 + I_s$$

$$\frac{I_0}{I_s} = \frac{R_s}{R_0} \Rightarrow I_s = \frac{R_0}{R_s} I_0.$$

Từ đó ta có:

$$I = I_0 \left( 1 + \frac{R_0}{R_s} \right) = I_0 K_I$$

với  $K_I = 1 + \frac{R_0}{R_s}$ , gọi là hệ số phân dòng của amperet.

Khi biết  $R_0$  dòng điện định mức lệch toàn thang đo  $I_0$  dòng cần đo  $I$ , ta có thể tính được:

$$K_I = \frac{I}{I_0} \Rightarrow R_s = \frac{R_0}{K_I - 1}. \quad (3-5)$$

Một amperet một chiều có thể có nhiều giới hạn đo, thay đổi giới hạn đo bằng cách thay đổi giá trị  $R_s$

Cần chú ý rằng trên Shunt có cấp chính xác, có ghi giá trị dòng định mức, giá trị điện trở và thường phân thành các cực dòng và cực áp riêng như Hình 3.8.

*Ví dụ 3.3:* Tính điện trở Shunt cho một bề điện phân có dòng cần đo là  $I = 10\text{kA}$ . Biết dòng định mức qua cơ cấu là  $I_0 = 20\text{mA}$ , điện trở cơ cấu là  $R_0 = 1\Omega$ .

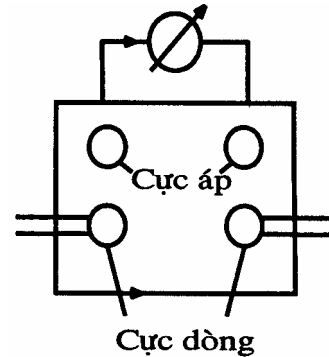
*Bài làm:*

$$\text{Ta có : } K_I = \frac{I}{I_0} = \frac{10000}{20 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \cdot 10^6.$$

Theo công thức (3.5)

$$R_s = \frac{R_0}{K_I - 1} = \frac{1}{0,5 \cdot 10^6 - 1}$$

$$= 2 \cdot 10^{-6} (\Omega) = 2 \mu\Omega.$$

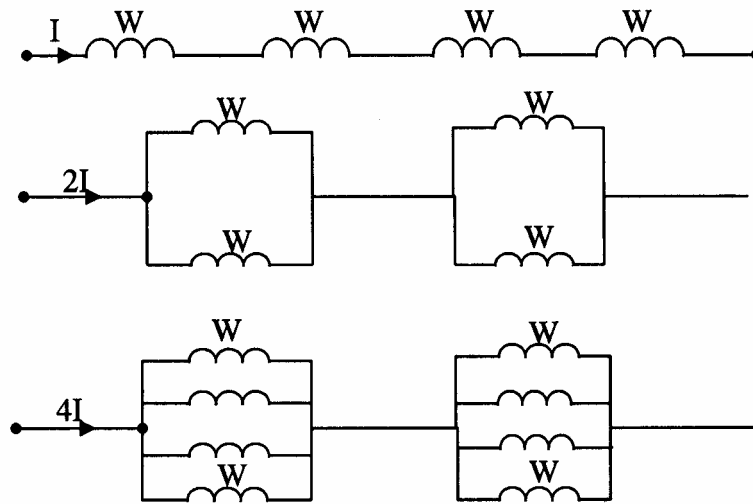


Hình 3.8

### 3.2.2.2. Đối với ampemet xoay chiều

#### a) Phương pháp chia nhỏ cuộn dây

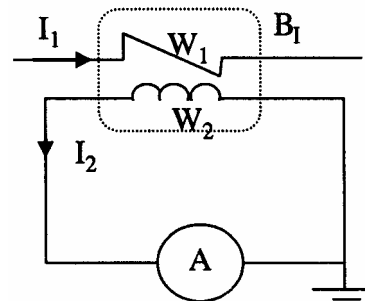
Với ampemet xoay chiều để mở rộng thang đo người ta không dùng  $R_s$ , vì như thế sẽ cồng kềnh, đắt tiền, gây tổn thất năng lượng, mất an toàn. Thông thường cuộn dây tĩnh được cấu tạo thành nhiều phân đoạn có số vòng như nhau, thay đổi giới hạn đo bằng cách nối các phân đoạn ấy theo kiểu song song hoặc nối tiếp, tuy nhiên phải đảm bảo điều kiện sức từ động tổng trong thiết bị bằng hằng số.



Hình 3.9. Phương pháp chia nhỏ cuộn dây

#### b) Phương pháp dùng biến dòng điện

Biến dòng điện ( $B_1$ ) là một máy biến áp đặc biệt có cuộn sơ cấp rất ít vòng cho dòng phụ tải trực tiếp chạy qua. Cuộn thứ cấp quấn rất nhiều vòng, dây nhỏ và được nối kín mạch với một ampemet (hoặc cuộn dòng của công tơ, wattmet...). Vì điện trở của ampemet rất nhỏ cho nên có thể coi máy biến dòng luôn làm việc ở chế độ ngắn mạch.



Hình 3.10. Sơ đồ dùng  $B_1$  để đo dòng điện

Ta có:

$$I_1 W_1 \approx I_2 W_2$$

hay

$$I_1/I_2 = W_2/W_1 = K_I,$$

$K_I$  gọi là hệ số máy biến dòng.

Thông thường, để dễ dàng cho việc chế tạo và sử dụng,  $W_1$  chỉ có một vòng, ứng với dòng điện  $I_1$  ở chế độ định mức theo một dây số ưu tiên nào đó;  $W_2$  nhiều vòng hơn ứng với dòng  $I_2$  ở chế độ định mức là:  $I_{2dm} = 1A$  hoặc  $I_{2dm} = 5A$ .

Ví dụ: máy biến dòng: 100/5 ; 200/5; 300/5...

Trong trường hợp amperet nối hợp bộ với biến dòng điện thì số chỉ của amperet được khắc độ theo giá trị dòng điện  $I_1$  phía sơ cấp.

Cần chú ý rằng biến dòng điện là phần tử có cực tính, có cấp chính xác, và phải được kiểm định trước khi lắp đặt.

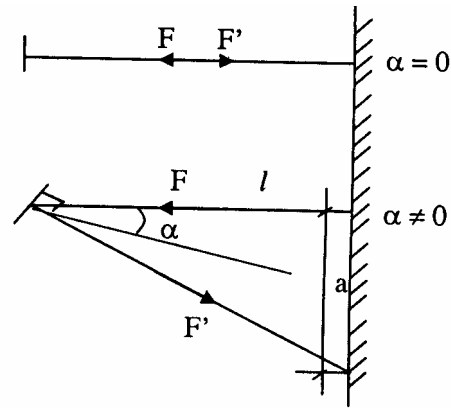
### 3.3. Đo dòng điện nhỏ

Đo dòng điện nhỏ được đặt ra khi dòng điện cần đo nhỏ hơn dòng định mức của cơ cấu. Cho tới nay việc nâng cao độ nhạy của dụng cụ và hạ thấp ngưỡng nhạy của dụng cụ và các mạch khuếch đại là rất khó khăn, sau đây là một số phương pháp.

Người ta sử dụng phương pháp cơ khí để tăng độ nhạy của các điện kế, đáng chú ý nhất là điện kế từ điện. Điện kế từ điện sử dụng cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy cao. Biện pháp nâng cao độ nhạy là tăng từ cảm trong khe hở không khí và giảm hệ số phản kháng của dây treo.

Tăng từ cảm trong khe hở không khí bằng cách dùng nam châm vĩnh cửu có kích thước lớn, tuy nhiên tới nay độ từ cảm trong khe hở không khí của cơ cấu chỉ thị từ điện vẫn chưa vượt quá 0,1T.

Giảm hằng số phản kháng của dây treo, tuy nhiên nếu giảm quá dẫn



Hình 3.11. Sử dụng biện pháp quang học

đến kéo dài thời gian dao động của cơ cấu gây khó khăn cho việc đo người ta tìm cách dung hoà giữa hai yếu tố trên.

Biện pháp quang học: Là sử dụng khoảng cách từ thang chia độ đến gương quay của điện kế để tăng độ nhạy, gương gắn trên trục của phần động, có một nguồn sáng chiếu vào gương, lia phản xạ của gương chiếu lên thang đo như hình vẽ

$$a = l.tg2\alpha.$$

$a$  là khoảng di chuyển của vật sáng trên thang chia độ,

$l$  là khoảng cách từ gương tới thang chia độ.

Sử dụng gương quay sẽ tăng độ quay của tia phản chiếu khi gương quay đi một góc  $\alpha$  so với tia tới, lúc đó tia phản xạ quay đi một góc  $2\alpha$ .

Như vậy độ nhạy được tăng lên gấp hai lần.

### **3.4. Đo điện áp trung bình và lớn bằng các loại volmet**

#### **3.4.1. Phương pháp sử dụng**

Người ta sử dụng các chỉ thị cơ điện để chế tạo các loại volmet đo điện áp như volmet từ điện, volmet điện từ, volmet điện động.

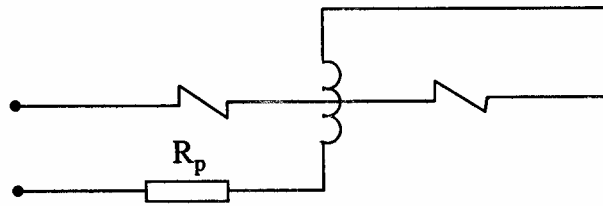
*Volmet từ điện:* Volmet từ điện được cấu tạo từ cơ cấu chỉ thị từ điện, loại này thường dùng để đo các điện áp một chiều, có độ nhạy cao, cho phép dòng nhỏ đi qua, cũng có thể sử dụng kèm với bộ chỉnh lưu để đo điện áp trong mạch xoay chiều (trong trường hợp cần nâng cao độ chính xác hoặc nâng cao dải tần số của tín hiệu đo). Tuy nhiên giống như ampemet ta phải chú ý tới hệ số hình dáng của dòng hình sin.

*Volmet điện từ:* Volmet điện từ có cuộn dây bố trí ở phần tĩnh nên có thể quấn nhiều vòng dây để tạo nên điện trở lớn khá dễ dàng, tuy nhiên nếu quấn nhiều vòng dây quá mà khi đo ở mạch xoay chiều thì xuất hiện dòng điện cảm ứng sinh ra bởi tần số của dòng điện, do đó sẽ ảnh hưởng đến trị số trên thang đo của volmet. Khắc phục điều này bằng cách mắc song song với cuộn dây một tụ điện bù.

*Volmet điện động:* Khi đo điện áp ở tần số cao hơn tần số công nghiệp hoặc khi cần nâng cao độ chính xác của phép đo ta dùng volmet điện động, trong volmet điện động bao giờ cuộn dây tĩnh và cuộn dây



độ cũng được mắc nối tiếp nhau.



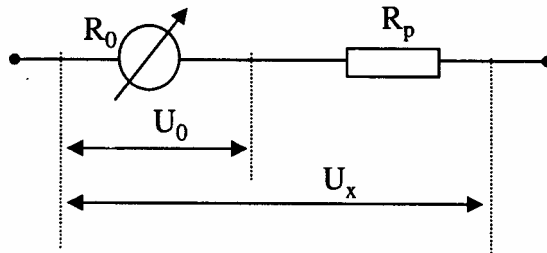
**Hình 3.12. Cách nối các cuộn dây trong volmet điện động**

Khi đo điện áp có tần số quá cao, sẽ có những sai số phụ do tần số, vì vậy phải bố trí thêm tụ bù cho các cuộn dây tĩnh và động.

### 3.4.2. Phương pháp mở rộng giới hạn đo

#### 3.4.2.1. Phương pháp dụng điện trở phụ

Yêu cầu cơ bản của volmet là điện trở của nó càng lớn càng tốt vì thế để mở rộng thang đo trong các volmet cách đơn giản nhất là nối thêm điện trở phụ vào cơ cấu đo như Hình 3.13.



**Hình 3.13. Mở rộng thang đo cho volmet**

với:  $R_0$  điện trở của cơ cấu đo

$R_p$  là điện trở phụ

$U_0$  điện áp đặt lên cơ cấu

$U_x$  điện áp cần đo.

Ta có:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_0 + R_p} \Rightarrow \frac{U_x}{U_0} = \frac{R_0 + R_p}{R_0}$$

Đặt:  $K_u = \frac{U_x}{U_0}$  là hệ số mở rộng thang đo

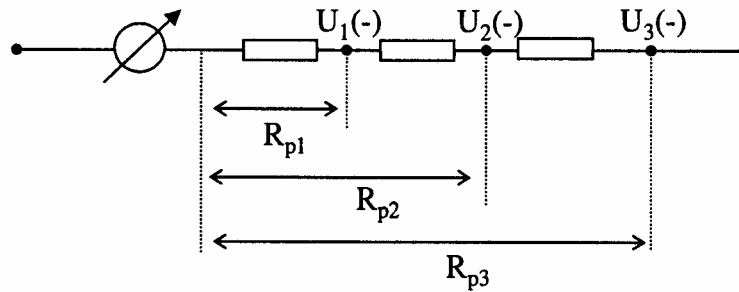
Ta có  $K_u = \frac{R_0 + R_p}{R_0}$

$$\Rightarrow K_u R_0 = R_0 + R_p$$

$$\Rightarrow R_p = R_0 (K_u - 1)$$

Các điện trở phụ thường được chế tạo bằng hợp kim của ma ngan có độ chính xác cao và ít thay đổi theo nhiệt độ. Để chế tạo volmet nhiều thang đo thì người ta dùng nhiều điện trở phụ mắc nối tiếp với cơ cấu cần đo.

Ví dụ: Sơ đồ điện của một volmet có ba giới hạn đo



Hình 3.14. Sơ đồ volmet có ba thang đo

### 3.4.2.2. Phương pháp dùng biến điện áp

Khi cần đo điện áp cỡ lớn hàng KV trở lên, nếu dùng điện trở phụ sẽ cồng kềnh và đắt tiền, tổn hao công suất và mất an toàn, do đó ta phải dùng biến điện áp đo lường  $B_U$ . Biến điện áp đo lường là một máy biến áp đặc biệt mà cuộn sơ cấp quấn rất nhiều vòng được nối với điện áp cần đo, cuộn thứ cấp quấn ít vòng hơn được nối với volmet điện từ hoặc điện động (hoặc cuộn áp của công tơ, wattmet...).

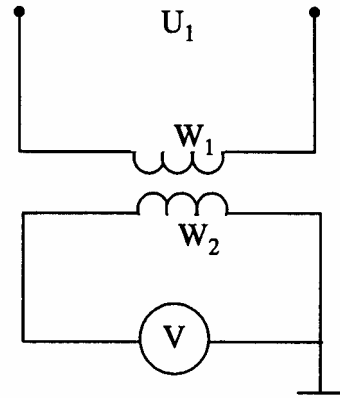
Vì volmet có điện trở lớn nên có thể coi biến điện áp luôn làm việc ở chế độ không tải.

Ta có:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{W_1}{W_2} = K_U.$$

Để tiện trong quá trình sử dụng và chế tạo người ta quy ước điện áp định mức của biến điện áp phía thứ cấp bao giờ cũng là 100V. Còn phía sơ cấp được chế tạo tương ứng với các cấp của điện áp lưới. Khi lắp hợp bộ giữa biến điện áp và volmet người ta khắc độ volmet theo giá trị điện áp phía sơ cấp.

Giống như biến dòng điện, biến điện áp là phần tử có cực tính, có cấp chính xác, và phải được kiểm định trước khi lắp đặt.



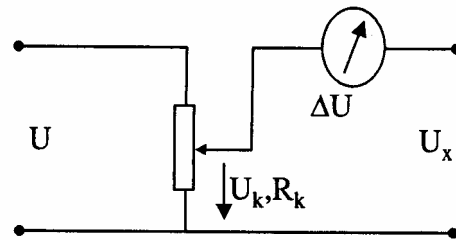
Hình 3.15. Dùng  $B_U$  đo điện áp lớn

### 3.5. Đo dòng điện và điện áp bằng phương pháp so sánh

#### 3.5.1. Khái niệm

Các biện pháp đo dòng và áp kể trên sử dụng chỉ thị cuối cùng là những cơ cấu cơ điện làm quay kim chỉ trên thang chia độ, như vậy sai số không thể nhỏ hơn sai số của các chỉ thị dùng vào dụng cụ và chưa kể đến sai số gây ra do các mạch đo sử dụng. Cấp chính xác cao nhất của các dụng cụ đo cơ điện hiện nay chưa vượt quá 0,01 nên phép đo trực tiếp trên cũng không vượt qua cấp chính xác ấy.

Để nâng cao độ chính xác về phép đo điện áp, để tăng tổng trở vào, người ta dùng phương pháp so sánh hay còn gọi là phương pháp bù tức là so sánh điện áp cần đo với điện áp mẫu. Đây là nguyên lý của tất cả các điện thế kế, các volmet số có độ chính xác cao nhất hiện nay.



Hình 3.16. Sơ đồ nguyên lý đo điện áp bằng phương pháp so sánh

Nguyên tắc cơ bản của phương pháp so sánh được tóm tắt như sau:

Điện áp cần đo  $U_x$  được so sánh với điện áp bù  $U_k$  là điện áp rơi trên điện trở  $R_k$ .  $R_k$  là điện trở mẫu có độ chính xác rất cao và rất ít thay đổi theo nhiệt độ. Trong quá trình so sánh nếu  $\Delta U = 0$  ta có so sánh cân bằng, nếu  $\Delta U \neq 0$  ta có so sánh không cân bằng hay là so sánh kiểu vi sai.  $U$  được xác định bằng dụng cụ có độ nhạy cao hay dụng cụ tự động phát hiện sự chênh lệch hay còn gọi là cơ quan zero.

Các loại phương pháp so sánh khác nhau chỉ khác nhau ở cách tạo đại lượng bù  $U_k$ . Độ chính xác của điện áp bù và các yêu cầu khác cùng với độ nhạy, ngưỡng độ nhạy của dụng cụ cân bằng hay cơ quan zero đều do sai số yêu cầu của phép đo quyết định.

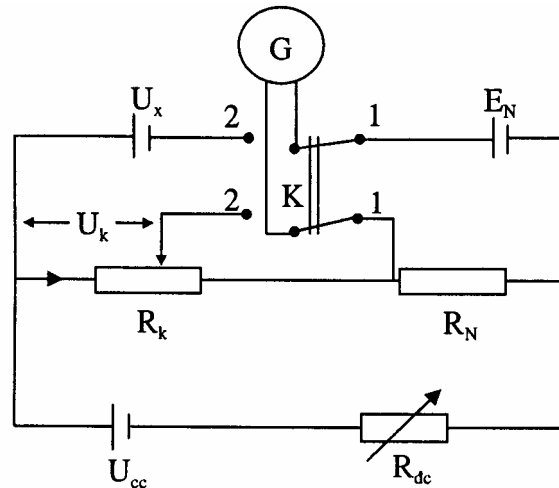
Sau đây ta sẽ tìm hiểu một số dụng cụ đo dùng phương pháp so sánh.

### 3.5.2. Điện thế kế một chiều

#### 3.5.2.1. Điện thế kế một chiều điện trở lớn

Sơ đồ của điện thế kế một chiều điện trở lớn như Hình 3.17.

$R_k$ ,  $R_{dc}$  là các biến trở,  $E_N$  là nguồn pin mẫu,  $U_{cc}$  là điện áp cung cấp cho mạch,  $U_x$  là điện áp cần đo,  $G$  điện kế chỉ không.



Hình 3.17. Sơ đồ điện thế kế một chiều điện trở lớn

Điện thế kế một chiều điện trở lớn gồm hai mạch chính là mạch tạo dòng công tác và mạch đo. Khi đo ta tiến hành hai thao tác:

#### + Điều chỉnh dòng công tác

Khi điều chỉnh dòng công tác ta đóng khoá K sang vị trí 1,1 để nối

điện kế vào mạch tạo dòng công tác, ta điều chỉnh Rác để điện kế G chỉ không, khi đó xảy ra quan hệ:

$$E_N = U_{RN} = I_p \cdot R_{dc}$$

Giá trị dòng công tác:

$$I_p = \frac{E_N}{R_{dc}}$$

+ **Tiến hành đo điện áp cần đo  $U_X$**

Ta đóng khoá K sang vị trí 2,2 để nối điện áp cần đo  $U_X$  vào mạch đo, sau đó ta điều chỉnh con trượt trên điện trở  $R_k$  cho đến khi điện kế G chỉ không.

Lúc đó ta có quan hệ sau:

$$U_x = U_{R_k} = U_k = I_p R_k = \frac{E_N}{R_{dc}} R_k$$

Vậy điện áp  $U_X$  được xác định theo quan hệ trên.

Trên sơ đồ nguồn pin mẫu  $E_N$  được chế tạo với độ chính xác các 0,001% ÷ 0,01% và có hệ số nhất định ( $E_N = 101863V$ ). Tuy nhiên giá từ của pin mẫu bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ của môi trường xung quanh.

Quan hệ giữa giá trị của phi mẫu với nhiệt độ của môi trường như sau:

$$E_{Nt} = E_{N20^\circ C} - 40 \cdot 10^{-6}(t - 20) - 10^{-6}(t - 20)^2$$

trong đó  $E_{N20^\circ C}$  là giá trị của pin mẫu ở nhiệt độ chuẩn  $20^\circ C$ , thường  $E_{N20^\circ C} = 1,0186V$ ,  $t$  là nhiệt độ tại nơi sử dụng điện thế kế.

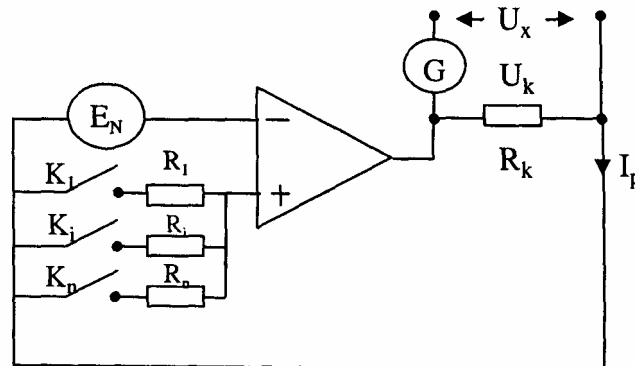
*Chú ý:* Thông thường người ta điều chỉnh sao cho  $R_N = 10186\Omega$  để dòng công tác  $I_p = 0,1A$ , thuận lợi cho quá trình tính điện áp cần đo  $U_X$ .

Sơ đồ điện thế kế một chiều loại này giá trị điện trở  $R_k$  tương đối lớn, điện áp cần đo  $U_X$  cỡ V cho nên ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc và sức điện động tiếp xúc không đáng kể, ngược lại nếu đo điện áp cỡ rất nhỏ ta phải dùng điện thế kế một chiều điện trở nhỏ.

### **3.5.2.2. Điện thế kế một chiều điện trở nhỏ**

Điện thế kế một chiều điện trở nhỏ được chế tạo dựa trên nguyên tắc giữ nguyên giá trị điện trở mẫu  $R_k$  thay đổi dòng công tác  $I_p$  qua  $R_k$  để thay đổi điện áp  $U_k = I_p R_k$  bù lại với điện áp  $U_x$ .

Sơ đồ nguyên lý của điện thế kế một chiều điện trở nhỏ như hình vẽ:



**Hình 3.18.** Sơ đồ điện thế kế một chiều điện trở nhỏ

Người ta tạo nguồn dòng mẫu  $I_p$  qua điện trở mẫu  $R_k$  bằng khuếch đại thuật toán.

Đặt ở đầu vào khuếch đại thuật toán một gờn mẫu  $E_N$  để bù với điện áp rơi trên các điện trở mắc song song ở đầu vào khuếch đại. Nếu  $E_N$  và điện áp rơi trên các điện trở mắc song song  $U_g$  bù hoàn toàn nhau:

$$E_N - U_g = \Delta U = 0 \text{ hay } E_N = U_g.$$

Mặt khác từ đầu ra của khuếch đại thuật toán ta có:

$$U_g = \frac{I_r}{g_g} = I_p \frac{1}{g_g}$$

với  $g_g = \sum_{i=1}^n g_i$ ,  $g_i$  là các điện dẫn mắc song song ở đầu vào khuếch đại.

Vậy:

$$I_r = U_g \sum_{i=1}^n g_i = E_g \sum_{i=1}^n g_i.$$

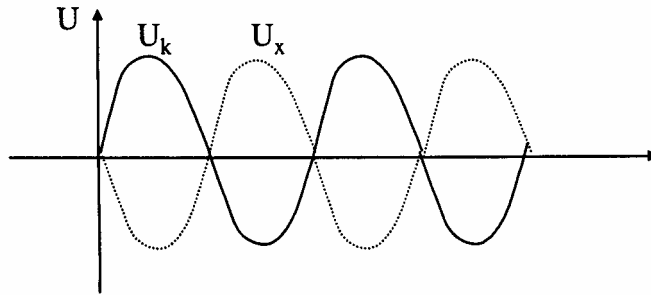
Ta điều chỉnh công tắc K để thay đổi các giá trị dòng công tác  $I_p$  cho đến khi kim điện kế chỉ không, ta có:

$$U_x = U_k = R_k I_p = R_k E_N \sum_{i=1}^n g_i .$$

Trong mạch tạo điện áp bù không có đầu tiếp xúc cho nên loại trừ được sai số do sức điện động tiếp xúc và điện trở tiếp xúc. Sai số chủ yếu là do ngưỡng vào và hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại quyết định.

### 3.5.3. Điện thế kế xoay chiều

Về nguyên lý thì điện thế kế xoay chiều cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng điện công tác chạy qua. Song đối với tín hiệu xoay chiều thì việc tạo mẫu và điều chỉnh cân bằng khó khăn và phức tạp.



Hình 3.19. Điều kiện so sánh của  $U_k$  và  $U_x$

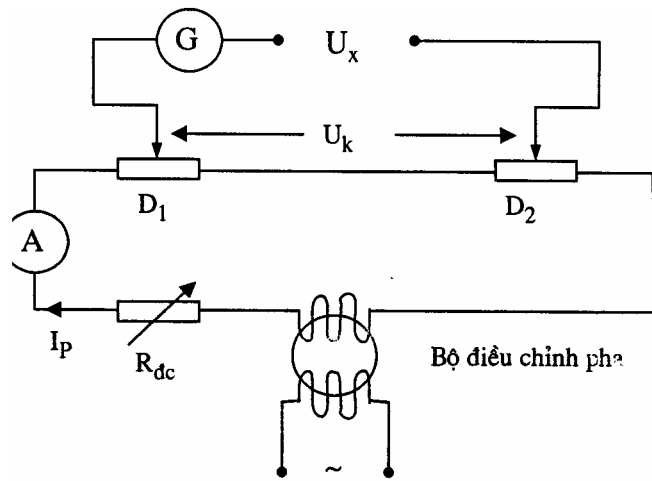
Để hiệu chỉnh dòng công tác trong mạch xoay chiều người ta không dùng giren mẫu (vì không có pin xoay chiều) mà phải chỉnh định nhờ ampemet có độ chính xác cao. Do đó cấp chính xác của điện thế kế xoay chiều không thể vượt quá cấp chính xác của ampemet, mặt khác muốn cho  $U_x$  và  $U_k$  Cân bằng thì phải điều chỉnh cân bằng cả về modun và về góc pha, tức là thoả mãn ba điều kiện là điện áp  $U_x$  và điện áp  $U_k$  phải cùng tần số, cùng bằng nhau về trị số và  $U_x$  và  $U_k$  phải ngược pha nhau.

Để thực hiện điều kiện thứ nhất người ta mắc điện áp  $U_x$  và  $U_k$  vào nguồn cùng tần số. Dùng bộ chỉ thị không để thực hiện điều kiện thứ hai và phải tách  $U_k$  thành hai thành phần lệch nhau  $90^\circ$  tạo  $U_x$  ngược  $U_k$

Có hai loại điện thế kế xoay chiều đó là:

- Điện thế kế xoay chiều toạ độ cực;
- Điện thế kế xoay chiều toạ độ vuông góc (Đề các).

#### 3.5.3.1. Điện thế kế xoay chiều toạ độ cực



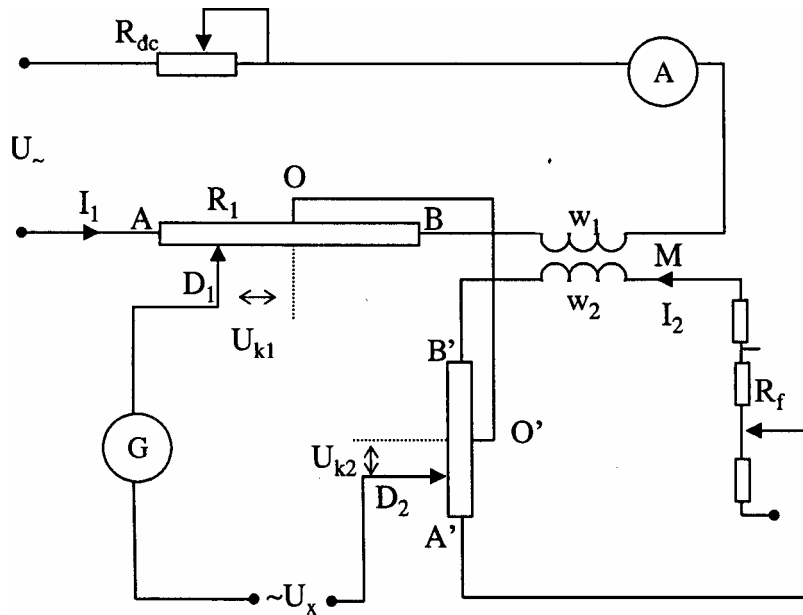
**Hình 3.20. Điện thế kế xoay chiều toạ độ cực**

Trong điện thế kế xoay chiều loại này, điện áp cần đo  $U_X$  được cân bằng với điện áp rơi trên điện trở  $R$  (xác định bởi các con trượt  $D_1$  và  $D_2$ ) Môđun  $U_X = I_p R$ . Dòng công tác  $I_p$  được xác định nhờ ampeomet chính xác cao và điện trở  $R$  điều chỉnh ( $R_{dc}$ ). Bộ điều chỉnh pha dùng để cân bằng về pha, đồng thời cũng làm nguồn cung cấp cho mạch tạo dòng công tác  $I_p$ , bộ điều chỉnh pha này chính là nhược điểm của điện thế kế xoay chiều vì khó xác định chính xác vị trí ổn định của phần quay ứng với góc quay khi điều chỉnh pha và dòng  $I_p$  thay đổi làm cho việc điều chỉnh cân bằng khó khăn.

### **3.5.3.2. Điện thế kế xoay chiều toạ độ vuông góc**

Trong điện kế sử dụng hai cuộn dây đặt gần nhau và dùng hồ cảm  $M$  của chúng tạo  $U_k$  thành hai thành phần lệch nhau  $90^\circ$  và  $U_X$  sẽ cân bằng với tổng hai véc tơ thành phần.





Hình 3.21. Điện thế kế xoay chiều toạ độ vuông góc

Sơ đồ gồm hai mạch công tác và một mạch đo. Mạch công tác thứ nhất gồm biến trở dây quấn đã được chuẩn hoá AB có điểm giữa là O, cuộn sơ cấp  $w_1$  của biến áp không lõi thép, ampeomet A và điện trở ( $R_{dc}$ ). Dòng điện  $I_1$  từ nguồn cung cấp xoay chiều (được xác định nhờ ampeomet) tạo trên biến trở AB một điện áp  $U_{AB}$ . Điện áp  $U_{k1}$  được xác định bởi dòng  $I_1$  và vị trí con trượt  $D_1$  trên biến trở AB. Vì dòng  $I_1$  không thay đổi trong quá trình đo nên thang chia độ được khắc theo giá trị điện áp trên biến trở AB.

Mạch công tác thứ hai gồm biến trở dây quấn đã được chuẩn hoá A'B' có điểm giữa  $O'$  nối với điểm O ở giữa của biến trở AB, cuộn thứ cấp  $w_2$  của biến áp không lõi và hộp điện trở  $R_f$  để bù tần số. Dòng điện  $I_2$  trong mạch công tác lệch pha với  $I_1$  góc  $90^\circ$  (vì điện cảm  $L_2$  không lớn lắm nên có thể coi như  $I_2$  trung pha với  $E_2$  mà  $E_2$  lệch pha với  $E_1$  một góc  $90^\circ$ ). Trong mạch thứ nhất  $I_1$  có giá trị xác định nên  $I_2$  cũng có giá trị xác định:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_{A'B'} + R_f + \omega L_2} \approx \frac{\omega M I_1}{R_{A'B'} + R_f},$$

M là hồ cảm của  $w_1$  và  $w_2$

Ta xác định  $U_{k2} = I_2 R_2$  ( $R_2$  là một phần điện trở của AB được xác định nhờ vị trí của con trượt  $D_2$  trên  $A'B'$ ). Vì  $U_{k1} = I_1 R_1$  và  $U_{k2} = I_2 R_2$  mà  $I_1$  và  $I_2$  lệch nhau một góc  $90^\circ$  nên  $U_{k1}$  và  $U_{k2}$  cũng lệch pha nhau  $90^\circ$ .

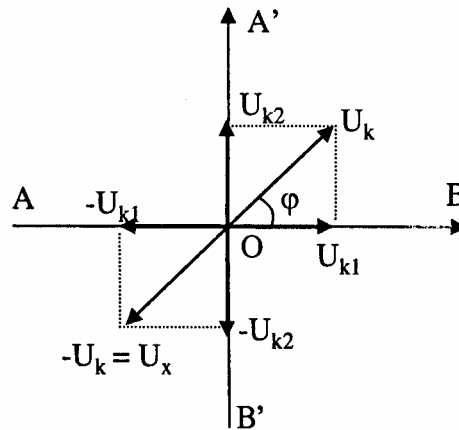
Chú ý rằng khi tần số  $f$  thay đổi  $\omega = 2\pi f$ , như vậy khi  $\omega$  thay đổi dẫn tới  $I_2$  thay đổi và giá trị khắc độ trên AB cũng thay đổi. Để khắc phục người ta dùng hộp điện trở phụ  $R_f$  để bù cho tần số không đổi (tức là  $R_f$  thay đổi phụ thuộc vào sự thay đổi của tần số nguồn cung cấp).

Mạch đo là mạch chủ yếu của điện thế kế bao gồm nguồn tín hiệu cần đo  $U_x$ , điện thế kế chỉ không G, các phần của biến trở dây quấn chuẩn  $D_1O$ ,  $D_2O'$ .

Đồ thị biểu diễn các giá trị  $U_k$  như Hình 3.19.

Điều chỉnh các con trượt  $U_{k1}$  và  $U_{k2}$  trên các biến trở dây quấn AB và  $A'B'$  thông qua tính toán ta sẽ được trị hiệu dụng và góc pha của điện áp  $U_x$  cần đo

$$U_x = \sqrt{U_{k1}^2 + U_{k2}^2}, \quad \text{tg}\varphi = \frac{U_{k2}}{U_{k1}}.$$



Hình 3.22. Đồ thị véc tơ xác định  $U_x$

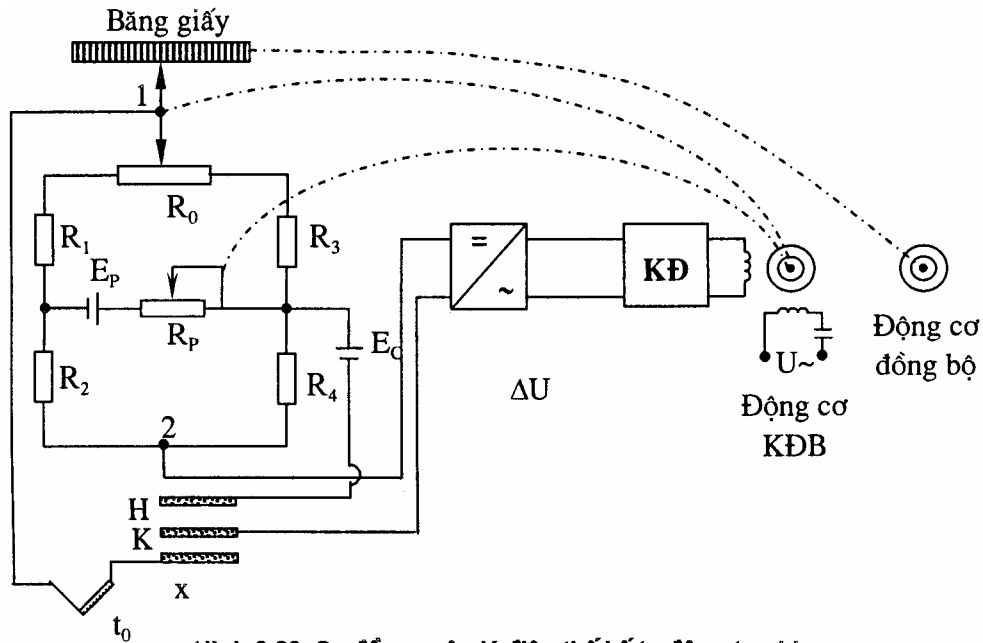
Sai số chủ yếu của điện thế kế xoay chiều là sai số của ampermet (nhỏ nhất là 0,1)

### 3.5.3.3. Điện thế kế tự động tự ghi

Loại này thường dùng đo nhiệt độ lò tôi, ram, nhiệt luyện, dùng nhận

dạng các đối tượng là lò gia nhiệt.

- Sơ đồ tóm tắt nguyên lý như Hình 3.23.



Hình 3.23. Sơ đồ nguyên lý điện thế kế tự động tự ghi

Sơ đồ gồm các khối như sau:

+ Cặp nhiệt điện có nhiệm vụ biến đổi từ nhiệt độ  $t_x$  sang suất điện động một chiều  $E_x$ . Với hệ thống thực thường có thêm mạch bù nhiệt độ đầu tự do.

+ Cầu so sánh gồm  $E_p$ ,  $R_p$  và các điện áp mẫu khác như:  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ . Nhiệm vụ là tạo ra các điện áp mẫu một chiều với độ chính xác cao (Trong thiết bị thực tế  $E_p$  được lấy từ nguồn điện áp xoay chiều 220V qua bộ chỉnh lưu, qua ổn áp một chiều với chất lượng cao).

+ Bộ biến đổi một chiều, xoay chiều có nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều  $\Delta U$  thành điện áp xoay chiều tần số 50Hz. Mạch này có thể là con rung cơ học hoặc rung điện tử.

+ Mạch khuếch đại có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu xoay chiều với công suất đủ lớn để cung cấp cho cuộn dây điều khiển động cơ KĐB. Tầng cuối của mạch khuếch đại sẽ là khuếch đại công suất nhạ pha

+ Hai động cơ gồm một động cơ không đồng bộ có nhiệm vụ kéo con trượt trên các biến trở  $R_p$ ,  $R_0$  và một động cơ đồng bộ có nhiệm vụ

kéo băng giấy chuyển động trong chế độ tự ghi.

Quá trình đo được chia làm hai bước:

*Kiểm tra độ chính xác của các điện áp mẫu*

Lúc này khoá K ở vị trí H trực tiếp giảm tốc của động cơ KĐB được đưa vào ăn khớp với đầu biến trở  $R_p$ . Khi đó nguồn suất điện động chuẩn  $E_c$  được so sánh với điện áp  $U_4$  là điện áp rơi trên điện trở  $R_4$

Ta có:

$$\Delta U = E_c - U_4$$

trong đó  $E_c$  là một nguồn chuẩn với độ chính xác rất cao có sẵn trong thiết bị.

$\Delta U$  được đưa vào mạch biến đổi một chiều, xoay chiều sau đó được đưa tới mạch khuếch đại và tín hiệu được khuếch đại lên với công suất đủ lớn để cung cấp cho cuộn dây điều khiển của động cơ KĐB. Vì tầng cuối của mạch khuếch đại là khuếch đại công suất nhạy pha nên pha của điện áp trên cuộn dây điều khiển sẽ phụ thuộc vào dấu của  $\Delta U$ .

Tóm lại, khi  $\Delta U \neq 0$ , động cơ KĐB sẽ quay kéo con trượt trên đầu biến trở  $R_p$  để thay đổi điện áp  $U_k$  theo chiều hướng sao cho  $\Delta U \rightarrow 0$ . Lúc đó mất tín hiệu điều khiển và dừng lại. Các điện áp mẫu trên các nhánh của cầu coi như đạt yêu cầu về độ chính xác.

*Quá trình đo nhiệt độ*

Lúc này khoá K ở vị trí X, trực tiếp giảm tốc của động cơ KĐB được đưa về ăn khớp với đầu biến trở  $R_0$

Nhờ cặp nhiệt điện, nhiệt độ cần đo biến thành suất điện động một chiều  $E_x$ . Khi đo  $E_x$  ta so sánh với  $U_{12}$  là điện áp rơi trên các điện trở mẫu  $R_1, R_2$  và một phần  $R_0$ . Ta có:  $\Delta U = E_x - U_{12}$

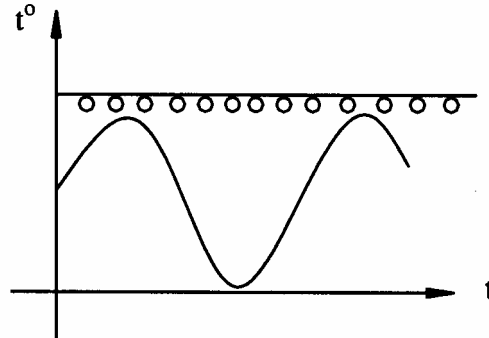
Khi  $\Delta U \neq 0$  thì theo nguyên lý ở phần trên, động cơ KĐB sẽ quay, kéo con trượt trên đầu biến trở  $R_0$  để thay đổi  $U_{12}$  có xu hướng sao cho  $\Delta U \rightarrow 0$  thì mất tín hiệu điều khiển và dừng lại. Lúc đó ta xác định được  $E_x = U_{12}$ . Vậy căn cứ vào vị trí của con trượt trên biến trở  $R_0$  ta xác định được  $U_{12}$  rồi ta suy ra  $E_x$ . Thực tế trên  $R_0$  người ta có sẵn các vạch chia theo đơn vị nhiệt độ nên ta đọc được kết quả.

### Quá trình tự ghi

Lúc này trên đầu biến trở  $R_0$  ta gắn sẵn một ngòi ghi, ngòi ghi tỳ lên băng giấy (một cách liên tục hoặc gián đoạn hoặc bằng nhiệt).

Trong chế độ tự ghi băng giấy được động cơ đồng bộ kéo chuyển động với tốc độ không đổi. Như vậy sẽ tạo ra trục thời gian  $t$ .

Ta thấy khi to thay đổi, ngòi ghi sẽ chuyển động từ trái sang phải nhờ động cơ KĐB, còn băng giấy thì chuyển động với tốc độ không đổi từ dưới lên trên nhờ động cơ đồng bộ nên ngòi ghi sẽ vẽ trên băng giấy biểu đồ nhiệt độ theo thời gian.



Hình 3.24. Kết quả quá trình tự ghi

### 3.6. Đo điện áp bằng các volmet chỉ thị số

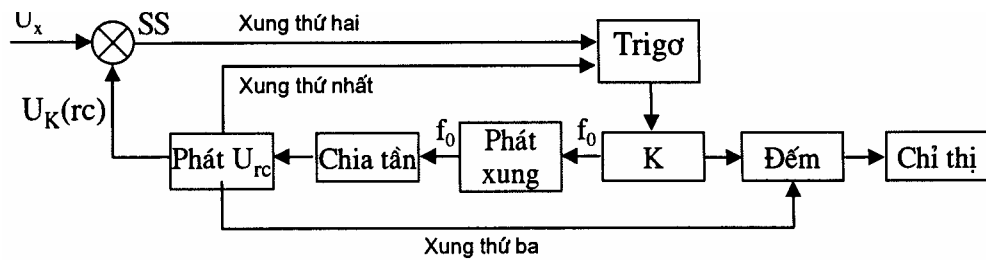
Ngày nay volmet số được sử dụng rộng rãi trong đo lường vì khả năng chính xác khá cao, gọn nhẹ, thuận tiện cho người sử dụng. Tùy theo cách biến đổi điện áp thành các đại lượng để chỉ thị số mà người ta chia ra thành ba loại volmet số như sau:

- Volmet số chuyển đổi thời gian;
- Volmet số chuyển đổi tần số;
- Volmet số chuyển đổi trực tiếp (chuyển đổi bù).

#### 3.6.1. Volmet số chuyển đổi thời gian

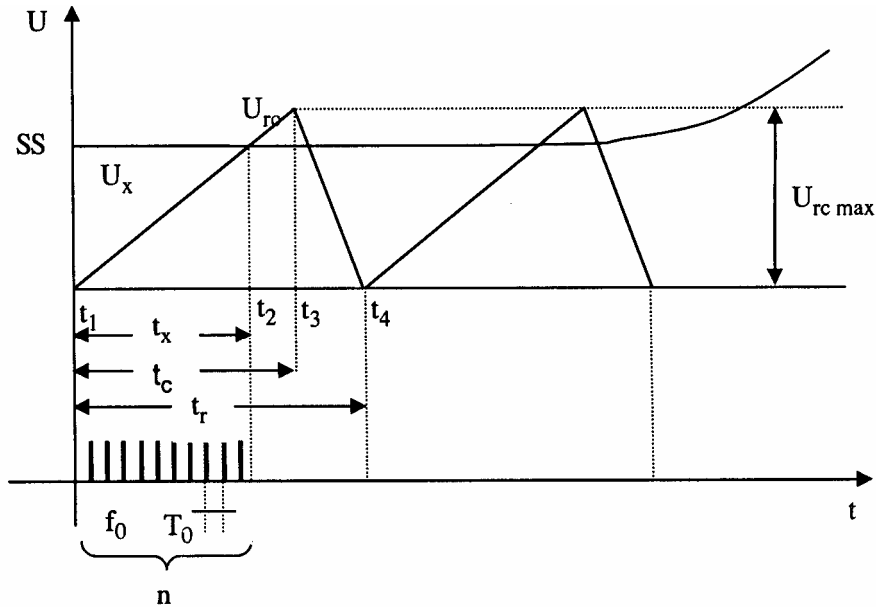
Nguyên lý chung là biến đổi điện áp cần đo thành khoảng thời gian, sau đó lấp đầy khoảng thời gian bằng các xung có tần số chuẩn ( $f_0$ ) sau đó dùng bộ đếm để đếm số lượng xung ( $N$ ) tỷ lệ với  $U_x$  để suy ra  $U_x$

Sơ đồ cấu trúc chung của volmet số như sau:



**Hình 3.25. Sơ đồ cấu trúc volmet số chuyển đổi thời gian một nhịp**

Biểu đồ thời gian:



**Hình 3.26. Dạng điện áp**

Nguyên lý làm việc:

Khi mở máy tại thời điểm  $t_1$ , máy phát xung chuẩn qua bộ chia tần khởi động máy phát xung răng cưa, đầu ra máy phát xung răng cưa có  $U_{rc}$  ( $U_k$ ) ởi tiên bộ so sánh để so sánh với điện áp  $U_x$  cần đo ở đầu vào. Đồng thời cũng từ đầu ra của bộ phát điện áp răng cưa có xung thứ nhất đến trigơ và đặt trigơ ở trạng thái kích hoạt để mở khoá K cho phép các xung mang tần số chuẩn ( $f_0$ ) từ phát xung qua khoá K đến bộ đếm và chỉ thị số. Tại thời điểm  $t_2$  khi  $U_x = U_{rc}$  thiết bị so sánh phát xung thứ 2 tác động vào trigơ và khoá khoá K, thời gian từ  $t_1$  đến  $t_2$  tương ứng với  $t_x$ . Từ đây ta có mối quan hệ:

$$\frac{t_x}{t_c} = \frac{U_x}{U_{rcmax}} \Rightarrow t_x = \frac{t_c}{U_{rcmax}} U_x.$$

Với một máy phát điện áp rãng còn cố định thì  $t_c$  và  $t_x$  là hằng số, vì vậy  $U_x$  tỷ lệ với  $t_x$  số lượng xung đến bộ đếm trong khoảng thời gian  $t_x$  sẽ là:

$$n = \frac{t_x}{T_0}; T_0 = \text{hằng số.}$$

Vậy: 
$$n = f_0 t_x = \frac{t_c}{U_{rcmax}} f_0 U_x.$$

Số lượng xung đi qua khoá K trong một chu kỳ của điện áp rãng của tỷ lệ với điện áp cần đo.

Sai số chủ yếu là do máy phát điện áp rãng của gây ra, tức là  $t_c$  và  $t_x$  khác hằng số, tiếp theo là sai số lượng tử.

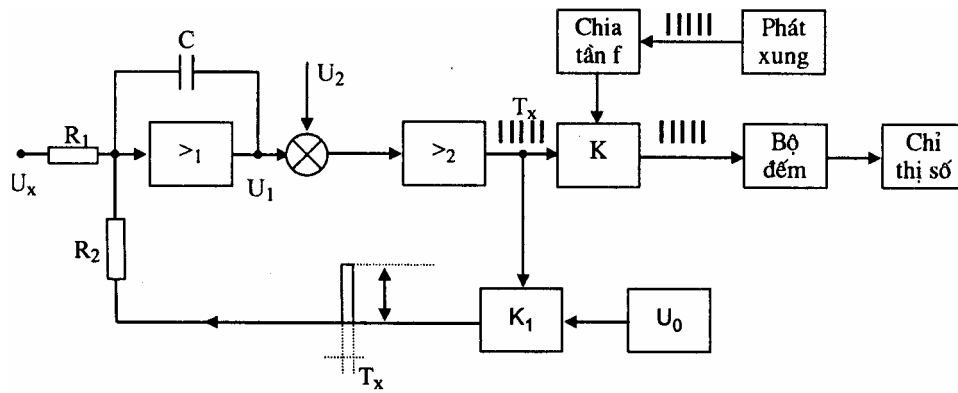
Chú ý: Khi  $U_x$  biến thiên với một tốc độ nào đó thì không thể đo được vì đường cong điện áp rãng của không cắt  $U_x$ . Do vậy sự biến thiên của điện áp  $U_x$  Phải đảm bảo điều kiện sau:

$$\left( \frac{dU_x}{dt} \right)_{\max} = \frac{U_{rcmax}}{t_c}.$$

### 3.6.2. Volmet số chuyển đổi tần số

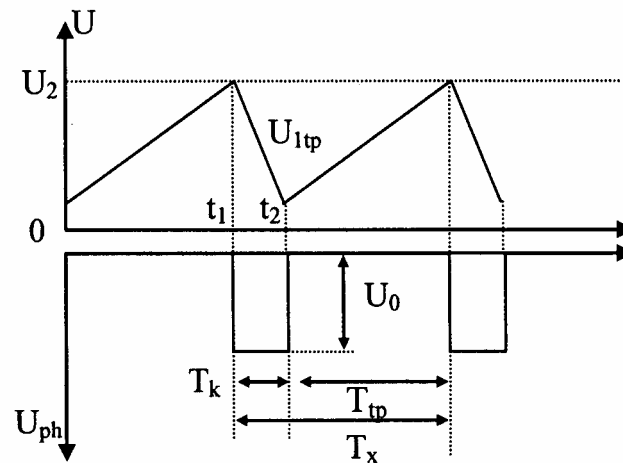
Nguyên lý làm việc của volmet số chuyển đổi tần số dựa trên nguyên tắc biến điện áp thành tần số rồi dùng các máy đo tần số để chỉ thị theo điện áp.

Sơ đồ cấu trúc của volmet số chuyển đổi tần số như sau



Hình 3.27. Sơ đồ cấu trúc của volmet số chuyển đổi tần số

Điện áp cần đo  $U_x$  được đưa đến đầu vào, qua khâu tích phân sẽ được điện áp  $U_1$ .  $U_1$  được so sánh với điện áp  $U_2$  (điện áp  $U_2$  có độ ổn định cao). Khi  $U_1 = U_2$  thiết bị so sánh phát xung qua khuếch đại 2 (tại thời điểm từ thông khoá  $K_1$  và  $K$  để đến bộ đếm, chỉ thị số. Khi  $K_1$  thông, điện áp  $U_0$  (ngược dấu với  $U_1$ ) qua  $K_1$  đến bù với điện áp  $U_1$  (đây là mạch phóng điện của tụ  $C$ ) trong khoảng thời gian  $T_k$  (từ  $t_1$  đến  $t_2$ ) tại  $t_2$  điện áp  $U_0$  bù hoàn toàn  $U_1$ .



Hình 3.28. Dạng điện áp



Quá trình làm việc như sau:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau_1} \int_0^{t_{tp}} U_x dt &= \frac{1}{\tau_2} \int_0^{T_k} U_0 dt - \frac{1}{\tau_1} \int_0^{T_k} U_x dt \\ \frac{1}{\tau_1} U_{xtb} t_{tp} &= \frac{1}{\tau_2} U_0 T_k - \frac{1}{\tau_1} U_x T_k = U_2 \\ \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} t_{tp} + \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} T_k &= \frac{1}{R_2 C} U_0 T_k \\ \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} (t_{tp} + T_k) &= \frac{1}{R_2 C} U_0 T_k \end{aligned}$$

Mà  $t_{tp} + T_k = T_x$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} T_x &= \frac{1}{R_2 C} U_0 T_k \\ \Rightarrow T_x &= \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 T_k}{U_x} \Rightarrow f_x = \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_k} = K U_x \end{aligned}$$

Vậy tần số  $f_x$  tỷ lệ với điện áp cần đo  $U_x$

Để chỉ thị số ta dùng phân tạo gốc thời gian và các khoá, bộ đếm và chỉ thị số giống như một máy đo tần số nhưng hiển thị theo điện áp. Cụ thể bộ tạo gốc thời gian là máy phát xung chuẩn  $T_0$  để tạo thời gian  $T_c = kT_0$  điều khiển khoá cho các xung mang tần số  $f_x$  qua nó. Số lượng xung mang tần số  $f_x$  qua khoá  $K$  trong khoảng thời gian  $T_c$  đến chỉ thị số được xác định như sau:

$$\begin{aligned} N &= \int_0^{T_c} f_x dt = \int_0^{T_c} \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_k} dt \\ N &= \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_k} T_c. \end{aligned}$$

Để đảm bảo chính xác thì nguồn tạo điện áp  $U_0$  phải ổn định, sai số của volmet loại này có hai loại đó là sai số do chuyển từ điện áp sang tần số khoảng 0,2% và sai số lượng tử khoảng 0,01%.

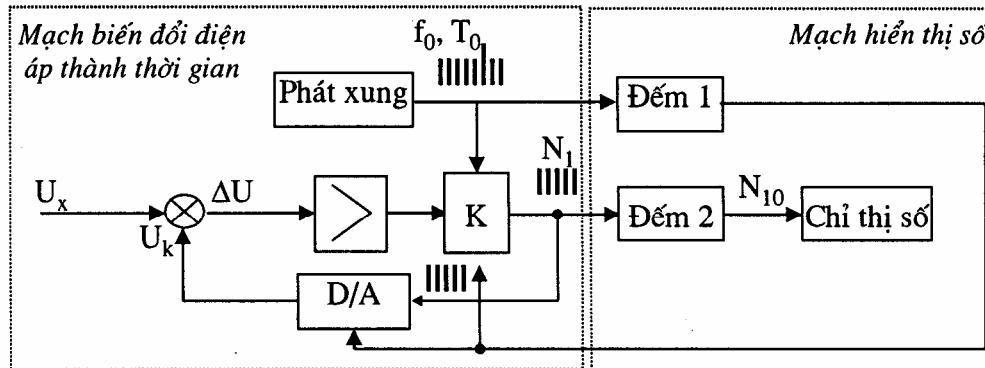
### 3.6.3. Volmet số chuyển đổi trực tiếp

Ta so sánh điện áp cần đo  $U_x$  với điện áp chuẩn  $U_k$  phụ thuộc vào việc gia công đại lượng bù  $U_k$  và quy trình so sánh với  $U_x$  mà người ta phân ra thành volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu bù quét và volmet số biến đổi trực tiếp kiểu tùy động.

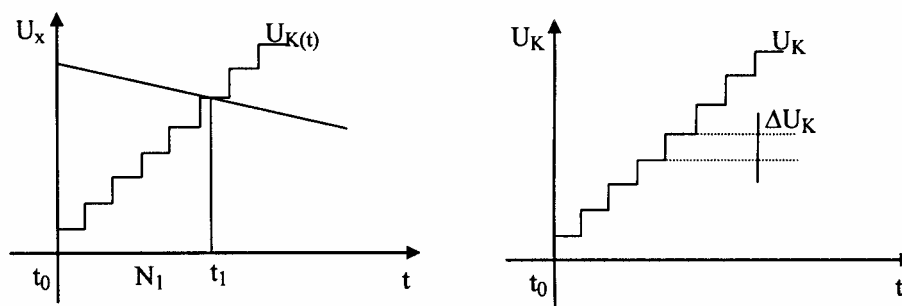
### 3.6.3.1. Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu bù quét

Điện áp bù  $U_k$  thay đổi lặp lại theo chu kỳ, trong mỗi chu kỳ biến thiên của  $U_k$  ta lấy số đo một lần tức là tại thời điểm  $U_x$ ,  $U_k$  ta đọc kết quả của phép đo. Điện áp bù  $U_k$  có thể thay đổi tuyến tính hoặc thay đổi theo bậc thang. Nếu thay đổi theo bậc thang thì có bậc thang bằng nhau và bậc thang không bằng nhau.

Sơ đồ cấu trúc gồm hai phần: phần chuyển đổi điện áp  $U_x$  thành khoảng thời gian  $T_x$  và phần đo khoảng thời gian. Thực chất gồm hai phần là phần biến đổi điện áp cần đo thành số lượng xung  $N_1$  và phần tiếp theo làm nhiệm vụ biến đổi số lượng xung  $N_1$  thành mã thập phân  $N_{10}$  để điều khiển các phần tử hiện số.



Hình 3.29. Sơ đồ volmet số chuyển đổi trực tiếp



Hình 3.30. Dạng điện áp của volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu bù quét



### Hình 3.31. Quá trình gia công điện áp bù

Quá trình so sánh từ hàng lớn nhất, với  $U_x = 43V$ . Con số thập phân có hai hàng đếm là hàng chục và hàng đơn vị. Nguyên lý của quá trình so sánh như sau:

+ Nếu  $U_k > U_x$  thì mã sẽ ghi là 0.

+ Nếu  $U_k \leq U_x$  thì mã sẽ ghi là một số tương ứng với hàng đếm của  $U_k$  và khi hiệu  $|U_k - U_x| < \Delta U$  (mức của hàng đếm) thì quá trình so sánh sẽ chuyển sang hàng đếm nhỏ hơn). Cụ thể ở đây ta bắt đầu so sánh  $U_x$  với  $U_k = 90$  ta sẽ được mã ra là 0,  $U_k = 80$  ta sẽ được mã ra là 0,... cho đến khi  $U_k = 40$  tức là:

$U_k < U_x$  hoặc  $|U_k - U_x| < 10$  (mức của hàng chục)

$$|40 - 43| < 10$$

$$|3| < 10$$

Lúc này mã ra sẽ là 4 (ở hàng chục nên ghi là 40) tiếp tục quá trình so sánh sẽ diễn ra ở hàng đơn vị với giá trị lớn nhất của hàng là 9 và mỗi mức  $\Delta U = 1$

Khi  $U_k = 9$ ;  $U_x = 3$ ; mã ra là 0

$U_k = 8$ ;  $U_x = 3$ ; mã ra là 0

...

$U_k = 3$ ;  $U_x = 3$ ; mã ra là 3

Quá trình gia công  $U_k$  kết thúc ta sẽ được tổng giá trị

$$\begin{aligned} U_k &= U_{k10} + U_{k1} \\ &= 40 + 3 = 43 = U_x. \end{aligned}$$

Ở đây  $U_{k10}$  là mã hàng chục,  $U_{k1}$  là mã hàng đơn vị.

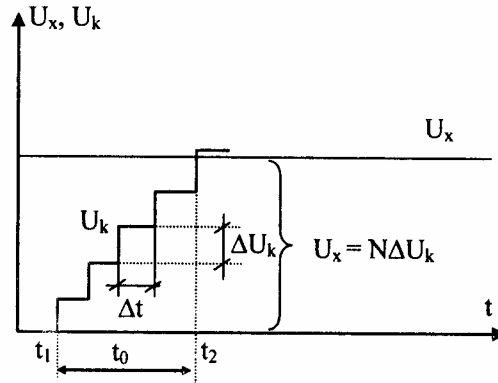
#### 3.6.3.2. Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động

Trong các volmet này đại lượng bù  $U_k$  thay đổi luôn bám theo sự biến thiên của đại lượng cần đo  $U_x$ . Vì vậy trong cấu trúc của nó có bộ chuyển đổi A/D, D/A tác động theo hai chiều thuận nghịch. Đặc điểm cơ bản của dụng cụ đo là khả năng cho kết quả liên tục tại thời điểm bất kỳ. Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động có hai loại bao gồm loại gia công đại lượng bù  $U_k$  thay đổi theo bậc thang bằng nhau và loại gia

công đại lượng bù  $U_k$  thay đổi theo bậc thang không bằng nhau.

a) Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động có  $U_k$  thay đổi theo bậc thang bằng nhau.

**Nguyên lý cơ bản**



**Hình 3.32. Dạng điện áp bù**

Điện áp  $U_x$  được so sánh với điện áp bù  $U_k$  bắt đầu từ thời điểm  $t_1$  điện áp  $U_k$  tăng liên tục, mỗi mức tăng là  $\Delta U_k$  (là nhưng bậc thang bằng nhau) cho đến thời điểm  $t_2$  khi  $U_x \approx U_k$ . Xuất hiện bất phương trình  $U_x - U_k < \Delta U_k$  sẽ kết thúc quá trình đo và cho ra kết quả ở chỉ thị số.

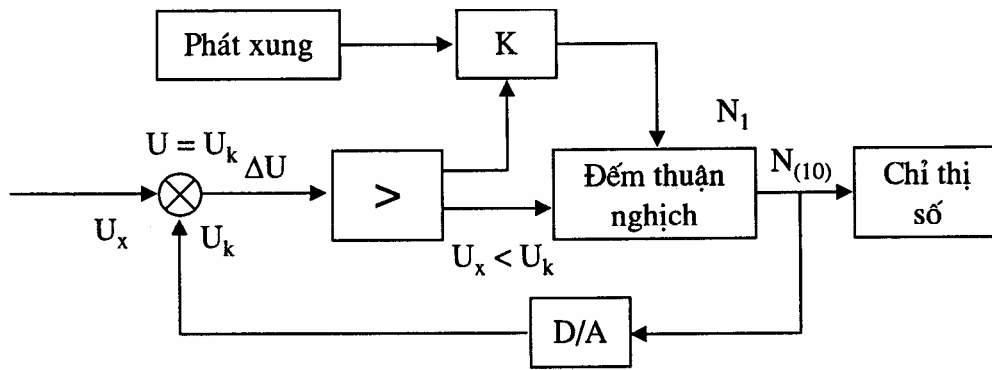
Thời gian gia công được xác định bởi số mức lượng tử lớn nhất ( $N_{dm}$ ) và thời gian  $\Delta t$  của một mức lượng tử.

$$t_0 = N_{dm} \Delta t$$

Dựa vào sai số lượng tử yêu cầu để xác định  $N_{dm}$ .

$$\gamma_k \% = \frac{1}{2N_{dm}} 100; N_{dm} = \frac{100}{2\gamma_k}.$$

+ Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động với bộ đếm thuận nghịch có cấu trúc như sau:

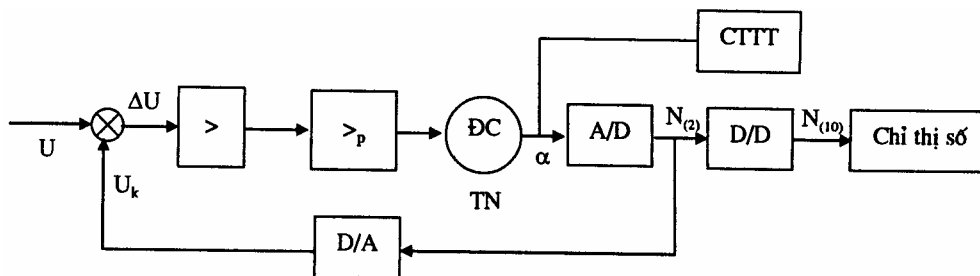


Hình 3.33. Cấu trúc của volmet số kiểu tùy động với bộ đếm thuận nghịch

Khi bắt đầu làm việc bộ phát xung chuẩn phát liên tục đến chờ ở khoá (K). Tại thời điểm  $U_x = 0$  hoặc  $U_x = U_k$  thì khoá (K) khoá, các xung mang tần số  $f_0$  không thể đến bộ đếm thuận nghịch. Khi  $U_x > U_k$  tức là  $U_x - U_k = \Delta U > 0$ , tín hiệu  $\Delta U$  qua khuếch đại có lệch đến thông khoá K và điều khiển bộ đếm làm việc ở chế độ cộng. Mã ra của bộ đếm điều khiển bộ chuyển đổi D/A tăng dần  $U_k$  cho đến khi  $U_x \approx U_k$  thì khoá K sẽ khoá, kết thúc quá trình đo, bộ phận chỉ thị số cho kết quả đo. Khi  $U_x < U_k$  tức là  $U_x - U_k = \Delta U < 0$  thì khuếch đại có lệch tạo xung thông khoá K, điều khiển bộ đếm làm việc ở chế độ trừ. Mã ra của bộ đếm điều khiển chuyển đổi A/D giảm  $U_k$  cho đến khi  $U_x \approx U_k$  thì khoá K sẽ khoá, bộ phận chỉ thị số cho kết quả đo.

+ Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động với động cơ thuận nghịch.

Sơ đồ khối như sau:



Hình 3.34. Cấu trúc volmet số kiểu tùy động với động cơ thuận nghịch

Ta mã hoá góc quay  $\alpha$  của động cơ (tức là  $\Delta U$  đã được biến thành

góc  $\alpha$  của động cơ). Dụng cụ thường có hai đầu ra, một đầu là mã số, một đầu khác là tín hiệu tương tự (sau động cơ) có thể ghi hoặc chỉ thị bằng kim trên thang chia độ. Khâu A/D của dụng cụ là chuyển đổi không gian dùng mặt nạ hoặc thước mã hoá để biến đổi góc quay  $\alpha$  thành mã Gray rồi từ mã Gray thành mã nhị phân, giải mã, chỉ thị số.

b) *Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động có  $U_k$  thay đổi theo bậc thang không bằng nhau.*

Volmet gồm hai loại với hai phép gia công  $U_k$  như sau:

+ Gia công  $U_k$  từ hàng đếm lớn nhất

Trạng thái ban đầu, tất cả các hàng đếm (Đề các) đều bằng 0 tức là  $U_k = 0$ . Trong mỗi hàng bắt đầu từ số nhỏ nhất của hàng đếm tăng dần  $U_k$  cho đến khi hiệu  $U_x - U_k < \Delta U_k$  của hàng đó thì chuyển sang hàng đếm nhỏ hơn và quá trình lặp lại như trên. Quá trình đo (gia công) kết thúc khi:

$$U_x - \sum_{m=1}^{i-1} U_{ki} < \Delta U_k$$

hàng nhỏ nhất, thiết bị so sánh sẽ thông báo điều này.

Nếu  $U_x = \text{const}$  thì  $U_k$  sẽ tăng liên tục hoặc giảm liên tục, số mức lượng tử không lớn lắm. Nếu  $U_x$  biến thiên,  $U_k$  sẽ thay đổi cho phù hợp với sự biến thiên của  $U_x$  sơ đồ điều khiển sẽ phức tạp hơn, số lượng nhịp thực hiện gia công  $U_k$  được xác định:

$$n = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots$$

trong đó:  $n$  là số lượng nhịp;  $a_1, a_2, a_3, \dots$  là số mức của các Đề các tạo thành giá trị số của đại lượng cần đo.

Thời gian cực đại gia công theo phương pháp này:

$$t_0 = k \cdot 9 \cdot \Delta t$$

$k$  là số Đề các, 9 là chữ số trong một Đề các.

+ Gia công  $U_k$  từ hàng nhỏ nhất

Trạng thái ban đầu  $U_k = 0$  và bắt đầu từ giá trị nhỏ nhất của hàng nhỏ nhất. Ví dụ hàng đơn vị:  $U_k = 0, 1, 2, 3, \dots, 9$ . Nếu gia công hết hàng nhỏ

mà hiệu  $U_x - U_k > \Delta U_{k1}$  ( $\Delta U_{k1}$  là mức giá trị của hàng nhỏ nhất) thì tiếp tục gia công đến hàng lớn hơn khi xuất hiện  $U_k > U_x$  tức là hiệu  $U_x - U_k$  đổi dấu thì quay trở về hàng đếm nhỏ nhất và giảm dần từng mức  $\Delta U_{k1}$  để giảm  $U_k$  cho đến khi  $U_k \approx U_x$ . Quá trình đo kết thúc và kết quả hiện ra ở chỉ thị số. Ưu điểm của phương pháp này là sơ đồ điều khiển tương đối đơn giản, nhược điểm là thời gian gia công dài, nhất là trường hợp dùng bốn Đè các đếm số 9090 phải thực hiện 90 nhịp. Thời gian gia công số có bốn chữ số:

$$t_0 = 90 \cdot \Delta t.$$



# Chương 4

## ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG

### 4.1. Đo công suất và năng lượng trong mạch một pha

#### 4.1.1. Đo công suất tác dụng bằng wattmet điện động

##### 4.1.1.1. Đo công suất trong mạch một chiều

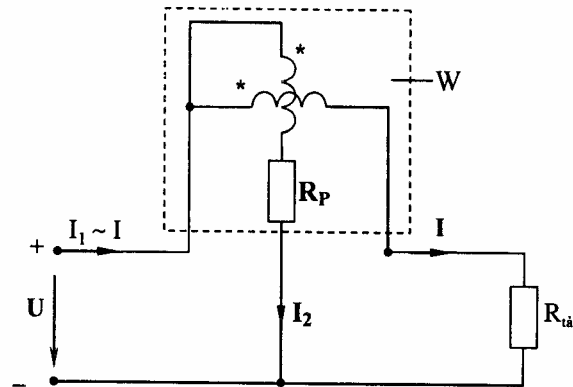
Đo công suất người ta thường dùng wattmet điện động, wattmet điện động được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị điện động, góc quay của cơ cấu chỉ thị điện động được tính như sau:

$$\alpha = KI_1I_2 \cos \psi \quad (4-1)$$

với  $\psi$  là góc lệch pha giữa các dòng  $I_1$  và  $I_2$

Sơ đồ mắc wattmet điện động như Hình 4.1.

Wattmet điện động có hai cuộn dây, cuộn dây tĩnh còn gọi là cuộn dòng được cuốn bằng dây có kích thước lớn, ít vòng, cho dòng phụ tải trực tiếp chạy qua hoặc nối với thứ cấp của biến dòng điện, nó đóng vai trò như một amperemet. Cuộn dây động hay còn gọi là cuộn áp thường được nối tiếp với  $R_p$ , được oặt trực tiếp lên điện áp của phụ tải hoặc nối với thứ cấp của biến điện áp đo lường, nó đóng vai trò như một volmet.



Hình 4.1. Sơ đồ mắc W điện động

Xét với mạch một chiều ta có:

$$\cos \psi = 1, I_1 \approx I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_p + R_u}$$

với  $R_u$  là điện trở một chiều của cuộn dây động.

Thay giá trị  $I_2$  vào (4-1) ta có:

$$\alpha = K \frac{U}{R_p + R_u} I = K_1 P \quad (4-2)$$

với  $P$  là công suất tác dụng mà phụ tải tiêu thụ qua  $W$  và  $K_1 = \frac{K}{R_p + R_u}$

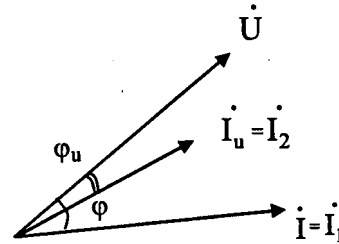
Kết luận: Góc quay  $\alpha$  tỉ lệ bậc nhất với công suất tiêu thụ trên tải, vậy có thể dùng wattmet điện động để đo công suất trong mạch một chiều.

#### 4.1.1.2. Đo công suất trong mạch xoay chiều

Giả sử mạch xoay chiều có điện áp  $u = U_m \sin \omega t$  và dòng phụ tải  $i = I_m \sin(\omega t - \varphi) = i_1$

Ở đây  $\varphi$  là góc tải.

Vì cơ cấu không có mạch từ nên dòng  $i_2$  chỉ chậm pha hơn so với điện áp  $u$  một góc khá nhỏ nào đó. Ta có đồ thị véc tơ như Hình 4.2.



Hình 4.2. Đồ thị véc tơ dòng điện của wattmet

Vậy  $i_2 = i_u = I_{um} \sin(\omega t - \varphi_u)$

$$I_u = \frac{U}{Z_u}$$

với  $Z_u = z_u e^{j\varphi_u}$  là tổng trở phức cuộn dây động và  $R_p$ .

$$z_u = \frac{r_u}{\cos \varphi_u}, \quad (r_u = R_u + R_p).$$

Vẫn từ công thức (4-1) ta có:

$$\alpha = KI \frac{U}{Z_u} \cos(\varphi - \varphi_u) \quad (4-3)$$

với  $\varphi_u$  là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện trong cuộn dây động.

Cuối cùng ta tính được:

$$\alpha = K \frac{UI \cos \varphi_u}{r_u} \cos(\varphi - \varphi_u) = K_1 S \cos \varphi_u \cos(\varphi - \varphi_u) \quad (4-4)$$

Ta xét hai trường hợp:

- Coi góc  $\varphi_u$  rất nhỏ:  $\varphi_u \approx 0$  ( $X_u \ll R_u$ )

Khi đó góc quay  $\alpha = K_1 S \cos \varphi = K_1 P$

Thực tế góc  $\varphi_u$  tuy khá nhỏ nhưng khác 0 vì vậy dẫn đến những sai số trong quá trình đo lường

$$\gamma_P \% = \frac{P_w - P}{P} 100\% = \frac{K_1 S \cos \varphi_u \cos(\varphi - \varphi_u) - K_1 S \cos \varphi}{K_1 S \cos \varphi}$$

$$\gamma_P \% = \left[ \frac{\cos \varphi_u \cos(\varphi - \varphi_u)}{\cos \varphi} - 1 \right] \times 100\% .$$

Sau khi biến đổi biểu thức và thay:  $\sin \varphi_u \approx \varphi_u$ ,  $\sin^2 \varphi_u \approx 0$ , ta được kết quả:

$$\gamma_P \% = \varphi_u \operatorname{tg} \varphi . 100\% . \quad (4-5)$$

Kết luận: Sai số khi dùng wattmet điện động phụ thuộc vào cấu trúc của wattmet ( $\varphi_u$ ) và tính chất của phụ tải ( $\operatorname{tg} \varphi$ ).

*Chú ý:*

- Góc quay  $\alpha = K_1 S \cos \varphi$ , nếu ta đổi đầu 1 trong 2 cuộn dây dòng hoặc áp thì góc lệch pha

$$\varphi' = \pi \pm \varphi$$

Vậy:

$$\alpha' = K S \cos \varphi' = -\alpha .$$

Wattmet sẽ quay theo chiều ngược lại, vì vậy ta nói rằng wattmet có cực tính, các đầu dây cùng cực tính thường được đánh dấu (\*) để nối chúng với nhau.

Góc quay  $\alpha$  của wattmet tỉ lệ với công suất tác dụng trên phụ tải song thang chia độ của wattmet không chia theo đơn vị công suất mà chia thành một số vạch nhất định. Giá trị của mỗi vạch chia được đặc trưng bởi hệ số của wattmet  $C_w$ :

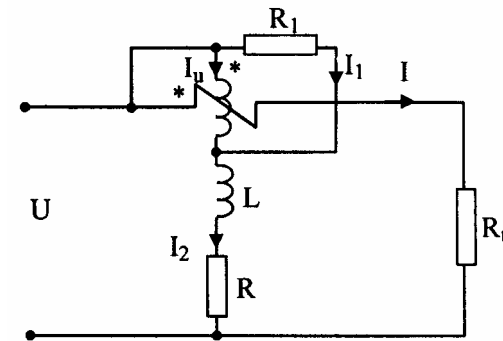
$$C_{wk} = \frac{U_{nk} I_{nk}}{\alpha_n} \quad (4-6)$$

trong đó  $U_{nk}$ ,  $I_{nk}$  là điện áp và dòng điện định mức ứng với thang đo thứ  $k$  nào đó.  $\alpha_n$  là số vạch trên chia trên toàn thang đo. Wattmet điện động có thể có nhiều giới hạn đo (Tại sao?) mỗi giới hạn có một hệ số  $C_w$  tương ứng. Công suất đo được tính bằng tích của hệ số  $C_w$  trên thang đo tương ứng với số vạch chia mà kim chỉ thị thể hiện.

$$P = C_{wk} \cdot \alpha.$$

#### 4.1.1.3. Đo công suất phản kháng

Ta sử dụng wattmet điện động cùng với điện trở, cuộn cảm. Sơ đồ mắc như sau: Cuộn dây dòng điện được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn dây điện áp được mắc song song với một điện trở  $R_1$ , sau đó được mắc nối tiếp với một cuộn cảm  $L$  và điện trở  $R$ , ta điều chỉnh trị số  $R_1$ ,  $L$ ,  $R$  sao cho  $U$  và  $I$  vuông góc với nhau. Khi đo góc quay  $\alpha$  của wattmet là:



Hình 4.3. Sơ đồ mắc wattmet để đo công suất phản kháng

$$\begin{aligned} \alpha &= K_1 \cdot U \cdot I \cos (I_u, I) \\ &= K_1 \cdot U \cdot \sin \varphi = K_1 \cdot Q. \end{aligned} \quad (4-7)$$

### 4.1.2. Wattmet sử dụng những phần tử phi tuyến

#### 4.1.2.1. Wattmet nhiệt điện

##### a) Cơ sở lý luận chung

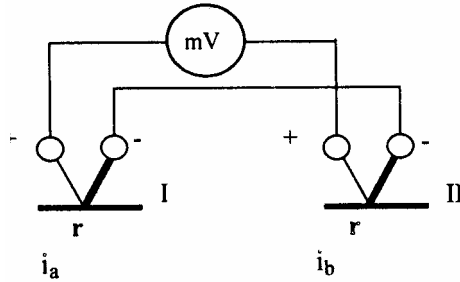
Wattmet điện động chỉ đo công suất trong mạch điện tần số thấp và ở một dải tần nhất định. Khi cần đo công suất ở tần số cao hoặc cả trong một dải tần rộng nào đó người ta dùng wattmet nhiệt điện. Phần tử cơ bản được sử dụng trong wattmet nhiệt điện là hai cặp nhiệt điện giống

nhau A, B được mắc như Hình 4.4.

Gọi công suất sinh ra trên các điện trở nhiệt  $r$  là:  $p_a, p_b$ . Rõ ràng suất điện động trên các cặp nhiệt ngẫu sẽ tỉ lệ với  $p_a, p_b$

$$E_a = K.p_a; \quad E_b = K.p_b$$

với  $K$  là hệ số tỉ lệ.



Hình 4.4. Nguyên lý W nhiệt điện

Giả thiết người ta bố trí sao cho dòng điện qua điện trở  $r_1$  bằng tổng của hai dòng  $i_1, i_2$  còn dòng điện qua ra bằng hiệu  $i_1, i_2$

$$i_a = i_1 + i_2, \quad i_b = i_1 - i_2$$

Khi đó có thể tính được công suất nhận được tin các điện trở  $r$  như sau:

$$p_a = \frac{1}{T} \int_0^T i_a^2 . r . dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 + i_2)^2 . r . dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 + 2i_1i_2) . r . dt . \quad (4-8)$$

Tương tự

$$p_b = \frac{1}{T} \int_0^T i_b^2 . r . dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 - 2i_1i_2) . r . dt . \quad (4-9)$$

Từ đó có thể viết:

$$E_a = \frac{K.r}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 + 2i_1i_2) . r . dt \quad (4-10)$$

$$E_b = \frac{K.r}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 - 2i_1i_2) . r . dt . \quad (4-11)$$

Với cách nối các cặp nhiệt ngẫu như hình vẽ số chỉ của mỹ sẽ bằng:

$$E_a - E_b = \frac{4.K.r}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt. \quad (4-12)$$

Rõ ràng số chỉ của mV tỷ lệ với  $\frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt$ . Vấn đề ở đây ta cần phải đo công suất tiêu thụ trên tải. Mà ta biết công suất tiêu thụ trên tải sẽ bằng  $\frac{1}{T} \int_0^T u.i dt$ .

Vì vậy ta phải xây dựng sơ đồ sao cho các dòng điện  $i_a, i_b$  là tổng và hiệu của các dòng  $i_1, i_2$ . Mặt khác các dòng  $i_1, i_2$  lại phải tỷ lệ với dòng điện và điện áp trên tải tức là

$$i_1 = a.u; i_2 = b.i.$$

Khi đó

$$i_a = au + bi; i_b = au - bi$$

Số chỉ của máy sẽ là:

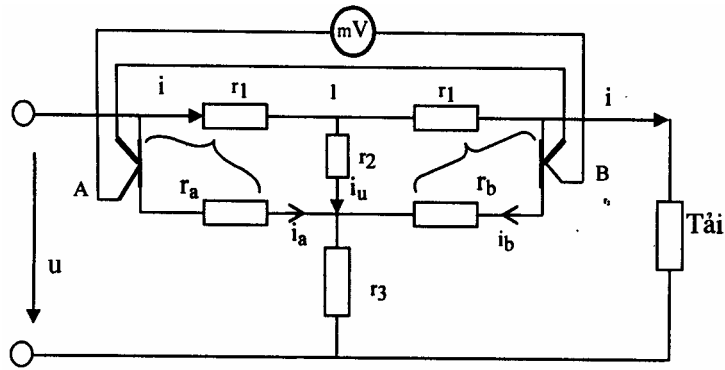
$$E = E_a - E_b = \frac{4K.r}{T} \int_0^T a.u.b.i dt = \frac{4abK.r}{T} \int_0^T u.i dt = CP \quad (4-13)$$

với  $C = 4abKr$ .

Tức số chỉ của máy tỷ lệ với các công suất tác dụng trên phụ tải bị

*b) Wattmet nhiệt điện*

Trên cơ sở lý thuyết nêu trên, ta xây dựng sơ đồ nguyên lý như hình vẽ



**Hình 4.5. Sơ đồ wattmet nhiệt điện**

Trên sơ đồ A, B là các cặp nhiệt điện,  $r_1$  là điện trở có giá trị rất nhỏ, là dòng điện phụ tải, ta có:  $i_u \leq i$ .

Với cách bố trí mạch như trên ta có:

$$u_{12} = \frac{u \cdot r_2}{r_2 + r_3} = K \cdot u \quad (4-14)$$

$$i_a = \frac{i r_1 + u_{12}}{r_a} = \frac{r_1}{r_a} \cdot i + \frac{K}{r_a} \cdot u = a \cdot u + b \cdot i \quad (4-15)$$

Tương tự

$$i_b = \frac{u_{12} - i r_1}{r_b} = a u - b i \quad (4-16)$$

Trên sơ đồ thường chọn  $r_a = r_b = r$ . Kết hợp với cơ sở lý luận ban đầu số chỉ của máy trong sơ đồ này sẽ tỷ lệ với công suất tác dụng P lên phụ tải.

#### 4.1.2.2. Wattmet sử dụng phân tử bình phương

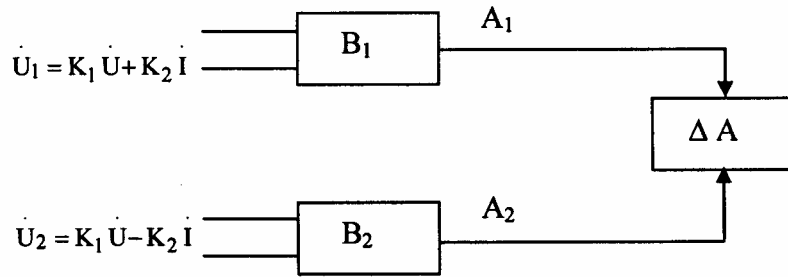
##### a) Cơ sở lý luận chung

Ta biết trong thiết bị điện có những phân tử mà đầu ra (dòng, áp) tỷ lệ với bình phương đầu vào và như vậy giá trị trung bình đầu ra cũng tỷ lệ với bình phương giá trị trung bình đầu vào. Những phân tử như vậy có thể sử dụng để đo công suất tác dụng P trong mạch. Loại thường dùng là diết bán dẫn.

Giả thiết đại lượng đầu ra A tỷ lệ bình phương với điện áp vào u

$$A = n \cdot u^2.$$

Sơ đồ cấu trúc tổng hợp sử dụng hai phần tử phi tuyến  $B_1, B_2$  như hình vẽ:



**Hình 4.6. Nguyên lý W sử dụng phần tử bình phương**

Người ta tổng hợp sao cho

$$U_1 = K_1 U + K_2 I; \quad U_2 = K_1 U - K_2 I \quad (4-17)$$

với  $U, I$  là điện áp và dòng điện cần sử dụng để đo công suất  $P$ . Lúc đó ta có:

$$|U_1|^2 = |K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 + 2K_1 U \cdot K_2 I \cos \varphi$$

$$|U_2|^2 = |K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 - 2K_1 U \cdot K_2 I \cos \varphi$$

với  $\varphi$  là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện trên phụ tải.

Từ đó có thể viết:

$$A_1 = n \left[ |K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 + 2K_1 U K_2 I \cos \varphi \right]$$

$$A_2 = n \left[ |K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 - 2K_1 U K_2 I \cos \varphi \right]$$

$$\Rightarrow \Delta A = A_1 - A_2 = 4nK_1 K_2 U I \cos \varphi = CP \quad (4-18)$$

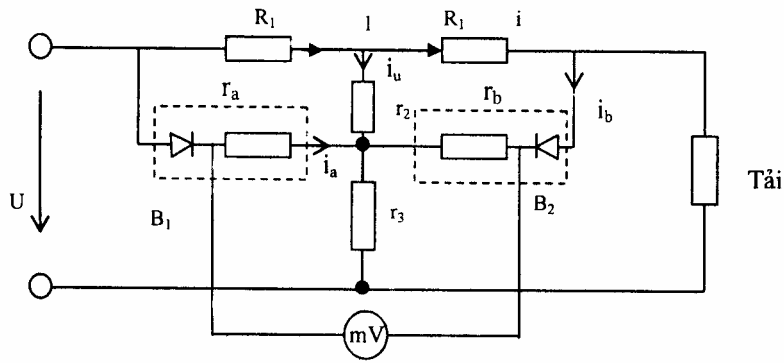
với  $C$  là hệ số tỷ lệ,  $P$  là công suất cần đo.

Vậy có thể đo  $\Delta A$  rồi suy ra công suất cần đo.

*b) Warttmet sử dụng phần tử bình phương - điốt bán dẫn*

Sơ đồ cụ thể đo công suất sử dụng  $B_1, B_2$  như sau:





Hình 4.7. Wattmet sử dụng điốt bán dẫn

Trên sơ đồ  $r_1$  là điện trở Shunt. Ta biết với một bán dẫn dòng điện tỷ lệ với bình phương điện áp tức là

$$i_a = K \cdot U_a^2, i_b = K \cdot U_b^2$$

Từ đó ta có:

$$t = 0 \div \frac{T}{2} \Rightarrow i_a = K \cdot U_a^2$$

$$t = \frac{T}{2} \div T \Rightarrow i_a = 0$$

$$\Rightarrow I_{aTB} = \frac{1}{T} \int_0^T K \cdot U_a^2 \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} K \cdot U_a^2 \cdot dt = K' U_a^2. \quad (4-19)$$

Lúc đó giá trị trung bình của điện áp rơi trên điện trở ra là:

$$U_{1TB} = I_{aTB} \cdot r_a = r_a \cdot K' \cdot U_a^2$$

Tương tự, nếu trên phần tử  $B_2$  xuất hiện điện áp  $U_b$  với giá trị hiệu dụng  $U_b$  lúc đó ta cũng có:

$$U_{2TB} = r_b \cdot K' \cdot U_b^2.$$

Từ hình vẽ ta có:

$$\dot{U}_A = \dot{I} r_1 + U_{12} = \dot{I} r_1 + \dot{U} \cdot \frac{r_2}{r_2 + r_3} = K_1 \dot{U} + K_2 \dot{I} \quad (4-20)$$

$$\dot{U}_B = -\dot{I} r_1 + U_{12} = -\dot{I} r_1 + \dot{U} \cdot \frac{r_2}{r_2 + r_3} = K_1 \dot{U} - K_2 \dot{I} \quad (4-21)$$

Trên thực tế thường chọn  $r_a = r_b = r$ , lúc đó điện áp trên mV sẽ bằng

$$|U_{1TB}|^2 - |U_{2TB}|^2 = K' \cdot r_a U_a^2 - K' \cdot r_b U_b^2 = 4K' r UI \cos \varphi = C.P. \quad (4-22)$$

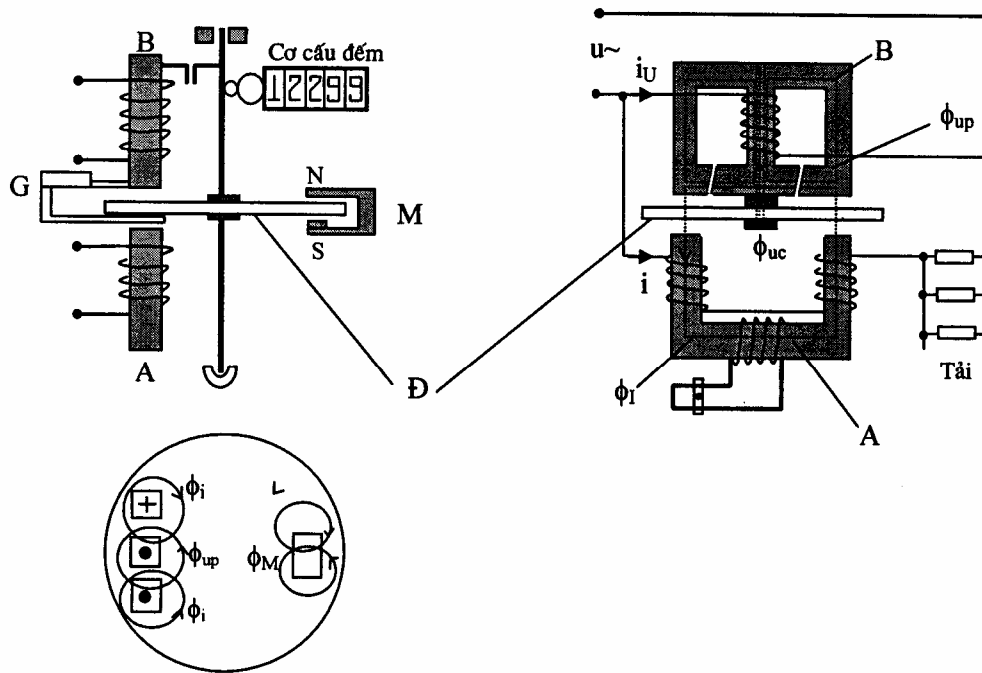
*Chú ý:* Wattmet này sử dụng trong dải tần rất rộng, tới hàng nghìn Hz có sai số từ  $1 \div 3 \%$  và tiêu thụ một công suất rất nhỏ.

### 4.3.1. Đo năng tương tác dụng bằng công tơ cảm ứng một pha

Có rất nhiều cách đo năng lượng, song công tơ cảm ứng một pha được ứng dụng rộng rãi nhất trong kỹ thuật vì mômen quay lớn, độ làm việc tin cậy, sai số nằm trong phạm vi cho phép.

#### 4.1.3.1. Cấu tạo

Cấu tạo của công tơ một pha như Hình 4.8 gồm hai nam châm điện A và B.



Hình 4.8. Cấu tạo của công tơ một pha

- Nam châm điện A gọi là cuộn dòng, thường được cuốn bằng dây có kích thước lớn, ít vòng và cho dòng phụ tải trực tiếp chạy qua hoặc nối với thứ cấp của máy biến dòng điện.

- Nam châm điện B được gọi là cuộn áp, thường được cuốn bằng dây có kích thước nhỏ, rất nhiều vòng, đặt trực tiếp lên điện áp lưới hoặc nối

với thứ cấp của biến điện áp đo lường.

- Đĩa nhôm Đ được kẹp cứng trên trục quay, ngoài ra còn nam châm vĩnh cửu M, thanh dẫn từ G và hệ thống cơ cấu đếm.

#### 4.1.3.2. Nguyên lý làm việc

Xét khi cuộn dòng có dòng điện xoay chiều  $i$  chạy qua sẽ xuất hiện từ thông  $\phi_i$  xuyên qua đĩa nhôm hai lần, khi đặt điện áp xoay chiều  $u$  lên cuộn áp sẽ tạo ra dòng điện  $i_u$  chậm pha hơn so với điện áp một góc  $90^\circ$ . Dòng  $i_u$  sinh ra từ thông  $\phi_u$ . Từ thông  $\phi_u$  gồm hai thành phần:

- +  $\phi_{up}$  chỉ khép mạch qua mạch từ cuộn áp gọi là từ thông phụ;
- +  $\phi_{uc}$  xuyên qua đĩa nhôm gọi là từ thông làm việc.

$\phi_i$  và  $\phi_{uc}$  sẽ cảm ứng trên đĩa nhôm những dòng điện xoáy. Theo nguyên lý của cơ cấu chỉ thị cảm ứng, đĩa nhôm sẽ chịu tác dụng của mômen quay được xác định:

$$M_q = Kf\phi_i\phi_{uc}\sin\psi$$

với  $\psi$  là góc lệch pha giữa hai từ thông  $\phi_i$  và  $\phi_{uc}$

Ta coi mạch từ chưa bão hoà, nên từ thông  $\phi_i$  tỷ lệ với  $I$ :

$$\phi_i = c_1 \cdot I$$

với  $c_1 = \text{const}$ .

Ta coi tần số là không đổi nên  $\phi_{uc}$  tỷ lệ với  $U$ :

$$\phi_{uc} = c_2 \cdot U$$

với  $c_2 = \text{const}$ .

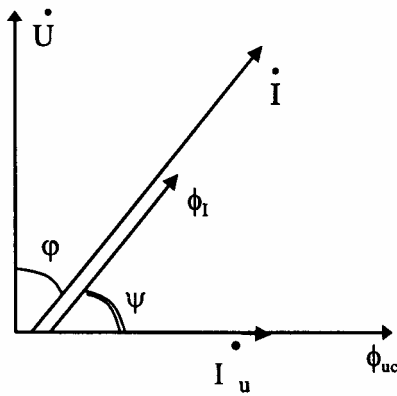
vậy mômen quay được tính:

$$M_q = Kfc_1c_2U\sin\psi = K_1U\sin\psi \text{ với } K_1 = Kfc_1c_2$$

Ta xét hai trường hợp:

#### \* Trường hợp lý tưởng

Coi các từ thông trùng pha với dòng điện kích thích tương ứng, ta có đồ thị véc tơ như Hình 4.9.



Hình 4.9. Đồ thị véc tơ trường hợp lý tưởng

Từ đồ thị véc tơ ta thấy:

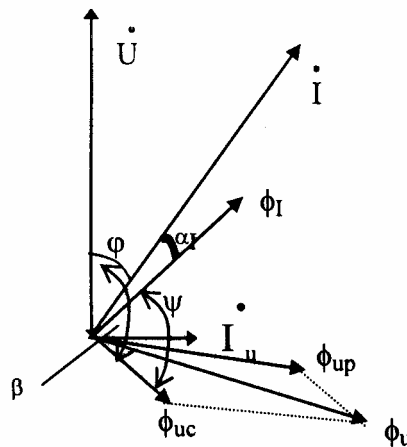
$$\varphi + \psi = \frac{\pi}{2} \text{ nên } \sin\psi = \cos\varphi$$

với  $\varphi$  là góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp trên tải. Vậy:

$$M_q = K_1 U I \sin\psi = K_1 U I \cos\varphi = K_1 P.$$

**\* Trường hợp thực tế**

Các từ thông này đều chậm pha hơn so với dòng điện kích thích tương ứng một góc nào đó (tuy khá nhỏ). Ta có đồ thị véc tơ như Hình 4.10



Hình 4.10. Đồ thị véc tơ trong trường hợp thực tế

Ta xét góc:

$$\beta = \varphi + \psi + \alpha_1$$

với  $\alpha_1$  là góc lệch pha giữa dòng điện và  $\phi_1$  và I. Vậy

$$\beta - \alpha_1 = \varphi + \psi.$$

Ta mong muốn:

$$\varphi + \psi = \frac{\pi}{2}.$$

Vậy:

$$\beta - \alpha_1 = \frac{\pi}{2} \text{ (xét khi hiệu chỉnh công tơ).}$$

Do vậy ta phải điều chỉnh góc ai sao cho thoả mãn điều kiện trên.

Khi có mômen quay đĩa nhôm sẽ gia tốc tới tốc độ rất lớn nếu không có gì cản lại, vì vậy người ta đặt nam châm vĩnh cửu M để tạo ra mômen hãm.

Khi đĩa nhôm quay cắt ngang từ trường của nam châm vĩnh cửu, trên đĩa nhôm xuất hiện những dòng điện xoáy, những dòng điện này lại tác dụng với chính từ trường của nam châm vĩnh cửu tạo ra mômen hãm:

$$M_h = K_2 \phi_M I_C = K_2 \phi_M \frac{E_c}{R_d} = K_3 \frac{d\alpha}{dt} \quad (4-23)$$

Đĩa nhôm quay ở tốc độ ổn định khi cân bằng hai mômen, do đó ta có:

$$K_1 P = K_3 \frac{d\alpha}{dt} \Rightarrow K_1 P dt = K_3 d\alpha.$$

Tích phân hai vế ta có:

$$\int_{t_1}^{t_2} K_1 P dt = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} K_3 d\alpha.$$

Vế trái của phương trình tỷ lệ với năng lượng mà phụ tải tiêu thụ qua công tơ trong khoảng thời gian từ  $t_1$  đến  $t_2$  còn vế phải tỷ lệ với lượng góc quay của đĩa nhôm cũng trong khoảng thời gian đó. Ta có:

$$K_1 W' = K_3 2\pi N$$

(N: số vòng quay của đĩa nhôm)

Vậy

$$W' = C_{dm}N \quad (4-24)$$

với  $C_{dm}$  là hệ số định mức của công tơ.

Kết luận: Như vậy ta đã chứng minh được rằng số vòng quay của đĩa nhôm tỷ lệ bậc nhất với năng lượng điện mà phụ tải tiêu thụ qua công tơ.

#### **4.1.3.3. Cơ cấu đếm và các thông số cơ bản của công tơ**

- Cơ cấu đếm: Gồm hệ thống bánh vít, trục vít, các con lăn và các bánh răng chỉ thị số.

- Thông số cơ bản của công tơ:

+ Hệ số truyền tải của công tơ

$$A = \frac{N}{W} \quad (4-25)$$

là lượng điện năng truyền tải qua công tơ khi đĩa nhôm quay hết một vòng.

+ Hệ số định mức của công tơ

$$C_{dm} = \frac{W}{N} \quad (4-26)$$

là số vòng quay của đĩa nhôm khi truyền tải qua công tơ 1 kWh điện.

#### **4.1.3.4. Sai số và cách khắc phục**

Do tồn tại của ma sát, do ảnh hưởng của từ thông phụ, do sai lệch hằng số của công tơ (mômen cản lớn hoặc nhỏ) do đó công tơ sai số ít nhiều.

Trước khi sử dụng bắt buộc phải hiệu chỉnh lại tức là tiền cách khắc phục sai số.

##### **a) Bù ma sát**

- Khi ở phụ tải nhỏ, mômen ma sát sẽ đáng kể so với mômen quay. Vì vậy người ta phải chế tạo bộ phận bù ma sát trên cơ sở nguyên lý chung là phân chia từ thông cuộn áp thành các từ thông phụ bằng các vít

chia từ thông hoặc vòng ngắn mạch không đối xứng (chưa thể hiện trên hình vẽ).

- Khi điều chỉnh vị trí vòng ngắn mạch không đối xứng hoặc vít chia từ thông ta sẽ bù được ma sát (tuy nhiên nếu điều chỉnh quá sang trái hoặc sang phải thì công tơ sẽ tự quay thuận hoặc quay ngược khi không có tải).

*b) Chống hiện tượng tự quay của công tơ*

Khắc phục hiện tượng tự quay khi mômen bù lớn hơn mômen ma sát người ta đã chế tạo bộ phận chống tự quay bằng cách trên mạch từ của cuộn áp và trên trục quay người ta gắn hai lá thép non  $T_1$  và  $T_2$ . Khi đĩa nhôm quay tới thời điểm hai lá thép đối diện nhau thì chúng sẽ tác động tương hỗ và tạo ra mômen hãm (tuy nhiên chỉ với mômen khá nhỏ).

*c) Điều chỉnh góc lệch pha  $\alpha_1$  giữa  $\phi_1$  và  $I$*

Ta có:

$$\beta - \alpha_1 = \varphi + \psi.$$

Mong muốn rằng

$$\varphi + \psi = \frac{\pi}{2}.$$

Vậy phải điều chỉnh

$$\beta - \alpha_1 = \frac{\pi}{2},$$

coi  $\beta$  như không đổi đối với mỗi loại công tơ sau khi đã chế tạo. Vì vậy ta phải điều chỉnh góc  $\alpha_1$  bằng cách trên mạch từ của cuộn dòng người ta cuốn vài vòng dây nối qua một điện trở  $R$  có thể điều chỉnh được. Khi điều chỉnh giá trị  $R$  sẽ làm thay đổi tổn hao từ trong mạch từ cuộn dòng, tức là  $\alpha_1$  thay đổi.

*d) Kiểm tra hằng số của công tơ*

Ta điều chỉnh sao cho  $\cos\varphi = 1$ , cho dòng điện  $I = I_n$ ,  $U = U_n$  lúc đó ta có  $P = U_n I_n$ ; đo thời gian quay của công tơ bằng đồng hồ bấm giây, đếm số vòng quay  $N$  của công tơ quay trong khoảng thời gian  $t$ .

Ta tính được hằng số của công tơ như sau:

$$C_p = \frac{N}{U_n I_{nt}} = \frac{N}{P_{nt}}. \quad (4-27)$$

Ta so sánh  $C_p$  với giá trị định mức ghi trên công tơ, nếu khác nhau ta phải điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng hay giảm mômen cản cho đến khi  $C_p$  bằng giá trị định mức của công tơ. Thực tế hiện nay, việc hiệu chỉnh công tơ thường dựa vào công tơ mẫu.

## 4.2. Đo công suất và năng lượng trong mạch ba pha

### 4.2.1. Đo công suất tác dụng trong mạch ba pha đối xứng

Đối với mạch ba pha đối xứng ta có công suất tổng của cả mạch là:

- Theo đại lượng pha:

$$P_{3pha} = 3P_A + 3P_B + 3P_C = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi \quad (4-28)$$

$P_A, P_B, P_C$  là công suất ở từng pha A, B, C.

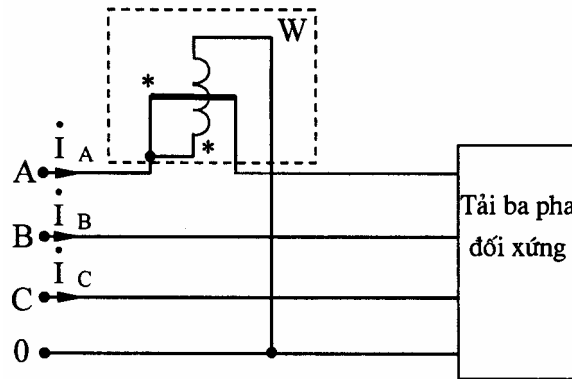
- Theo đại lượng dây:

$$P_{3pha} = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (4-29)$$

$U_d, I_d$  là điện áp và dòng điện dây.

#### 4.2.1.1. Mạch ba pha bốn dây - Phương pháp một wattmet

Theo (4-28) ta chỉ cần đo công suất ở một pha bằng một wattmet rồi lấy chỉ số của wattmet đó nhân 3 ta sẽ được công suất của cả ba pha: Giả sử wattmet mắc vào pha A như sau:



Hình 4.11. Đo công suất bằng một wattmet

Số chỉ của wattmet là:

$$P_w = U_A I_A \cos \varphi_A = P_A$$



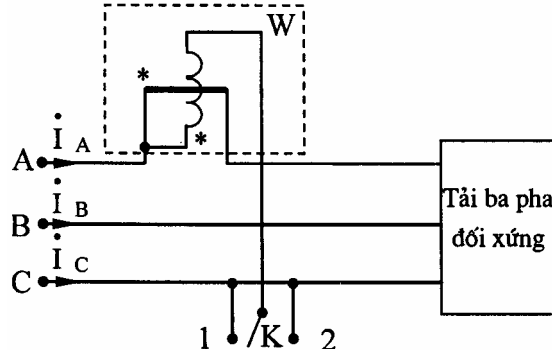
Do vậy công suất của ba pha là:

$$P_{3pha} = 3P_A = 3P_W$$

Tương tự có thể mắc wattmet vào pha B hoặc pha C.

#### 4.2.1.2. Mạch ba pha ba dây - Phương pháp dùng khoá chuyển đổi

Sơ đồ mắc wattmet như sau:



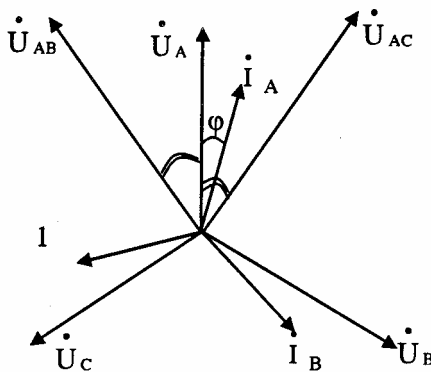
Cuộn dòng có dòng in khi khoá K ở vị trí 1 cuộn áp có điện áp  $U_{AC}$ ; khi khoá K ở vị trí 2 cuộn áp có điện áp  $U_{AB}$ .

Vậy khi đóng khoá K về phía 1, số chỉ của wattmet là:

$$P_{w1} = U_{AC} I_A \cos(\dot{U}_{AC}, \dot{I}_A)$$

Khi đóng khoá K về phía 2, số chỉ của wattmet là:

$$P_{w2} = U_{AB} I_A \cos(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A)$$



**Hình 4.12. Đồ thị véc tơ của phương pháp đo công suất dùng khoá chuyển đổi**

Theo đồ thị véc tơ ta có:

$$P_{w1} = U_d I_d \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$P_{w2} = U_d I_d \cos(30^\circ + \varphi)$$

Từ đó:

$$\begin{aligned} P_{w1} + P_{w2} &= U_d I_d [\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)] \\ &= \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi = P_{3\text{pha}}. \end{aligned} \quad (4-30)$$

Tương tự ta cũng có thể mắc wattmet ở pha B hoặc C để đo công suất theo cách trên.

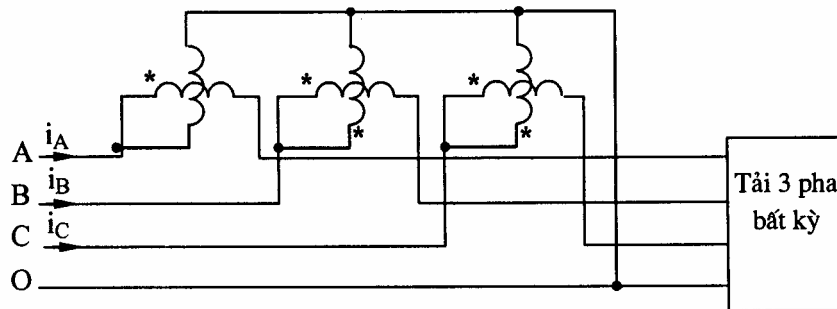
## 4.2.2. Đo công suất tác dụng trong mạch ba pha không đối xứng

### 4.2.2.1. Mạch ba pha bốn dây - phương pháp ba wattmet

Với mạch ba pha không đối xứng, ta có

$$\begin{aligned} P_{3\text{pha}} &= P_A + P_B + P_C \\ &= U_A I_A \cdot \cos(\dot{U}_A, \dot{I}_A) + U_B I_B \cdot \cos(\dot{U}_B, \dot{I}_B) + U_C I_C \cdot \cos(\dot{U}_C, \dot{I}_C). \end{aligned}$$

Do vậy ta dùng ba wattmet một pha hoặc một wattmet ba pha ba phần tử để đo công suất ở các pha A, B, C. Sau đó cộng đại số các số chỉ của ba wattmet (hoặc ba phần tử) ta được công suất của mạch ba pha.



Hình 4.13. Sơ đồ đo công suất tác dụng bằng ba wattmet

Ta có:

$$\begin{aligned} P_w &= P_{wA} + P_{wB} + P_{wC} \\ &= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C \\ &= P_{3\text{pha}}. \end{aligned}$$

Trong thực tế người ta chế tạo wattmet ba pha ba phần tử. Nó gồm ba cặp cuộn dây tĩnh tương ứng có ba phần động gắn trên cùng một trục quay. Mômen làm quay phần động là tổng mômen của ba phần tử

$$M_q = K(U_A I_A \cos\varphi_A + U_B I_B \cos\varphi_B + U_C I_C \cos\varphi_C) = K P_{3\text{pha}} \quad (4-31)$$

#### 4.2.2.2. Mạch ba pha ba dây Phương pháp dùng hai wattmet

Xét công suất tức thời trong mạch ba pha là:

$$P_{3\text{pha}} = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C.$$

Đối với mạch ba pha ba dây, vì không có dây trung tính nên dòng điện trung tính bằng không nghĩa là:

$$i_A + i_B + i_C = 0 \Rightarrow i_C = -(i_A + i_B).$$

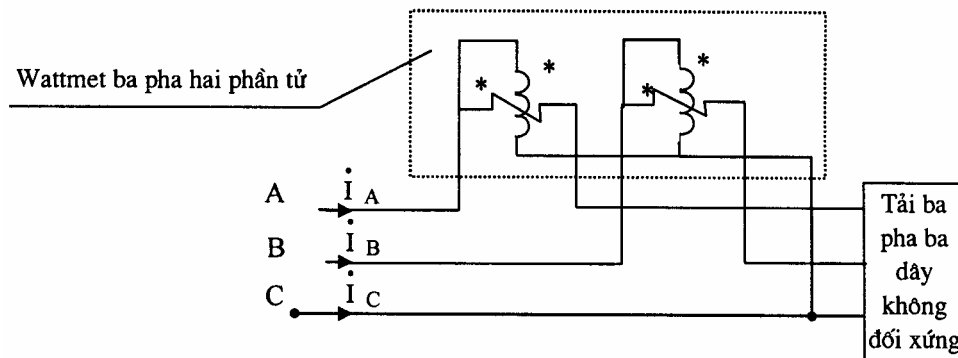
Vậy:

$$\begin{aligned} P_{3\text{pha}} &= u_A i_A + u_B i_B - u_C (i_A + i_B) \\ &= u_A i_A + u_B i_B - u_C i_A - u_C i_B \\ &= i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) \\ &= i_A u_{AC} + i_B u_{BC}. \end{aligned}$$

Vậy công suất tác dụng của ba pha là:

$$P_{3\text{pha}} = U_{AC} I_A \cos(\angle U_{AC}, I_A) + U_{BC} I_B \cos(\angle U_{BC}, I_B). \quad (4-32)$$

Như vậy ta có thể dùng hai wattmet một pha có sơ đồ như Hình 4.14 để đo công suất trong mạch ba pha. Thực tế cũng dựa trên nguyên tắc này người ta chế tạo wattmet ba pha hai phần tử. Cách mắc như sau:



Hình 4.14. Sơ đồ đo công suất tác dụng trong mạch ba pha ba dây

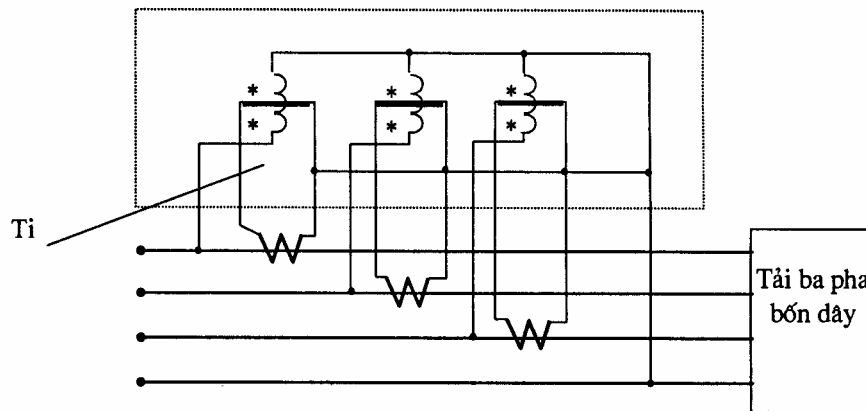
#### 4.2.3. Đo năng lượng tác dụng trong mạch ba pha

- Đối với mạch ba pha bốn dây có thể dùng công tơ ba pha ba phần tử hoặc ba công tơ một pha. Sơ đồ mắc giống như mắc wattmet đo công suất tác dụng.

- Đối với mạch ba pha ba dây có thể dùng công tơ ba pha hai phần tử hoặc hai công tơ một pha. Sơ đồ mắc giống như mắc wattmet đo công suất tác dụng.

- Với mạch hạ áp công suất lớn ta kết hợp giữa biến dòng điện và công tơ ba pha để đo năng lượng tác dụng.

*Ví dụ 4.1:* Sơ đồ kết hợp giữa  $B_I$  và công tơ đo năng lượng tác dụng phía hạ thế.



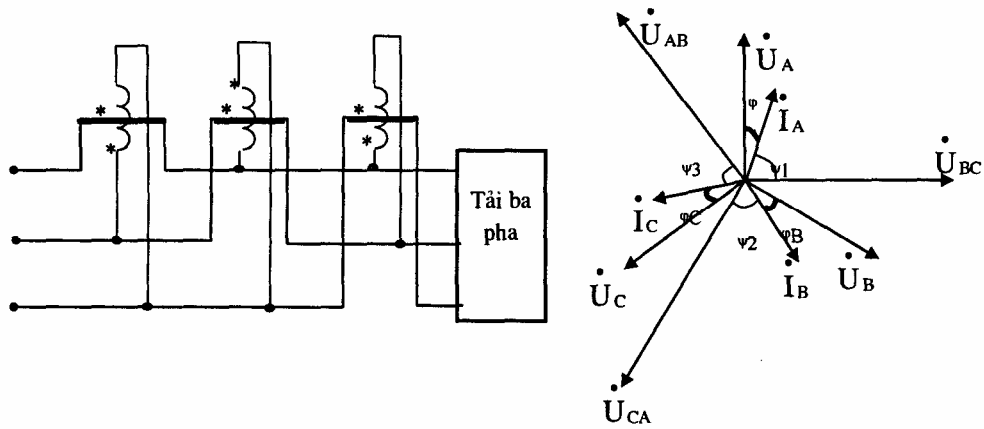
Hình 4.15. Sơ đồ kết hợp giữa  $B_I$  và công tơ ba pha đo năng lượng tác dụng

- Với mạch cao áp, ta kết hợp giữa  $B_U$ ,  $B_I$  và công tơ ba pha để đo năng lượng tác dụng

#### 4.2.4. Đo năng lượng phản kháng trong mạch ba pha

##### 4.2.4.1. Dùng công tơ phản kháng ba pha ba phần tử

Sơ đồ mắc công tơ như sau:



**Hình 4.16. Sơ đồ đấu dây và đồ thị véc tơ của công tơ phản kháng ba pha ba phần tử**

Điểm đo đếm thường là đầu nguồn nên ta coi mạch ba pha có nguồn đối xứng, phụ tải mang tính chất cảm.

Ta có mômen quay tổng của công tơ là:

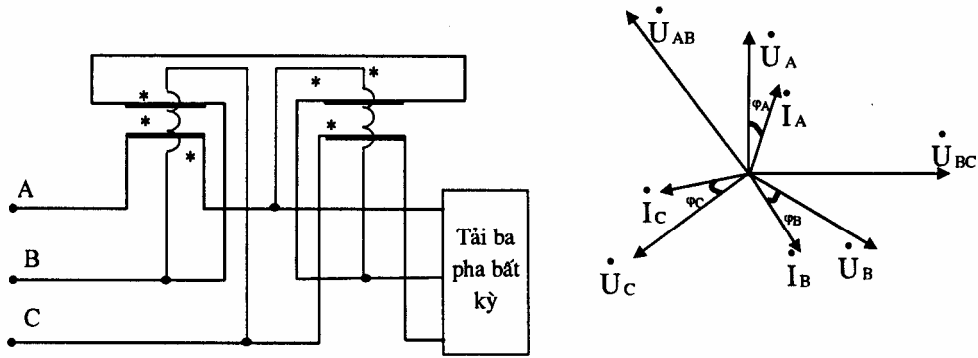
$$\begin{aligned}
 M_q &= K(I_A U_{BC} \cos \psi_1 + I_B U_{CA} \cos \psi_2 + I_C U_{AB} \cos \psi_3) \\
 &= K\sqrt{3} [I_A U_A \cos(90^\circ - \varphi_A) + I_B U_B \cos(90^\circ - \varphi_B) + I_C U_C \cos(90^\circ - \varphi_C)] \\
 &= K\sqrt{3} (I_A U_A \sin \varphi_A + I_B U_B \sin \varphi_B + I_C U_C \sin \varphi_C) \\
 &= K\sqrt{3} Q_{3\text{pha}}.
 \end{aligned} \tag{4-33}$$

Ta thấy mômen quay tỷ lệ với công suất phản kháng trong mạch ba pha cho nên số chỉ của công tơ sẽ tỷ lệ với năng lượng phản kháng tiêu thụ trong mạch ba pha.

#### **4.2.4.2. Dụng công tơ phản kháng ba pha hai phần tử có cuộn dây nối tiếp phụ**

Sơ đồ mắc như Hình 4.17.

Điểm đo đếm là đầu nguồn nên ta coi mạch ba pha có nguồn đối xứng, phụ tải mang tính chất cảm. Xét từng phần tử, ta tính được mômen quay như sau:



**Hình 4.17. Sơ đồ đo công suất phản kháng bằng công tơ ba pha hai phần tử có cuộn dây nối tiếp phụ**

$$M_{q1} = KU_{BC} [I_A \cos(\dot{I}_A, \dot{U}_{BC}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{BC})]$$

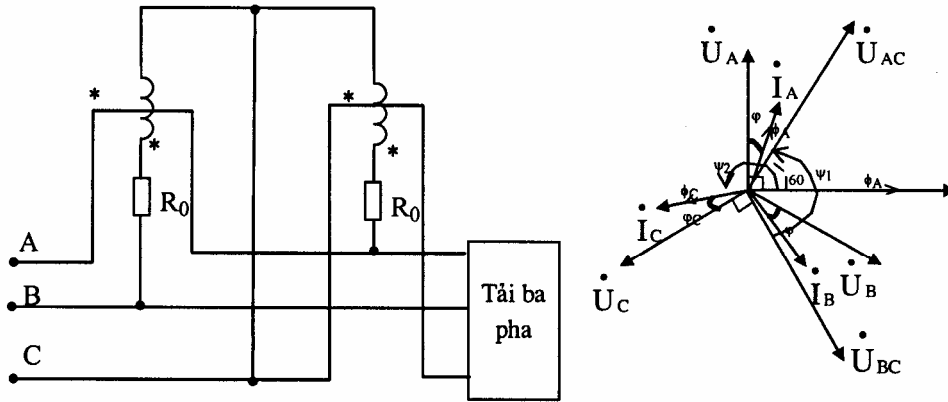
$$M_{q2} = KU_{AB} [I_C \cos(\dot{I}_C, \dot{U}_{AB}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{AB})]$$

$$M_q = M_{q1} + M_{q2}$$

$$\begin{aligned} M_q &= KU_d [I_A \cos(\dot{I}_A, \dot{U}_{BC}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{BC}) \\ &\quad + I_C \cos(\dot{I}_C, \dot{U}_{AB}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{AB})] \\ &= KU_d [I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) - I_B \cos(30^\circ + \varphi_B) \\ &\quad + I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) - I_B \cos(150^\circ - \varphi_B)] \\ &= KU_d [I_A \sin \varphi_A - I_B \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi_B + \frac{1}{2} I_B \sin \varphi_B \\ &\quad + I_C \sin \varphi_C + I_B \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi_B + \frac{1}{2} I_B \sin \varphi_B] \\ &= K \sqrt{3} (I_A U_A \sin \varphi_A + I_B U_B \sin \varphi_A + I_C U_C \sin \varphi_C) \\ &= K \sqrt{3} Q_{3\text{pha}} \end{aligned} \tag{4-34}$$

Mômen quay tỷ lệ với công suất phản kháng trong mạch ba pha vậy số chỉ của công tơ tỷ lệ với năng lượng phản kháng trong mạch ba pha.

4.2.4.3. Dùng công tơ phản kháng ba pha hai phần tử có  $R_0$  tạo góc lệch pha  $60^\circ$



**Hình 4.18. Sơ đồ dùng công tơ phản kháng hai phần tử có mắc thêm  $R_0$  tạo góc lệch pha  $60^\circ$**

Trong sơ đồ công tơ này, các cuộn áp được mắc nối tiếp với điện trở mẫu  $R_0$ . Điện trở này được tính toán sao cho dòng điện trong cuộn áp chỉ chậm pha so với điện áp tương ứng một góc  $60^\circ$ . Ta có đồ thị véc tơ như hình vẽ

Ta có mô men quay của các phần tử là:

$$M_{q1} = K\phi_A\phi_{BC}\sin\psi_1; \text{ với } \psi_1 = 150^\circ - \varphi$$

$$M_{q1} = K\phi_C\phi_{AC}\sin(150^\circ - \varphi).$$

Hơn nữa ta có:

$$\phi_A = C_1 I_A$$

$$\phi_{BC} = C_2 U_{BC}.$$

Thay vào ta có:

$$M_{q1} = K_1 I_A U_{BC} \sin(150^\circ - \varphi).$$

Tương tự

$$M_{q2} = K\phi_C\phi_{AC}\sin\psi_2 = K\phi_C\phi_{AC}\sin(210^\circ - \varphi)$$

$$\phi_C = C_1 I_C$$

$$\phi_{AC} = C_2 U_{AC}$$

$$M_{q2} = K_1 I_C U_{AC} \sin(210^\circ - \varphi).$$

Vậy mô men quay tổng là:

$$M_q = M_{q1} + M_{q2}$$

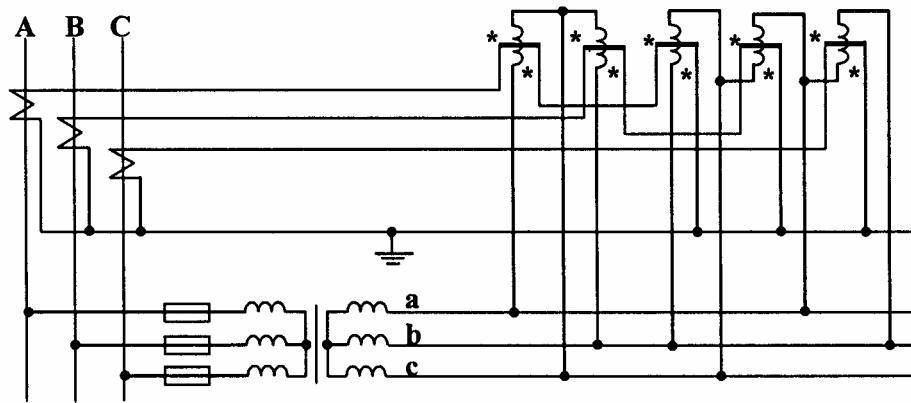
$$M_q = K_1 U_d I_d [\sin(150^\circ - \varphi) + \sin(210^\circ - \varphi)]$$

$$= K_1 \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi = K_1 Q_{3\text{pha}} \quad (4-35)$$

Vậy: Mô men quay tổng tỉ lệ với công suất phản kháng trong mạch ba pha nên sơ đồ này thường được dùng để đo năng lượng phản kháng trong mạch ba pha. Nếu với mạch ba pha không đối xứng thì có sai số nhất định.

#### 4.2.5. Ví dụ sơ đồ đo đếm cao thế

Thực tế có rất nhiều sơ đồ đo đếm cao thế: Tức là sơ đồ kết hợp  $B_U$ ,  $B_I$  và công tơ ba pha đo năng lượng tác dụng và phản kháng cho mạch ba pha cao thế.



- + Công tơ tác dụng ba pha hai phần tử có cuộn dòng ở các pha A, B.
- + Công tơ phản kháng ba pha ba phần tử.
- + Các cuộn dòng của công tơ tác dụng và phản kháng đều nối ở phía thứ cấp của máy biến dòng, vậy dòng định mức qua các cuộn dòng là 5A.
- + Các cuộn áp của công tơ tác dụng và phản kháng đều nối ở phía thứ cấp của biến điện áp, vậy điện áp định mức trên các cuộn áp là 100V



## Chương 5

### ĐO GÓC PHA VÀ TẦN SỐ

#### 5.1. Đo góc pha và hệ số công suất $\cos\varphi$

##### 5.1.1. Phương pháp đo $\cos\varphi$ gián tiếp

###### 5.1.1.1. Phương pháp $V - A - W$

Hệ số công suất  $\cos\varphi$  quan hệ với dòng điện và điện áp trong mạch qua công thức:

$$P = UI\cos\varphi.$$

Do đó:

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI} \quad (5-1)$$

Vậy dùng các đồng hồ  $V$ ,  $A$ ,  $W$  đo  $U$ ,  $I$ ,  $P$  trên tải ta tính được  $\cos\varphi$ .

Sai số:

$$|\gamma_{\cos\varphi}| = |\gamma_P| + |\gamma_U| + |\gamma_I|.$$

###### 5.1.1.2. Phương pháp xác định $\cos\varphi_{TB}$

Ta có:

$$\cos\varphi_{TB} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{W_{td}}{\sqrt{W_{td}^2 + W_{pk}^2}} \quad (5-2)$$

Với  $W_{pk}$  là điện năng phản kháng chỉ bởi công tơ phản kháng trong khoảng thời gian xét;

$W_{td}$  là điện năng tác dụng chỉ bởi công tơ tác dụng trong khoảng thời gian xét.

Dùng công tơ đo năng lượng tác dụng và phản kháng trong một khoảng thời gian nào đó (thường là một tháng) ta xác định được  $\cos\varphi_{TB}$  của phụ tải theo công thức (5.2).

##### 5.1.2. Phương pháp đo $\cos\varphi$ trực tiếp

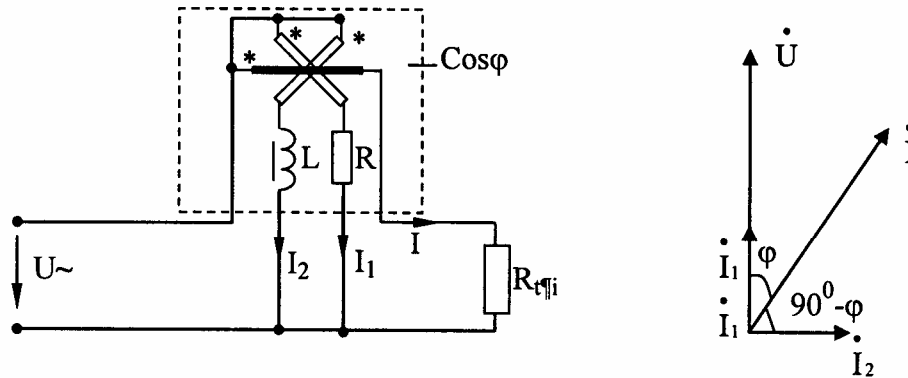
Thường dùng  $\cos\varphi$  met điện động và sắt điện động.

### 5.1.2.1. Cosφ met điện động một pha

Người ta sử dụng cơ cấu chỉ thị logomet điện động để chế tạo dụng cụ đo cosφ trong mạch một pha.

Cuộn tĩnh của cosφ điện động được mắc nối tiếp với mạch cần đo cosφ (hoặc nối với thứ cấp của máy biến dòng), hai cuộn dây động được mắc nối tiếp với R, L và được đặt lên điện áp trên tải (hoặc nối với thứ cấp của biến điện áp đo lường).

Vì cơ cấu không có mạch từ nên việc nối các cuộn dây động như vậy sẽ tạo nên các dòng  $i_1$  và  $i_2$  là vuông pha với nhau. Ta có sơ đồ đấu dây và đồ thị véc tơ như Hình 5.1.



**Hình 5.1. Sơ đồ mắc cosφ điện động và đồ thị dòng điện**

Dòng  $I_1$  trùng pha với điện áp U, dòng  $I_2$  vuông pha với điện áp U

Theo công thức của cơ cấu logomet điện động ta có:

$$\alpha = f\left(\frac{I_2 \cos \psi_2}{I_1 \cos \psi_1}\right)$$

với góc:

$$\psi_1 = (\dot{I}, \dot{I}_1) = \varphi, \quad \psi_2 = (\dot{I}, \dot{I}_2) = 90^\circ - \varphi.$$

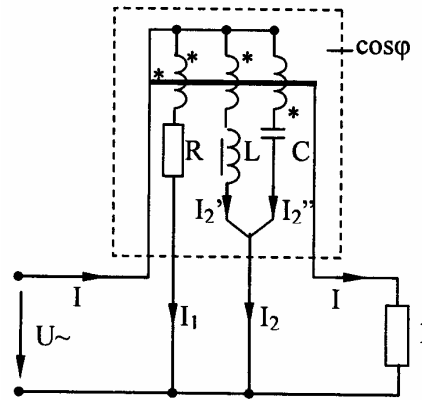
Vậy

$$\alpha = f\left(\frac{I_2 \sin \varphi}{I_1 \cos \varphi}\right) = f\left(\frac{I_2}{I_1} \operatorname{tg} \varphi\right) = f'(\cos \varphi). \quad (5-3)$$

Chú ý: Trên thực tế khi tần số thay đổi dẫn tới  $\omega L$  thay đổi vậy  $I_2$

thay đổi do đó tỷ số  $\frac{I_2}{I_1}$  khác hằng số nên sẽ có sai số. Để khắc phục, nhà sản xuất cải tiến sơ đồ như sau (xem Hình 5.2):

Cuộn dây động được chia làm hai nhánh 2' và 2''. Hai nhánh này mắc ngược cực tính nhau, một nhánh nối với L, một nhánh nối với C. Ta thấy các dòng  $i_2'$  và  $i_2''$  ngược pha nhau, mặt khác hai cuộn dây lại mắc ngược cực tính nên sẽ tạo ra mô men của cuộn dây động thứ hai là tổng của hai mô men cùng dấu:  $M_2 = M_2' + M_2''$ . Vì vậy khi tần số thay đổi làm  $X_L, X_C$  thay đổi ngược nhau hay  $I_2'$  và  $I_2''$  thay đổi ngược nhau. Vậy  $M_2 = \text{const}$ . Tức là nhánh này không phụ thuộc tần số

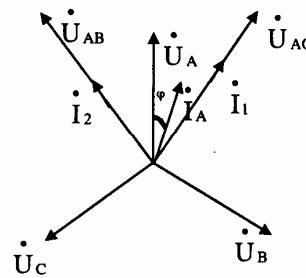
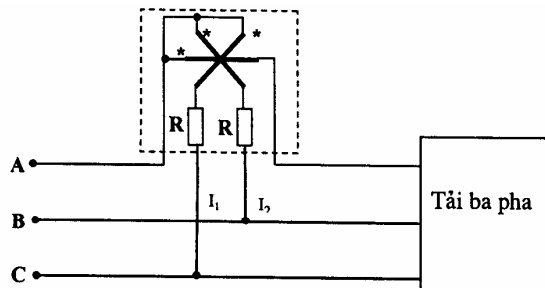


Hình 5.2. Sơ đồ  $\cos\phi$  met điện động cải tiến

### 5.1.2.2. $\cos\phi$ met điện động ba pha

Sơ đồ mắc như Hình 5.3.

Cuộn tĩnh được mắc nối tiếp vào pha A, hai cuộn dây động được mắc với hai điện trở R và được đặt vào các điện áp  $U_{AB}$  và  $U_{AC}$ .



Hình 5.3. Sơ đồ mắc  $\cos\phi$  met điện động ba pha và đồ thị véc tơ

Góc quay của cơ cấu là:

$$\alpha = f \left( \frac{I_2 \cos \left( \dot{I}_2, \dot{I}_A \right)}{I_1 \cos \left( \dot{I}_1, \dot{I}_A \right)} \right)$$

$$= f \left( \frac{I_2 \cos (30^\circ + \varphi)}{I_1 \cos (30^\circ - \varphi)} \right) = f'(\cos \varphi). \quad (5-4)$$

*Chú ý:*

+ Trong sơ đồ này, các cuộn áp đều nối tiếp với điện trở R nên không phụ thuộc tần số, hay  $\frac{I_2}{I_1} = \text{const.}$

+ Cuộn dòng có thể mắc vào các pha B, C tùy ý.

### 5.1.3. Phazomet điện tử

#### 5.1.3.1. Cơ sở lý thuyết

Xét hai điện áp cùng biên độ, tần số nhưng lệch pha nhau một góc  $\varphi$ :

$$u_1 = U_{\max} \sin(\omega t)$$

$$u_2 = U_{\max} \sin(\omega t - \varphi)$$

Vậy

$$\Delta u = u_1 - u_2$$

$$= U_{\max} [\sin(\omega t) - \sin(\omega t - \varphi)]$$

$$= 2U_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{\varphi}{2}\right) \sin \frac{\varphi}{2}.$$

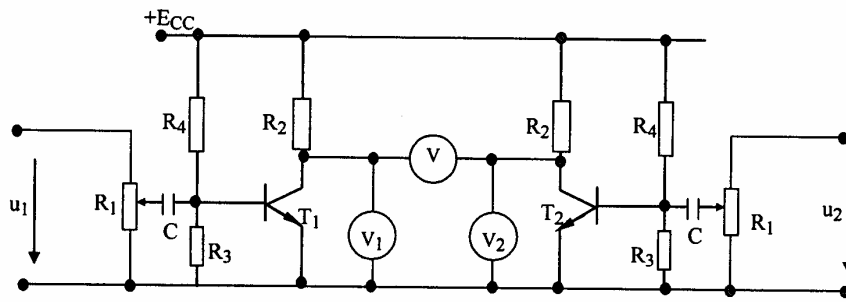
Ta xét trị hiệu dụng của  $\Delta u$ :

$$\Delta U = 2U \sin \frac{\varphi}{2} \Rightarrow \varphi = 2 \arcsin \frac{\Delta U}{2U}. \quad (5-5)$$

Vì vậy biết U, đo  $\Delta U$  ta xác định được góc  $\varphi$ .

#### 5.1.3.2. Phazomet điện tử

Ta đưa ra sơ đồ đơn giản của phazomet điện tử như sau:

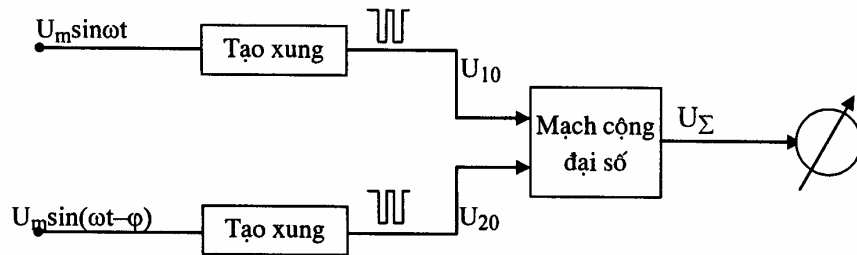


Hình 5.4. Sơ đồ phazomet điện tử

Hai tín hiệu điện áp cần so sánh góc pha được đưa vào hai đầu của hai mạch khuếch đại qua hai biến trở  $R_1$  và  $R_2$ . Khi đo, ta điều chỉnh các vị trí con trượt trên các biến trở  $R_1$  và  $R_2$  sao cho điện áp đầu ra của hai mạch khuếch đại là bằng nhau, và được kiểm tra bằng các volmet  $V_1$   $V_2$ .

Sau khi kiểm tra  $U_{V1} = U_{V2} = U$ , ta đo  $\Delta U$  bằng volmet  $V$  rồi suy ra góc  $\varphi$  theo (5.5).

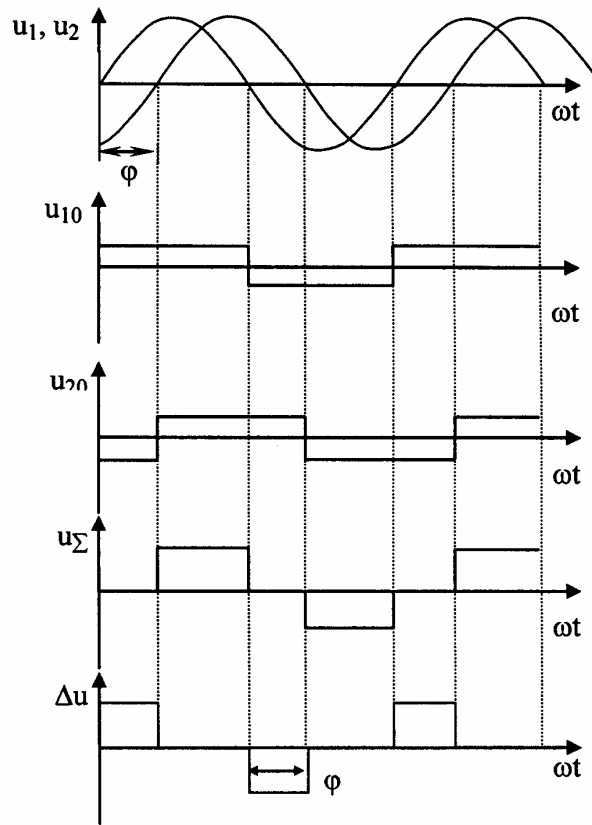
Để tránh phải so sánh hai điện áp  $u_1$  và  $u_2$  người ta thường biến chúng thành những xung vuông sau đó đưa vào bộ cộng đại số điện áp hay dòng điện như Hình 5.5. Giảm đồ thời gian như Hình 5.6.



Hình 5.5. Sơ đồ nguyên lý đo góc pha bằng cách cộng trừ hai điện áp

Tùy theo góc lệch pha giữa hai tín hiệu, điện áp hay dòng điện ra từ mạch cộng thay đổi. Điện áp này được đo bằng dụng cụ đo chỉnh lưu

$$U_b = \frac{U_\varphi}{2\pi}. \quad (5-6)$$



Hình 5.6. Giản đồ thời gian điện áp

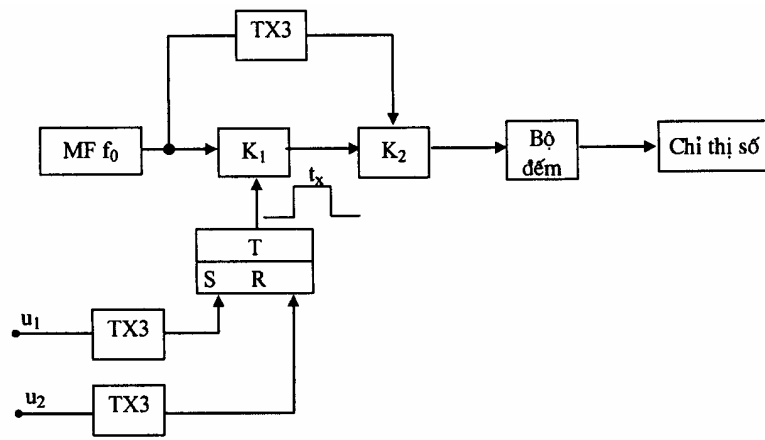
Dựa trên nguyên tắc này nhiều hãng trên thế giới đã chế tạo dụng cụ đo góc lệch pha trong khoảng từ  $(0 \div 180^\circ)$  với sai lệch nhỏ hơn 1%.

#### 5.1.4. Phazomet chỉ thị số

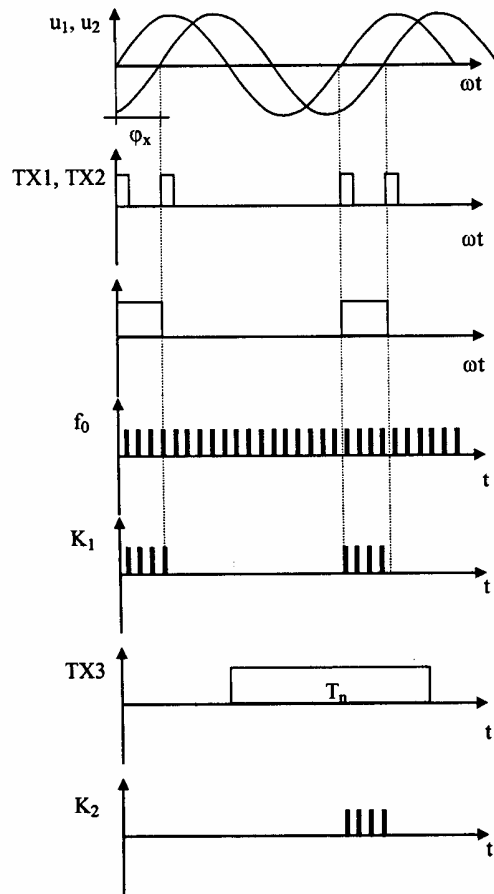
Dựa trên nguyên tắc biến đổi góc lệch pha thành mã, có nghĩa là góc lệch pha cần đo giữa hai tín hiệu được biến thành khoảng thời gian, sau đó lấp đầy khoảng thời gian bằng các xung với tần số biết trước.

Cấu trúc bao gồm: bộ biến đổi góc pha thành khoảng thời gian, bộ tạo xung TX1, TX2, TX3, bộ đếm, chỉ thị số, máy phát xung chuẩn, khoá  $K_1, K_2$

Sơ đồ cấu trúc như sau:



Hình 5.7. Sơ đồ cấu trúc của phazomet chỉ thị số



Hình 5.8. Biểu đồ thời gian của phazomet chỉ thị số

Các tín hiệu  $u_1, u_2$  có dạng hình sin cùng biên độ, tần số được đưa vào bộ tạo xung TX1, TX2. Các xung xuất hiện khi tín hiệu đi qua mức "0", các xung này sẽ được đưa đến các đầu vào của trigơ tạo ra ở đầu ra một xung mà độ dài của nó tỷ lệ với góc lệch pha cần đo  $\varphi_x$ . Khoá K được mở trong khoảng thời gian  $t_x$ . Từ máy phát xung chuẩn  $f_0$  có tần số ổn định (hay  $T_0 = 1/f_0$ ) được đưa qua  $K_1$  khi  $K_1$  mở trong khoảng thời gian  $t_x$ . Mặt khác bộ tạo xung TX3 phát ra xung có độ dài cố định là  $T_n$  và khoá  $K_2$  được mở trong khoảng thời gian đó. Vậy các xung từ các khoảng thời gian  $T_n$  sẽ đi qua  $K_2$  vào bộ đếm và chỉ thị số.

Số xung đếm được là:



$$N = \frac{T_n T_x}{T_x T_0} = \frac{KT_0}{T_x} \frac{T_x}{360^\circ T_0} \varphi_x = \frac{1}{360^\circ} \varphi_x \quad (5-7)$$

với  $T_n = KT_0$ .

Vậy số xung  $N$  tỷ lệ với góc lệch pha  $\varphi_x$

*Nhược điểm :*

- Nếu tần số nhỏ, vì  $T_x$  chứa trong khoảng  $T_n$  nhỏ, do vậy ta phải mở rộng  $T_n$ .

- Nếu tần số lớn, dẫn đến sai số lượng tử hoá trong khoảng  $T_x$  tăng lên, dẫn đến sai số tăng.

Thông thường làm việc trong khoảng một vài Hz đến vài MHz, có sai số  $\gamma = 0,1 \div 0,2\%$ .

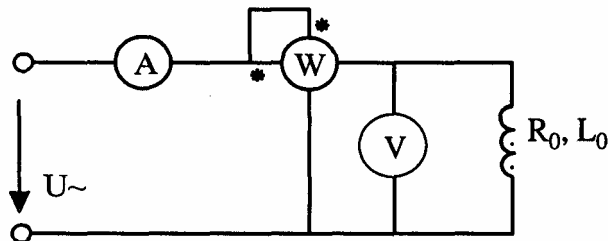
## 5.2. Đo tần số

### 5.2.1. Phương pháp gián tiếp

Dùng volmet, ampemet, wattmet kết hợp với điện cảm mẫu, ta có thể xác định được tần số:

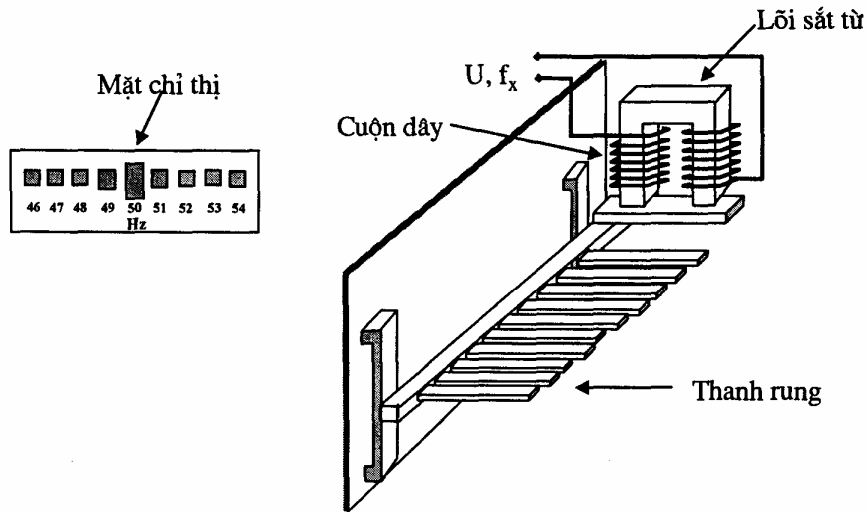
$$f = \frac{1}{2\pi L_0} \sqrt{\left(\frac{U_V}{I_A}\right)^2 - \left(\frac{P_W}{I_A^2}\right)^2} \quad (5-8)$$

Biết  $L_0$ , căn cứ vào số chỉ của các đồng hồ đo, ta xác định được tần số.



Hình 5.9. Đo tần số bằng phương pháp gián tiếp

### 5.2.2. Tần số met cộng hưởng



**Hình 5.10. Tần số met cộng hưởng**

Nguyên lý hoạt động:

Tần số met cộng hưởng gồm một nam châm điện, tạo ra bởi cuộn dây điện quấn trên lõi sắt từ hình chữ U, một miếng thép nằm trong từ trường của nam châm điện, gắn chặt vào thanh là các lá thép rung có tần số dao động riêng khác nhau. Tần số dao động riêng của hai lá thép kề nhau hơn kém nhau là 0,25 hoặc 0,5Hz. Điện áp của tín hiệu cần đo tần số sẽ được đưa vào cuộn dây của nam châm điện sẽ tạo ra sự dao động của tất cả các lá thép. Tuy nhiên lá thép nào có tần số dao động riêng bằng tần số  $f$  thì sẽ dao động cực đại do cộng hưởng riêng, còn các thanh khác không cộng hưởng thì không dao động cực đại. Như vậy chúng ta sẽ đọc kết quả tại trị số tương ứng với thanh rung cực đại.

### 5.2.3. Tần số met điện tử

#### 5.2.3.1. Nguyên tắc chung

Tần số met loại này dựa trên nguyên tắc chung là sử dụng phương pháp đếm xung đơn giản bằng cách phóng nạp một tụ điện C từ một nguồn điện áp không đổi  $U_0$  nào đó.

Tín hiệu cần đo có tần số  $f_x$  được đưa vào không chế một khoá điện tử

K, khoá này được thiết kế sao cho trong một chu kỳ của điện áp  $u_k$ , khoá K đóng từ 1 sang 2 một lần.

Xét khi khoá K ở vị trí 1, điện tích nạp vào tụ tính như sau:

$$q = C.U_0$$

Điện tích nạp vào tụ trong thời gian một giây là:

$$Q = q.f_x = C.U_0.f_x.$$

Điện tích này chạy qua chỉ thị khi khoá K ở vị trí 2 tạo ra dòng điện trung bình

$$I_{TB} = K.Q = K.C.U_0.f_x = K_1 f_x$$

( $K_1 = \text{const}$ )

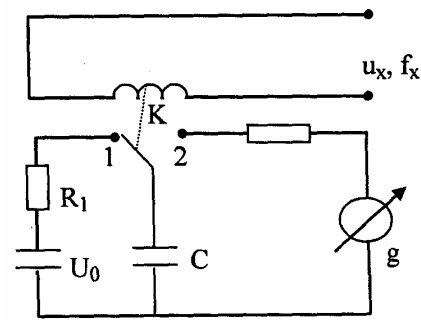
$I_{TB}$  được chỉ bằng cơ cấu từ điện G. Thang chia độ được khắc trực tiếp theo đơn vị tần số và ta có thể đọc ngay tần số trên chỉ thị G. Muốn mở rộng giới hạn đo, ta thay đổi giá trị của tụ C.

#### 5.2.3.2. Tần số met điện tử

Tần số met điện tử được thiết kế như Hình 5.12. Khoá đổi nối K thực hiện bằng một đèn bán dẫn T. Điện áp  $u_x$  cần đo tần số được đưa vào cực gốc của T.

Ở nửa chu kỳ âm của điện áp  $U_x$  (so với cực gốc của T), đèn T khoá, tụ C được nạp từ nguồn  $U_0$  qua  $D_1$ , qua chỉ thị g cho tới khi  $U_c = U_0$ .

Ở nửa chu kỳ dương của điện áp  $U_x$  đèn T mở, tụ C phóng qua đèn, qua  $D_2$  cho tới khi  $U_c = U_B$ .



Hình 5.11. Nguyên lý của tần số met điện tử

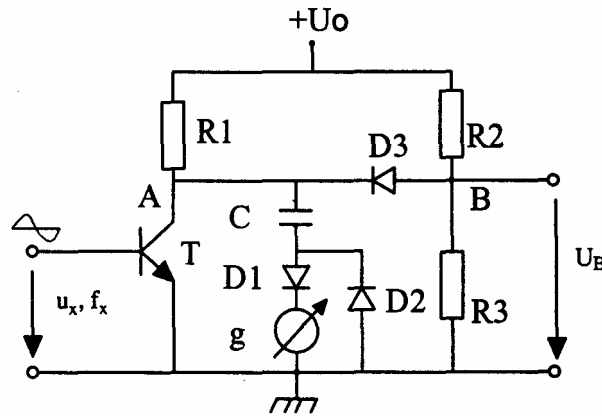
Điện tích mà tụ điện nạp trong một lần đóng mở của T là:

$$q = C(U_0 - U_B).$$

Lượng điện tích phóng nạp trong thời gian một giây chính là dòng điện đi qua chỉ thị

$$I = f_x C(U_0 - U_B) = k.f_x.$$

Vậy dòng điện trung bình chạy qua chỉ thị tỷ lệ bậc nhất với  $f_x$ . Ta có thể khắc vạch thang chia độ theo đơn vị tần số.



Hình 5.12. Tần số met điện tử

#### 5.2.4. Tần số kế chỉ thị số

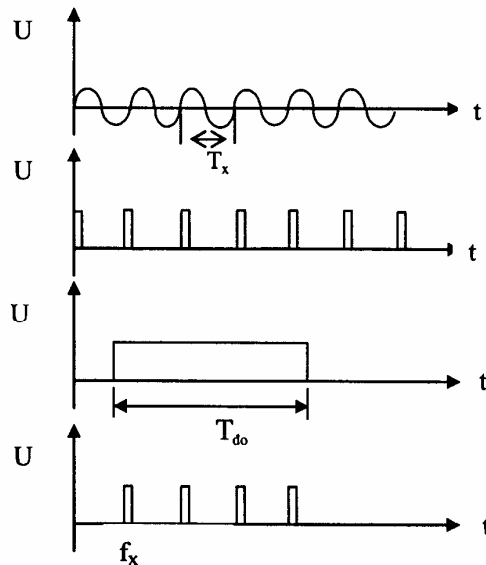
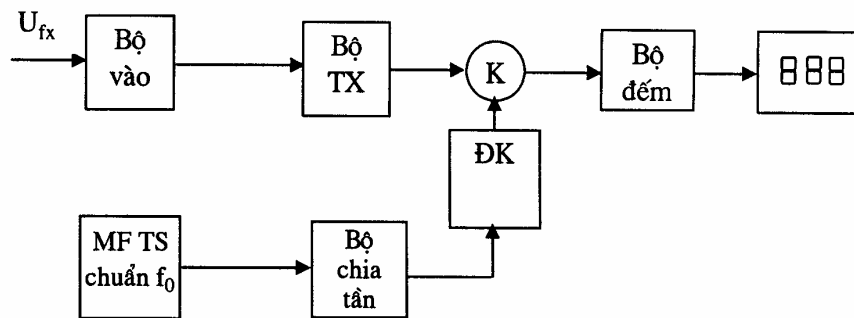
Nguyên lý: Đếm số xung N tương ứng với số chu kỳ của tần số cần đo  $f_x$  trong khoảng thời gian gọi là thời gian đo  $T_{đo}$ .

Trong khoảng  $T_{đo}$  ta đếm được N xung tỉ lệ với tần số đo  $f_x$ . Sơ đồ khối của một tần số kế chỉ thị số như sau:

Mạch tạo xung có nhiệm vụ biến tín hiệu hình sin hoặc tín hiệu xung có chu kỳ thành một dãy xung có biên độ không đổi (không phụ thuộc vào biên độ của tín hiệu vào) nhưng tần số bằng tần số của tín hiệu vào.

Máy phát xung chuẩn  $f_0 = 1\text{MHz}$ .

Bộ chia tần số với các nấc có hệ số chia là  $10^n$ . Tần số chuẩn  $f_0 = 1\text{MHz}$  được chia đến 0,01 Hz. Nghĩa là ở đầu ra của mạch điều khiển theo  $10^n$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) ta có thể nhận được khoảng thời gian  $T_{đo} = 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, 10, 100\text{s}$ .



Hình 5.13. Tần số kế chỉ thị số

Khoảng thời gian này sẽ điều khiển để mở khoá K (khoá có hai đầu vào). Tín hiệu  $f_x$  theo đầu vào thứ hai sẽ đi vào bộ đếm ra cơ cấu chỉ thị.

Số xung mà máy đếm đếm được sẽ là:

$$N = \frac{T_{do}}{T_x} = \frac{K \cdot T_0}{T_x} = K \cdot \frac{f_x}{f_0}$$

Nếu thời gian đo có giá trị là 1s thì số xung N (tức là số các chu kỳ) sẽ chính là tần số cần đo  $f_x$  nghĩa là:  $f_x = N$ .

Mạch điều khiển phụ trách việc điều khiển quá trình đo: Bảo đảm thời gian biểu thị kết quả đo cỡ từ 0,3 ÷ 5s trên chỉ thị số, xoá kết quả đo

đưa về trạng thái 0 ban đầu trước mỗi lần đo; điều khiển chế độ làm việc; tự động, bằng tay, hay khởi động bên ngoài; chọn dải đo tần số (cho ra xung mở khoá K) và cho ra xung điều khiển máy và số. Sai số của phép đo tần số:

$$\gamma_{fx} = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{1}{f_x T_{do}} + \gamma_{f0}$$

với

$$\gamma_{f0} = \frac{\Delta f_0}{f_0} = \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}}$$

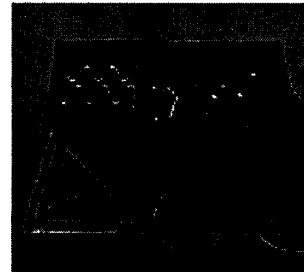
$f_x$  là tần số cần đo (Hz)

Ta thấy rằng sai số của phép đo tần số tỉ lệ nghịch với độ lớn của tần số đo.

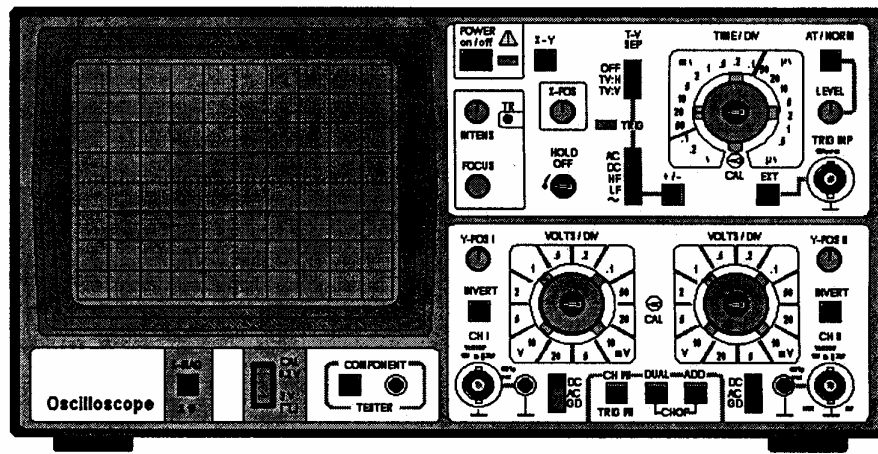
### 5.3. Ứng dụng máy hiện sóng điện tử trong đo lường

#### 5.3.1. Mở đầu

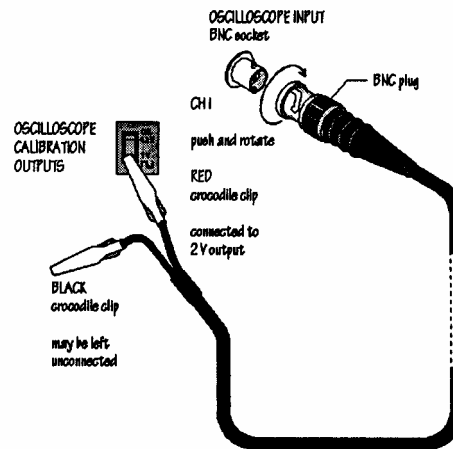
Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng. Nó chủ yếu được sử dụng để vẽ dạng của tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được:



- + Giá trị điện áp và thời gian tương ứng của tín hiệu;
- + Tần số dao động của tín hiệu;
- + Góc lệch pha giữa hai tín hiệu;
- + Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử;
- + Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như thế nào;
- + Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không.



Một máy hiện sóng giống như một máy thu hình nhỏ nhưng có màn hình được kẻ ô và có nhiều phần điều khiển hơn TV. Dưới đây là panel của một máy hiện sóng thông dụng với phần hiển thị sóng; phần điều khiển theo trục X, trục Y, đồng bộ và chế độ màn hình; phần kết nối đầu đo...

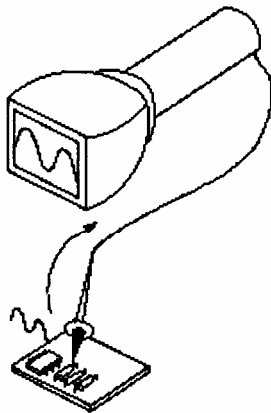
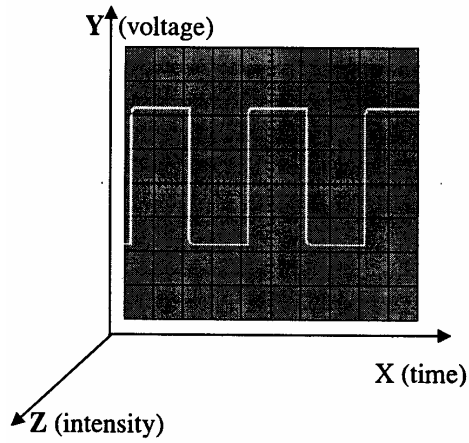


Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian: trục đứng Y là trục điện áp, trục ngang X là trục thời gian. Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi là trục Z.

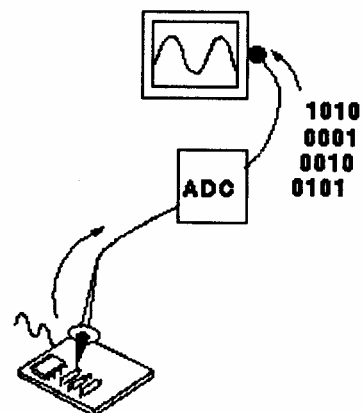
Máy hiện sóng có thể được dùng ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không đơn thuần chỉ trong lĩnh vực điện tử. Với một bộ chuyển đổi hợp lý ta có thể đo được thông số của hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý. Bộ

chuyển đổi ở đây có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điện tương ứng với đại lượng cần đo, ví dụ như các bộ cảm biến âm thanh, ánh sáng, độ căng, độ rung, áp suất hay nhiệt độ ...

Các thiết bị điện tử thường được chia thành hai nhóm cơ bản là thiết bị tương tự và thiết bị số, máy hiện sóng cũng vậy. Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên màn hình. Trong khi đó, máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự/số (ADC). Sau đó nó sử dụng các thông tin dưới dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình.



**Analog Oscilloscopes**



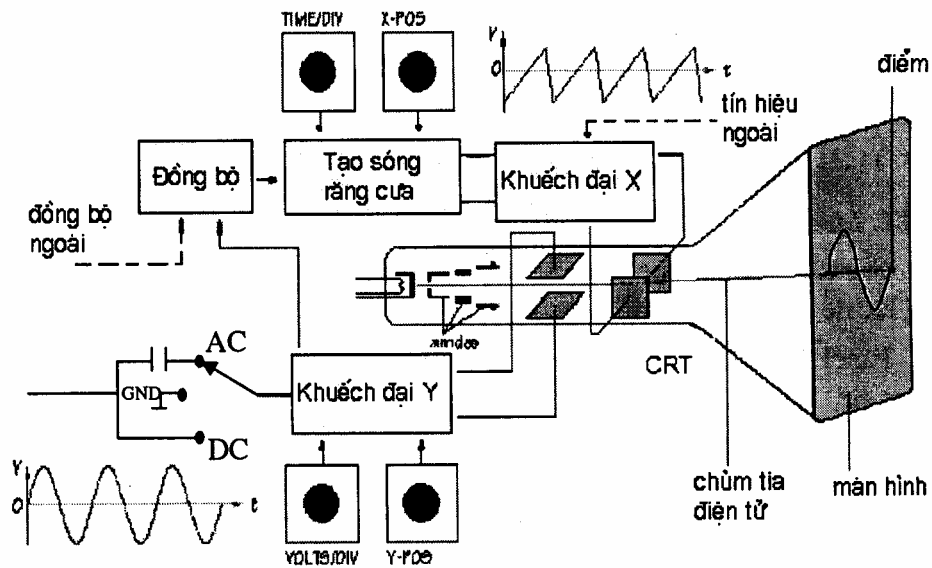
**Digital Oscilloscopes**

Tùy vào ứng dụng mà người ta sử dụng máy hiện sóng loại nào cho phù hợp. Thông thường, nếu cần hiển thị dạng tín hiệu dưới dạng thời gian thực (khi chúng xảy ra) thì sử dụng máy hiện sóng tương tự. Khi cần lưu giữ thông tin cũng như hình ảnh để có thể xử lý sau hay in ra dạng sóng thì người ta sử dụng máy hiện sóng số có khả năng kết nối với máy tính và các bộ vi xử lý.



Phần tiếp theo của tài liệu chúng ta sẽ nói tới máy hiện sóng tương tự, loại dùng phổ biến trong kỹ thuật đo lường điện tử.

### 5.3.2. Sơ đồ khối của một máy hiện sóng thông dụng



Tín hiệu vào được đưa qua bộ chuyển mạch AC/DC (khoá K đóng khi cần xác định thành phần DC của tín hiệu còn khi chỉ quan tâm đến thành phần AC thì mở K). Tín hiệu này sẽ qua bộ phân áp (hay còn gọi là bộ suy giảm đầu vào) được điều khiển bởi chuyển mạch núm xoay VOLTS/DIV, nghĩa là xoay núm này cho phép ta điều chỉnh tỉ lệ của sóng theo chiều đứng. Chuyển mạch Y-POS để xác định vị trí theo chiều đứng của sóng, nghĩa là có thể di chuyển sóng theo chiều lên hoặc xuống tùy ý bằng cách xoay núm vặn này. Sau khi qua phân áp, tín hiệu vào sẽ được bộ khuếch đại Y khuếch đại làm lệch để đưa tới điều khiển cặp làm lệch đứng. Tín hiệu của bộ KĐ Y cũng được đưa tới trigo (khởi đồng bộ), trường hợp này gọi là đồng bộ trong, để kích thích mạch tạo sóng răng cưa (còn gọi là mạch phát quét) và đưa tới điều khiển cặp làm lệch ngang (để tăng hiệu quả điều khiển, một số mạch còn sử dụng thêm các bộ khuếch đại X sau khối tạo điện áp răng cưa). Đôi khi người ta cũng cho mạch làm việc ở chế độ đồng bộ ngoài bằng cách cắt đường tín hiệu từ KĐ Y, thay vào đó là cho tín hiệu ngoài kích thích khối tạo sóng răng cưa.

Đi vào khối tạo sóng răng cưa còn có hai tín hiệu điều khiển từ nút vặn TIME/DIV và X-POS. TIME/DIV (có nhiều máy kí hiệu là SEC/DIV) cho phép thay đổi tốc độ quét theo chiều ngang, khi đó dạng sóng sẽ dừng trên màn hình với n chu kỳ nếu tần số của sóng đó lớn gấp n lần tần số quét). X-POS là nút điều chỉnh việc di chuyển sóng theo chiều ngang cho tiện quan sát

Ổng phóng tia điện tử CRT đã được mô tả ở phần trước.

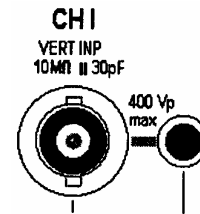
Sau đây ta sẽ xem xét phần điều khiển, vận hành và các ứng dụng thông dụng nhất của một máy hiện sóng.

### 5.3.3. Thiết lập chế độ hoạt động và cách điều khiển một máy hiện sóng

#### 5.3.3.1. Thiết lập chế độ hoạt động cho máy hiện sóng

Sau khi nối đất cho máy hiện sóng ta sẽ điều chỉnh các nút vặn hay công tắc để thiết lập chế độ hoạt động cho máy.

Panel trước của máy hiện sóng gồm ba phần chính là VERTICAL (phần điều khiển đứng), HORIZONTAL (phần điều khiển ngang) và TRIGGER (phần điều khiển đồng bộ). Một số phần còn lại (FOCUS - độ nét, INTENSITY - độ sáng...) có thể khác nhau tùy thuộc vào hãng sản xuất, loại máy, và model.

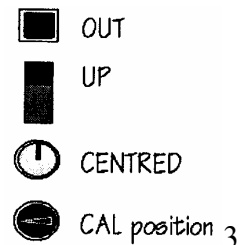


Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình bên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có hai que đo ứng với hai kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mỗi kênh.

Một số máy hiện sóng có chế độ AUTOSET hoặc PRESET để thiết lập lại toàn bộ phần điều khiển, nếu không ta phải tiến hành bằng tay trước khi sử dụng máy.

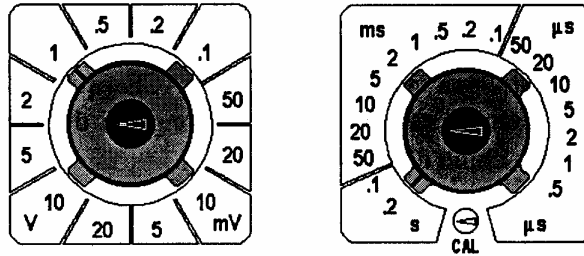
Các bước chuẩn hoá như sau:

1. + Đưa tất cả các nút bấm về vị trí OUT
- + Đưa tất cả các thanh trượt về vị trí UP
- + Đưa tất cả các nút xoay về vị trí CENTRED



+ Đưa nút giữa của VOLTS/DIV, TIME/DIV, HOLD OFF về vị trí CAL (cân chỉnh)

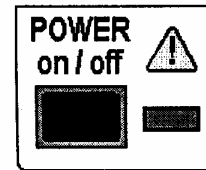
2. Vận VOLTS/DIV và TIME/DIV về vị trí 1V/DIV và 2s/DIV.



3. Bật nguồn.

4. Xoay Y-POS để điều chỉnh điểm sáng theo chiều đứng (điểm sáng sẽ chạy ngang qua màn hình với tốc độ chậm). Nếu vận TIME/DIV ngược chiều kim đồng hồ (theo chiều giảm) thì điểm sáng sẽ di chuyển nhanh hơn và khi ở vị trí cỡ  $\mu\text{s}$  trên màn hình sẽ là một vạch sáng thay cho điểm sáng.

Y-POS I



5. Điều chỉnh INTENS để thay đổi độ chói và FOCUS để thay đổi độ nét của vạch sáng trên màn hình.



INTENS

FOCUS



6. Đưa tín hiệu chuẩn để kiểm tra độ chính xác của máy.

Đưa đầu đo tới vị trí lấy chuẩn (hoặc là từ máy phát chuẩn hoặc ngay trên máy hiện sóng ở vị trí CAL 1Vpp, 1kHz). Với giá trị chuẩn như trên nếu VOLTS/DIV ở vị trí 1V/DIV và TIME/DIV ở vị trí 1ms/DIV thì trên màn hình sẽ xuất hiện một sóng vuông có biên độ đỉnh một ô trên màn hình và độ rộng xung cũng là một ô trên màn hình (xoay Y-POS và X-POS để đếm ô một cách chính xác).

Sau khi lấy lại các giá trị chuẩn ở trên, tùy thuộc chế độ làm việc mà ta sử dụng các nút điều khiển tương ứng như sẽ nói ở phần tiếp theo.

### 5.3.3.2. Các phần điều khiển chính

a) Điều khiển màn hình

Phần này bao gồm:

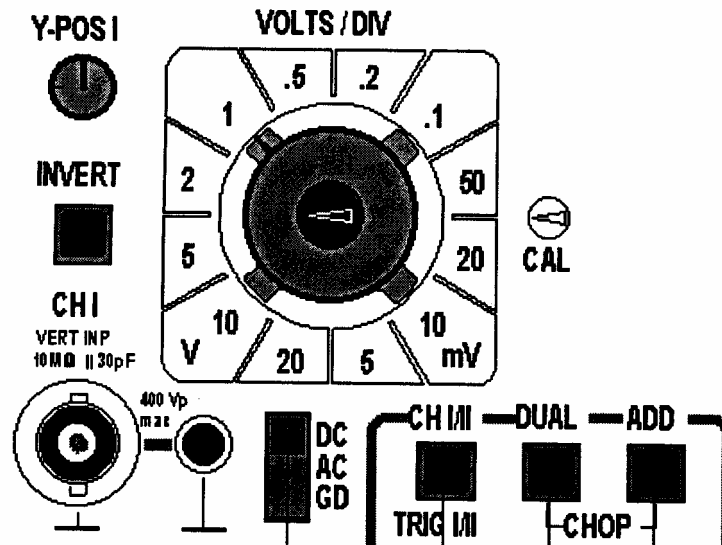
+ Điều chỉnh độ sáng - INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lưới.

+ Điều chỉnh độ nét - FOCUS - của dạng sóng. Thực chất là điều chỉnh điện áp các anot A1, A2 và A3.

+ Điều chỉnh độ lệch của trục ngang - TRACE - (khi vị trí của máy ở những điểm khác nhau thì tác dụng của từ trường trái đất cũng khác nhau nên đôi khi phải điều chỉnh để có vị trí cân bằng).

*b) Điều khiển theo trục đứng*

Phần này sẽ điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều đứng. Khi tín hiệu đưa vào càng lớn thì VOLTS/DIV cũng phải ở vị trí lớn và ngược lại.



Ngoài ra còn một số phần như:

INVERT: đảo dạng sóng;

DC/AC/GD: hiển thị phần một chiều/xoay chiều/đất của dạng sóng;

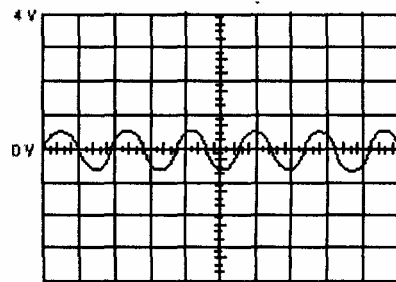
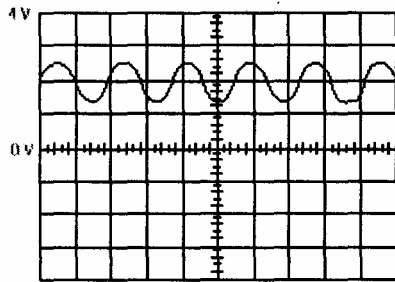
CH I/II: chọn kênh 1 hoặc kênh 2;

DUAL: chọn cả hai kênh;

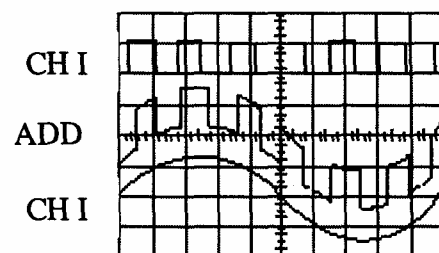
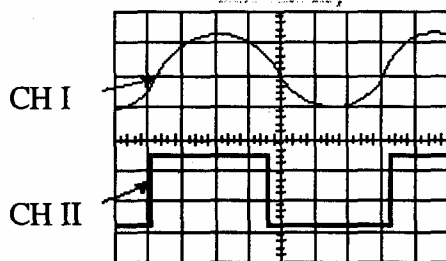
ADD: cộng tín hiệu của cả hai kênh.

Khi bấm nút INVERT dạng sóng của tín hiệu sẽ bị đảo ngược lại (đảo pha  $180^\circ$ ).

Khi gạt công tắc về vị trí GD trên màn hình sẽ xuất hiện một đường ngang, dịch chuyển vị trí của đường này để xác định vị trí đất của tín hiệu.



Gạt công tắc về vị trí DC nghĩa là trong tín hiệu bao gồm cả thành phần một chiều và xoay chiều, gạt về vị trí AC là hiện dạng sóng đã tách thành phần một chiều. Xem hình dưới đây: (bên trái là ở chế độ DC và bên phải ở chế độ AC).

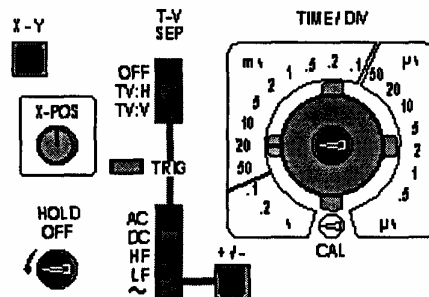


Khi ấn nút DUAL để chọn cả hai kênh thì trên màn hình sẽ xuất hiện hai đồ thị của hai dạng sóng ứng với 2 đầu đo. ADD để cộng các sóng với nhau. Nói chung vị trí của ba nút CH I/II, DUAL và ADD sẽ cho các chế độ hiển thị khác nhau tùy thuộc vào từng loại máy.

*c) Điều khiển theo trục ngang*

Phần này điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều ngang. Khi tín hiệu đưa vào có tần số càng cao thì TIME/DIV phải càng nhỏ và ngược lại. Ngoài ra còn một số phần sau:

X-Y: ở chế độ này kênh thứ 2 sẽ



làm trục X thay cho thời gian như ở chế độ thường.

*Chú ý:* khi máy hoạt động ở chế độ nhiều kênh thì cũng chỉ có một phần điều khiển theo trục ngang nên tần số quét khi đó sẽ là tần số quét chung cho cả hai dạng sóng.

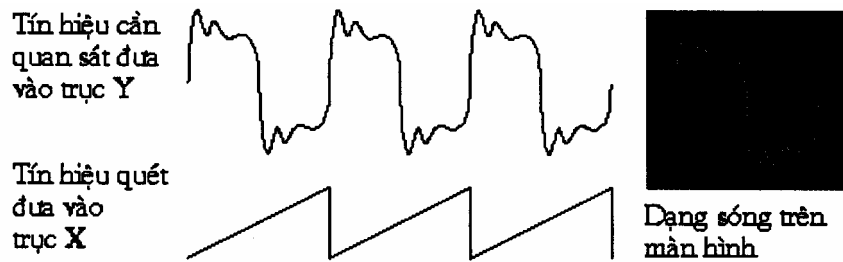
### 5.3.4. Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường

Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu thập và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu...

Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng.

#### 5.3.4.1. Quan sát tín hiệu

Để quan sát được tín hiệu chỉ cần thiết lập máy ở chế độ đồng bộ trong và điều chỉnh tần số quét và trigô để dạng sóng đứng yên trên màn hình. Khi này có thể xác định được sự biến thiên của tín hiệu theo thời gian như thế nào. Các máy hiện sóng hiện đại có thể cho phép cùng một lúc hai, bốn hoặc tám tín hiệu dạng bất kỳ cùng một lúc và tần số quan sát có thể lên tới 400MHZ.



#### 5.3.4.2. Đo điện áp

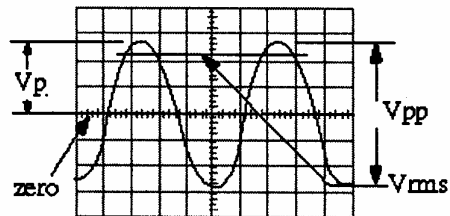
Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV.

Ví dụ: VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở hình trên có:

$$V_p = 2,7\hat{o} \times 1V = 2,8V$$

$$V_{pp} = 5,4\hat{o} \times 1V = 5,4V$$

$$V_{rms} = 0,707V_p = 1,98V.$$

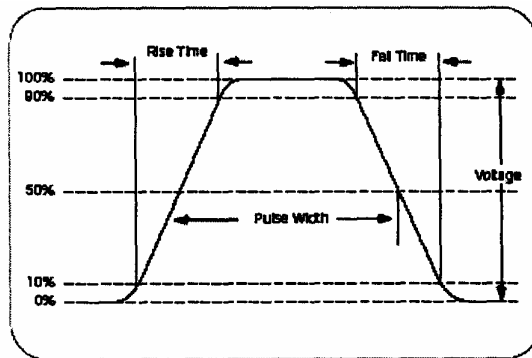


Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình bên.

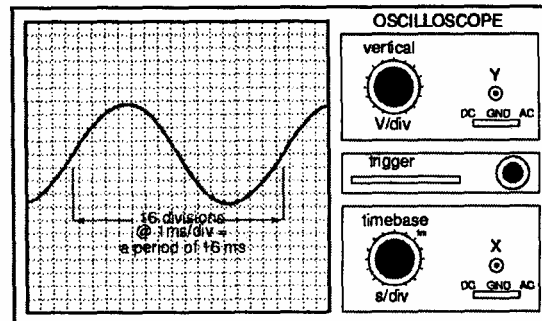
#### 5.3.4.3. Đo tần số và khoảng thời gian

Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV.

Việc xác định tần số của tín hiệu được thực hiện bằng cách tính chu kỳ theo cách như trên. Sau đó nghịch đảo giá trị của chu kỳ ta tính được tần số.



Ví dụ: ở hình dưới s/div là 1ms. Chu kỳ của tín hiệu dài 16 ô, do vậy chu kỳ là 16ms  $\Rightarrow f = 1/16\text{ms} = 62,5\text{Hz}$ .



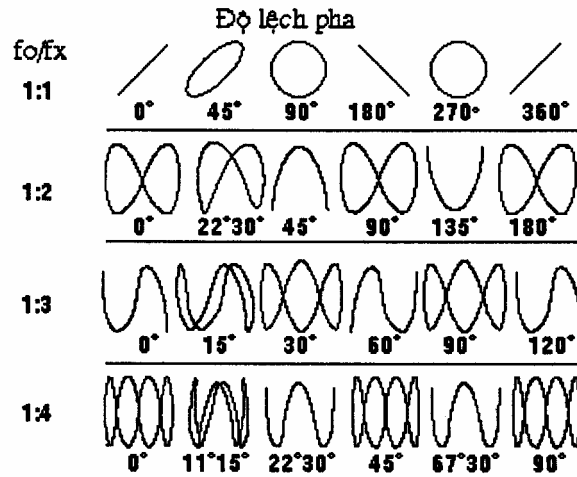
$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{period}} = \frac{1}{16 \text{ ms}} = 62.5 \text{ Hz}$$

#### 5.3.4.4. Đo tần số và độ lệch pha bằng phương pháp so sánh

Ngoài cách đo tần số thông qua việc đo chu kỳ như ở trên, có thể đo tần số bằng máy hiện sóng như sau: so sánh tần số của tín hiệu cần đo  $f_x$

với tần số chuẩn  $f_0$ . Tín hiệu cần đo đưa vào cực Y, tín hiệu tần số chuẩn đưa vào cực X. Chế độ làm việc này của máy hiện sóng gọi là chế độ X-Y mode và các sóng đều có dạng hình sin. Khi đó trên màn hình sẽ hiện ra một đường cong phức tạp gọi là đường cong Lissajou.

Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dáng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tỉ số tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng (xem hình dưới).



Ta có:

$$\frac{f_0}{f_x} = \frac{m}{n}$$

với  $n$  là số múi theo chiều ngang và  $m$  là số múi theo chiều dọc (hoặc có thể lấy số điểm cắt lớn nhất theo mỗi trục hoặc số điểm tiếp tuyến với hình Lissajou của mỗi trục).

Phương pháp hình Lissajou cho phép đo tần số trong khoảng từ 10Hz tới tần số giới hạn của máy.

Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho hai tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y-POS và X-POS sao cho tâm của elip trùng với tâm màn hình (gốc toạ độ). Khi đó góc lệch pha được tính bằng:



$$\varphi = \operatorname{arctg} \left( \frac{A}{B} \right)$$

với A, B là đường kính trục dài và đường kính trục ngắn của elip.

Nhược điểm của phương pháp này là không xác định được dấu của góc pha và sai số của phép đo khá lớn (5 - 10%).

## **Chương 6**

# **ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN**

### **6.1. Đo điện trở**

#### **6.1.1. Ý nghĩa và yêu cầu của việc đo điện trở**

##### *a) Ý nghĩa*

Điện trở là một thông số rất quan trọng của mạch điện và các hệ thống cung cấp điện, tuy nhiên phần lớn các giá trị của chúng thay đổi theo nhiệt độ theo điều kiện môi trường. Vì vậy khi lắp ráp, vận hành các mạch điện, khi thí nghiệm, nghiệm thu các mạch điện, các hệ thống cung cấp điện, các hệ thống tự động hoá... ta phải tiến hành đo và kiểm tra các giá trị điện trở.

##### *b) Phân loại*

Điện trở thông thường được phân ra thành ba nhóm:

- + Điện trở nhỏ là các điện trở có giá trị  $R < 1\Omega$ ;
- + Điện trở trung bình là các điện trở có giá trị là  $1\Omega \leq R < 0,1 \text{ M}\Omega$
- + Điện trở lớn các điện trở có giá trị  $R \geq 0,1\text{M}\Omega$

##### *c) Yêu cầu khi đo điện trở*

+ Khi đo các giá trị điện trở nhỏ cần tìm mọi biện pháp để loại trừ ảnh hưởng của điện trở dây nối, điện trở tiếp xúc, sức điện động tiếp xúc. Để khắc phục một phần, trên các điện trở mẫu người ta phân thành các cực dòng và cực áp riêng.

+ Khi đo các giá trị điện trở lớn cần tránh sự ảnh hưởng của điện trở khối và điện trở bề mặt.

+ Khi đo điện trở của các vật có độ ẩm cao người ta thường dùng nguồn xoay chiều để tránh hiện tượng điện phân.

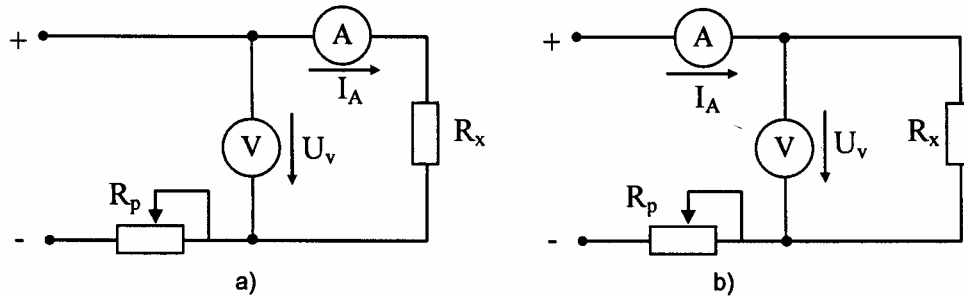
+ Khi đo điện trở của các vật liệu rắn ta nên dùng nguồn một chiều để tránh sự ảnh hưởng của điện dung ký sinh.

#### **6.1.2. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp**

##### **6.1.2.1. Phương pháp dùng nguồn một chiều**

### Nguyên tắc

Dùng ampeomet và volmet đo dòng và áp trên điện trở rồi suy ra  $R_x' = \frac{U_V}{I_A}$  thông qua hai sơ đồ:



Hình 6.1. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp nguồn một chiều

### Phân tích sai số phụ

- Xét Hình 6.1a

$$R_x' = \frac{U_x + I_A R_A}{I_A} = R_x + R_A.$$

Vậy sai số phụ trong quá trình đo:

$$\gamma_p \% = \frac{R_x' - R_x}{R_x} 100\% = \frac{R_A}{R_x} 100\%. \quad (6-1)$$

*Nhận xét:* Nếu  $R_A$  càng nhỏ thì  $\gamma_p$  càng nhỏ cho nên phương pháp này dùng để đo điện trở lớn.

- Xét Hình 6.1b

$$R_x' = \frac{U_v}{I_A} = \frac{U_x}{I_x + I_v} = \frac{1}{\frac{I_x}{U_x} + \frac{I_v}{U_x}} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_v}}.$$

Vậy sai số phụ trong quá trình đo là:

$$\gamma_p \% = \left| \frac{R_x' - R_x}{R_x} \right| 100\% = \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_v}} \right) 100\%. \quad (6-2)$$

*Ví dụ 6.1:* Tính sai số phụ khi tiến hành đo điện trở một chiều của

cuộn dây thứ cấp MBA 100KVA – 10/0,4KV, biết theo lí lịch:  $[R_{2A}] = [R_{2B}] = [R_{2C}] = [R_X] = 120(m\Omega)$ .

Cho:  $R_A = 0,1\Omega$ ;  $R_v = 100k\Omega$

### **Bài làm**

Theo sơ đồ Hình 6.1a

$$\gamma_p \% = \frac{R_A}{R_x} 100\% = \frac{0,1}{0,12} 100\% = 80\% .$$

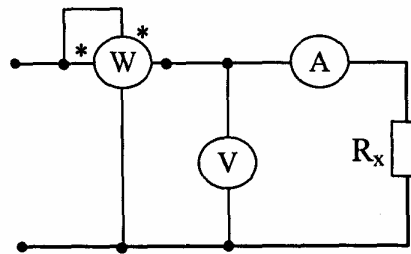
Theo sơ đồ Hình 6.1b

$$\gamma_p \% = \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_v}} \right) . 100\% = \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{0,12}{100.000}} \right) . 100\% \approx 0\% .$$

*Kết luận:* Dùng Hình 6.1a để đo các điện trở lớn;

Dùng Hình 6.1b để đo các điện trở nhỏ.

#### **6.1.2.2. Dùng nguồn xoay chiều**



**Hình 6.2. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp nguồn xoay chiều**

*Yêu cầu :*

- + Nguồn điện áp thí nghiệm phải thật hình sin;
- + Các đồng hồ V, A, W phải đảm bảo điều kiện về sai số phụ và sai số gián tiếp.

Điện trở  $R_x$  được xác định như sau:

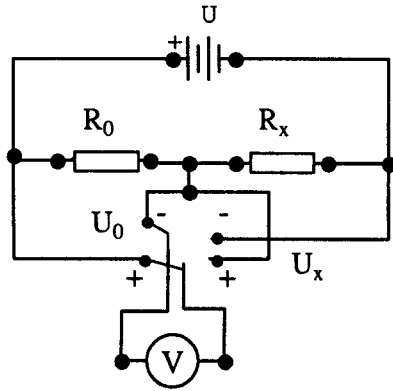
$$R_x = \frac{P_w}{I_A^2}$$

với  $P_w$  và  $I_A$  lần lượt là số chỉ của wattmet và ampemet.

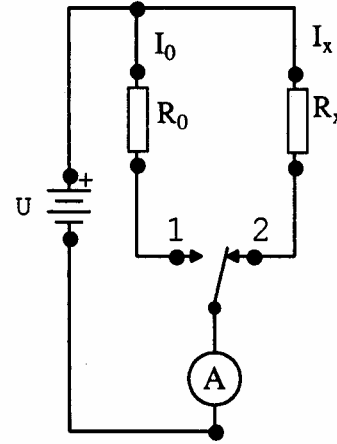
Trong trường hợp cần xác định tổng trở thì mắc thêm volmet và tổng trở được xác định như sau:

$$z_x = \frac{U_v}{I_A}$$

### 6.1.2.3. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu



a) Sơ đồ mắc nối tiếp



b) Sơ đồ mắc song song

**Hình 6.3. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu**

Giả sử có sơ đồ mạch như trên, khi đó có thể xác định điện trở  $R_x$  theo công thức tương ứng với hai sơ đồ như sau:

*Sơ đồ a* : điện trở đo và điện trở mẫu  $R_0$  mắc nối tiếp

Điện áp rơi trên điện trở mẫu là  $U_0$ , điện áp rơi trên điện trở đo là  $U_x$ . Khi đó nếu dòng qua các điện trở không đổi ta có:

$$\begin{aligned} \frac{U_0}{R_0} &= \frac{U_x}{R_x} \\ \Rightarrow R_x &= \frac{U_x}{U_0} R_0. \end{aligned}$$

*Sơ đồ b* : điện trở đo và điện trở mẫu mắc song song

Dòng điện qua điện trở mẫu là  $I_0$ , dòng qua điện trở đo là  $I_x$ . Với điện áp cung cấp ổn định ta có:

$$I_0 R_0 = I_x R_x$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{I_0}{I_x} R_0.$$

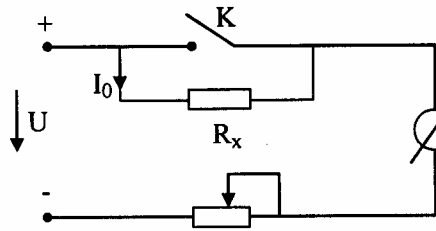
### 6.1.3. Đo điện trở bằng phương pháp trực tiếp

Thường dùng ommet từ điện, có hai loại như sau:

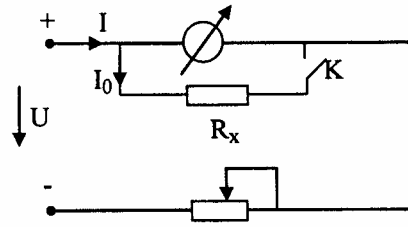
#### 6.1.3.1. Cơ cấu một khung dây chỉ số phụ thuộc điện áp

Loại này thường có hai sơ đồ mắc:

- Mắc nối tiếp đo R lớn;
- Mắc song song đo R nhỏ.



Hình 6.4



Hình 6.5

+ Sơ đồ mắc nối tiếp như Hình 6.4.

Khi đo ta mở khoá K, ta có:

$$\alpha = C_1 I_0 = C_1 \frac{U}{R_x + R_0 + R_p}$$

với  $R_x$  là điện trở cần đo,  $R_0$  là điện trở trong của cơ cấu.

Vậy  $\alpha = f(R_x)$  nếu  $U.C_1 = \text{const}$ ;

+ Sơ đồ mắc song song như Hình 6.5.

Khi đo ta đóng khoá K. Ta có góc quay

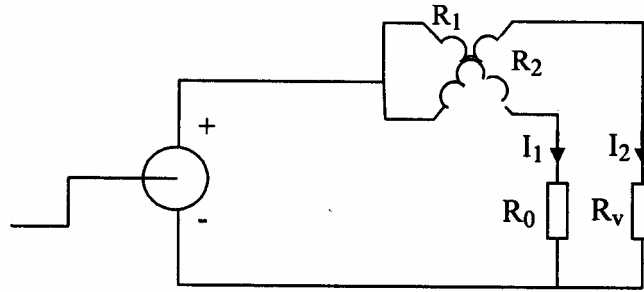
$$\alpha = C_1 I_0 = C_1 \frac{U}{R_p + \frac{R_x R_0}{R_x + R_0}} \frac{R_x}{R_x + R_0} = \frac{U C_1 R_x}{R_x R_0 + R_x R_p + R_p R_0}.$$

$$\text{hay } \alpha = \frac{U C_1}{R_p + R_0 + \frac{R_p R_0}{R_x}} = f(R_x) \text{ nếu } U C_1 = \text{const}.$$

*Chú ý:* Thực tế thì  $UC_1$  có thể bị thay đổi. Vì vậy ta phải điều chỉnh  $C_1$  hoặc  $R_p$  trước khi đo. Từ các biểu thức trên ta thấy muốn điều chỉnh vị trí '0' của kim ta phải đóng khoá K trong sơ đồ nối tiếp và mở khoá K trong trường hợp sơ đồ song song. Sau đó ta điều chỉnh Shunt từ và  $R_p$  sao cho kiến chỉ '0'.

### 6.1.3.2. Cơ cấu hai khung dây chỉ số không phụ thuộc điện áp

Cơ cấu chỉ thị là logomet từ điện, nguồn điện áp một chiều có giá trị là 500V; 1000V; 1500V; 2500V; 6000V được phát ra từ máy phát quay tay hoặc nguồn nhân điện áp.



Hình 6.6. Đo điện trở bằng ommet từ điện

Khi đo, ta có:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_0}; I_2 = \frac{U}{R_2 + R_x}$$

với  $R_1$  và  $R_2$  là điện trở hai cuộn dây động;  $R_0$  là điện trở mẫu lắp sẵn trong thiết bị;  $R_x$  là điện trở cần đo. Đối với cơ từ điện có hai khung dây động thì góc quay  $\alpha$  là:

$$\alpha = f(I_1/I_2) = f(R_x)$$

với  $R_0; R_1; R_2 = \text{const}$  và

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 + R_x}{R_1 + R_0}.$$

### 6.1.4. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh

#### 6.1.4.1. Đo điện trở trung bình bằng cầu đơn

Cầu đơn ví dụ như cầu P333 của Nga theo sơ đồ hai dây, cầu QJ của Trung Quốc... thường dùng đo những điện trở lớn hơn hoặc bằng  $1\Omega$  (Những trường hợp điện trở nhỏ hơn cũng có thể đo được nhưng sẽ tăng sai số).

Sơ đồ nguyên lý của cầu đơn như Hình 6.7, trong đó:

$R_1$  là điện trở đề các có thể thay đổi từ 0 đến 9999, bước  $1\Omega$ .

$R_2, R_3$  là các điện trở cố định. Các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  là các điện trở mẫu làm bằng hợp kim của mangan có độ chính xác cao,  $R_x$  là điện trở cần đo.

Chỉ thị G là cơ cấu từ điện có độ nhạy cao, ngưỡng độ nhạy rất nhỏ.

Khi đo ta điều chỉnh cho cầu cân bằng, lúc đó ta có quan hệ sau:

$$\begin{cases} I_1 = I_3 \\ I_2 = I_4 \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} I_1 R_1 = I_2 R_x \\ I_3 R_3 = I_4 R_4 \end{cases}$$

Vậy:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_x}{R_4} \Rightarrow R_x = R_4 \frac{R_1}{R_3}$$

Thông thường  $\frac{R_1}{R_3}$  là bội số của 10 và thường bằng (0,001; 0,01; 0,1;

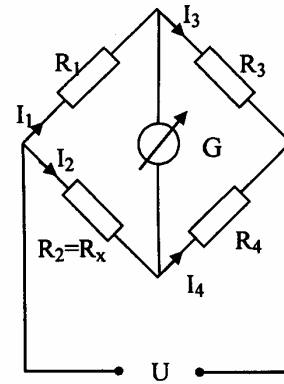
1; 10; 100)

Căn cứ vào vị trí của con trượt trên  $R_4$  ta xác định được  $R_x$ .

Nhận xét: Cầu đơn có một nhược điểm là không loại trừ được điện trở dây nối nhưng có ưu điểm là dễ cân bằng.

#### 6.1.4.2. Đo điện trở nhỏ bằng cầu kép

Cầu kép ví dụ như cầu P333 của Nga theo sơ đồ bốn dây thường dùng đo các điện trở lớn hơn hoặc bằng  $5m\Omega$ . Các điện trở nhỏ hơn cũng có thể đo được nhưng sẽ tăng sai số.



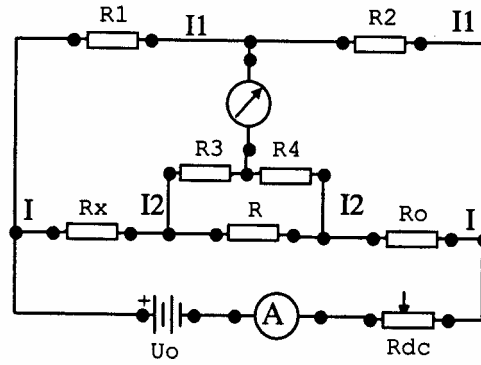
Hình 6.7. Đo điện trở bằng cầu đơn



Sơ đồ cầu kép như Hình 6.8.

Khi đo ta điều chỉnh cho cầu cân bằng, tức kim điện kế chỉ 0, dòng qua chỉ thị bằng 0, ta có:

+ Dòng qua  $R_1, R_2$  là dòng  $I_1$ , dòng qua  $R_3, R_4$  là dòng  $I_2$ .



Hình 6.8. Sơ đồ cầu kép

+ Theo vòng 1 ta có:

$$I.R_x = I_1.R_1 - I_2.R_3$$

$$\Rightarrow I.R_x = R_1 \left( I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1} \right)$$

+ Theo vòng 2 ta có:

$$I.R_0 = I_1.R_2 - I_2.R_4$$

$$\Rightarrow I.R_0 = R_2 \left( I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right)$$

Vậy:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \frac{I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1}}{I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2}}$$

Với điều kiện:

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \quad \text{hay} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Thì

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}$$

Như vậy nếu trong quá trình đo luôn giữ được tỉ số  $R_1/R_2 = R_3/R_4$  thì ta sẽ tính được  $R_x$  thông qua tỉ số trên.

*Chú ý:*

- Các điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_0$  là các điện trở mẫu làm bằng hợp kim của mangan có độ chính xác cao;  $R_0$  là điện trở đề các có thể thay đổi từ  $0 \div 9999,9\Omega$  bước  $0,1\Omega$ ;  $R_x$  là điện trở cần đo.

- Các điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4$  có giá trị  $\geq 10\Omega$ . Tỷ số  $R_1/R_2$  có thể thay đổi và thường bằng:  $10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, 10$ . Cần đặt tỷ số  $R_1/R_2$  sao cho phù hợp nhất với  $R_x$  cần đo.

- Cầu kép có một ưu điểm nổi bật là có thể loại trừ được điện trở dây nối, nhưng có nhược điểm là khó cân bằng nếu  $R_x$  là các cuộn dây máy điện.

### **6.1.5. Đo điện trở cách điện của lưới và thiết bị điện**

#### **6.1.5.1. Nhận xét về điện trở cách điện**

Điện trở cách điện là các giá trị điện trở lớn (vào khoảng vài  $M\Omega$  trở lên ví dụ như điện trở cách điện của vật liệu cách điện), do vậy phương pháp đo điện trở cách điện là các phương pháp đo đặc thù điện trở lớn. Điện trở cách điện càng lớn tương ứng với cấp điện áp làm việc của thiết bị điện càng lớn.

Khi đo điện trở có trị số lớn thông thường sẽ có hai thành phần điện trở:

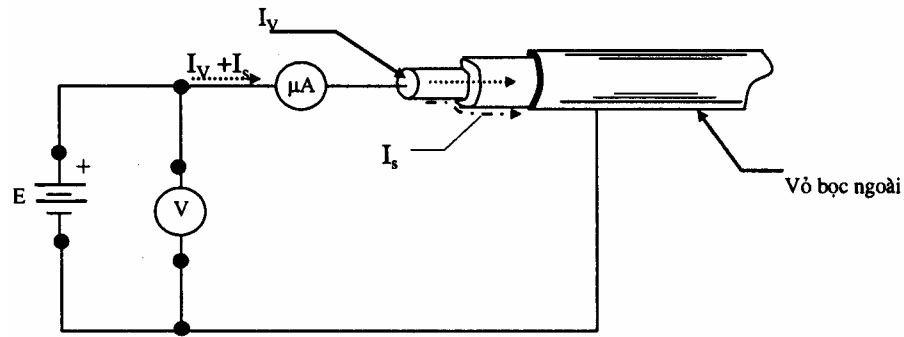
+ Điện trở khối  $R_v$  (Volume Resistance), đây là thành phần điện trở cần đo.

+ Điện trở rò bề mặt  $R_s$  (Surface Leakage Resistance).

Hai thành phần điện trở này xem như song song với nhau, như vậy hai điện trở này có thể so sánh được thì sẽ ảnh hưởng đáng kể đến điện trở khối cần đo.

#### **6.1.5.2. Phương pháp đo điện trở cách điện dùng volmet và**

## microampemet



Hình 6.9. Sơ đồ đo điện trở cách điện khi chưa loại bỏ dòng điện rò

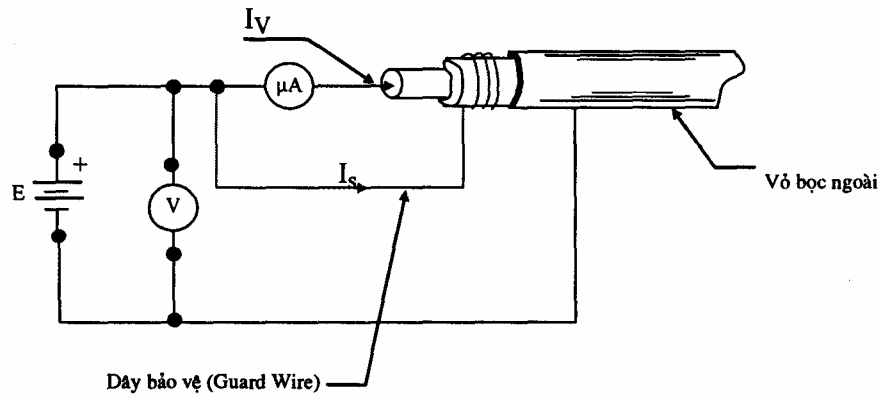
Giả sử cần đo điện trở cách điện giữa lớp vỏ bọc dây dẫn và dây dẫn của dây dẫn kim loại đồng trục có vỏ bọc bên ngoài.

Dòng điện đi qua microampemet bao gồm hai dòng điện là dòng  $I_v$  và dòng  $I_s$ . Dòng điện  $I_v$  là dòng điện đi qua lớp cách điện, còn dòng  $I_s$  là dòng rò đi qua bề mặt của dây dẫn và lớp cách điện.

Do vậy điện trở xác định được thông qua volmet và ampemet  $R_d$  là điện trở của khối của lớp cách điện và điện trở rò bề mặt mắc song song:

$$R_d = \frac{E}{I_v + I_s} = \frac{E}{\frac{E}{R_v} + \frac{E}{R_s}} = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s}.$$

Như vậy do ảnh hưởng của dòng  $I_s$  cho nên điện trở đo được bao giờ cũng nhỏ hơn điện trở khối cần đo. Như vậy để kết quả đo chính xác người ta cần phải loại bỏ dòng điện  $I_s$  qua microampemet thì khi đó điện trở đo được sẽ chính là điện trở khối cần đo. Sơ đồ đo loại bỏ dòng điện rò như sau:



**Hình 6.10. Sơ đồ đo điện trở cách điện khi loại bỏ dòng điện rò**

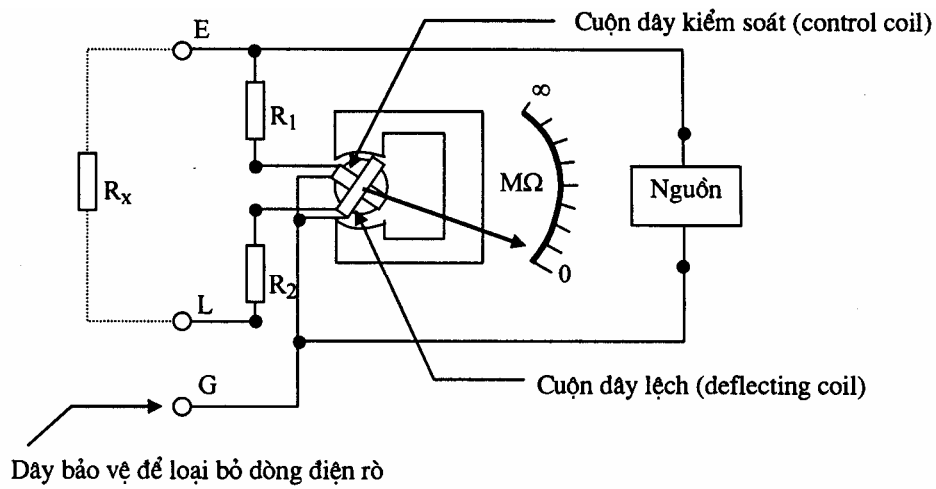
Để tránh ảnh hưởng của  $R_s$  bằng cách loại bỏ dòng điện  $I_s$  qua microampemet, người ta dùng dây dẫn điện (không có vỏ bọc cách điện) quấn quanh lớp vỏ cách điện và nối trước microampemet. Như vậy dòng điện  $I_s$  đi qua  $R_s$  lúc trước sẽ đi qua dây dẫn này do đó ảnh hưởng của  $R_s$  vào  $R_v$  bị loại bỏ. Vòng dây này gọi là dây bảo vệ.

*Chú ý:* Tuy nhiên không phải trường hợp nào khi đo điện trở cách điện chúng ta cũng sử dụng vòng dây bảo vệ, khi đo điện trở cách điện nào đó chúng ta phải xác định xem điện trở cách điện đó có bị ảnh hưởng bởi điện trở bề mặt hay không, nếu có mới sử dụng vòng dây bảo vệ.

### **6.1.5.3. Phương pháp đo điện trở cách điện dùng megomet chuyên dụng**

Megomet là thiết bị chuyên dụng để đo điện trở cách điện, được cấu tạo bởi cơ cấu chỉ thị logomet từ điện.

Sơ đồ megomet như sau:



**Hình 6.11. Sơ đồ nguyên lý megommet đo điện trở cách điện**

Trong megommet nguồn được tạo ra từ máy phát quay tay (đối với các megommet loại cũ) hoặc từ mạch điện tử dùng pin (đối với các megommet mới sau này).

Dòng điện  $I_1$  qua cuộn dây kiểm soát:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_1}$$

Dòng điện qua cuộn dây lệch:

$$I_2 = \frac{E}{R_x + R_2 + r_2}$$

trong đó:  $R_1, R_2$  là các biến trở mẫu;  $r_1, r_2$  lần lượt là điện trở của các cuộn dây kiểm soát và cuộn dây lệch;  $E$  là nguồn.

Theo nguyên lý của cơ cấu chỉ thị logomet từ điện ta có góc quay của megommet là:

$$\alpha = f\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = f\left(\frac{R_1 + r_1}{R_x + R_2 + r_2}\right) = f(R_x).$$

Khi  $R_x \rightarrow 0$  góc quay  $\alpha$  đạt cực đại, kim chỉ thị lệch về phía phải (trị số  $0\Omega$ )

Khi  $R_x \rightarrow \infty$  góc quay  $\alpha$  đạt cực tiểu, kim chỉ thị lệch về phía trái (trị số  $\infty$ )

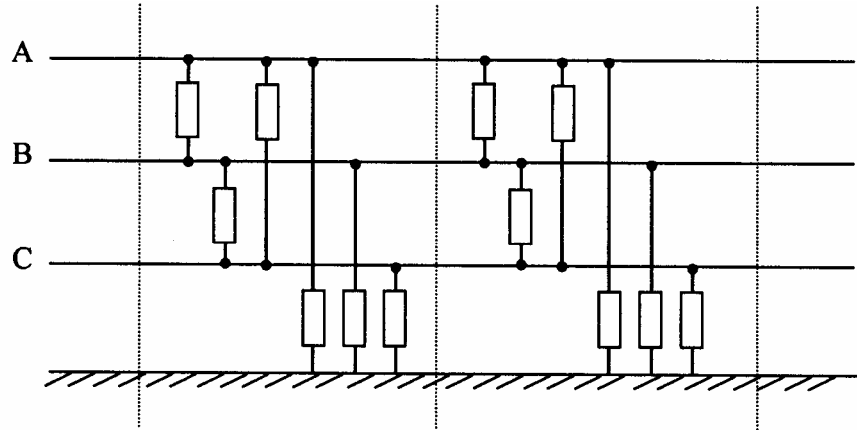
Thay đổi thang đo bằng cách thay đổi trị số  $R_2$ .

Trong megommet có đầu G dùng để nối dây bảo vệ để loại bỏ điện trở rò bề mặt.

#### 6.1.5.4. Đo điện trở cách điện của lưới điện và thiết bị điện

##### a) Nhận xét

Mỗi lưới điện có thể xem như hàng loạt đoạn dây có chiều dài một đơn vị mắc nối tiếp với nhau. Các thông số của chúng là các thông số dài mắc song song với nhau như Hình 6.12.

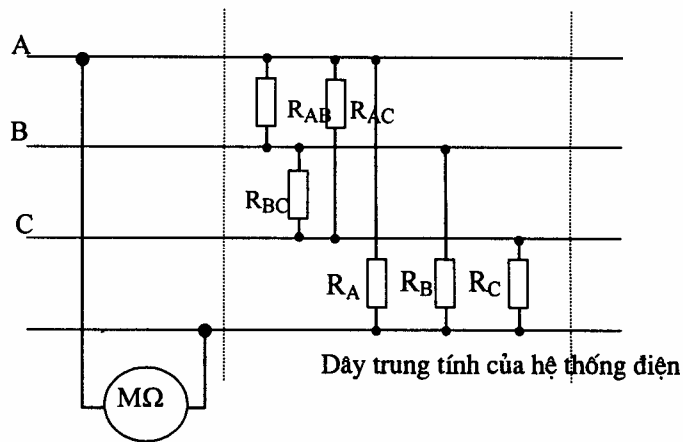


Hình 6.12 Phân bố các điện trở cách điện của đường dây

Trong tính toán người ta thường coi chúng như những thông số tập trung. Điện trở cách điện của đường dây thường bị thay đổi hoặc có thể đường dây bị sự cố. Vì vậy khi vận hành, hoặc khi thí nghiệm, nghiệm thu các đường dây và các thiết bị cách điện thì bắt buộc phải đo điện trở cách điện. Giá trị điện trở này không được nhỏ hơn một giá trị nào đó theo quy trình, quy phạm hiện hành (ví dụ điện trở cách điện được đo với megommet kế có  $E = 1000V$  hoặc  $2000V$  và điện trở cách điện tối thiểu được quy định là  $1M\Omega$ ).

Điện trở cách điện của lưới trên đoạn được xét thường được đo giữa hai đầu dây dẫn điện với nhau hoặc từng dây dẫn điện với dây trung tính.

##### b) Đo điện trở cách điện của lưới và thiết bị điện khi tắt nguồn điện



**Hình 6.13. Đo điện trở cách điện của đường dây khi không có điện áp làm việc**

Để đo điện trở cách điện thường dùng nguồn một chiều tăng cao hoặc dùng megommet. Megommet được mắc như hình vẽ. Giả sử ta cần đo điện trở cách điện của pha A, kết quả đo được là sẽ là điện trở của hai nhánh: một nhánh là  $R_A$  và một nhánh là các điện trở tương đương song song, thông thường nhỏ hơn  $R_A$ . Ta thấy kết quả đo được của pha A sẽ nhỏ hơn điện trở cách điện thật của pha A so với đất do ảnh hưởng của các điện trở mắc song song.

Tương tự như vậy ta đo được:  $R_B$ ;  $R_C$ ;  $R_{AB}$ ;  $R_{BC}$ ;  $R_{CA}$ . Sau đó ta xác định được giá trị nhỏ nhất trong số  $\{ R_A; R_B; R_C; R_{AB}; R_{BC}; R_{CA} \}$  là giá trị cách điện của đường dây.

Khi đường dây có tải, ba pha sẽ được nối với nhau bằng một tổng trở rất nhỏ so với điện trở cách điện do đó điện trở cách điện của cả hệ thống so với đất được tính:

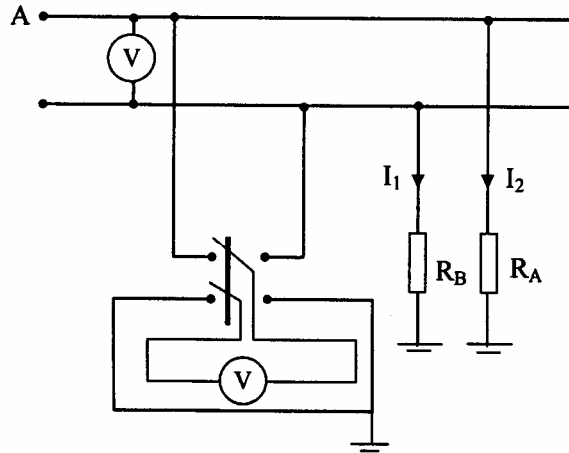
$$R_{\text{cttb}} = \frac{R_A \cdot R_B \cdot R_C}{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A} < \{ R_A; R_B; R_C \}.$$

*c) Đo điện trở cách điện của lưới và thiết bị điện khi có điện áp làm việc (kiểm tra nóng)*

Xuất phát từ sơ đồ Hình 6.14: dùng volmet đo  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_{AB} = U$ , ta xác định được điện trở cách điện như sau:

+ Xét khi khoá K ở vị trí A. Dòng điện qua  $R_B$  được tính

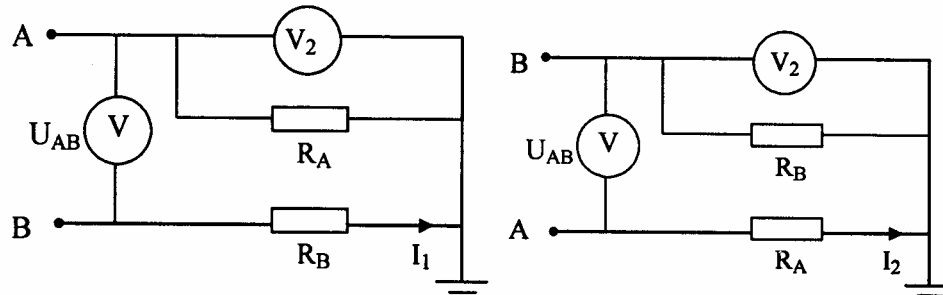
$$I_1 = \frac{U_{AB} - U_A}{R_B} = \frac{U_{AB}}{R_B + \frac{R_A \cdot R_v}{R_A + R_v}} \quad (6-12)$$



Hình 6.14. Đo điện trở cách điện của đường dây khi có điện áp làm việc

+ Xét khi khoá K ở vị trí B. Dòng điện qua  $R_A$  được tính:

$$I_1 = \frac{U_{AB} - U_B}{R_A} = \frac{U_{AB}}{R_A + \frac{R_B \cdot R_v}{R_B + R_v}} \quad (6-13)$$



Hình 6.15. Các sơ đồ tương đương

Từ (6-12) và (6-13) ta có:



$$\begin{cases} \frac{U_{AB} - U_A}{R_B} = \frac{U_{AB}}{R_B + \frac{R_A \cdot R_v}{R_A + R_v}} \\ \frac{U_{AB} - U_B}{R_A} = \frac{U_{AB}}{R_A + \frac{R_B \cdot R_v}{R_B + R_v}} \end{cases}$$

Giải hệ phương trình trên ta có kết quả:

$$R_A = R_v \cdot \frac{U_{AB} - U_A - U_B}{U_B}$$

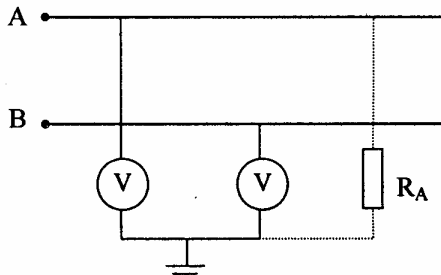
$$R_B = R_v \cdot \frac{U_{AB} - U_A - U_B}{U_A}$$

Thông thường  $R_A, R_B \gg R_v$  lúc đó dòng qua volmet chính là  $I_1, I_2$ .  
Vì vậy:

$$\begin{cases} R_B = R_v \left( \frac{U_{AB}}{U_A} - 1 \right) \\ R_A = R_v \left( \frac{U_{AB}}{U_B} - 1 \right) \end{cases} \quad (6-14)$$

*d) Kiểm tra cách điện của lưới hai dây bằng hai volmet*

Sơ đồ kiểm tra cách điện được mô tả trên Hình 6.16. Khi cách điện bình thường số chỉ thị hai volmet như nhau, khi cách điện một pha nào đó giảm thì số chỉ của các volmet thay đổi (6-14) có nghĩa là bất kỳ sự giảm điện trở cách điện của một trong hai dây dẫn sẽ làm giảm điện áp của volmet này và tăng chỉ số của volmet kia.

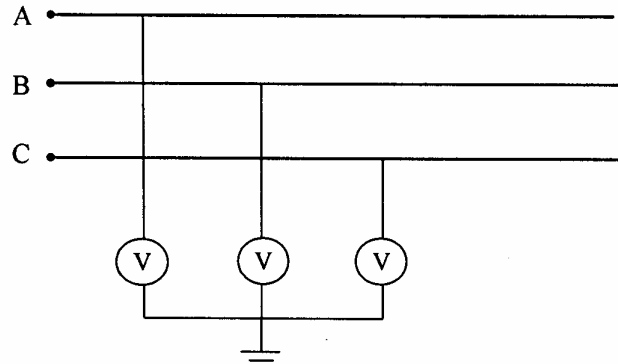


**Hình 6.16. Kiểm tra cách điện của lưới hai dây dùng hai volmet**

*e) Kiểm tra cách điện của lưới ba pha điện áp thấp theo nguyên tắc trên*

dùng ba volmet

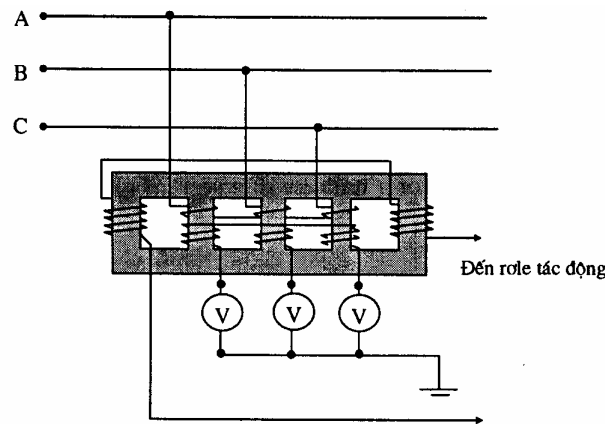
Khi cách điện bình thường số chỉ ba volmet là như nhau. Khi cách điện một pha nào đó giảm thì số chỉ của các volmet thay đổi theo hệ thức (6-14) trên



Hình 6.17. Kiểm tra cách điện của lưới ba dây dùng ba volmet

f) kiểm tra cách điện của lưới cao áp trung tính không nối đất

Người ta thường dùng máy biến áp ba pha năm trụ  $Y_0/Y_0/\Delta$



Hình 6.18. Kiểm tra cách điện của lưới bằng MBA ba pha năm trụ

Khi cách điện bình thường, đầu ra của cuộn tam giác hở có một ngưỡng điện áp nhỏ nào đó, khi có một pha chạm đất, điện áp đầu ra của cuộn tam giác hở sẽ vượt quá ngưỡng, tức là có tín hiệu báo chạm đất một pha.

**6.1.5.5. Đo điện trở cách điện của máy biến áp (MBA) điện lực và phân phối**

Đo điện trở cách điện cho MBA nhằm đánh giá cách điện dây quấn và chất lỏng cách điện trong MBA. Đo điện trở cách điện của dây quấn cho biết thông tin về hàm lượng ẩm và cacbon. Trong giáo trình này chỉ trình bày cách đo giá trị cách điện của dây quấn, còn phần đo giá trị cách điện của dầu cách điện sinh viên có thể tìm hiểu thêm ở các tài liệu khác.

Đo điện trở cách điện được tiến hành trước hoặc sau khi sửa chữa hoặc bảo dưỡng MBA. Kết quả đo được ghi lại dùng cho mục đích so sánh về sau. Quy tắc chung được sử dụng đối với các giá trị nghiệm thu dùng cho đóng điện an toàn là trị số cách điện  $1M\Omega/1KV$  của giá trị định mức ghi trên nhãn máy và cộng thêm  $1M\Omega$ .

Trình tự đo điện trở cách điện dây quấn MBA như sau:

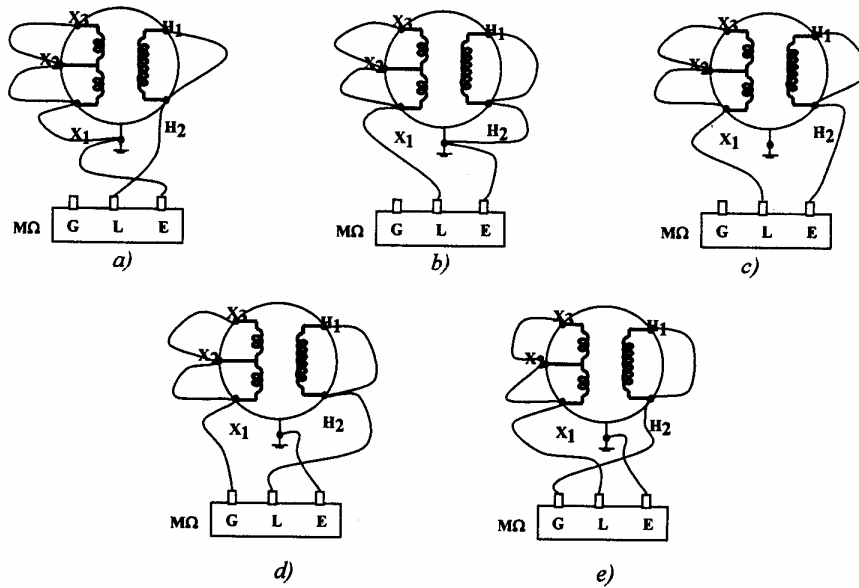
- + Không cắt nối đất vỏ và lõi MBA và đảm bảo vỏ và lõi được tiếp đất tốt.

- + Tháo tất cả các đầu nối cao áp, hạ áp và trung tính, chống sét, hệ thống quạt, dụng cụ đo hoặc hệ thống điều khiển nối với dây quấn MBA.

- + Trước khi bắt đầu đo nối tất cả các sứ xuyên cao áp, đảm bảo cầu nối các bộ phận kim loại và dây đất sạch. Đối với dây quấn hạ áp tiến hành tương tự.

- + Sử dụng megommet có thang đo nhỏ nhất  $20M\Omega$ .

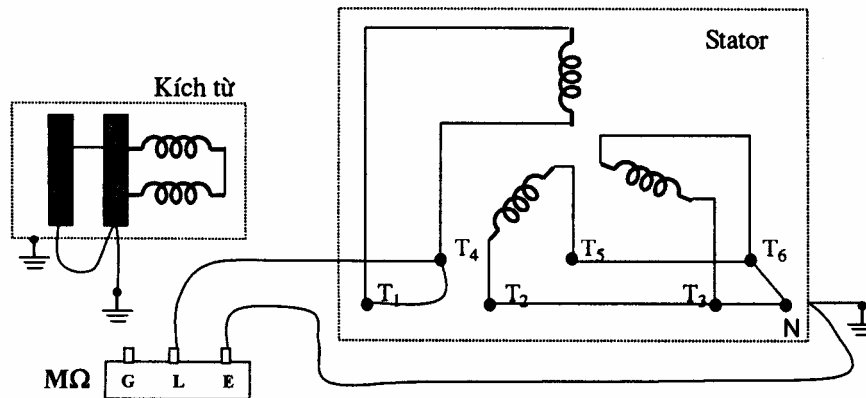
*a) Đo cách điện của MBA một pha*



**Hình 6.19. Kiểm tra cách điện của MBA một pha**

- a) Đo cách điện giữa dây quấn cao áp và hạ áp nối đất
- b) Đo cách điện giữa dây quấn hạ áp và cao áp nối đất
- c) Đo cách điện giữa dây quấn cao áp và hạ áp
- d) Đo cách điện giữa dây quấn cao áp và đất
- e) Đo cách điện giữa dây quấn hạ áp và đất

*c) Đo cách điện riêng rẽ từng dây quấn stator*

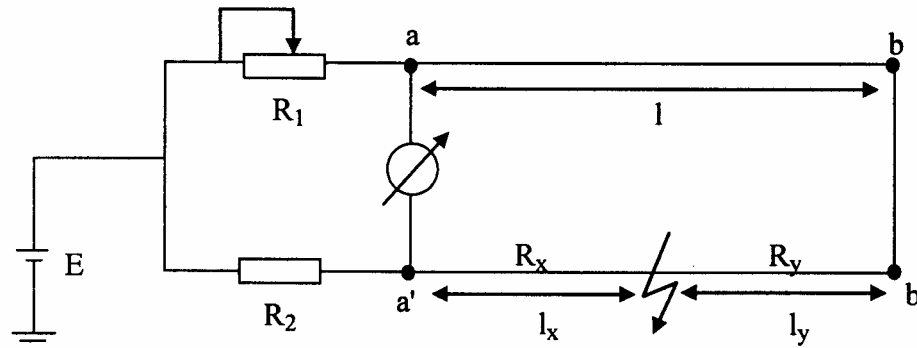


**Hình 6.23. Kiểm tra cách điện của động cơ và máy phát**

### 6.1.6. Phương pháp xác định vị trí chập cáp (chạm mass)

Khi cáp bị sự cố, ta cần xác định vị trí xảy ra sự cố để loại trừ sự cố thường gặp nhất là chập cáp ra vỏ. Phương pháp xác định vị trí chập cáp

dựa trên cần cân bằng hay còn gọi là vòng Murray để đo điện trở chạm mass.



Hình 6.24. Xác định vị trí chạm mass

Hai đầu b, b' của lõi cáp nguyên và cáp hỏng được nối với nhau, còn hai đầu a, a' được nối qua 1 bộ điện trở điện kế, khi đó ta điều chỉnh cho cầu cân bằng. Khi đó ta có:

$$R_1.R_x = R_2(R + R_y)$$

$$R_1.R_x = R_2(2R - R_x) \text{ vì } R = R_x + R_y$$

Vậy

$$R_x = \frac{2R.R_2}{R_1 + R_2}$$

Sau khi biết  $R_x$  từ tiết diện  $S$  của lõi cáp, điện trở xuất của vật liệu làm lõi tính theo công thức:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \text{ (} l: \text{ chiều dài đoạn cáp).}$$

Vậy

$$\rho \frac{l_x}{S} = 2 \cdot \rho \frac{l}{S} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow l_x = \frac{2l.R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Trong các biểu thức trên:  $l$  là chiều dài đoạn cáp;  $S$  là tiết diện cáp;  $\rho$  là điện trở suất của vật liệu chế tạo cáp.

Để kiểm tra kết quả đo ta tiến hành đo lại lần hai bằng cách đổi hai đầu aa' cho nhau, lúc đó ta xác định được  $l_y$

$$l_y = \frac{2l.R_2}{(R_1' + R_2)}$$

Nếu phép đo chính xác ta có:  $l_x + l_y = 1$ .

### 6.1.7. Đo điện trở tiếp đất

#### 6.1.7.1. Các khái niệm

Thuật ngữ "tiếp đất" hay "nối đất" ở đây được hiểu đồng nghĩa với việc nối một mạch điện hoặc thiết bị điện xuống đất. Cách nối như vậy được sử dụng cho việc bảo dưỡng thiết bị điện khi điện thế của chúng bằng điện thế đất, và đối với những hiện tượng tự nhiên như sét, đất có tác dụng làm đường phóng điện nhằm tránh hiện tượng bị điện giật và tránh hư hỏng thiết bị tài sản.

Điện trở tiếp đất bao gồm tổng điện trở của dây dẫn nối đất, bộ đầu nối, cọc nối đất và phần đất tiếp xúc với các cọc nối đất.

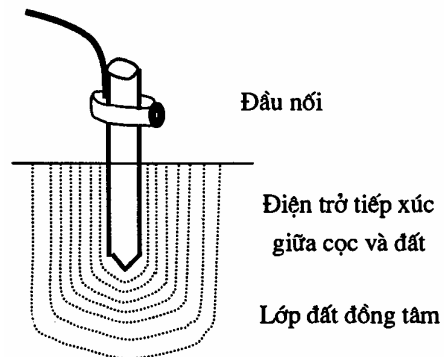
Vì điện thế cảm ứng do sự cố hệ thống điện với mạch vòng qua đất, điện trở tiếp đất nhỏ sẽ làm giảm điện thế này và tránh nguy hiểm cho người cũng như tránh cho hệ thống điện bị hư hỏng.

Trên lý thuyết, để duy trì điện thế chuẩn cho thiết bị an toàn, để bảo vệ an toàn điện trở tiếp đất phải bằng 0. Trong thực tế điều này không thể đạt được. Tuy nhiên tùy theo mức độ quan trọng của công trình và thiết bị điện thì điện trở tiếp đất tuân theo các yêu cầu của TCVN, NEC, OSHA và của những tiêu chuẩn an toàn điện khác.

#### 6.1.7.2. Điện trở cọc tiếp đất

Hình 6.25 mô tả cọc tiếp đất. Điện trở tiếp đất này bao gồm những thành phần sau:

- + Điện trở của bản thân cọc và điện trở tiếp xúc của phần đầu nối;
- + Điện trở tiếp xúc của đất xung quanh cọc;
- + Điện trở của đất bao sát xung quanh cọc tiếp đất hoặc điện trở suất của đất. Đây là thành phần quan



Hình 6.25. Cọc tiếp đất

trọng nhất.

Các cọc tiếp đất thường làm bằng kim loại (đồng hoặc mạ đồng) với tiết diện thích hợp để điện trở là không đáng kể. Như vậy thành phần còn lại chính là điện trở của đất xung quanh. Có thể coi cọc được bao quanh bởi những lớp đất đồng tâm. Tất cả những lớp này có độ dày như nhau. Các lớp gần cọc có diện tích nhỏ hơn cho nên có điện trở lớn hơn, còn các lớp ở xa thì diện tích lớn hơn cho nên điện trở sẽ nhỏ hơn. Các lớp ở xa cọc quá sẽ không ảnh hưởng đến điện trở đất xung quanh cọc.

Điện trở cọc đất đơn được tính theo công thức do H.R.Dwight của Viện kỹ thuật Massachusetts đưa ra như sau:

$$R_d = \frac{\rho}{2\pi L} \frac{\ln 4L - 1}{r}$$

trong đó:  $R_d$  là điện trở cọc đất tính bằng  $\Omega$  của cọc nối đất;

$L$  là chiều dài của cọc (m);  $R$  là bán kính của cọc (m);

$\rho$  là điện trở suất trung bình, tính bằng  $\Omega/\text{cm}$ .

Từ công thức này cho thấy rằng điện trở của cọc đất phụ thuộc vào kích thước, độ sâu của cọc và điện trở suất của đất.

Khi tăng đường kính của cọc lên gấp đôi thường sẽ làm giảm 10% điện trở đất của cọc, còn khi tăng gấp đôi chiều dài của cọc sẽ làm giảm 40% điện trở của cọc tiếp đất. Đối với điện trở suất của đất thay đổi theo vùng và theo mùa. Điện trở đất được xác định theo chất điện phân của nó, bao gồm độ ẩm, khoáng chất và muối hoà tan.

### **6.1.7.3. Đo điện trở nối đất bằng phương pháp volmet, ampemet**

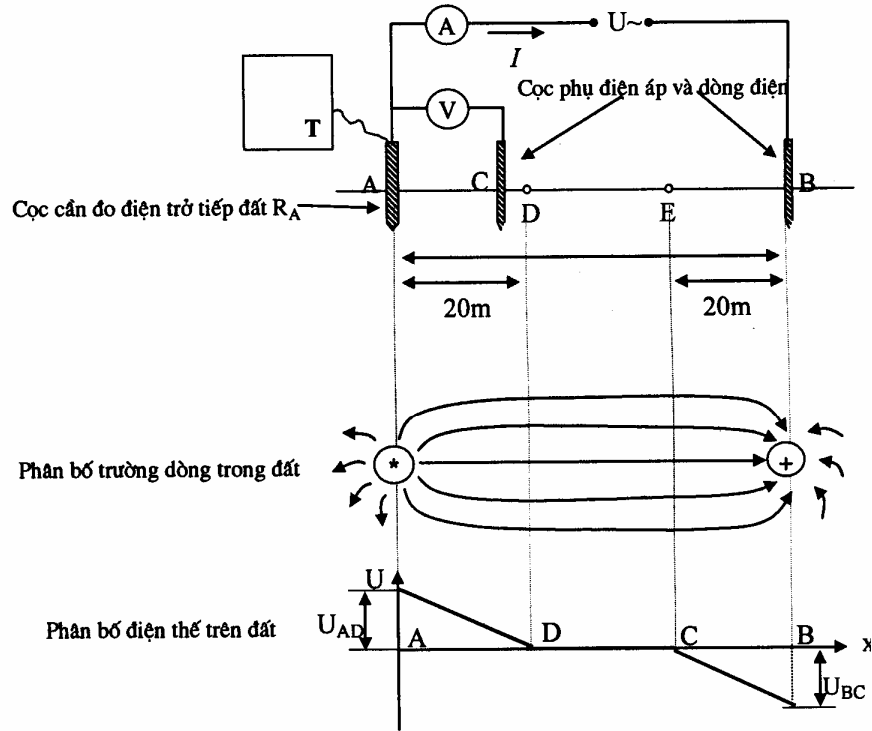
Khi cần đo điện trở nối đất của một cọc A bất kỳ người ta dùng thêm một cọc phụ B đóng cách cọc A chừng (50 ÷ 60)m và một cọc phụ C. Các volmet và ampemet mắc như hình vẽ. Khi cho dòng điện chạy từ cọc đến đất, dòng điện sẽ chạy theo hướng tâm của các lớp hình cầu, thường được gọi là hiệu ứng hình trụ của đất xung quanh cọc.

Sau khi dùng cọc dò C cho thay đổi từ A → B, căn cứ vào kết quả của volmet ta vẽ được đường phân bố thế năng trên mặt đất từ A → B, mô phỏng trường dòng trong đất như Hình 6.26. Ta có nhận xét sau. Ta

có:

$$AD = DE = EB (\approx 20\text{m})$$

trong đó vùng DE điện thế hầu như không đổi:  $\varphi_E = \varphi_D = 0$ .



**Hình 6.26. Minh họa cách đo điện trở của cọc tiếp đất bằng phương pháp volmet và ampemet**

Tại đoạn AD:  $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = \varphi_A$  ;

BE:  $U_{BE} = \varphi_B - \varphi_E = \varphi_B$ .

Vì vậy ta xác định được điện trở nối đất của cọc A:

$$R_A = \frac{U_{AD}}{I} = \frac{\varphi_A}{I}$$

và điện trở nối đất của cọc B:

$$R_B = \frac{U_{BE}}{I} = \frac{\varphi_B}{I}$$

*Tóm lại:* Khi cần đo  $R_A$  của cọc A ta dùng thêm một cọc B cách cọc A từ (50 ÷ 60)m và 1 cọc phụ C. Các cọc phụ này phải có điện trở xấp xỉ



hoặc nhỏ hơn điện trở của cọc cần đo. Các đồng hồ (V) và (A) mắc như hình vẽ; thay đổi C tới vùng DE thì dừng lại và ta xác định được

$$R_A = \frac{U}{I}$$

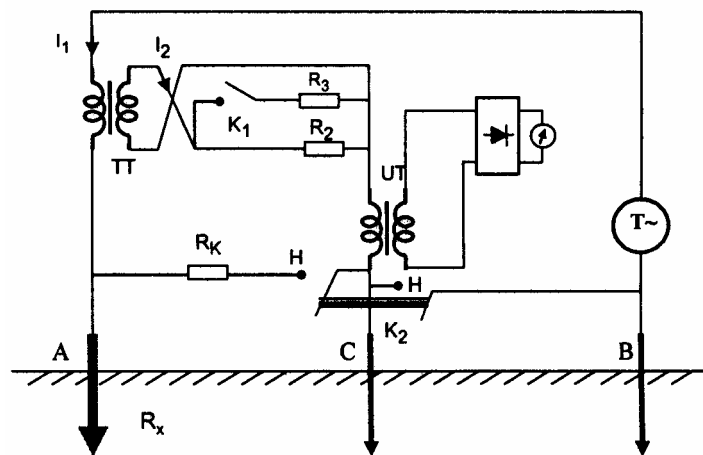
với U, I là chỉ số của volmet và ampemet.

*Chú ý:* Về mặt lý thuyết, điện trở đất của hệ thống nối đất phải được đo ở khoảng cách vô hạn kể từ cọc nối đất. Tuy nhiên đối với mục đích thực hành, hiệu ứng hình trụ của đất thì khoảng cách giữa các cọc gần nhau bằng hai lần độ dài của cọc cần đo điện trở là đủ. Nguồn cung cấp cho mạch đo là nguồn tín hiệu xoay chiều dạng sin hoặc xung vuông. Chúng ta tránh dùng nguồn một chiều do ảnh hưởng của điện phân sẽ làm tăng sai số do điện thế điện cực. Nếu dùng điện lưới của điện lực thì phải dùng biện pháp cách ly tránh ảnh hưởng của dòng trung tính (nếu có do điện thế lưới mất đối xứng) và cọc đất của dây trung tính.

#### 6.1.7.4. Đo điện trở nối đất bằng dụng cụ chuyên dụng teromet

Sơ đồ cấu tạo teromet chuyên dụng loại M1103 của Liên Xô cũ như Hình 6.27.

Nguồn cung cấp nhờ máy điện xoay chiều tay quay. Máy biến dòng TT, cuộn thứ cấp nối với  $R_{ns}$ ; cơ cấu đo là cơ cấu từ điện nối với cuộn thứ cấp máy biến áp UT qua bộ chỉnh lưu.



Hình 6.27. Sơ đồ teromet M1103 của Liên Xô

### ***Quá trình đo:***

Khi dòng cho máy phát làm việc các cực A, B, C nối như hình vẽ. Lúc này có dòng  $I_1$ , qua sơ cấp biến dòng điện qua cọc A, qua đất về cọc B trở về máy phát tạo nên một sụt áp trên  $R_x$  cần đo là:

$$U_1 = I_1 \cdot R_x.$$

Mặt khác sụt áp trên  $R_u$  do dòng  $I_2$  của máy biến dòng điện TT sinh ra:

$$U_2 = I_2 \cdot R_2.$$

Khi hai điện áp chưa cân bằng  $U_1 \neq U_2$  sẽ có tín hiệu vào cuộn sơ cấp máy biến áp và cơ cấu chỉ thị quay đi một góc nào đó. Trong quá trình đo người ta dịch chuyển con trượt trên  $R_2$  sao cho kim chỉ 0 chỉ dừng lại  $U_1 = U_2$ . Vậy:

$$I_1 R_x = I_2 R_2 \Rightarrow R_x = \frac{I_2}{I_1} \cdot R_2$$
$$R_x = \frac{R_2}{K} \left( K = \frac{I_1}{I_2} = \text{const} \right).$$

Vậy căn cứ vào vị trí con trượt trên biên trở  $R_2$  ta xác định được  $R_x$  cần đo (thực tế đọc ngay kết quả).

### ***Quá trình kiểm tra:***

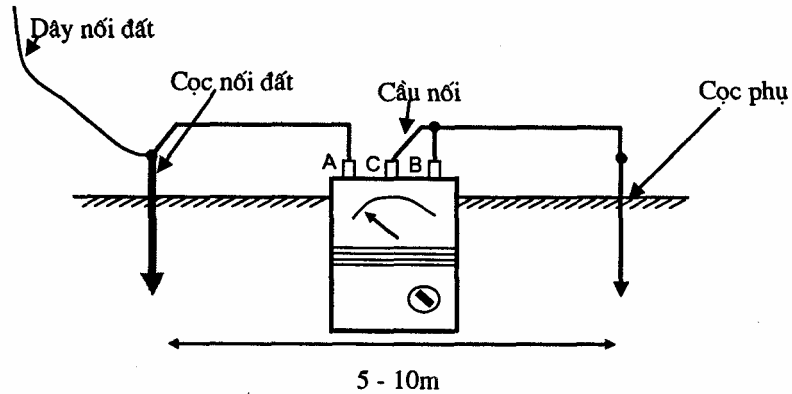
Để kiểm tra độ chính xác của dụng cụ trước khi đo, người ta đóng  $K_2$  lên H, các cực A, B, C chưa nối, lúc này giá trị đo được chính là  $R_k$ , nếu dụng cụ chính xác giá trị đó bằng  $10\Omega$  vì  $R_k$  là điện trở mẫu có giá trị là  $10\Omega$ . Mở rộng thang đo, từ  $10 \div 50\Omega$  nhờ  $R_3$  thông qua việc đóng  $K_1$ .

Ngày nay nhiều hãng chế tạo dụng cụ đo đã tạo ra các loại teromet gọn nhẹ dựa trên nguyên lý của phương pháp volmet - ampemet, sử dụng nguồn là phi, các chỉ thị số. Đầu ra đưa ra ba đầu nối để nối với cọc cần đo điện trở đất, và hai cọc phụ.

#### ***6.1.7.5. Đo điện trở nối đất bằng teromet - Phương pháp hai điểm***

Phương pháp này có thể sử dụng để đo điện trở của cọc nối đất đơn bằng sử dụng cọc nối đất phụ có điện trở đã biết hoặc có thể đo được.

Điện trở của cọc nối đất phụ này có giá trị rất nhỏ so với giá trị điện trở của cọc nối đất cần đo và giá trị đo được coi như điện trở nối đất. Ví dụ như người ta tiến hành đo điện trở của cọc nối đất đơn cho toà nhà khi việc đóng thêm hai cọc phụ là khó khăn, thì đường ống nước có thể sử dụng như cọc nối đất phụ có giá trị điện trở nhỏ cỡ  $1\Omega$ . Giá trị này tương đối nhỏ so với điện trở của cọc tiếp đất đơn. Giá trị đo được là trị số của hai cọc nối tiếp nhau. Điện trở của các dây dẫn nối sẽ được trừ vào kết quả đo được. Sơ đồ phương pháp này cho trên Hình 6.28.



Hình 6.28. Sơ đồ đo điện trở tiếp đất hai điểm

## 6.2. Đo điện cảm

### 6.2.1. Đo điện cảm và hệ số phẩm chất cuộn dây (Q) dùng cầu xoay chiều

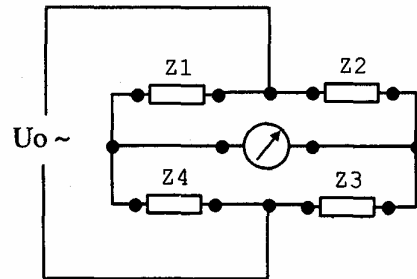
#### 6.2.1.1. Điều kiện cân bằng cầu xoay chiều

Cầu xoay chiều là dụng cụ dựa trên cầu đơn để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao và hệ số phẩm chất Q.

Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều tần số công nghiệp ( $50 \div 60\text{Hz}$ ), âm tần hoặc cao tần từ máy phát tần.

Chỉ thị zero là dụng cụ xoay chiều như điện kế điện từ, máy hiện sóng...

Giả thiết tổng trở phức các nhánh được viết như sau:



Hình 6.29. Cầu đo xoay chiều

$$Z_1 = z_1 e^{j\varphi_1}, \quad Z_2 = z_2 e^{j\varphi_2}, \quad Z_3 = z_3 e^{j\varphi_3}, \quad Z_4 = z_4 e^{j\varphi_4}$$

trong đó  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  tương ứng là modul của lần lượt các nhánh và  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  lần lượt là các góc pha của các nhánh cầu.

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

hay:

$$z_1 z_3 e^{j\varphi_1} e^{j\varphi_3} = z_2 z_4 e^{j\varphi_2} e^{j\varphi_4}.$$

Do đó ta có điều kiện cân bằng cầu xoay chiều sau:

$$\begin{cases} z_1 z_3 = z_2 z_4 \\ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4. \end{cases}$$

*Nhận xét:* Từ điều kiện cân bằng cầu xoay chiều ta thấy để cầu cân bằng nếu hai nhánh đối nhau là thuần trở thì hai nhánh còn lại phải ngược tính chất (một nhánh có tính chất cảm và một nhánh có tính chất dung), còn nếu hai nhánh kề nhau là thuần trở thì hai nhánh còn lại phải có cùng tính chất. Dựa trên nhận xét này người ta đã đưa ra các sơ đồ đo điện cảm, điện dung bằng cầu xoay chiều.

### **6.2.1.2. Đo điện cảm và hệ số phẩm chất cuộn dây (Q) bằng cầu xoay chiều**

Cuộn cảm lý tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng  $X_L = \omega L$  hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm  $L$ , nhưng trong thực tế các cuộn dây bao giờ cũng có một điện trở nhất định. Điện trở càng lớn phẩm chất của cuộn dây càng kém.  $Q$  là thông số đặc trưng cho phẩm chất của cuộn dây, nó được tính bằng:

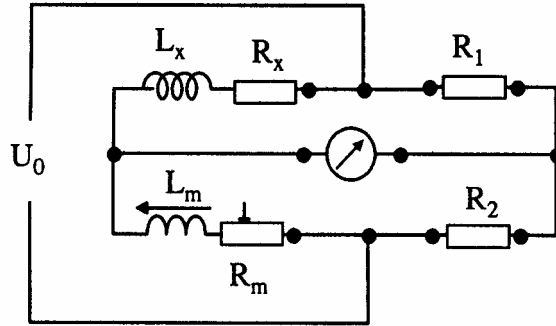
$$Q = \frac{X_L}{R_L}.$$

#### *a) Đo điện cảm bằng cầu xoay chiều dòng điện cảm mẫu*

Mạch cầu so sánh các đại lượng cần xác định  $L_x, R_x$  với đại lượng mẫu  $L_m$  và  $R_m$ .

Hai nhánh  $R_1, R_2$  là các biến trở thuần trở có độ chính xác cao.

Khi đo người ta điều chỉnh  $R_m$ ,  $L_m$  (và có thể cả  $R_1$ ,  $R_2$ ) để cầu đạt giá trị cân bằng.



**Hình 6.30. Đo điện cảm bằng cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu**

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

với:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = R_m + j\omega L_m$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x)R_2 = (R_m + j\omega L_m)R_1$$

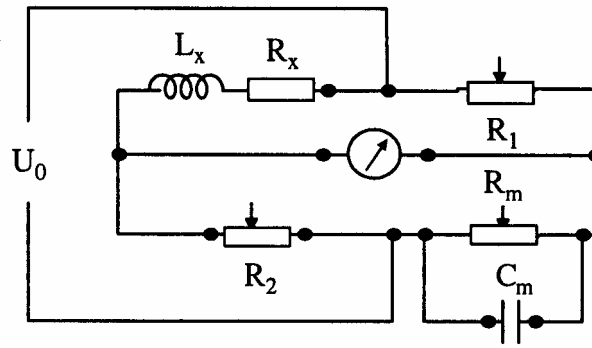
$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x R_2 = R_m R_1 \\ L_x R_2 = L_m R_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_m \\ L_x = \frac{R_1}{R_2} L_m \end{cases}$$

Từ đó tính được hệ số phẩm chất của cuộn dây:

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{\omega L_m}{R_m}$$

#### *b) Đo điện cảm bằng cầu điện cảm Maxwell*

Trên thực tế việc chế tạo tụ điện chuẩn dễ hơn nhiều so với việc tạo cuộn dây chuẩn, do vậy người ta sử dụng tụ điện trong cầu Maxwell để đo điện cảm



Hình 6.31. Đo điện cảm bằng cầu điện cảm Maxwell

Khi cầu đạt cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

trong đó:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x, Z_m = \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m}, Z_1 = R_1, Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m} = R_1 R_2$$

$$R_x + j\omega L_x = R_1 R_2 \left( \frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1 R_2}{R_m} \\ L_x = R_1 R_2 C_m. \end{cases}$$

Từ đó tính được

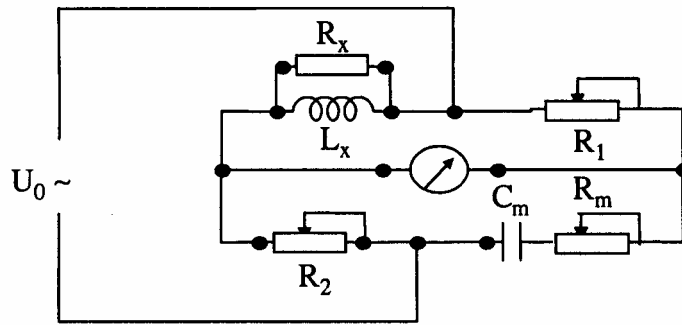
$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_m R_m.$$

Cầu Maxwell chỉ thích hợp đo các cuộn cảm có hệ số Q thấp.

c) *Đo điện cảm bằng cầu điện cảm Hay*

Mạch cầu này được sử dụng cho việc đo các cuộn cảm có hệ số phẩm

chất cao.



Hình 6.32. Cầu điện cảm Hay

Ta có:

$$Z_x = \frac{R_x j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x}, \quad Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}, \quad Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_x j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \left( R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) = R_1 R_2$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_x = R_1 R_2 C_m \\ R_x = \frac{R_1 R_2}{R_m} \end{cases}$$

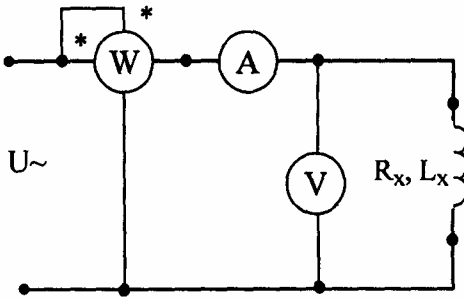
Khi đó:

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_m R_m.$$

Ngoài ra, người ta còn dùng các biến thể khác của mạch cầu như mạch cầu Owen, Shering... để điện cảm.

### 6.2.2. Đo điện cảm bằng phương pháp gián tiếp

Có thể dùng các volmet, ampemet, wattmet để đo điện cảm và điện trở của cuộn dây theo sơ đồ sau, tuy nhiên phương pháp này mắc phải sai số lớn.



Hình 6.33. Đo điện cảm bằng phương pháp gián tiếp nguồn xoay chiều

Ta có:

$$z_x = \frac{U_v}{I_A}, R_x = \frac{P_w}{I_A^2}$$

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{U_v}{I_A}\right)^2 - \left(\frac{P}{I_A}\right)^2}$$

Nguồn cung cấp cho mạch đo là nguồn xoay chiều hình sin.

Nếu như biết trước  $R_x$  ta chỉ cần volmet và ampemet nên không phải sử dụng wattmet.

### 6.3. Đo điện dung và tổn thất điện môi của tụ điện bằng cầu xoay chiều

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không qua tụ) nhưng trong thực tế vẫn có thành phần dòng rò đi qua lớp điện môi vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất. Để đặc trưng cho sự tổn hao này người ta sử dụng thông số góc tổn hao  $tg\delta$ . Có hai sơ đồ thay thế tương đương của tụ:

Với tụ có tổn hao nhỏ  $tg\delta = R\omega C$

Với tụ có tổn hao lớn  $tg\delta = \frac{1}{j\omega C}$

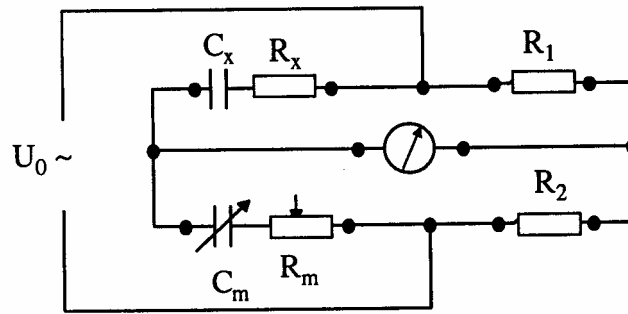
trong đó  $R, C$  là hai thành phần đại diện cho phần thuần trở và phần thuần dung của tụ điện.

#### 6.3.1. Cầu đo điện dung của tụ điện tổn hao ít

Tụ điện có tổn hao nhỏ được biểu diễn bởi một tụ điện lý tưởng mắc



nối tiếp với một điện trở. Khi đó người ta mắc cầu như Hình 6.34.



Hình 6.34. Cầu xoay chiều đo điện dung của tụ điện tổn hao ít

$C_x, R_x$  là nhánh tụ điện cần đo;

$C_m, R_m$  là nhánh tụ mẫu điều chỉnh được;

$R_1, R_2$  là các biến trở thuần trở.

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ:

$$Z_x Z_2 = Z_1 Z_m$$

với:

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2.$$

Vậy:

$$\left( R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) R_2 = R_1 \left( R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right)$$

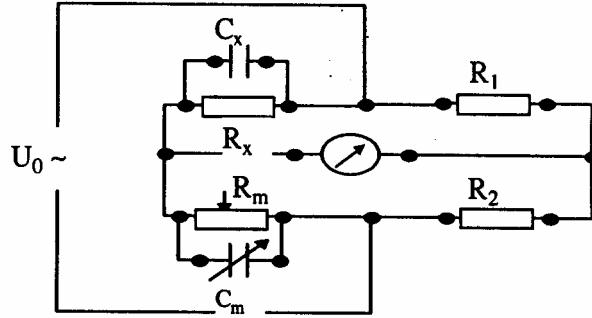
$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_2 R_x = R_1 R_m \\ \frac{R_2}{C_x} = \frac{R_1}{C_m} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} C_m. \end{cases}$$

Góc tổn thất điện môi là:

$$\operatorname{tg}\delta = \omega R_m C_m.$$

### 6.3.2. Cầu đo điện dung của tụ điện tổn hao nhiều

Khi tụ có tổn hao nhiều, người ta biểu diễn nó dưới dạng một tụ điện lý tưởng mắc song song với một điện trở.



Hình 6.35. Cầu xoay chiều đo điện dung của tụ điện tổn hao nhiều

Cầu cân bằng ta có điều kiện:

$$Z_x Z_2 = Z_1 Z_m$$

với:

$$Z_x = \frac{R_x \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}$$

$$Z_m = \frac{R_m \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1, Z_2 = R_2.$$

Do vậy ta có:

$$\Rightarrow \frac{R_1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m} = \frac{R_2}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}$$

$$\Rightarrow R_1 \left( \frac{1}{R_x} + j\omega C_x \right) = R_2 \left( \frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

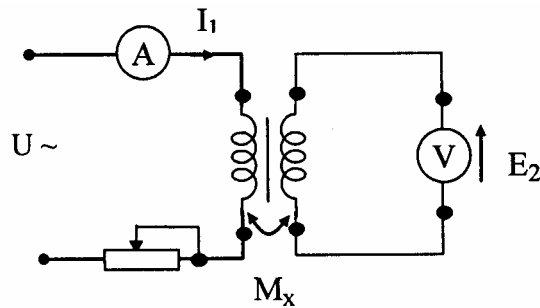
$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_m} \\ R_1 C_x = R_2 C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} C_m \end{cases}$$

Góc tổn thất điện môi là:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega R_m C_m}$$

## 6.4. Đo hệ số hồ cảm của hai cuộn dây

### 6.4.1. Phương pháp dùng volmet và ampemet (phương pháp vol - ampe)



Hình 6.36. Sơ đồ đo hồ cảm dùng phương pháp vol - ampe

Sức điện động  $E_2$  là:

$$E_2 = \omega M_x I_1$$

Do vậy ta có:

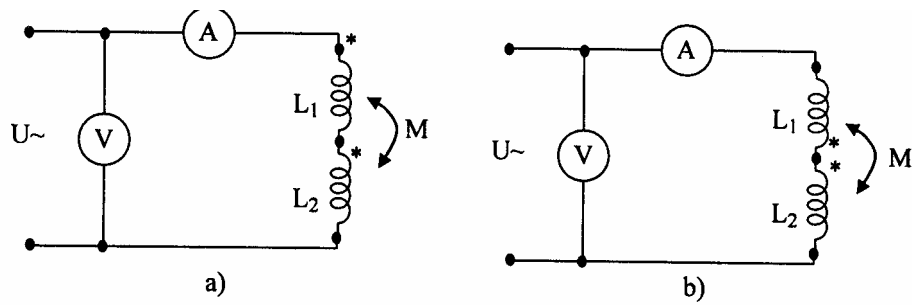
$$M_x = \frac{E_2}{\omega I_1} = \frac{U_v}{\omega I_A}$$

trong đó  $U_v$  và  $I_A$  là số chỉ đo bởi volmet và ampemet.

*Nhận xét:* Phương pháp này đơn giản tuy nhiên nhược điểm là mắc phải sai số lớn.

### 6.4.2. Phương pháp mắc nối tiếp các cuộn dây

Phương pháp này dùng cách mắc nối tiếp thuận nghịch các cuộn dây để xác định hệ số hồ cảm của chúng. Sơ đồ mắc thuận và nghịch như Hình 6.37a và 6.37b.



**Hình 6.37. Đo hồ cảm bằng phương pháp nối tiếp các cuộn dây**

Gọi  $L_1, L_2$  là điện cảm của cuộn dây 1 và cuộn dây 2;  $M$  là hồ cảm giữa chúng.

Xét Hình 6.37a, ta có điện cảm tổng của nhánh là:

$$L_a = L_1 + L_2 + 2M.$$

Xét Hình 6.37b, ta có điện cảm tổng của nhánh là:

$$L_b = L_1 + L_2 - 2M.$$

Xét hiệu của hai trường hợp:

$$L_a - L_b = 4M.$$

Cho nên:

$$M = \frac{L_a - L_b}{4}.$$

Các giá trị  $L_a, L_b$  được xác định theo các số chỉ của volmet và ampemet trong từng trường hợp như sau:

$$L_a = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{U_{V_a}}{I_{A_a}}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}$$

$$L_b = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{U_{V_b}}{I_{A_b}}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}$$

trong đó:  $U_{V_a}, I_{A_a}$  là số chỉ của volmet và ampemet trong sơ đồ (a),  $U_{V_b}, I_{A_b}$  là số chỉ của volmet và ampemet trong sơ đồ (b),  $R_1, R_2$  là điện trở các cuộn dây 1 và 2.

**Phụ lục 1**  
**Hệ đơn vị đo lường hợp pháp**  
(các đơn vị thường dùng trong kỹ thuật điện)








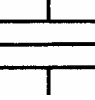
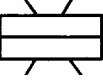

Số thứ tự	Tên đại lượng	Đơn vị trong hệ hợp pháp		Ghi chú
		Tên	Ký hiệu	
1	Chiều dài	Mét	M	
2	Khối lượng	Kilogam khối	Kg	
3	Thời gian	Giây	S	
4	Cường độ dòng điện	Ampe	A	
5	Lực	Niuton	N	
6	Tần số	Hec	Hz	
7	Công, năng lượng	Jun	J	
8	Công suất	Oát	W	
9	Điện tích	Culông	C	
10	Điện thế, điện áp, sức điện động	Vôn	V	
11	Cường độ điện trường	Vôn trên mét	V/m	
12	Điện trở	Ôm	$\Omega$	
13	Điện dẫn	Simen	S	
14	Điện dung	Fara	F	
15	Điện cảm	Henri	H	
16	Cường độ từ trường	Ampe trên mét	A/m	
17	Từ cảm	Tesla	T	
18	Từ thông	Vebe	Wb	
19	Sức từ động	Ampe vòng	Avg	















## Bội số và ước số theo đơn vị tính

Tên	Ký hiệu	Hệ số chuyển đơn vị	Tên	Ký hiệu	Hệ số chuyển đơn vị
Pico	p	$10^{-12}$	Deci	d	$10^{-1}$
Nano	n	$10^{-9}$	Hecto	h	100
Mili	m	$10^{-3}$	Kilo	k	1.000
Micro	$\mu$	$10^{-6}$	Mega	xM	1.000.000
Xenti	c	$10^{-2}$			












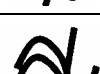
## Phụ lục 2



### Ký hiệu quy ước dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung

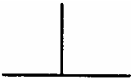
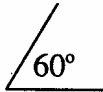

Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ	Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung
<i>Ký hiệu theo nguyên lý tác động của dụng cụ</i>	
	Dụng cụ kiểu điện từ với khung dây động
	Logomet điện từ với hai khung dây động
	Dụng cụ từ điện với nam châm động
	Logomet từ điện với nam châm động
	Dụng cụ điện từ
	Logomet điện từ
	Dụng cụ điện từ phân cực
	Dụng cụ điện động
	Logomet điện động
	Dụng cụ sắt động

	Logomet sắt động
<b>Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ</b>	<b>Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung</b>
	Logomet cảm ứng
	Logomet cảm ứng
	Dụng cụ cảm ứng từ
	Dụng cụ tĩnh điện
	Dụng cụ có hệ thống rung (lưới rung)
	Dụng cụ nhiệt (có sợi nung)
	Dụng cụ có thanh kim loại kép
<i>Ký hiệu bổ sung theo hình thức biến đổi</i>	
	Bộ biến đổi nhiệt có cách ly
	Bộ biến đổi nhiệt không cách ly
	Bộ chỉnh lưu bán dẫn
	Bộ chỉnh lưu cơ điện
	Bộ biến đổi điện từ
	Máy biến đổi rung kiểu xung
	Bộ biến đổi kiểu bù
<i>Ký hiệu bổ sung về bảo vệ từ trường và điện trường</i>	



	Bảo vệ từ trường bên ngoài (cấp bảo vệ loại 1)
	Bảo vệ điện trường ngoài (cấp bảo vệ loại 1)
<b>Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ</b>	<b>Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung</b>
600 Hz	Trị số tần số $f_k$ khi cường độ từ trường thử nghiệm bằng 400 A/M, ví dụ $f_k = 600\text{Hz}$
	Dụng cụ điện từ (cấp bảo vệ loại 1 về ảnh hưởng của từ trường)
	Dụng cụ tĩnh điện
<i>Ký hiệu về dòng điện</i>	
	Một chiều
	xoay chiều (1 pha)
	Một chiều và xoay chiều
	Dòng điện ba pha (ký hiệu chung)
	Dòng điện ba pha với tải trọng không đều ở các pha
	Dụng cụ với cơ cấu đo một phần tử
	Dụng cụ với cơ cấu đo hai phần tử
	Dụng cụ với cơ cấu đo ba phần tử đối với lưới điện 4 dây
<i>Ký hiệu cấp chính xác, cách bố trí thiết bị độ bền cách điện, v.v...</i>	
1,5	Cấp chính xác với sai số định mức theo phần trăm của giới hạn đo, ví dụ 1,5

	Cấp chính xác với sai số định mức theo phần trăm chiều dài của thang chia độ, ví dụ 1,5
	Đặt mặt chia độ nằm ngang

<b>Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ</b>	<b>Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung</b>
	Đặt mặt chia độ nằm đứng
	Độ nghiêng của mặt thang chia độ đặt nghiêng một góc xác định so với mặt phẳng nằm ngang, ví dụ 60°
	Hướng của dụng cụ theo từ trường của Trái Đất
500 Hz	Trị số tần số định mức
400 - 500 Hz	Vùng tần số định mức
20 - 50 - (120)	Trị số tần số định mức và vùng mở rộng tần số

**Phụ lục 3**  
**Hệ phân bố Student theo giá trị xác suất**

N	Hệ số phân bố Student ( $k_{st}$ ) theo các giá trị xác suất P					
	0,500	0,900	0,950	0,980	0,990	0,999
2	1,000	6,310	12,700	31,800	63,700	637,000
3	0,816	2,920	4,300	6,960	9,920	31,600
4	0,765	2,350	2,350	4,540	5,840	13,000
5	0,741	2,130	2,780	3,750	4,600	8,610
6	0,727	2,020	2,570	3,360	4,030	6,860
7	0,718	1,940	2,490	3,140	3,710	5,960
8	0,711	1,900	2,360	3,000	3,500	5,400
9	0,706	1,860	2,310	2,900	3,360	5,040
10	0,703	1,830	2,260	2,820	3,250	4,780
12	0,697	1,800	2,200	2,720	3,100	4,490
14	0,694	1,770	2,160	2,650	3,010	4,220
16	0,691	1,750	2,130	2,600	2,990	4,070
18	0,689	1,740	2,110	2,570	2,900	3,960
20	0,688	1,730	2,090	2,540	2,860	3,880
25	0,684	1,710	2,060	2,490	2,800	3,740
31	0,683	1,700	2,040	2,460	2,750	3,650
41	0,681	1,680	2,020	2,420	2,700	3,550
61	0,679	1,670	2,000	2,390	2,660	3,460
121	0,677	1,650	1,980	2,360	2,620	3,370
$\infty$	0,674	1,640	1,960	2,330	2,580	3,290

# MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Chương 1 KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG.....	2
1.1. Định nghĩa và phân loại thiết bị.....	2
1.2. Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường.....	5
1.3. Các đặc tính của thiết bị đo.....	9
1.4. Gia công kết quả đo lường.....	14
Chương 2 CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ.....	21
2.1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện.....	21
2.2. Cơ cấu chỉ thị số.....	39
Chương 3 ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP.....	48
3.1. Những yêu cầu cơ bản của việc đo dòng điện và điện áp.....	48
3.2. Đo dòng điện trung bình và lớn bằng các loại ampemet.....	51
3.3. Đo dòng điện nhỏ.....	56
3.4. Đo điện áp trung bình và lớn bằng các loại volmet.....	57
3.5. Đo dòng điện và điện áp bằng phương pháp so sánh.....	60
3.6. Đo điện áp bằng các volmet chỉ thị số.....	70
Chương 4 ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG.....	82
4.1. Đo công suất và năng lượng trong mạch một pha.....	82
4.2. Đo công suất và năng lượng trong mạch ba pha.....	97
Chương 5 ĐO GÓC PHA VÀ TẦN SỐ.....	106
5.1. Đo góc pha và hệ số công suất $\cos\varphi$ .....	106
5.2. Đo tần số.....	114
5.3. Ứng dụng máy hiện sóng điện tử trong đo lường.....	119
Chương 6 ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN.....	131
6.1. Đo điện trở.....	131
6.2. Đo điện cảm.....	156
6.3. Đo điện dung và tổn thất điện môi của tụ điện bằng cầu xoay chiều..	161
6.4. Đo hệ số hở cảm của hai cuộn dây.....	164
Phụ lục 1 Hệ đơn vị đo lường hợp pháp.....	166
Phụ lục 2 Ký hiệu quy ước dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung..	168
Phụ lục 3 Hệ phân bố Student theo giá trị xác suất.....	172

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐÀ LẠT**



***KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG***  
**ĐIỆN – ĐIỆN TỬ**

**TS. Lưu Thế Vinh**

## MỤC LỤC

MỤC LỤC .....	2
Lời nói đầu .....	7
<i>Chương I: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG</i> .....	8
§1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN .....	8
1.1. Khái niệm về đo lường: .....	8
1.2. Đơn vị, hệ đơn vị đo lường.....	8
§2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT BỊ ĐO.....	9
2.1. Hệ thống đo kiểu biến đổi thẳng.....	10
2.1.1. Véc tơ lượng vào và véc tơ lượng ra có cùng số chiều (n).....	11
2.1.2. Véc tơ lượng vào n chiều, véc tơ lượng ra 1 chiều.....	11
2.1.3. Véc tơ lượng vào n chiều, véc tơ lượng ra m chiều.....	11
2.2. Hệ thống đo kiểu so sánh. ....	11
2.2.1. Phương pháp so sánh cân bằng.....	12
2.2.2. . Phương pháp so sánh vi sai.....	12
2.2.3. Phương pháp mã hóa thời gian.....	12
2.2.4. Phương pháp mã hóa tần số xung.....	13
2.2.5. Phương pháp mã hóa số xung.....	13
2.2.6. Phương pháp mã hóa số xung ngược.....	14
2.2.7. Phương pháp đếm xung.....	14
2.2.8. Phương pháp trùng phùng. ....	15
§ 3. CHỈ THỊ KẾT QUẢ ĐO LƯỜNG.....	15
3.1. Chỉ thị dạng tương tự.....	16
3.2. Chỉ thị dạng số.....	17
3.3. Chỉ thị bằng đèn ống tia âm cực .....	22
3.3.1. Súng điện tử. ....	22
3.3.2. Hệ thống điều tiêu.....	22
3.3.3. Hệ thống lái tia điện tử.....	23
3.3.4. Màn huỳnh quang.....	24
3.3.5. Điều chỉnh độ chói.....	24
3.4. Chỉ thị bằng âm thanh và ánh sáng.....	24
3.5. Lưu trữ kết quả đo lường. ....	25
3.5.1. Ghi liên tục:.....	25
3.5.2. Ghi gián đoạn:.....	25
4. DỤNG CỤ ĐO ĐIỆN, SAI SỐ, CẤP CHÍNH XÁC .....	25
4.2. Sai số. ....	27
4.2.1. Sai số tuyệt đối: .....	27
4.2.2. Sai số tương đối:.....	27
4.3. Cấp chính xác của đồng hồ đo điện.....	27
4.4. Các cách tính sai số.....	28
4.4.1. Sai số của phép đo với các thang đo khác nhau: .....	28

4.4.2. Sai số tương đối của tổng 2 đại lượng.....	28
4.4.3. Sai số tương đối của tích 2 đại lượng.....	28
4.4.4. Sai số tương đối của một thương.....	28
ChươngII: ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN.....	29
§ 1. KHÁI NIỆM CHUNG.....	29
§ 2. ĐỒNG HỒ ĐO ĐIỆN VẠN NĂNG.....	29
2.1. Các chỉ tiêu chất lượng của đồng hồ vạn năng.....	29
2.1.1. Độ nhạy $\gamma$ .....	29
2.1.2. Cấp chính xác.....	30
2.1.3. Tính thẳng bằng.....	30
2.2. Mạch đo trong đồng hồ đo điện vạn năng.....	30
2.2.1. Mạch đo dòng điện một chiều.....	30
2.2.2. Mạch đo điện áp một chiều.....	33
2.3. Đo dòng điện và điện áp xoay chiều.....	35
2.4. Mạch đo điện trở.....	36
2.4.1. Ôm kế có điện trở đo mắc nối tiếp.....	36
2.4.2 Ôm kế có điện trở đo mắc song song.....	37
2.5. Thang đo đề xi ben.....	38
§ 3. ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG CÁC VÔN MÉT TƯƠNG TỰ.....	38
3.1. Đặc tính chung.....	38
3.2. Các vôn mét điện tử đo điện áp một chiều.....	41
3.2.1. Vôn kế transistor tải emiter.....	41
3.2.2. Mạch vôn kế tải emiter thực tế.....	42
3.3. Kế đầu vào JFET.....	45
3.3.1. Ta có.....	46
3.3.2. Ở khoảng đo 10V, khi điện áp vào là 7,5V thì:.....	46
3.4.Vôn kế transistor khuếch đại.....	46
3.4.1.. Mạch vôn kế dùng khuếch đại vi sai.....	46
3.4.2. Mạch vôn kế dùng khuếch đại hồi tiếp.....	48
3.5.Vôn kế sử dụng mạch khuếch đại thuật toán (OP- AMP).....	50
3.5.1. Vôn kế dùng mạch khuếch đại lặp lại.....	50
3.5.2. Vôn kế khuếch đại trên OP-AMP.....	50
3.5.3. Vôn kế sử dụng mạch biến đổi điện áp thành dòng điện.....	52
3.6. Đo điện áp xoay chiều.....	52
3.6.1. Các mạch tách sóng đỉnh.....	53
3.6.3. Vôn kế tách sóng hiệu dụng.....	58
§ 4. ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG CÁC VÔN MÉT SỐ.....	61
4.1. Khái niệm chung.....	61
4.2. Phương pháp biến đổi điện áp sang tần số.....	62
4.2.1. Nguyên tắc.....	62
4.2.2. Sơ đồ nguyên lý.....	62
4.2.3. Bộ biến đổi điện áp sang tần số (V/F).....	63
4.2.4. Phân tích khả năng chống nhiễu của sơ đồ.....	64

4.2.5. Đo điện áp 2 dấu nhờ bộ đếm lên xuống.....	65
4.3. Phương pháp biến đổi điện áp sang khoảng thời gian (V-T). ....	66
4.3.1. Phương pháp tạo hàm dốc.....	66
4.3..2. Phương pháp tích phân 2 sườn dốc (dual slope intergrator) . ....	67
4.3.3. Phương pháp tạo hàm bậc thang.....	72
§ 5. BỘ ĐẾM ĐIỆN TỬ. ....	73
5.1. Hệ đếm nhị phân.....	73
5.2. Mã hóa các số thập phân. ....	74
5.3. Bộ đếm. ....	76
5.4. Bộ giải mã. ....	76
§ 6. ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG. ....	78
6.1. Đo công suất điện một chiều.....	78
6.2. Đo công suất điện một pha. Woát mét điện động.....	78
6.3. Đo công suất điện 3 pha. ....	79
6.3.1. Mạch 3 pha 4 dây.....	79
6.3.2. Mạch 3 pha 3 dây.....	79
6.4. Đo điện năng. ....	80
6.4.1. Cơ cấu đo cảm ứng.....	80
6.4.2. Công tơ cảm ứng một pha.....	81
6.4.3. Đo điện năng trong mạch điện 3 pha. ....	82
6.5. Biến dòng và biến áp đo lường. ....	85
6.5.1. Khái niệm chung. ....	85
6.5.2. Biến dòng TI. ....	85
6.5.3. Biến áp đo lường TU.....	86
<i>Chương III: QUAN SÁT VÀ GHI DẠNG TÍN HIỆU</i> .....	88
1. DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ.....	88
§ 2. TẦNG KHUẾCH ĐẠI KÊNH Y.....	89
§ 3. HIỆN HÌNH DẠNG SÓNG.....	90
§ 4. BỘ TẠO GỐC THỜI GIAN.....	92
4.1. Bộ tạo dao động quét răng cưa. ....	92
4.2. Bộ tạo gốc thời gian tự động. ....	94
§ 5. DAO ĐỘNG KÝ NHIỀU KÊNH.....	96
§ 6. ĐẦU DÒ CỦA DAO ĐỘNG KÝ.....	98
6.1. Đầu dò 1:1.....	98
6.2. Đầu dò suy giảm. ....	99
6.3. Đầu dò chủ động (Active probe).....	100
§ 7. DAO ĐỘNG KÝ CÓ NHỚ.....	101
7.1. Dao động ký có nhớ dạng tương tự. ....	101
7.2. Dao động ký có nhớ dạng số.....	102
§ 8. DỤNG CỤ GHI BIỂU ĐỒ.....	102
8.1. Máy ghi biểu đồ trên băng kiểu điện kế.....	102
8.2. Máy ghi biểu đồ trên băng kiểu chiết áp. ....	104
8.3. Máy ghi biểu đồ trên băng dùng điện cực rắn.....	106



8.4. Máy ghi theo tọa độ xy.....	107
§ 9. KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG BẰNG ĐẠO ĐỘNG KÝ .....	108
9.1. Đo biên độ, tần số và pha của điện áp tín hiệu.....	109
9.2. Đo các tham số xung.....	110
9.3. Phương pháp hình Lissajou.....	112
Chương IV: MÁY TẠO SÓNG ĐO LƯỜNG.....	115
§ 1. KHÁI NIỆM CHUNG.....	115
§ 2. MÁY TẠO SÓNG SIN TẦN THẤP LF .....	115
§ 3. MÁY TẠO HÀM .....	118
3.1. Tầng dao động chủ.....	118
3.2. Bộ tạo hàm sin. ....	120
§ 4. MÁY PHÁT XUNG.....	122
4.1. Đa hài phiếm định.....	122
4.2. Đa hài đơn ổn.....	124
4.3. Bộ suy giảm và dịch mức DC lối ra. ....	126
§ 5. MÁY TẠO TÍN HIỆU RF .....	126
5.1. Sơ đồ khối của máy tạo tín hiệu RF.....	126
5.2. Mạch dao động RF.....	127
5.3. Mạch điều biến biên độ và điều biến tần số.....	128
5.3.1. Điều biến biên độ. ....	128
5.3.2. Điều biến tần số.....	129
5.4. Tải của máy tạo sóng.....	130
Chương V : ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN .....	131
§ 1. KHÁI NIỆM CHUNG.....	131
§ 2. CHUYỂN ĐỔI CƠ ĐIỆN.....	132
2.1. Chuyển đổi điện trở R. ....	132
2.1.1. Nguyên tắc. ....	132
2.1.2. Cảm biến loại biến trở.....	132
2.1.3. Cảm biến điện trở biến dạng.....	133
2.2. Chuyển đổi điện cảm.....	134
2.2.1. Cảm biến kiểu điện cảm L. ....	134
2.2.2. Cảm biến kiểu hồ cảm M. ....	136
2.2.3. Cảm biến cảm ứng.....	136
2.3. Chuyển đổi điện dung.....	138
2.4. Chuyển đổi áp điện.....	141
§ 3. CHUYỂN ĐỔI NHIỆT ĐIỆN .....	142
3.1. Cặp nhiệt điện.....	142
3.2. Nhiệt điện trở.....	143
3.3. Cảm biến nhiệt dùng tiếp giáp P-N bán dẫn.....	144
§ 4 CHUYỂN ĐỔI HÓA ĐIỆN.....	145
4.1. Cảm biến điện trở dung dịch.....	145
4.2. Cảm biến suất điện động ganvanic.....	146
4.2.1. Khái niệm về độ pH.....	146

---

4.2.2.Điện thế điện cực.....	146
4.2.3.Cảm biến suất điện động Galoa.....	147
§ 5 . CHUYỂN ĐỔI QUANG ĐIỆN.....	148
5.1. Tế bào quang điện. ....	148
5.2. Quang trở.....	149
5.3. Pin quang điện.....	150
5.4. Photo diode.....	150
5.4.1.Chế độ photo-ganvanic (hình 5-24, b).....	151
5.4.2. Chế độ photo diode (hình 5-24, c).....	151
5.5. Photo transistor.....	152
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	154

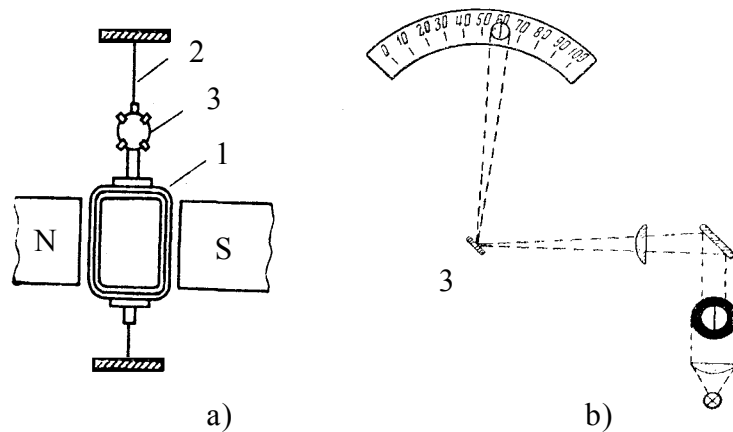
Trong đó  $M_C$  là mômen cản;  $K$  là hệ số phụ thuộc vào tính chất đàn hồi của lò xo xoắn. Mômen cản phụ thuộc tuyến tính vào góc lệch phần động. Khi cân bằng giữa mômen quay và mômen cản kim chỉ thị sẽ dừng lại ở vị trí góc lệch  $\alpha$ :

$$K\alpha = BSWI \quad (1-20)$$

$$\text{Hay } \alpha = \frac{BSWI}{K} = GI \quad (1-21)$$

Trong đó  $G$  được gọi là độ nhạy của cơ cấu đo. Công thức (1-21) cho thấy góc lệch  $\alpha$  tỉ lệ với dòng điện đi vào cơ cấu đo. Hàm truyền đạt của cơ cấu đo là tuyến tính, do đó dụng cụ sẽ có thang đo tuyến tính.

Trong các điện kế từ điện, để tăng độ nhạy và độ chính xác của phép đo, khung dây phần động 1 (xem hình 1-16, a) được gắn bằng dây treo 2, góc lệch phần động được chỉ thị trên thang độ bằng ánh sáng phản chiếu trên gương 3 gắn với dây treo nhờ một hệ thống quang học (hình 1-16, b).



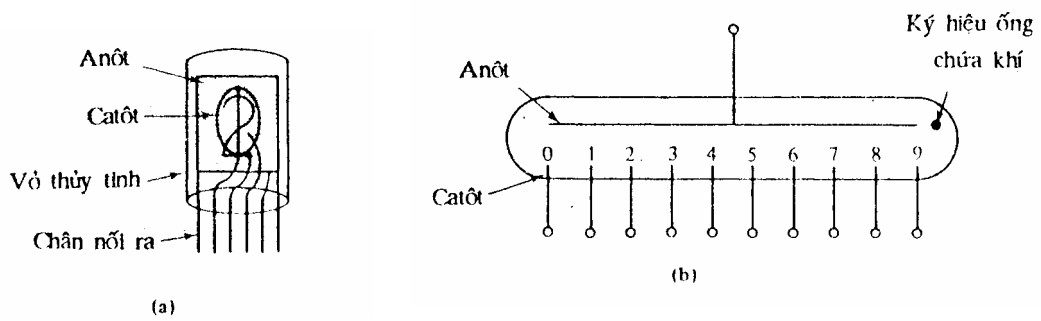
Hình 1-16. Chỉ thị bằng ánh sáng nhờ hệ thống quang học

### 3.2. Chỉ thị dạng số.

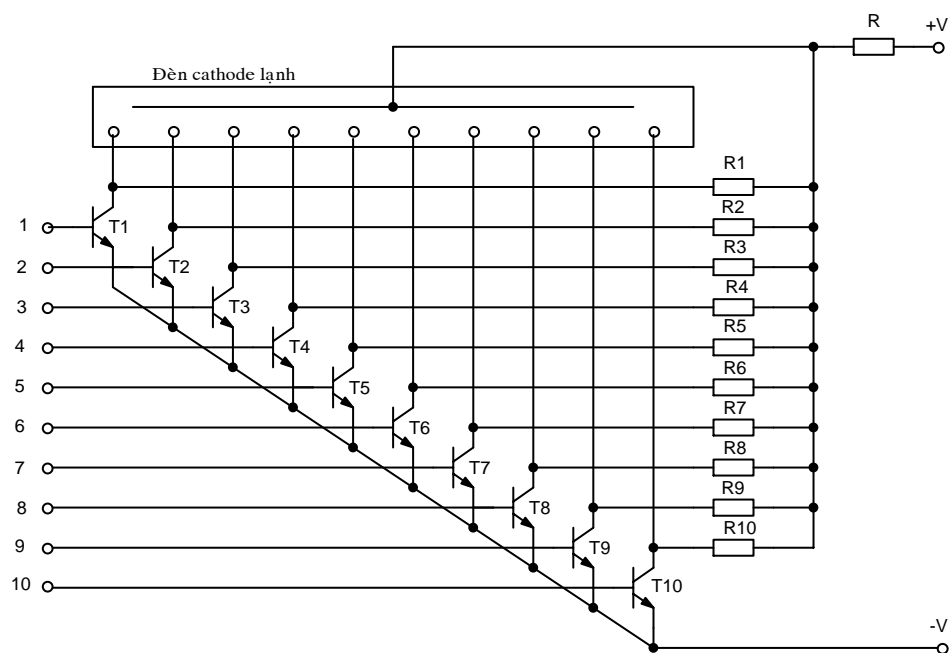
Để có thể dễ dàng đọc kết quả đo người ta đã sử dụng các bộ chỉ thị số để hiển thị kết quả đo lường. Có nhiều cách khác nhau để tổ chức bộ chỉ thị số:

- Chỉ thị số dạng cơ điện: dùng đèn neon hoặc đèn đốt tim để chiếu sáng một bảng panel có khắc các chữ số.

- Dùng đèn cathode lạnh. Trong đèn này chứa đầy khí neon, có 1 anode chung và 10 cathode riêng rẽ. Các cathode được uốn thành hình các chữ số ả rập từ 0 đến 9. Khi xuất hiện điện áp giữa anode và một cathode nào đó do bộ giải mã đưa tới thì sẽ xảy ra sự phóng điện giữa chúng và gây ra quá trình ion hóa do va chạm. Các nguyên tử bị ion hóa do mất electron nên tích điện dương và được điện trường gia tốc chuyển động về phía cathode, khi đập vào cathode chúng làm phát xạ ra các electron thứ cấp, các electron thứ cấp này lại tiếp tục gây ion hóa và tái hợp trở lại với các ion dương. Quá trình tái hợp giải phóng ra năng lượng dưới dạng ánh sáng và quanh cathode nào được kích hoạt sẽ sáng lên hiện hình chữ số tương ứng. Cấu tạo của một trong các loại đèn này như trên hình 1-17 và sơ đồ mạch chỉ thị bằng mạch bán dẫn chỉ ra trên hình 1-18.



Hình 1-17. Cấu tạo và ký hiệu đèn hiện số cathode lạnh



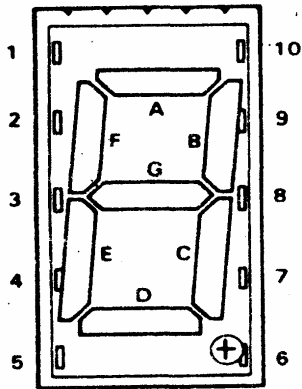
Hình 1-18. Mạch chỉ thị bằng đèn cathode lạnh

– Bộ chỉ thị số là một hệ thống các khe chiếu sáng. Mỗi chữ số được cấu tạo từ tổ hợp các khe. Thông thường hệ thống này gồm 7 hoặc 9 khe. Khi các bộ chỉ thị cần kích thước lớn thì các khe này được chiếu sáng nhờ các đèn đốt tim hoặc đèn neon (các bộ chỉ báo giờ và nhiệt độ tại các nơi công cộng, chỉ thị quang báo trên các bảng panel lớn, v.v...).

– Với các bộ chỉ thị vừa và nhỏ thường dùng các diode quang (LED) để chiếu sáng và thường được chế tạo công nghiệp dưới dạng thương phẩm. Chẳng hạn một số bộ chỉ thị số dùng các đèn LED 7 đoạn họ FND350, FND357, FND360, FND367 (hình 1-19, a).

– Để chỉ thị dấu (+) và dấu (-) dùng các đèn họ FND501, FND531, FND541, FND551, FND561(H. 1-19, b). Trên thị trường có cả loại đèn kép cho phép sử dụng để chỉ thị hai số trên một đèn như họ FND6710, FND6740 (H. 1-19,c).

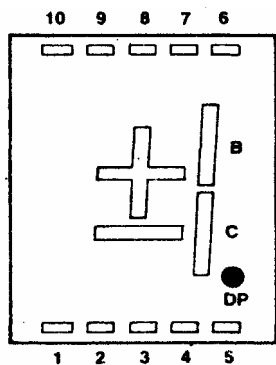
– Bộ chỉ thị số dùng đèn tinh thể lỏng (Liquid Crystal Display - LCD) 7 đoạn cũng bố trí tương tự như các bộ chỉ thị LED 7 đoạn. Ở đây mỗi đoạn được thay bằng một ô tinh thể lỏng. Mặt cắt của ô tinh thể lỏng kiểu hiệu ứng trường được minh họa trên hình 1-20, a. Tinh thể lỏng được đặt thành lớp giữa 2 bề mặt thủy tinh và các điện cực trong suốt kết tủa ở mặt trong. Một điện thế xoay chiều được áp vào giữa đoạn (đã phủ kim loại) cần hiển thị và mặt phản (Back Plane). Khi không có hiệu điện thế tác động thì đoạn phủ kim loại phản xạ ánh sáng tới, đồng thời do tinh thể lỏng trong suốt nên ánh sáng cũng phản xạ từ mặt phản làm đoạn bị hòa lẫn vào nền phản, ta chỉ thấy toàn mặt của bộ hiển thị một màu sáng bạc yếu.



a)

**PIN FND350/357/360/367**

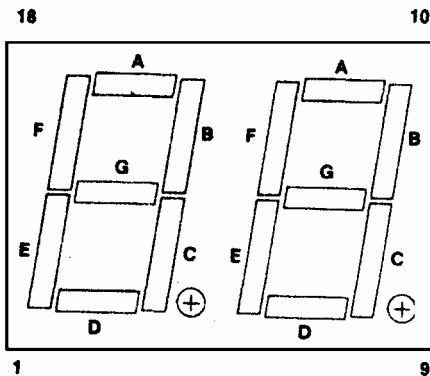
- 1 Common-Cathode
- 2 Segment F
- 3 Segment G
- 4 Segment E
- 5 Segment D
- 6 Common-Cathode
- 7 Decimal Point
- 8 Segment C
- 9 Segment B
- 10 Segment A



b)

**PIN FND501/531/541/551/561**

- 1 Minus
- 2 Cathode ±
- 3 Segment C
- 4 Cathode 1/DP
- 5 Decimal Point
- 6 Segment B
- 7 Cathode 1/DP
- 8 Cathode ±
- 9 Plus NC



c)

**PIN PND6710**

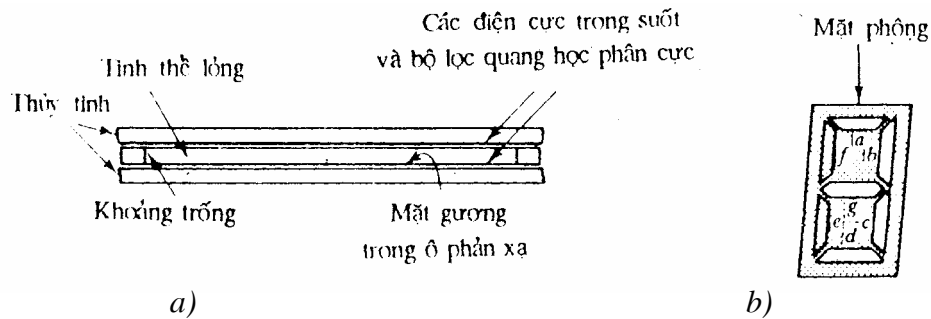
- 1 E Cath. Digit 1
- 2 D Cath. Digit 1
- 3 C Cath. Digit 1
- 4 DP Cath. Digit 1
- 5 E Cath. Digit 2
- 6 D Cath. Digit 2
- 7 G Cath. Digit 2
- 8 C Cath. Digit 2
- 9 DP Cath. Digit 2
- 10 B Cath. Digit 2
- 11 A Cath. Digit 2
- 12 F Cath. Digit 2
- 13 Digit 2 Anode
- 14 Digit 1 Anode
- 15 B Cath. Digit 1
- 16 A Cath. Digit 1
- 17 G Cath. Digit 1
- 18 F Cath..Digit 1

**FND6740**

- C Cath. Digit 1
- D Cath. Digit 1
- B Cath. Digit 1
- DP Cath. Digit 1
- E Cath. Digit 2
- D Cath. Digit 2
- G Cath. Digit 2
- C Cath. Digit 2
- DP Cath. Digit 2
- B Cath. Digit 2
- A Cath. Digit 2
- F Cath. Digit 2
- Digit 2 Anode
- Digit 1 Anode
- A Cath. Digit 1
- NC
- NC
- NC

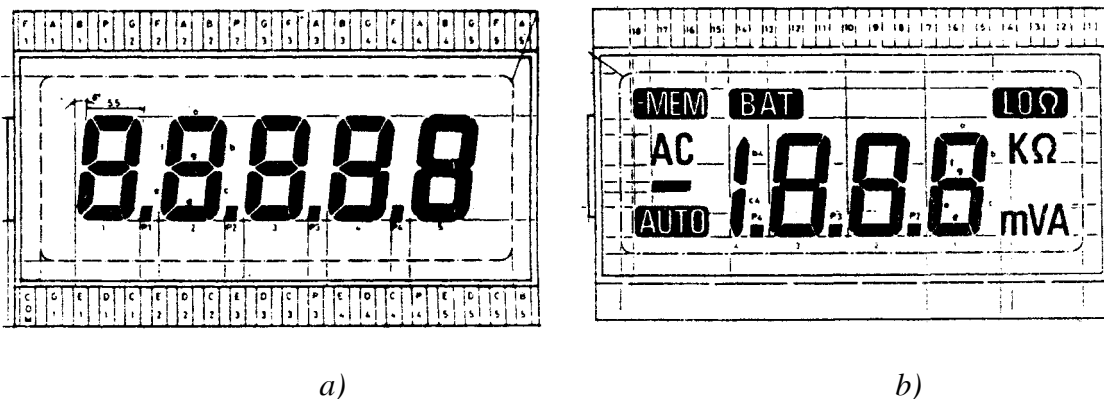
Hình 1-19. Một vài dạng đèn hiện số dùng diode quang

Khi có hiệu điện thế tác động, điện trường giữa đoạn và mặt phẳng làm thay đổi tính chất quang học của tinh thể (phá vỡ sự sắp xếp trật tự của các phân tử trong tinh thể) làm cho chất lỏng giữa đoạn và mặt phẳng không còn trong suốt nữa. Lúc này ánh sáng không phản xạ được từ mặt phẳng ở vùng tương ứng với đoạn, kết quả ô được kích hoạt trong bộ hiện số sẽ nổi (đen) lên trên nền phẳng của chúng.



Hình 1-20. Cấu tạo ô tinh thể lỏng và đèn hiện số 7 đoạn.

Vì các ô tinh thể lỏng chỉ là vật phản xạ hoặc truyền xạ chứ không phải vật phát ánh sáng nên chúng tiêu tốn rất ít năng lượng. Dòng toàn phần cho 4 bộ hiện số 7 đoạn nhỏ chỉ vào khoảng  $300\mu A$ , nhờ vậy mà bộ chỉ thị số dùng đèn tinh thể lỏng rất hữu ích trong các thiết bị đo lường kích thước nhỏ. Trên hình 1-21 là hình dạng và sơ đồ chân của vài loại mô đun LCD điển hình.

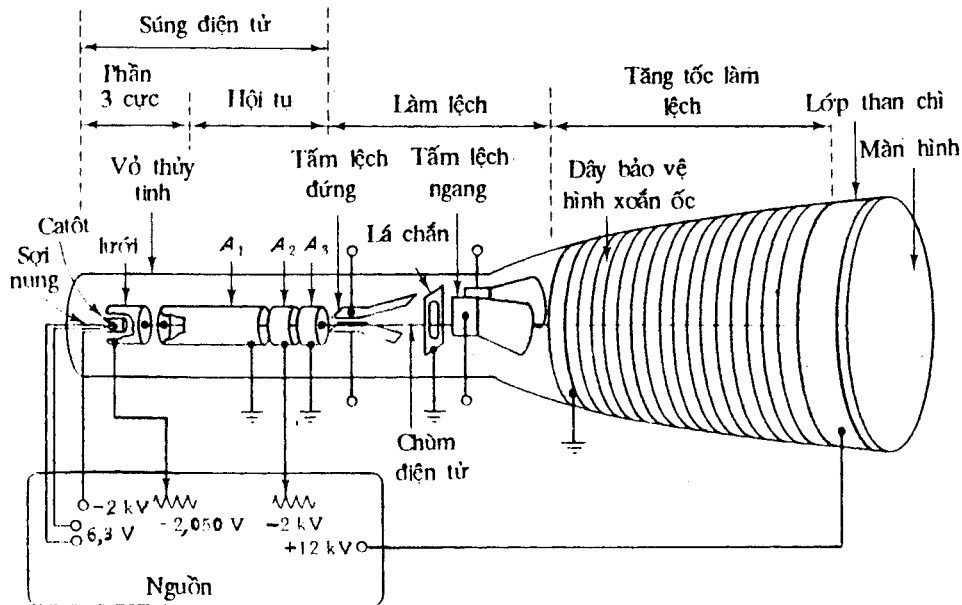


Hình 1-21

Thông thường các bộ chỉ thị dùng tinh thể lỏng sử dụng nguồn điện áp có dạng là các xung vuông tần số 60Hz, có biên độ đỉnh – đỉnh  $V_{pp} = 3\div 8V$ . Có loại LCD rất nhạy, có thể làm việc từ 1,5Vrms. Thời gian đóng mở tín hiệu điều khiển khoảng 300ms. Điện áp một chiều cao nhất cho phép là 100mV, nếu lớn hơn 100mV ở các điện cực trong suốt bằng bằng oxyt kẽm có thể bị khử và điện cực bị tối đi. Cũng như trong các đèn LED 7 đoạn, trong các bộ chỉ thị số dùng LCD một đầu ra của mỗi ô được nối chung, ở đây không phân biệt anode và cathode như trong LED; đầu ra chung được gọi là mặt phẳng (H. 1-20, b). Ngoài các LCD được điều khiển trực tiếp, mỗi đoạn của LCD được nối với mạch điều khiển (H. 1-21, a) còn có loại LCD được điều khiển theo phương pháp multiplex (H. 1-21, b).

### 3.3. Chỉ thị bằng đèn ống tia âm cực .

Trong các thiết bị quan sát và ghi dạng tín hiệu, bộ phận chỉ thị thường dùng đèn ống tia âm cực (CRT - Cathode Ray Tube). Nguyên lý hoạt động của CRT là dùng điện trường để điều khiển đường đi của một chùm electron được phóng ra từ súng điện tử và cho hướng lên màn huỳnh quang để vẽ dao động đồ của tín hiệu cần nghiên cứu. Trên hình 1-225 là sơ đồ nguyên lý của đèn ống tia âm cực CRT.



Hình 1-22. Nguyên lý cấu tạo của đèn ống tia âm cực (CRT)

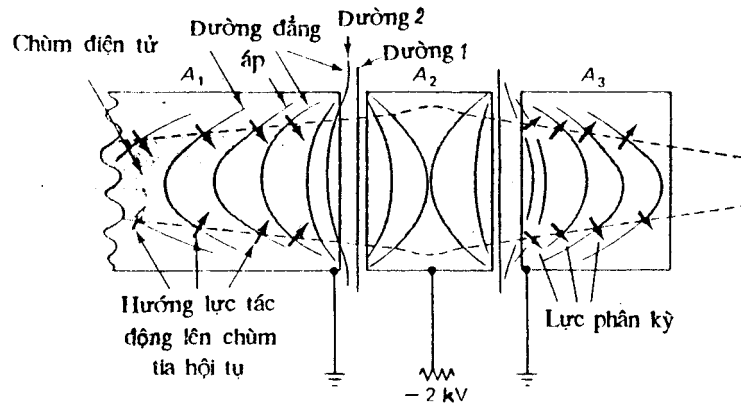
#### 3.3.1. Súng điện tử.

Súng điện tử có nhiệm vụ tạo ra một chùm tia điện tử nhỏ, có năng lượng cao bắn tới màn huỳnh quang để gây tác dụng phát sáng. Súng điện tử được cấu tạo từ catốt, lưới điều chế và các anốt. Catốt thường được làm từ niken được đốt nóng gián tiếp nhờ sợi đốt bằng nguồn xoay chiều 6,3V. Cực lưới cũng làm bằng niken có dạng hình trụ bao bọc lấy catốt. Nhờ điện áp phân cực trên catốt và các anốt mà chùm điện tử phát xạ từ catốt sau khi được điều tiết bởi lưới điều chế được tiêu tụ và gia tốc sẽ có đủ năng lượng và độ tụ cao phóng thẳng về màn huỳnh quang.

#### 3.3.2. Hệ thống điều tiêu.

Các anốt  $A_1, A_2, A_3$  tạo ra một hệ thống có tác dụng như một thấu kính điện tử. Chức năng của chúng là điều tiêu chùm tia điện tử từ catốt tới. Trên hình 1-23 chỉ ra các mức thế phân cực cho catốt, lưới và các anốt. Catốt  $A_1$  tạo ra trường hội tụ và gia tốc sơ bộ chùm tia điện tử. Do  $A_1$  và  $A_3$  được giữ ở thế đất, trong khi thế  $A_2$  điều chỉnh quanh  $-2kV$ , kết quả sự phân bố các đường đẳng thế giữa các anốt có dạng như trên hình 1-23.





**Hình 1-23. Hình dạng phân bố điện thế giữa**

Các electron khi đi qua A<sub>1</sub> như một chùm phân kỳ, khi cắt ngang các đường đẳng thế chúng chịu lực tác dụng của điện trường theo hướng vuông góc với các đường đẳng thế. Hình dạng các đường đẳng thế của A<sub>1</sub> tạo nên lực hội tụ, còn A<sub>3</sub> tạo ra lực phân kỳ đối với chùm electron (xem hình 1-23). Có thể thay đổi các lực này nhờ điều chỉnh thế phân cực cho A<sub>2</sub>, thế này điều chỉnh điểm điều tiêu của chùm nên A<sub>2</sub> đôi khi còn gọi là *vành hội tụ*.

### 3.3.3. Hệ thống lái tia điện tử.

Chùm tia electron từ súng điện tử phóng ra được điều khiển bởi hệ thống lái chùm tia trước khi đi tới màn huỳnh quang. Hệ thống bao gồm hai cặp phiến lái tia: cặp phiến lệch đứng và cặp phiến lệch ngang đặt vuông góc với nhau thường gọi tắt là cặp phiến YY và XX (hình 1-24).

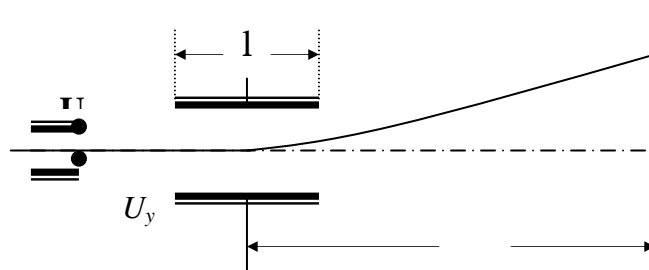
Nếu trên một cặp phiến lệch đặt một hiệu điện thế, thì giữa chúng sẽ tồn tại một điện trường. Khi electron bay vào vùng không gian giữa hai bản sẽ chịu tác dụng lực điện trường làm thay đổi quỹ đạo chuyển động. Độ lệch của điểm sáng do chùm tia điện tử tạo nên trên màn hình so với vị trí ban đầu phụ thuộc vào cường độ điện trường và thời gian bay của điện tử qua khoảng không gian giữa hai bản. Cường độ điện trường càng lớn cũng như thời gian bay của điện tử càng lâu thì độ lệch của quỹ đạo càng tăng. Cường độ điện trường tỷ lệ với điện áp  $U_y$  đặt vào cặp phiến lệch (hình 1-24), và tỷ lệ nghịch với khoảng cách  $d$  giữa hai phiến. Thời gian bay của điện tử qua khoảng giữa hai phiến tỷ lệ với độ dài  $l$  của phiến và tỷ lệ nghịch với tốc độ của điện tử, tốc độ của điện tử lại tỷ lệ với điện áp anốt A<sub>2</sub>. Như vậy tăng A<sub>2</sub> thì độ sáng trên màn hình tăng, nhưng đồng thời cũng làm giảm độ lệch của tia điện tử. Nói cách khác làm giảm độ nhạy của ống tia điện tử.

Từ hình vẽ ta thấy độ lệch của tia điện tử còn phụ thuộc vào  $L$  là khoảng cách từ điểm giữa của phiến lệch đến màn huỳnh quang. Như vậy, ta có quan hệ:

$$y = \frac{U_y l L}{2dU_{A_2}} = SU_y \quad (1-22)$$

trong đó  $S = \frac{lL}{2dU_{A2}}$  được gọi là độ nhạy của CRT, nó bằng độ lệch của tia

sáng trên màn tính ra mm khi đặt trên phiên lệch một hiệu điện thế là 1vôn. Các CRT thông thường có độ nhạy từ  $0,2 \div 1\text{mm/V}$ .



Hình 1-24

### 3.3.4. Màn huỳnh quang.

Màn hình của CRT được tạo ra bằng cách mạ một lớp huỳnh quang bằng photpho ở mặt trong. Khi có điện tử bắn vào thì tại những điểm đó sẽ phát sáng huỳnh quang. Thời gian phát sáng có thể kéo dài trong vài miligiây, vài giây, thậm chí lâu hơn nữa. Tùy thuộc vào vật liệu mà ánh sáng huỳnh quang phát ra có thể có màu xanh lơ, đỏ, xanh lục hoặc màu trắng.

Photpho sử dụng ở màn hình là chất cách điện, nếu không có sự phát xạ thứ cấp, màn hình sẽ có thể âm khi các electron sơ cấp tích tụ lại, và chúng có thể lớn tới mức đẩy ngược chùm electron tới. Để triệt bỏ hiệu ứng này, trên thành cổ ống CRT được phủ một lớp than chì để thu gom và trung hòa các electron tích tụ (xem hình 1-22).

### 3.3.5. Điều chỉnh độ chói

Độ chói của hình ảnh tạo ra trên màn hình phụ thuộc vào mật độ số electron trong chùm tia tới. Để điều chỉnh mật độ electron người ta điều chỉnh điện áp lưới điều chế M. Mật độ độ chói còn phụ thuộc vào tốc độ của electron tới, nghĩa là chúng phải được gia tốc tới tốc độ khả dĩ cao nhất. Tuy nhiên nếu tốc độ của chùm electron quá cao thì tác dụng của điện áp làm lệch lên chùm tia sẽ giảm khi chúng đi qua hệ thống làm lệch, và độ nhạy lái tia sẽ kém. Do vậy người ta thường bố trí một hệ thống gia tốc sau làm lệch khi tia điện tử đã đi qua các tấm lái tia. Một dây xoắn ốc bằng chất có điện trở cao được cho kết nối bên trong phần loe của ống CRT. Điểm đầu nối đất còn đầu cuối có điện thế cao tới +12kV, nhờ vậy tạo ra một điện trường gia tốc liên tục chùm electron trước khi nó đập vào màn hình. Hệ thống này đôi khi còn gọi là cực hậu gia tốc.

## 3.4. Chỉ thị bằng âm thanh và ánh sáng.

Trong các thiết bị đo lường dùng chỉ thị bằng âm thanh thường sử dụng ống nghe vì đây là loại chỉ thị rất nhạy có thể phát hiện được các dòng điện có công suất

rất nhỏ đến micrôat hay điện áp rất thấp đến micrôvon. Ống nghe có độ nhạy cao ở phạm vi tần số hợp với tai nghe, tức vào khoảng 800 đến 1200 Hz nên dùng làm chỉ thị âm tần rất thích hợp. Đối với các máy đo chỉ thị cân bằng (chỉ thị 0) khi dùng ống nghe làm chỉ thị có thể đo đạc xác định các đại lượng rất nhanh. Các ống nghe dùng trong đo lường thường có điện trở cao và có cấu tạo để có độ nhạy cao với tần số vào khoảng 1000Hz.

Trong các thiết bị đo lường nhằm phát hiện và chỉ báo các mức ngưỡng áp dụng trong các hệ thống bảo vệ, thì việc sử dụng các tín hiệu âm thanh hoặc ánh sáng để chỉ thị là rất có ý nghĩa về mặt cảnh báo, tín hiệu gây chú ý để báo hiệu cho con người biết về sự cố để có biện pháp khắc phục.

### **3.5. Lưu trữ kết quả đo lường.**

Để có thể lưu trữ kết quả đo lường người ta sử dụng nhiều biện pháp khác nhau: Sử dụng các máy ghi chuyên dụng; thiết kế các hệ thống đo có sử dụng vi xử lý và hệ thống nhớ trên đĩa từ; ghép nối hệ đo với máy vi tính và điều khiển tự động.

Các máy ghi là các thiết bị cho phép ghi lại kết quả đo diễn biến theo thời gian. Có thể ghi bằng nhiều cách:

**3.5.1. Ghi liên tục:** Thường là dùng băng giấy chạy liên tục và quá trình diễn biến của đại lượng được ghi thành một đường cong, và qua đó có thể xác được sự phụ thuộc của đại lượng theo thời gian.

**3.5.2. Ghi gián đoạn:** Việc ghi được thực hiện theo từng thời gian nhất định và thường kết hợp để ghi nhiều đại lượng khác nhau bằng một máy nhờ các bộ chuyển mạch. Kết quả của phép ghi có thể là những con số hoặc các đường chấm chấm.

Có nhiều phương pháp ghi khác nhau:

- Ghi bằng bút ghi: là loại ghi đơn giản nhất.
- Ghi bằng phương pháp cơ điện: Dùng phương pháp tia lửa điện để đánh thủng giấy ghi từng lúc, hoặc dùng phản ứng hóa học trên giấy ghi.
- Ghi bằng phim ảnh, giấy ảnh.
- Ghi trên băng từ.
- Ghi bằng phương pháp số trên đĩa từ.
- Ghi trên đĩa quang CD. v.v...

## **4. DỤNG CỤ ĐO ĐIỆN, SAI SỐ, CẤP CHÍNH XÁC**

Có nhiều loại, tùy theo nguyên tắc thiết kế mạch và nguyên lý tác động mà người ta chia ra hai loại cơ bản là:

- Các dụng cụ đo tương tự (analog)
- Các dụng cụ đo theo phương pháp số (digital).






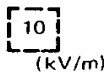









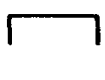




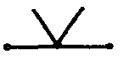







Các dụng cụ đo tương tự thường dùng chỉ thị bằng kim trên mặt đồng hồ điện kế. Đa số các dụng cụ đo điện thông dụng là loại cơ điện, tùy thuộc vào nguyên lý tác động của cơ cấu đo mà người ta chia ra các loại sau :

- Cơ cấu đo từ điện (điện kế khung quay);
- Cơ cấu đo kiểu điện từ;
- Cơ cấu đo kiểu điện động;

- Cơ cấu đo kiểu nhiệt điện;
- Cơ cấu đo tĩnh điện;
- Cơ cấu đo kiểu cảm ứng. . . .

Trên bảng 1-1 chỉ ra các ký hiệu quy ước trên mặt đồng hồ đo điện và ý nghĩa của chúng.

Bảng 1-1

	Cơ cấu đo kiểu từ điện		Cơ cấu hiệu chỉnh
	Cơ cấu đo kiểu điện từ		Giá trị từ trường ngoài gây ra sai lệch chỉ số dụng cụ
	Lôgômét từ điện		Giá trị điện trường ngoài gây ra sai lệch chỉ số dụng cụ đo
	Lôgômét điện từ		Điện áp kiểm tra độ cách điện 500V
	Cơ cấu đo kiểu điện động		Điện áp kiểm tra độ cách điện trên 500V ( 2 kV)
	Lôgômét điện động		không kiểm tra điện áp cách điện
	Cơ cấu đo sắt điện động		Đặt dụng cụ thẳng đứng
	Lôgômét sắt điện động		Đặt dụng cụ nằm ngang
	Cơ cấu đo kiểu nhiệt điện		Dòng một chiều
	Cơ cấu đo kiểu tĩnh điện		Dòng xoay chiều
	Cặp nhiệt ngẫu trực tiếp		Dòng điện một chiều và xoay chiều
	Cặp nhiệt ngẫu gián tiếp		Định hướng của dụng cụ đo trong từ trường trái đất
	Màn chắn tĩnh điện		Cấp chính xác tính theo phần trăm giá trị cuối cùng thang đo
	Màn chắn từ		Cấp chính xác tính theo phần trăm chiều dài thang đo

Các máy đo có độ chính xác cao thường được lắp đặt thêm các mạch hỗ trợ bằng các linh kiện điện tử, bán dẫn, và cơ cấu chỉ thị thường dùng loại từ điện.

Trong các dụng cụ đo theo phương pháp số, đại lượng đo tương tự lối vào được số hóa nhờ các mạch biến đổi tương tự số ADC (Analog to Digital Converter), sau đó đưa qua mạch đếm, giải mã và chỉ thị bằng các đèn LED 7 đoạn (LED - Light Emitting Diode) hoặc đèn tinh thể lỏng 7 đoạn.

Theo đại lượng đo người ta chia các dụng cụ đo điện ra theo tên gọi: như Ampe kế, Miliampe kế, Microampe kế, Vôn kế, Milivôn kế, Ôm kế, v.v...

#### **4.2. Sai số.**

Bất kỳ phép đo nào cũng mắc phải sai số, Theo cách biểu diễn sai số thì có 2 loại sai số sau :

##### **4.2.1. Sai số tuyệt đối:**

Là hiệu giữa giá trị thực của đại lượng đo và trị số đo được bằng phép đo:

$$\Delta X = X_T - X_m \quad (1-23)$$

$X_T$  - Giá trị thực của đại lượng đo

$X_m$  - Giá trị đo được bằng phép đo

Như vậy  $\Delta X$  có thể có giá trị dương hoặc âm. Tuy nhiên, do  $X_T$  ta chưa biết, nên trong thực tế người ta thường lấy giá trị gần đúng của  $X_T$  bằng cách đo nhiều lần và xem giá trị trung bình của n lần đo gần đúng với  $X_T$ .

$$X_T \cong \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{Mi} \quad (1-24)$$

Và giá trị của  $\Delta X$  cũng được biểu diễn như sau:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \quad (1-25)$$

##### **4.2.2. Sai số tương đối:**

Để đánh giá độ chính xác của phép đo, người ta dùng sai số tương đối  $\delta X$  và biểu diễn ra phần trăm:

$$\delta X(\%) = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% \quad (1-26)$$

Thực tế, cũng thường biểu diễn bằng giá trị gần đúng trung bình của nó:

$$\overline{\delta X}(\%) = \frac{\overline{\Delta X}}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (1-27)$$

#### **4.3. Cấp chính xác của đồng hồ đo điện.**

Để đánh giá độ chính xác của đồng hồ đo điện, người ta dùng khái niệm cấp chính xác của dụng cụ. Cấp chính xác của dụng cụ đo điện được định nghĩa là:

$$\gamma\% = \frac{\Delta X_{\max}}{A_{\max}} \cdot 100\% \quad (1-28)$$

$\Delta X_{\max}$  – là sai số tuyệt đối lớn nhất của dụng cụ đo ở thang đo tương ứng;

$A_{\max}$  – là giá trị lớn nhất của thang đo .

Dụng cụ đo điện có 8 cấp chính xác sau : 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 và 5. Cấp chính xác được ghi trên mặt của đồng hồ đo. Biết cấp chính xác ta có thể tính được sai số tuyệt đối lớn nhất cho phép của phép đo:

$$\Delta X_{\max} = \gamma\% \cdot A_{\max} / 100 \quad (1-29)$$

Ví dụ: Một miliampe kế có thang độ lớn nhất  $A_{\max} = 100\text{mA}$ , cấp chính xác là 2,5. Sai số tuyệt đối lớn nhất cho phép sẽ là:

$$\Delta X_{\max} = 2,5 \times 100 / 100 = 2,5 \text{ mA}$$

Vượt quá giá trị 2,5mA này đồng hồ sẽ không còn đạt cấp chính xác 2,5 nữa.

#### 4.4 . Các cách tính sai số.

##### 4.4.1. Sai số của phép đo với các thang đo khác nhau:

Trong thực tế khi đo với một máy đo có cấp chính xác nhất định, nhưng khi thay đổi thang đo thì sai số tuyệt đối của phép đo sẽ thay đổi, cách tính theo công thức (1-29).

Ví dụ: Một vôn kế có cấp chính xác 1,5 khi dùng thang đo 50V mắc sai số cho phép lớn nhất là :

$$\Delta U_{\max} = 1,5 \cdot 50 / 100 = 0,75\text{V}$$

Nhưng nếu dùng thang đo 100V thì sai số tuyệt đối lớn nhất cho phép lại là

$$\Delta U'_{\max} = 1,5 \cdot 100 / 100 = 1,5\text{V}$$

##### 4.4.2. Sai số tương đối của tổng 2 đại lượng.

Nếu hai đại lượng đo có tính chất độc lập với nhau, mỗi đại lượng có sai số tương đối riêng biệt  $\delta A$  và  $\delta B$  thì sai số tương đối của tổng 2 đại lượng (A + B) sẽ là :

$$\delta_{(A+B)} = \frac{\Delta A + \Delta B}{A + B} = \frac{A\delta A + B\delta B}{A + B} \quad (1-30)$$

##### 4.4.3. Sai số tương đối của tích 2 đại lượng.

Nếu hai đại lượng độc lập với nhau mà mỗi đại có một trị số sai số tương đối riêng biệt thì sai số tương đối của tích 2 đại lượng (A.B) được xác định:

$$\delta(A.B) = \delta A + \delta B \quad (1-31)$$

Tổng quát, trong trường hợp tích của nhiều đại lượng độc lập với nhau:

$$\delta \prod_i A_i = \sum_{i=1}^n \delta_{A_i} \quad (1-32)$$

##### 4.4.4. Sai số tương đối của một thương

$$\delta(A/B) = \delta A + \delta B \quad (1-33)$$

Tổng quát cho trường hợp tỷ số của tích nhiều đại lượng :

$$\text{Nếu : } x = \frac{\prod_i A_i}{\prod_j B_j} \quad \text{Thì: } \delta = \sum_i \delta_{A_i} + \sum_j \delta_{B_j} \quad (1-34)$$

## CHƯƠNG II: ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN

### § 1. KHÁI NIỆM CHUNG

Các đại lượng điện được chia làm hai loại: loại tác động (active) và loại thụ động (passive).

– *Loại tác động*: Các đại lượng mang năng lượng như điện áp, dòng điện, công suất là những đại lượng tác động. Khi đo các đại lượng này, bản thân năng lượng của chúng sẽ tác động lên mạch đo và cơ cấu đo. Trong các trường hợp năng lượng quá lớn phải sử dụng các mạch phân dòng, phân áp hoặc các mạch lấy mẫu đại lượng đo (biến áp, biến dòng). Trường hợp ngược lại, nếu các đại lượng đo quá nhỏ, phải sử dụng các mạch khuếch đại để khuếch đại chúng lên đủ lớn để mạch đo có thể làm việc bình thường.

– *Loại thụ động*: Các đại lượng không mang năng lượng như điện trở, điện cảm, điện dung là các đại lượng thụ động. Khi đo các đại lượng này phải có nguồn điện áp để cung cấp năng lượng cho chúng trong mạch đo.

### § 2. ĐỒNG HỒ ĐO ĐIỆN VẠN NĂNG

#### 2.1. Các chỉ tiêu chất lượng của đồng hồ vạn năng.

##### *2.1.1. Độ nhạy $\gamma$*

Độ nhạy của đồng hồ biểu thị mối quan hệ phụ thuộc của góc lệch phần động khi có dòng điện tác động lên cơ cấu đo. Nó chính là dòng điện nhỏ nhất có khả năng làm lệch kim chỉ thị lên hết thang độ. Dòng càng nhỏ thì độ nhạy càng cao. Độ nhạy của đồng hồ tỉ lệ với mật độ từ thông của nam châm vĩnh cửu, số vòng của khung dây điện kế, và tỷ lệ nghịch với lực cản của lò xo xoắn.

Các đồng hồ có độ nhạy cao thường có độ nhạy  $(50 \div 20) \mu A$ . Độ nhạy thực tế của đồng hồ thường bị giảm đi vì có sun vạn năng đấu song song với khung dây.

Trên mặt của đồng hồ đo thường có ghi trị số điện trở vào ứng với mỗi vôn ( $\Omega/V$ ). Muốn tính ra độ nhạy thực tế chỉ cần số lấy nghịch đảo của điện trở vào ứng với mỗi vôn. Ví dụ, đồng hồ vạn năng 500 T có điện trở vào ứng mỗi vôn là 20.000  $\Omega/V$  thì độ nhạy thực tế sẽ là:

$$\gamma = \frac{1}{20.000 \Omega/V} = \frac{1V}{20.000 \Omega} = 50 \mu A$$

Như vậy, đồng hồ có số  $\Omega/V$  càng lớn thì dòng điện làm lệch hết thang độ càng nhỏ và đồng hồ càng nhạy. Dòng điện này thường rẽ nhánh qua mạch sun vạn năng, nên dòng điện thực tế chạy trực tiếp qua khung dây điện kế nhỏ hơn. Chẳng

hạn, đồng hồ 500 T có độ nhạy thực tế là  $50 \mu\text{A}$ , nhưng dòng thực tế qua khung dây chỉ là  $40 \mu\text{A}$ . Đồng hồ 108 T có trị  $5000\Omega/\text{V}$ , độ nhạy thực tế là  $200 \mu\text{A}$ , nhưng dòng qua khung dây chỉ là  $63 \mu\text{A}$ .

**2.1.2. Cấp chính xác.**

Do mạch đo dùng phối hợp để đo cả điện áp, dòng điện và điện trở nên cấp chính xác của đồng hồ vạn năng thường thấp hơn các máy đo riêng lẻ. Cấp chính xác được biểu thị theo sai số phần trăm đối với trị số lớn nhất của thang đo. Cấp chính xác đối với điện xoay chiều thì nhỏ hơn đối với điện một chiều vì ảnh hưởng của đặc tuyến chỉnh lưu phi tuyến.

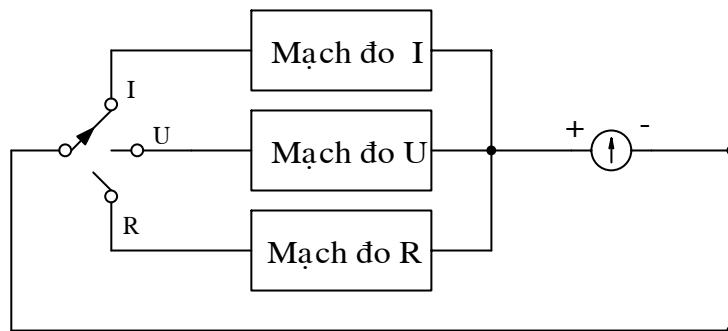
Trên mặt đồng hồ thường ghi rõ cấp chính xác đối với điện một chiều và xoay chiều. Các đồng hồ thông dụng có cấp chính xác 2,5 đối với điện một chiều và 4 đối với điện xoay chiều.

**2.1.3. Tính thăng bằng.**

Đồng hồ vạn năng có tính thăng bằng tốt thì dù để nằm, để đứng hay nghiêng kim chỉ thị vẫn về đúng số 0. Điều đó chứng tỏ trọng tâm của khung quay nằm đúng trên đường nối hai mũi nhọn của trục quay.

**2.2. Mạch đo trong đồng hồ đo điện vạn năng.**

Sơ đồ khối trình bày nguyên lý tổ chức mạch đo trong một đồng hồ đo điện vạn năng chỉ ra trên hình 2-1. Mạch gồm 3 khối chức năng cơ bản: khối đo dòng điện, khối đo điện áp và khối đo điện trở. Cơ cấu chỉ thị dùng điện kế từ điện G.

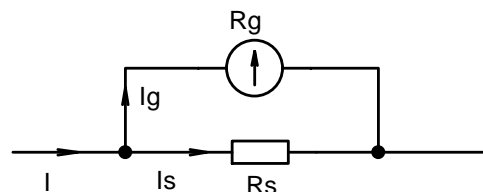


Hình 2-1. Sơ đồ khối mạch đo của đồng hồ đo điện

**2.2.1. Mạch đo dòng điện một chiều.**

Các cơ cấu đo từ điện chỉ đo được từ vài chục tới vài trăm microampe ( $\mu\text{A}$ ). Nhưng trong thực tế ta cần đo những dòng điện có trị số lớn hơn nhiều, muốn vậy phải mở rộng thang đo cho đồng hồ. Sơ đồ nguyên lý mắc sun mở rộng thang đo cho điện kế chỉ ra trên hình 2-2.

Gọi dòng cần đo là  $I$ , dòng làm lệch toàn phần cơ cấu đo là  $I_g$ , điện trở cơ cấu đo là  $R_g$ , điện trở sun là  $R_s$ , từ hình 2-2 ta dễ dàng thấy:



Hình 2-2



$$I = I_S + I_g$$

$$\frac{I_g}{I_S} = \frac{R_S}{R_g}$$

Ta có:  $I_S = I - I_g$ , gọi  $n = I/I_g$  là hệ số mở rộng thang đo dòng, ta sẽ có:  $I = nI_g$ , từ đó:

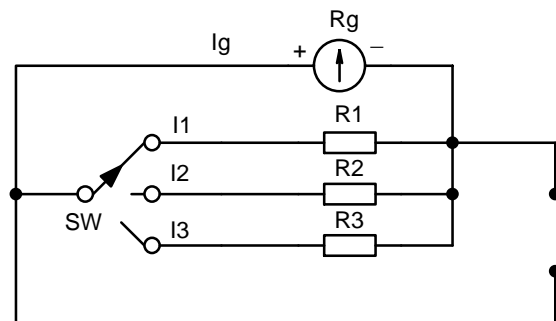
$$\frac{I_g}{I_S} = \frac{I_g}{nI_g - I_g} = \frac{1}{n-1} = \frac{R_S}{R_g}$$

Hay:  $R_S = \frac{R_g}{n-1}$  (2-1)

Trong đồng hồ vạn năng mạch đo thường có nhiều thang đo khác nhau, có 2 cách đấu sun: kiểu đấu sun riêng rẽ và kiểu đấu sun vạn năng.

a. Mạch sun riêng rẽ.

Các sun đấu riêng rẽ ứng với từng thang đo khác nhau (hình 2-3). Việc chọn thang đo được thực hiện nhờ chuyển mạch SW. Giá trị của các điện trở sun  $R_1, R_2, R_3$  được tính theo công thức (2-1).



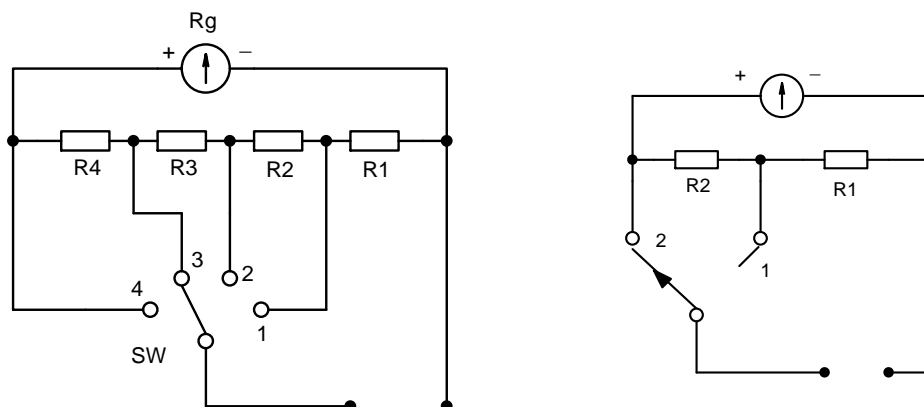
Hình 2-3. Mạch sun riêng rẽ

Sun riêng rẽ có ưu điểm là tách rời nhau nên dễ dàng kiểm tra hiệu chỉnh và sửa chữa.

Tuy nhiên, không kinh tế vì tăng số điện trở dây quấn. Mặt khác khi chuyển mạch bị tiếp xúc xấu hoặc không tiếp xúc, mạch sun sẽ bị ngắt, toàn bộ dòng đo sẽ đổ qua điện kế làm cháy khung dây của đồng hồ. Do vậy kiểu sun riêng rẽ ít sử dụng trong thực tế.

b) Mạch sun vạn năng.

Mạch sun vạn năng có đặc điểm là bao gồm tất cả các sun riêng rẽ của từng thang đo. Các sun riêng rẽ đấu nối tiếp với nhau và toàn bộ điện trở sun đấu song song thường trực với cơ cấu đo (hình 2-4).



a)

b)

**Hình 2-4. Mạch sun vạn năng**

Mỗi một thang đo sẽ là tổ hợp các điện trở, sun của thang đo trước là một phần sun của thang đo sau. Trong sơ đồ hình 2-4, a thì ứng với thang đo thứ nhất, điện trở sun là  $R_1$ , còn  $R_2, R_3, R_4$  đóng vai trò các điện trở phụ nối tiếp với cơ cấu đo. Đây cũng là thang đo dòng lớn nhất trong các thang đo trên (ứng với sun nhỏ nhất). Một cách tương tự, ta có  $(R_1 + R_2)$  là sun của thang đo thứ 2;  $(R_1 + R_2 + R_3)$  là sun của thang đo thứ ba và  $(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$  là sun của thang đo thứ tư (thang đo dòng nhỏ nhất).

So với kiểu mạch dùng sun riêng biệt, mạch dùng sun vạn năng tiết kiệm được điện trở dây quấn hơn, đặc biệt do điện trở sun mắc song song thường trực với cơ cấu đo nên không sợ xảy ra quá tải cho đồng hồ. Tuy nhiên, việc điều chỉnh và sửa chữa mạch sun vạn năng sẽ phức tạp hơn.

Để tính toán điện trở sun vạn năng ta cũng xuất phát từ cách tính tổng quát đối với sun riêng rẽ. Ta hãy xét mạch sun vạn năng đơn giản như chỉ ra trên hình 2-5 gồm hai điện trở  $R_1 + R_2$

$$\text{Ta có: } R_s = R_1 + R_2 = \frac{R_g}{n_1 - 1} \tag{2-2}$$

Ở đây  $n_1$  là hệ số hiệu chỉnh dòng ứng với thang đo mắc sun  $R_s = R_1 + R_2$ .

Với thang đo sau, điện trở sun là  $R_2$ , còn  $R_1$  nối tiếp với cơ cấu đo. Áp dụng công thức tính sun (2-1) ta có:

$$R_2 = \frac{R_1 + R_g}{n_2 - 1} \tag{2-3}$$

Ở đây  $n_2$  là hệ số hiệu chỉnh dòng điện ứng với thang đo có sun là  $R_2$ . Từ phương trình (2-2) và (2-3) ta rút ra:

$$R_1 = R_g \frac{n_1}{n_1 - 1} \left( \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) \tag{2-4}$$

$$R_2 = R_s - R_1$$

Tính toán tương tự với các mạch sun vạn năng cho 3, 4,...k thang đo ta rút ra công thức tổng quát tính điện trở sun vạn năng  $R_k$  của thang đo bất kỳ:

$$R_k = R_g \frac{n_1}{n_1 - 1} \left( \frac{1}{n_k} - \frac{1}{n_{k+1}} \right) \tag{2-5}$$

- Ví dụ: Một điện kế có dòng lệch toàn thang là  $I_g = 50\mu\text{A}$ , điện trở cơ cấu đo  $R_g = 300\Omega$ . Tính trị số sun vạn năng để mở rộng thang đo cho điện kế với các dòng 100  $\mu\text{A}$ , 1mA, 10mA và 100mA.

Ta có hệ số hiệu chỉnh dòng ứng với các thang đo tương ứng là:

$$n_1 = 100/50 = 2; n_2 = 1000/50 = 20; n_3 = 10.000 / 50 = 2000;$$

$$n_4 = 100.000/50 = 2000.$$

$$\text{Tính } R_S = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{R_g}{n_1 - 1} = \frac{300}{2 - 1} = 300\Omega$$

Trị số điện trở sun ở mỗi thang đo tính theo công thức (2-5).

$$R_1 = 300 \frac{2}{2 - 1} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{20} \right) = 600 \frac{9}{20} = 270\Omega$$

$$R_2 = 300 \frac{2}{2 - 1} \left( \frac{1}{20} - \frac{1}{200} \right) = 600 \frac{9}{200} = 27\Omega$$

$$R_3 = 300 \frac{2}{2 - 1} \left( \frac{1}{200} - \frac{1}{2000} \right) = 600 \frac{9}{2000} = 2,7\Omega$$

$$R_4 = R_S - (R_1 + R_2 + R_3) = 300 - 299,7 = 0,3\Omega$$

**2.2.2. Mạch đo điện áp một chiều.**

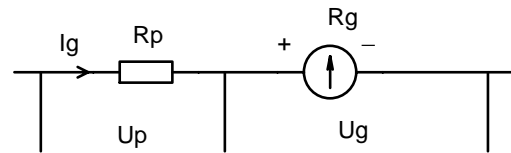
Cơ cấu đo từ điện chỉ có thể đo được điện áp nhỏ, để mở rộng thang đo người ta phải mắc thêm điện trở phụ  $R_p$  nối tiếp với cơ cấu đo (hình 2-5).

Từ hình vẽ ta có:

$$U = U_p + U_g = I_g(R_p + R_g)$$

Trong đó  $R_g$  và  $I_g$  là điện trở của cơ cấu đo và dòng lệch cực đại của thang đo điện kế.

Như vậy, giá trị của điện trở phụ sẽ là:

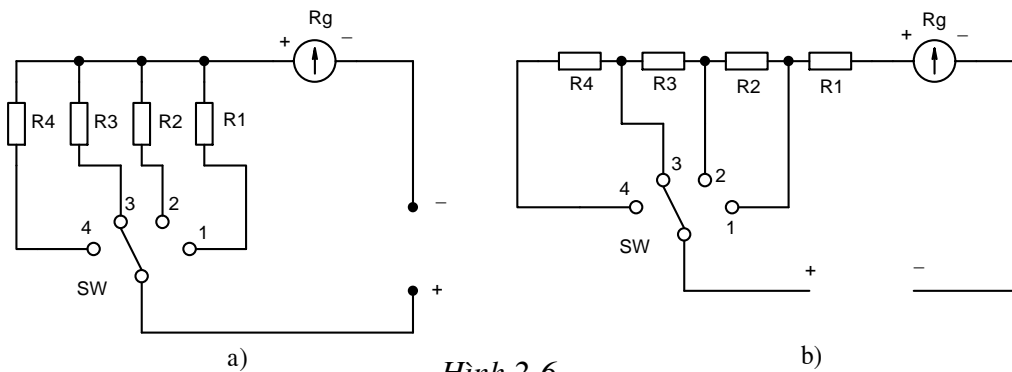


Hình 2-5

$$R_p = \frac{U}{I_g} - R_g \tag{2-6}$$

Tương tự như thang đo dòng điện một chiều, để đo các trị số điện áp khác nhau, thang đo điện áp cũng được thiết kế các mạch điện trở phụ kiểu riêng biệt và điện trở phụ kiểu vạn năng (hình 2-6)

Hình 2-6, a là sơ đồ mạch đo điện áp một chiều với 4 thang đo mắc kiểu điện trở phụ riêng rẽ. Mạch này có ưu điểm là dễ dàng kiểm tra và sửa chữa, nhưng cũng có nhược điểm giống như mạch sun riêng rẽ là dễ bị hở mạch đo khi chuyển mạch tiếp xúc xấu.



Hình 2-6

- a) Mạch von kế dùng điện trở phụ kiểu riêng rẽ
- b) Mạch von kế dùng điện trở phụ vạn năng

Hình 2-6, b là sơ đồ mắc điện trở phụ vạn năng. Đây là kiểu được dùng rộng rãi trong các đồng hồ vạn năng. Các điện trở thành phần trên hình 2-6, b dễ dàng tính theo các công thức sau:

$$R_1 = \frac{U_1 - I_g R_g}{I_g}$$

$$R_2 = \frac{U_2 - U_1}{I_g}$$

$$R_3 = \frac{U_3 - U_2}{I_g}$$

Tương tự, ta rút ra công thức tổng quát để tính điện trở phụ mở rộng thang đo khi đã biết thang đo trước:

$$R_n = \frac{U_n - U_{n-1}}{I_g} \quad (2-7)$$

Trong đó  $n$  là số thứ tự thang đo.

– Ví dụ: Một đồng hồ đo điện vạn năng có điện trở cơ cấu đo là  $300 \Omega$ , dòng lệch toàn thang là  $0,3\text{mA}$ . Hãy tính các điện trở phụ vạn năng mở rộng thang đo của vôn kế để có thể đo được các điện áp  $6\text{V}$ ,  $30\text{V}$  và  $150\text{V}$ .

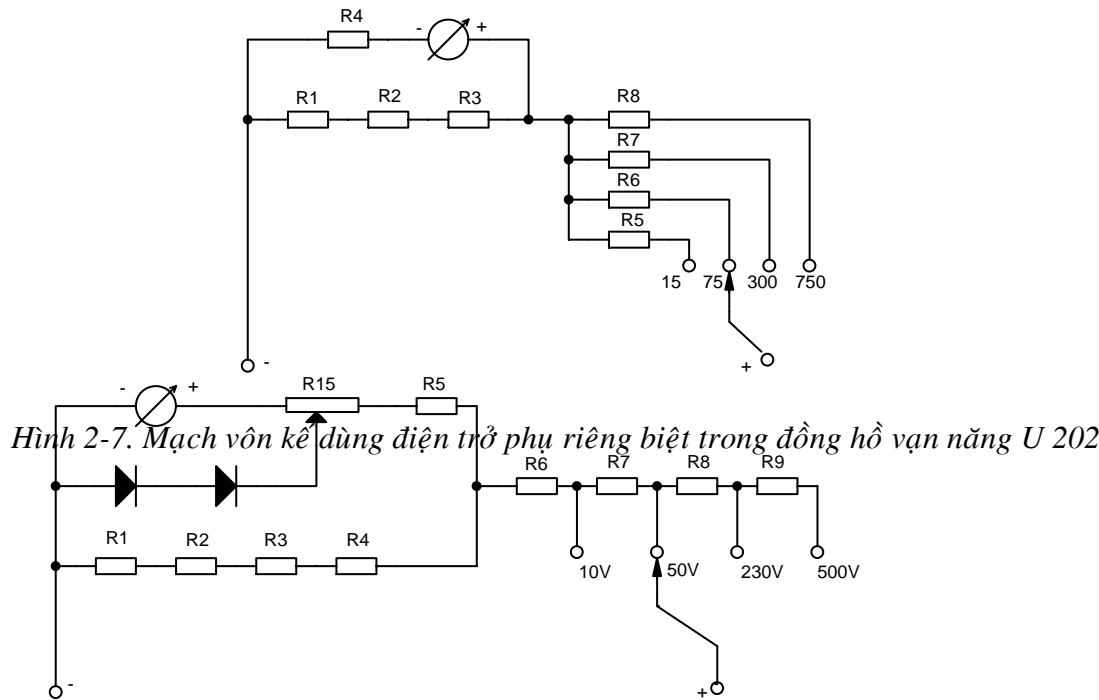
Áp dụng các công thức (2-7) cho các thang đo ta có:

$$R_1 = \frac{6 - (0,0003 \times 300)}{0,0003} = 19700\Omega = 19,7\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{30 - 6}{0,0003} = 80000\Omega = 80\text{k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{150 - 30}{0,0003} = 400000\Omega = 400\text{k}\Omega$$

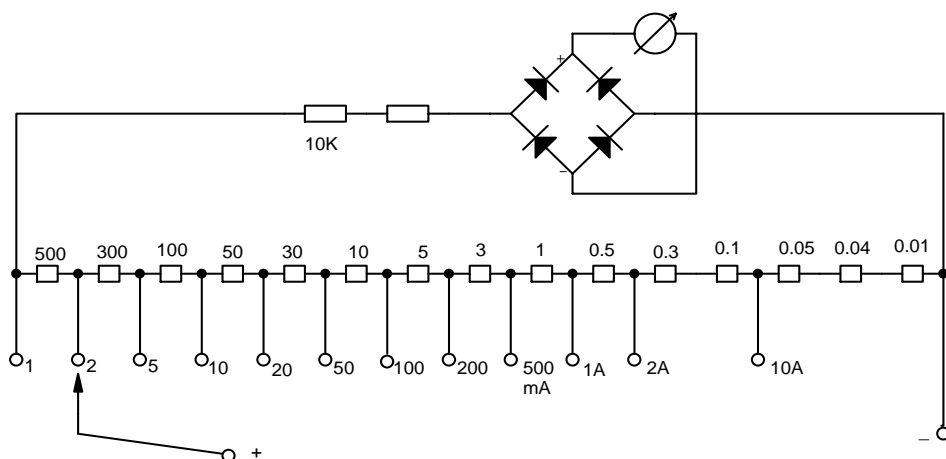
Trên các hình 2-7 và hình 2-8 là hai mạch điện trở phụ thực tế của hai đồng hồ vạn năng U202 và U1.



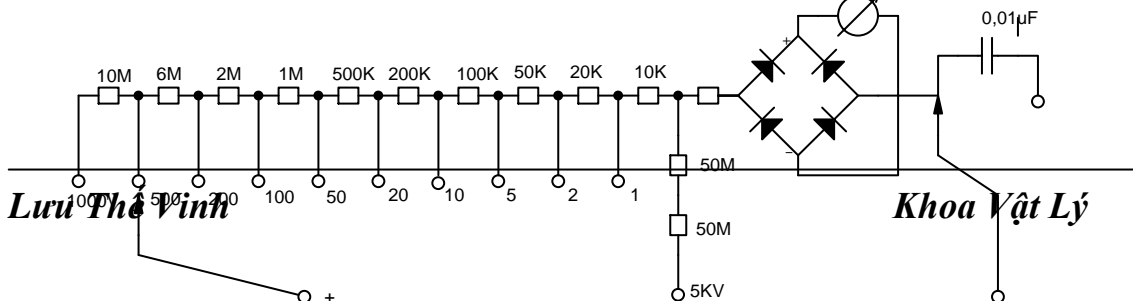
Hình 2-8. Mạch von kế dùng điện trở phụ vạn năng trong đồng hồ vạn năng U1

**2.3. Đo dòng điện và điện áp xoay chiều.**

Cơ cấu đo từ điện chỉ có thể đo dòng một chiều. Để đo dòng điện và điện áp xoay chiều mạch đo được mắc thêm khối chỉnh lưu. Các mạch chỉnh lưu trong đồng hồ vạn năng thường dùng là chỉnh lưu 2 bán kỳ, chỉnh lưu cầu đối xứng hoặc không đối xứng trên các diode Ge. Sơ đồ nguyên lý mạch đo dòng điện và điện áp xoay chiều của đồng hồ vạn năng Univecka được trình bày trên các hình 2-9 và hình 2-10.



Hình 2-9. Mạch đo dòng điện xoay chiều của đồng hồ



Hình 2-10. Mạch đo điện áp xoay chiều của đồng hồ

**2.4. Mạch đo điện trở.**

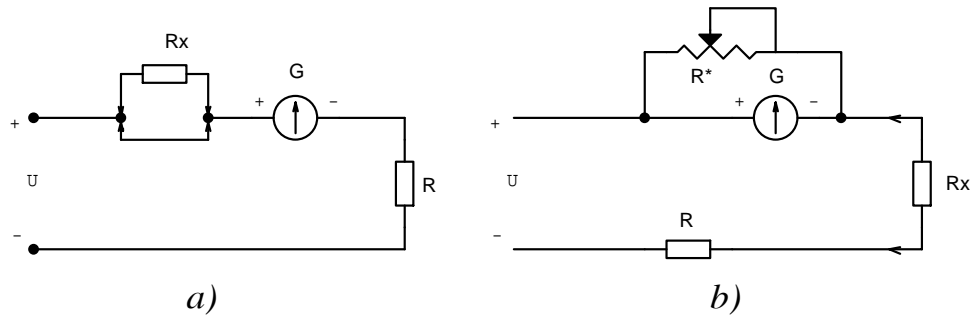
Trị số của điện trở thường phân ra các khoảng: trị số nhỏ (dưới 1Ω); trung bình (1 ÷ 10<sup>5</sup>Ω) và lớn (trên MΩ).

Các điện trở nhỏ thường đo bằng cầu đo, loại lớn dùng Mêgôm kế để đo. Loại trung bình được đo chủ yếu bằng ôm kế. Trong đồng hồ vạn năng thang đo ôm được khắc độ trực tiếp ra ôm.

Tùy theo cách mắc điện trở cần đo R<sub>X</sub> nối tiếp hay song song với cơ cấu đo, người ta phân ra hai loại: ôm kế song song và ôm kế mắc nối tiếp.

**2.4.1. Ôm kế có điện trở đo mắc nối tiếp.**

Trong sơ đồ này điện trở cần đo R<sub>X</sub> được mắc nối tiếp với cơ cấu đo (hình 2-11, a)



Hình 2-11

Từ hình vẽ ta có:

$$I_g = \frac{U}{R + R_x} \tag{2-8}$$

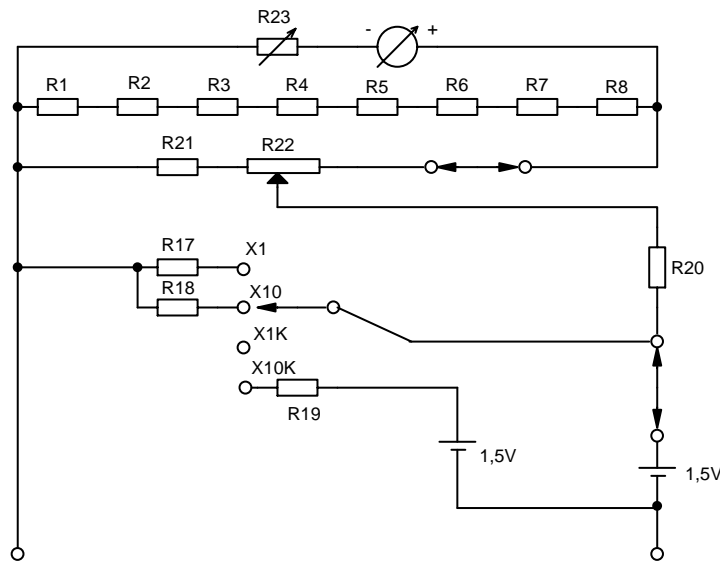
Nếu  $U = const$  thì  $I_g = f(R_x)$ . Thang độ của dụng cụ khắc độ theo R<sub>x</sub>. Vì hàm truyền (2-8) là phi tuyến nên thang độ R<sub>x</sub> sẽ không đều. Khi R<sub>x</sub> thay đổi giá trị của I<sub>g</sub> sẽ thay đổi.

- Khi R<sub>x</sub> = 0 (ngắn mạch R<sub>x</sub>), dòng I<sub>g</sub> = I<sub>max</sub>, góc lệch kim chỉ thị là lớn nhất
- Khi R<sub>x</sub> = ∞ (hở mạch R<sub>x</sub>), dòng I<sub>g</sub> = 0, góc lệch kim chỉ thị bằng 0.

Như vậy thang độ của ôm kế loại này ngược với thang đo thông thường, giá trị 0 Ω ở tận cùng bên phải, còn giá trị ∞ Ω ở tận cùng bên trái.

–Lưu ý. Kết quả đo  $R_x$  chỉ chính xác khi điện áp nguồn không đổi  $U = const$ . Để có thể hiệu chỉnh điện áp nguồn trong một phạm vi biến đổi nhất định, người ta dùng thêm một biến trở  $R^*$  mắc song song với cơ cấu đo (hình 2-11, b). Trước mỗi lần đo ta phải ngắn mạch 2 que đo (ngắn mạch  $R_x$ ) và điều chỉnh kim đồng hồ chỉ đúng số 0, sau đó tiến hành đo thì kết quả chỉ thị mới chính xác. Núm điều chỉnh của biến trở  $R^*$  được đưa ra trước mặt máy và thường ký hiệu bằng chữ  $\Omega$ .

Mạch đo ôm mắc nối tiếp như trên được dùng rộng rãi trong các đồng hồ vạn năng. Thông thường thang độ ôm kế được cấu tạo theo kiểu thang đo sau lớn gấp 10 lần thang đo trước, nên khi chuyển thang đo chỉ cần nhân hệ số x10, x100, x1000. Hình 2-12 là mạch đo điện trở trong đồng hồ vạn năng 108-T



Hình 2-12. Mạch đo điện trở trong đồng hồ vạn năng 108-T

### 2.4.2 Ôm kế có điện trở đo mắc song song

Sơ đồ của ôm kế mắc song song như hình 2-13. Tương tự như ôm kế mắc nối tiếp, ta xét 2 trường hợp:

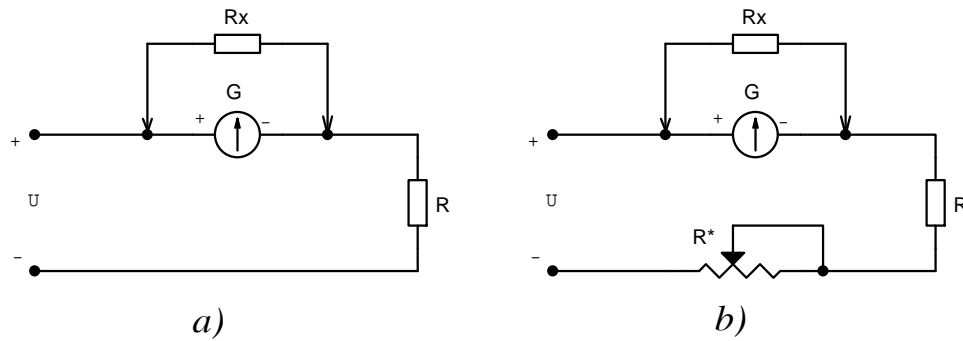
- Khi ngắn mạch  $R_x$  ( $R_x = 0$ ), dòng qua cơ cấu đo bằng 0.
- Khi hở mạch  $R_x$  ( $R_x = \infty$ ) dòng qua cơ cấu đo sẽ được xác định bởi điện trở cơ cấu đo và điện trở mạch ngoài:

$$I = \frac{U}{R + R_g} \tag{2-9}$$

Lúc này dòng điện qua cơ cấu đo sẽ là lớn nhất.

Khi mắc song song  $R_x$  với điện kế G, dòng qua mạch đo sẽ là:

$$I = \frac{U}{R + \frac{R_x R_g}{R_x + R_g}} \tag{2-10}$$



Hình 2-13

Các biểu thức (2-9) và (2-10) cho thấy thang độ của đồng hồ sẽ không đều và cũng thuận chiều bình thường như các thang đo điện áp và dòng điện.

Để điều chỉnh điểm 0 ban đầu cũng sử dụng thêm điện trở  $R^*$  mắc nối tiếp với mạch đo (hình 2-13, b).

### 2.5. Thang đo đề xi ben.

Trong một số đồng hồ vạn năng có thêm thang đo đề xi ben (dB) dùng để đo mức tín hiệu xoay chiều.

Mức chuẩn quy định 1mW trên gánh 600Ω thì điện áp tương ứng là 0,775 V (được tính từ hệ thức:  $P = U^2/R$  từ đó thì  $U = \sqrt{P.R}$  ).

Thang độ dB tương ứng với thang đo điện áp xoay chiều trên đồng hồ. 0 dB ứng với vạch kim 0,775V của thang đo điện áp xoay chiều.

Đối với các thang đo khác, giá trị dB được tính bằng cách cộng thêm vào chỉ số của dụng cụ với trị số không đổi ghi trên mặt đồng hồ.

Ví dụ: Đo bằng thang đo 50 V (14) , số chỉ trên thang độ là +10 dB, thì trị số thực sẽ là : +10 + 14 dB = 24 dB.

Đo bằng thang đo 500 V(34), kết quả đo sẽ là = số chỉ + 34 dB,

## § 3. ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG CÁC VÔN MÉT TƯƠNG TỰ

### 3.1. Đặc tính chung.

Đo điện áp là một trong những phép đo cơ bản nhất để đo các thông số của tín hiệu. Khi cần kiểm tra, xác định chế độ công tác của thiết bị điện tử thì phép đo điện áp được sử dụng nhiều nhất. Sở dĩ vậy, vì phép đo thực hiện nhanh chóng, dễ tiến hành và có độ chính xác cao.

Đặc điểm của phép đo điện áp trong kỹ thuật điện tử là khoảng trị số đo rộng và ở trong một dải tần rất rộng dưới nhiều dạng tín hiệu điện áp khác nhau. Độ lớn của điện áp cần đo có trị số từ vài microvôn đến hàng trăm kilôvôn. Dải tần của điện áp cần đo từ điện áp một chiều, điện áp có tần số biến đổi chậm (khoảng vài phần trăm Hz) đến điện áp có tần số khá cao tới hàng ngàn MHz.

Các trị số của điện áp cần đo thường là trị đỉnh (biên độ); trị hiệu dụng và trị trung bình.



- Trị số đỉnh  $U_m$  là giá trị tức thời cực đại của điện áp trong khoảng thời gian quan sát (hay trong một chu kỳ). Đối với điện áp không đối xứng thì có 2 giá trị đỉnh: đỉnh dương và đỉnh âm. Với điện áp điều hòa trị đỉnh chính là trị biên độ.
- Trị hiệu dụng  $U$  là giá trị trung bình bình phương của điện áp tức thời trong khoảng thời gian đo (hay trong một chu kỳ).

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2-11)$$

Đối với điện áp có chu kỳ dạng không sin, thì bình phương trị số hiệu dụng của điện áp này bằng tổng của bình phương thành phần điện áp một chiều và bình phương của các thành phần điều hòa.

$$U = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots$$

Hay là:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2} \quad (2-12)$$

- Trị số trung bình của điện áp (thành phần một chiều) là trị số trung bình cộng các giá trị tức thời trong khoảng thời gian đo (hay trong 1 chu kỳ).

$$U_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (2-13)$$

Trong trường hợp chỉ lưu hai nửa chu kỳ, thì nó bằng trị trung bình cộng của trị số tuyệt đối các giá trị tức thời:

$$U_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (2-14)$$

Giữa các trị số trị đỉnh, trị hiệu dụng và trị trung bình có các mối quan hệ biểu thị qua các tỷ số sau:

$$k_b = \frac{U_m}{U} \quad (2-15)$$

$k_b$  – Hệ số biên độ của tín hiệu điện áp.

$$k_d = \frac{U}{U_{tb}} \quad (2-16)$$

$k_d$  – Hệ số dạng của tín hiệu điện áp.

Trên hình 2-13 là ví dụ để tính các hệ số  $k_b$  và  $k_d$  của các điện áp có các dạng khác nhau.

- Khi điện áp dạng sin (hình 2-14, a):  $U_m = U$ ;  $U_{tb} = 0,9 U$ ;

Vậy :  $k_b = 1,41$ ;  $k_d = 1,11$ .

- Khi điện áp dạng răng cưa (hình 2-14, b), có biên độ  $U_m$ , chu kỳ  $T$ .

Trị số điện áp tức thời:  $u(t) = \frac{U_m}{T} t$ ,

Trị số điện áp hiệu dụng:

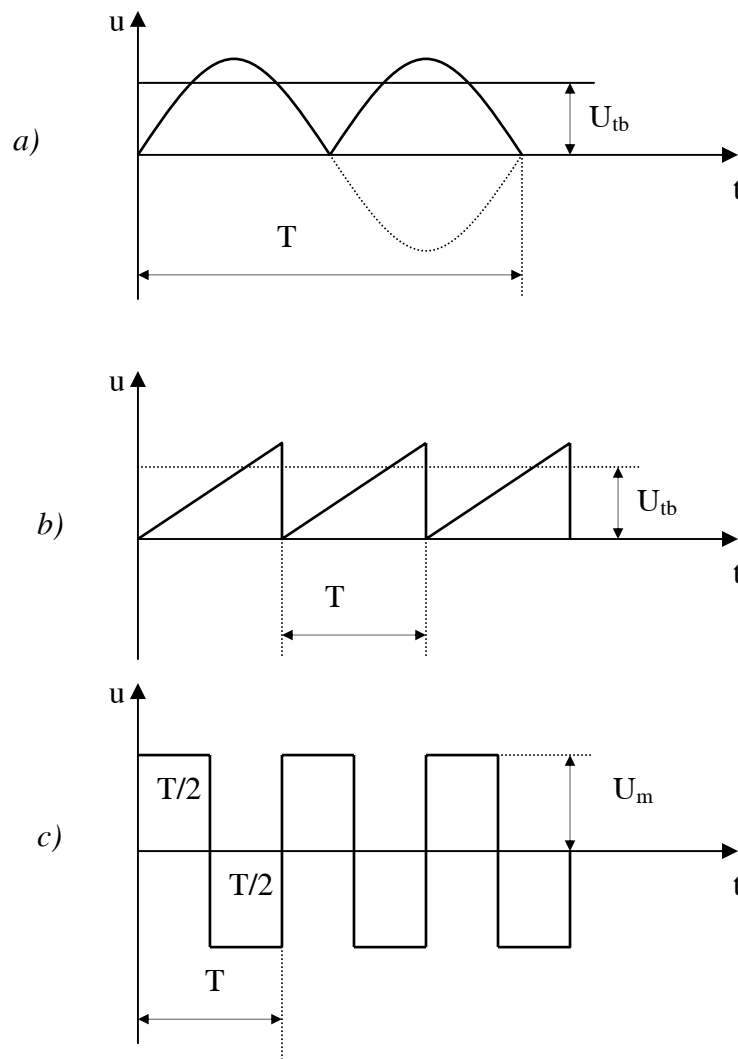
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{U_m^2}{T^2} t^2 dt} = \frac{U_m}{\sqrt{3}};$$

$$U_{tb} = \frac{U_m}{2}$$

– Khi điện áp có dạng xung vuông góc đối xứng (hình 2-14, c) thì giá trị điện áp tức thời:

$$U(t) = \begin{cases} U_m & : 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ -U_m & : \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases}$$

Trị số điện áp  $U = U_m$  và  $U_{tb} = U_m$ ; do đó:  $k_b = 1$  và  $k_d = 1$



Hình 2-14

### 3.2. Các vôn mét điện tử đo điện áp một chiều.

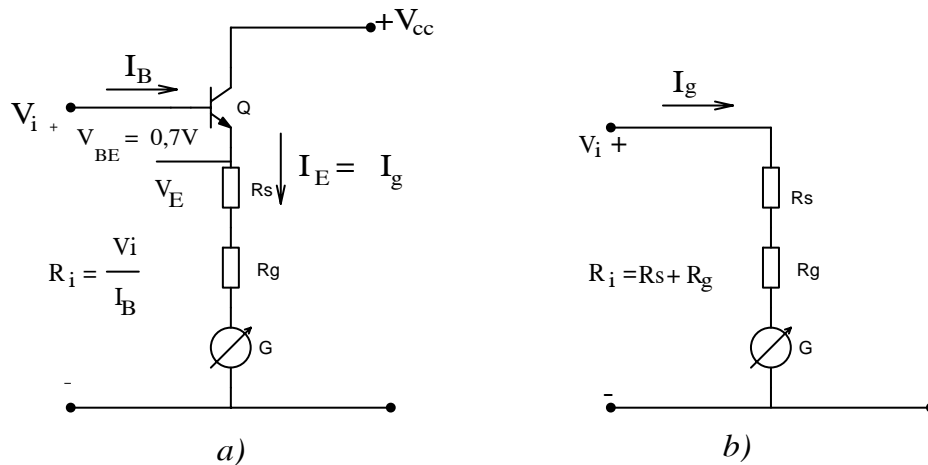
Các vôn kế từ điện bị một số hạn chế là:

- Trở kháng vào nhỏ, do đó không thể đo ở các sơ đồ có trở kháng cao;
- Độ nhạy thấp, nên không thể đo được các điện áp quá nhỏ.

Để khắc phục các nhược điểm trên, người ta sử dụng các bộ biến đổi điện tử, bán dẫn và thiết kế các máy đo có điện trở vào lớn, độ nhạy cao cho phép đo các điện áp rất thấp. Các vôn mét điện tử VTVM (vacuum tube voltmeter) và vôn mét tranzistor TVM (transistor voltmeter) là những dụng cụ đo lường chính xác được sử dụng rộng rãi trong các phòng thí nghiệm vật lý.

#### 3.2.1. Vôn kế transistor tải emiter.

Để tăng trở kháng vào của vôn mét, sử dụng tầng đệm lối vào trên transistor. Sơ đồ nguyên lý chỉ ra trên hình 2-15, a.



Hình 2-15. a) Vôn kế sử dụng mạch tải emiter  
b) Mạch vôn kế thường

Điện kế từ điện được mắc trên cực emiter của transistor loại silic Q . Giả sử rằng nguồn nuôi  $V_{cc} = 20V$ , điện trở tải  $R_s + R_g = 9,3k\Omega$  , dòng lệch toàn thang của điện kế là  $I_g = 1mA$ .

Nếu điện áp lối vào là  $V_i = 10V$ , sụt áp trên tiếp giáp  $V_{BE} = 0,7V$ , như vậy điện áp ra trên emiter của transistor sẽ là:

$$V_E = V_i - V_{BE} = 10 V - 0,7 V = 9,3 V.$$

Dòng điện chạy qua cơ cấu đo ( $I_g$ ) chính bằng dòng emiter của transistor ( $I_E$ ), tức là ta có:

$$I_E = \frac{V_E}{(R_s + R_g)} = \frac{9,3 V}{9,3 k\Omega} = 1mA$$

Mặt khác  $I_E \approx I_C = \beta I_B$ , từ đó ta có :  $I_B \approx I_E / \beta$ . Giả thiết rằng  $\beta = 100$ , thì:

$$I_B = 1 \text{ mA} / 100 = 10 \text{ } \mu\text{A}.$$

– Điện trở vào của mạch gánh emiter (của vôn kế):

$$R_i = \frac{V_i}{I_B} = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ } \mu\text{A}} = 1 \text{ M}\Omega$$

– So sánh với mạch vôn kế thường (hình 2-15, b).

Ở đây điện kế 1 mA được dùng để đo điện áp 10 V. Trong trường hợp này, điện trở vào của vôn kế khi điện áp vào 10 V sẽ là:

$$R_i = \frac{V_i}{I_g} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

Như vậy sử dụng mạch khuếch đại đệm trên transistor đã làm tăng trở kháng vào của vôn kế (đối với trường hợp đang xét thì tăng từ 10 kΩ lên 1 MΩ).

– Nhận xét. Khi mắc thêm tầng đệm emiter, do sụt áp trên tiếp giáp  $V_{BE}$  nên sẽ gây ra sai số của dụng cụ khi thay đổi điện áp lối vào. Thực vậy, giả sử  $V_i = 5 \text{ V}$ , lẽ ra kim đồng hồ phải chỉ ở ½ thang đo, nghĩa là 0,5 mA. Tuy nhiên ta thấy:

$$V_E = V_i - V_{BE} = 5 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 4,3 \text{ V};$$

Và dòng qua điện kế sẽ là:

$$I_g = V_E / (R_S + R_g) = 4,3 \text{ V} / 9,3 \text{ k}\Omega = 0,46 \text{ mA}.$$

Như vậy kết quả đo sẽ không chính xác. Để loại bỏ sai số nói trên, người ta sử dụng tổ hợp các mạch chia áp và mạch gánh emiter (hình 2-16).

### 3.2.2. Mạch vôn kế tải emiter thực tế.

Trên hình 2-16. các điện trở  $R_3, R_5$  cùng chiết áp  $R_4$  tạo ra bộ chia áp cho điện áp  $V_P$  điều chỉnh được. Điện trở  $R_1$  định thiên cho  $Q_1$  ở thế đất khi không có điện áp vào tác dụng. Mạch sử dụng nguồn nuôi đối xứng  $\pm V_{cc} = \pm 10 \text{ V}$ .

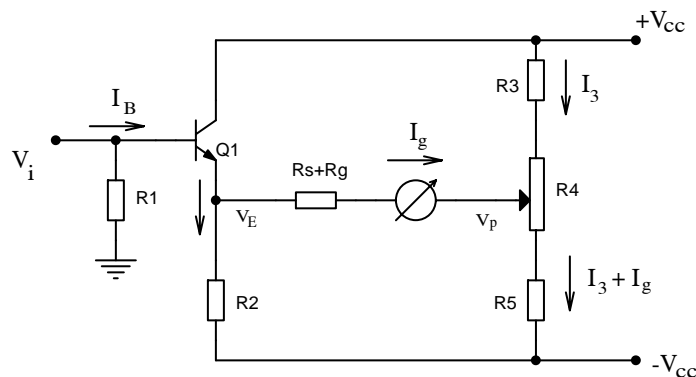
Khi không có điện áp vào tác dụng:  $V_i = 0 \text{ V}$ , đáy của  $Q_1$  ở 0 V, điện áp emiter của  $Q_1$  lúc này là:

$$V_E = V_B - V_{BE} = 0 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = -0,7 \text{ V}.$$

Và thế trên điện trở  $R_2$  sẽ là :

$$V_2 = V_{R2} = V_E - (-V_{cc}) = 0,7 \text{ V} - (-10 \text{ V}) = +9,3 \text{ V}.$$

Điều chỉnh biến trở  $R_4$  để có  $V_P = 0,7 \text{ V}$  so với đất hoặc +9,3 V so với  $-V_{cc}$ , khi đó điện áp đặt vào điện kế sẽ bằng 0, kim đồng hồ chỉ 0.



Hình 2-16. Sơ đồ vôn kế mạch gánh emiter với mạch bổ chính sụt áp trên tiếp giáp E-B

– Bây giờ giả sử điện áp lối vào là  $V_i = 5V$ . Lúc này điện áp emiter sẽ là:

$$V_E = 5V - 0,7V = 4,3 V;$$

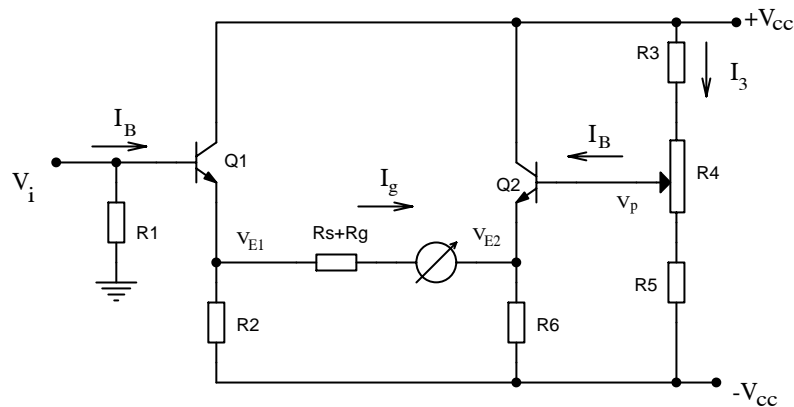
và:  $V_2 = V_E - (-V_{cc}) = 4,3 V - (-10 V) = 14,3 V$ .

Điện áp đặt vào máy đo sẽ là:

$$V_g = V_E - V_p = 4,3 V - (-0,7 V) = 5 V.$$

Như vậy toàn bộ giá trị của điện áp vào đặt vào đồng hồ, mạch trên đã khử được sai số do sụt áp trên tiếp giáp E-B của transistor.

– *Nhận xét.* Kết quả tính toán ở trên chỉ đúng khi cho rằng điện áp của bộ chia áp  $V_p$  không bị ảnh hưởng bởi dòng của máy đo. Điều này chỉ đúng nếu dòng qua bộ chia áp ( $I_3$ ) lớn hơn nhiều lần dòng lệch cực đại của điện kế ( $I_g$ ), Nghĩa là:  $I_3 \gg I_g$ . Tuy nhiên nếu điều kiện này thực hiện sẽ gây tổn hao nguồn DC. Để khắc phục nhược điểm này, người ta dùng một mạch gánh emiter trên  $Q_2$  như sơ đồ hình 2-17



Hình 2-17. Mạch vôn kế thực tế với các mạch bổ chính trên transistor và cầu phân áp

Thực vậy, giả sử ta có vôn kế với các mạch bổ chính như hình 2-17. Trong đó  $R_2 = 3,9k\Omega$ ,  $R_6 = 3,9k\Omega$ ,  $R_3 = 2,7k\Omega$ ,  $R_4 = 1k\Omega$ ,  $R_5 = 2,2 k\Omega$  và  $R_s + R_g = 1k\Omega$ . Dòng lệch toàn thang của điện kế là  $I_g = 1mA$ ; Điện áp nguồn nuôi  $\pm V_{CC} = \pm 12V$ . Các transistor loại Si có  $\beta = 100$ .

Ta hãy xác định các tham số tĩnh của sơ đồ:  $V_p$ ,  $I_{E1}$ ,  $I_{E2}$ ,  $I_3$  và  $I_B$  khi điện áp vào  $V_i = 0$ .

Ta có khi  $V_i = 0V$  thì:

$$V_{B2} = V_{B1} = 0V;$$

$$V_P = V_{B2} = 0V;$$

$$V_{R2} = V_i - V_{BE} - (-V_{CC}) = 0 - 0,7V - (-12V) = 11,3V;$$

$$I_{E1} = V_{R2}/R_2 = 11,3 V/ 3,9 k\Omega \approx 2,9 mA;$$

$$I_{E1} = I_{E2} = 2,9 mA;$$

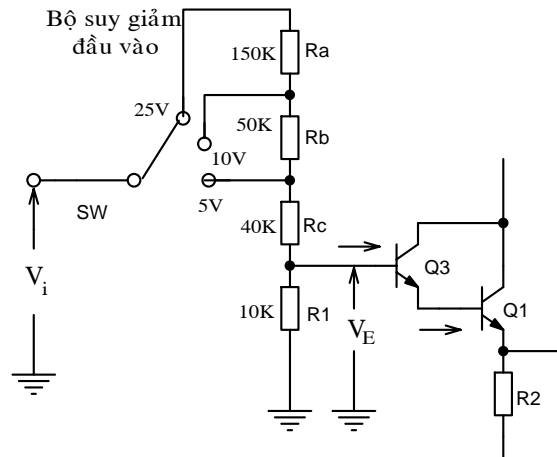
$$I_3 \approx \frac{V_{cc} - (-V_{cc})}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{12V - (-12V)}{2,7k\Omega + 1k\Omega + 2,2k\Omega} = 4,07mA$$

và:  $I_B \approx I_E / \beta = 2,9 mA / 100 = 29 \mu A$

Như vậy thỏa mãn điều kiện  $I_B = 29 \mu A \ll I_3 = 4,07mA$ .

3.2.3. Mạch suy giảm dần đầu vào

Để thay đổi tầm đo cho vôn mét, người ta mắc bộ phân áp lối vào như sơ đồ chỉ ra trên hình 2-18.



Hình 2-18. Mạch

suy giảm đầu vào

Mạch chia áp gồm các điện trở  $R_1, R_a, R_b$  và  $R_c$  cho phép chia một cách chính xác điện áp cần đo trước khi tác động vào transistor lối vào. Mạch suy giảm đảm bảo khi tác dụng điện áp vào bất kỳ lối vào nào thì mức tối đa của điện áp lối vào transistor  $V_B$  luôn luôn là 1V. Ví dụ ở thang đo 25V:

$$V_B = V_i \frac{R_1}{R_1 + R_a + R_b + R_c} = 25 V \frac{10 K\Omega}{10 K\Omega + 150 K\Omega + 50 K\Omega + 40 K\Omega} = 1 V$$

Như vậy, tùy thuộc vào khoảng đo đã chọn mà vị trí toàn thang đo của dụng cụ được tính là 25 V, 10 V hay 5 V.

Để tăng điện trở vào của đồng hồ, người ta dùng thêm một transistor  $Q_3$  mắc Daclington với  $Q_1$ . Như vậy dòng đáy  $Q_1$  sẽ là dòng emiter của  $Q_3$ . Giả sử chọn hệ số khuếch đại dòng của  $Q_1$  và  $Q_3$  là như nhau:  $\beta_1 = \beta_3 = 100$ .

Từ hình vẽ ta có:

$$I_{B3} = I_{B1} / \beta_3 = I_{E1} / \beta_1 \cdot \beta_3;$$

Với dòng emiter  $I_{E1} = 2,9 mA$  như trong ví dụ ở phần trên thì ta có:

$$I_{B3} = \frac{2,9 mA}{100 \times 100} = 0,29 \mu A$$

Khi với mình  $Q_1$  trong mạch thì:



Điện áp cổng nguồn của FET là  $V_{GS} = -5V$ . Hãy xác định các tham số tính của sơ đồ:  $V_P$ ,  $I_S$ ,  $I_{E1}$ ,  $I_{E2}$  và  $I_3$  khi  $V_G = 0$ . Xác định số chỉ của đồng hồ khi  $V_i = 7,5V$  và máy đo để ở thang đo 10V.

**3.3.1. Ta có:** khi  $V_G = 0$ , thì

$$V_S = V_G - V_{GS} = 0V - (-5V) = 5V,$$

$$V_{R1} = V_S - (-V_{cc}) = 5V - (-12V) = 17V,$$

$$I_S = V_{R1}/R_1 = 17V / 10K\Omega = 1,7mA,$$

$$V_P = V_S = 5V; V_{R2} = V_S - V_{BE} - (-V_{cc}) = 5V - 0,7V - (-12V) = 16,3V;$$

$$I_{E1} = I_{E2} \approx 2,9mA;$$

$$I_B = I_E / \beta = 2,9mA / 100 = 29\mu A$$

$$I_3 = \frac{V_{cc} - (-V_{cc})}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{12V - (-12V)}{1,2K\Omega + 2K\Omega + 2,7K\Omega} \approx 4,1mA$$

Như vậy ta có điều kiện thỏa mãn  $I_B \ll I_3$ .

**3.3.2. Ở khoảng đo 10V, khi điện áp vào là 7,5V thì:**

$$V_G = V_i \frac{R_c + R_d}{R_a + R_b + R_c + R_d} = 7,5V \cdot \frac{60K\Omega + 40K\Omega}{800K\Omega + 100K\Omega + 60K\Omega + 40K\Omega} = 0,75V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 0,75V - (-5V) = 5,75V,$$

$$V_{E1} = V_G - V_{BE} = 0,75V - 0,7V = 0,05V,$$

$$V_{E2} = V_P - V_{BE} = 5V - 0,7V = 4,3V,$$

Điện áp đặt vào cơ cấu đo sẽ là:

$$V = V_{E1} - V_{E2} = 0,05V - 4,3V = -4,25V = V_G;$$

$$I_g = \frac{V}{R_s + R_m} = \frac{0,75V}{1K\Omega} = 0,75mA \text{ (75\% toàn thang đo)}.$$

Như vậy ở thang đo 10V, toàn thang độ là 10V, nên 75% của toàn thang đo sẽ đọc là 7,5V.

### **3.4. Vôn kế transistor khuếch đại.**

Để đo các điện áp nhỏ cần khuếch đại lên đến giá trị cần thiết trước khi đưa vào cơ cấu đo. Nói cách khác phải mở rộng thang đo của vôn kế và tăng độ nhạy của đồng hồ. Sử dụng các linh kiện điện tử, bán dẫn hoặc dùng kỹ thuật toán để thiết kế các mạch khuếch đại.

**3.4.1.. Mạch vôn kế dùng kỹ thuật khuếch đại vi sai.**

Mạch vôn kế khuếch đại vi sai dùng để đo những điện áp rất nhỏ. Sơ đồ nguyên lý của vôn kế chỉ ra trên hình 2-20. Ở đây các điện trở  $R_1$  và  $R_6$  phân cực đáy cho  $Q_1$  và  $Q_2$  ở thế đất khi điện áp vào bằng 0. Lúc này sụt áp trên điện trở  $R_4$  là:

$$V_{R4} = 0 - V_{BE} - (-V_{cc}).$$

Dòng chảy qua  $R_4$  là:

$$I_{E1} + I_{E2} = V_{R4} / R_4.$$

Để thấy các dòng  $I_{E1} = I_{E2}$  khi  $V_i = 0$ . Vì  $I_c \approx I_E$  nên ta có:



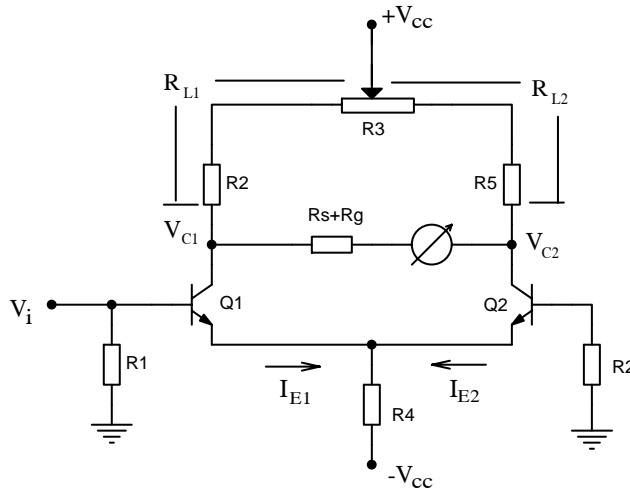
$$I_{C1} = I_{C2} \approx (I_{E1} + I_{E2}) / 2;$$

Và :

$$V_{C1} = V_{CC} - I_{C1} R_{L1} = V_{CC} - I_{C1} \left( R_2 + \frac{R_3}{2} \right);$$

$$V_{C2} = V_{CC} - I_{C2} R_{L2} = V_{CC} - I_{C2} \left( R_2 + \frac{R_3}{2} \right);$$

Điện áp đặt vào cơ cấu đo:  $V = V_{C1} - V_{C2}$



Hình 2-20. Mạch vôn kế khuếch đại vi sai

Khi  $V_i = 0$ ,  $I_{C1} = I_{C2}$  và  $V_{C1} = V_{C2}$ , điện áp đặt vào máy đo bằng 0.

Trên sơ đồ biến trở  $R_3$  được dùng để điều chỉnh mức “zero” của đồng hồ. Nhờ  $R_3$  có thể điều chỉnh để hai nửa vi sai hoàn toàn cân bằng về mặt tải và do đó dòng chạy qua hai transistor, tức là điều chỉnh được  $V_{C1}$  và  $V_{C2}$ .

Giả sử tác dụng vào đáy  $Q_1$  một điện áp dương nhỏ làm dòng  $I_{C1}$  tăng lên. Dòng  $I_{C1}$  tăng lên bao nhiêu thì dòng  $I_{C2}$  giảm xuống bấy nhiêu do 2 nửa mắc vi sai, và điều đó khiến  $V_{C1}$  giảm và  $V_{C2}$  tăng lên. Kết quả là chênh lệch điện áp đặt vào máy đo sẽ tăng lên gấp đôi.

Ta có :  $V = V_{C1} - V_{C2} = A_V \cdot V_i$

Trong đó  $A_V$  là hệ số khuếch đại điện áp của mạch:  $A_V = \frac{h_{fe} R_L}{h_{ie}}$ ;

$h_{fe} = \beta$  – Hệ số khuếch đại dòng điện;

$h_{ie} = R_{BE}$  – Điện trở base-emiter của tranzistor khi nhìn từ đáy của transistor.

Thông thường giá trị  $h_{ie} = 1-2 \text{ K}\Omega$  đối với dòng xoay chiều.

– Ví dụ 1: Mạch vôn kế khuếch đại vi sai như hình 2-20.  $R_2 = R_5 = 4,7\text{K}\Omega$ ,  $R_3 = 500\Omega$ ,  $R_4 = 3,3\text{K}\Omega$ ,  $\pm V_{CC} = \pm 15\text{V}$ . Hãy xác định các mức dòng và áp trong mạch ở chế độ tĩnh (khi  $V_i = 0$ ).

Ta có: khi  $V_i = 0$ ,  $V_{B1} = V_{B2} = 0$ ;

$$I_{E1} + I_{E2} = \frac{0 - V_{BE} - (-V_{CC})}{R_4} = \frac{0 - 0,7V - (-15V)}{3,3K\Omega} = 4,33mA$$

Và:  $I_{E1} = I_{E2} = \frac{4,33mA}{2} = 2,17mA$

$$I_{C1} = I_{C2} \approx I_E = 2,17mA$$

$$V_{RL1} = V_{RL2} = I_C (R_2 + R_3/2) = 2,17mA (4,7K\Omega + 500\Omega/2) = 10,7V$$

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - V_{RL} = 15V - 10,7V = 4,3V.$$

-Ví dụ 2: Các tham số của mạch vôn kế khuếch đại vi sai như ví dụ 1. Các transistor có  $h_{fe} = 80$ ,  $h_{ie} = 1,5K\Omega$ . Cơ cấu đo có dòng lệch toàn thang là  $I_g = 100\mu A$ , điện trở khung dây là  $R_g = 1,2K\Omega$ . Hãy tính giá trị điện trở phụ  $R_S$  để kim điện kế chỉ độ lệch toàn thang khi điện áp vào  $V_i = 10mV$ .

Ta có:

$$A_V = \frac{h_{fe} R_L}{h_{ie}} = \frac{h_{fe} (R_2 + \frac{1}{2} R_3)}{h_{ie}} = 264$$

Điện áp đặt vào cơ cấu đo sẽ là:

$$V = A_V \cdot V_i = 264 \cdot 10mA = 2,64V.$$

$$I_g = V / (R_g + R_S)$$

$$R_S = V / I_g - R_g = 2,64V / 100\mu A - 1,2K\Omega = 25,2K\Omega.$$

### 3.4.2. Mạch vôn kế dùng khuếch đại hồi tiếp.

Sơ đồ nguyên lý mạch của vôn kế khuếch đại hồi tiếp chỉ ra trên hình 2-21. Trong đó  $Q_1$  và  $Q_2$  được mắc như bộ khuếch đại vi sai với nguồn dòng hằng được thiết kế  $I = 2mA$ ;

$$Ta\ có\ I = I_{C1} + I_{C2} = 2I_{C1} = 2I_{C2} = 2mA;$$

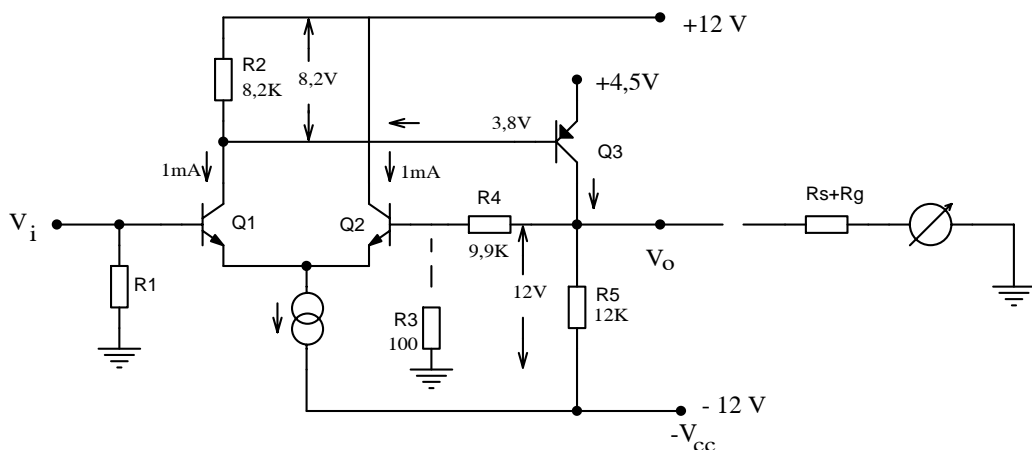
Sụt áp trên điện trở  $R_2$  là:

$$V_{R2} = I_{C1} R_2 = 1mA \cdot 8,2K\Omega = 8,2V.$$

Thế collector của  $Q_1$  sẽ là:

$$V_{C1} = V_{CC} - V_{R2} = 12V - 8,2V = 3,8V.$$

Vì cực đáy  $Q_3$  được nối với collector  $Q_1$  nên ta có:  $V_{B3} = V_{C2} = 3,8V$ .



Hình 2-20. Vôn kế transistor khuếch đại hồi tiếp.

Transistor  $Q_3$  được cấp nguồn  $V_{EE} = +4,5V$ , điện áp tiếp giáp B-E của  $Q_3$  là  $0,7V$ . Nếu mạch thiết kế để sao cho  $I_{C3} = 1mA$ , thì sụt áp trên  $R_5$  sẽ là:

$$V_{R5} = I_{C3}R_5 = 1mA \cdot 12K\Omega = 12V;$$

$$\text{Và } V_{C3} = -V_{CC} + V_{R5} = -12V + 12V = 0V.$$

$$V_{B2} \equiv V_{C3} = 0V.$$

Như vậy thế cực đáy của  $Q_1$  và  $Q_2$  đều bằng  $0V$  khi điện áp vào  $V_i = 0$ .

Với cách mắc  $Q_3$  như vậy làm cho điện áp base  $Q_2$  luôn luôn cân bằng với điện áp base của  $Q_1$ . Thật vậy, ta giả sử rằng  $V_{B2} < V_{B1}$ , dẫn tới dòng  $I_{C2} < I_{C1}$  và làm cho  $V_{R2}$  tăng lên, khiến  $V_{C1}$  giảm, dòng đáy  $I_{B3}$  tăng,  $I_{C3}$  tăng và  $V_{R5}$  tăng làm cho  $V_{C3}$  tăng kéo  $V_{B2}$  tăng trở lại. Ngược lại, nếu  $V_{B2} > V_{B1}$  thì quá trình hồi tiếp sẽ làm cho  $I_{C3}$  giảm,  $V_{C3}$  giảm và kéo  $V_{B2}$  giảm xuống bằng  $V_{B1}$ .

Như vậy trong mọi trường hợp thế đáy  $Q_1$  và  $Q_3$  luôn tự động cân bằng lẫn nhau. Nếu thế đáy của  $Q_1$  tăng lên cao hơn hoặc xuống thấp hơn mức  $0$  thì đáy của  $Q_2$  cũng biến đổi lặp lại đúng như vậy. Nếu mắc máy đo vào đầu ra như trên hình vẽ 2-20, mạch sẽ hoạt động giống như một vôn kế mạch gánh emitter tuyệt vời. Để mạch có thể hoạt động tốt các transistor  $Q_1$  và  $Q_2$  phải hoàn toàn giống nhau.

Bây giờ giả sử mắc thêm một điện trở  $R_3 = 100\Omega$  (đường chấm chấm), mạch vẫn duy trì trạng thái cân bằng thế đáy của  $Q_2$  và  $Q_1$ .

Khi tác dụng vào đáy  $Q_1$  điện áp  $V_i = 10mV$ , đầu ra cũng tăng tới mức điện áp  $V_{B2} = 10mV$ . Vì  $R_3$  và  $R_4$  là bộ chia áp nên điện áp trên điện trở ( $R_3 + R_4$ ) là:

$$V_o = 10mV \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$

$$\text{Hay } V_o = V_i \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3} = 10mV \cdot \frac{9,9K\Omega + 100\Omega}{100\Omega} = 1V;$$

Như vậy điện áp vào  $10mV$  đã được khuếch đại lên thành điện áp ra  $1V$ , và độ lớn  $1V$  có thể đưa vào cơ cấu đo. Độ khuếch đại của mạch là:

$$A_v = \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$

–*Ví dụ:* Mạch vôn kế khuếch đại hồi tiếp như hình 2-21 sử dụng điện kế từ điện có dòng lệch toàn thang  $I_g = 1mA$ . Điện trở của mạch máy đo là  $R_s + R_g = 1K\Omega$ . Hãy xác định điện áp đầu vào khi kim máy đo chỉ 25% độ lệch toàn thang, tính dòng  $I_{C3}$  lúc đó.

Ta có khi điện kế chỉ 25% độ lệch toàn thang có nghĩa là dòng qua máy đo lúc này bằng:

$$I_g = 25\% 1mA = 0,25mA;$$

$$\text{Điện áp ra: } V_o = I_g (R_s + R_m) = 0,25mA \cdot 1K\Omega = 250mV;$$

Điện áp vào:

$$V_i = V_{R3} = V_o \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 250mV \cdot \frac{100\Omega}{100\Omega + 9,9K\Omega} = 2,5mV.$$

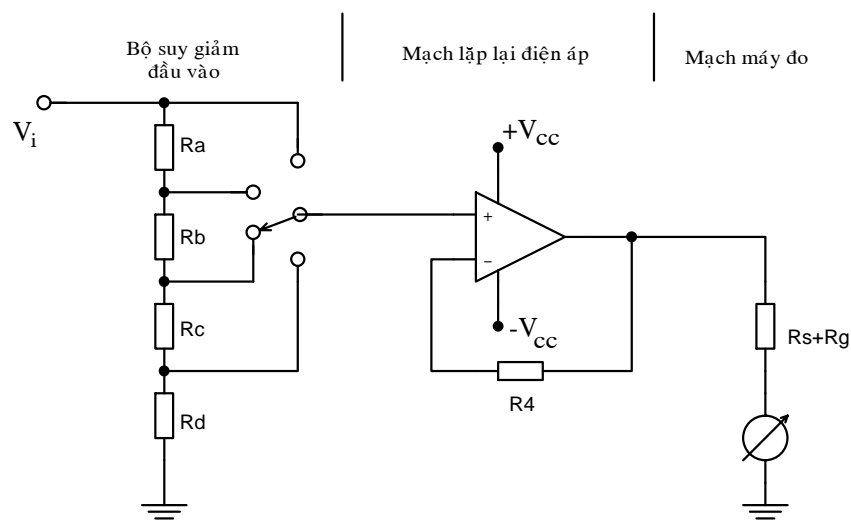
Dòng trên collector Q<sub>3</sub> sẽ là:

$$\begin{aligned} I_{C3} &= I_{R4} + I_{R5} + I_g = \frac{V_o}{R_3 + R_4} + \frac{V_o - (-V_{CC})}{R_5} + I_g \\ &= \frac{250mA}{100\Omega + 9,9K\Omega} + \frac{250mV - (-12V)}{12K\Omega} + 0,25mA \approx 1,3mA \end{aligned}$$

### 3.5. Vôn kế sử dụng mạch khuếch đại thuật toán (OP- AMP).

#### 3.5.1. Vôn kế dùng mạch khuếch đại lặp lại.

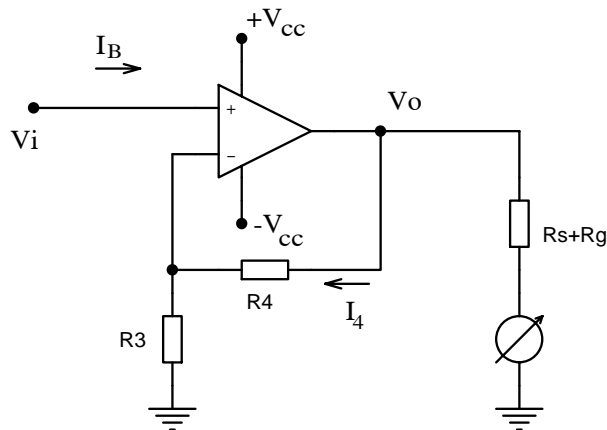
Sơ đồ của vôn kế trên khuếch đại thuật toán mắc theo kiểu lặp lại điện áp như trên hình 2-22. Tầng lặp lại điện áp dùng OP-AMP có ưu điểm là mạch đơn giản, trở kháng lối vào rất lớn, trở kháng ra nhỏ để phối hợp với mạch đo.



Hình 2-22. Vôn kế dùng mạch khuếch đại thuật toán

#### 3.5.2. Vôn kế khuếch đại trên OP-AMP.

Đối với các tín hiệu điện áp nhỏ cần phải khuếch đại lên mức cần thiết trước khi đưa vào mạch đo. Sơ đồ mạch vôn kế khuếch đại cơ bản như hình 2-23.



Hình 2-23. Vôn kế khuếch đại trên OP-AMP

Mạch mắc theo kiểu khuếch đại không đảo. Hệ số khuếch đại của mạch phụ thuộc vào tỷ số của mạch phân áp trên  $R_3$  và  $R_4$ :

$$A_V = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (2-17)$$

Dòng qua bộ phân áp  $I_4$  được chọn lớn hơn rất nhiều so với dòng vào  $I_B$ , do đó dòng  $I_B$  không có ảnh hưởng lớn tới điện áp hồi tiếp. Điện trở toàn phần  $R_3 + R_4$  được tính như sau:

$$R_3 + R_4 = V_o / I_4 \quad (2-18)$$

Vì  $V_{R_3} = V_i$  nên:

$$R_3 = V_i / I_4 \quad (2-19)$$

– Ví dụ: Sơ đồ của một vôn kế khuếch đại trên OP-AMP như hình 2-23. Hệ số khuếch đại điện áp của OP-AMP là  $A_V = 200.000$  và dòng định thiên vào  $I_B = 0,2 \mu A$ . Điện áp cần đo có giá trị cực đại  $20 \text{ mV}$ ; Cơ cấu đo có dòng lệch toàn thang là  $I_g = 100 \mu A$ ,  $R_S + R_g = 10 \text{ K}\Omega$ . Hãy xác định các giá trị thích hợp của  $R_3$  và  $R_4$  và tính điện trở vào của vôn kế.

Từ hình vẽ ta có: Điều kiện đặt ra là  $I_4 \gg I_B$ , Ta chọn:

$$I_4 = 1000 I_B = 1000 \cdot 0,2 \mu A = 0,2 \text{ mA}$$

Tại độ lệch toàn thang đo:  $I_g = 100 \mu A$  và:

$$V_o = I_g (R_S + R_g) = 100 \mu A \cdot 10 \text{ K}\Omega = 1 \text{ V}.$$

Ta có:

$$R_3 + R_4 = V_o / I_4 = 1 \text{ V} / 0,2 \text{ mA} = 5 \text{ K}\Omega$$

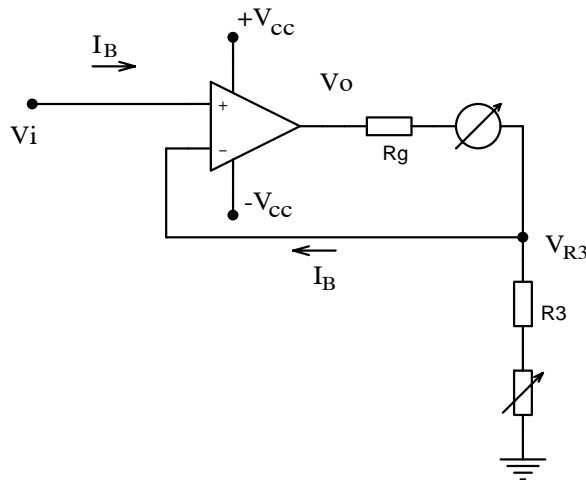
$$R_3 = V_i / I_4 = 20 \text{ mV} / 0,2 \text{ mA} = 100 \Omega;$$

$$R_4 = (R_3 + R_4) - R_3 = 5 \text{ K}\Omega - 100 \Omega = 4,9 \text{ K}\Omega;$$

Điện trở vào của mạch đo:  $R_i = V_i / I_B = 20 \text{ mV} / 0,2 \mu A = 100 \text{ K}\Omega$ .

**3.5.3. Vôn kế sử dụng mạch biến đổi điện áp thành dòng điện.**

Sơ đồ nguyên lý mạch chỉ ra trên hình 2-24.



Hình 2-24. Vôn kế sử dụng mạch biến đổi điện áp thành dòng điện

Với mạch khuếch đại không đảo, điện áp trên  $R_3$  ( $V_{R3}$ ) luôn biến đổi lặp lại giá trị của điện áp vào. Như vậy dòng chạy qua điện kế sẽ là:

$$I = \frac{V_i}{R_3} \tag{2-20}$$

Nếu biết dòng lệch toàn thang của điện kế là  $I_g$  thì giá trị của điện trở  $R_3$  sẽ được tính:

$$R_3 = V_i / I_g \tag{2-21}$$

Điện trở  $R_3$  thường được thiết kế thành một phần cố định và một phần là biến trở có thể điều chỉnh được. Với cách mắc như vậy ta dễ dàng chuẩn độ được thang đo của đồng hồ.

- Ví dụ: Cho mạch vôn kế sử dụng mạch biến đổi điện áp thành dòng điện như hình 2-24. Cơ cấu đo có dòng lệch toàn thang là  $I_g = 1\text{mA}$ ,  $R_g = 100 \Omega$ . Hãy tính giá trị của điện trở  $R_3$  sao cho với điện áp vào là  $V_i = 1\text{V}$  thì kim điện kế chỉ độ lệch toàn thang. Xác định điện áp tối đa ở đầu ra của OP-AMP.

Ta có :

$$R_3 = V_i / I_g = 1\text{V} / 1\text{mA} = 1\text{k}\Omega$$

$$V_o = I(R_3 + R_g) = 1\text{mA} (1\text{k}\Omega + 100 \Omega) = 1,1 \text{ V.}$$

**3.6. Đo điện áp xoay chiều.**

Do cơ cấu từ điện chỉ đo được các điện áp một chiều. Để dụng cụ có thể đo được điện áp dòng xoay chiều, người ta sử dụng các mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ hoặc cả chu kỳ trên các linh kiện bán dẫn. Đối với các điện áp xoay chiều thấp cần được khuếch đại lên trước khi chỉnh lưu và đưa vào mạch đo. Tùy thuộc vào trị số điện áp cần đo mà thiết kế mạch tách sóng tương ứng:

- Tách sóng đỉnh (hoặc biên độ);

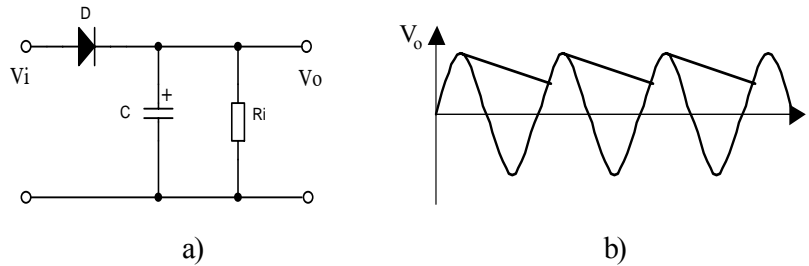
- Tách sóng trung bình;
- Tách sóng hiệu dụng.

**3.6.1. Các mạch tách sóng đỉnh.**

Trong mạch tách sóng đỉnh, biên độ của điện áp ra tỉ lệ với trị số biên độ điện áp vào:  $V_o = |V_{i\max}|$ . Có 3 kiểu tách sóng đỉnh:

a) Tách sóng đỉnh ngõ vào diode.

Sơ đồ nguyên lý của mạch tách sóng đỉnh ngõ vào diode trên hình 2-25, a.



Hình 2-25

Khi  $V_i > V_C$  (thế trên tụ), diode D dẫn, tụ C được nạp tới  $V_{i\max}$ .

Khi  $V_i < V_C$ , diode D bị khóa, tụ C xả điện qua điện trở  $R_i$ . Điện áp lối ra biến đổi theo quy luật:

$$V_o = V_{i\max} \cdot e^{-\frac{t}{R_i C}} \tag{2-22}$$

Nếu  $R_i$  lớn thì  $V_o \cong V_{i\max}$ .

-*Nhận xét.* Mạch khảo sát mắc phải sai số do thế phân cực thuận cho diode:  $V_D$ , đồng thời phụ thuộc vào điện trở thuận  $R_{th}$  và điện trở nghịch  $R_{ng}$  của diode.

- Khi  $V_i > V_D$ , diode mới dẫn. Khi diode dẫn thì điện trở thuận  $R_{th}$  của diode thay đổi theo dòng đi qua diode, dẫn tới làm thay đổi thời hằng của mạch nạp  $\tau_n = R_{th}C$ .

- Do tồn tại điện trở nghịch của diode  $R_{ng}$  mắc song song với  $R_i$ , nên khi diode ngưng dẫn, tụ C xả qua điện trở  $R_i // R_{ng}$ , dẫn đến làm thay đổi thời hằng của

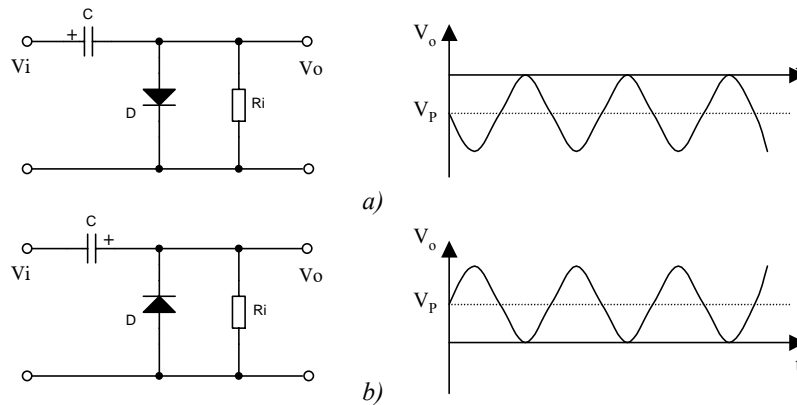
mạch phóng  $\tau_p = \frac{R_i R_{ng}}{R_i + R_{ng}} \cdot C$ .

b) Tách sóng đỉnh ngõ vào tụ. (Phương pháp mạch ghim điện áp).

+ Mạch ghim đỉnh dương (hình 2-26, a)

- Ở bán kỳ dương của điện áp tín hiệu, D thông, tụ C được nạp tới trị đỉnh  $V_P$ .

. – Ở bán kỳ âm, diode D khóa, thế atốt của D bằng thế vào hình sin cộng với  $V_P$ , kết quả mức DC của điện áp ra bị dịch xuống dưới trục hoành một mức bằng  $V_P$ . Nếu mắc lối ra với cơ cấu đo, ta sẽ đo được trị trung bình của điện áp  $V_o$ , tức giá trị đỉnh  $V_P$ .



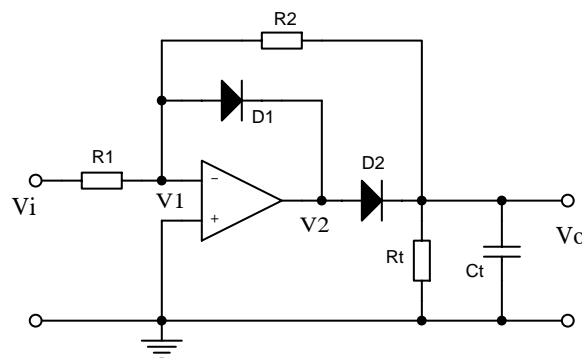
Hình 2-26. Phương pháp mạch ghim điện áp

+ Mạch ghim đỉnh âm (hình 2-26, b).

Sơ đồ ghim đỉnh âm chỉ ra trên hình 2-26, b. Hoạt động của mạch tương tự như ở sơ đồ ghim đỉnh dương. Ở bán kỳ âm tín hiệu D thông, C nạp tới trị đỉnh  $V_P$  với cực tính như hình vẽ. Ở bán kỳ dương của tín hiệu, D khóa, điện áp ra trên tải  $R_i$  bằng thế vào hình sin cộng với  $V_P$ ,

c) Mạch tách sóng biên độ dùng OP-AMP.

Các mạch tách sóng đỉnh (hoặc biên độ) ở trên đều mắc phải sai số do thế phân cực thuận cho diode  $V_D$ , do vậy khi điện áp tín hiệu bé gây méo phi tuyến đáng kể. Hiện nay trong các thiết bị đo người ta dùng phổ biến các mạch tách sóng biên độ trên khuếch đại thuật toán (hình 2-27).



Hình 2-27. Tách sóng biên độ trên OP-AMP

Mạch mắc theo sơ đồ khuếch đại đảo. Ở những nửa chu kỳ dương của điện áp tín hiệu  $V_i$ , điện áp  $V_2$  lối ra OP-AMP sẽ âm, diode  $D_1$  mở,  $D_2$  khóa. Lối ra của khuếch đại thuật toán nối với lối vào qua điện trở thuận rất nhỏ của  $D_1$  nên tạo ra hồi



tiếp âm sâu. Kết quả điện áp trên lối ra OP-AMP bằng điện áp trên lối vào của nó và gần bằng 0. Điện áp lối ra của mạch tách sóng cũng bằng 0. Ở những nửa chu kỳ âm của điện áp điện áp  $V_i$ , thế lối ra  $V_2$  của OP-AMP sẽ dương làm  $D_1$  khóa và  $D_2$  mở. Lúc này điện áp trên lối ra của mạch tách sóng sẽ xác định theo hệ thức:

$$V_o = V_2 = -V_i \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (2-23)$$

**3.6.2. Vôn kế tách sóng trung bình.**

Để đo trị trung bình của điện áp tín hiệu, người ta sử dụng mạch tách sóng trung bình. Điện áp lối ra tính theo công thức:

$$V_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T |v(t)| dt \quad (2-24)$$

Các phần tử tách sóng là diode Ge hoặc Si làm việc trên đoạn thẳng của đặc tuyến, do vậy tín hiệu đưa vào phải đủ lớn.

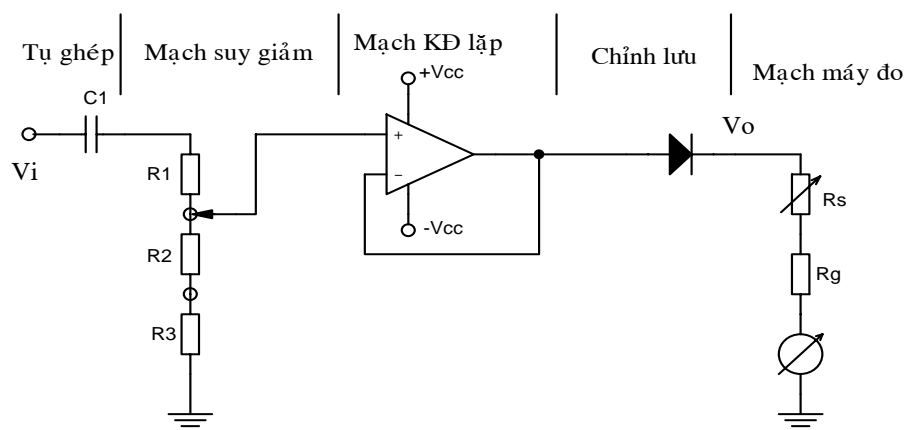
Sơ đồ mạch của một vôn kế chỉnh lưu trung bình được chỉ ra trên hình 2-28. Ở đầu vào là tụ ghép  $C_1$  để ngăn các thành phần một chiều không mong muốn. Tín hiệu được đưa qua mạch suy giảm lối vào, sau đó qua tầng khuếch đại lặp lại trên OP-AMP để tăng trở kháng lối vào của mạch. Điện áp lối ra của mạch lặp áp được đưa qua mạch chỉnh lưu trước khi đưa tới mạch máy đo.

Vì các giá trị: trị đỉnh  $V_p$ , trị hiệu dụng  $V$ , trị trung bình  $V_{tb}$  đều có mối liên hệ với nhau, nên có thể khắc độ đồng hồ theo một trong 3 đại lượng:

$$V_p = \sqrt{2}V ; \quad (2-25)$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} V_p ; \quad (2-26)$$

$$V_{tb} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_p \sin \theta d\theta = \frac{2V_p}{\pi} \approx 0,6V_p \quad (2-27)$$

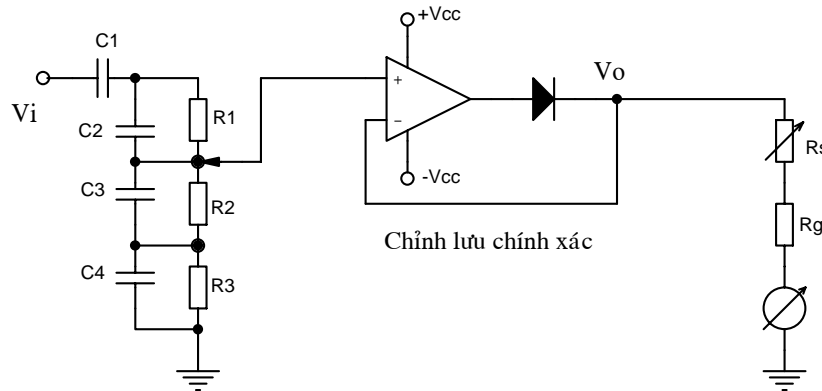


Hình 2-28. Vôn kế tách sóng trung bình

Các quan hệ trên không thay đổi đối với mọi tần số dạng sóng sin. Với các điện áp khác dạng sin phải tiến hành hiệu chỉnh.

Đối với mạch chỉnh lưu nửa sóng như hình 2-28 thì sụt áp thuận trên diode  $V_D$  sẽ gây ra sai số cho mạch đo. Khi thiết kế thường có tính đến đối với độ lệch toàn thang. Tuy nhiên, ở các điểm khác trên thang đo sẽ xuất hiện sai số do  $V_D$  gây ra, mặt khác giá trị của  $V_D$  không phải luôn luôn bằng 0,7V đối với diode Si như thường giả định, mà nó thay đổi theo nhiệt độ.

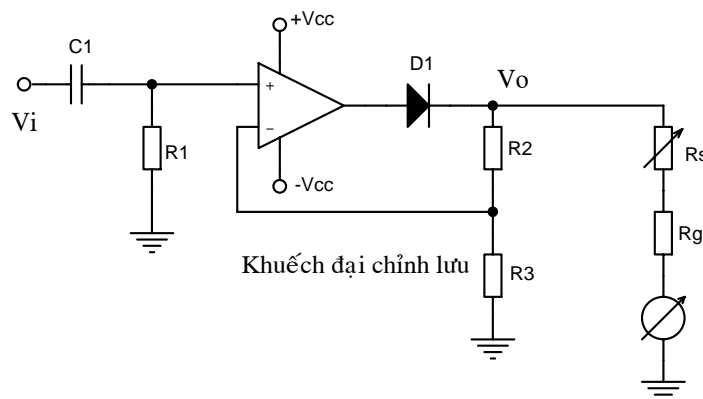
Để loại bỏ sai số do điện áp ngưỡng  $V_D$  gây ra người ta mắc diode chỉnh lưu trong vòng hồi tiếp của mạch lặp áp như hình 2-29. Kết quả đầu ra bộ chỉnh lưu nửa sóng lặp lại chính xác nửa chu kỳ dương của điện áp vào. Các tụ điện  $C_2, C_3$  và  $C_4$  mắc song song với các điện trở của bộ suy giảm nhằm mục đích bù trừ điện dung vào của bộ khuếch đại đối với điện áp xoay chiều.



Hình 2-29. Vôn kế sử dụng mạch chỉnh lưu chính xác

Đối với các điện áp xoay chiều nhỏ cần được khuếch đại chính xác trước khi chỉnh lưu và đưa vào mạch đo. Mạch khuếch đại chỉnh lưu nửa sóng chính xác như hình 2-30. Hệ số khuếch đại của mạch phụ thuộc tương quan giữa các điện trở của cầu phân áp  $R_2, R_3$ :

$$A_V = \frac{R_2 + R_3}{R_3} \tag{2-28}$$



Hình 2-30. Vôn kế xoay chiều đo các tín hiệu nhỏ

Việc tính toán các điện trở phụ nối tiếp với cơ cấu đo cũng hoàn toàn tương tự như các tính toán đối với các vôn kế từ điện. Tuy nhiên trong trường hợp này, điện áp tối đa đặt vào điện kế và điện trở nối tiếp với nó là  $A_V V_i$ .

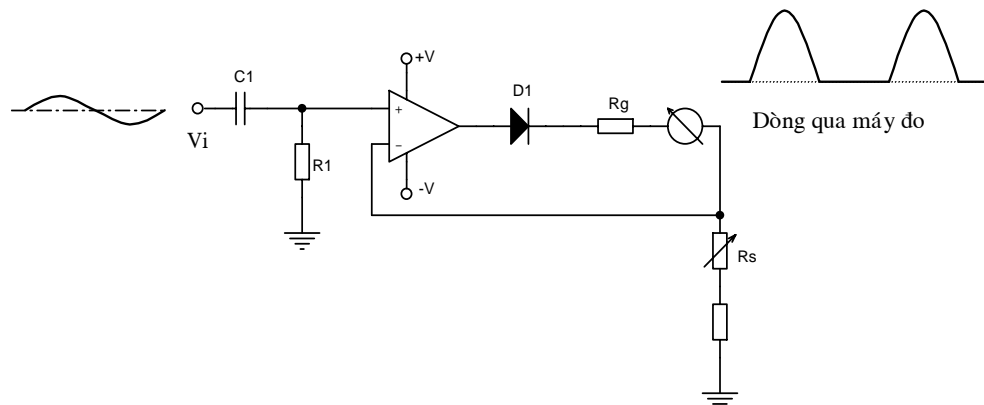
Trên hình 2-31 là mạch biến đổi điện áp thành dòng điện với bộ chỉnh lưu nửa sóng. Hoạt động của mạch tương tự như mạch hình 2-24 đối với những nửa chu kỳ dương của điện áp tín hiệu. Trong các nửa chu kỳ âm, diode bị thiên áp ngược nên khóa và không có dòng qua máy đo.

Dòng cực đại qua máy đo là:

$$I_m = \frac{V_{iP}}{R_S} \quad (2-29)$$

Dòng trung bình qua máy đo là :

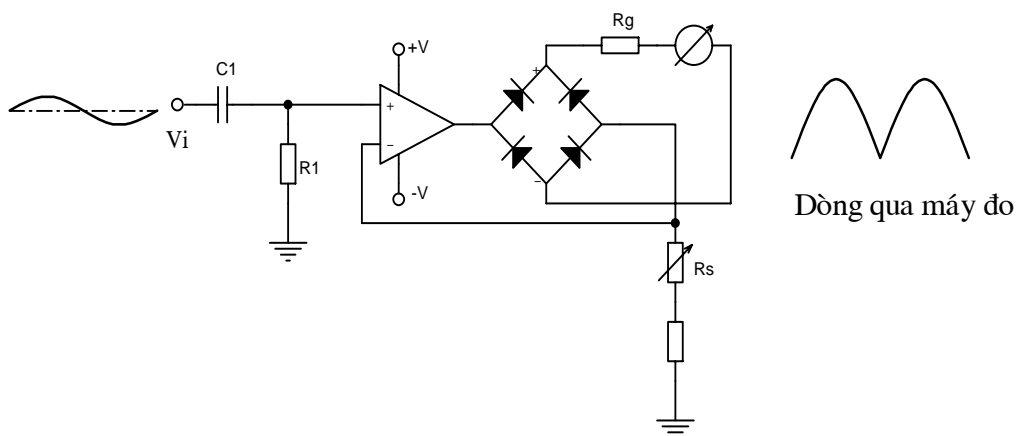
$$I_{tb} = 1/2 (0,637 I_m) \quad (2-30)$$



Hình 2-31. Mạch biến đổi điện áp thành dòng điện với chỉnh lưu nửa sóng

Để giảm tổn hao nguồn và tăng độ nhạy của mạch đo thường sử dụng mạch chỉnh lưu toàn sóng như hình 2-32. Lúc này, dòng cực đại của máy đo vẫn tính theo công thức (2-29), tuy nhiên dòng trung bình qua máy đo sẽ tăng gấp đôi, tức là:

$$I_{tb} = 0,637 I_m \quad (2-31)$$



Hình 2-32. Bộ đổi điện áp thành dòng điện với bộ chỉnh lưu toàn sóng chính xác.

### 3.6.3. Vôn kế tách sóng hiệu dụng.

Để đo trị hiệu dụng của điện áp tín hiệu, sử dụng các mạch tách sóng hiệu dụng. Ta có, trị hiệu dụng của điện áp tính theo công thức:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2-32)$$

Mạch phải thực hiện 3 chức năng: bình phương, lấy trung bình và khai căn. Muốn vậy phải có các phần tử sau:

- Phần tử tách sóng có đặc tuyến bậc 2 để làm thuật toán bình phương;
- Phần tử lọc để lấy trị trung bình;
- Phần tử thực hiện phép khai căn.

Nói chung, phương trình biểu thị dạng đặc tuyến của phần tử tách sóng có dạng:

$$I = \alpha u + \beta u^2, \quad (2-33)$$

Nếu điện áp đo là điện áp biến đổi có chu kỳ nhưng có dạng phức tạp:

$u_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin k\omega t$ , thì dòng tách sóng được xác định qua đặc tuyến Vôn-ampe là:

$$i = \alpha (U_{m1} \sin \omega t + U_{m2} \sin 2\omega t + \dots) + \beta (U_{m1} \sin \omega t + U_{m2} \sin 2\omega t + \dots)^2;$$

Thực hiện các biến đổi lượng giác cần thiết, ta có thể tách riêng thành phần một chiều. Để đo dòng này ta mắc một  $\mu A$  song song với một tụ điện. Dòng này bằng:

$$I_o = \frac{1}{2} \beta \sum_{k=1}^{\infty} U_{ak}^2 \quad (2-34)$$

Nếu thay  $U_{mk} = U_k \sqrt{2}$  &  $\sum U_k^2 = U^2$ . Ta có:

$$I_o = \beta U^2 \quad (2-35)$$

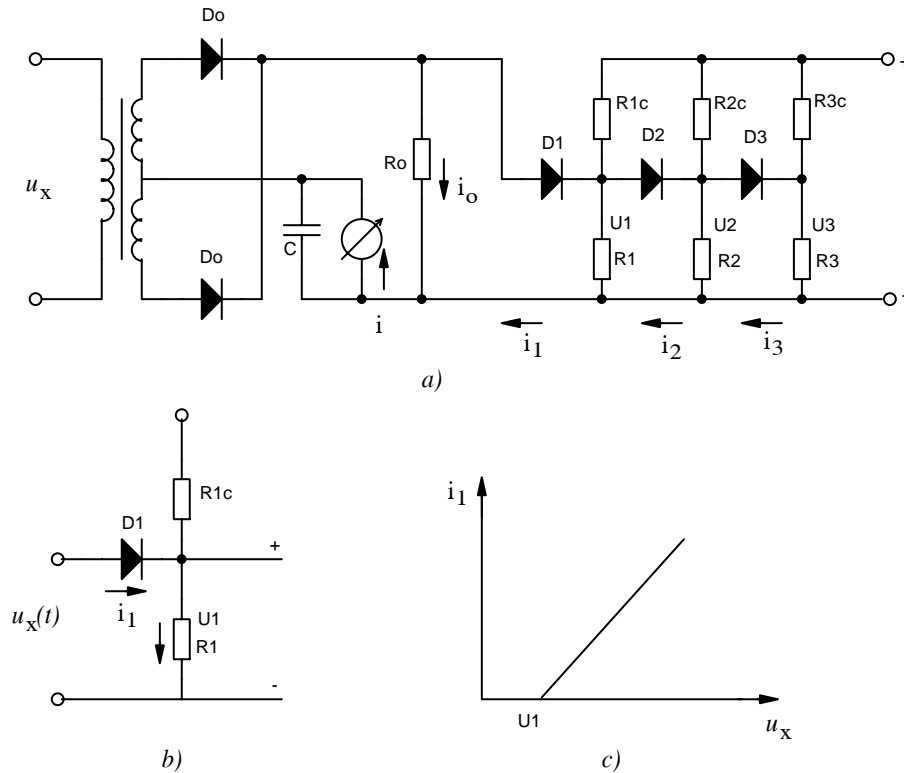
Như vậy, dòng tách sóng tỉ lệ với bình phương trị hiệu dụng của điện áp đo, nó không phụ thuộc vào dạng điện áp, do vậy vôn mét loại này có thể đo được các dạng điện áp khác nhau.

Có nhiều phương pháp tách sóng hiệu dụng khác nhau:

- Dùng hiệu ứng Hall;
- Dùng mạch tạo hàm bậc 2 trên các mắt diode.

#### a. Mạch tạo hàm bậc 2.

Trên hình 2-33 là sơ đồ nguyên lý của mạch tạo hàm bậc 2 nhờ các mắt điện trở – diode. Mỗi mắt được cấu tạo từ một diode và một bộ phân áp bằng điện trở (hình 2-33, b).



**Hình 2-33. Mạch tách sóng hiệu dụng dùng các mắt diode**

Để đơn giản, ta giả sử diode có điện trở thuận  $R_{th} = 0$ , và điện trở nghịch là  $R_{ng} = \infty$ . Như vậy sẽ không có dòng qua diode khi điện áp đặt lên nó nhỏ hơn điện áp khoá của diode (hình 2-33, c).

Các mắt diode được mắc nối tiếp với nhau bằng các mạch phân áp. Các điện trở được bố trí sao cho trị số điện áp khóa của diode sau lớn hơn trị số điện áp khóa của diode đứng trước nó:

$$U_1 < U_2 < U_3 < \dots;$$

Hoạt động của mạch như sau:

Khi điện áp vào  $U_x(t) < U_1$ , các diode  $D_1, D_2$  và  $D_3$  bị khóa. Dòng điện qua mạch  $R_0$  và đồng hồ đo là  $i_0$ .

Khi  $U_1 < U_x(t) < U_2$ , diode  $D_1$  mở, các diode  $D_2$  và  $D_3$  khóa. Dòng qua đồng hồ đo là  $i_0 + i_1$ .

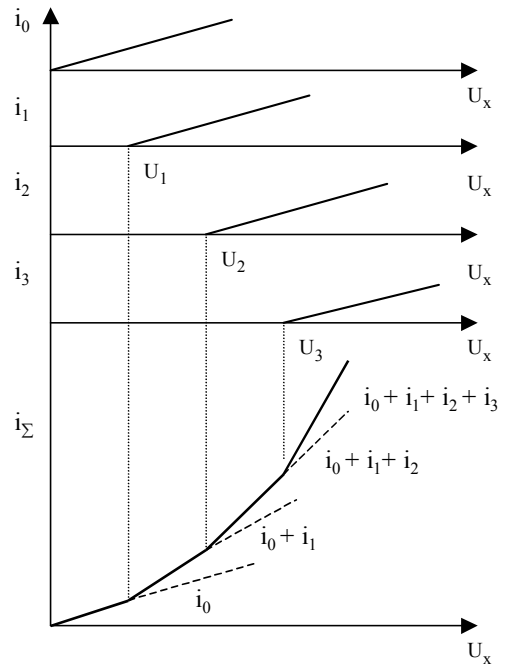
Khi  $U_2 < U_x(t) < U_3$ , các diode  $D_1, D_2$  mở,  $D_3$  khóa. Dòng qua mạch đồng hồ là bây giờ là  $i_0 + i_1 + i_2$ .

Khi  $U_3 < U_x(t)$ , các diode  $D_1, D_2$  và  $D_3$  đều dẫn. Dòng tổng cộng qua mạch đồng hồ sẽ là  $i_0 + i_1 + i_2 + i_3$ .

Kết quả đặc tính vôn – ampe của mạch biến đổi sẽ có dạng gần đúng như một nửa parabol (hình 2-34).

Nếu số mắt điện trở - diode càng nhiều thì đặc tuyến của mạch càng gần đúng bậc hai.

Các vôn mét điện tử có mạch tách sóng dùng đặc tuyến bậc hai trên cơ sở các mắt diode – điện trở như đã trình bày là B3-6, B3-18.

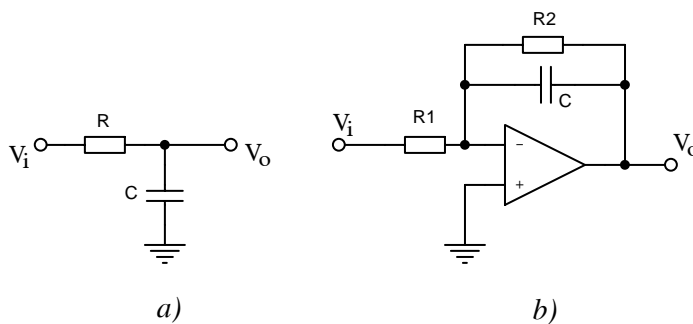


Hình 2-34.

Đặc tính vôn-ampe của mạch tạo hàm bậc hai trên các mắt diode

*b. Mạch lấy trị trung bình.*

Sử dụng mạch lọc RC đơn giản (hình 2-35, a) hoặc dùng kết hợp mạch khuếch đại thuật toán (hình 2-35, b).



Hình 2-35

Đối với sơ đồ hình 2-35, a ta có:

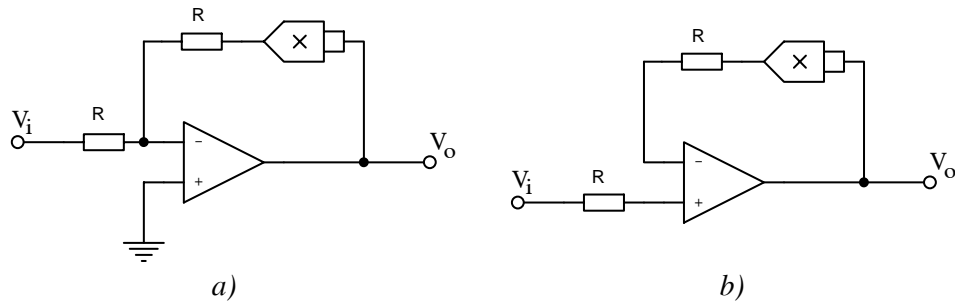
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (2-36)$$

Đối với sơ đồ hình 2-35, b:

$$\frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_2 // \frac{1}{j\omega C}}{R_1} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega CR_2} \quad (2-37)$$

c) Mạch khai căn.

Mắc một mạch nhân trong vòng hồi tiếp của một mạch khuếch đại ta sẽ được điện áp lối ra là căn bậc 2 của điện áp lối vào (hình 2-36).



Hình 2-36. Mạch khai căn

Đối với hình 2-36, a ta có:  $V_i = -AV_o \Rightarrow V_o = \sqrt{-\frac{V_i}{A}}$  (2-38)

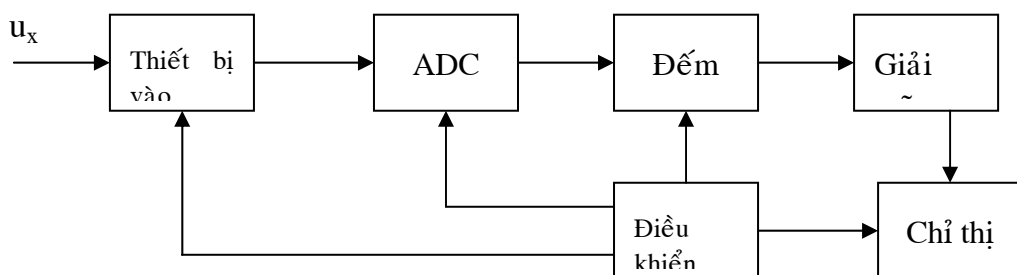
Đối với sơ đồ hình 2-36, b thì:

$$V_i = AV_o \Rightarrow V_o = \sqrt{\frac{V_i}{A}}$$
 (2-39)

## § 4. ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG CÁC VÔN MÉT SỐ

### 4.1. Khái niệm chung.

Trong các vôn mét hiện số, kết quả đo được chỉ thị bằng số trên mặt của đồng hồ đo bằng một trong các bộ chỉ thị đã nói đến trong chương 1. Sơ đồ cấu trúc của một vôn mét số như hình 2-37.



Hình 2-37. Sơ đồ cấu trúc của một vôn

Thiết bị vào chứa bộ suy giảm, bộ chuyển mạch chọn thang đo, chọn dạng điện áp đo: DC hay AC. Nếu là thang đo điện áp xoay chiều thì mạch chứa cả phần tách sóng.

ADC (Analog to Digital Converter) – Khối chức năng thực hiện biến đổi điện áp tương tự lối vào sang dạng số.

Điện áp lối ra ADC là dạng mã số được đưa vào bộ đếm, kết quả đếm sẽ được đưa qua khối giải mã và đưa ra chỉ thị.

Hoạt động của các khối chức năng được điều khiển nhờ khối điều khiển chung.

Phần chức năng quan trọng nhất của vôn kế số là khối biến đổi ADC. Có nhiều phương pháp thực hiện chức năng trên, tuy nhiên trong các vôn kế thường sử dụng các phương pháp sau:

- Phương pháp biến đổi điện áp sang tần số (V/F);
- Phương pháp biến đổi điện áp sang khoảng thời gian (V/T);
- Phương pháp xấp xỉ gần đúng liên tiếp.

**4.2. Phương pháp biến đổi điện áp sang tần số.**

**4.2.1. Nguyên tắc.**

Điện áp cần đo được biến đổi sang tần số theo quan hệ bậc nhất

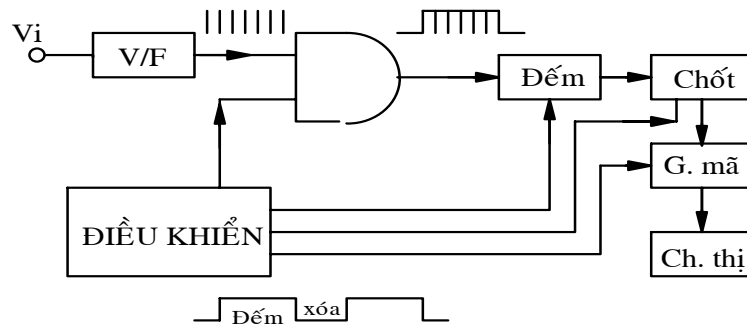
$$f = \alpha V_i \tag{2-40}$$

Sau đó đo trị trung bình của tần số trong một khoảng thời gian xác định

$$f_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T f dt = \alpha V_o \tag{2-41}$$

**4.2.2. Sơ đồ nguyên lý**

Sơ đồ nguyên lý của một vôn kế số thực hiện theo nguyên tắc biến đổi V/F chỉ ra trên hình 2-38.



Hình 2-38.

Điện áp cần đo  $V_i$  được biến đổi sang tần số  $f_x$ , sau đó  $f_x$  được đo bằng cách đếm số xung trong một khoảng thời gian xác định. Xung đi vào bộ đếm được điều khiển bởi sự đóng mở của cửa chọn xung AND. Cửa AND chỉ cho xung nhịp qua trong khoảng thời gian tồn tại của xung điều khiển. Giả sử độ rộng xung điều khiển là  $\tau$ ; chu kỳ của xung clock là  $T_x$ ; Số xung đi vào bộ đếm trong khoảng thời gian mở cửa là  $N$ . Như vậy ta có:

$$N T_x = \tau, \text{ hay } T_x = \tau / N \Rightarrow f_x = N / \tau.$$

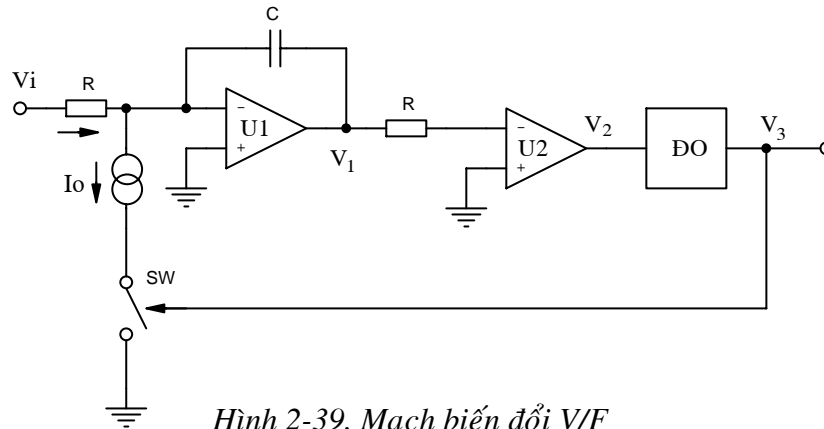


Nếu chọn  $\tau = 1s$  thì  $f_x = N$ . Số đếm được đưa qua mạch chốt sau đó đưa qua mạch giải mã và chỉ thị.

Hết thời gian mở cửa, bộ điều khiển phát xung xóa kết quả ở bộ đếm, và bộ đếm lại chuẩn bị chu kỳ mới.

**4.2.3. Bộ biến đổi điện áp sang tần số (V/F).**

Điện áp cần đo được biến đổi thành một dãy xung có chu kỳ lặp lại tỉ lệ với điện áp đo. Sơ đồ nguyên lý của bộ biến đổi điện áp sang tần số (V/F) như hình 2-39



Hình 2-39. Mạch biến đổi V/F

Hoạt động của mạch như sau:

Giả sử thế lối vào  $V_i > 0$ , Thế lối ra mạch tích phân trên  $U_1$  sẽ là:

$$V_1 = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i dt = -\frac{V_i t}{RC} \tag{2-41}$$

$V_1 < 0$ , thế đi xuống, khi đi qua 0 mạch so sánh trên  $U_2$  phát hiện lật trạng thái từ 0 lên 1 kích mạch đơn ổn phát xung độ rộng  $t_0$ . Xung này đóng cửa nguồn dòng  $I_0$ . Nguồn dòng được thiết kế với điều kiện  $I_0 > V_i / R$ . Lúc này thế lối ra mạch tích phân sẽ là:

$$V_1 = \frac{I_0 t}{C} - \frac{V_i t}{C} > 0 \tag{2-42}$$

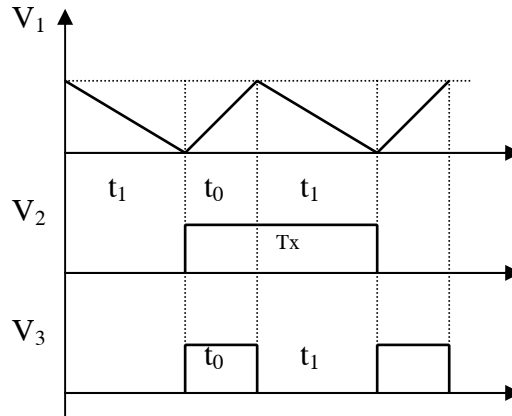
$V_1 > 0$ , Thế lối ra mạch tích phân sẽ đi lên trong khoảng thời gian  $t_0$ . Hết thời gian  $t_0$ , nguồn dòng bị cắt (chuyển mạch SW bị hở mạch), và thế lối ra mạch tích phân lại đi xuống trong khoảng thời gian  $t_1$ . Khi qua 0 mạch so sánh lại lật trạng thái và kích mạch đơn ổn phát xung đóng cửa nguồn dòng, tiếp tục chu kỳ tiếp theo. Như vậy ta có:

$$\frac{I_0 t_0}{C} - \frac{V_i t_0}{RC} = \frac{V_i t_1}{RC}$$

$$\frac{V_i(t_1 + t_0)}{RC} = \frac{I_0 t_0}{C} ; \Rightarrow V_i T_x = I_0 t_0 R$$

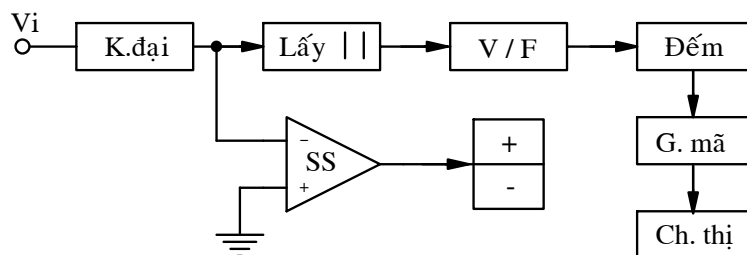
$$T_x = \frac{I_0 t_0 R}{V_i}; \text{ hay } f_x = \frac{1}{I_0 t_0 R} V_i = \alpha V_i \quad (2-43)$$

Giải đồ thời gian mô tả chế độ công tác của mạch như hình 2-40



Hình 2-40

-*Nhận xét:* Sơ đồ vừa khảo sát chỉ đo được điện áp một dấu (+) hoặc (-). Để đo được điện áp hai dấu ta phải mắc thêm mạch lấy trị tuyệt đối để cho ra điện áp dương, đồng thời đưa qua mạch so sánh để chỉ thị dấu (+) hoặc (-). Sơ đồ cấu trúc của máy đo điện áp hai dấu như hình 2-41.



Hình 2-41.

Các linh kiện sử dụng cho sơ đồ có thể dùng:

- Mạch đếm: dùng IC 7490 – đếm thập phân không đồng bộ;
- Mạch chốt: dùng IC 7475 – 4 chốt loại D;
- Mạch giải mã: dùng IC 7446, 7447 – giải mã từ BCD – 7 đoạn; IC 7441, 7442 – giải mã từ BCD – tích phân lái đèn NIXIE.

**4.2.4. Phân tích khả năng chống nhiễu của sơ đồ.**

Mạch biến đổi V/F có khả năng chống nhiễu tốt đối với nhiễu có chu kỳ. Khả năng chống nhiễu của sơ đồ được xác định từ biểu thức định nghĩa:

$$Q = \frac{\text{Tín hiệu } S}{\text{Nhiều } N} \quad (2-44)$$

Giả sử điện áp một chiều cần đo  $V_0$  bị can nhiễu có chu kỳ:

$$v_n = V_n \cos 2\pi f_n t$$

Như vậy điện áp đưa vào mạch đo sẽ có dạng:

$$V_i = V_0 + V_n \cos 2\pi f_n t$$

Sau khi qua mạch biến đổi V/F, số đếm ở bộ đếm là:

$$N_x = f_x T = \alpha V_i$$

Số đếm trung bình trong một chu kỳ là:

$$n = \frac{1}{T} \int_0^T N_x dt = \frac{\alpha}{T} \int_0^T V_i dt$$

$$n = \frac{\alpha}{T} \left[ \int_0^T V_0 dt + \int_0^T V_n \cos 2\pi f_n t dt \right] = \alpha V_0 + \frac{\alpha V_n}{T} \sin 2\pi f_n \cdot T \quad (2-45)$$

Từ biểu thức (2-45) ta có:

$$S = \alpha V_0 - \text{Tín hiệu cần đo};$$

$$N = \frac{\alpha V_n}{T} \sin 2\pi f_n \cdot T - \text{Can nhiễu}$$

Độ chống nhiễu của sơ đồ;

$$Q = \frac{S}{N} = \frac{\alpha V_0}{\frac{\alpha V_n}{T} \sin 2\pi f_n T} \quad (2-46)$$

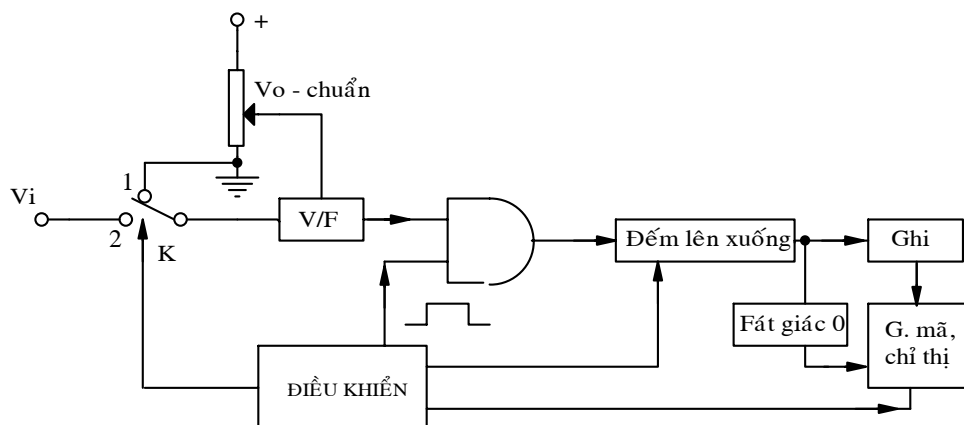
Muốn  $Q \rightarrow \infty$  thì  $\sin 2\pi f_n T \rightarrow 0$ , tức là ta có  $2\pi f_n T = 2k\pi$ ; (k nguyên)

$$T = k/f_n = k T_n \quad (2-47)$$

Như vậy, nếu chọn thời gian mở cửa chọn xung, tức chu kỳ đếm xung bằng một số nguyên lần chu kỳ nhiễu ta có thể loại bỏ được hoàn toàn nhiễu có chu kỳ.

#### 4.2.5. Đo điện áp 2 dấu nhờ bộ đếm lên xuống.

Sơ đồ nguyên lý mạch đo chỉ ra trên hình 2-42.



Hình 2-42. Đo điện áp 2 dấu nhờ bộ đếm lên xuống.

Mạch trên cho phép đo điện áp có dấu (+) hoặc dấu (-). Giả sử ban đầu bộ điều khiển đóng khóa K ở vị trí 1. Thế vào mạch biến đổi V/F là  $V_0$ , tần số lối ra tương ứng là  $f_0$ . Xung vào bộ đếm trong khoảng thời gian mở cửa  $\tau$ . Bộ đếm thực hiện đếm lên trong khoảng thời gian  $\tau$ . Kết quả đếm đưa qua mạch ghi trong thời gian  $\tau$  là  $N = f_0 \tau$ . Hết thời gian  $\tau$ , bộ điều khiển đảo mạch khóa K sang vị trí 2. Lúc này thế vào mạch biến đổi V/F sẽ là:

$$V_i + V_0 > V_0 \text{ nếu } V_i > 0$$

$$V_i + V_0 < V_0 \text{ nếu } V_i < 0.$$

Nếu  $V_i > 0$ , tần số lối ra của mạch biến đổi V/F là:  $f = f_0 + \Delta f$

Nếu  $V_i < 0$ , tần số lối ra của mạch biến đổi V/F là:  $f = f_0 - \Delta f$ ,

Trong đó  $\Delta f = \alpha |V_i|$ . Bộ đếm thực hiện đếm xuống. Nếu  $V_i < 0$ , số chứa trong bộ đếm sẽ qua 0 và mạch phát giác 0 sẽ phát hiện để cho chỉ thị dấu (-). Hết thời gian đếm xuống kết quả trong bộ nhớ sẽ là  $\Delta f$ .

### 4.3. Phương pháp biến đổi điện áp sang khoảng thời gian (V-T).

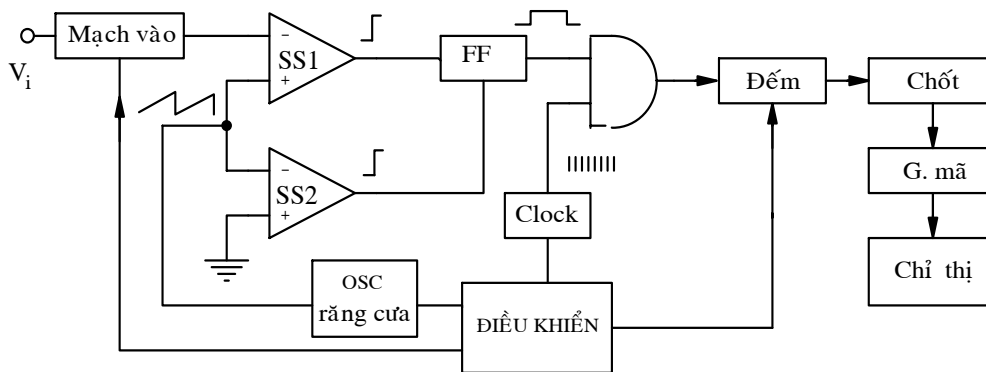
#### 4.3.1. Phương pháp tạo hàm dốc.

a. Nguyên tắc. Điện áp cần đo được biến đổi thành khoảng thời gian tương đương.

Đo khoảng thời gian này bằng cách đếm số xung đồng hồ đã biết chính xác tần số.

b. Sơ đồ cấu trúc..

Sơ đồ cấu trúc của một vôn kế số sử dụng phương pháp biến đổi điện áp sang khoảng thời gian chỉ ra trên hình 2-43.

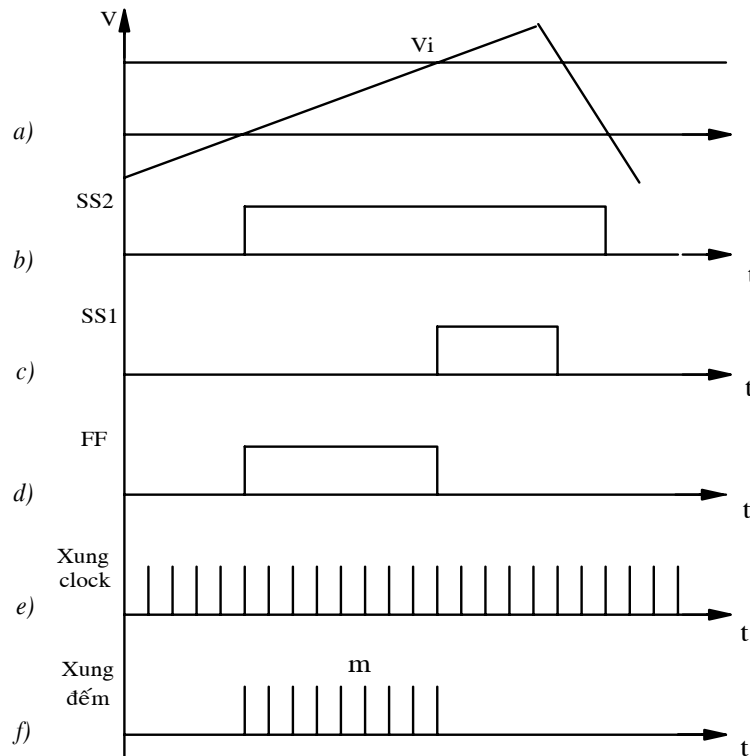


Hình 2-43. Vôn kế dùng phương pháp biến đổi V-T

c) Hoạt động.

Bộ so sánh 1 (SS1) dùng để so sánh điện áp vào  $V_i$  với điện áp răng cưa từ bộ tạo áp răng cưa đưa tới. So sánh 2 (SS2) dùng để so sánh điện áp răng cưa với mức 0. Phép đo được thực hiện theo chu trình. Đầu mỗi chu trình lối ra của 2 bộ so sánh đều ở mức “0”.

Giả sử điện áp vào  $V_i > 0$  và điện áp răng cưa đi từ (-) sang (+) (hình 2-44, a). Khi điện áp răng cưa đi qua 0, mạch SS2 phát hiện đảo trạng thái lối ra lên "1", (hình 2-44, b) kích Flip-Flop FF đảo trạng thái lối ra từ "0" lên "1" (hình 2-44, d) mở cửa AND để xung đếm từ bộ tạo xung clock đi vào bộ đếm. Thế răng cưa tiếp tục đi lên. Khi thế răng cưa bằng  $V_i$  mạch SS1 lật trạng thái lối ra lên "1" (hình 2-44, c) và tác động vào FF đảo trạng thái lối ra từ "1" về "0" (hình 2-44, d) kết thúc xung điều khiển đóng cửa chọn xung đi vào bộ đếm. Như vậy sau 2 lần đổi trạng thái của FF có một xung dương độ rộng  $\tau$  mở cửa AND.



Hình 2-44. Giảm đồ thời gian minh họa hoạt động của vôn kế dùng biến đổi V-T

Ta có:  $V_i = \tau tg \beta = \tau.c$

Trong đó  $c = tg \beta$  là tốc độ biến thiên của điện áp răng cưa.

Gọi m là số xung đếm được,  $T_c$  là chu kỳ của xung đồng hồ thì:

$$\tau = m \cdot T_c = m / F_c$$

Từ đó:

$$V_i = \frac{mc}{F_c} \Rightarrow m = \frac{F_c}{c} \cdot V_i = kV_i \tag{2-48}$$

Trong đó  $k = \frac{F_c}{c} = \text{const}$ . Thường thiết kế với  $k = 10^n$  ( $n = 0,1,2,3,\dots$ ) để thay đổi tầm đo của máy.

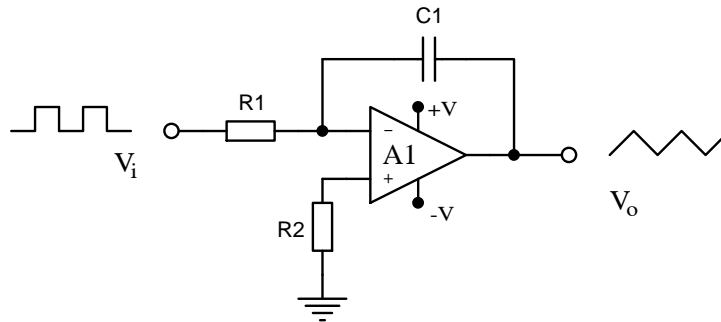
#### 4.3.2. Phương pháp tích phân 2 sườn dốc (dual slope integrator).

Để đo điện áp 2 dấu thường sử dụng mạch tạo hàm 2 sườn độ dốc trên cơ sở mạch tích phân Miller (hình 2-45)

Mạch tích phân Miller được thực hiện trên cơ sở khuếch đại thuật toán  $A_1$ , điện trở  $R_1$  và tụ  $C_1$ . Điện áp lối của mạch tích phân biến đổi theo hệ thức:

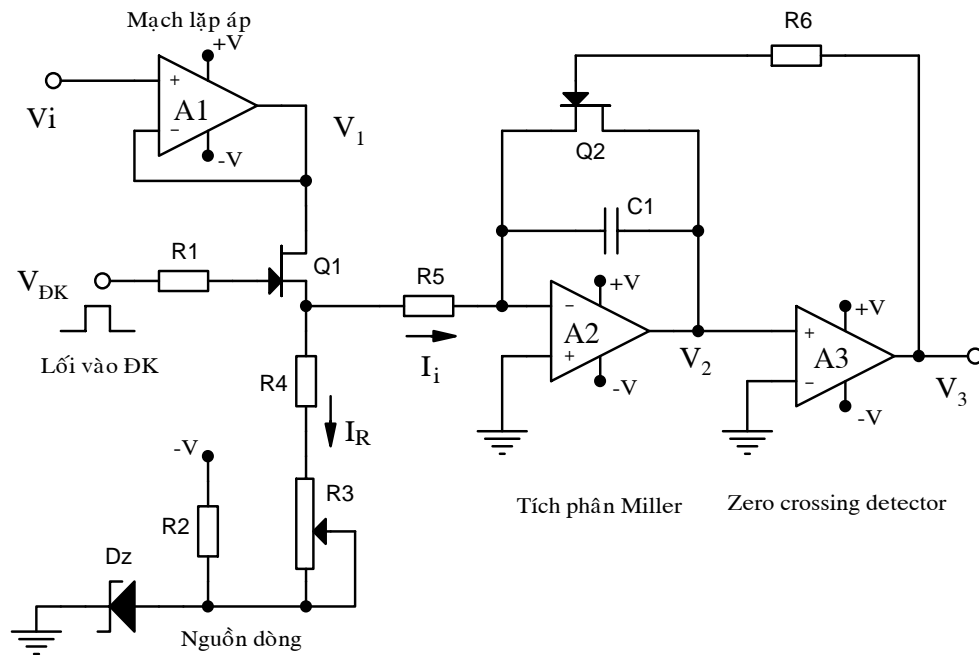
$$V_o = -\frac{1}{R_1 C_1} \int_0^t V_i dt \quad (2-49)$$

Hình dạng của sóng ra và sóng vào như trên hình 2-45.



Hình 2-45. Mạch tích phân Miller

Mạch tích phân Miller là cơ sở của mạch tích phân 2 sườn dốc (dual slope intergrator), mà sơ đồ nguyên lý trình bày trên hình 2-46.



Hình 2-46. Mạch tích phân 2 sườn dốc trên cơ sở tích phân Miller

Điện áp cần đo  $V_i$  qua mạch lặp áp trên  $A_1$  để tạo trở kháng vào lớn, qua chuyển mạch FET  $Q_1$  tới đầu vào mạch tích phân Miller. Thế lối ra của mạch tích phân được giám sát bởi mạch dò 0 (zero crossing detector) trên  $A_3$ . Thế lối ra mạch

dò 0 điều khiển FET Q2 của mạch tích phân. Khi đầu ra của bộ dò 0 ở mức cao, Q<sub>2</sub> đóng ngắn mạch tụ C<sub>1</sub>. Khi đầu ra bộ dò 0 ở mức thấp Q<sub>2</sub> ngắt, tụ C<sub>1</sub> được nạp.

FET Q<sub>1</sub> được điều khiển từ xung nhịp bên ngoài lấy từ bộ tạo gốc thời gian. Khi xung điều khiển âm, Q<sub>1</sub> ngắt, cách ly thế lối vào với mạch đo. Trong thời gian này nguồn dòng ổn I<sub>R</sub> đổ qua R<sub>5</sub> :

$$I_R = -\frac{V_z}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (2-50)$$

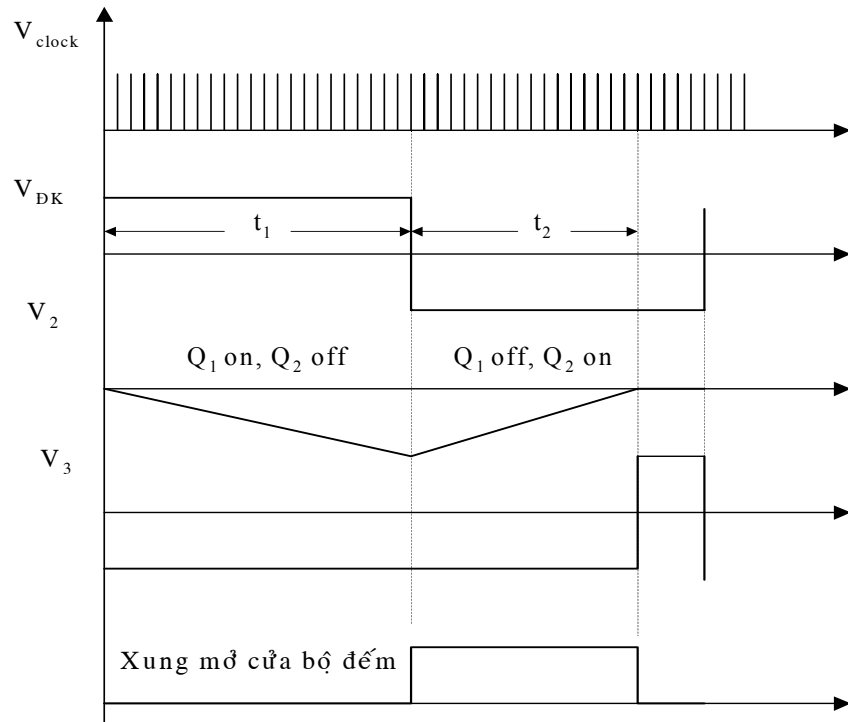
Dòng này có xu hướng nạp cho tụ C<sub>1</sub> với điện tích dương ở bản bên phải, điện tích âm bên trái. Thế lối ra mạch tích phân tăng tới mức đất, bộ dò 0 phát hiện đưa thế lối ra lên cao đóng khóa Q<sub>2</sub> ngắn mạch tụ C<sub>1</sub>. Khi đó thế lối ra mạch tích phân giữ ở mức đất (0V).

Khi có xung điều khiển dương, Q<sub>1</sub> dẫn thông báo hòa nối mạch đo với thế lối vào V<sub>i</sub>. Dòng đổ qua R<sub>5</sub> lúc này là:

$$I_i = \frac{V_i}{R_5} \quad (2-51)$$

Thế lối ra mạch tích phân bây giờ giảm theo chiều âm, thế ra mạch dò 0 âm ngắt khóa Q<sub>2</sub> cho phép tụ C<sub>1</sub> nạp.

Khi có xung điều khiển âm, Q<sub>1</sub> ngắt, và dòng chuẩn I<sub>R</sub> lại nạp ngược cho tụ C<sub>1</sub> (C<sub>1</sub> phóng với dòng I<sub>R</sub>). Thế lối ra mạch tích phân lại tăng theo chiều dương cho tới khi đạt mức đất. Khi tới 0, bộ dò 0 phát hiện tạo xung đóng Q<sub>2</sub> và ngắn mạch tụ C<sub>1</sub>. Thời gian t<sub>2</sub> để xung răng cưa đạt tới mức đất tỷ lệ với V<sub>i</sub>. Khoảng thời gian này được đo bằng cách khởi động mạch đếm. Giải đồ xung minh họa nguyên tắc làm việc của mạch như hình 2-47.



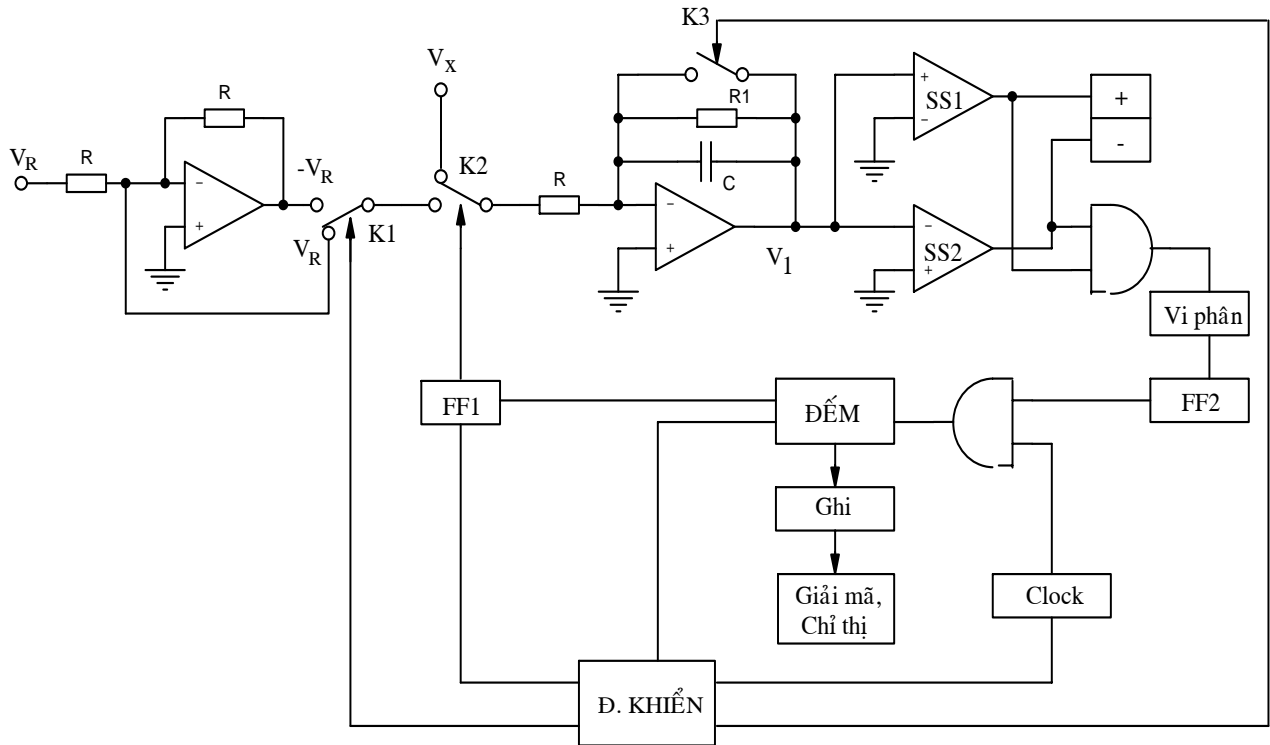
Hình 2-47

Một trong những ưu điểm quan trọng nhất của mạch tích phân 2 sườn dốc là độ trôi nhỏ của tần số chuẩn hầu như không ảnh hưởng tới độ chính xác của phép đo. Trên hình 2-48 là sơ đồ khối của một von kế số theo nguyên lý tích phân 2 sườn dốc. Hoạt động của mạch như sau:

Ở trạng thái ban đầu bộ điều khiển xóa kết quả ở bộ đếm và trạng thái các Flip flop, khóa  $K_2$  bật sang vị trí nối với  $V_x$ , khóa  $K_3$  hở.



Các mạch so sánh SS1 và SS2 để phân biệt dấu của điện áp đo  $V_x$  và đưa tới bộ chỉ thị thị dấu.



Hình 2-48. Vôn kế số với mạch tích phân hai sườn dốc.

Ta có, thế lối ra mạch tích phân:

$$V_1 = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} V_x dt = -\frac{V_x t_1}{RC} \quad (2-52)$$

Nếu  $V_x > 0$ ,  $V_1 < 0$ , thế lối ra mạch tích phân đi xuống (hình 2-49, a), bộ đếm sẽ đếm xuống trong khoảng thời gian  $t_1$ , khi hết thời gian  $t_1$  bộ điều khiển tạo xung kích FF1 đổi trạng thái chuyển khóa  $K_2$  xuống dưới nối với  $K_1$  lúc đó đang ở vị trí nối với  $-V_R$ .

Thế  $-V_R$  đưa vào mạch tích phân trong khoảng thời gian  $t_2$ . Thế ra mạch tích phân lúc này là:

$$V_1' = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_2} -V_R dt = \frac{V_R t_2}{RC} \quad (2-53)$$

$V_1' > 0$ , thế ra mạch tích phân tăng về phía dương trong khoảng thời gian  $t_2$ . Bộ đếm thực hiện đếm lên. Khi thế lối ra mạch tích phân qua zero, FF2 lật trạng thái, đóng cửa AND cấm xung đếm vào bộ đếm, kết thúc một chu trình đo. Cuối thời gian  $t_2$  khóa  $K_3$  đóng, tụ C xả để chuẩn bị cho lần đo kế tiếp.

Ta có, thời gian  $t_1$  để bộ đếm đếm xuống là:  $t_1 = kN_1$ , trong đó  $N_1$  là số đếm trong bộ đếm. Khi hết thời gian  $t_1$ , thế lối ra mạch tích phân là:

$$V_1 = -\frac{V_x t_1}{RC} \quad (2-54)$$

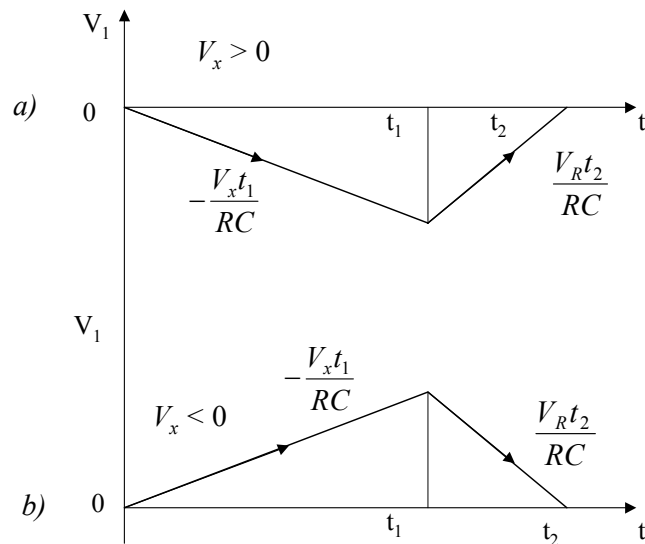
Trong thời gian  $t_2$ , thế lối ra mạch tích phân đi từ  $-\frac{V_x t_1}{RC}$  về 0 (hình 2-49).

Do đó ta có:

$$\frac{V_R t_2}{RC} = -\frac{V_x t_1}{RC} \Rightarrow t_2 = -\frac{V_x}{V_R} t_1 = -\frac{V_x k N_1}{V_R}; \text{ Với } t_2 = k N_2$$

Từ đó: 
$$N_2 = -\frac{V_x}{V_R} N_1. \quad (2-55)$$

Như vậy, kết quả chứa trong bộ đếm cuối thời gian  $t_2$  tỉ lệ với  $V_x$ . Giá trị này chỉ phụ thuộc vào điện áp chuẩn  $V_R$  mà không phụ thuộc vào tần số của xung nhịp, độ chính xác của mạch tích phân và mạch so sánh.



Hình 2-49.

Nếu  $V_x < 0$ , quá trình xảy ra tương tự, nhưng theo chiều ngược lại. Giảm đồ thời gian minh họa trên hình 2-49, b.

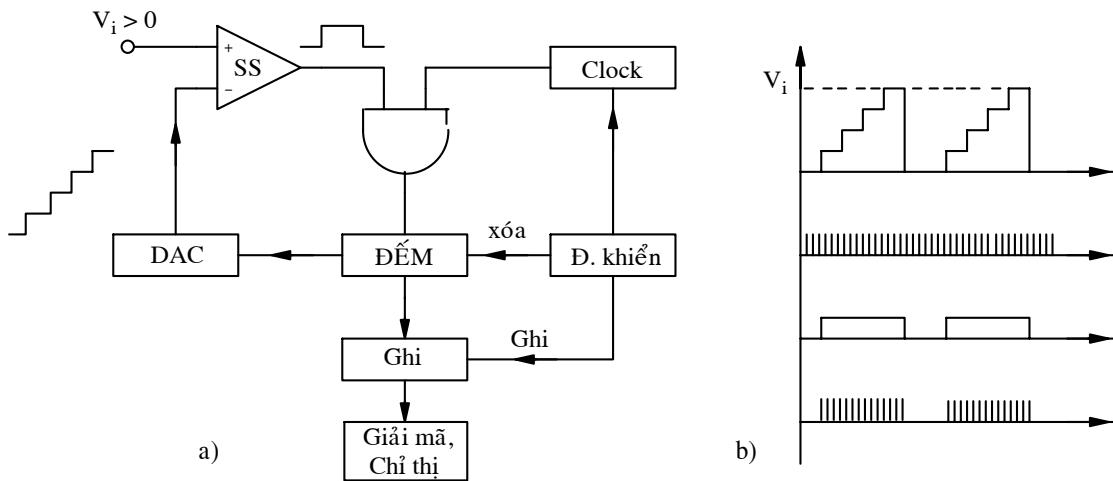
– Nhận xét.

- Phương pháp tích phân 2 độ dốc cũng là phương pháp lấy trị trung bình theo chu kỳ, do đó loại trừ được nhiễu có chu kỳ.
- Có thể sử dụng phương pháp trên để đo tỷ số 2 điện áp  $V_x$  và  $V_y$  (hai điện áp phải khác dấu) theo hệ thức:

$$N_2 = -\frac{V_x}{V_y} N_1$$

### 4.3.3. Phương pháp tạo hàm bậc thang.

Sơ đồ cấu trúc thể hiện nguyên lý của phương pháp trên hình 2-50, a và giản đồ thời gian chỉ ra trên hình 2-50, b. Hoạt động của mạch như sau:



Hình 2-50. Phương pháp tạo hàm bậc thang

Ở trạng thái ban đầu thế lối ra của mạch DAC là 0V. Khi có điện áp lối vào  $V_i > 0$ , mạch so sánh SS đảo trạng thái đưa ngõ ra lên “1” mở cửa AND cho xung nhịp đi vào bộ đếm. Mỗi xung nhịp vào làm thế lối ra DAC tăng lên một bậc. Khi thế lối ra DAC bằng thế  $V_i$  mạch so sánh SS đảo trạng thái đưa lối ra về “0”, đóng cửa AND, kết thúc thời gian đếm. Xung đếm trong thời gian mở cửa  $\tau$  được ghi và đưa sang giải mã, chỉ thị.

Đến chu kỳ sau, bộ điều khiển phát xung xóa kết quả ở bộ đếm, nội dung chuyển qua DAC để reset lối ra về 0V. Mạch chuẩn bị để đo tiếp.

## § 5. BỘ ĐẾM ĐIỆN TỬ.

### 5.1. Hệ đếm nhị phân.

Trong các dụng cụ đo chỉ thị số, đại lượng đo tương tự ở lối vào sau khi được biến đổi thành dạng mã số nhờ khối biến đổi ADC sẽ được đưa tới bộ đếm điện tử. Chức năng của bộ đếm là thực hiện việc đếm mã số đưa tới sau đó truyền dữ liệu qua khối giải mã và đưa ra chỉ thị.

Trong các thiết bị số thường sử dụng hệ đếm nhị phân (binary) vì cơ số 2 tiện dụng cho việc biểu diễn các trạng thái logic của mạch.

Một số trong một hệ đếm bất kỳ có thể biểu diễn dưới dạng:

$$N(z) = \sum_{i=-m}^{+n} a_i Z^i \quad (2-56)$$

Trong đó:  $Z$  – là cơ số đếm;  
 $a_i$  – hệ số :  $0 \div Z-1$ .

Hay viết ở dạng khai triển sau:

$$N = a_n, a_{n-1}, \dots, a_0 ; a_{-1}, a_{-2}, \dots, a_{-m} .$$

Trong hệ đếm thập phân (decimal) ta có  $Z = 10$ , tương ứng với các cơ số:

$$a = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.$$

Như vậy một số trong hệ đếm thập phân, chẳng hạn 1997,53 nếu biểu diễn theo công thức (2-56) sẽ là:

$$1997,53 = 1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 9 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + 5 \cdot 10^{-1} + 3 \cdot 10^{-2}$$

Trong hệ đếm nhị phân (binary),  $Z = 2$ , tương ứng với cơ số  $a = 0, 1$ . Biểu diễn số trong hệ nhị phân chỉ với 2 cơ số 0 hoặc 1.

Ví dụ: số đếm nhị phân 1001.10 khi biểu diễn theo (2-56) sẽ cho kết quả:

$$\begin{aligned} 1001.10 &= 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} \\ &= 8 + 0 + 0 + 1 + 0,5 + 0,25 \\ &= 9,75 \end{aligned}$$

Ngoài ra còn có các hệ đếm bát phân (Octal - cơ số 8), hệ thập lục phân (Hexa decimal - cơ số 16).

So với các hệ đếm khác, hệ nhị phân có ưu điểm là cơ số của hệ đếm đặc biệt tiện lợi để biểu diễn các trạng thái logic trong điều khiển. Hai giá trị 0 và 1 ứng với 2 trạng thái ổn định của một trigger, ứng với 2 trạng thái đối kháng dứt khoát trong kỹ thuật điều khiển đó là: đóng - mở; có - không; đúng - sai; trong - ngoài; trên - dưới; phải - trái; cao - thấp; xuôi - ngược; nóng - lạnh; vv....

Sự thay đổi trạng thái từ 0 lên 1 hay từ 1 về 0 thực hiện rất nhanh làm cho việc tính toán trong hệ nhị phân nhanh hơn trong các hệ đếm khác. Mặt khác các phần tử để xây dựng các chữ số không phức tạp (chỉ dùng 2 trạng thái). Điều đó làm cho thiết bị có độ tin cậy cao.

Số các phần tử để cấu trúc các con số ở hệ nhị phân ít hơn so với hệ thập phân. Ví dụ, trong hệ thập phân để biểu diễn 2 ô thể hiện số 99 cần đến  $2 \times 10 = 20$  phần tử. Trong hệ nhị phân để biểu diễn 7 ô thể hiện số  $1111111_{(2)} = 127$  chỉ cần  $7 \times 2 = 14$  dụng cụ.

## **5.2. Mã hóa các số thập phân.**

Để tiện dụng cho việc tính toán và lưu trữ trong các thiết bị số người ta biểu diễn số qua các từ mã. Mỗi từ mã tương ứng với số ký số nhất định, mỗi ký số biểu diễn một trọng số. Việc chuyển số từ mã này sang mã khác thực hiện nhờ các mạch mã hóa và giải mã.

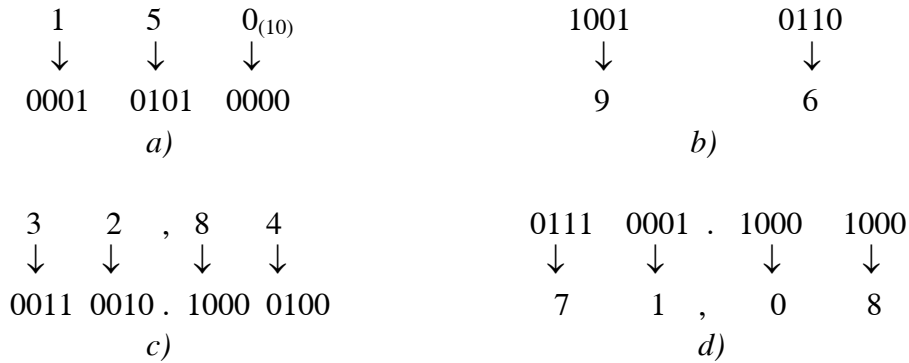
Đối với các số thập phân có rất nhiều cách để mã hóa khác nhau: mã BCD - 8421; mã 2421 (Aiken), Gray, mã dư 3, v.v...

Mã BCD-8421 là mã có trọng số tự nhiên. Trong mã này, mỗi số thập phân bất kỳ được biểu diễn bằng một số nhị phân 4 bit, bit có nghĩa lớn nhất có trọng số  $2^3=8$ , bit có nghĩa bé nhất có trọng số  $2^0=1$ . Phần 8421 trong tên mã chỉ trọng số tương ứng của mỗi vị trí trong mã 4 bit.

$$\begin{aligned} \text{Ví dụ:} \quad 8_{(10)} &= 1000_{(2)} = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \\ \text{Các trọng số:} \quad & \quad 8 \quad 4 \quad 2 \quad 1 \end{aligned}$$

Với 4 bit ta có  $2^4=16$  tổ hợp, nhưng trong mã BCD chỉ dùng hết 10 tổ hợp. Đó là các tổ hợp từ 0000 đến 1001. Còn lại 6 tổ hợp không dùng là: 1010, 1011, 1100, 1110 và 1111. Nếu 1 trong 6 tổ hợp này xuất hiện trong quá trình tính toán thì phép tính sẽ phạm sai lầm.

Trên hình 2-51 minh họa việc chuyển đổi giữa mã số thập phân và mã số BCD-8421.



Hình 2-51. Chuyển đổi giữa số thập phân và BCD-8421  
 a) Từ thập phân ra BCD; b) Từ BCD ra thập phân;  
 c) Thập phân có lẻ ra BCD; d) BCD có lẻ ra thập phân

Ngoài mã BCD-8421 còn nhiều loại mã 4 bit khác như 5421, 4221, 2421, , v.v... Trên bảng 2-1 là sự tương ứng giữa các mã 8421, 5421, 2421 và mã thập phân.

Bảng 2-1

Mã TP	Mã BCD - 8421				Mã 5421				Mã 2421 (mã Aiken)			
	8	4	2	1	5	4	2	1	2	4	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
5	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1
6	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
9	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

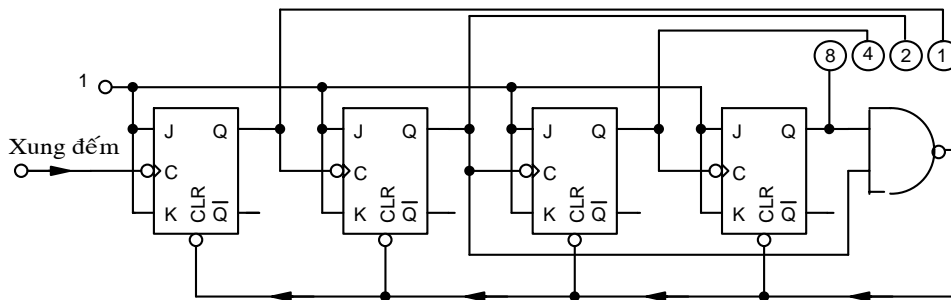
Trong kỹ thuật đo lường và điều khiển, ngoài các mã BCD cân bằng người ta còn sử dụng phổ biến mã Gray. Khác với mã BCD, mã Gray là mã nhị phân không cân bằng. Điểm đặc biệt của mã Gray là khi đếm (tăng hoặc giảm 1 đơn vị) thì trong từ mã chỉ có 1 bit thay đổi giá trị. Điều này làm cho hệ thống có độ tin cậy cao. Mã Gray được dùng nhiều trong các hệ thống truyền động điện điều chỉnh tốc độ quay, trong các hệ thống đo lường.

**5.3. Bộ đếm.**

Bộ đếm trong các dụng cụ đo chỉ thị số là khối điện tử chức năng thực hiện việc đếm số xung đồng hồ trong thời gian mở cửa đếm, sau đó đưa qua mạch giải mã và chỉ thị. Các tham số cơ bản của bộ đếm là:

- Dung lượng đếm cực đại;
- Cách đếm tiến hay đếm lùi;
- Đếm đồng bộ hay không đồng bộ.

Tùy thuộc vào dạng mã mà thiết kế các mạch đếm tương ứng. Trên hình 2-52 là ví dụ minh họa sơ đồ mạch đếm thập phân không đồng bộ 4 bit thực hiện trên 4 trigger JK.



Hình 2-52. Bộ đếm thập phân không đồng bộ 4 bit.

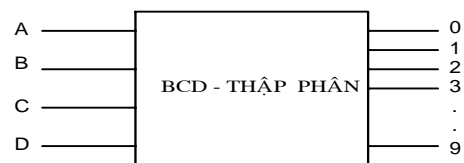
Đây là bộ đếm được sử dụng rộng rãi nhất. Tổ hợp 4 trigger cho ta 16 trạng thái, nhưng ta chỉ lấy 10 trạng thái. Bộ đếm hoạt động bình thường cho đến xung thứ 9 là dung lượng tối đa. Đến xung thứ 10 thì do tổ hợp 1010 của bộ đếm, lối ra của trigger 2 và 4 sẽ đặt tổ hợp 1-1 lên cổng NAND làm lối ra của nó xuất hiện xung reset bộ đếm về 0000 và bộ đếm lại tiếp tục chu kỳ mới.

Trong thực tế, các bộ đếm được chế tạo dưới dạng mạch tích hợp. Chẳng hạn vi mạch 7490, 74LS90 là vi mạch đếm thập phân 14 chân rất thông dụng để tạo ra các bộ đếm chia 5, chia 6, chia 7, chia 8, chia 9, chia 10 chỉ đơn giản bằng cách nối tổ hợp các chân lối ra. IC 74192 – vi mạch đếm thập phân lên xuống, v.v...

**5.4. Bộ giải mã.**

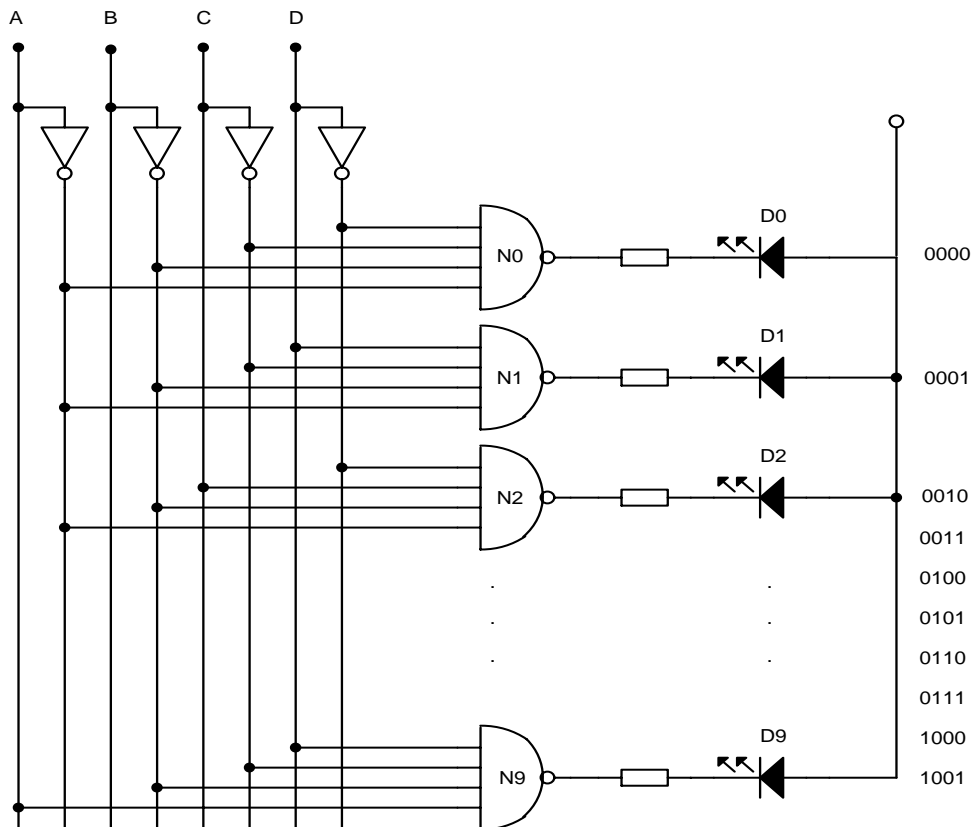
Bộ giải mã có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu từ bộ đếm tới dưới dạng tổ hợp các điện áp đầu vào thành một điện áp đầu ra tương ứng. Một bộ giải mã thường có n đầu vào và m đầu ra dùng để truyền tín hiệu lệnh đến một mạch nào đó để điều khiển.

Ví dụ mạch giải mã BCD sang thập phân gồm có 4 lối vào ABCD và 10 lối ra tương ứng với các tổ hợp để điều khiển hiện các số từ 0 đến 9 (Hình 2-53).



Hình 2-53

Sơ đồ nguyên lý của nó chỉ ra trên hình 2-54. Trong mạch gắn các LED để minh họa nguyên tắc hoạt động của mạch.



Hình 2-54. Mạch giải mã BCD sang thập phân

Hoạt động của mạch như sau: Mã đếm BCD từ bộ đếm thập phân được đưa tới các đầu vào ABCD của bộ giải mã. Giả sử mã đếm là 0000, các lối vào  $A=B=C=D=0$ , qua cửa NOT ta có  $\bar{A} = \bar{B} = \bar{C} = \bar{D} = 1$ . Ngõ ra  $N_0$  xuống “0” nên LED  $D_0$  phát sáng. Các LED khác tắt.

Khi tín hiệu vào là 0001,  $\bar{A} = \bar{B} = \bar{C} = 1; \bar{D} = 0$ . Ngõ ra  $N_1$  xuống thấp,  $D_1$  sáng, các LED khác tắt. v.v...

Cho đến khi tín hiệu vào là 1001,  $\bar{A} = 0; \bar{B} = \bar{C} = 1; \bar{D} = 0$ . Ngõ ra  $N_9$  xuống thấp,  $D_9$  sáng, các LED khác tắt.

Các mạch giải mã được tích hợp trong các IC chuyên dụng. Chẳng hạn một số mạch giải mã thập phân như sau:

- 7441, IC giải mã BCD sang thập phân, ngõ ra chịu thế cao (60V);
- 7442, 74LS42: IC giải mã BCD sang thập phân;
- 7443: IC giải mã dư 3 sang thập phân;
- 7444: IC giải mã Gray dư 3 sang thập phân;
- 7445: IC giải mã BCD sang thập phân dòng lớn ( 80mA).

Các IC giải mã BCD sang 7 đoạn (BCD to Seven segment decoder) để điều khiển trực tiếp các đèn LED 7 đoạn như 7447, 74LS47(loại mắc Anode chung) 7448, 74LS48 (loại mắc cathode chung).

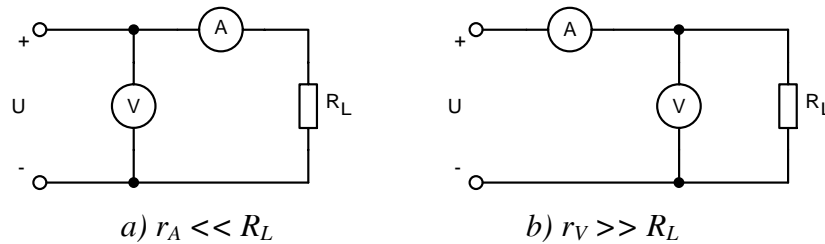
## § 6. ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG.

### 6.1. Đo công suất điện một chiều.

Trong mạch điện một chiều, công suất tiêu thụ trên phụ tải được xác định bằng công thức:

$$P = UI \quad (2-57)$$

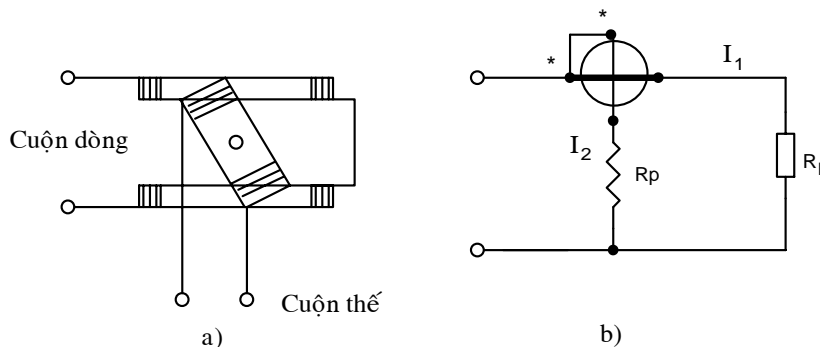
Công thức (2-57) cho thấy để xác định P ta có thể đo U và đo I nhờ vôn kế và ampe kế như hình 2-55.



Hình 2-55

### 6.2. Đo công suất điện một pha. Woát mét điện động.

Watt kế điện động được thiết kế trên cơ sở của cơ cấu điện động gồm 2 cuộn dây: cuộn dòng điện (cố định) và cuộn thế (cuộn di động). Sơ đồ nguyên lý, ký hiệu cũng như cách mắc chỉ ra trên hình 2-56. Dấu (\*) chỉ cực tính nối điểm chung của cuộn thế và cuộn dòng.



Hình 2-56. Watt kế điện động

$R_p$  – điện trở phụ mắc nối tiếp với cuộn thế để mở rộng cỡ đo. Ta có góc quay phần động tỉ lệ với dòng chạy qua 2 cuộn dây:

$$\alpha = k_1 I_1 I_2 = k_1 k_2 U_L I_L \cos \varphi = k P \quad (2-58)$$

Watt kế điện động có ưu điểm là có độ chính xác cao (cấp chính xác 0,5; 0,2; 0,1%), rất tiện dụng để đo công suất điện một chiều và xoay chiều ở tần số 50-60Hz. Nhược điểm là từ trường yếu, mô men quay nhỏ dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường nhiễu và không chịu được sự quá tải.

Để tăng mô men quay và giảm từ trường nhiễu có thể dùng cơ cấu sắt điện động, khi đó ta có cơ cấu watt kế sắt điện động. Tuy nhiên cơ cấu sắt điện động tạo nên những sai số phụ do đặc tính phi tuyến của đường cong từ hóa, hiệu ứng từ trễ.



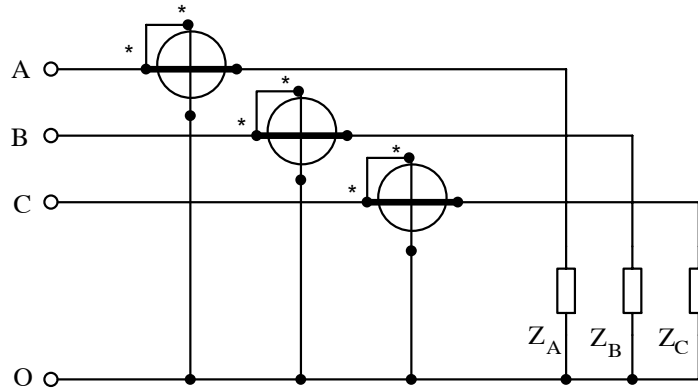
**6.3. Đo công suất điện 3 pha.**

**6.3.1. Mạch 3 pha 4 dây.**

Với hệ thống 3 pha 4 dây thì công suất tiêu thụ trên phụ tải được xác định:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C \quad (2-59)$$

Để đo công suất của mạch 3 pha ta dùng 3 watt kế 1 pha mắc theo sơ đồ chỉ ra trên hình (2-57).



Hình 2-57. Đo công suất tải 3 pha 4 dây.

Trong thực tế người ta chế tạo watt kế 3 pha, gồm 3 cuộn dây tính tương ứng có 3 cuộn dây động gắn trên cùng một trục quay. Mô men làm quay phần động là mô men tổng của cả 3 phần tử, tức tỷ lệ với công suất 3 pha.

**6.3.2. Mạch 3 pha 3 dây.**

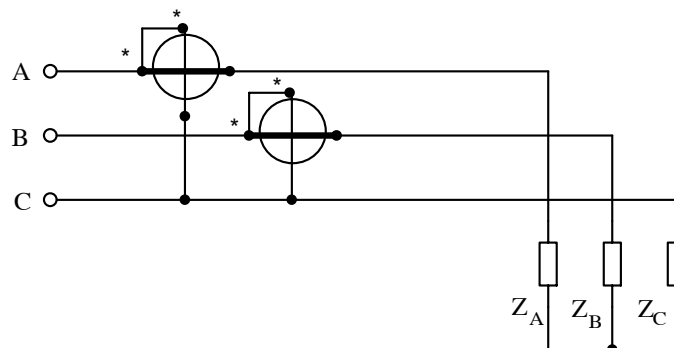
Trong mạch 3 pha 3 dây ta có :

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

Công suất tức thời của mạch 3 pha:

$$\begin{aligned} p &= u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = u_A i_A + u_B i_B - u_C (i_A + i_B) \\ &= i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) \\ &= i_A u_{AC} + i_B u_{BC} \end{aligned} \quad (2-60)$$



Hình 2-58. Đo công suất tải 3 pha 3 dây.

Công thức (2-60) cho thấy rằng chỉ cần 2 Watt kế 1 pha và mắc theo sơ đồ hình 2-58. Số chỉ của 2 watt kế sẽ cho ta biết công suất tiêu thụ trong mạch 3 pha.

Một cách tương tự ta chế tạo watt mét 3 pha 2 phần tử gồm 2 cuộn tĩnh và 2 cuộn động tương ứng gắn trên cùng một trục quay.

### 6.4. Đo điện năng.

#### 6.4.1. Cơ cấu đo cảm ứng.

Cơ cấu đo cảm ứng được dùng trong mạch điện xoay chiều. Có 2 loại sau:

- Cơ cấu cảm ứng 1 từ thông;
- Cơ cấu cảm ứng nhiều từ thông.

Loại một từ thông chỉ có một từ thông biến đổi tác động với dòng cảm ứng trên phần động. Được sử dụng chủ yếu để chế tạo các ampemet, vônmet hoặc lôgômet.

Loại nhiều từ thông có nhiều từ thông tác động với các dòng cảm ứng do chúng sinh ra trên phần động và sinh ra mô men quay. Cơ cấu nhiều từ thông có thể được dùng để chế tạo các ampemet, vônmet, wattmet và công tơ điện.

#### a) Cơ cấu cảm ứng một từ thông.

Sơ đồ nguyên lý của cơ cấu đo cảm ứng một từ thông như trên hình 2-59. Phần tĩnh gồm cuộn dây với mạch từ 1. Phần động gồm đĩa quay 2 có dạng không đối xứng gắn với trục quay và kim chỉ thị.

Khi có dòng điện chạy qua cuộn dây 1 sẽ tạo nên từ thông biến thiên  $\Phi$  xuyên qua đĩa 2, kết quả trên đĩa sẽ xuất hiện dòng cảm ứng  $i_c$ . Tác dụng tương hỗ giữa dòng cảm ứng  $i_c$  và từ thông  $\Phi$  tạo nên từ lực  $F$ . Chiều của  $F$  không đi qua tâm quay  $O$  của đĩa (hình 2-59). Ta hãy phân tích  $F$  ra 2 thành phần  $F_1$  và  $F_2$ .

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

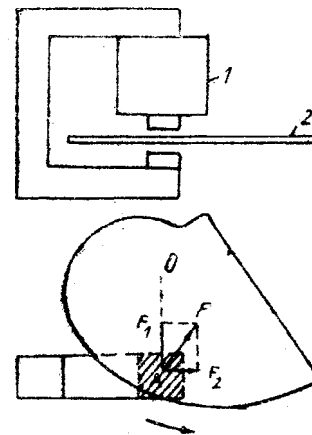
Thành phần  $F_1$  hướng về tâm quay  $O$  nên không tạo mô men quay, còn  $F_2$  vuông góc với bán kính quay  $OA$  sẽ tạo ra mô men quay:

$$\vec{M} = \vec{F}_2 \cdot OA \tag{2-61}$$

#### b) Cơ cấu cảm ứng loại nhiều từ thông.

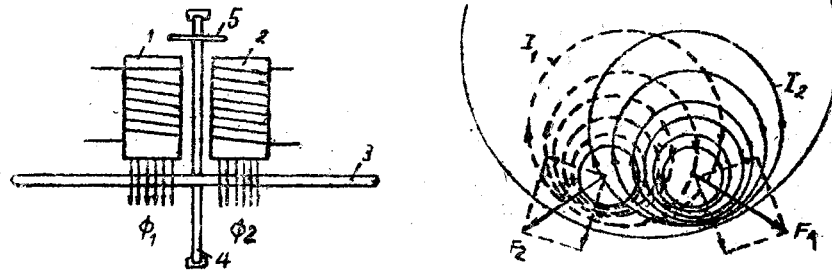
Trên hình 2-60 trình bày sơ đồ cơ cấu đo cảm ứng 2 từ thông có đĩa quay. Các phần tử cơ bản gồm: 2 cuộn dây tĩnh 1 và 2 để cho dòng cần đo chạy qua; đĩa quay 3; trục quay 4 và lò xo phần 5.

Khi có các dòng  $i_1$  và  $i_2$  chạy qua trong các cuộn dây 1 và 2 sẽ sinh ra các từ thông biến thiên  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$  xuyên qua đĩa cảm ứng. Trên đĩa sẽ phát sinh các dòng



Hình 2-59

cảm ứng  $I_1$  và  $I_2$ . Tương tác giữa  $I_1$ ,  $I_2$  và từ trường biến thiên làm phát sinh các lực từ  $F_1$  và  $F_2$  có phương và chiều chỉ ra trên hình vẽ.



Hình 2-60. Cơ cấu đo cảm ứng 2 từ thông

Phân tích  $F_1$  và  $F_2$  ra 2 thành phần: song song và vuông góc với phương bán kính.

$$\begin{aligned} \vec{F}_1 &= \vec{F}_{1//} + \vec{F}_{2\perp} \\ \vec{F}_2 &= \vec{F}_{1//} + \vec{F}_{2\perp} \end{aligned}$$

Thành phần hướng theo phương bán kính  $F_{1//}$  và  $F_{2//}$  không tạo ra mô men quay. Thành phần hướng theo phương vuông góc sẽ tạo ra các mô men quay  $M_1$  và  $M_2$  ngược chiều nhau. Mô men quay tổng cộng sẽ là:

$$M = M_1 - M_2. \quad (2-62)$$

#### 6.4.2. Công tơ cảm ứng một pha.

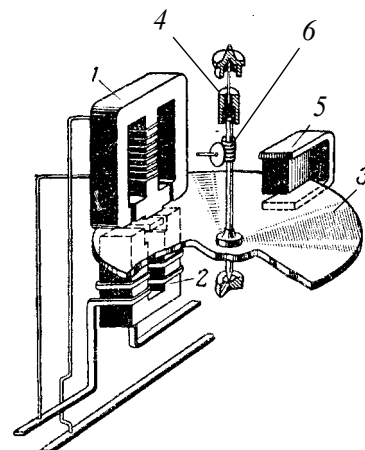
##### a) Cấu tạo.

Trên hình 2-61 là sơ đồ cấu tạo của công tơ cảm ứng một pha hay máy đếm điện năng. Về hình thức có nhiều dạng khác nhau, tuy nhiên chúng đều có những chi tiết chính sau:

- Cuộn dây điện áp 1 và cuộn dây dòng điện 2;
- Đĩa cảm ứng 3 và trục quay 4;
- Nam châm cảm dộ 5;
- Cơ cấu đếm 6.

Cuộn dây điện áp 1 còn gọi là cuộn thế được mắc song song với phụ tải, có mạch từ làm bằng thép lá kỹ thuật để tránh dòng xoáy. Số vòng dây thay đổi theo giá trị điện áp định mức của công tơ. Với loại 110 V, số vòng dây từ 3000 ÷ 4000 vòng. Với điện áp định mức 220V thì số vòng dây là 6000 ÷ 7000 vòng loại dây đồng có  $\Phi = 0,12 \div 0,14\text{mm}$ .

Cuộn dòng điện 2 mắc nối tiếp với tải.



Hình 2-61. Công tơ 1 pha

Số vòng dây của cuộn dòng từ 20-30 vòng bằng dây đồng  $\Phi = (1,4 \div 2,0)$ mm khi dòng định mức của công tơ là 5A. Cỡ dây đảm bảo số ampe-vòng của cuộn dòng cỡ  $90 \div 150$ Av<sub>g</sub>.

b) Nguyên lý làm việc.

Điện năng tiêu thụ trên phụ tải trong khoảng thời gian từ  $t_1$  đến  $t_2$  được tính bằng công thức:

$$W_T = \int_{t_1}^{t_2} P dt \tag{2-63}$$

Máy đếm được thiết kế sao cho vận tốc quay của đĩa tỷ lệ với công suất tiêu thụ trong mạch đo.

$$P = kn \tag{2-64}$$

Trong đó  $n$  – Vận tốc quay của đĩa;

$k$  – Hệ số tỷ lệ, được gọi là hằng số của công tơ.

Số vòng mà đĩa quay được trong khoảng thời gian từ  $t_1 \div t_2$  là:

$$N_T = \int_{t_1}^{t_2} n dt = \frac{1}{k} \int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{1}{k} W_T$$

Như vậy:  $W_T = kN_T$  (2-65)

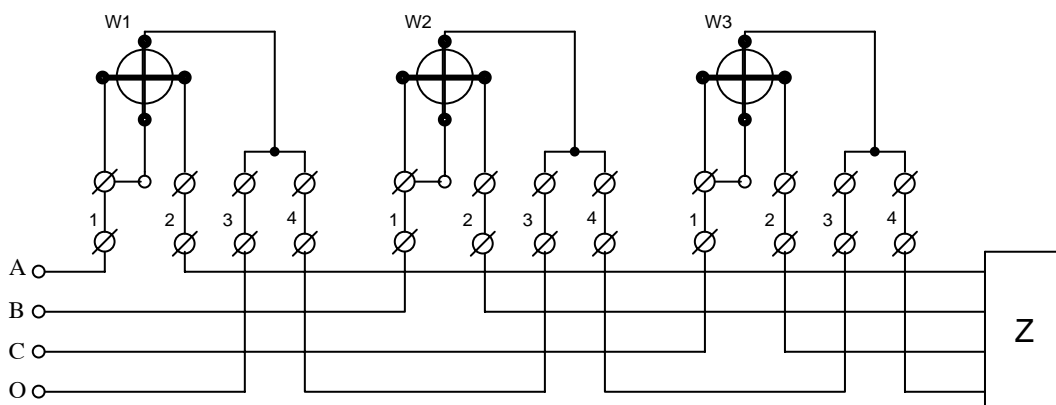
Công thức (2-65) cho thấy, điện năng mà phụ tải tiêu thụ trong khoảng thời gian  $t_1$  đến  $t_2$  tỷ lệ với số vòng quay của công tơ sau khoảng thời gian đó.

Hệ số tỷ lệ  $k$  thường được chọn với các giá trị 600, 1200 và 2400 vòng/1kW.

### 6.4.3. Đo điện năng trong mạch điện 3 pha.

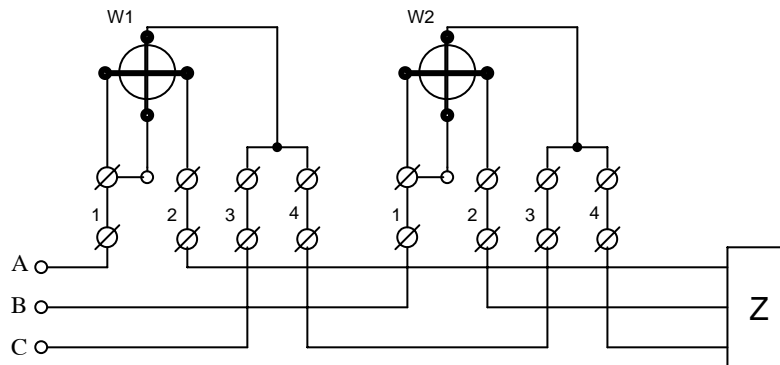
a) Dùng công tơ 1 pha.

Để đo điện năng trong mạch 3 pha có thể sử dụng các công tơ 1 pha mắc trong mạch tải của mỗi pha. Trên hình 2-62 là sơ đồ đo điện năng trong mạch 3 pha 4 dây bằng 3 công tơ 1 pha. Điện năng tiêu thụ của phụ tải 3 pha bằng tổng số chỉ của cả 3 công tơ.



Hình 2-62. Đo điện năng trong mạch 3 pha 4 dây bằng 3 công tơ 1 pha

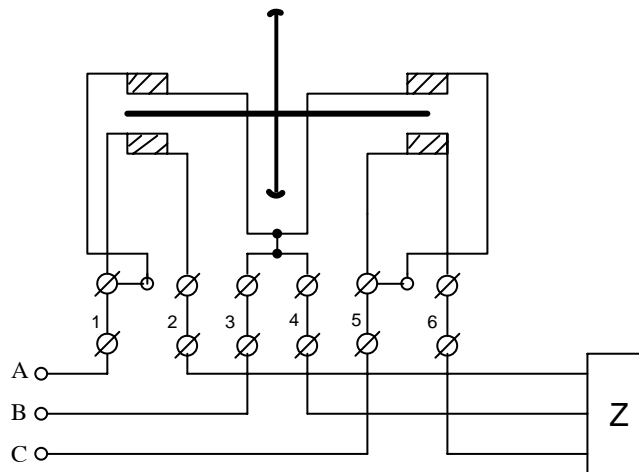
Cũng tương tự như phần đo công suất trong mạch 3 pha, với mạch điện 3 pha 3 dây có thể sử dụng 2 công tơ 1 pha và mắc theo sơ đồ hình 2-63. Lúc đó điện áp đặt vào cuộn thế của mỗi công tơ sẽ là điện áp dây. Điện năng tiêu thụ trên phụ tải bằng tổng số đếm của cả 2 công tơ.



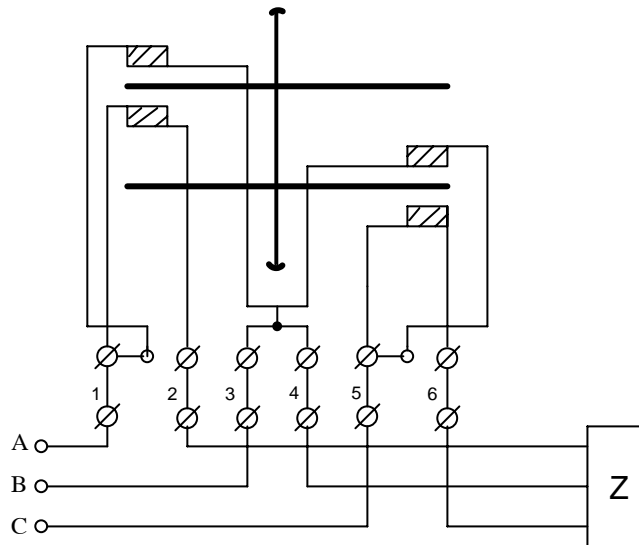
Hình 2-63. Đo điện năng trong mạch 3 pha 3 dây bằng 2 công tơ 1 pha

b) Dùng công tơ 3 pha.

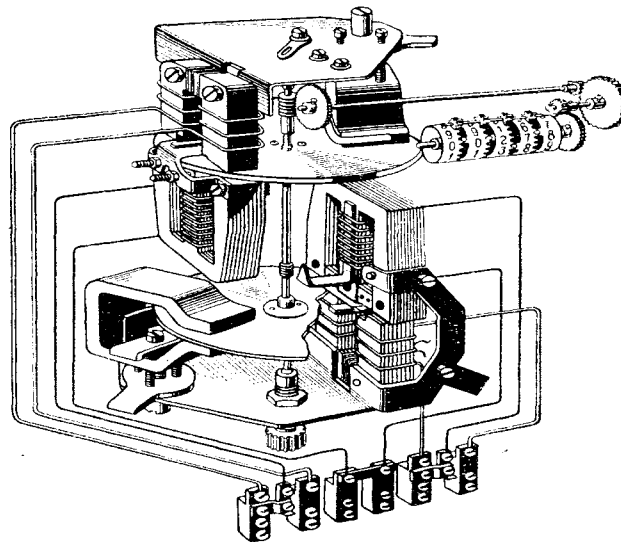
Trong thực tế để tiện dụng người ta chế tạo các công tơ cảm ứng 3 pha với các cơ cấu 1 đĩa (hình 2-64), 2 đĩa (hình 2-65, hình 2-66) và cơ cấu 3 đĩa cảm ứng (hình 2-66).



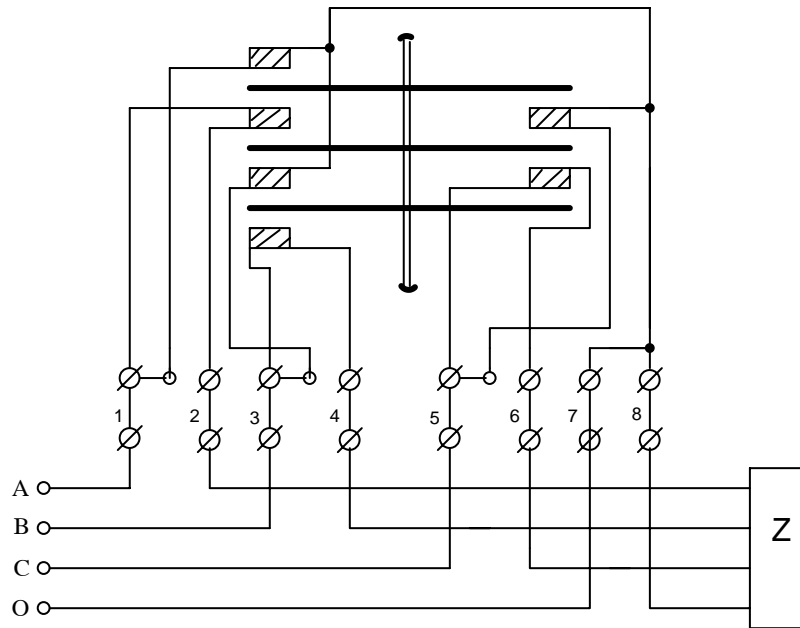
Hình 2-64. Công tơ 3 pha với cơ cấu 1 đĩa



Hình 2-65. Công tơ 3 pha với cơ cấu 2 đĩa



Hình 2-66. Cấu tạo công tơ 3 pha với cơ cấu 2 đĩa cảm ứng



Hình 2-67. Công tơ 3 pha với cơ cấu 3 đĩa cảm ứng

## 6.5. Biến dòng và biến áp đo lường.

### 6.5.1. Khái niệm chung.

Trong mạch điện xoay chiều, để mở rộng giới hạn đo của các dụng cụ người ta sử dụng các biến áp đo lường. Nhiệm vụ của các biến áp và biến dòng là chuyển các giá trị điện áp và dòng điện lớn về các giá trị nhỏ hơn để phù hợp với mạch đo.

Các biến dòng và biến áp đo lường còn có tác dụng cách ly mạch điện cao áp với dụng cụ đo để bảo đảm an toàn cho người sử dụng.

Về nguyên lý cấu tạo, các biến dòng và biến áp đo lường giống như các biến áp động lực.

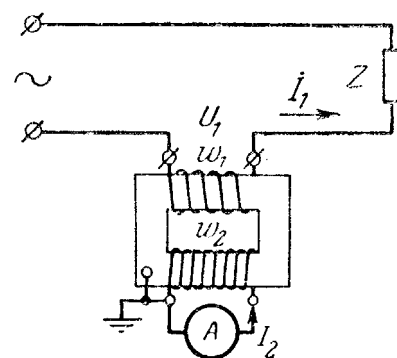
### 6.5.2. Biến dòng TI.

Biến dòng TI được áp dụng để mở rộng giới hạn đo dòng cho các dụng cụ đo. Sơ đồ nguyên lý của biến dòng TI và cách mắc trong mạch đo như hình vẽ 2-68.

Cuộn sơ cấp  $W_1$  của TI mắc nối tiếp với tải Z. Cuộn thứ cấp  $W_2$  được khép kín bằng ampe-mét hoặc cuộn dòng của wattmét điện động, hoặc cuộn dòng của công tơ điện.

Vì điện trở của cuộn thứ cấp rất nhỏ nên có thể coi điều kiện làm việc bình thường của máy biến dòng là chế độ ngắn mạch cuộn thứ cấp.

Cuộn sơ cấp của biến dòng cần phải được cách điện tốt với cuộn thứ cấp và với vỏ máy. Để đảm bảo an toàn cho người sử dụng



người ta nối đất vỏ máy và một đầu cuộn thứ cấp.

Điện áp thứ cấp của biến dòng thường từ 1-6V. Dòng sơ cấp thay đổi theo tải, còn dòng thứ cấp của mọi máy biến dòng được thiết lập ở chế độ định mức là 5 A hoặc 1A.

Hình 2-68

Thông số cơ bản của biến dòng là hệ số biến dòng định mức:

$$k_I = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \tag{2-66}$$

với  $I_{1n}$  và  $I_{2n}$  là trị số định mức của dòng sơ cấp và dòng thứ cấp của TI.

Hệ số biến dòng định mức  $k_I$  khác với hệ số biến áp  $k_{21} = W_2/W_1$  một lượng không đáng kể, và trong thực tế với độ chính xác cho phép thường lấy  $k = k_{21}$ .

Khi đo, dụng cụ đo được mắc vào cuộn thứ cấp của TI. Giá trị của dòng cần đo sẽ bằng số chỉ của dụng cụ nhân với hệ số biến dòng định mức ghi trên dụng cụ.

Máy biến dòng cấu tạo theo nhiều dạng khác nhau, như loại cố định, loại xách tay. Để tiện lợi khi sử dụng người ta thiết kế tổ hợp biến dòng với dụng cụ đo trong cùng một dụng cụ đo hợp bộ như ampemét kim. Trên hình 2-69 là hình dáng của ampemét kim II-91.



Hình 2-69. Ampemét kim II-91

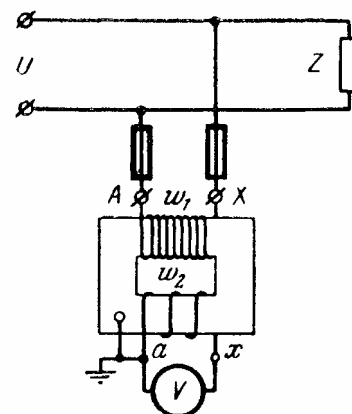
–*Chú ý.* Chế độ làm việc định mức của máy biến dòng TI là chế độ ngắn mạch cuộn thứ cấp. Do đó nếu tháo gỡ ampemét ra khỏi biến dòng TI cần nối tắt 2 đầu dây cuộn thứ, tránh ảnh hưởng của dòng từ hóa  $I_0$  làm tổn hao từ đốt nóng TI.

### 6.5.3. Biến áp đo lường TU.

Biến áp đo lường được dùng để mở rộng thang đo cho các dụng cụ khi làm việc với lưới điện cao thế.

Cấu tạo và cách mắc biến áp vào mạch đo như trên hình 2-70. Cuộn sơ cấp  $W_1$  mắc vào lưới điện cần đo, còn cuộn thứ cấp  $W_2$  được mắc với đồng hồ đo vôn kế.

Giá trị điện áp định mức đối với cuộn sơ cấp của TU theo ГОСТ từ 380 V ÷ 500kV. Với các điện áp định mức nhỏ hơn 3kV áp dụng chất cách điện khô, còn khi điện áp cao hơn 3kV phải sử dụng chất cách điện là dầu. Khi điện áp định mức cuộn sơ là 35kV dùng máy biến áp một cấp, với các điện áp 110kV và cao hơn phải sử dụng các máy biến áp từ 2 cấp trở lên.





Giá trị điện áp thứ cấp  $U_2$  định mức với các biến áp TU là 100V hoặc  $100\sqrt{3}$  V. Bình thường TU làm việc ở chế độ gần như hở mạch vì điện trở của vôn kế vô cùng lớn. Điều kiện làm việc bình thường của TU rất khác với TI. Đối với TI dòng sơ cấp  $I_1$  có thể biến thiên trong phạm vi khá rộng, tùy theo phụ tải. Còn với TU thông thường làm việc với điện áp bên sơ cấp biến đổi không nhiều.

Thông số cơ bản của TU là hệ số biến áp định mức:

$$k_U = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

Trong thực tế các máy biến áp đo lường TU được sản xuất với các cấp chính xác 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1 và 3.

*Hình 2-70. Biến điện áp TU*

## CHƯƠNG III: QUAN SÁT VÀ GHI DẠNG TÍN HIỆU

### 1. DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ

Trong kỹ thuật đo lường điện và vô tuyến điện, một trong những yêu cầu cơ bản để xác định tín hiệu là quan sát dạng và đo các tham số của tín hiệu. Các tín hiệu điện và vô tuyến điện là những hàm biến thiên theo thời gian. Do vậy, nếu thực hiện được một thiết bị để vẽ trực tiếp đồ thị biến thiên của tín hiệu theo thời gian thì có thể quan sát được hình dạng và đo lường được các thông số đặc tính của nó.

Thiết bị cho phép quan sát và đo đạc các tham số của tín hiệu là máy hiện sóng hay dao động ký điện tử (oscilloscope). Dao động ký điện tử là thiết bị đo thực hiện vẽ dao động đồ và hiện hình dạng sóng tín hiệu nhờ ống tia điện tử CRT (Cathode Ray Tube). Dao động ký điện tử có thể đo hàng loạt các thông số của tín hiệu: trị đỉnh, trị tức thời của điện áp, dòng điện; đo thời hạn xung, tần số, đo di pha, đo hệ số điều chế biên độ, vẽ đặc tuyến các linh kiện.

Nhờ trở kháng lối vào rất lớn nên phép đo có ưu điểm không làm ảnh hưởng tới chế độ công tác của mạch.

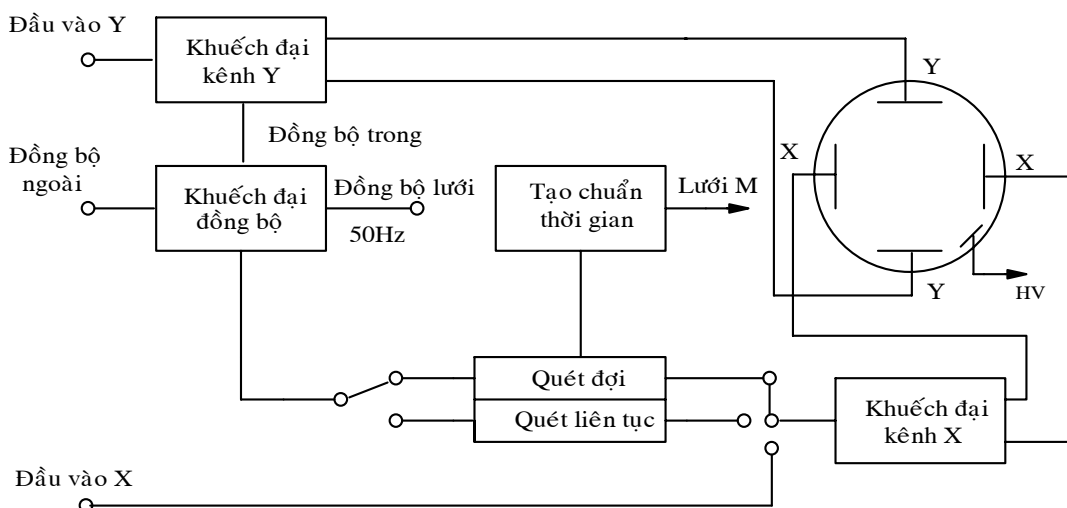
Nhờ độ nhạy cao dao động ký điện tử cho phép khảo sát các quá trình rất yếu cả tuần hoàn lẫn quá trình xung với khả năng phân biệt cao.

Các dao động ký điện tử được phân loại theo các dấu hiệu khác nhau:

- Phân loại theo dải tần: tần cao, tần thấp;
- Phân loại theo kênh đo: 1 kênh, 2 kênh, nhiều kênh;
- Phân loại theo số tia điện tử: 1 tia hay nhiều tia;
- Loại có nhớ hay không có nhớ.

Nhờ các đặc tính quý báu như trên nên dao động ký điện tử là thiết bị đo cơ bản và quan trọng không thể thiếu trong các phòng thí nghiệm điện tử.

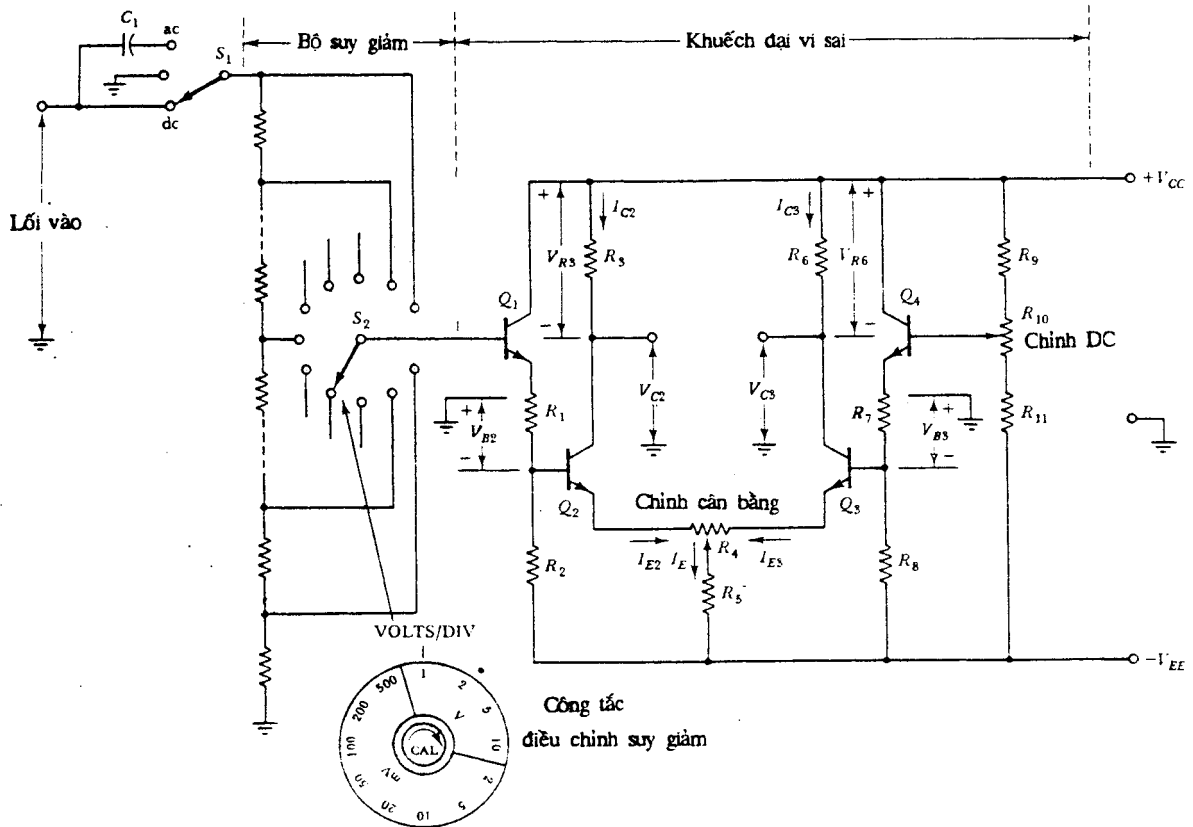
Sơ đồ khối chức năng của dao động ký điện tử 1 chùm tia chỉ ra trên hình 3-1.



Hình 3-1. Dao động ký điện tử.

## § 2. TẦNG KHUẾCH ĐẠI KÊNH Y

Sơ đồ nguyên lý của tầng khuếch đại kênh Y như hình 3-2.



Hình 3-2. Tầng khuếch đại kênh Y

Điện áp cần khảo sát qua mạch lối vào (DC hoặc AC), sau đó qua bộ suy giảm và đưa vào tầng khuếch đại vi sai trên các transistor  $Q_2, Q_3$ . Các transistor  $Q_1$  và  $Q_4$  là các mạch gánh emitter để tạo trở kháng vào lớn.

Khi thế lối vào  $V_i = 0$ , ta có  $V_{B1} = 0$ . Điều chỉnh biến trở  $R_{10}$  sao cho  $V_{B4} = 0$ . Lúc đó 2 nửa vi sai cân bằng,  $I_{C2} = I_{C3}$ . Sụt áp trên  $R_3$  và  $R_6$  cho ta các điện áp trên collector của  $Q_1$  và  $Q_2$  tương ứng bằng nhau. Do đó  $V_{C2} - V_{C3} = 0V$ .

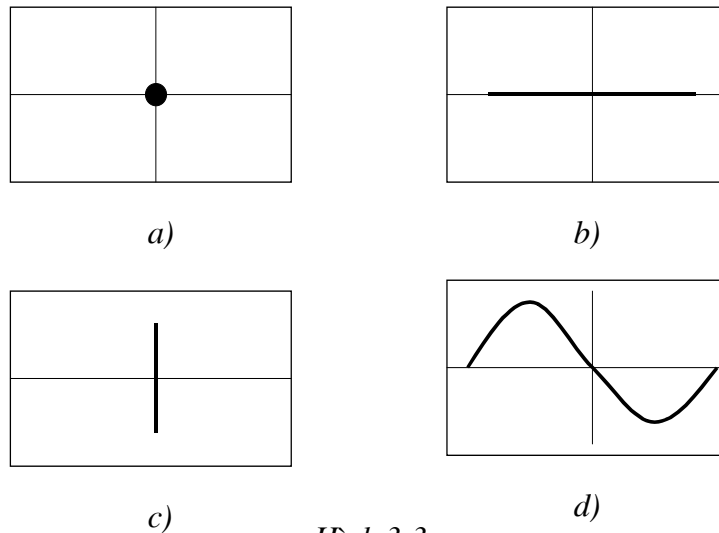
Khi có tín hiệu vào theo chiều dương, làm thế đáy  $V_{B2}$  tăng,  $I_{C2}$  tăng dẫn đến  $I_{C3}$  giảm. Dòng  $I_{C2}$  tăng khiến  $V_{C2}$  giảm dưới mức đất, trái lại, dòng  $I_{C3}$  giảm khiến  $V_{C3}$  tăng trên mức đất. Nếu  $\Delta V_{C2} = -1V$  thì  $\Delta V_{C3} = +1V$ , nghĩa là có 2 điện áp ngược chiều nhau đặt trên collector của  $Q_2$  và  $Q_3$ . Hiệu điện thế này sẽ đặt lên 2 phiến lệch đứng YY của ống tia điện tử.

Chiết áp  $R_{10}$  làm nhiệm vụ điều chỉnh mức DC. Khi tiếp điểm động của  $R_{10}$  ở giữa,  $V_{B4} = 0$  (ở mức thế đất). Khi tiếp điểm động của  $R_{10}$  dịch chuyển lên phía trên,  $V_{B4} > 0$ ,  $V_{B3}$  tăng theo chiều dương làm  $I_{C3}$  tăng, nên  $I_{C2}$  giảm,  $V_{C3}$  giảm và  $V_{C2}$  tăng.

Thế này đặt vào phiến lái tia làm chùm electron lệch lên trên tâm màn hình, kết quả toàn bộ hình vẽ nâng lên trên mức DC bình thường. Ngược lại, khi tiếp điểm động của  $R_{10}$  dịch xuống phía dưới làm mức DC và toàn bộ hình vẽ dịch xuống dưới.

### § 3. HIỆN HÌNH DẠNG SÓNG

Nguyên tắc vẽ dao động đồ của dao động ký điện tử có thể minh họa trên hình 3-3.



Hình 3-3

- 3.1. Khi chưa có tín hiệu đặt vào các phiến lái tia XX và YY thì chùm tia điện tử sẽ đập vào giữa tâm màn hình. Trên màn có 1 vết sáng tròn (hình 3-3,a);
- 3.2. Khi đặt một điện áp quét dạng răng cưa  $U_x$  vào phiến lệch ngang XX, chùm tia điện tử sẽ di chuyển theo phương ngang và vẽ nên một vết sáng nằm ngang trên màn hình. Đây là chế độ quét đợi thường trực của máy hiện sóng (hình 3-3,b).
- 3.3. Khi chỉ có điện áp xoay chiều hình sin  $U_y$  đặt vào phiến lệch đứng YY, chùm tia điện tử sẽ di chuyển theo phương thẳng đứng với tần số của điện áp hình sin. Trên màn hình sẽ có 1 vết sáng thẳng đứng (hình 3-3,c).
- 3.4. Nếu trên phiến XX tác động điện áp quét  $U_x$ , trên phiến lệch đứng YY đặt điện áp xoay chiều hình sin  $U_y$ . Khi có sự đồng bộ giữa  $U_x$  và  $U_y$  thì trên màn hình ta sẽ quan sát được dạng sóng của điện áp hình sin (hình 3-3,d). Tùy thuộc vào tỷ số tần số giữa điện áp quét  $U_x$  và điện áp hình sin  $U_y$  mà trên màn hình ta sẽ quan sát được số chu kỳ của điện áp  $U_y$ .

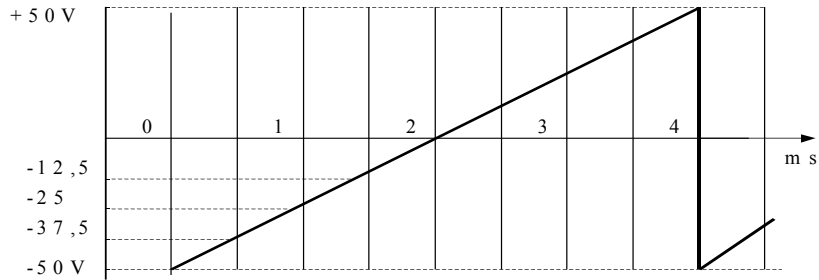
– Ví dụ. Một sóng tam giác 500 Hz với biên độ đỉnh 50V được đưa vào phiến lệch đứng YY của ống tia điện tử CRT. Trên các tấm lệch ngang XX đặt vào điện áp quét răng cưa tần số 250Hz, biên độ đỉnh 50V. CRT có độ nhạy lái tia đứng  $S_y$

= 0,1 cm/V; độ nhạy lái tia ngang  $S_x = 0,08$  cm/V. Giả sử hai tín hiệu được đồng bộ hóa. Hãy xác định và vẽ dạng sóng trên màn hình.

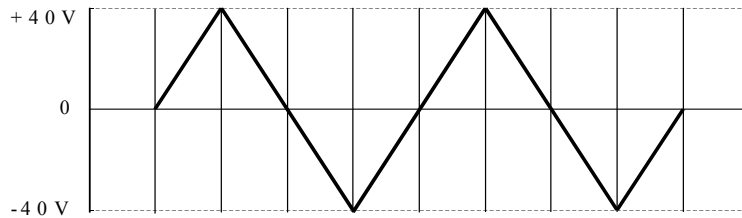
Ta có: Chu kỳ của sóng quét răng cưa (hình 3-4,a) là:

$$T_x = 1/f_x = 1/ 250 \text{ Hz} = 4 \text{ ms}$$

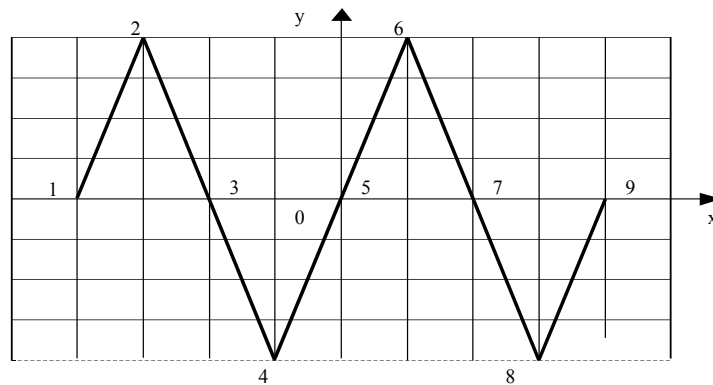
Với sóng tam giác (hình 3-4,b):  $T_y = 1/f_y = 1/500 \text{ Hz} = 2 \text{ ms}$ ;



a)



b)



c)

Hình 3-4. Nguyên tắc hiện hình dạng sóng

Chùm tia điện tử sẽ dịch chuyển theo sự điều khiển của điện áp đặt vào các phiến lệch đứng và lệch ngang. Gọi tọa độ của điểm sáng trên màn hình theo các trục tọa độ Oxy tương ứng. Ta hãy xét các thời điểm sau:

– Tại thời điểm  $t = 0$ , điện áp đặt vào các phiến lệch đứng và lệch ngang tương ứng là:

$$V_y = 0\text{V}; V_x = -50\text{V}.$$

Như vậy, độ lệch đứng của tia điện tử  $y = 0$ , còn độ lệch ngang là:

$$x = V_x \cdot S_x = -50 \text{ V} \cdot 0,08 \text{ cm/V} = -4 \text{ cm}.$$

Vị trí của điểm sáng trên màn hình (điểm 1) có tọa độ (-4, 0).

– Khi  $t = 0,5\text{ms}$ :

$$V_x = -37,5\text{V}; V_y = 40\text{V}.$$

Tọa độ của chùm tia điện tử bây giờ sẽ là:

$$x = V_x \cdot S_x = -37,5 \cdot 0,08 = -3 \text{ cm};$$

$$y = V_y \cdot S_y = 40 \cdot 0,1 = 4 \text{ cm}.$$

Điểm 2 trên màn hình có tọa độ (-3, 4).

- Tại  $t = 1 \text{ ms}$  (điểm 3);  $V_x = -25\text{V}, V_y = 0\text{V}, x = -25 \cdot 0,08 = -2\text{cm}, y = 0$ ; ứng với tọa độ (-2, 0).
- Tại  $t = 1,5 \text{ ms}$  (điểm 4) ;  $x = -12,5 \cdot 0,08 = -1\text{cm}; y = -40 \cdot 0,1 = -4\text{cm}.$
- Tại  $t = 2 \text{ ms}$  (điểm 5);  $x = 0; y = 0. \text{v.v...}$
- cho đến thời điểm  $t = 4 \text{ ms}$  (điểm 9), khi đó điểm sáng trên màn hình sẽ có tọa độ tương ứng với ( $x=4\text{cm}, y=0$ ). Trên bảng 3-1 chỉ ra các tham số tương ứng với những tính toán nói trên.

Bảng 3-1

Thời điểm (ms)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Điện áp $V_{xx}$ (V)	-50	-37,5	-25	-12,5	0	12,5	25	37,5	50
Điện áp $V_{yy}$ (V)	0	40	0	-40	0	40	0	-40	0
Độ lệch ngang x (cm)	-4	-3	-2	-1	0	11	2	3	4
Độ lệch đứng y (cm)	0	4	0	-4	0	4	0	-4	0
Điểm sáng	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Đồ thị dạng sóng hiện hình trên dao động ký điện tử chỉ ra trên hình 3-4, c cho thấy sau một chu kỳ của điện áp quét răng cưa  $V_x$  trên màn hình ta nhận được 2 chu kỳ của điện áp sóng tam giác  $V_y$ .

## § 4. BỘ TẠO GỐC THỜI GIAN

### 4.1. Bộ tạo dao động quét răng cưa.

Sơ đồ nguyên lý của mạch tạo dao động răng cưa chỉ ra trên hình 3-5. Mạch gồm 2 khối chức năng chính là: bộ tạo sóng quét răng cưa và trigger Schmitt không đảo. Điện áp lối ra của mạch tạo sóng quét răng cưa  $V_1$  được đưa vào lối vào của trigger Schmitt. Do độ lợi của mạch khuếch đại thuật toán rất lớn ( $\sim 20.000$ ) nên mỗi thay đổi nhỏ giữa 2 lối vào của trigger cũng làm cho lối ra của nó ở mức bão hòa.

–Nguyên tắc hoạt động. Mạch tạo sóng quét răng cưa hoạt động trên cơ sở nạp và phóng của tụ điện. Transistor  $Q_1$  và các điện trở thiên áp cho nó tạo nên nguồn dòng

ổn  $I_1$  để nạp cho tụ  $C_1$ . Transistor  $Q_2$  đóng vai trò khóa xả cho tụ  $C_1$  và được điều khiển bởi xung lối ra của trigger schmitt.

Ở trạng thái ban đầu thế lối ra của trigger ở mức bão hòa âm,  $Q_2$  khóa,  $C_1$  được nạp bằng dòng  $I_1$ . Thế trên tụ tăng tuyến tính theo quy luật:

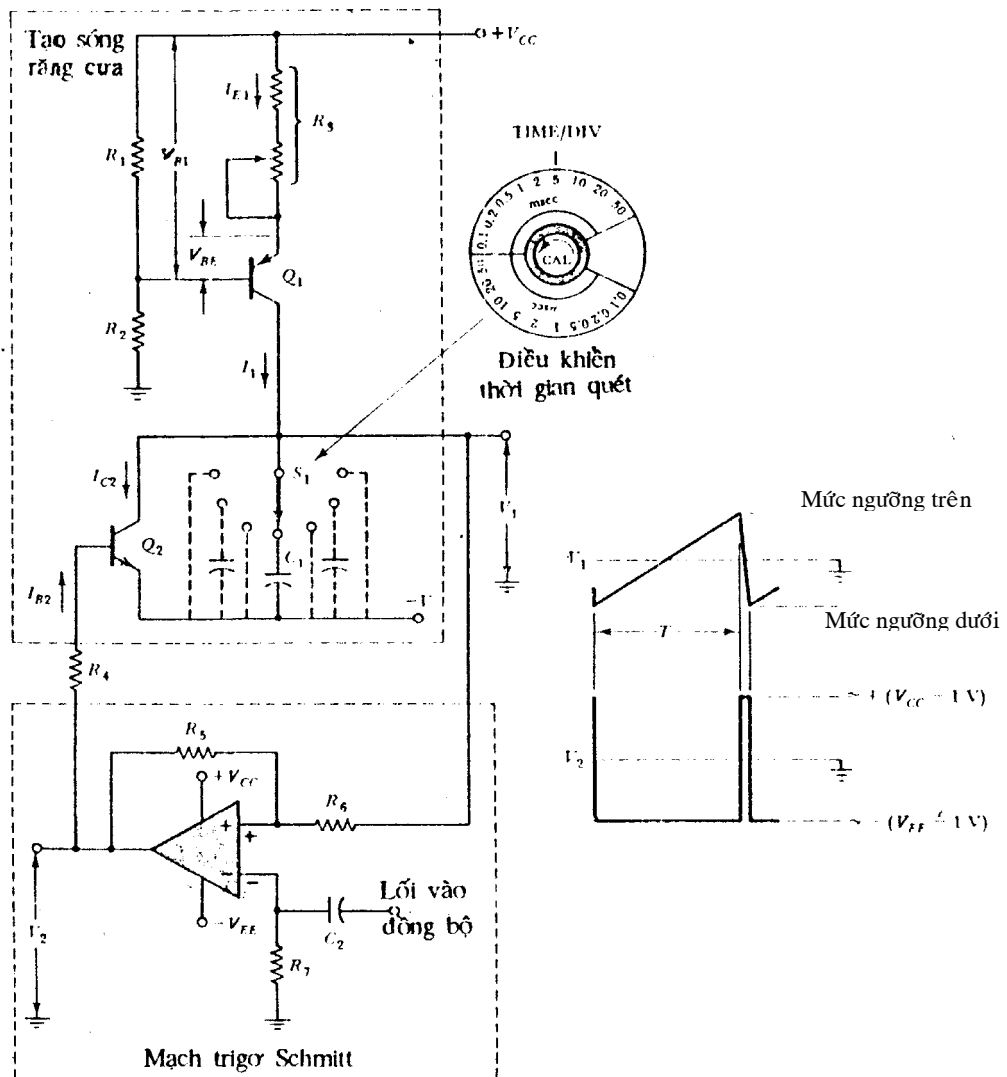
$$\Delta V_1 = \frac{I_1 t}{C_1} \tag{3-1}$$

Khi thế trên tụ đạt mức ngưỡng của trigger schmitt :

$$V_{C1} = V_{ng} = \pm(V_{CC} - 1) \frac{R_6}{R_5} \tag{3-2}$$

Trigger chuyển trạng thái lối ra lên bão hòa dương. Thế bão hòa này làm cho transistor  $Q_2$  nhanh chóng dẫn thông bão hòa, mở đường cho tụ  $C_1$  xả nhanh qua  $Q_2$ . Khi thế trên tụ  $C_1$  giảm xuống mức ngưỡng dưới kích trigger chuyển trạng thái lối ra sang bão hòa âm, cấm  $Q_2$  và tụ  $C_1$  lại được nạp lại. Cứ như thế lối ra trên collector  $Q_1$  ta có dạng sóng răng cưa với mặt trước tăng tuyến tính, mặt sau gần như dốc đứng.

Để thay đổi chu kỳ sóng quét răng cưa, ta có thể thay đổi nguồn dòng  $I_1$  bằng cách điều chỉnh biến trở  $R_3$ , hoặc thay đổi thời hằng của mạch nạp nhờ chuyển mạch tụ  $C_1$  ( nút chuyển mạch TIME/DIV trên mặt máy - xem hình 3-5).



Hình 3-5. Nguyên lý của mạch tạo sóng quét

–Ví dụ. Mạch tạo sóng quét trên hình 3-5 có:  $R_1 = 2,2 K$ ;  $R_2 = 4,5K$ ;  $R_3 = 4,2K$ ;  $C_1 = 0,25\mu F$ ,  $R_5 = 27K$ ;  $R_6 = 3,9K$ . Điện áp nguồn nuôi  $\pm V_{CC} = \pm 15V$ . Các transistor  $Q_1$  và  $Q_2$  là transistor Si. Hãy tính biên độ đỉnh – đỉnh  $V_{PP}$  và chu kỳ dạng sóng răng cưa T.

Ta có: Điện áp ngưỡng của trigger schmitt:

$$V_{ng} = \pm(V_{CC} - 1) \frac{R_6}{R_5} = \pm(15 - 1) \frac{3,9K}{2,7K} = \pm 2V$$

Biên độ đỉnh-đỉnh của điện áp răng cưa sẽ là:

$$V_{PP} = 2 V_{ng} = 2 \times 2V = 4V$$

Điện áp trên đáy của  $Q_1$  là:

$$V_{B1} = V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 4,9V \quad (\text{với giả thiết } I_{B1} \ll I_{B2}).$$

Nguồn dòng: 
$$I_{C1} = \frac{V_{B1} - V_{BE}}{R_3} = \frac{4,9V - 0,7V}{4,2K} = 1mA$$

$$\Delta V_1 = 4V_{PP}$$

$$T = \frac{\Delta V_1 \cdot C_1}{I_{C1}} = \frac{4 \cdot 0,25\mu F}{1mA} = 1ms$$

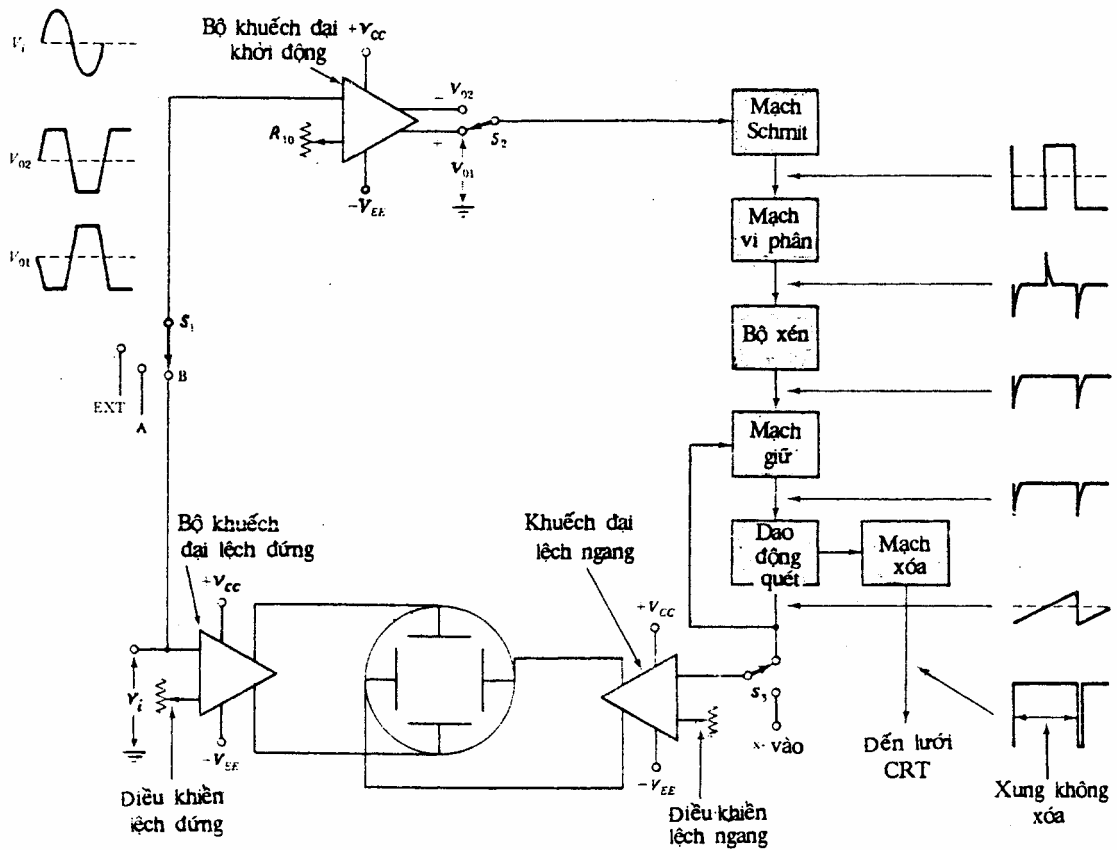
#### 4.2. Bộ tạo gốc thời gian tự động.

Để hiện hình chính xác dạng sóng, cần thực hiện đồng bộ hóa giữa sóng quét răng cưa và tín hiệu cần khảo sát. Khi mất đồng bộ hình sẽ bị trôi rất khó quan sát. Sự đồng bộ hóa được thực hiện nhờ đầu vào đồng bộ của mạch trigger Schmitt ở hình 3-5. Sơ đồ khối của bộ tạo gốc thời gian tự động minh họa trên hình 3-6.

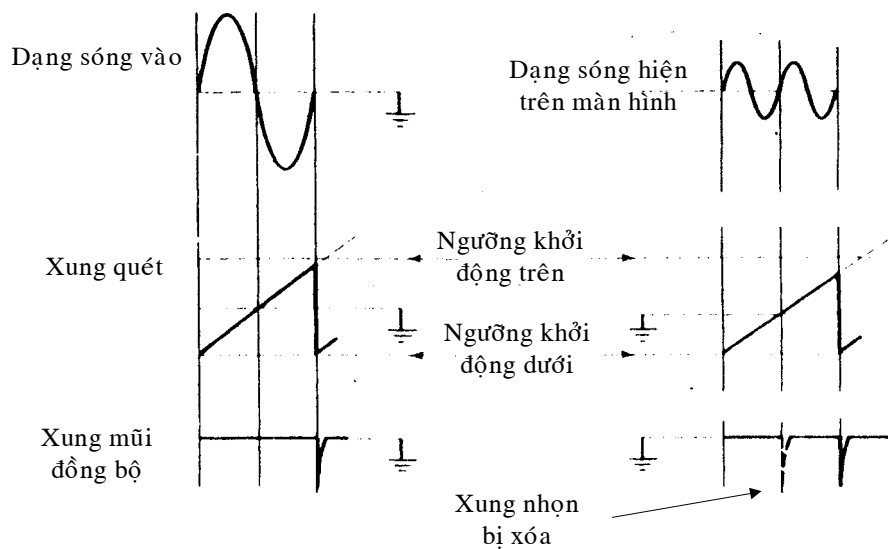
Điện áp cần nghiên cứu được đưa vào bộ khuếch đại đứng YY và bộ khuếch đại khởi động của bộ tạo gốc thời gian. Bộ khuếch đại khởi động có đầu ra vi sai với 2 điện áp ngược pha nhau  $V_{01}$  và  $V_{02}$ . Điều chỉnh hệ số khuếch đại để đạt bão hòa sao cho sóng lối ra bị cắt đỉnh tới mức gần vuông. Chuyển mạch  $S_2$  chọn sóng  $V_{01}$  hay  $V_{02}$  đưa vào trigger schmitt (có các ngưỡng  $V_{n1}$  và  $V_{n2}$  nằm đối xứng qua mức đất). Tín hiệu lối ra của trigger schmitt là sóng vuông đồng bộ hóa chính xác với tín hiệu đưa vào các phiến lệch đứng YY. Sóng vuông qua mạch vi phân sau đó qua mạch cắt phần xung dương, lấy phần xung mũi âm để đưa vào lối vào đồng bộ của mạch tạo sóng quét răng cưa.

Tín hiệu ra từ mạch tạo sóng quét  $V_2$  (xem hình 3-5) lối ra của trigger schmitt là dạng xung được đảo và vi phân, tạo thành xung dương trong thời gian quét thuận và xung âm trong thời gian quét ngược đưa về lưới điều chế M của CRT. Các xung âm (xung xóa) sẽ kéo lưới xuống mức âm đủ để xóa hoàn toàn chùm electron trong thời gian quét ngược.





Trên hình 3-7 minh họa sự đồng bộ hóa sóng quét răng cưa và sóng tín hiệu cần nghiên cứu, khi hiện hình một chu kỳ (hình 3-7,a) và hiện 2 chu kỳ (hình 3-7,b).



Hình 3-7. Đồng bộ hóa sóng quét răng cưa và tín hiệu nghiên cứu

Hình 3-6. Bộ tạo gốc thời gian tự động

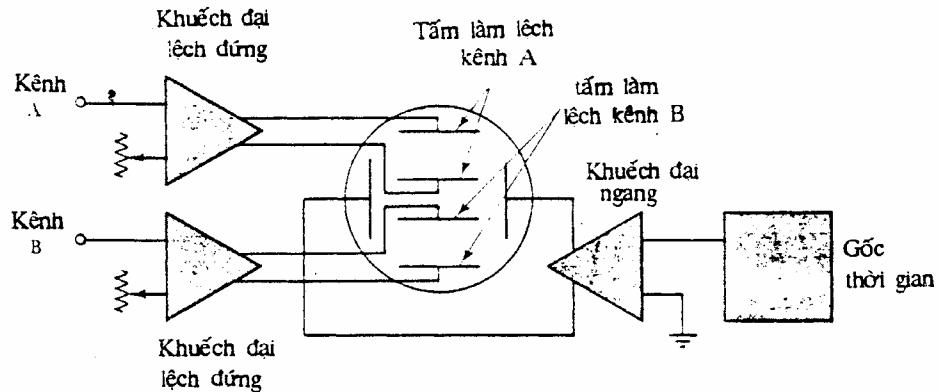
**§ 5. DAO ĐỘNG KÝ NHIỀU KÊNH**

Thông thường các dao động ký điện tử được thiết kế nhiều kênh để có thể hiện hình đồng thời từ 2 dạng sóng trở lên. Các dao động ký nhiều kênh cho phép dễ dàng quan sát, so sánh và đo đạc các tham số của các tín hiệu một cách đồng thời; chẳng hạn có thể quan sát đồng thời tín hiệu lối vào và tín hiệu lối ra của một bộ khuếch đại, một bộ biến đổi điện tử, hay một mạng tứ cực nói chung; từ đó dễ dàng xác định được các tham số đặc tính của mạch.

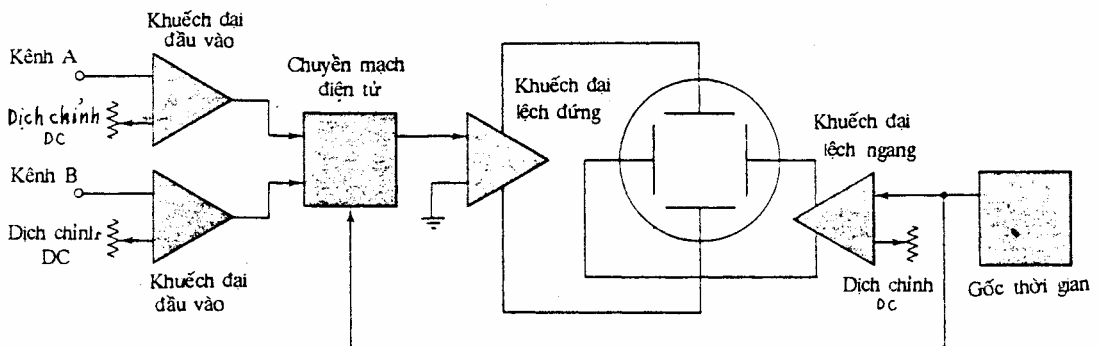
Đối với dao động ký 2 kênh, có thể thực hiện theo 2 phương pháp:

5.1. Ống tia điện tử CRT được thiết kế với 2 súng phóng điện tử, 2 kênh điều khiển lệch đứng riêng biệt và một kênh lệch ngang chung (hình 3-8). Trường hợp này dao động ký còn gọi là máy hiện sóng 2 chùm tia.

5.2. Ống tia điện tử với 1 súng điện tử, nhưng được tách thành 2 kênh nhờ một bộ chuyển mạch điện tử. Tần số chuyển mạch được điều khiển nhờ bộ tạo gốc thời gian (hình 3-9).



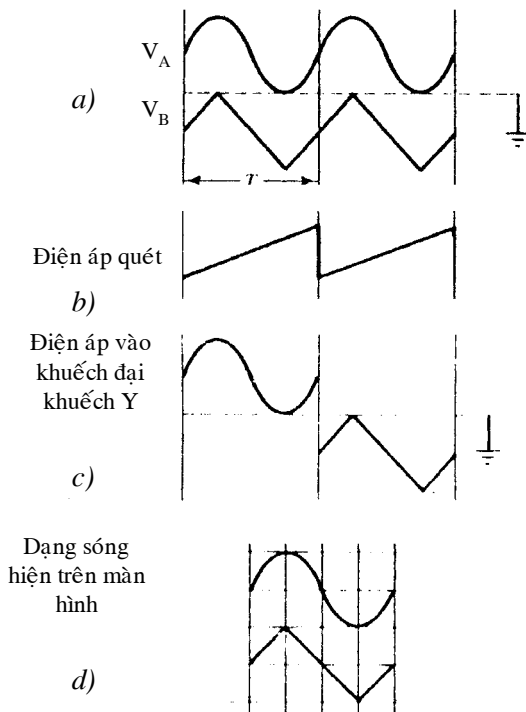
Hình 3-8. Dao động ký với CRT có 2 kênh riêng biệt



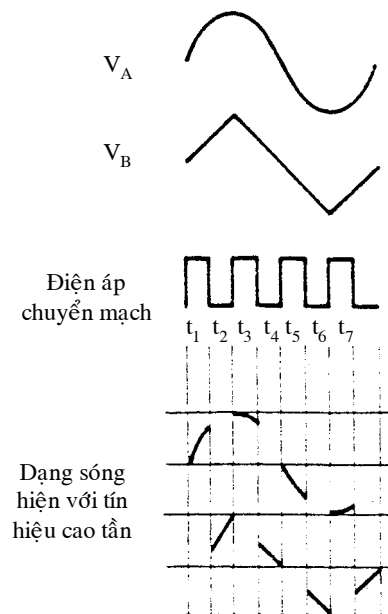
Hình 3-9. Dao động ký với 2 kênh dùng chuyển mạch điện tử

Với dao động ký đa kênh kiểu dùng chuyển mạch điện tử, hoạt động của bộ tạo quét có thể thực hiện theo một trong hai chế độ hoặc là quét kiểu luân phiên hoặc là quét theo kiểu ngắt quãng (chop mode switching).

Trên hình 3-10 minh họa nguyên tắc hoạt động của kiểu quét luân phiên, trong đó:  $V_A$  – dạng sóng sin đưa vào kênh A, chu kỳ T;  $V_B$  – Dạng sóng tam giác đưa vào kênh B. Cả 2 sóng được đồng bộ hóa và được dịch mức DC. Điện áp đưa vào kênh A là  $V_A$  được dịch lên trên mức đất, còn điện áp  $V_B$  dịch xuống dưới mức đất (hình 3-10,a). Bộ chuyển mạch cho thế  $V_A$  từ kênh A vào khuếch đại đứng trong khoảng thời gian từ  $0 \div t_1$ , và cho thế  $V_B$  từ kênh B vào khuếch đại đứng trong khoảng thời gian từ  $t_1 \div t_2$  (hình 3-10,c). Tần số lặp lại của chuyển mạch đủ lớn cho phép các dạng sóng có vẻ hiện một cách đồng thời trên màn hình (hình 3-10,d).



Hình 3-10. Kiểu quét luân phiên



Hình 3-11. Kiểu quét ngắt quãng

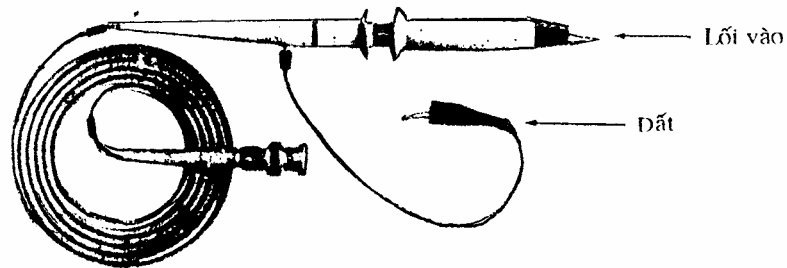
Trong chế độ quét kiểu ngắt quãng thì hoạt động của mạch được minh họa trên hình 3-11. Trong thời gian  $t_1$  bộ chuyển mạch cho tín hiệu kênh A đưa vào kênh khuếch đại đứng, trong thời gian  $t_2$  cho tín hiệu kênh B, sau đó tiếp tục tín hiệu kênh A vào trong thời gian  $t_3$  và tín hiệu kênh B vào trong thời gian  $t_4$ , v.v... Cứ như thế dạng sóng vào được lượng tử hóa theo tần số của điện áp chuyển mạch, và hình dạng sóng đối với các tín hiệu cao tần có dạng như chỉ ra trên hình 3-11. Đối với các tín hiệu tần thấp vết gián đoạn là không nhìn thấy.

Như vậy, chế độ quét luân phiên thích hợp đối với các tín hiệu cao tần, còn kiểu ngắt quãng tốt đối với các tín hiệu tần thấp.

## § 6. ĐẦU DÒ CỦA ĐẠO ĐỘNG KÝ

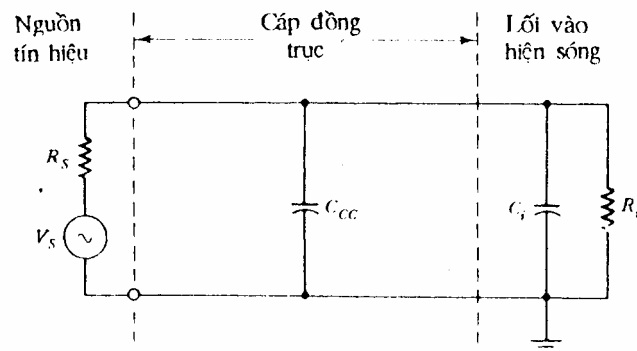
### 6.1. Đầu dò 1:1.

Khác với các máy đo thông thường, các đầu đo của dao động ký điện tử làm bằng cáp đồng trục nối với đầu dò (probe). Mỗi probe có 2 đầu nối: *đầu vào* và *đầu tiếp đất*. Đầu tiếp đất nối với màn chắn của cáp, còn đầu vào nối với lõi của cáp đồng trục dùng để dẫn tín hiệu cần đo (hình 3-12).



Hình 3-12. Đầu dò (probe) 1:1 của dao động ký điện tử.

Kiểu đầu dò này được gọi là đầu dò 1:1. Mạch điện tương đương của đầu dò khi nối với nguồn tín hiệu như trên hình 3-13. Cáp đồng trục có một điện dung tương đương  $C_{cc}$  mà giá trị của nó cỡ hàng trăm picôFara. Trở kháng vào của máy hiện sóng thường là  $1M\Omega$  mắc song song với một điện dung cỡ  $30pF$ . Trở kháng toàn phần do cáp đồng trục và đầu vào của máy hiện sóng phải đảm bảo luôn luôn lớn hơn nhiều so với trở kháng của nguồn tín hiệu. Nếu điều kiện trên không thỏa mãn tín hiệu sẽ bị suy giảm và pha sẽ bị dịch chuyển khi nối với máy hiện sóng.



Hình 3-13. Mạch tương đương của đầu dò khi nối với nguồn tín hiệu

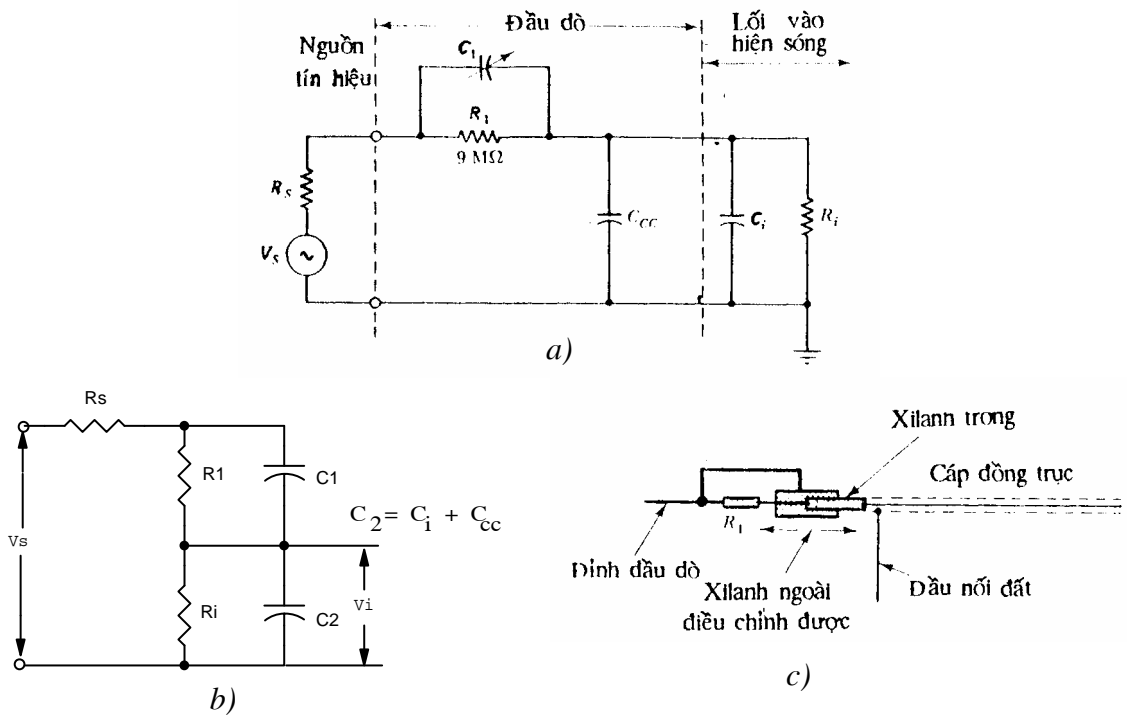
Ở những tần số mà dung kháng của các tụ ( $C_{cc} + C_i$ ) lớn hơn nhiều so với các điện trở thuần  $R_s$  và  $R_i$  thì ảnh hưởng của điện dung không đáng kể. Điện áp lối vào máy hiện sóng là:

$$V_i = V_s \frac{R_i}{R_s + R_i} \quad (3-3)$$

Với sự tăng của tần số tín hiệu, dung kháng sẽ nhỏ dần và tín hiệu vào sẽ bị suy giảm đáng kể khi truyền qua probe. Ở tần số mà dung kháng bằng  $R_s$  tín hiệu sẽ bị suy giảm 3dB và bị dịch pha  $45^\circ$ .

**6.2. Đầu dò suy giảm.**

Đầu dò suy giảm dùng để giảm mức tín hiệu vào theo một hệ số nhất định, thường là tỷ lệ 10:1. Sơ đồ mạch nối đầu dò suy giảm 10:1 với nguồn tín hiệu, sơ đồ tương đương và cấu tạo của probe chỉ ra trên hình 3-14.



**3-14. Mạch đầu dò suy giảm 10:1 của máy hiện sóng.**

- a) Sơ đồ nối đầu dò với nguồn tín hiệu.
- b) Sơ đồ tương đương.

Ở dải tần thấp và trung bình, ảnh hưởng của các điện dung là nhỏ, nên không gây ảnh hưởng nhiều đến việc truyền dẫn tín hiệu. Điện áp vào máy hiện sóng là:

$$V_i = V_s \frac{R_i}{R_1 + R_s + R_i} \quad (3-4)$$

Khi  $R_s \ll R_1$  thì:

$$V_i \approx V_s \frac{R_i}{R_1 + R_i} \quad (3-5)$$

Với  $R_1 = 9M\Omega$  và  $R_i = 1M\Omega$ , thì:

$$V_i = V_s \frac{1M\Omega}{9M\Omega + 1M\Omega} = \frac{V_s}{10}$$

Độ suy giảm tín hiệu do ảnh hưởng của các tụ điện độc lập có thể xác định như sau:

$$V_i = V_s \frac{X_{C_2}}{X_{C_1} + X_{C_2}} = V_s \frac{1/\omega C_2}{1/\omega C_1 + 1/\omega C_2} = V_s \frac{1}{(C_2/C_1) + 1};$$

$$V_i = V_s \frac{C_1}{C_1 + C_2}. \tag{3-6}$$

Trong đó  $C_2$  là điện dung tương đương của cáp đồng trục  $C_{cc}$  và điện dung vào của máy hiện sóng  $C_i$ . Khi mạch tụ làm suy giảm tín hiệu theo cùng tỷ lệ như mạch điện trở thì từ (3-5) và (3-6) ta có:

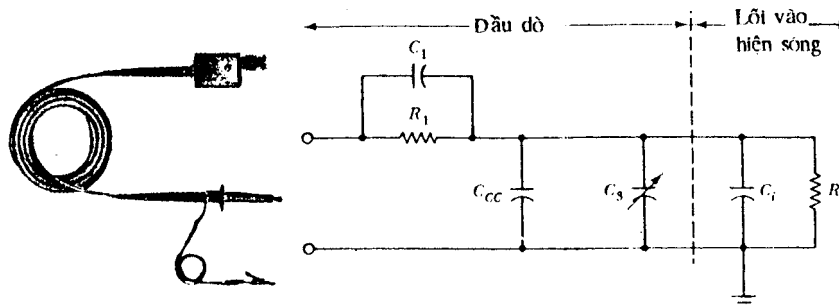
$$\frac{R_i}{R_1 + R_i} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \tag{3-7}$$

Nếu vẽ giản đồ pha có thể thấy rõ điện áp trên tụ  $C_2$  và  $R_i$  là cùng pha và bằng nhau về mặt biên độ. Như vậy tụ  $C_1$  bù trừ hoàn toàn sự có mặt của tụ  $C_2$ . Nói cách khác, sự suy giảm do ảnh hưởng của tụ  $C_2$  được bù trừ nhờ điện dung  $C_1$ . Giá trị của tụ  $C_1$  được tính theo hệ thức:

$$C_1 = C_2 \frac{R_i}{R_1} \tag{3-8}$$

Trên hình 3-14,c là cấu tạo điển hình của một đầu dò suy giảm.  $C_1$  là điện dung giữa các ống trụ kim loại đồng tâm mắc song song với  $R_1$ .

Một kiểu đầu dò suy giảm 10:1 khác và mạch tương đương của nó vẽ trên hình 3-15. Trong trường hợp này,  $C_1$  là tụ cố định, còn tụ biến đổi phụ  $C_3$  mắc song song với  $C_i$  và  $C_{cc}$ .



Hình 3-15. Đầu dò 10:1 – sơ đồ mạch và đầu vào của máy hiện sóng

### 6.3. Đầu dò chủ động (Active probe).

Đầu dò chủ động chứa các bộ khuếch đại điện tử nhằm tăng trở kháng lối vào và giảm thiểu điện dung vào. Trong các đầu dò chủ động hiện đại sử dụng các tầng vào FET, hoặc khuếch đại thuật toán đầu vào FET được mắc theo kiểu lặp áp. Trở kháng vào thông thường từ  $1M\Omega \div 10M\Omega // 3,5pF$ . Phải có nguồn nuôi cho bộ khuếch đại hoạt động. Nguồn nuôi này có thể lấy từ máy hiện sóng hoặc tạo bộ nguồn riêng.

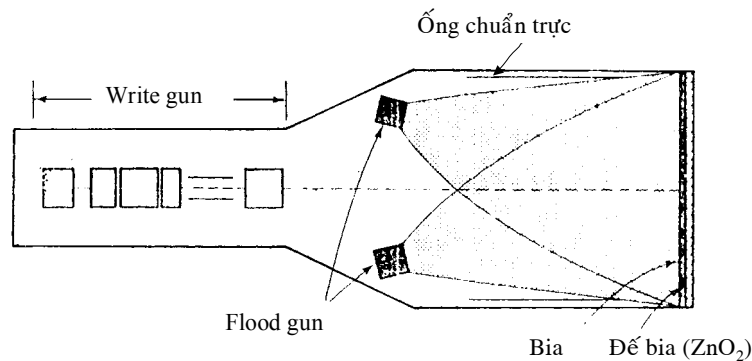
## § 7. DAO ĐỘNG KÝ CÓ NHỚ

### 7.1. Dao động ký có nhớ dạng tương tự.

Trong thực tế kỹ thuật có những trường hợp cần phải nghiên cứu những tín hiệu không lặp lại, những biến cố đơn. Để có thể lưu giữ được dạng tín hiệu người ta sử dụng các dao động ký có nhớ dạng tương tự.

Ta biết rằng đối với các dao động ký thông thường, sự phát sáng huỳnh quang trên màn hình xảy ra khi được chùm tia điện tử có năng lượng đủ lớn đập vào. Thời gian phát sáng chỉ cỡ miligiây và nó phụ thuộc vào bản chất của chất huỳnh quang và được đặc trưng bằng độ dư huy của chất đó.

Trong các dao động ký có nhớ, CRT được chế tạo đặc biệt cho phép hình ảnh trên màn huỳnh quang có thể lưu sáng hàng giờ hoặc lâu hơn. Trên hình 3-16 minh họa cấu trúc của CRT loại nhớ tương tự kiểu lưu sáng hai trạng thái ổn định.



Hình 3-16. CRT nhớ tương tự kiểu lưu sáng hai trạng thái ổn định

Thuật ngữ *hai trạng thái ổn định* dùng cho các CRT có thể hoạt động ở một trong 2 trạng thái có nhớ và không có nhớ.

Ngoài các bộ phận thông thường như trong các CRT của các dao động ký khác (súng điện tử write gun – súng viết, và các hệ thống lái tia), trong ống CRT của dao động ký lưu trữ còn có thêm các bộ phận:

- 7.1.1. Hệ thống súng tưới hay súng phun (flood gun) đặt phía sau tấm lái tia lệch đứng. Nhiệm vụ của súng tưới là tạo ra các electron có năng lượng thấp tưới đều khắp màn hình. Do các electron có năng lượng thấp nên không đủ gây phát sáng huỳnh quang.
- 7.1.2. Màn lưu trữ. Được cấu tạo từ một lớp mỏng ôxyt kẽm ( $ZnO_2$ ) trên phủ chất huỳnh quang. Lớp ôxyt kẽm gọi là đế bia, màn huỳnh quang gọi là bia.

Hoạt động của CRT loại lưu sáng như sau:

Khi chùm tia điện tử từ súng viết có năng lượng cao bắn tới màn huỳnh quang (bia), màn sẽ phát sáng tại những điểm bị electron đập vào. Đồng thời với việc phát quang sẽ xảy ra sự phát xạ các electron thứ cấp. Màn (bia) tại những chỗ bị kích hoạt

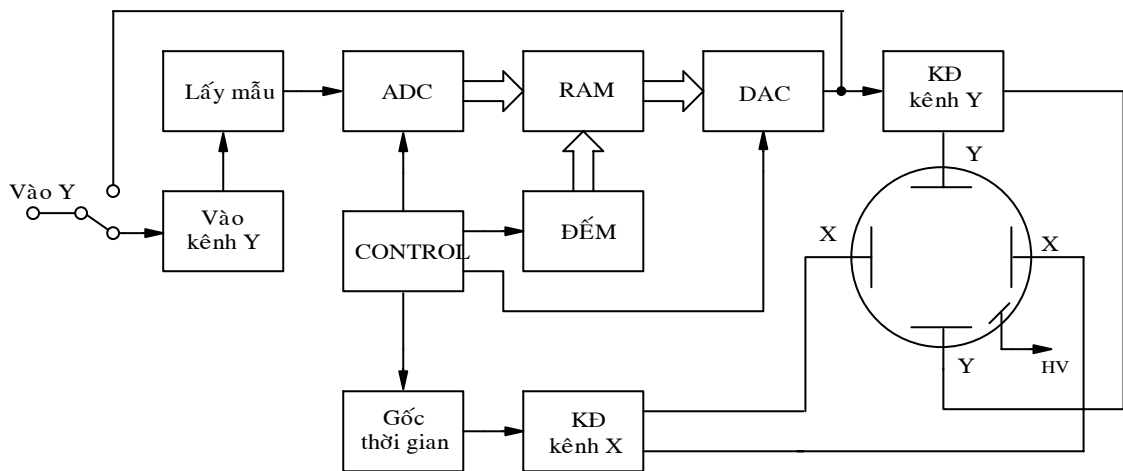
do mất electron nên tích điện dương. Nói cách khác một đường tích điện dương có dạng của tín hiệu vào sẽ được vạch ra trên màn huỳnh quang. Chùm tia điện tử từ súng phun phát ra sẽ được hút về phía đường tích điện dương trên bia và chạy về để bia có thể dương hơn. Khi đi qua lớp nhốt huỳnh quang chúng làm cho phốt pho tiếp tục phát sáng. Như vậy mặc dù tín hiệu vào đã tắt, nhưng trên màn hình ta vẫn giữ được dạng sóng của nó.

**7.2. Dao động ký có nhớ dạng số**

Sơ đồ khối của dao động ký số được chỉ ra trên hình 3-17. Hoạt động của máy như sau:

Điện áp tín hiệu cần nghiên cứu sau khi qua mạch lối vào sẽ được lấy mẫu và được biến đổi sang dạng số nhờ khối biến đổi ADC (Analog to Digital Converter). Mã số lối ra của ADC được lưu trữ trong bộ nhớ RAM với địa chỉ xác định bởi bộ đếm.

Khi muốn đưa dữ liệu ra màn hình, bộ điều khiển đọc địa chỉ bộ đếm sẽ gọi địa chỉ trong RAM đưa số liệu qua mạch biến đổi số tương tự DAC (Digital to Analog Converter). Tín hiệu tương tự lối ra của DAC sẽ qua mạch khuếch đại Y để đưa vào kênh lệch đứng YY của CRT, đồng thời bộ điều khiển khởi phát bộ tạo gốc thời gian để tạo sóng quét đưa vào kênh lệch ngang XX. Trên màn hình ta sẽ quan sát được dạng sóng đã lưu trữ.



Hình 3-17. Dao động ký lưu trữ dạng số

Dao động ký cũng hoạt động ở 2 chế độ nhớ và không nhớ. Trường hợp không nhớ tín hiệu vào trực tiếp đưa vào kênh khuếch đại Y để đưa vào điều khiển phiến lệch YY của CRT.

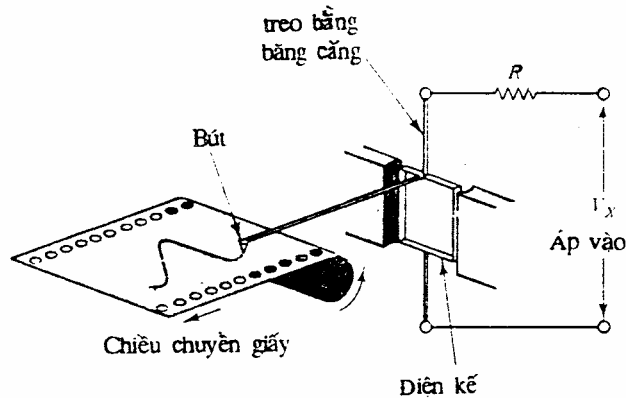
**§ 8. DỤNG CỤ GHI BIỂU ĐỒ**

**8.1. Máy ghi biểu đồ trên băng kiểu điện kế**

Nguyên tắc của máy ghi biểu đồ trên băng giấy kiểu điện kế dùng bút ghi chỉ ra trên hình 3-18. Trên trục của một điện kế khung quay từ điện gắn một bút vẽ, đầu

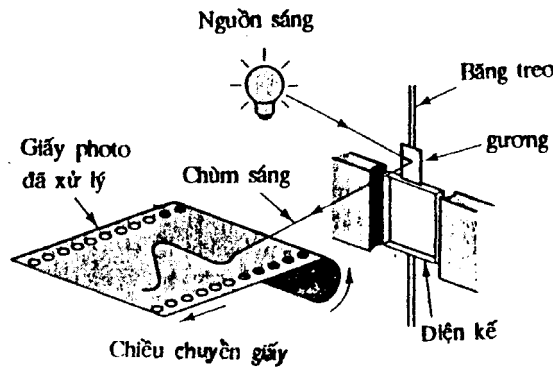


bút tì lên giấy như hình vẽ. Dưới tác dụng của điện áp đặt vào, khung dây sẽ quay và kéo theo bút vẽ vạch lên giấy. Độ lệch của bút sẽ tỷ lệ thuận với điện áp đặt vào khung dây. Khi tờ giấy chạy với tốc độ không đổi dưới bút vẽ thì dạng sóng của điện áp vào sẽ được vẽ ra trên giấy. Do sự chuyển động của giấy tỷ lệ với thời gian nên dụng cụ trên còn được gọi là máy ghi biểu đồ theo tọa độ  $x(t)$ .



Hình 3-18. Máy ghi biểu đồ trên băng giấy kiểu điện kế.

Một phương pháp khác để vẽ đồ thị trên băng giấy minh họa trên hình 3-19. Trong trường hợp này hệ thống làm lệch là một điện kế nhỏ có gương quay kiểu chỉ thị bằng ánh sáng thay cho bút vẽ. Một hệ thống quang học điều tiêu chính xác chùm tia sáng tử ngoại chiếu lên gương và phản chiếu lên băng giấy ảnh, kết quả thu được ảnh của tín hiệu nghiên cứu trên băng giấy ảnh.



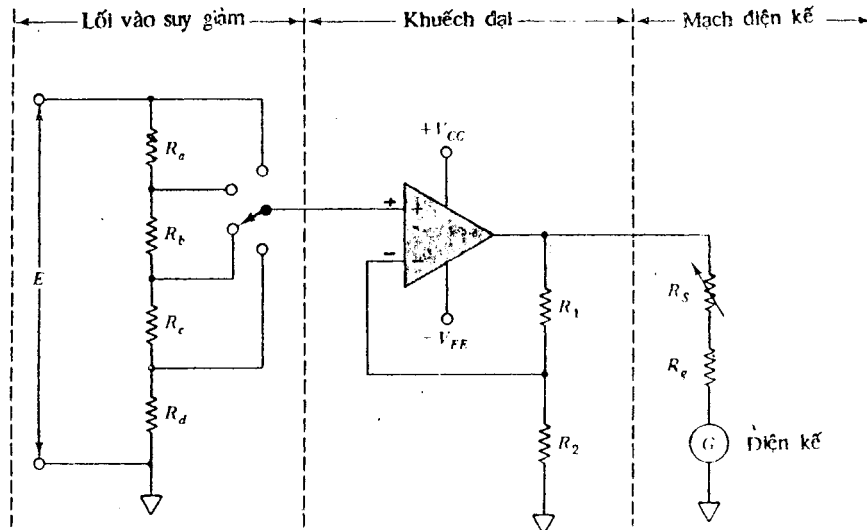
Hình 3-19. Máy ghi biểu đồ trên băng dùng tia sáng.

Ưu điểm chủ yếu của phương pháp này là hệ thống cho phép ghi các dạng sóng với tần số cao tới 5kHz, trong khi máy ghi kiểu dùng bút bị hạn chế tối đa là 200Hz. Tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi phải có loại giấy ảnh xử lý đặc biệt.

Ngoài phần cơ khí để điều khiển sự dịch chuyển của băng giấy thì phần còn lại của máy ghi giống như cơ cấu của một vôn kế điện tử tương tự. Sơ đồ mạch điều khiển điện kế dùng cho máy ghi như hình 3-20.

Bộ suy giảm để thay đổi khoảng điện áp lối vào và được điều chỉnh để cho các tầm đo 1cm/V; 2cm/V hoặc 0,1cm/V; v.v...

Hệ thống điều khiển kéo băng giấy dùng mô tơ và các hệ thống truyền động bánh răng để kéo giấy được điều khiển bằng dòng điện nhờ các biến trở. Có thể điều chỉnh tốc độ dịch chuyển của băng giấy ở mức cao tới 5cm/s, hoặc ở mức thấp tới 5cm/h. Ngoài ra còn có thêm một hệ thống cơ khí để nâng và hạ bút.



Hình 3-20. Mạch điều khiển điện kế dùng cho máy ghi biểu đồ

### 8.2. Máy ghi biểu đồ trên băng giấy kiểu chiết áp.

Hoạt động của máy ghi biểu đồ trên băng giấy kiểu chiết áp theo nguyên tắc biến trở tự cân bằng. Sơ đồ nguyên lý của dụng cụ chỉ ra trên hình 3-21

Bút ghi được gắn trên một dây kéo và chuyển động nhờ mô tơ. Đầu giữ bút gắn với đầu con trượt của một biến trở chiết áp. Hai đầu của chiết áp đặt dưới nguồn điện áp một chiều ( $\pm E$ ). Điện áp lấy ra từ đầu con trượt thông qua một dây điện trở nhỏ qua mạch khuếch đại lặp lại để đưa vào một mạch cộng điện áp.

Mô tơ kéo điều khiển bút ghi hoạt động dưới sự tác động của điện áp trên lối ra của bộ khuếch đại cộng. Ký hiệu các dòng lối vào mạch cộng áp là  $I_2, I_3$  và  $I_4$ , ta có điện áp lối ra của mạch cộng là:

$$V_o = -R_5(I_2 + I_3 + I_4) = -R_5 \left( \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_i}{R_3} + \frac{V_F}{R_4} \right); \quad (3-9)$$

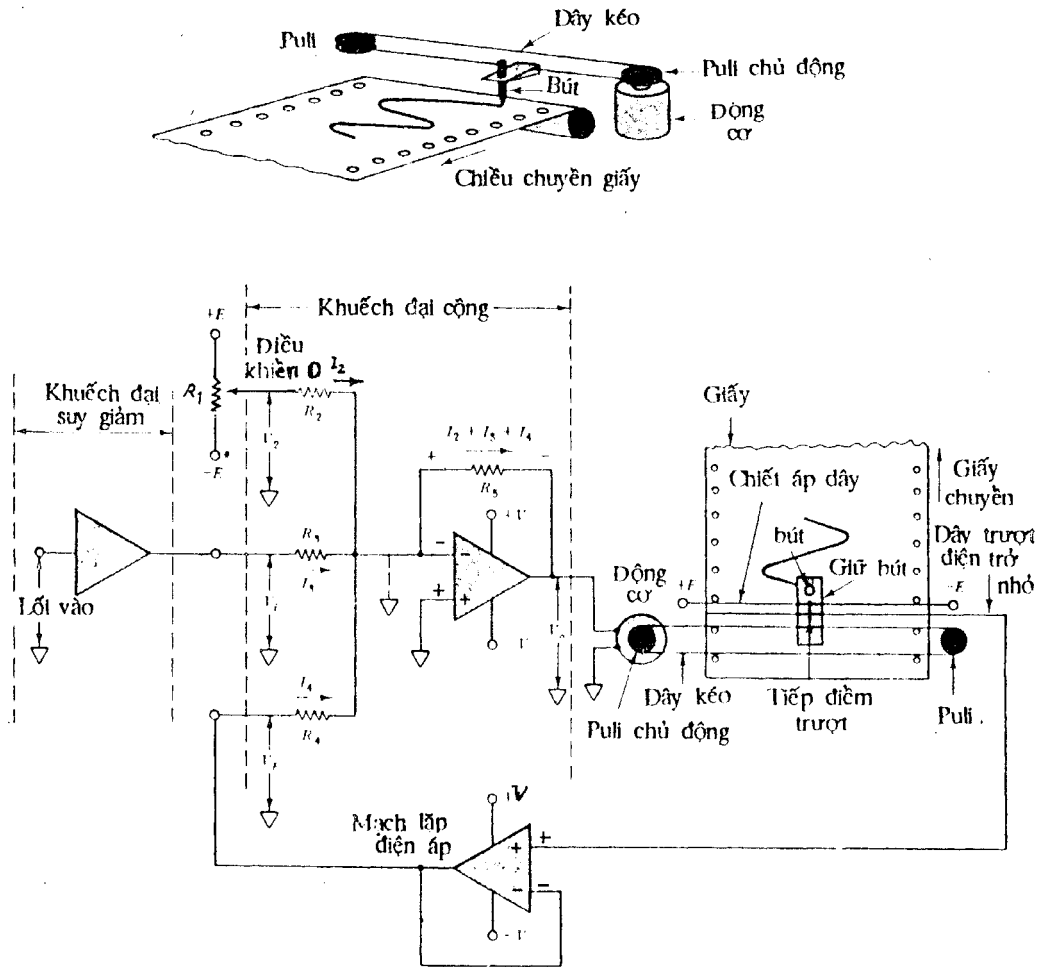
Nếu  $R_2 = R_3 = R_4 = R_5$ , thì

$$V_o = - (V_2 + V_i + V_F) \quad (3-10)$$

Giả sử điện áp vào  $V_i = 0$ , chiết áp  $R_1$  ở giữa để cho  $V_2 = 0$ . Nếu đầu giữ bút ở điểm giữa chiết áp dây trượt thì ta có  $V_F = 0$ . Như vậy theo (3-4) ta có  $V_o = 0$ , mô tơ đứng yên và bút ở vị trí chính giữa chiết áp. Nếu bút bị lệch ra khỏi vị trí cân bằng thì giá trị của  $V_F$  sẽ khác 0, điều đó dẫn tới thế lối ra mạch cộng  $V_o$  sẽ khác không làm cho mô tơ trở động sẽ quay theo chiều cần thiết để sao cho  $V_F$  trở về không. Khi  $V_F = 0$  mô tơ sẽ đứng yên.

Bây giờ giả sử bút vẽ nằm yên ở tâm của biểu đồ,  $V_F = V_i = 0$ . Điều chỉnh biến trở  $R_1$  để sao cho  $V_2 = +E/2$ , thế lối ra mạch cộng bây giờ là  $V_o = -E/2$  sẽ kích

hoạt mô tơ quay theo chiều sao cho bút đưa con trượt biến trở về phía  $-E$ . Khi thế  $V_F = -E/2$  thì điện áp lối ra bộ cộng lại bằng không, mô tơ ngừng quay và bút ghi nằm ở một vị trí xác định.



Hình 3-21. Máy ghi biểu đồ dùng nguyên tắc biến trở tự cân bằng

Như vậy, khi  $V_F = -V_2$ , thì không có tín hiệu ra của bộ khuếch đại để dẫn động động cơ trở động, bút đứng yên. Bây giờ, nếu chỉnh  $R_1$  sao cho  $V_2 = -E/2$  hoặc  $V_2 = -E$ , thì bút sẽ bị kéo về các điểm ứng với  $V_F = +E/2$  hoặc  $+E$  tương ứng. Biến trở  $R_1$  đóng vai trò biến trở điều chỉnh vị trí ban đầu của bút vẽ trên băng giấy.

Bây giờ xét tín hiệu vào  $V_i$ , thông qua tầng *khuếch đại/suy giảm* để đưa vào mạch cộng. Giả sử  $V_i > 0$ , thế lối ra bộ khuếch đại là  $-V_i$  sẽ điều khiển mô tơ quay sao cho bút dịch chuyển về phía  $-E$ . Khi  $V_F = -V_i$  thì mô tơ ngừng quay và bút sẽ dừng. Nếu thế lối vào  $V_i$  là một đại lượng biến thiên chậm thì bút sẽ di chuyển liên tục sao cho  $V_F = -V_i$ , kết quả sẽ vẽ nên dạng sóng biến thiên của  $V_i$  trên băng giấy.

Ưu điểm của dụng cụ là độ chính xác cao hơn nhiều so với kiểu điện kế. Theo lý thuyết thì có thể đạt  $\pm 0,2\%$  so với kiểu điện kế là  $\pm 2\%$ .

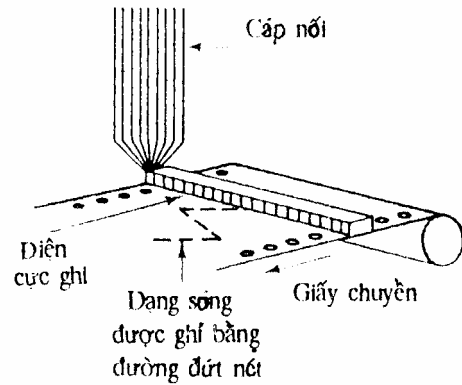
Nhược điểm là đáp tuyến tần số rất thấp, thường chỉ áp dụng cho các tín hiệu biến đổi rất chậm dưới 10Hz.

### 8.3. Máy ghi biểu đồ trên băng dùng điện cực rắn

Phương pháp ghi biểu đồ trên băng dùng điện cực rắn được minh họa trên hình 3-22. Đầu ghi là một tập hợp gồm nhiều điện cực (cỡ vài trăm) được ghép nối tiếp nhau trên một thanh ngang cố định. Các điện cực được điều khiển bằng mạch điện tử và thực hiện việc ghi tín hiệu bằng cách phóng điện lên bề mặt băng giấy chuyên dụng dịch chuyển bên dưới.

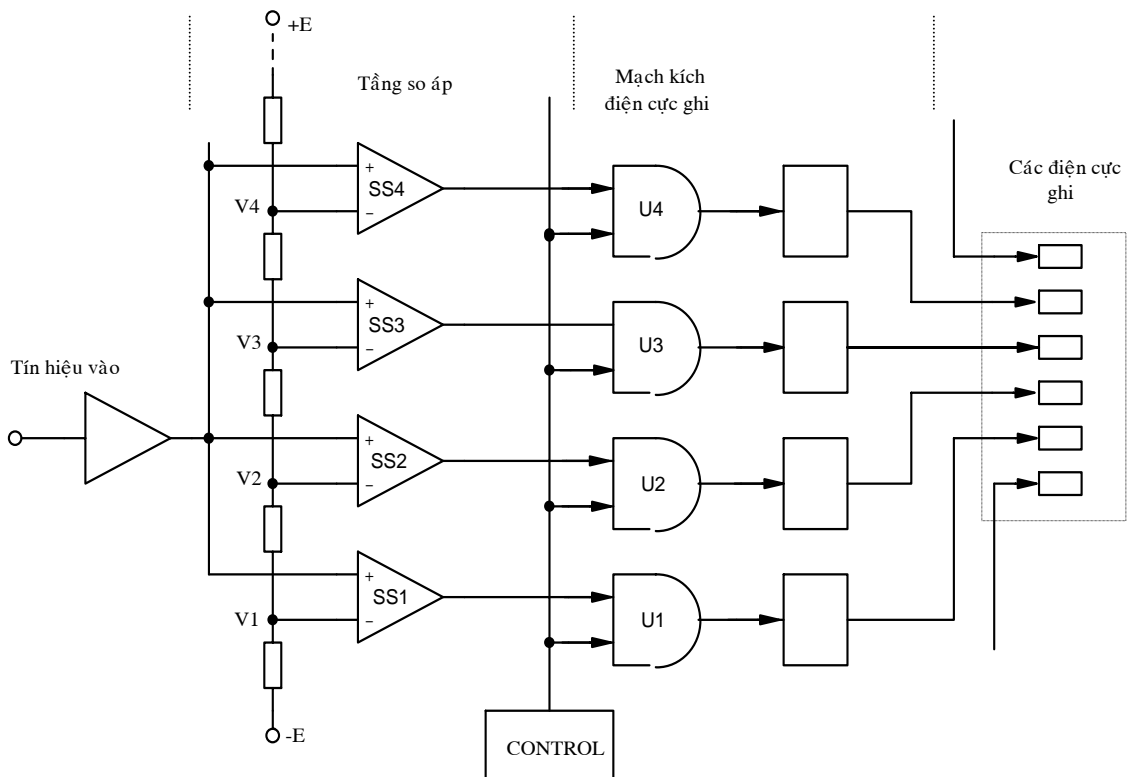
Dụng cụ có đáp tuyến tần số rất tốt vì đầu ghi là đứng yên, máy có thể ghi các tín hiệu tới 1kHz.

Nguyên tắc điều khiển các điện cực ghi được minh họa trên hình 3-23. Tín hiệu lối vào được lượng tử hóa thành từng mức gián đoạn nhờ một hệ thống các bộ so sánh liên tiếp mắc song song với nhau. Đầu ra của mỗi bộ so sánh điều khiển trực tiếp một điện cực ghi. Các mức thế so sánh được thực hiện bằng một cầu điện trở chia áp giữa các bộ nguồn  $\pm E$ .



Hình 3-22

Dạng sóng tín hiệu ghi trên băng sẽ có dạng một đường đứt nét. Khi số điện cực ghi lớn thì dạng sóng ghi gần như là liên tục.

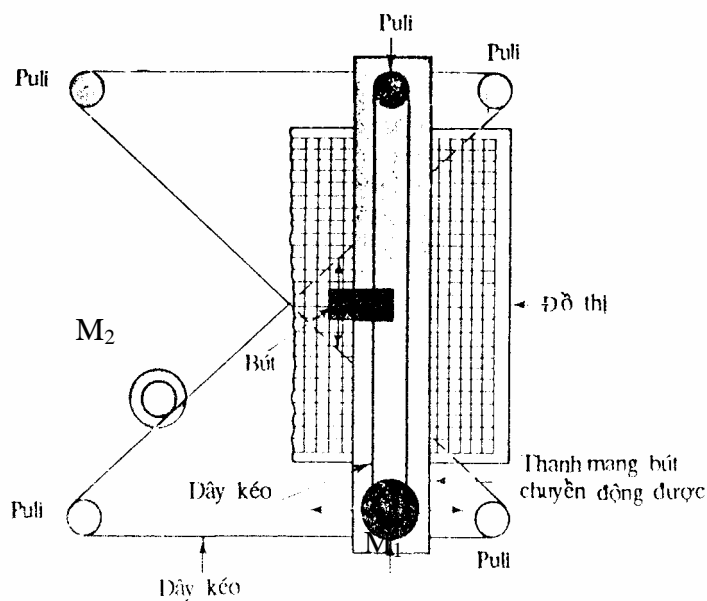


Hình 3-23. Quá trình lượng tử hóa tín hiệu vào và điều khiển các điện cực ghi

Phương pháp ghi dùng điện cực rắn có nhược điểm là mạch điều khiển phức tạp vì phải dùng một số lượng lớn các mạch so sánh và các điện cực ghi. Tuy nhiên việc sử dụng các mạch tích hợp cho phép đơn giản hóa vấn đề đặt ra.

### 8.4. Máy ghi theo tọa độ xy

Nguyên tắc hoạt động của máy ghi theo tọa độ xy là sử dụng bút vẽ dịch chuyển đồng thời theo cả 2 chiều x và y để vẽ biểu đồ trên một tờ giấy đặt cố định. Cơ cấu ghi tương tự như đối với máy ghi biểu đồ theo nguyên tắc biến trở tự cân bằng (hình 3-24). Ở đây bút vẽ được gắn trên một giá mang và sự dịch chuyển của bút theo chiều dọc trên giá (trục y) được điều khiển bằng mô tơ  $M_1$ . Toàn bộ giá mang bút có thể dịch chuyển theo chiều ngang (trục x) nhờ mô tơ  $M_2$  thông qua hệ thống dây kéo và 4 puli trợ động.



Hình 3-24. Cơ cấu ghi theo tọa độ xy

Các mạch biến đổi tín hiệu vào kênh X và kênh Y để điều khiển các mô tơ trợ động  $M_1$  và  $M_2$  về cơ bản giống như sơ đồ hình 3-21. Mỗi mạch đều có bộ phận chỉnh mức 0, bộ khuếch đại cộng và một mạch lặp áp để hồi tiếp điện áp lấy từ con trượt của biến trở gắn với đầu bút ghi.

Tầng khuếch đại lỗi vào và mạch chọn khoảng đo chỉ ra trên hình 3-25. Các chuyển mạch  $S_1$  và  $S_2$  cho phép điều chỉnh hệ số khuếch đại cũng như thay đổi du xích trên bản vẽ sao cho điện áp lối ra của mạch là 1V.

Với vị trí của  $S_1$  và  $S_2$  như hình vẽ 3-25 ta có độ lợi của mạch khuếch đại là:

$$\text{Độ lợi } A_1(0,1V/cm) = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_3 + R_4} = \frac{900K + 90K + 10K}{90K + 10K} = 10$$

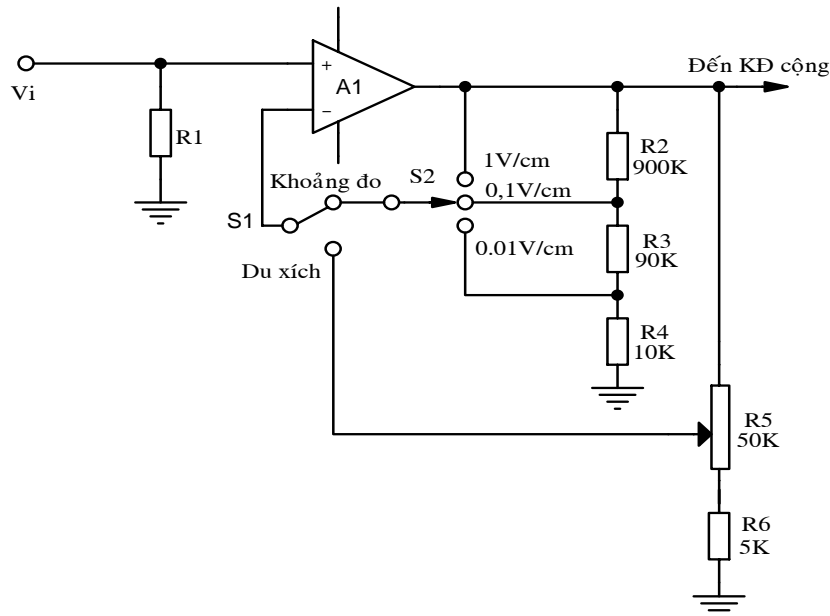
Như vậy khi chuyển mạch  $S_2$  ở vị trí 0,1V/cm, thì với một tín hiệu vào 0,1V sẽ được khuếch đại lên thành  $10 \times 0,1V/cm = 1V$ ; tín hiệu 1V này sẽ đưa tới bộ khuếch đại cộng và sẽ tạo ra độ lệch 1cm của bút ghi.

Khi chuyển mạch S<sub>2</sub> ở vị trí 1V/cm, đầu ra của A<sub>1</sub> được nối trực tiếp với đầu vào đảo, mạch khuếch đại thuật toán trở thành mạch khuếch đại lặp lại. Như vậy mạch sẽ tạo độ lệch 1cm cho tín hiệu vào là 1V.

Bây giờ giả sử khóa S<sub>2</sub> ở vị trí 0,01V/cm, độ lợi của mạch sẽ là:

$$\text{Độ lợi } A_1(0,01V/cm) = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_4} = \frac{900K + 90K + 10K}{10K} = 100$$

Như vậy, mạch sẽ tạo độ lệch 1cm đối với mỗi tín hiệu vào 0,01V.



Hình 3-25. Bộ khuếch đại đầu vào cho máy ghi theo tọa độ xy

Khi khóa chuyển mạch S<sub>1</sub> dịch chuyển từ vị trí “KHOẢNG ĐO” sang vị trí “DU XÍCH”, các điện trở R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> và R<sub>4</sub> ngắt khỏi đầu vào đảo của A<sub>1</sub>. Lúc này biến trở R<sub>5</sub> cùng với R<sub>6</sub> cho phép điều chỉnh độ lợi của mạch khuếch đại từ giá trị tối thiểu đến giá trị tối đa:

$$\text{Độ lợi du xích} = \frac{R_5 + R_6}{R_6} = \frac{50K + 5K}{5K} = 11$$

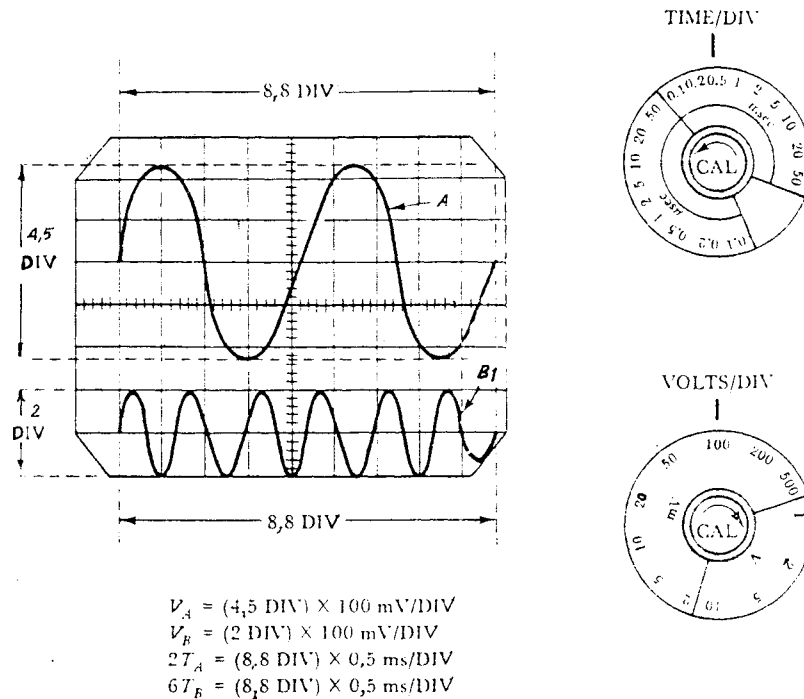
### § 9. KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG BẰNG ĐAO ĐỘNG KÝ

Dao động ký điện tử không chỉ là thiết bị để quan sát dạng của tín hiệu nghiên cứu, mà còn dùng để đo lường các thông số đặc tính của tín hiệu. Ví dụ, có thể đo biên độ, đo tần số, đo di pha, đo khoảng thời gian, đo hệ số điều chế...

Các phương pháp đo dùng dao động ký rất thông dụng, vì phép đo đơn giản, thực hiện nhanh chóng và dễ dàng, kết quả đo khá chính xác. Một đặc điểm rất quan trọng của phép đo là trực quan, vừa quan sát được dạng tín hiệu nghiên cứu vừa đo đạc được các thông số đặc tính của tín hiệu.

**9.1. Đo biên độ, tần số và pha của điện áp tín hiệu**

Biên độ đỉnh – đỉnh của một dạng sóng đã hiện hình có thể đo được dễ dàng nhờ kích tắc dao động đồ trên màn hình. Trên hình 3-26 minh họa 2 sóng sin với biên độ và chu kỳ khác nhau trên cùng một màn hình. Vị trí các núm điều khiển thang độ và kích tắc dao động đồ VOLT/DIV cũng như núm chọn thời gian TIME/DIV như chỉ ra trên hình vẽ.



Hình 3-26. Đo biên độ đỉnh – đỉnh và chu kỳ của sóng sin

Ta thấy sóng A có biên độ 4,6 vạch chia, còn sóng B tương ứng với 2 vạch chia. Như vậy, theo vị trí của thang độ trên núm điều khiển VOLT/DIV là 100 mV ta có biên độ đỉnh – đỉnh của các điện áp sẽ là:

- Sóng A:  $V_{App} = 4,5 \text{ vạch} \times 100 \text{ mV} = 450 \text{ mV}$
- Sóng B:  $V_{Bpp} = 2 \text{ vạch} \times 100 \text{ mV} = 200 \text{ mV}$ .

Chu kỳ của sóng sin được xác định bằng cách đo số vạch ngang ứng với một chu kỳ nhân với giá trị của một ô được đặt trên núm điều khiển TIME/DIV. Theo số liệu trên hình 3-26 ta có chu kỳ và tần số của các sóng là:

- Sóng A:  $T_A = \frac{8,8 \text{ vạch} \times 0,5 \text{ ms}}{2 \text{ chu trình}} = 2,2 \text{ ms}$

$f_A = 1/T_A = 1/2,2 \text{ ms} \approx 455 \text{ Hz}$

- Sóng B:  $T_B = \frac{8,8 \text{ vạch} \times 0,5 \text{ ms}}{6 \text{ chu trình}} = 0,73 \text{ ms}$

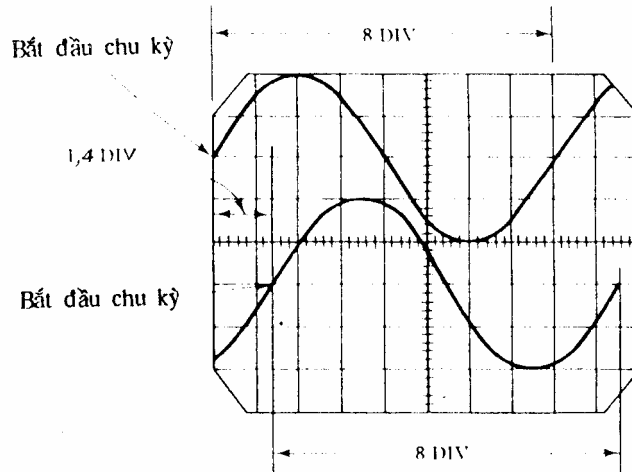
$f_B = 1/T_B = 1/0,73 \text{ ms} = 1,36 \text{ kHz}$

Hiệu số pha của hai sóng hình sin  $\Delta\varphi$  được đo bằng phương pháp minh họa trên hình 3-27. Mỗi sóng có một chu kỳ ứng với 8 vạch ngang, và thời gian giữa các thời điểm bắt đầu mỗi chu trình là 1,4 vạch. Ta có 1 chu trình =  $360^\circ$ , như vậy, giá trị của mỗi vạch chia là:

$$1 \text{ vạch chia} = 360^\circ/8 = 45^\circ$$

Hiệu số pha của 2 điện áp sẽ là:

$$\Delta\varphi = 1,4 \text{ vạch} \times 45^\circ/\text{vạch} = 63^\circ.$$



Hình 3-27. Đo hiệu số pha giữa 2 sóng sin

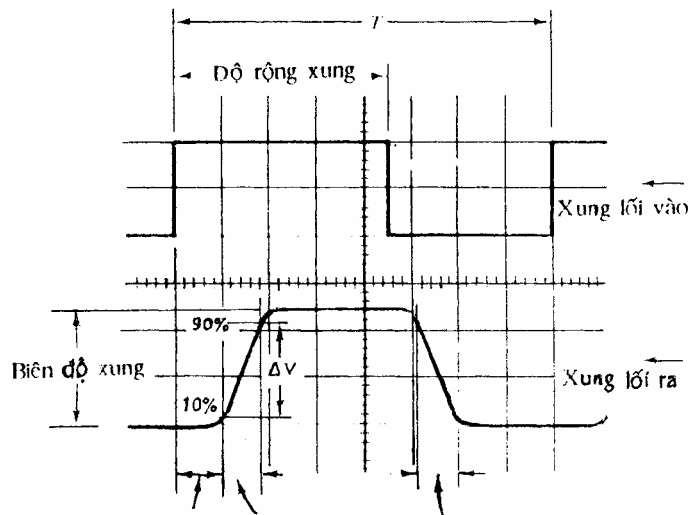
### 9.2. Đo các tham số xung.

Trong kỹ thuật xung, việc xác định các tham số của tín hiệu xung như : biên độ xung  $A_m$ , thời hạn (độ rộng) xung  $\tau$ , sườn trước  $\tau_1$ , sườn sau  $\tau_2$  cũng như việc quan sát dạng xung đặc biệt tiện lợi khi sử dụng dao động ký điện tử. Giả sử ta cần biết dạng tín hiệu lối vào và lối ra của một mạch điện tử nào đó, ta có thể cho hiện hình đồng thời 2 dạng sóng lối vào và lối ra trên màn dao động ký. Nhờ kích tắc dao động đồ và các tọa độ trên màn hình ta dễ dàng xác định được các tham số cần thiết.

Trên hình 3-28 là hai dạng sóng xung lối vào và lối ra của một mạng 4 cực nào đó. Ta thấy xung lối ra bị trễ một thời gian  $t_d$  so với xung lối vào; ngoài ra sườn xung bị tích phân nên tạo ra mặt tăng  $t_1$  (thời hạn sườn trước) và mặt giảm  $t_2$  (thời hạn sườn sau). Giả sử núm điều khiển TIME/DIV ở vị trí  $1\mu s$ , núm VOLT/DIV ở vị trí 1V thì các tham số của xung sẽ là.

- Đối với xung vào:
  - Độ rộng xung (đỉnh xung)  $\tau = 4,5 \text{ vạch} \times 1\mu s = 4,5\mu s$ ;
  - Độ rộng xung  $q = 3,5 \text{ vạch} \times 1\mu s = 3,5\mu s$ ;
  - Biên độ xung:  $A_m = 2 \text{ vạch} \times 1V = 2V$ ;
  - Chu kỳ:  $T = 8 \text{ vạch} \times 1\mu s = 8\mu s$ ;
  - Tần số:  $f = 1/T = 1/8\mu s = 125 \text{ kHz}$ .
- Đối với xung ra:
  - Thời gian trễ:  $t_d = 1 \text{ vạch} \times 1\mu s = 1\mu s$ ;
  - Mặt tăng:  $t_1 = 0,8 \text{ vạch} \times 1\mu s = 0,8\mu s$ ;
  - Mặt giảm:  $t_2 = 0,9 \text{ vạch} \times 1\mu s = 0,9\mu s$



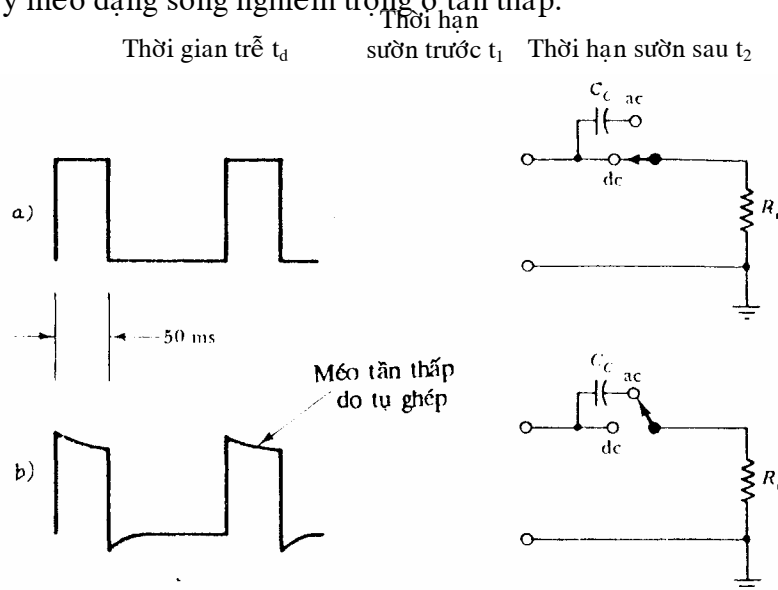


Hình 3-28. Đo các tham số xung

Kết quả trên còn cho biết một tham số rất quan trọng gọi là *tốc độ đáp ứng* (slew rate) của mạch, thường dùng để đặc trưng cho các bộ khuếch đại thuật toán. Tốc độ đáp ứng cho biết phản ứng của mạch khi tác dụng xung tới đầu vào, và đo bằng đơn vị volt/ $\mu$ s. Theo hình 3-28, ta có độ biến thiên điện áp ở mặt tăng của xung là  $\Delta V = 2V$ , thời gian sườn trước là  $t_1 = 0,7\mu s$ , như vậy tốc độ đáp ứng sẽ là:

$$\frac{\Delta V}{t_1} = \frac{2V}{0,7\mu s} \approx 2,9V / \mu s$$

Trên hình 3-29 là 2 dạng sóng xung vuông góc khi đưa vào máy hiện sóng cho thấy rằng khi ghép DC dạng sóng sẽ được tái tạo trung thực, nhưng khi ghép AC tụ ghép có thể gây méo dạng sóng nghiêm trọng ở tần thấp.



Hình 3-29. Sự méo dạng của sóng xung khi ghép AC.

Tích số của điện dung ghép và điện trở vào là một đại lượng gọi là hằng số thời gian vào của máy hiện sóng

$$\tau_i = R_i C_c$$

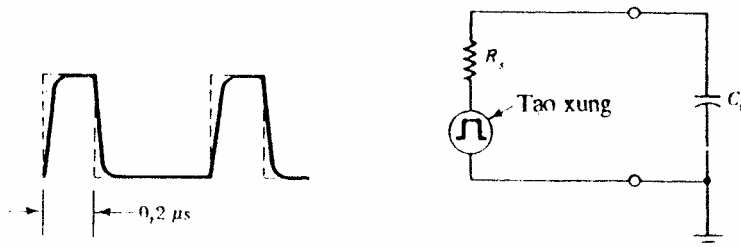
Với giá trị  $R_i = 1M\Omega$ ,  $C_c = 0,1\mu F$ , ta có  $\tau_i = 1M\Omega \cdot 0,1\mu F = 0,1s$ .

Theo số liệu trên hình 3-29 thì độ rộng xung là 50ms, nó bằng một nửa thời hằng vào của máy hiện sóng. Khi độ rộng xung và khoảng cách giữa các xung nhỏ hơn nhiều so với thời hằng  $\tau_i$  thì sự nạp của tụ không đáng kể, nên hầu như không gây méo dạng. Để tránh sự méo xung ở tần thấp thì độ rộng xung thường phải nhỏ hơn 1/20 lần thời hằng vào của máy hiện sóng.

Trên hình 3-30 cho thấy sự méo dạng do cao tần gây ra. Trường hợp này không phụ thuộc vào ghép DC hay AC mà là do điện dung vào  $C_i$  của máy hiện sóng. Nếu  $R_s$  là điện trở của nguồn tín hiệu thì hằng số thời gian của mạch sẽ là  $\tau_i = R_s C_i$ . Trên hình vẽ với xung rất ngắn 0,2 $\mu s$ ;  $R_s = 1K$ ;  $C_i = 30pF$  thì thời hằng của mạch vào là:  $\tau_i = R_s C_i = 0,03 \mu s$ ; tụ  $C_i$  sẽ nạp và gây ra sự méo dạng xung. Nếu xung có độ rộng lớn hơn nhiều so với  $C_i R_s$  thì sự méo dạng là không đáng kể.

Tóm lại điều kiện để mạch vào không làm méo dạng xung là:

$$20R_s C_i \leq \text{Độ rộng xung } \tau \leq \frac{1}{20} R_i C_c \tag{3-11}$$



Hình 3-30. Ảnh hưởng của điện dung vào làm méo dạng xung ở cao tần

### 9.3. Phương pháp hình Lissajou.

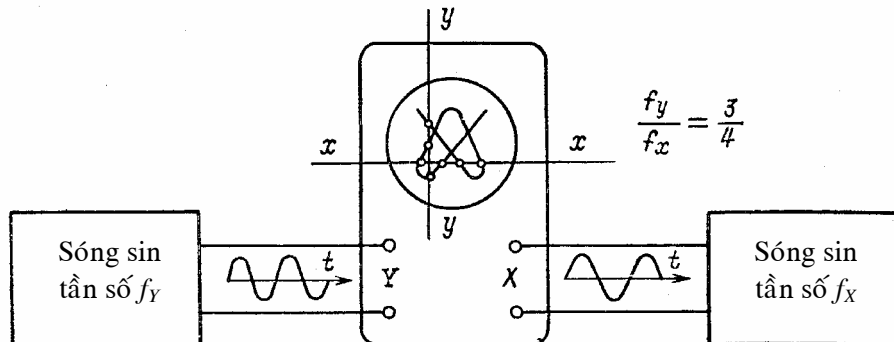
Nếu ngắt bộ dao động tạo quét của máy hiện sóng và đưa các sóng hình sin đồng thời vào 2 kênh XX và YY thì trên màn dao động ký sẽ xuất hiện dao động đồ Lissajou. Hình dạng của dao động đồ là đơn giản khi 2 điện áp cùng tần số, và hình sẽ có dạng rất phức tạp nếu 2 điện áp khác tần số.

Có thể sử dụng hiệu ứng trên để đo tần số của các dao động hình sin. Trên hình 3-31 là sơ đồ minh họa nguyên tắc đo tần số bằng phương pháp hình Lissajou.

Điện áp hình sin tần số  $f_y$  đưa vào kênh lệch đứng YY, còn điện áp hình sin có tần số  $f_x$  đưa vào kênh lệch ngang XX. Máy hiện sóng hoạt động ở chế độ ngắt bộ tạo quét trong. Khi thực hiện đồng bộ trên màn hình sẽ thu được dao động đồ Lissajou. Hãy cắt dao động đồ theo 2 trục dọc và ngang như hình vẽ sao cho số vết cắt là lớn nhất. Đếm số vết cắt theo trục dọc (m) và trục ngang (n). Tỷ số các vết cắt ấy chính bằng tỷ số hai tần số:

$$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{m}{n} \tag{3-12}$$

Chẳng hạn, số liệu như trên hình vẽ ta có  $f_y/f_x = 3/4$ . Nếu biết trước tần số  $f_y$  ta có thể dễ dàng xác định được  $f_x$ .



Hình 3-31. Sơ đồ đo tần số bằng phương pháp hình Lissajou.

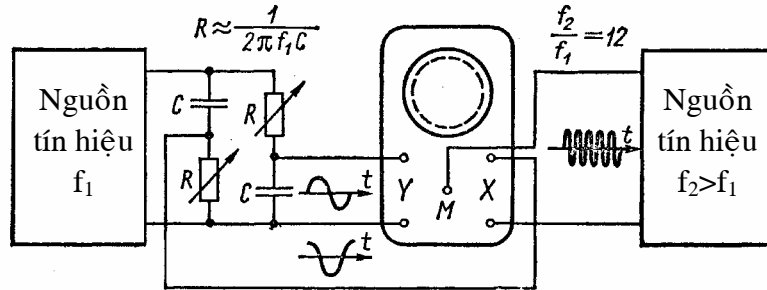
Tùy theo độ lệch pha giữa 2 điện áp mà hình dạng dao động đồ Lissajou sẽ khác nhau. Trên hình 3-32 là dạng sóng ứng với một số trường hợp đặc biệt.

$\frac{f_y}{f_x}$	Góc lệch pha $\varphi$				
	$0$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
1:1	/	∞	○	∞	\
1:2	∞	∞	∪	∩	∞
1:3	∞	∞	∞	∞	∞
2:3	∞	∞	∞	∞	∞

Hình 3-32. Một số dạng dao động đồ Lissajou

Phương pháp dao động đồ Lissajou để đo tần số chỉ thích hợp khi tỷ số giữa 2 tần số nhỏ hơn 3 đến 4 lần, khi lớn hơn hình hiện ra rất phức tạp và khó điều chỉnh sự đồng bộ. Trong các trường hợp này người ta thường sử dụng phương pháp quét tròn với sự điều chế độ chói của hình quét. Sơ đồ nguyên tắc của phương pháp này chỉ ra trên hình 3-33. Điện áp chuẩn dùng để so sánh có tần số nhỏ hơn  $f_1$  được đưa qua một mạch xoay pha RC để tạo ra 2 điện áp cùng tần số, nhưng lệch pha nhau  $90^\circ$ , đưa đồng thời vào 2 lối vào XX và YY của dao động ký. Trên màn hình sẽ có dao động đồ hình tròn (hay elip). Thời gian để tia điện tử quét thành một vòng tròn chính bằng chu kỳ của điện áp mẫu. Điện áp cần đo có tần số lớn hơn  $f_2$  được đưa tới cực điều chế M của dao động ký, nó sẽ điều chế độ sáng của hình. Nếu tần số chuẩn bằng tần

số điện áp cần đo thì dao động đồ sẽ là một vòng tròn nửa sáng, nửa tối. Nếu tần số cần đo bằng một bội số nguyên lần tần số chuẩn thì dao động đồ sẽ là một vòng tròn đứt nét xen kẽ những vạch sáng và vạch tối. Đếm số vạch sáng hoặc vạch tối ta biết được tỷ số giữa 2 tần số :  $n = f_2 / f_1$ .



Hình 3-33. Đo tần số bằng phương pháp quét vòng

Khi thực hiện phép đo trên, điều kiện quan trọng là phải hiệu chỉnh để tỷ số giữa 2 tần số là một bội số nguyên lần của nhau thì hình mới ổn định, nếu điều kiện trên không thỏa mãn dao động đồ sẽ không thể quan sát được.

Nếu điện áp cần đo thấp hơn tần số chuẩn thì phải mắc ngược với trường hợp trên, nghĩa là đưa điện áp cần đo  $f_2$  vào các kênh XY, còn điện áp chuẩn  $f_1$  đưa vào cực điều chế M.

Ngoài các ứng dụng trên có thể sử dụng dao động ký điện tử trong các phép đo các thông số của dao động điều chế và phân tích phổ tín hiệu. Dùng dao động ký để vẽ đặc tuyến tần số, đặc tuyến vôn – ampe của các linh kiện bán dẫn, hay của một mạng 4 cực nói chung.

## **CHƯƠNG IV: MÁY TẠO SÓNG ĐO LƯỜNG**

### **§ 1. KHÁI NIỆM CHUNG**

Máy tạo sóng đo lường là bộ nguồn tạo ra các tín hiệu chuẩn về biên độ, tần số và dạng sóng dùng trong thử nghiệm và đo lường. Các máy tạo sóng trong phòng thí nghiệm có các dạng sau:

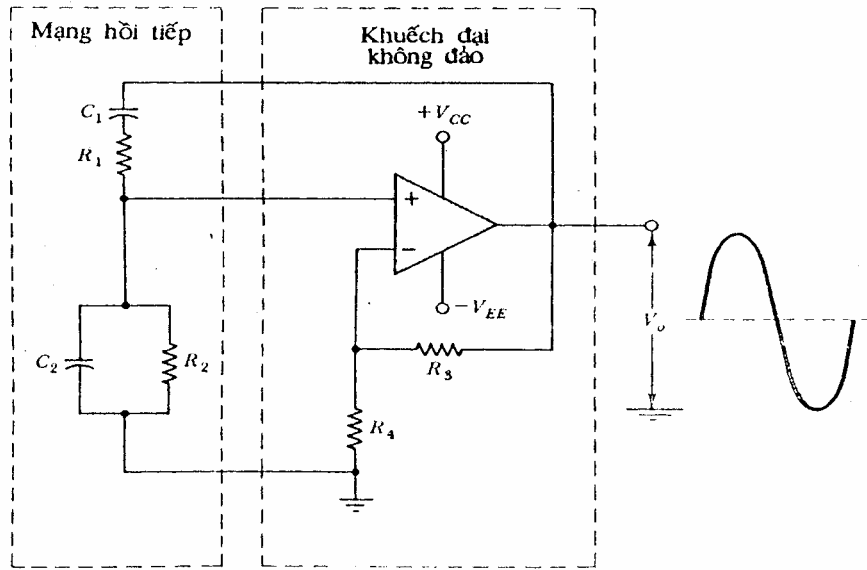
- Máy tạo sóng sin tần thấp LF (low frequency);
- Máy tạo sóng sin tần số vô tuyến RF (radio frequency);
- Máy tạo hàm;
- Máy phát xung;
- Máy phát tần số quét, máy phát các tín hiệu thử nghiệm.

Các máy tạo tín hiệu RF thường có dải tần số từ  $0 \div 100\text{kHz}$ , với mức điện áp có thể điều chỉnh từ  $0 \div 10\text{V}$ . Các máy tạo hàm cũng thường là máy phát RF với 3 dạng sóng đặc trưng là sóng vuông, sóng tam giác và sóng hình sin.

### **§ 2. MÁY TẠO SÓNG SIN TẦN THẤP LF**

Máy tạo dao động hình sin thực hiện việc biến đổi năng lượng nguồn dòng điện một chiều thành dòng xoay chiều có tần số theo yêu cầu. Cấu tạo của máy thực hiện trên cơ sở bộ khuếch đại có hồi tiếp dương đảm bảo chế độ tự kích ổn định ở tần số yêu cầu.

Có nhiều kiểu tạo dao động sóng sin: dao động 3 điểm điện cảm (sơ đồ Colpits), dao động 3 điểm điện dung (sơ đồ Hartley), dao động cầu Wien. Dao động cầu Wien là mạch được sử dụng nhiều nhất vì cho dạng sóng lối ra có dạng sin tốt nhất với biên độ và tần số ổn định. Cầu Wien là một cầu AC, trong đó sự cân bằng của cầu đạt được ở một tần số nguồn riêng phụ thuộc vào các thành phần của cầu. Sơ đồ nguyên lý của một mạch dao động cầu Wien chỉ ra trên hình 4-1.



Hình 4-1. Mạch dao động cầu Wien

Mạch khuếch đại thuật toán và các điện trở  $R_3, R_4$  tạo thành mạch khuếch đại không đảo.  $R_1, R_2, C_1$  và  $C_2$  tạo thành mạch hồi tiếp. Cầu đạt cân bằng khi thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_1}{C_2} \quad (4-1)$$

và

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (4-2)$$

Thường chọn  $R_1 = R_2 = R; C_1 = C_2 = C$ , khi đó ta có:

$$R_3 = 2R_4; \quad (4-3)$$

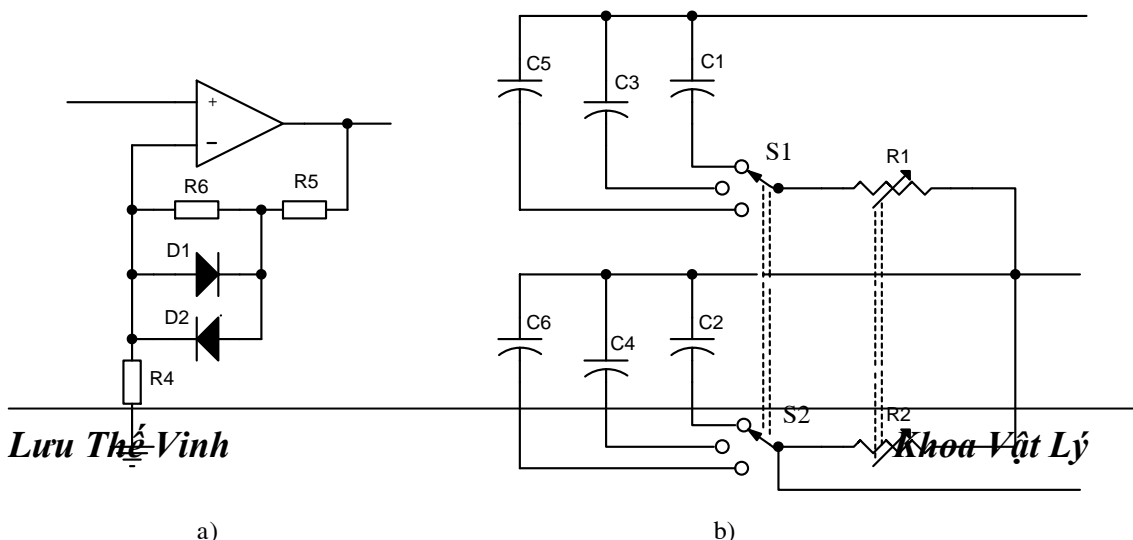
Và:

$$f = 1/2\pi RC \quad (4-4)$$

Ở tần số cân bằng của cầu, điện áp phát triển trên  $R_2 C_2$  (áp vào bộ khuếch đại) cùng pha với điện áp ra. Độ lợi của mạch khuếch đại là:

$$A_V = (R_3 + R_4)/R_4 = 3 \quad (4-5)$$

Biên độ ra của tín hiệu có xu hướng tiến tới  $\pm V_{CC}$  và  $\pm V_E$ , điều này gây méo dạng sóng ra. Để khắc phục, người ta chia  $R_3$  ra làm 2 điện trở  $R_5 + R_6$  và dùng thêm 2 diode mắc song song ngược chiều nhau (hình 4-2,a).



Hình 4-2. Mạch ổn định biên độ (a) và mạch để điều chỉnh tần số (b)

Khi biên độ điện áp ra nhỏ, sụt áp trên  $R_6$  không đủ để thiên áp thuận cho các diode. Lúc này độ lợi mạch khuếch đại là:

$$A_V = \frac{R_4 + R_5 + R_6}{R_4} \quad (4-6)$$

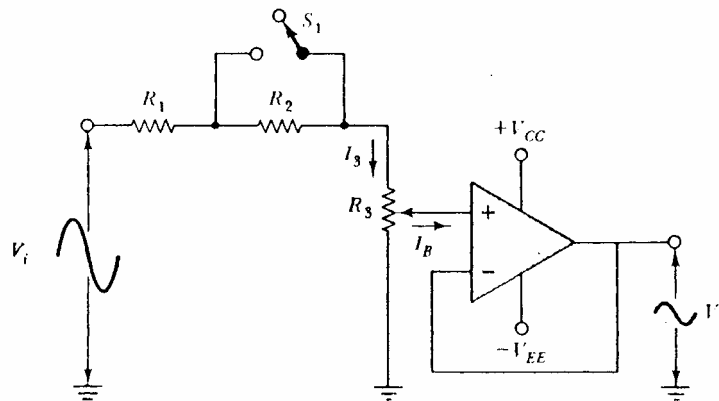
Khi biên độ điện áp ra đủ lớn để định thiên thuận cho các diode, thì  $R_6$  ngắn mạch và độ lợi của mạch sẽ giảm:

$$A_V = \frac{R_4 + R_5}{R_4} \quad (4-7)$$

Giá trị của hệ số khuếch đại  $A_V < 3$  để loại bỏ những biên độ ra lớn, nhờ vậy ổn định được biên độ điện áp ra.

Để điều chỉnh tần số có thể thay đổi giá trị của R và C. Trên hình 4-2 dùng các chuyển mạch S1 và S2 đồng trục để thay đổi đồng thời  $R_1, R_2$  và các tụ  $C_1, C_2$ .

Để điều chỉnh biên độ sóng ra, sử dụng mạch điều chỉnh như hình 4-3. Trong đó các điện trở  $R_1, R_2$  và  $R_3$  hình thành nên bộ chia áp làm giảm tín hiệu ra. Bộ khuếch đại thuật toán mắc theo kiểu lặp áp để tạo trở kháng ra thấp.  $R_3$  là chiết áp để điều chỉnh biên độ ra. Công tắc S1 cho phép thay đổi giữa hai khoảng biên độ.



Hình 4-3. Mạch suy giảm và điều chỉnh biên độ sóng ra.

Ví dụ: Một sóng sin 5V từ lối ra của bộ dao động cầu Wien cung cấp cho bộ suy giảm. Hãy tính các giá trị của  $R_1, R_2$  và  $R_3$  để cho ra các khoảng điện áp ra từ 0 ÷ 0,1V; 0 ÷ 1V. Dòng phân cực lối vào của OPAMP là  $I_B = 500nA$ .

Bài giải.

– Ta có, với  $R_1$  và  $R_2$  trong mạch ( $S_1$  mở) thì:

$$V_{R3} = 0,1V;$$

và 
$$V_{R1} + V_{R2} = V_i - V_{R3} = 5V - 0,1V = 4,9V$$

$$I_3 \gg I_B$$

Giả sử  $I_B = 100 \mu A$ . Khi đó

$$R_3 = 0,1V / 100\mu A = 1k\Omega \text{ (chiết áp)}$$

và  $(R_1 + R_2) = 4,9 \text{ V} / 100\mu\text{A} = 49\text{k}\Omega$ .

– Với  $R_2$  ngắt khỏi mạch ( $S_1$  đóng):

$$V_{R3} = 1\text{V},$$

$$\text{Và: } I_3 = V_{R3}/R_3 = 1\text{V} / 1\text{k}\Omega = 1\text{mA};$$

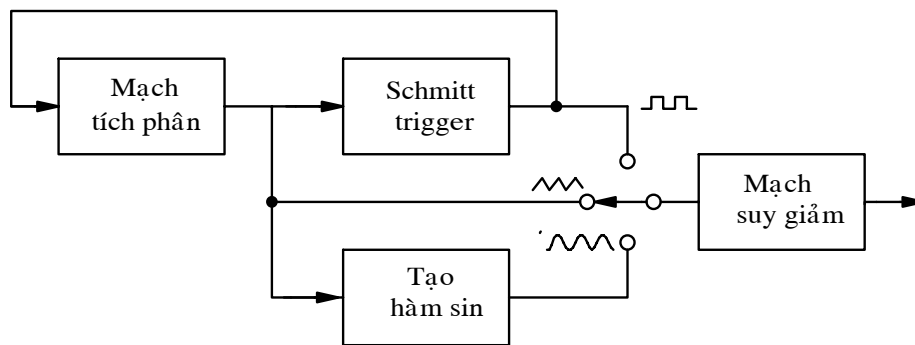
$$V_{R1} = 5\text{V} - 1\text{V} = 4\text{V};$$

$$R_1 = 4\text{V} / 1\text{mA} = 4\text{k}\Omega;$$

$$R_2 = 49\text{k}\Omega - 4\text{k}\Omega = 45\text{k}\Omega$$

### § 3. MÁY TẠO HÀM

Máy tạo hàm là nguồn tín hiệu vuông, tam giác và sóng sin có dải tần điều chỉnh được dễ dàng và có mạch dịch mức DC. Sơ đồ khối của máy tạo hàm chỉ ra trên hình 4-4.



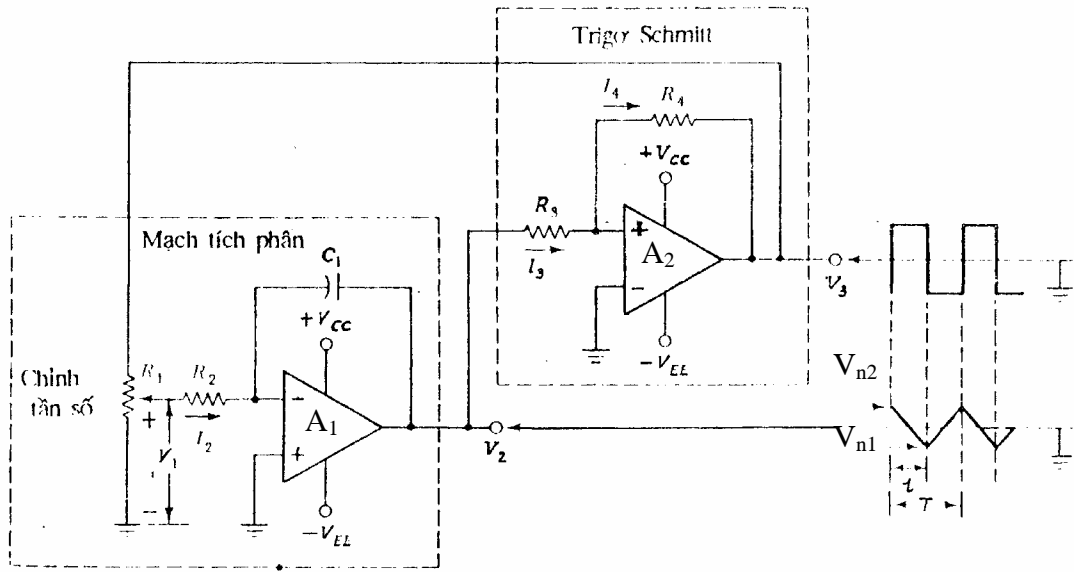
Hình 4-4. Sơ đồ khối của máy tạo hàm

Tín hiệu lối ra mạch tích phân có dạng xung tam giác, còn lối ra mạch Schmitt trigger là dạng xung vuông. Liên kết phản hồi giữa lối ra và lối vào giữa 2 mạch tích phân và mạch Schmitt trigger tạo nên một hệ tự dao động. Tín hiệu dạng sin nhận được nhờ mạch tạo hàm sin từ xung tam giác.

#### 3.1. Tầng dao động chủ.

Tầng dao động chủ thực hiện trên cơ sở liên kết mạch tích phân và trigger Schmitt như hình vẽ 4-5.





Hình 4-5. Tần dao động chủ của máy phát hàm

Mạch trigơ Schmitt có 2 ngưỡng là:

$$V_{n1,2} = \mp V_{3sat} \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (4-8)$$

Giả sử lối ra của trigơ Schmitt đang ở mức bão hòa dương  $+V_{3sat}$ , lúc này ngưỡng vào của trigơ Schmitt là:

$$V_{n2} = +V_{3sat} \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (4-9)$$

Thế bão hòa dương  $+V_{3sat}$  hồi tiếp về lối vào mạch tích phân  $A_1$ . Lúc này thế lối vào mạch tích phân sẽ là:

$$V_1 = +V_{3sat} \cdot \frac{R_{11}}{R_1} > 0 \quad (4-10)$$

Với  $R_{11}$  là điện trở phần dưới của biến trở  $R_1$ . Thế lối ra mạch tích phân sẽ đi xuống theo quy luật:

$$V_2 = -\frac{1}{R_2 C_1} \int V_1 dt = -\frac{V_1 t}{R_2 C_1} \quad (4-11)$$

Khi thế lối ra mạch tích phân đạt mức ngưỡng  $V_{n1} = -V_{3sat} \cdot \frac{R_3}{R_4}$  mạch trigơ

Schmitt sẽ lật trạng thái lối ra xuống mức bão hòa âm  $-V_{3sat}$ , Thế bão hòa âm này hồi tiếp trở về lối vào mạch tích phân, bây giờ thế lối vào mạch tích phân sẽ là:

$$V_1' = -V_{3sat} \cdot \frac{R_{11}}{R_1} < 0 \quad (4-12)$$

Lúc này thế ra mạch tích phân dốc lên theo quy luật:

$$V_2' = -\frac{1}{R_2 C_1} \int V_1' dt = +\frac{V_1' t}{R_2 C_1} \quad (4-13)$$

Khi  $V_2'$  đạt mức ngưỡng  $V_{n2} = +V_{3sat} \cdot \frac{R_3}{R_4}$ , trigger lật trạng thái lối ra lên

bão hòa dương, và trạng thái mạch lại trở về như ban đầu. Cứ như thế mạch tự duy trì dao động. Lối ra mạch trigger ta thu được chuỗi xung vuông cân xứng  $V_3$ . Lối ra mạch tích phân ta thu được chuỗi xung tam giác  $V_2$ .

Tần số của sóng lối ra được xác định bởi thời gian tụ  $C_1$  nạp từ  $V_{n1}$  tới  $V_{n2}$  và ngược lại. Ta có phương trình để tụ  $C_1$  nạp tuyến tính là:

$$C_1 = \frac{I t}{\Delta V}, \quad t = C_1 \frac{\Delta V}{I} \quad (4-14)$$

$$\Delta V = V_{n2} - V_{n1} = 2V_n \quad (4-15)$$

Tần số dao động:

$$f = \frac{1}{2t} = \frac{I}{2C_1 \Delta V} = \frac{V_1}{2C_1 R_2 \Delta V} \quad (4-16)$$

Nếu thay  $\Delta V = 2V_n$  và chú ý rằng  $V_n$  tính theo biểu thức (4-8) ta sẽ có biểu thức tính tần số dao động cực đại của mạch sẽ là:

$$f = \frac{1}{4R_2 C_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} \quad (4-17)$$

*Ví dụ:* Cho mạch dao động chủ như hình 4-5, trong đó  $C_1 = 0,1 \mu\text{F}$ ;  $R_1 = 1\text{K}$ ;  $R_2 = 10\text{K}$ ; Điện áp ngưỡng của trigger Schmitt là  $V_n = \pm 3\text{V}$ . Hãy tính tần số của sóng ra khi tiếp điểm động của  $R_1$  ở đỉnh của chiết áp và khi nó ở 10% của  $R_1$  kể từ đáy. Cho điện áp nguồn nuôi là  $V_{CC} = \pm 15\text{V}$ .

Ta có,  $V_3 = \pm (V_{CC} - 1) = \pm (15\text{V} - 1) = \pm 14\text{V}$ ;

– Khi con trượt ở đỉnh chiết áp  $R_1$ :

$$V_1 = V_3 = 14\text{V},$$

$$I_2 = V_1 / R_2 = 14\text{V} / 10\text{K} = 1,4 \text{ mA};$$

$$\Delta V = V_{n2} - V_{n1} = 3\text{V} - (-3\text{V}) = 6 \text{ V};$$

$$t = C_1 \Delta V / I_2 = (0,1 \mu\text{F} \times 6\text{V}) / 1,4 \text{ mA} \approx 0,43 \text{ ms};$$

$$f = 1/2t = 1 / (2 \times 0,43\text{ms}) \approx 1,17\text{kHz}.$$

– Khi con trượt ở 10% của  $R_1$ .

$$V_1 = 10\% \text{ của } V_3 = 10.14/100 = 1,4\text{V};$$

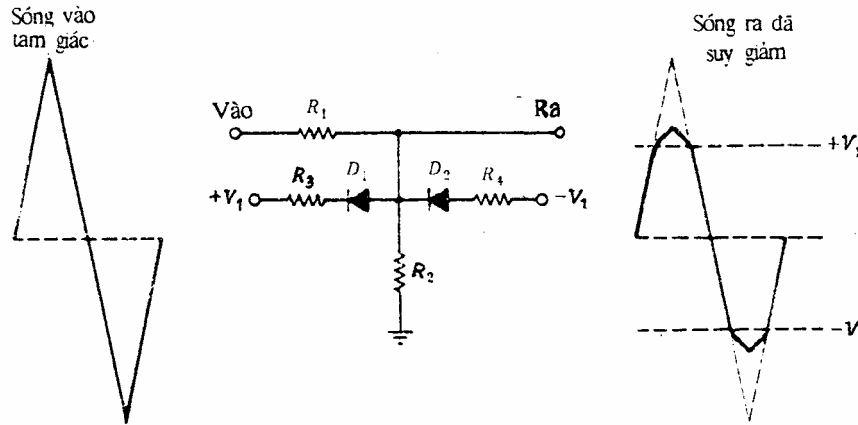
$$I_2 = 1,4\text{V} / 10\text{K} = 0,14\text{mA};$$

$$t = (0,1 \mu\text{A} \times 6\text{V}) / 0,14\text{mA} \approx 4,3 \text{ ms};$$

$$f = 1/2t = 1 / (2 \times 4,3\text{ms}) \approx 117\text{Hz}.$$

### 3.2. Bộ tạo hàm sin.

Để nhận được sóng sin từ sóng tam giác người ta dùng bộ tạo hàm sin. Có 2 phương pháp chính là phương pháp xấp xỉ từng đoạn tuyến tính nhờ ma trận điện trở-diode (hình 4-6) và phương pháp xấp xỉ từng đoạn không tuyến tính.



Hình 4-6. Biến đổi sóng tam giác sang sóng sin

Hoạt động của mạch tạo hàm nhờ phương pháp xấp xỉ từng đoạn không tuyến tính trên hình 4-6 như sau:

Nếu không có mặt các diode  $D_1, D_2$  và các điện trở  $R_3, R_4$  thì  $R_1$  và  $R_2$  là một bộ chia áp bình thường. Lúc này tín hiệu ra là một biến thể đã suy giảm của sóng tam giác lối vào:

$$V_o = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{4-18}$$

Khi có mặt  $D_1, D_2, R_3, R_4$  trong mạch thì hoạt động của  $R_1$  và  $R_2$  vẫn giống như một bộ phân áp đơn giản cho tới khi điện áp hạ trên điện trở  $R_2$  vượt quá giá trị ngưỡng  $+V_1$ . Lúc này  $D_1$  được thiên áp thuận nên dẫn dòng và điện trở  $R_3$  sẽ được mắc song song với  $R_2$ . Thế lối ra bây giờ sẽ là:

$$V_o \approx V_i \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} \tag{4-19}$$

Trị số của điện áp ra bị suy giảm (kém dốc hơn). Khi điện áp vào trên  $R_2$  giảm xuống dưới mức  $+V_1$ , diode  $D_1$  bị khóa, mạch lại hoạt động bình thường như một bộ chia áp đơn giản.

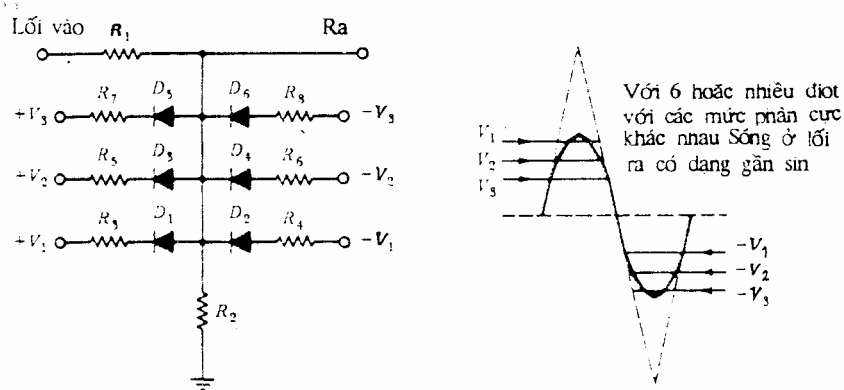
Tương tự, trong nửa chu kỳ âm của điện áp vào  $V_i$ , khi sụt áp  $V_{R2}$  giảm xuống dưới mức  $-V_1$ , diode  $D_2$  dẫn, làm  $R_4 // R_2$  và thế lối ra sẽ là:

$$V_o \approx V_i \frac{R_2 // R_4}{R_1 + R_2 // R_4} \tag{4-20}$$

Với  $R_3 = R_4$  thì dạng sóng nửa chu kỳ âm có dạng tương tự nửa dương.

Khi dùng số mắt diode nhiều hơn với các mức ngưỡng khác nhau ta có thể tạo được sóng ra có dạng gần đúng dạng sin. Trên hình 4-7 là mạch tạo hàm sin với ma

trận 6 diode - 6 điện trở, với 3 mức ngưỡng dương và 3 mức ngưỡng âm. Ta thấy độ dốc của sóng ra thay đổi 3 lần trong  $\frac{1}{4}$  chu kỳ. Sóng ra có dạng gần sin.



Hình 4-7. Bộ tạo hàm sin trên 6 diode

Cách thứ 2 để tạo hàm sin là sử dụng phương pháp xấp xỉ hóa hình sin bằng những đoạn không tuyến tính. Cơ sở của phương pháp này là chia hình sin ra làm nhiều đoạn và mỗi đoạn thay bằng các hàm phi tuyến. Ví dụ, đường đặc trưng vôn – ampe của diode có dạng đa thức bậc hai  $y = ax^2 + bx + c$  (xấp xỉ từng đoạn bằng hàm bậc 2), hoặc dùng đặc tuyến vôn – ampe của điện trở bán dẫn (varistor) có dạng đa thức:  $y = \sum_{i=0}^n a_i x_i^n$  (xấp xỉ bằng các đoạn cong), hoặc dùng transistor trường FET có đặc tuyến vôn – ampe dạng  $y = asinx$  trong khoảng  $0 \div \pi/2$ .

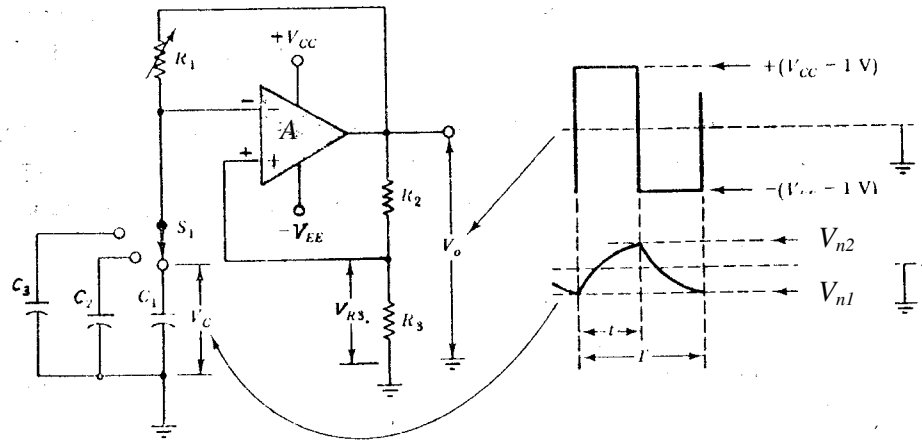
So với phương pháp xấp xỉ từng đoạn tuyến tính, phương pháp xấp xỉ từng đoạn không tuyến tính có độ chính xác cao hơn (độ méo hình sin nhỏ hơn), nhưng thực hiện phức tạp hơn.

#### § 4. MÁY PHÁT XUNG

Các máy phát xung thường bao gồm mạch tạo xung vuông góc, bộ dao động đa hài đơn ổn (monostable) và tầng lối ra với bộ suy giảm và dịch mức DC.

##### 4.1. Đa hài phiếm định.

Mạch tạo xung vuông vóc trên đa hài phiếm định (astable) có sơ đồ nguyên lý như trên hình 4-8.



Hình 4-8. Mạch tạo xung vuông trên đa hài phiếm định

Mạch khuếch đại thuật toán A và các điện trở  $R_2, R_3$  tác động như một trigger Schmitt đảo, có các ngưỡng bằng sụt áp trên  $R_3$  khi lối ra của khuếch đại thuật toán ở mức bão hòa:

$$V_{n1,2} = \mp V_0 \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (4-21)$$

Hoạt động của mạch như sau:

Khi thế lối ra của trigger ở mức bão hòa dương, dòng qua  $R_1$  nạp cho tụ  $C_1$ . Thế trên tụ  $C_1$  tăng theo quy luật:

$$V_{C1} = V_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC1}} \right) \quad (4-22)$$

Khi  $V_{C1}$  đạt mức ngưỡng trên  $V_{n2}$  trigger chuyển trạng thái lối ra xuống bão hòa âm. Tụ  $C_1$  xả điện qua  $R_1$  theo chiều ngược lại, đồng thời thế bão hòa âm hồi tiếp trở về lối vào (+) đạt mức ngưỡng dưới  $V_{n1}$  cho trigger. Khi thế trên tụ giảm xuống bằng mức ngưỡng dưới  $V_{n1}$  trigger lật trạng thái đưa lối ra từ bão hòa âm lên mức bão hòa dương. Cứ như thế mạch duy trì dao động, và lối ra của khuếch đại thuật toán ta thu được dạng xung vuông góc, với chu kỳ lặp lại:

$$T = 2RC \ln \frac{V - V_{C0}}{V - V_{C\infty}} \quad (4-23)$$

Trong đó:  $V$  – điện áp nạp;  
 $V_{C0}$  – điện áp ban đầu trên tụ  
 $V_{C\infty}$  – điện áp cuối cùng trên tụ ở thời điểm  $t$ .

Ví dụ: Mạch dao động đa hài trên hình 4-8 có:  $R_1 = 20K$ ;  $R_2 = 6,2K$ ;  $R_3 = 5,6K$ ;  $C_1 = 0,2\mu F$ . Điện áp nguồn nuôi là  $V_{CC} = \pm 12V$ . Tính tần số của xung vuông lối ra.

Ta có:  $V_0 = \pm (V_{CC} - 1) = \pm (12V - 1) = \pm 11V$ ;

Các ngưỡng của trigger Schmitt là:

$$V_{n1,2} = \mp V_0 \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \mp 11V \frac{5,6K}{6,2K + 5,6K} = 5,22V$$

$$V_{C0} = -5,22 \text{ V};$$

$$V_{C\infty} = +5,22 \text{ V};$$

$$V = 11 \text{ V};$$

Từ đó:

$$f = \frac{1}{2RC_1} \ln \frac{V - V_{C0}}{V - V_{C\infty}} = \frac{1}{2 \times 20K \cdot 0,1\mu F} \ln \frac{11V - 5,22V}{11V - (-5,22V)} = 121Hz$$

#### 4.2. Đa hài đơn ổn.

Mạch đa hài đơn ổn hay còn gọi là mạch đơn hài dùng để tạo sóng xung vuông góc có sơ đồ nguyên lý như hình 4-9.

Bộ khuếch đại thuật toán có đầu vào đảo (-) được thiên áp dương  $V_B$  ( $\sim 1V$ ), còn đầu vào không đảo (+) được tiếp đất thông qua điện trở  $R_2$ . Như vậy, với điều kiện DC ban đầu của mạch, lối ra của khuếch đại thuật toán sẽ ở mức bão hòa âm:

$$V_o = -V_{sat} = -(V_{CC} - 1V)$$

Tụ  $C_2$  được nạp tới mức điện áp  $V_o = -(V_{CC} - 1V)$  và duy trì trạng thái này cho tới khi có tín hiệu kích thích lối vào.

Khi có xung dương kích vào lối vào, qua mạch  $C_1R_1$  tín hiệu bị vi phân.  $D_1$  xén phần ngọn xung dương. Phần xung âm đưa vào lối vào đảo làm lối ra của khuếch đại thuật toán đổi trạng thái từ bão hòa âm lên mức bão hòa dương  $+V_{sat}$ . Lúc này điện áp đầu vào không đảo trở thành:

$$V_{i(+)} = (V_{CC} - 1V) - [-(V_{CC} - 1V)] = 2(V_{CC} - 1V).$$

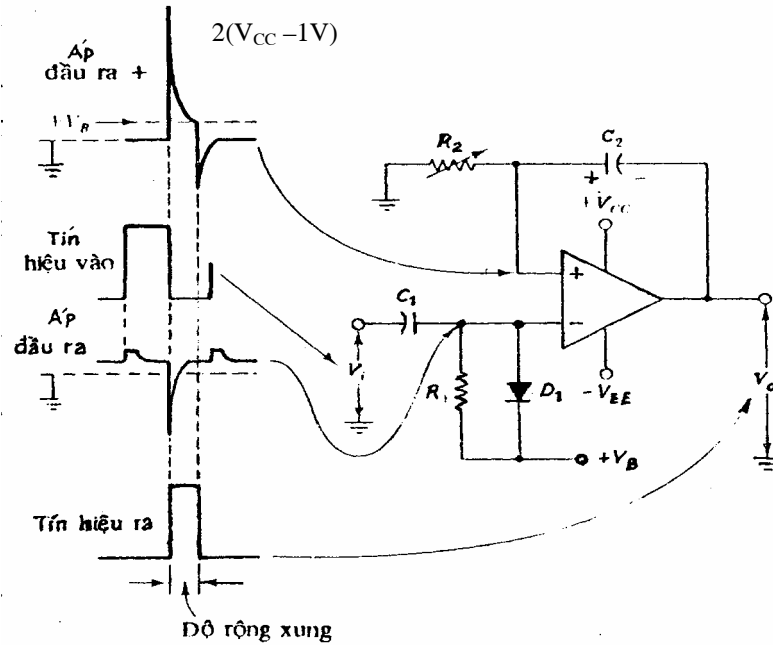
Tụ  $C_2$  phóng điện qua  $R_2$  và nạp với cực tính ngược lại. Khi  $C_2$  nạp, thế đầu vào không đảo giảm về phía mức đất. Ngay khi thế giảm xuống dưới mức  $+V_B$  đầu ra khuếch đại thuật toán chuyển từ bão hòa dương  $+V_{sat}$  xuống bão hòa âm  $-V_{sat}$ . Lối ra ta có một xung vuông với thời hạn phụ thuộc vào  $R_2$  và  $C_2$ :

$$t = R_2 C_2 \ln \frac{V - V_{C0}}{V - V_{C\infty}} \quad (4-24)$$

Ở đây:  $V$  – điện áp nạp cho tụ, nó bằng  $V_{CC} - 1V$

$V_{C\infty}$  – điện áp cuối cùng trên tụ khi điện áp đầu vào không đảo của khuếch đại thuật toán là  $+V_B$ ;

$$V_{C\infty} = V_{sat} - V_B = (V_{CC} - 1V) - V_B.$$



Hình 4-9. Đơn hài tạo xung vuông

Ví dụ: Mạch dao động đơn hài trên hình 4-9 có điện áp nguồn  $V_{CC} = \pm 10V$ ;  $V_B = 1V$ ;  $R_1 = 22K$ ;  $R_2 = 10K$ ;  $C_1 = 100pF$ ;  $C_2 = 0,01\mu F$ ;

- 1) Hãy tính độ rộng xung lối ra.
- 2) Xác định  $C_2$  để cho xung ra có độ rộng 6ms

1) Ta có:  $V = +(V_{CC} - 1V) = +(10V - 1V) = 9V$ ;

$$V_{C0} = -(V_{CC} - 1V) = -9V;$$

$$V_{C\infty} = V_{sat} - V_B = (10V - 1V) - 1V = 8V;$$

$$\text{Vậy: } t = R_2 C_2 \ln \frac{V - V_{C0}}{V - V_{C\infty}} = 0,01\mu F \times 10K \times \ln \frac{9V - (-9V)}{9V - 8V} = 289\mu s.$$

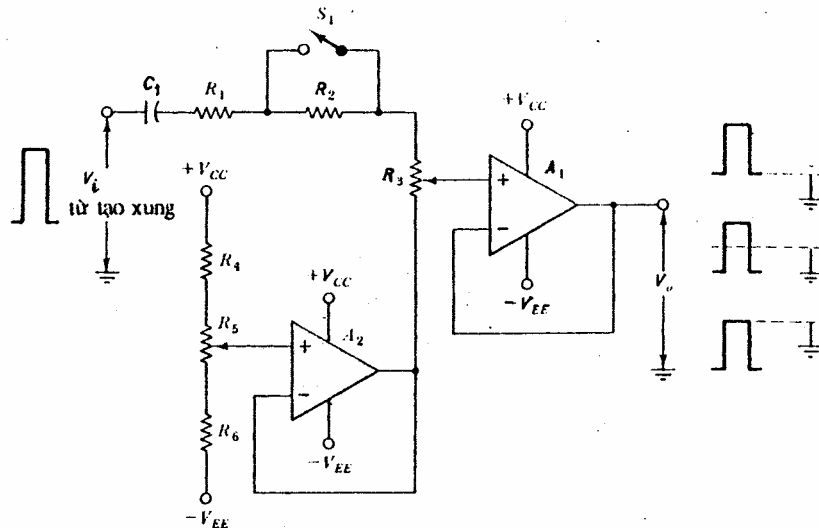
$$t = 289\mu s$$

2) Với  $t = 6ms$  giá trị của tụ  $C_2$  sẽ là:

$$C_2 = \frac{t}{R_2 \ln \frac{V - V_{C0}}{V - V_{C\infty}}} = \frac{6ms}{10K \times \ln \frac{9V - (-9V)}{9V - 8V}} = 0,2\mu F$$

**4.3. Bộ suy giảm và dịch mức DC lối ra.**

Để điều chỉnh biên độ xung và dịch mức DC, tín hiệu lối ra của máy phát xung được đưa qua bộ suy giảm và dịch mức DC có sơ đồ như hình 4-10.



Hình 4-10. Bộ suy giảm và dịch mức DC

Các bộ khuếch đại thuật toán A<sub>1</sub> và A<sub>2</sub> mắc kiểu lặp áp cho phép tạo trở kháng ra của máy phát nhỏ. Mức DC của điện áp lối ra được điều khiển nhờ chiết áp R<sub>5</sub> và 2 điện trở R<sub>4</sub>, R<sub>6</sub> nối phân cực giữa 2 nguồn ±V<sub>CC</sub>.

Khi tiếp điểm động của chiết áp R<sub>5</sub> ở mức thế đất, lối ra A<sub>2</sub> cũng ở mức thế đất, khiến xung lối ra từ A<sub>1</sub> đối xứng qua mức đất.

Khi tiếp điểm động của R<sub>5</sub> ở mức -5V, xung ra sẽ đối xứng qua mức -5V, và khi tiếp điểm động của R<sub>5</sub> ở mức +5V, xung ra sẽ đối xứng qua mức +5V. Như vậy, bằng cách điều chỉnh chiết áp R<sub>5</sub> ta có thể dịch chuyển được mức DC của xung lối ra dễ dàng.

Biên độ của xung lối ra được điều chỉnh liên tục nhờ chiết áp R<sub>3</sub>. Chuyển mạch S<sub>1</sub> cho phép thay đổi 2 khoảng biên độ.

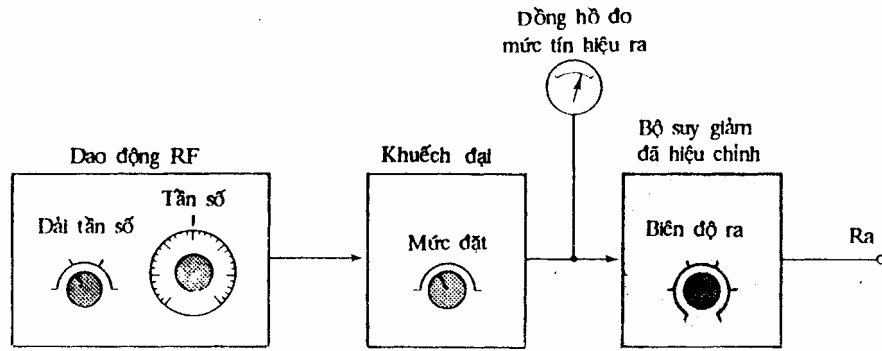
**§ 5. MÁY TẠO TÍN HIỆU RF**

**5.1. Sơ đồ khối của máy tạo tín hiệu RF.**

Máy tạo tín hiệu tần số sóng vô tuyến RF (radio frequency) có đầu ra sóng sin với dải tần nằm trong khoảng từ 100kHz đến 40GHz. Sơ đồ khối của máy tạo sóng RF như chỉ ra trên hình 4-11. Về đại thể, dụng cụ gồm có: bộ dao động RF, bộ khuếch đại và bộ suy giảm đã hiệu chỉnh và máy đo mức đầu ra.

Bộ dao động RF có núm điều chỉnh tần số liên tục và công tắc dải tần số để điều chỉnh tín hiệu ra tới tần số bất kỳ mong muốn.

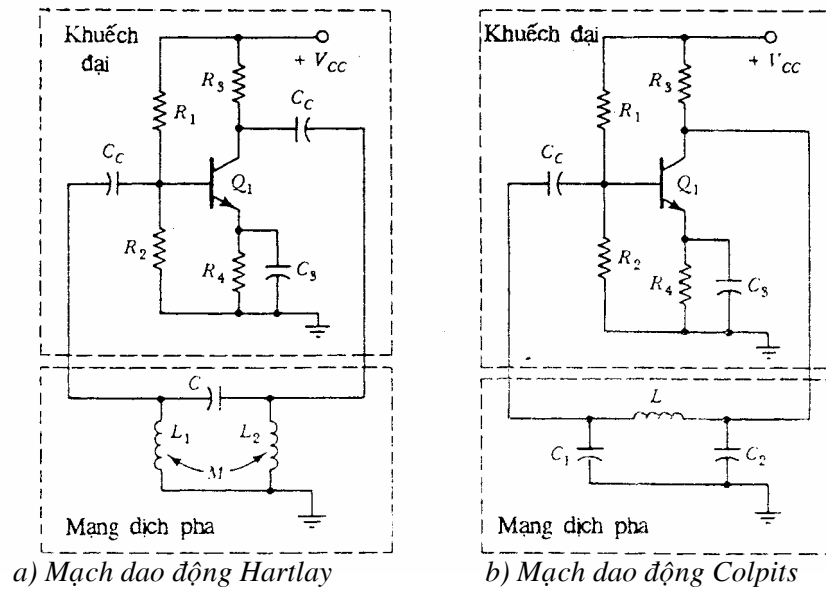




Hình 4-11. Máy tạo sóng RF

**5.2. Mạch dao động RF.**

Mạch dao động dùng trong máy tạo sóng RF thường dùng mạch dao động Colpits hoặc dao động Hartlay. Sơ đồ nguyên lý của hai mạch chỉ ra trên hình 4-12.



Hình 4-12

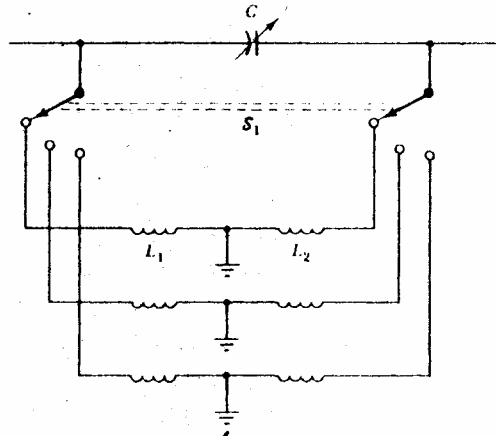
Cả hai mạch đều có bộ khuếch đại và mạch hồi tiếp. Bộ khuếch đại vừa khuếch đại tín hiệu vừa đảo pha  $180^\circ$ . Tín hiệu ra đã khuếch đại được làm suy giảm và dịch pha tiếp  $180^\circ$  nữa bởi mạch hồi tiếp. Độ lợi của mạch khuếch đại bằng nghịch đảo của độ suy giảm qua mạch hồi tiếp. Mỗi mạch có độ tăng ích vòng là 1 và độ dịch pha vòng là  $360^\circ$ . Điểm khác biệt giữa 2 mạch là mạng dịch pha. Mạch dao động Hartlay sử dụng 2 cuộn cảm  $L_1, L_2$  và 1 tụ điện C. Mạch dao động Colpits sử dụng 2 tụ điện  $C_1, C_2$  và 1 cuộn cảm L. Tần số dao động của cả 2 mạch là tần số cộng hưởng của mạch dịch pha:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_T L_T}} \quad (4-25)$$

Đối với mạch Hartlay:  $C_T = C$ ;  
 $L_T =$  Tổng điện cảm của  $L_1$  và  $L_2$ .

Đối với mạch Colpits:  $L_T = L$ ;  
 $C_T =$  Tổng điện dung  $C_1$  và  $C_2$  mắc nối tiếp.

Để thay đổi tần số dao động của mạch có thể sử dụng chuyển mạch để thay đổi trị số của  $L_T$  và  $C_T$ . Ví dụ, sơ đồ bố trí để thay đổi tần số trong mạch dao động Hartlay như trên hình 4-13.

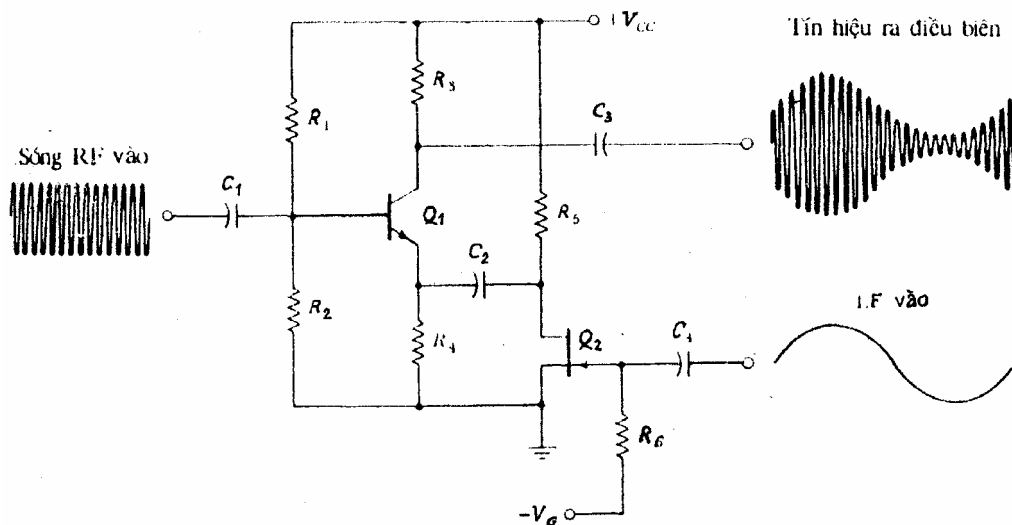


Hình 4-13. Chuyển mạch để thay đổi tần số trong mạch dao động Hartlay

### 5.3. Mạch điều biến biên độ và điều biến tần số.

#### 5.3.1. Điều biến biên độ.

Các máy tạo sóng RF thường có thiết bị để điều biến biên độ và tần số. Điều biến biên độ được thực hiện tại tầng khuếch đại (hình 4-14).



Hình 4-14. Mạch điều biến biên độ

Nếu không có transistor Q<sub>2</sub> (FET), độ lợi của mạch là:

$$A_V = \frac{R_3}{R_4}$$

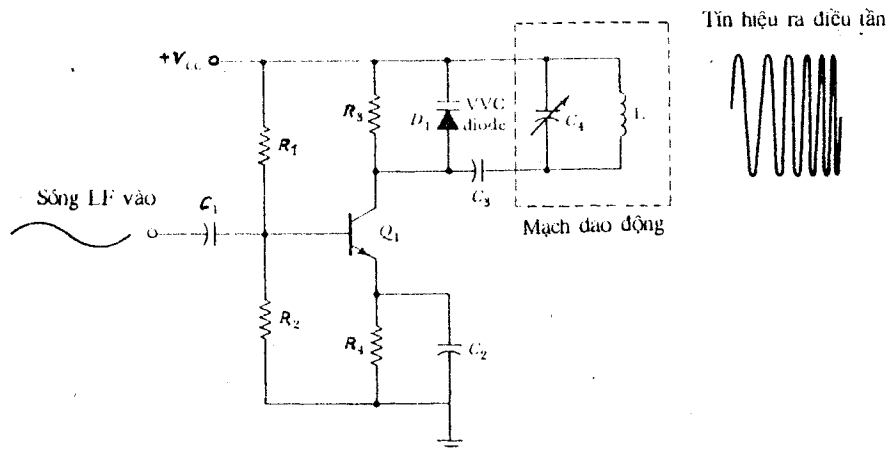
Transistor Q<sub>2</sub> ghép với R<sub>4</sub> qua tụ C<sub>2</sub> nên nó không ảnh hưởng tới chế độ thiên áp cho Q<sub>1</sub>. Khi có Q<sub>2</sub> trong mạch, độ lợi của mạch khuếch đại sẽ là:

$$A_V = (R_3 / R_4) // R_D$$

Trong đó R<sub>D</sub> là điện trở cực D của FET. Tín hiệu tần thấp LF đưa vào cực cổng G của FET làm thay đổi điện trở cực D của Q<sub>2</sub> và do đó làm thay đổi độ tăng ích của bộ khuếch đại. Bằng cách đó, biên độ của tín hiệu RF được tăng lên hay giảm đi cùng pha với tín hiệu LF (xem dạng sóng trên hình 4-14).

**5.3.2. Điều biến tần số.**

Việc điều biến tần số thường được thực hiện tại tầng dao động của máy tạo tín hiệu RF. Sơ đồ mạch điều tần sử dụng varicap chỉ ra trên hình 4-15.



Hình 4-15. Nguyên tắc điều tần bằng diode biến dung Varicap

Varicap là một loại diode đặc biệt làm việc trong chế độ định thiên ngược, có giá trị điện dung thay đổi theo giá trị điện áp đặt vào nên được gọi là diode biến dung VVC.

Trong mạch C<sub>3</sub> có điện dung lớn ghép diode varicap với mạch cộng hưởng LC<sub>4</sub> của bộ dao động, do đó điện dung của D<sub>1</sub> xem như mắc song song với L và C<sub>4</sub>. Điện dung của mạch cộng hưởng là điện dung của diode C<sub>D</sub> mắc song song với C<sub>4</sub>. Tần số cộng hưởng sẽ là:

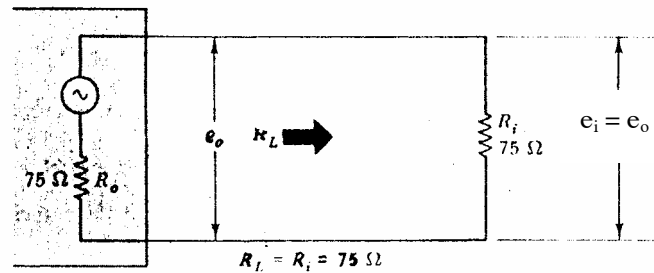
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_D // C_4}} \tag{4-26}$$

Theo (4-26) ta thấy, khi C<sub>D</sub> thay đổi, tần số f sẽ thay đổi. Điện áp trên collector của Q<sub>1</sub> biến đổi theo quy luật của tín hiệu LF, do đó C<sub>D</sub> thay đổi theo quy luật LF, nghĩa là tần số của điện áp ra bị điều chế theo LF. Tín hiệu ra đã bị điều biến về tần số.

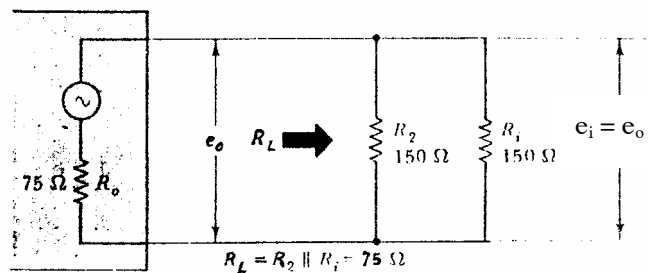
**5.4. Tải của máy tạo sóng.**

Máy tạo sóng RF có tải danh định lối ra là  $75\Omega$ . Nếu tải mắc có trị số đúng  $75\Omega$  thì tín hiệu lối ra từ bộ suy giảm chỉ thị đúng (hình 4-16, a). Trường hợp tải khác  $75\Omega$  phải mắc phối hợp song song (hình 4-16, b) hoặc nối tiếp (hình 4-16, c) để biến đổi tải về trị số  $75\Omega$ . Khi đó mức tín hiệu ra sẽ bị thay đổi, cần phải tính lại mức tín hiệu thực đưa vào tải.

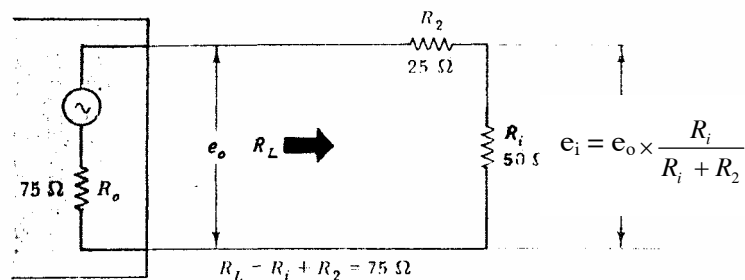
Đầu ra máy tạo sóng



a)



b)



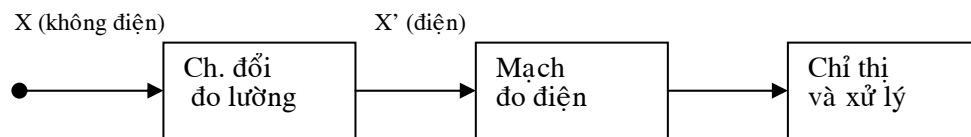
c)

Hình 4-16. Cách mắc tải trong các trường hợp : a) tải đúng  $R_L = R_o$ ; b) khi  $R_L > R_o$  và c) khi  $R_L < R_o$ .

## CHƯƠNG V : ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

### § 1. KHÁI NIỆM CHUNG

Các đại lượng vật lý đặc trưng cho các hiện tượng và các quá trình cơ, nhiệt, quang, hóa ... đều là những đại lượng không điện. Phép đo các đại lượng không điện có thể được tiến hành bằng những cách thức khác nhau. Nhưng trong thực tế kỹ thuật, phương pháp đo điện được sử dụng phổ biến nhất do các đặc tính ưu việt của nó. Phép đo các đại lượng không điện bằng phương pháp điện được thực hiện thông qua các bộ chuyển đổi hoặc các cảm biến đo lường. Các bộ chuyển đổi đóng vai trò “nhà phiên dịch” để biến đổi các tín hiệu không điện thành tín hiệu điện, sau đó sử dụng các mạch đo điện để tiến hành xử lý phép đo tiếp theo. Sơ đồ nguyên tắc của phép đo các đại lượng không điện bằng phương pháp điện chỉ ra trên hình 5-1.



Hình 5-1. Đo các đại lượng không điện bằng phương pháp điện

Bài toán chuyển đổi một đại lượng không điện sang đại lượng điện là vấn đề then chốt trong cấu hình của hệ thống đo không điện. Bài toán này hết sức đa dạng, nhưng điều lý thú là chỗ dù ở bất kỳ dạng nào cũng có thể giải được, nghĩa là với bất kỳ một đại lượng nào như cơ, quang, nhiệt, hóa, v.v... đều có thể dễ dàng biến đổi chúng thành đại lượng điện. Nói chính xác hơn, có thể dễ dàng biến đổi các đại lượng trên thành tín hiệu điện để đưa vào các cơ cấu đo điện để đo đạc và xử lý. Giải quyết bài toán trên chính là nhiệm vụ của các bộ chuyển đổi đo lường. Có rất nhiều nguyên tắc để thực hiện các bộ chuyển đổi, và tương ứng với nó là sự đa dạng của các loại chuyển đổi, như chuyển đổi điện trở, chuyển đổi điện cảm, chuyển đổi điện dung, chuyển đổi áp điện, chuyển đổi nhiệt điện, chuyển đổi quang điện, v.v.... Tuy nhiên, căn cứ vào bản chất của các đại lượng chuyển đổi có thể quy về mấy nhóm cơ bản sau:

- Các chuyển đổi cơ điện;
- Các chuyển đổi nhiệt điện;
- Các chuyển đổi hóa điện;
- Các chuyển đổi quang điện và phát xạ điện tử.

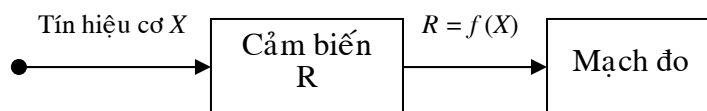
Đặc tính quan trọng nhất của các bộ chuyển đổi chính là hàm truyền đạt của nó. Hàm truyền đạt thể hiện cấu trúc của thiết bị biến đổi và thông thường có đặc

tính phi tuyến, điều đó làm giới hạn khoảng đo và dẫn tới sai số. Trong trường hợp đại lượng đo biến thiên trong một phạm vi rộng, cần chia nhỏ khoảng đo (phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn). Thông thường khi thiết kế mạch đo người ta thực hiện các mạch bổ trợ để hiệu chỉnh hàm truyền sao cho hàm truyền đạt chung của hệ thống là tuyến tính.

## § 2. CHUYỂN ĐỔI CƠ ĐIỆN

### 2.1. Chuyển đổi điện trở R.

**2.1.1. Nguyên tắc.** Dưới tác dụng của tín hiệu cơ (sự dịch chuyển, mức, chấn động, v.v...) làm thay đổi điện trở của nguyên tố nhạy cảm (cảm biến), dẫn tới làm thay đổi dòng trong mạch theo quy luật biến đổi của đại lượng cơ. Khảo sát sự biến thiên này thông qua mạch đo ta có thể đánh giá được giá trị của đại lượng cơ cần đo (hình 5-2).



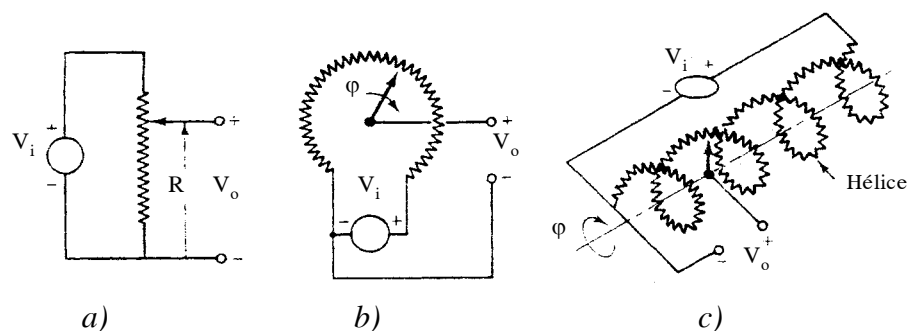
Hình 5-2. Nguyên tắc của chuyển đổi

Chuyển đổi điện trở R có thể thực hiện theo nhiều cách thức khác nhau:

- Loại biến trở (chiết áp): biến trở thẳng, biến trở góc, biến trở hélice.
- Loại điện trở biến dạng (tenzô): điện trở bột than nén, điện trở lá (kim loại hoặc bán dẫn).

#### 2.1.2. Cảm biến loại biến trở.

Đây là loại cảm biến có nguyên lý cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo. Cấu trúc của loại này có thể là loại biến trở thẳng, biến trở góc hoặc biến trở Hélice (Hình 5-3).



Hình 5-3. a) Biến trở thẳng; b) Biến trở góc; c) Biến trở Hélice

Hàm truyền đạt của loại biến trở này được xác định theo hệ thức:

$$R_x = k l_x = k_o x, \text{ hoặc } R_x = k \varphi_x = k_o x \quad (5-1)$$

Trong đó:  $l_x$  và  $\varphi_x$  – độ dịch chuyển thẳng và độ dịch chuyển góc của con trượt biến trở;

x – đại lượng cơ cần đo.

Điện trở của biến trở được cấu tạo bằng điện trở loại dây quấn hoặc dạng điện trở màng. Điện trở dây quấn thường làm từ các vật liệu có điện trở suất lớn và hệ số nhiệt điện trở nhỏ như mangan, constantan ... quấn trên đế cách điện như bakelit, textolit. Loại điện trở màng được tạo thành trên cơ sở than phun hoặc oxyt kim loại phủ trên đế plastic. Bằng cách thay đổi bước quấn hoặc tiết diện của vành trượt trên đế ta có thể điều chỉnh được hàm truyền đạt của biến trở.

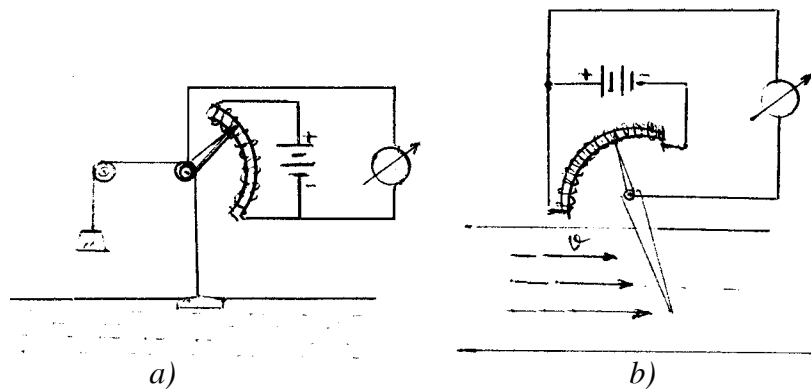
Ứng dụng: Đo độ di chuyển thẳng hoặc độ di chuyển góc. Đo mức chất lỏng trong bình chứa, đo tốc độ chất lưu trong ống dẫn (hình 5-4)

**2.1.3. Cảm biến điện trở biến dạng.**

Thương dùng để đo độ biến dạng, đo áp suất, đo kích thước, v.v...

Có 2 dạng: Dạng bột than và dạng điện trở lá.

– Dạng bột than. Cảm biến có dạng một cột than gồm nhiều đĩa xếp chồng lên nhau. Dưới tác dụng của lực cơ học (lực đè, nén) cột than sẽ bị ép nhiều hay ít, dẫn tới điện trở của cột than (điện trở tiếp xúc) bị thay đổi theo quy luật  $R_x = f(P)$ .



Hình 5-4 . a – Đo mức chất lỏng  
b – Đo tốc độ của chất lưu

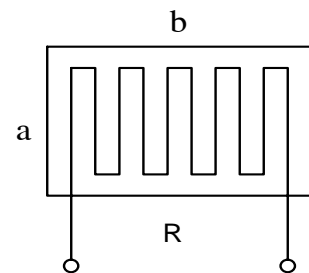
– Dạng điện trở lá.

Cấu tạo của cảm biến điện trở biến dạng gồm một dây điện trở rất mảnh, thường là loại hợp kim có điện trở suất lớn, dán căng trên một đế mỏng cách điện có kích thước cỡ 1÷2 cm<sup>2</sup> (hình 5-5).

Giá trị của điện trở tính theo công thức đã biết:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5-2)$$

Muốn kiểm tra độ biến dạng của một chi tiết cơ khí nào đấy, người ta dán lá điện trở này vào đó. Độ biến dạng của chi tiết sẽ tác động lên lá điện trở làm thay đổi chiều dài của dây



Hình 5-5

dẫn, dẫn đến sự thay đổi tiết diện của nó và kết quả là sự thay đổi điện trở của cảm biến theo quy luật:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + (1 + 2\mu) \frac{\Delta l}{l} \quad (5-3)$$

Trong đó  $\mu$  – hệ số Poisson.

Biến thiên tương đối của điện trở suất là hàm số của độ biến thiên thể tích dây dẫn:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \gamma_{\rho} (1 - 2\mu) \frac{\Delta l}{l} \quad (5-4)$$

$\gamma_{\rho}$  – hệ số phụ thuộc vào đặc tính cấu trúc tinh thể của vật liệu làm điện trở.

Từ các biểu thức (5-3) và (5-4) ta có thể rút ra biểu thức để biểu thị một đặc tính quan trọng của cảm biến điện trở biến dạng là hệ số tenzô K:

$$K = \left( \frac{\Delta R}{R} \right) / \left( \frac{\Delta l}{l} \right) = [(1 + 2\mu) + \gamma_{\rho} (1 - 2\mu)] = [(1 + 2\mu) + m] \quad (5-5)$$

Giá trị của K đối với các vật liệu khác nhau thay đổi trong một giới hạn đủ rộng. Đối với mangan  $K = 0,47 \div 0,5$ , đối với hợp kim Fe-Cr-Al thì  $K = 2,8 \div 2,9$ ; đối với constantan  $K = 1,9 \div 2,1$ .

## 2.2. Chuyển đổi điện cảm.

Ta biết rằng điện cảm của một ống dây xác định theo biểu thức:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l^2} S l = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l} S = \frac{N^2}{\frac{l}{\mu \mu_0 S}} = \frac{N^2}{R_T} \quad (5-6)$$

Trong đó:  $R_T = \frac{l}{\mu \mu_0 S}$  – Từ trở của mạch từ;

$l$  – Chiều dài của ống dây;

$\mu$  – Độ từ thẩm của lõi;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m – Hằng số từ;

$N$  – Số vòng dây.

Khi  $\mu$  thay đổi làm  $R_T$  thay đổi và  $L$  thay đổi. Khảo sát sự biến thiên của  $L$  ta có thể xác định được độ lớn của đại lượng cơ cần đo. Nguyên tắc này được áp dụng để chế tạo cảm biến điện cảm.

### 2.2.1. Cảm biến kiểu điện cảm L.

Cấu tạo của cảm biến điện cảm  $L$  gồm một lõi sắt từ, trên đó quấn một số vòng dây  $N$ . Lõi sắt được ghép từ một phần khung chữ U và 1 phần chữ I (hình 5-6)



Cảm biến vi sai có 2 khe công tác  $\delta_1$  và  $\delta_2$  mà sự thay đổi độ lớn của nó phụ thuộc vào sự dịch chuyển của lõi động chữ I ở giữa.

Đại lượng đo tác động lên lõi từ làm nó di chuyển làm cho  $\delta_1$  và  $\delta_2$  thay đổi. Kết quả độ lớn của điện cảm  $L_1$  và  $L_2$  thay đổi.

Chẳng hạn, nếu tác dụng làm lõi di chuyển theo dương (+),  $\delta_1$  sẽ tăng và  $\delta_2$  sẽ giảm dẫn tới làm  $L_1$  giảm và  $L_2$  tăng. Ngược lại, nếu lõi dịch chuyển theo chiều âm (-), làm  $\delta_1$  giảm và  $\delta_2$  tăng dẫn tới  $L_1$  tăng và  $L_2$  giảm. Đặc tuyến truyền đạt của cảm biến vi sai chỉ ra trên hình 5-7,b cho thấy khoảng tuyến tính của hàm truyền tổng cộng được mở rộng.

– *Ứng dụng*: Đo độ di chuyển bé, kiểm tra bề dày các tấm kim loại cán, kiểm tra kích thước các chi tiết cơ khí chính xác

Hình 5-8.  
Cảm biến điện cảm vi sai

**2.2.2.Cảm biến kiểu hồ cảm M.**

Cấu tạo của cảm biến hồ cảm M giống như cảm biến điện cảm L, nhưng có 2 cuộn dây  $N_1$  và  $N_2$  (hình 5-9). Hoạt động của cảm biến M tuân theo nguyên tắc cảm ứng điện từ giống như nguyên tắc làm việc của một máy biến áp. Nếu ta tác động một tín hiệu xoay chiều  $e_1 = E_1 \sin \omega t$  lên 2 đầu cuộn  $N_1$  thì trên 2 đầu cuộn  $N_2$  sẽ thu được tín hiệu  $e_2 = E_2 \sin \omega t$ .

Trong đó:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Gọi  $I_1$  là dòng trong cuộn  $N_1$  thì trong cuộn  $N_2$  sẽ có dòng  $I_2$ :

$$I_2 = M I_1 \omega = M I_1 \frac{2\pi}{f} \tag{5-11}$$

Trong đó M là hồ cảm giữa 2 cuộn dây:

$$M = \frac{N_1 N_2}{R} \tag{5-12}$$

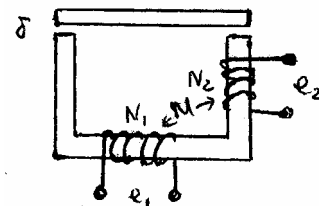
R là từ trở của mạch từ. Nếu ta giữ cho  $I_1$  và  $\omega$  không đổi thì dòng  $I_2$  chỉ còn là hàm 1 biến của M, mà giá trị của M phụ thuộc vào từ trở của mạch từ theo (5-12). Như vậy, nếu R thay đổi, M sẽ thay đổi và dẫn đến  $I_2$  thay đổi. Nói cách khác ta có:

$$I_2 = f(R). \tag{5-13}$$

– *Ứng dụng*: Đo độ di chuyển bé, kiểm tra bề dày các tấm kim loại cán, kiểm tra kích thước các chi tiết cơ khí chính xác

**2.2.3.Cảm biến cảm ứng.**

Cảm biến cảm ứng dựa trên nguyên tắc cảm ứng điện từ: khi một khung dây dẫn kín quay trong một từ trường B, trong khung dây sẽ xuất hiện một suất điện động cảm ứng.



Hình 5-9

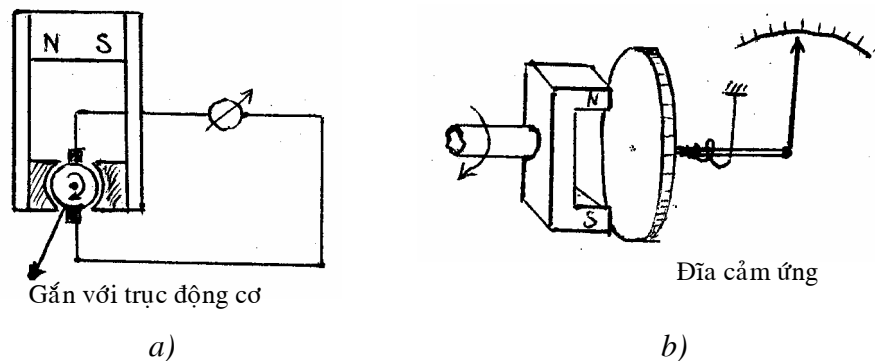
$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Theo nguyên tắc này người ta đã chế tạo ra máy phát tốc để đo tốc độ quay của các động cơ, máy phát. Nó chính là một máy phát điện nhỏ kích từ bằng nam châm vĩnh cửu (hình 5-10,a).

Phần ứng quay với tốc độ bằng hoặc tỷ lệ với tốc độ quay của động cơ. Suất điện động xuất hiện trong mạch phần ứng tỷ lệ với tốc độ quay n.

$$e = k.n \tag{5-14}$$

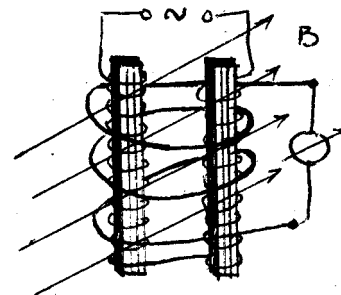
Do s.d.đ e ta dễ dàng xác định được tốc độ quay n. Thang độ của đồng hồ được khắc độ trực tiếp ra vận tốc.



Hình 5-10. Tốc kế

Theo nguyên tắc này có thể chế tạo theo kiểu nam châm (phần cảm) quay. Khi đó phần ứng là một đĩa kim loại gắn với trục quay động và kim chỉ thị. Khi nam châm gắn với trục của động cơ quay (hình 5-10,b), từ trường xuyên qua đĩa biến thiên, trên đĩa xuất hiện dòng cảm ứng. Dòng này sinh ra từ trường chống lại từ trường đã sinh ra nó (tức chống lại sự quay), nhưng nam châm gắn với trục động cơ vẫn quay buộc đĩa phải quay theo. Đĩa gắn với trục, trên có một lò xo cản. Khi mô men cản cân bằng với mô men quay đĩa sẽ đứng yên và kim chỉ thị ở một vị trí xác định trên thang độ.

Dựa trên nguyên tắc cảm ứng người ta đã chế tạo ra dụng cụ xác định phương hướng trên máy bay. Ta biết rằng trái đất chúng ta là một nam châm khổng lồ. Từ trường do nó sinh ra có các đường sức chạy từ Bắc xuống Nam. Khi bay trong bầu trời, máy bay chịu tác dụng từ trường của trái đất. Trên cơ sở đó người ta đã chế tạo một dụng cụ xác định phương hướng có cấu trúc như sau:



Hình 5-11

Dụng cụ gồm 2 thanh sắt từ đặt song song, trên có quấn 2 cuộn dây kiểu biến thể (hình 5-11). Cuộn sơ cấp (dây nhỏ) quấn trên 2 thanh sắt ngược chiều nhau và nối với một nguồn điện xoay chiều. Bình thường, từ trường do chúng sinh ra ngược chiều nhau nên chúng triệt tiêu lẫn nhau. Cuộn thứ cấp (dây lớn) quấn bao lấy cả 2 thanh sắt từ.

Khi bay trong bầu trời, 2 thanh sắt nằm trong từ trường trái đất. Khi đó, nếu ở một thanh sắt từ trường do bản thân dòng điện sinh ra được cộng thêm với từ trường trái đất thì ngược lại, ở thanh sắt kia từ trường đó sẽ bị trừ đi, do đó từ trường tổng do cuộn sơ cấp sinh ra sẽ khác không. Kết quả trong cuộn thứ cấp sẽ phát sinh một sức điện động. Độ lớn của sức điện động này phụ thuộc vào từ thông xuyên qua bề mặt của cảm biến, tức phụ thuộc vào góc giữa 2 thanh sắt với hướng từ trường trái đất. Như vậy, đo sức điện động có thể xác định được góc phương vị trên bầu trời.

**2.3. Chuyển đổi điện dung.**

Ta biết rằng, điện dung của một tụ điện là một thông số đặc trưng cho khả năng tích điện của nó, có giá trị phụ thuộc vào kích thước của các bản tụ (S), khoảng cách giữa các bản (d) và bản chất của chất điện môi giữa chúng (ε).

Dựa vào các đặc tính trên người ta đã chế tạo ra các bộ chuyển đổi kiểu điện dung. Thường có 2 dạng: tụ phẳng và tụ hình trụ.

Đối với dạng tụ phẳng, điện dung của cảm biến thay đổi theo quy luật:

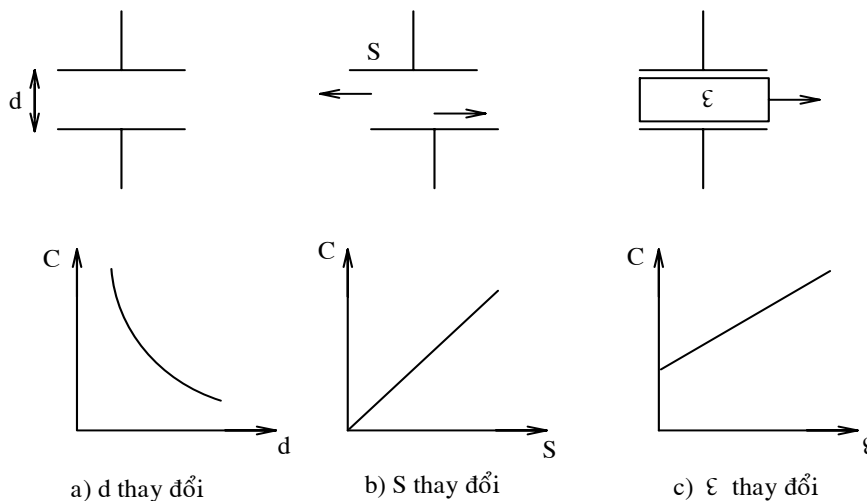
$$C = \epsilon \epsilon_0 (n - 1) \frac{S}{d} \tag{5-15}$$

- Trong đó: n – số tấm bản cực, S – diện tích của 1 bản cực;
- D – khoảng cách giữa 2 bản cực;
- ε – hằng số điện môi; ε<sub>0</sub> = 8,85. 10<sup>-12</sup> F/m – hằng số điện.

Như vậy, C là hàm của 3 biến d, S và ε. Nói cách khác có thể sử dụng cảm biến điện dung C để đo các đại lượng cơ học làm thay đổi một trong các đại lượng nói trên theo các quan hệ sau:

$$C_x = f(d); C_x = f(S); C_x = f(\epsilon) \tag{5-16}$$

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc hàm số giữa điện dung C vào các biến d, S và ε chỉ ra trên hình 5-12.



Hình 5-12. Các dạng cảm biến điện dung phẳng

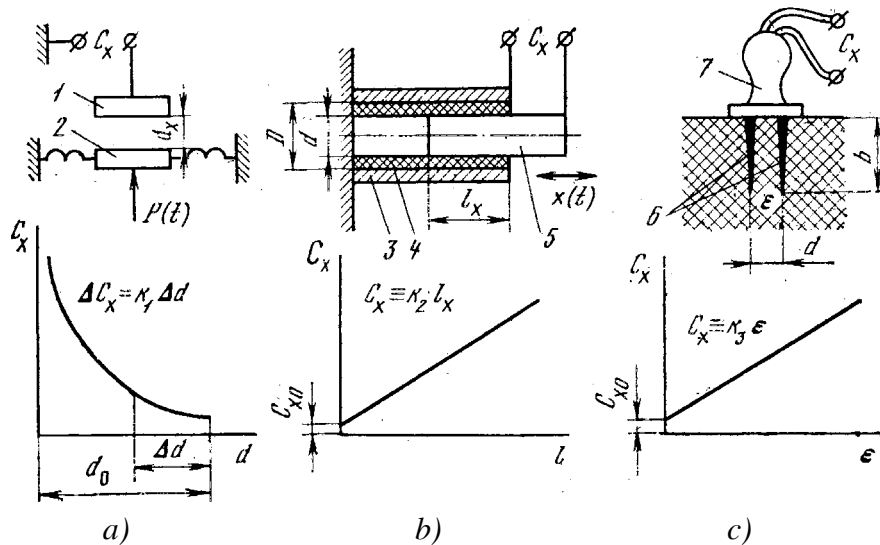
Đối với dạng tụ hình trụ, điện dung của tụ được tính:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (5-16)$$

Trong đó: 1 – Chiều cao của hình trụ;  
 $R_1$  – Bán kính hình trụ trong;  
 $R_2$  – Bán kính hình trụ ngoài.

Cảm biến điện dung loại này thường được dùng để đo mức hoặc sự dịch chuyển làm thay đổi đại lượng  $l_x$  theo quan hệ  $C_x = k l_x$ .

Trên hình 5-13 là sơ đồ của của một số cảm biến điện dung đơn giản và đồ thị biểu diễn hàm truyền đạt của chúng.



Hình 5-13. Sơ đồ và hàm truyền đạt của một số cảm biến điện dung

Trên hình 5-13, a cảm biến được cấu tạo bởi 2 bản tụ. Bản tụ 1 gắn cố định và bản tụ 2 treo bằng lò xo đàn hồi có thể dịch chuyển dưới tác dụng của áp lực  $P(t)$ . Hàm truyền đạt của chuyển đổi  $C_x = f(d_x)$  là phi tuyến (có dạng hypebol). Với các giá trị  $\Delta d < d_0$  có thể xem hàm truyền gần tuyến tính.

Trên hình 5-13, b điện dung  $C_x$  được xác định bởi giá trị  $l_x$ , là đoạn đối nhau của 2 hình trụ 5 và 3 ngăn cách bởi lớp điện môi hình trụ 4. Dưới tác dụng của đại lượng cơ  $x(t)$  làm hình trụ 5 di chuyển và làm  $l_x$  thay đổi. Hàm truyền đạt của chuyển đổi có đặc tính tuyến tính:

$$C = 2\pi\epsilon\epsilon_0 \frac{l_x}{\ln \frac{D}{d}} = k l_x \quad (5-17)$$

Trong đó  $D$  và  $d$  tương ứng là đường kính của bản tụ ngoài và bản tụ trong.

Trên hình 5-13, c là bộ chuyển đổi điện dung dùng để đo độ ẩm của các vật thể dạng hạt rời (ngũ cốc, đường cát, v.v...). Nó được cấu tạo từ 2 bản tụ song song 6 được gắn với tay cầm 7 làm bằng vật liệu cách điện chất lượng cao. Vì khoảng cách giữa 2 bản tụ và diện tích của các bản là không đổi, nên điện dung  $C_x$  là hàm tuyến tính của hằng số điện môi  $\epsilon$  của môi trường giữa 2 bản tụ.

Ngoài những cảm biến điện dung đơn giản như trên, trong kỹ thuật đo còn sử dụng rộng rãi các cảm biến điện dung đầu vi sai để đo lưu lượng hoặc tốc độ chất lưu và các bộ chuyển đổi điện dung có hàm truyền đạt phức tạp hơn để giải quyết các bài toán trong thực tiễn mà trên các hình 5-14, và hình 5-15 là hai ví dụ cụ thể.

Bộ chuyển đổi điện dung trên hình 5-14, a là cơ cấu để kiểm tra mức chất lỏng trong bình chứa 1, Giá trị của điện dung  $C_x$  phụ thuộc vào mức chất lỏng trong bình. Sơ đồ tương đương của hệ như trên hình 5-14, b. trong đó  $C_1$  là phần tụ trong không khí,  $C_2$  là phần tụ nhúng trong chất lỏng.

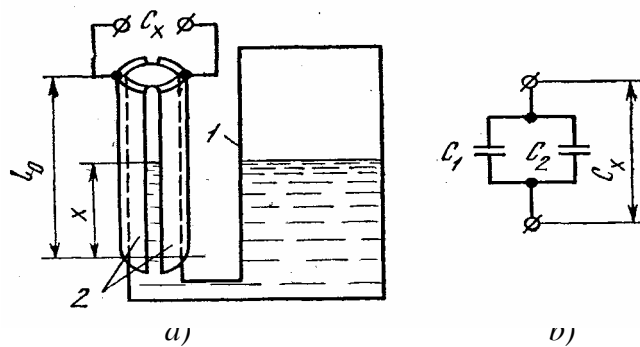
$$C_1 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S_1}{d} \quad \text{và} \quad C_2 = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0 S_2}{d} \quad (5-18)$$

Với  $S_1 = k(l - x)$  và  $S_2 = kx$ , ta có giá trị của hàm truyền đạt  $C_x$  là:

$$C_x = C_1 + C_2 = k \frac{\epsilon_1 \epsilon_0}{d} (l - x) + k \frac{\epsilon_2 \epsilon_0}{d} x = k \frac{\epsilon_1 \epsilon_0}{d} l - k \frac{\epsilon_0}{d} (\epsilon_1 - \epsilon_2) x$$

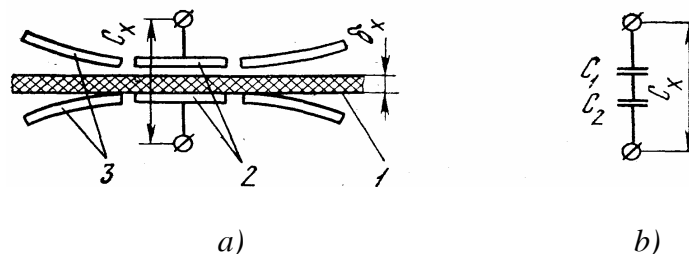
$$C_x = k_0 + k_1 x \quad (5-19)$$

Trong đó:  $k_0 = k \frac{\epsilon_1 \epsilon_0}{d} l$ ;  $k_1 = k \frac{\epsilon_0}{d} (\epsilon_1 - \epsilon_2)$  là các hằng số.



Hình 5-14. Chuyển đổi điện dung để đo mức chất lỏng

Trên hình 5-15, a là nguyên lý chuyển đổi điện dung dùng để kiểm tra và đo bề dày các tấm phi kim loại. Sơ đồ chuyển đổi tương đương 2 tụ điện  $C_1$  và  $C_2$  mắc nối tiếp (hình 5-15, b).



Hình 5-15. Chuyển đổi điện dung để đo bề dày các tấm phi kim loại

Trong đó: 
$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 S}{d - \delta_x}; \quad \text{và} \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 S}{\delta_x} \quad (5-20)$$

Hàm truyền của chuyển đổi xác định bởi giá trị điện dung tương đương của  $C_1$  và  $C_2$  mắc nối tiếp.

$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{a}{b + \delta_x} \tag{5-21}$$

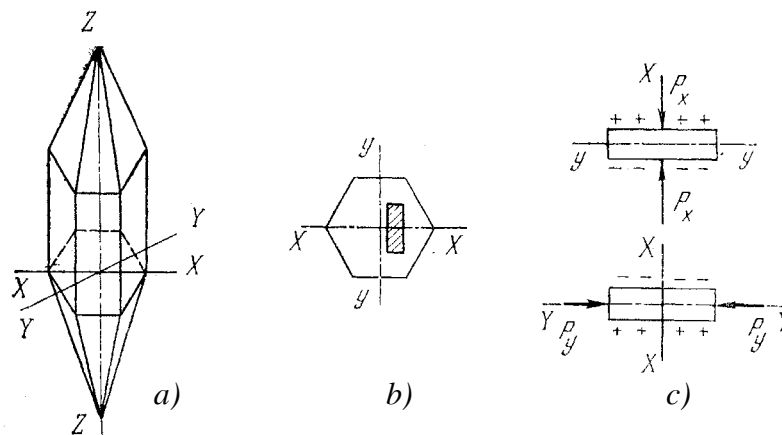
Trong đó: 
$$a = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} S \quad \text{và} \quad b = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} d \tag{5-22}$$

**2.4. Chuyển đổi áp điện.**

Chuyển đổi áp điện dựa trên cơ sở hiệu ứng áp điện xảy ra đối với một số tinh thể như thạch anh, tuốcmalin, titanat bari,... Có 2 dạng:

- Hiệu ứng áp điện thuận: Khi bị biến dạng, trên bề mặt tinh thể xuất hiện các điện tích trái dấu.
- Hiệu ứng áp điện nghịch: Tinh thể áp điện khi đặt trong điện trường biến thiên sẽ bị biến dạng.

Trong kỹ thuật đo lường thường sử dụng tinh thể thạch anh làm các bộ chuyển đổi. Tinh thể thạch anh có dạng lục lăng với 2 đầu là 2 hình chóp đối xứng như trên hình 5-16, a, Mỗi tinh thể thạch anh có 3 trục, mà mỗi trục có những hiệu ứng đặc biệt gắn với các hiện tượng cơ, quang và điện. Trục quang học Z là trục đi qua 2 đỉnh hình chóp. Trục điện X đi qua cạnh của lăng trụ và vuông góc với trục quang. Trục cơ Y là trục hướng vuông góc với mặt bên của lăng trụ.



Hình 5-16. Tinh thể thạch anh và các trục của nó: trục quang Z, trục điện X và trục cơ Y

Nếu cắt từ tinh thể thạch anh ra một khối hình hộp, có các cạnh định hướng theo các trục X, Y như hình 5-16, b thì khi tác dụng lực  $P_x$  lên tinh thể dọc theo hướng trục điện X, trên 2 bề mặt đối diện của tinh thể sẽ xuất hiện các điện tích trái dấu (hiệu ứng dọc):

$$Q_x = D P_x \tag{5-23}$$

Trong đó: D – là hằng số áp điện. Với thạch anh  $D = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$

Nếu tác dụng lực cơ học  $P_y$  dọc theo trục cơ Y, trên 2 bề mặt của tinh thể cũng xuất hiện các điện tích (hiệu ứng ngang), nhưng ngược dấu với hiệu ứng dọc:

$$Q_y = DP_y \frac{S_y}{S_x} \tag{5-24}$$

Trong đó  $S_y$  và  $S_x$  tương ứng là các diện tích bề mặt bản tinh thể vuông góc với các trục Y và trục X.

Dấu của các điện tích xuất hiện sẽ thay đổi khi chuyển từ biến dạng nén sang giãn và ngược lại.

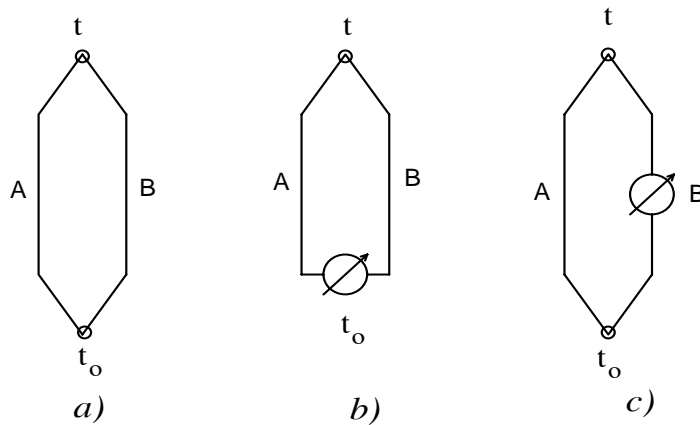
Cảm biến áp điện được sử dụng trong các dụng cụ đo chấn động, đo độ rung.

### § 3. CHUYỂN ĐỔI NHIỆT ĐIỆN

#### 3.1. Cặp nhiệt điện.

Nguyên lý: Hai thanh kim loại A và B khác chất được hàn với nhau. Nếu đặt 2 mối hàn ở 2 nhiệt độ  $t_0$  và  $t$  khác nhau (hình 5-17), trong mạch sẽ xuất hiện một suất điện động nhiệt điện E, có giá trị tỷ lệ với hiệu số nhiệt độ chênh lệch.

$$E = f(t - t_0) \tag{5-25}$$



Hình 5-17. Cặp nhiệt điện

Như vậy, nếu giữ cố định nhiệt độ một đầu mối hàn, đầu kia làm đầu dò nhiệt, thì khi đo suất nhiệt điện động ta có thể xác định được nhiệt độ cần đo.

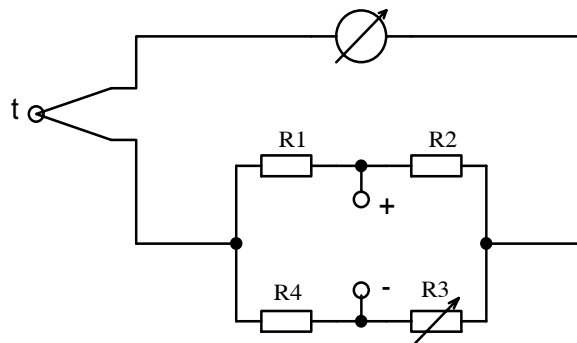
Trong bảng 5-1 cho giá trị suất nhiệt điện động tạo bởi các kim loại khác nhau với Platin khi nhiệt độ  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  và  $t = 100^\circ\text{C}$ .

Bảng 5-1

Vật liệu	Suất nhiệt điện E, (mV ở $100^\circ\text{C}$ )	Vật liệu	Suất nhiệt điện E, (mV ở $100^\circ\text{C}$ )
Nicrom	+2,2	Constantan	-3,4
Mangan	+0,76	Côpen	-3,6
Đồng	+0,76	Niken	-1,5
Crôm	+2,4	Alumen	-1,7

Độ chính xác của phép đo nhiệt độ khi dùng cặp nhiệt phụ thuộc rất nhiều vào việc cố định chính xác nhiệt độ đầu không làm việc. Trong thực tế, thường đặt đầu không làm việc ở nhiệt độ nước đá đang tan ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Nhưng điều này gây bất tiện trong sử dụng và làm công kênh thiết bị, do vậy người ta thường áp dụng các biện pháp hỗ trợ bằng các mạch điện để bù trừ nhiệt độ đầu không làm việc một cách tự động. Một trong những phương pháp bù tự động rất đơn giản và tiện lợi chỉ ra trên hình 5-18. Cặp nhiệt và đồng hồ chỉ thị được mắc trên đường chéo của một cầu đo điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4$ . Các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  được chế tạo từ mangan có hệ số nhiệt điện trở nhỏ.  $R_4$  – từ đồng và niken. Cầu đo đặt cùng chỗ với đầu không làm việc của cặp nhiệt ở nhiệt độ  $t_0$ .

Ở nhiệt độ ban đầu  $t_0$  điều chỉnh để cầu cân bằng nhờ  $R_3$ . Trong quá trình đo nhiệt độ, nếu nhiệt độ  $t_0$  tăng lên thì giá trị của điện trở  $R_4$  cũng tăng lên, và giá trị điện áp xuất hiện trên đường chéo cầu đo sẽ bù vào sự giảm suất nhiệt điện của cặp nhiệt. Độ chính xác của phép bù theo sơ đồ này cỡ  $0,01\text{mV}$  với mỗi một thay đổi  $10^{\circ}\text{C}$  của nhiệt độ  $t_0$ .



Hình 5-18. Sơ đồ bù tự động nhiệt độ đầu không làm việc

Do giá trị của suất nhiệt điện khá bé cỡ mV, nên khi đo phải sử dụng các mạch khuếch đại.

### 3.2. Nhiệt điện trở.

3.2.1. *Nhiệt trở kim loại* ( $\alpha > 0$ ). Phần lớn kim loại như Cu, Fe, Ni, Al, Pt ... có hệ số nhiệt điện trở dương. Trị số điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ theo hệ thức:

$$R_t = R_o(1 + \alpha \Delta t) \text{ và } \rho_t = \rho_o(1 + \alpha \Delta t) \quad (5-26)$$

Sử dụng nhiệt trở kim loại làm cảm biến nhiệt cho đặc tuyến truyền đạt tuyến tính. Khoảng nhiệt độ làm việc của một số nhiệt trở như:

Pt:  $-200 \div 1000^{\circ}\text{C}$ ;

Ni:  $-80 \div 300^{\circ}\text{C}$ ;

Cu:  $-200 \div 200^{\circ}\text{C}$ ;

Ni-Fe:  $-200 \div 250^{\circ}\text{C}$ .

Thường sử dụng platin vì cho phép khoảng đo nhiệt rộng. Hệ số nhiệt điện trở của platin  $\alpha = 0,00392 / ^{\circ}\text{C}$ . Như vậy giá trị của điện trở thay đổi khoảng  $0,3\Omega/^{\circ}\text{C}$ .

3.2.2. *Nhiệt trở bán dẫn – thermistor* ( $\alpha < 0$ ).



Nhiệt trở bán dẫn được chế tạo từ các oxyt kim loại MnO, ZnO, CuO. Giá trị điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ theo quy luật:

$$R_T = R_\infty e^{\frac{\beta}{T}} \text{ và } \rho_T = \rho_\infty e^{\frac{\beta}{T}} \quad (5-26)$$

Trong đó:  $R_\infty$  – điện trở ở nhiệt độ vô cùng lớn;

$\beta$  – hệ số phụ thuộc vào chất bán dẫn, có giá trị từ  $10 \div 10^4$ .

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = -\frac{\beta}{T^2} < 0 \quad (5-27)$$

Nhiệt trở bán dẫn có  $\beta$  lớn nên độ nhạy cao. Tuy nhiên hàm truyền phi tuyến nên khi đo phải dùng các mạch bổ trợ để tuyến tính hóa đặc tuyến truyền đạt.

### 3.3. Cảm biến nhiệt dùng tiếp giáp P-N bán dẫn.

Dựa trên cơ sở thế phân cực cho tiếp giáp P-N bán dẫn (đối với diode và transistor) phụ thuộc vào nhiệt độ, người ta đã chế tạo ra các cảm biến nhiệt dùng diode và transistor. Ta biết điện thế phân cực  $V_D = (0,2 \div 0,3)V$  đối với diode Ge và  $V_D = (0,6 \div 0,7)V$  đối với diode Si. Tuy nhiên giá trị của  $V_D$  thay đổi theo nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng thế phân cực giảm. Biến thiên tương đối theo nhiệt độ của  $V_D$  :

$$\frac{\Delta V_D}{\Delta T} = -(2,1 \div 2,5) \text{ mV}/^\circ C \quad (5-28)$$

Cảm biến nhiệt dùng diode được mắc vào mạch đo theo sơ đồ hình 5-19, a.

Biến thiên tương đối của thế lối ra theo nhiệt độ xác định theo hệ thức:

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta T} = \Delta V_D \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (5-29)$$

Đối với transistor, điện áp phân cực  $V_{BE}$  phụ thuộc vào nhiệt độ theo hệ thức:

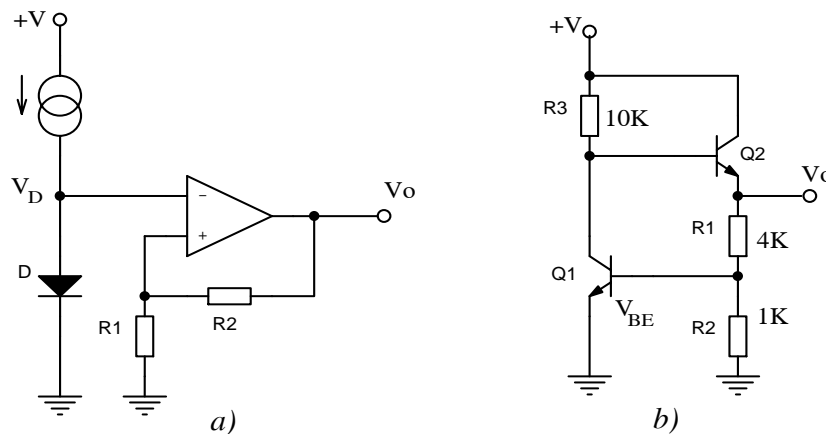
$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_C}{I_S} \right) \quad (5-30)$$

Trong đó:  $I_S$  – dòng ngược bão hòa;

$I_C$  – dòng collector.

$K = 1,38 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$  – Hằng số Bolzermant

Vì giá trị của dòng  $I_C$  thay đổi theo nhiệt độ nên cần sử dụng nguồn dòng ổn để loại trừ sự trôi nhiệt. Khi sử dụng thường ghép cặp transistor như hình 5-19, b.



Hình 5-19

Từ hình vẽ ta có:

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_{BE} = 5V_{BE}$$

Nhược điểm của cảm biến nhiệt dùng diode và transistor là dải đo nhiệt độ bị hạn chế trong khoảng từ  $-40^\circ\text{C}$  đến  $150^\circ\text{C}$ .

Các cảm biến được chế tạo công nghiệp như FJT1000, FD300, FD200 dùng cho dải đo từ  $40^\circ\text{K}$  đến  $400^\circ\text{K}$ . Ngoài ra, các cảm biến đo nhiệt độ chuyên dụng được chế tạo dưới dạng nguồn thế như LM135, LM235, LM335 có hàm truyền tuyến tính với đáp ứng  $10\text{mV}/^\circ\text{K}$ . Hoặc cảm biến dưới dạng nguồn dòng như AD590 cho đáp ứng  $1\mu\text{A}/^\circ\text{K}$ .

## § 4 CHUYỂN ĐỔI HÓA ĐIỆN

### 4.1. Cảm biến điện trở dung dịch.

Ta có điện trở của cột chất lỏng dung dịch chiều dài  $l$  giữa 2 bản cực  $S$  được xác định theo hệ thức:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5-31)$$

Trong đó:  $\rho = 1/\gamma$  – điện trở suất của dung dịch, với  $\gamma$  được gọi là suất dẫn điện của dung dịch tỉ lệ với hoạt tính đương lượng hóa học:

$$\gamma = \lambda f c = \lambda a \quad (5-32)$$

Ở đây:  $f$  – Hệ số hoạt tính của dung dịch;

$c$  – Nồng độ dung dịch;

$\lambda$  – Độ dẫn điện đương lượng của dung dịch;

$a = f c$  – Hoạt tính của dung dịch hay độ linh động của các ion.

Như vậy, nếu giữ cho  $l, S$  không đổi thì điện trở của dung dịch sẽ thay theo  $\gamma$ . Nói cách khác điện trở sẽ là hàm số của nồng độ dung dịch  $c$ :

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{\lambda f c} = \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{\lambda a} = f(c) \quad (5-33)$$

Do điện trở có thể xác định được nồng độ dung dịch.

Lưu ý: Suất dẫn điện của dung dịch phụ thuộc vào nhiệt độ theo quan hệ:

$$\gamma_t = \gamma_o [1 + (t - t_o)\beta] \quad (5-34)$$

Với axit:  $\beta = 0,016 \text{ độ}^{-1}$ ; bazơ:  $\beta = 0,019 \text{ độ}^{-1}$ ; muối:  $\beta = 0,024 \text{ độ}^{-1}$ .

Khi bị điện phân muối sẽ tỏa nhiệt làm cho độ linh động  $a = f c$  tăng lên, dẫn tới  $\gamma$  tăng. Do đó, khi đo nồng độ bằng điện trở dung dịch cần quan tâm đến nhiệt độ, và phải có biện pháp bổ chính.

## 4.2. Cảm biến suất điện động ganvanic.

### 4.2.1. Khái niệm về độ pH.

Theo định nghĩa:  $pH = -\lg_{10} a_{H^+}$  (5-35)

Trong đó  $a_{H^+}$  – là độ hoạt tính của ion hydro  $H^+$ . Ta có:



Gọi k là hằng số phân ly, ta có trong dung dịch k là hằng số:

$$k_{H_2O} = \frac{a_{H^+} \times a_{OH^-}}{a_{H_2O}} \quad (5-36)$$

$$k_{H_2O} \cdot a_{H_2O} = a_{H^+} \times a_{OH^-} = 10^{-14} \quad (5-37)$$

Với một dung dịch trung tính thì sẽ có:

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = 10^{-7};$$

$$pH = -\lg_{10} 10^{-7} = 7.$$

Nếu:  $pH < 7$ , dung dịch có tính axit;

$pH > 7$ , dung dịch có tính kiềm.

### 4.2.2. Điện thế điện cực.

Bất kỳ một điện cực nào khi nhúng vào trong một dung dịch đều xuất hiện một thế điện cực E nào đó. Khi nhúng vào trong dung dịch 2 điện cực khác chất (2 kim loại khác nhau), giữa chúng sẽ tồn tại một thế hiệu xác định, nghĩa là có một suất điện động ganvanic.

Điện thế giữa điện cực và dung dịch gọi là điện thế điện cực. Không thể đo được trực tiếp điện thế điện cực, vì khi đặt điện cực thứ 2 vào dung dịch thì giữa điện cực này và dung dịch cũng xuất hiện một thế điện cực nữa tham gia trong mạch đo. Do vậy điện thế điện cực được xác định so với thế điện cực chuẩn.

Điện cực chuẩn là điện cực bạch kim (Pt) có khí hydro bám vào được coi là điện cực khí hydro cắm trong dung dịch  $H_2SO_4$  có nồng độ chuẩn ( $a = 1g\text{-dl/l}$ ). Thế điện cực của các kim loại khác nhau được so sánh với thế điện cực chuẩn:

Ví dụ:                      Kali:  $E_0 = -2,92 \text{ V}$ ;  
                                     Kẽm:  $E_0 = -0,76 \text{ V}$ ;  
                                     Đồng:  $E_0 = +0,34 \text{ V}$ ;  
                                     Bạc:  $E_0 = +0,8 \text{ V}$ .  
                                     v.v...

Như vậy phần tử ganvanic hợp thành giữa Zn và Cu sẽ có suất điện động:

$$E_{0(Zn-Cu)} = +0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V}$$

Khi dung dịch có nhiệt độ và nồng độ thay đổi, điện thế điện cực được xác định theo phương trình Nezt.

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln f c = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln a \quad (5-38)$$

- $E_o$  – Thế tiêu chuẩn của điện cực;
- $R = 8,317 \text{ J/độ}$  – Hằng số khí;
- $n$  – số hóa trị của ion;
- $c$  – nồng độ dung dịch;
- $F = 96500 \text{ C / g.mol}$  – Hằng số Faraday;
- $f$  – hệ số hoạt tính của dung dịch;
- $a = fc$  – Hệ số hoạt tính của dung dịch.

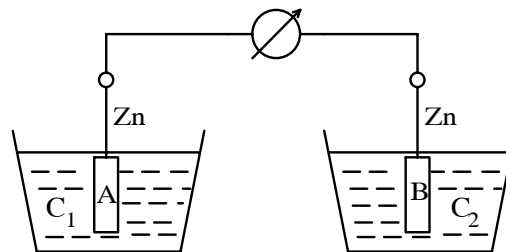
Đổi từ lôga tự nhiên sang thập phân và thay các giá trị  $R$  và  $F$  ta có:

$$E = E_o + \frac{0,058}{n} \lg(fc) \quad (5-39)$$

Phương trình 5-39 cho ta nguyên tắc đo nồng độ dung dịch  $c$  bằng cách đo suất điện động  $E$ .

### 4.2.3. Cảm biến suất điện động Galoa.

Dùng 2 điện cực giống nhau A và B nhúng trong 2 dung dịch có nồng độ khác nhau ở cùng một nhiệt độ (hình 5- 20).



Hình 5-20

Điện thế điện cực của mỗi cực theo phương trình Nezt:

$$E_1 = E_o + \frac{RT}{nF} \ln a_1$$

$$E_2 = E_o + \frac{RT}{nF} \ln a_2$$

Suất điện động Galoa bằng hiệu điện thế giữa 2 điện cực:

$$E = E_1 - E_2 = \frac{RT}{nF} (\ln a_1 - \ln a_2) = \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (5-40)$$

Độ hoạt tính dung dịch thường xác định là  $a_{H^+}$ , do vậy có thể viết:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{(a_{H^+})_1}{(a_{H^+})_2}$$

Nếu chọn dung dịch 2 là dung dịch có nồng độ chuẩn, sao cho  $(a_{H^+})_2 = 1$  thì khi đó suất điện động Galoa sẽ là:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln (a_{H^+})_1 = 2,303 \frac{RT}{F} \lg_{10} (a_{H^+})_1 = -2,303 \frac{RT}{F} \cdot \text{pH} \quad (5-41)$$

Với  $t = 18^\circ\text{C}$  thì:

$$E = -0,058 \text{ pH} \quad (5-42)$$

Phương trình 5-42 cho ta nguyên tắc để chế tạo các máy đo độ pH.

## § 5. CHUYỂN ĐỔI QUANG ĐIỆN

Các chuyển đổi quang điện là các phần tử nhạy cảm với các bức xạ, có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang học lối vào thành tín hiệu điện lối ra. Có nhiều loại cảm biến quang điện như sau:

- Tế bào quang điện;
- Quang trở;
- Pin quang điện;
- Photo diode; Photo transistor.

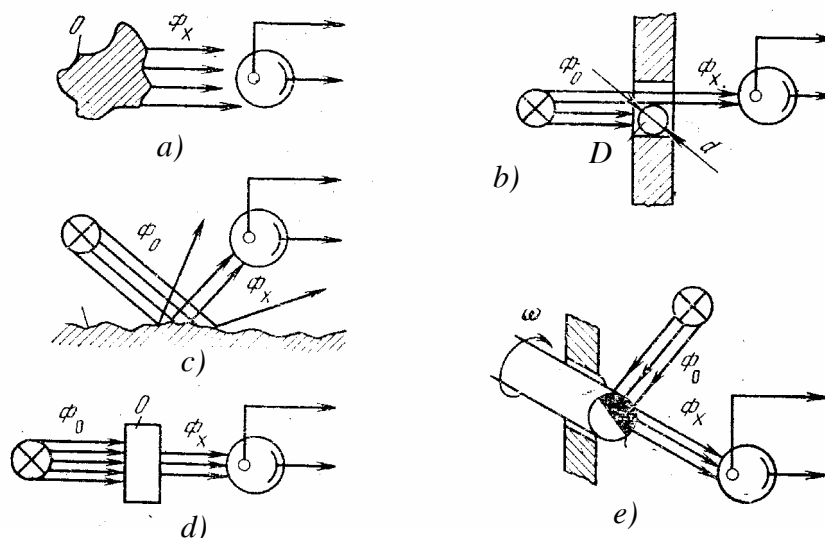
### 5.1. Tế bào quang điện.

Tế bào quang điện (TBQĐ) sử dụng hiệu ứng quang điện ngoài. Khi chiếu ánh sáng có bước sóng thích hợp vào ca tốt, tức là nếu năng lượng của fôton tới lớn hơn công thoát bề mặt của kim loại làm ca tốt:  $\epsilon = h\nu \geq e\phi$ , hiệu ứng quang điện sẽ xảy ra.

Các đặc tính cơ bản của TBQĐ là:

- Đặc tính quang:  $I_\phi = f(\Phi_x)$  là sự phụ thuộc của dòng quang điện  $I_\phi$  vào dòng quang thông  $\Phi_x$ .
- Đặc tính vôn-ampe:  $I_\phi = f(U)$  khi  $\Phi_x = \text{const}$ .
- Đặc tính tần số - là sự phụ thuộc tần số của dòng  $I_\phi$  vào tần số thay đổi của  $\Phi_x$ .
- Đặc tính phổ được xác định bởi độ nhạy của tế bào quang điện đối với chiều dài bước sóng ánh sáng tới.

Trên hình 5-21 chỉ ra 5 nhóm ứng dụng cơ bản của TBQĐ.



Hình 5-21. Các sơ đồ sử dụng tế bào quang điện

Trên sơ đồ hình 5-21, a dòng quang thông  $\Phi_x$  được tạo ra bởi chính các vật thể bức xạ. TBQĐ được sử dụng trong các pirômet (hỏa kế bức xạ), ví dụ để đo nhiệt độ trong các lò luyện kim dựa trên cơ sở sự phụ thuộc của cường độ dòng ánh sáng và các đặc tính phổ của nó vào nhiệt độ của vật bức xạ.

Trên sơ đồ 5-21, b, dòng quang thông tới TBQĐ bị điều chế bởi kích thước của vật thể D mà kích thước d của nó cần phải đo hoặc kiểm tra. Ứng dụng trong các hệ thống đo lường và kiểm tra tự động.

Sơ đồ hình 5-21, c dùng để kiểm tra chất lượng của các bề mặt (độ phẳng, độ chói, màu sắc...).

Sơ đồ hình 5-21, d được sử dụng rộng rãi để đo nhiều đại lượng không điện khác nhau. Dòng ánh sáng  $\Phi_o$  từ nguồn chiếu đi qua đối tượng cần khảo sát, chẳng hạn một chậu chất lỏng mà độ trong và màu sắc của nó cần kiểm tra, sau đó đập vào TBQĐ. Như vậy dòng quang thông  $\Phi_x$  sẽ là hàm số của các đại lượng cần kiểm tra.

Sơ đồ hình 5-21, e dùng trong các phép đo tốc độ của các trục quay bằng tốc kế quang điện.

### 5.2. Quang trở.

Quang trở là dụng cụ bán dẫn dựa trên hiệu ứng quang điện trong: Độ dẫn điện của chất bán dẫn tăng (điện trở giảm) khi được rọi sáng bằng ánh sáng thích hợp. Sơ đồ cấu trúc của quang trở trên hình 5-22.

Nền bán dẫn thường làm bằng các chất sunfit cadmi, selenit cadmi (nhạy trong vùng ánh sáng khả kiến); sunfit chì, antimonit indi (nhạy trong vùng hồng ngoại).

Khi chiếu ánh sáng vào bề mặt quang trở, nếu ánh sáng tới thỏa mãn điều kiện  $\epsilon \geq \Delta E$  (bề rộng vùng cấm theo thuyết miền năng lượng), các điện tử từ miền hóa trị sẽ nhảy lên miền trống (miền dẫn) và trở thành điện tử tự do (điện tử dẫn). Kết quả làm tăng electron dẫn trong bán dẫn, tức làm giảm điện trở của nó, hay làm tăng độ dẫn. Xuất hiện độ dẫn phụ – quang dẫn.

Biểu diễn độ quang dẫn  $\sigma_\Phi$ :

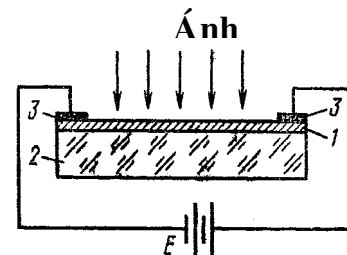
$$\sigma_\Phi = en_\Phi \mu \tag{5-43}$$

Trong đó: 
$$n_\Phi = \beta_1 \sqrt{\Phi} \tag{5-44}$$

$\Phi$  – quang thông tới;  $\beta_1$  – hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào tần số ánh sáng tới và vận tốc tái hợp các điện tích mang.

Khi mắc quang trở vào mạch với nguồn suất điện động E (hình 5-22). Dòng quang điện trong mạch sẽ có dạng:

$$I_\Phi = \sigma_\Phi ES \tag{5-45}$$



Hình 5-22. Cấu tạo quang trở  
1. Lớp cảm quang, 2. nền bán dẫn  
3. Các điện cực

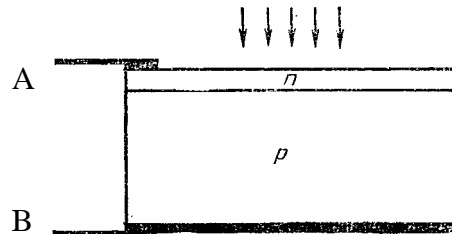
Trong đó: E – cường độ điện trường;  
 S – diện tích tiết diện ngang của quang trở;  
 $\sigma_\Phi$  – độ quang dẫn.

– Ứng dụng: Quang trở được sử dụng trong trắc quang, trong các mạch điều khiển.

**5.3. Pin quang điện.**

Pin quang điện là thiết bị bán dẫn sử dụng hiệu ứng quang – ganvanic. Cấu tạo của pin quang điện gồm 2 lớp bán dẫn p-n (hình 5-23)

Khi chiếu ánh sáng vào bề mặt pin, các fôton bị hấp thụ sẽ kích thích các nguyên tử bán dẫn tạo cặp electron - lỗ trống. Các phần tử mang khuếch tán qua lớp tiếp giáp p-n và phân cách nó bằng điện trường phụ thuộc vào dấu của các điện tích. Trong miền n tích tụ các electron thừa, còn trong miền p tích tụ các lỗ trống thừa. Kết quả, cả hai miền tích điện n (-) và p (+) và làm giảm thế hiệu tiếp xúc, và làm xuất hiện tại lớp tiếp giáp một suất điện động quang điện.



Hình 5-23. Pin quang điện

Độ lớn của suất điện động quang điện:

$$E = \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{I_\Phi}{I_o} + 1 \right) \tag{5-46}$$

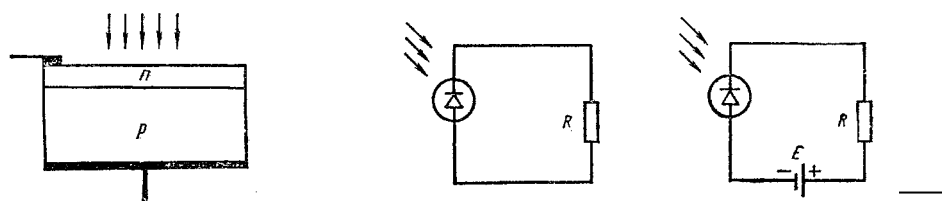
Trong đó: k – hằng số bolzermant;  
 T – nhiệt độ tuyệt đối;  
 I<sub>o</sub> – dòng nhiệt;  
 I<sub>Φ</sub> – dòng quang.

–Ứng dụng:

- Trong quang trắc, lux kế, lumen kế, lộ sáng kế.
- Pin quang điện Si dùng đo nhiệt độ trong dải 350÷2000°C vì nó nhạy với phổ hồng ngoại;
- Trong các máy quay chiếu phim, truyền tín hiệu và điều khiển tự động.

**5.4. Photo diode.**

Photo diode là một diode bán dẫn có thể hoạt động ở 2 chế độ: chế độ quang – ganvanic như một pin quang điện và chế độ photo diode khi mắc với nguồn ngoài. Sơ đồ cấu trúc của photo diode chỉ ra trên hình 5-24, a.



a) b) c)

Hình 5-24. a) Cấu trúc của photo diode;  
 b) Chế độ photo-ganvanic;  
 c) Chế độ photo diode.

**5.4.1. Chế độ photo-ganvanic (hình 5-24, b)**

: Không có nguồn điện áp ngoài. Khi được chiếu sáng 2 đầu photo diode sẽ có một hiệu điện thế U và qua tải R sẽ có dòng:

$$I = \frac{U}{R} = I_{\Phi} - I_o \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \tag{5-47}$$

Trong đó I<sub>o</sub> – dòng nhiệt; I<sub>Φ</sub> – dòng quang điện.

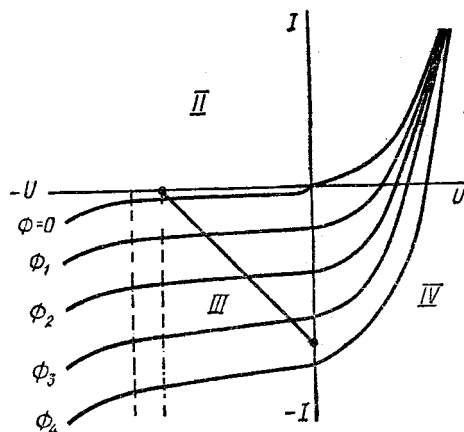
**5.4.2. Chế độ photo diode (hình 5-24, c).**

Khi mắc nối tiếp với tải một nguồn suất điện động E, trong mạch sẽ xuất hiện dòng bằng hiệu số các dòng chảy qua tiếp giáp p-n:

$$I = \frac{U + E}{R} = I_{\Phi} - I_o \left( e^{\frac{e(U+E)}{kT}} - 1 \right) \tag{5-48}$$

Đây là phương trình cơ bản xác lập chế độ làm việc của photo diode với nguồn điện áp ngoài.

Trên hình 5-25 trình bày họ đặc tuyến vôn-ampe của photo diode. Góc phần tư thứ nhất (I) ứng với chế độ phân cực thuận của diode. Góc phần tư thứ tư (IV) mô tả đặc tuyến công tác của photo diode trong chế độ photo – ganvanic. Điểm cắt của các đặc tuyến với trục dòng điện tương ứng với chế độ ngắn mạch lối ra photo diode, còn điểm cắt với trục điện áp chỉ chế độ không tải khi hở mạch nguồn U. Góc phần tư thứ ba (III) là đặc tuyến trong chế độ photo diode. Đường đặc tuyến đi qua gốc tọa độ ứng với trường hợp không chiếu sáng diode, nó giống đặc tuyến vôn-ampe của diode thường.





**Hình 5-25. Ho đặc tuyến vôn-ampe của photo**

Phạm vi phổ nhạy cảm của photo diode phụ thuộc vật liệu chế tạo:

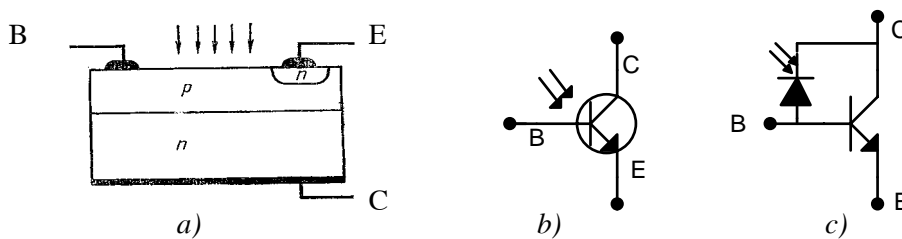
- Loại Si:  $0,6 \div 1 \mu\text{m}$ ;
- Ge:  $0,5 \div 1,7 \mu\text{m}$ .

Các photo diode có thời gian xác lập nhỏ hơn so với quang trở. Tần số giới hạn với các photo diode thường cỡ 10 MHz.

– *Ứng dụng*: Trong trắc quang, quay chiếu phim, điện báo truyền ảnh, đưa thông tin lối vào ra máy tính điện tử .

**5.5. Photo transistor.**

Photo transistor có cấu trúc giống như một transistor thường p-n-p hoặc n-p-n. Cấu tạo và ký hiệu của photo transistor n-p-n với sự chiếu sáng vùng đáy chỉ ra trên hình 5-26.

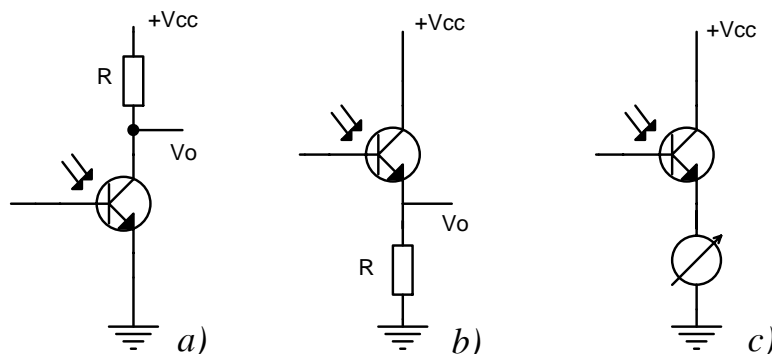


Hình 5-26

Thực tế có thể chiếu sáng bất kỳ miền nào của transistor và có thể chiếu vào theo hướng song song hoặc theo hướng vuông góc với tiếp giáp p-n, nhưng hiệu ứng lớn nhất xảy ra khi chiếu ánh sáng theo hướng vuông góc và chiếu vào đáy transistor.

Photo transistor có thể mắc trong sơ đồ đo giống như transistor thông thường theo các sơ đồ E chung, B chung và C chung, cũng như có thể đấu thành diode khi để hở 1 trong 3 cực. Khi đó nó sẽ hoạt động giống như một photo diode.

Ký hiệu và sơ đồ tương đương của photo diode chỉ ra trên các hình 5-26, b và 5-26, c. Như vậy tiếp giáp base – collector của transistor là một photo diode. Từ sơ đồ tương đương ta thấy rằng: phạm vi độ nhạy của photo transistor cũng giống như của photo diode tương ứng. Sơ đồ mắc photo transistor trong một bộ cảm biến quang học như hình 5-27.



*Hình 5-27*

Nếu dòng quang base – collector ký hiệu là  $I_\phi$ , ta có điện áp lối ra của bộ cảm biến sẽ là:

$$V_o = V_{cc} - \beta I_\phi R \quad (\text{sơ đồ 5-27, a})$$

$$V_o = \beta I_\phi R \quad (\text{sơ đồ 5-27, b})$$

Cả 2 sơ đồ (a, b) đều có nhược điểm là điện dung của tiếp giáp base-collector được nạp bởi dòng  $I_\phi$  tương đối nhỏ. Chúng dùng trong các sơ đồ đo khi tần số chuyển mạch thấp. Có thể đạt được tần số cao hơn bằng sơ đồ c. Điện trở R được thay bằng mA kế có nội trở nhỏ để không gây sụt áp đáng kể.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Метрология и электрорадиоизмерение в телекоммуникацион  
     Lời nói đầu ..... 7  
     §1.. Những khái niệm cơ bản..... 8  
     1. DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ..... 88  
     § 1. khái niệm chung ..... 115  
     § 1. khái niệm chung ..... 131
2. ных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И.Нефёдова – М.:Высш.шк., 2001.
3. Измерения в электронике: Справочник / В.А Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Конев-ских и др.; Под ред.В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. *Классен К. Б.* Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. — М.: Постмаркет, 2000.
5. *Харт Х.* Введение в измерительную технику. — М.: Мир, 1999.
6. *Елизаров А.С.* Электрорадиоизмерения. — Минск: Выш. Шк., 1986.
7. *Сергеев А.Г., Крохин В.В.* Метрология. — М.: Логос, 2000.
8. *Меерсон А.М.* Радиоизмерительная техника. –Л.: Энергия, 1978.
9. Хормой Б.П., Моисеев Ю. Г. Электрорадиоизмерения. М.: Радио и связь, 1985.
10. *Карнов Р. Г., Карнов Н. Р.* Электрорадиоизмерения – М.: выш. Школа, 1978.
11. *David A. Bell.* Dụng cụ và đo lường điện tử / Người dịch: Nguyễn hữu Ngọc, Trịnh Trung Thành, Đặng Văn Sử / N.x.b. KHKT, Hà Nội, 1994.
12. *Vũ Quý Diễm.* Cơ sở kỹ thuật đo lường vô tuyến điện. N.x.b. ĐH & THCN, Hà Nội, 1978.
13. *Nguyễn Ngọc Tân, Ngô tấn Nhơn, Ngô Văn Ky.* Kỹ thuật đo. Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh, 1995.
14. *Nguyễn Trọng Quế, Nguyễn Văn Dương.* Dụng cụ đo cơ điện. N.x.b. KHKT. Hà Nội,1983.
15. *Hoàng Tư Giáp.* Đo thử hữu tuyến điện. N.x.b. Tổng cục bưu điện, Hà Nội 1979
16. *Hoàng Thanh Chung.* Dụng cụ đo điện xách tay. Nx.b. Đại học và trung học chuyên nghiệp, Hà Nội 1987.



**VOV-VTV-VTC**

# **KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN-ĐIỆN TỬ.**

**HỆ CĐ-ĐTPTTH &CĐ-ĐTVT.**



**BIÊN SOẠN :THS CÙ VĂN THANH.**

# TỔNG QUAN VỀ MÔN HỌC

## 1.NỘI DUNG:

**Chương 1: Cơ sở lý thuyết đo lường điện tử**

**Chương 2: Máy hiện sóng Osiloscope**

**Chương 3: Đo các đại lượng điện & thông số của tín hiệu**

**Chương 4 : Sử dụng một số thiết bị đo thông dụng.**

## 2.MỤC ĐÍCH YÊU CẦU:

**Mục đích:-** Trang bị cho sinh viên về sai số trong đo lường, cấu tạo, nguyên lý hoạt động của một số thiết bị đo tương tự, đo số

- Trang bị cho sinh viên kiến thức về cấu tạo, hoạt động các thiết bị đo thông số của mạch điện, thông số của tín hiệu, quan sát dạng tín hiệu.

**Yêu cầu:** Nắm vững lý thuyết về môn cấu kiện điện tử, và vật lý đại cương.

Sau khi học xong sinh viên phải nắm được kiến thức cơ bản về kỹ thuật đo lường, các thiết bị và phương pháp đo lường điện tử. Có sự so sánh giữa các phương pháp đo.

## 3.PHÂN BỐ THỜI GIAN:

Số tiết: 45

Số ĐVHT: 3

Lý thuyết: 45

Bài tập: 5

## 4.TÀI LIỆU THAM KHẢO.

*Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử ; NXB Khoa học và kỹ thuật.*

*Đo lường điện - vô tuyến điện; Học viện kỹ thuật quân sự.*

# CHƯƠNG 1 : CƠ SỞ ĐO LƯỜNG.

## 1.1.KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG.

### 1.1.1 Định nghĩa về đo lường:

Đo là so sánh giữa hai đại lượng: Đại lượng cần đo với đại lượng mẫu của phép đo.

Nếu gọi  $X$  là đại lượng cần đo,  $A$  là giá trị của phép đo,  $X_0$  là đại lượng mẫu của phép đo.

Ta có:  $X = A.X_0$ .

VD1:  $X = 10.m$ ; có nghĩa  $X$  là đại lượng chiều dài cần đo, 10 là giá trị của phép đo,  $m$  là vật mẫu để đo có đơn vị là mét(m).

Vd2:  $X = 1500.Kw$ ; có nghĩa  $X$  là đại lượng công suất điện cần đo, 1500 là giá trị của phép đo,  $kw$  là đơn vị mẫu của phép đo.

Vd3:  $X = 220.v$  ; có nghĩa  $X$  là đại lượng điện áp cần đo, , đơn vị mẫu là vôn(v), sai số gặp phải là  $5v$ .

Trong phép đo tồn tại sai số.

# CHƯƠNG 1 : CƠ SỞ ĐO LƯỜNG.

## 1.1.KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG.

### 1.1.2.Các đại lượng đo và đơn vị đo.

<b>ĐL cơ bản</b> Độ dài Khối lượng Thời gian Dòng điện Nhiệt độ	<b>Tên đơn vị</b> Met Kilogram Giây Ampe Kelvin	<b>m</b> <b>kg</b> <b>S</b> <b>A</b> <b>k</b>
<b>ĐL cơ</b> Năng lượng & công Lực Công suất Năng lượng	<b>Jun</b> <b>Niutôn</b> <b>Watt</b> <b>Watt giây</b>	<b>J</b> <b>N</b> <b>W</b> <b>Ws</b>
<b>ĐL điện.</b> Điện áp, thế điện động. Cường độ điện trường Điện dung Điện trở Điện trở riêng Hệ số điện môi tuyệt đối.	<b>Culong</b> <b>Von</b> <b>Von/met</b> <b>Fara</b> <b>Om</b> <b>Om met</b> <b>Fara/met</b>	<b>C</b> <b>V</b> <b>V/met</b> <b>F</b> <b>W</b> <b>Wm</b> <b>F/m</b>



# CHƯƠNG 1 : CƠ SỞ ĐO LƯỜNG.

## 1.1.KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG.

### 1.1.3.Các bội và ước số hay dùng trong đơn vị đo lường.

Tên của tiếp đầu ngữ	Gia trị ước số	Kí hiệu	Tên của tiếp đầu ngữ	Gia trị ước số	Kí hiệu
Pico	$10^{-12}$	P	Deca	$10^1$	de
Nano	$10^{-9}$	n	Hecto	$10^2$	h
Micro	$10^{-6}$	$\mu$	Kilo	$10^3$	K
Mili	$10^{-3}$	m	Mega	$10^6$	M
Centi	$10^{-2}$	c	Giga	$10^9$	G
Dexi	$10^{-1}$	d	Tera	$10^{12}$	T

## 1.2.SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG.

### 1.2.1.Khái niệm và phân loại.

#### Khái niệm.

- Khi tiến hành phép đo, do các nguyên nhân khác nhau như điều kiện môi trường, người đo, phương tiện đo đã ảnh hưởng làm sai lệch kết quả đo dẫn tới sai số.
- Sai số của phép đo là sự sai lệch kết quả so với đại lượng cần đo.
- Sai số càng nhỏ thì kết quả của phép đo càng có độ chính xác cao và ngược lại.

#### Phân loại sai số đo lường.

- **Sai số tuyệt đối:** Là hiệu số giữa kết quả đo được với giá trị thực của đại lượng đo  
+ Gọi  $Xđ$  : kết quả phép đo,  $Xt$ : giá trị thực của đại lượng đo,  $\Delta X$  : sai số tuyệt đối.

Ta có :  $\Delta X = Xđ - Xt$ . Hay  $Xt = Xđ - \Delta X$

VD  $Xt = 220v - 5v$  ; sai số là  $5v$  , hay giá trị thật nằm trong khoảng  $215v \leq Xt \leq 225v$ .

- **Sai số tương đối:** Là tỷ số giữa sai số tuyệt đối với giá trị thật của phép đo.

Gọi  $\delta$  là sai số tương đối thì  $\delta = (\Delta X / Xt).100(\%)$ .

Vd kết quả của 2 lần đo điện áp như sau :  $V1=220v - 5v, V2= 12v - 5v$ .

Sai số tương đối của kết quả lần đo 1 nhỏ hơn lần 2(  $5/220$  so với  $5/12$ ): như vậy sai số tương đối cho ta biết độ chính xác của phép đo.

**Người ta thường dùng sai số tương đối để đánh giá cấp chính xác của dụng cụ đo.**

## 1.2.SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG.

### 1.2.2.Nguyên nhân gây sai số & biện pháp giảm sai số.

Có nhiều nguyên nhân gây nên sai số khác nhau, có thể quy về hai loại nguyên nhân sau:

#### **Nguyên nhân chủ quan:**

- Sai số gây ra do con người tiến hành phép đo, do phương tiện đo không tốt.
- Để giảm sai số này thì cần phải tiến hành kiểm tra định kỳ các phương tiện đo, tiến hành đo thử trước khi tiến hành phép đo.người tiến hành đo phải trung thực và sử dụng thành thạo các phương tiện , dụng cụ đo.

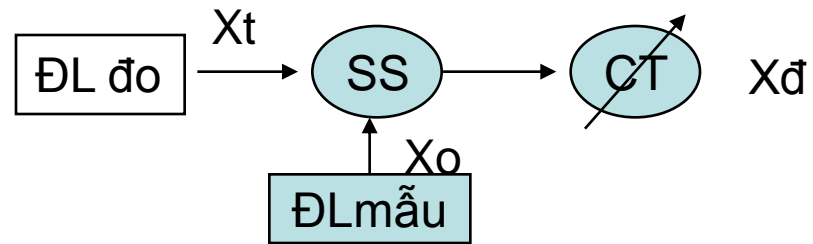
#### **Nguyên nhân khách quan:**

- Sai số do những yếu tố ngẫu nhiên của môi trường tiến hành phép đo gây ra.Vd: áp suất , độ ẩm , nhiễu điện từ trường, bão từ.v.v.
- Để giảm sai số này cần tiến hành thực hiện nhiều phép đo trên một đối tượng đo trên các vùng khác nhau , tại nhiều thời điểm khác nhau.Sử dụng định luật phân bố sai số, độ lệch trung bình bình phương, khoảng tin cậy , xác suất tin cậy để đánh giá

## 1.3.CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO.

### 1.3.1.Phương pháp đánh giá trực tiếp.

- Là phương pháp đo đơn giản , thực hiện trực tiếp phép so sánh đại lượng đo với đại lượng mẫu.
- Sơ đồ khối lược giản của phép đo.



- VD Đo độ dài bằng dùng thước dây, thước mét đánh giá trực tiếp đối tượng đo.
- Vd đo trọng lượng của các vật .

### 1.3.2.Phương pháp đánh giá gián tiếp.

- Là phương pháp đo phức tạp, đại lượng đo không thể đánh giá trực tiếp được mà phải biến đổi thành một đại lượng trung gian rồi mới tiến hành so sánh với đại lượng mẫu để cho kết quả.
- Phương pháp đo này được hầu hết các thiết bị đo lường hiện đại đều áp dụng trong các lĩnh vực như điện, điện tử. Viễn thông, v.v.
- Sơ đồ khối lược giản của phương pháp đánh giá gián tiếp:

CT

## 1.3.CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO.

**Sơ đồ khối lược giản của phương pháp đo gián tiếp.**

Xt đại thực cần đo.

Xđ kết quả phép đo.

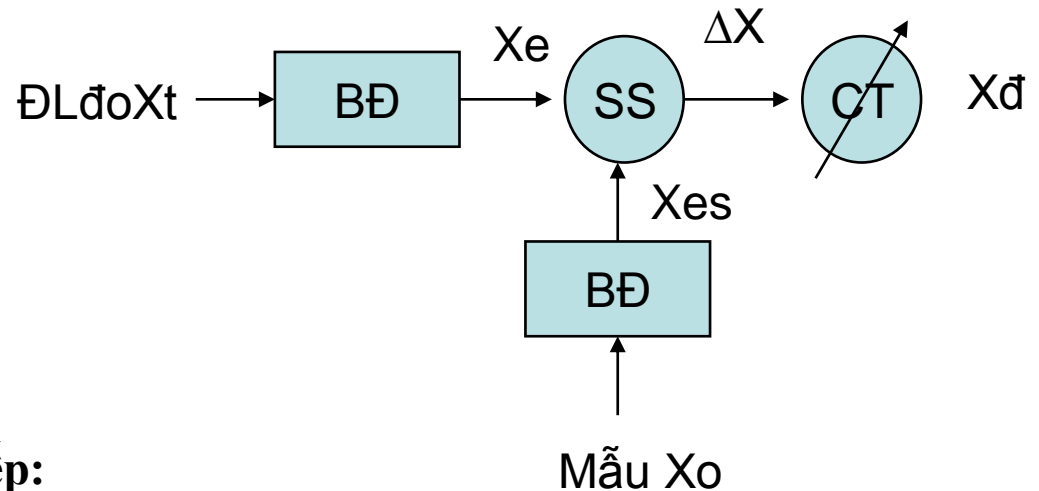
$\Delta X$  sai số đầu ra bộ so sánh ( SS)

BĐ bộ biến đổi .

Xo Đại lượng mẫu.

Xe đại lượng cần đo sau bộ biến đổi

Xes đại lượng mẫu sau bộ biến đổi.



**Có 2 phương pháp so sánh gián tiếp:**

- **So sánh cân bằng :**  $\Delta X = 0$ ;  $X_e = X_{es}, X_t = X_o$ .
- **So sánh không cân bằng :**  $\Delta X \neq 0$ ;  $X_t = X_o + \Delta X$

## 1.4.CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO CHỈ THỊ BẰNG KIM.

### 1.4.1.Cơ cấu đo từ điện.

#### Cấu tạo.

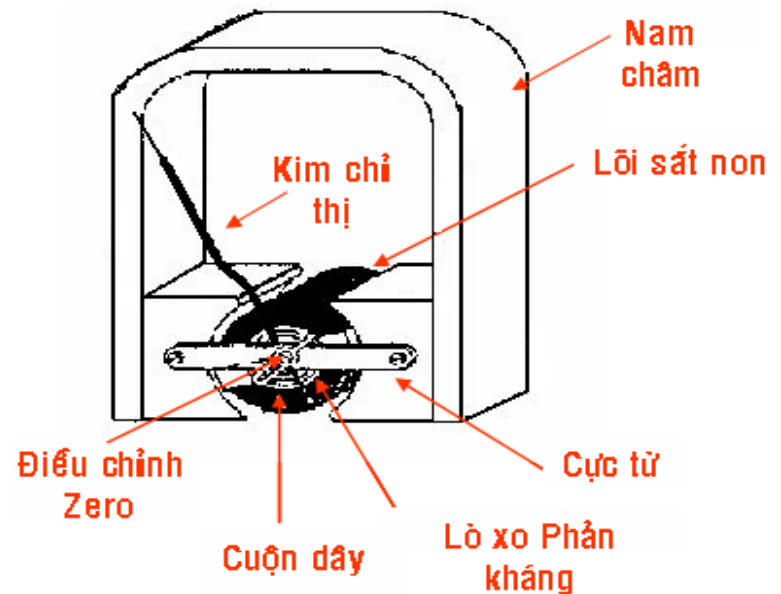
Phần tĩnh :Nam châm ,bảng khác độ,

Lõi sắt từ.

Phần động:Khung dây, kim, lò so.

#### Nguyên lý đo.

Xt được biến đổi thành Id chạy vào cuộn dây, nó sẽ bị từ trường của nam châm tại khe từ tác dụng một lực làm cho khung dây và kim quay đi một góc.Khi kim dừng quay là lúc mô men quay cân bằng mô men cản ,kim chỉ thị kết quả của phép đo trên vạch khắc độ.



## 1.4.1. CƠ CẤU ĐO TỪ ĐIỆN.

### 1.4.1. Cơ cấu đo từ điện.

#### Phương trình thang đo.

Khi kim dừng quay là lúc mô men quay cân bằng với mô men cản, ta có :

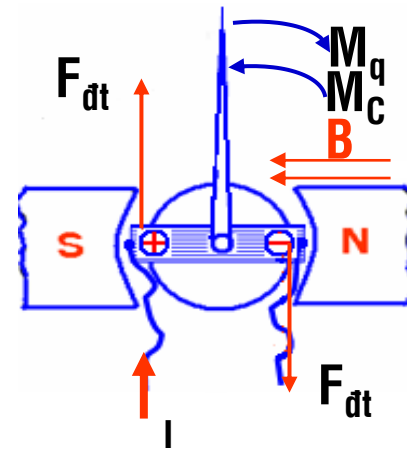
$M_q = B.S.I.W$ ; trong đó  $B$  là cảm ứng từ,  $S$  là tiết diện khung dây,  $W$  số vòng dây  $I$  là dòng đo chảy vào khung dây

$M_c = D.\alpha$ ;  $D$  là hệ số đàn hồi của lò xo,  $\alpha$  là góc

Quay của kim chỉ thị.

$M_q = M_c$ ; hay  $B.S.I.W = D.\alpha$ . Suy ra  $\alpha = S.I$ ; trong đó  $S_i = B.S.I.W/D$ ; gọi là độ nhạy.

**Đặc điểm ứng dụng:**



## 1.4.1.CƠ CẤU ĐO TỪ ĐIỆN.

### 1.4.1.Cơ cấu đo từ điện.

#### Đặc điểm ứng dụng.

#### Ưu điểm:

- + Độ nhạy và độ chính xác cao, có thể đạt cấp chính xác 0,5%
- + Kết quả đo ít chịu ảnh hưởng từ trường ngoài, vì từ trường cơ cấu do nam châm vĩnh cửu tạo ra tương đối lớn.

#### Nhược điểm:

- Khả năng chịu quá tải kém nên thường dễ bị hư hỏng nếu dòng điện quá mức đi qua.
- Không đo được dòng xoay chiều.
- Đối với khung quay có dây xoắn dễ bị hư hỏng khi bị chấn động mạnh hoặc di chuyển quá mức giới hạn. Do đó cần đệm quá mức khi cho cơ cấu hoạt động.
- Kết quả đo chịu ảnh hưởng của nhiệt độ.
- Cấu tạo phức tạp, giá thành cao.

#### Ứng dụng:

Dùng chế tạo Ampemet, vonmet, ommet.



## 1.4.2.CƠ CẤU ĐIỆN TỬ.

### Cấu tạo:

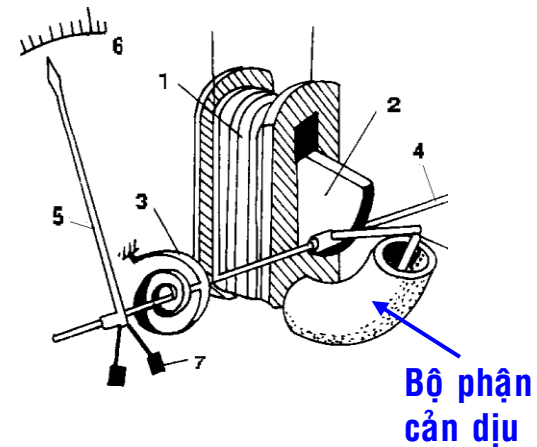
Phần tĩnh: cuộn dây, bảng khắc độ.pít tông.

Phần động ; Kim, lò so, đĩa kim loại.van pít tông.

### Nguyên lý hoạt động.

Xt biến đổi thành dòng đo Id chảy vào cuộn dây sinh ra từ trường mạnh tại khe từ , nó tác động lên đĩa kim loại làm trên đĩa xuất hiện dòng điện xoáy , đồng thời từ trường tác động lên dòng điện trên đĩa làm nó xoay đi một góc .Khi kim dừng quay là lúc mô men quay do

dòng điện gây ra cân bằng với mô men cản do cơ cấu tạo ra.ta đọc kết quả phép đo trên bảng khắc độ



## 1.4.2. CƠ CẤU ĐIỆN TỬ.

### Phương trình thang đo.

Ta có  $W_t = \frac{1}{2}.L.I^2$  Trong đó : L Hệ số từ cảm của cuộn dây

Năng lượng này sinh ra một mô men quay:

$$M_q = dW_t/d\alpha = \frac{1}{2}.I^2.dL/d\alpha = \frac{1}{2}.F(\alpha).I^2$$

Trong đó :  $dL/d\alpha = F(\alpha)$

Dưới tác dụng của mô men quay, phần động sẽ quay. Khi quay xoắn hai lò so phản kháng tạo ra mômen cản

$$M_c = D. \alpha$$

Tại vị trí cân bằng lúc  $M_q = M_c$  ta có :

$$\frac{1}{2}.F(\alpha).I^2 = D. \alpha$$

$$\alpha = \mathbf{si.I^2} \quad \text{Trong đó } S_i = F(\alpha)/2.D \text{ độ nhạy}$$

## 1.4.2.CƠ CẤU ĐIỆN TỬ.

### **Đặc điểm ứng dụng:**

#### **Ưu điểm:**

- Đo được dòng điện xoay chiều và một chiều.
- Khả năng chịu quá tải tốt.
- Cấu tạo đơn giản, giá thành rẻ.

#### **Khuyết điểm:**

- Độ nhạy thấp và độ chính xác không cao.
- Thang đo có độ chia không đều, tập trung ở đầu và thưa về cuối thang đo.
- Kết quả đo chịu ảnh hưởng từ trường ngoài.

#### **Ứng dụng :**

Dùng để chế tạo vonmet, ampemet, loại AC có độ chính xác khoảng 0,2.

### 1.4.3.CƠ CẤU ĐO ĐIỆN ĐỘNG.

#### Cấu tạo:

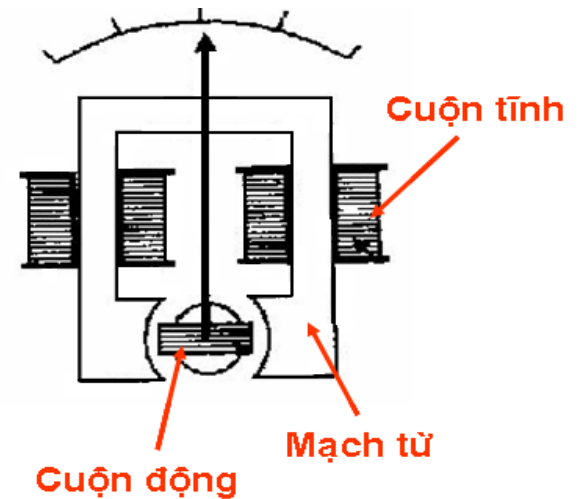
Phần tĩnh: nam châm, lõi sắt từ, cuộn dây tĩnh  
.bảng khắc độ.

Phần động : Khung dây, cuộn dây động, kim

#### Nguyên lý đo:

Xt biến đổi thành dòng đo  $I_d$  chảy vào 2 cuộn dây tĩnh và động.

Từ trường tạo ra của dòng đo chảy vào cuộn tĩnh tác động lên dòng điện chạy vào cuộn động , kết quả làm cho kim quay đi một góc, xác định giá trị của đại lượng đo.



### 1.4.3. CƠ CẤU ĐO ĐIỆN ĐỘNG.

#### Phương trình thang đo:

Khi cho các dòng điện một chiều đi vào cuộn dây thì năng lượng hồ cảm trong cuộn dây :

$$W_M = I_1 \cdot I_2 \cdot M_{12}$$

Trong đó :  $M_{12}$  là hệ số hồ cảm giữa hai cuộn dây

Năng lượng này sinh ra một mô men quay :

$$M_q = dW_M/d\alpha = I_1 \cdot I_2 \cdot dM_{12}/d\alpha = \alpha \cdot I_1 \cdot I_2$$

trong đó :  $dM_{12}/d\alpha = F(\alpha)$

Dưới tác dụng của mô men quay, phần động sẽ quay. Khi quay xoắn hai lò so phản kháng tạo ra mômen cản:

$$M_c = D \cdot \alpha$$

Tại vị trí cân bằng lúc  $M_q = M_c$  ta có :

$$F(\alpha) \cdot I_1 \cdot I_2 = D \cdot \alpha$$

$$\text{Suy ra : } \alpha = S_I \cdot I_1 \cdot I_2$$

Trong đó  $S_I = F(\alpha) / D$  độ nhạy

### 1.4.3.CƠ CẤU ĐO ĐIỆN ĐỘNG.

#### **Đặc điểm , ứng dụng.**

#### **Ưu điểm:**

- + Đo được dòng điện AC và DC
- + Đo chính xác tương đối cao.

#### **Khuyết điểm:**

- + Thang đo của chỉ thị không tuyến tính.
- + Kết quả đo chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.
- + Cấu tạo tương đối phức tạp.
- + Đo nhạy thấp và tiêu thụ công suất tương đối lớn.

#### **Ứng dụng:**

Chủ yếu dùng để chế tạo Ampemet, Vônmet, Phamet, Tầnmet với cấp chính xác 0,1.

## 1.4.4. CƠ CẤU ĐO TĨNH ĐIỆN.

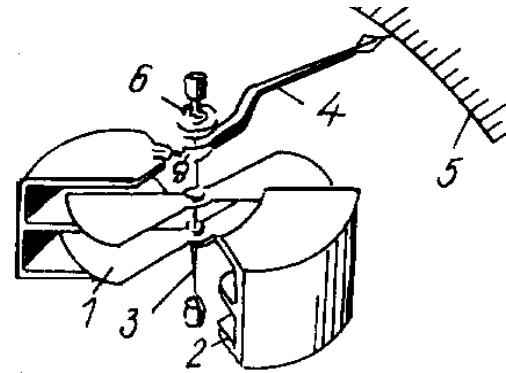
### Cấu tạo.

Phần tĩnh: lá kim loại tĩnh, bảng khắc độ.

Phần động; lá kim loại động, kim, lò xo.

### Nguyên lý đo:

Xt biến đổi thành điện áp  $U_x$  đưa vào hai bản tụ điện tạo từ 2 lá kim loại. Dưới tác động của điện trường do Û tạo ra làm cho lá kim loại động xoay đi một góc cho tới khi mô men quay cân bằng với mô men cản do cơ cấu đo tạo ra, lúc này kim đứng yên, ta đọc kết quả trên bảng khắc độ.



## 1.4.4.CƠ CẤU ĐO TĨNH ĐIỆN.

### **Phương trình thang đo :**

Khi đưa  $U_x$  vào tạo ra điện trường có năng lượng  $W_{đt} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{exp}^2$ .

$C$  là điện dung ,  $U_{exp}$  là bình phương điện áp trên 2 điện cực.

Dưới tác động của điện áp đo trên 2 điện cực xuất hiện các điện tích  $q$  chúng hút nhau tạo nên mô men quay :  $M_q = dW_{đt}/d\alpha = (1/2) \cdot U_{exp}^2 \cdot dC/d\alpha$

Mô men cản của hệ thống là  $M_c = D \cdot \alpha$ .

Khi kim cân bằng là  $M_q = M_c$  ta có :  $\alpha = (1/2D) \cdot (dC/d\alpha) \cdot U_{exp}^2 = S_i \cdot U_{exp}^2$ .

### **Đặc điểm ứng dụng:**

+ Đo dc điện áp DC, ACcao tới KV với dải tần rộng

+ Kết cấu đơn giản.

-Độ nhạy thấp.

-Chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.

Ứng dụng: Dùng để đo điện áp cao tần.



## 1.5.CƠ CẤU ĐO CHỈ THỊ SỐ.

### 1. 5.1.Chỉ thị số cơ khí:

Gồm có các bánh răng được ghép lại, từ hàng đơn vị đến hàng chục, trên có các con từ 0 [ ] Các bánh răng này khi chuyển động sẽ thể hiện các con số và được nối với một bộ nhông, và khi một bánh răng quay hết một vòng thì sẽ kéo theo bánh răng hàng chục lệnh một đơn vị.

Cơ cấu này thường được dùng trong đồng hồ đo công suất điện tiêu thụ

### 1.5.2. Chỉ thị số ghép:

Các con số từ 0 [ ] được tạo thành bởi nhiều đèn ghép lại theo nhiều cách khác nhau. Như vậy mỗi đèn chỉ tượng trưng cho một phần của các con số trên nền màn chỉ thị. Để thể hiện các con số này phải sử dụng một mạch điện tử được thiết kế bởi các phép logic điều khiển cho các đèn sáng lên một cách hợp lý.

Các loại đèn thương dụng để ghép thành các con số là :

Đèn huỳnh quang,

Đèn diode phát quang (LED), đèn tinh thể lỏng (LCD) 7 đoạn.

Cơ cấu này thường sử dụng ở các thiết bị đo lường số.

## 1.5.CƠ CẤU ĐO CHỈ THỊ SỐ.

### 1.5.3. Sơ đồ khối lược giản của ccd số.

Các khối gồm có:

#### Khối giải mã: BGM

Đầu vào gồm xung nhị phân  $N_x$   
và xung đồng hồ  $C_k$ .

Đầu ra là các tín hiệu:

$D_x$  dữ liệu thập phân số và ký tự.

$V_x$  dữ liệu video.

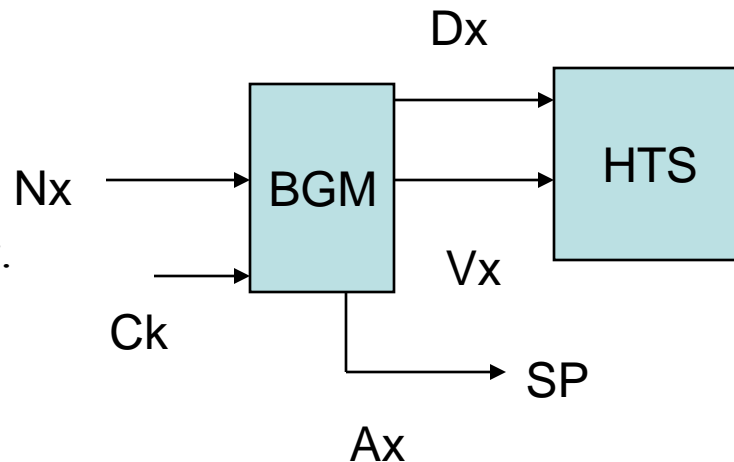
$A_x$  dữ liệu audio.

#### Khối hiển thị HTS:

Thường là :

Đèn led 7 đoạn.

Màn hình LCD.



## CÂU HỎI BÀI TẬP CUỐI CHƯƠNG

1. Trình bày các loại sai số trong đo lường?
2. Các nguyên nhân gây sai số biện pháp giảm sai số?
3. Trình bày các phương pháp đo lường?
4. Trình bày các loại cơ cấu đo?
5. So sánh CCD từ điện với điện từ? Loại CCD nào dùng để đo điện áp cao tần?

## CHƯƠNG 2 : MÁY HIỆN SÓNG.(MHS).

### 2.1.TỔNG QUAN VỀ MÁY HIỆN SÓNG.

#### 2.1.1.Khái niệm, ứng dụng & phân loại máy hiện sóng.

##### **Khái niệm& ứng dụng:**

MHS là thiết bị đo hiện đại dùng để quan sát dạng tín hiệu và đo các thông số của tín hiệu như:

- +Đo tần số.
- +Đo góc lệch pha.
- +Đo độ méo phi tuyến.
- +Đo độ sâu điều chế.

##### **Phân loại:**

Có nhiều loại MHS khác nhau:

- +MHS đèn điện tử.
- +MHS bán dẫn.
- +MHS một tia.
- +MHS nhiều tia.

## 2.1.TỔNG QUAN VỀ MÁY HIỆN SÓNG.

### 2.1.2.Đèn ống ng tia điện tử của MHS.

Cấu tạo của ống tia điện tử loại 1 tia.

1.Ống thủy tinh

2.Ka tốt

3.Cực điều khiển

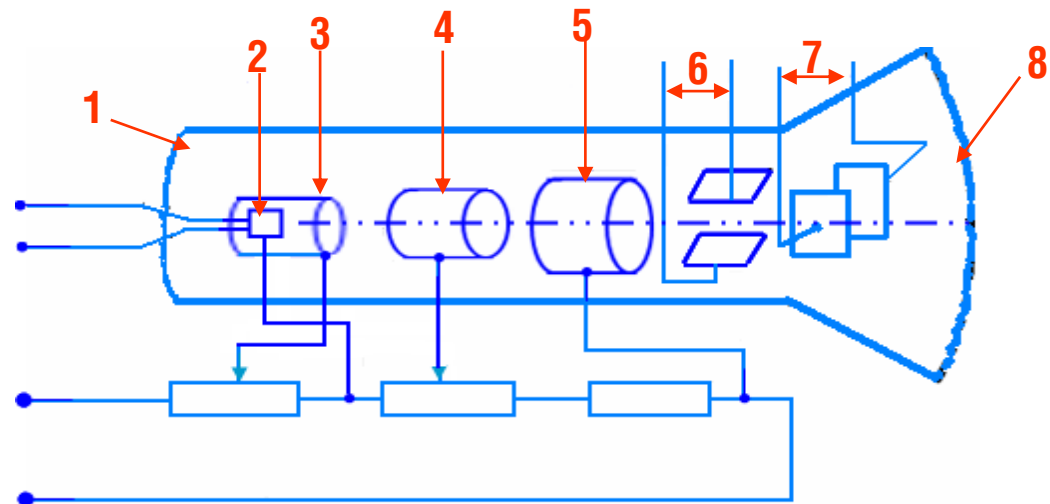
4.A.nốt thứ nhất

5.A nốt thứ hai

6.Bản cực lệch ngang X

7.Bản cực lệch dọc Y

8.Màn hình quang



## 2.1.TỔNG QUAN VỀ MÁY HIỆN SÓNG.

### 2.1.2.Đèn ống tia điện tử của MHS.

#### Nguyên lý hoạt động của ống tia điện tử loại 1 tia.

+Sợi nung cung cấp năng lượng cho các điện tử.

$U_{ak}$  sẽ tạo ra điện trường mạnh hút các điện tử lên màn hình.

$U_{gk}$  sẽ điều khiển cường độ chùm tia điện tử bay lên, đa này dc điều chỉnh để thay đổi độ sáng trên màn hình.

+ $U_{a1}$  sẽ gia tốc cho chùm tia .

+ $U_{a2}$  sẽ hội tụ chùm tia , có thể đc độ tụ của chùm tia bởi đc điện áp này.Chùm tia điện tử sẽ hội tụ tại một điểm nhỏ trên màn hình.

+  $U_x$  sẽ đk tia đi theo chiều lên xuống.

+ $U_y$  đk tia đi theo chiều nằm ngang.

+Bằng cách đưa các điện áp quan sát vào các điện cực ta có thể quan sát được dạng sóng hay đo được các thông số của chúng.

## 2.1.TỔNG QUAN VỀ MÁY HIỆN SÓNG.

### 2.1.2.Đèn ống ng tia điện tử của MHS.

#### B,Cấu tạo của loại hai tia.

Tương tự như loại một tia ,trong ống tia được phân làm 2 phần bằng nhau dọc theo chiều dọc của ống .

Mỗi một tia được tạo bởi 1 súng gồm các điện cực như :

- +Sợi nung.
- + Katốt.
- +Cực lưới.
- +Các cực hội tụ A1,A2.
- +Dùng chung một cặp phiến lệch ngang X.
- +Mỗi súng có một cặp phiến cực lệch đứng Y1,Y2.

## 2.1.TỔNG QUAN VỀ MÁY HIỆN SÓNG.

### 2.1.2.Đèn ống ng tia điện tử của MHS.

**Nguyên tắc hoạt động ;**

Tương tự như loại một tia .

Mỗi súng sẽ được đưa vào một dạng điện áp .

Trên màn hình sẽ quan sát được hai dạng sóng khác nhau .

**Ứng dụng:**

Thường dùng để so sánh hai dạng sóng với nhau để đo độ lệch pha hay quan sát dạng sóng giữa đầu vào và đầu ra.



## 2.2. NGUYÊN LÝ QUÉT TRONG MHS.

### 2.2.1. Nguyên lý tạo ảnh trên MHS.

#### Nguyên tắc chung;

Biến tín hiệu biến đổi theo thời gian thành tín hiệu biến đổi theo không gian để quan sát được dễ dàng.

Đưa điện áp tuyến tính vào cực X ta có  $U_x = a.t$ .

Đưa điện áp cần quan sát  $U_d$  đơn giản cho điện áp hình sin vào phiến Y

$$U_y = U_m \sin \omega t.$$

Độ nhạy theo phiến X là  $S_x$  ta có  $X = S_x.a.t \rightarrow t = X/S_x.a$

Độ nhạy theo phiến Y là  $S_y$  ta có  $Y = S_y.U_m \sin \omega t \rightarrow Y = Y_m \sin \Omega X,$

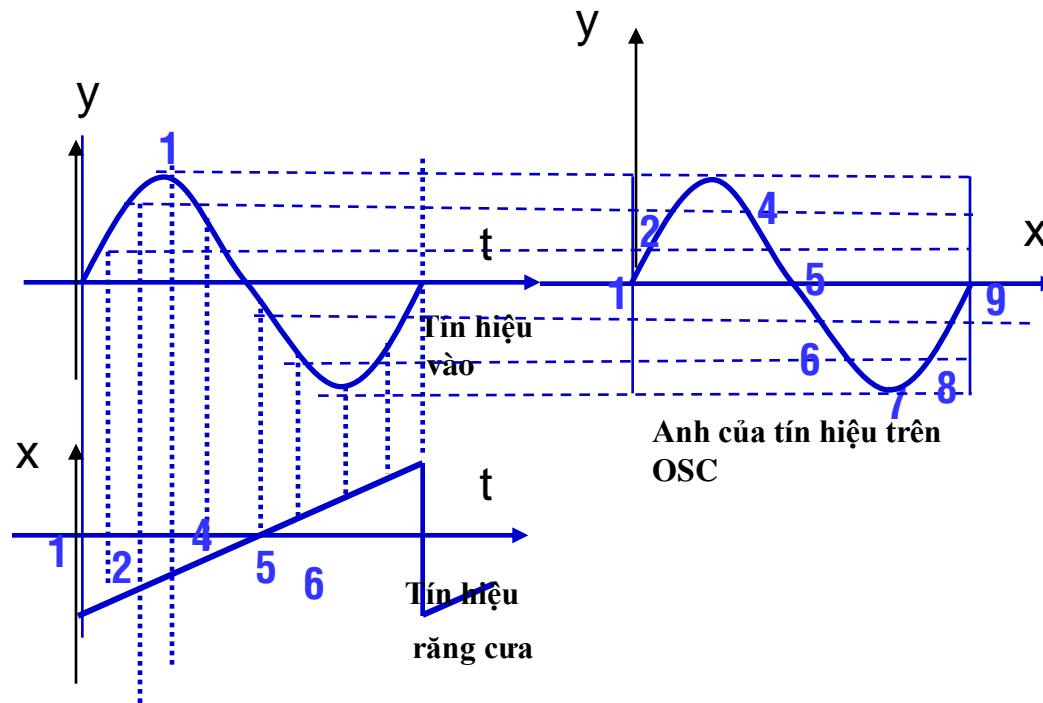
Trong đó  $Y_m = S_y.U_m$ ;  $\Omega = \omega/S_x.a$

Như vậy là ta đã biến tín hiệu biến đổi theo thời gian thành tín hiệu biến đổi theo không gian 2 chiều X, Y.

## 2.2. NGUYÊN LÝ QUÉT TRONG MHS.

### 2.2.1. Nguyên lý tạo ảnh trên MHS.

- Dạng sóng tín hiệu trên các điện cực & trên MHS:



## 2.2.NGUYÊN LÝ QUÉT TRONG MHS.

### 2.2.2.Các chế độ quét trên MHS.

#### A.Chế độ quét thẳng;

Là chế độ quét của MHS khi cho vào phiến X một điện áp tuyến tính dạng răng cưa. $U_x = a.t$ .

Trên màn hình sẽ quan sát trực tiếp dạng sóng của tín hiệu , khi tín hiệu đưa vào phiến Y.

#### B.Chế độ quét sin:

Là chế độ quét của Mhs khi cho vào phiến x một điện áp hình sin  $U_x = U_m \cdot \sin \omega t$

Tín hiệu đưa vào phiến Y.lúc này trên MHS sẽ xuất hiện các hình Litxazu.

Ứng dụng để đo tần số , góc lệch pha của tín hiệu.

#### C.Chế độ quét tròn.

Là chế độ quét của Mhs khi cho vào phiến x một điện áp tín hiệu đã di pha đi 90 độ làm như vậy ta đã tạo được dạng điện áp hình tròn đưa vào phiến X.

Dạng sóng của tín hiệu trên màn hình là một hình tròn.

Ứng dụng để đo tần số, hoặc góc lệch pha của tín hiệu.

## 2.3. NGUYÊN LÝ ĐỒNG BỘ TRONG MHS.

### 2.3.1. Tác dụng của quét đồng bộ.

Khi tín hiệu quan sát và điện áp quét không đồng bộ về pha hoặc nhanh hơn, hoặc chậm hơn, kết quả trên màn hình xuất hiện dạng sóng rất khó quan sát: hình bị trôi, liên tục chạy trên màn hình.

Để quan sát dạng sóng được tốt thì ta phải cho hình đứng yên, muốn vậy thì phải thực hiện quét đồng bộ.

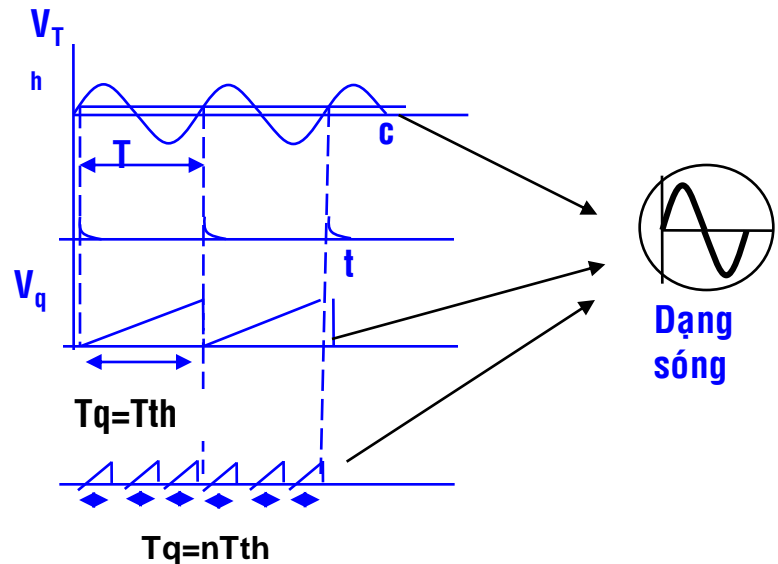
### 2.3.2. Điều kiện quét đồng bộ.

$$T_q = T_{th}.$$

$$T_q > T_{th}.$$

$$T_q < T_{th}.$$

$$T_q = nT_{th}; n=1,2,\dots$$



## 2.4.SƠ ĐỒ CẤU TRÚC & CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MHS.

### 2.4.1.Sơ đồ cấu trúc của MHS.

KĐX:khuếch đại x

KĐY:khuếch đại Y

KĐZ:khuếch đại Z

Gc :Giữ chậm.

PA: phân áp.

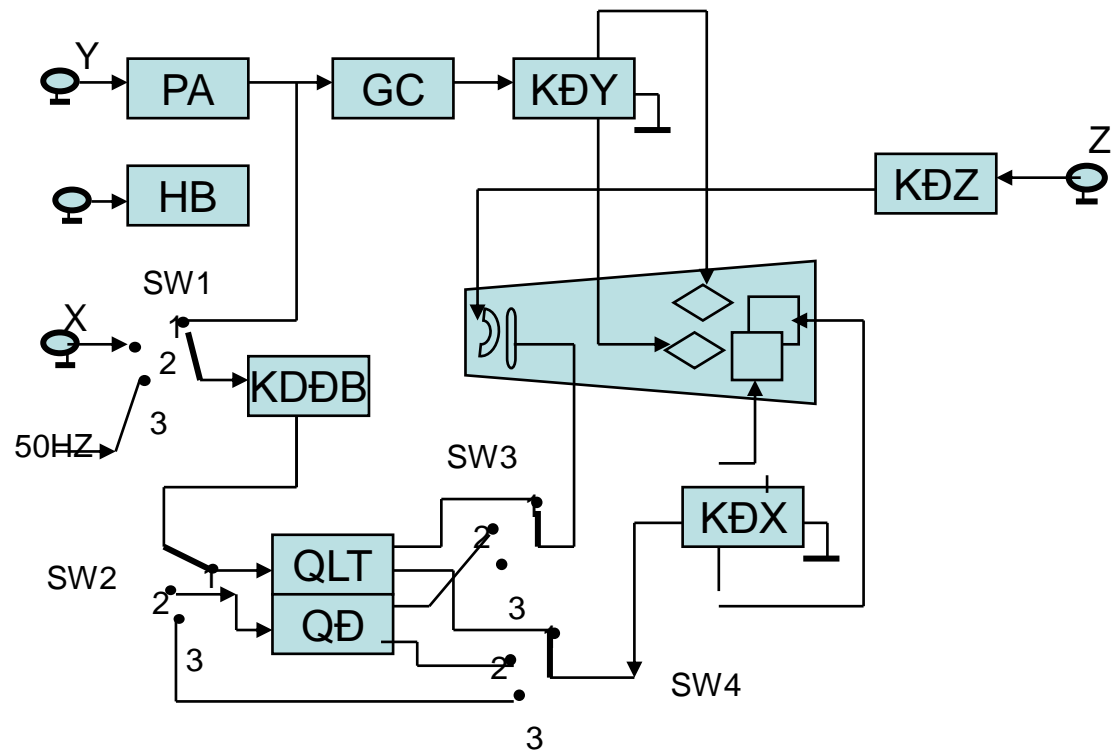
HC: hạn chế.

KĐĐB: Khuếch đại đồng bộ.

QLT: Quét liên tục.

QĐ:Quét đợi.

SW chuyển mạch.



## 2.4.SƠ ĐỒ CẤU TRÚC & CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MHS.

### 2.4.2.Chế độ làm việc của MHS.

Căn cứ vào trạng thái của các chuyển mạch xác lập nên chế độ làm việc của MHS.

Có 7 chế độ làm việc của máy hiện sóng:

#### 1. Chế độ quét liên tục đồng bộ trong:

$SW1 \equiv 1; SW2 \equiv 1; SW3 \equiv 1; SW4 \equiv 1.$

#### 2. Chế độ quét liên tục đồng bộ ngoài:

$SW1 \equiv 2; SW2 \equiv 2; SW3 \equiv 1; SW4 \equiv 1.$

#### 3.Chế độ quét đợi đồng bộ trong:

$SW1 \equiv 1; SW2 \equiv 2; SW3 \equiv 2; SW4 \equiv 2.$

#### 4. Chế độ quét đợi đồng bộ ngoài:

$SW1 \equiv 2; SW2 \equiv 2; SW3 \equiv 2; SW4 \equiv 2.$

#### 5.Chế độ quét liên tục đồng bộ điện lưới 50hz:

$SW1 \equiv 3; SW2 \equiv 1; SW3 \equiv 1; SW4 \equiv 1.$

#### 6. Chế độ quét đợi đồng bộ điện lưới 50hz:

$SW1 \equiv 3; SW2 \equiv 2; SW3 \equiv 2; SW4 \equiv 2.$

#### 7.chế độ khuếch đại:

$SW1 \equiv 2; SW2 \equiv 3; SW3 \equiv 3; SW4 \equiv 3$

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CUỐI CHƯƠNG

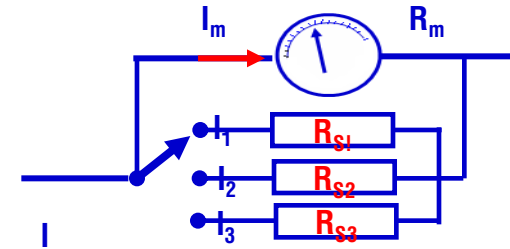
1. Trình bày khái niệm, vai trò của MHS trong đo lường?
2. Trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MHS?
3. Nêu nguyên lý tạo ảnh trong MHS?
4. Các chế độ làm việc của MHS?

# CHƯƠNG 3: ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN & THAM SỐ TÍN HIỆU.

## 3.1.ĐO DÒNG ĐIỆN.

### 3.1.1.Đặc điểm của phép đo dòng điện.

- +Phạm vi đo rộng:  $10 (-exp17)A$  tới  $10exp6A$ .
- +Dải tần dòng đo rộng tới hàng nghìn Mhz.
- +Để đo dòng điện , mắc nối tiếp Ampemet với phụ tải cần đo dòng.
- +Do Ampemet có nội trở nên các phép đo thường có sai số.
- +Để hạn chế sai số người ta mắc điện trở sun .
- +Để mở rộng thang đo người ta sử dụng nhiều điện trở sun kết hợp với chuyển mạch.Mỗi một trở sun tương ứng với một thang đo dòng.



### 3.1.2.Các phương pháp đo dòng & phương tiện đo dòng.

#### A.Các phương pháp đo dòng:

Có 2 phương pháp đo:

- +Đo bằng đánh giá trực tiếp dòng đo:  $I_d$  được cho trực tiếp vào CCD sinh ra mô men quay làm quay kim một góc .Phương pháp này có đồng hồ Ampemet loại từ điện & điện từ.
- +Đo bằng phương pháp so sánh.Dòng đo  $I_d$  đem so sánh với dòng điện mẫu  $I_m$ .Hoặc cả 2 đều biến đổi về một đại lượng trung gian rồi cân bằng 2 đại lượng từ đó suy ra  $I_d$ .



## 3.1.ĐO DÒNG ĐIỆN.

### 3.1.2.Các phương pháp đo dòng &phương tiện đo dòng.

#### B.Các phương tiện đo dòng.

##### 1.Ampemet nhiệt.

+Ampemet nhiệt tạo bởi phần tử pin nhiệt và CCD từ điện.

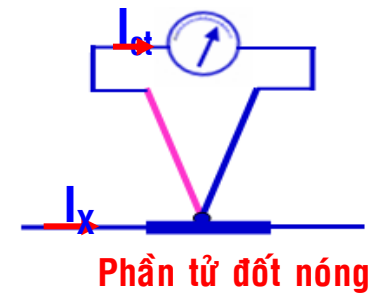
Pin nhiệt làm nhiệm vụ biến dòng cần đo thành nhiệt rồi điện thế.Điện thế này đưa vào CCD tạo ra góc quay tương ứng.

+Để tăng độ nhạy ta mắc nối tiếp hai hay nhiều cặp pin nhiệt.

+Để đo dòng lớn chọn loại Ampemet có pin nhiệt cách xa với điện trở nhiệt.

-Ampemet nhiệt có nhược điểm là chịu ảnh hưởng của môi trường, chịu tải kém, tuổi thọ ngắn.

+Ampemet nhiệt thường dùng đo dòng Ac từ vài trăm micrô ampe tới hàng chục ampe. Với tần số từ 20hz tới 100Mhz.



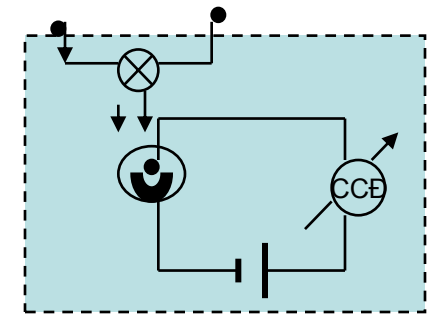
## 3.1.ĐO DÒNG ĐIỆN.

### 3.1.2.Các phương pháp đo dòng & phương tiện đo dòng.

#### B.Các phương tiện đo dòng.

#### 2.Ampemet quang điện.

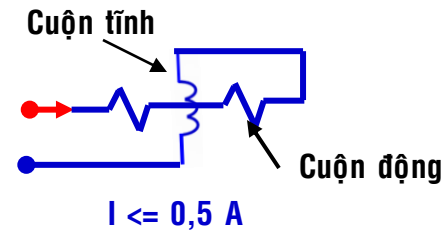
- Ampemet quang điện tạo thành từ phần tử biến đổi quang điện với CCD từ điện.
- Nguyên lý đo là dòng đo biến thành ánh sáng rồi biến thành dòng quang điện, sau đó qua CCD từ điện để cho kết quả.
- Ưu điểm mạch đo cách ly với CCD.
- -Nhược phụ thuộc vào ánh sáng khi đo, thang đo phi tuyến ,
- Phạm vi đo hẹp vì tỷ số dòng cực đại và dòng tối thấp.
- Ampemet quang điện dùng để đo dòng hiệu dụng Ac ở tần số 500Mhz.



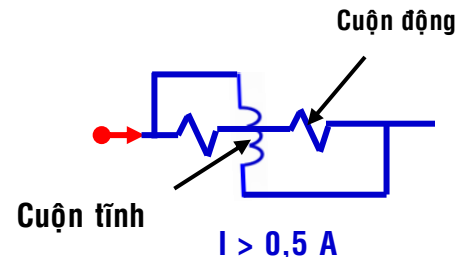
## B. CÁC PHƯƠNG TIỆN DO DÒNG.

### 3. Ampemet điện động

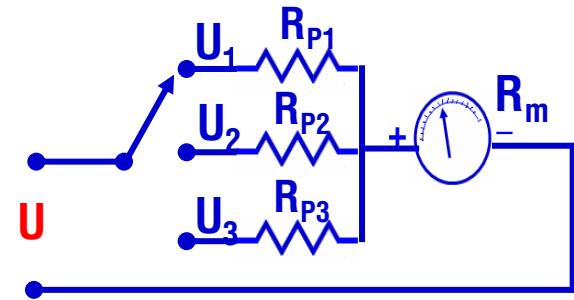
- Thường dùng để đo dòng điện miền tần số cao hơn tần số công nghiệp (cỡ 400 2000 HZ).
- Có 2 loại sơ đo mạch của Ampemet điện động:
- Khi dòng điện cần đo :  $I \leq 0,5A$  thì Ampemet có cuộn dây động và cuộn dây tĩnh mắc nối tiếp.



- Khi dòng điện cần đo :  $I > 0,5A$  thì Ampemet cuộn dây động và cuộn dây tĩnh mắc song song với nhau.



## 3.2.ĐO ĐIỆN ÁP.



### 3.2.1.Đặc điểm của phép đo điện áp.

+Phạm vi đo rộng: 10 (-exp9)V tới hàng trăm Kv.

+Dải tần dòng đo rộng tới  $3.10^{exp9}$  Hz.

+ Để đo điện áp , mắc song song vônmet với phụ tải cần đo áp.

+Do Vôn met với nội trở không đủ lớn nên các phép đo thường có sai số.

+Để hạn chế sai số người ta mắc điện trở phụ .

+Để mở rộng thang đo người ta sử dụng nhiều điện trở phụ kết hợp với chuyển mạch.Mỗi một trở phụ tương ứng với một thang đo điện áp.

### 3.2.2.Các phương pháp điện áp &phương tiện đo điện áp.

#### A.Các phương pháp đo điện áp.

Có 2 phương pháp đo:

+Đo bằng đánh giá trực tiếp điện áp .Phương pháp này có đồng hồ vonmet loại từ điện & điện từ.nhiệt điện, tĩnh điện, điện động.

+Đo bằng phương pháp so sánh.Sử dụng phương pháp vi sai, chỉnh không và phương pháp bù .

## 3.2.ĐO ĐIỆN ÁP.

### 3.2.2.Các phương pháp điện áp &phương tiện đo điện áp.

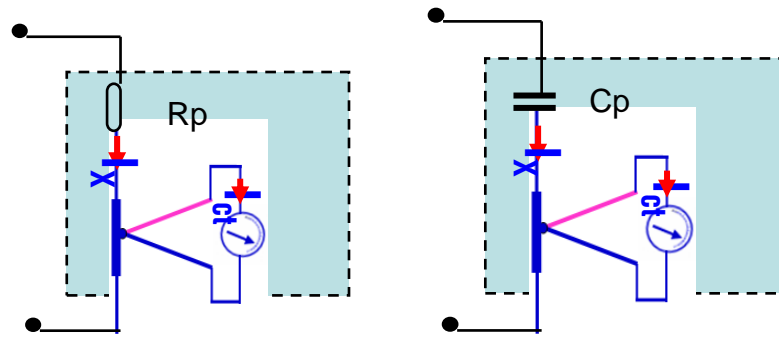
#### B.Các phương tiện đo điện áp .

##### 1.Vônmet nhiệt.

Cũng tương tự như ampemet nhiệt ở vôn met nhiệt cũng dùng CCD từ điện và pin nhiệt .Điện trở phụ thường chọn loại điện trở than cao tần có C,L bản thân nhỏ.

Nhược điểm của vônmet nhiệt là có độ nhạy kém ,chịu tải kém, chịu ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường.

Vônmet nhiệt có thể đo được điện áp 1v tới 1000v.với dải tần từ 1hz tới 100Khz.



## 3.2.ĐO ĐIỆN ÁP.

### 3.2.2.Các phương pháp điện áp &phương tiện đo điện áp.

#### B.Các phương tiện đo điện áp .

##### 2.Vônmet tĩnh điện.

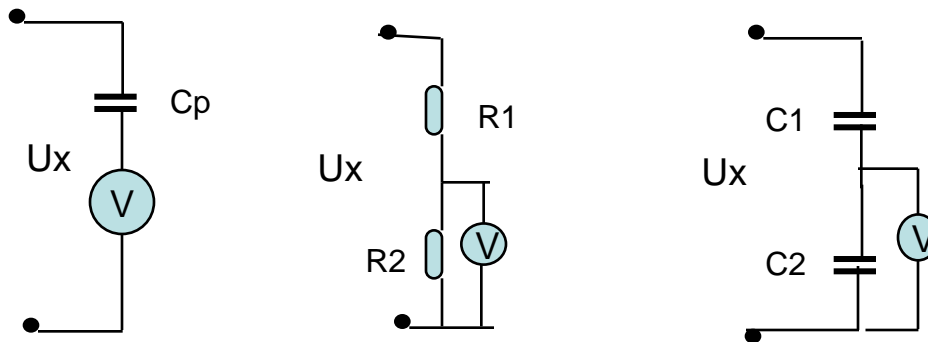
Vôn met tĩnh điện được xây dựng trên CCD tĩnh điện.

Nó có thể đo được hàng chục vôn tới hàng nghìn vôn với dải tần số rộng: 20Hz-30Mhz.

Ưu điểm là  $Z_v$  lớn , độ chính xác cao.

Nhược điểm độ nhạy thấp,thang đo phi tuyến , chịu ảnh hưởng của điện trường ngoài.

Có thể mở rộng thang đo áp bằng mắc thêm các tụ điện phụ vào mạch.



## 3.3.ĐO GÓC LỆCH PHA

### 3.3.1.Khái niệm chung.

Pha của tín hiệu đặc trưng cho trạng thái xuất hiện của tín hiệu tại thời điểm xét.

Khi so sánh 2 dao động có cùng tần số thì sẽ có sự lệch pha giữa chúng.góc chênh lệch này gọi là góc lệch pha.

$$x_1 = X_{1\max} \cdot \sin(\omega.t + \varphi_1)$$

$$x_2 = X_{2\max} \cdot \sin(\omega.t + \varphi_2)$$

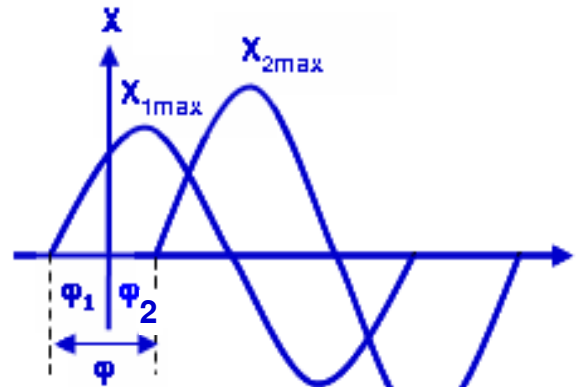
Góc lệch pha giữa  $x_1, x_2$  là :

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

$\varphi = 0$  :  $X_1$  cùng pha với  $X_2$

$\varphi > 0$  :  $X_1$  nhanh pha hơn  $X_2$

$\varphi < 0$  :  $X_1$  chậm pha hơn  $X_2$



### 3.3.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO GÓC LỆCH PHA.

#### A. Đo góc lệch pha bằng MHS.

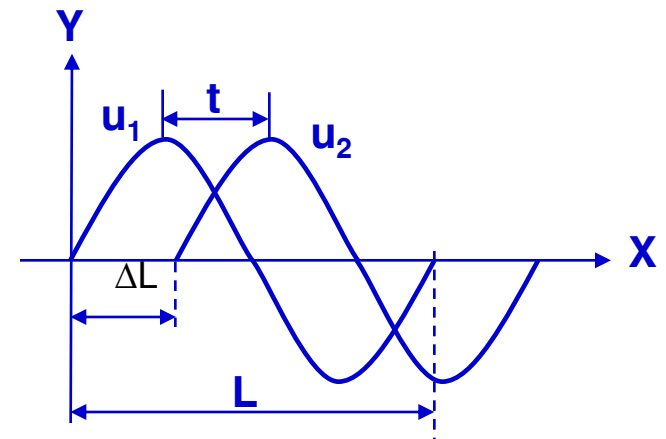
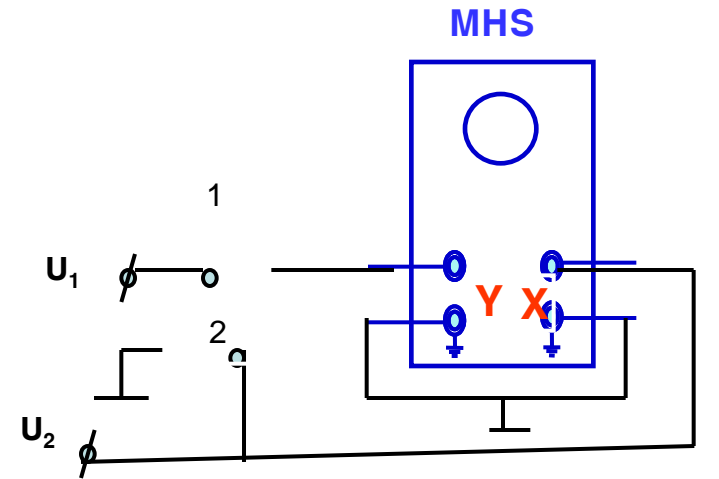
##### Phương pháp quét thẳng:

Phương pháp này cho phép quan sát dạng tín hiệu trực tiếp trên MHS.

MHS loại 1 tia thiết lập chế độ quét liên tục đồng bộ ngoài. tín hiệu  $U_1$ ,  $U_2$  qua đảo mạch lần lượt đưa vào cực Y, còn một tín hiệu đưa vào đầu vào X. Ảnh của 2 dao động  $U_1$ ,  $U_2$  hiện trên MHS như hình vẽ.

Cách xác định góc lệch pha bằng cách đo khoảng cách  $L, \Delta L$  và tính góc lệch pha như sau:

$$\varphi = (\Delta L / L) 2. \pi \text{ (rad)}$$





### 3.3.2.CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO GÓC LỆCH PHA.

#### A.Đo góc lệch pha bằng MHS.

##### Phương pháp quét sin:

Điện áp  $U_1$  được đưa vào trục Y

Điện áp  $U_2$  được đưa vào trục X

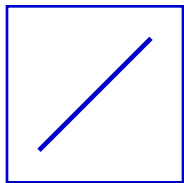
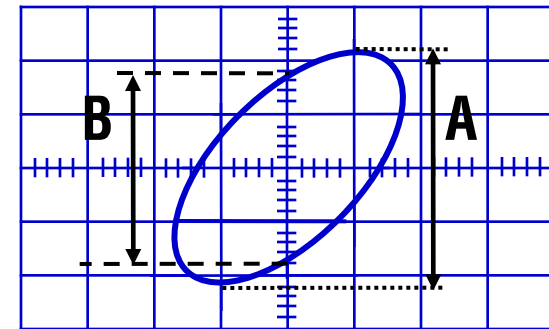
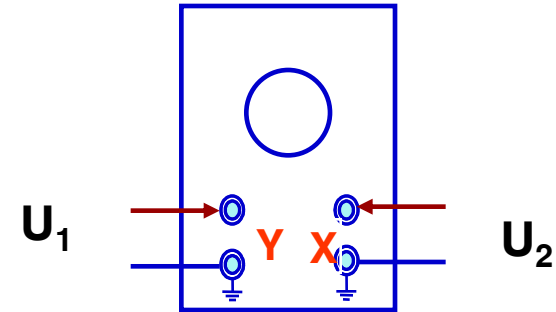
Trên OSC xuất hiện một đường sáng có dạng hình elíp.

Góc lệch pha được xác định :

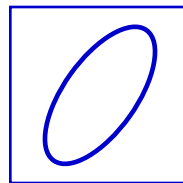
Trường hợp chung:  $\varphi = \text{Arcsin } B/A$ .

Trường hợp đặc biệt:

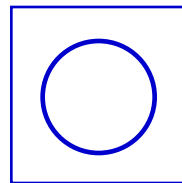
OPSILLOCOPE-MHS



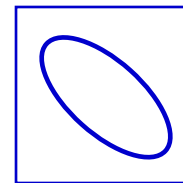
0



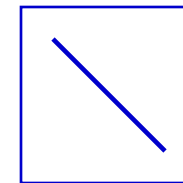
0 90°



90°



90° 180°



180°

## 3.4.ĐO TẦN SỐ

### 3.4.1.Khái niệm chung về đo tần số.

Tần số là một tham số nhận dạng tín hiệu rất quan trọng trong lĩnh vực thông tin liên lạc hay phát thanh truyền

Giả sử dao động là  $x(t)$  có dạng là hình sin:

$$x(t) = X_{\max} \cdot \sin(\omega.t + \varphi)$$

Trong đó :

- $X_{\max}$  : Biên độ của tín hiệu
- $\omega$  : Tần số góc của tín hiệu
- $(\omega.t + \varphi)$  : pha của tín hiệu
- $\varphi$  : Pha ban đầu

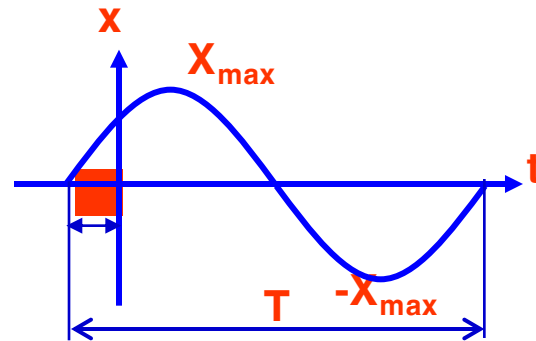
$\omega(t)$  gọi là tần số góc ,  $\omega(t) = 2\pi f(t)$ .

Tần số quan hệ với chu kỳ như sau:  $f(t) = 1/T$ .

Tần số quan hệ với bước sóng như sau:  $f(t) = c/\lambda$ ;  $c =$  vận tốc ánh sáng  $3.10^8 \text{Km/s}$ .

$\lambda$  là bước sóng của tín hiệu

Phép đo tần số có dải tần rộng phù hợp với sự phát triển của xã hội. hiện nay đã lên tới tetahec.



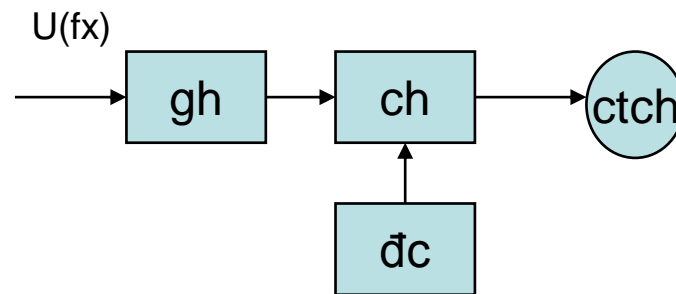
## 3.4.2.CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO TẦN SỐ.

### A.Đo tần số - phương pháp cộng hưởng.

Nội dung của phương pháp này là để đo tần số của tín hiệu, ta cho nó vào một khung dao động có thể điều chỉnh được tần số cộng hưởng của khung sao cho bằng đúng tần số cần đo khi đó xảy ra cộng hưởng, ta đọc trực tiếp tần số trên bộ tạo dao động đã biết trước tần số. thông thường phần tử điều chỉnh là L hoặc C.

#### Sơ đồ khối lược giản:

- Gh: bộ ghép đầu vào.
- Ch: mạch cộng hưởng.
- Đc: mạch điều chỉnh cộng hưởng.
- Ctch : Chỉ thị cộng hưởng.



Thành phần cần đo tần số có điện áp là  $U(fx)$  đưa vào mạch cộng hưởng thông qua mạch ghép. mạch ghép thường là mạch ghép hở cảm cho độ ghép tốt nhờ phối hợp trở kháng tốt.

Phần đc thường là đc bằng núm xoay tác động vào làm thay đổi giá trị C hoặc L của khung cộng hưởng.

Mạch cộng hưởng là mạch LC, khi tần số riêng của mạch bằng tần số cần đo  $fx$  thì xảy ra cộng hưởng thể hiện bằng đồng hồ hoặc đèn chỉ thị led.

## B. PHƯƠNG PHÁP ĐO TẦN SỐ BẰNG MHS.

### \* Phương pháp quét thẳng.

MHS thiết lập ở chế độ quét liên tục, đồng bộ trong.

Đưa  $f_m$  đã biết tần số vào cổng Z,  $f_x$  cần đo vào cổng Y

$T_x$  là chu kỳ của  $f_x$ ,  $T_m$  là chu kỳ của  $f_m$ .

**Ta có:  $f_x = (f_m/n)$**

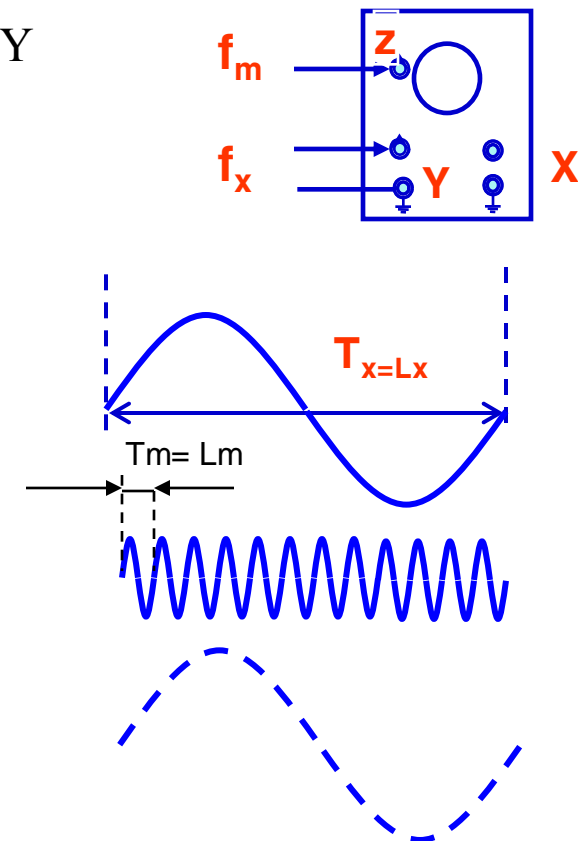
Trong đó  $n$  là số vạch sáng đếm được trên màn hình.

Ví dụ :  $f_m = 300\text{MHz}$ ,  $n = 10$  thì  $f_x = 30\text{MHz}$ .

Nếu  $f_x > f_m$  thì đổi lại đưa  $f_x$  vào cổng Z,  $f_m$  đưa vào cổng Y.

Với phương pháp này để cho kết quả dễ xác định thì số điểm sáng phải ít vì vậy ta phải có một máy tạo  $f_m$  có một dải rộng để điều chỉnh bám sát  $f_x$

OPSILLOCOPE



## B. PHƯƠNG PHÁP ĐO TẦN SỐ BẰNG MHS.

### \* Phương pháp quét sin;

MHS ở chế độ khuếch đại.  $f_x$  cần đo đưa vào cổng Y,  $f_m$  đưa vào cổng X. hình ảnh nhận được là hình **Litxazu**.

Dựa vào hình ta xác định tần số như sau:

Kẻ một đường thẳng cắt hình L là  $m=4$  điểm;

Kẻ đường nằm ngang cắt hình ở  $n = 6$  điểm.

Tần số được xác định như sau:

$$(F_x/f_m) = n/m \text{ hay } f_x = f_m \cdot n/m.$$

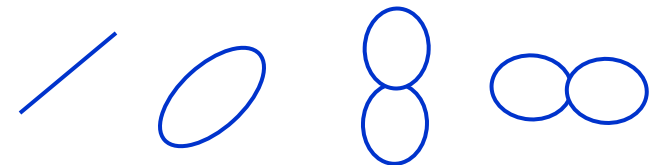
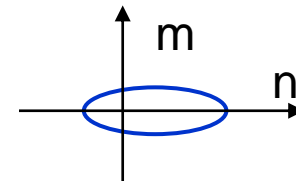
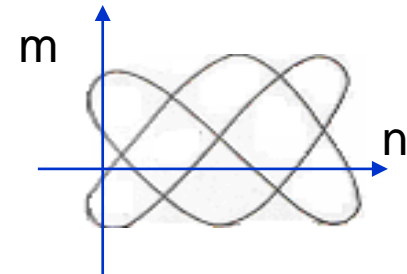
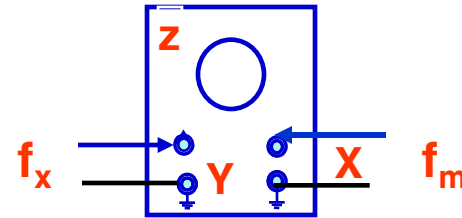
Trong Vd1,  $f_m = 200\text{Khz}$ ,  $f_x = 300\text{Khz}$ .

VD2 : hình Litxazu là hình Elip:

Ta có  $f_x = f_m$ .

Bt hãy xác định tần số trong một số hình Litxazu:

### OPSILLOCOPE



## B. PHƯƠNG PHÁP ĐO TẦN SỐ BẰNG MHS.

OPSILLOCOPE

### \* Phương pháp quét tròn:

Tần số  $f_m$  được đưa vào bộ quay pha R,C để tạo ra hai điện áp lệch pha nhau một góc 90 độ. Hai điện áp  $U(f_m)$  này được đưa vào các bản cực Y, X

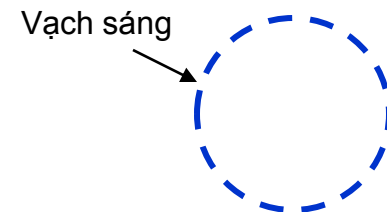
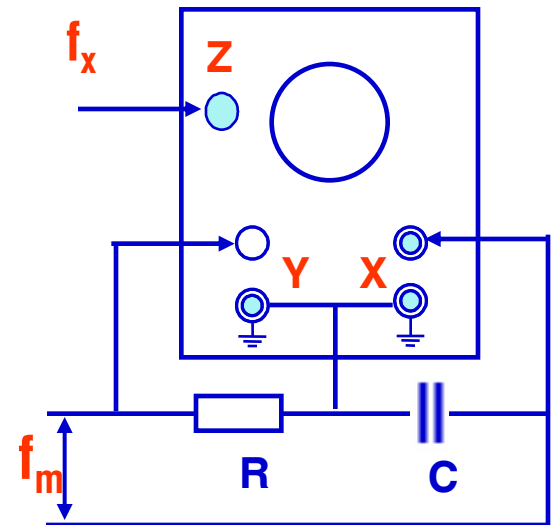
- Trên OSC của dao động ký sẽ xuất hiện một đường sáng có dạng hình tròn.

Tần số  $f_x$  được đưa vào cực điều khiển sáng tối của dao động ký (cổng Z)

Trên OSC sẽ xuất hiện những vạch sáng và tối xen kẽ nhau.

Đếm số vạch sáng hoặc tối  $n$ , ta xác định  $f_x$  theo công thức sau:

$$f_x = n \cdot f_m$$



Hình trên màn MHS

## 3.5.ĐO CÔNG SUẤT.

### 3.5.1.Khái niệm chung về đo công suất :

- Tham số công suất điện năng tiêu thụ của dòng điện hay công suất cao tần bức xạ của máy phát vô tuyến , công suất nguồn tín hiệu bơm vào sợi quang.v.v.Đều rất quan trọng.P quyết định đến khả năng cung cấp năng lượng hoặc cự ly thông tin.
- Phép đo công suất có dải đo rộng từ  $10(-exp18)W$  tới 1000MW.
- Dải tần của P đo rộng từ oHz tới Tetahz.
- Có nhiều phương pháp đo công suất khác nhau , được dùng cho từng dải tần và công suất của thiết bị.Đối với công suất cao tần thì có một số phương pháp sau:
  - +Phương pháp nhiệt lượng.
  - + Phương pháp chuyển đổi Hold.
  - + Phương pháp điện trở nhiệt.
  - + Phương pháp tác động áp suất của sóng điện từ.

## 3.5.ĐO CÔNG SUẤT.

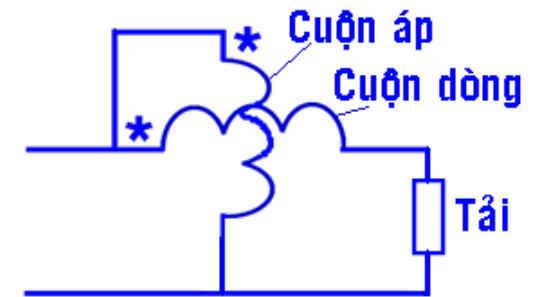
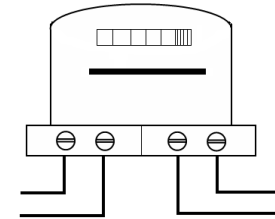
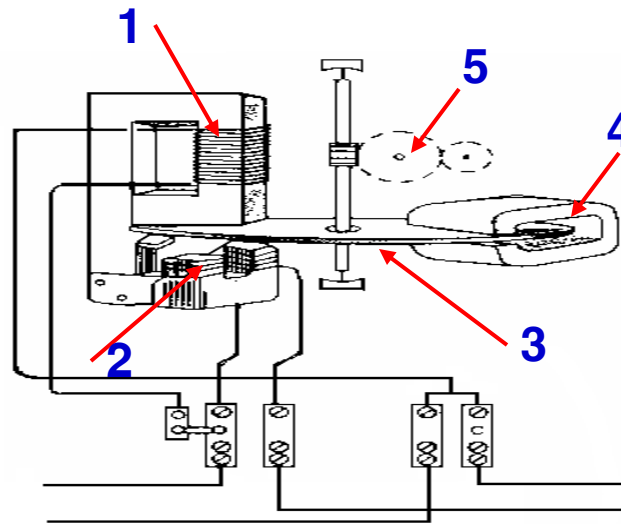
### 3.5.2. đo công suất điện năng tiêu thụ:

- Công tơ một pha :

Cấu tạo :

- 1.Mạch từ và cuộn điện áp
- 2.Mạch từ và cuộn dòng điện
- 3.Đĩa nhôm
- 4.Nam châm vĩnh cửu
- 5.Bộ đếm.

Ta có  $A=P.t$



Cuộn điện áp được quấn dây với tiết diện nhỏ và số vòng lớn và mắc song song với tải.Được chế tạo với điện áp định mức: 120V,240V,440V.

- Cuộn dòng điện được quấn dây với tiết diện lớn và số vòng nhỏ và mắc nối tiếp với tải. Được chế tạo với dòng điện định mức: 5A,10A,50A



**\*. Nguyên lý :**

Khi có dòng điện chạy qua tải và qua cuộn dòng sẽ sinh ra một từ thông  $\Phi_I$  xuyên qua đĩa nhôm tỷ lệ với  $I$  :

$$\Phi_I = k_i \cdot I$$

Khi đặt điện áp  $U$  vào cuộn điện áp, dòng  $I_U$  sẽ sinh ra một từ thông  $\Phi_U$  xuyên qua đĩa nhôm tỷ lệ với  $U$

$$\Phi_U = k_u \cdot U$$

Các từ thông này sẽ cảm ứng trong đĩa nhôm các SĐĐ  $e_1, e_2$ .

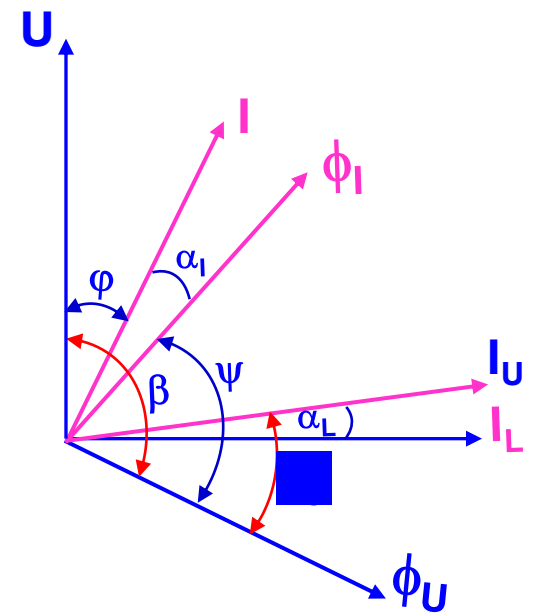
Vì đĩa nhôm là một mạch điện kín nên sinh ra các dòng điện cảm ứng  $I_{cu1}, I_{cu2}$  chạy trong đĩa nhôm.

Dòng  $I_{cu1}$  do  $\Phi_I$  tác dụng với  $\Phi_U$  tạo ra:

$$M_{q1} = k_1 \cdot \Phi_U \cdot I_{cu1} \cdot \sin \Psi$$

Dòng  $I_{cu2}$  do  $\Phi_U$  tác dụng với  $\Phi_I$  tạo ra:

$$M_{q2} = k_2 \cdot \Phi_I \cdot I_{cu2} \cdot \sin \Psi$$



- $\varphi$  là góc lệch pha giữa  $U, I$
- $\Phi$  là góc lệch pha giữa  $\Phi_U, \Phi_I$
- $\alpha_I$  là góc lệch pha giữa  $I, \Phi_I$
- $\beta$  là góc lệch pha giữa  $U, \Phi_U$

Mô men quay tác dụng lên đĩa nhôm :

$$\mathbf{Mq} = \mathbf{Mq1} + \mathbf{Mq2} = \mathbf{k.}\Phi. \Phi\mathbf{U.} \Phi\mathbf{I.sin}\Psi = \mathbf{k.} \Phi .\mathbf{ki.ku.U.I.sin}\Psi$$

Với :  $\Psi$  là góc lệch pha giữa  $\Phi\mathbf{U}$ ,  $\Phi\mathbf{I}$

Dưới tác dụng của  $Mq$ , đĩa nhôm sẽ quay từ trường của NCVC xuyên qua đĩa nhôm tạo ra một mô men cản  $MC$  tỷ lệ với tốc độ quay của đĩa nhôm :  $\mathbf{MC} = \mathbf{Kc.n}$

\_ Dưới tác dụng của  $Mq$  và  $MC$ , đĩa nhôm sẽ quay đều khi

$$Mq = MC. \text{ Ta có : } \mathbf{Kp.P} = \mathbf{Kc.n} \text{ suy ra } \mathbf{n} = \mathbf{Kp.P/Kc} = \mathbf{KA.P}$$

Đếm số vòng quay của đĩa nhôm trong một khoảng thời gian nào đó :

$$\mathbf{N} = \mathbf{n.t} = \mathbf{KA.P.t} = \mathbf{KA.A}$$

$N$  được bộ đếm đếm lại, với tỷ lệ kết cấu truyền động thích hợp, số chỉ trên bộ đếm sẽ chỉ trực tiếp điện năng tiêu thụ

### 3.5.3. ĐO CÔNG SUẤT CAO TẦN BẰNG PHƯƠNG PHÁP NHIỆT LƯỢNG

#### A. Sơ đồ khối của phương pháp.

Công suất nguồn cao tần cần đo.

CTN ;Thiết bị tỏa nhiệt.

MB nguồn nước: máy bơm nước làm mát.

Thiết bị đo nhiệt độ.

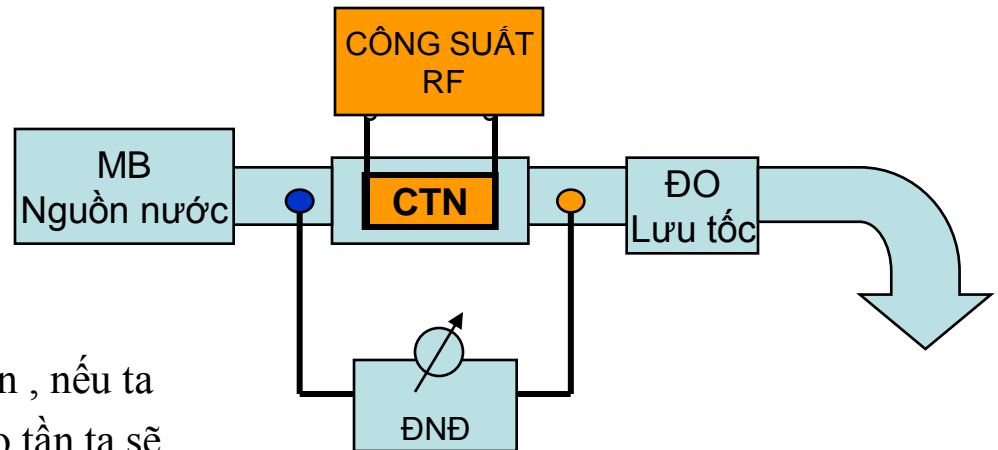
Thiết bị đo lưu tốc nước chảy .

#### B.Nguyên tắc đo:

Công suất RF càng cao thì tỏa nhiệt càng lớn , nếu ta đo được nhiệt lượng tỏa ra của máy phát cao tần ta sẽ tính được công suất của nó.

Gọi Q là nhiệt lượng tỏa ra của máy phát .ta có  $Q= v.(T1-T2).(*)$ ; T1 là nhiệt độ ở đầu vào T2 là nhiệt độ ở đầu ra.Nhiệt lượng tỏa ra từ một điện trở nhiệt :  $Q=0,24Iexp2.R.t= 0,24P.t (**)$

Từ (\*) & (\*\*) ta có :  $P=( V/t).( T1-T2)/0,24= 4,7.v.(T1-T2)$ ;V là thể tích, v là lưu tốc nước  $v=V/t$ , Phương pháp đo này có thể đo công suất từ 5- 1000W



### 3.5.4.ĐO CÔNG SUẤT BẰNG PHẦN TỬ HOLL.

#### A.Khái niệm về phần tử Holl.

Là một bản tinh thể bán dẫn mỏng đơn tinh thể.(si, hoặc gecmani)Với 2 thành cặp vuông góc với nhau là D & A.Cặp cực D được cấp nguồn DC hoặc AC.Ta cho một dòng điện cần đo công suất chạy vào một cuộn cảm ,nó tạo ra một cảm ứng từ vuông góc với bề mặt của miếng tinh thể .Kết quả ở cặp cực A xuất hiện một điện áp tỷ lệ với tích I và B.

#### B.Cách đo công suất.

Cặp điện cực D ta mắc một CCD từ điện.

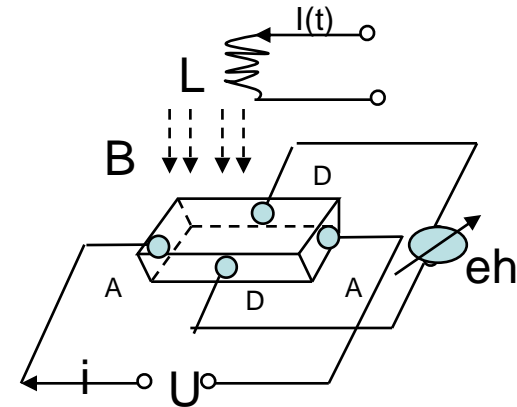
Eh xuất hiện khi ta cho I(t) chạy vào cuộn dây sẽ biến thành Id làm xoay kim chỉ thị cho ta kết quả tương ứng .kết quả này là P cao tần của dòng I(t).

Thật vậy ta có:

$$E_h = K_h \cdot B \cdot I = K_h \cdot U_t \cdot I_t = K \cdot P_t$$

#### C.Đặc điểm ứng dụng.

Dải tần rộng, không bị mất phối hợp trở kháng nên giảm sai số.Quán tính nhỏ ,cấu trúc đơn giản.Thường dùng đo công suất set trong ống dẫn sóng.



### 3.5.5 ĐO CÔNG SUẤT BẰNG TÁC ĐỘNG CƠ HỌC CỦA SÓNG .

#### A. Sơ đồ khối lược giản.

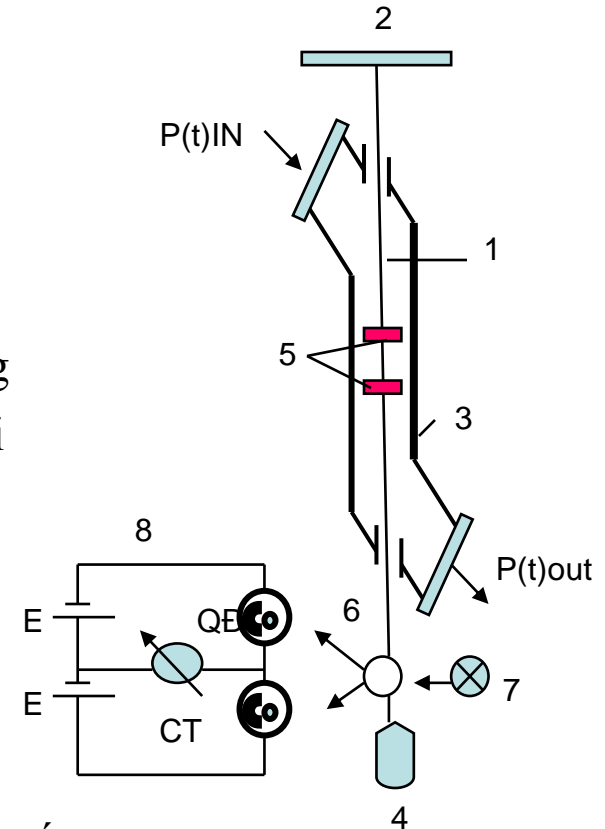
- 1: Sợi dây treo bằng thạch anh mảnh.
- 2: Đĩa chia độ.
- 3: Ống dẫn sóng.
- 4: Bộ phận giảm chấn.
- 5: Hai lá kim loại.
- 6: Gương phản chiếu.
- 7: Đèn chiếu sáng.
- 8: Hệ thống chỉ thị quang điện.

#### B. Nguyên tắc đo:

$P(t)$  truyền qua ống dẫn sóng sẽ tạo ra một áp suất lên thành ống phía trong của ống dẫn sóng được chế tạo dạng chất điện môi áp điện. Kết quả làm xuất hiện điện tích trái dấu trên thành ống đối diện. Điện tích này sẽ tạo ra điện trường tác động lên 2 lá kim loại đặt trong ống và tạo ra mô men quay, kết quả làm xoay gương phản chiếu ánh sáng qua tế bào quang điện tạo ra dòng trên chỉ thị .

#### C. Đặc điểm ứng dụng.

Có thể đo  $P$  cao tần từ vài mW tới hàng trăm KW. chịu tải tốt .  
Nhược điểm có sai số do mất phối hợp trở kháng.



## 3.6.ĐO ĐỘ SÂU ĐIỀU CHẾ.

- **3.6.1.Khái niệm về độ sâu điều chế.**

- Trong lĩnh vực thông tin liên lạc và phát thanh truyền hình kỹ thuật Analog, để truyền tải tin tức đi xa người ta đã thực hiện điều chế tin tức trên sóng mang cao tần.Để đánh giá độ thâm nhập của tin tức vào sóng mang dùng đại lượng về độ sâu điều chế .

- Tín hiệu AM:

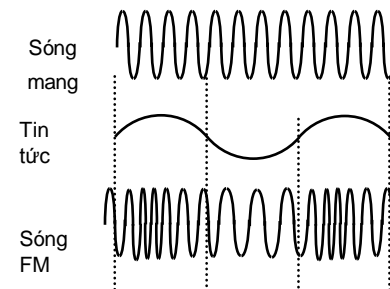
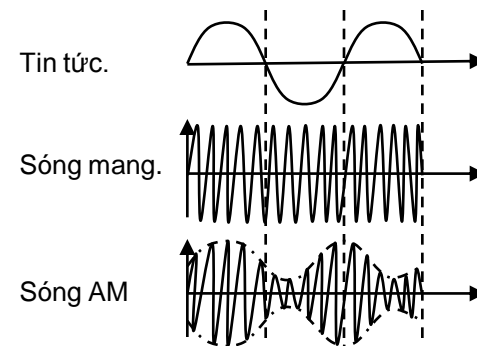
$$U_{am}(t) = [U_c + U_m \cdot \sin 2\pi f_m t] \cdot [\sin 2\pi f_c t]$$

Với tín hiệu AM có độ sâu  $m_A \leq 1$

- Tín hiệu FM:

$$U_{fm}(t) = U_c \cdot \sin [2\pi f_c t + U_m \cdot \sin 2\pi f_m t]$$

Với tín hiệu FM có độ sâu  $m_f$  .



### 3.6.2 ĐO ĐỘ SÂU ĐIỀU CHẾ AM

#### A. Phương pháp quét thẳng.

MHS thiết lập ở chế độ quét liên tục đồng bộ trong, tín hiệu AM đưa tới cổng Y, điện áp quét răng cưa đưa tới cổng X.

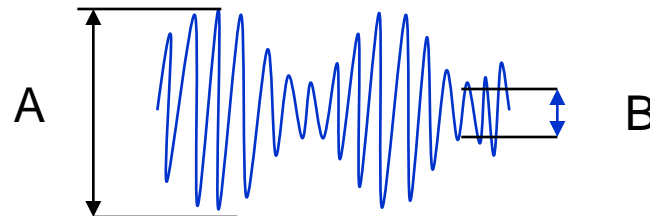
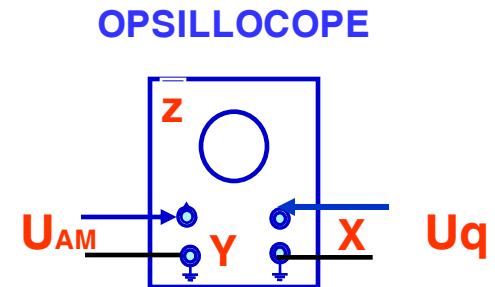
Hình ảnh trên MHS như hình vẽ :

Cách tính như sau:

Đo chiều cao của kích thước A, B đơn vị mm,

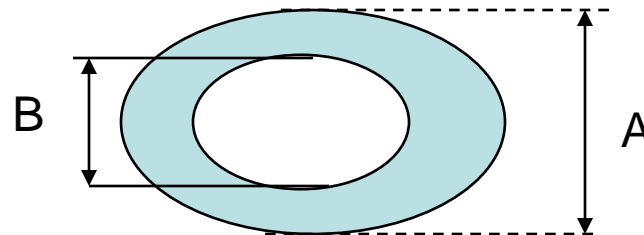
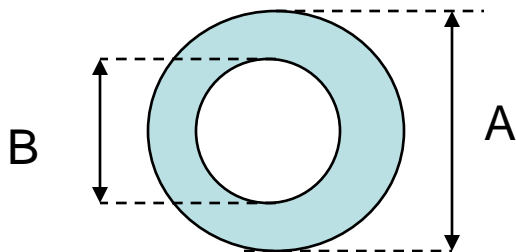
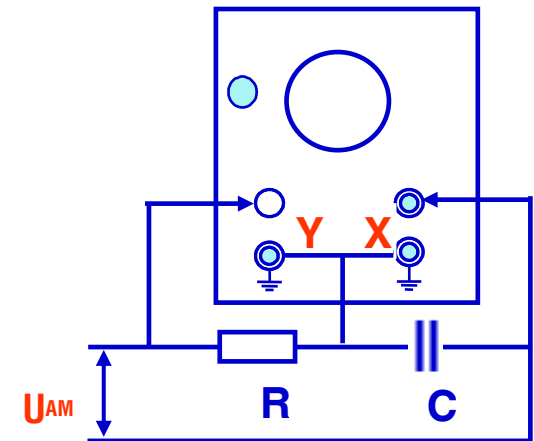
sau đó tính theo công thức:

$$m = (A - B) / A + B \cdot 100\%$$



### 3.6.2 ĐO ĐỘ SÂU ĐIỀU CHẾ AM

- **B. Phương pháp quét tròn.**
- MHS thiết lập ở chế độ khuếch đại, tín hiệu AM đưa tới cổng Y và qua mạch di pha 90 độ RC rồi đưa tới cổng X.
- Hình ảnh trên MHS như hình vẽ :
- Cách tính như sau:
- Đo chiều cao của kích thước A, B đơn vị mm,
- sau đó tính theo công thức:
- $m = (A - B) / (A + B) \cdot 100\%$





### 3.6.2 ĐO ĐỘ SÂU ĐIỀU CHẾ AM

#### B. Phương pháp quét sin.

MHS thiết lập ở chế độ khuếch đại, tín hiệu AM đưa tới cổng Y

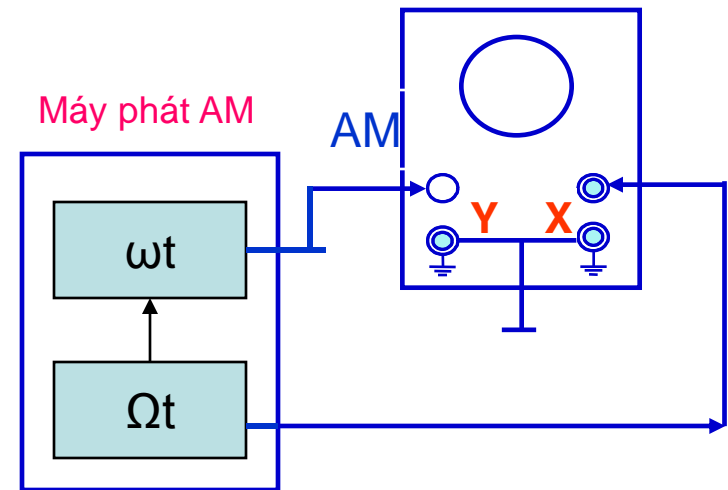
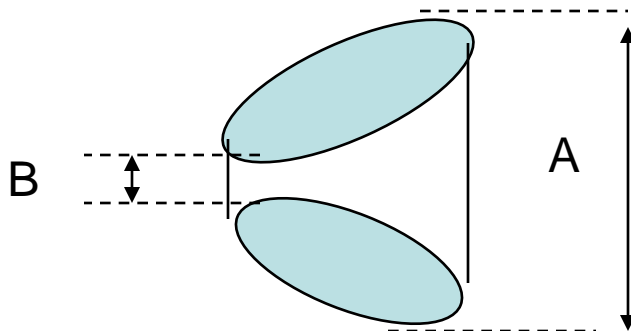
Điện áp  $U(\Omega t)$  đưa vào cổng X

Hình ảnh trên MHS như hình vẽ :

Cách tính như sau:

Đo chiều cao của kích thước A, B đơn vị mm, sau đó tính theo công thức:

$$m = \frac{A-B}{A+B} \cdot 100\%$$



### 3.6.3 ĐO ĐỘ SÂU FM

#### A. Sơ đồ khối .

MHS làm việc ở chế độ khuếch đại

Tín hiệu FM đưa tới cổng Y

Điện áp quét từ bộ tạo dao động phụ DĐP đưa vào cổng X Qua bộ xoay pha.

#### B. Cách đo như sau:

Khi khóa K mở Vào Y là sóng mang cao tần  $\omega t$

Chưa điều chế, vào X là dao động phụ  $\omega_p$

.hình ảnh là đường litxazu.

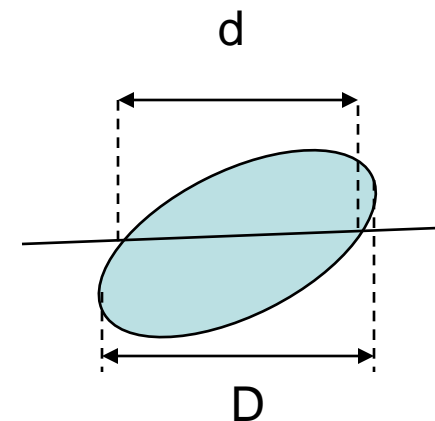
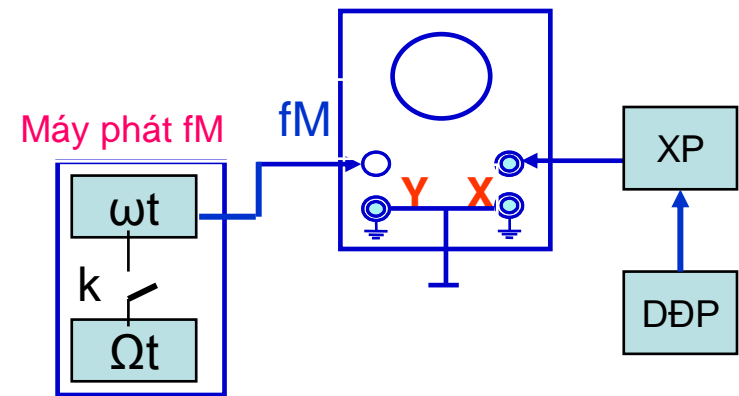
Điều chỉnh  $\omega_p$  cho xuất hiện hình Elip để  $\omega t = \omega_p$

Điều chỉnh xoay pha sao cho nhận được một đường thẳng khi đó pha của 2 dao động trùng nhau.

Đóng khóa k đưa U(fm) vào cổng Y. Trên màn hình xuất hiện hình như hình vẽ

Cách tính mf như sau:

$$mf = \arcsin (d/D) \cdot 100\%$$

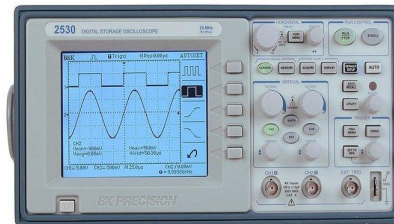


## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CUỐI CHƯƠNG

1. Đặc điểm, phương pháp đo dòng điện? điện áp?
2. Các phương tiện đo dòng? điện áp?
3. Đặc điểm, phương pháp đo tần số?
4. Đặc điểm, phương pháp đo góc lệch pha?
5. Đặc điểm, phương pháp đo công suất?
6. Đặc điểm, phương pháp đo độ sâu điều chế AM?, FM?

# CHƯƠNG 4: SỬ DỤNG MỘT SỐ THIẾT BỊ ĐO THÔNG DỤNG

1. Đồng hồ vạn năng.
2. Máy hiện sóng.
3. Máy tạo tín hiệu.
4. Câu hỏi cuối chương.



## 4.1 ĐỒNG HỒ VẠN NĂNG.



## ĐO ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU

- Quay công tắc sang vị trí DC.V
- Trị số cần đo là: 0.1V, 0.5V, 2.5V, 10V, 50V, 250V và 1000V
- Que đo đồng hồ đặt như hình
- Chú ý: Cần đặt vị trí công tắc phù hợp với điện áp một chiều cần đo



## ĐO ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU

- Quay công tắc sang vị trí AC.V
- Trị số đo điện áp xoay chiều là: 10V, 50V, 250V, 1000V
- Que đo đồng hồ đặt như hình
- Chú ý: Cần đặt vị trí công tắc phù hợp với điện áp xoay chiều cần đo



## ĐO DÒNG ĐIỆN XOAY CHIỀU

- Quay công tắc sang vị trí AC.15A
- Trị số đo dòng điện xoay chiều là: 15A
- Que đo đồng hồ đặt như hình
- Chú ý: Cần đặt vị trí công tắc phù hợp với dòng điện xoay chiều cần đo





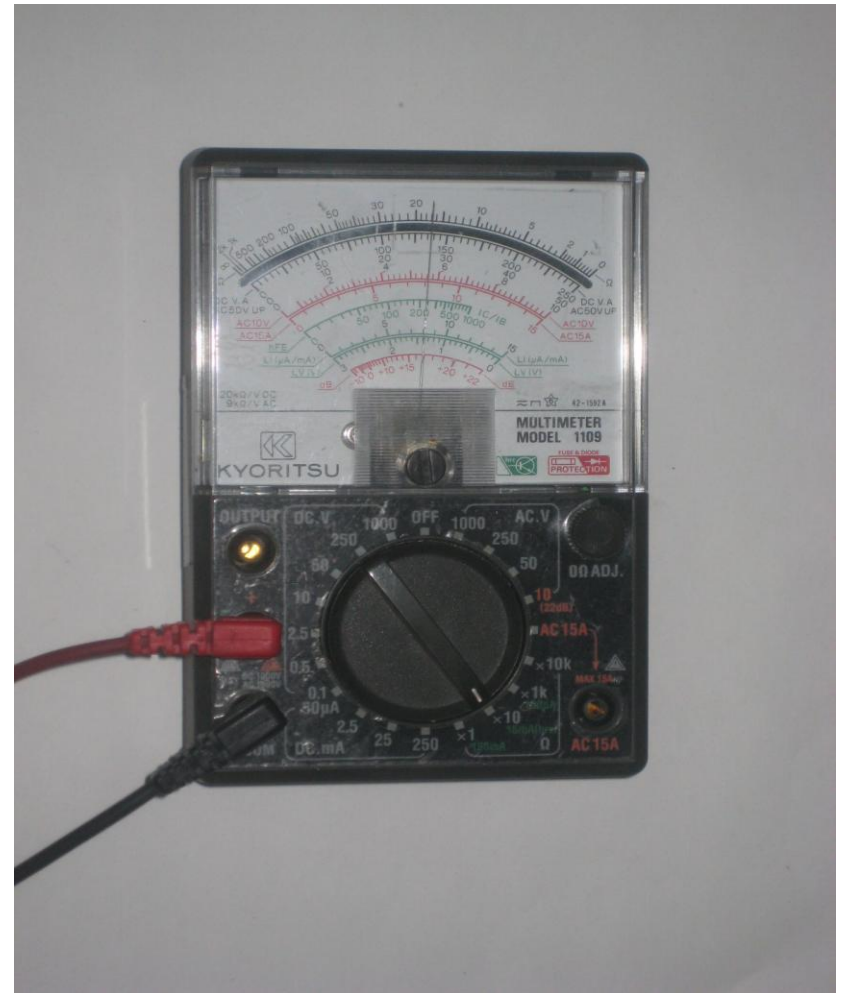
## ĐO DÒNG ĐIỆN MỘT CHIỀU mA

- Quay công tắc sang vị trí DC.mA
- Trị số đo dòng điện một chiều là: 0.5mA, 2.5mA, 25mA, 250mA
- Que đo đồng hồ đặt như hình
- Chú ý: Cần đặt vị trí công tắc phù hợp với dòng điện một chiều cần đo



## ĐO ĐIỆN TRỞ

Cho chuyển mạch về vị  
Trí đo ôm.  
Lựa chọn thang đo cho  
phù hợp , sao cho kim chỉ  
một giá trị rõ rệt để dễ đọc  
và cho sai số nhỏ.



# ĐỒNG HỒ VAN NĂNG HIỆN SỐ ĐO ĐIỆN ÁP

Chuyển mạch về vị trí  
Đo áp.



# ĐO ĐIỆN TRỞ

Chuyển mạch về vị trí  
Đo ôm

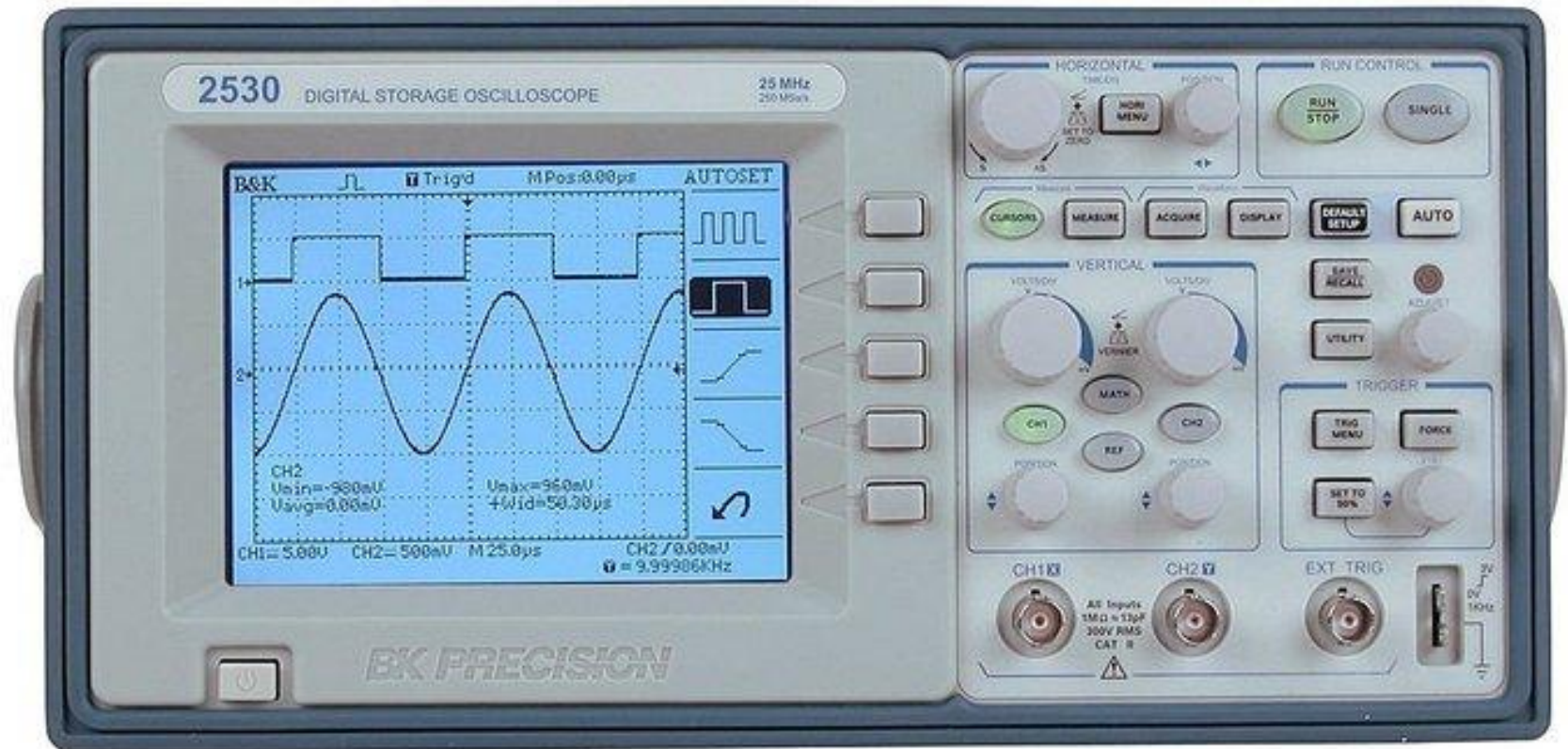


# ĐO DÒNG

- Chuyển mạch về vị trí đo dòng



## 4.2.MÁY HIỆN SÓNG.



# GIỚI THIỆU CÁC NÚM CHỨC NĂNG.

## **A.Panel phía trước:**

### **1. CRT:**

POWER: Công tắc chính của máy, khi bật công tắc lên thì đèn led sẽ sáng

INTEN: Điều chỉnh độ sáng của điểm hoặc tia

FOCUS: Điều chỉnh độ sắc nét của hình

TRACE ROTATION: Điều chỉnh tia song song với đường kẻ ngang trên màn hình

### **2. Vertical:**

CH1 (X): Đầu vào vertical CH1 là trục X trong chế độ X-Y

CH2 (Y): Đầu vào vertical CH2 là trục Y trong chế độ X-Y

AC-GND-DC: Chọn lựa chế độ của tín hiệu vào và khuếch đại dọc

- AC nối AC

- GND khuếch đại dọc tín hiệu vào được nối đất và tín hiệu vào được ngắt ra

## GIỚI THIỆU CÁC NÚM CHỨC NĂNG.

- - DC nối DC  
VOLTS/DIV: Chọn lựa độ nhạy của trục dọc từ 5mV/DIV đến 5V/DIV, tổng cộng là 10 tầm  
VAIRIABLE: Tinh chỉnh độ nhạy với giá trị  $> 1/2.5$  giá trị đọc được. Độ nhạy được chỉnh đến giá trị đặc trưng tại vị trí CAL.  
POSITION: Dùng để điều chỉnh vị trí của tia  
VERT MODE: Lựa chọn kênh
  - CH1: Chỉ có 1 kênh CH1
  - CH1: Chỉ có 1 kênh CH1
  - DUAL: Hiện thị cả hai kênh
  - ADD: Thực hiện phép cộng (CH1 + CH2) hoặc phép trừ (CH1-CH2) (phép trừ chỉ có tác dụng khi CH2 INV được nhấn).ALT/CHOP: Khi nút này được nhả ra trong chế độ Dual thì kênh 1 và kênh 2 được hiển thị một cách luân phiên, khi nút này được ấn vào trong chế độ Dual, thì kênh 1 và kênh 2 được hiển thị đồng thời.



## GIỚI THIỆU CÁC NÚM CHỨC NĂNG.

- **3. Triggering:**

EXT TRIG IN : Đầu vào Trigger ngoài, để sử dụng đầu vào này, ta điều chỉnh Source ở vị trí EXT

SOURCE: Dùng để chọn tín hiệu nguồn trigger (trong hay ngoài), và tín hiệu đầu vào EXT TRIG IN

- CH1: Chọn Dual hay Add ở Vert Mode, chọn CH1 để lấy tín hiệu nguồn Trigger bên trong.

- CH2: Chọn Dual hay Add ở Vert Mode, chọn CH2 để lấy tín hiệu nguồn Trigger bên trong.

- TRIG.ALT: Chọn Dual hay Add ở Vert Mode, chọn CH1 hoặc CH2 ở SOURCE, sau đó nhấn TRIG.ALT, nguồn Trigger bên trong sẽ hiển thị luân phiên giữa kênh 1 và kênh 2.

## GIỚI THIỆU CÁC NÚM CHỨC NĂNG.

- - LINE: Hiển thị tín hiệu Trigger từ nguồn xoay chiều
  - EXT: Chọn nguồn tín hiệu Trigger bên ngoài tại đầu vào EXT TRIG IN
  - SLOPE: Nút Trigger Slope
    - o “+” Trigger xảy ra khi tín hiệu Trigger vượt quá mức Trigger theo hướng dương
    - o “-” Trigger xảy ra khi tín hiệu Trigger vượt quá mức Trigger theo hướng âm.
  - TRIGGER MODE: Lựa chọn chế độ Trigger
    - o Auto: Nếu không có tín hiệu Trigger hoặc tín hiệu Trigger nhỏ hơn 25 Hz thì mạch quét phát ra tín hiệu quét tự do mà không cần đến tín hiệu Trigger.
    - o Norm: Khi không có tín hiệu Trigger thì mạch quét ở chế độ chờ và không có tín hiệu nào được hiển thị.
    - o TV-V: Dùng để quan sát tín hiệu dọc của hình ảnh trong TV
    - o TV-H: Dùng để quan sát tín hiệu ngang của hình ảnh trong TV

## GIỚI THIỆU CÁC NÚM CHỨC NĂNG.

- **4. Time base:**

- TIME/DIV: Cung cấp thời gian quét từ 0.2 us/ vạch đến 0.5 s/vạch với tổng cộng 20 bước.
- X-Y: Dùng oscilloscope ở chế độ X-Y
- SWP.VAR: Núm điều khiển thang chạy của thời gian quét được sử dụng khi CAL và thời gian quét được hiệu chỉnh giá trị đặt trước tại TIME/DIV. Thời gian quét của TIME/DIV có thể bị thay đổi một cách liên tục khi trục không ở đúng vị trí CAL. Xoay núm điều khiển đến vị trí CAL và thời gian quét được đặt trước giá trị tại TIME/DIV. Vận núm điều khiển ngược chiều kim đồng hồ đến vị trí cuối cùng để giảm thời gian quét đi 2.5 lần hoặc nhiều hơn.
- POSITION: Dùng để chỉnh vị trí của tia theo chiều ngang.
- X10 MAG: Phóng đại 10 lần

## GIỚI THIỆU CÁC NÚM CHỨC NĂNG.

- CAL: Cung cấp tín hiệu 2Vp-p, 1KHz, xung vuông dùng để chỉnh que đo  
GND: Tiếp đất thiết bị với sườn máy.  
**B. Panel sau:**  
Z AXIS INPUT: Cho điều biến mật độ  
CH1 SIGNAL OUTPUT: Cấp áp 20mV/vạch từ máy đếm tần  
AC POWER: Nguồn xoay chiều  
FUSE: Cầu chì

## CÁCH THỨC VẬN HÀNH.

### 1. Hoạt động cơ bản

#### 1. Thao tác khi một kênh hoạt động:

trước khi khởi động máy

phải đảm bảo điện áp đầu

vào đúng yêu cầu. Sau đó

thực hiện việc bật các công

tắc và nhấn nút theo

bảng sau:

Thành phần	Thiết lập	Thành phần
power	off	slope
inten	ở giữa	Trig.alt
focus	ở giữa	Trigger.mode
Vert mode	ch1	Time/div
Alt/chop	Nhả ra	position
Volts/div	0,5/div	x10mag
Vaiable	cal	
Ac-gnd-dc	gnd	
source	ch1	

# CÁCH THỨC VẬN HÀNH.

## 1. Hoạt động cơ bản

Sau khi thiết lập công tắc và các nút như trên thì nối dây điện vào máy và thực hiện các thao tác sau:

- 1) Nhấn nút Power và bảo đảm rằng đèn led bật sáng. Trong vòng 20 s sẽ có tia xuất hiện trên màn hình. Nếu không thấy tia xuất hiện trên màn hình trong vòng 60s thì nên kiểm tra lại các bước thiết lập công tắc ở trên.
  - 2) Điều chỉnh độ sáng tối và độ sắc nét bằng nút Focus và Inten
  - 3) Điều chỉnh tia ở đường ngang trung tâm bằng nút Trace Rotation và nút Position
  - 4) Nối que đo vào đầu Ch1 và 2Vp-p Cal
  - 5) Đặt công tắc AC-GND-DC ở vị trí AC , Dạng sóng sẽ xuất hiện trên màn hình
  - 6) Điều chỉnh Focus để có được hình ảnh rõ nét.
  - 7) Hiển thị dạng sóng rõ ràng hơn bằng cách chỉnh nút Volts/Div và Time/Div tới các vị trí khác nhau
  - 8) Chỉnh nút Position ngang và dọc để đọc được điện áp cũng như thời gian dễ dàng hơn
- Ghi chú: Các mô tả trên là hoạt động đơn giản cho kênh Ch1, đối với kênh Ch2 thì hoạt động cũng tương tự.

# CÁCH THỨC VẬN HÀNH.

## 1. Hoạt động cơ bản

### 2. Thao tác khi hai kênh hoạt động:

Đặt Vert Mode ở Dual, nối hai đầu dò vào Cal, đặt AC-GND-DC ở AC và chỉnh núm Position để thấy được hai tia riêng biệt.

### 3. X-Y:

Đặt núm chuyển đổi Time/Div sang X-Y để kích hoạt máy hoạt động ở chế độ X-Y.

Trục X tín hiệu: Kênh Ch1

Trục Y tín hiệu: Kênh Ch2

Ghi chú: Khi tần số cao được hiển thị trong chế độ X-Y, phải chú ý đến sự khác nhau về pha cũng như về tần số giữa hai trục X-Y

Chế độ X-Y cho phép Oscilloscope biểu diễn nhiều phép đo mà các cách quét thông thường không thực hiện được. CRT trở thành đồ thị điện tử của hai điện áp tức thời. Hiển thị có thể so sánh trực tiếp hai điện áp như là một Vectorscope hiển thị thanh màu chuẩn của video. Tuy nhiên chế độ

## 4.3.MÁY TẠO TÍN HIỆU





## THAM SỐ KỸ THUẬT.

Dải tần hoạt động : 9kHz-3GHz

Độ ổn định thời gian +/- 1ppm

Độ phân giải tần số: 0.1Hz

Độ chính xác tín hiệu đầu ra:-127 đến 13dBm (có thể thiết lập được 20dBm)

Dải tần số LF:20Hz-80KHz

Nhiều pha: -95dBc/Hz ( $F_c = 1\text{GHz}$  tại vị trí 20kHz lệch)

Các dạng điều chế :AM, FM, PM

Màn hình hiển thị màu 6.5 inch TFT

Giao diện RS-232 hoặc USB

Nhiệt độ môi trường làm việc bình thường:0°C đến 55°C

USB kết nối và hỗ trợ bộ nhớ flash

## CÁCH THỨC VẬN HÀNH.

Trên mặt máy có các nút chức năng tương ứng với từng chế độ tạo tín hiệu. Khi làm việc với tín hiệu nào ta nhấn nút trên mặt tương ứng với nó.

**A. Tạo dao động sin.**

**B. Tạo tín hiệu AM.**

**C. Tạo tín hiệu FM.**

**D. Tạo tín hiệu PM.**

Ngoài ra còn cho ta các mức chọn biên độ tín hiệu.

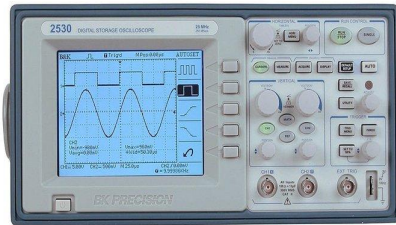
Độ sâu điều chế có thể thay đổi với các mức .

Chọn tần số sóng mang.

Chọn kết nối với thiết bị ngoại vi.

## 4.4.CÂU HỎI CUỐI CHƯƠNG 4

1. Trình bày cách sử dụng đồng hồ đo V-A- $\Omega$ .
2. Trình bày vai trò của các nút nút trên mặt máy hiện sóng?
3. Trình bày cách sử dụng máy hiện sóng dùng một kênh?
4. . Trình bày cách sử dụng máy hiện sóng dùng hai kênh?
5. Trình bày cách sử dụng máy tạo tín hiệu khi tạo tín hiệu AM?
6. Trình bày cách sử dụng máy tạo tín hiệu khi tạo tín hiệu FM?



***GIÁO TRÌNH KỸ THUẬT  
ĐO - TẬP 1 - ĐO ĐIỆN***



**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**Nguyễn Ngọc Tân - Ngô Văn Kỳ**

**KỸ THUẬT ĐO  
TẬP 1  
ĐO ĐIỆN**

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - 2005**

# MỤC LỤC

<i>Lời mở đầu</i>	7
<i>Chương 1</i>	
<b>KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG</b>	9
1.1 Đại lượng đo lường	9
1.2 Chức năng và đặc tính của thiết bị đo lường	10
1.3 Chuẩn hóa trong đo lường	11
1.4 Chất lượng của đo lường	12
1.5 Những phần tử trong thiết bị đo điện tử	20
1.6 Lợi ích thiết thực của điện tử trong đo lường	21
1.7 Sự chọn lựa, tính cẩn thận và cách dùng thiết bị đo	21
1.8 Hệ thống đo lường	22
<i>Chương 2</i>	
<b>ĐO ĐIỆN ÁP VÀ DÒNG ĐIỆN</b>	26
2.1 Cơ cấu chỉ thị kim	26
2.2 Đo dòng một chiều (DC) và xoay chiều (AC)	35
2.3 Đo điện áp AC và DC	42
2.4 Đo điện áp DC bằng phương pháp biến trở	48
2.5 Vôn-kế điện tử đo điện áp DC	52
2.6 Vôn-kế điện tử đo điện áp AC	61
2.7 Ampe-kế điện tử đo dòng AC và DC	70
Bài tập	71
<i>Chương 3</i>	
<b>ĐO ĐIỆN TRỞ</b>	82
3.1 Đo điện trở bằng Vôn-kế và Ampe-kế	82
3.2 Đo điện trở dùng phương pháp đo điện áp bằng biến trở	84
3.3 Mạch đo điện trở trong Ohm-kế	84
3.4 Cầu Wheatstone đo điện trở	91
3.5 Cầu đôi Kelvin	94
3.6 Đo điện trở có trị số lớn	96
3.7 Đo điện trở đất	105
3.8 Đo điện trở trong V.O.M. điện tử	111
Bài tập	118
<i>Chương 4</i>	

<b>ĐO ĐIỆN DUNG, ĐIỆN CẢM VÀ HỖ CẢM</b>	125
4.1 Dùng Vôn-kế, Ampe-kế đo điện dung, điện cảm và hồ cảm	125
4.2 Dùng cầu đo điện dung và điện cảm	128
4.3 Đo hồ cảm	139
Bài tập	141
<i>Chương 5</i>	
<b>ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG</b>	146
5.1 Đo công suất một chiều	146
5.2 Đo công suất xoay chiều một pha	148
5.3 Đo công suất tải ba pha	155
5.4 Đo công suất phản kháng của tải	159
5.5 Đo điện năng	162
5.6 Đo hệ số công suất	167
5.7 Thiết bị chỉ thị đồng bộ hóa ( <i>Synchronoscope</i> )	171
5.8 Tần số kế	173
<i>Chương 6</i>	
<b>ĐO ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC VẬT THỂ RẮN</b>	178
6.1 Cảm biến vị trí và sự dịch chuyển	178
6.2 Cảm biến điện trở biến dạng	202
6.3 Cảm biến đo tốc độ	207
6.4 Cảm biến đo lực, trọng lượng	215
6.5 Cảm biến đo ngẫu lực	221
6.6 Đo gia tốc, độ rung và sự va chạm	223
<i>Chương 7</i>	
<b>ĐO NHIỆT ĐỘ</b>	228
7.1 Thang đo nhiệt độ	228
7.2 Đo nhiệt độ bằng điện trở	228
7.3 Đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt điện	234
7.4 Dùng diod và transistor đo nhiệt độ	243
7.5 Đo nhiệt độ bằng IC	246
7.6 Dùng cảm biến thạch anh đo nhiệt độ	248
<i>Chương 8</i>	
<b>ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC CHẤT LỎNG</b>	255

8.1 Đo vận tốc chất lỏng	255
8.2 Lưu lượng kế	264
8.3 Đo và dò mực chất lỏng	269
<i>Chương 9</i>	
ĐO ĐẠI LƯỢNG QUANG	273
9.1 Các đặc tính riêng của cảm biến quang	273
9.2 Điện trở quang	276
9.3 Diod quang	284
9.4 Transistor quang	291
9.5 Cảm biến phát xạ quang	296
<i>Chương 10</i>	
ĐAO ĐỘNG KÝ, TIA ÂM CỰC VÀ MÁY GHI X-Y	310
10.1 Ống phóng điện tử (CRT)	310
10.2 Các khối chức năng trong dao động ký	314
10.3 Trình bày tín hiệu trên màn ảnh của dao động ký	317
10.4 Dao động ký hai kênh	321
10.5 Thanh đo ( <i>Probe</i> ) của dao động ký	323
10.6 Bộ tạo trễ	325
10.7 Ứng dụng của dao động ký	327
10.8 Vôn kế tự ghi kết quả ( <i>Voltmeter Recorder</i> )	332
10.9 Máy ghi trên hệ trục X - Y ( <i>X - Y recorder</i> )	333
Phụ lục	333
<i>Tài liệu tham khảo</i>	343





*Chúng tôi mong nhận được nhiều ý kiến đóng góp của quý đồng nghiệp, các độc giả để lần tái bản cuốn sách được hoàn thiện hơn.*

*Xin chân thành cảm ơn các bạn đồng nghiệp, Bộ môn Cơ sở Kỹ thuật Điện - Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa đã giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi cho chúng tôi hoàn thành quyển sách này.*

*Địa chỉ: Bộ môn Cơ sở Kỹ thuật Điện - Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP HCM - 268 Lý Thường Kiệt, Q10. ĐT: (08) 8647685. Email: nntan@hcmut.edu.vn*

*nvky@hcmut.edu.vn*

**Nguyễn Ngọc Tân - Ngô Văn Kỳ**

### 1.4.2 Đặc tính tĩnh (*static*)

Tổng quát, đặc tính tĩnh của thiết bị đo là đặc tính có được khi thiết bị đo được sử dụng đo các đại lượng có điều kiện không thay đổi trong một quá trình đo. Tất cả các đặc tính tĩnh của cách thức đo có được nhờ một quá trình định chuẩn.

Một số đặc tính được diễn tả như sau:

- Mức độ chính xác (sai số)
- Độ phân giải: khoảng chia nhỏ nhất để thiết bị đo đáp ứng được
- Độ nhạy
- Độ sai biệt của trị số đo được với trị số tin cậy được
- Trị số đo chấp nhận được qua xác suất của trị số đo.

### 1.4.3 Định nghĩa sai số trong đo lường

Đo lường là sự so sánh đại lượng chưa biết (đại lượng đo) với đại lượng được chuẩn hóa (đại lượng mẫu hoặc đại lượng chuẩn). Như vậy công việc đo lường là nối thiết bị đo vào hệ thống được khảo sát, kết quả đo các đại lượng cần thiết thu được trên thiết bị đo.

Trong thực tế khó xác định trị số thực các đại lượng đo. Vì vậy trị số đo được cho bằng thiết bị đo, được gọi là trị số tin cậy được (*expected value*). Bất kỳ đại lượng đo nào cũng bị ảnh hưởng bởi nhiều thông số. Do đó kết quả đo ít khi phản ánh đúng trị số tin cậy được. Cho nên có nhiều hệ số (*factor*) ảnh hưởng trong đo lường liên quan đến thiết bị đo. Ngoài ra có những hệ số khác liên quan đến con người sử dụng thiết bị đo. Như vậy độ chính xác của thiết bị đo được diễn tả dưới hình thức sai số.

### 1.4.4 Các loại sai số

**Sai số tuyệt đối:**  $e = Y_n - X_n$

$e$  - sai số tuyệt đối;  $Y_n$  - trị số tin cậy được;  $X_n$  - trị số đo được

**Sai số tương đối (tính theo %):**  $e_r = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| 100\%$

**Độ chính xác tương đối:**  $A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$

Độ chính xác tính theo %:  $a = 100\% - e_r = (A \times 100\%)$

*Ví dụ:* điện áp hai đầu điện trở có trị số *tin cậy* được là 50V. Dùng vôn-kế đo được 49V.

Như vậy sai số tuyệt đối:  $e = 1V$

Sai số tương đối:  $e_r = \frac{1V}{50V} 100\% = 2\%$

Độ chính xác:  $A = 1 - 0,02 = 0,98$ ,  $a = 98\% = 100\% - 2\%$

**Tính chính xác (precision):**  $1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{X_n} \right|$

$\bar{X}_n$  - trị số trung bình của  $n$  lần đo.

*Ví dụ:*  $X_n = 97$ , trị số đo được

$\bar{X}_n = 101,1$  trị số trung bình của 10 lần đo

Tính chính xác của cách đo:  $1 - \left| \frac{97 - 101,1}{101,1} \right| = 96\% \Rightarrow 96\%$

**Sai số chủ quan:** Một cách tổng quát sai số này do lỗi lầm của người sử dụng thiết bị đo và phụ thuộc vào việc đọc sai kết quả, hoặc ghi sai, hoặc sử dụng sai không đúng theo qui trình hoạt động.

**Sai số hệ thống (systematic error)** phụ thuộc vào thiết bị đo và điều kiện môi trường.

**Sai số do thiết bị đo:** các phần tử của thiết bị đo, có sai số do công nghệ chế tạo, sự lão hóa do sử dụng. Giảm sai số này cần phải bảo trì định kỳ cho thiết bị đo.

**Sai số do ảnh hưởng điều kiện môi trường:** cụ thể như nhiệt độ tăng cao, áp suất tăng, độ ẩm tăng, điện trường hoặc từ trường tăng đều ảnh hưởng đến sai số của thiết bị đo lường. Giảm sai số này bằng cách giữ sao cho điều kiện môi trường ít thay đổi hoặc bổ chính (*compensation*) đối với nhiệt độ và độ ẩm. Và dùng biện pháp bảo vệ chống ảnh hưởng tĩnh điện và từ trường nhiễu. Sai số hệ thống chịu ảnh hưởng khác nhau ở trạng thái tĩnh và trạng thái động:

□ Ở trạng thái tĩnh sai số hệ thống phụ thuộc vào giới hạn của thiết bị đo hoặc do qui luật vật lý chi phối sự hoạt động của nó.

□ Ở trạng thái động sai số hệ thống do sự không đáp ứng theo tốc độ thay đổi nhanh theo đại lượng đo.

**Sai số ngẫu nhiên (random error):** Ngoài sự hiện diện sai số do chủ quan trong cách thức đo và sai số hệ thống thì còn lại là *sai số ngẫu nhiên*. Thông thường sai số ngẫu nhiên được thu thập từ một số lớn những ảnh hưởng nhiễu

được tính toán trong đo lường có độ chính xác cao. Sai số ngẫu nhiên thường được phân tích bằng phương pháp thống kê.

*Ví dụ:* giả sử điện áp được đo bằng một vôn-kế được đọc cách khoảng 1 phút. Mặc dù vôn-kế hoạt động trong điều kiện môi trường không thay đổi, được chuẩn hóa trước khi đo và đại lượng điện áp đó xem như không thay đổi, thì trị số đọc của vôn-kế vẫn có thay đổi *chút ít*. Sự thay đổi này không được hiệu chỉnh bởi bất kỳ phương pháp định chuẩn nào khác, vì do sai số ngẫu nhiên gây ra.

#### 1.4.5 Các nguồn sai số

Thiết bị đo không đo được trị số chính xác vì những lý do sau:

- Không nắm vững những thông số đo và điều kiện thiết kế
- Thiết kế nhiều khuyết điểm
- Thiết bị đo hoạt động không ổn định
- Bảo trì thiết bị đo kém
- Do người vận hành thiết bị đo không đúng
- Do những giới hạn của thiết kế

#### 1.4.6 Đặc tính động

*Một số rất ít thiết bị đo đáp ứng tức thời* ngay với đại lượng đo thay đổi. Phần lớn nó *đáp ứng chậm* hoặc không theo kịp sự thay đổi của đại lượng đo. Sự chậm chạp này phụ thuộc đặc tính của thiết bị đo như tính quán tính, nhiệt dung hoặc điện dung... được thể hiện qua thời gian trễ của thiết bị đo. Do đó sự hoạt động ở trạng thái động hoặc trạng thái giao thời của thiết bị đo cũng quan trọng như trạng thái tĩnh.

Đối với đại lượng đo có ba dạng thay đổi như sau:

- Thay đổi có dạng hàm bước theo thời gian
- Thay đổi có dạng hàm tuyến tính theo thời gian
- Thay đổi có dạng hàm điều hòa theo thời gian.

*Đặc tuyến động của thiết bị đo*

- Tốc độ đáp ứng
- Độ trung thực
- Tính trễ
- Sai số động.

⇒ **Đáp ứng động ở bậc zero** (bậc không)

Một cách tổng quát tín hiệu đo và tín hiệu ra của thiết bị đo được diễn tả theo phương trình sau đây:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n x_o}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_o}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_0 x_o &= \\ = b_m \frac{d^m x_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_i}{dt} + b_0 x_o \end{aligned}$$

$x_o$  - tín hiệu ra của thiết bị đo;  $x_i$  - tín hiệu đo

$a_o \div a_n$  - thông số của hệ thống đo giả sử không đổi

$b_o \div b_n$  - thông số của hệ thống đo giả sử không đổi.

Khi  $a_o, b_o$  khác không ( $\neq 0$ ) thì các giá trị  $a, b$  khác bằng không ( $= 0$ ).

Phương trình vi phân còn lại:

$$a_o x_o = b_o x_i; \quad x_o = \frac{b_o}{a_o} x_i; \quad K = \frac{b_o}{a_o} : \text{độ nhạy tĩnh}$$

Như vậy đây là trường hợp đại lượng vào và đại lượng ra không phụ thuộc vào thời gian, là điều kiện lý tưởng của trạng thái động. Ví dụ như sự thay đổi vị trí con chạy của biến trở tuyến tính theo đại lượng đo.

⇒ **Đáp ứng động ở bậc nhất**

Khi các giá trị  $a_1, b_1, a_o, b_o$  khác không ( $\neq 0$ ), còn các giá trị còn lại bằng không ( $= 0$ ):  $a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_o x_o = b_o x_i$ .

Bất kỳ thiết bị đo nào thỏa phương trình này được gọi là *thiết bị bậc nhất*. Chia hai vế phương trình trên cho  $a_o$  ta có:

$$\frac{a_1}{a_o} \frac{dx_o}{dt} + x_o = \frac{b_o}{a_o} x_i. \text{ Hoặc: } \tau \frac{dx_o}{dt} + x_o = \frac{b_o}{a_o} x_i; \quad (\tau D + 1)x_o = K x_i$$

Với:  $D = \frac{dt}{dt}$ ;  $\tau = \frac{a_1}{a_o}$ : thời hằng;  $K = \frac{b_o}{a_o}$ : độ nhạy tĩnh

Thời hằng  $\tau$  có đơn vị là thời gian, trong khi đó độ nhạy tĩnh  $K$  có đơn vị là đơn vị của tín hiệu ra/tín hiệu vào.

Hàm truyền hoạt động (*transfer function*) của bất kỳ thiết bị đo bậc nhất:

$$\frac{x_o}{x_i} = \frac{K}{\tau D + 1}$$

Ví dụ cụ thể của thiết bị đo bậc nhất là nhiệt kế thủy ngân.

⇒ Đáp ứng động của thiết bị bậc hai, được định nghĩa theo phương trình

$$a_2 \frac{d^2 x_o}{dt^2} + a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_0 x_o = b_0 x_i$$

Phương trình trên được rút gọn lại:  $(\frac{D^2}{\omega_n^2} + 2\frac{\xi}{\omega_n} D + 1)x_o = Kx_i$

với:  $\omega_n = \sqrt{a_0/a_2}$  - tần số không đệm tự nhiên, *radian/thời gian*

$$\xi - \text{tỉ số đệm}; \quad \xi = \frac{a_1}{\sqrt{a_0 a_2}}; \quad K = \frac{b_0}{a_0}$$

Bất kỳ thiết bị đo nào thỏa phương trình này gọi là thiết bị đo bậc hai.

□ Thông thường loại thiết bị đo bậc nhất chỉ hoạt động đo với đại lượng có năng lượng.

*Ví dụ:* loại cân dùng lò xo đàn hồi (lực kế) có năng lượng là cơ năng, nhiệt kế có năng lượng là nhiệt năng.

□ Loại thiết bị đo bậc hai có sự trao đổi giữa hai dạng năng lượng.

*Ví dụ:* năng lượng tĩnh điện và từ điện trong mạch LC, cụ thể như chỉ thị cơ cấu điện từ kết hợp với mạch khuếch đại.

### 1.4.7 Phân tích thống kê đo lường

Sự phân tích thống kê các số liệu đo rất quan trọng, từ đó chúng ta xác định các kết quả đo không chắc chắn (có sai số lớn) sau cùng. Để cho sự phân tích thống kê có ý nghĩa, phần lớn số liệu đo lường đòi hỏi *sai số hệ thống* phải nhỏ so với *sai số ngẫu nhiên*.

Khi đo một đại lượng bất kỳ nào mà biết kết quả đo phụ thuộc vào nhiều yếu tố, thì những yếu tố này đều quan trọng cả. Theo điều kiện lý tưởng, mức độ ảnh hưởng của các thông số phải được xác định để cho việc đo lường nếu có sai số phải được giải thích và hiểu được nguyên nhân gây ra sai số. Nhưng sự phân tích sai số không được tách khỏi số liệu đã được cố định trong các kết quả đo lường.

**Ý nghĩa số học của sự đo nhiều lần:** hầu hết giá trị đo chấp nhận được và biến số đo có ý nghĩa số học của thiết bị đo đọc được ở nhiều lần đo. Sự gần đúng tốt nhất có thể có khi số lần đo của cùng một đại lượng đo phải lớn. Ý nghĩa số học của  $n$  lần đo được xác định cho biến số  $x$  được cho bằng biểu thức:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

trong đó:  $\bar{x}$  - trị trung bình;  $x_n$  - trị số  $x$  lần đo thứ  $n$ ;  $n$  - số lần đo.

**Độ lệch**

Độ lệch lần đo thứ 1:  $d_1 = x_1 - \bar{x}$

Độ lệch lần đo thứ 2:  $d_2 = x_2 - \bar{x}$

.....

Độ lệch lần đo thứ  $n$ :  $d_n = x_n - \bar{x}$

Ví dụ:  $x_1 = 50,1\Omega$ ;  $x_2 = 49,7\Omega$ ;  $x_3 = 49,6\Omega$ ;  $x_4 = 50,2\Omega$

Ý nghĩa số học:  $\bar{x} = \frac{50,1 + 49,7 + 49,6 + 50,2}{4} = \frac{199,6}{4} = 49,9$

Độ lệch của từng giá trị đo:

$$d_1 = 50,1 - 49,9 = 0,2; \quad d_2 = 49,7 - 49,9 = -0,2$$

$$d_3 = 49,6 - 49,9 = -0,3; \quad d_4 = 50,2 - 49,9 = 0,3$$

Tổng đại số của các độ lệch:  $d_{tot} = 0,2 - 0,2 + 0,3 - 0,3 = 0$

Như vậy khi tổng đại số các độ lệch của các lần đo so với ý nghĩa số học  $\bar{x}$  bằng *không* thì không có sự phân tán của các kết quả đo xung quanh  $\bar{x}$ .

**Độ lệch trung bình:** có thể dùng như một biểu thức của *tính chính xác* của thiết bị đo.

Độ lệch trung bình càng nhỏ thì biểu thức đo càng chính xác.

Biểu thức độ lệch trung bình  $D$  được xác định:

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_n|}{n}$$

Ví dụ:  $D$  của các trị số đo của ví dụ trước

$$D = \frac{|0,2| + |-0,2| + |-0,3| + |0,3|}{4}$$



**Độ lệch chuẩn (standard deviation):** độ lệch chuẩn  $\sigma$  của một số lần đo là các giá trị độ lệch quanh giá trị trung bình được xác định như sau:

Độ lệch chuẩn cho  $n$  lần đo:  $\sigma = \left[ \frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n} \right]^{1/2}$  (số lần đo  $n \geq 30$ ).

Nếu số lần đo nhỏ hơn 30 lần ( $n < 30$ ) thì độ lệch chuẩn được diễn tả

$$\sigma = \left[ \frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

*Ví dụ:* Độ lệch chuẩn của các số đo cụ thể trên

$$\sigma = \left[ \frac{(0,2)^2 + (-0,2)^2 + (-0,3)^2 + (0,3)^2}{4-1} \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{0,26}{3}} = 0,294$$

Độ lệch chuẩn này rất quan trọng, trong sự phân tích thống kê số liệu đo. Nếu giảm được độ lệch chuẩn sẽ có hiệu quả trong việc cải tiến kết quả đo lường.

**Sai số ngẫu nhiên:** thường được tính trên cơ sở đường phân bố Gauss của độ lệch chuẩn:

$$e_{Rd} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n(n-1)}}$$

và giới hạn của sai số ngẫu nhiên:  $\lim(e_{Rd}) = 4,5e_{Rd}$

Những trị số nào có độ lệch vượt quá giới hạn của sai số ngẫu nhiên đều được loại bỏ.

*Ví dụ:* kết quả đo điện trở được thực hiện trong tám lần đo như sau.

$$R_1 = 116,2\Omega; R_2 = 118,2\Omega; R_3 = 116,5\Omega; R_4 = 117,0\Omega$$

$$R_5 = 118,2\Omega; R_6 = 118,4\Omega; R_7 = 117,8\Omega; R_8 = 118,1\Omega$$

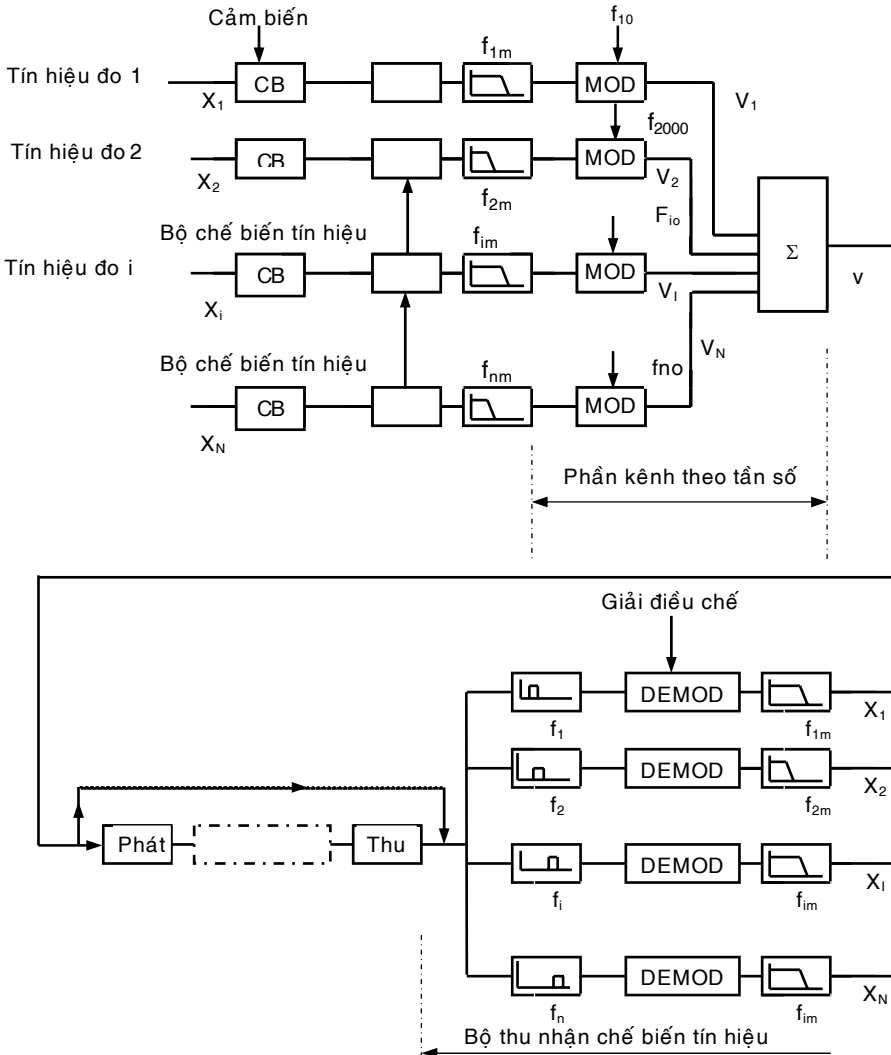
$$\text{Trị trung bình của điện trở: } \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_8}{8} = 117,8\Omega$$

Độ lệch của các lần đo:

$$d_1 = -1,6\Omega; d_2 = 0,4\Omega; d_3 = 0,7\Omega; d_4 = -0,8\Omega$$

$$d_5 = 0,4\Omega; d_6 = 0,6\Omega; d_7 = 0,0\Omega; d_8 = 0,3\Omega$$

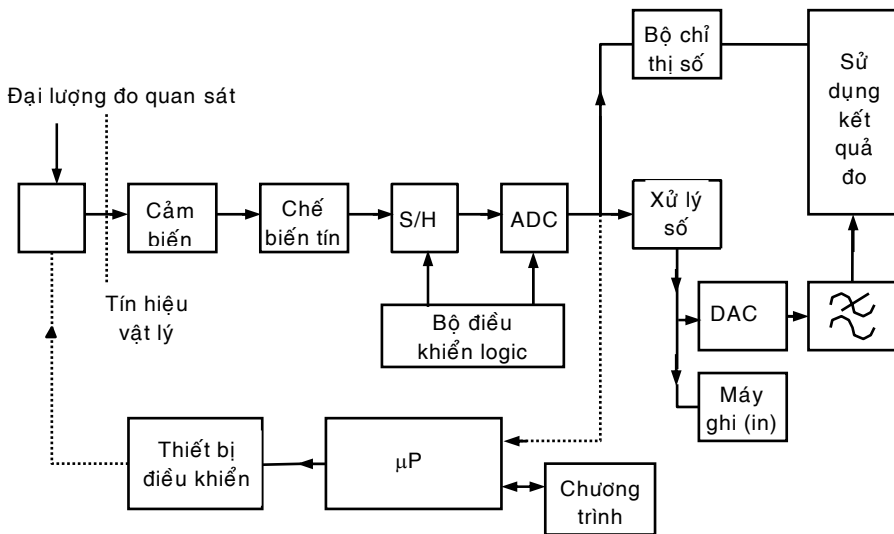
Tín hiệu đo được tạo ra từ cảm biến đo lường (*transducer*) do đại lượng đo tác động vào. Tín hiệu này đi qua mạch chế biến tín hiệu (*signal conditioner*). Sau đó đi vào bộ phận trình bày kết quả (*display*) và thiết bị ghi (*record*) để cho bộ phận đọc kết quả sử dụng ngay kết quả đo này. Ngoài ra hệ thống đo lường còn liên kết với hệ thống điều khiển tự động bằng cách lấy tín hiệu đo ở ngõ ra của mạch chế biến tín hiệu đưa qua mạch so sánh với tín hiệu chuẩn để điều khiển đối tượng (đại lượng) đang được đo. Ví dụ: đại lượng đo là nhiệt độ thì đối tượng điều khiển cũng là nhiệt độ.



Hình 1.2: Hệ thống đo lường tương đồng nhiều kênh

**Hệ thống đo lường nhiều kênh:** Trường hợp cần đo nhiều đại lượng thì mỗi đại lượng đo ở một kênh. Như vậy sau mỗi tín hiệu đo được lấy ra từ mạch chế biến tín hiệu ở mỗi kênh sẽ đưa qua mạch phân kênh (*multiplexer*) để được sắp xếp tuần tự truyền đi trên cùng một hệ thống dẫn truyền (dây dẫn hay vô tuyến). Để có sự phân biệt các đại lượng đo, trước khi đưa vào mạch phân kênh cần phải mã hóa hoặc điều chế (*Modulation – MOD*) theo tần số khác nhau (ví dụ như  $f_{10}, f_{20}, \dots$ ) cho mỗi tín hiệu của đại lượng đo. Tại nơi nhận tín hiệu lại phải giải mã hoặc giải điều chế (*demodulation – DEMOD*) để lấy lại từng tín hiệu đo. Đây cũng là hình thức đo lường từ xa (*telemetry*) cho nhiều đại lượng đo.

### 1.8.2 Hệ thống đo lường dạng số (*Digital*) (H.1.3).



**Hình 1.3:** Hệ thống đo lường số kết hợp với  $\mu P$

Thiết bị vi xử lý (*Microprocessor -  $\mu P$* ) tham gia vào hệ thống đo lường nhằm mục đích xử lý nhanh tín hiệu đo, chống nhiễu tốt hơn so với tín hiệu đo ở dạng Analog khi truyền đi xa. Cách ly tốt hơn và dễ thực hiện hơn nếu dùng phương pháp quang học (dùng cách thức ghép bằng tín hiệu quang (*opto – coupler*)). Đây cũng là hình thức thường dùng hiện nay.

Với sự phát triển của máy tính cá nhân (PC), hệ thống đo lường dùng kỹ thuật số dùng PC để tự động hóa hệ thống đo lường ở mức độ cao hơn và thuận lợi hơn khi sử dụng. Do đó, chúng ta bước sang một giai đoạn mới *Máy tính hóa thiết bị đo lường (computerized instrumentation)*.

Trong hệ thống đo lường dùng kỹ thuật số, tín hiệu dạng Analog được chuyển đổi sang tín hiệu dạng số (*digital*) bằng các mạch ADC (*analog digital*

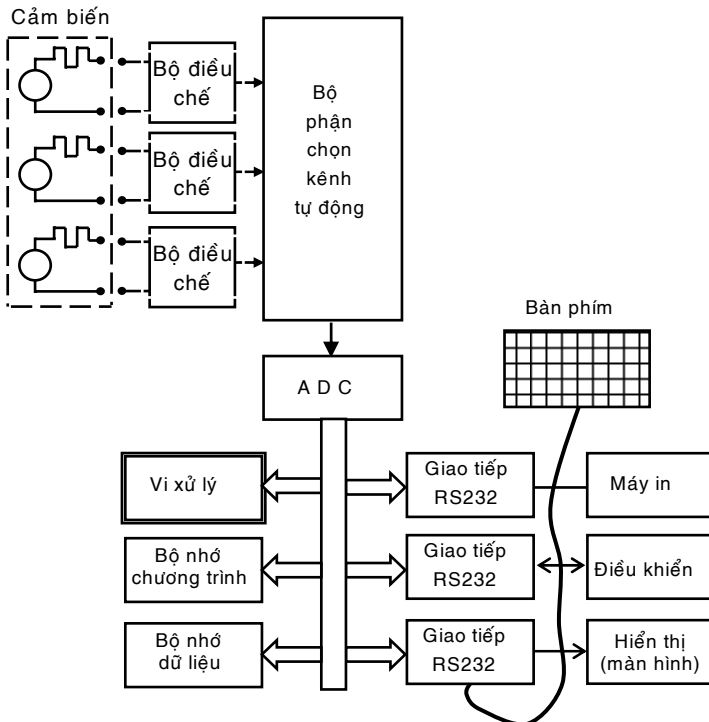
converter) để cho bộ vi xử lý ( $\mu P$ ) hoạt động, sau đó muốn có dạng Analog để sử dụng, chúng ta dùng mạch DAC (*digital analog converter*) để chuyển đổi lại.

Ngoài ra hệ thống đo lường dạng số còn có ưu điểm là sự hoạt động thông minh nhờ vào chương trình phần mềm (*software*) cài đặt vào máy tính để xử lý tín hiệu đo lường và điều khiển hệ thống tự động hóa.

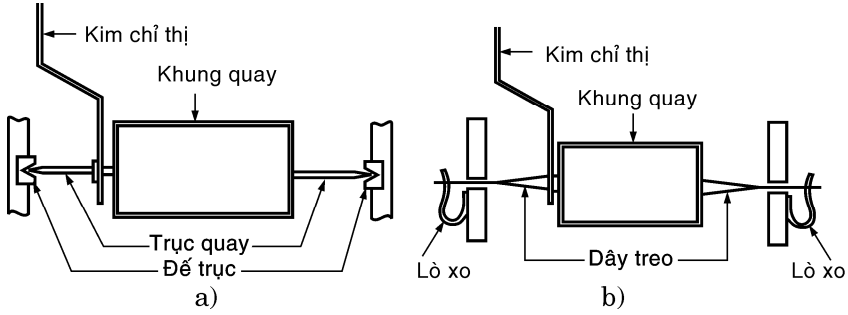
### 1.8.3 Tính linh hoạt trong sự điều khiển từ xa thiết bị đo lường

Hệ thống đo lường dạng số nhờ sự kết nối với máy tính, đã điều khiển từ xa (*remote*) các chức năng của hệ thống đo lường bằng cách sử dụng các đường truyền số liệu (BUS) của bộ vi xử lý ( $\mu P$ ). Hệ thống được trình bày ở hình 1.4.

Như máy tính PC điều khiển thiết bị đo lường thông qua bộ giao tiếp chuẩn (*interface bus standard*) thông dụng là IE 488 hoặc RS232C. Phần giao tiếp truyền số đa năng (GPIB - *general purpose interface bus*) được thiết kế để thực hiện sự điều khiển. (Chúng ta sẽ đề cập đến vấn đề này ở một chương sau).



Hình 1.4: Hệ thống thu nhận và xử lý dữ liệu dùng mạch giao tiếp RS232



**Hình 2.2:** a) Khung quay – Loại trục quay  
 b) Khung quay – Loại dây treo

**Nam châm vĩnh cửu:** khung quay được đặt giữa hai cực từ NS của nam châm vĩnh cửu.

Lõi sắt non hình trụ nằm trong khung quay tương đối đều.

Kim chỉ thị được gắn chặt trên trục quay hoặc dây treo. Phía sau kim chỉ thị có mang đối trọng để sao cho trọng tâm của kim chỉ thị nằm trên trục quay hoặc dây treo.

Lò xo kiểm soát hoặc dây treo có nhiệm vụ kéo kim chỉ thị về vị trí ban đầu.

**Nguyên lý hoạt động** (xem H.2.3)

Khi có dòng điện đi vào cuộn dây, trên khung dây sẽ xuất hiện lực điện từ  $F$ :

$$F = N.B.l.I \tag{2.1}$$

trong đó:  $N$  - số vòng dây quấn của cuộn dây

$B$  - mật độ từ thông xuyên qua cuộn dây

$l$  - chiều cao của khung;  $I$  - cường độ dòng điện.

Mômen quay  $T_q$  của lực điện từ  $F$ :

$$T_q = F.W = N.B.l.W.I \tag{2.2}$$

trong đó  $W$  là bề rộng của khung quay

Mômen quay  $T_q$  của lực điện từ  $F$ :  $T_q = F.W = N.B.l.W.I$

$K_q = N.B.l.W$  - hệ số tỉ lệ với sự cấu tạo của cơ cấu là hằng số:

$$T_q = K_q I$$

Đồng thời khi đó lò xo (hoặc dây treo) tạo ra mômen cản  $T_c$  khi kim chỉ thị quay do mômen quay  $T_q$  làm xoắn lò xo kiểm soát hoặc dây treo:

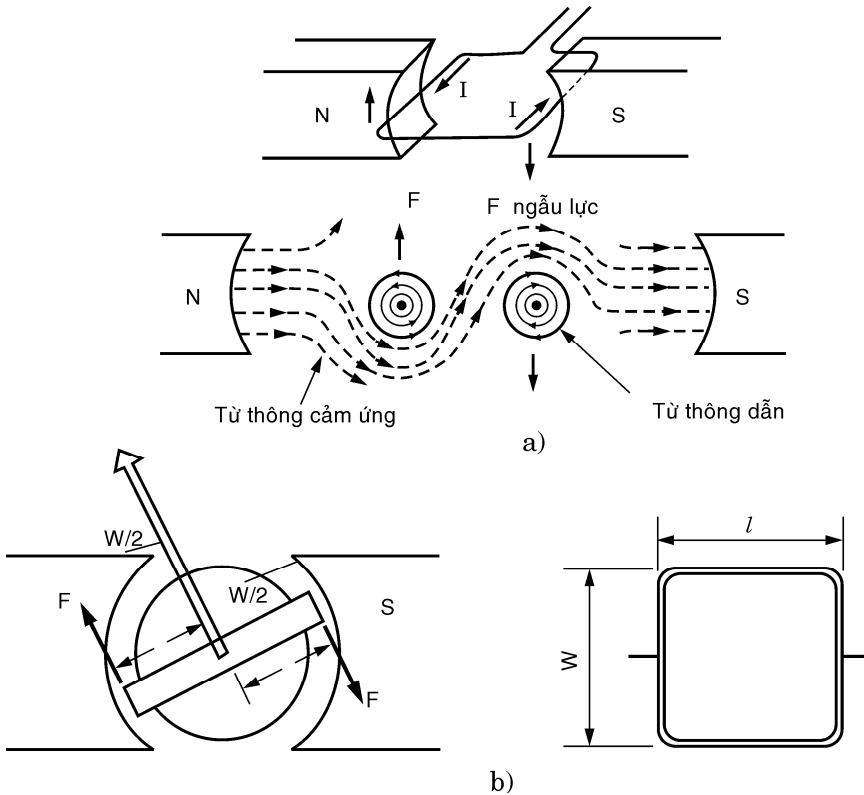
$$T_c = K_c \theta \quad (2.3)$$

$K_c$  - hằng số xoắn của lò xo kiểm soát hoặc dây treo

$\theta$  - góc quay của kim chỉ thị. Tại góc quay  $\theta_i$  của kim chỉ thị đứng yên:

$$T_q = T_c; \quad K_q I = K_c \theta_i; \quad \theta_i = \frac{K_q}{K_c} I = KI \quad (2.4)$$

Góc quay  $\theta_i$  tỉ lệ tuyến tính với dòng điện  $I$



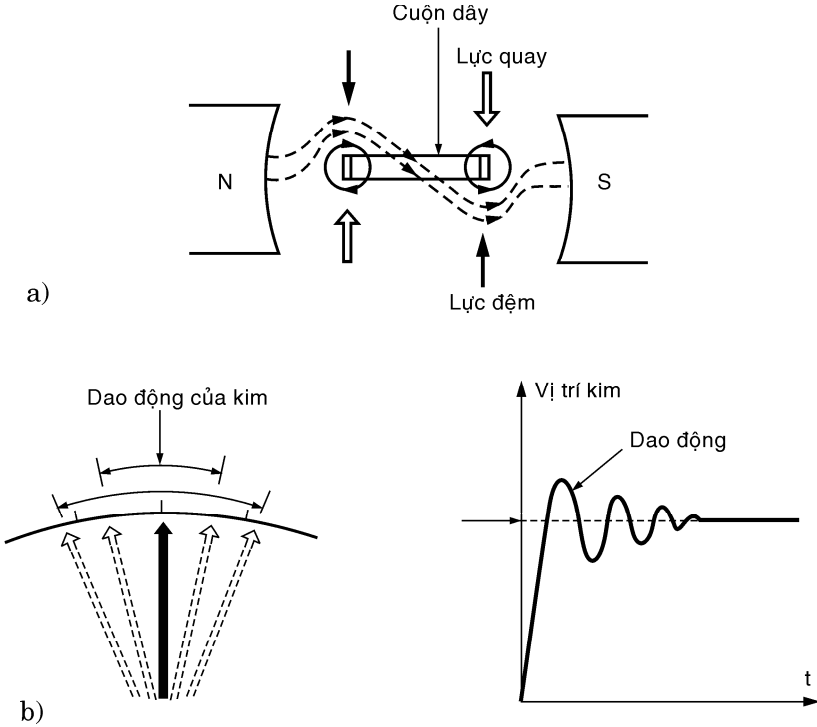
Hình 2.3: Nguyên lý hoạt động

### Sự đệm (cản dộ) cho kim chỉ thị

Khi kim chỉ thị di chuyển dưới tác động của  $T_q$  cũng xuất hiện mômen đệm  $T_d$  do dòng điện ứng phát sinh trong cuộn dây do từ thông xuyên qua khung quay thay đổi tức thời (H.2.4):

$$i_d = \frac{e_d}{R_i + R_D} \tag{2.5}$$

trong đó:  $e_d$ : - sức điện động ứng;  $R_i$  - điện trở của khung quay  
 $R_D$ : - điện trở đệm nối hai cuộn dây.



**Hình 2.4:** Sự đệm cho kim chỉ thị

□ Trường hợp  $R_D \rightarrow \infty$ , không có mômen đệm, kim chỉ thị dễ bị dao động quanh điểm sẽ dừng lại của kim, vì cuộn dây bị hở mạch không có dòng  $i_d$  trong khi vẫn có  $e_d$ .

□ Trường hợp  $R_D \rightarrow 0$ , mômen đệm lớn nhất có sự *đệm chặt* làm cho sự di chuyển của kim rất chậm và khó khăn hơn khi bị dao động cơ học do di chuyển cơ cấu đo.

□ Trường hợp  $R_D \rightarrow R_{DC}$ , điện trở đệm *đúng mức*, kim chỉ thị di chuyển nhanh khi có dòng điện vào và không bị dao động quanh vị trí dừng của kim.

Theo phương trình chuyển động của kim:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + T_c\theta = 0 \quad (2.6)$$

trong đó:  $J$  - mômen quán tính của khung quay và kim

$D$  - hằng số đệm của hệ thống

$T_c$  - mômen cản do lò xo kiểm soát hoặc dây xoắn.

Để có sự đệm *đúng mức* thì  $D$  phải có điều kiện:

$$D = D_o = 2\sqrt{J \cdot T_c} \quad (2.7)$$

Nếu  $D > D_o$ : đệm quá mức;  $D < D_o$ : đệm yếu

Người ta chứng minh được rằng hằng số đệm:  $D = \frac{K'_D}{R}$

với  $R = R_I + R_D$ ;  $K'_D = R \cdot B \cdot I \cdot W$

#### **Đặc tính cơ cấu từ điện**

*Độ nhạy dòng điện của cơ cấu điện từ*: độ nhạy của dòng điện được định nghĩa:

$$S_I = \frac{d\theta}{dI} = \frac{K_I}{K_C} \quad (2.8)$$

nghĩa là độ nhạy của dòng điện tương ứng với sự biến thiên của góc quay khi có sự biến đổi của dòng điện. Trong thực tế, người ta thường dùng  $I_{max}$  (dòng điện tối đa) của cơ cấu chỉ thị để xác định độ nhạy nghĩa là độ nhạy càng lớn khi  $I_{max}$  càng nhỏ vì  $\theta_{max}$  (góc quay lớn nhất) của cơ cấu chỉ thị giống nhau (vào khoảng # 105°). Tăng độ nhạy cơ cấu bằng cách tăng  $K_q$  giảm  $K_C$ .

*Độ nhạy điện áp cơ cấu*:  $S_V = \frac{d\theta}{dV}$ . Nếu điện trở nội của khung quay là

$R_i$  thì:

$$S_V = \frac{d\theta}{R_i dI} = \frac{1}{R_i} S_I \quad (2.9)$$

Do đó có sự quan hệ giữa độ nhạy điện áp và dòng điện.

*Ưu điểm*: cơ cấu chỉ thị từ điện có ưu điểm so với những cơ cấu khác nhờ những điểm sau đây:



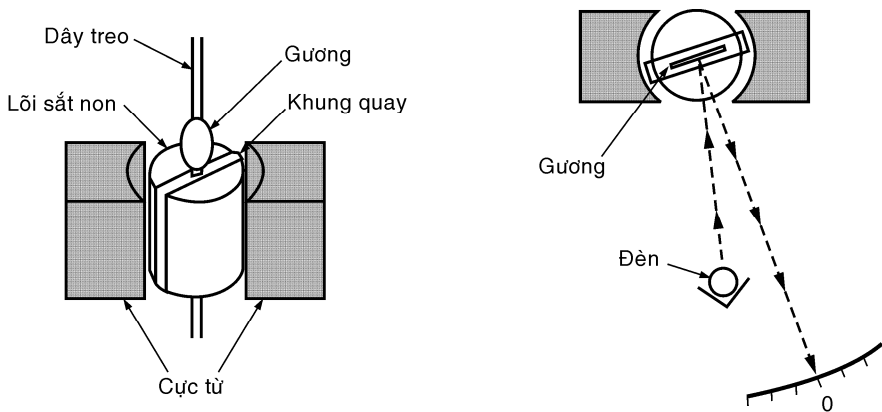
- Từ trường của cơ cấu do nam châm vĩnh cửu tạo ra mạnh, ít bị ảnh hưởng của từ trường bên ngoài;
- Công suất tiêu thụ nhỏ tùy theo dòng  $I_{max}$  cùng cơ cấu có thể từ  $25 \mu W \div 200 \mu W$ ;
- Có độ chính xác cao, có thể đạt được cấp chính xác 0,5%;
- Vì góc quay tuyến tính theo dòng điện cho nên thang đo có khoảng chia đều đặn.

#### *Khuyết điểm:*

- Cuộn dây của khung quay thường chịu đựng quá tải một lượng nhỏ nên thường dễ bị hư hỏng nếu dòng điện quá mức đi qua;
- Chỉ sử dụng dòng điện một chiều, không hoạt động ở dòng điện xoay chiều;
- Đối với khung quay có dây xoắn dễ hư hỏng khi bị chấn động mạnh hoặc di chuyển quá mức giới hạn, do đó cần *đệm quá mức* khi cho cơ cấu ngưng hoạt động.

#### *Ứng dụng*

- Cơ cấu chỉ thị kim thường được dùng rộng rãi trong lĩnh vực đo lường.
- Điện kế gương quay (H.2.5): Khung quay mang gương phản chiếu và hệ thống quang học chiếu tia sáng vào gương và đốm sáng tròn ghi kết quả dòng điện đi qua. Kết quả được ghi trên thước chia hoặc trên giấy nhạy quang (trong các thiết bị ghi).



*Hình 2.5*

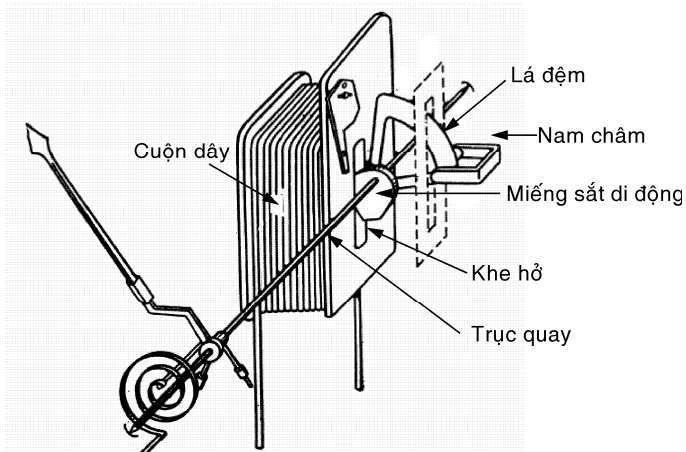
### **2.1.2 Cơ cấu điện từ**

Còn gọi là cơ cấu miếng sắt di động (*moving iron*). Ký hiệu  $\Sigma$ .

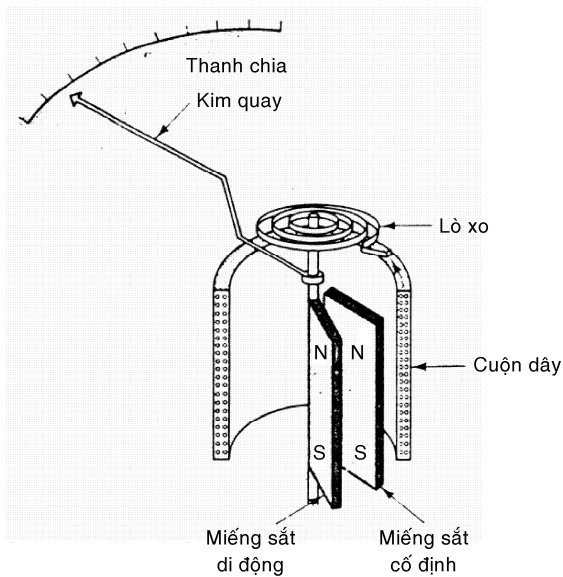
**Cấu tạo:** có hai loại lực hút và lực đẩy.

□ Loại lực hút (H.2.6)

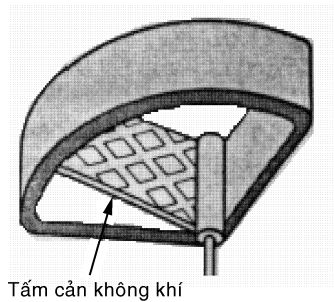
□ Loại lực đẩy (H.2.7).



**Hình 2.6:** Cơ cấu điện từ loại hút



**Hình 2.7:** Cơ cấu điện từ loại đẩy



**Hình 2.8:** Cơ cấu ããm

Cả hai đều có cuộn dây cố định và miếng sắt di động gắn trên trục quay mang kim chỉ thị. Riêng lực đẩy có mang thêm miếng sắt cố định gắn ở mặt trong của cuộn dây.

Trục quay cũng có lo xo kiểm soát và cơ cấu chỉ thị có đệm bằng sức cản không khí (H.2.8).

### **Nguyên lý hoạt động**

Cuộn dây cố định có dòng điện  $I$  (một chiều hoặc xoay chiều) lực từ động  $F$  tạo ra lực hút hoặc lực đẩy cho miếng sắt di động.

$$F = nI(AT) \quad (\text{ampe-vòng}). \quad (2.10)$$

trong đó:  $N$  - số vòng quay;  $I$  - cường độ dòng.

Hoặc góc quay của kim chỉ thị được chứng minh:

$$\theta_i = \frac{K_q}{K_C} I^2 \quad (2.11)$$

với:  $I$  - dòng điện DC hoặc AC trị hiệu dụng (RMS).

Như vậy thang đo của cơ cấu điện từ không tuyến tính như thang đo của cơ cấu điện từ.

### **Việc đệm cho cơ cấu điện từ**

- Tiêu thụ năng lượng nhiều hơn cơ cấu điện từ.
- Có hiện tượng từ dư trong lá sắt non cho nên kém chính xác hơn.
- Tính trễ làm tăng sai số khi dùng ở dòng điện xoay chiều. Giảm tính trễ bằng cách giảm nhỏ miếng sắt di động hoặc chọn mật độ từ thông  $B$  để cho hiện tượng trễ trong miếng sắt nhỏ đi. Cho nên có sự dung hòa giữa từ thông và miếng sắt di động.

□ Ảnh hưởng của tần số xoay chiều: do có thành phần cuộn cảm  $L$  của cuộn dây cố định cho nên khi tần số tín hiệu tăng, tổng trở  $Z = L\omega = 2\pi fL$  của cuộn dây tăng không thích hợp với tín hiệu đo có khoảng tần số thay đổi lớn. Ngoài ra dòng điện xoay trên miếng sắt di động tăng khi tần số tín hiệu tăng.



□ Do từ trường tạo ra bởi cuộn dây có trị số nhỏ cho nên dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường nhiễu, cần phải bảo vệ bằng cách *chắn từ* cho cơ cấu

- Công nghệ chế tạo dễ hơn cơ cấu từ điện
- Chỉ được dùng trong lĩnh vực điện công nghiệp
- Chịu sự quá tải cao
- Những cơ cấu điện từ dùng trong von-kế hoặc ampe-kế thường có

thông số kỹ thuật: điện cảm cuộn dây 1Henry; điện trở  $20\Omega/V$ ; lực từ động  $F = 300$  ampe vòng; ngẫu lực xoắn bằng 5% khối lượng di chuyển.

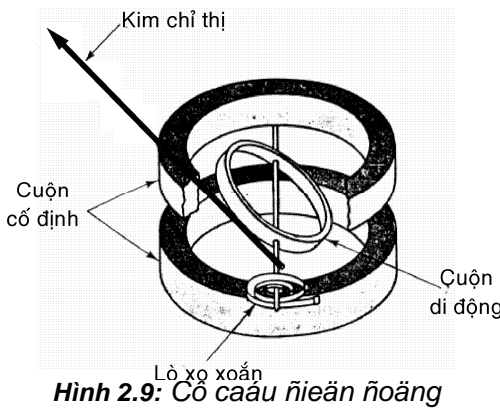
### 2.1.3 Cơ cấu điện động

Là cơ cấu có sự phối hợp giữa cơ cấu điện từ (khung quay mang kim chỉ thị) và cơ cấu điện từ (cuộn dây cố định tạo từ trường cho khung quay).

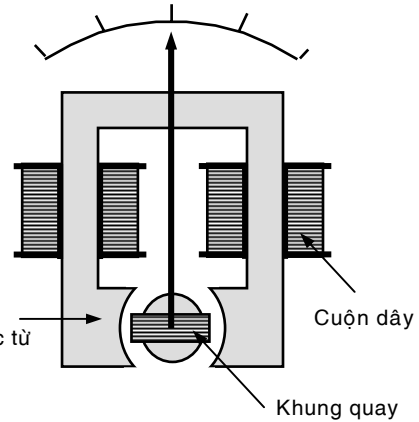
Ký hiệu trên cơ cấu  hoặc  Cơ cấu sắt điện động.

**Cấu tạo** (H.2.9): cơ cấu điện động gồm có cuộn dây cố định và cuộn dây di động (khung quay). Thông thường cuộn dây di động không có lõi sắt non tránh được hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy. Cuộn dây di động nằm trong vùng ảnh hưởng từ trường tạo ra bởi cuộn dây cố định, nếu cuộn dây cố định quấn trên lõi sắt từ là cơ cấu sắt điện động (H.2.10).

**Nguyên lý hoạt động:** khi có dòng điện  $I_1, I_2$  (một chiều hoặc xoay chiều) đi



**Hình 2.9:** Cơ cấu ãiãn ãiãng



**Hình 2.10:** Cơ cấu sắt ãiãn ãiãng

vào cuộn dây di động và cố định sẽ tạo ra mômen quay:

$$T_q = K_q I_1 I_2 \text{ (dòng DC)} \quad (2.12)$$

hoặc:

$$T_q = K_q \frac{1}{T} \int_0^T i_1 \cdot i_2 dt \text{ (dòng AC)}$$

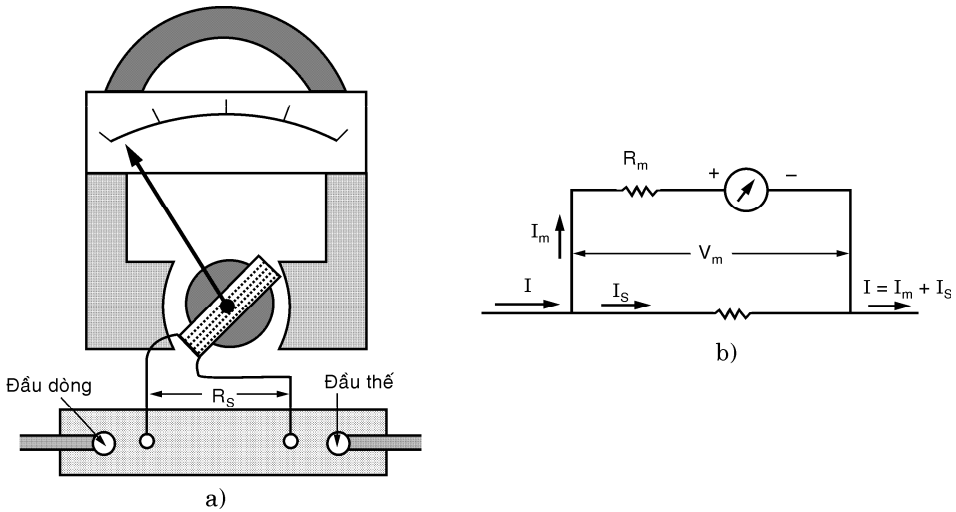
Vậy góc quay:

$$\theta = \frac{K_q}{K_c} I_1 I_2 \quad (2.13)$$

Hoặc:

$$\theta = \frac{K_q}{K_c} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt \right]$$

$K_c$  - hằng số xoắn của lò xo kiểm soát hoặc dây treo.



Hình 2.12: Mạch đo dòng

Mở rộng tầm đo cho cơ cấu từ điện. Dùng điện trở shunt (H.2.12).

$$\text{Dòng điện đo: } I = I_m + I_S \quad (2.14)$$

trong đó:  $I_m$  - dòng điện qua cơ cấu chỉ thị.

$I_S$  - dòng điện đi qua điện trở shunt.

Điện trở shunt  $R_S$  được xác định:

$$R_S = \frac{I_{\max} R_m}{I_t - I_{\max}} \quad (2.15)$$

trong đó:  $R_m$  - điện trở nội của cơ cấu chỉ thị.

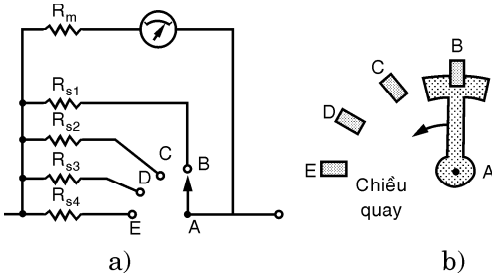
$I_{\max}$  - dòng điện tối đa của cơ cấu chỉ thị.

$I_t$  - dòng điện tối đa của tầm đo.

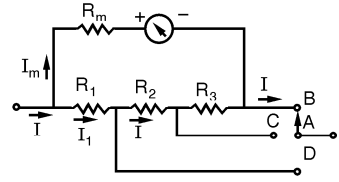
**Ví dụ 2.1:**  $R_S = \frac{50\mu A \times 1K\Omega}{(1mA - 50\mu A)}$ , với  $I_{\max} = 50\mu A$ ;  $R_m = 1k\Omega$ ;  $I_t = 1mA$

$$R_S = \frac{(50 \times 10^{-6} \times 10^3) V}{(950 \times 10^{-6}) A} = \frac{5}{95} \times 10^3 \text{ ohm} = 52,6 \Omega \text{ (ohm)}$$

Đối với ampe-kế có nhiều tầm đo thì dùng nhiều điện trở shunt, mỗi tầm đo có một điện trở shunt, khi chuyển tầm đo là chuyển điện trở shunt (H.2.13).



**Hình 2.13:** Mạch đo dòng có nhiều tầm đo



**Hình 2.14:** Mạch shunt Ayrton

Hoặc dùng cách chuyển tầm theo kiểu shunt Ayrton (H.2.14).

Mạch đo kiểu shunt Ayrton có 3 tầm đo B, C, D. Khi khóa A ở vị trí B (tầm đo nhỏ nhất).

Điện trở shunt:  $R_{SB} = R_1 + R_2 + R_3$

Ở vị trí C:  $R_{SC} = R_1 + R_2$

Còn  $R_3$  nối tiếp với cơ cấu chỉ thị.

Ở vị trí D:  $R_{SD} = R_1$

Còn  $R_2 + R_3$  nối tiếp với cơ cấu chỉ thị.

**Ví dụ 2.2:**  $R_m = 1k\Omega$ ;  $I_{max}$  của cơ cấu  $50\mu A$ . Xác định ba tầm đo:

B (1mA); C (10mA); D(100mA) cho  $R_1, R_2, R_3$

**Giải:** Ở tầm B (1mA):

$$(1mA - 50\mu A)(R_1 + R_2 + R_3) = 1k\Omega \times 50\mu A$$

$$(R_1 + R_2 + R_3) = \frac{50 \times 10^{-3}}{950 \times 10^{-6}} = 52,6\Omega$$

Ở tầm C (10mA):

$$R_1 + R_2 = \frac{(1k\Omega + R_3)50 \times 10^{-6} A}{9950 \times 10^{-6} A} = \frac{(1k\Omega + R_3)}{199}$$

Ở tầm D (100mA):

$$R_1 = \frac{(1k\Omega + R_2 + R_3)50 \times 10^{-6}}{99950 \times 10^{-6} A}; R_1 = \frac{1k\Omega + R_2 + R_3}{1999}$$

Thay vào ta được:  $R_1 + R_2 = \frac{1k\Omega + R_3}{199} = 52,6\Omega - R_3$

Suy ra:  $R_3 = \frac{(10.467,4 - 1000)\Omega}{200} = 47,337\Omega$

$$R_1 = \frac{1000\Omega + 52,6\Omega - R_1}{1999} = \frac{1052,6\Omega}{2000} = 0,526\Omega$$

$$\text{Còn } R_2 = 52,6 - (47,337 + 0,526) = 4,737 \text{ ohm}$$

**Đáp số:**  $R_1 = 0,526 \text{ ohm}$ ;  $R_2 = 4,737 \text{ ohm}$ ;  $R_3 = 47,337 \text{ ohm}$ .

*Mở rộng tầm đo cho cơ cấu điện từ:* thay đổi số vòng dây quấn cho cuộn dây cố định với lực từ động F không đổi:

$$F = n_1 I_1 = n_2 I_2 = n_3 I_3 = \dots$$

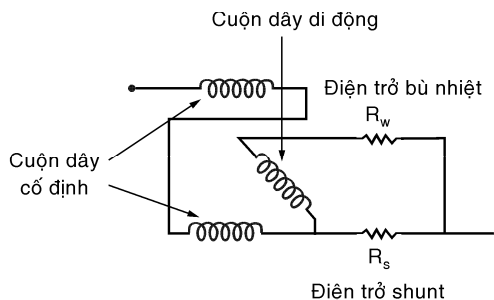
*Ví dụ:*  $F = 300$  Ampe vòng cho ba tầm đo;  $I_1 = 1 \text{ A}$ ;  $I_2 = 5 \text{ A}$ ;  $I_3 = 10 \text{ A}$ .

Khi đó  $n_1 = 300$  vòng cho tầm đo  $I_1 = 1 \text{ A}$

$n_2 = 60$  vòng cho tầm đo  $I_2 = 5 \text{ A}$

$n_3 = 30$  vòng cho tầm đo  $I_3 = 10 \text{ A}$ .

*Mở rộng tầm đo cho cơ cấu điện động:* Trong trường hợp ampe-kế dùng cơ cấu chỉ thị điện động (sắt điện động) được mắc như hình 2.15 thì sự mở rộng tầm đo bằng cách mắc điện trở shunt song song với cuộn dây di động (như cơ cấu từ điện) trong khi cuộn cố định được mắc nối tiếp với cuộn dây di động. Cách tính toán điện trở shunt cũng giống như ampe-kế cơ cấu từ điện.



**Hình 2.15:** Ampe-kế cơ cấu điện động

### 2.2.2 Đo dòng AC

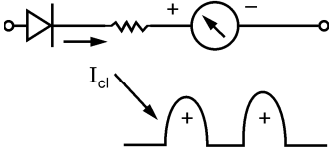
**Nguyên lý đo:** Cơ cấu điện từ và cơ cấu điện động đều hoạt động được với dòng AC. Do đó có thể dùng cơ cấu này trực tiếp và mở rộng tầm đo dòng như đã nói ở trên. Riêng cơ cấu điện từ khi dùng phải biến đổi dòng AC thành dòng DC. Ngoài ra, do tính chính xác của cơ cấu điện từ nên cơ cấu này dùng rất nhiều (thông dụng) trong phần lớn ampe-kế (trong máy đo vạn năng Multimeter còn gọi V.O.M.).

#### *Dùng cơ cấu từ điện đo dòng AC*

*Dùng phương pháp chỉnh lưu bằng diod (H.2.16).*

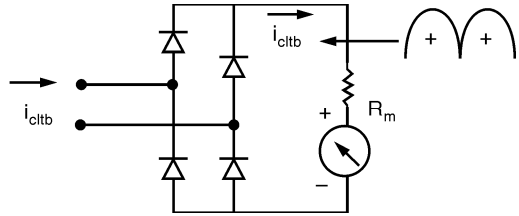
Dòng điện qua diod nối tiếp với cơ cấu từ điện là dòng điện xoay chiều đã chỉnh lưu thành dòng DC. Trị trung bình của dòng điện chỉnh lưu:

$$I_{cltb}^* = \frac{1}{T} \int_0^T i_{cl} dt \leq I_{max} \tag{2.16}$$



**Hình 2.16**

Dòng chỉnh lưu qua cơ cấu



**Hình 2.17**

Cầu chỉnh lưu diod

Ví dụ: Dòng điện AC:  $V_{AC} = I_m \sin \omega t$

Khi đó:  $i_{cl} = I_m \sin \omega t : (0 \leq t \leq \frac{T}{2}) ; i_{cl} = 0 : (\frac{T}{2} \leq t \leq T)$ .

Vậy:  $I_{cltb} = 0,318 I_m = 0,318 \sqrt{2} I_{hd}$  (tín hiệu sin). Trường hợp dòng điện AC có dạng bất kỳ thì  $I_{cltb}$  có trị số phụ thuộc vào dạng và tần số của tín hiệu. Cụ thể dòng:  $i_{AC} = 2(mA) \sin 100\pi t$

thì dòng:  $i_{cltb} = 0,318 \times 2(mA) = 0,636 (mA)$

Cầu diod (H.2.17). Dòng điện xoay chiều được chỉnh lưu ở hai bán kỳ, khi đó trị chỉnh lưu trung bình:  $I_{cltb} = \frac{2}{T} \int i_{cl} dt$ .

Ví dụ:  $I_{AC} = I_m \sin \omega t ; I_{cltb} = 2 \times 0,318 I_m = 0,636 I_m$



*Dùng phương pháp biến đổi nhiệt điện:* Bộ biến đổi nhiệt điện (H.2.18) gồm có dây điện trở được đốt nóng nhờ trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều cần đo. Cặp nhiệt điện (*thermocouple*) được cung cấp nhiệt lượng do dòng điện này sẽ tạo ra điện áp một chiều (dòng điện DC) cho cơ cấu điện tử:

$$E_o(DC) = K_T R I_{hd}^2 \quad (2.17)$$

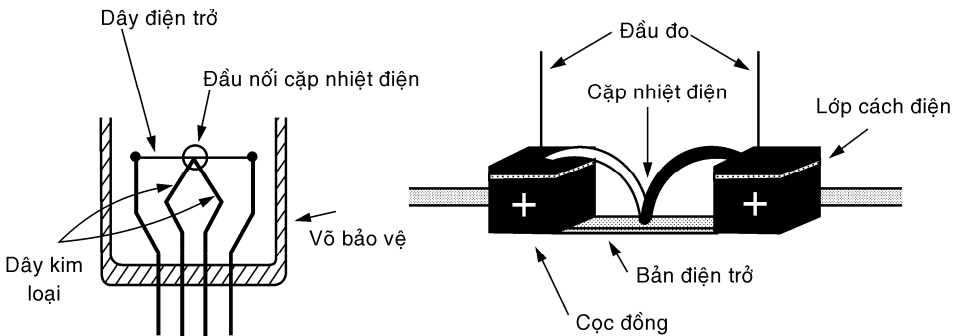
với:  $I_{hd}$  - trị số hiệu dụng của dòng điện AC

$R$  - điện trở của dây đốt nóng

$K_T$  - hằng số tỉ lệ của bộ biến đổi nhiệt điện.

Khi sử dụng bộ biến đổi chỉ dùng trong khoảng tuyến tính của đặc tuyến  $E_o$  theo  $I_{hd}$ . Phương pháp biến đổi nhiệt điện có ưu điểm là không phụ thuộc vào dạng của tín hiệu AC và tần số. Do đó để cho dòng điện có tần số cao, dạng bất kỳ, người ta thường dùng bộ biến đổi này.

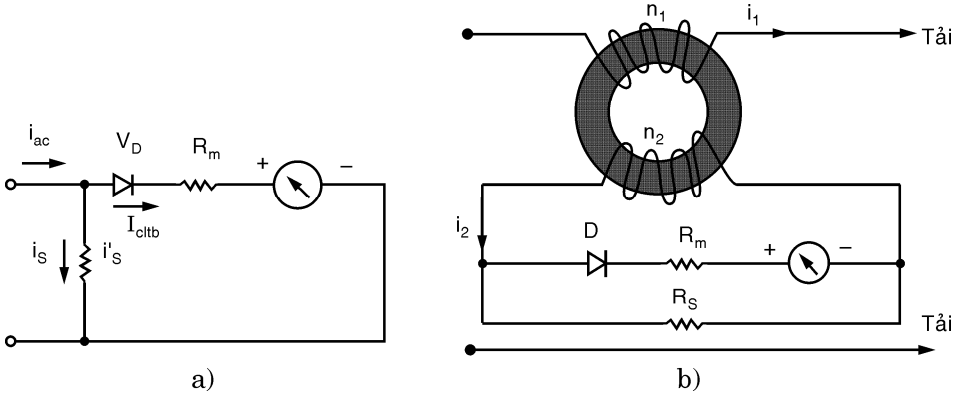
Ngoài ra khi dùng bộ biến đổi này còn phải quan tâm đến sự thay đổi của nhiệt độ môi trường xung quanh, sự gia tăng nhiệt lượng khi dòng điện đo được duy trì sẽ làm cho  $E_o$  tăng theo thời gian (vấn đề bổ chính hay bù nhiệt này sẽ đề cập đến trong phần thiết bị đo điện tử vôn-kế điện tử dùng bộ biến đổi nhiệt điện).



**Hình 2.18:** Bộ biến đổi nhiệt điện

### Mở rộng tâm đo

Dùng điện trở shunt cho diod và cơ cấu từ điện (H.2.19a). Diod mắc nối tiếp với cơ cấu điện tử, do đó có dòng  $I_{dtb}$  qua cơ cấu, còn dòng điện xoay chiều lại qua điện trở shunt.



**Hình 2.19:** a) Mạch đo dòng AC có điện trở shunt  
 b) Mạch đo dùng biến dòng

Ví dụ:  $i_{AC}$

Dòng xoay chiều dạng sin có trị hiệu dụng  $I_{hd}$ , khi đi qua diod sẽ có:

$$i_{cltb} = 0,318\sqrt{2}I_{hd} \leq I_{max}, \text{ với } I_{max} - \text{dòng tối đa của cơ cấu.}$$

Khi đó dòng điện xoay chiều còn lại sẽ qua điện trở shunt.

Cụ thể:  $I_{max} = 1 \text{ mA}$ ;  $I_{\tilde{n}o} = 100 \text{ mA}$  (RMS trị hiệu dụng).

Trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều qua điện trở shunt:

$$I_S = I_{\tilde{n}o} - \frac{I_{max}}{0,318\sqrt{2}} = (100\text{mA} - \frac{1\text{mA}}{0,318\sqrt{2}}) \text{ RMS}$$

$$= (100 \text{ mA} - 2,2 \text{ mA}) \text{ RMS} = 97,8\text{mA} \text{ (RMS)}$$

Điện trở shunt được xác định:  $R_S = \frac{V_D + R_m(I_{max}/0,318\sqrt{2})}{I_S \text{ (RMS)}}$

Ví dụ:  $V_D = 0,6\text{V}$ ;  $R_m = 50\Omega$ ;  $I_{max} = 1\text{mA}$ ;  $I_{\tilde{n}o} = 100\text{mA}$  (RMS)

Áp dụng công thức trên:  $R_S = \frac{0,6\text{V} + 50\Omega \times 2,22\text{mA}(\text{RMS})}{97,8\text{mA}(\text{RMS})} = 7,269\Omega$

*Dùng biến dòng* (H.2.19b). Theo nguyên lý hoạt động của biến dòng là phải có sự cân bằng của lực từ động phần sơ cấp và thứ cấp của biến dòng:  $n_1 i_1 = n_2 i_2$

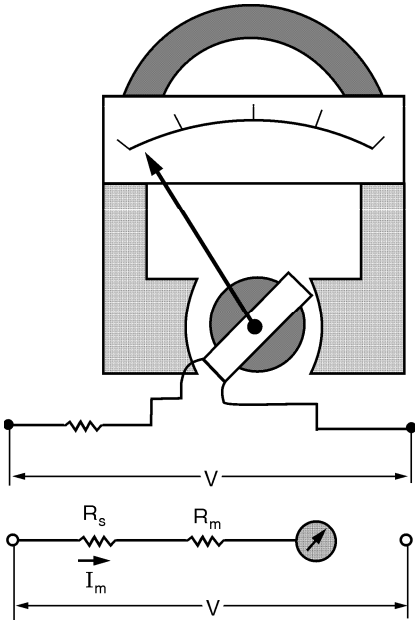
Ví dụ:  $n_1 = 5$  vòng;  $n_2 = 100$  vòng;  $i_1 = 10 \text{ A}$  (RMS)

$$i_2 = \frac{n_1}{n_2} i_1; \quad i_2 = \frac{5}{100} 10 \text{ A} = 0,5 \text{ (RMS)}$$

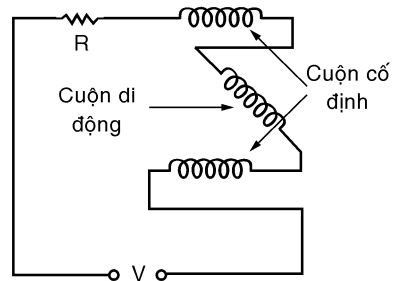
$$I_{\tilde{n}o} = \frac{V_{\tilde{n}o}}{R + R_m} \leq I_{\max}, \text{ với } R_m - \text{nội trở của cơ cấu (2.18)}$$

Tổng trở vào của vôn-kế  $Z_V = R + R_m$ .

Các cơ cấu từ điện, điện từ và điện động đều được dùng làm vôn-kế DC. Bằng cách nối thêm điện trở  $R$  để hạn chế dòng điện qua cơ cấu theo biểu thức trên.



**Hình 2.21:** Mạch đo điện áp



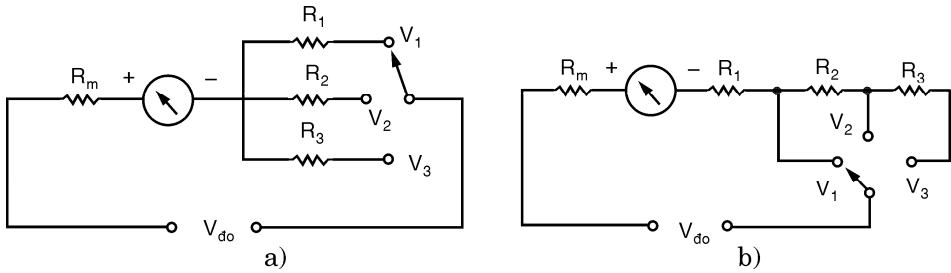
**Hình 2.22:** Mạch ño ñiễn áp của cơ cấu ñiễn ñoãng

Riêng đối với cơ cấu điện động cuộn, dây di động và cuộn dây cố định được nối tiếp (H.2.22).

**Mở rộng tầm đo**

*Dùng cơ cấu từ điện*

Mở rộng tầm đo bằng cách nối tiếp điện trở (H.2.23). Đây là mạch đo điện áp một chiều thường dùng trong máy đo vạn năng. Tổng trở vào của vôn-kế thay đổi theo tầm đo nghĩa là tổng trở vào càng lớn thì tầm đo điện áp càng cao. Cho nên người ta thường dùng trị số độ nhạy  $\Omega/V_{DC}$  của vôn-kế để xác định tổng trở vào của mỗi tầm đo.



Hình 2.23: Mạch đo áp DC nhiều tầm đo

Ví dụ: Vôn-kế có độ nhạy  $20\text{ k}\Omega/V_{DC}$ . Ở tầm đo  $2,5\text{V}$  là tổng trở vào.  
 $Z_{V1} = 2,5\text{V} \times 20\text{ k}\Omega/V_{DC} = 200\text{ k}\Omega$ .

Ví dụ 2.3: Tính điện trở cho ba tầm đo  $V_1 = 2,5\text{V}$ ;  $V_2 = 10\text{V}$ ;  $V_3 = 0,5\text{V}$ . Cho vôn-kế dùng cơ cấu từ điện  $I_{\max} = 100\mu\text{A}$ ;  $R_m = 0,5\text{k}\Omega$

**Giải:** Mạch đo của vôn-kế được mắc theo hình 2.23b cho ba tầm đo. Do đó ở tầm  $V_1 = 2,5\text{V}$ :

$$R_1 + R_2 = \frac{2,5\text{V}}{I_{\max}} = \frac{2,5\text{V}}{100\mu\text{A}}; R_1 = \frac{2,5\text{V}}{1 \times 10^{-4}\text{ A}} - 0,5\text{k}\Omega = 24,5\text{k}\Omega$$

$$\text{Ở tầm: } V_2 = 10\text{V}: R_2 = \frac{V_2 - V_1}{I_{\max}} = \frac{7,5\text{V}}{100\mu\text{A}} = \frac{7,5}{10^{-1}}\text{ k}\Omega = 75\text{k}\Omega$$

$$\text{Ở tầm: } V_3 = 50\text{V}: R_3 = \frac{V_3 - V_2}{I_{\max}} = \frac{50\text{V} - 10\text{V}}{100\mu\text{A}} = 400\text{k}\Omega.$$

Để cho vôn-kế có độ chính xác cao nên chọn sai số của điện trở  $R_1, R_2, R_3 \leq 1\%$  độ nhạy  $\Omega/V_{DC}$  của vôn-kế.

$$\frac{R + R_m}{V_1} = \frac{25\text{k}\Omega}{2,5V_{DC}} = 10\text{k}\Omega/V_{DC}$$

Ví dụ 2.4: Vôn-kế dùng cơ cấu điện từ có cuộn dây cố định có dòng  $I_{\max} = 50\text{mA}$  tầm đo  $0 - 300\text{V}$ . Xác định điện trở  $R$  nối tiếp với cơ cấu. Điện trở nội  $R_m = 100\Omega$  và công suất của điện trở.

$$\text{Giải: } R + R_m = \frac{300\text{V}}{50\text{mA}} = 6\text{k}\Omega, R = 6\text{k}\Omega - 0,1\text{k}\Omega = 5,9\text{k}\Omega$$

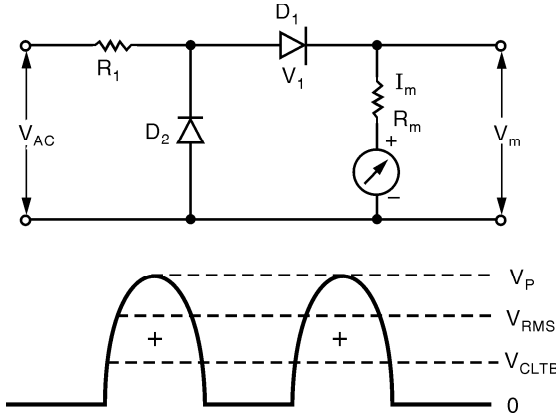
$$\text{Công suất của điện trở } P = R I_{\max}^2 = 5,9\text{k}\Omega \times (50\text{mA})^2 = 14,75\text{ watt}$$

### 2.3.2 Đo dòng điện AC

**Nguyên lý đo:** Đối với cơ cấu điện động, điện từ vôn-kế AC dùng cơ cấu này phải mắc điện trở nối tiếp với cơ cấu như trong vôn-kế DC vì hai cơ cấu

này hoạt động với trị hiệu dụng của dòng xoay chiều. Riêng đối với cơ cấu điện từ thì phải dùng phương pháp biến đổi như ở phần ampe-kế nghĩa là dùng diod chỉnh lưu hoặc bộ biến đổi nhiệt điện (H.2.18).

**Cách xác định điện trở nối tiếp cho cơ cấu từ điện**



**Hình 2.24:** Mạch đo điện áp AC

Mạch đo được mắc như hình 2.24 diod  $D_1$  chỉnh lưu dòng điện AC ở bán kỳ dương, diod  $D_2$  cho dòng điện âm đi qua (không qua cơ cấu chỉ thị) để cho điện áp nghịch của bán kỳ âm của điện áp AC không rơi trên diod  $D_1$  và cơ cấu chỉ thị. Tránh được điện áp nghịch quá lớn khi đo điện áp AC có giá trị lớn. Điện trở  $R_1$  nối tiếp ở tầm đo điện áp  $V_{AC}$  được xác định:

$$V_{AC}(RMS) = (R_1 + R_m) I_{hd} + V_D(RMS) \tag{2.19}$$

mà:  $I_{dctb} = I_{max} = 0,318\sqrt{2} I_{hd} \tag{2.20}$

$I_{hd}$  - dòng điện của điện áp đo  $V_{AC}$  (tính theo trị hiệu dụng) qua cơ cấu chỉ thị và qua  $R_1$  tương đương.

$$R_1 + R_m = \frac{V_{AC}(RMS) - V_D}{I_{max} / (0,314\sqrt{2})} \tag{2.21}$$

Ví dụ:  $R_m = 1k\Omega$ ;  $I_{max} = 50\mu A$ . Xác định  $R_1$  ở tầm đo  $V_{AC} = 10V$  (RMS) với  $V_D = 0,6V$  (RMS).

$$R_1 + R_m = \frac{10V(RMS) - 0,6V}{50\mu A / (0,45)} = \frac{9,4V(RMS)}{110\mu A} = 85,45k\Omega; R_1 \# 85k\Omega$$

Độ nhạy  $\Omega/V_{AC}$  của vôn-kế trong trường hợp này:

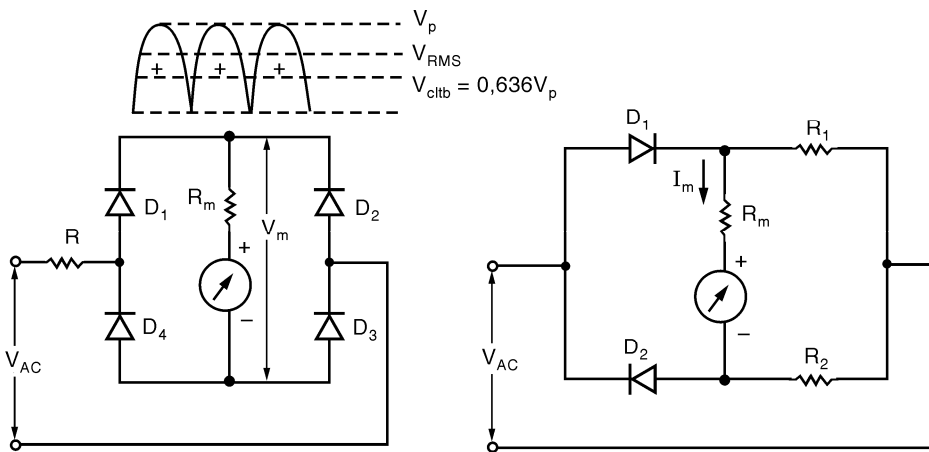
$$1V(RMS) / 110\mu A(RMS) = 9k\Omega / V_{ac}$$

Như vậy với cùng một cơ cấu (cơ cấu từ điện) tổng trở vào của vôn-kế AC sẽ nhỏ hơn tổng trở vào của vôn-kế DC.

Đối với vôn-kế điện tử tổng trở vào của vôn-kế không thay đổi theo tầm đo đối với điện áp AC hoặc DC.

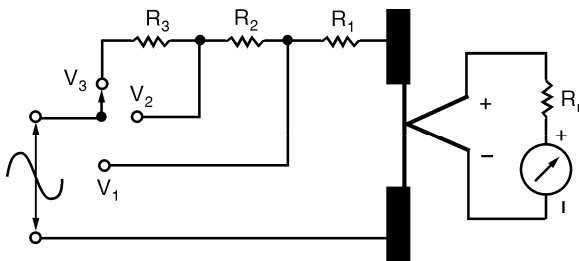
□ Mạch đo điện áp AC có thể dùng cầu diod (4 diod) hoặc (2 diod) và (2 điện trở) như hình 2.25.

□ Khuyết điểm của vôn-kế AC dùng diod chỉnh lưu phụ thuộc vào dạng tín hiệu và tần số cao có ảnh hưởng của tổng trở và điện dung ký sinh của diod.



Hình 2.25: Mạch đo điện áp AC dùng cơ cấu từ điện

□ Để cho vôn-kế AC không phụ thuộc vào dạng và tần số của tín hiệu AC thì dùng vôn-kế có bộ biến đổi nhiệt điện (H.2.26), các điện trở thay đổi tầm đo được nối tiếp với điện trở cung cấp nhiệt lượng cho cặp nhiệt điện.



Hình 2.26: Mạch đo điện áp AC dùng bộ nhiệt điện

□ Thang đo của vôn-kế AC được ghi theo trị hiệu dụng (RMS) mặc dù dùng phương pháp chỉnh lưu trung bình. Còn nếu dùng phương pháp biến đổi nhiệt điện thì gọi là vôn-kế có trị hiệu dụng thực (true RMS).

**2.3.3 Ảnh hưởng của vôn-kế trên mạch đo điện áp**

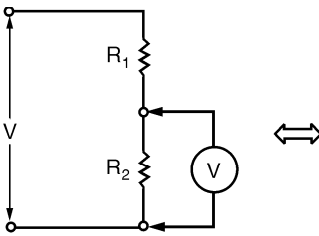
□ Khi vôn-kế được mắc vào phần tử cần đo điện áp thì có thể xem như tổng trở vào của vôn-kế mắc song song với phần tử đó (H.2.27).

Ví dụ: Vôn-kế đo điện áp hai đầu điện trở  $R_2$ , dòng điện đi qua  $R_2$  khi không có vôn-kế:  $I = V/(R_1 + R_2)$ . Điện áp vào:  $V_2 = R_2 I = R_2 \times V/(R_1 + R_2)$

Khi có vôn-kế dòng điện  $I'$  qua mạch: 
$$I' = \frac{V}{R_1 + (R_2 // R_V)}$$

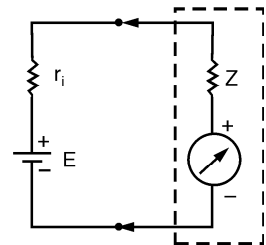
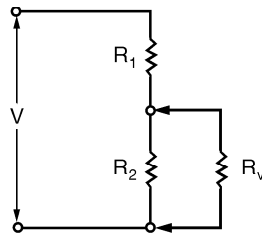
Điện áp: 
$$V' = (R_2 // R_V) I' = (R_2 // R_V) \frac{V}{R_1 + (R_2 // R_V)}$$

Nếu  $R_2$  rất nhỏ so với  $R_V$  dẫn đến  $(R_2 // R_V) \rightarrow R_2$ . Khi đó ảnh hưởng của vôn-kế không đáng kể đối với mạch đo.



Hình 2.27

Mạch tương đương khi mắc vôn-kế



Hình 2.28

Mạch đo điện áp nguồn

Ví dụ 2.5:  $V = +10V$ ;  $R_2 = R_1 = 10k\Omega$ ;

$$R_V = 200k\Omega ; V_2 = \frac{10V}{20k\Omega} \times 10k\Omega = 5V$$

Khi đó vôn-kế: 
$$I' = \frac{10V}{10k\Omega + (10k\Omega // 200k\Omega)} = \frac{10V}{19,5k\Omega}$$

$$V'_2 = \frac{9,5k\Omega}{19,5k\Omega} \times 10V = 4,88V$$

Sai số do ảnh hưởng của vôn-kế:  $[1 - (4,88V/5V)] \times 100\% = 2,4\%$

$R_{AB}$  là toàn trị số của biến trở đo lường.  $G$  điện kế dùng để xác định sự cân bằng của mạch đo. Dòng  $I$  được giữ không đổi (đã được định sẵn). Do đó trước khi đóng khóa,  $S$  được để ở vị trí 1. Nguồn chuẩn  $B_2$  được đưa vào so sánh với điện áp  $V_{BC}$  (con chạy  $C$  có vị trí đã định trước cho nguồn chuẩn  $B_2$ ).

Tại vị trí *vạch chuẩn* của con chạy  $C$ , điện kế  $G$  chỉ số “0” (nghĩa là dòng điện kế bằng không).  $B_2 = V_{BC} = R_{BC}I$ . Dòng  $I$  đã được xác định.

Nếu điện kế  $G$  chỉ khác “0” dòng  $I$  định trước đã thay đổi. Khi đó, điều chỉnh  $R_I$  để sao cho “ $G$ ” chỉ “0” (nghĩa là  $K_I$  thay đổi) dòng  $I$  có trị số như cũ (vì  $B_I$  thay đổi do nguồn pin yếu hoặc *mạnh* quá qui định).

Sau đó khóa  $K$  được chuyển sang vị trí 2: điện áp  $V_X$  cần đo được so sánh với điện áp  $V_{BC}$ .

Tiếp tục điều chỉnh con chạy  $C$  cho đến khi “ $G$ ” chỉ không):

$$V'_{BC} = R'_{BC}I$$

Như vậy tại vị trí  $R_{BC}$  có:  $V'_{BC} = R'_{BC}I = V_X$

$I$  đã được xác định, do đó  $V_X$  được đo bằng điện trở  $R'_{BC}$ . Thông thường người ta khắc trị số điện áp đo trên vị trí dịch chuyển của con chạy  $C$  (thường được ghi trên *thước đo* hoặc *đĩa đo*).

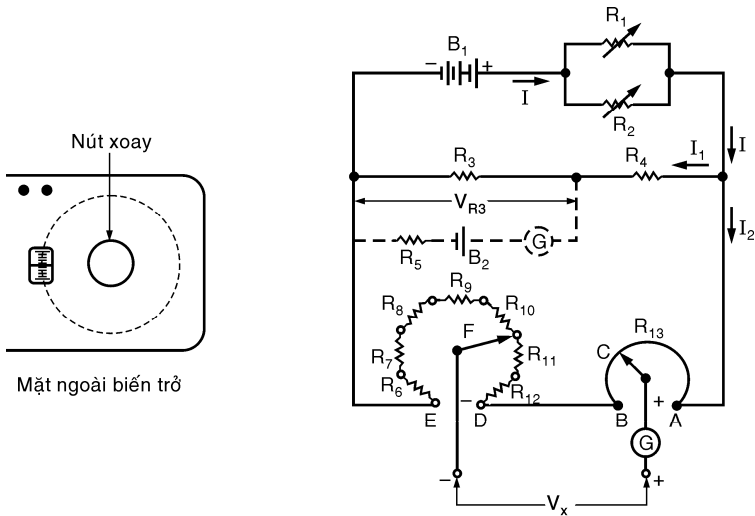
□ Ưu điểm của phương pháp đo này là không bị ảnh hưởng của điện trở nội của nguồn  $V_X$ . Vì dòng điện qua điện kế  $G$  bằng “0” nên không có điện áp rơi trên điện trở nội của nguồn điện áp cần đo.

#### 2.4.2 Mạch đo thực tế (H.2.30)

Để dòng  $I$  được xác định một cách chính xác và điều chỉnh được tuyến tính khi  $B_I$  thay đổi, người ta dùng hệ thống điện trở (từ  $R_6 \div R_{12}$ ) kết hợp nối tiếp với điện trở  $R_{13}$  có con chạy  $C$  trượt trên biến trở và mắc song song với  $R_3 + R_4$  (để có sự điều chỉnh được tuyến tính).

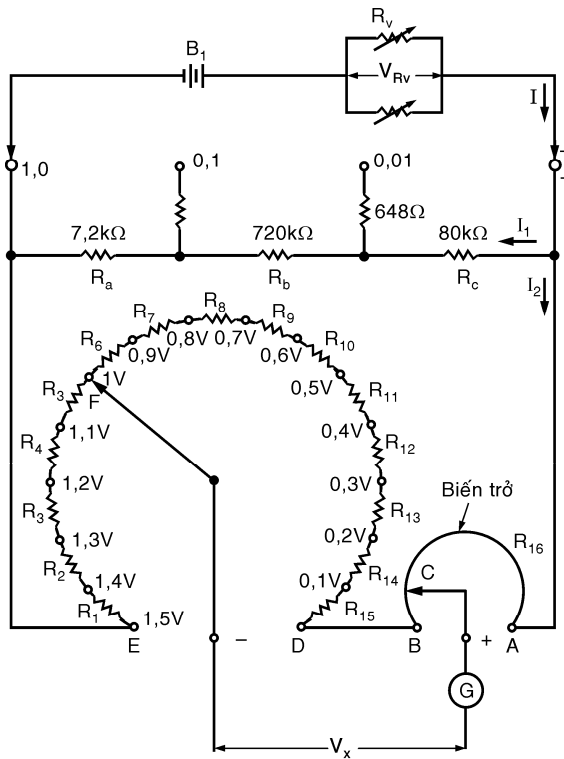
Trị số  $V_X$  được xác định trên vạch chia của đĩa xoay nhìn qua *ô cửa số* (H.2.30). Như vậy để cho điện kế  $G$  chỉ “0” khi đo  $V_X$  chúng ta phải điều chỉnh *tâm đo* (thay đổi vị trí của khóa  $F$ ) và điều chỉnh nhỏ (thay đổi con chạy  $C$ ).





Hình 2.30: Mạch đo cụ thể

2.4.3 Mạch đo có trị số cụ thể (H.2.31)



Hình 2.31: Mạch đo cụ thể của mV- kế

Chuyển vị trí  $F$  để thay đổi tầm đo từ 0,1V đến 1,5V ( $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_{15} = 50\Omega$ ).

Thay đổi  $H$  là thay đổi hệ số nhân 0,01; 0,1; 1. Trị số đọc được xác định  $V_x$ . Đây là thiết bị đo điện áp (mili vôn-kế) cụ thể có ba tầm lớn.

Tầm đo, v	Độ chính xác, $\mu V$
0 ÷ 1,6	± 500
0 ÷ 0,16	± 100
0 ÷ 0,016	± 10

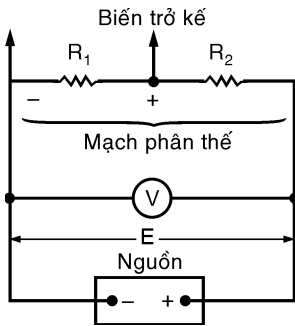
Ở mỗi tầm đo có phân ra 15 khoảng nhỏ.

Ví dụ: ở tầm đo từ 0 đến 0,016V.

Có 15 khoảng, mỗi khoảng cách nhau 0,001V (1mV).

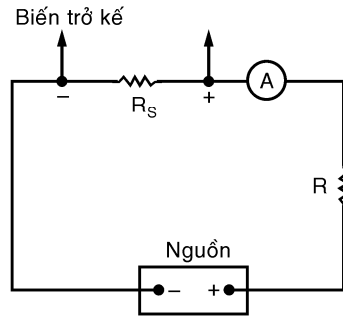
**2.4.4 Ứng dụng của phương pháp đo điện bằng biến trở**

**Định chuẩn cho vôn-kế DC và ampe-kế DC**



Hình 2.32

Mạch định chuẩn vôn-kế



Hình 2.33

Mạch định chuẩn ampe-kế

Mạch được mắc như hình 2.32, điện áp  $E$  được đưa vào định chuẩn cho vôn-kế:

$$E = \frac{V_{R1}}{R_1} (R_1 + R_2) \tag{2.23}$$

trong đó  $V_{R1}$  được xác định bởi vôn-kế dùng P/P biến trở đã nói ở trên.

Mạch được mắc như hình 2.33, dòng điện  $I$  qua ampe-kế cần được định chuẩn đi qua *điện trở chính xác*  $R_S$ , điện áp ( $R_S I$ ) được đưa vào đo bằng vôn-kế dùng phương pháp biến trở.

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \Rightarrow I_{E1} = I_{E2}, \alpha I_C = (1 - \alpha) I_B, I_C = \frac{1 - \alpha}{\alpha} I_B$$

và  $R_{E1} = R_{E2}$ ; cho nên  $V_{E1} = V_{E2}$ . Khi đó dòng  $I_M$  qua cơ cấu chỉ thị bằng *không*.

□ Khi điện áp vào:  $V_i > 0$ ;  $I_{B1} > I_{B2}$ ; suy ra:  $I_{E1} > I_{E2}$

Cho nên  $V_{B1} > V_{B2}$  dòng  $I_M$  qua cơ cấu chỉ thị  $M$  phụ thuộc vào  $V_{E1} - V_{E2}$  nghĩa là phụ thuộc vào điện áp  $V_i$ . Đối với mỗi mạch đo sẽ có  $V_i$  cực đại khiến cho transistor đạt đến trạng thái bão hòa  $V_{E1} - V_{E2}$  cực đại.

*Ví dụ:*  $V_i = 1V$  khiến cho  $V_{E1} - V_{E2} = 1V$  (mức điện áp bão hòa cần đo).

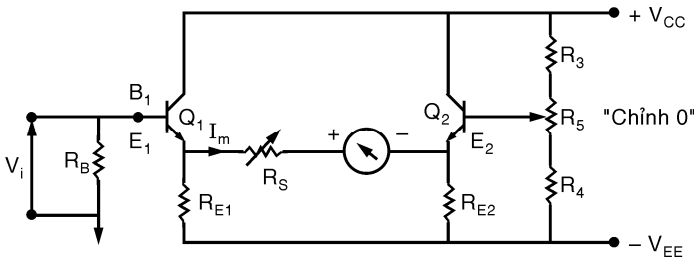
□ Khi điện áp vào:  $V_i < 0$ ;  $I_{B1} > I_{B2}$ ; suy ra:  $V_{E1} < V_{E2}$  dẫn đến  $V_{E1} - V_{E2} < 0$  lúc đó dòng điện  $I_M$  đo qua  $E_2$  đến  $E_1$  (khi đó cực tính của đồng hồ  $M$  phải đảo lại).

*Chú ý:* □ Khi đo điện áp  $V_i$  (dương hay âm) điểm *mass* mạch đo bao giờ cũng được nối với điểm *mass* của *mạch cần đo* (nếu ngõ vào lấy theo kiểu *đơn cực ngoại trừ* ngõ vào được lấy theo kiểu *vi sai*).

□ Khi đo hiệu điện áp  $V_A - V_B$  của một mạch cần khảo sát, chúng ta phải lần lượt đo  $V_A$  so với *mass* và  $V_B$  so với *mass* (nếu ngõ vào theo kiểu *đơn cực*). Còn nếu ngõ vào của mạch đo theo kiểu *vi sai* thì chúng ta đưa hai đầu đo vào hai điểm A và B (trong khi đó điểm *mass* của mạch đo được nối với *mass* mạch cần khảo sát).

□ Trong thực tế nếu mạch không thỏa điều kiện điện lý tưởng nghĩa là khi:

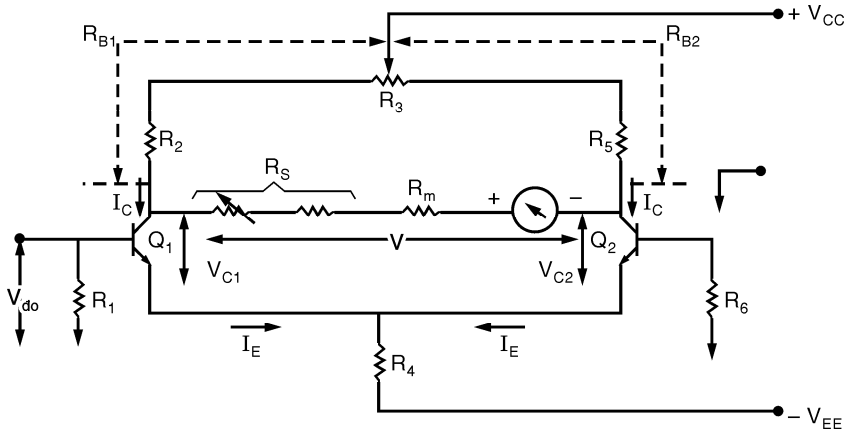
$V_i = 0V$  mà  $V_{E1} \neq V_{E2}$ , có khi ở trên chúng ta dùng mạch đo sau đây có biến trở  $R_5$  (biến trở chỉnh “0” của mạch đo) điều chỉnh con chạy  $R_5$  để cho mạch đo phân cực lại sao cho  $I_{B1} = I_{B2}$  và  $V_{E1} = V_{E2}$ . Mạch đo thực tế được diễn tả như hình 2.36.



Hình 2.36: Mạch đo có biến trở chỉnh không “0”

□ Mạch đo điện áp có ngõ ra được lấy ở hai cực phát còn được gọi là *mạch theo điện áp (voltage follower)* vì điện áp ra có hệ số khuếch đại bằng 1

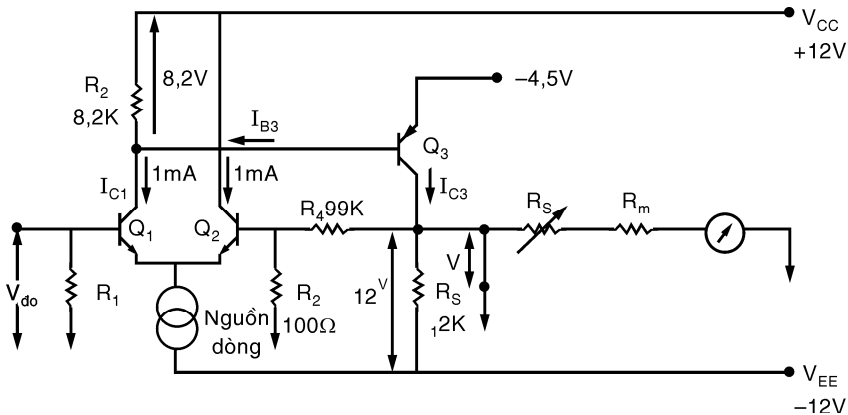
so với điện áp vào.



Hình 2.37: Mạch khuếch đại có hệ số lớn hơn 1

Nếu muốn điện áp ra lớn hơn điện áp vào (mạch đo có hệ số khuếch đại lớn hơn 1) thì ngõ ra được lấy ở cực thu  $C_1$ ,  $C_2$  của  $Q_1$ ,  $Q_2$  như mạch hình 2.37.

Đối với tín hiệu có trị số đo nhỏ, chúng ta có thể dùng thêm một tầng khuếch đại transistor có phần hồi tiếp âm để ổn định sự khuếch đại của mạch như hình 2.38. Tín hiệu ra được lấy ở cực thu  $C_3$  của  $Q_3$  và phần hồi tiếp âm được lấy từ cực thu  $C_3$  về cực nền  $B_2$  qua điện trở  $R_4$ .

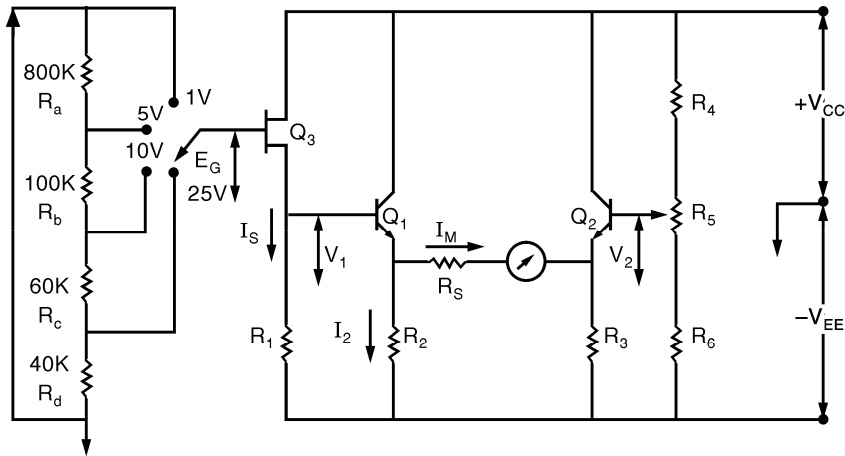


Hình 2.38: Mạch khuếch đại hồi tiếp âm

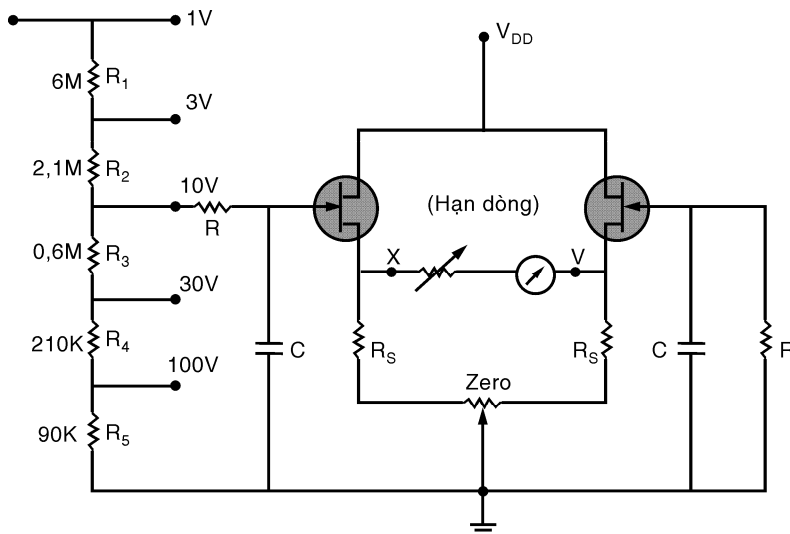
### Mạch đo điện áp DC dùng transistor trường (JFET)

Mạch đo dùng BJT có khuyết điểm là tổng trở vào của bản thân transistor BJT nhỏ ( $h_{ie} \approx$  vài  $k\Omega$ ). Do đó người ta thường dùng mạch đo có ngõ vào dùng JFET để có tổng trở vào lớn như hình 2.39 sau đây kết hợp với mạch phân tầm

đo điện áp. Hoặc mạch đo dùng JFET kênh N như hình 2.40.



Hình 2.39: Mạch đo có tầng vào là JFET



Hình 2.40: Mạch đo dùng JFET kênh N

□ Tổng trở vào của mạch đo: tổng trở vào của vôn-kế là tổng trở vào của mạch phân tầm đo:

$$Z_i = R_a + R_b + R_c + R_d = 800k + 100k + 60k + 40k = 1M\Omega$$

Do đó ở mỗi tầm đo (tầm đo 1V; 5V; 10V; 25V ở H.2.39) tổng trở vào  $Z_i$  không đổi ( $1M\Omega$ )

□ Đặc điểm của mạch phân tầm đo là mạch phân áp vào mạch đo (mạch cầu đo).

Ví dụ: Ở tầm đo 1V, điện áp đo  $\leq 1V$  được đưa vào mạch đo. Vì mạch đo có điện áp bão hòa ở 1V.

Khi điện áp lớn hơn 1V thì khóa S chuyển sang các tầm đo lớn hơn (ví dụ chuyển sang tầm đo 5V) thì khi đó mạch phân áp sẽ tạo ra điện áp  $V_i$  vào mạch đo:

$$V_i = \frac{V_{\tilde{n}o}}{R_a + R_b + R_c + R_d} (R_b + R_c + R_d)$$

Như vậy ở tầm đo 5V  $(V_{\text{do}})_{\text{max}} = 5V$

$$V_i = \frac{5V}{R_a + R_b + R_c + R_d} (R_b + R_c + R_d) = \frac{5V}{1M\Omega} \times 200k\Omega = 1V$$

## 2.5.2 Mạch đo điện áp DC dùng IC Op – Amp

(mạch khuếch đại thuật toán)

### Đặc tính cơ bản

Những tín hiệu đo lường thường có trị số nhỏ (hoặc rất nhỏ), nhất là những tín hiệu từ ngõ ra của cảm biến đo lường, cho nên cần phải khuếch đại những tín hiệu này trước khi chế biến tín hiệu.

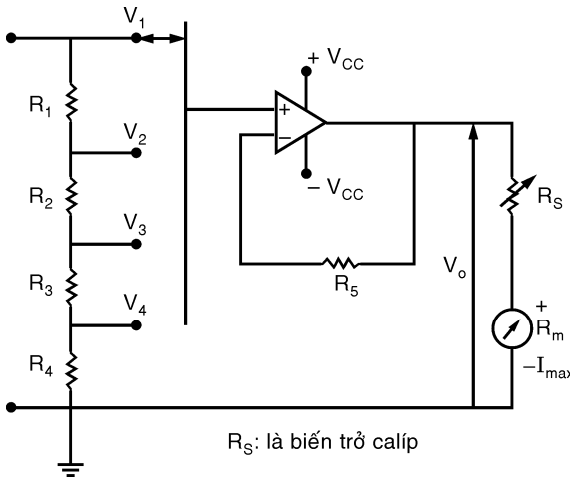
Những nét đặc trưng quan trọng của mạch khuếch đại đo lường gồm những điểm sau đây:

- Hệ số khuếch đại được chọn lựa phù hợp với độ chính xác và độ tuyến tính cao
- Ngõ vào vi sai có khả năng tốt nhất để có hệ số trượt tải tín hiệu chung lớn nhất
- Độ ổn định cho hệ số khuếch đại đối với sự thay đổi nhiệt độ hoạt động
- Sai số do sự trôi (*drift*) và điện áp *offset* DC càng nhỏ càng tốt.

Hiện nay mạch khuếch đại đo lường dùng vi mạch khuếch đại thuật toán (*instrumentation operational amplifier*) đã được chế tạo mang những đặc tính cơ bản nói trên. Do đó, chúng ta không cần phải bận tâm đến việc thiết kế mạch khuếch đại đo lường như khi còn dùng linh kiện transistor rời. Ngoài ra hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại thuật toán hoàn toàn phụ thuộc phần tử bên ngoài do chúng ta quyết định khi thiết kế.

Chính vì vậy ở các phần sau đây chúng ta phân tích mạch đo lường dùng trong máy đo điện tử sử dụng mạch khuếch đại thuật toán (*op-amp*).

**Dạng mạch đo không có khuếch đại điện áp**



**Hình 2.41:** Mạch đo dòng Op-Amp có hệ số khuếch đại bằng 1

Trong trường hợp này mạch khuếch đại điều hợp (ngăn cách) tổng trở lớn của mạch phân tâm đo và mạch của đồng hồ chỉ thị (H.2.41). Mạch khuếch đại dòng op-amp trong trường hợp này là *mạch khuếch đại không đảo dấu (non inverting amplifier)* vì tín hiệu vào ngõ (+) của op-amp.

**Dạng mạch đo có khuếch đại điện áp**

Trường hợp tín hiệu đo có giá trị nhỏ chúng ta dùng mạch khuếch đại không đảo dấu có hệ số khuếch đại lớn hơn 1 (H.2.42).





**Mạch khuếch đại dạng vi sai**

Mạch khuếch đại dạng vi sai được diễn tả ở hình 2.44.

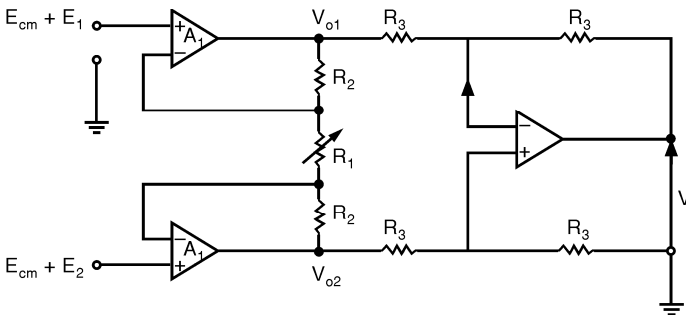
Khảo sát mạch đo trên:  $E_{cm}$  thành phần chung của tín hiệu đo.

$E_1, E_2$  thành phần vi sai

$$V_{01} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(E_1 + E_{cm}) + (-\frac{R_2}{R_1})(E_2 + E_{cm}) = (1 + \frac{R_2}{R_1})E_1 + E_2(-\frac{R_2}{R_1}) + E_{cm}$$

$$V_{02} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(E_2 + E_{cm}) + (-\frac{R_2}{R_1})(E_1 + E_{cm}) = (1 + \frac{R_2}{R_1})E_2 + E_1(-\frac{R_2}{R_1}) + E_{cm}$$

$$V = V_{02} - V_{01} = (1 + 2\frac{R_2}{R_1})(E_2 - E_1)$$



**Hình 2.44:** Mạch đo dùng khuếch đại vi sai

**2.5.3 Mạch đo điện áp DC có giá trị nhỏ dùng phương pháp “chopper”**

Mạch đo điện áp DC có giá trị nhỏ vào khoảng vài mV thường được dùng trong điện kế điện tử (*electronic galvanometer*). Để đo những điện áp có giá trị nhỏ như vậy phải dùng mạch khuếch đại ghép nhiều tầng để tăng hệ số khuếch đại. Nhưng nếu ghép các tầng khuếch đại theo kiểu ghép trực tiếp (ghép DC - *direct coupling*) thì sự trôi điểm phân cực của tầng đầu sẽ được các tầng sau khuếch đại và như vậy, sẽ lẫn vào tín hiệu đo. Do đó phải dùng cách ghép AC (*alternative coupling*) để sự trôi mỗi tầng khuếch đại độc lập với nhau. Như vậy tín hiệu đo phải được chuyển từ tín hiệu DC sang tín hiệu thay đổi AC, sau đó được khuếch đại lớn lên bằng mạch khuếch đại AC. Sơ đồ khối mạch đo được diễn tả ở hình 2.45.

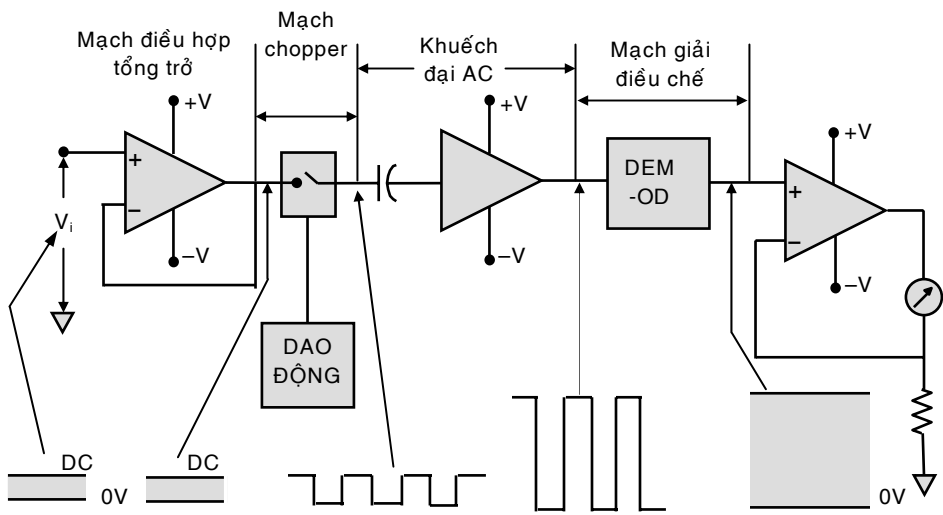
□ Trước hết tín hiệu đo DC đưa vào mạch khuếch đại theo điện áp có nhiệm vụ điều hợp tổng trở cho mạch phân tầm đo trước đó và mạch *chopper* (mạch đóng-ngắt)

□ Mạch *chopper* bao gồm mạch dao động điều khiển mạch khóa điện tử

(thường dùng mạch đóng ngắt dùng JFET), hoặc dùng phương pháp *chopper* theo phương pháp quang (H.2.46). Sau đó tín hiệu ở ngõ ra của mạch *chopper* là tín hiệu AC thay đổi (xung vuông) có biên độ là mức điện áp DC cần đo và tần số là tần số của tín hiệu dao động. Tín hiệu này được đưa vào mạch khuếch đại ghép AC để khuếch đại tín hiệu lớn lên.

□ Sau đó tín hiệu này được đưa vào mạch *giải điều chế* (*demodulator*) để loại tín hiệu dao động, lấy lại tín hiệu DC (có kết hợp của mạch lọc hạ thông).

□ Tín hiệu DC đã được khuếch đại đưa vào mạch đo điện áp DC (như đã nói ở phần trước).



**Hình 2.45:** Sơ đồ khối của mạch đo điện áp DC có trị số nhỏ dùng chopper

Sau đây chúng ta khảo sát mạch *chopper* dùng phương pháp quang.

Mạch dao động tạo ra tín hiệu điều khiển 2 diod phát quang  $D_5$ ,  $D_6$  tuần tự chớp sáng. Hai diod quang (*photo diod*)  $D_1$ ,  $D_3$  cùng nhận nguồn sáng phát ra từ  $D_5$  và  $D_2$ ,  $D_4$  cùng nhận nguồn sáng phát ra từ  $D_6$ . Khi  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  và  $D_4$  nhận được ánh sáng chiếu vào thì xem như *tiếp điểm đóng*. Khi không có ánh sáng chiếu vào xem như *tiếp điểm hở mạch*. Cho nên sự dẫn điện của  $D_1$ ,  $D_3$  và sự không dẫn điện  $D_2$ ,  $D_4$  hoặc sự dẫn điện  $D_2$ ,  $D_4$  và sự không dẫn  $D_1$ ,  $D_3$  tạo cho xung vuông xuất hiện ở ngõ ra diod  $D_4$  được khuếch đại lớn lên. Tụ  $C_5$  được nạp tới trị đỉnh của tín hiệu xung vuông. Sau đó mạch lọc sẽ loại bỏ tần

hiệu dụng (RMS–Root Means Square). Do đó chúng ta có mối quan hệ giữa trị chỉnh lưu trung bình với trị hiệu dụng và trị đỉnh với trị hiệu dụng. Cho nên có các hệ số sau đây:

$$\text{Hệ số dạng: } K_f = \frac{\text{Trị hiệu dụng}}{\text{Trị chỉnh lưu trung bình}}$$

$$\text{Hệ số đỉnh: } K_p = \frac{\text{Trị đỉnh}}{\text{Trị hiệu dụng}}$$

□ Phần lớn các vôn-kế điện tử đo tín hiệu xoay chiều được định chuẩn theo trị hiệu dụng của tín hiệu sin.

*Vi dụ:* Trị chỉnh lưu trung bình toàn sóng (hai bán kỳ) của tín hiệu sin.

$$U_{cltb} = (2/\pi)U_m \quad (U_m - \text{biên độ tín hiệu sin}); \quad U_{hd} = U_m/\sqrt{2}$$

$$\text{Do đó hệ số dạng: } K_f = \frac{U_m/\sqrt{2}}{(2/\pi)U_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

□ Trong trường hợp tín hiệu không sin trị số  $K_f$  nhỏ hoặc lớn hơn 1,11 phụ thuộc vào dạng và tần số tín hiệu. Do đó nếu vôn-kế AC đo các trị số tín hiệu *không sin* sẽ có sai số cho trị số đo khi thang đo được chuẩn theo giá trị hiệu dụng của tín hiệu hình sin (cách chia vạch đo theo hình sin).

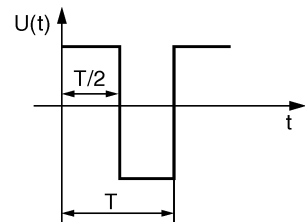
*Vi dụ:* Tín hiệu xung vuông có dạng sau đây:

$$\text{Trị hiệu dụng: } U_{hd} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \right]^{1/2} = U_m$$

Trị chỉnh lưu trung bình (hai bán kỳ).

$$U_{cltb} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_{cl} t = U_m$$

$$\text{Hệ số dạng: } K_f = 1 = \frac{U_{hd}}{U_{cltb}}$$



Trong khi đó nếu là tín hiệu sin thì  $K'_f = 1,11$ . Như vậy sai số khi đo tín hiệu xung vuông này bằng vôn-kế định chuẩn theo trị hiệu dụng của tín hiệu sin:  $\varepsilon_r = \frac{1,11-1}{1,11} \times 100\% \approx 10\%$

*Vi dụ:* Trị hiệu dụng của tín hiệu xung vuông là 1V thì vôn-kế được định chuẩn bởi tín hiệu sin sẽ chỉ sai đi:  $10\% \times 1V = 0,10V$ . Nghĩa là chỉ thị số 1,10V

(hiệu dụng).

**2.6.2 Phương pháp trị chỉnh lưu trung bình**

*Hình thức chỉnh lưu trước rồi khuếch đại sau*

Đối với tín hiệu AC có trị số lớn chúng ta dùng diod trước. Điện áp chỉnh lưu trung bình được đưa vào mạch đo điện áp DC.

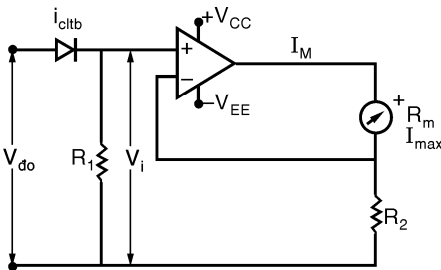
$V_i$  là trị chỉnh lưu trung bình.

$$V_i = i_{cltb}R_1$$

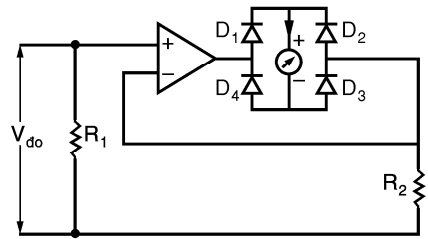
$$I_M = \frac{i_{cltb}R_1}{R_2}$$

$i_{cltb}$  được tính như ở phần đo điện dùng phương pháp chỉnh lưu.

*Hình thức khuếch đại trước rồi chỉnh lưu sau*



**Hình 2.48:** Mạch chỉnh lưu trước khuếch đại sau



**Hình 2.49:** Mạch khuếch đại chuyển đổi áp sang dòng có cầu chỉnh lưu

Mạch được diễn tả ở hình 2.49. Trong mạch đo này ta dùng bộ chỉnh lưu, điện áp rơi trên diod là  $V_D$ , để cho điện áp rơi trên diod không ảnh hưởng bởi mạch đo, chúng ta dùng mạch khuếch đại trên theo hình 2.49;  $I_M$ : dòng chỉnh lưu trung bình được xác định theo biểu thức:

$$I_M = \frac{|V_{\bar{n}o}|}{R_2}; |V_{\bar{n}o}| : \text{trị chỉnh lưu trung bình của } V_{do} \text{ bằng cầu diod.}$$

Ví dụ:  $V_{do} = 1V(RMS)$ ;  $R_2 = 10k\Omega$

$$|V_{\bar{n}o}| \approx 0,636 \times \sqrt{2} \times 1V(RMS) = 0,9V; \text{ thì } I_M = \frac{0,9V}{10k\Omega} = 90\mu A$$

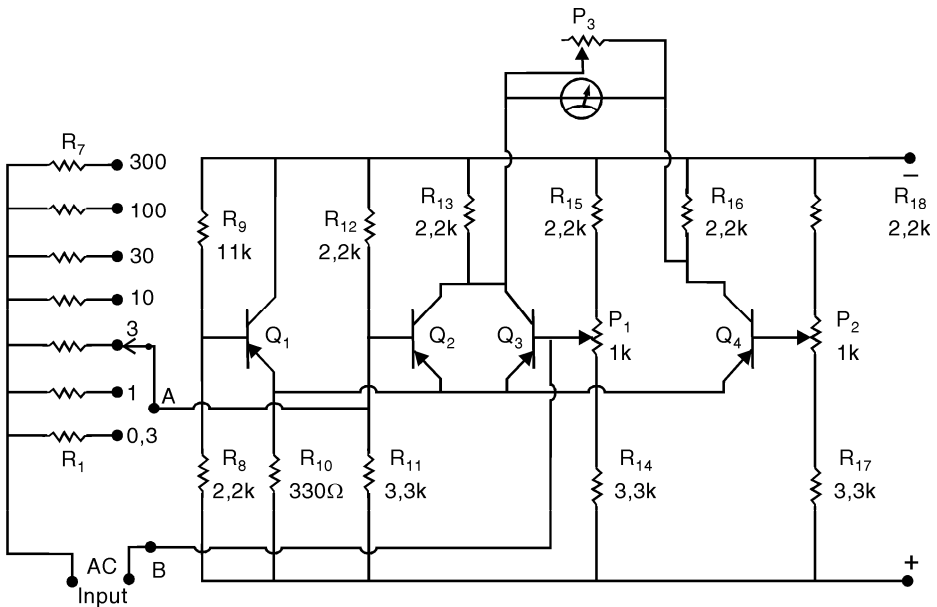
**2.6.3 Phương pháp trị hiệu dụng thực**

Theo ý nghĩa về trị hiệu dụng của tín hiệu đo là căn bậc hai trị trung bình của bình phương trị số đo được diễn tả bằng biểu thức:

$$V_{hd}(RMS) = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T v_i^2 dt \right]^{1/2}$$

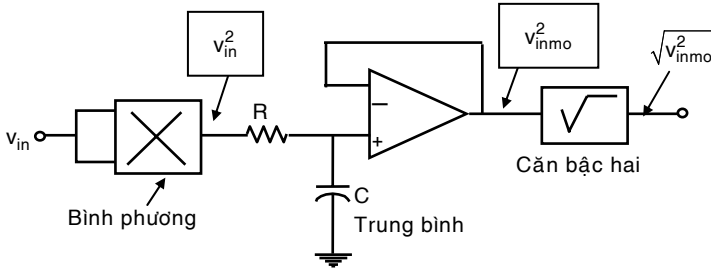
Cho nên chúng ta dùng mạch cho *trị bình phương* tín hiệu vào ở ngõ ra như sau:

Trong thực tế mạch đo dùng phương pháp trị hiệu dụng thực hiện như hình 2.50. Trong mạch đo này  $Q_2$  và  $Q_3$  tạo thành mạch cầu đo (mạch khuếch đại vi sai) loại bỏ thành phần DC (một chiều). Biến trở  $P_1$  được điều chỉnh sự phân cực để cho mạch hoạt động ở phần phi tuyến (mạch bình phương) cho tín hiệu vào có trị số nhỏ.



**Hình 2.50:** Mạch cho trị hiệu dụng thực dùng transistor

Do đó để cho mạch hoạt động vi sai ở ngõ vào của mạch đo, trước hết nối tắt ngõ vào AB của mạch đo, điều chỉnh  $P_2$  để có điện áp ra của mạch đo bằng 0 (mạch đo cân bằng). Tầng khuếch đại  $Q_1$  nhằm mục đích bù nhiệt cho sự phân cực  $Q_2, Q_3, Q_4$  khi nhiệt độ thay đổi. Hiện nay có những vi mạch tổng



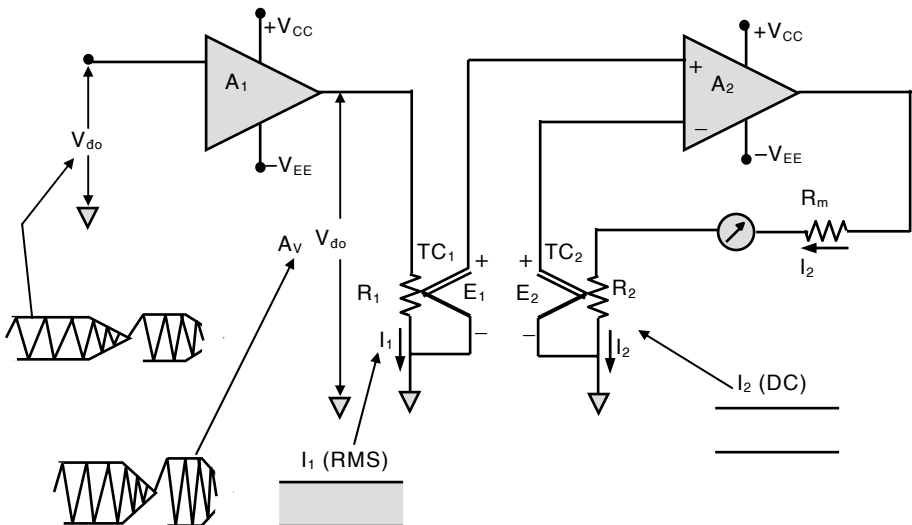
hợp IC được chế tạo, có nhiệm vụ tạo ra trị hiệu dụng thực cho tín hiệu đo như AD531 (Analog device) và 4301 (burrown). Sơ đồ khối được diễn tả trong hình 2.51. Trong IC có 3 mạch:

Hình 2.51: IC cho trị hiệu dụng thực

- Mạch nhân để có trị số bình phương
- Mạch lấy trị trung bình
- Mạch lấy căn bậc hai.

Tín hiệu ở ngõ ra của mạch lấy trung bình xem như được nhân với một hệ số của thang đo điều chỉnh được.

Do đó có thể viết trị trung bình:  $V_{in}^2/E_o = E_o$ ; để cho:  $E_o = \sqrt{V_i^2}$



*Hình 2.52: Mạch đo dùng phương pháp trị hiệu dụng bằng bộ biến đổi nhiệt điện  $TC_1$  và  $TC_2$*

Ngoài ra, trong phương pháp trị hiệu dụng thực chúng ta dùng bộ biến đổi nhiệt điện để chuyển đổi trị hiệu dụng của tín hiệu đo ở dạng bất kỳ, tần số bất kỳ sang tín hiệu DC như hình 2.52. Mạch đo gồm mạch khuếch đại băng thông rộng  $A_1$  (*video amplifier*) tín hiệu đo được khuếch đại tạo ra dòng điện  $I_1$  có trị hiệu dụng đốt nóng điện trở  $R_1$  của bộ biến đổi nhiệt điện  $TC_1$  (nếu  $V_{do}$  có trị hiệu dụng không đổi) thì  $I_1$  (RMS) không đổi tạo ra nhiệt lượng không đổi cho cặp nhiệt điện để tạo ra điện áp DC.  $E_1$  đưa vào ngõ (+) của mạch khuếch đại  $A_2$  tạo ra dòng  $I_2$  (DC) qua cơ cấu chỉ thị.

Nếu năng lượng đo của  $V_{do}$  được duy trì thì  $I_2$  (DC) cũng được duy trì sẽ cung cấp năng lượng qua  $R_2$  của bộ biến đổi nhiệt điện  $TC_2$ . Như vậy sẽ có điện áp  $E_2$  (DC) khử trừ sự gia tăng  $E_1$  (DC) do năng lượng đo được duy trì. Ngoài ra bộ biến đổi  $TC_2$  còn dùng để bù nhiệt cho bộ biến đổi  $TC_1$  khi nhiệt độ môi trường thay đổi.

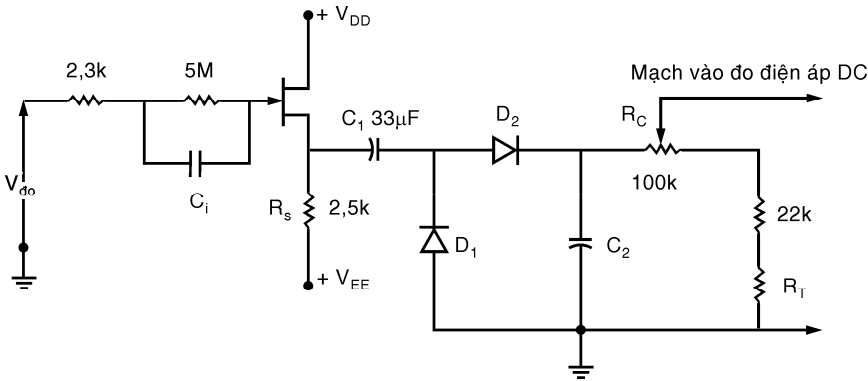
Nếu đặc tính nhiệt của hai bộ biến đổi  $TC_1$  và  $TC_2$  giống nhau thì điện áp ra  $V_o$ :  $V_o = \sqrt{R_2/R_1} A_V \bar{V}_{\bar{n}o}$ . Nếu  $R_1 = R_2$  thì

$$V_o = A_V \bar{V}_{\bar{n}o} \Rightarrow \bar{V}_{\bar{n}o} = V_o/A_V$$

với:  $V_o$  - trị số DC;  $\bar{V}_{\bar{n}o}$  - trị hiệu dụng

$A_V$  - hệ số khuếch đại của mạch đo.

**2.6.4 Phương pháp trị đỉnh**



**Hình 2.53:** Mạch đo điện áp AC dùng mạch nhân đôi điện áp

Mạch biến đổi trị số tín hiệu đo có thành phần xoay chiều thành tín hiệu DC có trị số bằng trị đỉnh. Đỉnh của tín hiệu đo bằng mạch nhân đôi điện áp hoặc mạch kẹp.



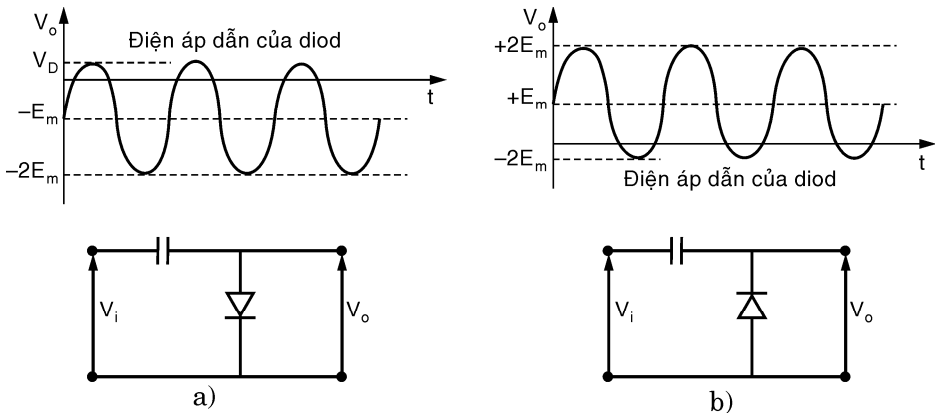
**Mạch nhân đôi điện áp**

Đây là mạch đo cụ thể dùng phương pháp nhân đôi điện áp mạch khuếch đại  $Q_1$ , dùng JFET kênh  $N$  làm nhiệm vụ *mạch đệm* giữa mạch phân tần đo và mạch nhân đôi điện áp. Mạch nhân đôi điện áp bao gồm  $C_1, C_2$  và  $D_1, D_2$ . Biến trở  $R_C$  dùng để điều chỉnh điện áp DC ở ngõ ra của mạch nhân đôi điện áp.

**Mạch kẹp:** Mạch kẹp (H.2.54) diễn tả điện áp ra DC dương hay âm phụ thuộc chiều của diod.

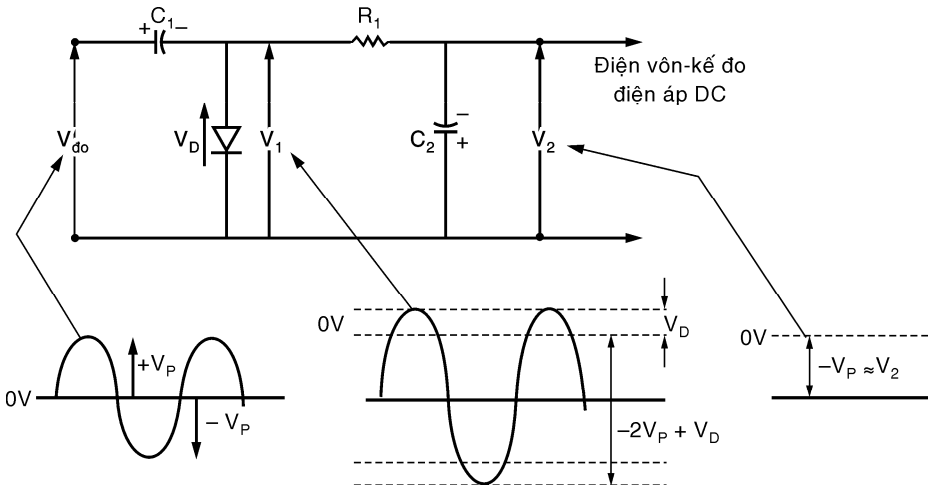
Hình 2.54a:  $V_o = -E_m + V_i$  với  $V_i = E_m \sin\omega t$

Hình 2.54b:  $V_o = E_m + V_i = E_m + E_m \sin\omega t$



**Hình 2.54:** a) Mạch kẹp đỉnh dương; b) Mạch kẹp đỉnh âm

Mạch đo cụ thể:



**Hình 2.55:** Mạch kẹp và mạch lọc hạ thông

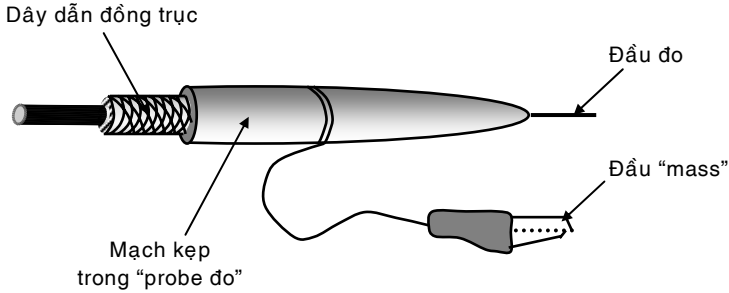
Tín hiệu ra  $V_o$  của mạch kẹp cho tín hiệu DC thay đổi, có trị số  $-2V_P + V_D V_P$  trị đỉnh của tín hiệu.

Dạng tín hiệu  $V_o$  ở mạch kẹp đỉnh dương.

Điện áp DC âm:  $V_o \approx -2 E_m + V_D$

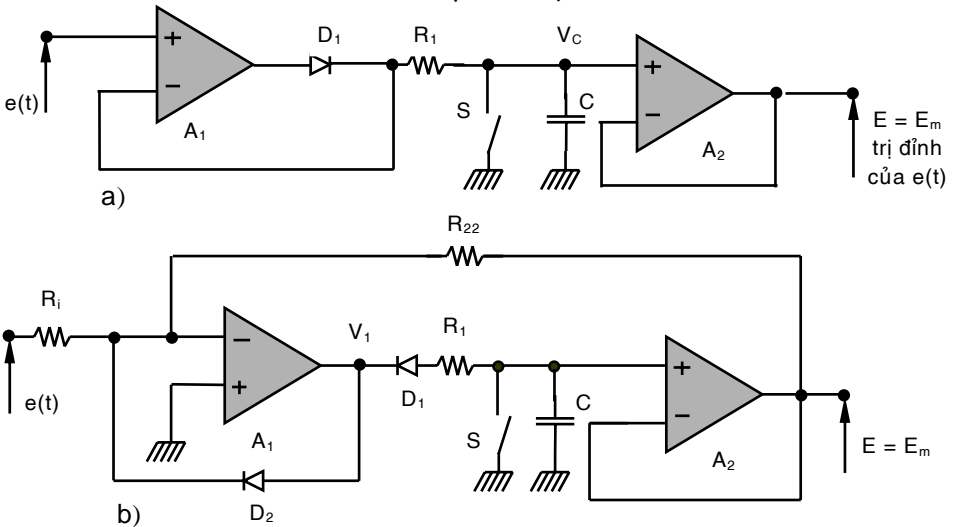
Dạng tín hiệu  $V_o$  ở mạch kẹp đỉnh âm.

Điện áp DC dương:  $V_o \approx 2 E_m - V_D$



Sau đó được đưa vào mạch lọc hạ thông để cho tín hiệu DC không thay đổi  $V_2$ , có trị số gần bằng  $-V_P$ . Điện áp này được đưa vào mạch đo điện áp của vôn-kế điện tử. Trong thực tế mạch kẹp được nằm trong probe đo (thanh đo) được gọi là probe AC kết hợp vôn-kế điện tử đo điện áp DC.

Hình 2.56: Mạch đo trị đỉnh



a) Mạch đo trị đỉnh không có hồi tiếp; b) Mạch đo trị đỉnh có hồi tiếp

Hình 2.56a: Khi  $e(t) < V_C$  diod D ngưng dẫn. Khi  $e(t) > V_C$  diod D dẫn

$$c) 0,25 D_m: I_m = 0,25 \times 0,1 \text{mA} = 0,025 \text{mA}$$

$$V_m = I_m R_m = 0,025 \text{mA} \times 99 \Omega = 2,475 \text{mV}$$

$$I_o = \frac{V_m}{R_S} = \frac{2,475 \text{mV}}{1 \Omega} = 2,475 \text{mV}$$

$$I = I_s + I_m = 2,475 \text{mA} + 0,025 \text{mA} = 2,5 \text{mA}.$$

**2.2.** Một cơ cấu đo từ điện có  $I = 100 \mu\text{A}$ , điện trở nội khung quay  $R = 1 \text{k}\Omega$ . Tính điện trở shunt mắc vào cơ cấu đo để trở thành một ampe-kế tương ứng với các trường hợp hình B.2.1.

$$a) D_m = 100 \text{mA} = \text{tầm đo 1.}$$

$$b) D_m = 1 \text{A} = \text{tầm đo 2.}$$

**Giải:** a) Ở tầm đo  $100 \text{mA}$ .

$$V_m = I_m R_m = 100 \mu\text{A} \times 1 \text{k}\Omega = 100 \text{mV}$$

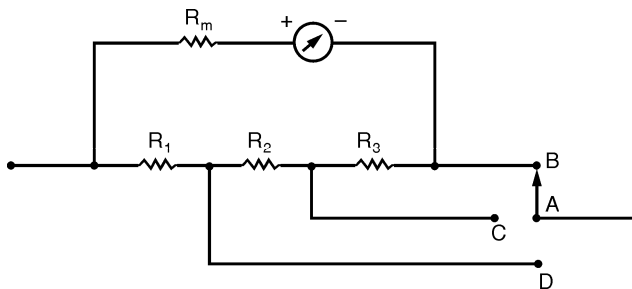
$$I_t = I_s + I_m \Rightarrow I_s = I_t - I_m = 100 \text{mA} - 100 \mu\text{A} = 99,9 \text{mA}$$

$$R_S = \frac{V_m}{I_S} = \frac{100 \text{mV}}{99,9 \text{mA}} = 1,001 \Omega$$

$$b) \text{ Ở tầm đo } 1 \text{A}: V_m = I_m R_m = 100 \text{mV}$$

$$I_s = I_t - I_m = 1 \text{A} - 100 \mu\text{A} = 999,9 \text{mA}; R_S = \frac{V_m}{I_S} = \frac{100 \text{mV}}{999,9 \text{mA}} = 0,10001 \Omega$$

**2.3.** Một cơ cấu đo từ điện có ba điện trở shunt được mắc theo kiểu shunt ayrtton sử dụng làm ampe-kế. Ba điện trở có trị số:  $R_1 = 0,05 \Omega$ ,  $R_2 = 0,45 \Omega$ ;  $R_3 = 4,5 \Omega$ ;  $R_m = 1 \text{k}\Omega$ ;  $I_{max} = 50 \mu\text{A}$ , có mạch đo như hình B.2.3. Tính các trị số tầm đo của ampe-kế.



**Hình B.2.3**

**Giải:** Khóa điện ở B:

$$V_s = I_{max} R_m = 50 \mu\text{A} \times 1 \text{k}\Omega = 50 \text{mV}.$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{50 \text{mV}}{0,05 \Omega + 0,45 \Omega + 4,5 \Omega} = 10 \text{mA}$$

$$I_t = I_s + I_m = 50\mu\text{A} + 10\text{mA} = 10,05\text{mA}; I = 10\text{mA}.$$

Khóa điện ở C:

$$V_s = I_m (R_m + R_3) = 50\mu\text{A}(1\text{k}\Omega + 4,5\Omega) \approx 50\text{mV}.$$

$$I_s = \frac{V_s}{(R_1 + R_2)} = \frac{50\text{mV}}{(0,05\Omega + 0,45\Omega)} = 100\text{mA}$$

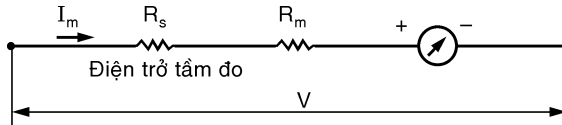
$$I = 50\mu\text{A} + 100\text{mA} = 100,05\text{mA}. I \approx 100\text{mA}.$$

Khóa điện ở D:

$$V_s = I_m(R_m + R_3 + R_2) = 50\mu\text{A}(1\text{k}\Omega + 4,5\Omega + 0,45\Omega) \approx 50\text{mV}$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_1} = \frac{50\text{mV}}{0,05\Omega} = 1\text{A}. I = 50\mu\text{A} + 1\text{A} = 1,00005\text{A} \approx 1\text{A}$$

**2.4.** Một cơ cấu đo từ điện  $I_{max} = 100\mu\text{A}$ , điện trở nội (dây quấn)  $R_m = 1\text{k}\Omega$  được sử dụng làm vôn-kế DC. Tính điện trở tầm đo để vôn-kế có  $V_{td} = 100\text{V}$ . Tính điện áp  $V$  ở hai đầu vôn-kế khi kim có độ lệch  $0,75D_m$ ;  $0,5D_m$ ; và  $0,25D_m$  (độ lệch tối đa  $D_m$ ).



**Hình B.2.4**

**Giải:**  $V = I_M (R_s + R_m) \Rightarrow R_s = \frac{V}{I_m} - R_m$

Khi:  $V = V_{td} = 100\text{V} \Rightarrow IM = I_{max} = 100\mu\text{A}$

$$R_s = \frac{100\text{V}}{100\mu\text{A}} - 1\text{k}\Omega = 999\text{k}\Omega.$$

Tại độ lệch  $0,75$  (FSD)  $D_m$

$$I_m = 0,75 \times 100 \mu\text{A} = 75\mu\text{A}$$

$$V = I_m (R_s + R_m) = 75\mu\text{A} (999\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) = 75\text{V}$$

Tại độ lệch  $0,5$  (FSD)  $D_m$ :  $I_m = 50\mu\text{A}$

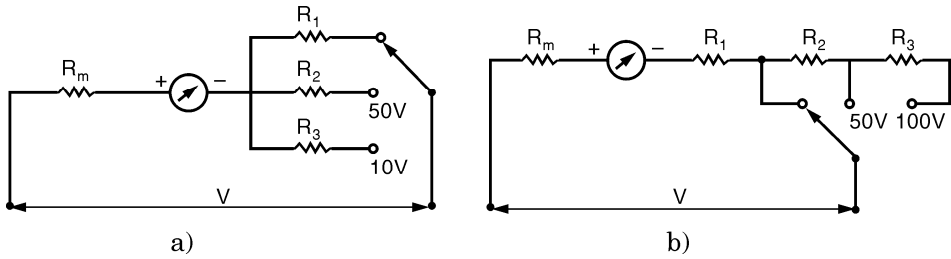
$$V = 50\mu\text{A} (999\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) = 50\text{V}.$$

Tại độ lệch  $0,25$  (FSD)  $D_m$ :  $I_m = 25\mu\text{A}$

$$V = 25\mu\text{A} (999\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) = 25\text{V}.$$

**2.5.** Một cơ cấu đo từ điện có  $I_{max} = 50\mu\text{A}$ ;  $R_m = 1700\Omega$  được sử dụng làm vôn-kế DC có tầm đo  $10\text{V}$ ,  $50\text{V}$ ,  $100\text{V}$ . Tính các điện trở tầm đo theo hình B.2.5a,b

như sau:



Hình B.2.5

**Giải:** Theo hình B.2.5a:  $R_m + R_1 = \frac{V}{I_{\max}}$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{V}{I_{\max}} - R_m = \frac{10V}{50\mu A} - 1700\Omega = 198,3k\Omega$$

$$R_2 = \frac{50V}{50\mu A} - 1700\Omega = 998,3k\Omega$$

$$R_3 = \frac{100V}{50\mu A} - 1700\Omega = 1,9983M\Omega$$

Theo hình B.2.5b:  $R_m + R_1 = \frac{V_1}{I_{\max}}$

$$R_1 = \frac{V_1}{I_{\max}} - R_m = \frac{10V}{50\mu A} - 1700\Omega = 198,3k\Omega, \quad R_m + R_1 + R_2 = \frac{V_2}{I_m}$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I_{\max}} - R_1 - R_m = \frac{50V}{50\mu A} - 198,3k\Omega - 1700\Omega = 800k\Omega$$

$$R_m + R_1 + R_2 + R_3 = \frac{V_3}{I_{\max}} \Rightarrow R_3 = \frac{V_3}{I_m} - R_2 - R_1 - R_m$$

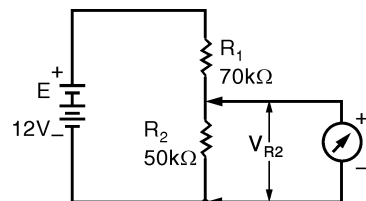
$$= 100V/50\mu A - 800k\Omega - 198,3k\Omega - 1700\Omega = 1M\Omega$$

**2.6.** Một vôn-kế có tầm đo 5V, được mắc vào mạch, đo điện áp hai đầu điện trở  $R_2$  như hình B.2.6.

a) Tính điện áp  $V_{R_2}$  khi chưa mắc vôn-kế.

b) Tính  $V_{R_2}$  khi mắc vôn-kế, có độ nhạy  $20k\Omega/V$

c) Tính  $V_{R_2}$  khi mắc vôn-kế, có độ nhạy  $200k\Omega/V$ .



Hình B.2.6

**Giải:** Chưa mắc vôn-kế:

$$V_{R_2} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12V \frac{50k\Omega}{70k\Omega + 50k\Omega} = 5V$$

Với vôn-kế có độ nhạy  $20k\Omega/V$

$$R_v = 5V \times 20k\Omega/V = 100k\Omega$$

$$R_v // R_2 = 100k\Omega // 50k\Omega = 33,3k\Omega$$

$$V_{R_2} = E \frac{R_v // R_2}{R_1 + R_v // R_2} = 12V \frac{33,3k\Omega}{70k\Omega + 33,3k\Omega} = 3,87V$$

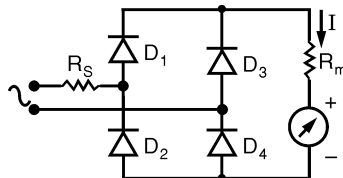
Với vôn-kế có độ nhạy  $200k\Omega/V$

$$R_v = 5V \times 200k\Omega/V = 1M\Omega$$

$$R_v // R_2 = 1M\Omega // 50k\Omega = 47,62k\Omega$$

$$V_{R_2} = 12V \frac{47,62k\Omega}{70k\Omega + 47,62k\Omega} = 4,86V$$

**2.7.** Một cơ cấu đo từ điện có  $I_{fs} = 100\mu A$  và điện trở cơ cấu đo  $R_m = 1k\Omega$  được sử dụng làm vôn-kế AC có  $V$  tầm đo = 100V (RMS). Mạch chỉnh lưu có dạng cầu sử dụng diod silicon như hình B.2.7, diod có  $V_{F(dinh)} = 0,7V$ .



**Hình B.2.7**

- Tính điện trở nối tiếp  $R_s$  ?
- Tính độ lệch của vôn-kế khi điện áp đưa vào vôn-kế là 75V và 50V (trị hiệu dụng – RMS)
- Tính độ nhạy của vôn-kế. Tín hiệu đo là tín hiệu xoay chiều dạng sin.

**Giải:** a) Tính  $R_s$ : Đây là mạch chỉnh lưu toàn kỳ nên ta có quan hệ:

$$I_p(\text{trò đảnh}) = I_{tb}/0,637$$

$$V_m(\text{trò ãảnh}) = \sqrt{2} V \text{ (RMS: trị hiệu dụng)}.$$

$$\text{Cơ cấu đo có: } I_{fs} = I_{tb} = 100\mu A \Rightarrow I_p = \frac{100\mu A}{0,637} = 157\mu A$$

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } I_m &= \frac{1,414 V_{td} - 2V_F}{R_S + R_m} \Rightarrow R_S = \frac{1,414 V_{td} - 2V_F}{I_P} - R_m \\ &= \frac{(1,414 \times 100V) - (2 \times 0,7V)}{157\mu A} - 1k\Omega = 890,7k\Omega \end{aligned}$$

Tính độ lệch:  $\square V = 75V$ .

$$I_{tb} = 0,637 I_m = 0,637 \frac{1,414V - 2V_F}{R_S + R_m} = 0,637 \frac{(1,414 \times 75V) - (2 \times 0,7V)}{890,7k\Omega + 1k\Omega}$$

$I_{tb} = 75\mu A = 3/4$  độ lệch tối đa. ( $I_m$ : dòng đỉnh khi  $V = 75V$ )

$\square V = 50V$ .

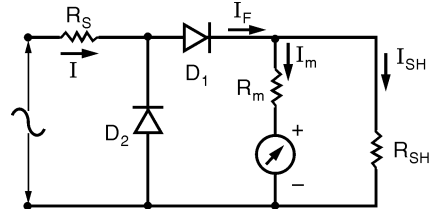
$$I_{tb} = 0,637 \frac{(1,414 \times 50V) - (2 \times 0,7V)}{890,7k\Omega + 1k\Omega} = 50\mu A = \frac{1}{2} \text{ độ lệch tối đa}$$

$\square$  Tính độ nhạy:

$$I_m = 157\mu A \Rightarrow I(\text{RMS}) = 0,707 I_p = 0,707 \times 157\mu A = 111\mu A$$

$$\text{Tổng trở: } R = \frac{100V}{111\mu A} = 900,9k\Omega. \text{ Độ nhạy} = \frac{900,9k\Omega}{100V} = 9,009k\Omega/V$$

**2.8.** Một cơ cấu đo từ điện có:  $I_{fs} = 50\mu A$ ;  $R_m = 1700\Omega$  kết hợp với mạch chỉnh lưu bán kỳ như hình B.2.8. Diod silicon  $D_1$  có trị giá dòng điện thuận  $I_F$  (đỉnh) tối thiểu là  $100\mu A$ . Khi điện áp đo bằng 20%  $V_{tđ}$  đo, diod có  $V_F = 0,7V$ . Vôn-kế có  $V_{tđ}$  đo =  $50V$ .



**Hình B.2.8**

a) Tính  $R_S$  và  $R_{SH}$

b) Tính độ nhạy của vôn-kế trong hai trường hợp: có  $D_2$  và không có  $D_2$ .

**Giải:** a) Tính  $R_S$  và  $R_{SH}$

Ở đây sử dụng chỉnh lưu bán kỳ nên ta có:

$$I_p = I_{tb}/(0,5 \times 0,637): \text{ trị đỉnh trong trường hợp chỉnh lưu bán kỳ.}$$

$$\text{Cơ cấu đo có } I_{fs} = I_{tb} = 50\mu A \Rightarrow I_m = \frac{50\mu A}{0,5 \times 0,637} = 157\mu A \text{ (trị đỉnh)}$$

Khi  $V = 20\% V_{tđ}$ ,  $I_F$  (đỉnh) có trị giá  $100\mu A$ . Vậy khi  $V = V_{tđ}$ ,  $I_F$  (đỉnh) có trị giá:

$$I_{F(\text{đỉnh})} = \frac{100\%}{20\%} \times 100\mu A = 500\mu A$$

$$I_F = I_m + I_{SH} \Rightarrow I_{SH}(\text{đỉnh}) = I_F - I_m = 500\mu\text{A} - 157\mu\text{A} = 343\mu\text{A}$$

$$V_{p(\text{đỉnh})} = I_m R_m = 157\mu\text{A} \times 1700\Omega = 266,9\text{mV}$$

$$R_{SH} = \frac{V_{m(\text{ñãh})}}{I_{SH}(\text{ñãh})} = \frac{266,9\text{mV}}{343\mu\text{A}} = 778\Omega$$

$$I_{F(\text{ñãh})} = \frac{1,414V_{t\tilde{n}} - V_{m(\text{ñãh})} - V_F}{R_S}$$

$$R_S = \frac{1,414V_{t\tilde{n}} - V_{m(\text{ñãh})} - V_F}{I_{F(\text{ñãh})}} = \frac{0,414 \times 50\text{V} - 266,9\text{mV} - 0,7\text{V}}{500\mu\text{A}} = 139,5\text{k}\Omega$$

b) Tính độ nhạy.

□ Có  $D_2$ : trong bán kỳ dương, dòng qua  $D_1$  có trị giá đỉnh:

$$I_{F(\text{đỉnh})} = 500\mu\text{A}$$

Trong bán kỳ âm, dòng qua vôn-kế  $I_{(\text{đỉnh})}$ :

$$I_{(\text{ñãh})} = \frac{1,414V_{t\tilde{n}}}{R_S} = \frac{1,414 \times 50\text{V}}{139,5\text{k}\Omega} = 500\mu\text{A}$$

$$I_{(\text{hiệu dụng})} = 0,707 \times 500\mu\text{A} = 353,5\mu\text{A} \text{ (RMS)c}$$

$$\text{Tổng trở: } R = \frac{50\text{V(RMS)}}{353,5\mu\text{A(RMS)}} = 141,4\text{k}\Omega ;$$

$$\text{Độ nhạy} = \frac{141,4\text{k}\Omega}{50\text{V}} = 2,8\text{k}\Omega/\text{V}$$

□ Không có  $D_2$

Trong bán kỳ dương:  $I_{F(\text{đỉnh})} = 500\mu\text{A}$ . Trong bán kỳ âm:  $I = 0$

Trong chu kỳ của tín hiệu:

$$I_{(\text{hiệu dụng})} = 0,5 I_{F(\text{đỉnh})}$$

với  $I$  là dòng điện mạch chính chạy qua  $R_S$  trong bán kỳ dương.

$$I_{(\text{hiệu dụng})}^2 = \frac{I}{2T} \int_0^{T/2} (I_F \sin\omega t)^2 dt = \frac{I_{F(\text{ñãh})}^2}{4}$$

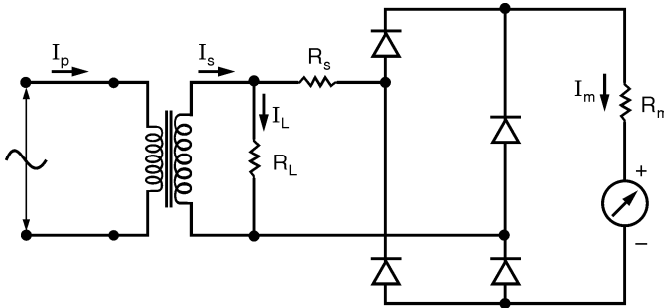
$$I = 0,5 \times 500\mu\text{A} = 250\mu\text{A}$$

$$\text{Tổng trở: } R = \frac{50\text{V}}{250\mu\text{A}} = 200\text{k}\Omega . \text{ Độ nhạy} = \frac{200\text{k}\Omega}{50\text{V}} = 4\text{k}\Omega/\text{V}$$

**2.9.** Một ampe-kế sử dụng cơ cấu đo từ điện có cầu chỉnh lưu và biến dòng như hình vẽ. Biết rằng cơ cấu đo có  $I_{fs} = 1\text{mA}$  và  $R_m = 1700\Omega$ . Biến dòng có  $N_{\text{thứ}} =$



500;  $N_{s\acute{o}} = 4$ . Diod có:  $V_{F(\acute{d}\grave{a}nh)} = 0,7V$ ;  $R_s = 20k\Omega$ . ampe-kế lệch tối đa khi dòng sơ cấp  $I_p = 250 mA$ . Tính trị giá  $R_L$ .



Hình B.2.9

**Giải:** Chính lưu toàn kỳ nên ta có:

$$I_m(\text{tr\`o\`n\`a\`h}) = \frac{I_{tb}}{0,637} = \frac{1mA}{0,637} = 1,57mA$$

Điện áp  $E_m$  ở hai đầu cuộn thứ biến dòng (trị đỉnh):

$$E_m = I_m(R_s + R_m) + 2V_F = 1,57mA(20k\Omega + 1700\Omega) + 1,4V = 35,5V$$

$$\Rightarrow E_s(\text{tr\`i\` h\`i\`u\` d\`u\`ng}) = (0,707 \times 35,5V) = 25,1V$$

Dòng làm lệch tối đa cơ cấu đo có trị hiệu dụng  $I$ :

$$I = 1,11I_{tb} = 1,11 \times 1mA = 1,11mA$$

$$\text{Ta có: } I_{th\grave{o}\ddot{u}} = I_{s\acute{o}} \frac{N_{s\acute{o}}}{N_{th\grave{o}\ddot{u}}} = 250mA \frac{4}{500} = 2mA$$

$$I_{th\grave{u}} = I_{qua\ c\acute{o}\ c\acute{a}\ u\ \acute{d}\grave{o}} + I_L; 2mA = 1,11mA + I_L$$

$$\Rightarrow I_L = 2mA - 1,11mA = 0,89mA; R_L = \frac{E_s}{I_L} = \frac{25,1V}{0,89mA} = 28,2k\Omega$$

**2.10.** Tính điện áp ở hai đầu cơ cấu đo từ điện (PMMC) có  $R_m = 850\Omega$  và  $I_{fs} = 100\mu A$  khi kim lệch tối đa.

**ĐS:** 85mV.

**2.11.** Tính trị giá điện trở tầm đo cho cơ cấu đo từ điện có  $I_{fs} = 200\mu A$ ,  $R_m = 1k\Omega$  được sử dụng làm vôn-kế DC có  $V_{td} = 150V$ .

**2.12.** Tính dòng điện đi qua cơ cấu đo từ điện khi kim có độ lệch bằng 1/2 độ lệch tối đa (FSD) biết rằng cơ cấu đo có độ nhạy là  $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ .

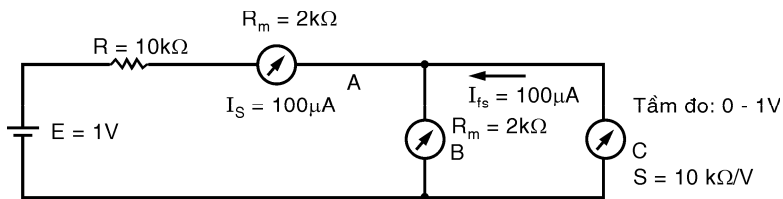
**ĐS:**  $25 \mu\text{A}$ .

**2.13.** Tính trị giá điện trở shunt để cho ampe-kế có:  $I_{fd} = 1 \text{ mA}$ ;  $R_m = 103 \Omega$  trở thành ampe-kế có  $I_{fd} (I_{\text{tâm đo}}) = 150 \text{ mA}$ .

**2.14.** Cơ cấu đo A có tầm đo từ 0 đến 10V và điện trở tầm đo là  $18 \text{ k}\Omega$ , cơ cấu đo B có tầm đo từ 0 đến 300V và điện trở tầm đo là  $298 \text{ k}\Omega$ , cả hai cơ cấu đo đều có điện trở dây quấn  $R_m = 2 \text{ k}\Omega$ . Hãy cho biết cơ cấu đo nào có độ nhạy lớn hơn.

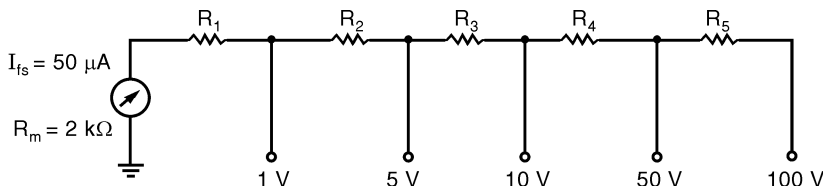
**ĐS:** Cơ cấu A.

**2.15.** Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo A, B như hình B.2.15.



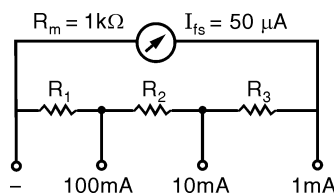
Hình B.2.15

**2.16.** Tính các trị giá điện trở từ  $R_1$  đến  $R_5$  như hình B.2.16.



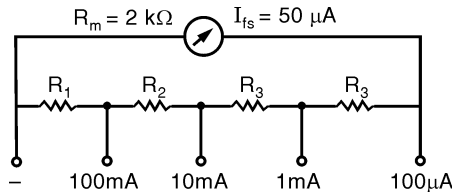
Hình B.2.16

**2.17.** Tính trị giá điện trở  $R_1, R_2, R_3$  ở hình B.2.17.



Hình B.2.17

2.18. Tính trị giá điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4$  trong hình B.2.18.

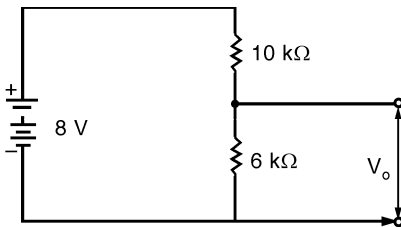


Hình B.2.18

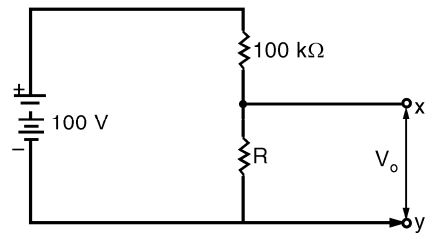
ĐS:  $R_1 = 1\Omega; R_2 = 9\Omega; R_3 = 90\Omega; R_4 = 900\Omega$ .

2.19. Ta đo điện áp ở hai đầu điện trở  $6k\Omega$  trong mạch như hình B.2.19 bằng cách mắc vôn-kế ở hai đầu điện trở này, vôn-kế có độ nhạy  $10k\Omega/V$ . Giả sử vôn-kế có các tầm đo 1V, 5V, 10V và 100V, hãy cho biết tầm đo nhạy nhất có thể sử dụng mà sai số gây ra do tải của vôn-kế nhỏ hơn 3%.

ĐS: tầm đo 100V.



Hình B.2.19



Hình B.2.20

2.20. Trong mạch đo sau, vôn-kế A có độ nhạy  $5k\Omega/V$  được nối giữa X và Y chỉ 15V ở tầm đo 30V. Vôn-kế B được nối giữa X và Y chỉ 16, 13V ở tầm đo 50V. Tính độ nhạy của vôn-kế B.

2.21. Dòng điện đi qua cơ cấu đo có trị giá đỉnh  $I_p = 150\mu A$ . Tính trị giá  $I_{DC}$  nếu cơ cấu đo dùng mạch chỉnh lưu bán kỳ.

2.22. Dòng điện đi qua cơ cấu đo từ điện đo được là  $0,8mA$ . Tính trị giá đỉnh của dòng xoay chiều nếu cơ cấu đo sử dụng mạch chỉnh lưu toàn kỳ.

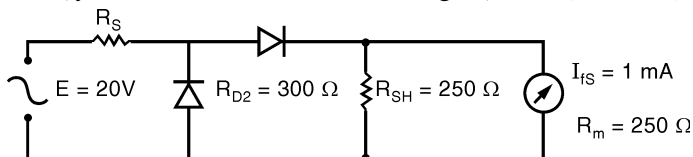
2.23. Một cơ cấu đo từ điện có  $I_{fs} = 1mA$  và điện trở dây quấn  $R_m = 500\Omega$  kết hợp với mạch chỉnh lưu bán kỳ để trở thành vôn-kế AC. Tính độ nhạy AC và DC, tính điện trở tầm đo để vôn-kế có  $V_{td} = 30V$ .

ĐS:  $S_{AC} = 450\Omega/V; S_{DC} = 1k\Omega/V; R_s = 13,3k\Omega$ .

2.24. Một cơ cấu đo từ điện có  $I_{fs} = 200\mu A$  và điện trở dây quấn  $R_m = 500\Omega$  được sử dụng làm vôn-kế AC bằng cách dùng mạch chỉnh lưu toàn

kỳ. Tính điện trở tầm đo để vôn-kế có  $V_{td} = 50V$ .

**2.25.** Tính độ nhạy AC và DC và điện trở  $R_s$  trong mạch đo (H.B.2.25).



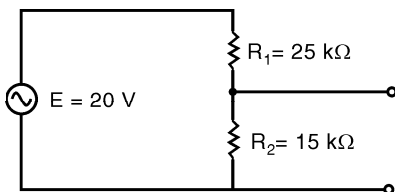
Hình B.2.25

**2.26.** Một vôn-kế AC đo trị giá đỉnh và một vôn-kế AC đo trị giá hiệu dụng được sử dụng để xác định tín hiệu nào có dạng sin. Hãy cho biết tín hiệu nào có dạng sin biết rằng kết quả đo có trị giá như sau:

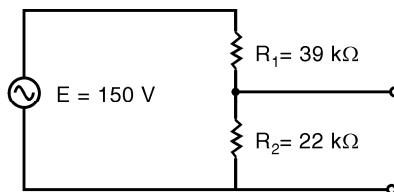
Tín hiệu 1	Tín hiệu 2	Tín hiệu 3
Đo trị giá đỉnh-đỉnh: 35,26V	Đo trị giá đỉnh-đỉnh 11,31V	Đo trị giá đỉnh-đỉnh 25,00V
Đo trị giá hiệu dụng: 12,00V	Đo trị giá hiệu dụng: 4,00V	Đo trị giá hiệu dụng: 8,83V

**ĐS:** Tín hiệu 2 và 3 có dạng sin.

**2.27.** Một vôn-kế AC được dùng để đo điện áp hai đầu điện trở  $R_2$  như hình B.2.27. Biết rằng vôn-kế dùng cơ cấu đo từ điện có  $I_{fs} = 100\mu A$ , điện trở dây quấn  $R_m = 1,5k\Omega$ , sử dụng mạch chỉnh lưu bán kỳ và có  $V_{td} = 10V$ . Hãy cho biết trị giá đọc được trên vôn-kế.



Hình B.2.27



Hình B.2.28

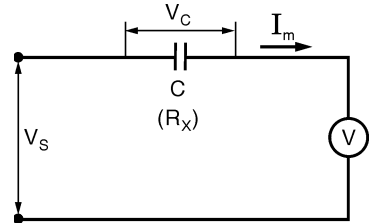
**2.28.** Hai vôn-kế AC khác nhau được dùng để đo điện áp ở hai đầu điện trở  $R_2$  như hình B.2.28. Vôn-kế A có độ nhạy AC là  $10k\Omega/V$  và cấp chính xác là 2% và có  $V_{td} = 200V$ . Vôn-kế B có độ nhạy AC là  $4k\Omega/V$ , cấp chính xác là 1,5% và  $V_{td} = 100V$ . Cho biết vôn-kế nào cho ta kết quả chính xác hơn.

$$R_X = \frac{V}{I} \quad (3.3)$$

trong đó:  $I = I_X + I_V$  - cho bởi ampe-kế với  $I_V$  dòng điện đi qua vôn-kế.

Nếu  $I_V \ll I_X$  tổng trở vào của vôn-kế rất lớn so với  $R_X$  thì sai số do ảnh hưởng của vôn-kế không đáng kể.

**Ví dụ 3.1:** Đo điện trở rỗng của tụ điện ( $R_X$ ) khi hoạt động ở điện áp qui định. Mạch đo được mắc theo hình 3.2. Vôn-kế có tầm đo 50V và độ nhạy  $20\text{k}\Omega/\text{V}_{\text{DC}}$  được mắc nối tiếp với tụ điện C cần đo. Kim chỉ thị điện áp 10 vôn. Khi đo điện áp rơi trên tụ điện.



**Hình 3.2:** Nối vôn-kế và ampe-kế để đo  $R_X$

$$V_C = V_S - V = 300\text{V} - 10\text{V}$$

$$= 290\text{V}$$

Dòng điện tối đa  $I_{\text{max}}$  của cơ cấu chỉ thị bằng  $50 \mu\text{A}$  (kim chỉ 10V)

Vậy điện trở rỗng của tụ điện

$$R_X = \frac{290\text{V}}{10\mu\text{A}} = 29 \text{ Megohm}$$

**Ví dụ 3.2:** Trong mạch hình 3.1a, vôn-kế có độ nhạy  $10\text{k}\Omega/\text{V}$  chỉ 500 vôn và ampe-kế chỉ  $0,5\text{A}$  có  $R_A = 10\Omega$ . Vôn-kế đặt ở tầm đo 1000V. Xác định điện trở  $R_X$ .

**Giải:** Theo vôn-kế và ampe-kế:  $R_X = \frac{V}{I} = \frac{500\text{V}}{0,5\text{A}} = 1000\Omega$

Nếu phân tích:  $V = V_X + V_a = (R_a + R_X)I$ ;  $R_a + R_X = V/I = 1000\Omega$

Suy ra trị số thực của  $R_X = 1000\Omega - 10\Omega = 990\Omega$ .

Vậy sai số do ảnh hưởng của ampe-kế và vôn-kế:

$$\frac{10\Omega}{1000\Omega} \cdot 100\% = 1\%$$

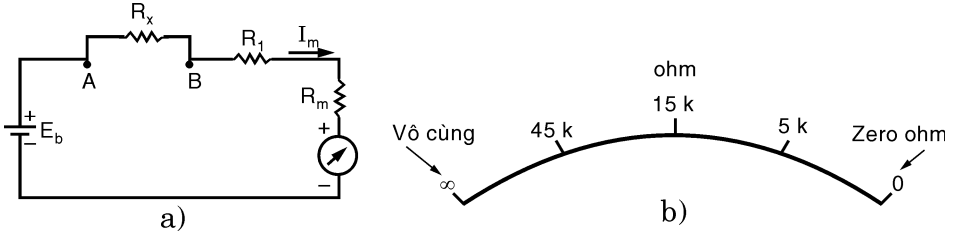
**Ví dụ 3.3:** Nếu vôn-kế và ampe-kế được mắc theo hình 3.1b thì vôn-kế và ampe-kế đọc bao nhiêu? Khi  $R = 990\Omega$

**Giải:** Điện trở tương đương giữa vôn-kế và  $R_X$ .

$$R_V // R_X = (10\text{k}\Omega/\text{V} \times 1000\text{V}) // 990\Omega = 989,9\Omega$$

Vôn-kế chỉ thị:

$$V_X = 500\text{V} \frac{(R_V // R_X)}{R_a + (R_V // R_X)} = 500\text{V} \frac{989,9}{999,9} = 495\text{V}$$



**Hình 3.4:** a) Mạch ohm-kế; b) Thang đo không tuyến tính của ohm-kế

Đây là mạch ohm-kế kiểu mắc nối tiếp, dòng điện qua cơ cấu chỉ thị  $R_m$ :

$$I_m = \frac{E_b}{R_x + R_1 + R_m}$$

với:  $R_1$  - điện trở chuẩn của tầm đo;  $R_m$  - điện trở nội của cơ cấu.

Khi  $R_x \rightarrow 0\Omega$ ;  $I_m \rightarrow I_{max}$  (dòng cực đại của cơ cấu điện từ).

Khi  $R_x \rightarrow \infty$ ;  $I_m \rightarrow 0$  (không có dòng qua cơ cấu).

**Ví dụ 3.4:**  $E_b = 1,5V$ ;  $I_{max} = 100\mu A$ ;  $R_1 + R_m = 15k\Omega$ .

Xác định chỉ thị của kim khi  $R_x = 0$  và sự chỉ thị trị số điện trở khi  $I_m = 1/2$  thang đo;  $1/4$  thang đo;  $3/4$  thang đo.

**Giải:** Từ phương trình trên khi  $R_x \rightarrow 0$ :  $I = 1,5V / 0 + 15k\Omega = 100\mu A$

Tại trị số  $1/2$  thang đo:  $I = 100\mu A / 2 = 50\mu A$

Khi đo điện trở  $R_x = \frac{1,5V}{50\mu A} - (R_1 + R_m) = 30 - 15 = 15k\Omega$

Khi dòng  $I_m = 1/4$  thang đo:  $I_m = 25\mu A$

Điện trở  $R_x$  được xác định:  $R_x = 1,5V / 25\mu A - 15k\Omega = 45k\Omega$

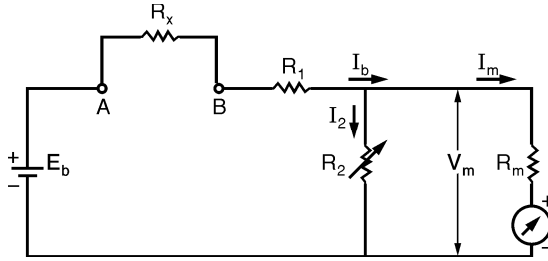
Tại dòng  $I_m = 3/4$  thang đo:  $I_m = 75\mu A$

Điện trở  $R_x = 1,5V / 75\mu A - 15k\Omega = 5k\Omega$

Như vậy giá trị thang đo điện trở không tuyến tính theo dòng điện  $I$  (H.3.4b).

### 3.3.2 Mạch đo điện trở thực tế

Trong thực tế nguồn pin  $E_b$  có thể thay đổi. Khi  $R_x \rightarrow 0\Omega$ ,  $I_m$  qua cơ cấu không bằng  $I_{max}$ , do đó mạch đo có thể mắc thêm  $R_2$  (H.3.5) biến trở này dùng để chỉnh điểm “**0Ω**” cho mạch đo khi  $E_b$  thay đổi. Như vậy trước khi đo phải ngắn mạch hai đầu AB, điều chỉnh  $R_2$  để sao cho ohm-kế chỉ “**0Ω**”.



Hình 3.5: Mạch ohm-kế có chỉnh “0Ω”

Theo mạch trên ta có: 
$$I_b = \frac{E_b}{R_x + R_1 + R_2 // R_m}$$

Nếu  $R_2 // R_m \ll R_1$ , thì: 
$$I_b = \frac{E_b}{R_x + R_1}$$

Như vậy điện áp: 
$$V_m = I_b(R_2 // R_m)$$

Sẽ có dòng  $I_m$  qua cơ cấu chỉ thị: 
$$I_m = \frac{V_m}{R_m} = \frac{I_b(R_2 // R_m)}{R_m}$$

Do đó mỗi lần đo cho  $R_x \rightarrow 0$  điều chỉnh  $R_2$  để có:

$$I_m = \frac{E_b}{R_1} \cdot \frac{(R_2 // R_m)}{R_m} = I_{\max}$$

Sao cho khi  $E_b$  có sự thay đổi thì sự chỉ thị  $R_x$  sẽ không thay đổi.

**Ví dụ 3.5:**  $E_b = 1,5V$ ;  $R_1 = 15k\Omega$ ;  $R_m = 1k\Omega$ ;  $R_2 = 1k\Omega$ ;  $I_{\max} = 50\mu A$ . Xác định trị số đọc của  $R_x$  khi  $I_b = I_{\max}$ ;  $I_m = \frac{1}{2} I_{\max}$ ;  $I_m = \frac{3}{4} I_{\max}$

**Giải:** Tại  $I_m = I_{\max} = 50\mu A$ ;  $V_m = I_{\max} R_m = 50\mu A \times 1k\Omega = 50mV$ .

Do đó:  $I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{50mV}{1k\Omega} = 50\mu A$ . Như vậy dòng:  $I_b = 100\mu A$ .

Vậy:  $R_x + R_1 \neq \frac{E_b}{I_b}$  nếu  $R_x + R_1 \ll R_2 // R_m \ll 500\Omega$ .

#  $\frac{1,5V}{100\mu A} = 15k\Omega$ .  $R_x + 15k\Omega = 15k\Omega$ ;  $R_x = 0\Omega$ .

Khi  $I_m = \frac{1}{2} I_{\max} = 25\mu A$ ;  $V_m = 25mV \Rightarrow I_2 = 25\mu A$ .

Suy ra  $I_b = 50\mu A$ . Vậy  $R_x + R_1 \neq \frac{1,5V}{50\mu A}$ ;  $R_x \neq 15k\Omega$

Tương tự như cách tính trên.  $I_m = \frac{3}{4}I_{\max} = 37,5\mu\text{A}$ .

$$I_b = I_m + I_2 = 37,5\mu\text{A} + 37,5\mu\text{A} = 75\mu\text{A}.$$

$$R_X + R_1 = \frac{1,5\text{V}}{75\mu\text{A}} = 20\text{k}\Omega, R_X = 5\text{k}\Omega.$$

**Ví dụ 3.6:** Trường hợp  $E_b = 1,3\text{V}$ , tính các trị  $R_X$  như ở ví dụ 1.

**Giải:** Khi  $R_X = 0$  thì  $I_m = 50\mu\text{A}$  (điều chỉnh  $R_2$ ).

$$I_b = \frac{E_b}{R_1 + R_X} = \frac{1,3\text{V}}{0 + 15\text{k}\Omega} \approx 86,67\mu\text{A}.$$

$$I_2 = I_b - I_m = 86,67\mu\text{A} - 50\mu\text{A} = 36,67\mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{V_m}{I_2} = \frac{50\mu\text{A} \times 1\text{k}\Omega}{36,67\mu\text{A}} = 1,36\text{k}\Omega$$

Ở trị chỉ thị 1/2 thang đo  $I_m = 25\mu\text{A}$ .

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{25\text{mV}}{1,36\text{k}\Omega} = 18,38\mu\text{A}; I_b = 25\mu\text{A} + 18,38\mu\text{A} = 43,38\mu\text{A}$$

$$R_X + R_1 = \frac{1,3\text{V}}{43,38\mu\text{A}} = 29,96\text{k}\Omega.$$

$$R_X = 29,96\text{k}\Omega - 15\text{k}\Omega = 14,96\text{k}\Omega \# 15\text{k}\Omega.$$

Giống như trị số của ví dụ 1 khi  $E_b = 1,5\text{V}$ . Ở trị chỉ thị 3/4 thang đo  $I_m = 37,5\mu\text{A}$ .

$$I_2 = \frac{37,5\text{mV}}{1,36\text{k}\Omega} = 27,57\mu\text{A}, I_b = 37,5\mu\text{A} + 27,57\mu\text{A} = 65,07\mu\text{A}.$$

$$R_X + R_1 = \frac{1,3\text{V}}{65,07\mu\text{A}} = 19,97\text{k}\Omega.$$

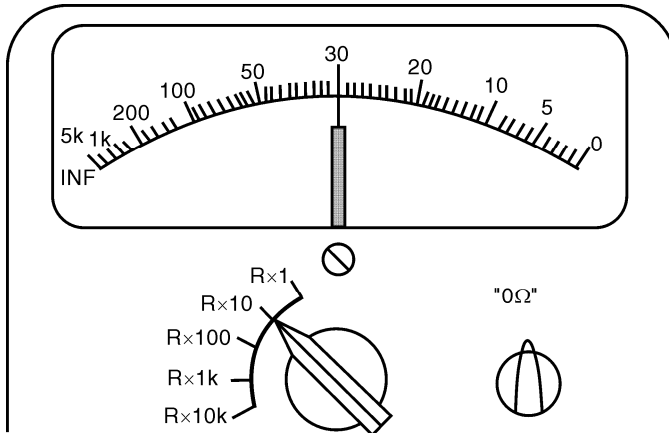
$$R_X = 19,97\text{k}\Omega - 15\text{k}\Omega = 4,97\text{k}\Omega \# 5\text{k}\Omega.$$

Kết quả đo ở ví dụ 2 và ví dụ 1 gần giống nhau mặc dù  $E_b$  giảm. Vì đã điều chỉnh  $R_2$  để cho  $I_m = I_{\max}$ .

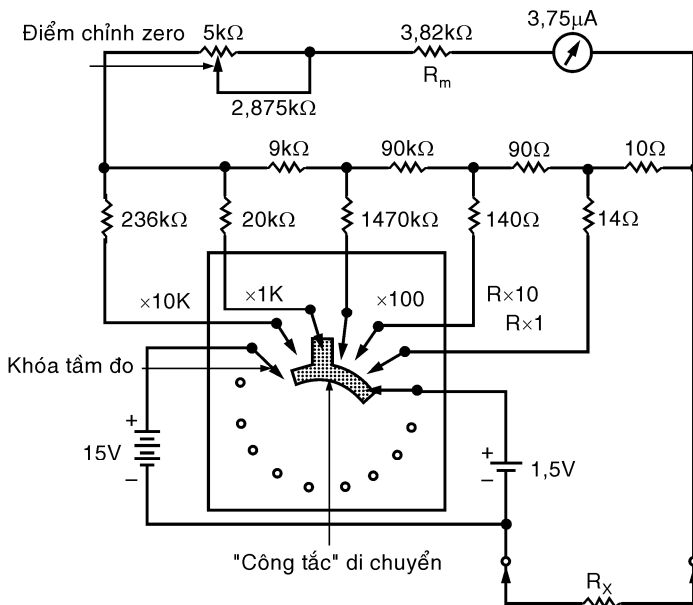
Mạch đo điện trở với nhiều tầm đo trong máy đo vạn năng (H.3.6).

Khi thay đổi tầm đo (X1 hoặc X10 hoặc X100...) dòng điện qua cơ cấu chỉ thị  $I_m$  vẫn bằng nhau nhưng trị số đọc được trên thang đo được nhân với giá trị tầm đo (H.3.7).



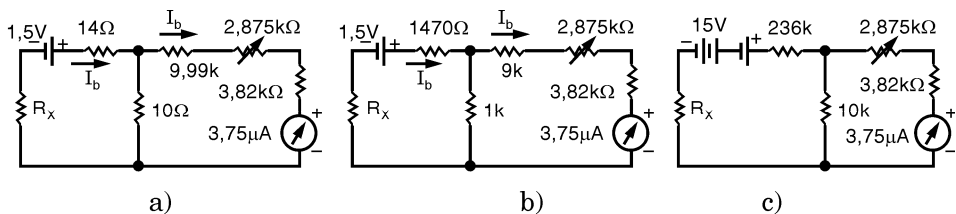


Hình 3.6a: Mặt ngoài ohm-kế



Hình 3.6b: Mạch đo điện trở có nhiều tầm đo

Ví dụ 3.7: Khi  $R_x = 24\Omega$  (H.3.7a).



Hình 3.7: Mạch đo cho từng tầm đo: a) Mạch cho tầm đo X1

b) Mạch cho tầm đo X100; c) Mạch cho tầm đo X10K

$$I_b = \frac{1,5V}{24\Omega + 14\Omega + [10\Omega // 16.685\Omega]} = 31,254mA.$$

$$I_m = 31,254mA \frac{10\Omega}{10\Omega + 16.685\Omega} = 18,72\mu A \text{ (giữa thang đo)}$$

Khi  $R_X = 2400\Omega$  (H.3.7b).

$$I_b = \frac{1,5V}{2400\Omega + 1470\Omega + [1k // 15,695k]} = 0,311mA$$

Dòng  $I_m$  qua đồng hồ:

$$I_m = I_b \frac{940\Omega}{15.695\Omega} = 0,311mA \times 0,059 = 18,62\mu A$$

Nếu ở thang đo  $X_1$ :  $I_m = 18,72\mu A$  tương ứng  $R_X = 24\Omega$

$$\begin{aligned} \text{với: } I_m &= I_b \frac{(10\Omega // 16.685\Omega)}{10\Omega + 16.685\Omega} \# I_b \frac{10\Omega}{10\Omega + 16.685\Omega} \\ &= 1,5\Omega [R_X + 14\Omega + (10\Omega // 16.685\Omega)] \times 5,989 \times 10^{-4} \\ \Rightarrow R_X &= \left( \frac{1,5V \times 5,989 \times 10^{-4}}{33 \times 10^{-6}} \right) - (14\Omega + 10\Omega) = 27,2\Omega - 24\Omega = 3,2\Omega \end{aligned}$$

Như vậy thang đo của ohm-kế không tuyến tính hoàn toàn, ở mỗi tầm đo đều phải chỉnh 0□.

### 3.2.3 Nguyên lý đo của ohm-kế tuyến tính

Thang đo của ohm-kế theo nguyên lý dòng điện như đã đề cập ở trên không tuyến tính theo điện trở đo. Do đó trong các mạch đo ohm-kế tuyến tính trong máy đo điện tử chỉ thị kim hoặc chỉ thị số, chúng ta chuyển trị số đo điện trở  $R_X$  sang điện áp đo  $V_X$  bằng cách cung cấp nguồn dòng điện  $I$  không đổi (bất chấp trị số  $R_X$ ).  $V_X = R_X I$ . Sau đó  $R_X$  được đo bởi mạch điện áp,  $V_X$  tuyến tính theo  $R_X$ .

Như vậy: Khi  $R_X \rightarrow 0$ ,  $V_X \rightarrow 0$  Vôn.

Khi  $R_X \rightarrow \infty$ ,  $V_X$  tiến đến giá trị lớn nhất của mạch đo

Ví dụ: Mạch đo điện áp có điện áp lớn nhất 1,5V thì khi  $R_X \rightarrow \infty$  thì  $V_X \rightarrow 1,5V$ .

Như vậy nếu vôn-kế có điện trở chỉnh máy trước khi đo, thì phải chỉnh  $R_X \rightarrow \infty$  cho mạch đo. Không chỉnh  $R_X \rightarrow 0\Omega$  như ở mạch đo dùng nguyên lý dòng trong phần trước (chúng ta sẽ đề cập trong phần máy đo điện tử).

### 3.2.4 Độ chính xác của ohm-kế

Do mạch điện trở không tuyến tính theo thang đo, nên sai số tăng nhiều ở khoảng đo phi tuyến. Vì vậy khoảng thang đo có sai số cho phép trong khoảng từ 10 ÷ 90% khoảng hoạt động với điều kiện chỉnh “ $0\Omega$ ” cho mỗi tầm đo.

Như đã nói phần trước khi ohm-kế chỉ thị 1/2 thang đo thì điện trở  $R_X$  bằng nội trở của mạch ohm-kế. Nếu ở 1/2 thang đo của sự chỉ thị dòng điện có sai số  $\pm 1\%$  của thang đo điện trở dẫn đến sai số là  $\pm 2\%$  kết quả đo điện trở.

Khi:  $R_X = R_I$  và  $I_b = \frac{E_b}{R_1 + R_X}$ . Từ sai số  $\pm 2\%$  của dòng  $I_b$  (ở 1/2 thang

đo) sẽ có sai số cho phần đo điện trở là 2% của  $(R_X + R_I)$

Giả sử  $R_1$  có sai số khoảng 1%, khi  $R = R_I$  thì sai số tại  $R_X$  (tại 1/2 thang đo) sẽ là  $2\% \times (2 R_I) = 4\%$ .

**Ví dụ 3.8:** phân tích sai số của ohm-kế khi kim chỉ thị ở 0,8 thang đo và 0,2 thang đo.

**Giải:** Ở 0,8 thang đo:

$$I_b = 0,8I_{\max} = \frac{E_b}{R_X + R_1} \Rightarrow R_X + R_1 = \frac{E_b}{0,8I_{\max}} = \frac{E_b}{0,8E_b/R_1} = \frac{R_1}{0,8}$$

$$\text{Vì khi } R_X \rightarrow 0 \text{ (H.3.4): } I_b = \frac{E_b}{R_1 + R_X} \# \frac{E_b}{R_1}.$$

$$\text{Vậy: } R_X = 1,25R_1 - R_1 = 0,25R_1; R_1 = 4R_X.$$

Nếu sai số của thang đo là 1% cho sự chỉ thị của kim thì tại 0,8 thang đo, sai số của sự chỉ thị dòng điện là 1,25%  $I_{\max}$ . Như vậy sai số ở phần đo điện trở:

$$\Delta R_X (\%) = 1,25\% (4R_X + R_X) = 6,25\% R_X$$

Ở 0,2 thang đo:

$$R_X + R_1 = \frac{E_b}{0,2I_{\max}} = \frac{R_1}{0,2} = 5R_1; R_X = 4R_1$$

Sai số cho toàn khung thang đo 1%, ở 0,2 thang đo, sai số cho chỉ thị là 5%. Sai số cho  $R_X$ :  $\Delta R_X = 5\% \left( \frac{R_X}{4} + R_X \right) = 6,25\%$

Ngoài ra sai số của điện trở  $P, Q, S$  cũng ảnh hưởng của sai số  $R$ .

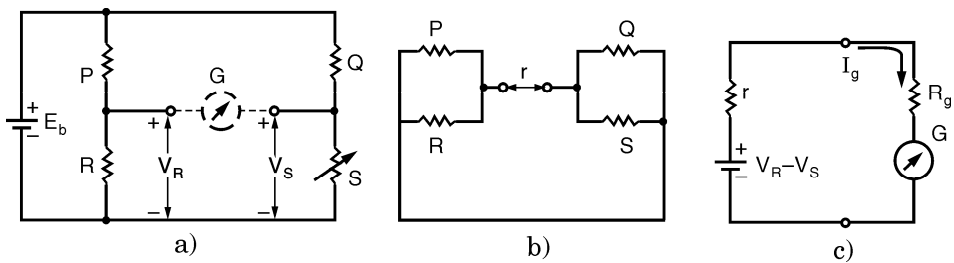
Ví dụ: Sai số của  $S$  là  $\pm 0,5\%$ ;  $P, Q$  là  $1\%$ . Thì sai số của  $R$ :

$$\Delta R = \Delta S + \Delta R + \Delta Q = \pm 2,5\%.$$

Với bất kỳ  $R$  để điều chỉnh cầu Wheatstone cân bằng chúng ta thường thay đổi tỉ số  $P/Q$  (tầm đo) và  $S$  là biến trở (hộp điện trở) có giá trị thay đổi từng  $0,1\Omega$  (hoặc từng  $1,0\Omega$ ) như các cầu đo Wheatstone trong các phòng thí nghiệm.

Ví dụ:  $P/Q = 1/10$ ;  $S = 237,5\Omega$ . Khi cầu cân bằng, do đó  $R$  được xác định:  $R = 23,75\Omega$ .

### 3.4.2 Đo điện trở dùng cầu Wheatstone không cân bằng



**Hình 3.9:** Mạch tương đương Thevenin của cầu Wheatstone

- a) Điện áp ngõ ra để hở của cầu; b) Điện trở  $r$  ở ngõ ra  
c) Mạch Thevenin khi tải là  $r_g$  của điện kế

Trong công nghiệp, người ta thường dùng nguyên lý cầu Wheatstone không cân bằng nghĩa là nhờ điện áp ra (hoặc dòng điện ra) ở ngõ ra của cầu để đo điện trở  $R$  hoặc sự thay đổi  $\Delta R$  của phần tử đo. Phương pháp này cần nguồn  $E$  cung cấp cho cầu đo được ổn định, vì điện áp ra có phụ thuộc vào nguồn  $E$ . Ngoài ra cũng còn phụ thuộc vào độ chính xác của các phần tử cầu Wheatstone. Độ nhạy của cầu phụ thuộc vào nguồn cung cấp  $E$  và nội trở của bộ chỉ thị (hoặc tổng trở vào của mạch khuếch đại nếu điện áp ở ngõ ra của cầu được đưa vào mạch khuếch đại).

Từ mạch cầu đo hình 3.9, điện kế  $G$  được tháo ra khỏi cầu đo. Điện áp ở ngõ ra của cầu:

$$V_R - V_S = E_b \left[ \frac{R}{R+P} - \frac{S}{Q+S} \right]$$

Tổng trở ngõ ra của cầu được xác định:

$$r = [P // R] + [Q // S]$$

Như vậy mạch tương đương Thevenin của cầu được xác định (H.3.9c). Do

đó dòng điện  $I_g$  qua điện kế khi cầu không cân bằng:

$$I_g = \frac{V_R - V_S}{r + r_g}, \quad r_g - \text{nội trở của điện kế } G$$

**Ví dụ 3.9:** Xác định sự thay đổi điện trở R nhỏ nhất mà điện kế G phát hiện được khi độ nhạy của điện kế  $G = 1\mu\text{A}/\text{diV}$  (diV: một vạch chia của thang đo).  $P = 3,5\text{k}\Omega$ ;  $Q = 7\text{k}\Omega$  và  $S = 4\text{k}\Omega$  khi  $R = 2\text{k}\Omega$  và nội trở của điện kế  $G: r_g = 2,5\text{k}\Omega$ ;  $E_b = 10\text{V}$ .

**Giải:** Theo biểu thức mạch tương đương Thevenin:

$$V_R - V_S = I_g (r + r_g)$$

với:  $r = (P // R) + (Q // S) = \frac{3,5\text{k}\Omega \times 2\text{k}\Omega}{5,5\text{k}\Omega} + \frac{7\text{k}\Omega \times 4\text{k}\Omega}{11\text{k}\Omega} = 3,82\text{k}\Omega$

Khi  $I_g$  thay đổi  $1\mu\text{A}$  thì có sự thay đổi:  $V_R - V_S$ .

$$\Delta(V_R - V_S) = \Delta I_g (r + r_g) = 1\mu\text{A}(3,82 + 2,5)\text{k}\Omega = 6,32\text{mV}$$

mà:  $\Delta(V_R - V_S) = E_b \left[ \frac{\Delta R + R}{R + \Delta R + P} - \frac{S}{S + Q} \right]$

Như vậy  $\Delta R_{\min}$  có được khi:  $\Delta(V_R - V_S) = 6,32\text{mV}$ ;  $\Delta R_{\min} \square (2+3,5)\text{k}\Omega$

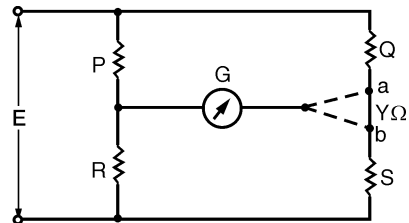
$$6,32\text{mV} = 10\text{V} \left( \frac{\Delta R_{\min} + 2\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega + \Delta R_{\min} + 3,5\text{k}\Omega} - \frac{4\text{k}\Omega}{7\text{k}\Omega + 4\text{k}\Omega} \right)$$

$$\frac{\Delta R_{\min} + 2\text{k}\Omega}{5,5\text{k}\Omega} - \frac{4\text{k}\Omega}{11\text{k}\Omega} = \frac{6,32\text{mV}}{10\text{V}} = 6,32 \times 10^{-6} = 362 \times 5,5 \times 10^{-3} \Omega = 3,476\Omega$$

Như vậy để cho  $\Delta R_{\min}$  càng nhỏ thì  $\Delta(V_R - V_S)$  càng lớn, độ nhạy càng tăng thì  $E_b$  càng lớn, nhưng sự tăng  $E_b$  có hạn chế. Do đó, cần phải khuếch đại  $\Delta(V_R - V_S)$  và tổng trở  $Z_i$  của mạch khuếch đại phải lớn ( $r_g$  được thay bởi  $Z_i$  của mạch khuếch đại).

**3.4.3 Tầm đo điện trở của cầu Wheatstone**

Để cho điện trở đo bởi cầu Wheatstone được chính xác thì giá trị đo của nó phải lớn hơn giá trị điện trở tiếp xúc và điện trở dây nối. Như mạch hình 3.10 do ảnh hưởng của dây nối có điện trở nối giữa R và S khi đó điện kế G được xem như nối ở a hoặc b đưa đến kết quả đo:



**Hình 3.10:** Nối dây nối gây ra sai số ô cầu Wheatstone

qua điện trở  $Y$ .

Bởi vì không có điện áp rơi trên điện kế  $G$  cho nên:

$$i_1 R = i_2 r + IS$$

Suy ra:  $IS = i_1 R - i_2 r = R(i_1 - i_2 r/R)$

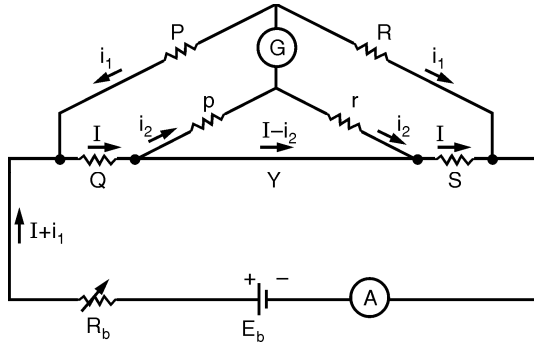
Còn có:  $i_1 P = IQ + Pi_2, IQ = P(i_1 - pi_2/P)$

Chia:  $\frac{IQ}{IS} = \frac{P(i_1 - i_2 p/P)}{R(i_1 - i_2 r/R)}; \frac{Q}{S} = \frac{P}{R}$ . Nếu  $p = P$  và  $r = R$

Vậy, với điều kiện cân bằng của cầu và luôn luôn có  $p = P$  và  $r = R$  thì phần tử đo  $Q$  được xác định:

$$Q = S \frac{P}{R} = S \frac{p}{r}$$

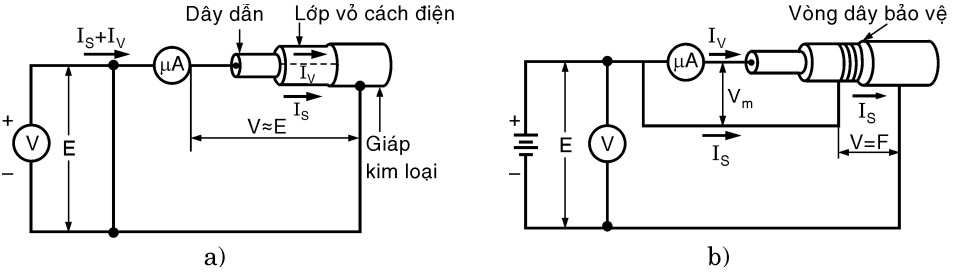
$Q$  không phụ thuộc vào điện trở dây dẫn,  $Y, S$  là điện trở mẫu có sai số nhỏ,  $P$  là hộp điện trở thay đổi có độ chính xác cao và độ phân giải nhỏ (có thể từng bước thay đổi là  $0,1\Omega$  (hoặc  $1\Omega$ )),  $R$  là điện trở thay đổi tầm đo cho cầu.



Hình 3.13: Cầu Kelvin với điện trở  $Q, S$  có bốn đầu

Cầu đo Kelvin thực tế dùng điện mẫu  $S$  có bốn đầu như hình 3.13. Vì  $Q$  và  $S$  thường có điện trở nhỏ từ vài *microohm* ( $\mu\Omega$ ), vài *mΩ* (*miliohm*) đến  $1\Omega$  cho nên dòng  $I+i_1$  thường có trị số hạn chế (vài ampe). Vì vậy phải có biến trở  $R_b$  và ampe-kế theo dõi. Độ chính xác của cầu đo Kelvin cũng giống như cầu Wheatstone (đã được phân tích). Đối với những điện trở đo  $Q$  có giá trị nhỏ hơn  $0,1\mu\Omega$  (*microhm*) độ chính xác sẽ kém đi nhiều.

**Ví dụ 3.10:** Dùng  $S = 1m\Omega; Q = 23,5\Omega; R = 1000\Omega$  dòng qua ampe-kế 5 ampe, nguồn  $E_b = 6V$  thì điện kế  $G$  chỉ “0”. Như vậy:



**Hình 3.14:** Đo điện cách điện lớp vỏ bọc  
 a) Dòng rỉ bề mặt  $I_S$ ; b) Có vòng dây bảo vệ

**Ví dụ 3.12:** Một cáp dây dẫn điện loại đồng trục lớp giáp bằng kim loại bên ngoài cùng, ngăn cách dây dẫn điện bên trong bằng lớp cách điện. Nếu mạch được mắc nối như hình 3.14a thì dòng điện qua microampe-kế là  $5\mu A$  khi điện áp thử nghiệm là  $10.000V$ . Nếu mạch được mắc như hình 3.14b thì dòng điện đo được là  $1,5\mu A$ . Xác định *điện trở khối* cách điện của lớp cách điện. Sau đó xác định điện trở rỉ bề mặt ở hình 3.14a.

**Giải:** Điện trở khối cách điện:

$$R_V = \frac{E}{I_V} = \frac{10 \times 10^3}{1,5 \times 10^{-6}} = 6,7 \times 10^9 \Omega \text{ (ohm)}$$

Dòng điện qua điện trở rỉ bề mặt:

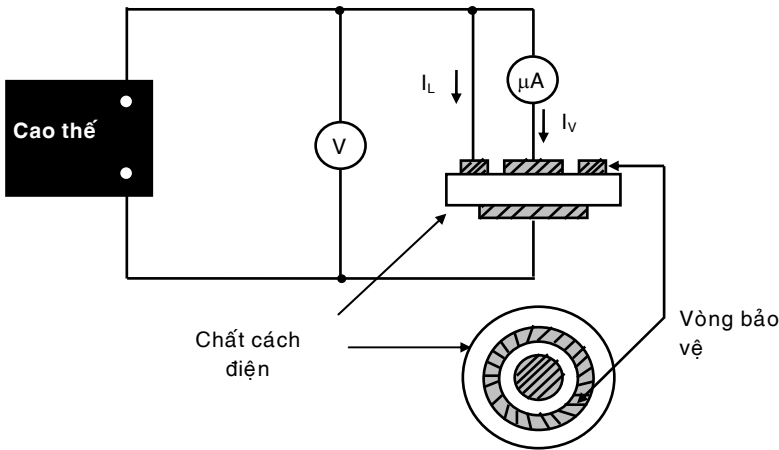
$$I_S = 5\mu A - I_V = 5\mu A - 1,5\mu A = 3,5\mu A \text{ vì } I_V + I_S = 5\mu A$$

$$R_S = \frac{E}{I_S} = \frac{10 \times 10^3}{3,5 \times 10^{-6}} = 2,9 \times 10^9 \Omega \text{ (ohm)}$$

Như vậy nếu chúng ta không loại bỏ dòng  $I_S$  bằng vòng *dây dẫn* bảo vệ thì sẽ đo được điện trở:  $R_S // R_V = (2,9 // 6,7) \times 10^9 \Omega = 2,02 \times 10^9 \text{ ohm}$

Nhỏ hơn ba lần *điện trở khối* cách điện thật.

Trong trường hợp đo điện trở cách điện của một mẫu cách điện bề mặt (H.3.15) khi đó để loại bỏ dòng điện rỉ bề mặt người ta dùng *vòng bảo vệ* bằng kim loại hình vành khăn bên ngoài bản cực mặt trên để đo điện trở cách điện.

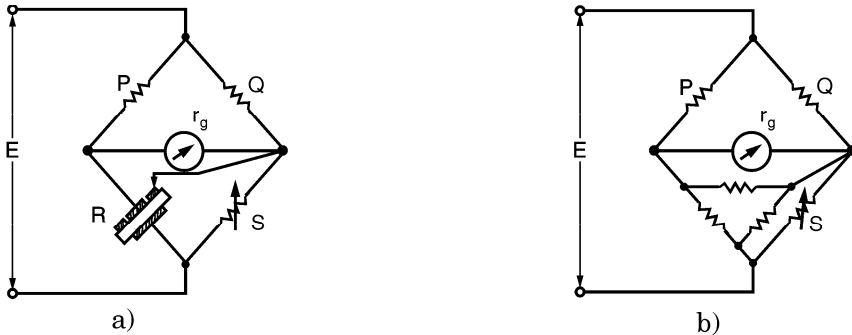


**Hình 3.15:** Đo điện trở cách điện loại bỏ điện trở rỉ bề mặt

Trong trường hợp dùng cầu Wheatstone để đo điện trở cách điện để loại bỏ điện trở rỉ bề mặt, chúng ta cũng dùng *vòng bảo vệ* như hình 3.16a và được phân tích thành mạch tương đương (H.3.16b), điện trở b và c là hai điện trở rỉ bề mặt và bề mặt dưới của vật liệu cần đo điện trở cách điện. Vì  $b \ll r_g$  (điện trở của điện kế).

$$\Rightarrow b \parallel r_g \approx r_g \text{ và } c \ll S \Rightarrow c \parallel S \approx S$$

Như vậy b và c không ảnh hưởng đến điện trở R là phần tử đo của cầu.



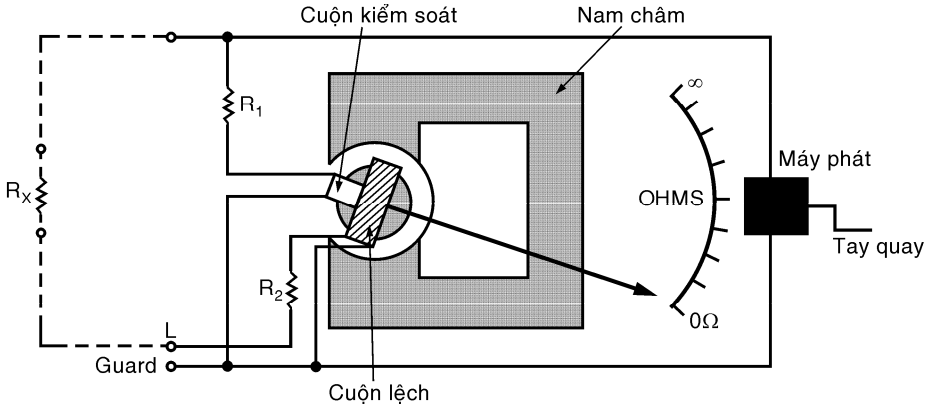
**Hình 3.16:** a) Cầu Wheatstone đo điện trở cách điện bề mặt  
b) Mạch tương đương

**3.6.2 Megohm-kế chuyên dùng**



Bộ chỉ thị thường dùng cho megohm-kế (loại cổ điển) là tỉ số kế từ điện (H.3.17). Cơ cấu chỉ thị này gồm có hai cuộn dây.

- Cuộn dây lệch (*deflecting coil*).
- Cuộn dây kiểm soát (*control coil*).



**Hình 3.17:** Megohm-kế chuyên dùng

Hai cuộn dây này quấn trên trục quay mang kim chỉ thị. Mômen quay  $T_2 = K_{q2}(\theta)I_2$  và  $T_1 = K_{q1}(\theta)I_1$ .

Hai mômen này luôn luôn đối kháng nhau và  $K_{q1}$ ,  $K_{q2}$  là hàm số theo góc quay  $\theta$  của kim chỉ thị để sao cho tại góc  $\theta_i$  của kim chỉ thị ta có:

$$T_{q1} = K_{q1}(\theta_i)I_1 = T_{q2} = K_{q2}(\theta_i)I_2. \text{ Suy ra } \frac{I_1}{I_2} = \frac{K_{q2}(\theta_i)}{K_{q1}(\theta_i)} = K(\theta_i)$$

Vậy góc quay  $\theta_i$  của kim chỉ thị phụ thuộc vào trị số dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  (cơ cấu chỉ thị này không có trị ban đầu vì không có lò xo kiểm soát hoặc dây treo như cơ cấu điện từ mà chỉ có trục quay do đó khi không có dòng  $I_1$ ,  $I_2$  kim chỉ thị ở vị trí bất kỳ).

*Theo mạch cụ thể của megohm-kế:* Nguồn E được cung cấp bởi máy phát điện quay tay (hoặc nguồn phát bằng mạch điện tử dùng pin như các máy mới sau này). Dòng  $I_1$  qua cuộn dây kiểm soát:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_1}, \quad R_1 - \text{điện trở chuẩn, } r_1 - \text{điện trở nội của khung quay kiểm}$$

soát dòng  $I_2$  qua cuộn dây lệch.

$$I_2 = \frac{E}{R_X + R_2 + r_2}$$

$R_X$  - điện trở đo;  $R_2$  - điện trở chuẩn;  $r_2$  - điện trở nội của khung quay lệch.

□ Khi  $R_X \rightarrow \infty$ ;  $I_2 \rightarrow 0$ : Dòng điện  $I_1$  kéo kim chỉ thị lệch tối đa về phía trái thang đo có trị số  $\infty$ .

□ Khi  $R_X \rightarrow 0$ ;  $I_2 \rightarrow I_{2\max}$  (cực đại)

Tỉ số  $I_2/I_1 \rightarrow$  trị số cực đại kim chỉ thị lệch về phía phải (trị số  $0\Omega$ )

□ Khi  $R_X \rightarrow$  trị số bất kỳ khi đó góc quay  $\theta_i$ .

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_1} \quad \text{và} \quad I_2 = \frac{E}{R_X + R_2 + r_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E/(R_1 + r_1)}{E/(R_X + R_2 + r_2)} = K(\theta_2); \quad \frac{R_X + R_2 + r_2}{R_1 + r_1} = K(\theta_i)$$

Như vậy góc quay  $\theta_i$  phụ thuộc vào trị số đo  $R_X$ .

□ Đặc biệt khi kim chỉ thị giữa thang đo:

$$\frac{I_1}{I_2} = 1 \Rightarrow R_X = R_1 + r_1 - R_2 - r_2$$

Nếu:  $r_2 = r_1 \Rightarrow R_X = R_1 - R_2$ .

Như vậy thay đổi tầm đo cho thang đo bằng cách thay đổi trị số  $R_2$ .

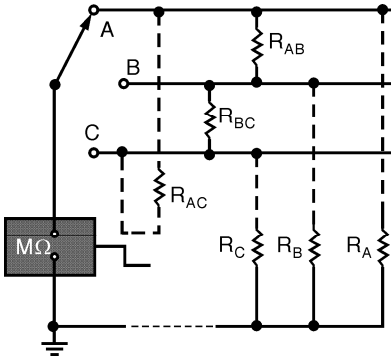
Trong mạch này có đầu *Guard* để gắn vào vòng bảo vệ (*guard ring*) hoặc dây bảo vệ (*guard wire*) để loại bỏ điện trở rỉ bề mặt ( $R_S$ ) khi đo điện trở cách điện

### 3.6.3 Ứng dụng đo điện trở cách điện và chỗ dây bị chạm đất của dây điện lưới

**Tổng quát:** Người ta thường đo điện trở cách điện của các đường dây tải điện hoặc phân phối điện trong công nghiệp. Ví dụ theo tiêu chuẩn thiết kế mạng điện, điện trở cách điện được thử nghiệm với megohm-kế 1000V (hoặc 2000V), nguồn điện áp cấp cho megohm-kế. Điện trở cách điện được đo giữa hai đầu dây dẫn điện với nhau hoặc từng dây dẫn điện với dây trung tính với điều kiện dây dẫn được tháo ra khỏi nguồn điện lưới và tải (ví dụ điện trở cách điện qui định tối thiểu  $1M\Omega$ ).

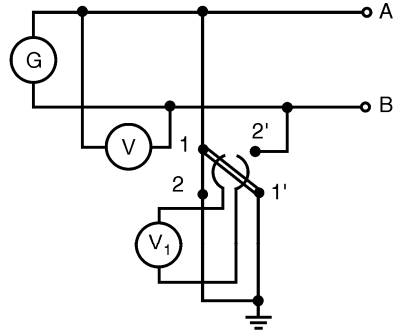
**Đo điện trở cách điện khi tắt nguồn điện**

Trước khi đo, mạch được ngắt ra khỏi nguồn. Điện trở cách điện của dây dẫn A so với mass. Một đầu của dây A được nối vào đầu L của megohm-kế còn đầu E của megohm-kế được nối đầu mass của dây dẫn (dây trung tính của hệ thống điện) (H.3.18). Như vậy điện trở được đo là  $R_A // (R_{AB} + R_b)$ . Nếu  $R_{AB} + R_b$  rất lớn so với  $R_A$  thì  $R_A$  ít sai số. Sau đó lần lượt  $R_b, R_c$  của ba dây dẫn được xác định điện trở cách điện với dây trung tính. Còn điện trở cách điện giữa hai dây A B được đo  $R_{AB} // [R_A + R_B]$ . Tương tự như vậy điện trở cách điện của dây BC  $R_{BC} // [R_B + R_C]$ .



**Hình 3.18**

Đo điện trở cách điện dùng MΩ kế



**Hình 3.19**

Vôn kế V, V1 đo điện trở cách điện

**Đo điện trở cách điện trong trường hợp có nguồn**

Trong trường hợp dây dẫn có nguồn cung cấp. Khi đó chúng ta dùng vôn-kế V đo điện áp nguồn cung cấp, vôn-kế  $V_1$  lần lượt đo điện áp  $V_A, V_B$  của dây A, dây B so với dây trung tính (H.3.19). Dòng điện  $I_1$  qua  $R_B$ .

$$I_1 = \frac{V - V_A}{R_B} = \frac{V}{R_B + [R_A // R_V]}$$

với:  $R_A, R_B$  - điện trở cách điện dây dẫn A, B đối với “mass”

$R_V$  - tổng trở vào của vôn-kế

Tương tự khi vôn-kế được mắc giữa dây B là có dòng  $I_2$  qua  $R_A$ .

$$I_2 = \frac{V - V_B}{R_A} = \frac{V}{R_A + (R_B // R_V)}$$

Từ hai phương trình trên suy ra:

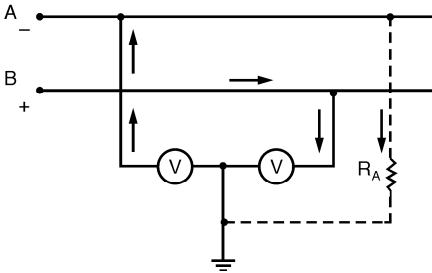
$$R_A = R_V \frac{V - V_A - V_B}{V_B}; \quad R_B = R_V \frac{V - V_A - V_B}{V_A}$$

Nếu như  $R_A \ll R_B$  khi vôn-kế  $V_1$  được mắc giữa dây A với trung tính, được xem như vôn-kế  $V_1$  mắc nối tiếp với  $R_B$  ở hai đầu vôn-kế V.

Do đó: 
$$R_B = R_V \left( \frac{V}{V_A} - 1 \right)$$

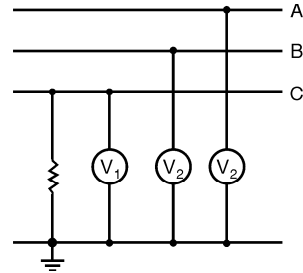
Tương tự như vậy nếu  $R_B \ll R_V$ , thì: 
$$R_A = R_V \left( \frac{V}{V_B} - 1 \right)$$

Như vậy nếu điện áp V của lưới điện không đổi thì điện áp đo giữa một cuộn dây dẫn điện với trung tính phụ thuộc vào điện trở cách điện của dây dẫn điện thứ 2. Cho nên vôn-kế có thể khác độ theo điện trở cách điện.



**Hình 3.20**

Hai vôn-kế đo điện trở cách điện



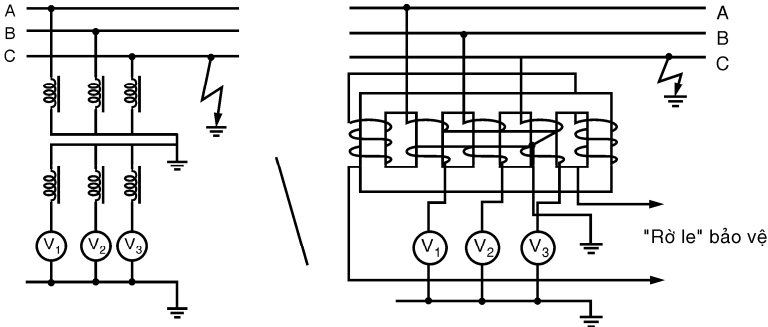
**Hình 3.21**

Ba vôn-kế đo điện trở cách điện

Từ trên ta suy ra trị cách điện giữa hai dây dẫn điện có thể đo được bằng cách mắc như hình 3.20. Trong điều kiện bình thường của sự cách điện, mỗi vôn-kế sẽ cho kết quả điện áp nguồn cung cấp dây dẫn.

Bất kỳ sự giảm điện trở cách điện nào của một trong hai dây dẫn, cũng sẽ làm giảm cách đo của vôn-kế này, trong khi vôn-kế còn lại sẽ tăng trị số lên.

Trường hợp ba dây dẫn của nguồn điện ba pha, điện trở cách điện của ba dây dẫn được chỉ thị bởi ba vôn-kế (H.3.21). Nếu như điện trở cách điện của dây dẫn A giảm xuống thì vôn-kế  $V_A$  giảm, còn  $V_B, V_C$  sẽ có sự gia tăng trị số.



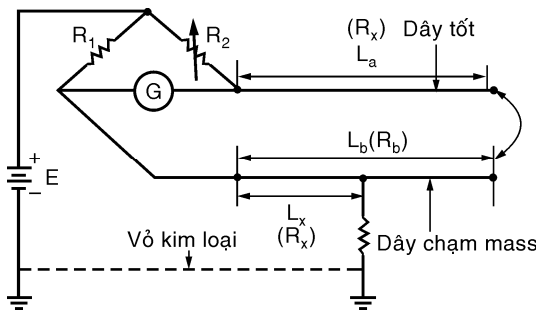
Hình 3.22: Vôn-kế được mắc với biến áp đo

Đối với nguồn điện cung cấp trên 1kV thì các vôn-kế được mắc qua biến áp ba pha đo lường như hình 3.22. Biến áp ba pha dạng này không thuận lợi khi hoạt động trong tình trạng xấu xảy ra là một trong ba pha bị chạm đất. Như vậy cuộn sơ cấp của pha bị chạm đất ngắn mạch, điện áp các pha còn lại tăng lên làm cháy cuộn sơ cấp của biến áp cho nên phải có sự bảo vệ cho phần sơ cấp của biến áp.

**Đo điện trở đoạn dây điện bị chạm mass**

Vấn đề quan trọng là xác định được vị trí của cáp dẫn điện bị chạm mass để đỡ mất thời gian và chi phí cho việc bóc dỡ cả đoạn dây (nếu loại cáp ngầm chôn dưới đất). Những hư hỏng thường xảy ra như sau:

- Lớp cách điện của cáp bị bể
- Lớp cách điện bị giảm độ cách điện, có sự phóng điện làm hỏng lớp cách điện.



Hình 3.23: Vòng Murray đo điện trở chạm mass

Phương pháp thường dùng để xác định vị trí chạm mass là vòng thử nghiệm (test loop). Những phương pháp này đủ xác định chỗ hỏng. Mạch thường dùng là vòng Murray và vòng Varley. Đây cũng là một ứng dụng của cầu Wheatstone (H.3.23). Khi cầu Wheatstone cân bằng (điều chỉnh  $R_2$  và thay

đổi  $R_1$ ).

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a + R_b - R_X}{R_X}. \text{ Suy ra: } R_X (R_1 + R_2) = R_1 (R_a + R_b)$$

$$\text{Vậy } R_X = \frac{R_1 (R_a + R_b)}{R_1 + R_2}$$

Nếu đoạn dây  $R_X$  có chiều dài  $L_X$ ;  $R_a$  có chiều dài  $L_a$ ;  $R_b$  có chiều dài  $L_b$ . Các dây có cùng điện trở suất,  $L_a = L_b = L$  và cùng thiết diện  $A$ :

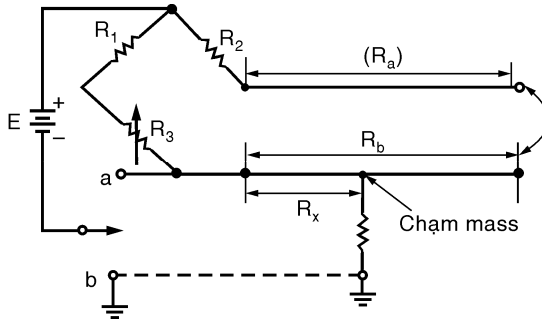
$$\rho \frac{L_X}{A} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left[ \frac{L_a}{A} \rho + \frac{L_b}{A} \rho \right]; \quad L_X = \frac{R_1}{R_1 + R_2} 2L'$$

**Ví dụ 3.13:** Đoạn dây cáp có chạm *mass* được xác định bằng vòng Murray cân bằng khi  $R_1 = 100\Omega$  và  $R_2 = 300\Omega$ . Đoạn dây  $A, B$  có chiều dài  $L_a = L_b = 5000m$ . Dây cáp dẫn điện đồng chất và đồng nhất.

**Giải:** Chiều dài chỗ cáp bị chạm *mass*

$$L_X = \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] 2L_a = \left( \frac{100}{400} \right) \times 2 \times 5000m = 2500m$$

hoặc dùng vòng Varley.



Hình 3.24: Vòng Varley

Mạch điện mắc theo hình 3.24, cầu Wheatstone có thêm điện trở  $R_3$ . Đây là phương pháp xác định thêm điện trở dây *chạm đất* chính xác nhất và sự ngắn mạch trong một dây *cáp* có nhiều dây dẫn điện. Nó được cải tiến thích hợp nhất từ vòng *Murray*. Giả sử chỗ bị chạm *mass* trên dây dẫn điện có điện trở  $R_a$ . Nối hai đầu dây dẫn. Sau đó khóa  $S$  ở vị trí a để điều chỉnh  $R_3$  để sao cho cầu cân bằng.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a + R_b}{R_3}. \text{ Suy ra: } R_a + R_b = \frac{R_3 R_2}{R_1}$$

Như vậy điện trở dây dẫn được xác định. Sau đó chuyển khóa  $S$  sang vị

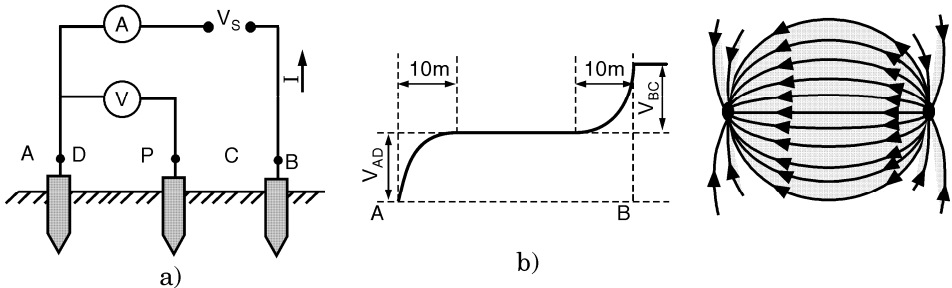
**Khoảng cách giữa các cọc đất**

Để cho điện trở đất của các cọc đất không ảnh hưởng với nhau (nghĩa là các điện trở cọc A là  $R_A$  không bị ảnh hưởng bởi vùng đất của cọc B có điện trở đất là  $R_B$ ). Người ta khảo sát thực tế như hình 3.25. Dòng điện I đi qua vùng đất giữa hai cọc đất sẽ tạo ra điện áp:

$$V_{AC} = R_A I \quad \text{với: } R_A - \text{điện trở đất của cọc A}$$

$$V_{BC} = R_B I \quad R_B - \text{điện trở đất của cọc B}$$

Khi cọc P được đóng giữa cọc A và B ở bất kỳ vị trí nào, thì vôn kế giữa cọc AC có trị số thay đổi theo đường biểu diễn (H.3.25b). Như vậy ngoài phạm vi 10m thì điện áp  $V_{AC}$  không thay đổi (các điểm ngoài 10m đẳng thế). Như vậy hai cọc đất cách nhau 20m sẽ có điện trở đất không ảnh hưởng lên nhau. (Trong thực tế hai cọc cách nhau 10m đến 20m có thể xem như hai cọc đất riêng biệt).



**Hình 3.25:** Khảo sát điện trở đất, và điện áp rơi trên điện trở đất cùng dòng I đi qua

**Nguồn điện áp cung cấp cho mạch đo**

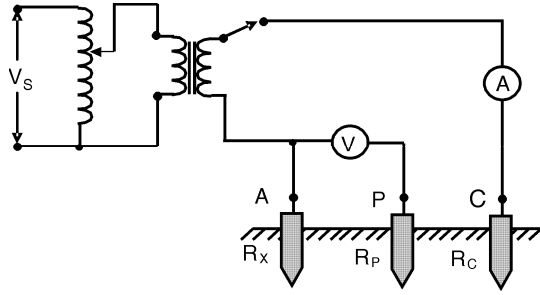
Nguồn tín hiệu cung cấp cho mạch đo là nguồn tín hiệu xoay chiều dạng sin hoặc xung vuông. Chúng ta tránh dùng nguồn DC do ảnh hưởng của điện giải sẽ làm tăng sai số đo điện thế điện cực. Nếu dùng điện lưới của điện lực thì phải dùng biến áp cách ly tránh ảnh hưởng dòng trung tính (nếu có do điện thế lưới mất đối xứng) và cọc đất của dây trung tính.

**3.7.2 Mạch đo điện trở đất**

**Dùng vôn-kế và ampe-kế**

**Phương pháp trực tiếp**

Mạch đo được mắc như hình 3.26.



Cọc A: cọc đo điện trở đất  $R_X$ ; Cọc P: cọc phụ đo điện áp; Cọc C: cọc phụ đo dòng điện

**Hình 3.26:** Mạch đo điện trở đất bằng vôn-kế và ampe-kế

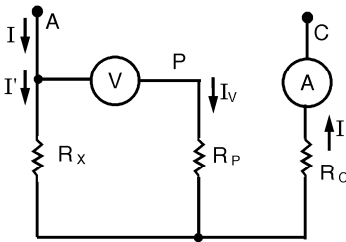
Theo mạch tương đương của điện trở đất của cọc A, P, C (H.3.27)

Điện trở cho bởi vôn-kế V:

$$V_{AP} = R_X I' + R_P I_V$$

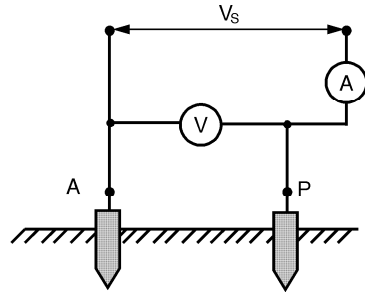
với  $I = I' + I_V$  cho bởi ampe-kế.

Nếu:  $I_V \ll I'$  thì  $I' \approx I$ . Do đó:  $R_X \approx \frac{V_A}{I}$



**Hình 3.27**

Mạch tương đương của ba cọc A, P, C



**Hình 3.28**

Mạch đo điện trở đất bằng phương pháp gián tiếp

Vậy điện trở được xác định bởi trị số đọc của vôn-kế và ampe-kế. Do đó nếu chúng ta quan tâm đến sai số do vôn-kế và điện trở cọc phụ thuộc điện áp thì  $R_X$  có sai số tương đối:

$$\varepsilon_R = [R_B / (R_B + R_V)] 100\%$$

trong đó:  $R_B$  - điện trở đất của cọc phụ điện áp B

$R_V$  - tổng trở vào của của vôn-kế

Như vậy để sai số càng nhỏ thì  $R_B \gg R_V$ .



*Phương pháp gián tiếp:* Trong trường hợp này đo điện trở đất từng cọc như hình 3.28. Vôn-kế và ampe-kế có giá trị điện trở từng cọc:

$$R_A + R_P = \frac{V_1}{I_1}$$

Sau đó lần lượt đo điện áp của hai cọc BC và CA:

$$R_P + R_C = \frac{V_2}{I_2}$$

Tương tự như vậy:  $R_C + R_A = \frac{V_3}{I_3}$

Sau đó từ ba phương trình này chúng ta xác định  $R_A, R_B, R_C$

Trong phương pháp này cả ba cọc đất (gồm cọc đo và hai cọc phụ) đều được xác định, loại trừ được ảnh hưởng sai số do điện trở cọc phụ gây ra như đã đề cập trong phương pháp trực tiếp.

#### **Dùng cầu Kohlrausch đo điện trở đất**

Đây là dạng cầu Wheatstone để đo điện trở của dung dịch có tính chất điện giải bằng hai điện cực, nó cũng được ứng dụng để đo điện trở đất (H.3.29) điện trở  $R_A + R_B$  được xác định khi cầu cân bằng (giống như phương pháp gián tiếp dùng vôn-kế và ampe-kế).

$$R_A + R_B = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

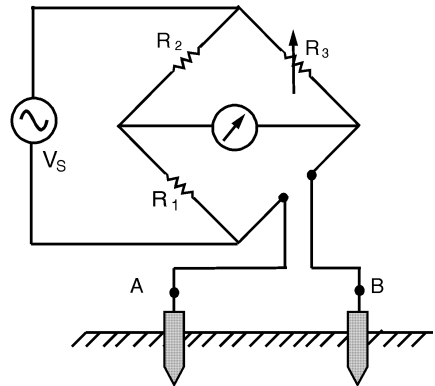
Phương pháp đo điện trở đất dùng cầu cân bằng có ưu điểm là loại bỏ được dòng điện tản chạy qua vùng đất cần đo điện trở.

#### **Máy đo “chuyên dùng” để đo điện trở đất**

**Máy đo dùng tỉ số kể từ điện:** mạch đo nguyên lý hình 3.30.

Dòng điện  $I_1$  đi qua cuộn dây 1 của tỉ số kể đi qua vùng đất cần đo điện trở. Dòng điện  $I_2$  đi qua cuộn dây 2 có tỉ số phụ thuộc vào điện áp rơi trên cọc đo và cọc phụ điện áp. Điều chỉnh biến trở  $R_S, I_2$  thay đổi. Vì  $V_{AP} = (R_S + r_2) = R_X I_1$ . Suy ra  $I_2/I_1 = R_X/(R_S + r_2)$

Điều chỉnh  $R_S$  cho đến khi:  $I_1 = I_2 \Rightarrow R_X = R_S + r_2$

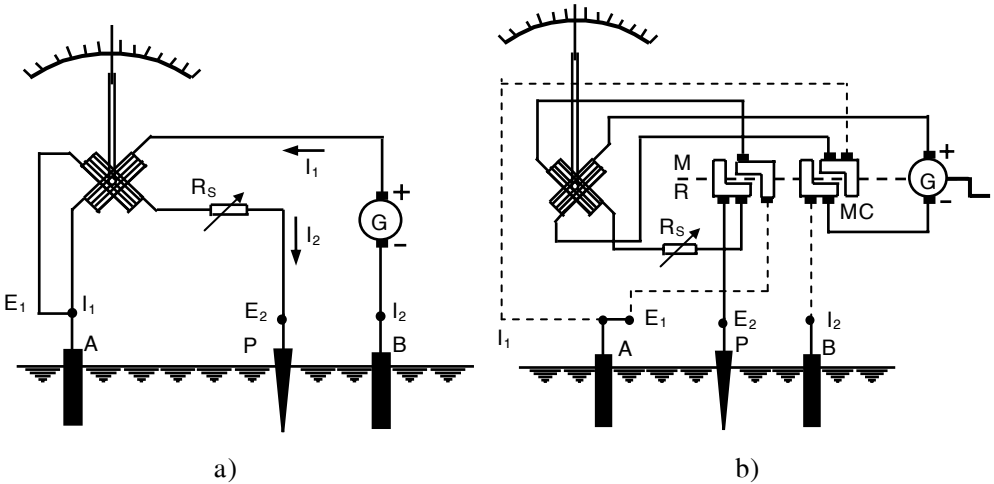


**Hình 3.29:** No ãiããn trõu  
bãng cãu ãõ

Như vậy với  $R_S$  tại trị số  $I_2/I_1 = 1$ , sẽ xác định được  $R_X$  khi  $r_2$  đã biết trước.

Trong thực tế dòng  $I_1$  qua tỉ số kế là DC, còn dòng  $i_1$  chạy qua vùng đất đo là AC, do đó có bộ biến đổi  $I_1$  (DC) sang  $i_1$  (AC) đưa vào cọc đo. Sau đó dòng  $i_1$  (AC) chuyển sang  $I_1$  (DC) trở về máy phát G một chiều bằng bộ chỉnh lưu, còn điện áp  $V_{AP}$  (AC) được chỉnh lưu sang điện áp  $V_{AP}$  (DC) tạo ra dòng điện  $I_2$  (DC).

Như vậy trong các máy đo cổ điển, dùng máy phát (quay tay) thường có trục quay gắn liền với bộ biến đổi DC sang AC, hoặc chỉnh lưu từ AC về DC dùng hiện tượng cơ điện.



**Hình 3.30:** Máy đo dùng tỉ số kế  
a) Mạch đo nguyên lý; b) Mạch đo thực tế

**Máy đo dùng cơ cấu chỉ thị từ điện (H.3.31):** Mạch đo có hai vị trí của  $SW_1$  (công tắc chuyển mạch) là ở vị trí “C” dùng để chỉnh máy, điện trở chuẩn  $R_C$  thay thế điện trở đất cần đo.

**Ở vị trí M:** Mạch đo hoạt động với điện trở đất cần đo. Từ nguồn phát xoay chiều G tạo ra dòng điện I đi qua điện trở  $R_C$  (khi chỉnh máy) hay qua  $R_X$  khi đo điện trở đất sẽ tạo ra điện áp:  $R_C I_1$  hoặc  $R_X I_1$ .

Điện áp này được so sánh với điện áp  $I_2 R_{as}$  với  $I_2$  phụ thuộc vào  $K_I I_1$ , trong đó  $K_I$  là tỉ số biến dòng CT và  $R_{as}$  phụ thuộc vào vị trí S của biến trở  $R_V$ . Nếu  $I_2 R_{as}$  khác  $R_X I_1$  thì  $V_1 = I_2 R_{as} - I_1 R_X \neq 0$ .

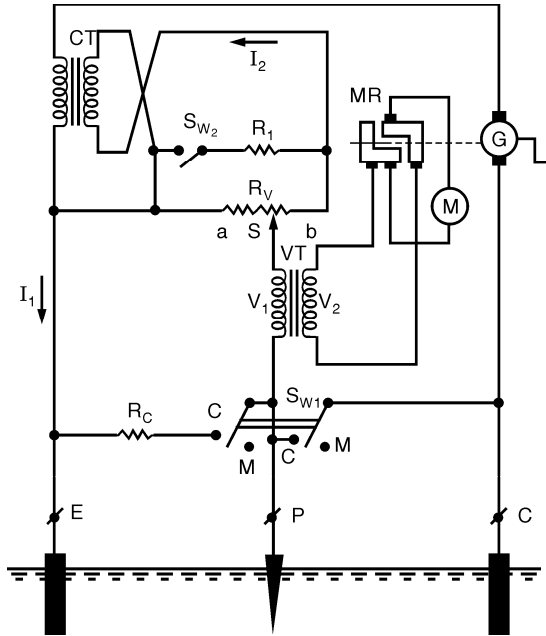
Khi đó  $V_2 = K_V V_1$  được chỉnh lưu qua cơ cấu điện từ, kim chỉ thị khác

không.

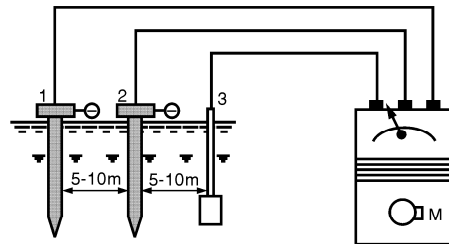
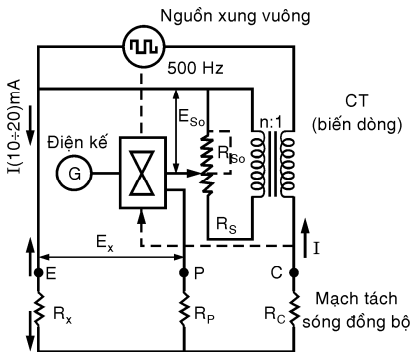
Con chạy  $S$  của  $R_s$  được điều chỉnh cho đến khi  $V_1 = 0$ , khi đó kim chỉ thị của cơ cấu điện từ chỉ không:  $I_1 R_X = K_I I_1 R_{as}$

Do đó:  $R_X = K_I R_{as}$

Như vậy điện trở  $R_{as}$  xác định điện trở đất  $R_X$ .



**Hình 3.31: Mạch đo của máy đo điện trở đất**  
 CT: Biến dòng, VT: Biến áp



1- Cọc phụ áp; 2- Cọc phụ dòng; 3- Cọc đất đo

**Hình 3.32: Sơ đồ khối máy đo Hình 3.33: Cách đóng cọc**

**Mạch đo điện trở đất có sự kết hợp với mạch điện tử dùng cơ cấu từ điện:**

Để đo được điện trở trong máy đo điện tử, người ta cũng chuyển đại lượng điện trở sang đại lượng điện áp, sau đó đưa vào mạch đo điện áp của vôn-kế điện tử. Mạch đo điện trở có hai dạng:

- Nối tiếp
- Mắc rẽ.

### 3.8.2 Mạch đo điện trở dạng nối tiếp

Mạch đo được mắc như hình 3.35

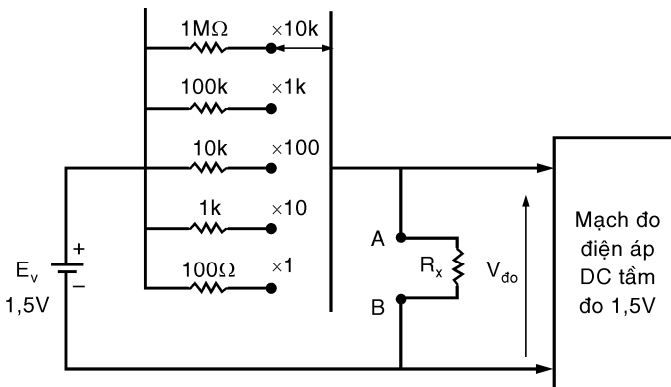
□ Mạch đo trên có năm tầm đo  $\times 1 - \times 10 - \times 100 - \times 1k - \times 10k$ . Nghĩa là trị số đọc được nhân với *hệ số nhân* của tầm đo. Ví dụ: Ở tầm  $\times 100$  trị số đọc trên mặt chỉ thị là  $36\Omega$  thì kết quả đo của  $R_X = 3600\Omega$ .

□ Mạch thay đổi tầm đo gồm có các điện trở chuẩn nối tiếp với  $R_X$ , các điện trở chuẩn này là loại điện trở chính xác, sai số nhỏ hơn 1%. Tầm đo điện trở càng lớn thì điện trở chuẩn mỗi tầm đo càng tăng. Dòng điện của mỗi tầm đo giảm tương ứng (tầm đo tăng 10 thì dòng điện giảm 10).

□ Khi  $R_X = 0\Omega$  (nối tắt hai đầu AB),  $V_{do} = 0V$

□ Khi  $R_X \rightarrow \infty\Omega$  (hai đầu AB để hở),  $V_{do} \# 1,5V$

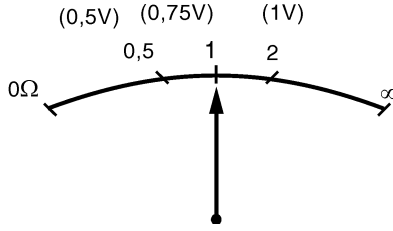
Vì tổng trở vào của mạch đo điện áp DC rất lớn so với điện trở chuẩn của tầm đo, cho nên điện áp rơi trên điện trở chuẩn không đáng kể trong trường hợp AB để hở.



Hình 3.35: Mạch đo điện trở dạng nối tiếp

□ Trường hợp  $R_X$  bất kỳ với tầm đo tương ứng có điện trở chuẩn  $R_1$ . Chúng ta có:

$$V_{\tilde{n}o} = E \frac{R_X}{R_X + R_1}$$



Hình 3.36: Thang đo điện trở

**Ví dụ 3.15:** Ở “tầm đo  $1 \times k\Omega$ ” điện trở đo có trị số  $R_X = 1k\Omega$ . Khi đó  $V_{\bar{n}o}$  có trị số như nhau.

$$V_{\bar{n}o} = 1,5V \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} = 0,75V$$

Như vậy kim chỉ thị sẽ chỉ số 1 ở giữa thang đo.

Nếu  $R_X = 0,5K\Omega$  thì:

$$V_{\bar{n}o} = 1,5V \frac{0,5k\Omega}{1k\Omega + 0,5k\Omega} = 0,5V$$

Như vậy kim chỉ thị chỉ số 0,5 ở 1/3 thang đo. Nếu  $R_X = 2k\Omega$  thì:

$$V_{\bar{n}o} = 1,5V \frac{2k\Omega}{1k\Omega + 2k\Omega} = 1V$$

Như vậy kim chỉ thị số 2 ở 2/3 thang đo. Vậy thang đo điện trở trong trường hợp này không tuyến tính.

### 3.8.3 Mạch đo điện trở dạng mắc rẽ

Mạch đo được mắc theo hình 3.37. Trong mạch đo này:

Khi  $R_X = 0\Omega$ , khi đó  $V_{\bar{n}o} = 0V$

Khi  $R_X \rightarrow \infty$  thì 
$$V_{\bar{n}o} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

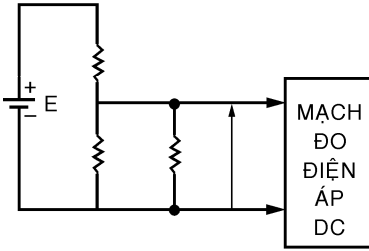
Khi  $R_X$  có trị số bất kỳ.

$$V_{\bar{n}o} = E \frac{[R_2 // R_X]}{R_1 + [R_2 // R_X]} = E \frac{R_X R_2}{R_X R_2 + R_1 (R_2 + R_X)}$$

Theo biểu thức này khi:

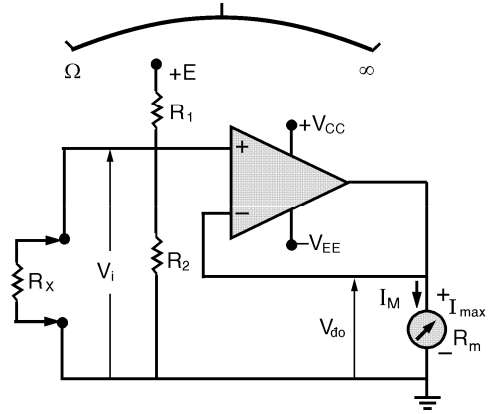
$$R_X = (R_1 // R_2) = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ thì } V_{\bar{n}o} = \frac{1}{2} E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Khi đó kim chỉ thị 1/2 thang đo



Hình 3.37

Mạch đo điện trở dạng mắc rẽ



Hình 3.38

Mạch đo điện trở loại mắc rẽ

**Ví dụ 3.16:** Có mạch đo điện trở sau đây:

Cơ cấu chỉ thị có:  $I_{max} = 50\mu A$ ,  $R_m = 2k\Omega$ ,  $E = 1,5V$

Khi  $R_X = 10\Omega$  ở tầm  $\times 1$ .  $R_X = 100\Omega$  ở tầm  $\times 10$

Thì  $I_M = (1/2) I_{max}$  xác định  $R_1$ ,  $R_2$ .

**Giải:** Mạch tương đương Thevenin cho mạch đo (H.3.39).

$$E_{t\bar{n}} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{td} = [R_1 // R_2]$$

Vì mạch đo có mạch khuếch đại hệ số khuếch đại bằng 1 cho nên:

$$V_i = V_{do}, \text{ khi } R_X \rightarrow \infty \text{ thì:}$$

$$V_i \rightarrow (V_{do})_{max} = R_m I_{max}$$

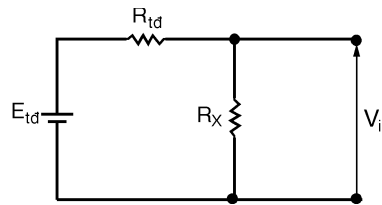
$$(V_i)_{max} = (V_{do})_{max} = 100mV$$

$$\text{Do đó khi: } R_X = 10\Omega = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{1}$$

$$\text{Thì: } V_{do} = V_i = 50mV = \frac{1}{2} E_{t\bar{n}} = \frac{1}{2} E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{2}$$

Từ phương trình (1) và (2) ta có:

$$R_2 = \frac{100mV}{E} (R_1 + R_2) = \frac{1}{15} (R_1 + R_2)$$



Hình 3.39

Mạch tương đương Thevenin

$$R_1 R_2 = 10(R_1 + R_2) = 10 \times 15 R_2$$

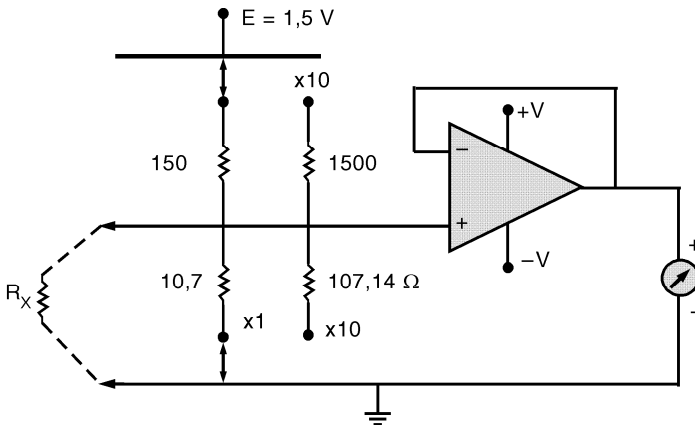
Suy ra:  $R_1 = 150 \Omega$  và  $R_2 = 150/14 \Omega = 10,7 \Omega$ .

Trong trường hợp  $R_X = 100 \Omega$  (ở tầm  $\times 10$ ). Thì  $R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 100 \Omega$

Suy ra  $R_1 R_2 = 100(R_1 + R_2) = 100 \times 15 R_2$

$$R_1 = 1500 \Omega \text{ và } R_2 = 107,14 \Omega$$

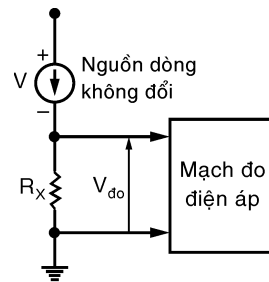
Vậy mạch đo có thể vẽ lại như trên có hai tầm đo (H.3.40).



Hình 3.40: Mạch đo điện trở có hai tầm đo

### 3.8.4 Mạch đo dòng điện dùng nguồn dòng không đổi

□ Trong các mạch đo điện trở trên ta dùng nguồn áp không đổi, nhưng điện áp đo được chuyển từ đại lượng điện trở có dòng điện đi qua thay đổi theo điện trở đo, cho nên điện áp đo này đưa vào mạch đo *không tuyến tính* theo điện trở  $R_X$ , dẫn đến thang đo không đều. Để cho điện áp đo *tuyến tính* theo điện trở  $R_X$ , người ta sử dụng *nguồn dòng điện không đổi* khi  $R_X$  thay đổi:  $V_{do} = IR_X$



Hình 3.41: Mạch ão nguyên lý nguồn dòng không

Trong trường hợp này  $R_X \rightarrow \infty V_{do} \rightarrow$  trị số lớn nhất của tầm đo điện áp  $R_X \rightarrow 0$  thì  $V_{do} = 0V$

Mạch đo điện trở tuyến tính (*linear ohmmeter*) thường được dùng trong máy đo đa dụng điện tử chỉ thị số (*digital multimeter*).

**Mạch có nguồn dòng không đổi dùng transistor (BJT)**

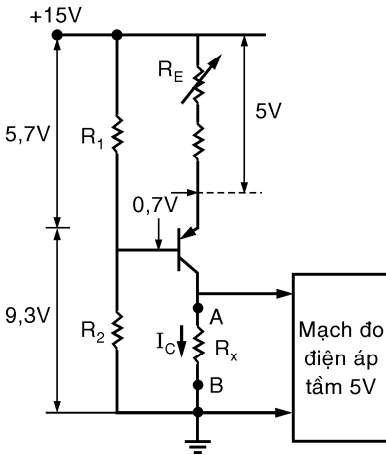
Nguồn dòng điện không đổi cung cấp cho điện trở  $R_X$  là dòng  $I_C$  của  $Q_1$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  điện trở phân cực cho cực nền  $Q_1$  theo điện áp của mạch đã cho.

Như vậy điện trở  $R_E$  có điện áp 5V không đổi. Giả sử, điều chỉnh  $R_E$  để cho  $I_C = 1mA$ . Khi đó điện trở  $R_X = 5k\Omega$  thì  $V_{do} = 5k\Omega \times 1mA = 5V$  (trị số lớn nhất của tầm đo).

Khi đo điện trở lớn hơn  $5k\Omega$  thì phải chuyển tầm đo bằng cách thay đổi nguồn dòng  $I_C$ .

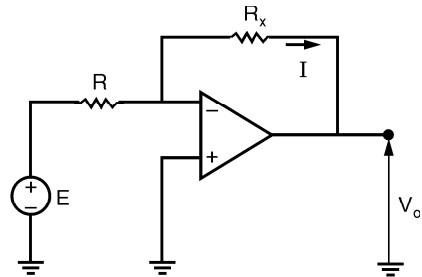
Ví dụ: thay đổi  $R_E$  để cho dòng  $I_C = 0,1mA$ , khi đó điện trở đo được đến  $50k\Omega$ .

Nếu không muốn thay đổi dòng  $I$  (hoặc không thể cho  $I_C$  quá nhỏ khi  $R_X$  tăng lên lớn) thì thay đổi tầm đo điện áp tương ứng với điện trở  $R_X$ .



Hình 3.42

Mạch đo điện trở tuyến tính



Hình 3.43

Mạch đo dùng nguồn dòng không đổi



**Dùng nguồn dòng không đổi bằng Op-Amp**

Theo đặc tính mạch khuếch đại dùng Op-Amp:  $V_o = -(R_X/R)E$ . Chúng ta xem như dòng  $I$  không đổi:  $I = E/R$ ;  $V_o = -IR_X$ . Khi  $R_X$  thay đổi thì  $V_o$  thay đổi tuyến tính theo  $R_X$ .

Ví dụ:  $E = +3V$ ;  $R = 3k\Omega$ . Xác định  $V_o$  theo  $R_X$ .

Ta có:  $V_o = -IR_X$ , với:  $I = E/R = 3/3k\Omega = 1mA$

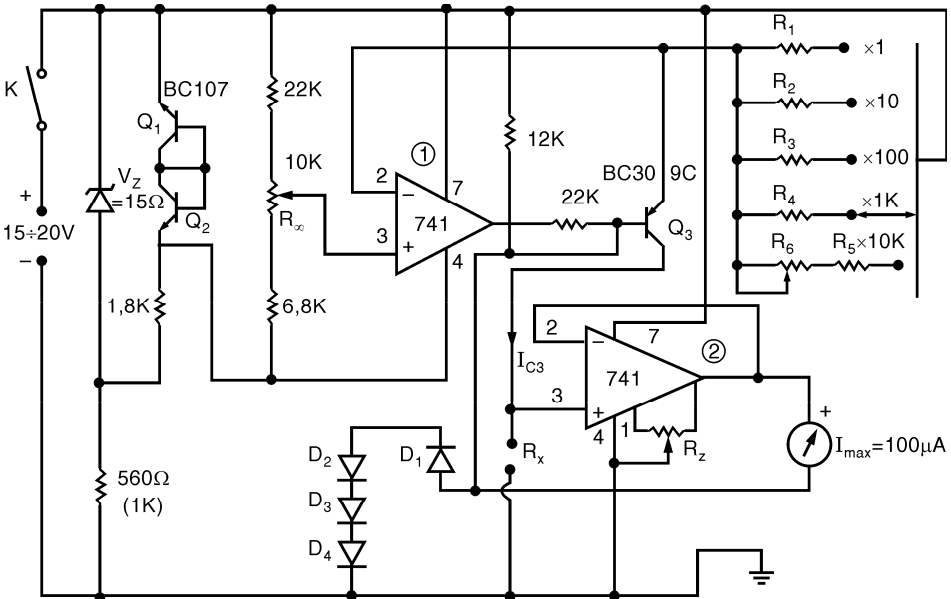
Vậy  $V_o = -R_X(1mA)$

Ví dụ:  $R_X = 100\Omega \rightarrow V_o = 100mV$ . Nếu  $V_o$  có trị số bão hòa ở 5V (đặc tính Op-Amp) thì khi đó  $R_X = 5k\Omega$  là lớn nhất. Vậy muốn thay đổi tầm đo thì thay đổi  $R$  để có sự thay đổi  $I$  (nguồn dòng) tương ứng với mỗi tầm đo.

Mạch đo cụ thể dùng nguồn dòng ổn định nhờ sự điều khiển của mạch khuếch đại Op-Amp.  $D_1, D_2, D_3, D_4$  là loại 1N4154.

$R_1 = 330\Omega$ ;  $R_2 = 3,3 k\Omega$ ;  $R_3 = 33 k\Omega$ ;  $R_4 = 330 k\Omega$

$R_5 = 2,2M\Omega$ ;  $R_6 = 1M\Omega$  (điện trở tầm đo).



**Hình 3.44:** Mạch đo điện trở “tuyến tính” dùng Op-Amp

**Giải:**

$$a) I_m = \frac{E_b}{R_x + R_1 + R_m} = \frac{1,5V}{0 + 15k\Omega} = 100\mu A \text{ (FSD)}$$

b) □ Độ lệch bằng 1/2 FSD:

$$I_m = \frac{100\mu A}{2} = 50\mu A \text{ (vì cơ cấu đo tuyến tính).}$$

$$R_x + R_1 + R_m = \frac{E_b}{I_m} \Rightarrow R_x = \frac{E_b}{I_m} - (R_1 + R_m) = \frac{1,5V}{50\mu A} - 15k\Omega = 15k\Omega$$

□ Độ lệch bằng 1/4 FSD:

$$I_m = \frac{100\mu A}{4} = 25\mu A; R_x = \frac{1,5V}{25\mu A} - 15k\Omega = 45k\Omega$$

□ Độ lệch bằng 3/4 FSD:

$$I_m = 0,75 \times 100\mu A = 75\mu A; R_x = \frac{1,5V}{75\mu A} - 15k\Omega = 5k\Omega$$

**3.2.** Một ohm-kế có mạch đo (H.B.3.2).

Biết:  $E_b = 1,5V$ ;  $R_1 = 15k\Omega$ ;  $R_m = 50\Omega$ ;  $R_2 = 50\Omega$ , cơ cấu đo có  $I_{fs} = 50\mu A$ .

Tính trị giá  $R_x$  khi kim chỉ thị có độ lệch tối đa: (FSD); 1/2 FSD và 3/4 FSD.

**Giải:** Kim lệch tối đa (FSD):

$$I_m = 50\mu A; V_m = I_m R_m = 50\mu A \times 50\Omega = 2,5mV$$

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{2,5mV}{50\Omega} = 50\mu A$$

Dòng điện mạch chính:  $I_b = I_2 + I_m = 50\mu A + 50\mu A = 100\mu A$ .

$$R_x + R_1 = \frac{E_b}{I_b} = \frac{1,5V}{100\mu A} = 15k\Omega$$

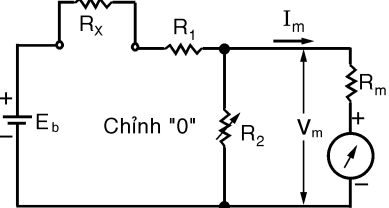
$$R_x = (R_x + R_1) - R_1 = 15k\Omega - 15k\Omega = 0$$

Kim lệch 1/2 FSD:

$$I_m = 25\mu A; V_m = 25\mu A \times 50\Omega = 1,25mV; I_2 = \frac{1,25mV}{50\Omega} = 25\mu A$$

$$I_b = 25\mu A + 25\mu A = 50\mu A$$

$$R_x + R_1 = \frac{1,5V}{50\mu A} = 30k\Omega; R_x = 30k\Omega - 15k\Omega = 15k\Omega$$

**Hình B.3.2**

*Kim lệch 3/4 FSD:*

$$I_m = 0,75 \times 50\mu\text{A} = 37,5\mu\text{A}; V_m = 37,5\mu\text{A} \times 50\Omega = 1,875\text{mV}$$

$$I_2 = \frac{1,875\text{mV}}{50\Omega} = 37,5\mu\text{A}; I_b = 37,5\mu\text{A} + 37,5\mu\text{A} = 75\mu\text{A}.$$

$$R_x + R_1 = \frac{1,5\text{V}}{75\mu\text{A}} = 20\text{k}\Omega \Rightarrow R_x = 20\text{k}\Omega - 15\text{k}\Omega = 5\text{k}\Omega$$

**3.3.** Một Ohm-kế có mạch đo ở bài 2. Có nguồn  $E_b$  giảm xuống chỉ còn 1,3V. Tính trị giá mới của  $R_2$ ? Tính lại các trị giá  $R_x$  tương ứng với độ lệch của kim: 1/2 FSD, 3/4 FSD.

**Giải:** Khi  $R_x = 0$ ;  $I_b \approx \frac{E_b}{R_x + R_1} = \frac{1,3\text{V}}{0 + 15\text{k}\Omega} = 86,67\mu\text{A}$

$$I_m = 50\mu\text{A} \text{ (FSD)}; I_2 = I_b - I_m = 86,67\mu\text{A} - 50\mu\text{A} = 36,67\mu\text{A}$$

$$V_m = I_m R_m = 50\mu\text{A} \times 50\Omega = 2,5\text{mV}; R_2 = \frac{V_m}{I_2} = \frac{2,5\text{mV}}{36,67\mu\text{A}} = 68,18\Omega$$

*Kim có độ lệch 1/2 FSD:*

$$I_m = 25\mu\text{A}; V_m = 25\mu\text{A} \times 50\Omega = 1,25\text{mV}$$

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{1,25\text{mV}}{68,18\Omega} = 18,33\mu\text{A}$$

$$I_b = I_m + I_2 = 25\mu\text{A} + 18,33\mu\text{A} = 43,33\mu\text{A}$$

$$R_x + R_1 = \frac{V_m}{I_b} = \frac{1,3\text{V}}{43,33\mu\text{A}} = 30\text{k}\Omega \Rightarrow R_x = 30\text{k}\Omega - 15\text{k}\Omega = 15\text{k}\Omega$$

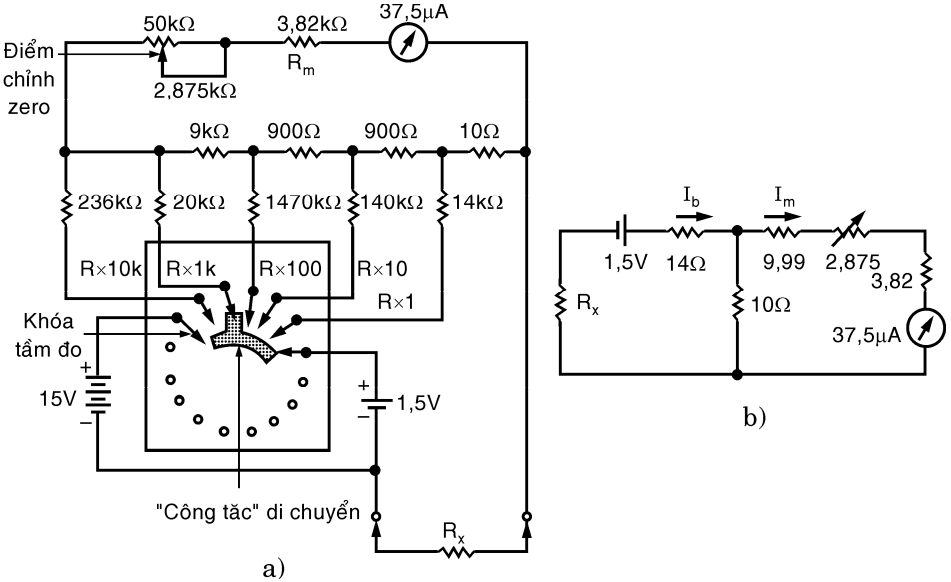
*Kim có độ lệch 3/4 FSD:*

$$I_m = 0,75 \times 50\mu\text{A} = 37,5\mu\text{A}; V_m = 37,5\mu\text{A} \times 50\Omega = 1,875\text{mV}$$

$$I_2 = \frac{1,875\text{mV}}{68,18\Omega} = 27,5\mu\text{A}; I_b = 37,5\mu\text{A} + 27,5\mu\text{A} = 65\mu\text{A}$$

$$R_x + R_1 = \frac{V_m}{I_b} = \frac{1,3\text{V}}{65\mu\text{A}} = 20\text{k}\Omega \Rightarrow R_x = 20\text{k}\Omega - 15\text{k}\Omega = 5\text{k}\Omega$$

**3.4.** Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo và độ lệch của kim chỉ thị của ohm-kế có mạch đo như hình vẽ khi ta sử dụng tầm đo  $R \times 1$  trong hai trường hợp: a)  $R_x = 0$  và b)  $R_x = 24\Omega$ .



Hình B.3.4

**Giải:** Mạch tương đương của ohm-kế khi ta sử dụng tầm đo  $R \times 1$  trong hai trường hợp  $R_x = 0$  và  $R_x = 24\Omega$  như sau:

$$\square \text{ Khi } R_x = 0: I_b = \frac{1,5V}{14\Omega + [10\Omega // (9,99k\Omega + 2,875k\Omega + 3,82k\Omega)]}$$

$$I_b = \frac{1,5V}{14\Omega + (10\Omega // 16,685k\Omega)} = 62,516mA.$$

Dòng  $I_m$  chạy qua cơ cấu đo:

$$I_m = 62,516mA \frac{10\Omega}{10\Omega + 16,685k\Omega}$$

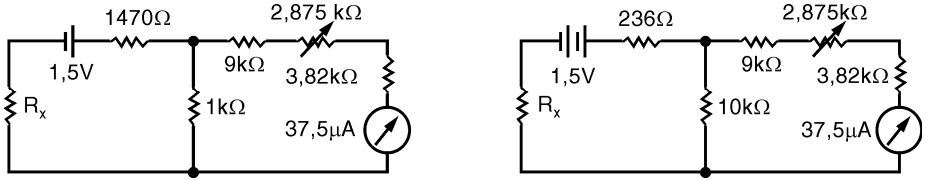
$$I_m = 37,5\mu A = I_{fs}: \text{ kim lệch tối đa.}$$

$\square$  Khi  $R_x = 24\Omega$ :

$$I_b = \frac{1,5V}{24\Omega + 14\Omega + (10\Omega // (16,685k\Omega))} = 31,254mA$$

$$I_m = 31,254mA \frac{10\Omega}{10\Omega + 16,685k\Omega} = 18,72\mu A: \text{ kim lệch } 1/2 \text{ FSD}$$

**3.5.** Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo và độ lệch của kim chỉ thị của Ohm-kế có mạch đo như bài 4, khi ta sử dụng tầm đo  $R \times 100$  và  $R \times 10K$  trong trường hợp  $R_x = 0$ .



Hình B.3.5

**Giải:** Mạch tương đương của ohm-kế khi ta sử dụng tầm đo  $R \times 100$  và  $R_x = 0$ .

$$I_b = \frac{1,5V}{1470\Omega + [1k\Omega // (9k\Omega + 2,875k\Omega + 3,82k\Omega)]}$$

$$= \frac{1,5V}{1470\Omega + (1k\Omega // 15,695k\Omega)} = 622,38\mu A$$

$$I_m = 622,38\mu A \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 15,695k\Omega} = 37,5\mu A = I_{fs}: \text{ kim chỉ thị lệch tối đa.}$$

□ Mạch tương đương của ohm-kế khi ta sử dụng tầm đo  $R \times 10k\Omega$  và  $R_x = 0$ .

$$I_b = \frac{15V}{236k\Omega + [10k\Omega // (2,875k\Omega + 3,82k\Omega)]}$$

$$= \frac{15V}{236k\Omega + [10k\Omega // 6,695k\Omega]} = 62,5\mu A$$

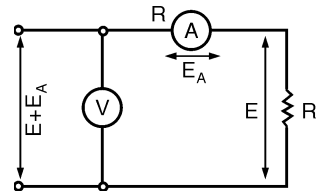
$$I_M = 62,5\mu A \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 6,695k\Omega} = 37,5\mu A = I_{fs}: \text{ kim chỉ thị lệch tối đa.}$$

**3.6.** Ta đo điện trở bằng cách dùng phương pháp V và A được mắc rẽ dài. Ampe-kế chỉ 0,5A, vôn-kế chỉ 500V. Ampe-kế có  $R_a = 10\Omega$ , vôn-kế sử dụng tầm đo 1000V và có độ nhạy là  $10k\Omega/V$ . Tính trị giá R.

**Giải:**  $E + E_A = 500V; I = 0,5A$

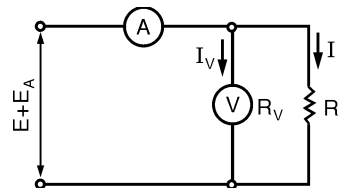
$$R_a + R = \frac{E + E_A}{I} = \frac{500V}{0,5A} = 1000\Omega$$

$$R = 1000\Omega - R_a = 1000\Omega - 10\Omega = 990\Omega$$



Hình B.3.6

**3.7.** Các ampe-kế, vôn-kế và điện trở R ở bài 6 được mắc rẽ ngắn. Hãy tính độ chỉ của vôn-kế và ampe-kế (nguồn cung cấp vẫn là 500V)



Hình B.3.7

**Giải:** Nội trở của vôn-kế:

$$R_v = 1000V \times 10k\Omega/V = 10M\Omega.$$

$$R_v // R = 10M\Omega // 990\Omega = 989,9\Omega$$

$$\square \text{ Độ chỉ của vôn-kế: } E = \frac{500V \times (R_v // R)}{R_a + (R_v // R)} = \frac{5000V \times 989,9\Omega}{10\Omega + 989,9\Omega} = 495V$$

$$\square \text{ Độ chỉ của ampe-kế } = I + I_v = \frac{E}{R_v // R} = \frac{495V}{989,9\Omega} = 0,5A.$$

**3.8.** Một Ohm-kế nối tiếp có điện trở  $R_1 = 50k\Omega$  cơ cấu đo có  $I_{fs} = 75\mu A$  và  $R_M = 100\Omega$ . Điện trở mắc shunt  $R_2 = 300\Omega$ , nguồn cung cấp  $E = 5V$ . Hãy cho biết trị giá điện trở  $R_x$  đo được tương ứng với độ lệch của kim: 0,25%; 50%; 75%; và 100%FSD.

**3.9.** Một Ohm-kế nối tiếp có các thành phần sau: nguồn cung cấp  $E_b = 3V$ , điện trở nối tiếp  $R_1 = 30k\Omega$ , điện trở shunt  $R_2 = 50\Omega$ , cơ cấu đo có  $I_{fs} = 50\mu A$ , điện trở cơ cấu đo  $R_m = 50\Omega$ . Cho biết trị giá  $R_x$  đo được tương ứng với độ lệch: 1/4 FSD, 1/2FSD và FSD.

**3.10.** Hãy vẽ mạch đo cho ohm-kế nối tiếp có nhiều tầm đo. Hãy giải thích sự hoạt động của mạch.

**3.11.** Giả sử ohm-kế ở bài 3.9 có  $E_b$  giảm xuống còn 2,5V, hãy xác định trị giá mới  $R_2$  cần phải điều chỉnh, và như thế tính lại các trị giá  $R_x$  tương ứng với độ lệch: 1/2FSD và 3/4FSD.

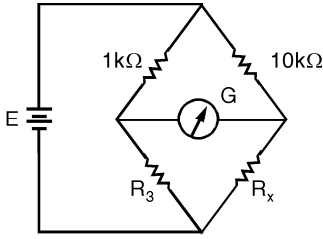
**3.12.** Ta đo  $R_x$  bằng cách dùng phương pháp vôn-kế + ampe-kế có cách mắc rẽ dài. Ampe-kế có nội trở  $R_x = 10\Omega$ , vôn-kế có độ nhạy  $10k\Omega/V$ . Ampe-kế và vôn-kế có cấp chính xác là 1%. Tính trị giá thật của  $R_x$  khi ampe-kế chỉ 0,5A ở tầm đo 1A, và vôn-kế chỉ 500V ở tầm đo 1000V.

**3.13.** Ta đo  $R_x$  bằng phương pháp vôn-kế + ampe-kế có cách mắc rẽ ngắn. Ampe-kế có  $R_a = 0,1\Omega$ , vôn-kế sử dụng tầm đo 5V, có độ nhạy  $10k\Omega/V$ . Khi vôn-kế chỉ 5V, ampe-kế chỉ 0,6mA ở tầm đo 1mA.

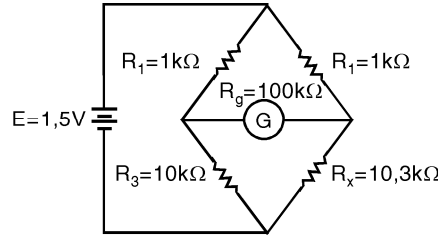
a) Tính trị giá đo được  $R_x$ .

b) Tính trị giá thật  $R_x$  nếu vôn-kế và ampe-kế có cấp chính xác 1%.

**3.14.** Hãy tính  $R_3$  để cầu Wheatstone có thể đo được  $R_x$  trong khoảng từ:  $1\Omega$  đến  $100k\Omega$  bằng phương pháp cân bằng.



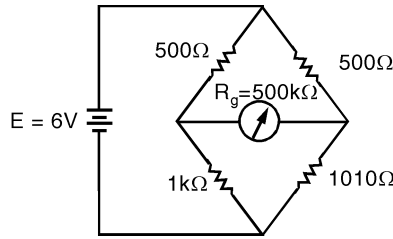
Hình B.3.14



Hình B.3.15

3.15. Tính dòng điện  $I_g$  đi qua điện kế (H.B.3.15).

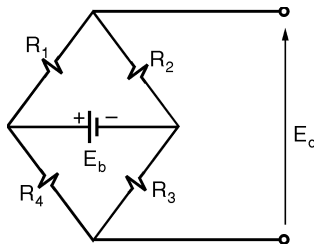
3.16. Nếu điện kế ở hình B3.16 có độ nhạy  $S_g = 10mm/\mu A$ , hãy xác định độ lệch của điện kế?



Hình B.3.16

3.17. Cho mạch đo như hình B.3.17. Xác định  $E_o$  theo  $E_b$  và phần tử cầu đo trong các trường hợp sau:

- a)  $R_1 = R + \Delta R; R_2 = R_3 = R_4 = R (R \square \Delta R)$
- b)  $R_1 = R_3 = R + \Delta R; R_2 = R_4 = R (R \square \Delta R)$
- c)  $R_1 = R_3 = R + \Delta R; R_2 = R_4 = R - \Delta R (R \square \Delta R)$



Hình B.3.17

Tổng trở của điện dung:  $Z = V/I = \sqrt{R_X^2 + (1/C_X\omega)^2}$

Và điện dung cần đo:  $C_X = 1/\omega\sqrt{Z^2 - R_X^2}$

Từ ba biểu thức trên ta suy ra:  $C_X = 1/[\omega\sqrt{V^2/I^2 - (P/I)^2}]$

$$\text{Do đó: } C_X = \frac{I^2}{\omega \sqrt{V^2 I^2 - P^2}}$$

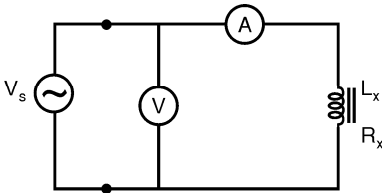
Sự hao mất công suất do điện dung cho bởi:

$$P = VI \cos \varphi = I^2 \frac{1}{C_X \omega} \sin \delta, \quad (\text{vì } \delta = \frac{\pi}{2} - \varphi)$$

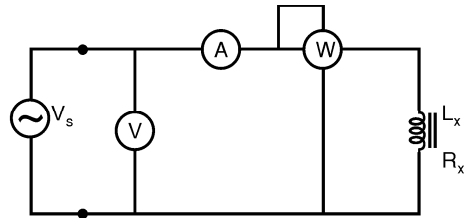
$\delta$ : góc mất của điện dung. Nếu góc mất nhỏ:  $\text{tg} \delta \approx \sin \delta = P\omega C_X/I^2$ .

Sự chính xác của phương pháp đo này có thể bằng hoặc lớn hơn phương pháp đo trước. Phương pháp dùng watt-kế không chính xác khi xác định những điện dung có góc mất nhỏ. Để đo góc mất  $\delta$  được chính xác, người ta thường dùng phương pháp cầu đo (đề cập ở phần sau).

#### 4.1.2 Đo điện cảm



*Hình 4.3: Mạch đo  $L_X, R_X$  dùng vôn-kế và ampe-kế*



*Hình 4.4: Mạch đo  $L_X, R_X$  dùng vôn-kế, ampe-kế và watt-kế*

Mạch đo điện cảm  $L_X$  được mắc như hình 4.3. Tổng trở của điện cảm  $L_X$  được xác định:  $Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R_X^2 + L_X^2\omega^2}$

và điện cảm:  $L_X = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R_X^2}$

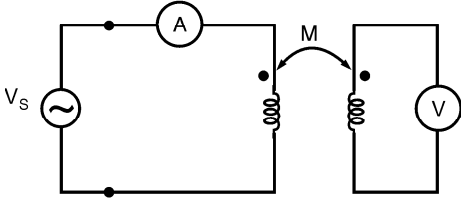
với:  $Z$  - được xác định bởi vôn-kế và ampe-kế;  $R_X$  - được xác định trước.

Trong trường hợp dùng thêm watt-kế như hình 4.4 cuộn dây có điện cảm  $L_X$  được xác định:  $L_X = \frac{1}{\omega} \sqrt{V^2 I^2 - P^2}$

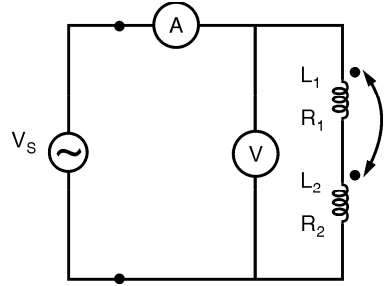
với  $P$  là công suất tổn hao của cuộn dây được xác định bởi watt-kế.



**4.1.3 Đo hệ số hỗ cảm M**



**Hình 4.5:** Mạch đo M dùng vôn-kế và ampe-kế



**Hình 4.6:** Đo M của hai cuộn dây mắc nối tiếp (quấn cùng chiều)

Theo mạch đo hình 4.5, hệ số hỗ cảm  $M$  giữa hai cuộn dây được xác định bởi:  $M = V/I\omega$ ;  $V$  và  $I$  cho bởi vôn-kế và ampe-kế.

Ngoài ra chúng ta cũng biết:  $M = n_1 n_2 / R$

$n_1, n_2$ : số vòng dây quấn vào cuộn dây 1 và 2.  $R$ : từ trở của mạch từ

Trong trường hợp hai cuộn dây được mắc nối tiếp với nhau trên cùng mạch từ, có cùng chiều quấn (cực tính của cuộn dây được định trên hình 4.6), thì tổng số điện cảm của hai cuộn dây được xác định:  $L_a = L_1 + L_2 + 2M$

Do đó  $L_a$  được xác định bởi tổng trở  $Z_a$  cho bởi vôn-kế và ampe-kế:

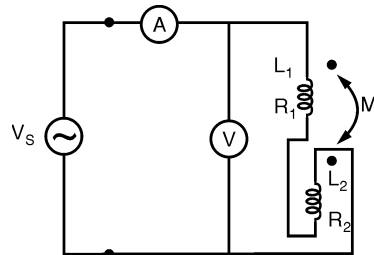
$$L_a = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_a^2 - (R_1 + R_2)^2} \text{ với } Z_a - \text{tổng trở của hai cuộn dây.}$$

Trong trường hợp hai cuộn dây được mắc nối tiếp với nhau trên cùng mạch từ có chiều quấn ngược nhau (cực tính của cuộn dây được định trên hình 4.7, khi đó tổng số điện cảm của hai cuộn dây được xác định.

$$L_b = L_1 + L_2 - 2M$$

và  $L_b$  cũng được xác định bởi tổng trở  $Z_b$  cho bởi vôn-kế và ampe-kế theo biểu thức:

$$L_a = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_b^2 - (R_1 + R_2)^2}$$



**Hình 4.7:** Ño M của hai cuộn dây mắc nối tiếp (quấn ngược chiều)

điều kiện:

□ Cân bằng suất:  $|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|$

□ Cân bằng pha:  $\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_4$

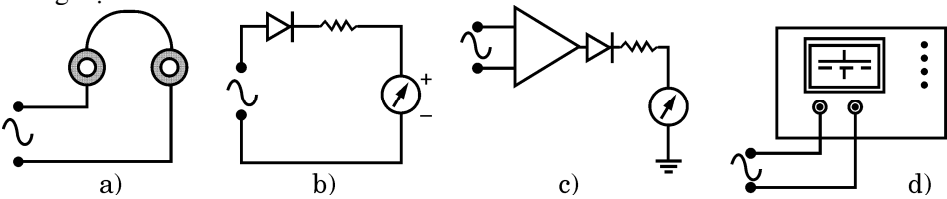
Nếu khai triển số phức của phương trình cân bằng, ta có:

□ Cân bằng phần thực:  $R_c[Z_1Z_3] = R_c[Z_2Z_4]$

□ Cân bằng phần ảo:  $I_m[Z_1Z_3] = I_m[Z_2Z_4]$

**Thiết bị chỉ thị sự cân bằng của cầu đo AC**

*Tai nghe (earphone hoặc headphone):* giá thành rẻ, tương đối nhạy, được dùng phổ biến có khả năng phân biệt được sự cân bằng của cầu một cách tương đối chính xác. Tuy nhiên còn phụ thuộc vào độ thính tai của người làm thí nghiệm.



**Hình 4.10:** Các thiết kế chỉ thị cân bằng

a) Tai nghe; b) Điện kế AC

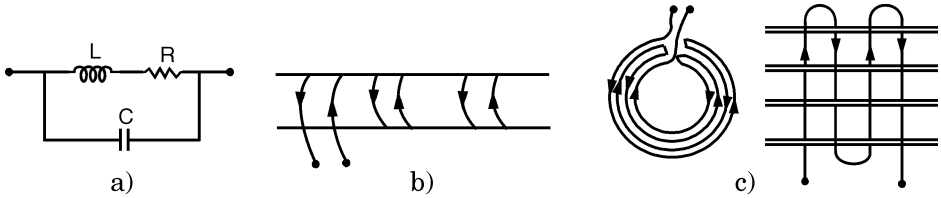
c) Điện kế AC có khuếch đại; d) Dao động ký tia âm cực

*Vôn-kế điện tử hoặc điện kế AC:* Điện kế DC<sup>1</sup> kết hợp với mạch chỉnh lưu hoặc bộ biến đổi AC/DC chúng ta có điện kế AC. Muốn tăng độ nhạy cho cầu AC chúng ta thêm mạch khuếch đại cho điện kế AC (H.4.10). Thiết bị này chính xác hơn và khách quan hơn so với tai nghe. Ngoài ra còn có thể có nhiều *tầm độ nhạy* khác nhau thay đổi theo điện áp không cân bằng của cầu.

*Dao động ký tia âm cực:* Theo điều kiện thuận lợi của phòng thí nghiệm, nếu có được dao động ký, chúng ta cũng có thể dùng để kiểm tra sự cân bằng của cầu một cách chính xác hơn với mọi tín hiệu ở tần số bất kỳ cung cấp cho cầu.

**Các phân tử mẫu (điện trở mẫu, điện cảm mẫu, tụ điện mẫu) dùng trong cầu AC**

*Điện trở mẫu*



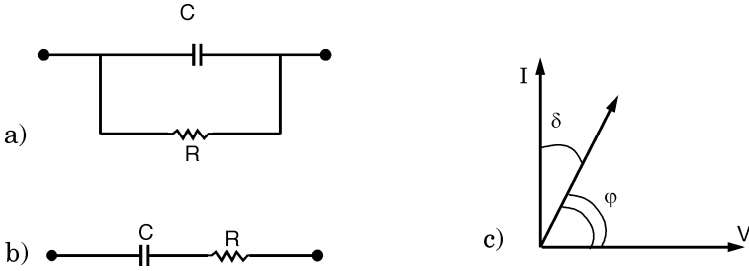
**Hình 4.11:** a) Mạch tương đương của điện trở ở tần số cao  
 b) Kiểu quấn số vòng thuận nghịch kế cận bằng nhau  
 c) Kiểu quấn Curtis và Grover

Đối với phần tử điện trở hoạt động ở tín hiệu xoay chiều, giá trị điện trở thường lớn hơn trong trường hợp hoạt động với dòng điện DC. *Hiệu ứng ngoài mặt* của dây dẫn (skin effect) phụ thuộc vào tần số tín hiệu, thiết diện dây dẫn và điện trở suất. Ở tần số âm thanh (1kHz) hiệu ứng này không đáng kể khi dây có điện trở suất lớn và thiết diện nhỏ được sử dụng. Đối với tín hiệu AC có tần số cao đi qua điện trở mạch tương đương của điện trở có dạng mạch tương đương như hình 4.11a. Để giảm được điện cảm ký sinh người ta quấn số vòng thuận nghịch kế cận nhau. Tuy nhiên để ảnh hưởng của tụ điện ký sinh giảm người ta quấn dây dẫn theo kiểu Curtis và Grover, khi điện trở có giá trị lớn người ta quấn trên bì mỏng theo kiểu đan rối.

*Tụ điện:* Trong thực tế dòng điện  $I$  qua tụ điện không lệch pha  $90^\circ$  đối với điện áp rơi trên tụ điện vì có tổn hao bên trong tụ điện. Tổn hao này do điện môi trong tụ điện có điện trở rỉ (không cách điện hoàn toàn). Do đó mạch tương đương của tụ điện được diễn tả theo hình 4.12. Nếu gọi  $\delta$  là góc mất của điện dung do tổn hao công suất trên điện dung, thì ta có:

$$P = VI \cos\varphi = VI \sin\delta, \quad \text{với } \varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$$

Nếu  $\delta$  nhỏ, công suất hao mất trên điện dung  $P = VI\delta$ . Các tụ điện mẫu dùng trong cầu đo xoay chiều được chế tạo bằng các điện môi có tổn hao rất ít (độ cách điện tốt), góc mất  $\delta$  cố định không phụ thuộc vào tần số tín hiệu và nhiệt độ của môi trường. Có nhiều loại tùy theo khoảng trị số tụ điện cần sử dụng.



**Hình 4.12:** a) Mạch tương đương của điện dung khi  $\delta$  lớn  
 b)  $\delta$  nhỏ; c) Giải đồ vectơ V-I

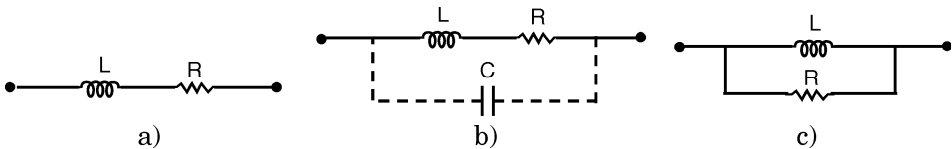
Tụ điện có điện môi là không khí: Trị số điện dung rất nhỏ khoảng vài trăm pF, góc mất nhỏ không để bụi hay ẩm.

Tụ điện mica: Điện môi là vật liệu mica có điện dung từ vài pF (picofarad) đến 0,1μF (microfarad), góc mất nhỏ (khoảng  $10^{-4}$  rad).

Tụ điện bằng Polystyrene: Có đặc tính không phụ thuộc vào tần số nhưng ảnh hưởng vì nhiệt độ rất lớn, chỉ sử dụng dưới 70°C, có góc mất nhỏ, có thể tích nhỏ hơn tụ điện mica nếu có cùng trị số.

Ngoài ra, trong công nghiệp chúng ta thường gặp tụ điện giấy. Điện môi là giấy tẩm dung dịch cách điện, thường có trị số lớn nhưng góc mất cũng lớn.

Cuộn dây: Có điện cảm L, điện trở R của dây quấn và có mạch tương đương ở tần số cao như hình 4.13 còn điện dung ký sinh ở giữa các vòng dây quấn của cuộn dây không đáng kể ở tần số tín hiệu âm tần, nhưng được quan tâm đến tần số cao.



**Hình 4.13:** a) Mạch tương đương của cuộn dây khi Q nhỏ  
 b) Ở tần số cao; c) Khi Q lớn

Các điện cảm mẫu được chế tạo dưới dạng ống dây có kích thước xác định chính xác. Các điện cảm mẫu thay đổi được nhờ hai ống dây ghép nối tiếp và phần thay đổi được là lõi của cuộn dây. Trị số điện cảm thay đổi được phụ thuộc vào vị trí của lõi.

### 4.2.2 Cầu đo đơn giản đo điện dung và điện cảm

**Cầu đo điện dung:** Mạch đo được mắc theo hình 4.14.

$Z_1$ : là tụ điện mẫu  $C_1$  (có thể thay đổi được trị số)

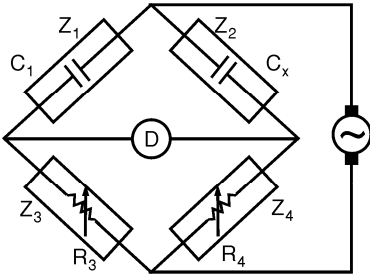
$Z_2$ : tụ điện cần đo  $C_X$

$Z_3, Z_4$ : là những điện trở mẫu thay đổi được hoặc là những hộp điện trở thay đổi.

Khi cầu cân bằng “D” chỉ 0.

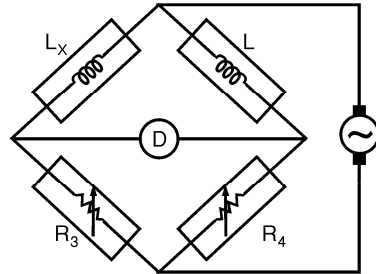
$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3; \frac{1}{j\omega C_X} R_3 = \frac{1}{j\omega C_1} R_4; \text{ Suy ra: } C_X = \frac{R_3}{R_4} C_1$$

Với giá trị cầu đo  $C_X$  bất kỳ, chúng ta điều chỉnh tỉ số  $R_3/R_4$  và  $C_1$  (nếu là tụ điện mẫu thay đổi được) cho cầu cân bằng để xác định  $C_X$ .



Hình 4.14

Cầu đo  $C_X$  đơn giản



Hình 4.15

Cầu đo  $L_X$  đơn giản

**Cầu đo điện cảm cuộn dây:** Mạch đo được theo hình 4.15

$Z_1$ : cuộn dây mẫu  $L_1$ ;  $Z_2$ : cuộn dây đo  $L_X$

$R_3, R_4$ : là điện trở mẫu (hộp điện trở) thay đổi được.

Khi cầu đo đạt được điều kiện cân bằng:

$$Z_2 R_4 = Z_1 R_3; j\omega L_X R_4 = j\omega L R_3; L_X = (R_3/R_4) L$$

Trong hai cầu đo đơn giản trên chúng ta chỉ xác định thuần túy giá trị  $C_X$  và  $L_X$ . Không xác định sự hao mất trên điện dung cũng như trên điện cảm cần đo.

### 4.2.3 Cầu phổ quát (universal bridge) đo điện dung và điện cảm

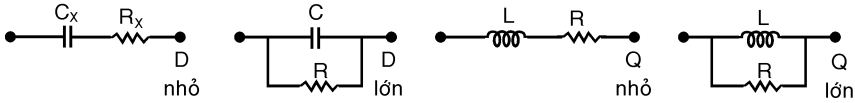
**Hệ số hao mất của điện dung:** Trong thực tế mạch tương đương của điện dung có hai dạng tùy theo sự hao mất của điện dung. Do đó chất lượng của điện dung được đánh giá qua hệ số D của điện dung (D factor).

□ Trường hợp điện dung có hao mất nhỏ: trị số D nhỏ mạch tương đương bao gồm  $[C_X + R_X]$  (H.4.16).

□ Hệ số D được xác định bằng biểu thức:  $\text{Re } Z_X / \text{Im}(Z_X) = D = \text{tg} \delta$

Như vậy với  $Z_X = R_X + \frac{1}{j\omega C_X}$ ;  $D = \frac{R_X}{(1/\omega)C_X} = R_X C_X \omega$

Theo biểu thức trên D thường có giá trị nhỏ ( $D < 0,1$ ).



Hình 4.16: Mạch tương đương của C, L

Trường hợp điện dung có hao mất lớn, hệ số D lớn. Mạch tương đương của điện dung  $[C_X // R_X]$ .

Tổng trở Z của điện dung có dạng:  $\frac{1}{Z_X} = \frac{1}{R_X} + jC_X \omega$

Hệ số D được xác định:  $D = \frac{1/R_X}{C_X \omega} = \frac{1}{R_X \omega C_X}$ ; ( $D > 0,1$ ; D lớn).

**Hệ số Q của cuộn dây:** Phẩm chất của cuộn dây có điện cảm  $L_X$  được xác định bằng hệ số Q. Nếu cuộn dây có sự hao mất nhỏ (điện trở của cuộn dây nhỏ) thì có mạch tương đương  $R_X$  nối tiếp  $L_X$  có hệ số Q của cuộn dây là:

$$Q = \frac{\text{phaàn aâu } Z_X}{\text{phaàn thöc } Z_X}, \text{ (ngüçc lại vöi hÿ sô cöa ðiÿn dung)}$$

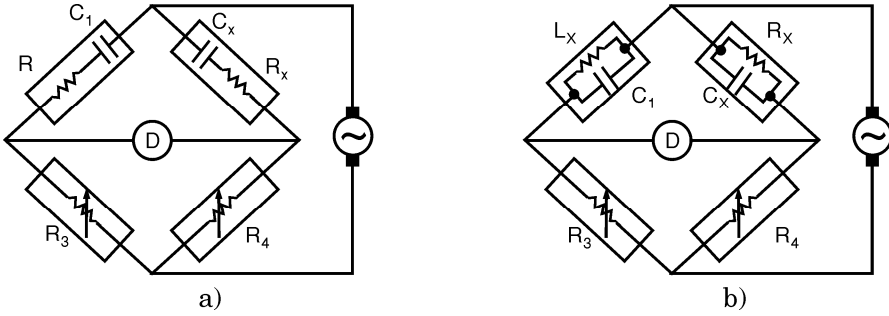
$$Q^* = \frac{L_X \omega}{R_X} \text{ (trö soá nhöu, } (Q < 10: Q \text{ nhö).}$$

Nếu cuộn dây có sự hao mất lớn (điện trở của cuộn dây lớn) thì mạch tương đương  $(R_X // L_X)$ :  $\frac{1}{Z_X} = \frac{1}{R_X} + \frac{1}{j\omega L_X}$

$$Q = \frac{1/\omega L_X}{1/R_X} = \frac{R_X}{\omega L_X} \text{ (trị số lớn); } (Q > 10: Q \text{ lớn}).$$

Tùy theo giá trị của D (điện dung ký sinh), Q (điện cảm) lớn hơn hoặc nhỏ sẽ có mạch cầu đo phổ quát cho từng loại.

**Cầu phổ quát đo điện dung:** Cầu phổ quát đo điện dung gồm có hai loại điện dung có hệ số D lớn và nhỏ (H.4.47).



**Hình 4.17:** Cầu phổ quát đo điện dung: a) Cầu Sauty; b) Cầu Nernst

Trong mạch cầu  $[R_X + C_X]$ .

Khi cầu cân bằng:  $\frac{R_1 - j/\omega C_1}{R_3} = \frac{R_X - j/\omega C_X}{R_4}$

Cân bằng phần thực:  $R_X = R_1(R_4/R_3)$

Cân bằng phần ảo:  $1/\omega C_X R_4 = 1/\omega C_1 R_3$ ;  $R_X = (R_3/R_4)C_1$

Từ kết quả đo được  $C_X$ ,  $R_X$  chúng ta xác định được hệ số D cho điện dung:

$$D = \omega C_X R_X = \omega \frac{R_3}{R_4} C_1 \frac{R_4}{R_3} R_1 = \omega C_1 R_1$$

Cho nên cầu đo phổ quát cho chúng ta giá trị D khi  $\omega$ ,  $R_1$ ,  $C_1$  được xác định.

**Ví dụ 4.1:**  $C_1 = 0,1\mu\text{F}$ ;  $R_3 = 10\text{k}\Omega$ . Điều chỉnh:  $R_1 = 125\Omega$ ;  $R_4 = 14,7\text{k}\Omega$  thì cầu cân bằng xác định  $C_X$ ,  $R_X$ , D biết rằng tần số tín hiệu số cung cấp cho cầu  $f = 100$  Hz.

**Giải:** Theo điều kiện cân bằng của cầu:

$$C_X = \frac{R_3}{R_4} C_1 = \frac{10\text{k}\Omega}{14,7\text{k}\Omega} 0,1\mu\text{F}; C_X = 0,068\mu\text{F}$$

$$R_X = \frac{R_3}{R_4} R_1 = \frac{14,7\text{k}}{10\text{k}} \times 125\Omega = 183,3\Omega$$

$$\text{Hệ số } D = \omega C_X R_X = 2\pi \times 100\text{Hz} \times 0,068\mu\text{F} \times 183,8\Omega = 0,008$$

Trong phương pháp đo  $C_X$  dùng cầu phổ quát dạng này. Trị số đo  $C_X, R_X$  không phụ thuộc vào tần số của tín hiệu. Còn trong mạch cầu đo điện dung  $[C_1//R_1]$ ,  $C_1, R_1$  cũng được chuyển sang dạng  $[C_1//R_1]$  khi cầu cân bằng dẫn đến:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3; \quad Z_3(1/Z_1) = Z_4(1/Z_2)$$

$$R_3(1/R_1 + j\omega C_1)R_4(1/R_X + j\omega C_X)$$

Cân bằng phần thực  $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_X}; \quad R_X = \frac{R_4}{R_3} R_1$

Cân bằng phần ảo  $\omega R_3 C_1 = \omega R_4 C_X; \quad C_X = (R_3/R_4)C_1$

Từ đó ta xác định được hệ số  $D: D = 1/(\omega C_X R_X) = 1/(\omega C_1 R_1)$

Như đã phân tích ở trên tùy theo độ rĩ của tụ điện chúng ta có  $R_X$  mắc song song với  $C_X, R_X$  là điện trở của chất điện môi còn  $C_X$  là trị số thực của tụ điện, như vậy nếu độ rĩ của tụ điện càng nhỏ thì  $R_X$  càng lớn. Nếu độ rĩ lớn thì  $R_X$  có giá trị nhỏ. Cho nên mạch tương đương của điện dung trong cầu đo tạo thuận lợi cho việc xác định  $C_X, R_X$ . Ưu điểm của các cầu đo trên không phụ thuộc vào tần số của tín hiệu. Nhưng về phương diện tổng trở của hai mạch tương đương đều có tổng trở như nhau. Do đó có sự quan hệ giữa thành phần thuần trở  $R_P$  và kháng trở  $X_P$  với thuần trở  $R_S$  và kháng trở  $X_S$ , chúng được xác định như sau:

Trong mạch tương đương  $[C_S + R_S]: Z_S = R_S - j(1/C_S\omega) = R_S - jX_S$

Trong mạch tương đương  $[C_P // R_P]:$

$$Y_P = 1/R_P + jC_P\omega = G_P + jB_P; \quad Y_P = 1/Z_P = \text{tổng dẫn}$$

với:  $G_P$  - điện dẫn thuần (đơn vị Siemen);  $B_P$  - kháng dẫn

Theo đặc tính có cùng tổng trở như nhau:  $Z_S = Z_P = 1/Y_P$

$$R_S - jX_S = \frac{1}{G_P + jB_P} = \frac{G_P - jB_P}{G_P^2 + B_P^2}$$

Hoặc:  $G_P + jB_P = \frac{1}{R_S - jX_S} = \frac{R_S + jX_S}{R_S^2 + X_S^2}$

Cân bằng phần thực:

$$G_P = \frac{1}{R_P} = \frac{R_S}{R_S^2 + X_S^2}; \quad R_P = [R_S^2 + \frac{1}{C_S^2\omega^2}]/R_S$$

Cân bằng phần ảo:



$$B_P = \frac{X_S}{R_S^2 + X_S^2}; \quad C_P \omega = \frac{1/C_S \omega}{R_S^2 + (1/C_S^2 \omega^2)}$$

Suy ra: 
$$C_P = \frac{C_S}{1 + R_S^2 C_S^2 \omega^2}$$

**Cầu phổ quát đo điện cảm:** Cầu phổ quát đo điện cảm cũng gồm có hai dạng dùng cho loại điện cảm có hệ số Q nhỏ và Q lớn (H.4.18). Trong mạch cầu đo  $[L_X + R_X]$ : Cầu Maxwell.

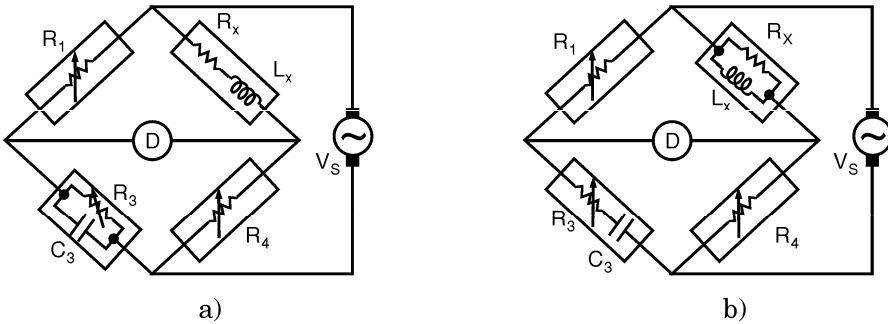
Khi cầu thỏa điều kiện cân bằng: 
$$\frac{R_X + j\omega L_X}{R_4} = R_1 \left( \frac{1}{R_3} + jC_3 \omega \right)$$

Cân bằng phần thực: 
$$\frac{R_X}{R_4} = \frac{R_1}{R_3}; \quad R_X = R_1 \frac{R_4}{R_3}$$

Cân bằng phần ảo: 
$$\omega \frac{L_X}{R_4} = \omega C_3 R_1; \quad L_X = C_3 R_1 R_4$$

Do đó hệ số Q của cuộn dây  $[L_X + R_X]$  được xác định:

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \frac{\omega C_3 R_1 R_4}{R_1 R_4 / R_3} = \omega C_3 R_3.$$



**Hình 4.18:** Cầu phổ quát đo điện cảm cuộn dây  
a) Cầu Maxwell-Wien; b) Cầu Hay

**Ví dụ 4.2:** Trong cầu Maxwell (H.4.18), điện dung mẫu  $C_3 = 0,1\mu\text{F}$ , tần số tín hiệu cung cấp cho cầu  $f = 100\text{Hz}$ . Khi cầu cân bằng  $R_1 = 1,26\text{k}\Omega$ ;  $R_3 = 470\Omega$  và  $R_4 = 500\Omega$ , tính điện cảm  $L_X$  và  $R_X$ , hệ số Q.

**Giải:** Theo điều kiện cân bằng của cầu:

$$L_X = C_3 R_1 R_4 = 0,1 \times 10^{-6} \text{F} \times 1,26 \times 10^3 \Omega \times 500 \Omega = 63 \times 10^{-3} \text{H} = 63 \text{mH}$$

$$R_X = R_1 \frac{R_4}{R_3} = \frac{1,26 \times 10^3 \Omega \times 500 \Omega}{470 \Omega} = 1,34 \times 10^3 \Omega = 1,34 k\Omega$$

Trị số Q của cuộn dây:

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \frac{2\pi \times 100 \text{ Hz} \times 63 \times 10^{-3} \text{ H}}{1,34 \times 10^3} = 29540 \times 10^{-6} \approx 0,03$$

Còn trong mạch cầu đo  $[L_X/R_X]$ , cầu Hay, khi cầu thỏa mãn điều kiện cân bằng:

$$R_1 R_4 = \frac{1}{1/R_X - j/L_X \omega} (R_3 - \frac{j}{C_3 \omega}); \quad (\frac{1}{R_X} - \frac{j}{L_X \omega}) R_1 R_4 = R_3 - \frac{j}{C_3 \omega}$$

Cân bằng phần thực:  $\frac{R_1 R_4}{R_X} = R_3; \quad R_X = \frac{R_1 R_4}{R_3}$

Cân bằng phần ảo:  $\frac{R_1 R_4}{L_X \omega} = \frac{1}{C_3 \omega}; \quad L_X = C_3 R_1 R_4$

Hệ số Q của cuộn dây trong trường hợp này được xác định như sau:

$$Q = \frac{R_X}{\omega L_X} = \frac{R_1 R_4 / R_3}{\omega C_3 R_1 R_4} = 1 / R_3 C_3 \omega$$

Tương tự như mạch tương đương của điện dung, mạch tương đương của điện cảm  $[L_S + R_S]$  và  $[L_P // R_P]$  cũng được diễn tả như sau:

$$Z_S = R_S + j\omega L_S = R_S + jX_S, \quad \frac{1}{Z_P} = Y_P = \frac{1}{R_P} + \frac{1}{j\omega L_P} = G_P - jB_P$$

Như vậy:  $Y_P = \frac{1}{Z_S} = G_P - jB_P = \frac{1}{R_S + jX_S}$

Suy ra:  $G_P = \frac{R_S}{R_S^2 + X_S^2}; \quad B_P = \frac{X_S}{R_S^2 + X_S^2}$

Do đó:  $R_P = \frac{R_S^2 + X_S^2}{R_S}; \quad \omega L_P = \frac{R_S^2 + X_S^2}{X_S}$

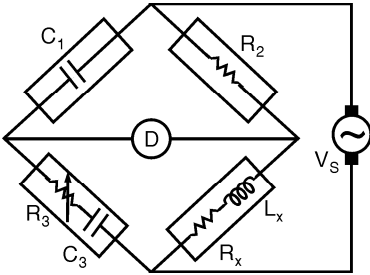
$$R_P = \frac{R_S^2 + \omega^2 L_S^2}{R_S}; \quad L_P = \frac{R_S^2 + \omega^2 L_S^2}{\omega^2 L_S}$$

### Cầu đo cuộn dây

Cầu Owen đo cuộn dây, dùng điện dung mẫu. Khảo sát mạch hình 4.19, để có điều kiện cân bằng của cầu:

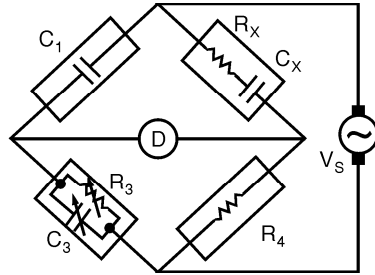
$$R_x = C_1 R_2 \frac{1}{C_3}; \quad L_x = C_1 R_2 R_3$$

Trong cầu này  $L$  được đo với độ chính xác khá cao, không dùng điện dung mẫu phụ thuộc vào tụ  $C_3$ , là hộp điện dung có độ chính xác kém hơn hộp điện trở mẫu  $R_3$ , thích hợp với cuộn dây có  $Q$  nhỏ ( $Q = 2\pi f L_x / R_x$ )



Hình 4.19

Cầu Owen đo cuộn dây



Hình 4.20

Cầu Schering đo điện dung

**Cầu đo điện dung (H.4.20)**

Cầu Schering thường được dùng để đo điện dung và đo tổn hao trong vật cách điện cao cấp. Khi đo điện dung nhỏ,  $C_1$  là điện dung không khí. Khi đo điện dung lớn,  $C_1$  là tụ mica thật tốt để góc mất bằng không.

Điều kiện cân bằng:

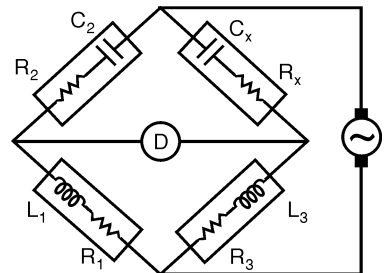
$$R_x = R_4 \frac{C_3}{C_1}; \quad C_x = C_1 \frac{R_3}{R_4}$$

Góc mất:  $\text{tg}\delta_x \approx \delta_x = \omega R_3 C_1$ . Khi đó sự cách điện tổng trở nhánh  $C_1$  và  $(C_x + R_x)$  rất lớn so với nhánh 4 và 3 nếu cầu sử dụng điện áp cao.

**Cầu Grover (H.4.21)**

Tương tự như cầu Sauty nhưng các cuộn dây dùng để so sánh tụ điện cần đo với tụ điện mẫu. Phương trình cân bằng về đối số cho ta:

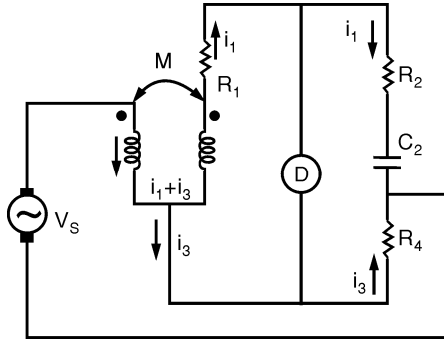
$$\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4 = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3$$



Hình 4.21: Cầu GROVER đo tổn hao điện dung

$R_1$  thường là hộp điện trở.

**4.3.2 Cầu Heavyside**



*Hình 4.23: Cầu Heavyside đo hệ số hỗ cảm M*

Đo hỗ cảm dùng cuộn dây mẫu như trên hình 4.23,  $M$  là hỗ cảm cần đo của hai cuộn dây. Cuộn dây thứ cấp có điện cảm là  $L_2$ . Khi cầu cân bằng:  $G$  chỉ điểm “0” thì:

$$R_2 i_1 = R_4 i_3 \tag{a}$$

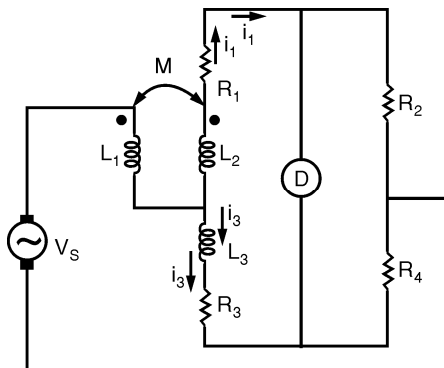
$$(R_3 + jL_3 \omega) i_3 = (R_1 + jL_1 \omega) i_1 - j\omega M (i_1 + i_3) \tag{b}$$

Chia (a) cho (b), rút gọn, sau đó cân bằng phần thực và phần ảo.

$$\text{Ta có được: } R_1 = \frac{R_2}{R_4} R_3; \quad M = \frac{L_2 R_4 - R_2 L_3}{R_2 + R_4}$$

Từ phương trình trên và theo hình vẽ thì  $M$  phải dương cho nên tỉ số của biểu thức tính  $M$  có điều kiện như sau:  $L_2/L_3 > R_2/R_4$

**4.3.3 Cầu Carey Foster cải tiến**



*Hình 4.24: Cầu Carey Foster cải tiến đo hệ số hỗ cảm M*

$10k\Omega$ . Biết rằng cầu cân bằng khi nguồn cung cấp có  $f = 100\text{Hz}$ ;  $R_1 = 125\Omega$  và  $R_4 = 14,7k\Omega$ . Hãy tính trị giá  $R_s$ ,  $C_s$  và hệ số tổn hao  $D$  của tụ ?

**Giải:** Ta có:  $C_s = C_1 R_3 / R_4$  ;

$$C_s = \frac{0,1\mu F \times 10k\Omega}{14,7k\Omega} = 0,068\mu F ; R_s = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{125\Omega \times 14,7k\Omega}{10k\Omega} = 183,8\Omega$$

$$D = \omega C_s R_s = 2\pi \times 100\text{Hz} \times 0,068\mu F \times 183,8\Omega = 0,008$$

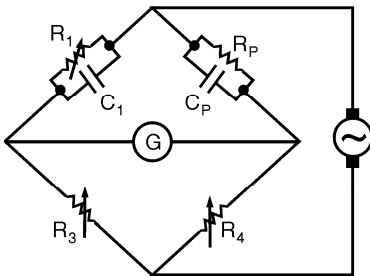
**4.3.** Cho cầu đo điện dung như hình B.4.3. Biết thành phần mẫu có  $C_1 = 0,1\mu F$ ;  $R_3 = 10k\Omega$ . Cầu cân bằng khi nguồn cung cấp có  $f = 100\text{Hz}$ ;  $R_1 = 375\Omega$ ;  $R_3 = 10k\Omega$ ; và  $R_4 = 14,7k\Omega$ . Tính trị giá  $R_p$ ,  $C_p$ , và hệ số tổn hao  $D$  của tụ.

**Giải:** Ta có:

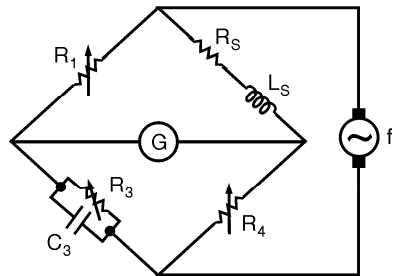
$$C_p = \frac{C_1 R_3}{R_4} = \frac{0,1F \times 10k\Omega}{14,7k\Omega} = 0,068\mu F$$

$$R_p = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{375\Omega \times 14,7k\Omega}{10k\Omega} = 551,3\Omega$$

$$D = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{1}{2\pi \times 100\text{Hz} \times 0,068\mu F \times 551,3\Omega} = 42,5$$



Hình B.4.3



Hình B.4.4

**4.4.** Cầu Maxwell đo điện cảm dùng thành phần mẫu  $C_3 = 0,1\mu F$ , nguồn cung cấp có tần số  $f = 100\text{Hz}$ . Cầu cân bằng khi  $R_1 = 1,26k\Omega$ ;  $R_3 = 470\Omega$  và  $R_4 = 500\Omega$ . Tính trị giá điện cảm  $L_s$ , điện trở  $R_s$  và hệ số phẩm chất  $Q$  của cuộn dây.

**Giải:** Ta có:  $L_S = C_3 R_1 R_4 = 0,1\mu\text{F} \times 1,26\text{k}\Omega \times 500\Omega = 63\text{mH}$

$$R_S = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{1,26\text{k}\Omega \times 500\Omega}{470\Omega} = 1,34\text{k}\Omega$$

$$Q = \frac{\omega L S}{R_S} = \frac{2\pi \times 100\text{Hz} \times 63\text{mH}}{1,34\text{k}\Omega} = 0,03$$

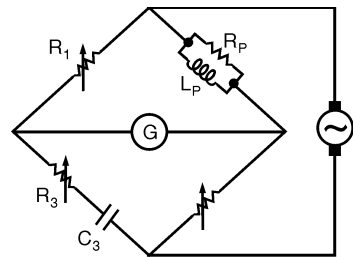
**4.5.** Cầu Hay có nguồn cung cấp  $f = 100\text{Hz}$  cân bằng khi  $C_3 = 0,1\mu\text{F}$ ,  $R_1 = 1,26\text{k}\Omega$ ,  $R_3 = 75\Omega$  và  $R_4 = 500\Omega$ . Tính điện cảm  $L_p$ , điện trở  $R_p$  và hệ số phẩm chất  $Q$  của cuộn dây.

**Giải:**

$$L_p = C_3 R_1 R_4 = 0,1\mu\text{F} \times 1,26\text{k}\Omega \times 500\Omega = 63\text{mH}$$

$$R_p = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{1,26\text{k}\Omega \times 500\Omega}{75\Omega} = 8,4\text{k}\Omega$$

$$Q = \frac{R_p}{\omega L_p} = \frac{8,4\text{k}\Omega}{2\pi \times 100\text{Hz} \times 63\text{mH}} = 212$$



**Hình B.4.5**

**4.6.** Hãy tính thành phần tương đương  $L_S$ ,  $R_S$  của cuộn dây có:  $L_p = 63\text{mH}$ ;  $R_p = 8,4\text{k}\Omega$  ( $f = 100\text{Hz}$ ).

**Giải:**  $R_S = \frac{R_p X_p^2}{X_p^2 + R_p^2}$ ; thế:  $R_p = 8,4\text{k}\Omega$ ;  $R_p^2 = 7,056 \times 10^7$ ;  $X_p = \omega L_p$

$$\Rightarrow X_p = 2\pi \times 100\text{Hz} \times 63\text{mH} = 39,6\Omega$$

$$X_p^2 = 1,57 \times 10^3; \quad X_p^2 + R_p^2 = 7,056 \times 10^7$$

$$R_S = \frac{8,4\text{k}\Omega \times 1,57 \times 10^3}{7,056 \times 10^7} = 0,187\Omega; \quad X_S = \frac{7,056 \times 10^7 \times 39,6}{7,056 \times 10^7} = 39,6\Omega$$

$$L_S = \frac{X_S}{\omega} = \frac{39,6\Omega}{2\pi \times 100\text{Hz}} = 63\text{mH}$$

**4.7.** Hãy tính thành phần tương đương  $C_p$ ,  $R_p$  của tụ điện có  $R_S = 183,8\Omega$  và  $C_S = 0,068\mu\text{F}$  ( $f = 100\text{Hz}$ ).

**Giải:**  $R_p = (R_S^2 + X_S^2)/R_S$ ;  $R_S^2 = (183,8)^2 = 33,782 \times 10^3$

$$X_S = 1/2\pi f C_S = 1/(2\pi \times 100\text{Hz} \times 0,068\mu\text{F}) = 23,405 \times 10^3\Omega$$

$$X_S^2 = 5,478 \times 10^8$$

$$R_p = (33,78 \times 10^3 + 5,478 \times 10^8)/183 = 2,99\text{M}\Omega$$

$$X_P = \frac{R_S^2 + X_S^2}{X_S} = \frac{33,78 \times 10^3 + 5,478 \times 10^8}{23,405 \times 10^3} = 23,41 \times 10^3 \Omega$$

$$C_P = 1/(2\pi \times 100 \text{ Hz} \times 23,41 \text{ k}\Omega) = 0,068 \mu\text{F}$$

**4.8.** Hãy vẽ cầu tổng quát. Viết phương trình khi cầu cân bằng.

**4.9.** Hãy liệt kê và so sánh các thiết bị chỉ “0” khác nhau dùng với cầu AC.

**4.10.** Hãy vẽ mạch cầu đơn giản đo điện dung. Viết phương trình cân bằng của cầu.

**4.11.** Cho cầu đơn giản đo điện dung có điện dung mẫu  $C = 0,1 \mu\text{F}$  và hai điện trở mẫu có trị giá thay đổi từ  $1 \text{ k}\Omega$  đến  $200 \text{ k}\Omega$ . Hãy tính trị giá điện dung nhỏ nhất và lớn nhất mà cầu có thể đo được.

**4.12.** Hãy vẽ các thành phần nối tiếp  $C_s, R_s$ . Thành phần song song  $C_p, R_p$  của tụ điện. Tìm biểu thức liên hệ của chúng với nhau. Hãy cho biết thành phần tương đương nào thích hợp trong hai trường hợp:

a) Tụ điện có điện trở điện môi lớn.

b) Tụ điện có điện trở điện môi nhỏ.

**4.13.** Hãy cho biết trị giá hệ số tổn hao  $D$  của tụ điện trong hai trường hợp:

a) Tụ điện có mạch tương đương dạng nối tiếp.

b) Tụ điện có mạch tương đương dạng song song.

**4.14.** Hãy vẽ các thành phần nối tiếp  $L_s, R_s$ , thành phần song song  $L_p, R_p$  của cuộn dây. Tìm biểu thức liên hệ của chúng với nhau. Hãy cho biết thành phần tương đương nào thích hợp trong hai trường hợp:

a) Cuộn dây có điện trở lớn

b) Cuộn dây có điện trở bé.

**4.15.** Hãy cho biết trị giá hệ số phẩm chất  $Q$  của cuộn dây trong hai trường hợp:

a) Cuộn dây có mạch tương đương dạng nối tiếp

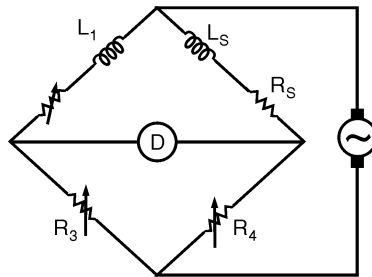
b) Cuộn dây có mạch tương đương dạng song song.

**4.16.** Cầu đo điện dạng điện trở nối tiếp, có điện dung mẫu  $C_I = 0,1 \mu\text{F}$ . Nguồn cung cấp có  $f = 1 \text{ kHz}$ , cầu cân bằng khi  $R_I = 109,5 \Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$  và  $R_4 = 2,1 \text{ k}\Omega$ . Hãy tính các thành phần  $C_s, R_s, D$  của tụ điện.

**4.17.** Cầu đo điện dung dạng điện trở song song, có điện dung mẫu  $C_I = 0,1 \mu\text{F}$ , nguồn cung cấp có  $f = 1 \text{ kHz}$ , cầu cân bằng khi  $R_I = 547 \Omega$ ;  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

và  $R_4 = 666\Omega$ . Hãy tính các thành phần  $C_p, R_p, D$  của tụ điện.

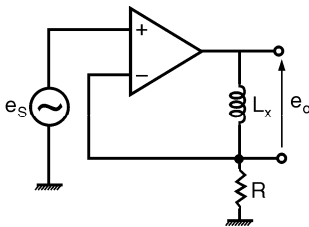
**4.18.** Cho cầu đo điện cảm như hình B.4.18. Biết rằng cầu cân bằng khi:  $L_1 = 100\mu H$ ;  $R_4 = 10k\Omega$ ;  $R_1 = 37,1\Omega$ ;  $R_3 = 27,93k\Omega$ ;  $f = 1MHz$ . Hãy tính  $L_S, R_S, Q$  của cuộn dây.



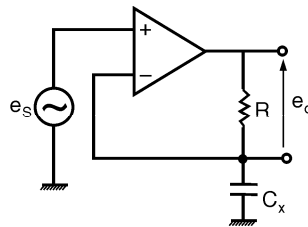
Hình B.4.18

**4.19.** Cho mạch đo hình B.4.19.

Xác định  $e_o$  theo  $e_s, L_x, R$ .



Hình B.4.19



Hình B.4.20

**4.20.** Cho mạch đo hình B.4.20.

Xác định  $e_o$  theo  $e_s, L_x, R$ .

**4.21.** Hãy vẽ cầu Maxwell đo điện cảm của cuộn dây, và viết phương trình tính toán  $L_S, R_S, Q$  của cuộn dây khi cầu cân bằng.

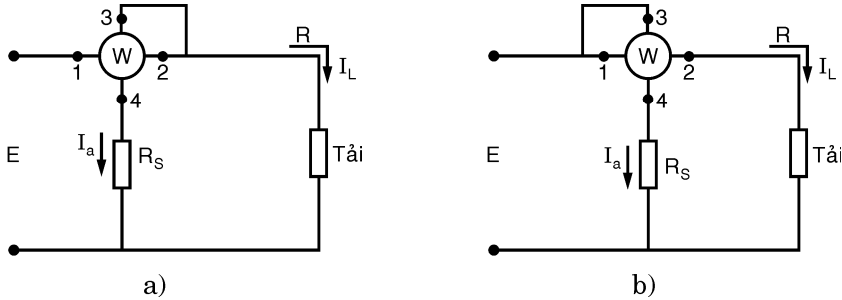
**4.22.** Một cuộn dây có  $L_S = 100mH$ ;  $Q = 21$ , khi  $f = 1kHz$  được đo bởi cầu Maxwell. Cầu dùng điện dung mẫu  $0,1\mu F$  và điện trở mẫu  $R_1 = 1k\Omega$ . Hãy tính trị giá  $R_3$  và  $R_4$  để cầu cân bằng.

**4.23.** Cầu Maxwell đo điện cảm, có tụ mẫu  $C_1 = 0,1 \mu F$ , nguồn cung cấp  $f = 10kHz$ ;  $R_1 = 100\Omega$ ;  $R_3$  và  $R_4$  có thể thay đổi từ  $100\Omega \div 1k\Omega$ . Hãy tính trị giá  $L_S$  và  $Q$  của cuộn dây mà cầu có thể đo được.



### 5.1.2 Phương pháp đo dùng watt-kế

Watt-kế được mắc theo hình 5.3, hai đầu 1, 2 của watt-kế là cuộn dòng điện (cuộn dây cố định), hai đầu 3, 4 là cuộn điện áp (cuộn dây di động). Như vậy dòng qua tải  $I_L$  đi qua cuộn dòng, còn điện áp  $V_L$  tỉ lệ với dòng điện  $I_2$  đi qua cuộn dây di động.



**Hình 5.3:** Đo công suất bằng watt-kế

a) Cuộn điện áp mắc sau; b) Cuộn điện áp mắc trước

Chỉ thị của cơ cấu điện động được xác định như sau:

$$\alpha = kI_L I_a \text{ mà } I_a = E/(R_S + R_2)$$

với  $R_2$  là điện trở của cuộn dây điện áp

$$\text{Suy ra: } \alpha = kI_L E/(R_S + R_2).$$

Vậy  $\alpha$  phụ thuộc vào công suất của tải  $P_L = I_L V_L$ .

Theo cách mắc mạch này nếu điện trở nội của cuộn dây dòng điện càng nhỏ, kết quả đo càng chính xác. Điện trở  $R_S$  là điện trở hạn chế dòng điện qua cuộn dây di động của watt-kế. Nếu điện áp vào tải càng lớn thì  $R_S$  càng lớn.

Do chiều quay của kim chỉ thị được xác định theo một chiều đã định sẵn, nên trong trường hợp watt-kế quay ngược thì hoán đổi hai đầu 1, 2 của cuộn cố định. Có một số watt-kế định sẵn đầu cùng cực tính của hai cuộn dây, ta chỉ việc mắc hai đầu đã định sẵn. Trong cách mắc watt-kế chúng ta lưu ý những điểm sau đây:

□ Điểm chung của cuộn dòng và cuộn điện áp là có thể mắc trước watt-kế (H.5.3a) hoặc mắc sau watt-kế (H.5.3b). Trong cách mắc này có sai số gây ra do dòng điện đi qua cuộn điện áp, sai số này càng giảm khi điện trở cuộn áp và  $R_S$  càng lớn so với  $R_L$  (điện trở tải).

$$\cos \varphi_2 = \cos(\pi - \varphi) = -\cos \varphi = -\frac{V_3^2 - V_1^2 - V_2^2}{2V_1V_2}$$

như vậy công suất của tải:  $P_L = V_2 I \cos \varphi$

hoặc: 
$$P_L = V_2 I \left[ V_3 \frac{(V_3^2 + V_1^2 - V_2^2) - 2V_1^2}{2V_1V_3} \right] = I \left[ \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1} \right]$$

### 5.2.2 Dùng watt-kế điện động

Tín hiệu vào tải  $V$  có điện áp xoay chiều:  $V = V_m \sin \omega t$

và dòng điện có dạng:  $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$

Như vậy dòng điện đi qua cuộn điện áp của watt-kế điện động.

$$i_V = \frac{V_m \sin(\omega t + \varphi_V)}{Z_V} = I_V \sin(\omega t + \varphi_V)$$

$Z_V$  là tổng trở của cuộn điện áp và điện trở mắc nối tiếp với cuộn điện áp;  $\varphi_V$  là góc lệch pha điện áp và dòng điện qua cuộn điện áp.

Do đó góc lệch  $\alpha$  của kim chỉ thị cơ cấu điện động do mômen quay trung

bình, tỉ lệ với tích số  $i_V$  và  $i$ :  $T_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T K_1 i \times i_V dt$

Nghĩa là: 
$$\alpha = K_2 I_m I_V \cos(\varphi - \varphi_V) = K_2 I_m \frac{V_m}{Z_V} \cos(\varphi - \varphi_V) = K_2 I_m I \cos(\varphi - \varphi_V)$$

□ Nếu  $\varphi_V = 0$  khi  $\alpha = K_3 P$ , coi như công suất của tải được xác định bởi góc quay của kim chỉ thị của watt-kế.

□ Nếu  $\varphi_V \neq 0$ , như vậy sẽ có sai số tạo ra do sự lệch pha giữa điện áp  $V$  và dòng điện qua cuộn điện áp của watt-kế.

Gọi  $P' = VI \cos(\varphi - \varphi_V)$ , ta sẽ có sai số tương đối  $\gamma_P$ .

$$\gamma_P = \frac{P' - P}{P} = \frac{VI \cos(\varphi - \varphi_V) - VI \cos \varphi}{VI \cos \varphi}$$

$$\gamma_P(\%) = \frac{P' - P}{P} \times 100\% = \frac{\cos(\varphi - \varphi_V) - \cos \varphi}{\cos \varphi} \times 100\%$$

Nếu  $\varphi_V$  nhỏ thì:  $\gamma_P(\%) = (1 + \varphi_V \tan \varphi - 1) \times 100\%$ ,  $\gamma_P(\%) = \varphi_V \tan \varphi \times 100\%$

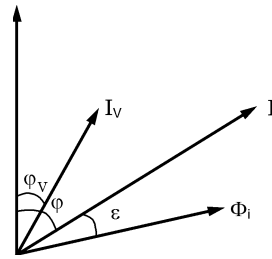
Để thuận lợi cho việc sử dụng đo công suất của tải có dòng và áp thay đổi, thông thường cuộn dòng điện được chia ra làm hai cấp tương ứng với tầm

dòng điện sử dụng, bằng cách thay đổi số vòng dây (giống như cơ cấu điện từ). Còn để thay đổi tầm đo điện áp, bằng cách dùng những điện trở nối tiếp với cuộn điện áp (giống như thay đổi tầm đo điện áp của cơ cấu điện từ). Đặc điểm của watt-kế là kết quả đọc được phụ thuộc vào tần số của nguồn điện, do ảnh hưởng của kháng trở của cuộn dây điện áp có sự dời pha giữa điện áp và dòng điện.

*Ưu điểm của watt-kế điện động:* có độ chính xác cao (cấp chính xác = 0,5; 0,2; 0,1%) dùng tiện lợi cho nguồn DC và AC ở tần số 45–60Hz – 500Hz.

*Khuyết điểm:* Từ trường yếu, mômen quay nhỏ dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường nhiễu và không chịu đựng được sự quá tải, giá thành cao.

Để làm tăng mômen quay, giảm bớt từ trường nhiễu người ta dùng cơ cấu sắt điện động, khi đó chúng ta có cơ cấu watt-kế sắt điện động. Tuy nhiên, cơ cấu sắt điện động này tạo nên những sai số phụ thuộc do tính phi tuyến của đường cong từ hóa, dòng điện xoáy và trễ. Sự hao giảm trong lõi sắt tạo ra từ thông do dòng điện qua cuộn dòng  $\Phi_I$ , trễ pha với dòng điện một góc  $\varepsilon$  (xem giản đồ hình 5.6). Do đó kim chỉ thị của watt-kế lệch một góc  $\alpha$  được xác định:



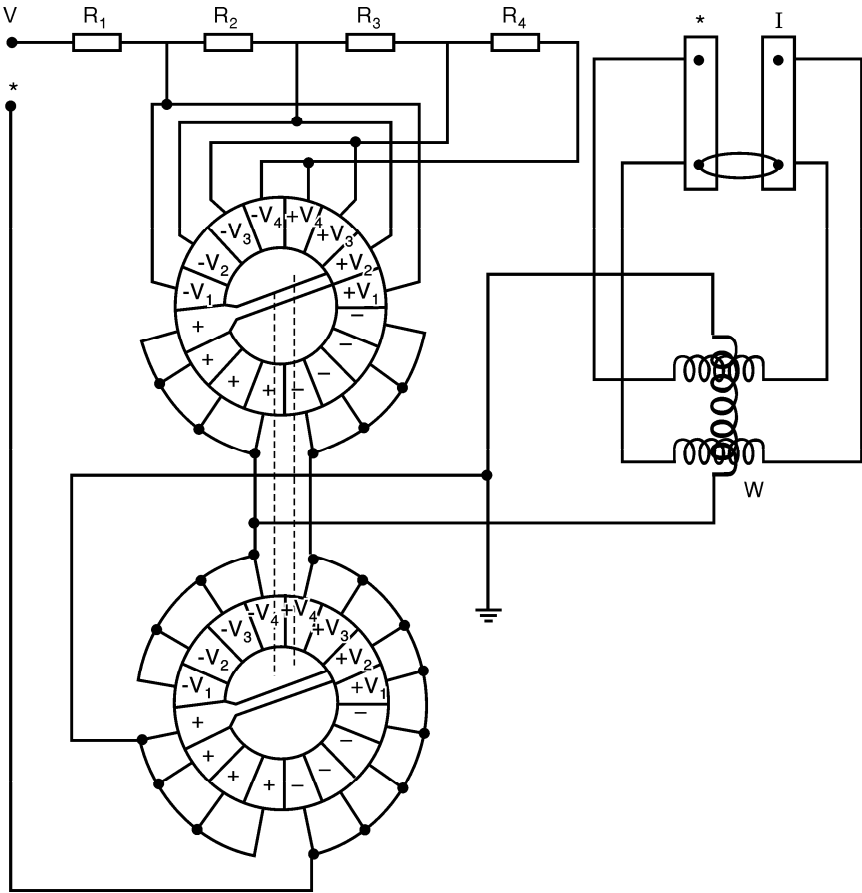
**Hình 5.6:** Giản đồ vectơ cho cơ cấu watt-kế sắt điện

$$\alpha = K_2 I_m (V_m / Z_V) \cos(\varphi + \varepsilon - \varphi_V)$$

$$\alpha = K_3 IV \cos(\varphi + \varepsilon - \varphi_V)$$

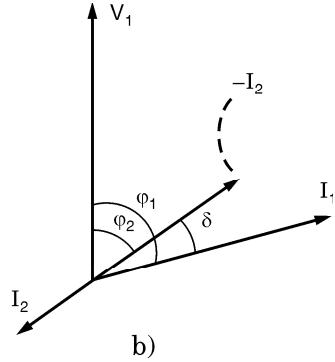
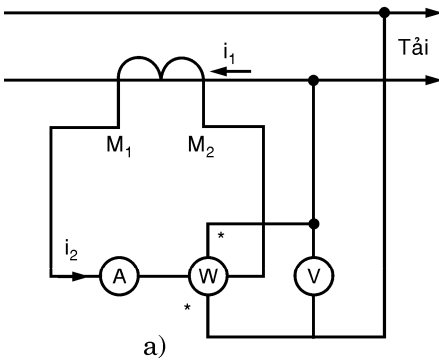
Nếu  $\varepsilon = \varphi_V$  thì  $\alpha = K_3 IV \cos \varphi$

Như vậy, sai số do góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện qua cuộn điện áp bằng không. Trong trường hợp  $\varepsilon$  tương đối lớn, để làm tăng sự lệch pha  $\varphi_V$  ta dùng điện trở nối tiếp từng phần, hoặc hoàn toàn với các cuộn dây (quấn như xoắn chỉ), theo như cách mắc của watt-kế sắt điện động của Nga D539 (H.5.7). Sai số do dòng điện xoáy và trễ, làm giảm độ chính xác của watt-kế. Để tăng độ chính xác nên dùng mạch từ *Permaloy*.



Hình 5.7: Cách mắc mạch của watt-kế điện động D539 (Nga)

5.2.3 Dùng biến dòng với watt-kế



Hình 5.8: a) Cách mắc biến dòng của watt-kế  
b) Giải đồ vectơ điện áp và dòng điện

Trường hợp công suất của tải có điện áp thấp, khi đo dòng tải có trị số lớn, cần phải dùng biến dòng để cho dòng điện đi qua cuộn dòng không được quá giới hạn của watt-kế, cuộn sơ cấp của biến dòng xem như được nối với tải, còn dòng thứ cấp của biến dòng được nối với cuộn dòng của watt-kế theo cách mắc hình 5.8a.

$V_1$ : điện áp của tải;  $i_1$ : dòng điện tải;  $i_2$ : dòng điện của thứ cấp biến dòng.

Khi đó công suất cho bởi watt-kế:  $P_2 = I_2 V_1 \cos \varphi_2$

$$P_1 = I_2 k_{nom} V_1 \cos(\varphi_1 - \delta)$$

$k_{nom}$ : tỉ số danh định của biến dòng.

Trong thực tế góc  $\delta$  nhỏ:  $\varphi_1 - \delta \approx \varphi_1$ ;  $I_2 k_{nom} \approx I_1$

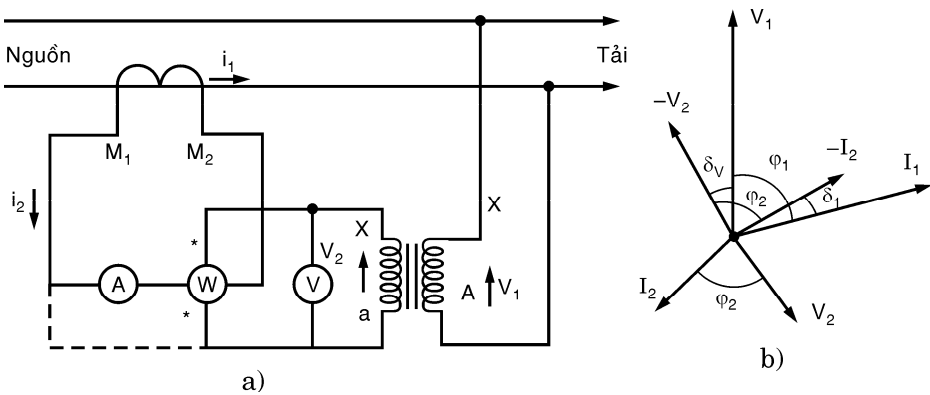
Do đó có thể viết:  $P_1 = I_1 V_1 \cos \varphi_1 = P_{kno}$

Như vậy, công suất của tải được xác định bằng cách nhân trị số đọc được của watt-kế với tỉ số biến dòng. Tuy nhiên sai số của kết quả đo, phụ thuộc sai số của biến dòng, góc lệch pha của dòng sơ cấp và thứ cấp của biến dòng. Do đó công suất của tải được xác định:  $P'_1 = I_1 V_1 \cos(\varphi - \delta)$ . Và sai số được xác định:

$$\gamma_P = \frac{P'_1 - P_1}{P_1} = \frac{I_1 V_1 \cos(\varphi_1 - \delta) - I_1 V_1 \cos \varphi_1}{I_1 V_1 \cos \varphi_1} = \frac{\cos(\varphi_1 - \delta) - \cos \varphi_1}{\cos \varphi_1}$$

Hoặc:  $\gamma_P \% = \left[ \frac{\cos(\varphi_1 - \delta)}{\cos \varphi} - 1 \right] \times 100\%$

**5.2.4 Dùng biến dòng và biến áp phối hợp với watt-kế**



**Hình 5.9:** a) Cách mắc watt-kế với biến dòng và biến áp  
 b) Giản đồ vectơ của dòng và điện áp

Trong trường hợp tải có điện áp cao và dòng điện lớn, chúng ta phải phối hợp biến áp, biến dòng và watt-kế để đo công suất cho tải (H.5.9)

Cuộn điện áp của watt-kế được mắc ở hai đầu cuộn thứ cấp của biến áp, một đầu của cuộn thứ cấp và vỏ của biến áp được nối với đất. Như vậy công suất đo bằng watt-kế được diễn tả:  $P_W = I_2 V_2 \cos \varphi_2$

Nhân với tỉ số của biến áp và biến dòng chúng ta được công suất của tải:  $P'_L = i_2 k_1 v_2 k_v \cos(\varphi_1 + \delta_v - \delta_i)$

Nếu như góc lệch  $\delta_i$  và  $\delta_v$  rất nhỏ khi đó có thể đảm bảo:

$$\varphi_1 + \delta_v - \delta_i = \varphi_1$$

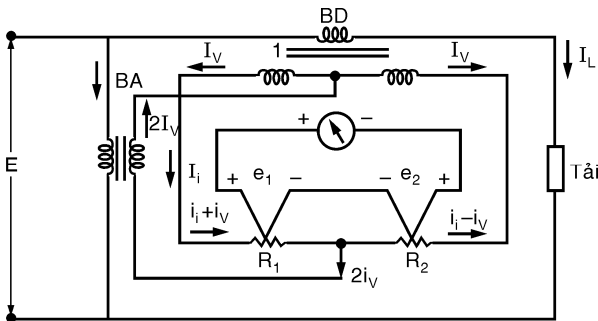
vì:  $I_1 \approx I_2 K_I$ ;  $V_1 = V_2 K_V$ . Khi đó:  $P_L = P_W K_I K_V = P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi_1$

Như vậy công suất của tải, ở phần sơ cấp của biến áp và biến dòng được định bằng trị số đọc bởi watt-kế nhân với tỉ số biến áp và biến dòng. Kết quả đo có sai số do tỉ số biến áp, biến dòng và góc lệch pha do cuộn dòng và cuộn áp của watt-kế.

**5.2.5 Đo công suất hiệu dụng của tải bằng bộ biến đổi nhiệt - điện (cặp nhiệt điện)**

Do bộ biến đổi nhiệt điện (cặp nhiệt điện) có ưu điểm hoạt động với tần số cao và dạng bất kỳ, cho nên nó được ứng dụng trong watt-kế đo công suất hiệu dụng của tải hoạt động với tín hiệu dạng không sin, tần số bất kỳ.

Mạch đo nguyên lý watt-kế bằng bộ biến đổi nhiệt điện được diễn tả ở hình 5.9c. Vì bộ biến đổi nhiệt điện không thể hoạt động với điện áp và dòng điện có trị số lớn nên chúng ta phải sử dụng biến dòng và biến áp.



Hình 5.9c: Mạch đo watt-kế dùng cặp nhiệt điện (BA: biến áp; BD: biến dòng)

Theo mạch điện dòng  $i_i$  của phần thứ cấp biến dòng:  $i_i = K_I I_L$

Và dòng  $i_V$  của dòng thứ cấp biến áp:  $i_V = K_V E$

với  $K_I$ : tỉ số biến dòng;  $K_V$ : phụ thuộc vào tỉ số biến áp và điện trở  $R_1, R_2$  của bộ biến đổi nhiệt điện.

Giả sử tại thời điểm  $t$  dòng điện  $i_V$  và  $i_i$  có chiều dẫn như trong mạch đo. Như vậy, dòng điện  $i_V + i_i$  đốt nóng dây điện trở  $R_1$  của bộ biến đổi  $TC_1$  sẽ tạo ra sức điện động nhiệt điện  $e_1(\text{DC})$ .

Tương tự dòng điện  $i_V - i_i$  đốt nóng dây điện trở  $R_2$  của bộ biến đổi  $TC_2$ , cũng tạo ra sức điện động nhiệt điện  $e_2(\text{DC})$ . Do  $e_1$  và  $e_2$  phụ thuộc trị hiệu dụng của dòng điện  $i_V + i_i$  và  $i_V - i_i$ . Cho nên:

$$e_1 \text{ tỉ lệ } (I_L + E)^2 = I_L^2 + E^2 + 2I_L E$$

và:  $e_2 \text{ tỉ lệ } (I_L - E)^2 = I_L^2 + E^2 - 2I_L E$

Vậy biến áp ra của hai bộ biến đổi nhiệt điện:  $e_o = e_1 - e_2$

$$e_o \text{ tỉ lệ } I_L^2 + E^2 + 2I_L E - (I_L^2 + E^2 - 2I_L E) = 4E I_L$$

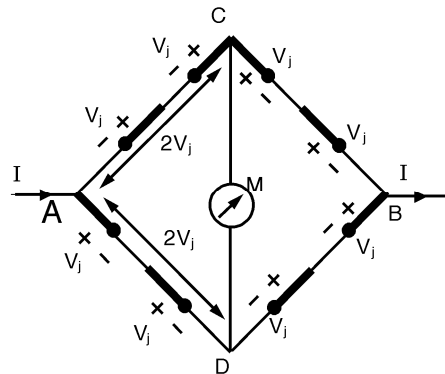
Nghĩa là điện áp của hai bộ biến đổi nhiệt điện (thường có đặc tính nhiệt điện giống nhau và  $R_1 = R_2 = R$ ), phụ thuộc vào công suất của tải. Trường hợp  $E$  và  $I$  của tải có sự lệch pha một góc  $\rho$ , thì điện áp ra của bộ biến đổi nhiệt điện phụ thuộc  $(I_L + E \cos \rho)^2$  và  $(I_L - E \cos \rho)^2$ . Như vậy điện áp ra  $e_1 - e_2$  phụ thuộc vào  $E \cos \rho$ .

Trong thực tế loại watt-kế dùng cặp nhiệt điện dạng cầu (H.5.9d), thay thế cho bộ biến đổi nhiệt điện kiểu trước. Nghĩa là trong kiểu cầu dùng cặp nhiệt điện, dòng điện đi qua cặp nhiệt điện đốt nóng trực tiếp đầu nối (junction) của cặp nhiệt điện.

Ví dụ: Cầu cặp nhiệt điện trên hình 5.9d, ở mỗi nhánh cầu có hai bộ cặp nhiệt điện. Khi có dòng điện đo đi qua các cặp nhiệt điện sẽ tạo ra tại mỗi cặp nhiệt điện  $V_j = 6mV$ . Điện áp ra giữa C và D:

$$V_{BD} = 4 \times V_j = 4 \times 6 \text{ mV} = 24 \text{ mV}$$

và dòng điện  $I$  đốt nóng cặp nhiệt



**Hình 5.9d:** Cầu nhiệt điện cầu dùng nhiệt điện nối tiếp

### 5.3.2 Đo công suất mạch điện ba dây

Trong mạch điện ba dây, cung cấp cho tải chỉ có ba dây pha không có dây trung tính. Nếu dùng watt-kế một pha để đo công suất của tải thì mắc như hình 5.12

$P_1$  công suất đo được của watt-kế 1.

$$P_1 = V_{AC}I_A \cos(\varphi + 30^\circ)$$

$P_2$  công suất đo được của watt-kế 2.

$$P_2 = V_{BC}I_B \cos(30^\circ - \varphi)$$

Cho nên:  $P_1 + P_2 = V_{AC}I_A \cos(\varphi + 30^\circ) + V_{BC}I_B \cos(30^\circ - \varphi)$

Tải ba pha ba dây

Trong trường hợp tải ba pha cân bằng

$$E_{AC} = E_{BC} = E\sqrt{3} \quad (E \text{ điện áp pha}), \text{ và } I_A = I_B = I$$

$$\text{Do đó: } P_1 + P_2 = \sqrt{3}EI[\cos(\varphi + 30^\circ) + \cos(30^\circ - \varphi)]$$

$$= \sqrt{3}EI(2\cos 30^\circ \cos \varphi) = \sqrt{3}EI(2\sqrt{3}/2)\cos \varphi = 3EI\cos \varphi$$

Vậy  $P_1 + P_2$  là công suất của tải ba pha cân bằng cho nên chỉ cần biết điện áp và tải một pha.

Trong trường hợp tải ba pha không cân bằng.

$$P_1 = e_{AC}i_A \text{ công suất tức thời của watt-kế 1}$$

$$P_2 = e_{BC}i_B \text{ công suất tức thời của watt-kế 2}$$

$$\text{Mà } i_A + i_B + i_C = 0, \text{ và } e_{AC} = e_{AO} - e_{CO}; e_{BC} = e_{BO} - e_{CO}$$

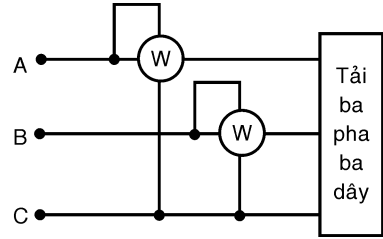
$$\text{Như vậy: } P_1 + P_2 = e_{AO}i_A + e_{BO}i_B + e_{CO}i_C$$

$$\text{Do đó: } P_1 + P_2 = \frac{1}{T} \left[ \int_0^T e_{AO}i_A dt + \int_0^T e_{BO}i_B dt + \int_0^T e_{CO}i_C dt \right]$$

Vậy chỉ thị của hai watt-kế là tổng công suất của tải ba pha.

Trong thực tế nếu một trong hai watt-kế nào có kim chỉ thị quay ngược thì khi đó đổi hai đầu của cuộn dòng hoặc cuộn áp. Nhưng kết quả công suất đo được (ví dụ: watt-kế  $W_2$  quay ngược do không mắc đúng thứ tự pha):

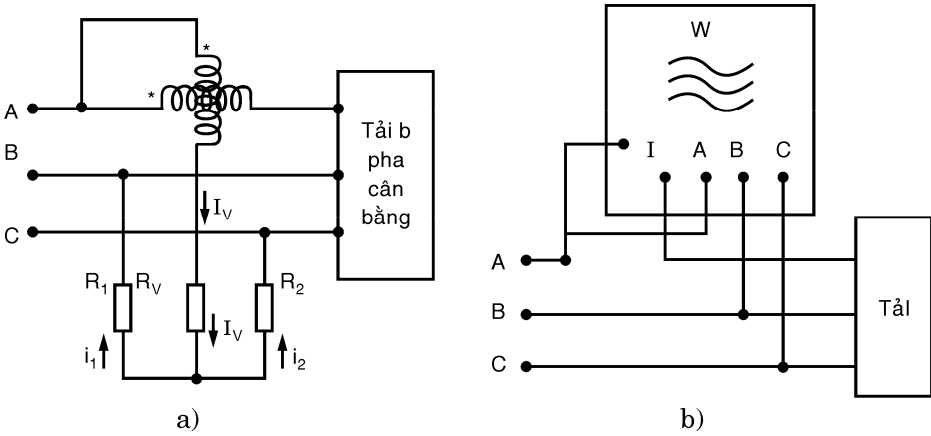
$$P = P_1 - P_2$$



**Hình 5.12:** Mạch đo công suất tải ba pha ba dây



**5.3.3 Watt-kế một pha được biến thành watt-kế ba pha đo tải cân bằng không có dây trung tính**



**Hình 5.13:** a) Watt-kế ba pha từ watt-kế một pha đo tải cân bằng  
b) Cách mắc dây

Watt-kế một pha được mắc thêm ba điện trở  $R_V, R_1, R_2$  có điểm trung tính giả (H.5.13). Khi tải cân bằng và  $R_1 = R_V/2 = R$  thì  $i_1 = i_2 = i_V/2$

Như vậy:  $e_{AC} = i_V R_V + (i_V/2)R, \quad e_{BC} = (i_V/2)R + (i_V/2)R; \quad R_V = R/2$

$e_{AC} + e_{BC} = i_V (R_V + R/2) + i_V R = 4 R_V i_V, \quad i_V = (e_{AC} + e_{BC})/4 R_V$

Watt-kế chỉ thị kết quả đo trị trung bình:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T R_V i_V i_L dt = R_V \frac{1}{T} \int_0^T i_V i_L dt = \frac{1}{4} \frac{1}{T} \int_0^T (e_{AC} + e_{BC}) i_L dt$$

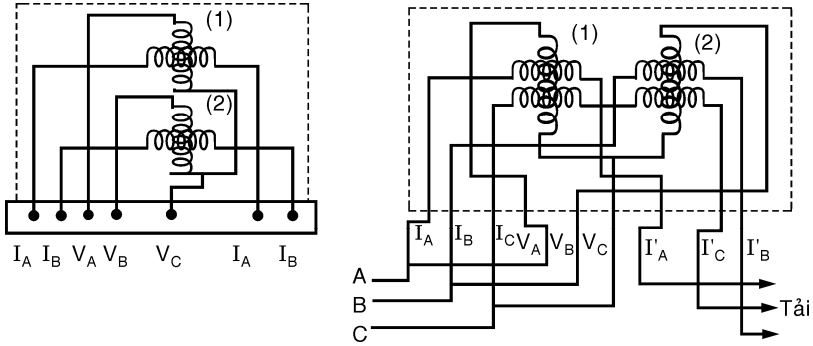
$$= \frac{1}{4} [\sqrt{3} EI (\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(\varphi - 30^\circ))] = \frac{1}{4} 3 EI \cos \varphi$$

Với  $E I$  là trị hiệu dụng của áp và dòng của pha. Vậy công suất của tải ba pha được xác định bằng sự chỉ thị của watt-kế một pha nhân với hằng số tỉ lệ phụ thuộc vào trị số  $R_V$  và  $R_1, R_2$

**5.3.4 Watt-kế ba pha đo tải ba pha không cân bằng**

*Watt-kế ba pha hai phần tử*

Được cấu tạo gồm có: hai cuộn điện áp (hai cuộn di động) có cùng trục quay và hai cuộn dòng điện (cuộn cố định) (H.5.14a). Phương pháp đo dùng watt-kế này giống như phương pháp đo dùng hai watt-kế một pha đo tải ba pha ba dây. Do đó cách mắc mạch điện cũng giống như trước.



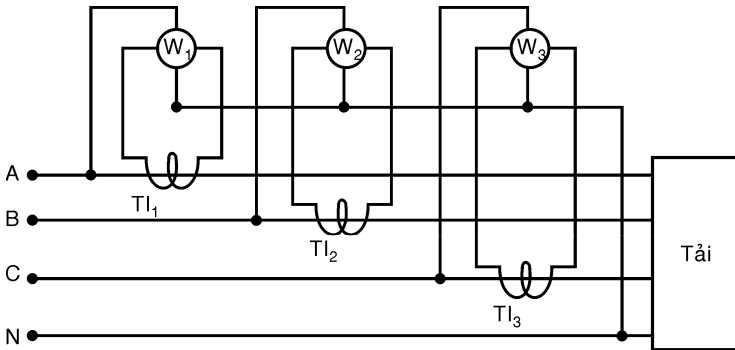
**Hình 5.14:** a) Watt-kế ba pha hai phần tử  
 b) Watt-kế hai phần tử rưỡi, cấu tạo và mạch đo

**Watt-kế ba pha hai phần tử rưỡi**

Loại watt-kế này thường dùng trong công nghiệp. Có cấu tạo như sau:

□ Hai cuộn áp có cùng một trục quay và ba cuộn dòng điện (cuộn dây thứ 3, một nửa ở cuộn áp 1, một nửa cuộn áp 2). Phương pháp đo và cách mắc mạch đo giống như watt-kế ba pha, hai phần tử ở cuộn áp và loại ba phần tử ở phần cuộn dòng (H.5.14b).

**5.3.5 Đo công suất ba pha của tải có biến dòng và biến áp**



**Hình 5.15:** Watt-kế kết hợp với biến dòng

**Dùng biến dòng:** Trong trường hợp tải có dòng điện quá lớn vượt quá trị số dòng điện cho phép của watt-kế. Cần kết hợp đo watt-kế với biến dòng để đo công suất. Mạch được mắc như hình 5.15. Công suất đọc được của watt-kế được nhân với  $k_I$  - tỉ số biến dòng, ta sẽ có được công suất của tải:

$$P_I = P_{WkI}$$

$P_W$ : công suất đọc được trên watt-kế,  $k_I$ : tỉ số biến dòng.

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}; \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - P^2 / (I^2 V^2)}$$

$P$  cho bởi watt-kế;  $V, I$  cho bởi vôn-kế và ampe-kế.

### 5.4.2 Đo công suất phản kháng của tải ba pha

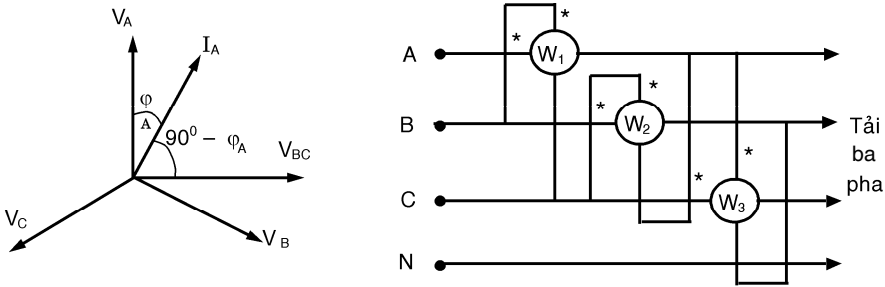
#### Đo công suất phản kháng trong hệ thống bốn dây

Điện áp dây BC, dây AC, dây AB trễ pha  $90^\circ$  so với điện áp pha A, pha B, pha C tương ứng. Theo cách mắc ở hình 5.18, watt-kế  $W_1$  có trị số công suất phản kháng  $Q_A$ .

$$P_A = I_A V_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) = I_A \sqrt{3} V_A \sin \varphi = \sqrt{3} Q_A$$

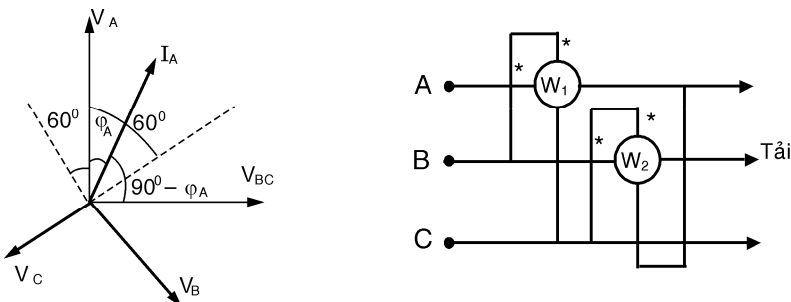
Nghĩa là:  $Q_A = P_A / \sqrt{3}$ ,  $P_A$  được đọc trên watt-kế  $W_1$ .

Tương tự như vậy đối với pha A, pha C. Công suất của tải ba pha bằng tổng số kết quả của ba watt-kế chia cho  $\sqrt{3}$ .



Hình 5.18: Mạch đo công suất phản kháng của tải ba pha dùng watt-kế một pha

#### Đo công suất phản kháng trong hệ thống ba dây



Hình 5.19: Mạch đo công suất phản kháng của tải ba pha ba dây

a) Trường hợp tải cân bằng và điện áp đối xứng: Mạch điện được mắc như hình 5.19. Chúng ta có thể dùng hai watt-kế một pha hoặc một watt-kế ba pha hai phần tử. Công suất đo bằng hai watt-kế một pha cho:

$$P_W = I_A V_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) + I_B V_{CA} \cos(90^\circ - \varphi)$$

Tải cân bằng và điện áp đối xứng cho nên:  $V_{BC} = V_{CA}$  và  $I_B = I_A$

Vì vậy:  $P_W = 2I_L V_L \sin\varphi$ ,  $V_L = \sqrt{3}V_A = \sqrt{3}V_{ph}$ ,  $P_W = \sqrt{3} \cdot 2 \cdot V_L I_L \sin\varphi$

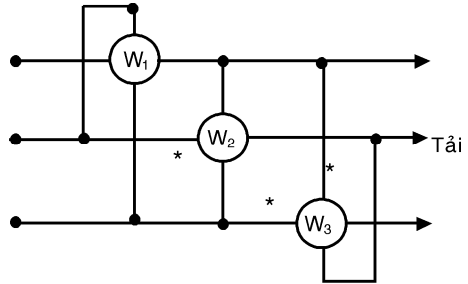
Tương tự như trong đo công suất tác động của tải ba pha.

$$P_W = 2\sqrt{3}Q \Rightarrow 2Q = P_W / \sqrt{3}$$

Như vậy muốn biến watt-kế thành VAR-kế thì trên thang đo kết quả đọc phải nhân với hệ số tỉ lệ và đơn vị là VAR (hoặc KVAR).

b) Trong trường hợp điện áp đối xứng, tải không cân bằng:

Công suất phản kháng được đo bằng ba watt-kế, ba phần tử được mắc như hình 5.20 khi đó kết quả được chia cho  $\sqrt{3}$ . Còn nếu cách mắc này mà tải cân bằng, thì kết quả đọc được trên watt-kế một pha được nhân với  $\sqrt{3}$  cho kết quả đo phản kháng.



Hình 5.20: Cách mắc watt-kế đo công suất phản kháng tải ba

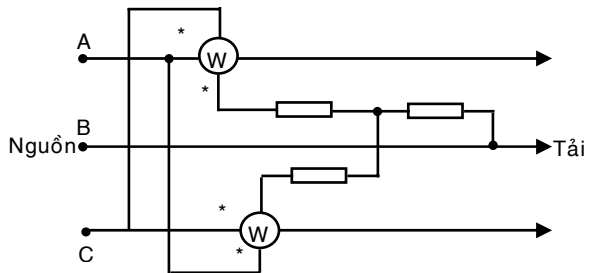
Thật vậy:

$$\sqrt{3} I_A V_B \sqrt{3} \sin\varphi = \sqrt{3} I_A V_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) = \sqrt{3} I_A V_B \sqrt{3} \sin\varphi = 3 I_A V_B \sin\varphi$$

$$P_W \sqrt{3} = 3Q_A, P_W: \text{trị số đọc được trên watt-kế.}$$

Trong trường hợp dùng watt-kế hai phần tử hoặc hai watt-kế một pha, mạch điện được mắc như hình 5.21

Mạch điện áp của hai watt-kế và các điện trở nối tiếp tạo ra được mạch sao cân bằng. Do đó điện áp pha  $V_C$  được áp vào mạch thứ nhất và pha A được áp vào mạch 2, đối với pha B.



Hình 5.21: Cách mắc hai watt-kế một

$$P_W = P_{W1} + P_{W2} = I_A V_{CC} \cos(60^\circ - \varphi) + V_A I_{CC} \cos(120^\circ - \varphi).$$

Suốt trong thời gian hoạt động của điện năng kế, dòng điện  $I$  đi qua tải tạo nên từ thông  $\Phi_i$  trong lõi sắt từ. Điện áp  $V$  cung cấp cho tải tạo nên dòng  $i_V$  trong cuộn dây điện áp và từ thông  $\Phi_{V_a}$  và  $\Phi_{V_t}$  trong lõi sắt từ B,  $\Phi_{V_t}$  và  $\Phi_i$  xuyên qua đĩa nhôm và tạo ra dòng điện xoáy trên đĩa nhôm  $i'_2, i''_2$  và  $i'_V$ . Do đó có tác dụng tương tác giữa dòng điện xoáy và từ thông tạo nên mômen ngẫu lực quay đĩa nhôm:  $T = K_f \Phi_{i_{max}} \Phi_{V_{max}} \sin \psi$

Nếu như lõi của cuộn dòng không bị bão hòa, khi đó:

$\Phi_{i_{max}} \propto I$  và ở tần số  $f$  không đổi.

$\Phi_{V_{max}} \propto V$  ( $\alpha$ : tỉ lệ)

*Kết luận:* Trường hợp  $\psi = 90^\circ - \varphi$ , thì  $\sin \psi = \cos \varphi$

Như vậy khi các điều kiện trên thỏa thì mômen quay đĩa.

$$T = K_I V I \cos \varphi = K_I P$$

Vì vậy mômen quay tỉ lệ với công suất cung cấp cho tải.

Do có sự hao giảm từ trong lõi gây ra sự trễ pha từ thông  $\Phi_i$  đối với dòng điện  $I$  một góc  $\alpha_i$  (H.5.22c), và có dòng  $I_V$  chạy trong cuộn điện áp trễ pha với điện áp  $V$  gần bằng  $90^\circ$ . Từ giản đồ vectơ có thể xem góc lệch pha giữa điện áp  $V$  và từ thông tác dụng  $\Phi_{V_t}$  trên đĩa nhôm là:  $\beta = \varphi + \alpha_i + \psi$ .

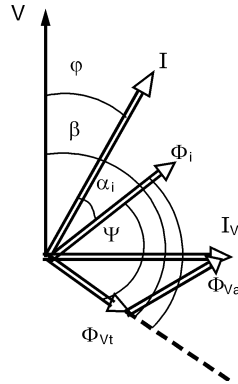
Nếu thay  $\psi = 90^\circ - \varphi$ , chúng ta có:  $\beta = \varphi + \alpha + 90^\circ - \varphi = 90^\circ + \alpha_i$

Từ thông tác dụng  $\Phi_{V_t}$  xuyên qua đĩa nhôm và cực đối nghịch C được đặt dưới đĩa nhôm. Khiến cho có sự hao giảm lớn

trên đường đi này và đặc biệt trên đĩa nhôm, từ thông tác dụng  $\Phi_{V_t}$  lệch pha đối với dòng điện  $I_V$  lớn hơn từ thông  $\Phi_V$  và  $\Phi_{V_a}$ . Từ thông  $\Phi_{V_a}$  tạo nên mạch kín đi xuyên tâm và hai bên cực của mạch từ, không ngăn chặn hoạt động của đĩa nhôm.

Góc lệch pha  $\beta$  có thể bằng hoặc lớn hơn  $90^\circ + \alpha_i$ . Như vậy có thể điều chỉnh góc pha  $90^\circ + \alpha_i$  bằng cách thay đổi  $\beta$  hoặc  $\alpha_i$ .

Trên mạch từ của cuộn dòng điện có một số vòng được quấn nối với vòng điện trở sẽ làm cho dòng điện cảm ứng phát sinh ra, làm tăng sự hao mất



**Hình 5.22c:** Giản đồ vectơ của từ thông tác dụng lệch pha của từ thông kế một pha

từ dọc theo đường đi của từ thông  $\Phi_i$ . Kết quả là, ảnh hưởng đến trị số góc pha  $\alpha_i$ . Do đó, góc  $\alpha_i$  được điều chỉnh bằng trị số của vòng điện trở để được mômen quay đĩa nhôm tỉ lệ với công suất của tải.

Ngoài ra trên đĩa nhôm còn ảnh hưởng của từ thông tạo ra nhờ nam châm đệm  $M$ ,  $\Phi_{Br}$  mômen đệm cho đĩa nhôm:  $T_{br} = K_1 I_{ed} \Phi_{Br}$

$I_{ed}$  là dòng điện xoáy chạy trên đĩa nhôm.

$$\text{Mà: } T_{br} = K_1 I_{ed} \Phi_{Br} = K_1 (E_{ed} / R_d) \Phi_{Br} = K_1 (K' \Phi_{br} n / R_d) \Phi_{Br} = K_2 n$$

với  $K_2$  là hệ số tỉ lệ,  $n$  số vòng quay của đĩa nhôm

$R_d$  là tổng trở đường đi của dòng điện xoáy

$N$  là số vòng quay của đĩa trong một giây.

Ở từ thông  $\Phi_{Br}$  cố định thì mômen đệm cho đĩa quay:  $T_{br} = K_2 n$

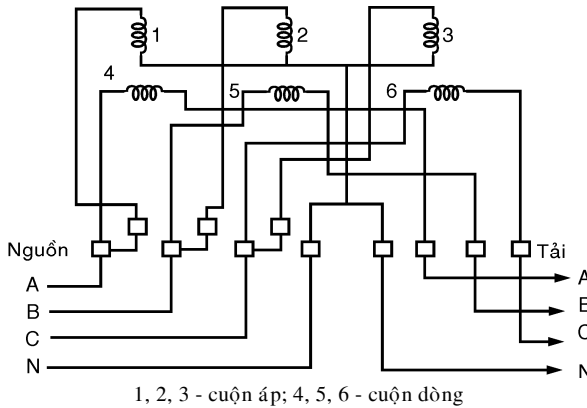
vấn đề thêm mômen quay  $T_{br}$  nhằm mục đích cho đĩa nhôm quay đều. Khi ở công suất của tải không đổi, đĩa nhôm quay đều:  $T_{br} = T$

Hoặc:  $K_2 n = K_1 P$ . Suy ra:  $P = (K_2 / K_1) n$

Vậy điện năng được xác định:  $W = P t = K_3 n t$ , điện năng tiêu thụ phụ thuộc vào vòng quay của đĩa.

**5.5.2 Đo điện năng của tải ba pha**

*Điện năng kế ba pha ba phần tử*



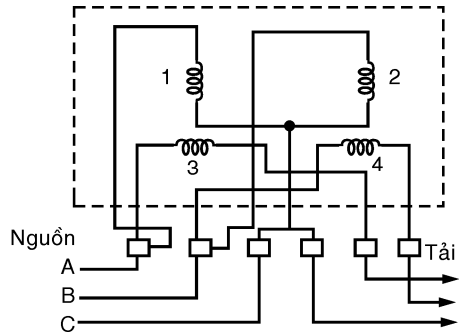
**Hình 5.23:** Điện năng kế ba pha, ba phần tử dùng cho hệ thống bốn dây

Cách mắc điện năng kế ba pha loại này giống như cách mắc watt-kế ba pha ba phần tử. Cả ba phần tử này làm quay ba đĩa nhôm có cùng một trục quay, hoặc một đĩa nhôm (thường dùng trong thực tế). Trục quay này được

truyền động sang bộ đếm số trình bày kết quả đo. Cách bố trí các phần tử của điện năng kế như hình 5.23.

**Điện năng kế ba pha hai phần tử**

Được cấu tạo như loại ba phần tử nhưng có hai phần tử làm quay hai đĩa nhôm. Cách mắc mạch giống như watt-kế ba pha hai phần tử. Sai số của watt-kế hai phần tử không phụ thuộc vào sự cân bằng pha, điện áp không đối xứng và theo tuần tự về pha của mạch đo. Thông thường điện năng kế đôi (gồm hai điện năng kế đơn) được dùng thay thế cho điện năng kế hai phần tử.

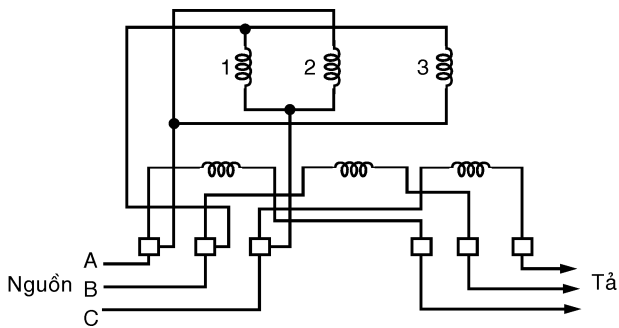


**Hình 5.24:** Cách mắc điện năng kế hai phần tử

Khi điện năng kế đôi được sử dụng ở góc lệch pha vượt quá 60°, một trong hai điện năng kế sẽ quay theo chiều ngược lại với mômen quay có giá trị âm, điều này dẫn đến sai số phụ, còn dấu của mômen bỏ chính sự ma sát vẫn giữ như cũ ở bất kỳ sự thay đổi chiều quay của đĩa. Do đó kết quả làm tăng sự hãm tốc độ quay của đĩa.

**5.5.3 Đo điện năng phản kháng của tải ba pha**

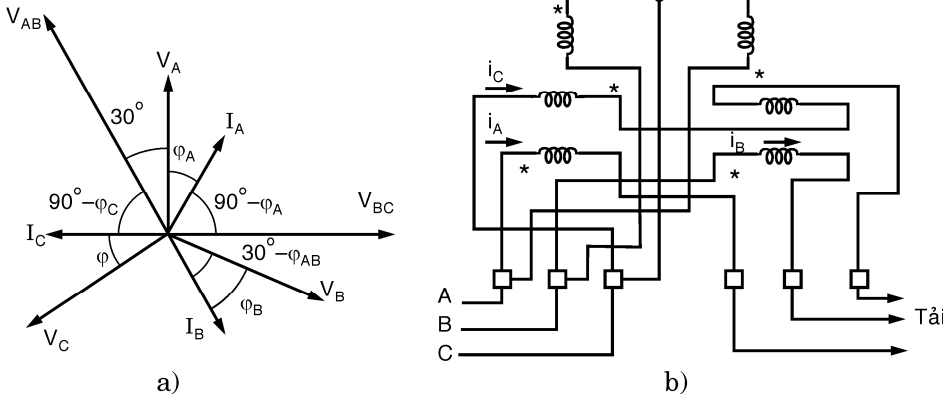
Năng lượng phản kháng được đo bởi điện năng kế ba phần tử (VAR-kế giờ) (H.5.25).



**Hình 5.25:** Điện năng kế phản kháng ba phần tử

Mạch được mắc như trong VAR kế ở ba pha ba phần tử. Hoặc dùng loại có cuộn phụ nối tiếp như hình 5.26. Đây là loại hai phần tử rưỡi mà mỗi phần tử ở phần cuộn dây cố định có cuộn chính và cuộn phụ có số vòng dây bằng nhau ở điện áp cân xứng mạch được mắc như hình 5.26 và có giản đồ vectơ

như đã trình bày trong hình.



**Hình 5.26:** a) Điện năng kế phản kháng hai phần tử rưỡi (giản đồ vector)  
b) Điện năng kế phản kháng hai phần tử rưỡi.

Mômen quay tác dụng trong đĩa nhôm được diễn tả như sau.

$$\begin{aligned} T_1 &= kV_{BC}[I_A(90^\circ - \varphi_A) - I_B \cos(30^\circ - \varphi_B)] \\ &= kV_{BC}I_A \sin \varphi_A - (\sqrt{3}/2)I_B \cos \varphi_B + (1/2)I_B \sin \varphi_B \end{aligned}$$

Mômen quay của phần tử thứ hai.

$$\begin{aligned} T_2 &= kV_{AB}[I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) - I_B \cos(150^\circ + \varphi_B)] \\ &= kV_{AB}[I_C \sin \varphi_C + (\sqrt{3}/2)I_B \cos \varphi_B + (1/2)I_B \sin \varphi_B] \end{aligned}$$

Mômen quay tổng cộng.

$$T_1 + T_2 = K\sqrt{3}V_{ph}(I_A \sin \varphi_A + I_B \sin \varphi_B + I_C \sin \varphi_C) = \sqrt{3}KQ$$

Do đó mômen quay tỉ lệ với năng lượng phản kháng. Như vậy thiết bị này thích hợp đo năng lượng phản kháng. Ở điện áp đối xứng kết quả đo không ảnh hưởng bởi dòng tải không cân bằng.

Khi mắc thiết bị đo này vào mạch điện cần phải đúng theo thứ tự của ba pha được ghi trên thiết bị đo.



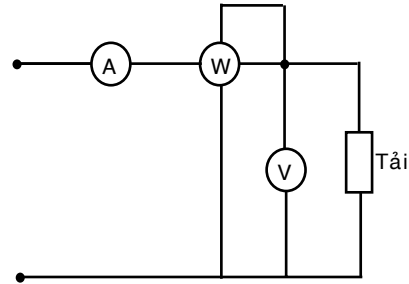
khoảng từ  $5^\circ$  đến  $10^\circ$  phụ thuộc vào độ chính xác của vôn-kế.

**Do  $\cos\varphi$  bằng vôn-kế, ampe-kế và watt-kế**

Đây cũng là phương pháp cổ điển đơn giản, mạch điện được mắc như sau (H.5.29): Watt-kế cho biết công suất hiệu dụng  $P_e$  của tải, vôn-kế và ampe-kế cho biết công suất biểu kiến:  $P_a = VI$ . Như vậy  $\cos\varphi$  được xác định:

$$\cos\varphi = \frac{P_e}{P_a}$$

Trong phương pháp đo này, sai số tạo ra do ampe-kế, vôn-kế và watt-kế ở hai cách mắc rẽ ngắn hoặc rẽ dài. Ngoài ra còn có sai số do cuộn dây điện áp của watt-kế, do cấu tạo của cơ cấu điện động (đã được đề cập đến trong phần trên).



**Hình 5.29:** Cách mắc vôn kế, ampe-kế và watt-kế để đo  $\cos\varphi$

**5.6.2 Cos  $\varphi$  kế dùng cơ cấu tỉ số kế điện động**

**Trường hợp tải một pha**

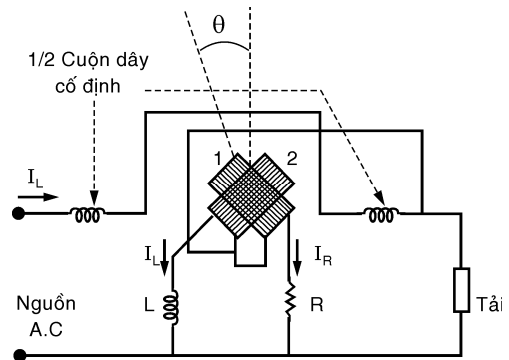
Đặc biệt cuộn dây 1 được nối với điện trở R, và cuộn dây 2 được nối với điện cảm L để sao cho dòng  $I_L$  và  $I_R$  lệch pha  $\pi/2$ , và hai cuộn dây được xếp đặt thẳng góc với nhau. Cho nên chúng ta có:

$$M_1 = M\cos\theta; M_2 = M\sin\theta$$

$M_1$ : hệ số hồ cảm giữa cuộn dây di động 1 với cuộn dây cố định.

$M_2$ : hệ số hồ cảm giữa cuộn dây di động 2 với cuộn dây cố định.

$M$ : hệ số hồ cảm lớn nhất khi các cuộn dây di động có từ thông (do cuộn dây cố định tạo ra) xuyên qua lớn nhất.



**Hình 5.30:** Cấu tạo của đồng hồ đo  $\cos\varphi$  một pha

Giả sử tổng trở của hai cuộn dây di động không đáng kể so với điện trở R và  $L\omega$ . Cho:

$$v_L = V\sqrt{2}\cos\omega t: \text{điện áp của tải.}$$

$$i_L = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi) : \text{dòng điện qua tải.}$$

$V, I$  là trị hiệu dụng.

Khi đó dòng điện qua cuộn dây 1 và 2 là:

$$i_R = (V\sqrt{2}/R) \cos \omega t \quad \text{và} \quad i_L = (V\sqrt{2}/L\omega) \cos(\omega t - \varphi)$$

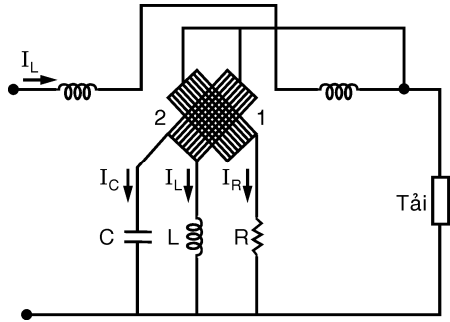
Do đó mômen quay trung bình  $T_1, T_2$  của cuộn dây 1 và cuộn dây 2.

$$T_1 = \frac{dM_1}{d\theta} \frac{VI}{R} \cos \varphi; \quad T_2 = \frac{dM_2}{d\theta} \frac{VI}{L\omega} \sin \varphi$$

Tại trị số  $\theta_i$  của cuộn dây di động  $T_1 = T_2$ , hai cuộn dây di động đứng yên và góc lệch pha  $\varphi$  giữa hai tín hiệu điện áp và dòng điện của tải được xác định:  $\text{tg} \varphi = (L\omega/R) \text{tg} \theta_i$ .

Nếu như cuộn dây di động và mạch điện chế tạo sao cho  $R = L\omega$  thì tại vị trí chỉ thị của hai cuộn dây có được:  $\theta_i = \varphi$

$\text{Cos} \varphi$  kế thường có vạch đo được khắc độ theo trị số  $\text{cos}$  của góc lệch pha  $\varphi$  có trị số 0 ở giữa, về phía phải của điểm 0 là sớm pha (lead) và về phía trái là trễ pha (lag). Việc lấy chuẩn cho  $\text{cos} \varphi$  kế chịu ảnh hưởng của tần số của tín hiệu, để cho nó ít bị ảnh hưởng bởi tần số tín hiệu, người ta thay cuộn dây 2 bằng hai phần tử có số vòng dây bằng nhau, một phần tử nối với  $L$ , còn phần tử còn lại nối với  $C$  như hình 5.31, trị số  $LC$  để sao cho tần số hoạt động của thiết bị:  $LC\omega^2 = 1$



**Hình 5.31:**  $\text{Cos} \varphi$  kế có cuộn dây chính tần số

Dòng điện qua  $L$  và  $C$  có khuynh hướng đối nhau, nhưng có chiều quấn của hai phần tử cuộn dây sao cho mômen quay hai phần tử cộng vào nhau. Nghĩa là tần số tăng lên thì dòng điện đi qua  $L$  giảm, trong khi đó dòng điện qua  $C$  tăng lên để sao cho tổng số (độ lớn) của hai dòng điện này gần như không thay đổi. Như vậy mômen quay  $T_2$  sẽ không thay đổi khi tần số tín hiệu thay đổi. Trong sự bố trí này có thể đáp ứng tốt khi tần số tín hiệu thay đổi khoảng 10 phần trăm tần số hoạt động định danh của thiết bị đo.

**Trường hợp tải ba pha**

Trong trường hợp này góc lệch pha  $\varphi$  được đo giữa dòng điện một dây

pha so với điện áp giữa các dây pha của tải ba pha, như cách mắc mạch hình 5.32. Cuộn dây cố định của pha kế được mắc nối tiếp với tải ở một trên ba pha điện của tải, còn hai khung quay 1 và 2 được mắc giữa các pha của tải qua trung gian của các điện trở  $R$  có trị số lớn và điện cảm của các cuộn dây có trị số không đáng kể. Mômen quay trung bình của khung quay 1 và 2 là:

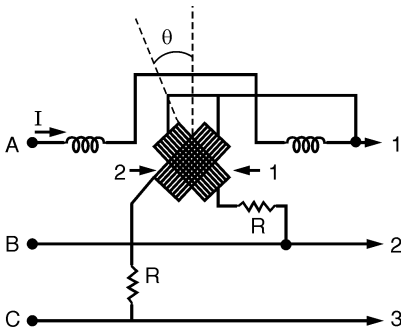
$$T_1 = MI \frac{V\sqrt{3}}{R} \sin \theta \cos(I_1, V_1 - V_2) \text{ và } T_2 = MI \frac{V\sqrt{3}}{R} \cos \theta \sin(I_1, V_1 - V_3)$$

Theo giản đồ vectơ:

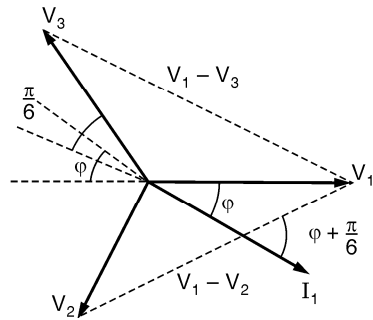
$$\cos(I_1, V_1 - V_2) = \cos(\varphi + \frac{\pi}{6}); \quad \cos(I_1, V_1 - V_3) = \cos(\frac{\pi}{6} - \varphi) = \cos(\varphi - \frac{\pi}{6})$$

$M$ : hệ số hãm cảm,  $M$  cực đại khi một trong hai khung quay song song với trục của cuộn dây cố định.

$\theta$ : góc của khung quay 1 và pháp tuyến của vectơ cảm ứng  $\vec{B}$ .



**Hình 5.32:** Cách mắc pha kế điện động ba pha



**Hình 5.33:** Giản đồ Fresnel của điện áp và dòng điện của pha kế ba pha

Hai mômen quay của khung quay 1 và 2 luôn luôn đối kháng nhau. Cho nên tại  $\theta_1$  của hai mômen quay cân bằng, khung quay đứng yên  $T_1 = T_2$ , dẫn đến:  $\sin \theta_i \cos(\varphi + \pi/6) = \cos \theta_i \cos(\varphi - \pi/6)$ .

Do đó: 
$$tg\theta_i = \frac{\cos(\varphi - \pi/6)}{\cos(\varphi + \pi/6)}$$

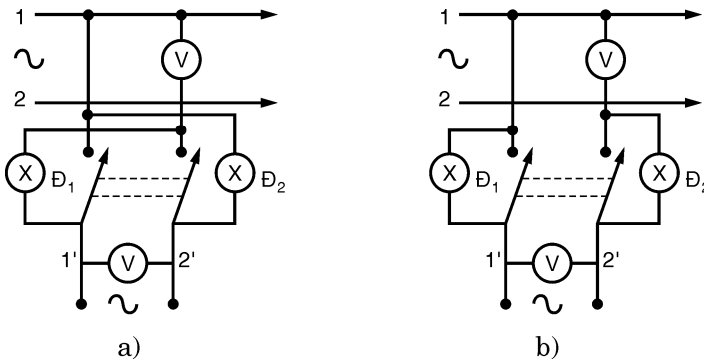
Suy ra: 
$$\sin\varphi [1 + tg\theta_i] = \sqrt{3} \cos\varphi [tg\theta_i - 1]$$

$$tg\varphi = \sqrt{3} \frac{tg\theta_i - tg\pi/4}{1 + tg\theta_i tg\pi/4} = \sqrt{3} tg\left(\theta_i - \frac{\pi}{4}\right) = -\sqrt{3} tg\left(\frac{\pi}{4} - \theta_i\right)$$

**Ghi chú:**

của tần số. Ví dụ 1: vòng trong 6 giây tương ứng với sự lệch 0,25 Hz. Chiều quay của khung quay giúp cho sự điều chỉnh tần số của máy phát tăng lên, hay giảm xuống. Đến khi tần số của hai tín hiệu bằng nhau thì khung quay sẽ không quay tròn nữa mà sẽ lệch một góc  $\theta$  tương ứng với sự lệch pha của hai điện áp, sự đồng bộ hóa giữa hai tín hiệu được xác định đúng khi kim chỉ thị ngay giữa thang đo.

Ví dụ thiết bị cụ thể: Synchronoscope NE 96 Compteur Schlumberger. Có bố trí hai đèn chỉ thị pha.

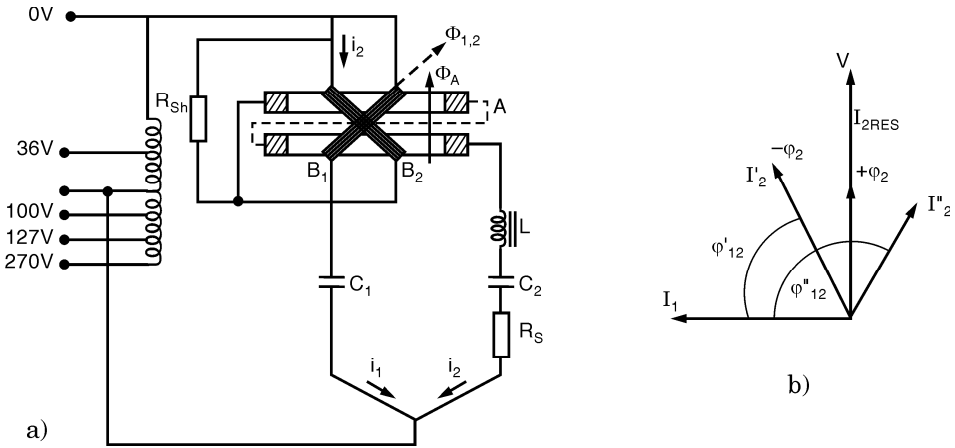


**Hình 5.35:** a) Cách mắc khi đồng bộ hóa thì đèn cháy  
b) Cách mắc khi đồng bộ hóa thì đèn tắt

*Công suất tiêu thụ:*

- Phần cho mạch điện máy phát là: 1,5VA
- Phần cho mạch điện lưới: 5VA

Calip cho cả hai mạch  $2 \times 100V$ , tần số 50Hz.



Hình 5.37: Mạch đo tần số kế cơ cấu điện động

**Nguyên lý hoạt động:** Điện cảm  $L$  và điện dung  $C_2$  được điều chỉnh cộng hưởng ở tần số giữa của thang đo, nghĩa là:

$$\omega_{av}L = \frac{1}{C_2\omega_{av}}$$

Kết quả là dòng điện cộng hưởng  $I_{2ES}$  cùng pha với điện áp cung cấp  $V$  và trễ pha  $90^\circ$  so với dòng điện  $I_1$  (H.5.37). Do đó mômen quay  $T_1$  làm quay cuộn dây  $B_1$  bằng không, nghĩa là.

$$T_1 = kI_1I_{2RES}\cos 90^\circ = 0$$

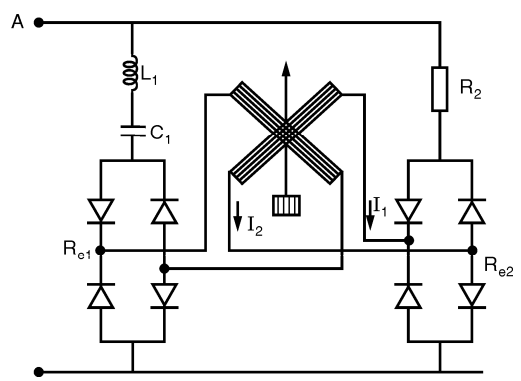
Trong khi đó mômen  $T_2$  được tạo ra bởi dòng điện  $I_2$  trong cuộn dây  $A$  và  $B_2$  làm di chuyển cuộn dây sao cho trục quay của từ thông tạo nên bởi cuộn dây  $A$  và  $B_2$  trùng nhau. Như vậy dòng điện  $I_2$  sẽ thay đổi ở bất kỳ sự lệch tần số của tín hiệu đo do tần số góc cộng hưởng  $\omega_{av}$ . Sự lệch pha giữa dòng điện  $I_2$  và điện áp  $V$  theo chiều dương khi tần số tăng và theo chiều âm khi tần số giảm.

Ở tần số khác, với tần số cộng hưởng, mômen quay  $T_1$  khác không sẽ làm cho cuộn dây  $B_1$  quay, đồng thời kết hợp với mômen quay  $T_2$  làm quay cuộn dây  $B_2$  và ngẫu lực này phụ thuộc vào sự lệch pha giữa dòng điện  $I_1$  trong cuộn dây  $B_1$  và dòng điện  $I_2$  trong cuộn dây  $A$  (sự lệch pha này nhỏ hơn hay lớn hơn  $90^\circ$ ). Vì hai mômen này quay ngược nhau nên kim chỉ thị sẽ dừng lại khi hai mômen này bằng nhau và mômen này lại phụ thuộc vào tần số của tín hiệu. Tín hiệu đo tần số được đưa vào mạch đo thông qua biến áp tự ngẫu có các đầu sơ cấp tương ứng với các trị số 36 – 100 – 127 – 220 V. Khoảng tần số cần đo của thiết bị đo loại này trong khoảng 50 – 1500 Hz được chia ra làm nhiều tầm khác nhau. Tần số kế loại này có thể đạt độ chính xác tới 0,2%

(loại D506 của Liên Xô cũ).

**5.8.3 Tần số kế dùng cơ cấu tỉ số kế từ điện có chỉnh lưu**

**Cấu tạo:** Bộ phận chỉ thị của thiết bị là tỉ số từ điện. Mạch đo dùng hai nhánh song song, nhánh song song thứ nhất bao gồm cuộn dây  $L_1$ , điện dung  $C_1$  và cầu chỉnh lưu toàn sóng  $R_{e1}$ . Nhánh song song thứ hai gồm có điện trở  $R_2$  và cầu chỉnh lưu toàn sóng  $R_{e2}$ . Vì độ lệch của kim chỉ thị phụ thuộc vào tỉ số của dòng điện qua hai cuộn dây, mà dòng điện lại phụ thuộc vào tổng trở của hai nhánh song song.



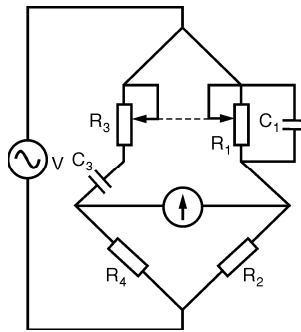
**Hình 5.38:** Tần số kế dùng cơ cấu tỉ số kế từ điện có chỉnh lưu

Nghĩa là:  $\alpha = F(I_1/I_2) = F(R_2/Z_1)$

Mà:  $Z_1 = [r_1^2 + (2\pi fL_1 - 1/2\pi fC_1)^2]^{1/2}$ ;  $r_1$ : điện trở của cuộn dây.

Còn  $R_2$  không thay đổi (thường lớn hơn so với nội trở cuộn dây), cho nên góc lệch  $\alpha$  của kim chỉ thị phụ thuộc vào tần số của tín hiệu cung cấp cho mạch đo.

**5.8.4 Phương pháp đo tần số dùng cầu WIEN**



**Hình 5.39:** Mạch cầu đo tần số

Hình 5.39 biểu diễn mạch cầu Wien được dùng để đo tần số. Khi:  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$  (điều kiện cân bằng của cầu)

$$\text{Với: } \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1$$

$$Z_2 = R_2; \quad Z_3 = R_3 = \frac{j}{C_3 \omega}; \quad Z_4 = R_4$$

Như vậy khi cầu cân bằng:

$$R_4 \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} = R_2 \left( R_3 - \frac{j}{C_3 R_1} \right)$$

$$\text{Hoặc là: } \frac{R_4}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{C_1}{C_3} + j \left( C_1 R_3 - \frac{1}{\omega C_3 R_1} \right)$$

Cân bằng phần thực và phần ảo:

$$\frac{R_4}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{C_1}{C_3}$$

$$\text{Và: } \omega R_3 C_1 = \frac{1}{\omega C_3 R_1}$$

$$\text{Do đó: } \omega = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_3 R_1 R_3}}$$

Trong điều kiện:  $R_1 = R_3 = R; C_1 = C_3 = C$ .

$$\text{Thì: } \frac{R_4}{R_2} = 2 \text{ hoặc } R_4 = 2R_2$$

$$\text{Khi đó tần số tín hiệu cho bởi: } f = \frac{1}{2\pi RC}.$$

Ở điện dung  $C$  không đổi tần số được cho bởi:  $F = k(1/R)$

Như vậy trong cơ cấu thiết kế sao cho  $R_1$  và  $R_3$  cùng thay đổi, để điều kiện  $R_1 = R_3$  bảo đảm luôn luôn được thỏa.

Để cho cầu được dễ cân bằng thì dạng tín hiệu phải không có họa tần, điều này có thể đạt được bằng cách nối tiếp với bộ phận chỉ thị sự cân bằng của cầu bằng mạch lọc. Nếu bộ phận chỉ thị cân bằng của cầu dùng *tai nghe* của điện thoại, thì sự cân bằng của cầu được xác định bởi tín hiệu âm thanh cơ bản (vào khoảng 1 kHz). Phương pháp này có thể có độ chính xác từ  $0,1 \div 0,5\%$  và thuận lợi cho khoảng tần số từ 100Hz ÷ 100kHz.

**Cầu “T đôi” (mạch lọc T đôi)**

Cầu “*T đôi*” được mắc theo hình 5.40. Tín hiệu đo tần số  $f_x$  được đưa vào ngõ vào mạch lọc. Khi cầu cân bằng có điều kiện:

$$\omega_x^2 R_2^2 C_1 C_2 = 2$$

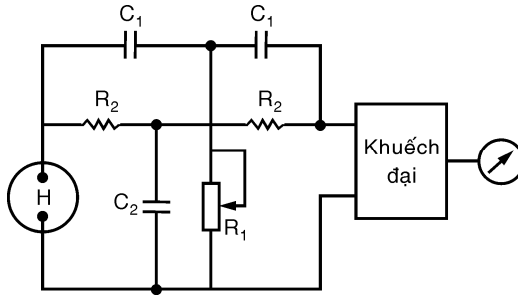
Và:  $2\omega_x^2 C_1^2 R_1 R_2 = 1$

Khi  $R_2 = 2R_1$  và  $C_2 = 2C_1$

$$\omega_x^2 = \frac{1}{2C_1^2 R_1 R_2} = \frac{1}{2} \frac{1}{C_1^2 2R_1^2} = \frac{1}{4C_1^2 R_1^2}$$

Thì:  $\omega_x = \frac{1}{2R_1 C_1} = 2\pi f_x = \frac{1}{2R_1 C_1}$

Hay:  $f_x = \frac{1}{4\pi R_1 C_1}$



**Hình 5.40:** Cầu *T đôi* để đo tần số

Bộ phận chỉ thị cân bằng gồm mạch khuếch đại (KĐ) và điện kế.

Phương pháp đo dùng cầu “*T đôi*” có thể đo từ vài chục Hz đến vài trăm kHz sai số trong khoảng từ 0,5% đến 1%. Sai số này phụ thuộc vào độ chính xác của phần tử cầu, độ nhạy của bộ phận chỉ thị sự cân bằng của cầu.

Ngoài ra chúng ta còn những phương pháp so sánh dùng hình Lissajous, mạch cộng hưởng hấp thụ và máy đếm tần số sẽ được đề cập đến trong phần thiết bị đo điện tử.

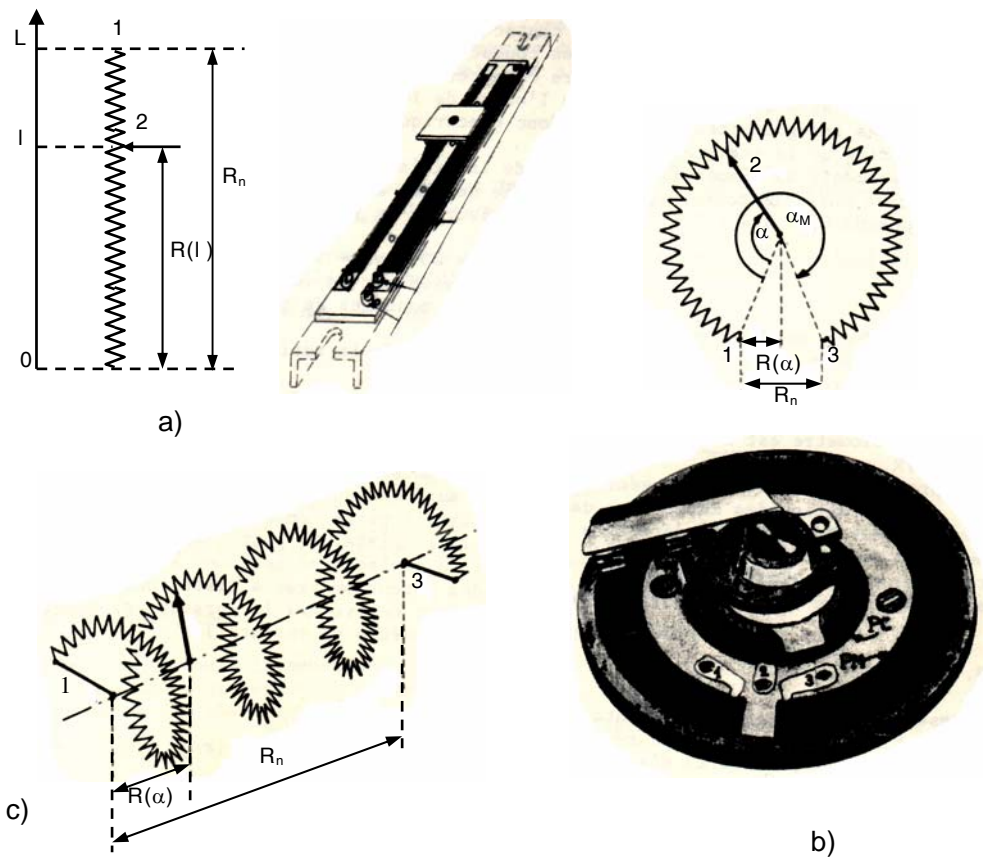


### 6.1.1 Cảm biến điện trở

#### 1- Biến trở đo lường

Đó là loại cảm biến có nguyên lý cấu tạo đơn giản, cho phép thực hiện với giá thành rẻ, tín hiệu tạo ra có thể thu được ở mức độ tương đối lớn và không cần một mạch biến đổi đặc biệt. Tuy nhiên, sự hiện diện của con chạy do sự trượt là nguyên nhân tạo ra tiếng ồn và sự hao mòn, điều này dẫn đến sự suy giảm chất lượng cảm biến (tuyến tính, chính xác) và có số lần vận hành giới hạn mà nó không bị hư hỏng. Mặt khác, cảm biến có thể hoạt động ở môi trường không khí ẩm, bụi.

#### a) Dạng hình học



Hình 6.1: Những dạng biến trở

a) Biến trở thẳng; b) Biến trở góc; c) Biến trở hélice

Một biến trở gồm một điện trở cố định  $R_n$ , và trên điện trở có một tiếp điểm gọi là con chạy. Điện trở  $R$  giữa con chạy và một trong hai đầu cố định có đặc tính: một mặt, phụ thuộc vào vị trí con chạy (tức phần di động mà ta muốn biến đổi vị trí ra tín hiệu điện), mặt khác nó phụ thuộc vào điện trở cố định. Khi điện trở được cấu tạo đồng nhất, biến trở tuyến tính vì có một tỉ lệ giữa  $R$  và vị trí con chạy. Tùy theo dạng hình học của điện trở cố định và sự di động con chạy, ta phân biệt:

$$\square \text{ Biến trở dịch chuyển thẳng: } R(l) = (l/L)R_n$$

$$\square \text{ Biến trở dịch chuyển góc: } R(\alpha) = (\alpha/\alpha_M)R_n$$

với  $\alpha_M$  là góc dịch chuyển tối đa.

Trong đó: biến trở dịch chuyển vòng:  $\alpha_M < 360^\circ$ .

biến trở dịch chuyển hélice:  $\alpha_M > 360^\circ$ .

b) *Điện trở*: được cấu tạo bởi dây quấn hoặc dạng màng (piste). Dây điện trở phải nêu những đặc tính sau: hệ số nhiệt độ của điện trở suất, sức điện động nhiệt, độ ổn định tinh thể. Những hợp kim thường được dùng: Ni-Cr, Ni-Cu, Ni-Cr-Fe, Ag-Pd. Dây quấn được thực hiện trên vật liệu cách điện (thủy tinh, gốm hoặc nhựa), dây quấn có lớp vỏ cách điện. Điện trở màng được cấu tạo bởi một miếng plastique phủ một lớp than dẫn điện, hoặc lớp oxyd kim loại, kích thước của những hạt kim loại vào khoảng  $10^{-2}\mu\text{m}$ . Giá trị điện trở  $R_n$  thông thường có giá trị từ  $1\text{k}\Omega \div 100\text{k}\Omega$  và có thể đạt đến vài  $\text{M}\Omega$ .

*Sai số của điện trở*: những biến trở được chế tạo với sai số của  $R_n$  tùy theo trường hợp  $\pm 20\%$  hay  $\pm 10\%$ , nó có thể đạt  $\pm 5\%$ .

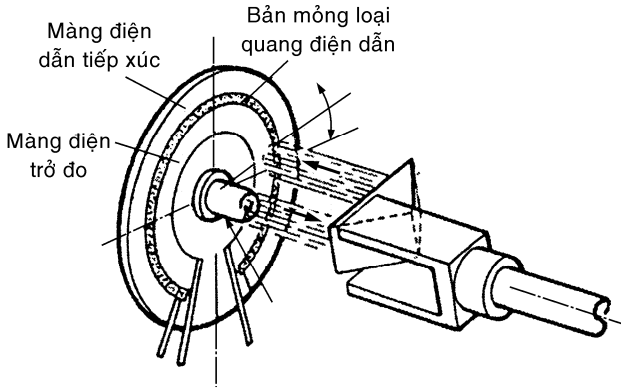
*Độ chính xác cao* đối với trị số điện trở, trong trường hợp tổng quát thì không cần thiết bởi vì tín hiệu ra là kết quả của tỷ số  $R(x)/R_n$ .

*Hệ số nhiệt độ của điện trở*: thông thường rất cao đối với điện trở màng (khoảng  $-3 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ).

*Tuyến tính*: sự không đồng nhất trong chế tạo hoặc do thành phần vật liệu, một sự không đối xứng nhỏ trong kích thước có thể kéo theo một sự không tuyến tính.

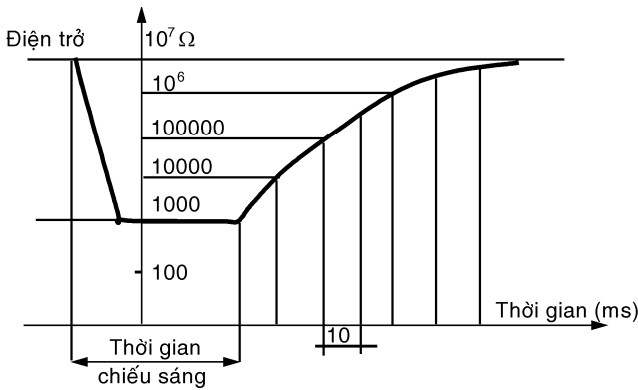
**2- Biến trở không có con chạy dạng cơ**

Sự bất lợi của con chạy dạng cơ là sự trượt trên piste (gây ra sự hao mòn, tiếng ồn) có thể loại bỏ bằng cách thay kết nối cơ khí giữa trục di động và màng điện trở bởi liên kết quang, hoặc từ.



**Hình 6.2:** Nguyên tắc của biến trở con chạy dạng quang

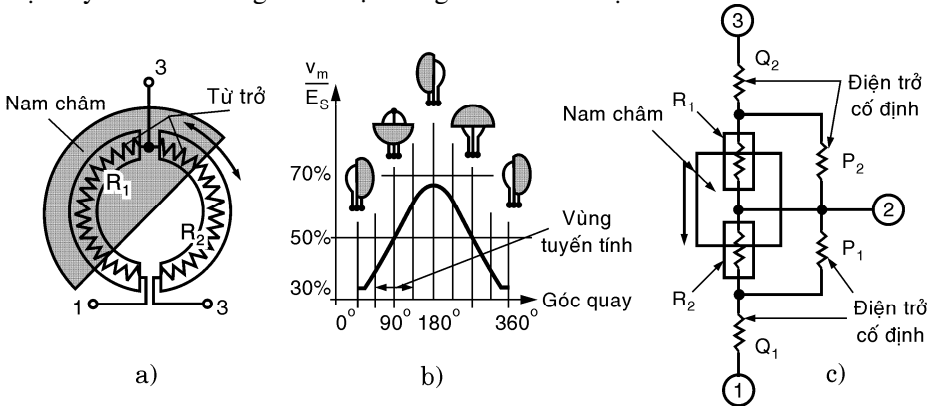
Trong loại biến trở góc có con chạy dạng quang, màng điện trở đo được tách biệt với màng điện dẫn tiếp xúc bởi một băng mỏng dạng quang điện dẫn (CdSe), trên màng mỏng này nhận một lượng ánh sáng di chuyển cùng lúc khi ta xoay trục của biến trở. Điện trở của lớp quang điện dẫn được chiếu sáng sẽ giảm đi, tạo thành một sự kết nối giữa màng điện trở đo và màng tiếp xúc.



**Hình 6.3:** Sự thay đổi điện trở của lớp quang điện dẫn dưới tác động của sự chiếu sáng trong thời gian ngắn

Loại biến trở từ được cấu tạo bởi hai phần tử trở  $R_1$  và  $R_2$  mắc nối tiếp. Một nam châm có cùng trục quay với biến trở tạo ra một từ trường xuyên qua một phần điện trở  $R_1$  và  $R_2$  thay đổi với vị trí góc của trục quay. Từ trường

cảm ứng gây nên một sự thay đổi quan trọng điện trở của những phần  $R_1$  và  $R_2$  nó xuyên qua. Điện áp cung cấp  $E_S$  được áp vào hai đầu 1 và 3, điện áp đo được lấy ở điểm chung 2 và một trong hai đầu còn lại.



**Hình 6.4:** Biến trở góc loại từ

a) Nguyên tắc theo góc quay; b) Đáp ứng điện; c) Mạch bù trừ nhiệt

**6.1.2 Cảm biến điện cảm**

**1- Nguyên lý và đặc tính tổng quát**

Sự dịch chuyển mà ta muốn biến đổi thành tín hiệu điện được thực hiện nhờ một trong những phần tử mạch từ, kéo theo một sự thay đổi từ thông trong cuộn dây. Khi phần tử di chuyển là một lõi sắt từ, một sự chuyển đổi sự dịch chuyển thẳng hay quay tròn được thể hiện bởi:

- Sự thay đổi hệ số từ cảm (điện cảm thay đổi).
- Sự thay đổi độ ghép giữa các cuộn dây sơ và thứ cấp của biến áp (biến áp vi sai, microslyn) gây ra một sự thay đổi điện áp thứ cấp.

Khi cuộn dây quay tròn so với một cuộn cố định, thì một cuộn giữ vai trò phần cảm, còn cuộn kia phần ứng, nó tác động như một biến áp có độ ghép thay đổi. Cuộn sơ là phần cảm, cuộn thứ là phần ứng và tạo ra một điện áp hoạt động theo góc quay (biến trở điện cảm, résolver). Những thay đổi hệ số tự cảm và hồ cảm  $M$  theo sự dịch chuyển của lõi sắt thông thường có sự tuyến tính kém, điều này có thể cải thiện đáng kể vì việc bố trí hai cuộn dây đối kháng mà hệ số tự cảm  $L$  và hồ cảm  $M$  thay đổi ngược nhau đối với cùng một chuyển động, như vậy ta đã thực hiện một sự bù trừ một phần không tuyến tính (hoạt động push - pull). Cảm biến điện cảm được dùng trong mạch có nguồn cung cấp bởi một nguồn điện áp sin, có tần số thường giới hạn cỡ hàng chục kHz để giảm bớt những mất mát về từ và dòng điện Foucault, cũng như ảnh hưởng điện dung ký sinh. Điện áp đo  $v_m$ , là kết quả của sự biến đổi biên

độ của điện áp cung cấp  $E_S \cos \omega_S t$  bởi sự dịch chuyển  $x(t)$ :  $v_m = K \cdot x(t) \cdot E_S \cos(\omega_S t + \Phi)$ .

Rất hiếm, những sự thay đổi phần tử điện cảm có thể được dùng biến đổi tần số của mạch dao động, tỉ lệ với sự dịch chuyển. Trong mọi trường hợp, bất kỳ loại biến đổi nào, tần số  $f$  của sự chuyển động phải rất nhỏ so với tần số sóng mang  $f_S$  để dễ dàng cho việc tách sóng:  $f < f_S/10$ . Những cảm biến điện cảm nhạy đối với những từ trường nhiễu, là lý do tại sao cần đặt những màng bảo vệ từ trong cuộn dây.

**2- Điện cảm thay đổi**

Hệ số tự cảm  $L$  của cuộn dây có  $N$  vòng dây được diễn tả theo từ trở  $R$  của mạch từ.

$$L = \frac{N^2}{R} \text{ vôn} \quad R = \int_{\text{mạch từ}} \frac{dl}{\mu S}$$

$\mu$  - độ từ thẩm;  $S$  - tiết diện mạch từ.

Khi tiết diện của mạch từ không đổi trong từng đoạn:

$$R = \frac{l_f}{\mu_o \mu_f S_f} + \frac{l_o}{\mu_o S_o}$$

trong đó:  $l_f, l_o$  - chiều dài trung bình của đường sức trong lõi sắt và trong không khí

$S_f, S_o$  - tiết diện mạch từ và khe hở không khí

$\mu_f$  - độ từ thẩm tương đối của vật liệu từ (vào khoảng  $10^3$  đến  $10^4$ ) và  $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$  MKSA.

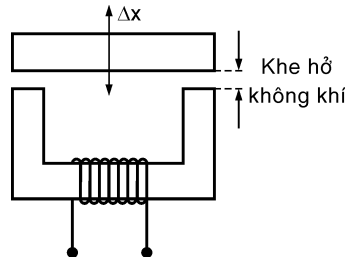
**a) Mạch từ có khe hở không khí thay đổi (H.6.5)**

Ta thiết lập dễ dàng, từ công thức tổng quát, hệ số tự cảm  $L$ :

$$L = \mu_o N^2 S [1/(l_o + l_f/\mu_f)]$$

Để cho tự cảm  $L$  nhạy đối với sự thay đổi của khe hở không khí, ta phải chọn  $l_o \ll l_f/\mu_f$ . Lúc đó ta có:  $L = \mu_o N^2 S/l_o$

Một sự di chuyển  $\Delta x$  của phần ứng dẫn đến một sự thay đổi  $\Delta l_o = 2\Delta x$  của khe hở không khí, hệ số tự cảm sẽ đạt trị giá mới.



**Hình 6.5:** *Caùm bieán loaiii khe hờu kờuông khí thay ãoải*

$$L + \Delta L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l_0} \frac{1}{1 + 2\Delta x/l_0} \Rightarrow \Delta L = \frac{-2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \frac{\Delta x}{1 + 2\Delta x/l_0}$$

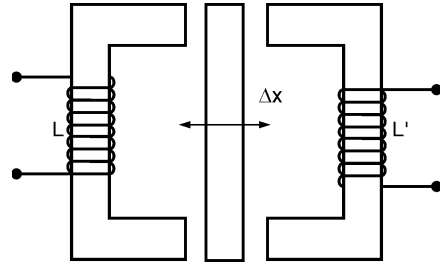
$$\frac{\Delta L}{L} = -2 \frac{\Delta x}{l_0} \frac{1}{1 + 2\Delta x/l_0}$$

Nếu  $\Delta x \ll l_0$ , ta có:  $\Delta L = -\frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \Delta x [1 - \frac{2\Delta x}{l_0} + (\frac{2\Delta x}{l_0})^2 + \dots]$

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta x} = -\frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} [1 - \frac{2\Delta x}{l_0} + (\frac{2\Delta x}{l_0})^2 + \dots]$$

Độ nhạy phụ thuộc vào vị trí ban đầu  $l_0$  của phần ứng, nó càng lớn nếu  $l_0$  càng bé. Mặt khác nó có thể coi như không đổi nếu sự dịch chuyển rất bé so với  $l_0$ , điều này khiến cho việc sử dụng cảm biến bị giới hạn đối với những dịch chuyển bé, cỡ mm.

Độ nhạy và sự tuyến tính được cải thiện, nếu ta dùng tự cảm của hai lõi mạch từ giống nhau đặt đối xứng đối với phần ứng di động và như vậy khe hở không khí có sự thay đổi ngược chiều đối với hai lõi mạch từ. Sự thay đổi hệ số từ cảm  $L'$  của cuộn dây thứ hai:



**Hình 6.6:** Tổ hợp hai lõi mạch từ có khe hở không khí thay đổi

$$\Delta L' = \frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \frac{\Delta x}{1 - (2\Delta x/l_0)}$$

Đối với  $\Delta x \ll l_0$ :  $\Delta L' = \frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \Delta x [1 + \frac{2\Delta x}{l_0} + (\frac{2\Delta x}{l_0})^2 + \dots]$

Hai cuộn dây có  $L$  và  $L'$  được đặt trong hai nhánh của cầu đo. Điện áp lệch khi đó tỉ lệ với  $\Delta L' - \Delta L$ :

$$\Delta L' - \Delta L = \frac{4\mu_0 N^2 S}{l_0} \Delta x [1 + (\frac{2\Delta x}{l_0})^2 + \dots]$$

Như vậy độ nhạy của tổ hợp điện cảm tăng gấp đôi, sự không tuyến tính được cải thiện.

**b) Cuộn dây có nòng di động (H.6.7)**

Hệ số tự cảm của cuộn dây tùy thuộc vào vị trí nòng sắt. Cách tính hệ số tự cảm  $L$  như sau: ta xem điện cảm là tổ hợp nối tiếp của điện cảm môi trường không khí; chiều dài  $l_o$ ; hệ số tự cảm  $L_o$ ; điện cảm của lõi sắt từ có chiều dài  $l_f$ ; hệ số tự cảm  $L_f$ ; hệ số hỗ cảm  $M$ .

Ta có:  $L = L_o + L_f + 2M$ . Với  $M = K\sqrt{L_o \cdot L_f}$

$K$ : hệ số ghép, giả sử không đổi ( $0 \leq K \leq 1$ ).

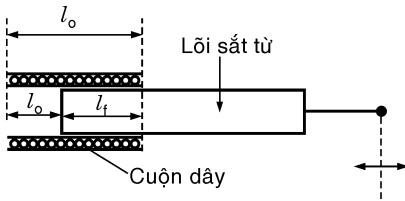
Ta có thể viết theo đặc tính của mạch:

$$L_o = \mu_o \frac{N^2}{l^2} S_o l_o = \mu_o \frac{N^2}{l^2} S_o (l - l_f)$$

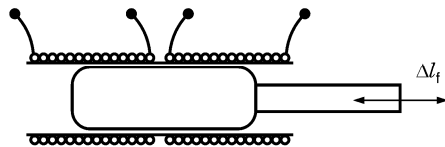
$$L_f = \mu_o \frac{N^2}{l^2} (S_o + (\mu_f - 1) S_f) l_f$$

$$L = \mu_o \frac{N^2}{l^2} [S_o l + (\mu_f - 1) S_f l_f + 2K \sqrt{S_o (S_o + (\mu_f - 1) S_f)} \cdot \sqrt{(l - l_f) \cdot l_f}]$$

Sự dịch chuyển  $\Delta l_f$  của lõi sắt từ kéo theo một sự thay đổi  $\Delta L$  của điện cảm, nó tùy thuộc vào  $l_f$  và hoạt động không tuyến tính theo  $\Delta l_f$ . Tương tự như trường hợp điện cảm có khe hở không khí thay đổi, sự không tuyến tính có thể giảm bớt bằng cách mắc push-pull, hai cuộn dây có cùng chung một nòng sắt từ.



Hình 6.7: Sơ đồ nguyên lý của cuộn dây có nòng sắt di động



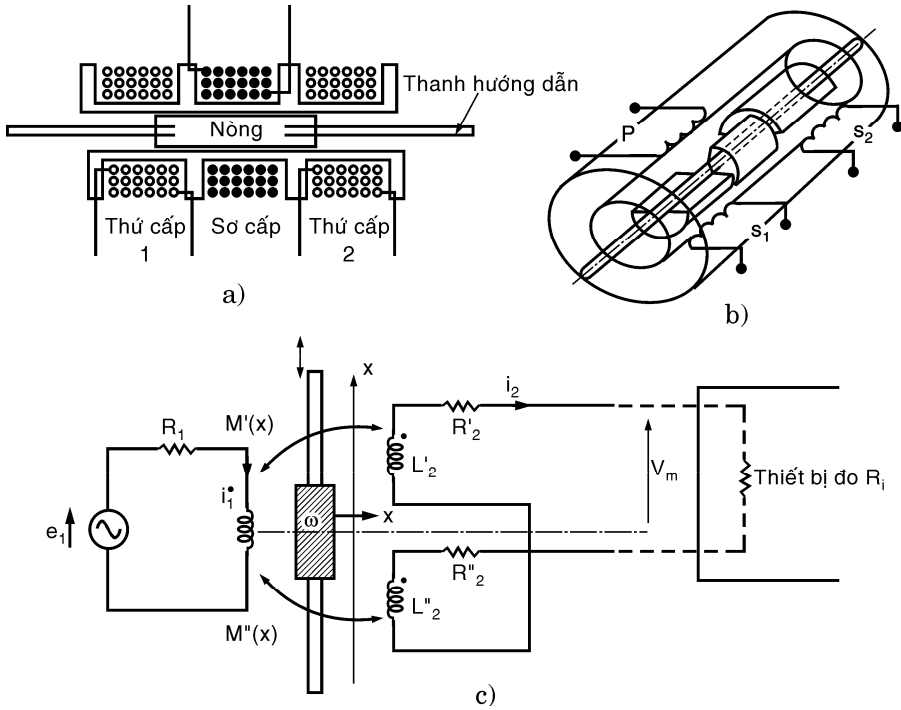
Hình 6.8: Hai cuộn dây có cùng chung một nòng sắt hoạt động push-pull

**3- Biến áp vi sai (H.6.9)**

Biến áp vi sai là một loại cảm biến được chú ý đến phẩm chất tuyến tính, độ tinh. So sánh với cảm biến điện cảm có nòng di động, hoạt động push-pull có cùng một số tính chất, loại cảm biến vi sai có một số điểm lợi hơn.

- Cách mắc dây đơn giản, không cần thực hiện cân bằng cầu đo.
- Một sự độc lập giữa mạch kích thích và mạch đo.

a) Nguyên lý: Biến áp vi sai được cấu tạo gồm một cuộn dây sơ cấp và hai cuộn dây thứ cấp được bố trí đối xứng so với cuộn sơ cấp. Cuộn sơ cấp được cung cấp bởi sức điện động sin:  $e_1 = E_1 \cos \omega t$ . Sự dịch chuyển của nòng sắt từ làm biến đổi độ ghép giữa cuộn sơ và hai cuộn thứ. Những cuộn thứ được mắc xung đối sao cho sức điện động cảm ứng của chúng trừ nhau.



**Hình 6.9:** Biến áp vi sai: a) Loại dịch chuyển thẳng, b) Dịch chuyển góc, c) Sơ đồ mạch điện tương đương.



Với mạch điện đơn giản, ở đó ta bỏ qua điện dung ký sinh. Những phương trình đối với mạch sơ và mạch thứ cấp:

$$e_1 = (R_1 + jL_1\omega)i_1 + j[M'(x) - M''(x)]\omega i_2$$

$$[R_2' + R_2'' + R_i + j\omega(L_2' + L_2'')] i_2 + j\omega[M'(x) - M''(x)]i_1 = 0$$

Ta có thể tính theo  $e_1$ , điện áp  $V_m = R_i i_2$  ở hai đầu thiết bị đo mắc vào thứ cấp.

$$V_m = \frac{j\omega R_i [M''(x) - M'(x)] e_1}{R_1(R_i + R_2) + j\omega[L_2 R_1 + L_1(R_2 + R_i)] - \omega^2[L_1 L_2 + (M'(x) - M''(x))^2]}$$

với:  $L_2 = L_2' + L_2''$  và  $R_2 = R_2' + R_2''$ .

Về nguyên tắc  $v_m = 0$  khi nòng sắt ở vị trí chính giữa cách đều đối với hai cuộn thứ cấp, đó là vị trí ban đầu  $x = 0$  và ta có  $M'(0) = M''(0)$ . Trong thực tế ở vị trí đó ta có  $v_m$  nhỏ nhất chứ không hoàn toàn bằng 0, có hai nguyên do:

□ Những họa tần tạo ra bởi đặc tính không tuyến tính của đường cong từ hóa lõi sắt.

□ Điện dung ghép giữa cuộn sơ và cuộn thứ.

**b) Đặc tính đo lường**

Độ nhạy:  $S = \frac{\Delta V_m}{\Delta x} = \frac{2\omega a E_1}{\sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2}}$ ;  $V_m$ : biên độ tín hiệu

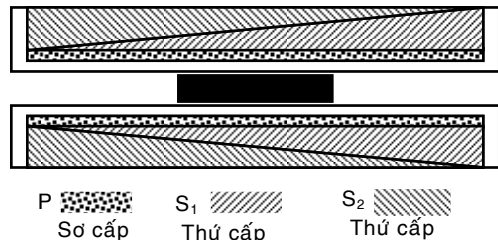
Đối với những tần số kích thích thấp ( $f < R_1/2\pi L_1$ ):  $S = 2\omega a E_1/R_1$

Độ nhạy trong trường hợp này tỉ lệ với tần số của nguồn sơ cấp, nó có thể bị dao động với những thay đổi nhiệt của  $R_1$ , tuy nhiên điều này có thể bù trừ bằng cách đặt nối tiếp với  $R_1$  một điện trở  $r_1$  mà những thay đổi do nhiệt ngược với  $R_1$  hoặc cung cấp cho sơ cấp một nguồn dòng.

Đối với những tần số kích thích cao ( $f > R_1/2\pi L_1$ ):  $S = 2a E_1/L_1$

Độ nhạy  $f$  độc lập với tần số cung cấp và ảnh hưởng nhiệt được xem như thu nhỏ, độ nhạy tỉ lệ với biên độ của điện áp sơ cấp nhưng sự đốt nóng của cuộn sơ và sự bão hòa của mạch từ không cho phép gia tăng  $E_1$  quá một giá trị giới hạn được nhà chế tạo chỉ rõ. Khi cuộn dây sơ cấp được bố trí xen giữa hai cuộn dây thứ cấp dẫn đến một số bất lợi:

□ Ở phía ngoài cuộn dây sơ cấp, một từ trường hoàn toàn không



**Hình 6.10:** Cách bố trí ba cuộn dây trên lõi thép tuyến tính và ở gia tăng khoảng 10

giống nhau dọc theo trục, điều này dẫn đến một sự không tuyến tính.

□ Một sự giới hạn khoảng đo của sự dịch chuyển nòng sắt, từ tâm đi đến một trong hai cuộn dây thứ cấp. Những điều bất lợi này có thể được khắc phục bằng sự bố trí ba cuộn dây chồng lên nhau (H.6.10).

*Một vài đặc tính của biến áp vi sai:*

Khoảng đo: Dịch chuyển thẳng:  $\pm 1\text{mm}$  đến  $\pm 500\text{mm}$

Dịch chuyển góc:  $\pm 45^\circ$

Độ nhạy: Dịch chuyển thẳng: 1 đến  $500\text{mV}/1\text{V}/\text{mm}$

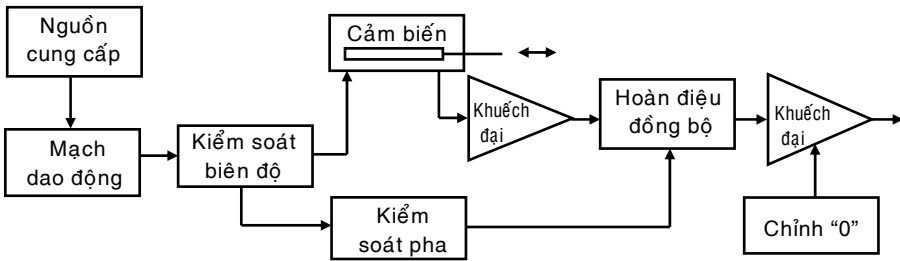
Dịch chuyển góc: 1 đến  $10\text{mV}/1\text{V}/1^\circ$

Độ tinh: Lỗi di động từ 0.5gam đến vài chục gam.

Điện áp cung cấp từ 1 đến 50V hiệu dụng.

Tần số cung cấp: 50Hz đến 25.000Hz.

c) **Mạch đo:** sự kích cuộn sơ được cung cấp từ một mạch dao động mà tần số và biên độ rất vững.

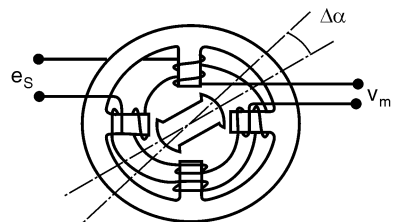


Tín hiệu từ cảm biến được khuếch đại và chỉnh lưu, tín hiệu có pha phụ thuộc vào chiều chuyển động. Sơ đồ khối mạch đo như hình trên.

#### 4- Microsyn

Đó là loại máy điện nhỏ, gồm có stator bốn cực và rotor bằng vật liệu sắt từ. Trên bốn cực của stator có hai cuộn dây sơ và thứ, trên rotor không có quấn dây và giữ nhiệm vụ biến đổi.

Những cuộn dây sơ cấp mắc nối tiếp được cung cấp bởi điện áp sin vào khoảng vài chục vôn tối đa và tần số dưới 10kHz. Từ thông cảm ứng trong mỗi cuộn dây thứ cấp một sức điện động có dạng:



**Hình 6.11:** Nguyên tắc cấu tạo Microsyn

$$e_j = -d\Phi_j/dt = \omega\Phi_j \sin\omega t; \quad (\Phi_j = \Phi_j \sin\omega t)$$

Những cuộn dây thứ cấp mắc nối tiếp sao cho sức điện động  $e_1$  và  $e_3$  xung đối với  $e_2$  và  $e_4$ , lúc đó điện áp ở thứ cấp:

$$v_m = e_1 + e_3 - e_2 - e_4$$

$$\Rightarrow v_m = \omega (\Phi_1 + \Phi_3 - \Phi_2 - \Phi_4) \sin \omega t$$

Vị trí góc quay của rotor ấn định từ trở của mạch từ và như thế ấn định từ thông cực đại trong những cuộn dây, khi rotor ở vị trí là trục đối xứng đối với hai cặp cực, những từ thông đi qua bốn cuộn dây thứ cấp bằng nhau, có giá trị  $\Phi_0$ , điện áp thứ cấp  $v_m = 0$ , đó là điểm 0 của cảm biến. Khi rotor quay quanh vị trí này, sẽ có một sự biến thiên từ trở và từ thông trong những cuộn dây thứ cấp:  $\Phi_i = \Phi_0 + \Delta\Phi_i$ .

Những sự biến thiên này bằng nhau trong những cuộn thứ cấp  $S_1$  và  $S_3$ ;  $S_2$  và  $S_4$ :  $\Delta\Phi_2 = \Delta\Phi_4 = \Delta\Phi'$ ,  $\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_3 = \Delta\Phi$ .

Sức điện động cảm ứng tổng cộng:  $v_m = 2\omega [\Delta\Phi - \Delta\Phi'] \sin \omega t$

Mặt khác những thay đổi  $\Delta\Phi$  và  $\Delta\Phi'$  trái dấu nhau, đối với góc quay  $\Delta\alpha$  bé, ta có thể viết:  $\Delta\Phi = a\Delta\alpha + b(\Delta\alpha)^2$ ;  $\Delta\Phi' = -a\Delta\alpha + b(\Delta\alpha)^2$

Cách mắc dây như thế chính là cách mắc push-pull. Điều này cho phép một sự bù trừ không tuyến tính đối với sự thay đổi của từ thông:

$$v_m = 4a\omega\Delta\alpha \sin \omega t.$$

Như vậy độ lớn của điện áp thứ cấp trong giới hạn góc quay chung quanh trị giá 0 tỉ lệ với góc dịch chuyển  $\Delta\alpha$ .

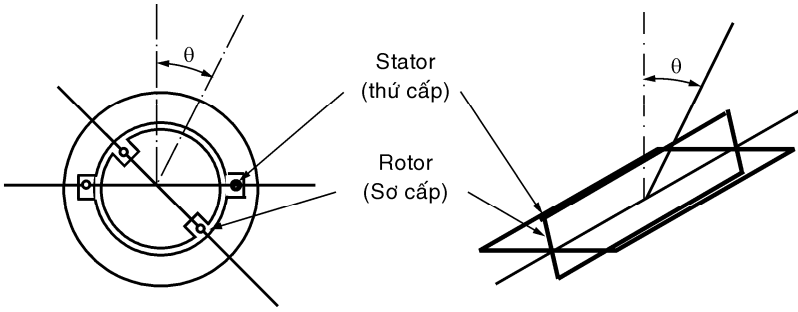
Đặc tính đo lường:

- Khoảng đo  $\pm 10^\circ$ .
- Độ nhạy: 0,1V đối với điện áp 1 vôn và góc lệch 1 độ.
- Khoảng cách tuyến tính: 0,5 đến 1% khoảng đo.

### 5- Biến trở điện cảm

Gồm có stator và rotor được cấu tạo bởi vật liệu sắt từ. Trên stator và rotor có bố trí một cuộn dây quấn như hình 6.12.

Rotor được nối với trục quay mà ta muốn biến đổi chuyển động đóng vai trò cuộn sơ cấp và được cung cấp bằng một nguồn dạng sin:  $E_1 \cos \omega t$ .



**Hình 6.12:** Nguyên tắc cấu tạo của cảm biến biến trở điện cảm

Dòng sơ cấp có dạng:  $I_1 \cos(\omega t + \psi)$ , tạo ra một từ thông thẳng góc với mặt phẳng cuộn dây sơ cấp.

Cuộn dây stator đóng vai trò cuộn dây thứ cấp có một từ thông xuyên qua sẽ phát sinh sức điện động ứng có độ lớn:  $E_2 = M(\theta)\omega I_1$ .

$M(\theta)$ : hệ số hõ cảm hai cuộn dây. Ta đặt:

$M(\theta) = M_0 \cos\theta$ ;  $\theta$ : Góc lệch giữa hai cuộn dây.

trong những điều kiện này:  $E_2 = M_0 \omega I_1 \cos\theta$

độ lớn  $E_2$  bằng 0 khi  $\theta = \pi/2$ , vị trí này ta xem như vị trí ban đầu của góc quay, ta có thể viết:  $E_2 = M_0 \omega I_1 \sin\alpha$ , ta đặt  $\theta = \alpha + \pi/2$ .

$$\Rightarrow E_2 = M_0 \omega I_1 \alpha, \text{ đối với } \alpha \text{ nhỏ}$$

Một sự bố trí thích hợp những cuộn dây cho phép nối rộng khoảng tuyến tính, với góc quay cực đại  $\alpha_M$  gần bằng  $\pi/2$ .

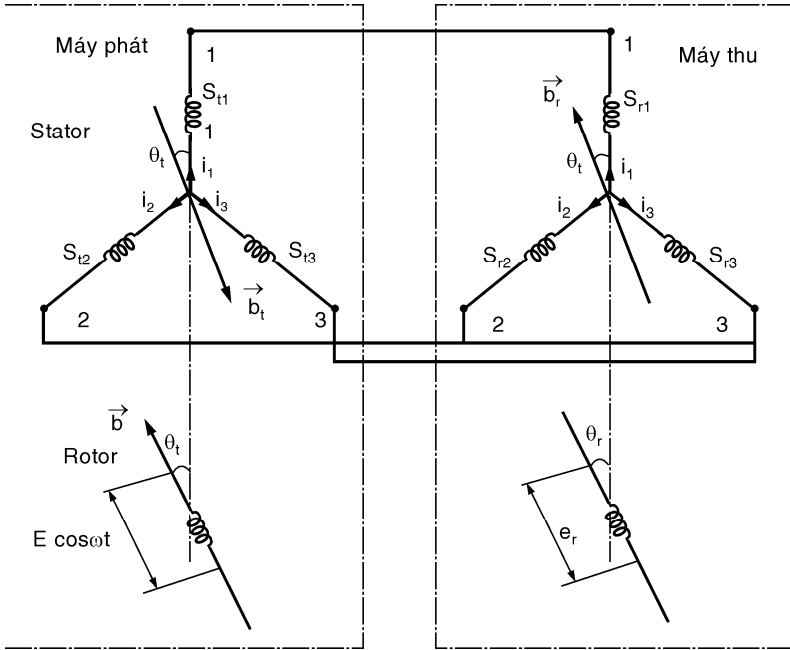
Khoảng đo:  $120^\circ$  đến  $180^\circ$ .

Độ nhạy: 0,5 đến 20mV đối với 1 vôn điện áp và góc lệch  $1^\circ$ .

Khoảng cách tuyến tính: 0,1 đến 0,5 % khoảng đo.

### 6- Synchronodetecteur (Sel Syn)

Đó là một tập hợp hai máy điện giống nhau: một máy truyền, một máy nhận. Mỗi máy gồm một rotor và một stator ba pha, ba cuộn dây được bố trí lệch nhau  $120^\circ$  và mắc theo Y. Những cuộn dây stator của máy truyền và nhận được nối với nhau như hình 6.13. Phần quay của máy truyền (*transmetteur*) được cung cấp bởi một điện áp:  $E \cos \omega t$ , sẽ tạo ra một từ trường  $\vec{b}$  mà từ thông đi qua các cuộn dây stator  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$  phát sinh sức điện động ứng  $e_{11}$ ,  $e_{12}$ ,  $e_{13}$ . Gọi  $\theta_1$  là góc lệch giữa rotor và cuộn dây stator  $S_{11}$ , những sức điện động cảm ứng trong  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ .



Hình 6.13: Nguyên tắc cấu tạo của synchrodetector

$$e_{t1} = \omega KE \cos \theta_t \cdot \cos(\omega t - \psi)$$

$$e_{t2} = \omega KE \cos(\theta_t + \frac{2\pi}{3}) \cos(\omega t - \psi)$$

$$e_{t3} = \omega KE \cos(\theta_t - \frac{2\pi}{3}) \cos(\omega t - \psi)$$

với  $K$  và  $\psi$  tùy thuộc đặc tính hình học và đặc tính điện của các cuộn dây. Những dòng điện  $i_1, i_2, i_3$  trong các cuộn  $S_{11}, S_{12}, S_{13}$  tạo nên từ trường  $\vec{b}_t$  ngược chiều với  $\vec{b}$ .

Những dòng điện này sẽ chạy trong các cuộn dây stator của máy nhận (récepteur)  $S_{r1}, S_{r2}, S_{r3}$ , có chiều ngược với dòng điện chạy trong máy truyền và tạo ra từ trường  $\vec{b}_r$  ngược chiều với  $\vec{b}_t$  như vậy cùng chiều với  $\vec{b}$ . Gọi góc lệch giữa rotor của máy nhận và cuộn dây stator  $S_{r1}$  là  $\theta_r$ . Từ thông cảm ứng trong rotor tỉ lệ với  $\cos(\theta_t - \theta_r)$ , như vậy sức điện động ứng với hai đầu rotor, có mạch số  $\omega$ , và độ lớn:

$$E_r = K' \cdot E \cos(\theta_t - \theta_r)$$

$K'$  đối với một máy cho trước tùy thuộc vào cách thực hiện và  $\omega$ .

Trường hợp khi:  $\theta_r = \pi/2$ ;  $E_r = K' \cdot E \sin \theta_t$

Với  $\theta_t$  gần bằng 0:  $E_r = K' E \theta_t$

*Những đặc tính đo lường*

Khoảng đo  $360^\circ$ , độ nhạy (ở gần điểm 0) từ  $10mV$  đến  $100mV$  đối với  $1V$  điện áp và góc lệch  $1^\circ$ . Synchrodetecteur được dùng trong những thiết bị đo vị trí góc lệch, nó tạo nên một điện áp có độ lớn  $E_r$  phụ thuộc khoảng cách giữa vị trí trục muốn đo được nối với máy truyền và vị trí cố định chọn trước của phần quay máy nhận.

### 6.1.3 Cảm biến điện dung

#### 1- Nguyên lý và đặc tính tổng quát

Đây là những tụ điện dạng phẳng hoặc dạng trụ mà một trong những bản cực di động dẫn đến một sự thay đổi điện dung. Không kể đến hiệu ứng phụ, ta có:

□ Đối với tụ phẳng:  $C = \epsilon_r \epsilon_0 A/D$

$\epsilon_r$ : hằng số điện môi của môi trường giữa hai bản cực, A và D là tiết diện và khoảng cách giữa hai bản cực.

□ Đối với tụ điện trụ:  $C = \frac{2\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\text{Log } r_2/r_1}$

$l$  - độ nằm sâu của hình trụ bán kính  $r_1$  trong hình trụ bán kính  $r_2$ .

Trong hệ thống đơn vị MKSA:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ .

Sự dịch chuyển của bản cực di động có thể được thực hiện:

*Trường hợp tụ điện phẳng:*

Sự dịch chuyển trong một mặt phẳng song song với bản cực cố định: A thay đổi, D cố định.

Sự dịch chuyển trong mặt phẳng thẳng góc với bản cực cố định: D thay đổi, A cố định.

*Trường hợp tụ điện trụ: l thay đổi dọc theo trục.*

Những cảm biến điện dung cần được lưu ý bởi cấu tạo đơn giản của nó, cho phép thực hiện cảm biến chắc chắn và tinh. Điện môi thường dùng là không khí. Tùy theo mạch biến đổi đi kèm với cảm biến, tín hiệu có thể hoạt động tuyến tính đối với:

- Sự thay đổi điện dung  $\Delta C$ .
- Hay sự thay đổi tổng trở  $\Delta Z$ .
- Hoặc sự thay đổi tương đối  $\Delta Z/Z$ ; ( $\Delta Z/Z = -\Delta C/C$ ).

Để việc sử dụng thiết bị đo thích hợp nhất, cần phải xác định mỗi loại cảm biến điện dung những độ nhạy khác nhau đối với độ dịch chuyển  $x$ .

- Độ nhạy điện dung:  $S_C = \Delta C/\Delta x$
- Độ nhạy tổng trở:  $S_Z = \Delta Z/\Delta x$
- Độ nhạy tương đối:  $S_r = \frac{1}{C} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} = -\frac{1}{Z} \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta x}$

Như vậy nếu độ nhạy  $S_C$  của điện dung là hằng số, ta chọn trước mạch biến đổi mà điện áp ra  $v_m$  thay đổi theo  $\Delta C$ :

$$v_m = K \cdot \Delta C = K S_C \cdot \Delta x$$

$K$ : hằng số đặc trưng cho mạch biến đổi được dùng, ngược lại nếu  $S_Z$  là hằng số ta chọn cách mắc sao cho:  $v_m = K \Delta Z = K S_Z \Delta x$ ,

Trong mỗi trường hợp, tín hiệu thu được tỉ lệ với độ dịch chuyển  $\Delta x$ .

**2- Tụ điện có tiết diện thay đổi**

**a) Tụ điện đơn**

Đó là tụ điện phẳng với bản cực di động xoay tròn hay tụ điện dạng trụ có bản cực di chuyển dọc trục như hình 6.14. Trong cả hai trường hợp, điện dung thay đổi tuyến tính theo dịch chuyển  $x$ :  $C(x) = K \cdot x$

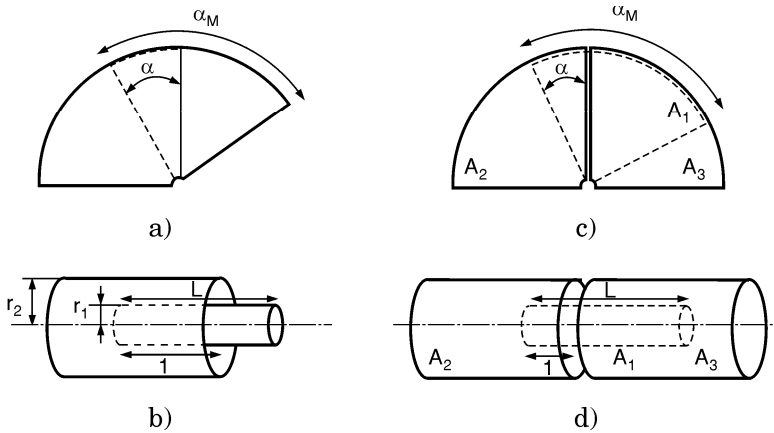
Đối với tụ điện xoay:  $K = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{360 \cdot D}$ ,  $x = \alpha$ : độ

Đối với tụ điện trụ:  $K = \frac{2\epsilon_0 \pi}{L \log(r_2 / r_1)}$ ,  $x = l$ : m

Độ nhạy  $S_C$  là hằng số:  $S_C = K$ ; Ngược lại tổng trở hoạt động không tuyến tính theo  $x$  và:  $S_Z = -\frac{1}{K\omega} \cdot \frac{1}{x^2}$ .

Độ nhạy tương đối  $S_r = 1/x$ . Độ nhạy  $S_Z$  và  $S_r$  rất lớn trong khi  $x$  nhỏ.

Ngay cả đối với sự dịch chuyển  $dx$ , sự không tuyến tính rất lớn. Việc sử dụng một tụ điện thứ hai hoạt động push-pull với cách mắc vi sai cho phép một sự bù trừ.



**Hình 6.14:** Nguyên lý cảm biến điện dung có tiết diện thay đổi

Tụ điện đơn: a) Xoay tròn; b) Dịch chuyển thẳng  
 Tụ điện kép: c) Xoay tròn; d) Dịch chuyển thẳng

**b) Tụ điện đôi vi sai**

Bản cực di động  $A_1$  di chuyển giữa hai bản cực cố định  $A_2$  và  $A_3$  tạo thành hai tụ điện mà điện dung của chúng là  $C_{21}$  và  $C_{31}$  thay đổi ngược dấu với nhau theo sự dịch chuyển  $x$  (H.6.14c,d). Vị trí được xem là gốc ban đầu của sự dịch chuyển  $x$  là của bản cực di động, tại đó hai bản cực cố định đối xứng, và như thế hai điện dung  $C_{21}$  và  $C_{31}$  bằng nhau. Với giá trị  $K$  và  $x$  được xác định trước, với sự dịch chuyển cực đại  $X$ , ta có:

$$C_{21} = K(X + x) = KX(1 + \frac{x}{X}) = C_o(1 + \frac{x}{X})$$

$$C_{31} = K(X - x) = KX(1 - \frac{x}{X}) = C_o(1 - \frac{x}{X})$$

Ta đặt  $KX = C_o$  với  $X = L/2$

$L$  - chiều dài của bản cực di động trong trường hợp tụ điện trụ.

$X = \alpha_M/2$ ,  $\alpha_M$  : góc tạo nên từ tâm của bản cực di động trong trường hợp tụ xoay.

Điều lợi của cách mắc vi sai hiện rõ trong tổ hợp điện dung  $C_{21}$  và  $C_{31}$ . Lý do: khi lưu ý rằng đối với một phương pháp đo tốt, những tỉ số phân áp sau đây hoạt động tuyến tính theo sự di chuyển:

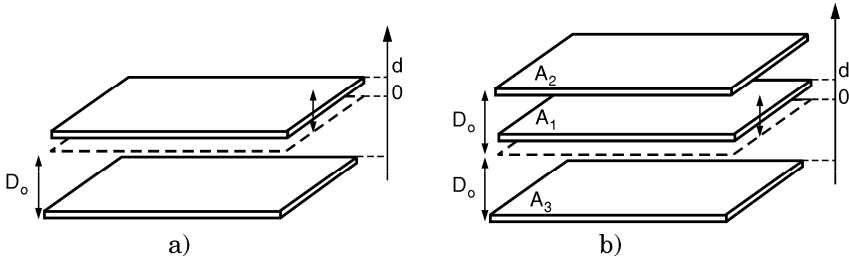


$$\frac{Z_{31}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{21}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{X}\right)$$

$$\frac{Z_{21}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{31}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{X}\right)$$

**3- Tụ điện có khoảng cách thay đổi (H.6.15)**

Đây là những tụ điện dùng để biến đổi sự dịch chuyển thẳng.



**Hình 6.15:** Nguyên lý của cảm biến điện dung có khoảng cách thay đổi  
 a) Tụ điện đơn, b) Tụ điện đôi vi sai.

**a) Tụ điện đơn:** ta gọi  $d$  là khoảng cách dịch chuyển với khoảng cách gốc  $D_0$ , ta có:

$$C(d) = \frac{\epsilon_0 A}{D_0 + d}; \quad S_C = -\frac{\epsilon_0 A}{(D_0 + d)^2}; \quad S_Z = \frac{1}{\epsilon_0 A \omega}; \quad S_r = -\frac{1}{D_0 + d}$$

Trong trường hợp này sự thay đổi của tổng trở thì tuyến tính theo sự dịch chuyển. Độ nhạy  $S_C$  và  $S_r$  lớn khi  $D_0$  nhỏ, chúng có thể xem như không đổi khi đo  $d \ll D_0$ . Độ nhạy  $S_C$  của tụ điện có khoảng cách thay đổi rất lớn so với độ nhạy  $S_C$  tụ điện có tiết diện thay đổi.

*Ví dụ:* Tụ điện được cấu tạo với những bản cực tiết diện vuông có cạnh là  $a$ , được đặt cạnh nhau với khoảng cách  $D_0 (D_0 \gg a)$ , ta có:

□ Đối với sự dịch chuyển song song với một trong hai cạnh  $S_{C(\parallel)} = \frac{\epsilon_0 a}{D_0}$ .

□ Đối với sự dịch chuyển nhỏ, thẳng góc với bản cực:

$$S_{C(\perp)} = \epsilon_0 a^2 / D_0^2 \quad \text{và} \quad S_{C(\perp)} / S_{C(\parallel)} = a / D_0 \ll 1$$

Ngược lại tụ điện có khoảng cách thay đổi chỉ có thể dùng để đo sự dịch chuyển nhỏ ( $< mm$ ), trong khi tụ điện có tiết diện thay đổi có khoảng đo tương đối lớn ( $> cm$ ).

**b) Tụ điện đôi vi sai:** Bản cực di động  $A_1$  dịch chuyển theo hướng thẳng góc với mặt phẳng của bản cực cố định  $A_2$  và  $A_3$ . Nếu gọi  $d$  là khoảng cách

dịch chuyển so với vị trí gốc ban đầu thì  $D_o$  là khoảng cách đối xứng của hai mặt phẳng, ta có:

$$C_{21} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o - d} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o} \frac{1}{1 - (d/D_o)} = C_o \frac{1}{1 - (d/D_o)}$$

$$C_{31} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o + d} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o} \frac{1}{1 + (d/D_o)} = C_o \frac{1}{1 + d/D_o}$$

Với:  $\varepsilon_o A/D_o = C_o$ .

Tương tự trong trường hợp tụ đôi có tiết diện thay đổi, tổ hợp này có đặc tính đáng chú ý là tỉ số phân áp tuyến tính theo sự dịch chuyển.

$$\frac{Z_{31}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{21}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{d}{D_o}\right); \quad \frac{Z_{21}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{31}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{D_o}\right)$$

#### 6.1.4 Cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu

Loại cảm biến này được đặc trưng bởi sự không có liên kết cơ khí giữa thiết bị đo và vật chuyển động, mà bằng sự liên kết của một trường có liên hệ với vị trí tương đối của vật chuyển động.

□ Trường cảm ứng từ đối với những cảm biến từ trở thay đổi, hiệu ứng Hall đối với vật liệu kháng từ.

□ Trường điện từ đối với những cảm biến loại dòng điện Foucault.

□ Trường tĩnh điện đối với những cảm biến điện dung.

*Những đặc tính của cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu là:*

□ Một băng thông rộng

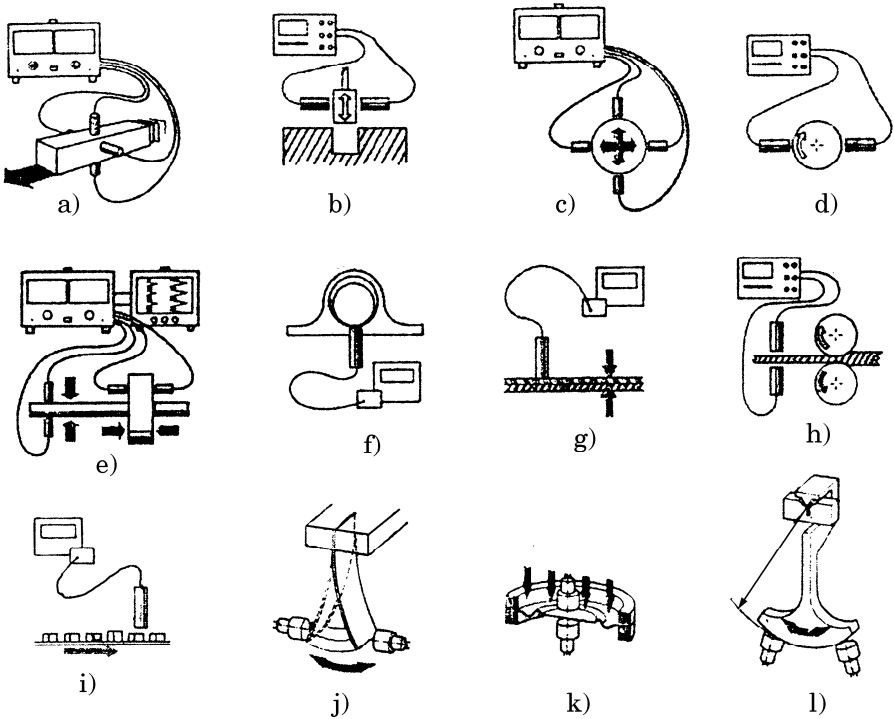
□ Độ tin cậy và độ tinh lớn.

*Những điều bất lợi:*

□ Khoảng đo thường nhỏ (khoảng mm)

□ Hoạt động không tuyến tính

□ Nhất là đối với một số cảm biến có đáp ứng phụ thuộc vào hình dáng, kích thước và vật liệu của đối tượng, điều này cần thiết cho sự lấy mẫu, được thực hiện trong những điều kiện riêng biệt khi sử dụng.

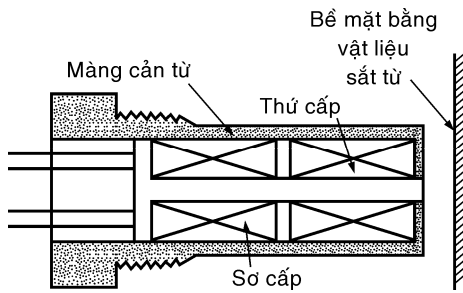


**Hình 6.16:** Những ứng dụng cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu:

- a) Vị trí; b) Dịch chuyển thẳng; c) Dịch chuyển theo hai trục;
- d) Đường kính; e) Dịch chuyển dọc và ngang; g) Bề dày cách điện trên kim loại; h) Đường kính kim loại; i) Kiểm tra kích thước v.v...

**1- Cảm biến từ trở thay đổi (H.6.17)**

Đó là một biến áp mà mạch từ bao gồm vật chuyển động cần đo. Vật chuyển động phải là vật liệu sắt từ, hoặc ít nhất mang một bề mặt bằng vật liệu sắt từ. Khoảng cách giữa đối tượng mà ta muốn đo với đầu cảm biến, đóng vai trò khe hở không khí xác định từ trở của mạch từ và như thế xác định từ thông, điện áp cuộn thứ cấp có dạng không tuyến tính khi cuộn sơ cấp được cung cấp:



**Hình 6.17:** Cảm biến từ trở trôi

$$V_m = V_{m_0} \frac{1}{(1 + ax)^2}$$

với:  $x$  - khoảng cách giữa đối tượng và cảm biến

$V_{m_0}$  - phụ thuộc vào độ từ thẩm, dạng hình học và kích thước của đối tượng.

Tín hiệu thu được có thể tuyến tính hóa đối với những dịch chuyển  $d$  bé chung quanh một khoảng cách  $D_0$  cho trước bằng cách bố trí hai cảm biến hoạt động push-pull. Hai cuộn dây sơ cấp được mắc nối tiếp hoặc song song, hai cuộn dây thứ cấp xuất hiện các điện áp  $V_{m1}$  và  $V_{m2}$  được mắc xung đối, điện áp đo được:

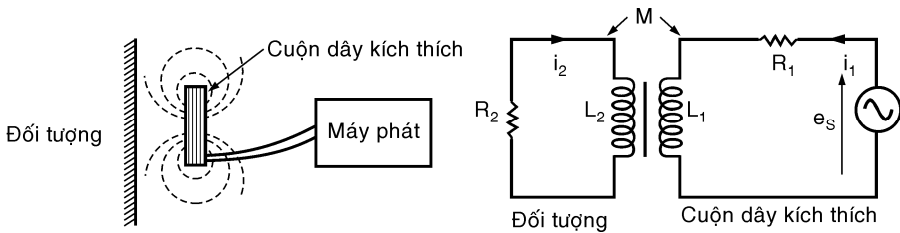
$$V_m = V_{m2} - V_{m1}$$

với: 
$$V_{m1} = V_{m_0} \frac{1}{[1 + a(D_0 + d)]^2}; \quad V_{m2} = V_{m_0} \frac{1}{[1 + a(D_0 - d)]^2}$$

Nếu: 
$$\left[\frac{ad}{1 + aD_0}\right]^2 \ll 1 \Rightarrow V_m = V_m(D_0) \frac{4ad}{1 + aD_0}$$

**2- Cảm biến dòng điện Foucault (H.6.18)**

Phần tử chính của cảm biến là một cuộn dây được cung cấp dòng điện tần số cao, nó sẽ tạo ra một từ trường thay đổi chung quanh cuộn dây. Một vật kim loại nằm trong vùng từ trường này sẽ xảy ra hiệu ứng dòng điện Foucault. Theo định luật Lenz, dòng điện này có chiều chống lại nguyên nhân tạo nên nó, tạo nên một từ thông ngược lại với từ thông của cuộn dây, điều này dẫn đến làm giảm hệ số tự cảm của cuộn dây.



**Hình.6.18:** Cảm biến dòng điện Foucault và mạch tương đương

Cảm biến từ trở thay đổi chỉ dùng với những đối tượng vật liệu sắt từ, cảm biến dòng điện Foucault được dùng cả những vật là kim loại. Tuy nhiên đáp ứng không chỉ phụ thuộc vào khoảng cách đối tượng, mà còn phụ thuộc đặc tính điện (điện trở suất, độ từ thẩm) và những đặc tính hình học (dạng và kích thước). Đối tượng và cảm biến thường đặt trong môi trường không khí, việc lắp đặt có thể bố trí trong môi trường cách điện, điều này cho phép tổn

hao ít đối với tần số dòng điện hoạt động. Lý thuyết đơn giản về hoạt động của loại cảm biến này được xây dựng dựa trên việc xem đối tượng kim loại như một mạch điện có hồ cảm  $M$  với cuộn dây. Ta có:

$$Z_1 = R_1 + jL_1\omega: \text{ tổng trở cuộn dây}$$

$$Z_2 = R_2 + jL_2\omega: \text{ tổng trở tương đương của đối tượng}$$

$$M = K\sqrt{L_1L_2}: \text{ hệ số hồ cảm}$$

$K$ : hệ số ghép giữa cuộn dây và đối tượng, phụ thuộc vào vị trí của đối tượng.

Ta có phương trình:

$$\text{Sơ cấp: } (R_1 + jL_1\omega) i_1 + jM\omega i_2 = e_1$$

$$\text{Thứ cấp: } (R_2 + jL_2\omega) i_2 + jM\omega i_1 = 0$$

$$\text{Rút gọn: } \left[ R_1 + \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} R_2 + j\omega(L_1 - \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} L_2) \right] i_1 = e_1$$

Khi cuộn dây được cung cấp, tổng trở cuộn dây sơ cấp đã được biến đổi do ghép thêm với cuộn thứ cấp.

□ Điện trở cuộn dây sơ cấp gia tăng:

$$R_{1eq} = R_1 + \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} R_2$$

□ Điện cảm cuộn dây giảm:

$$L_{1eq} = L_1 - \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} L_2$$

Trong trường hợp đối tượng là vật dẫn điện tốt:

$$R_2 \gg L_2\omega \Rightarrow \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} \approx K^2 \frac{L_1}{L_2}$$

Và tổng trở tương đương cuộn dây sơ cấp rút gọn:

$$R_{1eq} = R_1 + K^2 \frac{L_1}{L_2} R_2; \quad L_{1eq} = L_1(1 - K^2)$$

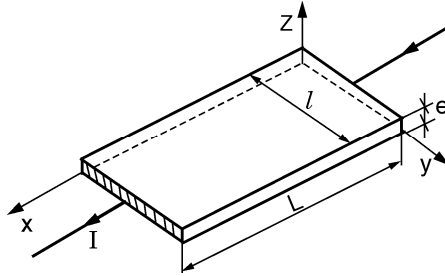
### 3- Cảm biến hiệu ứng Hall

Hiệu ứng Hall được đặc trưng bởi sự xuất hiện điện áp  $V_H$  thẳng góc với dòng điện chạy trong vật dẫn đặt trong vùng từ trường  $B$ , độ lớn  $V_H$  phụ thuộc phương và độ lớn của  $B$ . Hiệu ứng Hall là kết quả của lực Laplace tác động trên điện tích di chuyển. Cảm biến hiệu ứng Hall gồm:

□ *Phần đầu dò*: là một thanh mỏng, thường là chất bán dẫn có dòng điện

chạy qua, và ở hai đầu của thanh ta đo  $V_H$ .

□ *Một nam châm*: tạo từ trường  $B$ , độ lớn của từ trường trong vùng đặt đầu dò phụ thuộc vào vị trí của nam châm.



**Hình 6.19:** Nguyên lý đầu dò hiệu ứng Hall

Một trong hai phần tử (đầu dò hoặc nam châm) cố định và ngược lại. Thường đầu dò cố định, trong trường hợp này khối lượng nam châm tương đối nhỏ, điều này dẫn đến hạn chế phạm vi đo lường. Điều lợi của cảm biến là cho phép xác định vị trí và độ dịch chuyển xuyên qua một hành lang bằng vật liệu không phải bằng sắt từ ngăn cách đầu dò và nam châm.

#### a) Hiệu ứng Hall

Ta xem một thanh dẫn mỏng hình chữ nhật (chiều dài  $L$ , chiều rộng  $l$ , chiều dày  $e$ ), một điện áp  $V$  cung cấp tạo ra một dòng điện  $I$  có chiều dọc theo chiều dài như hình 6.19. Sự dẫn điện được xem như do các âm điện tử có mật độ  $n$ , độ linh động  $\mu$ , ta có:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{vô} \hat{u} \quad R = \rho \frac{L}{el} \quad \rho = \frac{1}{q\mu n}, \quad q = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$$

$V = E_X L$ .  $E_X$ : cường độ điện trường dọc theo chiều dài.

$$\Rightarrow I = q \mu n E_X el$$

Thanh dẫn đặt trong vùng từ trường  $\vec{B}$ , lực Laplace  $F_L$  tác động lên một âm điện tử vận tốc  $V$ :

$$\vec{F}_L = -q\vec{V} \wedge \vec{B}, \quad \text{vô} \hat{u}: \quad \vec{V} = -\mu \vec{E}_X$$

Lực này có chiều theo trục y tăng dần và có giá trị:

$$F_L = q \mu E_X B_N$$

với  $B_N$  là thành phần của  $\vec{B}$  thẳng góc với mặt phẳng thanh dẫn.

Dưới tác dụng của lực  $F_L$  các âm điện tử tích tụ tại bề mặt cạnh trục Oy theo chiều tăng, điều này tạo nên bề mặt đối diện một điện tích có độ lớn bằng nó nhưng khác dấu. Các điện tích này tạo nên một điện trường  $E_y$  song song với Oy, và tác động lên âm điện tử một lực  $F_y = -qE_y$ .

Vật liệu	Điện trở suất ở 25°C (ohm.m)	Hiệu suất Hall ở 25°C (m <sup>3</sup> .C <sup>-1</sup> )
GaAs	$2 \times 10^{-3}$	$-1,7 \times 10^{-3}$
	$4,5 \times 10^{-5}$	$-1,5 \times 10^{-5}$
InAs	$10^{-3}$	$-3,7 \times 10^{-3}$
	$5 \times 10^{-5}$	$-1,1 \times 10^{-4}$
InSb	$5 \times 10^{-5}$	$-3,8 \times 10^{-4}$
	$6 \times 10^{-6}$	$-1,9 \times 10^{-5}$

Trạng thái cân bằng được xác lập khi hai lực bằng nhau.

$$E_y = \mu E_X B_N$$

Điện áp  $V_H$  phụ thuộc vào  $E_y$  và bề rộng  $l$ .

$$V_H = -E_y l = -\mu E_X B_N l = -\frac{I}{qn} \frac{B_N}{e} = K_H \frac{I B_N}{e}$$

$$K_H = -\frac{1}{qn} : \text{hằng số Hall}$$

*Ví dụ:* Một thanh dẫn bằng antimonium-indium, điện trở suất  $5 \times 10^{-5} \Omega m$ , dày 0,1mm, dòng điện chạy qua 1mA, đặt trong từ trường thường trực là 1T. Điện áp Hall là 3,8mV.

**b) Cách thực hiện**

Độ nhạy cảm biến:  $S_{B_N} = \Delta V_H / \Delta B_N = K_H I / e$

Độ nhạy cảm biến  $S_{B_N}$  phụ thuộc vào dòng  $I$  và cách thực hiện cảm biến, bề dày  $e$  và vật liệu:  $K_H$ .

Khi cảm biến dùng để biến đổi vị trí, hoặc sự dịch chuyển, nam châm tạo ra từ trường đóng vai trò chi tiết thử nghiệm là thực hiện việc đo sơ cấp. Vị trí hoặc sự dịch chuyển được biến đổi thành đại lượng  $B_N$  nhạy đối với cảm biến. Độ nhạy vị trí:

*Định luật Hooke:* Trong phạm vi đàn hồi, sự biến dạng tỉ lệ với lực ép.

*Độ lớn Young Y:* Xác định sự biến dạng theo chiều của lực nén.

$$\epsilon_{//} = \frac{1}{Y} \cdot \frac{F}{S} = \frac{1}{Y} \sigma . \text{ Đơn vị tính: } kGf/mm^2 .$$

thép: 18 000 ÷ 29 000; đồng: 9900 ÷ 14000; chì: 500 ÷ 1800

*Hệ số Poisson  $\gamma$ :* Xác định sự biến dạng thẳng góc với lực nén:

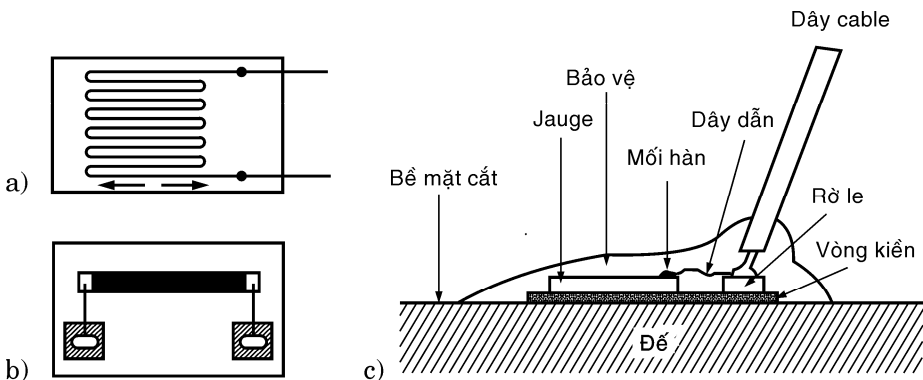
$$\epsilon_{\perp} = -\gamma \epsilon_{//}$$

Trong phạm vi đàn hồi thông thường  $\gamma \approx 0,3$ .

### 6.2.2 Nguyên lý tổng quát

Các điện trở biến dạng là những cảm biến thụ động, nó biến đổi sự biến dạng của chính nó thành sự thay đổi giá trị điện trở, sự biến dạng này chính bằng sự biến dạng của cấu trúc lắp đặt điện trở biến dạng. Phạm vi biến dạng có thể được đo với độ chính xác đạt 0,1% trong phạm vi đo  $\pm 10^{-5}$  đến  $\pm 2 \times 10^{-1}$ .

Thông thường điện trở jauge được cấu tạo dưới dạng hình lưới, gồm dây dẫn có điện trở suất  $\rho$ , tiết diện  $S$  và chiều dài  $nl$ ;  $l$ : chiều dài một cọng và  $n$  là số cọng,  $n$  thông thường từ 10 ÷ 20 đối với những điện trở kim loại và là 1 đối với điện trở bán dẫn.



**Hình 6.20:** Điện trở jauge: a) Kim loại; b) Bán dẫn

Dây dẫn được đặt trên một giá đỡ cách điện bằng giấy hoặc bằng nhựa, tất cả được đặt trên cấu trúc cần đo sự biến dạng. Kết quả điện trở jauge chịu sự biến dạng giống như cấu trúc theo phương song song với cọng dây dẫn, tức độ biến dạng  $\Delta l/l$ .

Điện trở Jauge được diễn tả:  $R = \rho n(l/S)$



Dưới ảnh hưởng sự biến dạng, điện trở jauge thay đổi  $\Delta R$ :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

Sự biến dạng theo chiều dài của dây, dẫn đến sự thay đổi kích thước ngang là các cạnh  $a$  và  $b$  đối với tiết diện chữ nhật, sự thay đổi đường kính  $d$  đối với tiết diện tròn, sự biến dạng ngang tỉ lệ với sự biến dạng dài.

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta d}{d} = -\gamma \frac{\Delta l}{l}$$

với  $\nu$ : hệ số Poisson,  $\nu \approx 0,3$  trong vùng biến dạng đàn hồi.

$$\text{Kết quả: nếu } S = a.b \text{ hay } s = \frac{\pi}{4} d^2, \text{ thì: } \frac{\Delta S}{S} = -2\nu \frac{\Delta l}{l}$$

Những điện trở jauge kim loại và bán dẫn được phân biệt bởi biểu thức diễn tả sự thay đổi điện trở suất  $\Delta \rho / \rho$ . Đối với điện trở kim loại, công thức Bridgman cho ta biết sự liên hệ giữa điện trở suất và sự thay đổi thể tích  $V$ :  $\Delta \rho / \rho = C \cdot \Delta V / V$ ;  $C$ : hằng số Bridgman.

với:  $V = s \cdot l$ ;  $\Delta V / V = (1 - 2\gamma) \Delta l / l$

và:  $\frac{\Delta \rho}{\rho} = C(1 - 2\gamma) \frac{\Delta l}{l}$ ; đơn giản:  $\frac{\Delta R}{R} = [(1 + 2\gamma) + C(1 - 2\gamma)] \frac{\Delta l}{l} = K \frac{\Delta l}{l}$

$K$ : hệ số Jauge  $= (1 + 2\gamma) + C(1 - 2\gamma)$ .

Với giá trị biết trước ( $\gamma \approx 0,3$ ;  $C \approx 1$ ), hệ số  $K$  của điện trở jauge kim loại thông thường là 2. Với điện trở jauge bán dẫn, sự thay đổi điện trở suất được diễn tả bởi biểu thức lực ép sigma và hệ số áp điện trở  $\pi$ :  $\Delta \rho / \rho = \pi \sigma = \pi Y \Delta l / l$ ;  $Y$ : độ lớn Young.

*Hệ số áp điện trở  $\pi$  tùy thuộc*: phương của cộng điện trở so với phương của trục tinh thể và phương của lực nén.

Loại bán dẫn  $P$  hay  $N$ .

Đối với điện trở jauge bán dẫn:

$$\frac{\Delta R}{R} = [(1 + 2\gamma) + \pi Y] \frac{\Delta l}{l} \text{ với } K = 1 + 2\gamma + \pi Y$$

Trong điều kiện sử dụng bình thường người ta lấy  $K = \pi Y$

### 6.2.3 Điện trở kim loại

Điện trở suất của hầu hết kim loại giảm khi áp suất gia tăng. Thật vậy khi giảm thể tích, khoảng cách giữa các nguyên tử giảm điều này dẫn đến giảm  $\rho$ . Vì điện trở suất của kim loại phụ thuộc vào sự khuếch tán của âm

điện tử trong mạng tinh thể, khả năng khuếch tán gia tăng theo độ lớn của dao động nguyên tử trong mạng tinh thể. Khi thể tích tinh thể thu nhỏ, lực liên kết các nguyên tử gia tăng, kết quả dao động giảm đi và khả năng khuếch tán âm điện tử giảm đi, nghĩa là điện trở suất giảm. Vật liệu thường dùng là hợp kim nickel.

Hợp kim	Thành phần	Hệ số Jauge
Constantan	45% Ni, 55% Cu	2,1
Isoelastic	52% Fe, 36% Ni, 8% Cr, 4% (Mn, Mo)	3,5
Karma	74% Ni, 20% Cr, 3% Cu, 3% Fe	2,1
Nichrome V	80% Ni, 20% Cr	2,5
Platine – tungstène	92% Pt, 8% W	4,1

### 6.2.4 Điện trở bán dẫn

Lý thuyết các vùng thung lũng cho phép giải thích hiệu ứng áp điện trở đối với chất bán dẫn silicium loại *N*. Trong tinh thể silicium *N* dọc theo mỗi trục tinh thể có một mức năng lượng cực tiểu đó là vùng thung lũng. Vì lý do đối xứng, ba vùng thung lũng giống nhau và có cùng mật độ điện tử giống nhau. Trong mỗi vùng, độ linh động  $\mu_{//}$  của âm điện tử dọc theo trục thì cực tiểu, ngược lại theo hai phương thẳng góc độ linh động  $\mu_{\perp}$  thì cực đại.

Độ dẫn điện theo một trục bất kỳ:  $\sigma = qn(\mu_{//} + 2\mu_{\perp})$

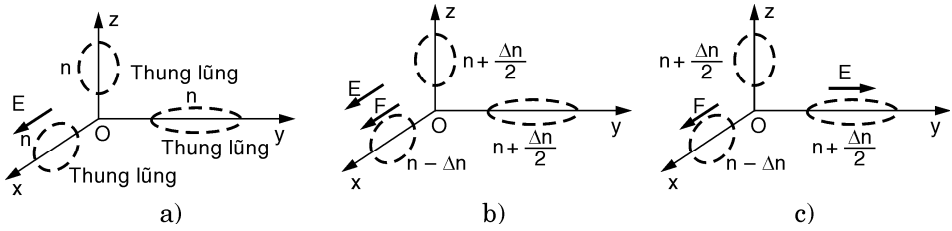
*n*: mật độ âm điện tử trong mỗi vùng thung lũng.

Khi có một lực nén tác động làm thay đổi kích thước hệ thống, kéo theo sự thay đổi mật độ điện tử thung lũng.

*Ví dụ*: Lực cắt dọc theo trục *Ox* sẽ tạo nên sự dịch chuyển  $\Delta n$  âm điện tử ở vùng thung lũng *x* di chuyển về vùng thung lũng *y* và *z*. Điều này dẫn đến 1 sự thay đổi độ dẫn điện. Khi điện trường *E* song song với lực nén (H.6.21b), sự thay đổi  $\Delta\sigma_1$  của độ dẫn điện (hiệu ứng dọc trục):

$$\Delta\sigma_1 = q(-\Delta n\mu_{//} + \Delta n\mu_{\perp}) = q\Delta n(\mu_{\perp} - \mu_{//})$$

và:  $\Delta\sigma_1 > 0$  vì  $\mu_{\perp} > \mu_{//}$



**Hình 6.21:** Sự phân bố điện tử theo lý thuyết vùng thung lũng trong tinh thể silicium N

- a) Không có lực nén;
- b) Lực nén song song với E
- c) Lực nén thẳng góc với E

Khi E thẳng góc với lực nén (H.6.21c), sự thay đổi  $\Delta\sigma_t$  của độ dẫn điện (hiệu ứng ngang):

$$\Delta\sigma_t = q \left( \frac{\Delta n}{2} \mu_{//} + \frac{\Delta n}{2} \mu_{\perp} - \Delta n \mu_{\perp} \right) = \frac{q}{2} \Delta n (\mu_{//} - \mu_{\perp}) = -\frac{1}{2} \Delta\sigma_l$$

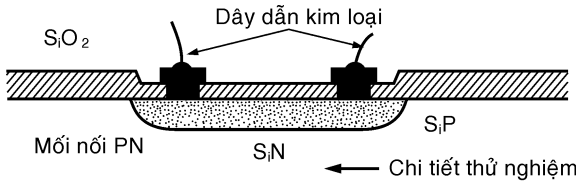
Dưới tác động của lực nén, sự di chuyển của âm điện tử theo hai phương:  $\Delta n/2$  âm điện tử đến vùng y và  $\Delta n/2$  đến vùng z.

Khi đó ta có hiệu ứng dọc:  $\Delta\sigma_l = q\Delta n(\mu_{//} - \mu_{\perp})$

Hiệu ứng ngang:  $\Delta\sigma_t = (q/2)\Delta n(\mu_{\perp} - \mu_{//})$

Có hai loại điện trở jauge bán dẫn khác nhau là kết quả của hai cách chế tạo. Điện trở jauge dạng cắt cơ khí và điện trở jauge khuếch tán.

*Điện trở jauge dạng cắt cơ khí:* Có dạng một cộng duy nhất được hình thành nhờ việc cắt cơ khí trong một tinh thể bán dẫn silicium.



**Hình 6.22:** Cấu tạo điện trở jauge bán dẫn loại khuếch tán

Kích thước: chiều dài từ vài  $10^{-1}$  mm đến vài mm, dày vài  $10^{-2}$  mm.

Cộng điện trở được đặt trên một đế plastique.

*Điện trở jauge khuếch tán:* Có được do việc khuếch tán một chất khác vào một phần của chất nền là tinh thể silicium. Điện trở bán dẫn jauge loại N có được nhờ khuếch tán một chất thuộc nhóm 5 bảng phân loại tuần hoàn (P, Sb) vào trong chất nền là silicium P. Điện trở bán dẫn loại P là kết quả của sự

cản quang xen kẽ nhau sẽ đóng vai trò một cổng điều tiết nguồn sáng nhận được của một bộ phận phân tích quang. Như thế bộ phận phân tích quang sẽ tạo ra những tín hiệu dạng xung có tần số tỉ lệ với vận tốc. Loại tốc độ kế này gọi là tốc độ kế loại xung. Trong trường hợp những chuyển động rất chậm, ví dụ góc quay kém hơn  $\frac{1}{1}$  giờ, những phương pháp kể trên không thể áp dụng được, khi đó người ta có thể dùng hồi chuyển kế Laser, mà nguyên tắc dựa trên sự khác biệt bước sóng giữa hai sóng từ nguồn phát Laser truyền theo hai chiều ngược nhau trong cùng một môi trường chuyển động quay. Sự khác biệt bước sóng tỉ lệ với vận tốc góc quay và được thể hiện trong giao thoa kế.

### 6.3.1 Cảm biến đo tốc độ quay loại điện từ

#### 1- Tốc độ kế điện từ loại DC (H.6.23)

Phần đứng hay gọi là phần cảm được cấu tạo bằng vật liệu sắt từ mang 2p cực được hình thành do sự quấn dây trên cực từ hoặc phần cảm là nam châm thường trực. Phần quay hay phần ứng có cấu tạo dạng trụ, do các lá sắt ghép lại, phần ứng có mang những rãnh song song với trục của rotor, trong rãnh có đặt  $n = 2K$  dây dẫn, ở hai đầu dây dẫn được nối với cổ góp, cổ góp có dạng trụ cùng trục với rotor. Hai chổi than được bố trí tiếp xúc với cổ góp. Sức điện động thu được có dạng:  $E = (\omega/2\pi)n\Phi_o = Nn\Phi_o$ ,

$$\text{Một cách tổng quát: } E = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} n\Phi_o$$

trong đó:  $p$  - số đôi cực;  $\omega$  - vận tốc góc

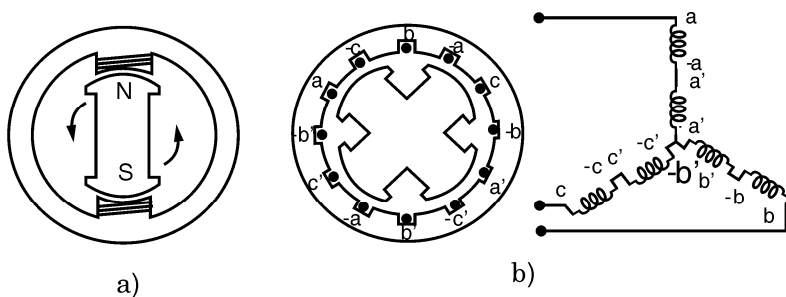
$a$  - số đường quấn song song;  $n$ : số dây dẫn

**2- Tốc độ kế điện từ loại AC:** Loại này có lợi là không có cổ góp, không có chổi than. Điều này dẫn đến bền hơn, không có giảm điện áp do chổi than, không có nhiễu do tia lửa điện. Ngược lại loại này mạch đo phức tạp hơn, sự xác định độ lớn tín hiệu thường phải chỉnh lưu tín hiệu thu được.

a) *Máy phát đồng bộ (H.6.24):* Đó là máy phát xoay chiều, loại nhỏ. Phần quay được nối với trục mà ta muốn đo tốc độ. Phần quay là một nam châm có hai hoặc nhiều cực. Phần ứng được quấn dây một pha hoặc ba pha. Sức điện động thu được ở stator có dạng:

$$e = E \sin \Omega t$$

với:  $E = K_1 \omega$ ;  $\Omega = K_2 \omega$ ;  $K_1, K_2$ : phụ thuộc vào cấu tạo máy.



**Hình 6.24:** Máy phát đồng bộ

a) Một pha hai cực; b) Ba pha bốn cực được nối hình sao

Ví dụ về đặc tính của tốc độ kế điện từ (hãng chế tạo Chauvin-Arnoux).

*Rotor:* Nam châm thường trực ba cặp cực.

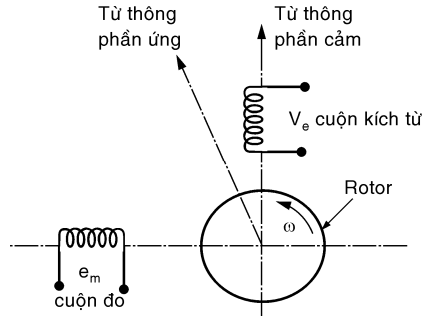
*Stator:* một pha.

*Loại 64:* Vận tốc cực đại: 3000v/phút. Điện áp  $24V \pm 1\%$ , 50Hz ở 1000v/phút.

*Loại 64 GV:* Vận tốc cực đại ở 6000v/phút. Điện áp  $24V \pm 1\%$ , 200Hz ở 4000v/phút.

b) *Máy phát không đồng bộ (H.6.25)*

Cấu tạo giống như động cơ không đồng bộ loại một pha. Phần quay có dạng trụ bằng vật liệu kim loại không dẫn từ, được kéo với vận tốc góc  $\omega$  cần đo, rotor có khối lượng nhỏ để giảm quán tính.



**Hình 6.25:** Nguyên tắc máy phát không đồng bộ

Phần ứng được cấu tạo bằng tole silic ghép thành và mang hai cuộn dây được bố trí thẳng góc nhau, một cuộn dây kích từ được cung cấp tín hiệu  $V_e$ , có mạch số  $\omega_e$  rất vững:  $v_e = V_e \cos \omega_e t$

Một cuộn dây đo, nơi đây sẽ thu được một sức điện động  $e_m$ , có biên độ tỉ lệ với  $\omega$ :  $e_m = E_m \cos(\omega_e t + \Phi) = K \omega \cdot V_e \cos(\omega_e t + \Phi)$

$K$  - hằng số phụ thuộc vào cấu tạo của máy.

Góc lệch pha  $\Phi$  thay đổi khoảng vài độ trong phạm vi vận tốc đo. Khi rotor không quay, sẽ xuất hiện một điện áp bé ở hai đầu cuộn dây đo. Hiện tượng này là do công nghệ chế tạo không hoàn toàn đối xứng: sự không đối xứng của rotor hoặc sự bố trí hai cuộn dây không hoàn toàn thẳng góc. Sau đây là vài đặc tính đo lường:

*Phạm vi đo:* 10 vòng/phút ÷  $2 \times 10^4$  vòng/phút

*Điện áp đo 1000 vòng/phút:* 1 ÷ 10 vôn

*Khoảng cách tuyến tính:* 0,1 ÷ 2% khoảng đo.

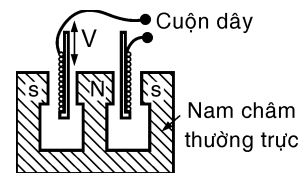
*Điện áp lệch:* 10 đến 100 mV

*Mômen quán tính của rotor:* vài  $g \cdot cm^2$

### 6.3.2 Tốc độ kế điện từ đo tốc độ thẳng

Trong trường hợp sự dịch chuyển thẳng tương đối lớn ( $> m$ ), việc đo vận tốc thẳng được qui về đo vận tốc góc. Ví dụ nhờ con lăn nhỏ vận tốc di chuyển thẳng của các tấm tole qua con lăn được biến đổi thành vận tốc di chuyển góc của con lăn tỉ lệ với vận tốc thẳng.

Đó là trường hợp vận tốc di chuyển



**Hình 6.26:** Cảm biến ño vận tốc thẳng đo vận tốc góc

thẳng của tấm tole đi qua máy cán được xác định nhờ vận tốc góc của rulô. Trường hợp vận tốc góc dịch chuyển bé, một cảm biến điện từ hình thành nhờ một nam châm và một cuộn dây, một trong hai thành phần này cố định, thành phần còn lại được nối liền với đối tượng di động cần xác định vận tốc, sức điện động thu được tỉ lệ với vận tốc dịch chuyển.

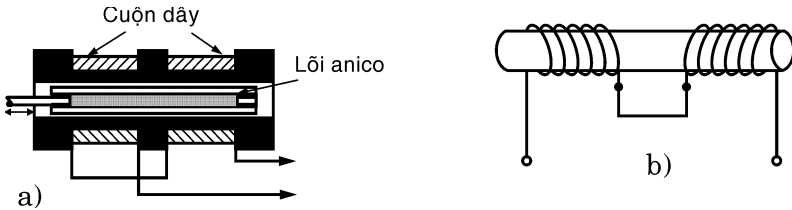
Trong trường hợp cuộn dây di chuyển trong vùng từ trường của nam châm, sức điện động thu được từ cuộn dây:

$$e = 2\pi r n BV = l BV$$

trong đó:  $r$  - bán kính cuộn dây;  $n$  - số vòng dây quấn cuộn dây

$V$  - vận tốc dịch chuyển;  $B$  - cảm ứng từ tạo bởi phần cảm.

Đối với sự dịch chuyển cực đại cỡ vài mm, độ nhạy cỡ vôn/m/giây và khoảng cách tuyến tính cỡ  $\pm 10\%$ .



**Hình 6.27:** Cảm biến loại nam châm di động  
a) Cấu tạo; b) Nối giữa các cuộn dây do

Đối với sự dịch chuyển tương đối lớn, có thể đạt tới 0,5m, lúc đó cảm biến được cấu tạo có nam châm di động.

Sức điện động ứng trong mỗi cuộn dây do do sự dịch chuyển của nam châm tỉ lệ với vận tốc dịch chuyển và có dấu ngược nhau, đó là lý do tại sao hai cuộn dây được mắc ngược chiều để có sức điện động khác không.

**6.3.3 Tốc độ kế loại tín hiệu xung**

Chi tiết thử nghiệm thường là một đĩa được gắn lên trục quay mà cần xác định vận tốc góc. Đĩa thường được cấu tạo có dạng tuần hoàn, trên đĩa thường được chia làm  $p$  phần bằng nhau, mỗi phần được đánh dấu mang một đặc tính như: lỗ, răng, v.v...

Một cảm biến phân tích được đặt đối diện với chi tiết thử nghiệm, phân tích số phần tử đánh dấu đi ngang qua đồng thời tạo ra một tín hiệu xung tương ứng. Tần số  $f$  của tín hiệu xung tạo bởi cảm biến có giá trị:

$$f = p N (Hz)$$

trong đó:  $N$  - số vòng quay của chi tiết thử nghiệm trong đơn vị thời gian

$p$  - số phần tử được đánh dấu trên đĩa.

Việc chọn cảm biến được gắn liền với loại vật liệu làm đĩa quay cũng như phần tử đánh dấu trên đĩa. Người ta sử dụng tùy theo trường hợp, hoặc một trong những cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu hoặc một cảm biến quang.

Cảm biến từ trở thay đổi đòi hỏi chi tiết thử nghiệm là một đĩa bằng vật liệu sắt từ, mà phần tử đánh dấu là thành phần mạch từ gián đoạn.

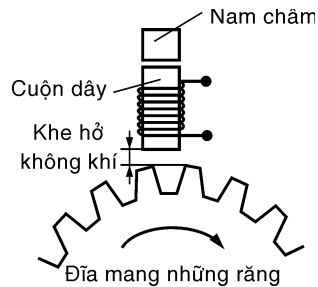
Cảm biến dòng điện Foucault rất nhạy đối với khoảng cách thay đổi của phần tử dẫn điện.

Cảm biến quang và nguồn chiếu sáng cho phép phân tích những phần tử đánh dấu cấu tạo bởi những lỗ, những khe.

*Điều lợi của tốc độ kế loại xung bao gồm:* một phần do cấu tạo đơn giản, chắc chắn, việc bảo quản dễ dàng. Mặt khác, nó không tạo nên tiếng ồn, nhiễu ký sinh, hơn nữa việc biến đổi thành dưới dạng số rất đơn giản.

#### a) Cảm biến từ trở thay đổi (H.6.28)

Cuộn dây phân tích có nòng sắt từ cho phép một từ thông xuyên qua nó, tạo ra từ một nam châm thường trực, cuộn dây được đặt đối diện với một đĩa (bằng vật liệu sắt từ). Sự di chuyển của thành phần mạch từ gián đoạn (do cấu tạo phần răng, lỗ), được mang bằng đĩa tạo nên một sự thay đổi tuần hoàn từ trở của mạch từ cuộn dây. Như thế trong cuộn dây sẽ có sức điện động cảm ứng mà tần số tỉ lệ với vận tốc quay.

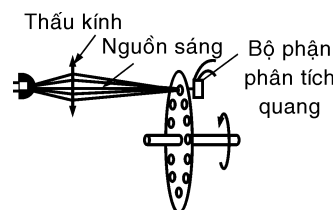


**Hình 6.28:** Nguyên tắc của tác động ñĩa kế loại từ trở thay

Độ lớn của sức điện động tùy thuộc vào khoảng cách giữa cuộn dây và đĩa, và giảm rất nhanh khi khoảng cách tăng, thông thường không vượt quá vài mm, sức điện động còn tỉ lệ với vận tốc quay. Đối với những vận tốc bé độ lớn của sức điện động thu được quá nhỏ và như thế ta gọi là *vùng chết* không thể đo được.

#### b) Tốc độ kế quang học

Cấu tạo đơn giản, gồm một nguồn sáng và một bộ phận phân tích quang:



**Hình 6.29:** Nguyên tắc của tác động ñĩa kế quang học



Loại Diod quang hoặc transistor quang. Đĩa quay được trang bị những phần trong suốt và ngăn sáng xen kẽ nhau. Đĩa được đặt giữa nguồn sáng và bộ phận phân tích quang.

Bộ phận phân tích quang nhận được một lượng sáng được điều khiển bằng đĩa quay, sẽ tạo ra một tín hiệu điện có tần số tỉ lệ với vận tốc quay, và biên độ độc lập đối với vận tốc. Khoảng đo vận tốc phụ thuộc:

- Số lần gián đoạn trên đĩa (số phần tử đánh dấu trên đĩa: lỗ, khe...).
- Bảng thông của bộ phận phân tích và mạch điện đi kèm.

**c) Cảm biến dòng điện Foucault:** Trong cảm biến này, đĩa quay bằng vật liệu không từ tính. Cuộn dây có điện cảm  $L$  là một phần tử của mạch dao động sin. Ta biết khi đưa một thanh kim loại đến gần cuộn dây thì đặc tính  $L$  và  $R$  của cuộn dây thay đổi, điều này dẫn đến sự tắt của mạch dao động. Như thế khi đĩa quay, mỗi lần đĩa đưa phần răng đến đối diện với cuộn dây sẽ làm tắt mạch dao động và điều này có thể phân tích được. Ví dụ bằng việc kiểm soát dòng cung cấp cho mạch dao động. Tín hiệu thu được có tần số tỉ lệ với vận tốc quay và biên độ của nó không phụ thuộc vào vận tốc này, nên không có *vùng chết* và thường dùng để đo những vận tốc quay bé.

### 6.3.4 Hồi chuyển kế (H.6.30)

Hồi chuyển kế là những thiết bị được gắn trên những phần tử chuyển động (như máy bay, hỏa tiễn), cho phép xác định vận tốc góc của chúng. Tùy theo nguyên lý hoạt động ta có các loại hồi chuyển kế:

*Hồi chuyển kế cơ khí:* hoạt động dựa trên nguyên tắc con vù quay.

*Hồi chuyển kế quang học:* loại laser và sợi quang dựa trên hiện tượng truyền sóng.

#### *Hồi chuyển kế loại quang*

*Nguyên tắc:* Khi sóng ánh sáng truyền trong môi trường chuyển động, quãng đường truyền sẽ không giống nhau mà phụ thuộc vào phương truyền cùng chiều, hay ngược chiều với chiều chuyển động.

*Ví dụ:* Có hai gương phẳng  $M_1$  và  $M_2$  đặt cách nhau  $L$ , giữa hai gương có sự truyền của sóng ánh sáng. Nếu hai gương đứng yên, quãng đường truyền của sóng theo chiều từ  $M_1 \rightarrow M_2$  là  $d_{12}$  và theo chiều từ  $M_2 \rightarrow M_1$  là  $d_{21}$ : Ta có  $d_{21} = d_{12} = L$ .

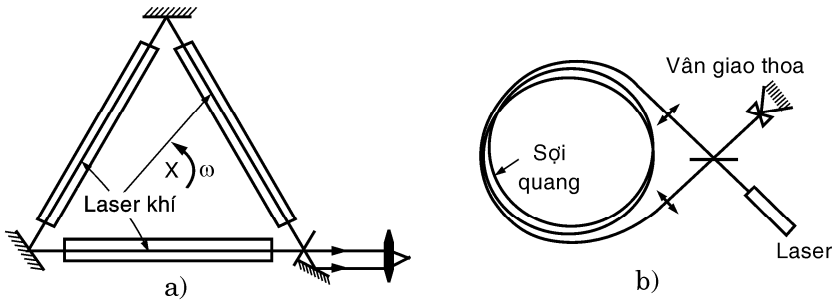
Khi hai gương dịch chuyển với vận tốc là  $\bar{V}$  giả sử theo chiều từ  $M_1 \rightarrow M_2$ , quãng đường truyền  $d_{12} = L(1 + V/C)$ . Với  $V \ll C$ ,  $C$  là vận tốc

truyền của ánh sáng,  $d_{21}$  sẽ giảm đi:  $d_{21} = L(1 - V/C)$ .

Sự sai biệt quãng đường truyền tỉ lệ với  $V$ :  $d_{12} - d_{21} = 2L(V/C)$

Khi sự truyền của hai sóng theo hai chiều ngược nhau trên một đường tròn bán kính  $r$ , chu vi  $2\pi r$  quay với vận tốc góc  $\omega$ , sự sai biệt quãng đường truyền sẽ là:  $d_{12} - d_{21} = 2L r\omega/C$

Cách thực hiện:



**Hình 6.30:** Hồi chuyển kế quang học

a) Loại Laser; b) Loại sợi quang

Hình 6.30a gồm có một bể cộng hưởng Laser đặt trong môi trường chuyển động. Sự truyền của hai sóng theo hai chiều ngược nhau sẽ dẫn đến sự khác biệt quãng đường truyền của hai sóng có tần số khác nhau. Sự chồng chập của hai nguồn sáng sẽ cho ta biết khoảng cách  $\Delta f$  của hai sóng (tỉ lệ với vận tốc quay):

$$\Delta f = 4 A\omega/L\lambda$$

trong đó:  $A$  - diện tích bể cộng hưởng;  $L$  - chiều dài quãng đường

$\lambda$  - độ dài sóng trung bình của nguồn phát.

□ 21 loại không có tâm đối xứng, trong đó có 20 loại là chất áp điện gồm:

\* 10 loại không phải chất quang hỏa điện.

\* 10 loại là chất quang hỏa điện

□ 11 loại có tâm đối xứng.

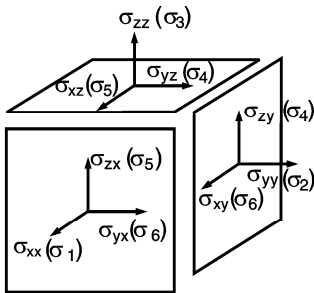
Trong môi trường chất áp điện, cường độ và dấu của hiệu ứng áp điện tùy thuộc:

□ Hướng quan sát, tức vị trí đặt các bề mặt thu điện tích

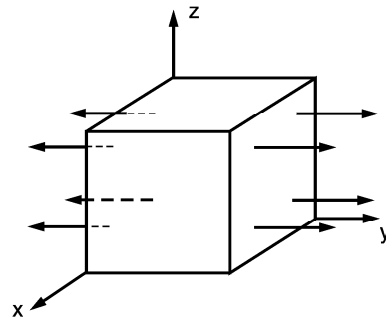
□ Phương của lực tác động.

#### a) Những đại lượng cơ khí

Một cách tổng quát, những lực nén tác động là kết quả của tổ hợp các thành phần lực dọc trục và bề mặt. Ta để ý thành phần  $\sigma_{ij}$  là thành phần lực trục  $i$  ( $i = x, y, z$ ) của lực nén tác động trên đơn vị diện tích của bề mặt thẳng góc trục  $j$  ( $j = x, y, z$ ) trong khối vật liệu.



**Hình 6.31:** Lực nén tác động trên ba bề mặt của một khối tinh thể



**Hình 6.32:** Lực dọc trục  $\sigma_2$

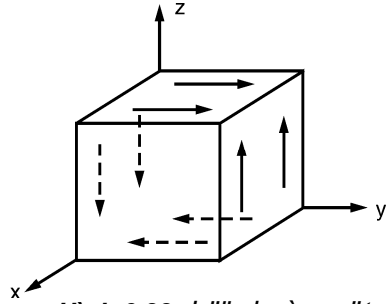
Ta có:  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$  và chú ý:

Thành phần dọc trục:  $\sigma_{xx} \rightarrow \sigma_1$ ;  $\sigma_{yy} \rightarrow \sigma_2$ ;  $\sigma_{zz} \rightarrow \sigma_3$

Thành phần bề mặt:  $\sigma_{yz} \rightarrow \sigma_4$ ;  $\sigma_{zx} \rightarrow \sigma_5$ ;  $\sigma_{xy} \rightarrow \sigma_6$ .

**b) Ma trận độ lớn áp điện**

Một cách tổng quát, người ta diễn tả hiệu ứng áp điện bởi một ma trận các hệ số với trường bằng 0, các lực ép ( $\sigma_1 \rightarrow \sigma_6$ ) và các điện tích  $q$  thu được ở bề mặt thẳng góc với trục Ox, Oy, Oz (hay trục 1, 2, 3)



**Hình 6.33:** Lõi bê maết  $\sigma_4$

Ta có:

$$q_1 = d_{11}\sigma_1 + d_{12}\sigma_2 + d_{13}\sigma_3 + \dots + d_{16}\sigma_6.$$

$$q_2 = d_{21}\sigma_1 + d_{22}\sigma_2 + d_{33}\sigma_3 + \dots + d_{26}\sigma_6.$$

$$q_3 = d_{31}\sigma_1 + d_{32}\sigma_2 + d_{33}\sigma_3 + \dots + d_{36}\sigma_6.$$

Hoặc đơn giản:  $q_m = d_{mn}\sigma_n$ .

Ví dụ: Thạch anh, trong trường hợp này, ta gọi trục 1 là trục điện, trục 2 là trục cơ, trục 3 là trục quang. Ma trận độ lớn áp điện:

$$\begin{vmatrix} d_{11} & -d_{11} & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & -2d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Ví dụ: Cho mẫu thạch anh có bề dày  $e$ , kích thước  $L$  và  $l$  như hình 6.34 (ta thu điện tích ở bề mặt thẳng góc trục  $x$ ). Nếu có một lực  $F_1$  theo phương Ox, sẽ xuất hiện điện tích ở hai bề mặt đối diện (thẳng góc trục  $x$ ):

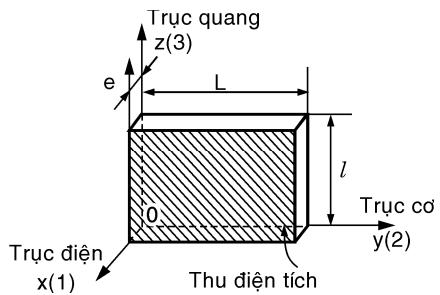
$$q_1 = d_{11}\sigma_1$$

điện tích tổng cộng  $Q_1$  tỉ lệ với lực:

$$Q_1 = Llq_1 = d_{11}F_1.$$

Nếu lực tác động ngang, theo phương  $y$  có trị giá  $F_2$  (lực ép  $\sigma_2 = F_2/l$ ), mật độ điện tích bề mặt:  $q'_1 = d_{12}\sigma_2 = -d_{11}\sigma_2$

$$\text{Điện tích tổng cộng: } Q'_1 = Ll q'_1 = -d_{11}(L/l)F_2$$



**Hình 6.34:** Mẫu thạch anh dạng Curie

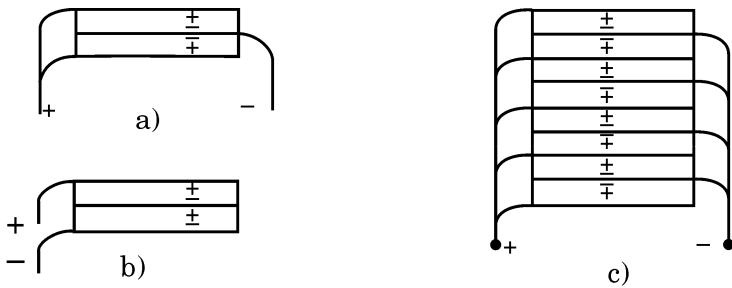
### c) Cấu tạo cảm biến



**Hình 6.35:** Các loại biến dạng của mẫu tinh thể áp điện  
 a) Biến dạng theo chiều dài; b) Biến dạng theo chiều ngang  
 c) Lực cắt bề dày; d) Lực cắt bề mặt

Sự biến dạng của tinh thể xác định cách hoạt động của cảm biến như hình vẽ trên.

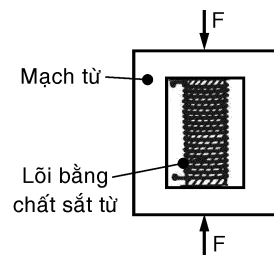
Để tiện sử dụng, chẳng hạn trong cách mắc dây hoặc đơn giản để tăng độ nhạy, một hay nhiều cảm áp điện được ghép với nhau, tùy theo sự phân cực và tùy theo sự biến dạng của cảm biến có thể được ghép với nhau như sau: hai cảm biến ghép song song, hai cảm biến ghép nối tiếp, nhiều cảm biến ghép song song.



**Hình 6.36:** a) Hai cảm biến ghép song song  
 b) Hai cảm biến ghép nối tiếp; c) Nhiều cảm biến ghép song song

### 6.4.2 Cảm biến từ giảo

Các vật liệu sắt từ dưới tác động của từ trường sẽ chịu một sự thay đổi cấu trúc hình học (sự thay đổi kích thước có kèm theo hoặc không có thay đổi thể tích, ngẫu lực, lực uốn), và thay đổi cơ (độ lớn Young  $Y$ ) hiệu ứng từ giảo trực tiếp được dùng trong việc truyền sóng ngắn, ở đó phần tử sắt từ hoạt động cộng hưởng cơ. Một cách hỗ tương, những lực ép dưới tác động của lực cần đo sẽ làm thay đổi đường cong nam châm hóa và người ta có thể triển khai sự thay đổi độ



**Hình 6.37:** Cảm biến từ giảo có lõi bằng chất sắt từ

từ thẳm hoặc từ dư để đo lực.

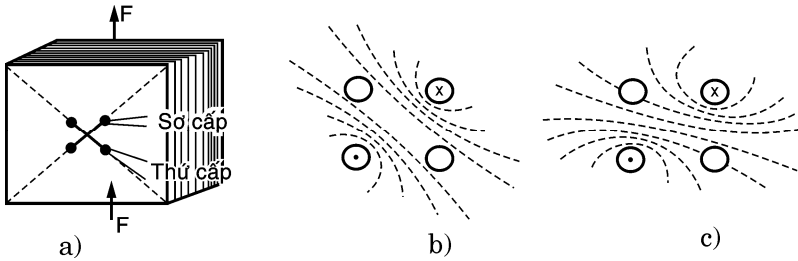
**a) Cảm biến có độ từ thẳm thay đổi**

Cảm biến gồm một cuộn dây có lõi bằng vật liệu sắt từ bị biến dạng bởi lực cần đo. Sự thay đổi  $\Delta\mu$  của độ từ thẳm của lõi sắt từ có từ trở  $R$  xác định độ thay đổi  $\Delta L$  điện cảm  $L$  của cuộn dây:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = -\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} = k\sigma$$

**b) Cảm biến thay đổi độ ghép**

Cảm biến gồm một khối vật liệu sắt từ gồm nhiều lá ghép lại, có bốn cửa sổ được bố trí thẳng góc, trên các cửa sổ có bố trí hai cuộn dây sơ và thứ. Các cuộn dây bố trí  $45^\circ$  so với phương của lực tác dụng, độ từ thẳm của vật liệu đồng nhất. Ví dụ đối với permalloy khi có lực tác động dọc trục, kết quả là giảm độ từ thẳm theo phương của lực nén, và một sự gia tăng độ từ thẳm theo phương ngang. Sự đối xứng của đường từ sức không còn nữa, một tín hiệu xuất hiện ở cuộn thứ cấp khi cuộn sơ cấp được cung cấp tín hiệu, biên độ tín hiệu tỉ lệ với lực cần đo, một góc lệch pha giữa sơ và thứ cho biết chiều của lực.



**Hình 6.38:** Cảm biến từ giao loại thay đổi độ ghép

a) Cấu tạo; b) Đường sức của cảm ứng từ của cảm biến khi không có lực tác động; c) Khi có lực tác động

**c) Cảm biến từ dư thay đổi**

Mặc dù có sự thay đổi đường cong nam châm hóa, với sự thay đổi  $B$  tương đối lớn dưới tác động của lực, người ta vẫn thích đo sự thay đổi từ dư vì lý do việc đo từ dư thay đổi thì ổn định và đơn giản. Ta xem một cuộn dây có nòng sắt bằng vật liệu nickel, hiện hữu từ dư  $Br$ , dưới tác động của lực cần đo, ví dụ lực ép ( $d\sigma < 0$ ),  $Br$  gia tăng, ta có:

$$dBr/d\sigma = -1,5 \times 10^{-9} \text{ Wb.m}^{-2}/\text{N.m}^{-2}$$

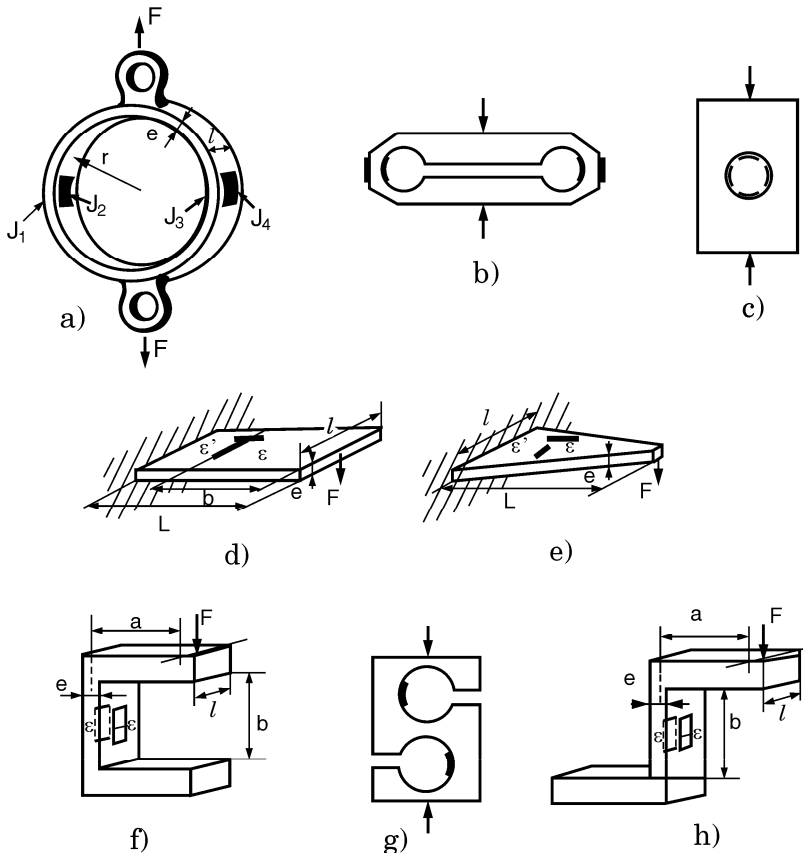
Sự thay đổi từ thông dẫn đến cảm ứng một sức điện động trong cuộn dây tỉ lệ với  $dBr/dt$ , điện áp đo được khi mạch hở:

$$v_m = K \frac{dBr}{dt} = K \frac{dBr}{d\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$$

K: hệ số tỉ lệ phụ thuộc số vòng dây và tiết diện của dây.

### 6.4.3 Cảm biến điện trở jauge

Cảm biến này đo lực, lực đo (đại lượng sơ cấp) tác động trên chi tiết thử nghiệm, dưới tác dụng của lực cắt, nén, uốn cong dẫn đến sự biến dạng (đại lượng thứ cấp) được biến đổi thành tín hiệu nhờ điện trở jauge đặt trên chi tiết thử nghiệm, các điện trở jauge được nối dây hình thành cầu Wheatstone. Các chi tiết thử nghiệm có nhiều dạng khác nhau như dạng nhấn động lực tròn, các chi tiết thử nghiệm phẳng dạng hình chữ nhật, tam giác, v.v...



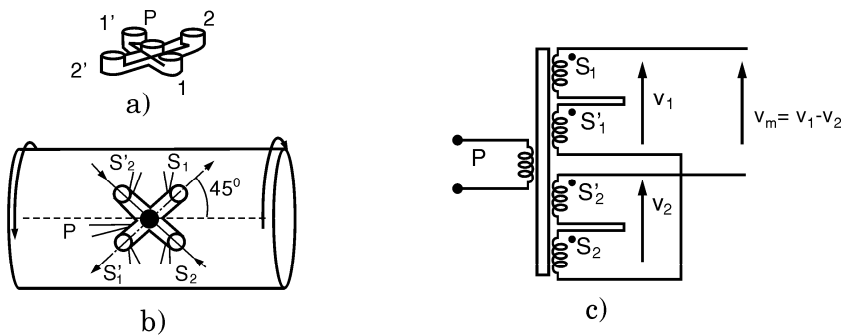
Hình 6.39: Các dạng chi tiết thử nghiệm được dùng để đo lực

### 6.4.4 Cảm biến đo lực bằng sự dịch chuyển

**1- Đo ngẫu lực dùng hiệu ứng từ giảo**

Khi cho lực tác dụng lên vật liệu sắt từ sẽ kéo theo sự thay đổi độ từ thẩm  $\mu$ . Ví dụ:  $\mu$  gia tăng trong vùng kéo dài ra và giảm đi trong vùng nén lại. Nếu một thanh sắt từ hình trụ chịu tác động của ngẫu lực và mômen có phương trùng với trục sắt từ thì kết quả lực tác động gồm hai thành phần thẳng góc nhau tạo thành góc  $45^\circ$  so với trục hình trụ và dọc theo chúng những từ thẩm  $\mu_1$  và  $\mu_2$  thay đổi cực đại có dấu ngược nhau. Để phân tích sự thay đổi này, người ta có thể sử dụng một lõi hình chữ thập trên có bố trí cuộn dây sơ cấp p và hai cặp cuộn dây thứ cấp  $S_1$  và  $S'_1$  nối tiếp,  $S_2$  và  $S'_2$  nối tiếp, hai cặp này mắc xung đối. Khi không có ngẫu lực thì  $\mu_1 = \mu_2$ ,  $v_1 = v_2$ ,  $v_m = 0$ .

Khi ngẫu lực có phương như hình vẽ thì  $\mu_1 > \mu_2$ ,  $v_1 > v_2 \Rightarrow v_m > 0$

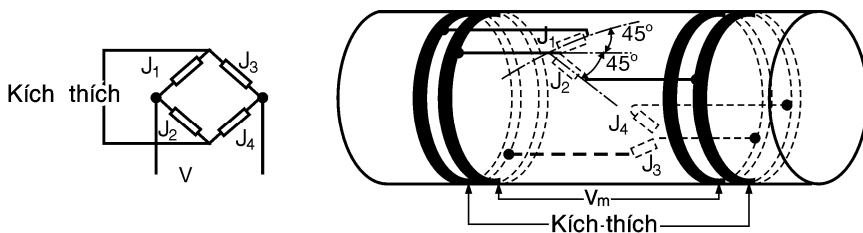


**Hình 6.41:** Đo ngẫu lực dùng hiệu ứng từ giảo

a) Dạng lõi sắt mang các cuộn dây

b) Cách bố trí; c) Mạch điện tương đương

**2- Đo ngẫu lực dùng biến trở biến dạng**



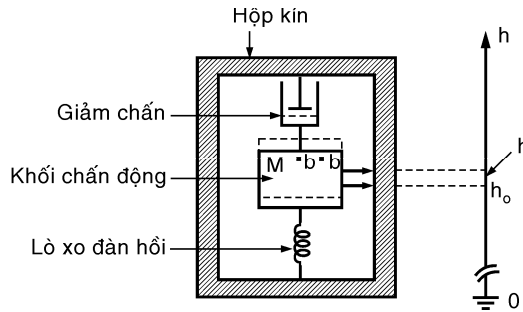
**Hình 6.42:** Thiết bị đo ngẫu lực dùng cầu điện trở

gauge + chi tiết thử nghiệm dạng trụ

a) Nguyên tắc; b) Vị trí đặt các điện trở Gauge  $J_1, J_2, J_3, J_4$

Khi chi tiết thử nghiệm có dạng trụ, các điện trở gauge được đặt ở vị trí tạo thành một góc  $45^\circ$  so với trục hình trụ như hình 6.42. Ta có trong trường





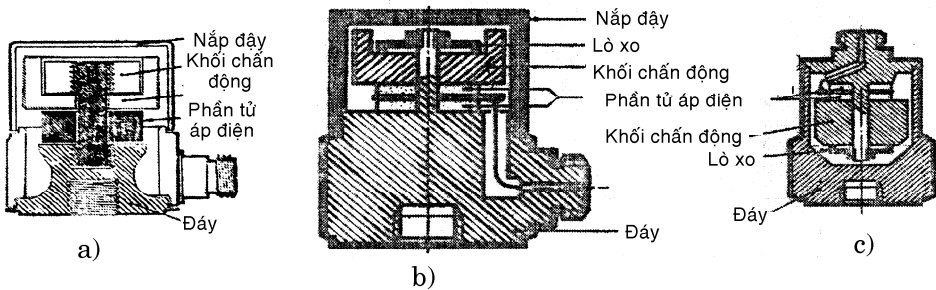
**Hình 6.43:** Nguyên tắc của gia tốc kế chấn động

a) Gia tốc kế áp điện loại nén.

Những đặc tính riêng của cảm biến loại này:

- Tần số cộng hưởng khá cao.
- Cấu tạo chắc chắn.

□ Nhạy đối với hiệu ứng áp điện cho nên cần thiết trang bị phương tiện bù trừ khi điều kiện sử dụng không như mong muốn.



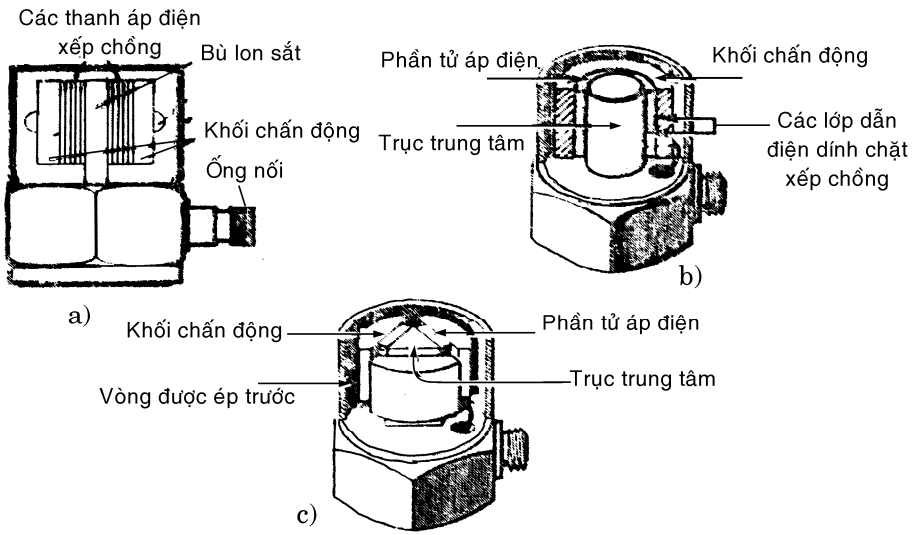
**Hình 6.44:** Các kiểu gia tốc kế áp điện loại nén

b) Gia tốc kế áp điện loại cắt

Các gia tốc kế loại này được cấu tạo:

□ Gồm một chồng các thanh áp điện được kết nối bằng bù lon giữa hai miếng kim loại dùng làm khối chắn động (H.6.45a).

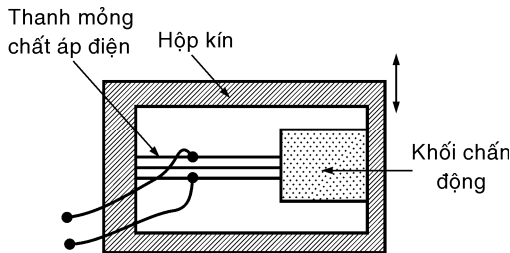
□ Gồm một phần tử áp điện có dạng hình nhẵn (H.6.45b) hoặc dưới dạng nhiều phần tử phẳng chịu tác động của lực của khối chắn động và trục trung tâm (H.6.45c).



**Hình 6.45:** Các kiểu gia tốc kế áp điện lực cắt

c) Gia tốc kế áp điện hình cái phan.

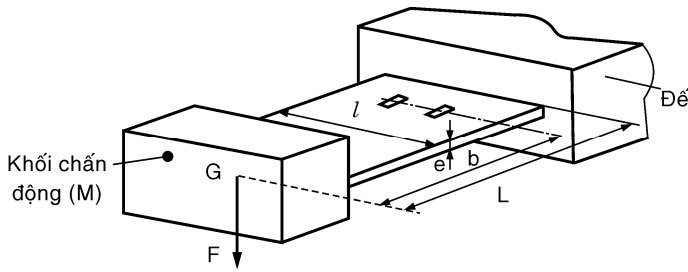
Trong loại này, người ta sử dụng một cặp thanh mỏng chất áp điện gắn chặt vào nhau, một đầu thanh mang khối chấn động như hình 6.46.



**Hình 6.46:** Nguyên tắc gia tốc kế áp điện hình cái phan

**2- Gia tốc kế điện trở piezo**

*Nguyên tắc:* Khối chấn động  $M$  được gắn với một thanh đàn hồi trên đó có bố trí hai hay bốn điện trở biến dạng được mắc thành cầu Wheastone. Sự uốn cong của thanh đàn hồi sẽ dẫn đến sự biến dạng của điện trở jauge một cách trực tiếp (gia tốc kế tần số thấp) hoặc gián tiếp nhờ kết hợp với bộ khuếch đại cơ (gia tốc kế tần số trung bình).



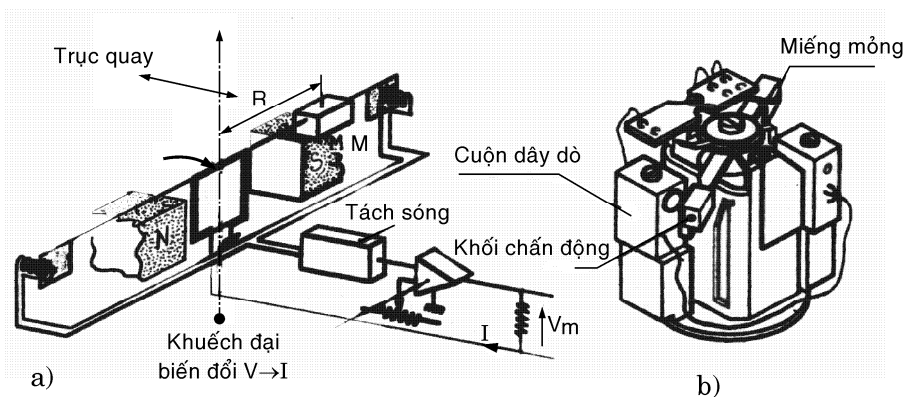
**Hình 6.47:** Nguyên tắc gia tốc kế điện trở piezo

### 3- Gia tốc kế thích nghi

Trong loại này người ta dùng lực đàn hồi của khối chấn động tạo ra tín hiệu điện: Sự di chuyển của khối chấn động dưới sự tác động của lực khi đo sẽ tạo nên một phản ứng chống lại nó làm giảm thiểu sự dịch chuyển. Khi cân bằng, tín hiệu điện (dòng điện) là nguồn gốc của tác động bù trừ, cho ta kết quả đo gia tốc, đặc tính của loại cảm biến này là:

- Độ chính xác cao
- Băng thông: Từ vài Hz đến vài trăm Hz
- Tín hiệu ra khá cao: vài mA
- Giá thành cao, dễ vỡ.

\* Gia tốc kế thích nghi cân bằng ngẫu lực (H.6.48).



**Hình 6.48:** Gia tốc kế thích nghi cân bằng ngẫu lực

a) Nguyên tắc; b) Cách thực hiện

Một khung quay rất nhẹ giống như khung quay trong cơ cấu đo từ điện (điện kế) được treo trong vùng từ trường nhờ một giá đỡ có độ ma sát rất bé, về một phía của khung có gắn một khối chấn động để đo. Dưới tác động của lực quán tính tạo ra do gia tốc, khối chấn động di chuyển và kéo theo khung quay chuyển động.

Khung được trang bị hai miếng mỏng ở hai bên hoàn toàn cân bằng di chuyển trước mặt hai cuộn dây được cung cấp bởi một nguồn xoay chiều có tần số cao (lối 1MHz). Khi khung quay di chuyển, hai miếng mỏng di chuyển trước mặt hai cuộn dây, điện cảm của chúng thay đổi, như thế điện áp hai cuộn dây thay đổi. Điện áp này được chỉnh lưu và so sánh với một điện áp chuẩn, khoảng cách điện áp được khuếch đại và biến đổi thành dòng điện  $I$  chạy trong mạch khung quay và tạo ra một ngẫu lực kháng  $Cr$ :

$$Cr = KI$$

với:  $K$  - hệ số tỉ lệ với cảm ứng từ và số vòng dây quấn của khung.

Khi cân bằng ngẫu lực kháng  $Cr$  bù trừ ngẫu lực  $C_m$  tạo bởi lực quán tính. Khi góc quay bé, ta có:

$$C_m = M\gamma R$$

với:  $M$  - khối chấn động;  $R$  - bán kính chuyển động;  $\gamma$  - gia tốc cần đo.

$$\Rightarrow KI = M\gamma R \Rightarrow I = K_1\gamma \quad \text{với} \quad K_1 = MR/K$$

Dòng điện tỉ lệ với gia tốc cần đo, giá trị này biết được bằng cách bố trí một điện trở nối tiếp trong mạch cung cấp cho khung quay và đo điện áp xuất hiện ở hai đầu điện trở.

Đối với nhiệt điện trở bằng oxyde bán dẫn:

$$R(T) = R_o \cdot \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right)\right]$$

$T$ : nhiệt độ tuyệt đối ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Những hệ số trong công thức tính điện trở  $R$  thường được biết trước một cách chính xác nhờ đo giá trị điện trở  $R$  ở nhiệt độ biết trước.

Với sự thay đổi nhỏ  $\Delta T$  của nhiệt độ chung quanh giá trị  $T$ , định lý tổng quát về sự thay đổi điện trở có thể được tuyến tính hóa:

$$R(T + \Delta T) = R(T) \cdot (1 + \alpha_R \cdot \Delta T)$$

với:  $\alpha_R = [1/R(T)] dR/dT$ ;  $\alpha_R$ : là hệ số phụ thuộc nhiệt độ của điện trở hay còn gọi độ nhạy nhiệt độ ở nhiệt độ  $T$ ,  $\alpha_R$  tùy thuộc nhiệt độ và vật liệu.

Ví dụ ở  $0^{\circ}\text{C}$  đối với platine  $\alpha_R = 3,9 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$ . Đối với một vài loại nhiệt điện trở  $\alpha_R = 5,2 \times 10^{-2} / ^{\circ}\text{C}$ .

Nếu ta đo nhiệt độ có giá trị chung quanh độ  $0^{\circ}\text{C}$  nhờ cầu đo Wheastone mà một trong những nhánh cầu đo được cấu tạo bởi điện trở đo nhiệt và ba nhánh còn lại được mắc bởi ba điện trở cố định có giá trị bằng nhau  $R_o$  tức giá trị điện trở đo nhiệt ở nhiệt độ  $0^{\circ}\text{C}$  thì:

$$\text{Điện áp lệch của cầu: } V_m = \frac{E_S}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R_o} = \frac{E_S}{4} \alpha_R \Delta T$$

Với:  $E_S = 2\text{V}$ ;  $\Delta T = 1^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_m = 1,9\text{mV}$  đối với điện trở platine.

$V_m = 26\text{mV}$  đối với nhiệt điện trở.

Lưu ý: những giá trị này lớn hơn so với trường hợp cặp nhiệt điện:

Fer/constantan:  $V_m = 0,05\text{mV}$

Pt – Rh (10%)/Pt:  $V_m = 0,005\text{mV}$

Đặc tính của máy đo ấn định một giá trị điện trở thay đổi tối thiểu có thể đo được:  $(\Delta R/R_o)$  min.

Kết quả là một giá trị tối thiểu nhiệt độ có thể đo được:

$$\Delta T_{\min} = \left(\frac{1}{\alpha_R} \cdot \frac{\Delta R}{R_o}\right) \min$$

Đối với trường hợp:  $(\Delta R/R_o)$  min =  $10^{-6}$  và đo nhiệt độ có giá trị gần  $0^{\circ}\text{C}$ , ta có:

Đối với điện trở platine:  $\Delta T_{min} = 2,6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Đối với nhiệt điện trở:  $\Delta T_{min} = 2,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Sự thay đổi của điện trở theo nhiệt độ, về nguyên lý liên quan đến sự thay đổi điện trở suất  $\rho$  và kích thước hình học của điện trở, đối với dây điện trở hình trụ (chiều dài  $l$ , tiết diện  $S$ ), ta có:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT} + \frac{1}{l} \frac{dl}{dT} - \frac{1}{S} \frac{dS}{dT}$$

với:  $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = \alpha_\rho$ : hệ số nhiệt độ của điện trở suất của vật liệu

$$\frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dT} = \alpha_l \text{ và } \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dT} = 2\alpha_l, \alpha_l: \text{ hệ số giãn nở dài của vật liệu}$$

Kết quả:  $\alpha_R = \alpha_\rho - \alpha_l$ .

Trong phạm vi sử dụng điện trở,  $\alpha_\rho$  cỡ  $10^{-3}/^\circ\text{C}$  trong khi  $\alpha_l$  cỡ  $10^{-5}/^\circ\text{C}$ . Trong những điều kiện thực tế  $\alpha_R \approx \alpha_\rho$ .

## 7.2.2 Điện trở kim loại

### 1- Những tiêu chuẩn để chọn vật liệu

Tùy thuộc vào phạm vi đo nhiệt độ mà người ta chọn vật liệu thích hợp, người ta thường sử dụng điện trở bằng bạch kim, nickel và đôi khi bằng đồng hay tungstene.

*Bạch kim*: có thể cấu tạo rất tinh khiết (99,999%) điều này cho phép ta biết được đặc tính điện của nó một cách chính xác và không thay đổi. Nó thường sử dụng ở nhiệt độ từ  $-200^\circ\text{C}$  đến  $1000^\circ\text{C}$ .

*Nickel*: có ưu điểm là độ nhạy nhiệt rất cao, từ  $0^\circ\text{C}$  đến  $100^\circ\text{C}$  điện trở của nó được nhân cho 1,617 trong khi bạch kim được nhân với 1,385. Nickel chống lại sự oxyde hóa, thường được dùng ở nhiệt độ nhỏ hơn  $250^\circ\text{C}$ .

*Đồng*: được sử dụng vì đặc tuyến rất tuyến tính của sự thay đổi điện trở theo nhiệt. Tuy nhiên vì phản ứng hóa học nên không cho phép sử dụng ở nhiệt độ lớn hơn  $180^\circ\text{C}$ , và vì điện trở suất bé, nên khi dùng để đảm bảo có giá trị điện trở nhất định, chiều dài dây phải lớn gây nên một sự cồng kềnh bất tiện.

*Tungstene*: Có độ nhạy nhiệt của điện trở lớn hơn bạch kim trong trường hợp nhiệt độ cao hơn  $100^\circ\text{K}$  và nó thường được sử dụng ở nhiệt độ cao hơn bạch kim với độ tuyến tính hơn bạch kim. Tungstene có thể cấu tạo dưới dạng những sợi rất mảnh cho phép chế tạo điện trở cảm biến có trị số lớn, như vậy với trị

số điện trở cho trước, chiều dài dây sẽ giảm thiểu.

Sau đây là một số đặc tính vật lý của các kim loại nói trên:

	<b>Đồng</b>	<b>Nickel</b>	<b>Bạch kim</b>	<b>Tungstène</b>
Tf (°C)	1083	1453	1769	3380
C (J°C <sup>-1</sup> Kg <sup>-1</sup> )	400	450	135	125
$\lambda_t$ (W°C <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	400	90	73	120
$\alpha_t$ (°C <sup>-1</sup> )	$16,7 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
$\rho$ ( $\Omega$ m)	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$5,52 \cdot 10^{-8}$
$\alpha_p$ (°C <sup>-1</sup> )	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$

C - tỉ nhiệt ở 20°C;  $\lambda_t$  - hệ số dẫn nhiệt;  $\alpha_t$  - hệ số dẫn nở dài

$\rho$  - điện trở suất;  $\alpha_p$  - hệ số nhiệt độ của điện trở suất ở 20°C.

### **2-Thực hiện đầu dò của nhiệt kế**

Trị giá của điện trở và kích thước của dây điện trở: một cách tổng quát sự thay đổi điện trở do nhiệt  $\Delta R = R\alpha_R\Delta T$  tạo ra điện áp đo:

$$V_m = \Delta R \cdot i$$

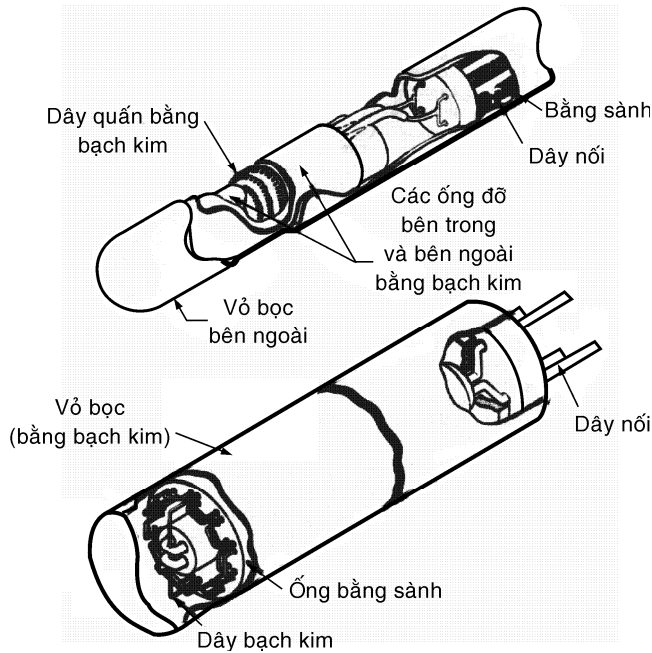
$i$  là dòng điện trong mạch đo có trị số giới hạn vài mA để giảm thiểu sự đốt nóng đầu dò. Như vậy để có được độ nhạy tốt, người ta phải sử dụng điện trở có trị số tương đối lớn, điều này giải thích:

□ Một sự giảm thiểu tiết diện dây điện trở, và được giới hạn bằng sự mỏng manh để bị đứt khi kéo.

□ Một sự gia tăng chiều dài của dây và được giới hạn bằng sự choán chỗ.

Thông thường để điện trở có trị số 100 $\Omega$  ở nhiệt độ 0°C, trong trường hợp bạch kim, đường kính dây có trị số vài chục microns và chiều dài dây vào khoảng hàng chục cm. Sau khi quấn dây, chiều dài đầu dò vào cỡ vài cm. Trên thị trường đầu dò điện trở ở 0°C có trị số là 50 $\Omega$ , 500 $\Omega$ , 1000 $\Omega$  những giá trị điện trở cao được dùng trong trường hợp nhiệt độ đo thấp để có độ nhạy cao.

**Đầu dò thả chìm:** Được bố trí thả chìm trong môi trường muốn đo nhiệt độ và có cấu tạo quấn dây dạng hélice. Cách quấn dây này có thể tạo nên dạng không có điện cảm nhằm mục đích cho phép đo dòng điện AC và giảm thiểu những điện cảm ký sinh.



**Hình 7.1:** Các điện trở mẫu bằng bạch kim

Những thông số chú ý khi thực hiện đầu dò như sau:

- Nới rộng phạm vi đo nhiệt độ
- Bảo vệ chống lại sự ăn mòn hóa học
- Bảo vệ chống lại sự rung động và va chạm

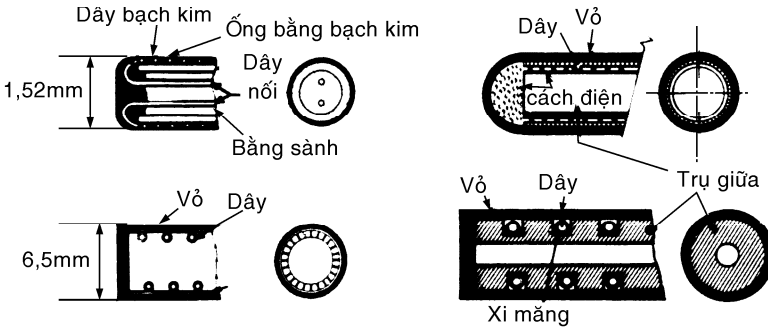
Sự khác nhau về hệ số tản nhiệt của điện trở kim loại và vật liệu làm giá đỡ cảm biến làm thay đổi độ nhạy nhiệt của điện trở.

- Vận tốc đáp ứng càng nhanh khi lượng calo của đầu dò càng bé.

Đối với những điện trở bạch kim sử dụng làm điện trở mẫu, những điểm 1, 2 và 4 là những điều kiện đầu tiên bởi vì những điện trở này được sử dụng để đo trong những điều kiện được che chở chống rung và va chạm. Dây điện trở được quấn trên lõi cách điện (thạch anh, alumine). Dây quấn được đặt trong một vỏ bằng thép kín, dây ra đi qua môi trường cách điện. Vỏ được chứa đầy một loại gaz hóa học, dẫn điện tốt (ví dụ hélium).

Đối với kỹ nghệ, sự cần thiết bảo vệ hữu hiệu chống rung và va chạm, điện trở được thực hiện bọc kín trong thủy tinh hoặc sứ và được đặt trong một vỏ thép kín.





Hình 7.2a: Các đầu dò trong kỹ nghệ dùng điện trở bạch kim

**7.2.3 Nhiệt điện trở**

Đặc tính đầu tiên của loại điện trở này là độ nhạy nhiệt rất cao, vào khoảng 10 lần điện trở kim loại. Mặt khác hệ số nhiệt độ có giá trị âm, và tùy thuộc vào nhiệt độ.

Chúng được cấu tạo từ hỗn hợp các oxyde kim loại như: MgO, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, ZnTiO<sub>4</sub>.

Những oxyde kim loại bán dẫn ở dạng bột được nén lại dưới áp suất và được nung lên ở nhiệt độ khoảng 1000°C có áp suất kiểm soát được. Những nhiệt điện trở được cấu tạo dưới các dạng: đĩa, trụ, nhẵn v.v... phần tử cảm biến có thể được che chở hoặc không, bằng cách được cấu tạo dạng kín hoặc có vỏ bọc. Các vật liệu có điện trở suất lớn cho phép chế tạo những điện trở đo có kích thước điện trở bé (cỡ mm), kết quả:

Điện trở có kích thước bé cho phép đo nhiệt độ chính xác.

Một lượng calo bé khiến cho vận tốc đáp ứng cao.

Sự ổn định của nhiệt điện trở tùy thuộc vào việc chế tạo và những điều kiện sử dụng. Dạng điện trở kín hay dạng có vỏ bọc cho phép che chở chống lại sự ăn mòn hóa học và gia tăng sự ổn định. Phạm vi sử dụng nhiệt điện trở, tùy theo loại từ vài độ tuyệt đối đến lới 300°C. Trên thị trường các nhiệt điện trở có trị số thay đổi từ 500Ω đến vài chục MΩ ở 25°C.

**7.2.4 Điện trở silicium**

Loại điện trở bán dẫn này được phân biệt với nhiệt điện trở bởi những điểm sau:

- Hệ số nhiệt độ của điện trở suất có trị giá dương, vào khoảng  $0,7 \times 10^{-2} / ^\circ\text{C}$  ở 25°C, và sự thay đổi theo nhiệt độ của hệ số nhiệt độ rất bé điều này cho phép chế tạo cảm biến có tính tuyến tính cao.

nhANH. Hai ưu điểm này cho thấy cặp nhiệt điện được sử dụng có lợi điểm hơn điện trở. Ngoài ra còn có một lợi điểm nữa là, tín hiệu được tạo ra dưới dạng sức điện động mà không cần tạo ra dòng điện chạy qua cảm biến như vậy tránh được hiện tượng đốt nóng cảm biến. Tuy nhiên nó có điểm bất lợi là trong khi đo, nhiệt độ của mối nối chuẩn phải biết rõ, tất cả sự không chính xác của  $T_{ref}$  sẽ dẫn tới sự không chính xác của  $T_c$ .

Cặp nhiệt điện được cấu tạo bởi các kim loại hoặc hợp kim khác nhau và có khoảng đo rộng từ  $-270^{\circ}\text{C} \div 2700^{\circ}\text{C}$ , đáp ứng của cặp nhiệt điện không tuyến tính khi nhiệt độ thay đổi lớn, tính không tuyến tính trong mối quan hệ giữa sức điện động nhiệt điện và nhiệt độ được thể hiện qua công thức tính như sau:

$$E = \sum_{i=0}^{i=n} a_i T^i$$

với:  $E$  - sức điện động nhiệt điện tính bằng  $\mu\text{V}$

$T$  - nhiệt độ tính bằng  $^{\circ}\text{C}$ .

Số các phần tử  $a_i$  cũng như trị giá của nó phụ thuộc vào loại cặp nhiệt điện và nhiệt độ đo (nhiệt độ mối nối chuẩn ở  $0^{\circ}\text{C}$ ).

Hoặc đơn giản hơn, ta có thể sử dụng công thức gần đúng:

$$E = C(T_2 - T_1) + K(T_2^2 - T_1^2)$$

với:  $C, K$  - các hằng số phụ thuộc vào cặp nhiệt điện

$T_2$  - nhiệt độ mối nối đo;  $T_1$  - nhiệt độ mối nối chuẩn.

Ví dụ: Cặp nhiệt điện Cu/constantan có  $C = 3,75 \times 10^{-12} \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  và  $K = 4,50 \times 10^{-5} \text{ mV}/^{\circ}\text{C}^2$ , nếu  $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$ ,  $T_1 = 0^{\circ}\text{C}$ , sức điện động nhiệt điện:

$$\begin{aligned} E &= C(T_2 - T_1) + K(T_2^2 - T_1^2) \\ &= 3,75 \times 10^{-12} (100 - 0) + 4,50 \times 10^{-5} (100^2 - 0^2) \\ &= 3,75 \text{ mV} + 0,45 \text{ mV} = 4,20 \text{ mV} \end{aligned}$$

Độ nhạy cặp nhiệt điện ở  $T_c$  được tính theo biểu thức:

$$S(T_c) = \frac{dE_{A/B}^{T_c, 0^{\circ}\text{C}}}{dT_c}$$

Rõ ràng  $S(T_c)$  là một hàm theo nhiệt độ và được tính bằng  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .

Ví dụ, đối với cặp nhiệt điện Fer/constantan ta có:

$$S(0^\circ\text{C}) = 52,9\mu\text{V}/^\circ\text{C} \quad \text{và} \quad S(700^\circ\text{C}) = 63,8\mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

Đối với cặp nhiệt điện  $P_r - Rh(10\%) / P_r$  ta có:

$$S(0^\circ\text{C}) = 6,4\mu\text{V}/^\circ\text{C} \quad \text{và} \quad S(1400^\circ\text{C}) = 11,93\mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

Từ ví dụ trên ta thấy độ nhạy của cặp nhiệt điện nhỏ hơn nhiều so với nhiệt điện trở. Độ nhạy của cặp nhiệt điện thường không vượt quá trị số  $60\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

### 7.3.2 Hiệu ứng nhiệt điện

#### 1- Hiệu ứng Peltier

Tại mối nối của hai dây dẫn A và B khác nhau nhưng có cùng nhiệt độ  $T$  (H.7.3a) sẽ hình thành một hiệu điện áp chỉ tùy thuộc vào loại dây dẫn và nhiệt độ của chúng:  $V_m - V_n = P_{A/B}^T$ . Đó chính là sức điện động hiệu ứng Peltier.

*Định luật Volta:* Trong một mạch kín đẳng nhiệt được cấu tạo bởi những dây dẫn khác nhau, sức điện động Peltier tổng cộng bằng không. Trong mạch được cấu tạo bởi những vật liệu A, B, C và D (H.7.3b).

$$\text{Ta có:} \quad P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T + P_{D/A}^T = 0$$

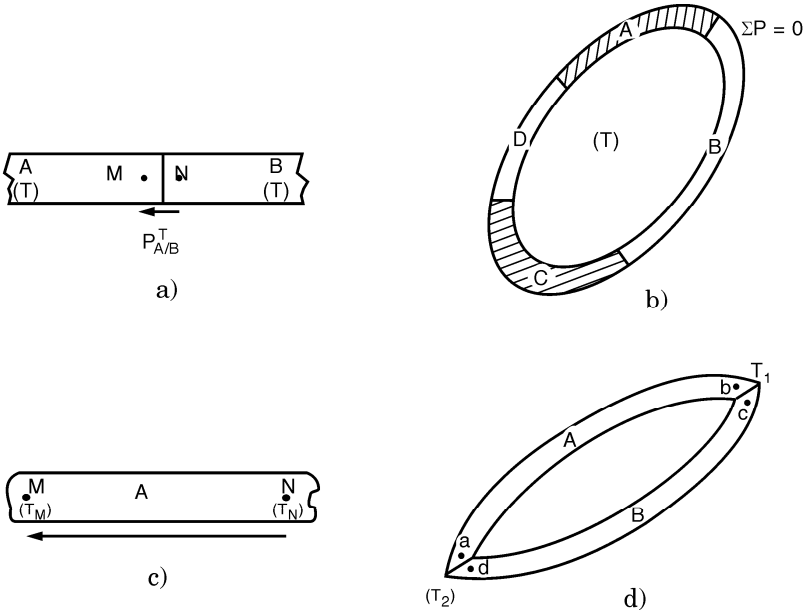
#### 2- Hiệu ứng Thomson

Giữ hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau, ở bên trong một thanh dẫn đồng nhất A (H.7.3c) sẽ hình thành một sức điện động chỉ tùy thuộc vào loại dây dẫn và những nhiệt độ  $T_M, T_N$ .

$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_N}^{T_M} h_A dT_1$$

Đó là sức điện động Thomson,  $h_A$  là hệ số Thomson của dây dẫn A và là một hàm của nhiệt độ.

*Định luật Magnus:* Nếu hai đầu của một mạch điện được cấu tạo bằng một dây dẫn duy nhất và đồng nhất, đồng thời có cùng nhiệt độ thì sức điện động Thomson bằng không.



**Hình 7.3:** Hiệu ứng nhiệt điện

- a) Hiệu ứng Peltier; b) Định luật Volta
- c) Hiệu ứng Thomson; d) Hiệu ứng Seebeck

**3- Hiệu ứng Seebeck**

Nếu trong một mạch điện kín, được cấu tạo bằng hai dây dẫn A và B mà hai mối nối của chúng có nhiệt độ  $T_1$  và  $T_2$  sẽ hình thành một cặp nhiệt điện (H.7.3d). Cặp nhiệt điện sẽ tạo ra một sức điện động gọi là Seebeck  $E_{A/B}^{T_2 T_1}$  đó là kết quả của hiệu ứng Peltier và Thomson.

Thật vậy: Sức điện động giữa a và b: 
$$e_{ab} = \int_{T_1}^{T_2} h_A dT$$

Sức điện động giữa b và c: 
$$e_{bc} = P_{A/B}^{T_2}$$

Sức điện động giữa c và d: 
$$e_{cd} = \int_{T_2}^{T_1} h_B dT$$

Sức điện động giữa d và a: 
$$e_{da} = P_{B/A}^{T_1}$$

Sức điện động tổng cộng chính là tổng các sức điện động kể trên và chính là sức điện động Seebeck.

$$E_{A/B}^{T_2 T_1} = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} (h_A - h_B) dT$$

Để thuận tiện ta chọn  $T_1$  chẳng hạn có giá trị chuẩn biết trước ( $0^\circ\text{C}$ ) sức điện động của cặp nhiệt điện chỉ phụ thuộc vào  $T_2$ .

### 7.3.3 Các loại cặp nhiệt điện và đặc tính sử dụng

Các cặp nhiệt điện và những giới hạn sử dụng.

Cặp nhiệt điện	Nh. độ sử dụng	E (mV)	Cấp chính xác
Cu / Constantan	$-270^\circ\text{C}$ đến $370^\circ\text{C}$	$-6,258$ đến $19,027$	$\pm 2\%$ từ $-100^\circ\text{C}$ đến $-40^\circ\text{C}$
Loại T (đường kính 1,63 mm)			$\pm 0,8\%$ từ $-40^\circ\text{C}$ đến $100^\circ\text{C}$ $\pm 0,75\%$ từ $100^\circ\text{C}$ đến $350^\circ\text{C}$
Fer / Constantan Loại J (đường kính 3,25 mm)	$-210^\circ\text{C}$ đến $800^\circ\text{C}$	$-8,096$ đến $45,498$	$\pm 3^\circ\text{C}$ từ $0^\circ\text{C}$ đến $400^\circ\text{C}$ $\pm 0,75\%$ từ $400^\circ\text{C}$ đến $800^\circ\text{C}$
Chromel / Alumel	$-270^\circ\text{C}$ đến $1250^\circ\text{C}$	$-5,354$ đến $50,633$	$\pm 3^\circ\text{C}$ từ $0^\circ\text{C}$ đến $400^\circ\text{C}$
Loại K (đường kính 3,25 mm)			$\pm 0,75\%$ từ $400^\circ\text{C}$ đến $1250^\circ\text{C}$
Chromel/Constantan	$-270^\circ\text{C}$ đến $870^\circ\text{C}$	$-9,835$ đến $66,473$	$\pm 3^\circ\text{C}$ từ $0^\circ\text{C}$ đến $400^\circ\text{C}$ $\pm 0,75\%$ từ $400^\circ\text{C}$ đến $1250^\circ\text{C}$
Loại E (đường kính 3,25 mm)			
Platine – Rhodium (10%) / Platine	$-50^\circ\text{C}$ đến $1500^\circ\text{C}$	$-0,236$ đến $15,576$	$\pm 2,5^\circ\text{C}$ từ $0^\circ\text{C}$ đến $600^\circ\text{C}$
Loại S (đường kính 0,51 mm)			$\pm 0,4\%$ từ $600^\circ\text{C}$ đến $1600^\circ\text{C}$
Platine – Rhodium (13%) / Platine Loại R (đường kính 0,51 mm)	$-50$ đến $1500^\circ\text{C}$	$-0,226$ đến $17,445$	$\pm 1,4^\circ\text{C}$ từ $0^\circ\text{C}$ đến $538^\circ\text{C}$ $\pm 0,25\%$ từ $538^\circ\text{C}$ đến $1500^\circ\text{C}$
Platine – Rhodium (30%)/Platine – Rhodium (6%) Loại B (đường kính 0,51 mm)	$0^\circ\text{C}$ đến $1700^\circ\text{C}$	$0$ đến $12,426$	$\pm 0,5\%$ từ $870^\circ\text{C}$ đến $1700^\circ\text{C}$
Tungstène – Rhénium (5%)/ Tungstène – Rhénium (26%)	$0^\circ\text{C}$ đến $2760^\circ\text{C}$	$0$ đến $38,45$	

### 7.3.4 Cách sử dụng và lắp đặt cảm biến

#### 1- Cách thực hiện và bảo vệ

Cần tránh những sức điện động ký sinh trong khi mắc dây cảm biến hoặc do cấu tạo không đồng nhất của cảm biến làm thay đổi đặc tính nhiệt điện của cảm biến.

Những sự không đồng nhất trong cấu tạo có ba nguyên nhân chính:

□ Lực ép cơ khí có được do sự sắp xếp hoặc do sự căng dây, thông thường chúng có thể loại bỏ được nhờ sự nung lại.

□ Những tác động hóa học: hai dây dẫn phải được che chở chống lại mọi tác nhân có thể tác động đến chúng, đặc biệt điều chế vật liệu cần thiết phải được tinh khiết.

□ Những tia bức xạ hạt nhân gây ra những chuyển đổi trong vài hợp kim cặp nhiệt điện.

Phần hàn (mối nối) của cặp nhiệt điện phải có thể tích giảm thiểu nhằm tránh những điểm có nhiệt độ khác nhau tại mối nối, điều này dẫn đến những sức điện động ký sinh, cũng như những thay đổi hóa học của vật liệu do mức độ hàn. Một trong ba kỹ thuật sau thường được sử dụng:

- 1- Hàn bằng thiếc khi nhiệt độ sử dụng không quá cao (cặp nhiệt điện loại T).
- 2- Hàn tự sinh bằng gió đá là kỹ thuật thường được sử dụng.
- 3- Hàn điện.

Hai dây dẫn có thể được xoắn lại với nhau một đoạn gần mối nối nhằm gia tăng bảo vệ cơ khí, nhưng nó tùy thuộc vào vận tốc đáp ứng.

Để tránh những điểm tiếp xúc khác ngoài mối nối, hai dây dẫn được đặt bên trong vỏ cách điện bằng sứ. Cặp nhiệt điện với vỏ cách điện thường được che chở thêm bằng một lớp vỏ để chống sự xâm phạm của các khí cũng như những đột biến nhiệt, lớp vỏ thường bằng sứ hoặc thép trong trường hợp bằng thép mối nối có thể được cách với vỏ hay tiếp xúc với vỏ, điều này có lợi là vận tốc đáp ứng nhanh nhưng nguy hiểm hơn (H.7.4).



Hình 7.4: a) Mối nối được cách với vỏ; b) Mối nối tiếp xúc với vỏ

## 2- Nhiệt độ chuẩn ( $T_{ref}$ )

Ta biết rằng sức điện động nhiệt điện phụ thuộc vào sự sai biệt giữa nhiệt độ mối nối đo  $T_c$  và nhiệt độ mối nối chuẩn  $T_{ref}$ , để xác định được nhiệt độ  $T_c$  ta cần phân biệt ba trường hợp:  $T_{ref} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_{ref}$  không đổi nhưng khác với  $0^\circ\text{C}$ ,  $T_{ref}$  bằng với nhiệt độ môi trường.

\* Trường hợp  $T_{ref}$  giữ nguyên không đổi ở  $0^\circ\text{C}$ : Việc đo sức điện động nhiệt điện cho phép ta xác định ngay nhiệt độ  $T_c$  nhờ sử dụng bảng đặc tính của cặp nhiệt điện sử dụng.

\*  $T_{ref}$  không đổi nhưng khác với  $0^\circ\text{C}$ : Khi nhiệt độ môi trường thay đổi lớn, trong kỹ nghệ người ta có thể chọn  $T_{ref}$  không đổi và lớn hơn nhiệt độ môi trường. Việc chọn trước  $T_{ref}$  và sử dụng bảng đặc tính của cặp nhiệt điện sử dụng ta biết được  $E_{A/B}^{T_{ref} 0^\circ\text{C}}$ , khi đo sức điện động nhiệt điện của cảm biến, ta sẽ tính được:

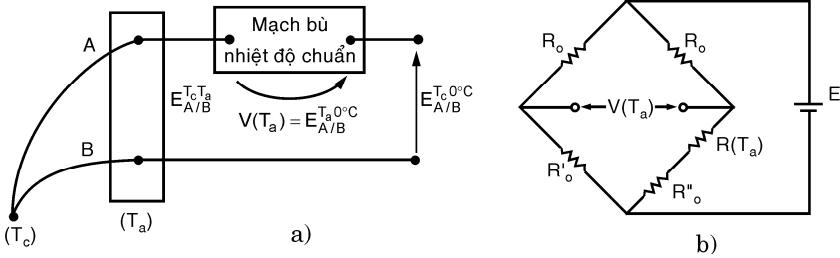
$$E_{A/B}^{T_c 0^\circ\text{C}} = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} + E_{A/B}^{T_{ref} 0^\circ\text{C}} \text{ từ đó xác định được } T_c$$

\*  $T_{ref}$  bằng với nhiệt độ môi trường: Khi biết trước nhiệt độ môi trường  $T_a$  đồng thời tiến hành đo sức điện động nhiệt điện của cảm biến ở nhiệt độ  $T_c$ , từ đó xác định được nhiệt độ  $T_c$  như sau:

$$E_{A/B}^{T_c 0^\circ\text{C}} = E_{A/B}^{T_c T_a} + E_{A/B}^{T_a 0^\circ\text{C}}$$

Tuy nhiên trong trường hợp này cần có mạch bù nhiệt độ chuẩn  $T_{ref}$  (thay đổi theo nhiệt độ môi trường) để tạo nên điện áp  $V(T_a) = E_{A/B}^{T_a 0^\circ\text{C}}$  theo đổi một cách tự động theo nhiệt độ môi trường như hình 7.4A.

Điện áp  $V(T_a)$  có được nhờ sử dụng nhiệt điện trở được giữ ở nhiệt độ môi trường: trị giá nhiệt điện trở  $R(T_a)$  xác định điện áp  $V(T_a)$  nhờ sử dụng cầu Wheatstone DC.



**Hình 7.4A:** Mạch bù nhiệt độ chuẩn:

a) Nguyên tắc; b) Cầu Wheatstone sử dụng làm mạch bù

Cầu Wheatstone cho phép bù nhiệt độ khi nhiệt độ môi trường thay đổi xung quanh trị giá  $0^{\circ}C$ , các trị giá  $R_0$ ,  $R'_0$  và  $R''_0$  độc lập với nhiệt độ trong khi nhiệt điện trở  $R(T_a)$  thay đổi tuyến tính với hệ số nhiệt độ là  $\alpha_R$ . Cầu cân bằng khi nhiệt độ ở  $0^{\circ}C$ , ở nhiệt độ  $T_a$  điện áp ở ngõ ra của cầu có trị giá:

$$V(T_a) = E \frac{R_0(R'_0 - R''_0)}{(R_0 + R'_0)^2} \alpha_R T_a$$

Các giá trị điện trở  $R_0$ ,  $R'_0$ ,  $R''_0$  được chọn làm sao để có:

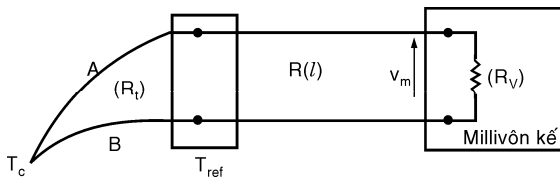
$$E \frac{R_0(R'_0 - R''_0)}{(R_0 + R'_0)^2} \alpha_R T_a = E_{A/B}^{T_a, 0^{\circ}C}$$

**3- Phương pháp đo**

Sức điện động nhiệt điện chỉ có thể biết chính xác nếu ta giảm thiểu độ giảm áp do dòng điện chạy qua cặp nhiệt điện và các dây nối, các điện trở này thường không biết chính xác do chúng phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường và nhiệt độ đo. Hai phương pháp thường sử dụng để đo sức điện động nhiệt điện:

- Sử dụng millivôn kế có nội trở lớn
- Sử dụng phương pháp biến trở (phương pháp xung đối)

\* Phương pháp millivôn kế



**Hình 7.4B:** Đo sức điện động nhiệt điện dùng millivôn kế



Gọi  $R_x$  là điện trở của cặp nhiệt điện,  $R_l$  là điện trở nối dây,  $R_v$  và  $v_m$  là nội trở và điện áp hai đầu millivôn kế:

$$v_m = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v} \Rightarrow E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = v_m \left[ 1 + \frac{R_t + R_l}{R_v} \right]$$

Để kết quả đo chính xác ( $E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \approx v_m$ ) ta cần phải có  $R_v \gg R_t + R_l$ .

#### \* Phương pháp biến trở

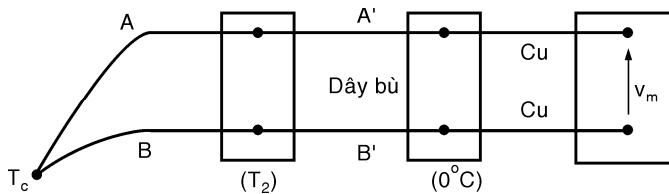
Được trình bày ở phần 2.4 (Đo điện áp DC bằng phương pháp biến trở), cho ta kết quả đo chính xác hơn dùng phương pháp millivôn kế.

#### 4- Dây bù

Người ta có thể lắp đặt để sử dụng chiều dài dây dẫn của cặp nhiệt điện ngắn nhất có thể, trong trường hợp sau:

- Vì lý do tiết kiệm, khi sử dụng cặp nhiệt điện có giá thành cao như Pt-Rh/Pt.

- Tránh làm đứt dây dẫn của cặp nhiệt điện khi mà điều kiện đo sử dụng dây dẫn cặp nhiệt điện rất mạnh, khi đó người ta đặt xen kẽ giữa cặp nhiệt điện và mạch đo các dây A' và B' mà không làm thay đổi sức điện động nhiệt  $E_{A/B}^{T_c 0^\circ\text{C}}$  tạo ra bởi cặp nhiệt điện A/B.



Hình 7.4C: Sơ đồ cách mắc dây bù

Để tránh làm đứt dây dẫn cặp nhiệt điện người ta nối thêm vào các dây dẫn có cùng loại với cặp nhiệt điện nhưng có đường kính lớn hơn.

Để giảm giá thành cặp nhiệt điện người ta nối thêm vào các dây dẫn khác loại với cặp nhiệt điện nhưng có đặc tính biết trước: đó là các dây bù. Bây giờ ta xét đặc tính của dây bù:

Trong trường hợp dây dẫn của cặp nhiệt điện được kéo dài đến mạch đo:

$$v_m = E_{A/B}^{T_c 0^\circ\text{C}} = P_{A/B}^{T_c} - P_{A/B}^{0^\circ\text{C}} + \int_0^{T_c} (h_A - h_B) dT$$

Trong trường hợp sử dụng dây bù:

Những phần tử được sử dụng, diod hay transistor silicium được mắc như diod (cực nền và cực thu nối chung) được cung cấp theo chiều thuận dòng điện  $I$  không đổi, điện áp  $V$  ở hai đầu cực của chúng tùy thuộc vào nhiệt độ, điều này có thể xem như tín hiệu đi ra từ cảm biến tùy thuộc vào nhiệt độ.

Độ nhạy nhiệt  $S$  của diod hay transistor được mắc như diod được xác định bởi  $S = dV/dT$  có trị giá khoảng  $-2,5mV/^{\circ}C$ , nó không hoàn toàn độc lập với nhiệt độ. Mặt khác độ nhạy cũng như điện áp  $V$  tùy thuộc vào dòng điện ngược  $I_o$ , dòng này có thể có giá trị khác nhau đối với các phần tử diod hay transistor khác nhau. Các diod, transistor chỉ có thể đổi cho nhau khi các đặc tính của chúng giống nhau (cùng trị giá  $V$  đối với một dòng điện cho trước và có cùng trị giá  $I_o$ ).

Để cải thiện sự tuyến tính và kết quả có thể hoán vị cho nhau, sử dụng hai transistor được cung cấp bởi hai dòng  $I_1$  và  $I_2$ , ta đo sự sai biệt điện áp giữa các cực nền và phát (H.7.5c).

$$\text{Độ nhạy nhiệt có thể diễn tả: } S = d(V_1 - V_2)/dT$$

$$\text{Ví dụ: } S = 86,56 \text{ Log } I_1/I_2 \text{ tính bằng } \mu V. K^{-1}.$$

Những trị giá độ nhạy của diod và transistor thường lớn hơn độ nhạy cặp nhiệt điện và không cần sự hiệu chỉnh của nhiệt độ chuẩn. Tuy nhiên những trị giá này thấp hơn so với độ nhạy nhiệt điện trở có đi kèm với mạch biến đổi. Do đặc tính điện của cảm biến làm giới hạn phạm vi sử dụng đo nhiệt độ trong khoảng từ  $-50^{\circ}C$  đến  $150^{\circ}C$ , trong khoảng này đặc tính điện của cảm biến rất ổn định.

#### 7.4.2 Sự liên hệ điện áp và nhiệt độ

##### 1- Diod hay transistor mắc như diod

Dòng điện  $I$  và điện áp  $V$  được liên hệ bởi công thức.

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right]$$

$T$ :  $^{\circ}K$  ;  $K$ : hằng số Boltzman

Nếu phân cực thuận ( $I \gg I_o$ ) ta có:

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{KT}\right) \text{ với } I_o = C T^m \exp\left(-\frac{qV_{\Phi}}{KT}\right)$$

trong đó:  $V_{\Phi}$  - độ cao vùng cấm tính bằng volt, đối với silicium có trị giá 1,12 vôn.

$m$  - thông thường có trị giá là 3.

$c$  - hệ số độc lập đối với nhiệt độ  $T$  nhưng tùy thuộc vào dạng hình học mối nối.

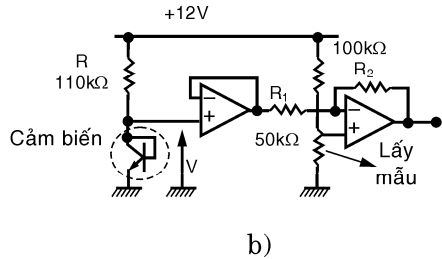
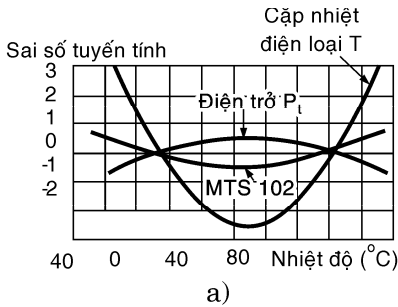
Như thế ta có thể tính  $V$ :

$$V = V_{\Phi} + \frac{KT}{q} \text{Log} I - \frac{KT}{qm} \text{Log} T - \frac{KT}{q} \text{Log} C$$

Hằng số  $c$  và dòng  $I$  có thể loại ra khỏi biểu thức trên nếu ta để ý là điện áp có giá trị  $V_I$  đối với cùng dòng điện  $I$  nhưng nhiệt độ là  $T_1$ .

$$V = V_I \frac{T}{T_1} + V_{\Phi} \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) + m \frac{KT}{q} \text{Log} \frac{T_1}{T}$$

Biểu thức trên cho thấy điện áp không tuyến tính theo nhiệt độ. Khoảng cách tuyến tính từ  $-20^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$  của transistor MTS 102 (hãng Motorola) được giới thiệu như hình 7.6.



**Hình 7.6:** Cảm biến transistor đo nhiệt độ

a) So sánh sai số tuyến tính của transistor với điện trở bạch kim và cặp nhiệt điện; b) Mạch đo

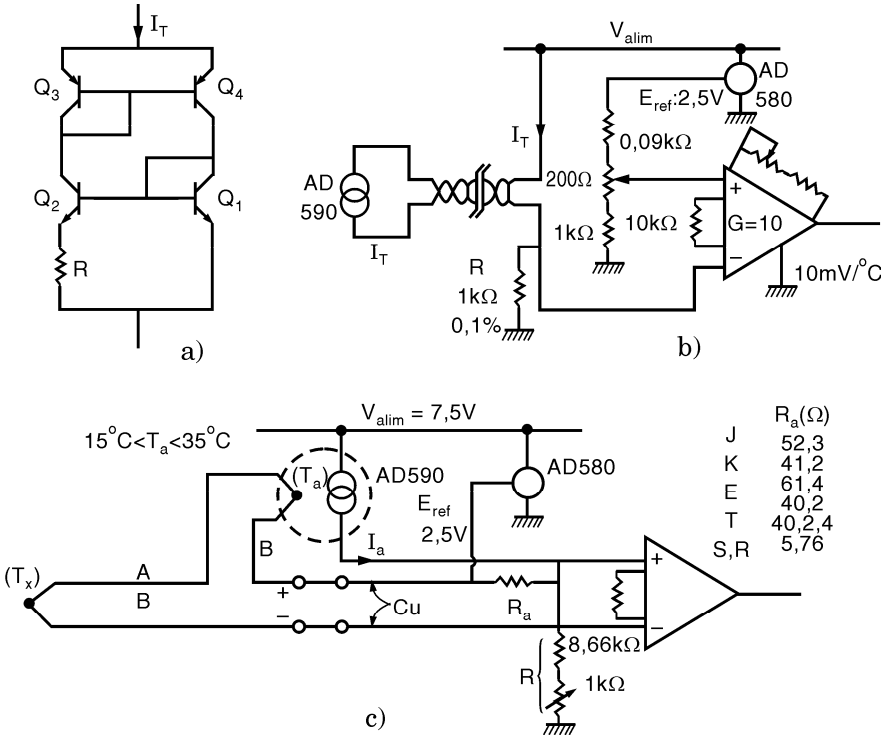
**2- Điện áp sai biệt giữa hai transistor giống nhau được mắc theo hình 7.5c**

Hai transistor  $Q_1$  và  $Q_2$  giống nhau, có cùng dòng  $I_o$  được cung cấp các dòng  $I_1$  và  $I_2$ , các điện áp nền và phát là  $V_1$  và  $V_2$ .

$$I_1 = I_o \exp \frac{qV_1}{KT} \Rightarrow V_1 = \frac{KT}{q} \text{Log} \frac{I_1}{I_o}$$

$$I_2 = I_o \exp \frac{qV_2}{KT} \Rightarrow V_2 = \frac{KT}{q} \text{Log} \frac{I_2}{I_o}$$

Cảm biến này tạo ra một dòng điện thay đổi tuyến tính theo nhiệt độ tuyệt đối, được dùng đo nhiệt độ trong trường hợp dùng dây dẫn với khoảng cách xa. Sơ đồ đơn giản về cấu tạo cảm biến như hình 7.8.



**Hình 7.8:** Cảm biến đo nhiệt độ dùng IC AD 590

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Mạch đo nhiệt độ; c) Mạch bù trừ

Các transistor  $Q_3$  và  $Q_4$  có cùng điện áp  $V_{BE}$  và có dòng cực phát giống nhau bằng  $I_T/2$ ; dòng điện này qua  $Q_4$  cũng chính là dòng điện cực phát của  $Q_1$ , nó xác định điện áp nền phát là:

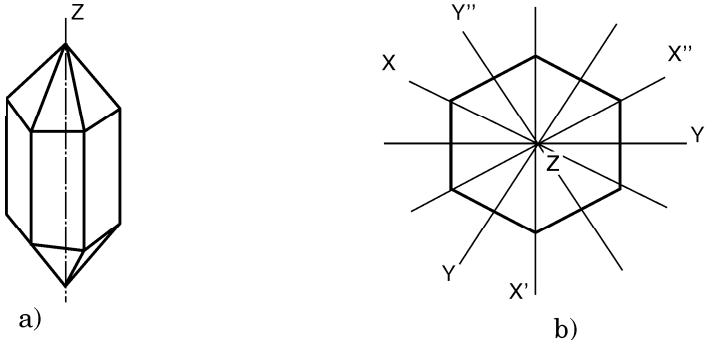
$$V_{BE_1} = \frac{KT}{q} L \log\left(\frac{I_T}{2I_0}\right)$$

Dòng điện  $I_T/2$  chạy qua  $Q_3$  đi qua  $Q_2$ , có điện áp nền – phát (thực tế gồm tám transistor giống  $Q_1$ , mỗi transistor có dòng điện  $I_T/16$ ) là:

$$V_{BE_2} = \frac{KT}{q} L \log\left(\frac{I_T}{16I_0}\right)$$

Sự sai biệt giữa điện áp  $V_{BE_1}$  và  $V_{BE_2}$  xuất hiện ở hai đầu điện trở  $R$  có dòng điện  $I_T/2$  chạy qua.

□ Ba trục cơ Y, Y', Y'' mỗi trục thẳng góc với hai cạnh đối diện của mặt phẳng sáu cạnh.



**Hình 7.9:** Tinh thể thạch anh

a) Dạng tổng quát; b) Tiết diện thẳng góc với trục quang

Trong tinh thể được cắt theo dạng tiết diện vuông, tam giác hoặc tròn, các đặc tính phụ thuộc vào dạng hình học, và kích thước của chúng cũng như phương tinh thể. Thạch anh là một chất áp điện. Trong trường hợp các mặt phẳng thu điện tích thẳng góc với trục điện sẽ xuất hiện các điện tích trái dấu trên mặt phẳng. Đó là hiệu ứng áp điện trực tiếp.

□ Một sự thay đổi bề dày của bản thạch anh, nén lại hoặc bè ra tùy thuộc theo dấu của điện áp khi đưa vào các bề mặt, đó là hiệu ứng áp điện ngược.

Một bản thạch anh có thể xảy ra các dao động cơ liên quan đến các loại biến dạng khác nhau: sự kéo dài ra, uốn cong, cắt. Tần số dao động được xác định bởi dạng hình học, kích thước, phương tinh thể của bản thạch anh và có thể diễn tả bởi công thức:

$$f = (nl)\sqrt{dp}$$

trong đó: c - độ lớn đàn hồi, phụ thuộc phương tinh thể

$\rho$  - trọng lượng riêng của thạch anh

l - kích thước của bản thạch anh theo phương truyền dao động

n - số nguyên;  $1 < n < 5$ .

Khi áp vào hai mặt của bản thạch anh một điện áp xoay chiều mà tần số bằng với tần số dao động có thể, hiệu ứng áp điện ngược xảy ra kéo theo sự dao động của bản thạch anh. Như thế có thể xây dựng một hiện tượng dao động cơ điện với sự biến đổi tuần hoàn năng lượng cơ ra năng lượng điện và ngược lại, và năng lượng mất mát rất bé. Hệ số phẩm chất Q đặc trưng cho

hiện tượng cộng hưởng có được:

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{naêng löông cô hoaë ñieä cöc ñaï}}{\text{naêng löông tieä taù tuaàn hoan}}$$

Đối với bản thạch anh,  $Q$  có giá trị rất cao, thường từ  $10^4 \div 10^5$ . Vị trí hai bản cực thu điện tích so với trục tinh thể của bản thạch anh xác định lực cắt. Ví dụ:

□ Lực cắt X gọi là mẫu Curie: hai bản cực thẳng góc với trục X. một điện áp xoay chiều được áp vào hai mặt đối diện, bản dao động có thể dao động theo chiều dài và hai tần số cộng hưởng quan trọng là:

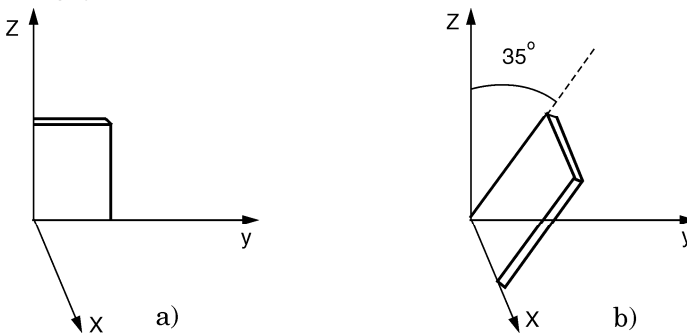
$$f_1 = 2860/e \text{ và } f_2 = 2860/l; \text{ } f \text{ tính bằng kHz}$$

$e$  và  $l$ : bề dày và bề rộng của bản tính bằng mm.

□ Lực cắt AT, hai mặt bản cực quay chung quanh trục X và tạo thành một góc gần bằng  $35^\circ$  so với trục Z, bản dao động có thể dao động theo lực cắt bề dày và tần số dao động có trị giá:

$$f = \frac{1675}{e} \cdot n$$

$f$ : kHz;  $n$ : số nguyên  $\leq 5$



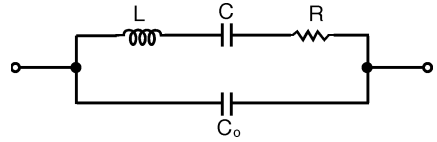
Hình 7.10: a) Lực cắt X; b) Lực cắt AT

□ Với những lực cắt khác được sử dụng: tần số dao động cơ luôn luôn tỉ lệ nghịch với một trong những kích thước của chúng.

Các điện cực cho phép đặt một điện áp vào bản dao động, nó được cấu tạo bằng thanh kim loại đặt tiếp xúc với bản dao động.

Chung quanh tần số cộng hưởng cơ, về phương diện điện bản thạch anh có thể được biểu thị bằng một lưỡng cực cấu tạo bằng hai nhánh song song.

Một nhánh  $L, C, R$ . Các phần tử này có giá trị được xác định bởi đặc tính hình học, cơ khí và tinh thể của bản dao động và có độ lớn:



$L$ : từ vài H đến  $10^4$  H,  $C$ : từ  $10^{-2}$  pF đến  $10^{-1}$  pF,

$R$ : vài k $\Omega$  đến vài chục k $\Omega$

□ Một nhánh gồm điện dung  $C_0$  đó là điện dung được hình thành bằng các điện cực kim loại có giá trị khoảng: 1 đến 100 pF; tỉ số  $C/C_0$  có giá trị tổng quát từ  $10^{-2}$  đến  $10^{-3}$ .

Lưỡng cực này có thể có hai tần số cộng hưởng điện:

□ Cộng hưởng nối tiếp của nhánh  $L, C, R$  tần số  $f_S$ :

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

□ Cộng hưởng song song, giữa  $C_0$  và nhánh  $L, C, R$  tần số  $f_P$ :

$$f_P = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC\frac{1}{1+(C/C_0)}}}$$

Các tần số này rất gần nhau:  $\frac{f_P - f_S}{f_S} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{C_0}$

### 7.6.2 Độ nhạy nhiệt

Tất cả sự thay đổi nhiệt độ kéo theo một sự thay đổi kích thước của bản dao động, trọng lượng riêng và hệ số đàn hồi, kết quả:

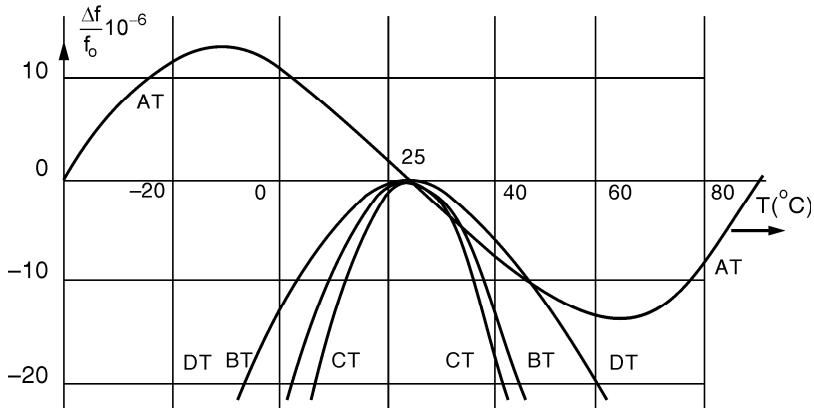
□ Một sự thay đổi tần số cộng hưởng cơ:  $f = n/l\sqrt{c/\rho}$

□ Một sự thay đổi các giá trị các thành phần  $L, C, R$  đặc trưng của bản dao động, về phương diện điện.

Một cách tổng quát:  $f(T) = f_0(1 + aT + bT^2 + dT^3)$ ; T: °C

$$\Rightarrow \Delta f/f_0 = aT + bT^2 + dT^3 \text{ với } \Delta f = f(T) - f_0.$$

Các hệ số  $a, b, d$  tùy thuộc lực cắt bản dao động (H.7.11).



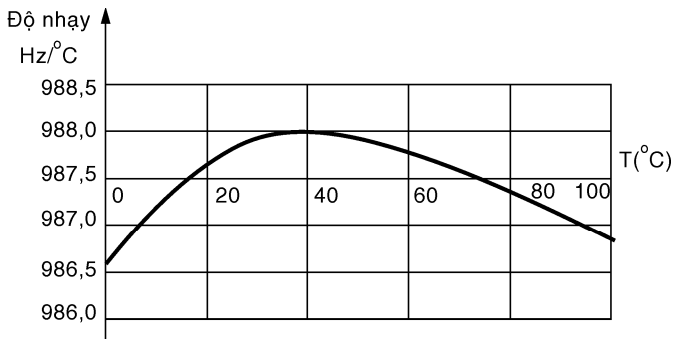
**Hình 7.11:** Sự thay đổi theo nhiệt độ tần số cộng hưởng của thạch anh đối với các lực cắt khác nhau

Với lực cắt LC (tuyến tính) về nguyên tắc các hệ số b và d bằng 0. Độ nhạy nhiệt của tần số cộng hưởng là một hằng số:

$$S = \frac{\Delta f}{\Delta T} = a \cdot f_0$$

với:  $a = 35,45 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$  và  $f_0 = 28,208 \text{ MHz}$ ; ta có:  $S = 1000 \text{ Hz}/^{\circ}\text{C}$ .

Lực cắt LC thường được sử dụng đối với bản thạch anh dùng làm cảm biến đo nhiệt độ. Hình 7.12 cho thấy sự thay đổi độ nhạy nhiệt của bản thạch anh có lực cắt LC.



**Hình 7.12:** Độ nhạy thay đổi theo nhiệt độ của thạch anh có lực cắt LC



**7.6.3 Mạch dao động dùng bản thạch anh**

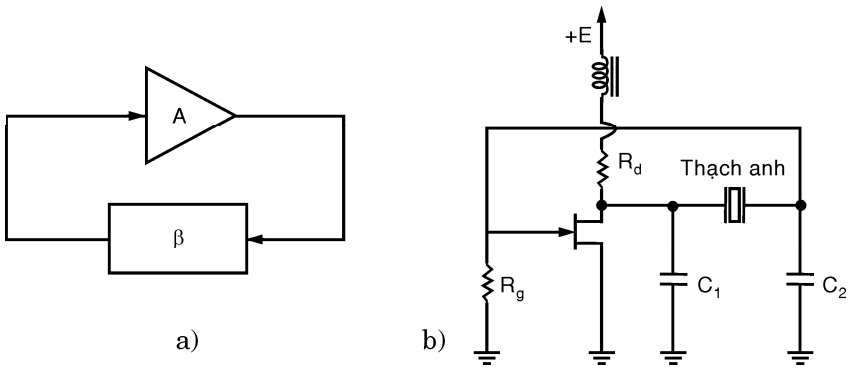
Một dao động sin được cấu tạo gồm một mạch khuếch đại và một mạch hồi tiếp (H.7.13).

A - độ lợi mạch khuếch đại

$\Phi_a$  - góc lệch pha tạo bởi mạch khuếch đại .

$\beta$  - tỉ số hồi tiếp, đó là tỉ số tín hiệu đầu vào và đầu ra của mạch khuếch đại,  $\Phi_r$  góc lệch pha tạo bởi mạch hồi tiếp. Điều kiện Barkhausen để cho mạch dao động:  $|A.\beta| \geq 1$  và  $\Phi_a + \Phi_r = 2\pi$ .

Hình 7.13 là một mạch dao động đơn giản.



*Hình 7.13: a) Sơ đồ nguyên lý mạch dao động*

*b) Mạch dao động đơn giản dùng thạch anh*

**7.6.4 Cách chế tạo nhiệt kế và cách đo**

Để đo nhiệt độ bằng cảm biến thạch anh ta đặt bản thạch anh bên trong hộp thép chứa hélium nhằm mục đích gia tăng sự dẫn nhiệt giữa thạch anh và hộp. Thạch anh được nối với các phần tử tác động nhờ dây cáp và sẽ tạo nên mạch dao động với tín hiệu đo  $e_m$ :

$$e_m = E_m \cos \Omega_m t \text{ với } \Omega_m = 2\pi f_m$$

$$f_m = f_o + \Delta f \text{ và } \Delta f = S(T - T_o) = ST \text{ khi } T_o = 0^\circ C$$

Với mạch dao động chuẩn bằng thạch anh, tạo nên tín hiệu chuẩn  $e_r$  tần số  $f_o$ , độc lập với môi trường.

$$e_r = E_r \cos \Omega_o t. (\Omega_o = 2\pi f_o)$$

Các tín hiệu  $e_m$ ,  $e_r$  được đưa vào mạch thay đổi tần số (mạch nhân chẳng hạn) sẽ tạo nên tín hiệu  $V'_o$ :

$$V'_o = Ke_m e_r = E'_o [\cos(\Omega_m - \Omega_r)t + \cos(\Omega_m + \Omega_r)t]$$

Với một mạch lọc thấp qua nó giới hạn tần số cao ở đầu ra:

$$V_o = E_o \cos(\Omega_m - \Omega_r)t = E_o \cos 2\pi \Delta f.t$$

Một bộ đếm tần số cho phép xác định  $\Delta f$  và với  $S$  biết được, ta sẽ biết  $T = \Delta f / S$ .

Đặc tính đo lường của cảm biến thạch anh đo nhiệt (hãng chế tạo Hewlett Packard):

*Khoảng đo:* -80 đến 250°C.

*Khoảng cách tuyến tính:*  $\pm 0,05\%$  khoảng đo.

*Độ nhạy:* 1000 Hz/°C.

*Khả năng đo:* 0,0001°C.

*Độ nhanh:* hằng số thời gian nhiệt 2,5 giây trong nước có vận tốc 2m/giây.

Những cảm biến loại này rất đặc trưng cho việc đo vận tốc chất lỏng và sẽ được trình bày sau.

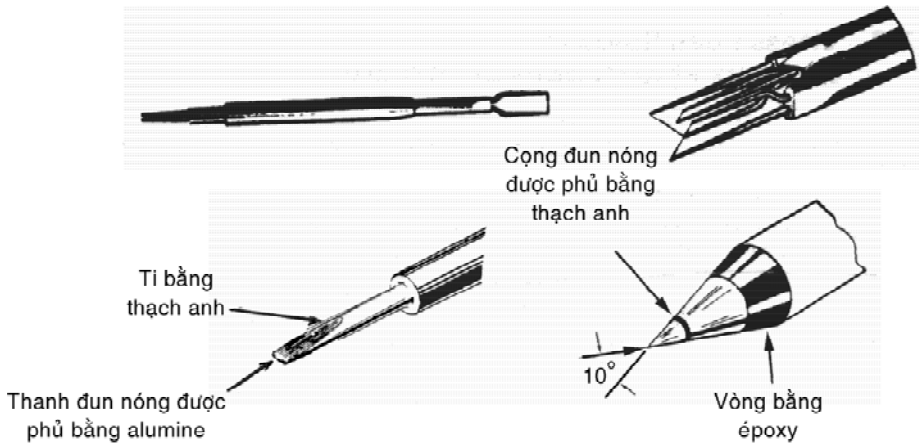
### 8.1.1 Tốc độ kế loại cọng hay thanh điện trở đun nóng

#### *I- Nguyên lý, cấu tạo và định luật trao đổi nhiệt*

Khi người ta đặt trong vùng chất lỏng di chuyển, một cọng hoặc một thanh điện trở đun nóng nhờ hiệu ứng Joule có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ dòng chảy, sẽ xảy ra một sự trao đổi nhiệt cho nhau. Việc trao đổi phụ thuộc vào đặc tính vật lý của chất lỏng, vận tốc chất lỏng và khoảng sai biệt nhiệt độ giữa điện trở đốt nóng và chất lỏng.

Nhiệt độ cân bằng của cọng hoặc thanh điện trở cảm biến được xác định do việc đo điện trở cảm biến, nó tương ứng với công suất Joule tiêu tán và do đó vận tốc của dòng chảy được xác định.

Kim loại dùng làm cảm biến phải có hệ số nhiệt điện trở cao, trong chất khí người ta thường dùng một sợi bạch kim hoặc tungstène rất mảnh ( $0,6\mu\text{m} < D < 10\mu\text{m}$ ), trong chất lỏng vì lý do cần chắc chắn, cảm biến là tấm bạch kim mỏng, đặt trên cây hình trụ cách điện và có vỏ được bọc thạch anh (H.8.1).



**Hình 8.1:** Cọng và thanh đun nóng dùng làm tốc độ kế

Công suất Joule  $P_j$  tiêu tán trên một điện trở nhiệt độ  $T$ , trị giá  $R(T)$ , dòng điện  $I_{DC}$  chạy qua được diễn tả:  $P_j = R(T)I^2$ .

Sự trao đổi nhiệt với chất lỏng ở nhiệt độ  $T_a$ , công suất trao đổi có thể viết:

$$P_C = hS_I(T - T_c)$$

với:  $h$  - hệ số trao đổi nhiệt

$S_I$  - tiết diện ngoài của cảm biến đối với dạng cọng (tiết diện tròn):

$$S_I = \pi D l$$

$D$  - đường kính;  $l$  - chiều dài.

Đối với dạng thanh (tiết diện chữ nhật):

$$S_I = 2Dl$$

với:  $D$  - chiều rộng;  $l$  - chiều dài.

Khi cân bằng nhiệt  $P_j = P_C \Rightarrow R(T) I^2 = h \cdot S_I(T - T_a)$ .

Vận tốc  $U$  của chất lỏng tham gia vào biểu thức tính  $h$  và những công thức khác nhau cho phép tính trị giá  $h$  như sau:

$$\text{Công thức King: } h = a + b\sqrt{U}$$

$a, b$ : là những hằng số đối với mỗi chất lỏng và cảm biến cho trước, ta có thể đơn giản:  $R(T) I^2 = (A + B\sqrt{U})(T - T_a)$

Với  $A = a S_I$ ;  $B = b S_I$ .

Để thấy rõ những thông số làm ảnh hưởng đến việc đo, ta đặt một cách tổng quát:  $h = \lambda Nu/D$

$\lambda$  - độ dẫn nhiệt của chất lỏng

$D$  - đường kính của cọng hoặc bề rộng của thanh

$Nu$  - hệ số Nusselt. Như thế phương trình cân bằng có thể viết:

$$R(T)I^2 = \lambda Nu/D \cdot S_I(T - T_a)$$

Trong trường hợp dạng cọng:  $Nu = R(T)I^2/\pi\lambda l(T - T_a)$

Có nhiều biểu thức khác nhau để tính được  $Nu$ , và thường được ký hiệu  $N_{uf}$  (ở nhiệt độ  $T_f = \frac{T + T_a}{2}$ ) như sau:

$$\text{Công thức Kramer: } N_{uf} = 0,42Pr_f^{0,2} + 0,57Pr_f^{0,33} \cdot Re_f^{0,5}$$

$Re_f = UD/\gamma$ : hằng số Reynold;  $V$ : vận tốc chất lỏng;  $D$ : đường kính bình đựng chất lỏng;  $\gamma$ : độ nhớt.

$Pr_f = \gamma/\alpha$ : hằng số Prandtl;  $\alpha$ : hệ số khuếch tán của chất lỏng.

Công thức Collis và Williams:  $N_{uf} = (A + BR_{ef}^n) \left( \frac{T + T_a}{2T_a} \right)^{0,17}$

với:  $n = 0,45$ ;  $A = 0,24$ ;  $B = 0,56$  nếu  $0,02 < R_e < 44$ .

hay:  $n = 0,51$ ;  $A = 0$ ;  $B = 0,48$  nếu  $44 < R_e < 150$ .

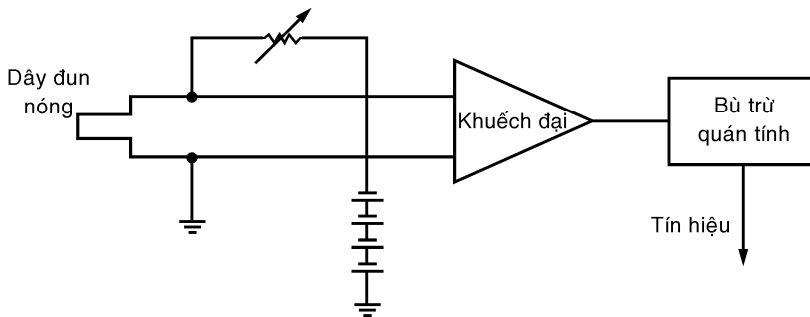
## 2- Mạch đo

Có hai loại mạch đo được dùng cho vận tốc kế loại cộng hoặc thanh đun nóng: cách mắc dòng điện không đổi và cách mắc nhiệt độ  $T$  không đổi.

\* Cách mắc dòng điện không đổi:

Dòng điện  $I$  chạy qua điện trở cảm biến được giữ không đổi, nhờ một điện trở mắc nối tiếp với cảm biến, và được cung cấp nhờ một nguồn dòng. Ta biết công suất nhiệt trao đổi phụ thuộc vận tốc chất lỏng, chất lỏng có vận tốc thay đổi dẫn đến nhiệt độ cảm biến thay đổi, điện trở của cảm biến phụ thuộc vào nhiệt độ của nó, như vậy điện áp hai đầu điện trở cảm biến phụ thuộc vào vận tốc chất lỏng.

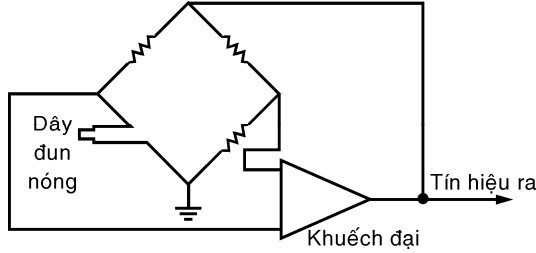
Hình 8.2 cho ta thấy sơ đồ nguyên tắc mạch đo loại dòng điện không đổi và có mạch bù trừ quán tính nhiệt để cải thiện vận tốc đáp ứng.



**Hình 8.2:** Cách mắc mạch đo dòng điện không đổi

\* Cách mắc nhiệt độ không đổi:

Trong trường hợp này, nhiệt độ và điện trở của cảm biến được giữ không đổi. Điện trở cảm biến được mắc vào một nhánh của cầu Wheastone và dòng điện được điều chỉnh cho cầu cân bằng sẽ phụ thuộc vào vận tốc chất lỏng như hình 8.3.



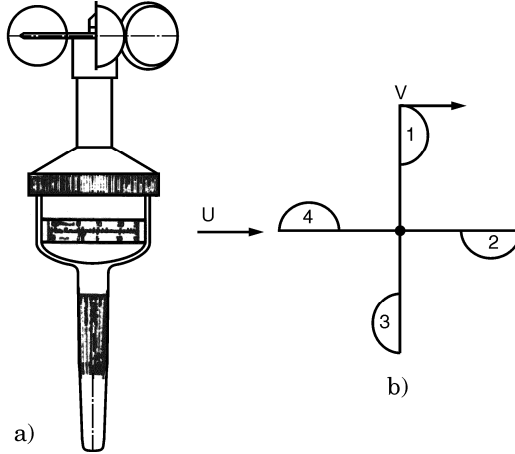
Hình 8.3: Cách mắc mạch đo nhiệt độ không đối

### 8.1.2 Tốc độ kế dùng cánh dạng Coupelles và cánh dạng hélice

Loại tốc độ kế này được thiết kế như bánh xe nước, gồm có một chi tiết thử nghiệm mang những cánh Coupelles hay dạng cánh hélice nó sẽ quay dưới tác động của dòng chảy. Vận tốc quay, được đo bởi một thiết bị đo vận tốc thích hợp tỉ lệ với vận tốc chất lỏng.

#### 1- Tốc độ kế dạng Coupelles

Những Coupelles có dạng nửa trái cầu rỗng, với số lượng ba hay bốn nửa trái cầu tùy theo kiểu, mỗi cái được gắn trên một nhánh của trục quay (H.8.4).



Hình 8.4: Vận tốc kế dạng Coupelles

a) Loại ba Coupelle

b) Hình vẽ vận tốc kế có bốn Coupelles trong phần tính toán

Đặt trong vùng dòng chảy, tốc độ kế dạng Coupelles sẽ quay dưới tác động của hệ số kéo có giá trị phụ thuộc vào dòng chảy tác động vào mặt nào của hình bán cầu rỗng.

Phương trình cân bằng được thiết lập một cách dễ dàng bằng cách quan sát tốc độ kế ở thời điểm hai nửa bán cầu (ví dụ 1 và 3) ở vị trí thẳng góc với

vận tốc  $\bar{U}$  của dòng chảy, những lực tác động trên hai nửa bán cầu còn lại (2 và 4) tự cân bằng (hình vẽ trên). Hai nửa bán cầu 1 và 3 có vận tốc  $\bar{V}$  và  $-\bar{V}$  có cùng phương với vận tốc  $\bar{U}$ , những lực kéo tác dụng lên hai bán cầu này có trị số tương đương.

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho C_x S (U - V)^2$$

với:  $\rho$  - khối lượng riêng chất lỏng,  $S$  - ngẫu lực chính.

$$F_3 = \frac{1}{2} \rho C'_x S (U + V)^2$$

với:  $C_x$  và  $C'_x$  là những hệ số kéo đối với mỗi bề mặt của bán cầu rỗng.

$$\text{Ta có: } C_x \cdot (U - V)^2 = C'_x (U + V)^2 \Rightarrow U = V \frac{\sqrt{C_x} + \sqrt{C'_x}}{\sqrt{C_x} - \sqrt{C'_x}}$$

Ta có:  $C_x = 1,42$  và  $C'_x = 0,38$  đối với bán cầu rỗng và  $U = 3,1V$ .

*Lưu ý:* việc tính toán trên chỉ là cách tính toán đơn giản. Những hệ số  $C_x$  thay đổi đối với hệ số Reynolds một cách phức tạp phải kể đến những hiệu ứng bề mặt sóng. Nếu vận tốc tương đối lớn những hiệu ứng không tuyến tính phải kể đến.

## 2- Tốc độ kế loại hélice

Trục quay của tốc kế hélice được đặt song song với vận tốc dòng chảy

Trong trường hợp không kể đến sự trượt, ta có thể viết được:

$$U = h \cdot N$$

trong đó:  $U$  - vận tốc dòng chảy

$N$  - số vòng /giây của hélice

$h$  - hằng số.

Những công thức khác có thể được nêu ra có tính đến hiệu ứng trượt, chỉ dùng lúc khởi hành:

$$U = a + b N$$

$$U = a N + b N^2 + C \text{ (Baumgarten)}$$

$$U = a + b N + C/U \text{ (Rateau)}$$



**Hình 8.5:** Tốc kế loại hélice

Những hằng số tham gia trong các công thức trên dĩ nhiên phụ thuộc vào đặc tính của hélice và chất lỏng. Hơn nữa một vài đặc tính có thể thay đổi, ví dụ sự hao mòn do tác động của dòng chảy.

### 3- Mạch biến đổi, cách thực hiện

Một mạch biến đổi tín hiệu đi ra từ bánh xe nước được thực hiện bằng bốn phương pháp.

□ Phương pháp cổ điển là việc biến đổi bằng cơ khí. Nối đầu ra bằng một bộ phận đếm vòng quay bằng cơ ta gặp trong thiết bị đo vận tốc bằng cơ khí tên gọi Chronomètre.

□ Phương pháp thứ 2 là nối liền một máy phát đo tốc độ với trục quay.

Thông thường người ta sử dụng hai phương pháp:

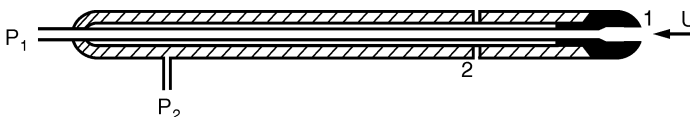
□ Phương pháp thứ 3: Đặt 1 nam châm nhỏ trên hélice, điều này dẫn đến một xung điện xuất hiện mỗi khi nam châm đi ngang qua cuộn dây.

□ Phương pháp thứ 4: Dùng một cảm biến quang điện, cảm biến bị che khuất mỗi lần tấ chắn đi ngang qua. Một sự phân tích tín hiệu bằng cách đo tần số cho phép ta biết được vận tốc hoặc nhờ một mạch biến đổi tần số–điện áp ta có điện áp một chiều tỉ lệ với vận tốc cần đo.

### 8.1.3 Phương pháp đo tốc độ bằng những cảm biến không đặc trưng

Ở đây ta đề cập đến những phương pháp đo trong đó việc xác định vận tốc một cách gián tiếp, những cảm biến được sử dụng thích hợp riêng cho việc đo các đại lượng vật lý cụ thể.

#### 1- Đo vận tốc nhờ ống Pitot



Hình 8.6: Cấu tạo ống Pitot

Phương trình Bernoulli cho biết sự liên hệ vận tốc  $U$  có áp suất  $P_1$  và  $P_2$  ở điểm 1 và 2 tương ứng:

$$U = \sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho}$$

trong đó:  $\rho$  - khối lượng riêng của chất lỏng.

Sự sai biệt áp suất  $P_1 - P_2$  được đo nhờ một cảm biến áp suất vi sai.

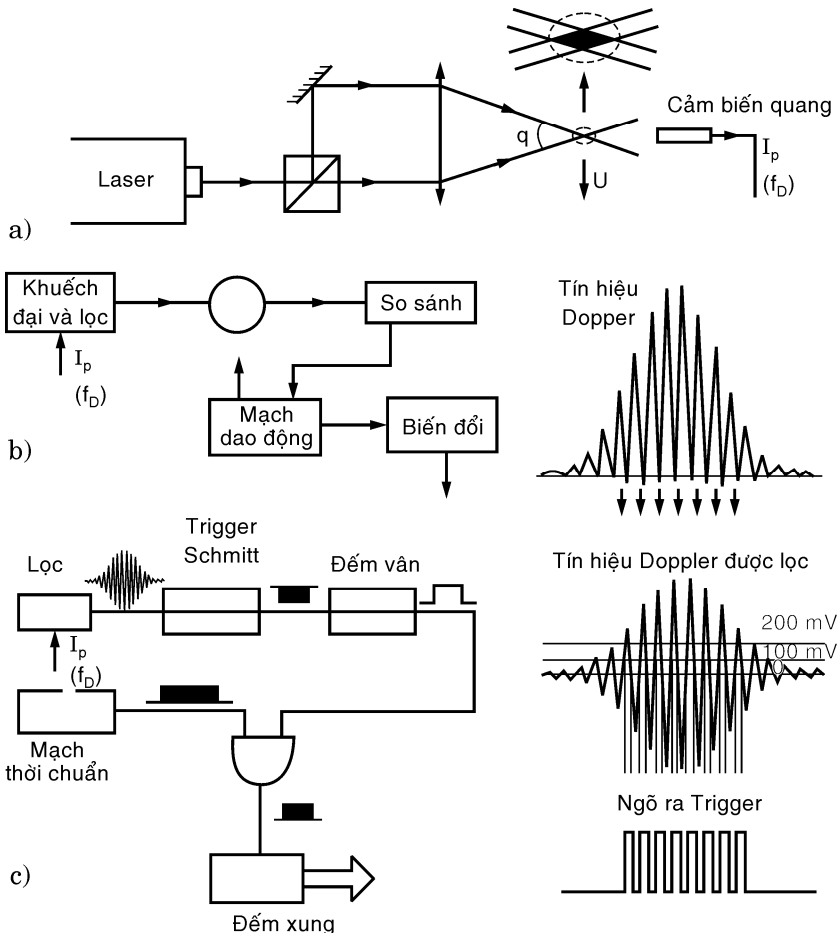
#### 2- Vận tốc kế laser

*Nguyên tắc:* Hai nguồn sáng phát xuất từ nguồn laser hội tụ tại tiêu điểm



của hệ thống thấu kính trong vùng thể tích khoảng  $0,1\text{mm}^3$  của chất lỏng sẽ xảy ra hiện tượng giao thoa. Khoảng cách vân giao thoa:

$$d = \frac{\lambda}{2\sin(\theta/2)}$$



**Hình 8.7:** Vận tốc kế laser

- a) Cấu tạo, dây chuyền đo lường; b) Sự phụ thuộc tần số  
c) Mạch đếm tần số; d) Dạng tín hiệu

$\lambda$ - chiều dài bước sóng nguồn sáng;  $\theta$  - góc hợp bởi hai nguồn sáng.

Nếu các phân tử chất lỏng ở vùng giao thoa di chuyển, sẽ xảy ra hiệu ứng Doppler ánh sáng sẽ bị khuếch tán và đồng thời được tiếp nhận nhờ một cảm biến quang học (chẳng hạn photodiode) và nó sẽ được biến điệu với tần số  $f_D$  (tần số Doppler) phụ thuộc vào vận tốc dòng chảy  $U$  và khoảng cách vân giao

thoa  $d$ :

$$f_D = \frac{U}{d} = \frac{2U}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$$

với  $U$  là thành phần vận tốc dòng chảy vuông góc với vân giao thoa.

Tần số  $f_D$  tỉ lệ tuyến tính với vận tốc  $U$  và giá trị có thể đo bằng phương pháp này, thông thường từ  $10^{-3}$  m/giây đến  $10^3$  m/giây. Hai kỹ thuật có thể sử dụng để phân tích tín hiệu đi ra từ cảm biến quang: sự phụ thuộc tần số và việc đếm tần số.

- *Phương pháp thứ nhất (H.8.7b)*: tần số  $f_D$  của tín hiệu Doppler được lọc và so sánh với tần số của một nguồn dao động có thể điều chỉnh được. Khoảng cách tần số được chuyển đổi thành một điện áp tỉ lệ tác động lên bộ dao động sao cho tần số của nguồn dao động có giá trị  $f_D$ . Một bộ biến đổi tần số-điện áp tiếp theo cho phép có được một tín hiệu tỉ lệ với vận tốc của chất lỏng. Hệ thống này có lợi là tín hiệu DC nhưng nó đòi hỏi số phân tử di chuyển khá nhiều để không cắt đứt tín hiệu Doppler.

- *Phương pháp thứ hai (H.8.7c)*: áp dụng cho dòng chảy có mật độ nhỏ. Tín hiệu Doppler được lọc có cùng dạng được xác định nhờ một tín hiệu thời gian chuẩn có tần số cao  $F_H$ , người ta đếm số chu kỳ  $N_H$  của tín hiệu chuẩn  $F_H$  nằm trong số chu kỳ cố định  $N_D$  của tín hiệu Doppler:

$$f_D = \frac{N_D}{N_H} F_H$$

**3- Tốc độ kế siêu âm**

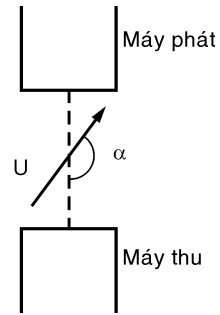
Sóng âm thanh truyền trong môi trường cho trước có vận tốc  $C$  tùy thuộc theo nhiệt độ môi trường. Ví dụ trong không khí:  $C = 331,4$  m/giây ở  $8^\circ\text{C}$  và  $342,9$  m/giây ở  $20^\circ\text{C}$ .

Sự truyền tiếng động trong chất lỏng nhanh hơn trong môi trường không khí:  $C = 1435$  m/giây trong nước ở  $8^\circ\text{C}$ .

Nếu môi trường di chuyển với vận tốc  $\bar{U}$  so với quan sát viên, vận tốc  $C'$  được đo nhờ quan sát viên là:

$$C' = C + U \cos \alpha$$

với  $\alpha$  là góc tạo bởi vận tốc  $\bar{U}$  và phương truyền sóng như hình 8.8.



**Hình 8.8:** Nguyên tắc của tốc độ kế siêu âm



Khoảng cách tuyến tính:  $< \pm 0,25\%$  khoảng đo.

Độ chính xác:  $\pm 1\%$  khoảng đo.

Hằng số thời gian khoảng 1 giây.

*Những điều lợi khi sử dụng lưu lượng kế điện từ:*

□ Việc đo không tùy thuộc vào đặc tính vật lý của chất lỏng (tỉ trọng, độ nhớt, độ dẫn điện miễn là độ dẫn điện phải lớn hơn một giá trị tối thiểu).

□ Việc đo thực tế độc lập đối với việc phân bố vận tốc của dòng chảy, điều này cho phép đặt lưu lượng kế trong trường hợp cần kiểm soát lưu lượng gần một chướng ngại vật (như coude, van v.v...)

□ Không có sự mất mát lưu lượng khi vận hành bởi vì không tạo nên một chướng ngại vật khi đo.

□ Không có những phần tử di động tránh được sự hao mòn.

□ Chống lại sự ăn mòn (ví dụ như acid) nhờ việc chọn lớp phủ bên trong thích hợp (*téflon, émail, verre*) và vật liệu điện cực (*titane, palette*).

### 8.2.2 Lưu lượng kế cơ khí với bộ biến đổi tín hiệu điện

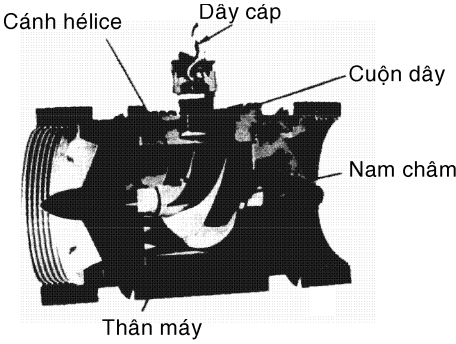
Một chi tiết thử nghiệm được đặt trong thiết bị đo cho phép chất lỏng di chuyển sẽ tạo nên sự chuyển động turbine (*rotor turbine*) hoặc sự dịch chuyển (phao nổi của rotamètre, palette).

Một cảm biến thích hợp, cảm biến đo tốc độ quay trong trường hợp đầu, hoặc cảm biến đo vị trí trong trường hợp thứ hai tạo ra tín hiệu tỉ lệ với lưu lượng.

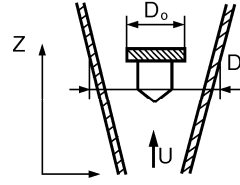
**1- Lưu lượng kế dạng turbine:** nguyên tắc giống như thiết bị đo vận tốc chất lỏng có chong chóng quay dạng hélice. Dòng chảy trong trường hợp này sẽ kéo turbine quay tròn được đặt dọc theo trục của thiết bị đo vận tốc quay tròn  $N$  (vòng/giây) tỉ lệ với lưu lượng  $Q$ :

$$Q = K.N$$

hệ số  $K$  tùy thuộc vào cấu tạo của lưu lượng kế, nhưng về nguyên tắc độc lập đối với chất lỏng.



Hình 8.10: Lưu lượng kế dạng turbine



Hình 8.11: Nguyên lý của Rotamètre

**2- Rotamètre:** được cấu tạo gồm một phao nổi nhỏ đặt trong một bộ phận hướng dẫn dạng côn theo chiều thẳng đứng.

Phao nổi đạt cân bằng một mặt dưới tác động của lực đẩy Archimède và lực kéo, mặt khác do trọng lượng của nó.

$$\rho gV + C_x \frac{\rho S U^2}{2} = \rho_o gV$$

với:  $V, \rho_o$ : - thể tích và khối lượng riêng của phao

$U, \rho$ : - vận tốc và khối lượng riêng của chất lỏng;  $C_x$  - hệ số kéo

$S$  - tiết diện của phao.  $S = \frac{\pi}{4} D_o^2$ ;  $g$ : gia tốc trọng trường.

phao di chuyển đến vị trí mà vận tốc  $U$  được tính:

$$U = \sqrt{\frac{2gV}{C_x S} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1\right)}$$

đường kính của phần tử hướng dẫn thay đổi tuyến tính theo chiều cao  $Z$ :

$$D = D_o + aZ$$

Lưu lượng  $Q$ :

$$Q = \frac{\pi}{4} [(D_o + aZ)^2 - D_o^2] \sqrt{\frac{2gV}{C_x S} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1\right)}$$

Nếu sự phân kỳ của phần tử hướng dẫn nhỏ, ta có :

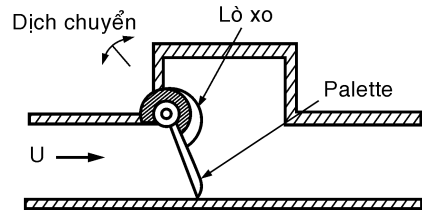
$$Q = \sqrt{\pi} \cdot aZ \sqrt{\frac{2gV}{C_x S} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1\right)} = KZ$$

Việc đánh dấu vị trí của phao nổi được thực hiện bằng việc đọc trực tiếp trên mặt chia vạch của phần tử hướng dẫn cấu tạo bằng thủy tinh, hoặc bằng các tế bào quang điện đặt cách khoảng đều đặn, cuối cùng bằng tổ hợp phao nổi + ti nổi với lõi của biến áp vi sai.

Các chi tiết của Rotamètre rất khác nhau và như thế, lưu lượng đo được rất khác nhau, khoảng đo từ  $10^{-4}$  đến  $200m^3/giờ$ .

### 3- Lưu lượng kế Palette

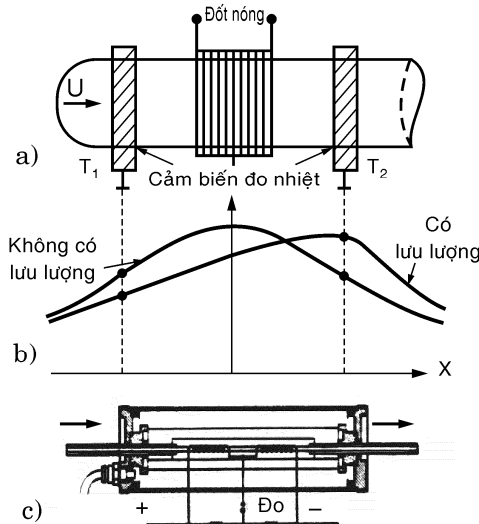
Dưới tác động thủy lực của dòng chảy sẽ đẩy Palette lên xuống nhiều hay ít phụ thuộc vào lưu lượng, ngoài ra Palette còn chịu tác động của trọng lượng và lực chiều hồi của lò xo.



Hình 8.12: Lỗ lồi keá Palette

Vị trí cân bằng của Palette phụ thuộc vào lưu lượng và được biến đổi ra tín hiệu điện nhờ một biến trở có trục quay được gắn chặt vào Palette. Đáp ứng có thể tuyến tính hay không phụ thuộc vào dạng tín hiệu đưa vào mạch đo. Điều lợi của loại này là cấu tạo đơn giản, chắc chắn và giá thành rẻ.

### 8.2.3 Lưu lượng kế loại khối nhiệt



Hình 8.13: Lưu lượng kế loại khối nhiệt

- a) Nguyên lý cấu tạo; b) Sự phân bố nhiệt độ về hai phía cuộn dây  
c) Mạch đun nóng và mạch đo

**a) Nguyên tắc:** Thiết bị đo là loại cảm biến được cấu tạo bằng một miếng

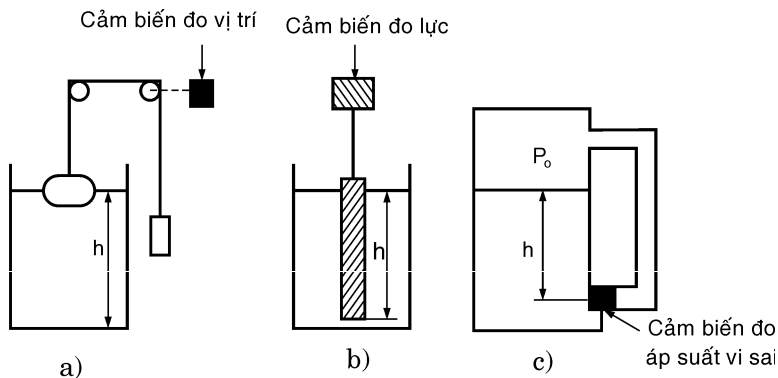
Các phương pháp sử dụng để xác định mực chất lỏng thường chú ý đến:

□ Đặc tính vật lý và hóa học của chất lỏng cũng như những thay đổi: độ dẫn điện, hằng số điện môi, khối lượng riêng, độ nhớt, đặc tính ăn mòn.

□ Những điều kiện chứa chất lỏng: nhiệt độ, áp suất, có đủ phần thể tích để dẫn nở.

### 8.3.1 Phương pháp thủy tĩnh

Kết quả có được do việc bố trí thiết bị đo hoạt động liên tục theo độ cao của mực chất lỏng, không phụ thuộc vào đặc tính điện của chất lỏng nhưng phụ thuộc vào khối lượng riêng.



**Hình 8.14:** Phương pháp thủy tĩnh đo chất lỏng

a) Phao nổi; b) Trái chìm; c) Cảm biến áp suất vi sai

□ Một phao nổi (H.8.14a) được giữ ở ngang mặt chất lỏng, được cấu tạo chắc chắn nhờ gắn với một cảm biến đo vị trí qua hệ thống puli và dây cáp, tạo ra tín hiệu điện gắn liền với mực chất lỏng.

Một trái chìm (H.8.14b) được cấu tạo bằng một hình trụ thả chìm trong chất lỏng mà độ cao của nó gần bằng với chiều cao cực đại của chất lỏng trong bình chứa. Trái chìm được treo nhờ một cảm biến đo lực, chịu tác động của một lực (trọng lượng biểu kiến), phụ thuộc vào chiều cao  $h$  của chất lỏng.

$$F = P - \rho gSh$$

trong đó:  $\rho gSh$  - lực đẩy Archimede tác động lên phần thể tích trái chìm nằm trong chất lỏng

$\rho$  - khối lượng riêng chất lỏng;  $g$  - gia tốc trọng trường.

□ Một cảm biến đo áp suất vi sai (H.8.14c) được đặt ở đáy bình chứa có áp suất  $P$ :

$$P = P_o + \rho gh$$

trong đó:  $P_o$  - áp suất ở đỉnh bình chứa

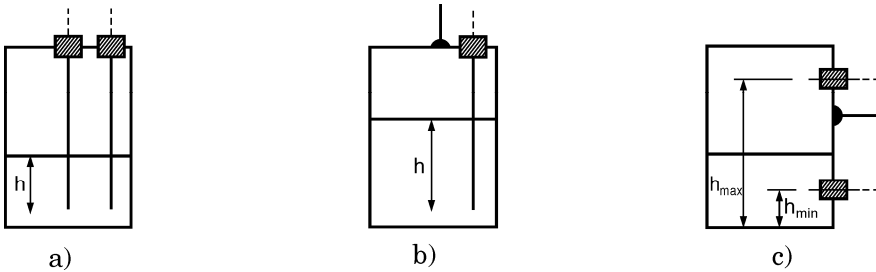
$\rho gh$  - áp suất thủy tĩnh do chiều cao  $h$  của chất lỏng.

Cảm biến có chi tiết thử nghiệm dạng màng cho phép một mặt của chi tiết chịu tác động của áp suất  $P$ , còn mặt kia chịu tác động của áp suất  $P_o$ . Sự biến dạng của chi tiết thử nghiệm dạng màng được biến đổi thành tín hiệu điện tỉ lệ với độ cao  $h$ .

**8.3.2 Phương pháp điện**

Đây là những phương pháp sử dụng những cảm biến đặc biệt, biến đổi trực tiếp mực chất lỏng ra tín hiệu điện, tiện lợi của phương pháp này là bố trí thiết bị đơn giản, vận hành dễ dàng,

*1-Cảm biến đo độ dẫn điện*



**Hình 8.15:** Cảm biến đo độ dẫn điện xác định mực chất lỏng

a) Sử dụng hai điện cực; b) Một điện cực; c) Phát hiện mực chất lỏng

Hình 8.15a: dùng hai điện cực (bình chứa cách điện).

Hình 8.15b: dùng một điện cực (bình chứa dẫn điện).

Hình 8.15c: dò mực chất lỏng.

Chỉ sử dụng đối với chất lỏng dẫn điện, không ăn mòn, không đặc trưng cho tính cách điện.

Đầu dò được cấu tạo bằng hai điện cực hình trụ, một trong hai điện cực được thế bằng bình chứa (bằng kim loại). Đầu dò được cung cấp bởi điện áp xoay chiều có trị số thấp (khoảng 10V) để tránh hiện tượng phân cực các điện cực.

Để đo mực chất lỏng, đầu dò được đặt theo phương thẳng đứng và chiều dài chung  $h$  của điện cực thay đổi theo mực chất lỏng. Dòng điện tạo ra có độ lớn tỉ lệ với chiều dài điện cực nằm trong chất lỏng, giá trị này tùy thuộc vào độ dẫn điện của chất lỏng.



Để dò mực chất lỏng, ta đặt một điện cực ngắn theo chiều ngang tương ứng với mực chất lỏng. Một dòng điện có biên độ không đổi xuất hiện khi mực chất lỏng đạt đến vị trí đầu dò.

## **2- Cảm biến đo điện dung**

Khi chất lỏng là chất cách điện, một tụ điện được hình thành giữa hai điện cực hình trụ, hoặc giữa một điện cực và vỏ của bình chứa bằng kim loại. Môi trường điện môi bao gồm chất lỏng trong khoảng hai điện cực chìm trong chất lỏng và không khí ở phần điện cực bên ngoài.

Việc gắn các điện cực để đo hoặc dò mực chất lỏng được thực hiện giống như trường hợp cảm biến đo độ dẫn điện. Việc đo và dò mực chất lỏng dĩ nhiên dẫn đến một sự thay đổi điện dung quan trọng nếu hằng số điện môi  $\epsilon_r$  của chất lỏng lớn hơn giá trị của môi trường không khí. Người ta thường sử dụng phương pháp này với điều kiện  $\epsilon_r > 2$ . Trường hợp chất lỏng dẫn điện, người ta chỉ sử dụng một điện cực được bao phủ bằng vật liệu cách điện, đóng vai trò điện môi của tụ điện và bản cực còn lại được hình thành do sự tiếp xúc với chất lỏng dẫn điện.

những cảm biến nhạy đối với tia bức xạ hồng ngoại phải đặt trong một hộp làm nguội, một mặt để giảm sự kích thích nhiệt, mặt khác để giới hạn sự tiếp xúc với tia bức xạ của môi trường chung quanh.

### 9.1.2 Độ nhạy

Quang thông của tín hiệu quang được tiếp nhận nhờ cảm biến tạo ra một dòng quang điện  $I_p$  cộng thêm với dòng điện vùng tối  $I_o$ , xác định dòng điện  $I$  chạy qua cảm biến:  $I = I_o + I_p$

Dòng điện  $I_p$  cho biết đặc tính đáp ứng của cảm biến đối với tia bức xạ tiếp nhận. Nó tùy thuộc vào một phần cấu tạo của cảm biến, mặt khác phụ thuộc vào loại tia bức xạ, thành phần phổ và quang thông.

Khi  $I_o$  không đổi, sự biến thiên  $\Delta I$  của dòng điện cảm biến bằng sự biến thiên  $\Delta I_p$  của dòng quang điện.

Cảm biến dưới tác động của quang thông  $\Phi$  tạo ra dòng quang điện  $I_p$ , độ nhạy của cảm biến được xác định bằng tỉ số  $\Delta I$  với sự thay đổi đại lượng đo  $\Delta \Phi$ :

$$S = \Delta I / \Delta \Phi = \Delta I_p / \Delta \Phi$$

Tùy theo đơn vị quang thông, độ nhạy được diễn tả bởi A/W hay A/lumen hoặc A/lux khi quang thông đặc trưng bằng chiếu độ mà nó tạo ra.

Đối với cảm biến tuyến tính, độ nhạy độc lập đối với  $\Phi$  và bằng độ nhạy tĩnh:

$$S = I_p / \Phi$$

#### 1- Độ nhạy phổ $S(\lambda)$

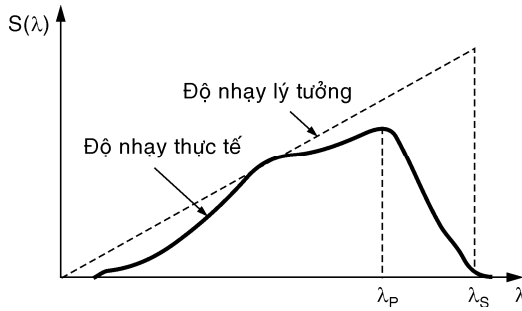
Đó là độ nhạy cảm biến khi tia bức xạ nhận được là đơn sắc, nó được đặc trưng bởi độ dài sóng  $\lambda$ :

$$S(\lambda) = \Delta I_p / \Delta \Phi(\lambda)$$

Đối với cảm biến tuyến tính:  $S(\lambda) = I_p / \Phi(\lambda)$

Đường cong đáp ứng phổ cho biết sự biến thiên theo bước sóng của độ nhạy tương đối:  $S(\lambda)/S(\lambda_p)$  với  $\lambda_p$  là bước sóng có độ nhạy phổ cực đại.

Một sự áp dụng lý thuyết cho phép dự đoán dạng đường cong độ nhạy phổ.



**Hình 9.1:** Dạng tổng quát đường cong độ nhạy phổ

□ Với  $\lambda > \lambda_s$  ( $\lambda_s$ : độ dài bước sóng riêng) dòng điện  $I_p$  về nguyên tắc bằng không.

□ Với  $\lambda \leq \lambda_s$ , dòng điện  $I_p$  tỉ lệ với số điện tích tự do  $G$  trong một giây:  $I_p \sim G = \frac{\eta(\lambda)}{h\nu}$

với: 
$$S(\lambda) \sim \frac{\eta(1 - R)\lambda}{h.C} \quad \text{với} \quad \frac{S(\lambda)}{S(\lambda_P)} = \frac{\lambda}{\lambda_P} \quad \text{với} \quad \lambda_P = \lambda_S.$$

$\eta$  và  $R$  tùy thuộc vào  $\lambda$ , đường cong đáp ứng phổ có dạng như phương trình trên.

**2- Độ nhạy tổng cộng  $S_t$ :** đó là độ nhạy cảm biến quang khi nhận tín hiệu quang không phải đơn sắc, mà tùy thuộc một phần vào độ nhạy phổ của cảm biến đối với các độ dài sóng của tia bức xạ nhận được, mặt khác phụ thuộc vào sự phân bố phổ. Biểu thức độ nhạy tổng cộng có thể biểu diễn dễ dàng, giả sử cảm biến tuyến tính:  $S_t = I_p/\Phi$ . Dòng điện  $I$  là tổng các dòng điện  $dI_p(\lambda)$  đối với các độ dài sóng nhận được, nếu  $d\Phi(\lambda)$  là quang thông trong khoảng  $\lambda$  và  $\lambda + d\lambda$ :

$$dI_{P(\lambda)} = S(\lambda).d\Phi(\lambda); \quad d\Phi(\lambda) = [d\Phi(\lambda)/d\lambda] d\lambda$$

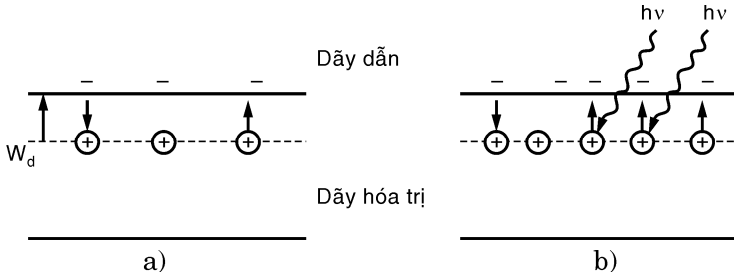
với:  $d\Phi(\lambda)/d\lambda$  - mật độ phổ của quang thông có độ dài sóng  $\lambda$ , cho phép diễn tả quang thông tổng cộng nhận được.

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[ \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \right] d\lambda$$

với:  $\lambda_1, \lambda_2$  - độ dài sóng giới hạn của phổ tia bức xạ.

Dòng điện tổng cộng  $I_p$  có giá trị :

□ Số âm điện tử tái hợp trong đơn vị thời gian với các nguyên tử ion hóa, tỉ lệ với mật độ nguyên tử ion hóa  $n_o$ , và mật độ các âm điện tử, như vậy tỉ lệ với bình phương  $n_o$ :  $r \cdot n_o^2$ ;  $r$ : hệ số tái hợp.



**Hình 9.3:** Sự dịch chuyển điện tử trong chất bán dẫn  
 a) Trong vùng tối; b) Trong vùng sáng

Sự thay đổi mật độ âm điện tử tự do được diễn tả bằng phương trình:

$$dn_o/dt = a(N_d - n_o) - rn_o^2$$

Ở trạng thái cân bằng thường trực, ta có:  $dn_o/dt = 0$

với: 
$$n_o = -\frac{a}{2r} + \left[ \frac{a^2}{4r^2} + \frac{aN_d}{r} \right]^{1/2}$$

Sự dẫn điện vùng tối được diễn tả:  $\sigma_o = q\mu n_o$ .

$q$  - trị giá tuyệt đối điện tích của âm điện tử.

$\mu$  - độ linh động của âm điện tử.

Khi nhiệt độ gia tăng, độ linh động giảm nhưng mật độ  $n_o$  gia tăng nhiều do hiệu ứng nhiệt và kết quả là sự dẫn điện gia tăng.

Khi chất bán dẫn được chiếu sáng, các photon có năng lượng  $h\nu \geq W_d$  ion hóa các donnuers tạo ra  $g$  âm điện tử trong một đơn vị thời gian bởi một đơn vị thể tích, cộng thêm các điện tử tự do, do sự kích thích nhiệt.

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{A.L} \cdot \frac{\eta(1-R)}{h\nu} \Phi$$

với: 
$$V = A.L \quad (G = \eta n_a = \eta(1-R) \cdot \frac{\lambda\Phi}{hC})$$

$n_a$  - số photon hấp thụ trong một giây

$\eta$  - hiệu suất lượng tử

$R$  - hệ số phản chiếu của vật liệu.

Phương trình động học trở thành:  $dn/dt = a(N_d - n) + g - rn^2$

Tia bức xạ tạo ra các điện tử tự do thường rất lớn so với các điện tử gây ra bởi sự kích thích nhiệt:  $g \ll a(N_d - n)$ ;  $n \ll n_o$ . Với điều kiện trên, đơn giản phương trình ta có được mật độ điện tử tự do dưới tác động của nguồn sáng:  $n = (g/r)^{1/2}$ . Sự dẫn điện liên quan đến  $\sigma = q\mu n$ , như vậy sự dẫn điện tỉ lệ không tuyến tính đối với quang thông, nó thay đổi tỉ lệ với  $\Phi^{1/2}$ .

### 9.2.2 Hệ số độ lợi

Số điện tử tái hợp mỗi giây trong một đơn vị thể tích tỉ lệ thuận với mật độ điện tử hiện diện  $n$ , và tỉ lệ nghịch với đời sống của nó  $\tau_n$ , như vậy số điện tử tái hợp tỉ lệ với  $n/\tau_n$ .

Khi cân bằng, số điện tử tái hợp mỗi giây  $n/\tau_n$  trong một đơn vị thể tích bằng với số điện tử phóng thích  $g$  bởi tia bức xạ trong một đơn vị thể tích, ta có:  $n = g\tau_n$ .

Với  $\tau_n$  là một hàm theo quang thông.

Điện trở  $R$  của điện trở quang được tính:

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{A} = \frac{1}{q\mu n} \cdot \frac{L}{A}$$

Khi cung cấp điện áp  $V$ , dòng  $I_p$  chạy qua điện trở quang:

$$I_p = q\mu n \frac{A}{L} \cdot V$$

Cường độ điện trường:  $E = \frac{V}{L}$

Các điện tử di chuyển với vận tốc trung bình:  $v = \mu E$

Thời gian di chuyển của điện tử:  $\tau_{tr} = \frac{L}{v}$

Dòng điện  $I_p$  có thể được viết lại:

$$I_p = q \frac{\tau_n}{\tau_{tr}} G = q F G$$

Như vậy dòng điện  $I_p$  chạy qua điện trở quang lớn gấp  $F$  lần điện tích được tạo ra mỗi giây,  $F$  là hệ số độ lợi và trị giá của nó vào khoảng  $10^5$ , điều này giải thích các điện trở quang có độ nhạy cao.

Ta có thể viết lại như sau:

$$F = \frac{\tau_n}{\tau_{tr}} = \frac{\tau_n \mu V}{L^2}$$

Như vậy dòng điện  $I_p$ , kết quả của hiệu ứng quang điện, càng lớn khi:

- Thời sống  $\tau_n$  của các điện tử tự do càng dài
- Điện áp cung cấp cho điện trở quang càng lớn
- Chiều rộng L của điện trở quang càng ngắn.

**9.2.3 Vật liệu sử dụng**

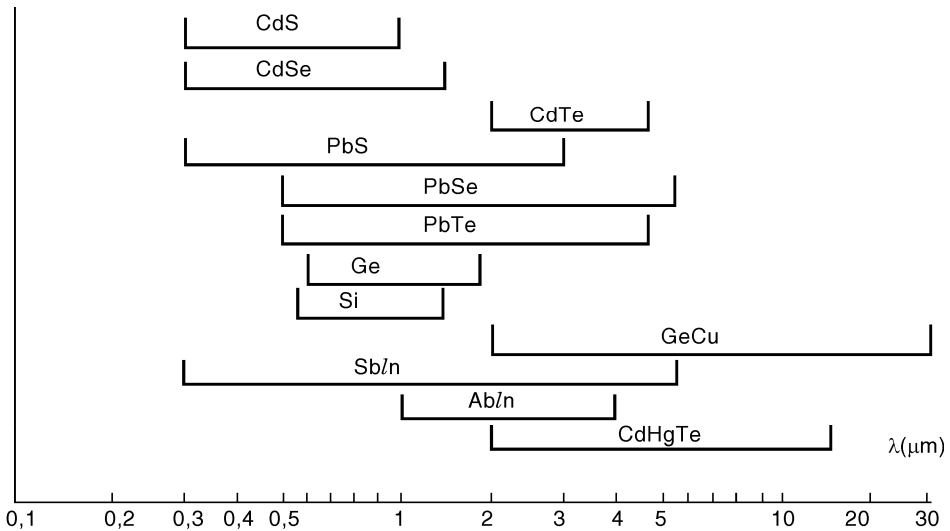
Điện trở quang được chế tạo nhờ các vật liệu bán dẫn đồng nhất đa tinh thể hoặc đơn tinh thể, tinh chất hoặc có tạp chất (dopé).

Vật liệu đa tinh thể: CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe.

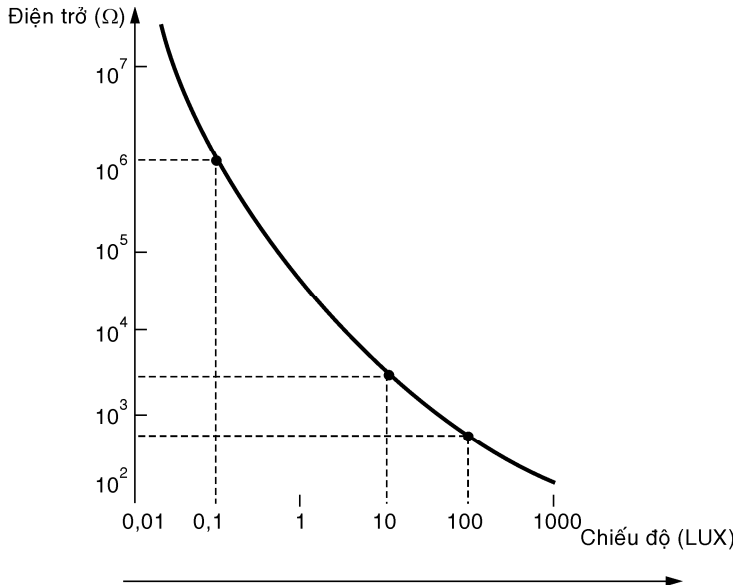
Vật liệu đơn tinh thể: Ge và Si tinh chất hoặc dopé bởi Au, Cu, Sb, Zn, SbIn, AsIn, PIn, CdHgTe.

**9.2.4 Đặc tính của điện trở quang**

*1- Điện trở*



**Hình 9.4:** Vùng phổ sử dụng đối với các vật liệu điện trở quang khác nhau



**Hình 9.5:** Sự thay đổi của điện trở quang dưới tác động của nguồn sáng

Giá trị điện trở vùng tối  $R_o$  tùy thuộc dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và thành phần lý hóa của điện trở quang. Có giá trị rất cao ( $10^4$  đến  $10^9 \Omega$  ở  $25^\circ\text{C}$ ) đối với PbS, CdSe, CdS. Có giá trị tương đối thấp (10 đến  $10^3 \Omega$  ở  $25^\circ\text{C}$ ) đối với SbIn, SbAs, CdHgTe.

Điện trở  $R_c$  của điện trở quang dưới tác dụng của tia bức xạ giảm rất nhanh theo chiếu độ.

Điện trở quang có thể được biểu diễn bởi sơ đồ mạch tương đương gồm điện trở vùng tối  $R_{Co}$ , đặt song song với điện trở  $R_{Cp}$  được xác định bởi hiệu ứng quang điện có dạng:

$$R_{Cp} = a \Phi^{-\gamma}$$

với:  $a$  tùy thuộc vào vật liệu, nhiệt độ và phổ của tia bức xạ

$\gamma$  thường có giá trị trong khoảng 0,5 và 1.

Trong những điều kiện này  $R_c$  có thể viết:

$$R_c = \frac{R_{Co} R_{Cp}}{R_{Co} + R_{Cp}} = \frac{R_{Co} \cdot a \Phi^{-\gamma}}{R_{Co} + a \Phi^{-\gamma}}$$

trong điều kiện thường sử dụng  $R_{Cp} \ll R_o$ , ta có:  $R_c = a \Phi^{-\gamma}$

Sự thay đổi điện trở theo quang thông không tuyến tính, có thể tuyến tính hóa trong một vùng quang thông giới hạn, nhờ một điện trở cố định đặt song song với điện trở quang.

Điện trở  $R_C$  dưới tác động nguồn sáng tùy thuộc vào nhiệt độ, tuy nhiên độ nhạy nhiệt quá bé so với tác dụng của nguồn sáng.

### 2- Công suất tiêu tán

Công suất cực đại tiêu tán cỡ mW đối với  $\text{mm}^2$  bề mặt cảm biến. Sự thay đổi công suất tiêu tán  $P_d$  theo hoạt động của  $R_C$  tùy thuộc vào nguồn cung cấp.

Điện áp  $V$  cung cấp không đổi:  $P_d = V^2/R_C$

Dòng điện  $I$  cung cấp không đổi:  $P_d = R_C I^2$ .

Cung cấp bởi nguồn sức điện động  $E_S$  nối tiếp với điện trở  $R_S$ .

$$P_d = \frac{R_C E_S^2}{(R_S + R_C)^2}; P_{d_{\max}} = \frac{E_S^2}{4R_S} \text{ khi } R_C = R_S$$

Sự đốt nóng làm giới hạn công suất tiêu tán có thể chấp nhận được.

Việc sử dụng bộ phận giải nhiệt cho phép làm giảm sự gia tăng nhiệt độ nhưng làm kích thước công kênh.

### 3- Độ nhạy điện trở quang

Theo sơ đồ mạch điện tương đương của điện trở quang, độ dẫn điện  $G_C$  của điện trở quang:  $G_C = G_{\infty} + G_{\varphi}$

với:  $G_{\infty} = \frac{1}{R_{\infty}}$ : độ dẫn điện vùng tối

$G_{\varphi} = \frac{1}{R_{\varphi}} = \frac{1}{a} \Phi^{\gamma}$ : độ dẫn điện do hiệu ứng quang điện.

Gọi  $V$  là điện áp cung cấp, dòng điện  $I$  chạy qua điện trở quang:

$$I = G_C V = G_{\infty} V + G_{\varphi} V = I_o + I_p$$

với:  $G_{\infty} V = I_o$ : dòng điện vùng tối

$G_{\varphi} V = I_p$ : dòng điện hiệu ứng quang điện.

Trong điều kiện sử dụng thông thường:  $I_o \ll I_p$  và  $I = I_p = \frac{V}{a} \Phi^{\gamma}$

Trừ trường hợp đặc biệt  $\gamma = 1$ , dòng điện  $I$  không tuyến tính theo quang thông bức xạ. Đối với quang thông bức xạ có phân bố phổ được xác định, tỷ số

biến đổi tính:  $\frac{I}{\Phi} = \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1}$



Độ nhạy:  $\frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1}$ , ta nhận thấy:

- Độ nhạy có độ lớn bằng với tỷ số biến đổi tính nhân với  $\gamma$ .

- Điện trở quang là một cảm biến không tuyến tính, trừ trường hợp đặc biệt  $\gamma = 1$ , độ nhạy giảm khi quang thông tăng, tuy nhiên cảm biến có thể coi như tuyến tính đối với “tín hiệu nhỏ” khi mà tín hiệu có quang thông thay đổi bé xung quanh một trị số không đổi lớn.

- Độ nhạy tỉ lệ thuận với điện áp  $V$  cung cấp, điều này chỉ có ý nghĩa khi  $V$  có trị số tương đối nhỏ bởi vì hiệu ứng Joule tỉ lệ với  $V$  sẽ làm gia tăng nhiệt độ của cảm biến, mà sự gia tăng nhiệt độ sẽ làm giảm độ nhạy. Khi tia bức xạ đơn sắc, dòng  $I_p$  dưới tác động quang thông cho trước là một hàm theo  $\lambda$ :

$$I_p = qFG$$

với:  $F$  - độ lợi;  $G$  - số điện tích tạo ra trong 1 giây.

$$\Rightarrow I_p = q \frac{\tau_n \mu V}{L^2} \cdot \eta \frac{(1-R)\lambda}{hC} \cdot \Phi(\lambda) \quad (\lambda \leq \lambda_s)$$

với:  $\tau_n$  là một hàm theo  $\Phi(\lambda)$ ;  $\eta, R$  phụ thuộc vào  $\lambda$ .

Độ nhạy phổ  $S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)}$  thường được xác định bằng trị giá tương đối bởi đường cong đáp ứng phổ; độ lớn của độ nhạy phổ cực đại (tùy thuộc vào vật liệu), có trị số trong khoảng  $10^{-1}$  đến  $10^2$  A/W đối với điện áp cung cấp 10V và bề mặt tiếp nhận ánh sáng  $1 \text{ cm}^2$ .

Độ nhạy phổ  $S(\lambda)$  là một hàm theo nhiệt độ, khi nhiệt độ giảm người ta nhận thấy giá trị  $S(\lambda)$  gia tăng.

Khi tia bức xạ không đơn sắc, độ nhạy tổng cộng  $S_t$  phụ thuộc vào phân bố phổ của quang thông và đường cong đáp ứng phổ của cảm biến.

#### 4- Thời gian đáp ứng của điện trở quang

Thời gian đáp ứng của điện trở quang cho phép xác định tính nhanh của cảm biến được hiểu là thời gian cần thiết để điện trở quang thay đổi trị số khi có sự thay đổi đột ngột quang thông bức xạ.

Thời gian đáp ứng của cảm biến khác với thời gian đáp ứng của mạch điện được hình thành từ nhóm các điện trở, tụ điện trong mạch điện bao gồm cả điện trở quang và được ấn định bởi hằng số thời gian RC của mạch điện.

Thời gian đáp ứng của điện trở quang thường lớn hơn hằng số thời gian của mạch điện. Thời gian đáp ứng của điện trở quang tùy thuộc vào vật liệu và cách chế tạo:

0,1μs đối với SnIn, AsIn, CdHgTe

0,1 ÷ 100ms với PbS, PbSe, CdSe

Thời gian đáp ứng giảm khi sự thay đổi độ sáng gia tăng.

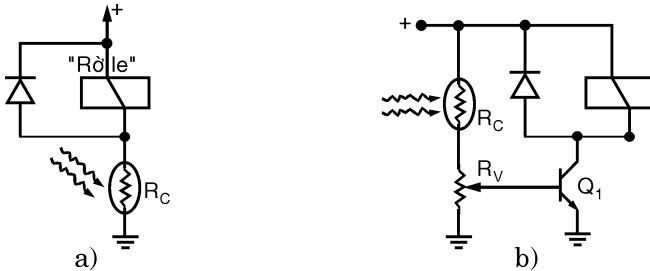
**5- Ứng dụng điện trở quang**

Sử dụng điện trở quang có những điểm lợi là độ nhạy cao, cách mắc dây sử dụng đơn giản.

Những điều bất lợi là:

- Đáp ứng không tuyến tính đối với quang thông
- Thời gian đáp ứng tương đối cao, băng thông giới hạn
- Cần phải làm nguội đối với một vài loại cảm biến
- Đặc tính không ổn định (do sự bão hòa).

Điện trở quang được áp dụng chính trong việc nghiên cứu, không dùng để xác định chính xác mức độ quang thông mà dùng để diễn tả các mức độ quang thông khác nhau (tối – sáng, các xung ánh sáng). Tuy nhiên việc sử dụng chúng để đo lường ánh sáng có thể thực hiện được với điều kiện các đặc tính của chúng được xác định trước chính xác và ổn định.



**Hình 9.6:** Cách mắc điện trở quang điều khiển role

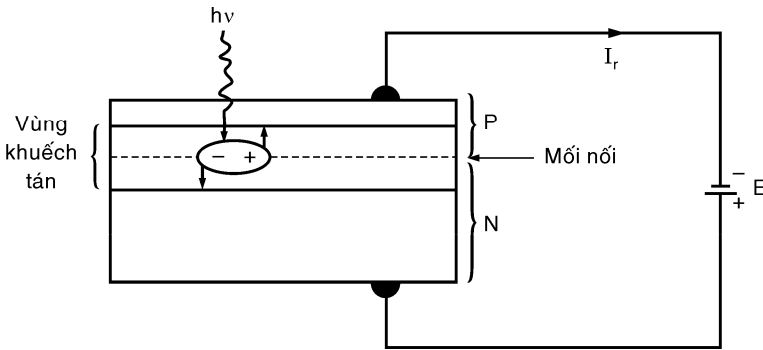
a) Điều khiển trực tiếp; b) Điều khiển nhờ nối với transistor khuếch đại

Việc đo các điện trở quang hay phân tích sự thay đổi điện trở quang có thể thực hiện được nhờ một trong những mạch biến đổi cảm biến điện trở:

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV_d}{K_T}\right) - I_o$$

Đối với điện áp ngược đủ lớn, dòng điện do các điện tích tự do của chất dopé trở nên không đáng kể và chỉ có dòng  $I_o$  do các điện tích tạo bởi tác động nhiệt, đó chính là dòng điện ngược của diod:  $I_r = I_o$ .

Khi diod chịu tác động của tia bức xạ có độ dài sóng  $\lambda \leq \lambda_S$  ( $\lambda_S$ : độ dài sóng riêng) sẽ dẫn đến xuất hiện các cặp điện tử lỗ trống. Để cho các điện tích này có thể tạo nên dòng điện, điều cần thiết là tránh hiện tượng tái hợp, do vậy đòi hỏi phải tách chúng nhanh nhờ một điện trường. Trường hợp này chỉ có thể xảy ra trong vùng khuếch tán và sự dịch chuyển các điện tích cùng chiều với các điện tích tạo bởi hiệu ứng nhiệt dẫn đến một sự gia tăng dòng điện ngược.



**Hình 9.8:** Cặp điện tử -lỗ trống được tạo ra do hiệu ứng quang điện trong vùng khuếch tán của mối nối PN

Tia bức xạ đi đến vùng khuếch tán của mối nối không được giảm nhiều. Quang thông  $\Phi$  truyền đi giảm dần theo bề dày truyền qua.

$\Phi(x) = \Phi_o \exp(-\alpha x)$ , với  $\alpha$  vào lối  $10^5 \text{ cm}^{-1}$ , điều này tương ứng với độ giảm 63% đối với bề dày truyền qua cỡ  $10^3 \text{ \AA}$ . Khi thực hiện diod quang cần lưu ý:

- Vùng khuếch tán phải rộng để việc hấp thu tia bức xạ được lớn.
- Chất bán dẫn được chiếu sáng phải rất mỏng để sự truyền quang thông dễ dàng.

Các vật liệu cơ bản cho việc chế tạo diod quang – silicium và Germanium đối với tia bức xạ trong vùng ánh sáng thấy được và gần vùng hồng ngoại, GaAs, InAs, InSb, HgCdTe đối với tia bức xạ trong vùng hồng ngoại.

**9.3.2 Cách hoạt động**

*1- Cách mắc diod quang*

Cách mắc cơ bản gồm nguồn  $E_S$ , diod được phân cực nghịch, và điện trở  $R_m$ , ở hai đầu điện trở ta thu tín hiệu.

- Khi  $V_d < 0$ : điện áp nghịch đưa vào diod, dòng điện nghịch  $I_r$  chạy qua diod được diễn tả.

$$I_r = -I_o \exp\left(\frac{qV_d}{KT}\right) + I_o + I_p$$

$I_p$ : dòng điện tạo ra do hiệu ứng quang điện trong vùng khuếch tán do quang thông truyền qua vùng P bề dày X:

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{h.C} \Phi_o \exp(-\alpha X)$$

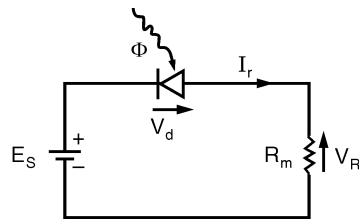
Các thông số trong biểu thức trên đã được xác định. Với điện áp ngược  $V_d$  đủ lớn, thành phần hàm mũ trở nên không đáng kể, ta có:

$$I_r = I_o + I_p$$

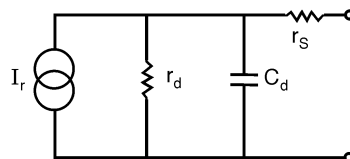
Ngoại trừ nguồn sáng quá yếu, ta có:  $I_r = I_p$

Ta có phương trình cân bằng:  $E_S = V_R - V_d$ , với  $V_R = R_m I_r$ .

Cách hoạt động diod quang thì tuyến tính vì điện áp  $V_R$  giống như  $I_r$  tỉ lệ với quang thông. Người ta biểu diễn diod quang bằng sơ đồ mạch điện tương đương.



**Hình 9.9:** Cách mắc cơ bản



**Hình 9.10:** Sơ đồ mạch tương đương tổng cộng của diod quang

Sơ đồ gồm:

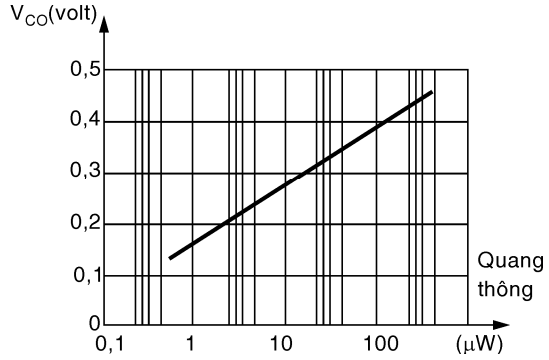
□ Nguồn dòng  $I_r = I_o + I_p$ .

□ Điện trở  $r_d$  song song với nguồn dòng, nó đặc trưng cho điện trở động mỗi nối.

Trong cách mắc điện trở quang diod được phân cực nghịch  $r_d$  có trị số rất cao vào cỡ  $10^{10} \Omega$ .

□ Điện trở  $r_s$  mắc nối tiếp: đó là điện trở các phần tử bán dẫn ở giữa hai đầu diod và vùng khuếch tán,  $r_s$  có trị số cỡ vài chục  $\Omega$  và không đáng kể so với điện trở  $R_m$ .

□ Điện dung  $C_d$  song song với  $r_d$ , điện dung có trị giá cỡ vài chục pF khi chưa có điện áp đưa vào mỗi nối, điện dung này giảm khá nhiều khi có điện áp ngược đưa vào diod theo cách mắc điện trở quang.



**Hình 9.11:** Diod quang vôùi cách mắc ñiễn ùp quang: Ñiễn ùp hô maïch theo quang thông bùc vãi

**2- Cách mắc điện áp quang**

(photovoltaic)

Không có sự phân cực do nguồn bên ngoài cung cấp, diod đóng vai trò biến đổi năng lượng, tương đương một máy phát, người ta đo điện áp hở mạch hoặc dòng điện ngắn mạch.

□ Điện áp hở mạch  $V_{Co}$ :

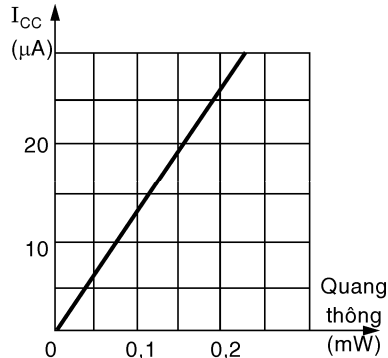
$$V_{Co} = \frac{KT}{q} L \log\left(1 + \frac{I_p}{I_o}\right)$$

Điện áp hở mạch thay đổi theo quang thông tác động.

□ Nguồn sáng yếu:  $I_p \ll I_o$

$$\Rightarrow V_{Co} = \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_o}$$

□ Điện áp  $V_{Co}$ , trong trường hợp này rất bé và tuyến tính theo quang



**Hình 9.12:** Diod quang vôùi cách mắc ñiễn ùp quang: Døng ngaén maïch theo quang thông bùc xãi

thông nhận được bởi diod ( $KT/q = 26mV$  khi  $T = 300^\circ K$ ).

□ Nguồn sáng mạnh:

$$I_p \square I_o ; V_{Co} = \frac{KT}{q} \text{Log}\left(\frac{I_p}{I_o}\right)$$

Điện áp  $V_{Co}$  trong trường hợp này rất quan trọng ( $0,1 \rightarrow 0,6V$ ) nhưng tỉ lệ với logarit theo quang thông nhận được.

Điện áp  $V_{Co}$  có thể đo được trong thực tế khi điện trở tải  $R_m$  có trị số rất lớn so với  $r_d$ .

Đo dòng điện ngắn mạch  $I_{CC}$ : Khi ta mắc hai đầu diod với điện trở  $R_m$  có trị giá nhỏ hơn  $r_d$ , dòng điện chạy qua trong mạch là  $I_p$ , đó là dòng điện ngắn mạch của diod và dòng điện này tỉ lệ với quang thông tác dụng.

Dòng điện ngắn mạch thay đổi theo quang thông tác động.

Đặc tính quan trọng của cách mắc điện áp quang là do không có điện áp phân cực nên không có dòng điện vùng tối, điều này cho phép đo những quang thông rất yếu.

*Bảng tóm tắt đặc tính của diod quang theo cách mắc khác nhau*

Tia bức xạ	Cách mắc diod quang	Cách mắc điện áp quang
	Nguồn phân cực nghịch	Không có nguồn phân cực.
Quang thông bé	$I_r = I_o + I_p$	$V_{Co} = \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_o}; I_{cc} = I_p$
Quang thông lớn	$I_r = I_p$	$V_{Co} = \frac{KT}{q} \cdot \text{Log}\frac{I_p}{I_o}; I_{cc} = I_p$
	Điện dung $C_d$ giảm	Điện dung $C_d$ lớn

### 9.3.3 Dòng điện vùng tối của diod quang

Dòng điện vùng tối  $I_o$  trong cách mắc điện trở quang có độ lớn cỡ nA ở nhiệt độ môi trường. Dòng quang điện  $I_p$  có độ lớn xấp xỉ với  $I_o$  khi tiếp nhận những quang thông yếu trong khoảng  $10^{-8}$  đến  $10^{-10} W$  tùy theo loại cảm biến. Tuy nhiên dòng điện  $I_o$  sẽ gia tăng nhanh khi nhiệt độ tăng, điều này dẫn đến điện áp  $V_{Co}$  với cách mắc điện áp quang nhạy với nhiệt độ, hệ số nhiệt độ của nó  $\frac{1}{V_{Co}} \cdot \frac{dV_{Co}}{dt}$  vào khoảng  $-0,8\%/^\circ C$ .

### 9.3.4 Độ nhạy

Đối với nguồn sáng có thành phần phổ được xác định, dòng quang điện  $I_p$  được xác định chính xác tỉ lệ thuận với quang thông bức xạ, dòng  $I_p$  tỉ lệ tuyến tính với quang thông bức xạ. Độ nhạy phổ:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hC} \lambda; \quad (\lambda \leq \lambda_s)$$

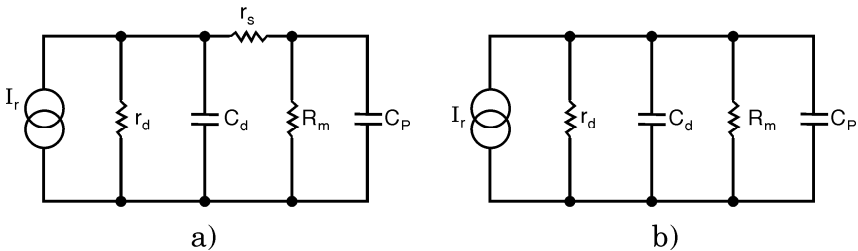
Rõ ràng  $S(\lambda)$  phụ thuộc vào  $\lambda$ , vào hiệu suất lượng tử  $\eta$ , hệ số phản chiếu R và hệ số hấp thu  $\alpha$ .

Đối với mỗi loại diod quang, độ nhạy phổ được xác định dựa trên đường cong đáp ứng phổ  $S(\lambda)/S(\lambda_p)$  ( $\lambda_p$  là độ dài sóng có độ nhạy phổ cực đại) và dựa trên trị giá  $S(\lambda_p)$ ;  $S(\lambda_p)$  thường có trị giá trong khoảng  $0,1 \div 1 A/W$ . Sự giống nhau của biểu thức dòng quang điện  $I_p$  trong hai cách mắc điện trở quang và điện áp quang ( $I_{cc} = I_p$ ) dẫn đến sự giống nhau của độ nhạy phổ trong hai cách mắc.

Độ nhạy phổ chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, độ nhạy có thay đổi nhỏ khi nhiệt độ gia tăng, do lúc này độ dài sóng  $\lambda_p$  có độ nhạy phổ cực đại di chuyển chậm theo chiều  $\lambda$  tăng, hệ số nhiệt độ của dòng quang điện  $\frac{1}{I_p} \cdot \frac{dI_p}{dT}$  vào cỡ  $0,1\%/^{\circ}C$ .

**9.3.5 Thời gian đáp ứng**

Sự xuất hiện dòng quang điện rất nhanh ngay khi diod quang được chiếu sáng: thời gian trễ  $t_{dm}$  vào khoảng  $10^{-12}$  giây. Tuy nhiên, sự tăng nhanh của dòng điện được đo bởi thời gian lên  $t_m$  (hoặc khi dòng điện giảm do không được chiếu sáng ta đo thời gian xuống  $t_c$ ) được xác định bởi sơ đồ tương đương của diod và mạch đo đi kèm (H.9.12bis), trong mạch điện thông thường điện trở  $R_m$  được mắc song song với điện dung ký sinh  $C_p$  hình thành do dây cáp chẳng hạn (H.9.12bis).



**Hình 9.12bis:** Sơ đồ tương đương của diod quang và mạch đo đi kèm  
a) Sơ đồ đầy đủ; b) Sơ đồ đơn giản

Để đơn giản việc tính toán, điện trở  $r_s$  có trị số thường không lớn hơn cỡ chục ohm nên ta có thể bỏ qua, hằng số thời gian  $\tau$  của mạch điện:

$$\tau = (C_d + C_p) \frac{r_d R_m}{r_d + R_m}$$

do  $R_m \square r_d \approx 10^{11} \Omega$ , ta có:

$$\tau = (C_d + C_p) R_m$$

Hằng số thời gian  $\tau$  liên quan đến  $t_m$  và  $t_c$  tùy thuộc vào:

- Cách mắc diod quang, nó xác định trị số  $C_d$ .
- Trị số điện trở tải  $R_m$ .

Với diod quang 4203 (Hãng Hewlett Packard) trong cách mắc với  $C_p = 2 \text{ pF}$  và  $R_m = 50 \Omega$ , ta có:

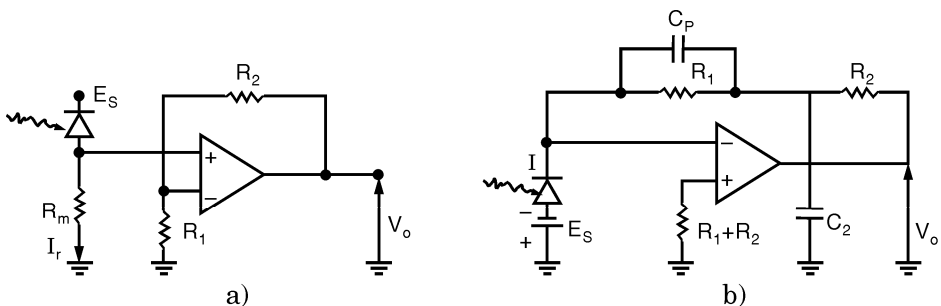
- Với cách mắc điện trở quang:  $t_m = t_c = 2,2\tau < 1 \text{ ns}$
- Với cách mắc điện áp quang:  $t_m = t_c = 2,2\tau = 300 \text{ ns}$

với cách mắc điện trở quang, điện dung  $C_d$  giảm do việc sử dụng điện áp phân cực ngược, điều này dẫn đến thời gian đáp ứng rất ngắn và chính vì vậy cách mắc điện trở quang được sử dụng cho trường hợp quang thông bức xạ hiện diện dưới dạng những xung cực ngắn.

### 9.3.6 Mạch điện đi kèm với diod quang

Người ta chọn cách mắc diod quang phụ thuộc vào công việc nghiên cứu. Cách mắc điện trở quang, có những đặc tính:

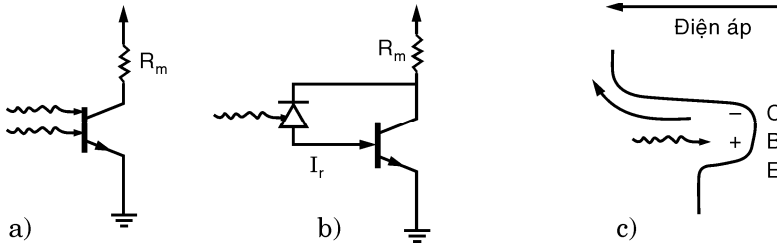
- Tuyến tính
- Thời gian đáp ứng ngắn và băng thông rộng





$$I_P = \frac{\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{h.C} \lambda \Phi_o: \text{ là dòng quang điện do nguồn quang}$$

thông  $\Phi_o$  xuyên qua bề dày cực nền  $X$ , có độ dài sóng  $\lambda$  nhỏ hơn độ dài sóng riêng  $\lambda_S$ . Dòng  $I_r$  đóng vai trò dòng điện cực nền và sẽ kéo theo dòng điện cực thu  $I_C$  của transistor:



**Hình 9.15:** Transistor quang

a) Cách mắc dây; b) Mạch tương đương

c) Tách các điện tích tự do do sự chiếu sáng cực nền

$$I_C = (\beta + 1) \cdot I_r = (\beta + 1) \cdot I_o + (\beta + 1) I_P$$

với:  $\beta$  - độ lợi của transistor theo cách mắc cực phát chung

$(\beta + 1) I_o = I_{Co}$ : dòng điện vùng tối transistor

$(\beta + 1) I_P = I_{CP}$ : dòng điện cực thu do quang thông tạo ra.

Như thế ta có thể biểu diễn một transistor quang là một tổ hợp diod quang và một transistor.

#### 9.4.2 Dòng điện vùng tối

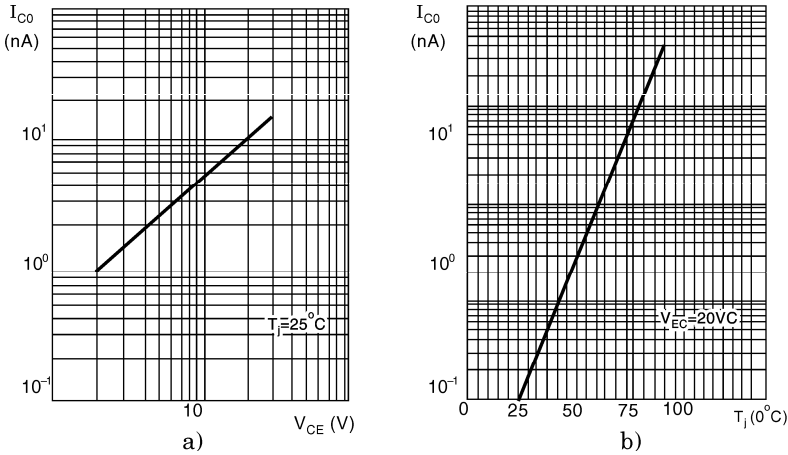
Dòng điện vùng tối  $I_{Co}$  ở  $25^\circ\text{C}$  vào khoảng  $10^{-8}$  đến  $10^{-9}\text{A}$ , nó tùy thuộc điện áp thu-phát và nhiệt độ.

9.4.3 Độ nhạy

Tiếp nhận quang thông  $\Phi_o$ , độ dài sóng  $\lambda < \lambda_S$  diod nền thu tạo ra dòng điện  $I_p$ , kéo theo dòng điện transistor:  $I_{CP} = (\beta + 1) I_p$ .

$$I_{CP} = \frac{(\beta + 1)\eta\eta(1 - R)\exp(-\alpha X)}{hC} \cdot \lambda \cdot \Phi_o$$

Dòng điện cực thu  $I_C = f(V_{CE})$  phụ thuộc  $I_B$  được thay thế bởi quang thông  $\Phi_o$ , với  $\Phi_o$  cho trước, đường cong đáp ứng phổ được xác định bởi loại diod nền thu. Vật liệu cấu tạo, thường là silicium và chất dopé. Với độ dài sóng cho trước dòng điện cực thu  $I_C$  không hoàn toàn tuyến tính đối với quang thông hay chiếu độ, vì độ lợi  $\beta$  tùy thuộc vào dòng điện  $I_C$  và hậu quả độ nhạy  $\Delta I_C / \Delta \Phi_o$  tùy thuộc vào  $\Phi_o$ . Chẳng hạn đối với transistor BPW22 độ nhạy được nhân với 1,6 khi chiếu độ trong khoảng  $1mW/cm^2$  đến  $8mW/cm^2$ .

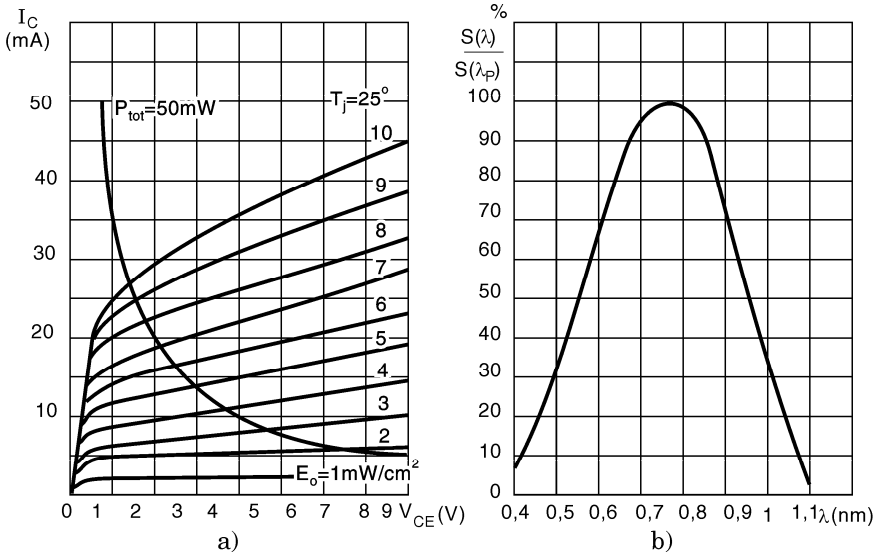


Hình 9.16: Dòng điện vùng tối của transistor quang thay đổi theo a) Điện áp thu phát; b) Nhiệt độ mối nối (transistor quang BPW22)

Độ lớn của độ nhạy phổ phụ thuộc vào độ dài sóng.

$S(\lambda_p)$  từ 1 đến 100 A/W.

Độ nhạy tổng cộng thường được xây dựng dựa vào nguồn bức xạ của ngọn đèn có tim bằng tungstène được nung nóng vào khoảng  $2850^{\circ}K$ . Độ nhạy tổng cộng thấp hơn độ nhạy phổ và tùy thuộc vào độ dài sóng, nó giảm theo nhiệt độ của tim đèn, và cũng như độ nhạy phổ nó tùy thuộc vào quang thông tác động.



Hình 9.17: a) Các đặc tuyến của transistor quang  
b) Đường cong đáp ứng phổ (transistor quang BPW22)

#### 9.4.4 Thời gian đáp ứng

Các đại lượng khác nhau về thời gian đáp ứng có thể tính toán khi dựa vào sơ đồ mạch tương đương Giacoletto của transistor quang và điện trở tải  $R_m$ . Ta nhận thấy:

- Thời gian trễ  $t_{dm}$ , thời gian lên  $t_m$ , thời gian xuống  $t_c$ , cả ba sẽ giảm khi dòng điện cực thu tăng.

- $t_m$  và  $t_c$  tăng theo điện trở tải  $R_m$ , điều này cũng đúng với  $t_{dm}$  khi  $R_m$  cỡ  $k\Omega$  trở lên.

Tùy theo loại transistor quang và tùy theo điện áp hoạt động, điện trở tải, các đại lượng thời gian thay đổi từ vài  $\mu s$  đến hàng chục  $\mu s$ .

#### 9.4.5 Cách mắc transistor

Transistor quang có thể được sử dụng trong việc chuyển đổi, hoặc được sử dụng trong việc tuyến tính.

- Trong việc chuyển đổi nó, thay thế diod quang và cho phép dòng điện tương đối lớn.

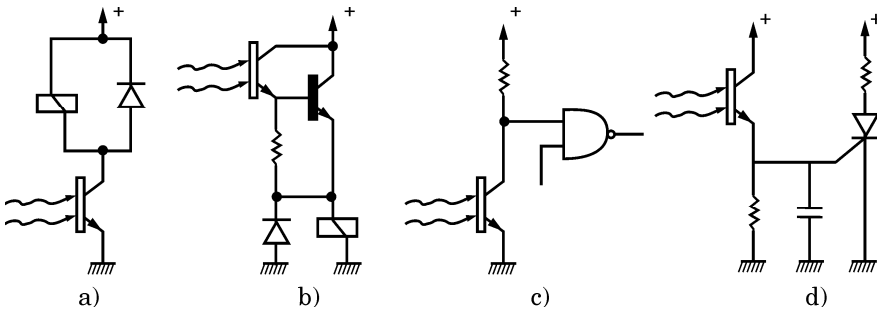
- Trong việc tuyến tính, nhằm đem lại độ khuếch đại lớn nên người ta thích dùng nó hơn diod quang trong các hoạt động tuyến tính.

**1- Transistor quang hoạt động chuyển đổi (H.9.18)**

Thông tin trong trường hợp này có hai trạng thái: tia bức xạ hiện hữu hoặc không hiện hữu, hoặc nguồn sáng lớn hơn hay không so với mức độ định trước. Transistor ngưng dẫn hay bão hòa sẽ điều khiển trực tiếp, hoặc sau khi khuếch đại một rờ le, một cổng logic, một thyristor hoặc một triac.

Độ nhanh của sự chuyển đổi được giới hạn bằng điện trở tải của transistor quang, được cải thiện đáng kể nếu như ta thực hiện tiếp theo cách mắc có tổng trở nhập thấp:

- Cách mắc cực nền chung
- Biến đổi dòng điện-điện áp.



**Hình 9.18:** Sử dụng transistor hoạt động chuyển đổi để điều khiển  
 a) Rờ le; b) Một rờ le sau khi khuếch đại; c) Cổng logic; d) Thyristor

**2- Transistor quang hoạt động tuyến tính (H.9.20)**

Có hai loại áp dụng:

- Việc đo độ sáng không đổi, ở đó transistor quang cho phép thực hiện các lux kế đơn giản.

- Tiếp nhận tín hiệu biến điệu dưới dạng:  $\Phi(t) = \Phi_0 + \Phi_1(t)$

Độ biến điệu  $\Phi_1(t)$  có biên độ khá bé, một mặt không làm transistor bão hòa, không làm transistor ngưng dẫn, mặt khác, để có độ nhạy xem như hằng số. Trong điều kiện này, dòng điện cực thu transistor có dạng:

$$i_c(t) = I_c(\Phi_0) + S\Phi_1(t)$$

Transistor quang với phân cực cố định cực nền, có lợi là cho phép chọn điểm hoạt động tuyến tính tối ưu.

Dòng điện vùng tối transistor  $T_1$  có thể được giới hạn qua tải bằng cách sử dụng một transistor thứ hai  $T_2$  giống  $T_1$  có cùng dòng điện vùng tối.  $T_2$  không chiếu sáng nhưng cùng nhiệt độ với  $T_1$ , dòng điện vùng tối có giá trị

- Tập trung ở dương cực trong đèn quang điện chân không.
- Ion hóa các phân tử khí do sự va chạm trong đèn quang điện khí hiếm.
- Tạo nên phát xạ điện tử thứ cấp trong đèn nhân quang điện.

### 9.5.1 Sự phát xạ quang, vật liệu phát xạ quang

Chúng ta cần phân biệt ba quá trình trong hiệu ứng phát xạ quang:

- Sự giải phóng điện tử bên trong vật liệu khi hấp thu phôtôn.
- Sự di chuyển đến bề mặt vật liệu của các điện tử tự do.
- Sự phát xạ điện tử ở bề mặt vật liệu.

Đối với chất bán dẫn tinh khiết, sự giải phóng điện tử bên trong vật liệu chỉ hiện hữu với năng lượng phôtôn nhỏ hơn hay bằng chiều rộng vùng cấm  $E_g$ , do vậy điện tử không đủ năng lượng để di chuyển đến bề mặt vật liệu. Sự di chuyển của điện tử tự do có tính chất ngẫu nhiên và theo mọi hướng: một tỉ lệ rất nhỏ trong số đó đi đến được bề mặt vật liệu, số còn lại khi di chuyển những đoạn ngắn sẽ có sự đụng, va chạm với các điện tử khác hoặc với các phôtôn, điều này làm giảm năng lượng của chúng.

Sự phát xạ điện tử ở bề mặt vật liệu chỉ có thể xảy ra khi điện tử có thể vượt qua rào cản điện áp ngăn cách giữa chất bán dẫn và bên ngoài đó chính là ái lực điện tử  $E_a$ .

Hiệu suất lượng tử  $\square$  (số điện tử trung bình phát ra ở bề mặt vật liệu khi hấp thu một phôtôn) của vật liệu không bao giờ vượt quá 30% và thường nhỏ hơn 10%.

Hiệu suất lượng tử  $\square$  trong vùng phổ sử dụng là tiêu chí để chọn vật liệu sử dụng. Người ta thường sử dụng hai nhóm vật liệu:

- Hợp kim alcalim:  $AgOCs$  nhạy với tia hồng ngoại.  $Cs_3Sb$ ,  $(Cs)Na_2KSb$ ,  $K_2CsSb$  nhạy với vùng ánh sáng thấy được và vùng độ dài sóng ngắn hơn.  $Cs_2Te$ ,  $Rb_2Te$ ,  $CsI$  nhạy với tia cực tím.

- Hỗn hợp thuộc nhóm 3 và 5: Được cấu tạo từ các phần tử thuộc nhóm 3 và 5 của bảng phân loại tuần hoàn:

$GaAs_xSb_{1-x}$ ,  $Ga_{1-x}In_xAs$ ,  $InAs_xP_{1-x}$  sử dụng trong vùng hồng ngoại ( $\lambda \approx 1\mu m$ ) và tùy thuộc vào thành phần hỗn hợp (x), chúng có ái lực điện tử  $E_a$  yếu: hiệu suất lượng tử có thể đạt 30%.

### 9.5.2. Dòng điện âm cực

Có hai kỹ thuật để thực hiện âm cực (H.9.21):

- Đặt vật liệu phát xạ quang trên một giá đỡ bằng kim loại, tất cả được đặt trong một lớp vỏ che: Các điện tử sơ cấp sẽ phát xạ khi bề mặt âm cực được chiếu sáng.

- Một lớp mỏng (cỡ  $100\text{\AA}$ ) vật liệu phát xạ quang được đặt trên bề mặt bên trong lớp vỏ che: các điện tử sơ cấp sẽ phát xạ ở bề mặt đối diện với bề mặt được chiếu sáng, kỹ thuật này thường được sử dụng nhất.



**Hình 9.21:** Các cách thực hiện âm cực quang

a) Sự phát xạ bởi bề mặt chiếu sáng

b) Sự phát xạ bởi bề mặt đối diện

#### 1- Dòng điện vùng tối

Hiệu ứng nhiệt ion hóa phát xạ điện tử của catốt là nguồn gốc chính của dòng điện âm cực vùng tối  $I_{ko}$ , giá trị dòng điện tăng theo nhiệt độ được xác định bởi định luật Richardson Dushman:

$$I_{ko} = ACT^2 \exp\left[\frac{-Ws}{KT}\right]$$

với: A - diện tích của âm cực quang, ( $m^2$ )

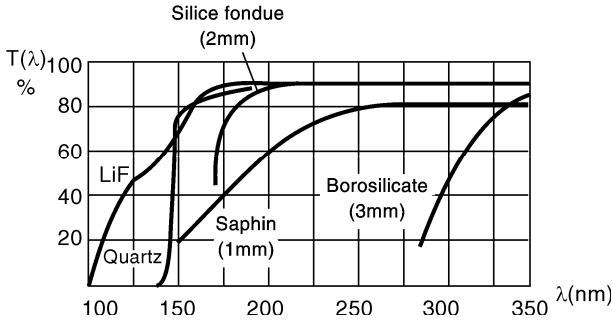
C - hằng số:  $C = 1,20 \times 10^6$  (MKSA)

$W_s$  - Sai biệt năng lượng giữa lỗ trống và mức Fermi của vật liệu phát xạ quang.

**2- Độ nhạy**

Đối với tia bức xạ có độ dài sóng lớn, độ nhạy được xác định bởi vật liệu phát xạ quang dùng làm catốt và nó ấn định hiệu suất lượng tử.

Ngược lại, đối với sóng ngắn nó bị hấp thu của lớp vỏ hoặc cửa sổ của cảm biến và được đặc trưng bởi hệ số truyền  $T(\lambda)$ .



**Hình 9.22:** Hệ số truyền  $T(\lambda)$  của vật liệu khác nhau qua cửa sổ cảm biến theo độ dài sóng  $\lambda$

Như vậy tổ hợp vật liệu phát xạ quang và vật liệu làm vỏ xác định đáp ứng phổ và tổ hợp này được ký hiệu dưới dạng  $S_n$ .

Ký hiệu	Vật liệu phát xạ quang	Vật liệu làm vỏ
$S_1$	$AgOC_s$	Thủy tinh
$S_{11}$	$Cs_3Sb$	Thủy tinh
$S_{13}$	$Cs_3Sb$	Thạch anh
$S_{20}$	$Na_2KSb(C_s)$	Thủy tinh
$S_{23}$	$Rb_2Te$	Thạch anh

Tia bức xạ có quang thông  $\Phi(\lambda)$  có độ dài sóng  $\lambda$  chứa  $n_i$  phôtôn:

$$n_i = \frac{\Phi(\lambda)}{h\nu} = \frac{\Phi(\lambda)\lambda}{hC}$$

$n_t$  - số hạt phôtôn xuyên qua cửa sổ đi đến catốt:  $n_t = T(\lambda)n_i$

$\eta(\lambda)$  - hiệu suất lượng tử độ dài sóng  $\lambda$

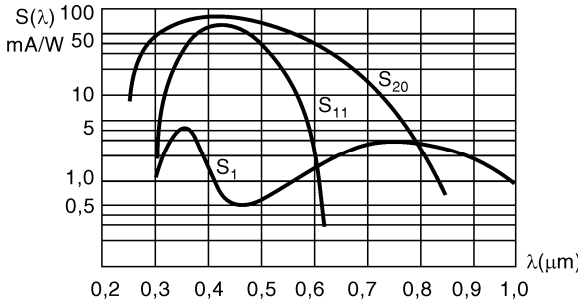
$n_e$  - số điện tử sơ cấp phát xạ mỗi giây bởi catốt, hình thành dòng điện âm cực  $I_k$ . Ta có:

$$n_e = \eta(\lambda)n_t; I_k = qn_e \Rightarrow I_k = \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hC}\Phi(\lambda)$$

Rõ ràng dòng điện âm cực tỉ lệ thuận với quang thông bức xạ.

Độ nhạy phổ của dòng điện catốt bao gồm cả lớp vỏ:

$$S_K(\lambda) = \frac{\Delta I_k}{\Delta \Phi(\lambda)} = \frac{\eta\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hC}$$



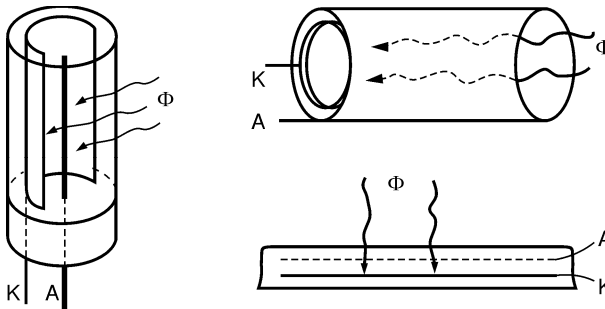
Hình 9.23: Độ nhạy của những tổ hợp vật liệu làm vỏ và catốt quang

Hình 9.23 cho thấy sự thay đổi độ nhạy phổ theo độ dài sóng λ tia bức xạ của những tổ hợp vật liệu khác nhau làm vỏ và catốt quang.

Độ nhạy phổ cực đại  $S_K(\lambda_p)$  có giá trị trong khoảng 10 đến 100mA/W.

9.5.3 Đèn quang điện chân không

Gồm một catốt bằng vật liệu phát xạ quang và một dương cực, được đặt bên trong một lớp vỏ có cửa sổ trong suốt, áp suất bên trong đèn vào khoảng  $10^{-6} \div 10^{-8} mmHg$ . Hình dạng và sự bố trí vị trí tương đối giữa các điện cực đảm bảo catốt nhận được quang thông bức xạ cực đại và dương cực thu được các điện tử phát xạ từ catốt.



Hình 9.24: Ví dụ về cách thực hiện các đèn quang điện chân không

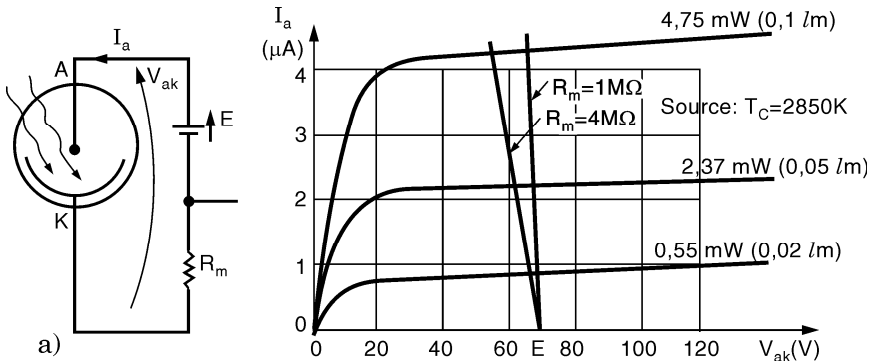


**1- Quan hệ dòng - áp**

Cách mắc cơ bản của đèn quang điện như hình 9.25a. Sự thay đổi dòng điện anốt  $I_a$  theo điện áp anốt - catốt  $V_{ak}$  với độ chiếu sáng khác nhau được giới thiệu như hình 9.25b. Ta nhận thấy trên các đặc tuyến có hai vùng:

- *Vùng điện tích không gian*: tại đây dòng điện tăng theo điện áp  $V_{ak}$ , một phần các điện tử phát ra bởi catốt tạo nên điện tích không gian, đồng thời đẩy ngược các điện tử mới phát ra về hướng catốt làm giới hạn dòng điện anốt. Ảnh hưởng của điện tích không gian sẽ giảm khi gia tăng điện áp  $V_{ak}$ .

- *Vùng bão hòa*: tại đây dòng điện phụ thuộc rất ít vào điện áp  $V_{ak}$ , các điện tích phát ra bởi catốt được thu nhận bởi anốt. Dòng điện  $I_a$  trong vùng này thật sự chỉ phụ thuộc vào quang thông bức xạ. Sử dụng đặc tuyến trong vùng bão hòa, đèn quang điện được xem như một nguồn dòng có trị số chỉ phụ thuộc vào quang thông nhận được.



**Hình 9.25:** Đèn quang điện chân không  
a) Cách mắc cơ bản; b) Đặc tuyến tĩnh

**2- Dòng điện vùng tối**

Được hình thành từ hai nguyên nhân chính:

- Sự phát xạ điện tử do hiệu ứng nhiệt ion hóa

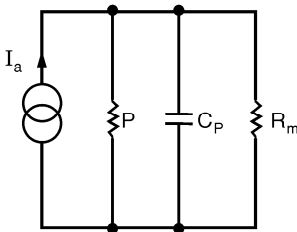
- Dòng điện rò giữa các điện cực, điều này có thể giảm thiểu bởi công nghệ chế tạo bằng cách đặt xa các đầu ra của điện cực và tránh để đèn bị ẩm ướt. Dòng điện vùng tối khoảng  $10^{-8} \div 10^{-13} A$ .

### 3- Độ nhạy

Dòng điện anốt trong vùng bão hòa thật sự bằng với dòng điện catốt và biểu thức độ nhạy phổ của đèn giống như độ nhạy phổ của dòng điện catốt, kết quả là cảm biến hoạt động tuyến tính, độ nhạy phổ cực đại có giá trị trong khoảng từ  $10 \div 100 \text{mA/W}$ , hệ số nhiệt độ của độ nhạy thường rất bé.

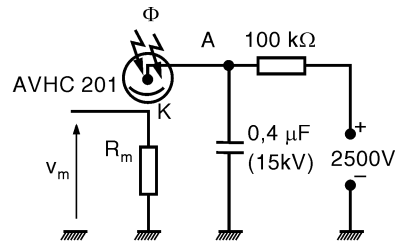
### 4- Độ nhanh

Thời gian di chuyển của điện tử càng ngắn khi điện áp  $V_{ak}$  càng cao: nó có thể nhỏ hơn  $10^{-9}$  giây, vì vậy thông thường thời gian di chuyển của điện tử không dùng để xác định tính nhanh của đáp ứng mà người ta sử dụng hằng số thời gian của mạch điện bao gồm cả cảm biến, có mạch tương đương như hình 9.26.



Hình 9.26

Sơ đồ mạch điện tương đương



Hình 9.27

Mạch đo quang thông dạng xung

Hằng số thời gian của mạch  $\tau = R_m C_p$ .

Thời gian lên  $t_m$ , thời gian xuống  $t_c$ :  $t_m = t_c = 2,2 R_m C_p$ .

Ta cần lưu ý:

- Các đèn quang điện bố trí để đo quang thông bé sử dụng điện trở  $R_m$  có giá trị cao (từ  $1 \div 100 \text{M}\Omega$ ) nhằm thu được ở hai đầu điện trở một điện áp thích hợp.

- Các đèn quang điện bố trí để đo các xung quang thông lớn tạo ra dòng điện có trị đỉnh lớn và như vậy điện trở  $R_m$  không cần lớn, thí dụ  $R_m = 50\Omega$  chẳng hạn.

*Ví dụ:* Đèn 150TV (hãng RTC): Dòng đỉnh cực đại  $25 \mu\text{A}$ ;  $R_m = 1 \text{M}\Omega$ ;  $C_p = 20 \text{pF}$ ;  $t_m = t_c = 44 \mu\text{s}$ .

Đèn AVHC 201 (hãng RTC) đo các xung quang thông lớn:

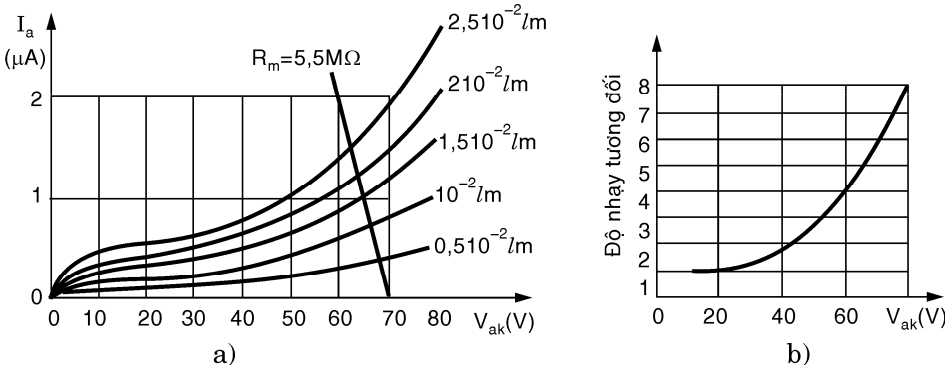
Dòng đỉnh cực đại: 30A;  $R_m = 50\Omega$ ;  $C_p = 30pF$ ;  $t_m = t_c = 3,3ns$ .

9.5.4 Đèn quang điện khí hiếm

Được cấu tạo giống như đèn chân không nhưng bên trong đèn chứa khí hiếm, thông thường là khí argon ở áp suất thấp từ  $10^{-1}$  đến  $10^{-2}$  mmHg. Khi điện áp dương cực đủ lớn, các điện tử bức xạ bởi catốt sẽ di chuyển và va chạm vào các nguyên tử khí hiếm tạo nên sự ion hóa, kết quả dòng điện dương cực sẽ lớn hơn từ 5 đến 10 lần dòng điện catốt.

1- Quan hệ dòng - áp

Khi điện áp nhỏ hơn khoảng 20V, các đường đặc tuyến dòng áp giống như trường hợp đèn chân không, lúc này các điện tử bức xạ từ catốt di chuyển với vận tốc tương đối chậm, khi va chạm với khí hiếm, năng lượng không đủ để ion hóa các nguyên tử khí hiếm, nhưng khi điện áp  $V_{ak}$  gia tăng, sự ion hóa khí hiếm sẽ bắt đầu xảy ra và tăng nhanh khi  $V_{ak}$  tăng, điện áp  $V_{ak}$  thường giới hạn ở mức 90 vôn để tránh phá hủy catốt quang.



Hình 9.28: Đèn quang điện khí hiếm

a) Đặc tuyến tĩnh; b) Ảnh hưởng điện áp  $V_{ak}$  đối với độ nhạy

2- Tính chất của đèn quang điện khí hiếm

Độ nhạy của đèn lớn hơn từ 5 đến 10 lần so với đèn chân không và tăng theo quang thông, điều này dẫn đến đáp ứng không tuyến tính.

Mặt khác, độ nhạy giảm theo thời gian vận hành do sự di chuyển của các ion dương đến catốt làm cho catốt phát xạ điện tử giảm đi.

Tính nhanh của đèn bị giới hạn do sự gia tăng thời gian di chuyển của điện tử vì điện tử bị va chạm và độ linh động bé của ion dương.

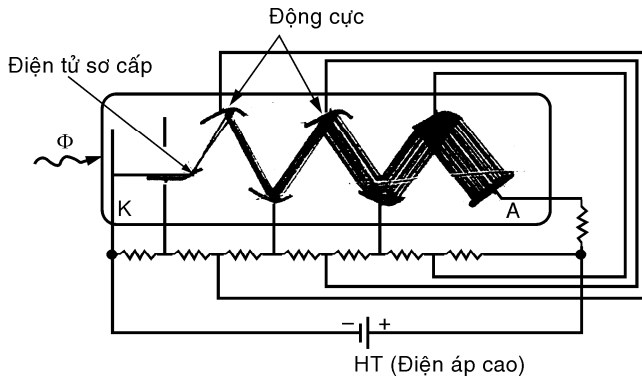
Đáp ứng không tuyến tính, độ ổn định không cao, đó là những lý do người ta không sử dụng cảm biến này và thay nó bằng transistor quang.

### 9.5.5 Đèn nhân quang điện (*photomultiplier tube*)

#### 1- Nguyên tắc cấu tạo

Khi bề mặt của chất rắn chịu sự va đập của các điện tử có năng lượng đủ lớn, nó sẽ phát xạ các điện tử: đó là sự phát xạ thứ cấp. Khi số điện tử phát ra lớn hơn số điện tử va đập, có thể xem như một sự khuếch đại tín hiệu sơ cấp và được ứng dụng trong đèn nhân quang điện.

Tín hiệu sơ cấp được hình thành từ các điện tử phát xạ dưới tác động của tia bức xạ hấp thu bởi catốt quang được đặt trong bầu chân không. Các điện tử sẽ hội tụ tại điện cực thứ nhất của chuỗi điện cực gọi là động cực (*dynode*), các động cực được phủ bởi vật liệu mà hiệu ứng phát xạ điện tử thứ cấp rất lớn. Điện áp cung cấp cho các động cực được cung cấp bởi một mạch phân áp có điện áp tăng dần theo các động cực làm sao cho các điện tử phát xạ thứ cấp ở động cực thứ  $k$  sẽ được hấp thu bởi động cực thứ  $(k+1)$  và mỗi điện tử sẽ tạo ra nhiều điện tử thứ cấp.



**Hình 9.29:** Sơ đồ nguyên tắc đèn nhân quang điện

Nếu mỗi điện tử khi đập vào động cực sẽ tạo ra trung bình  $\delta$  điện tử thứ cấp, với  $n$  động cực mà hiệu điện áp giữa hai điện cực kề nhau là bằng nhau thì dẫn đến số điện tử phát xạ thứ cấp bởi  $n$  động cực gây ra bởi một điện tử là:  $M = \delta^n$ .

Thật ra, tất cả các điện tử phát xạ bởi catốt sẽ không đi đến động cực thứ nhất một cách đầy đủ: nếu gọi  $\eta_t$  là giá trị hiệu dụng di chuyển, biểu thức độ lợi  $M$  được viết lại:

$$M = \eta_c(\eta_t\delta)^n$$

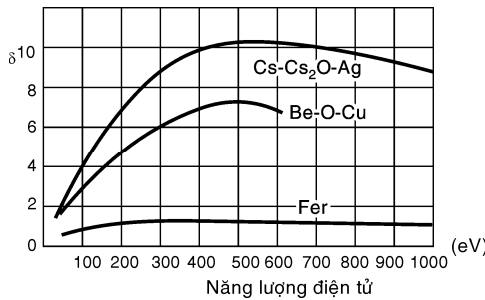
với:  $n$  - số động cực, thường từ  $5 \div 15$ .

$\delta$  - hệ số phát xạ thứ cấp, có trị giá từ  $5 \div 10$ .

$\eta_c, \eta_t$  - giá trị hiệu dụng tập hợp và di chuyển thường lớn hơn 90%.

Độ lợi  $M$  của đèn nhân quang điện từ  $10^6 \div 10^8$ .

Độ lợi  $M$  phụ thuộc nhiều vào sự phát xạ điện tử thứ cấp, đó là lí do vì sao trong đèn nhân quang điện người ta chọn vật liệu có phát xạ thứ cấp lớn như ta đã biết:  $Cs_3Sb, K_2CsSb, Na_2KC_sSb, GaP(C_s), AgOMg, BeOCu(C_s)$ .

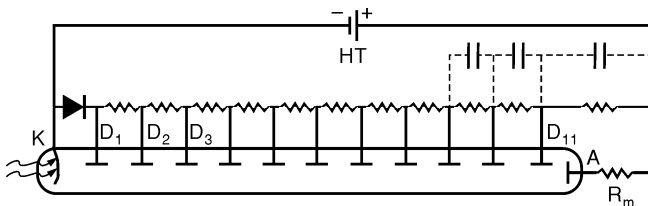


Hình 9.30: Hệ số phát xạ thứ cấp  $\delta$  theo năng lượng điện tử sơ cấp

2- Cách mắc cơ bản

Việc thực hiện mạch đo sử dụng đèn nhân quang điện cần thiết:

- Xác định mạch điện cung cấp cho các động cực (H.9.31).
- Xác định điện trở tải  $R_m$ .

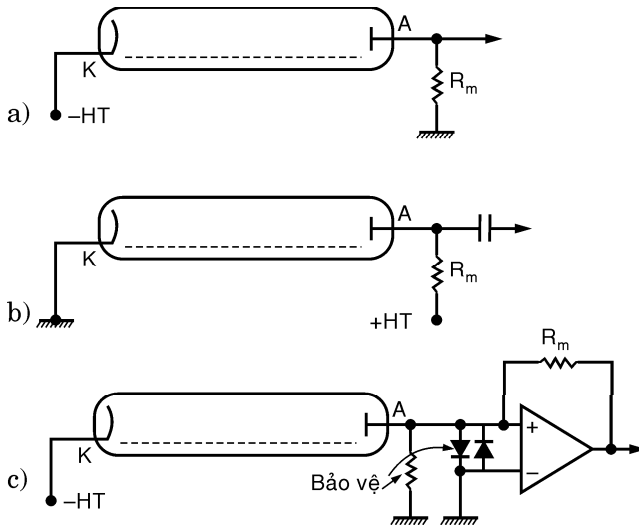


Hình 9.31: Mạch điện cung cấp cho các động cực đèn nhân quang điện

Mạch điện cung cấp cho các động cực: dùng để cung cấp cho các động cực các điện áp thích hợp, cấu tạo bởi một mạch chiết áp được cung cấp bởi điện áp cao  $V_{HT}$ , điện áp sai biệt giữa các điện cực tùy thuộc vào loại đèn và tùy thuộc vào độ lợi, nó có thể thay đổi từ vài chục đến vài trăm vôn. Tuy nhiên, điện áp  $V_{kđ1}$  giữa catốt và động cực thứ nhất phải được ấn định chính xác bởi ảnh hưởng của nó đến giá trị hiệu dụng di chuyển của điện tử phát xạ catốt cũng như tỉ lệ giữa dòng điện và quang thông bức xạ, chính vì vậy điện áp này cần ổn định nhờ một diod Zener. Dòng điện  $I$  trong mạch chiết áp thường phải lớn hơn nhiều so với dòng điện anốt trung bình  $\bar{I}_a$  nhằm để đảm bảo điện áp cung cấp cho các động cực cũng như độ lợi của đèn không bị ảnh hưởng bởi dòng điện mạch vòng của các động cực tạo ra bởi sự phát xạ thứ cấp.

Người ta thường chọn  $I > 100 \bar{I}_a$ ,  $I$  có trị giá trong khoảng  $0,1 \div 1mA$ .

Điểm chung (mass) của mạch đó có thể đặt cạnh anốt hoặc catốt. Trong trường hợp đặt cạnh anốt, tín hiệu điện lấy từ điện trở tải có thể cung cấp trực tiếp cho mạch đo phía sau, cách mắc này thích hợp để đo nguồn sáng có sự thay đổi rất chậm.



**Hình 9.32:** Các loại kết nối điện trở tải khác nhau

a) Kết nối trực tiếp; b) Kết nối tụ điện; c) Biến đổi dòng - áp.

Trong trường hợp điểm mass đặt gần catốt, điện trở tải được ngăn cách với mạch đo phía sau bởi một tụ điện, cách mắc này có lợi trong trường hợp quang thông thay đổi nhanh, người ta nhận thấy việc đặt điểm mass gần catốt sẽ làm giảm những dao động dòng điện vùng tối.

Điện áp cao ( $HT$ ) thường có trị số trong khoảng từ 700V đến 3000V, ấn định độ lợi  $M$  và vì vậy cần ổn định, ta có:

$$\frac{dM}{M} = n \frac{dV_{HT}}{V_{HT}}$$

$n$  là số lượng động cực, với  $n = 10$  để độ lợi  $M$  có độ ổn định 1%, điện áp cao  $V_{HT}$  cần có độ ổn định là 0,1%.

### 3- Dòng điện anốt vùng tối

Dòng điện anốt vùng tối  $I_{ao}$  tương ứng với trường hợp không có quang thông bức xạ, nó có nguồn gốc:

- Sự phát xạ điện tử do hiệu ứng nhiệt ion hóa catốt tạo nên dòng điện catốt vùng tối  $I_{ko}$

- Các dòng điện rò xuất hiện giữa các điện cực, có thể giảm thiểu các dòng điện rò xuống mức độ không đáng kể bằng cách tránh để đèn bị ẩm ướt. Trong điều kiện như vậy ta có:  $I_{ao} = MI_{ko}$

Dòng điện vùng tối  $I_{ao}$  phụ thuộc vào:

- Giống như độ lợi  $M$ , phụ thuộc vào điện áp cao  $HT$  và điện áp giữa các động cực.

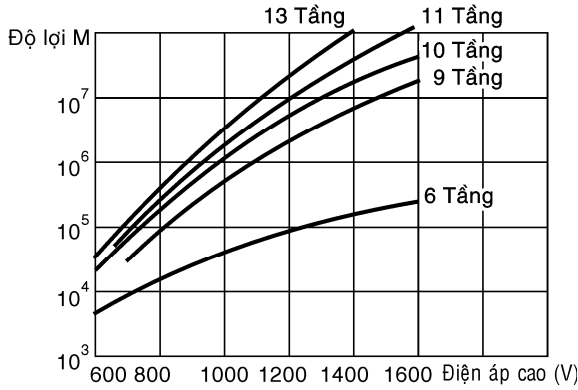
- Giống như dòng điện  $I_{ko}$ , phụ thuộc vào nhiệt độ catốt, với việc làm lạnh ở  $-20^{\circ}\text{C}$  thông thường cho phép giảm dòng điện  $I_{ko}$  từ 10 ÷ 100 lần so với nhiệt độ môi trường.

### 4- Độ nhạy

Ta có:  $I_a = MI_k$

Độ nhạy  $M$  tùy thuộc vật liệu phủ các động cực, sự bố trí và số lượng các động cực, điện áp cao  $V_{HT}$ .

$$I_k = \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hc} \Phi(\lambda) \Rightarrow I_a = M(V_{HT}) \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hc} \Phi(\lambda)$$



**Hình 9.33:** Độ lợi  $M$  theo điện áp cao và theo số động cực

Trong đo lường dòng  $I_a$  không vượt quá một giá trị cực đại định trước độ lợi  $M$  độc lập đối với  $I_a$  và đặc tính của đèn nhân quang điện thì tuyến tính, độ nhạy phổ anốt  $S_a(\lambda)$  được tính:

$$S_a(\lambda) = \frac{\Delta I_a}{\Delta \Phi(\lambda)} = M(V_{HT}) \frac{\eta(\lambda) T(\lambda) \lambda}{hc}$$

$$S_a(\lambda) = M(V_{HT}) S_k(\lambda)$$

với  $S_k(\lambda)$  là độ nhạy phổ catốt.

Thông thường các đại lượng trên có trị số như sau:

$$M: \text{từ } 10^5 \div 10^8$$

$$S_k(\lambda, \rho): \text{từ } 10 \div 100 \text{ mA/W}$$

$$S_a(\lambda, \rho): \text{từ } 10^3 \div 10^7 \text{ A/W}$$

Đèn nhân quang điện có độ nhạy lớn nên được dùng trong việc đo nguồn sáng yếu.

Sự thay đổi theo nhiệt của độ nhạy về độ lớn và về dấu tùy thuộc vào vật liệu làm catốt và độ dài sóng vào khoảng  $\pm 0,1\% \div 1\% / ^\circ\text{C}$ . Để đo đại lượng quang một cách chính xác, đèn nhân quang điện được bố trí làm thế nào để có được nhiệt độ ổn định.

### 5- Thời gian đáp ứng

Tính nhanh của đèn nhân quang điện được xác định bởi thời gian di chuyển của các điện tử giữa catốt, các động cực, anốt. Đối với cấu trúc các động cực cho trước, thời gian di chuyển trung bình giữa catốt và anốt tùy thuộc

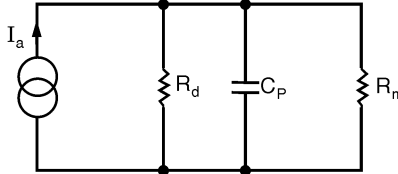


vào giá trị điện áp  $V_{HT}$  :

$$T_{tr} = \frac{\text{hằng số}}{\sqrt{V_{HT}}}$$

với  $T_{tr}$  thường có trị số từ  $10 \div 100\text{ns}$

Sơ đồ mạch điện tương đương của đèn nhân quang điện và điện trở tải  $R_m$  như hình 9.34.



**Hình 9.34:** Sơ đồ tương đương của đèn nhân quang điện và điện trở tải  $R_m$

với:  $I_a$  - dòng điện anốt

$R_d$  - điện trở nội của đèn nhân quang điện,  $R_d > 10^{12}\Omega$

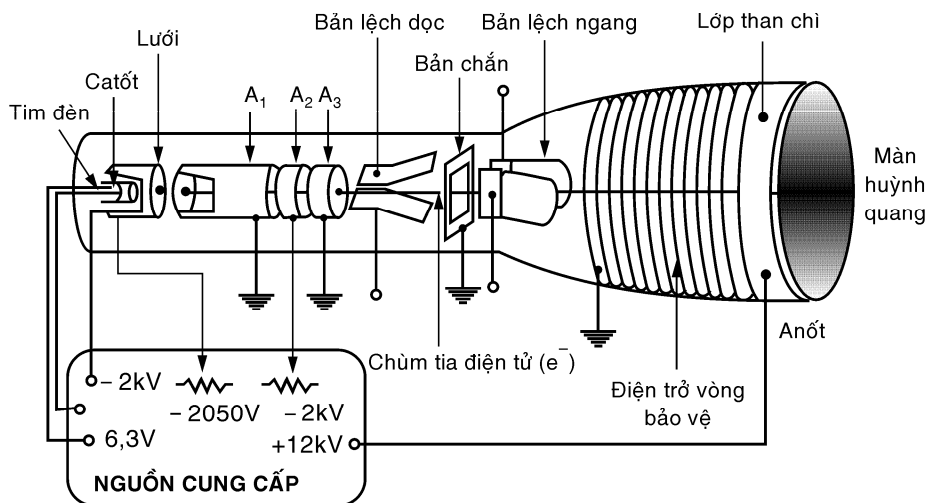
$C_p$  - điện dung ký sinh giữa anốt và mass.

Trong trường hợp  $R_m \ll R_d$ , hằng số thời gian của mạch điện  $\tau = R_m C_p$ , ta có:

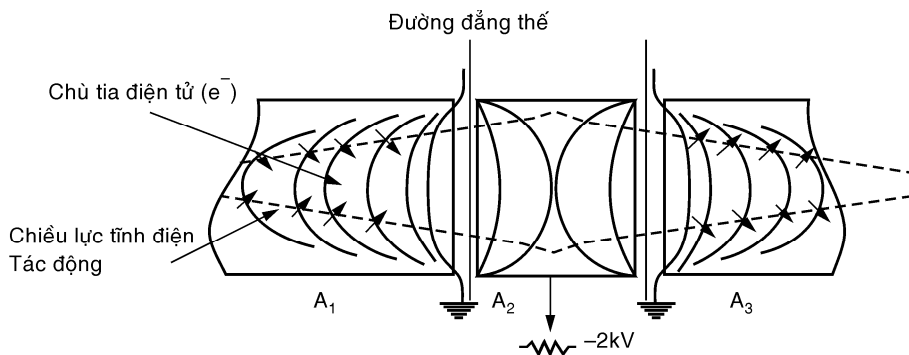
Thời gian lên  $t'_m$  và thời gian xuống  $t'_c$ :  $t'_m = t'_c = 2,2 R_m C_p$

Với  $R_m = 50\Omega$ ,  $C_p = 10\text{pF} \Rightarrow t'_m = t'_c = 0,5\text{ns}$ .

Với số liệu trên cho thấy việc sử dụng điện trở tải  $R_m$  tương đối nhỏ là điều có thể được do độ nhạy cao của đèn nhân quang điện, điều này cho phép làm giảm hằng số thời gian của mạch điện.



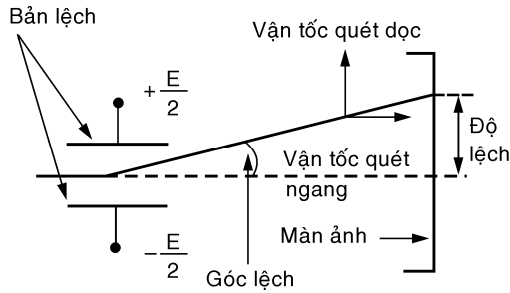
**Hình 10.1:** Ống phóng tia điện tử CRT



**Hình 10.2:** Hệ thống thấu kính hội tụ chùm tia điện tử dùng tĩnh điện

**Bản lệch dọc và bản lệch ngang:** Khi chùm tia điện tử đi qua bản lệch dọc hoặc lệch ngang, thì điện trường giữa hai bản cực này sẽ lái chùm tia điện tử lệch theo chiều dọc và chiều ngang bằng lực tĩnh điện (điều này khác với sự lệch chùm tia điện tử của đèn hình trong ti vi bằng lực điện từ, nghĩa là có cuộn dây lệch thay cho bản cực lệch). Độ lệch của chùm tia điện tử theo chiều dọc hoặc ngang phụ thuộc vào điện áp giữa hai bản cực.

**Ví dụ 10.1:** Bản cực lệch dọc có hai đầu, một đầu điện áp  $(+E/2)$  một đầu điện áp  $(-E/2)$  (H.10.3), thì khi đó điện áp giữa hai bản cực là  $E$  về phía trên, do đó chùm tia điện tử bị kéo lệch về phía trên.



**Hình 10.3:** Sự kéo lệch chùm tia điện tử

Còn nếu điện áp  $(-E/2)$  ở bản lệch trên và  $(+E/2)$  ở bản lệch dưới thì chùm tia điện tử bị kéo về phía dưới.

Độ lệch tia được xác định:

$$d = VL / 2DV_{A1}$$

trong đó:  $V$  - điện áp giữa hai bản cực

$L$  - chiều dài của bản cực

$l$  - khoảng cách từ bản cực đến màn ảnh huỳnh quang

$D$  - khoảng cách giữa hai bản cực

$V_{A1}$  - điện áp đặt vào bản cực so với mass.

Thông thường độ lệch được xác định trên màn ảnh đơn vị (1V/cm). Do đó độ nhạy  $S$  được xác định:

$$S(\text{vo\`a} / \text{cm}) = \frac{V(\text{vo\`a})}{d(\text{cm})} = \frac{2DV_{A1}}{lL}$$

**Ví dụ 10.2:**  $D = 1\text{cm}$ ;  $l = 2\text{cm}$ ,  $L = 15\text{cm}$  và điện áp giữa  $A_1$  và catốt bằng 50V. Do đó độ nhạy của độ lệch:

$$S(\text{V/cm}) = \frac{2 \times 1\text{cm} \times 50\text{V}}{2\text{cm} \times 15\text{cm}} = \frac{100}{30} (\text{V/cm})$$

Giữa hai bản cực lệch dọc và lệch ngang của dao động ký có một bản chắn nối mass để ngăn cách ảnh hưởng điện trường của hai bản lệch dọc và lệch ngang lẫn nhau.

**Màn huỳnh quang:** mặt trong của màn ảnh ống CRT được phủ một lớp phát quang, tùy theo vật liệu của lớp phát quang này mà tia sáng phát ra khi chùm tia điện tử đập vào màn ảnh huỳnh quang sẽ có màu khác nhau:

Chất phát quang ( $Zn_2SiO_4$  và Mn): cho màu xanh lá

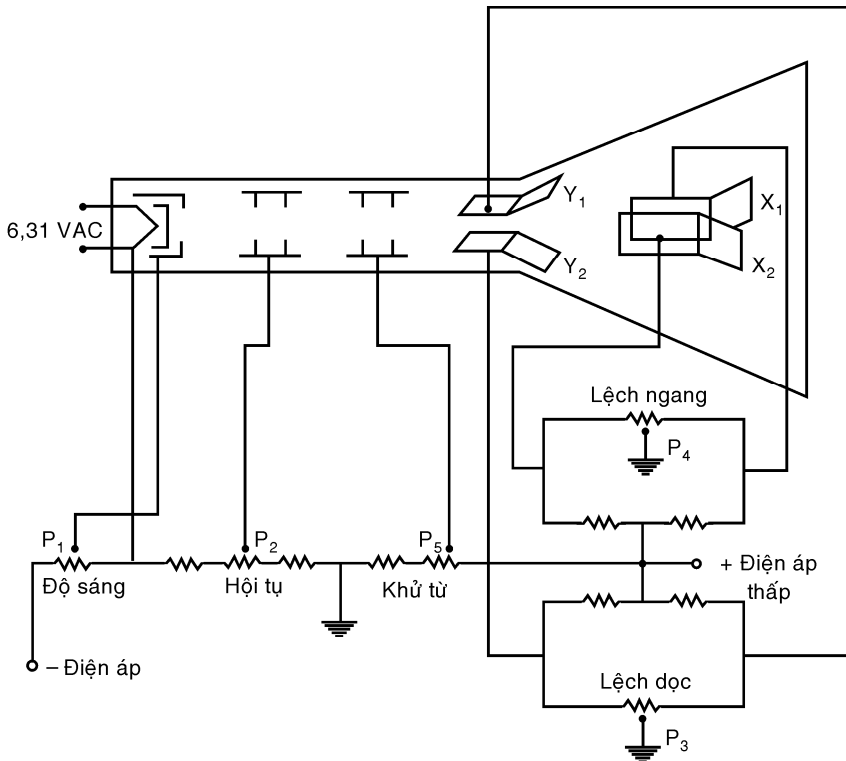
Chất phát quang muối sulfuric cadmium: cho màu vàng.

□ Lớp than chì xung quanh ống cạnh màn ảnh thu nhận các điện tử phát xạ thứ cấp (các điện tử đập vào màn ảnh dội trở lại). Do đó điện thế âm không tích tụ lại trên màn ảnh.

□ Điện áp phân cực cho anốt có trị số rất lớn vào khoảng kV ( $10^3V$ ) nó rất mạnh (tăng tốc) cho chùm tia điện tử đập mạnh vào màn huỳnh quang.

□ Các vòng điện trở hình xoáy ốc bên ngoài được nối *mass* sẽ làm cho các điện tích tụ, do điện trường lớn giữa catốt và anốt bị trung hòa điện tích.

**10.1.2 Sự phân cực cho các bộ phận CRT**



*Hình 10.4: Mạch phân cực của ống phóng tia âm cực*

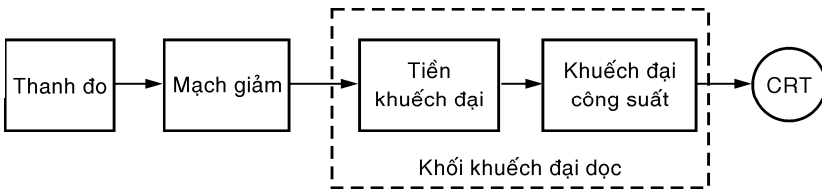
□ Điện thế phân cực cho lưới, ví dụ:  $-2\text{ kV}$  ( $V_g$ ), khi thay đổi biến trở  $P_1$  điện thế  $V_{GK}$  thay đổi  $V_K = -1950V$ . Như vậy  $V_{GK} < 0$  ảnh hưởng đến sự phóng điện tử ra khỏi lưới. Vậy  $P_1$  điều chỉnh độ sáng cho chùm tia điện tử.

□ Khối tạo tín hiệu răng cưa ③ làm chuẩn thời gian cho trục X của màn ảnh dao động ký

□ Khối khuếch đại tín hiệu điều khiển chùm tia điện tử quét theo chiều ngang ④.

□ Khối tạo tín hiệu xung kích ⑤ cho sự đồng bộ hóa, điều khiển chùm tia điện tử quét dọc và ngang để cho hình ảnh hiển thị trên màn ảnh đứng yên (nghĩa là phải có sự phối hợp đồng bộ cho sự điều khiển quét dọc và quét ngang của chùm tia điện tử)

**10.2.2 Khối khuếch đại quét dọc (H.10.6)**



**Hình 10.6:** Mạch khối khuếch đại quét dọc

Tín hiệu vào thanh đo (*probe*) được đưa qua mạch phân tầm đo (mạch giảm - attenuator network) để tín hiệu đưa vào mạch tiền khuếch đại preamplifier) đây là mạch khuếch đại điện áp như phần vôn-kế điện tử.

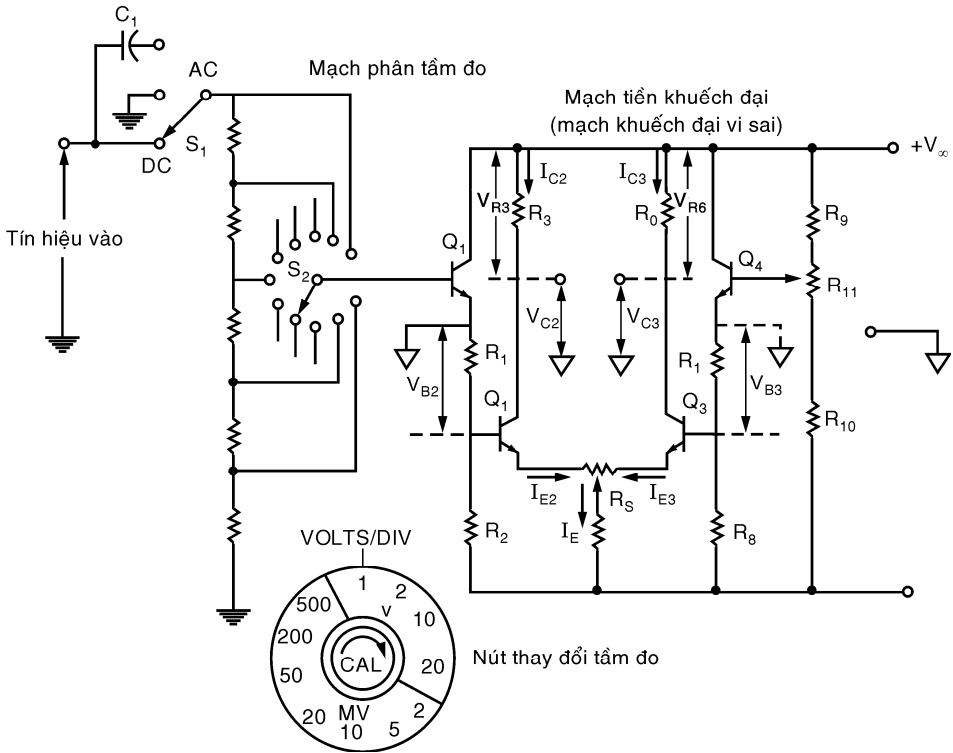
Ngõ vào của mạch phân tầm đo có khóa  $S_1$  cho hai cách ghép:

□ Ghép trực tiếp DC (*direct coupling*), tín hiệu DC và AC đều được đưa vào.

□ Ghép gián tiếp AC (*alternative coupling*) chỉ cho tín hiệu DC vào. Còn ở vị trí O khóa  $S_1$  nối *mass* không có tín hiệu vào.

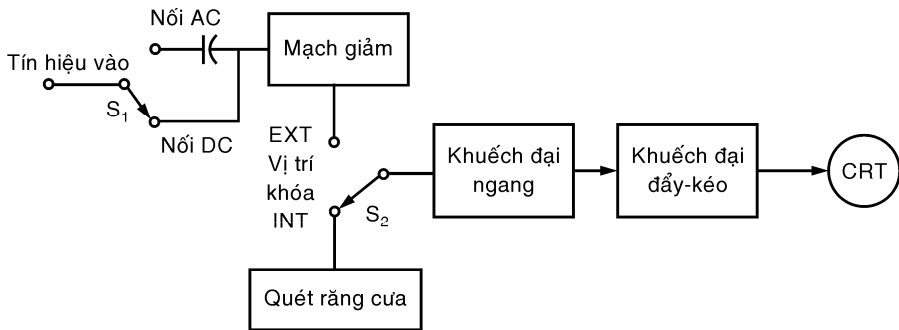
Tùy theo vị trí của nút thay đổi tầm đo (theo đơn vị Volt/Div), mạch giảm có khóa  $S_2$  ở vị trí tương ứng.

Sau đó tín hiệu đưa vào mạch khuếch đại vi sai ( $Q_2, Q_3$ ) có mạch khuếch đại “theo điện áp” (mạch khuếch đại đệm)  $Q_1, Q_4$ . Cuối cùng tín hiệu ở  $C_2, C_3$  ( $V_{C2} - V_{C3}$ ) được đưa vào mạch khuếch đại công suất (main frame amplifier). Điện áp ở hai đầu ra của mạch khuếch đại công suất đưa vào hai bản cực lệch dọc (kết hợp với điện áp DC có sẵn của bản cực lệch dọc).



Hình 10.7: Mạch phân tâm đo và mạch khuếch đại điện áp

10.2.3 Khối khuếch đại quét ngang (H.10.8)

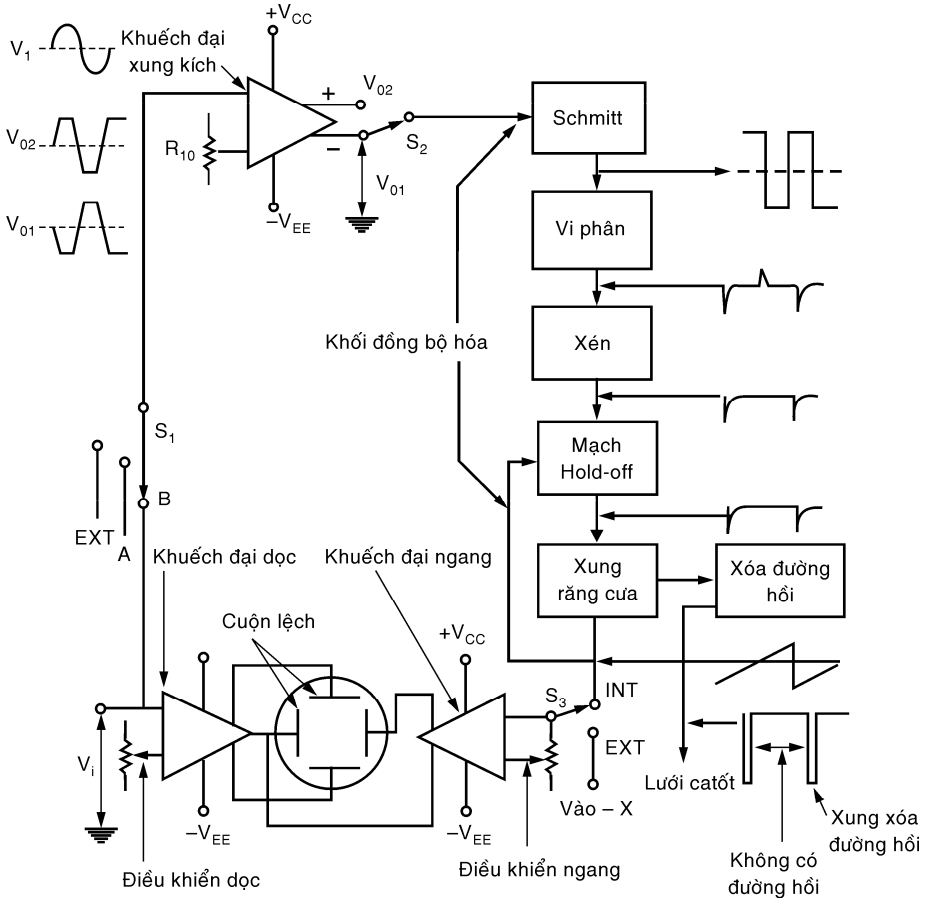


Hình 10.8: Mạch khối khuếch đại quét ngang

Khối khuếch đại quét ngang giống như khối khuếch đại quét dọc. Ngoài ra tín hiệu vào có hai cách phụ thuộc vào vị trí của khóa  $S_2$ . Nếu khóa  $S_2$  ở vị trí EXT, tín hiệu quét ngang được đưa từ ngoài vào. Nếu  $S_2$  ở vị trí INT thì tín hiệu quét dạng răng cưa từ mạch tạo tín hiệu quét răng cưa (*sweep generator*) được đưa vào.

hiệu quét ngang và dọc.

□ Trong thời gian chùm tia điện tử quay trở về thì cạnh xuống của tín hiệu quét răng cưa đi vào mạch xóa đường hồi (*blanking*), sẽ tạo ra điện thế lưới  $V_{GK}$  rất âm để cho không có tín hiệu quét ngang của chùm tia điện tử xuất hiện trên màn hình trong thời gian này.

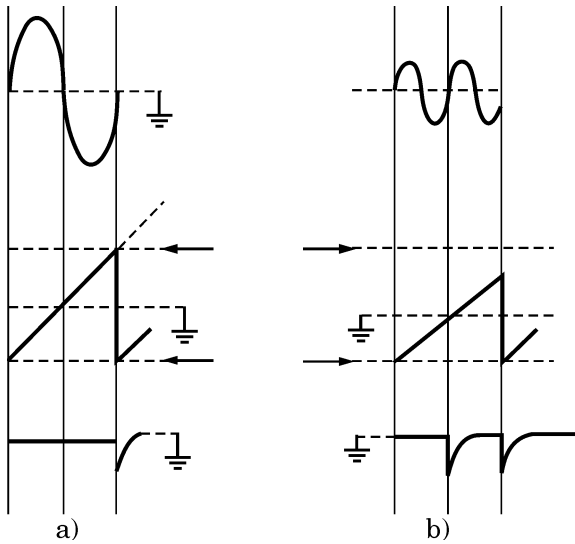


**Hình 10.10:** Sơ đồ khối của mạch quét tín hiệu răng cưa có sự điều khiển

□ Để cho tín hiệu quan sát và tín hiệu răng cưa có cùng vị trí khởi đầu ở mỗi lần quét, thì tín hiệu răng cưa không được tự do xuất hiện mà phải xuất hiện khi có xung kích mà xung kích có tần số phụ thuộc vào tín hiệu quan sát như trình bày của sơ đồ khối hình 10.10.

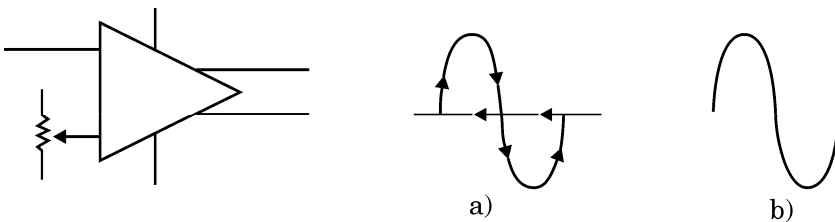
Tín hiệu quan sát được qua mạch khuếch đại trigger (*trigger amplifier*) tùy theo cách lấy ở ngõ ra sẽ có tín hiệu  $V_{01}$  và  $V_{02}$  trái pha. Sau đó được đưa

vào mạch kích Schmitt, mạch vi phân (*differentiator*), mạch xén (*clipper*). Đây là khối *đồng bộ hóa* cho tín hiệu quét răng cưa để cho tín hiệu răng cưa xuất phát cùng tại vị trí khởi đầu của tín hiệu quan sát ở phần quét dọc (H.10.11)



**Hình 10.11:** Tín hiệu quét răng cưa được đồng bộ với tín hiệu sin quan sát

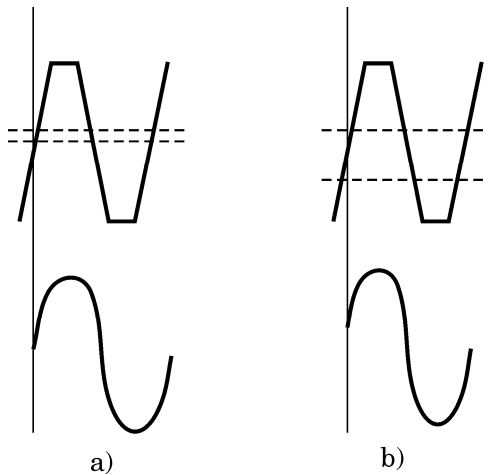
*Hình 10.11a:* Để thể hiện một chu kỳ tín hiệu sin trên màn ảnh của dao động ký, thì tín hiệu xung kích (gai âm) phải xuất hiện trước khi cạnh lên của tín hiệu quét răng cưa đạt đến mức kích trên của mạch kích schmitt ngay tại vị trí cuối của chu kỳ của tín hiệu sin khảo sát. Điều này làm cho cạnh của tín hiệu quét đột ngột giảm về “0”. Để bắt đầu quét cho chu kỳ tín hiệu sin kế tiếp cho điểm bắt đầu giống như trước. Như vậy sự hoạt động của tín hiệu quét răng cưa được điều khiển bằng xung kích (gai âm), đồng thời khi đó tại *cạnh xuống* của tín hiệu răng cưa cũng làm cho mạch *xóa đường hồi* (blanking) tạo ra điện áp  $V_{GK}$  rất âm để không có chùm tia điện tử xuất hiện trên màn ảnh (H.10.12).



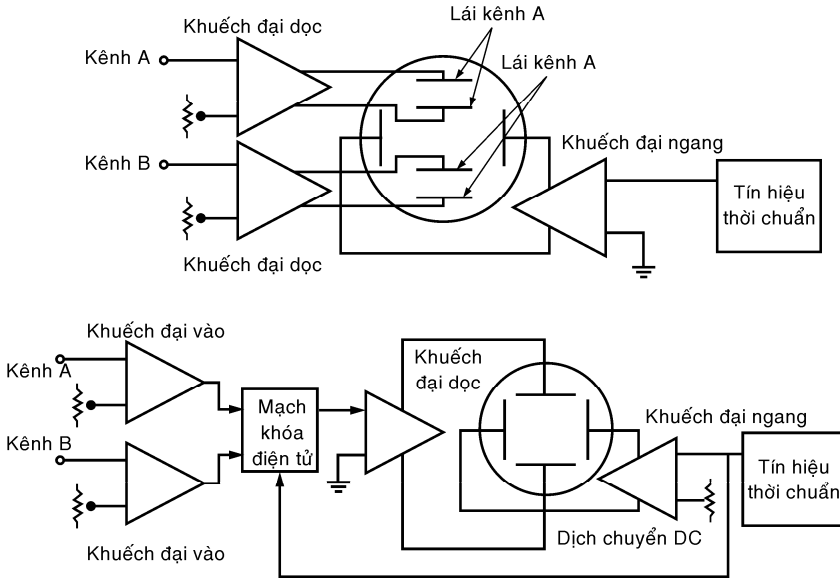


**Hình 10.12:** a) Tín hiệu không có mạch xóa đường hồi  
b) Tín hiệu có mạch xóa

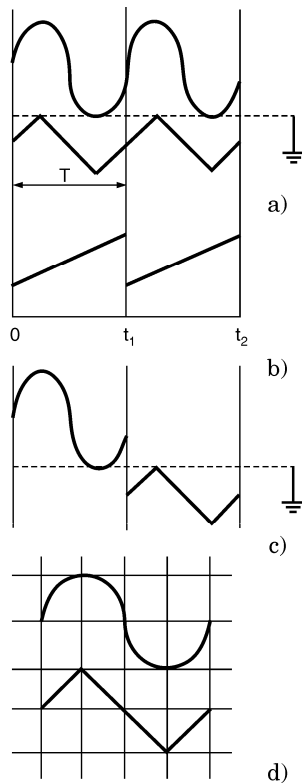
Còn ở hình 10.11b là sự thể hiện hai chu kỳ của tín hiệu sin, thời điểm bắt đầu chu kỳ thứ hai của tín hiệu sin nhờ có mạch *hold-off* (không cho tín hiệu xung kích xuất hiện) tại vị trí này của xung răng cưa, cho nên tín hiệu răng cưa tiếp tục quét ngang để cho chu kỳ thứ hai của tín hiệu sin được xuất hiện trên màn ảnh. Cho đến khi tín hiệu răng cưa đạt gần đến *mức trên* của mạch kích thì xung kích (gai âm) xuất hiện để tín hiệu răng cưa có *cạnh xuống* và làm cho tín hiệu quét trở lui. Điểm bắt đầu của tín hiệu quan sát trên màn ảnh phụ thuộc vào điện áp ra của mạch khuếch đại *điện áp kích* (triggering amplifier) điện áp ra này được điều chỉnh bởi biến trở  $R_{10}$  như ở hình 10.13. Khi điện áp ra có trị số gần bằng *mức kích trên* của mạch kích schmitt thì điểm bắt đầu xuất hiện của tín hiệu sin ở mức “0”.



**Hình 10.13:** Sự thay đổi điện thế DC cho mức kích để điều xung xung kích

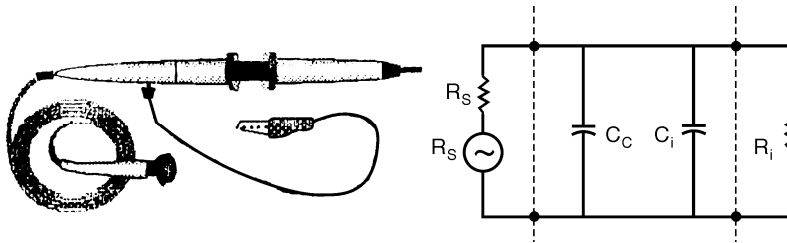


Hình 10.15: Sơ đồ khối dao động ký

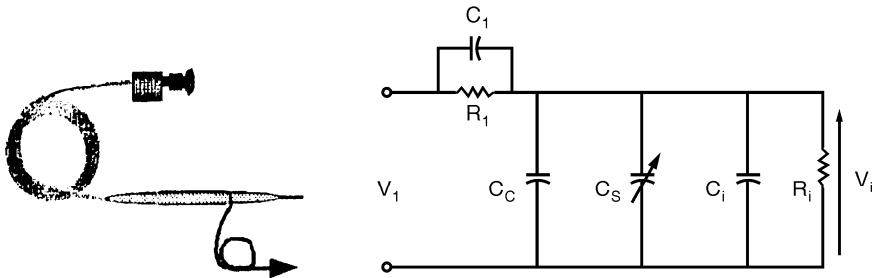


Hình 10.16: Sự trình bày tín hiệu ở hai kênh trên màn ảnh

Như vậy để cho tín hiệu ngõ vào quét dọc giảm đi 10 lần và không phụ thuộc vào tần số tín hiệu thì phải thỏa thêm điều kiện sau:  $C_1 R_1 = C_2 R_i$ , khi đó  $R_1 = 9R_i$



Hình 10.17: Thanh đo không có giảm áp



Hình 10.18: Thanh đo có giảm áp 10:1

**Ví dụ 10.3:**  $R_1 = 9M\Omega$ ;  $C_1 = 10pF$ ;  $R_i = 2M\Omega$ ;  $C_c$  (không biết);  $C_i = 10pF$ ;  $C_s$  là tụ điện thay đổi (có trị số lớn nhất 100pF), suy ra muốn cho mạch đo là bộ giảm 10:1 và không phụ thuộc tần số tín hiệu thì:

$$R_1 C_1 = R_i \cdot C_2$$

$$C_2 = C_c + C_s + C_i = \frac{R_1 C_1}{R_i} = \frac{9M\Omega}{1M\Omega} 10pF = C_s + C_c + 10pF = 90pF$$

Suy ra:  $C_s + C_c = 80 pF$

Khi đó nếu  $C_c$  trong khoảng từ 1pF đến 80pF thì chúng ta thay đổi được  $C_s$  để thỏa điều kiện trên. Trong trường hợp  $C_c > 80pF$  thì phải thay đổi  $C_1$  cho phù hợp.

Giả sử  $C_c = 100pF$ , thì  $C_1$  phải thay trị số lớn hơn (ví dụ  $C_1 = 15pF$ ).

Khi đó:  $C_s + 100pF = (135pF - 10pF)$ ; điều chỉnh:  $C_s = 25pF$ .

Khi đưa tín hiệu xung vuông vào, sẽ có ảnh hưởng đến dạng của tín hiệu tụ  $C_1$  và  $C_2$  như đã nói ở trên. Nếu tín hiệu xung vuông xuất hiện trên màn ảnh có dạng hình 10.19a.

$$t(s) = \sqrt{LC} \{L(H), C(F)\}$$

Khi đó tín hiệu đi qua  $n$  bộ sẽ có thời gian trễ:  $T = nt$

Và điện trở tải  $R = \sqrt{L/C}$  để có sự điều hợp tổng trở, giúp cho công suất tín hiệu ra không bị suy giảm.

**Ví dụ 10.4:**  $T = 0,25\mu\text{sec}$ ;  $n=11$  bộ  $R=600\Omega$ . Xác định  $t$ , trị số  $L$  và  $C$

**Giải:** Thời gian trễ của 1 bộ  $t = 0,25 \times 10^{-6} / 11 \text{ sec}$

$$\text{Do đó } \sqrt{LC} = 0,25 \times 10^{-6} / 11 \text{ sec và } R^2 = L/C = 600^2$$

$$\text{Suy ra } L = 600^2 C ; \sqrt{C^2 \times 600^2} = (0,25 \times 10^{-6}) / 11 \text{ sec}$$

$$C = \frac{0,25 \times 10^{-6}}{11 \times 600} = \frac{2500}{66} \times 10^{-12}$$

$$C = 37,87 \text{ pF} \# 38 \text{ pF}$$

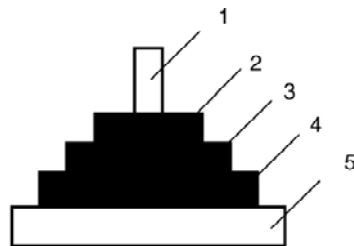
$$L = 36 \times 10^4 \times 38 \times 10^{-12} \# 13,68 \mu\text{H}$$

□ Loại dây đồng trục.

Khi tín hiệu truyền qua dây có thời gian trễ  $t(s) = \frac{1m}{V(m/s)}$

$V$ : tốc độ truyền tín hiệu, với  $V = 1/\sqrt{LC}$ ,  $L$ ,  $C$  là điện cảm và điện dung của cáp đồng trục.

- 1- Lõi polyetilene
- 2- Dây kim loại xoắn ốc
- 3- Lớp cách điện
- 4- Dây dẫn ngoài
- 5- Vỏ bọc bảo vệ



**Hình 10.21:** Cấu tạo của dây đồng trục

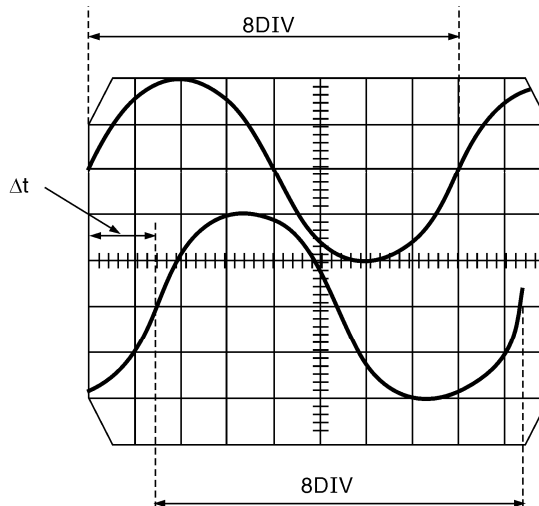
**Ví dụ 10.5:** Cáp đồng trục có  $L = 10\mu\text{H}$ ;  $C = 40\text{pF}$ . Xác định  $t$

**Giải:** Thời gian trễ  $t$  của tín hiệu truyền qua dây

$$t = 1/V = 1/(1/\sqrt{LC}) = \sqrt{LC} = \sqrt{4 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^{-8} \text{ sec} = 0,02\mu\text{sec}$$

$$\text{Do đó tốc độ truyền tín hiệu: } V = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 10^{-8}} = 0,5 \times 10^8 \text{ m/s}$$

### 10.7.2 Đo sự lệch pha giữa hai tín hiệu (H.10.23)



**Hình 10.23:** Cách tính sự lệch pha giữa hai tín hiệu A và B

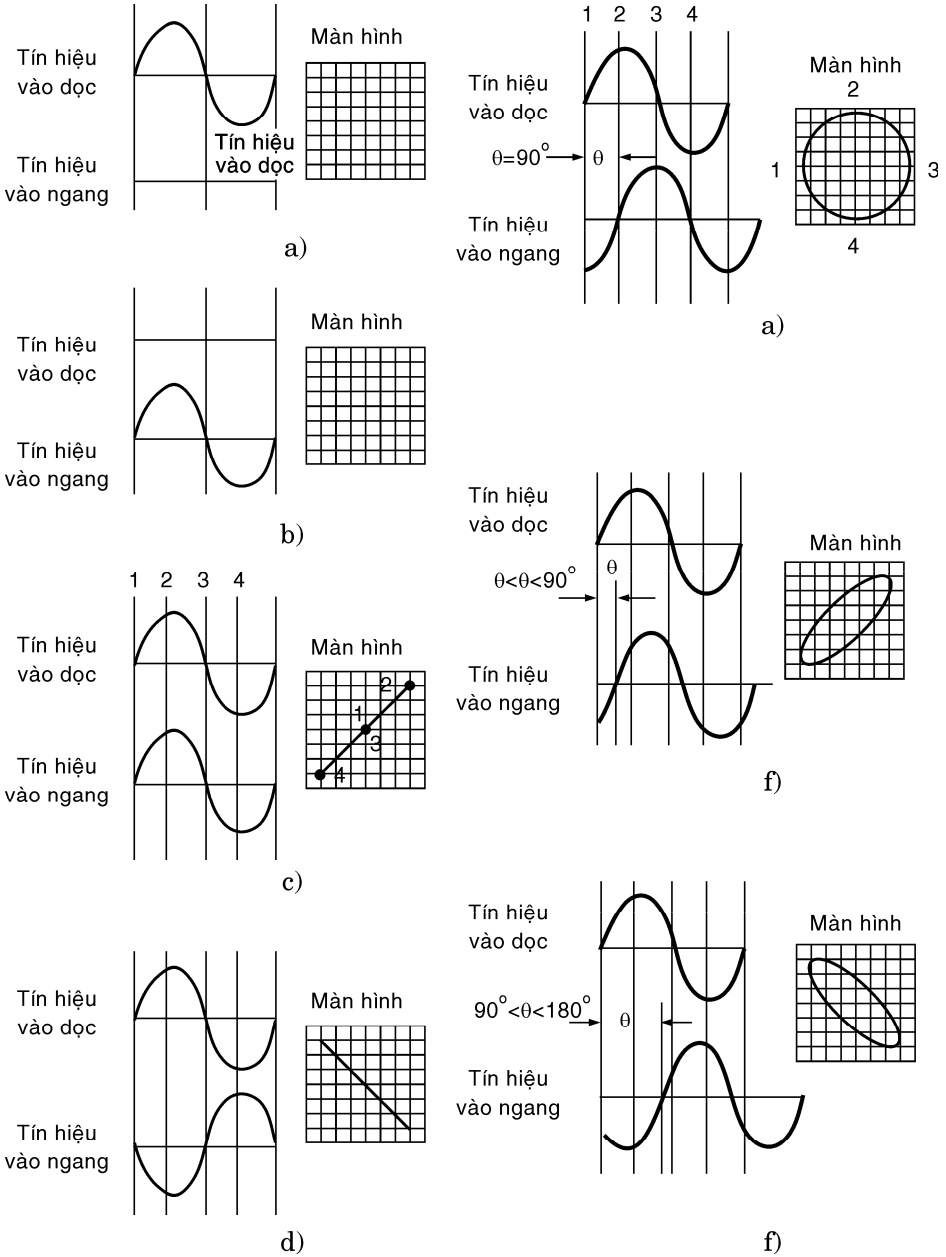
Tín hiệu A và B có sự lệch pha được tính theo trục thời gian:

$\Delta t/T = 1,4div/8div = 0,7/4$  mà  $T = 2\pi \text{radian} = 360^\circ$  suy ra góc lệch pha  $\alpha$  tương ứng với  $\Delta t$ :

$$\alpha = \frac{\Delta t}{T} 360^\circ = 360^\circ \times \frac{0,7}{4} = 63^\circ$$

□ Dùng hình Lissajous để đo sự chênh lệch pha giữa hai tín hiệu (H.10.24). Tín hiệu A đưa vào ngõ quét dọc, tín hiệu B đưa vào ngõ quét ngang.

- A, B cùng pha: hình Lissajous là đường thẳng (H.10.24c).
- A, B trái pha (H.10.24d)
- A, B lệch pha  $90^\circ$  (H.10.24e).
- A, B lệch pha bất kỳ hình elip (H.10.24f, g).  $\sin \alpha = 2B/2A$

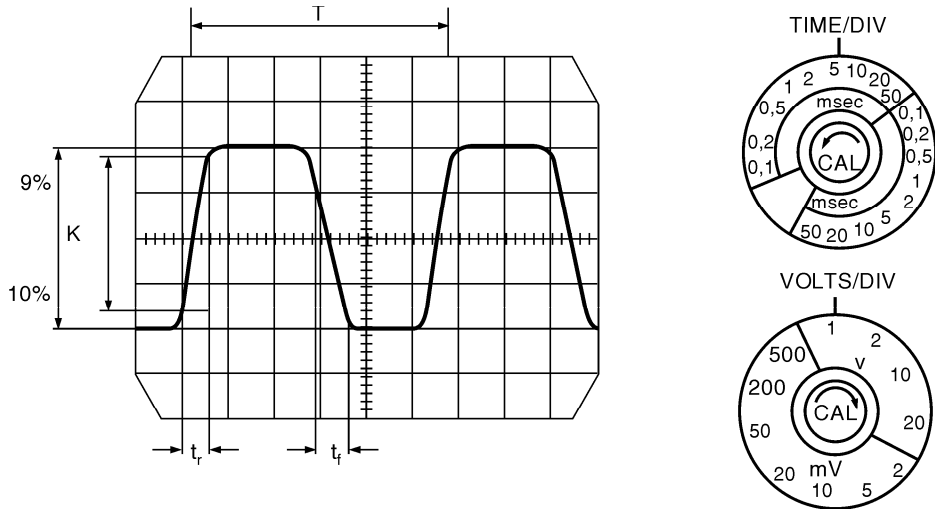


Hình 10.24: Dùng hình Lissajous để đo sự lệch pha giữa hai tín hiệu

Ví dụ:  $2A = 6\text{div}$ ,  $2B = 4\text{div}$ ,  $\sin \alpha = 2/3 \Rightarrow \alpha = 41^\circ 8$

(trường hợp hình elip về phía phải).

$\alpha = 131^\circ 8$  (trường hợp elip về phía trái)



Hình 10.25: Cách tính  $t_r$ ,  $t_f$

### 10.7.3 Đo thời gian lên $t_r$ của xung: theo định nghĩa từ 10% biên độ đến 90% biên độ

$$t_r = 0,5\text{div} \times 5\mu\text{s/div} = 2,5\mu\text{sec}$$

Và thời gian xuống  $t_f = 0,6\text{div} \times 5\mu\text{sec} = 3\mu\text{sec}$

Còn tốc độ đáp ứng của xung ở cạnh lên.

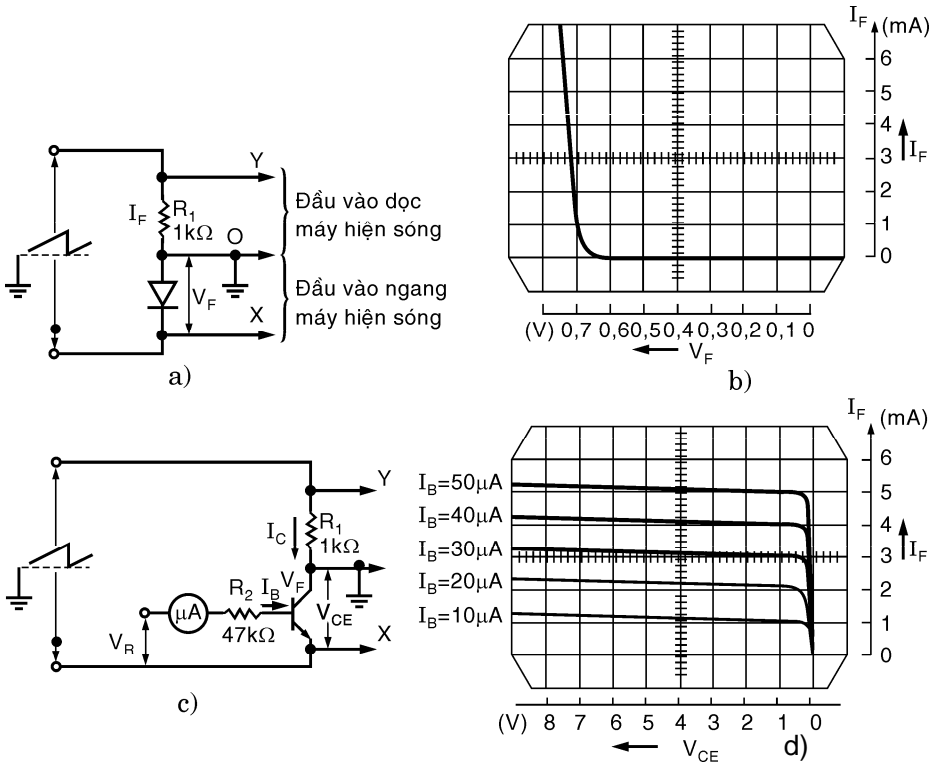
$$\frac{\Delta V}{t_r} = \frac{3,6\text{div} \times 2\text{V/div}}{2,5\mu\text{sec}} = 2,9\text{voã}/\mu\text{sec}$$

### 10.7.4. Vẽ đặc tuyến V-I của linh kiện điện tử

□ Vẽ đặc tuyến  $I_d = f(V_d)$  (H.10.26a)

Mạch được phân cực bởi tín hiệu răng cưa hoặc tín hiệu sin, điện áp hai đầu điện trở  $R_I$  vào ngõ dọc Y, có điện áp hai đầu diod đưa vào ngõ quét ngang X (điểm 0 nối mass của dao động ký).

Đặc tuyến  $I_d = f(V_d)$  được xuất hiện trên màn ảnh dao động ký (H.10.26b)



**Hình 10.26:** Mạch vẽ đặc tuyến  $I_d = f(V_d)$  và  $I_C = f(V_{CE})$  của diode và transistor

- a) Mạch vẽ đặc tuyến  $V - I$  của diode
- b) Đặc tuyến  $V - I$  của diode trên màn hình dao động ký
- c) Mạch vẽ đặc tuyến  $V_{CE} - I_C$  của transistor BJT theo thông số  $I_B$
- d) Đặc tuyến  $V_{CE} - I_C$  trên màn hình dao động ký

□ Vẽ đặc tuyến  $I_C = f(V_{CE})$ .

Cực nền được phân cực bởi điện áp một chiều  $V_R$  thay đổi,  $\mu A$ - kế theo dõi dòng phân cực  $I_B$ . Điện áp của tín hiệu răng cưa được cung cấp cho cực C-E của transistor (có thể cung cấp bởi tín hiệu sin nhưng phải mắc nối tiếp với diode chỉnh lưu bán kỳ dương cung cấp cho mạch).



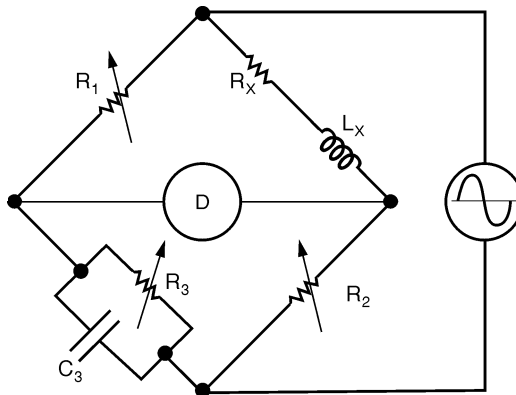
## PHỤ LỤC

## 1. ĐỀ THI KỸ THUẬT ĐO - LỚP DD 96 – HỌC KỲ 2/99

**Câu 1:** a) Giải thích tại sao phải dùng hệ số dạng  $k_f$  và hệ số đỉnh  $k_p$  trong vôn-kế điện tử đo điện áp A.C.?

b) Cho biết quan hệ tín hiệu ra của mạch tích phân hai độ dốc trong biến đổi A/D của vôn-kế chỉ thị số theo điện áp đo  $V_{IN}$ , điện áp chuẩn  $E_r$ , thời gian nạp  $t_1$  và thời gian xả  $t_2$  ?

**Câu 2:** a) Cho biết sự chính xác của phần tử đo dùng cầu đo phụ thuộc vào yếu tố gì của các phần tử trong cầu đo?



Hình 1

b) Với mạch cầu đo ở hình 1, hãy tính  $L_x$ ,  $R_x$  và  $Q$  của cuộn dây cần đo theo các phần tử còn lại của cầu khi cầu cân bằng.

**Câu 3:** Vẽ mạch đo công suất tác dụng, công suất phản kháng và  $\cos\varphi$  cho tải ba pha dùng watt-kế ba pha, var-kế ba pha loại 2,5 phần tử và  $\cos\varphi$ -kế ba pha kết hợp với biến dòng.

Phần tự chọn (SV làm phần A hoặc B)

### Phần A

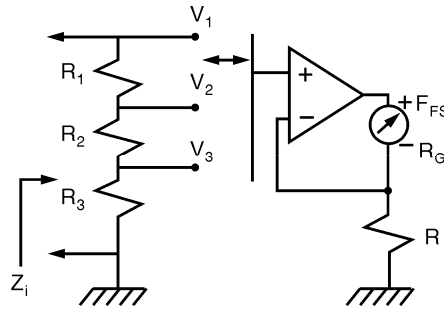
**Câu 4a:** Cho một vôn-kế điện động có thang đo DC và AC trùng nhau tại tần số  $f_o$

a) Hãy vẽ mạch tương đương cho vôn-kế trên

b) Tính sai số tương đối  $|V_{AC} - V_{DC}|/V_{AC}|100\%$  theo các thành phần tương đương  $R$  và  $L\omega$  khi đo điện áp AC tại tần số  $f_1$ .

c) Áp dụng khi  $f_o = 50\text{Hz}$ ;  $f_1 = 1\text{kHz}$ ;  $L = 100\text{mH}$ ;  $R = 1\text{k}\Omega$ .

**Câu 5a:** Cho mạch đo như hình 2



**Hình 2**

a) Xác định  $R$ ,  $Z_i$  (tổng trở vào).

b) Trị số tầm đo  $V_2$ ,  $V_3$ , khi tầm đo  $V_1=0,1V$ ,  $R_1=900k\Omega$ ,  $R_2 = 90k\Omega$ ,  $R_3 = 10k\Omega$ ;  $I_{FS} = 50\mu A$ ;  $R_G = 1k\Omega$

### Phần B

**Câu 4b:** Người ta đo một điện trở có trị số danh định là  $20k\Omega$  bằng vôn và ampe theo hai cách rẽ dài và rẽ ngắn. Với ampe có:

nội trở  $R_A = 1\Omega$ ; vôn-kế có thang đo  $0 - 50V$  và độ nhạy  $20k\Omega/V$ .

a) Hãy tính giá trị điện trở đo được từ hai cách trên theo số chỉ của vôn và ampe.

b) Tính giá trị sai số tương đối phần trăm của hai số liệu đo trên. Từ đó hãy cho biết nên dùng cách đo nào thì phù hợp?

**Câu 5b:** Cho mạch đo dòng như hình 3. Biết rằng khung quay từ điện có  $I_{FS} = 50\mu A$ ,

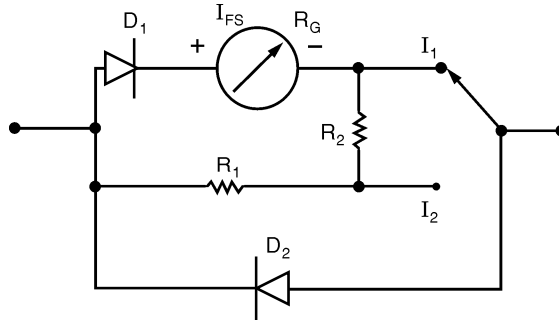
$$R_G = 2k\Omega; V_D(RMS) = \sqrt{2}/2 (V); I_1(RMS) = 1,00005\sqrt{2} (A);$$

$$I_2(RMS) = 3,00015\sqrt{2} (A). \text{ Tín hiệu đo có } k_p = k_f = \sqrt{2}.$$

a) Hãy vẽ dạng của dòng điện cần đo.

b) Tính các trị số của điện trở  $R_1$  và  $R_2$  theo trị hiệu dụng của các dòng điện cho trên hình 3.

c) Nếu dòng điện đo có dạng sin thì các thang đo mới sẽ là bao nhiêu nếu các điện trở như câu b.

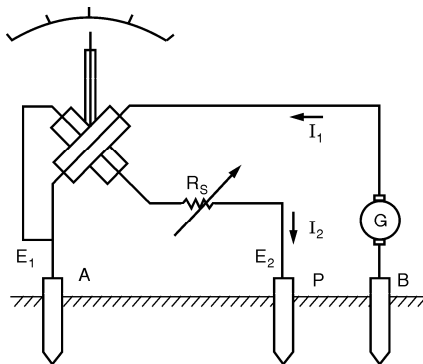


Hình 3

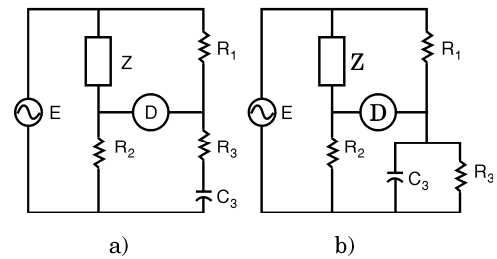
2. ĐỀ THI KỸ THUẬT ĐO - K95 NĂM HỌC 97-98

**Câu 1:** Cho biết nguyên lý hoạt động của máy đo điện trở đất dùng tỉ số kể từ điện (H.1). Trong thực tế dòng  $I_1$ ,  $I_2$  và dòng qua điện trở đất là dòng DC hay AC. Điện áp  $E_1$ ,  $E_2$  là DC hay AC. Như vậy máy đo thực tế có thêm bộ phận gì?

**Câu 2:** Trong cầu đo (H.2) sinh viên hãy cho biết cầu đo nào đo cuộn dây Z có Q lớn và cuộn dây Z có Q nhỏ. Tính  $L_X$ ,  $R_X$ ,  $Q$  cho hai dạng cầu đo.



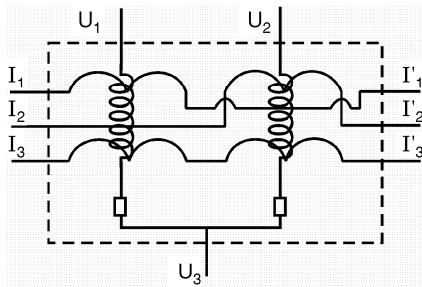
Hình 1



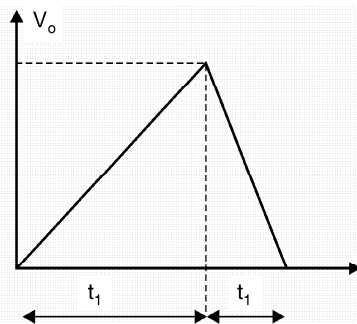
Hình 2

**Câu 3:** Tại sao tín hiệu thời chuẩn (tín hiệu quét ngang) trong dao động ký có dạng răng cưa? Giải thích.

**Câu 4:** Giải thích watt-kế 3 pha 2(1/2) phần tử được chuyển thành var-kế đo công suất phản kháng tải 3 pha thực hiện như thế nào? Nối mạch đo (H.3) cho hợp lý.



Hình 3



Hình 4

**Câu 5:** Khảo sát tín hiệu ra của mạch tích phân hai độ dốc (H.4).

a) Cho biết  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $V_o$  có đặc điểm gì và phụ thuộc vào yếu tố nào của mạch đo và dung lượng của bộ đếm.

b) Xác định điện áp đo  $(V_D)_{MAX}$  khi độ dốc lớn nhất  $(K_f)_{MAX} = 1mV/msec$ . Cho biết dung lượng bộ đếm 2000 xung có chu kỳ  $T = 1msec$ .

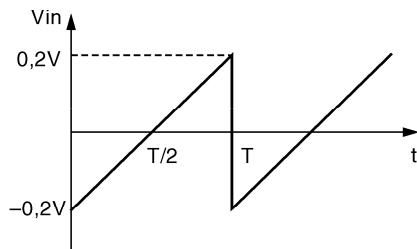
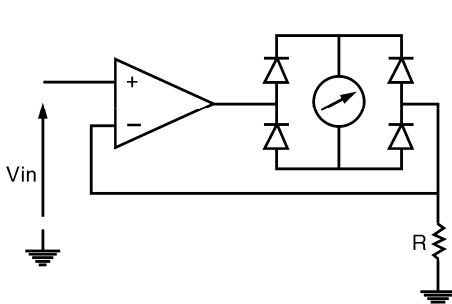
**Câu 6:** Khảo sát mạch đo và dạng tín hiệu đo (H.5).

a) Xác định điện trở R khi  $V_D = 0,3V$  (RMS)

Cơ cấu đo  $M$  ( $I_{MAX} = 50 \mu A$ ,  $R_1 = 1K\Omega$ )

Hệ số dạng  $k_f = 1,155$ ; Hệ số đỉnh  $k_p = 1,732$ .

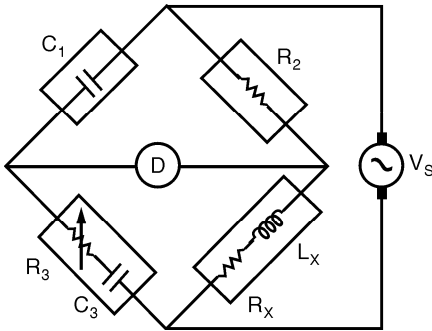
b) Với R đã được xác định ở câu a, thì  $V_{DO}$  (hình sin) có trị số bao nhiêu? Biết  $k_f = 1,11$  ;  $k_p = 1,414$



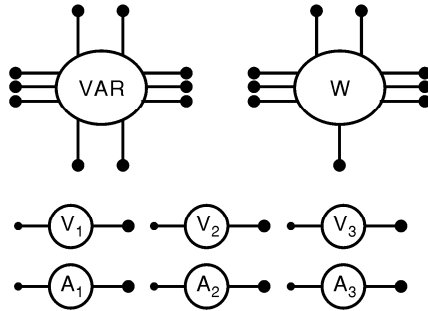
Hình 5

**3. ĐỀ THI MÔN KỸ THUẬT ĐO LỚP Đ95**

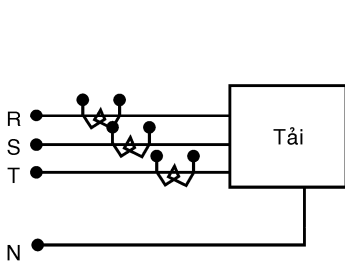
**Câu 1:** Cho biết khác nhau của nguyên lý đo của Ohm-kế thường và Ohm-kế điện tử.



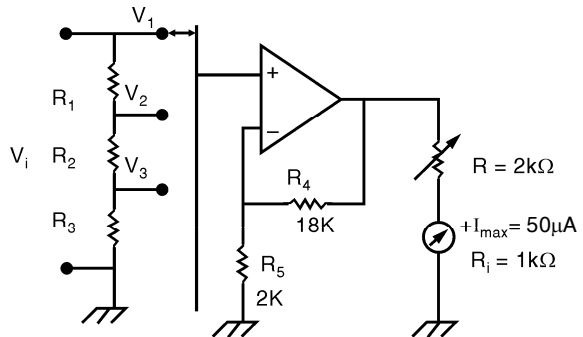
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4a

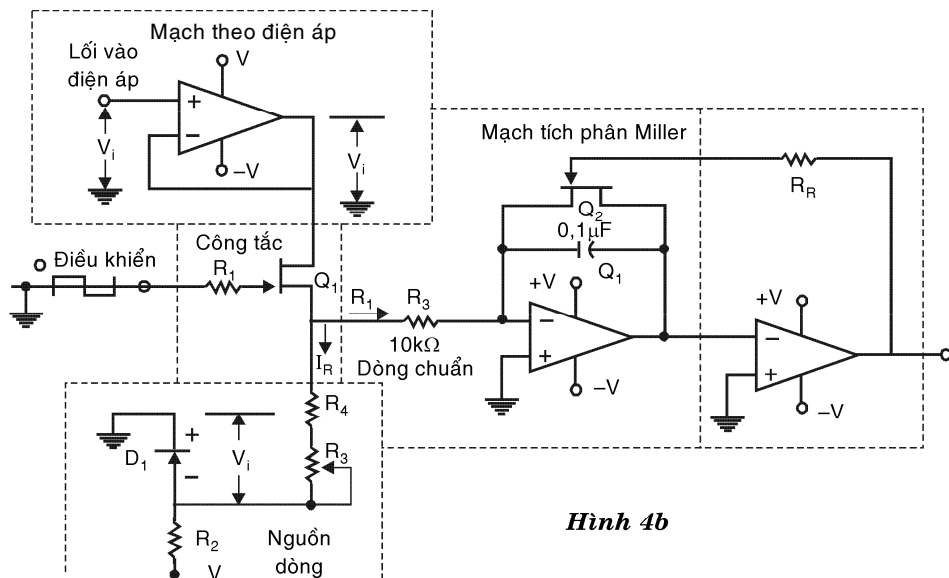
**Câu 2:** a) Cho mạch đo sau đây (H.1) xác định  $L_x$ ,  $R_x$ , hệ số Q của cuộn dây.

b) Cho biết tại sao phải dùng Q-kế để đo hệ số Q ở tần số cao.

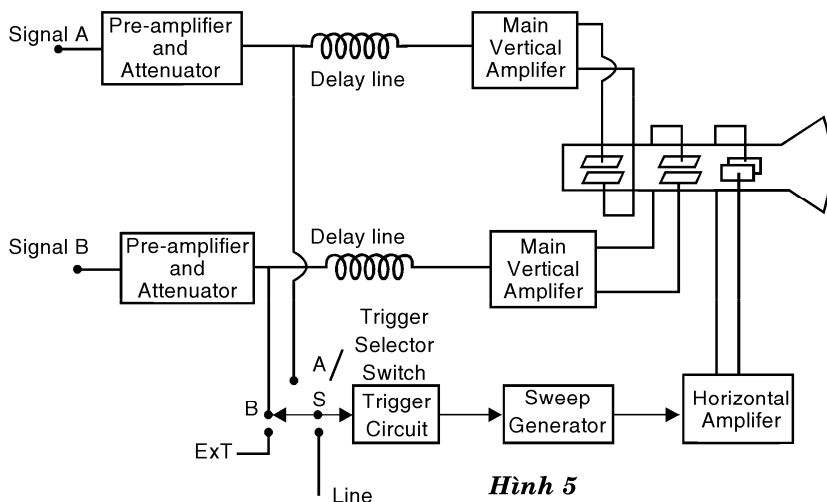
**Câu 3:** Giải thích nhiệm vụ của từng khối trong hình 2.

**Câu 4:** a) Cho biết ưu điểm của watt-kế 2,5 phần tử so với watt-kế hai phần tử.

b) Nối mạch đo hợp lý cho hình 3.



Hình 4b



Hình 5

**Phần tự chọn (Chọn câu 5A hoặc 5B)**

**Câu 5a:** Cho mạch đo sau (H.4a)

a) Xác định  $R_1, R_2, R_3$  khi  $Z_I = 1M\Omega$  (tổng trở vào) và  $V_2 = 1V(DC), V_3 = 10V(DC)$ .

b) Xác định  $V'_1, V'_2, V'_3$  (AC) khi thêm diod nối tiếp với cơ cấu chỉ thị có  $V_D = 0,3 V$  ( $R_1, R_2, R_3$  vẫn có trị số không đổi).

**Câu 5b:** Cho mạch tích phân hai độ dốc (H.4b). Xung vuông điều khiển có bán kỳ tương đương với 1563 xung clock, biết rằng xung clock có tần số 1MHz.

Thời gian  $T_2$  tương đương với 1500 xung clock, khi điện áp cần đo  $V_i = 1V$ .  
 Hãy tính trị giá **nguồn dòng  $I_r$**  khi  $R_5 = 10k\Omega$ ,  $C_I = 0,1\mu F$ .

#### 4. ĐỀ THI MÔN KỸ THUẬT ĐO HK1 1999-2000

**Câu 1:** a) Chứng minh góc quay của khung quay điện động tỉ lệ thuận với công suất tác dụng của tải xoay chiều.

b) Trình bày tất cả các phương pháp đo công suất tác dụng của tải ba pha bằng watt-kế một pha.

**Câu 2:** Một ohm-kế có mạch đo như hình 1. Cho biết cơ cấu đó có nội trở  $R_m = 5k\Omega$ , dòng  $I_{FS} = 100\mu A$ , nguồn  $V_1 = 3,2V$ , khi  $R_x = 6k\Omega$  kim lệch nửa thang đo. Tìm giá trị của  $R_1$  và  $R_2$  (biết  $R_1$  lớn hơn  $R_2$ ).

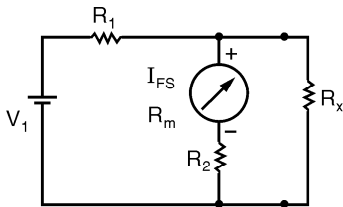
**Câu 3:** Cho mạch đo hình 2a và dạng điện áp như hình 2b.

a) Tính giá trị điện trở R. Biết rằng khung quay có  $I_{FS} = 50\mu A$ ,  $R_m = 1k\Omega$

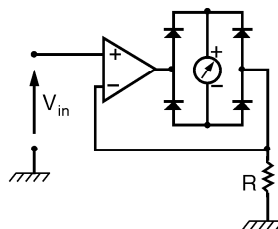
Tín hiệu đo có hệ số dạng  $K_f = 2/\sqrt{3}$ ; hệ số đỉnh  $K_a = \sqrt{3}$

b) Từ giá trị R vừa tính, nếu tín hiệu đo có hệ số dạng  $K_f = \pi/2\sqrt{2}$ ; hệ số đỉnh  $K_a = \sqrt{2}$  hãy tính giá trị hiệu dụng lớn nhất của tín hiệu này mà máy đo được.

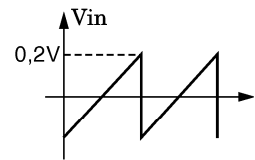
Sinh viên chọn một trong hai phần sau:



Hình 1



Hình 2a



Hình 2b

#### Phần A

**Câu 4:** Ứng dụng các dạng ellip lissajour để lấy mẫu tần số một máy phát tín hiệu dạng sóng sin.

**Câu 5:** Phương pháp trộn sóng để đo L hoặc C.

**Câu 6:** Trình bày rõ phương pháp nấc thang trong vôn-kế số.

**Câu 7:** Mạch biến đổi dạng tín hiệu tam giác sang dạng sin.

#### Phần B

**Câu 8:** Vẽ sơ đồ khối của tầng đồng bộ trong dao động ký tia âm cực. Dạng sóng sau mỗi khối? Nguyên tắc để tạo sóng răng cưa ở mạch quét?

**Câu 9:** Nguyên tắc hoạt động của Q kế? Cách đo L và C bằng Q kế?

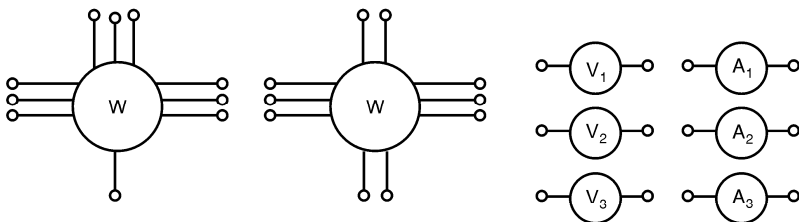
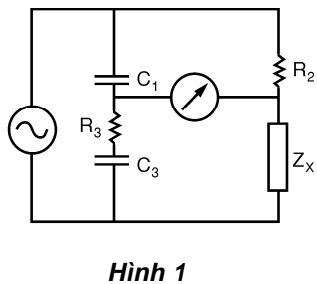
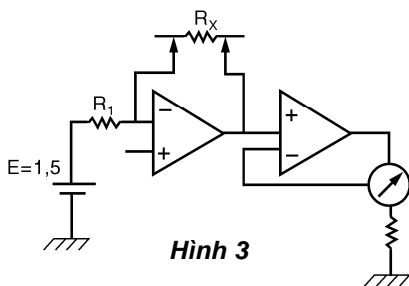
**Câu 10:** Phương pháp tích phân hai độ dốc (sơ đồ, dạng sóng, biểu thức tính).

**5. ĐỀ THI MÔN KỸ THUẬT ĐO HK2/ 1999-2000  
LỚP BT98 ĐCN ĐT VT**

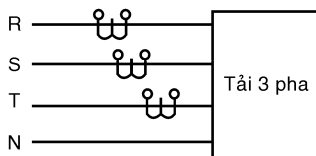
**Câu 1:** Cho biết nguyên lý phân tâm đo của ampe kế thường và ampe kế điện tử, giải thích?

**Câu 2:** Cho biết tại sao có hiện tượng không đồng bộ của tín hiệu quan sát trên dao động ký? Làm thế nào để có sự đồng bộ?

**Câu 3:** Viết phương trình cân bằng của cầu đo (H.1).



**Hình 2**





Xác định  $Z_X = R_X + jX$  ( $X$  là cảm hoặc dung kháng) để sao cho trị số của phần tử đo không phụ thuộc vào tần số và tính hệ số  $Q$  (hoặc  $D$ ) của phần tử đo?

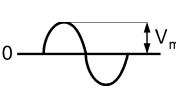
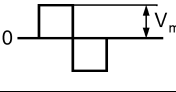

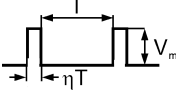
**Câu 4:** Vẽ mạch đo công suất tác dụng và phản kháng của tải ba pha với watt-kế ba phần tử và var-kế 2,5 phần tử theo hình 2.

**Câu 5:** Cho mạch đo sau đây (H.3):

Mạch đo có chỗ sai sót, hãy vẽ lại cho đúng; bộ chỉ thị có  $I_{\max} = 50\mu A$  và  $R_m = R = 1k\Omega$ . Xác định  $R_I$  để cho trị số  $R_{X,\max} = 100\Omega$  ở tầm đo  $XI$ .

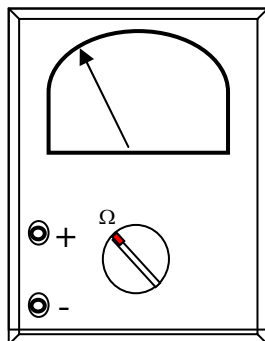
Khi thay đổi tầm đo (X10, X100...) thì  $R_I$  có trị số như thế nào?

**Phụ lục:** Dạng tín hiệu và hệ số dạng  $K_f$  – hệ số đỉnh  $K_p$

	Dạng tín hiệu		Trị hiệu dụng RMS	Trị trung bình MAD	Hệ số dạng $K_f = \frac{RMS}{MAD}$	Hệ số đỉnh $K_p$
	Sóng sin		$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$ 0,707 $V_m$	$\frac{2}{\pi} V_m$ 0,637 $V_m$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,111$	$\sqrt{2} = 1,414$
	Xung vuông đối xứng		$V_m$	$V_m$	1	1
	Sóng tam giác hoặc răng cưa		$\frac{V_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$	$\sqrt{3} = 1,732$
	Chuỗi xung					
	$\eta$	Độ rộng	$V_m\sqrt{\eta}$	$V_m\eta$	$\frac{1}{\sqrt{\eta}}$	$\frac{1}{\sqrt{\eta}}$
 Bề rộng xung $\eta$	1	$\alpha = \frac{\eta}{1-\eta}$	$V_m$	$V_m$	1	1
	0,25	0,3333	0,5 $V_m$	0,25 $V_m$	2	2
	0,0625	0,0667	0,25 $V_m$	0,0625 $V_m$	4	4
	0,0156	0,0159	0,125 $V_m$	0,0156 $V_m$	8	8
	0,01	0,0101	0,1 $V_m$	0,01 $V_m$	10	10

**Đỗ Lương Hùng  
Phạm Thanh Huyền**

*Đào Thanh Toán*



# ***BÀI GIẢNG***

## **KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

Chuyên ngành: KTVT, KTTT, ĐKH-THGT

**HÀ NỘI 6/ 2005**

***Lời nói đầu:***

Kỹ thuật Đo lường Điện tử là môn học nghiên cứu các phương pháp đo các đại lượng vật lý: đại lượng điện: điện áp, dòng điện, công suất,... và đại lượng không điện: nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc...

Bài giảng Kỹ thuật Đo lường Điện tử được biên soạn dựa trên các giáo trình và tài liệu tham khảo mới nhất hiện nay, được dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các ngành: Kỹ thuật Viễn thông, Kỹ thuật Thông tin, Tự động hoá, Trang thiết bị điện, Tín hiệu Giao thông.

Trong quá trình biên soạn, các tác giả đã được các đồng nghiệp đóng góp nhiều ý kiến, mặc dù cố gắng sửa chữa, bổ sung cho cuốn sách được hoàn chỉnh hơn, song chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót, hạn chế. Chúng tôi mong nhận được các ý kiến đóng góp của bạn đọc.

Xin liên hệ: [daothanhtoan@uct.edu.vn](mailto:daothanhtoan@uct.edu.vn)



**CHƯƠNG 1:****KHÁI NIỆM CƠ BẢN TRONG  
KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG****I. ĐỊNH NGHĨA VÀ KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG****1. Định nghĩa về đo lường, đo lường học và KTĐL****a. Đo lường**

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng về đại lượng cần đo để có được kết quả bằng số so với đơn vị đo.

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng:

$$A = \frac{X}{X_0} \rightarrow X = A.X_0$$

trong đó: A: con số kết quả đo  
X: đại lượng cần đo  
X<sub>0</sub>: đơn vị đo

**b. Đo lường học**

Đo lường học là ngành khoa học chuyên nghiên cứu để đo các đại lượng khác nhau, nghiên cứu mẫu và đơn vị đo.

**c. Kỹ thuật đo lường (KTĐL)**

KTĐL là ngành kỹ thuật chuyên môn nghiên cứu để áp dụng kết quả của đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống xã hội.

**2. Phân loại cách thực hiện phép đo**

**a. Đo trực tiếp** là cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất. Nghĩa là, kết quả đo được chính là trị số của đại lượng cần đo mà không phải tính toán thông qua bất kỳ một biểu thức nào.

Nếu không tính đến sai số thì trị số đúng của đại lượng cần đo X sẽ bằng kết quả đo được A.

Phương pháp đo trực tiếp có ưu điểm là đơn giản, nhanh chóng và loại bỏ được sai số do tính toán.

ví dụ: Vônmet đo điện áp, ampe met đo cường độ dòng điện, oátmet đo công suất  
....

**b. Đo gián tiếp** là cách đo mà kết quả đo suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng cách đo trực tiếp. Nghĩa là, kết quả đo không phải là trị số của đại lượng cần đo, các số liệu cơ sở có được từ các phép đo trực tiếp sẽ được sử dụng để tính ra trị số của đại lượng cần đo thông qua một phương trình vật lý liên quan giữa các đại lượng này.

$$X = f(A_1, A_2, \dots, A_n)$$

Trong đó A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ... A<sub>n</sub> là kết quả đo của các phép đo trực tiếp.

ví dụ: để đo công suất (P) có thể sử dụng vôn met để đo điện áp (U), ampe met đo cường độ dòng điện (I), sau đó sử dụng phương trình: P = U.I ta tính được công suất

Cách đo gián tiếp mắc phải nhiều sai số do sai số của các phép đo trực tiếp được tích lũy lại. Vì vậy cách đo này chỉ nên áp dụng trong các trường hợp không thể dùng dụng cụ đo trực tiếp mà thôi.

**c. Đo tương quan** là phương pháp được sử dụng trong trường hợp cần đo các quá trình phức tạp mà ở đây không thể thiết lập một quan hệ hàm số nào giữa các đại lượng là các thông số của các quá trình nghiên cứu.

## Chương 1. Khái niệm cơ bản trong KTĐL

**d. Đo hợp bộ** là phương pháp có được kết quả đo nhờ giải một hệ phương trình mà các thông số đã biết trước chính là các số liệu đo được từ các phép đo trực tiếp.

**e. Đo thống kê** là phương pháp sử dụng cách đo nhiều lần và lấy giá trị trung bình để đảm bảo kết quả chính xác. Cách này được sử dụng khi đo tín hiệu ngẫu nhiên hoặc kiểm tra độ chính xác của dụng cụ đo.

## II. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA KTĐL

KTĐL gồm các đặc trưng sau: đại lượng cần đo, điều kiện đo, đơn vị đo, thiết bị đo và người quan sát hay thiết bị nhận kết quả đo

### 1. Khái niệm về tín hiệu đo và đại lượng đo

**a. Tín hiệu đo lường** là tín hiệu mang thông tin về giá trị của đại lượng đo lường.

**b. Đại lượng đo** là thông số xác định quá trình vật lý của tín hiệu đo. Do quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể người ta chỉ quan tâm đến một hoặc một vài thông số nhất định.

ví dụ: để xác định độ rung có thể xác định thông qua một trong các thông số như: biên độ rung, gia tốc rung, tốc độ rung ...

Có nhiều cách để phân loại đại lượng đo, dưới đây là một số cách thông dụng.

#### \* Phân loại theo tính chất thay đổi của đại lượng đo:

Có hai loại đại lượng đo là:

+ Đại lượng đo tiền định là đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian của chúng.

+ Đại lượng đo ngẫu nhiên là đại lượng đo mà sự thay đổi theo thời gian không theo một quy luật nhất định nào. Nếu ta lấy bất kỳ giá trị nào của tín hiệu ta đều nhận được đại lượng ngẫu nhiên.

Chú ý: Trên thực tế, đa số các đại lượng đo đều là ngẫu nhiên. Tuy nhiên, có thể giả thiết rằng trong suốt thời gian tiến hành phép đo đại lượng đo phải không đổi hoặc thay đổi theo quy luật đã biết trước, nghĩa là tín hiệu ở dạng biến đổi chậm. Còn khi đại lượng đo ngẫu nhiên có tần số thay đổi nhanh thì cần sử dụng phương pháp đo lường thống kê.

#### \* Phân loại theo cách biến đổi tín hiệu đo

Có hai loại tín hiệu đo là tín hiệu đo liên tục hay tương tự và tín hiệu đo rời rạc hay số. Khi đó ứng với 2 loại tín hiệu đo này có hai loại dụng cụ đo là dụng cụ đo tương tự và dụng cụ đo số.

#### \* Phân loại theo bản chất của đại lượng đo

+ Đại lượng đo năng lượng là đại lượng mà bản thân nó mang năng lượng.

ví dụ: điện áp, dòng điện, sức điện động, công suất ...

+ Đại lượng đo thông số là đại lượng đo các thông số của mạch

ví dụ: điện trở, điện dung, điện cảm ...

+ Đại lượng phụ thuộc vào thời gian

ví dụ: tần số, góc pha, chu kỳ ...

+ Đại lượng không điện. Để đo các đại lượng này bằng phương pháp điện cần biến đổi chúng thành các đại lượng điện

ví dụ: để đo độ co giãn của vật liệu có thể sử dụng tenzo để chuyển sự thay đổi của hình dạng thành sự thay đổi của điện trở và đo giá trị điện trở này để suy ra sự biến đổi về hình dạng.

### 2. Điều kiện đo

Các thông tin đo lường bao giờ cũng gắn với môi trường sinh ra đại lượng đo. Môi trường ở đây có thể điều kiện môi trường tự nhiên và cả môi trường do con người tạo ra.

Khi tiến hành phép đo cần tính đến ảnh hưởng của môi trường tự nhiên đến kết quả đo và ngược lại. Ví dụ: các điều kiện về nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, độ rung ...

Khi sử dụng dụng cụ đo phải không làm ảnh hưởng đến đối tượng đo. Ví dụ với phép đo cường độ dòng điện thì cần sử dụng ampe kế có điện trở trong càng nhỏ càng tốt nhưng khi đo điện áp thì cần dùng vôn kế có điện trở trong càng lớn càng tốt.

### 3. Đơn vị đo

Mỗi một quốc gia có một tập quán sử dụng các đơn vị đo lường khác nhau. Để thống nhất các đơn vị này người ta thành lập Hệ đơn vị đo lường quốc tế. Ngày 20-1-1950 Chủ tịch Hồ Chí Minh đã ký sắc lệnh số 8/SL quy định hệ thống đo lường Việt nam theo hệ SI, và ngày 20/1 hằng năm là ngày Đo Lường Việt nam.

Theo Pháp lệnh Đo lường ngày 06 tháng 10 năm 1999, đơn vị đo lường hợp pháp là đơn vị đo lường được Nhà nước công nhận và cho phép sử dụng. Nhà nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam công nhận Hệ đơn vị đo lường quốc tế (viết tắt là SI). Chính phủ quy định đơn vị đo lường hợp pháp phù hợp với Hệ đơn vị đo lường quốc tế.

Hệ đơn vị đo lường quốc tế SI bao gồm 7 đơn vị cơ bản:

Đơn vị chiều dài	met	m
Đơn vị khối lượng	kilogram	kg
Đơn vị thời gian	second	s
Đơn vị cường độ dòng điện	Ampe	A
Đơn vị nhiệt độ	Kelvin	K
Đơn vị cường độ sáng	Candela	Cd
Đơn vị số lượng vật chất	mol	mol

Các đơn vị khác được định nghĩa thông qua các đơn vị cơ bản gọi là các đơn vị dẫn xuất. (xem chi tiết trong Nghị định của chính phủ số 65/2001 ND-CP về việc Ban hành hệ thống đơn vị đo lường hợp pháp của nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam)

Dưới đây là một số đơn vị dẫn xuất điện và từ

Đại lượng	Đơn vị	
	Tên	Ký hiệu
Công suất	oát	W
Điện tích, điện lượng	culông	C
Hiệu điện thế, điện thế, điện áp, suất điện động	von	V
Điện dung	fara	F
Điện trở	ôm	$\Omega$
Điện dẫn	simen	S
Độ tự cảm	Henry	H
Thông lượng từ (từ thông)	vebe	Wb
Mật độ từ thông, cảm ứng từ	tesla	T
Cường độ điện trường	von trên met	V/m
Cường độ từ trường	ampe trên met	A/m
Năng lượng điện	electronvon	eV

Ước và bội thập phân của các đơn vị SI

Chữ đọc	Ký hiệu	Hệ số nhân
yotta	Y	$10^{24}$
zetta	Z	$10^{21}$
exa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
hecto	h	$10^2$
deka	da	10
deci	d	$10^{-1}$
centi	c	$10^{-2}$
milli	m	$10^{-3}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$
zepto	z	$10^{-21}$
yocto	y	$10^{-24}$

#### **4. Thiết bị đo và phương pháp đo**

Thiết bị đo là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát.

Thiết bị đo gồm: thiết bị mẫu, chuyển đổi đo lường, dụng cụ đo lường, tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường. (xem chi tiết ở phần sau)

Phương pháp đo được chia làm 2 loại chủ yếu là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo so sánh. (xem chi tiết ở phần sau)

#### **5. Người quan sát**

Là người tiến hành đo hoặc gia công kết quả đo. Yêu cầu nắm được phương pháp đo, hiểu biết về thiết bị đo và lựa chọn dụng cụ hợp lý, kiểm tra điều kiện đo (phải nằm trong chuẩn cho phép để sai số chấp nhận được) và biết cách gia công số liệu thu được sau khi đo.

#### **6. Kết quả đo**

Giá trị xác định bằng thực nghiệm được gọi là ước lượng của đại lượng đo, giá trị gần giá trị thực mà ở điều kiện nào đó có thể coi là thực.

Sử dụng các phương pháp đánh giá sai số để đánh giá kết quả đo. (xem chi tiết ở phần sau)

### **III. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO**

#### **1. Phương pháp đo biến đổi thẳng**

Là phương pháp đo có cấu trúc kiểu biến đổi thẳng, không có khâu phản hồi. Quá trình đo là quá trình biến đổi thẳng. Thiết bị đo gọi là thiết bị biến đổi thẳng.





BĐ là bộ biến đổi;

A/D là bộ chuyển đổi tương tự / số;

Đại lượng cần đo X được đưa qua các khâu biến đổi và thành con số Nx. Đơn vị đo Xo cũng được biến đổi thành No sau đó so sánh giữa đại lượng cần đo với đơn vị đo qua bộ so sánh. Kết quả đo được thể hiện bởi phép chia Nx/No

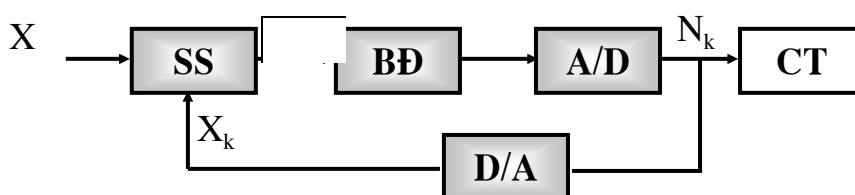
Kết quả đo: 
$$X = \frac{N_x}{N_o} \cdot X_o$$

SS là bộ so sánh;

CT là cơ cấu chỉ thị.

## 2. Phương pháp đo kiểu so sánh

Phương pháp này có sử dụng khâu hồi tiếp



Trong đó:

SS là bộ so sánh;

A/D là bộ chuyển đổi tương tự / số;

tương tự;

CT là cơ cấu chỉ thị.

Tín hiệu X được đem so sánh với một tín hiệu X<sub>k</sub> tỉ lệ với đại lượng mẫu Xo.

Khi đó qua bộ so sánh ta có  $\Delta X = X - X_k$

Có hai cách so sánh là so sánh cân bằng và so sánh không cân bằng.

### a. So sánh cân bằng

Phép so sánh được thực hiện sao cho  $\Delta X = 0$  và khi đó:  $X = X_k = N_k \cdot X_o$

Như vậy đại lượng mẫu X<sub>k</sub> chính là một đại lượng thay đổi bám theo X sao cho khi X thay đổi luôn được kết quả như trên. Phép so sánh luôn ở trạng thái cân bằng (đôi khi người ta còn gọi phương pháp này là phương pháp cân).

Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ chính xác của X<sub>k</sub> và độ nhạy của thiết bị chỉ thị cân bằng (thường là thiết bị chỉ thị 0)

Các dụng cụ đo theo phương pháp so sánh cân bằng thường là các cầu đo và điện thế kế cân bằng.

### b. So sánh không cân bằng

Nếu X<sub>k</sub> là đại lượng không đổi, khi đó ta có:  $X = X_k + \Delta X$

Nghĩa là kết quả đo được đánh giá thông qua  $\Delta X$  với X<sub>k</sub> là đại lượng mẫu đã biết trước. Phương pháp này được sử dụng để đo các đại lượng không điện như nhiệt độ, áp suất ....

### c. So sánh không đồng thời

## **Chương 1. Khái niệm cơ bản trong KTĐL**

Với phương pháp này, đại lượng  $X$  và  $X_k$  không được đưa vào thiết bị cùng một lúc.  $X_k$  được đưa vào trước để xác định giá trị trên thang khắc độ, sau đó thông qua thang độ xác định đại lượng đo.

ví dụ: các thiết bị đánh giá trực tiếp như ampe kế, vôn kế .... chỉ thị kim

### **d. So sánh đồng thời**

Là phương pháp so sánh cùng một lúc đại lượng cần đo  $X$  và đại lượng mẫu  $X_k$ . Khi  $X$  và  $X_k$  trùng nhau thì thông qua  $X_k$  sẽ xác định được giá trị của  $X$ .

### **3. Các thao tác cơ bản khi tiến hành phép đo**

1) Thao tác tạo mẫu: là quá trình lập đơn vị tạo ra mẫu biến đổi hoặc khác trên thang đo của thiết bị đo.

2) Thao tác biến đổi: là quá trình biến đổi đại lượng đo (hay đại lượng mẫu) thành những đại lượng khác tiện cho việc đo hay xử lý, thực hiện các thuật toán, tạo ra các mạch đo và gia công kết quả đo

3) Thao tác so sánh: là quá trình so sánh đại lượng đo với mẫu hay giữa con số tỉ lệ với đại lượng đo và con số tỉ lệ với mẫu.

4) Thao tác thể hiện kết quả đo: là quá trình chỉ thị kết quả đo dưới dạng tương tự hoặc con số, có thể ghi lại kết quả đo trên giấy hay bộ nhớ.

5) Thao tác gia công kết quả đo: là quá trình xử lý kết quả đo bằng tay hoặc máy tính.

## **IV. PHÂN LOẠI THIẾT BỊ ĐO**

Thiết bị đo là sự thể hiện phương pháp đo bằng các khâu chức năng cụ thể. Thiết bị đo gồm các loại sau:

### **1. Mẫu**

Là thiết bị để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định. Những dụng cụ mẫu phải đạt độ chính xác rất cao từ 0,001% đến 0,1% tùy theo từng cấp chính xác và từng loại thiết bị. Mẫu được sử dụng để chuẩn hoá lại các dụng cụ đo lường.

### **\* Chuẩn hoá thiết bị đo lường:**

Yêu cầu chuẩn hoá thiết bị đo lường là rất quan trọng và cần thiết vì mỗi quốc gia có tập quán sử dụng các đơn vị đo lường riêng và có rất nhiều công ty sản xuất các thiết bị đo lường. Hơn nữa, việc sử dụng các đơn vị đo lường khác nhau, kiểu mẫu khác nhau sẽ đem lại những bất tiện không thể tránh khỏi cho người dùng. Ngoài ra, vì mục đích sử dụng của các thiết bị đo lường rất khác nhau nên ngoài việc quy ước sử dụng một hệ thống quốc tế chung (hệ SI) thì độ chính xác của các thiết bị cũng được quy định một cách chặt chẽ. Nếu lấy tiêu chí là độ chính xác thì thiết bị đo lường được chia làm 4 cấp:

+ Cấp 1- chuẩn quốc tế (International standard), các thiết bị đo chuẩn quốc tế được đặt tại trung tâm đo lường quốc tế- tại PARIS -Pháp

+ Cấp 2- chuẩn quốc gia (National standard) là chuẩn đo lường có độ chính xác cao nhất của quốc gia được dùng làm gốc để xác định giá trị các chuẩn còn lại của lĩnh vực đo lường. Chuẩn quốc gia được đặt tại các viện đo lường quốc gia, chúng được chuẩn hoá định kỳ theo chuẩn quốc tế hoặc qua các chuẩn quốc gia của nước ngoài.

+ Cấp 3- chuẩn khu vực (Zone standard) là chuẩn cho các trung tâm khu vực, nó tuân theo chuẩn quốc gia.

+ Cấp 4- chuẩn phòng thí nghiệm (Lab-standard) đây là cấp chuẩn để chuẩn hoá các thiết bị đo lường dùng cho sản xuất công nghiệp, nó tuân theo cấp nào thì sẽ mang chuẩn cấp đó (cấp 2,3)

### **Cấp chính xác của thiết bị đo**

Các thiết bị đo lường trên thị trường là các thiết bị đã được kiểm nghiệm chất lượng theo các cấp như trên, kết quả kiểm nghiệm sẽ xác định được cấp chính xác. Chúng thường được ghi trên vỏ máy, catalogue giới thiệu sản phẩm, hoặc tra trong sổ tay kỹ thuật, thông thường chỉ những trường hợp đặc biệt ta mới quan tâm tới thông số này.

Tại Trung tâm đo lường Nhà nước Việt Nam có đại lượng chuẩn:

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1. Độ dài           | 13. Điện trở          |
| 2. Góc              | 14. Điện dung         |
| 3. Khối lượng       | 15. Điện cảm          |
| 4. Khối lượng riêng | 16. Công suất         |
| 5. Dung tích        | 17. Điện năng         |
| 6. Độ nhớt          | 18. Điện áp cao tần   |
| 7. pH               | 19. Công suất cao tần |
| 8. Lực              | 20. Mức               |
| 9. Độ cứng          | 21. Độ suy giảm       |
| 10. Áp suất         | 22. Thời gian         |
| 11. Điện áp DC      | 23. Tần số            |
| 12. Dòng DC         | 24. Nhiệt độ          |

Tại Cục Tiêu chuẩn - Đo lường - Chất lượng Bộ Quốc Phòng có 2 đại lượng chuẩn:

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1. Cường độ sáng | 2. Quang thông. |
|------------------|-----------------|

Tại Viện năng lượng nguyên tử Việt Nam có 2 đại lượng chuẩn:

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Hoạt độ phóng xạ | 2. Liều lượng phóng xạ. |
|---------------------|-------------------------|

Cơ quan quản lý Nhà nước về đo lường các cấp có trách nhiệm tổ chức xây dựng các cấp có trách nhiệm tổ chức xây dựng các cơ sở có đủ điều kiện thực hiện việc kiểm định, ta đã có các đơn vị kiểm định từ Trung ương đến địa phương bao gồm các cơ sở kiểm định thuộc các cơ quan quản lý nhà nước về đo lường và các cơ sở được uỷ quyền kiểm định. Trung tâm đo lường nhà nước và các trung tâm tiêu chuẩn kỹ thuật đo lường chất lượng ba miền Bắc, Trung, Nam thực hiện việc kiểm định đối với chuẩn đo lường, những phương tiện đó có yêu cầu kỹ thuật cao nhất. Các cơ sở kiểm định thuộc Chi cục Tiêu chuẩn, Đo lường, Chất lượng tỉnh, thành phố thực hiện việc kiểm định đối với những phương tiện thông dụng, phổ biến được sử dụng với số lượng lớn gắn với đời sống nhân dân.

Cơ sở pháp lý là các văn bản: Pháp lệnh đo lường số 16/1999/PL - UBTVQH 10, nghị định của Chính phủ số 65/2001/NĐ - CP Ban hành hệ thống đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam, các thông tư hướng dẫn các vấn đề cụ thể về quy chế và quy trình kiểm định phương tiện đo, duyệt mẫu, công nhận khả năng và uỷ quyền kiểm định...

### **2. Thiết bị đo lường điện**

Là thiết bị đo lường bằng điện để gia công các thông tin đo lường, tức là tín hiệu điện có quan hệ hàm với các đại lượng vật lý cần đo. Dựa vào cách biến đổi tín hiệu và chỉ thị người ta phân dụng cụ đo điện thành 2 loại là:

\* Dụng cụ đo tương tự: là dụng cụ đo mà giá trị của kết quả đo thu được là một hàm liên tục của quá trình thay đổi đại lượng đo. Dụng cụ đo chỉ thị kim và dụng cụ đo kiểu tự ghi (có thể ghi trên giấy, màn hình, băng đĩa từ ...) là hai loại dụng cụ đo tương tự.

\* Dụng cụ đo số: là dụng cụ đo mà kết quả đo được thể hiện bằng con số

### **3. Chuyển đổi đo lường**

## Chương 1. Khái niệm cơ bản trong KTĐL

Là loại thiết bị để gia công tín hiệu thông tin đo lường để tiện cho việc biến đổi, đo, gia công và lưu giữ kết quả

Có hai loại chuyển đổi đo lường là:

- \* Chuyển đổi từ đại lượng không điện thành đại lượng điện
- \* Chuyển đổi từ đại lượng điện thành đại lượng điện khác

### 4. Hệ thống thông tin đo lường

Là tổ hợp các thiết bị đo và những thiết bị phụ trợ để tự động thu thập kết quả từ nhiều nguồn khác nhau, truyền thông tin đo lường ... để phục vụ việc đo và điều khiển. Có thể phân thành nhiều nhóm như sau:

- \* Hệ thống đo lường: đo và ghi lại kết quả đo
- \* Hệ thống kiểm tra tự động: kiểm tra đại lượng đo
- \* Hệ thống chẩn đoán kỹ thuật
- \* Hệ thống nhận dạng: kết hợp giữa việc đo và kiểm tra để phân loại
- \* Tổ hợp đo lường tính toán

## V. ĐỊNH GIÁ SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG

### 1. Nguyên nhân và phân loại sai số

#### a. Nguyên nhân gây sai số

Đo lường là một phương pháp vật lý thực nghiệm nhằm mục đích thu được những tin tức về đặc tính số lượng của một quá trình cần nghiên cứu. Nó được thực hiện bằng cách so sánh một đại lượng cần đo với đại lượng đo tiêu chuẩn. Kết quả đo có thể biểu thị bằng số hay biểu đồ. Tuy nhiên, kết quả đo được chỉ là một trị số gần đúng, nghĩa là phép đo có sai số. Vấn đề là cần đánh giá được độ chính xác của phép đo. Khi tính toán sai số cần tính tới trường hợp các sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất với các nguyên nhân:

\* Nguyên nhân chủ quan: do lựa chọn phương pháp đo và dụng cụ đo không hợp lý, trình độ của người sử dụng thiết bị đo không tốt, thao tác không thành thạo ...

\* Nguyên nhân khách quan: do dụng cụ đo không hoàn hảo, đại lượng đo bị can nhiễu do môi trường bên ngoài như nhiệt độ, độ ẩm, bụi bẩn, áp suất ...

#### b. Phân loại sai số

\* Phân loại theo nguyên nhân gây ra sai số:

- + Sai số chủ quan
- + Sai số khách quan

\* Phân loại theo quy luật xuất hiện sai số:

+ Sai số hệ thống là do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động. Nó khiến cho kết quả đo có sai số của lần đo nào cũng như nhau, nghĩa là kết quả của các lần đo đều lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị thực của đại lượng đo.

Nhóm các sai số hệ thống thường do các nguyên nhân sau:

- . Do dụng cụ, máy móc đo không hoàn hảo
- . Do phương pháp đo, cách xử lý kết quả đo hoặc bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng.

. Do khí hậu

+ Sai số ngẫu nhiên là sai số do các yếu tố bất thường, không có quy luật tác động. Do vậy, sai số hệ thống có thể xử lý được nhờ lấy lại chuẩn nhưng sai số ngẫu nhiên không thể xử lý được vì không biết quy luật tác động.

\* Phân loại theo biểu thức

+ Sai số tuyệt đối là hiệu số giữa 2 trị số tuyệt đối của giá trị đo được và giá trị thực của đại lượng cần đo.

$$\Delta X^* = |a - X| \quad \text{với } a \text{ là giá trị đo được và } X \text{ là giá trị}$$

thực

vì chưa biết X nên thông thường người ta lấy  $\Delta X^* = \Delta X_{\max}$  của một loạt các phép đo.

+ Sai số tương đối là tỷ số của sai số tuyệt đối và trị số thực của đại lượng đo. Sai số tương đối biểu thị đầy đủ hơn sai số tuyệt đối.

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% \quad \text{sai số tương đối chân thực}$$

$$\delta X = \frac{\Delta X}{a} \cdot 100\% \quad \text{sai số tương đối danh định}$$

Cấp chính xác của dụng cụ đo: là giá trị sai số cực đại mà dụng cụ đo mắc phải. Người ta quy định cấp chính xác của dụng cụ đo đúng bằng sai số tương đối quy đổi của dụng cụ đo và được nhà nước quy định cụ thể. (đôi khi người ta còn gọi đây là *sai số tương đối chiết hợp*, nó được ghi trực tiếp lên mặt dụng cụ đo).

$$\gamma_x \% = \frac{\Delta X_m}{X_m} \cdot 100\%$$

$\Delta X_m$  là sai số tuyệt đối cực đại

$X_m$  là giá trị lớn nhất của thang đo (giới hạn cực đại của lượng trình thang đo)

### 3. Quy luật tiêu chuẩn phân bố sai số

Để đánh giá kết quả phép đo ta cần xét giới hạn và định lượng được sai số ngẫu nhiên. Nếu ta xét kết quả của các lần đo riêng biệt, sau khi loại bỏ sai số hệ thống thì nó hoàn toàn mang tính ngẫu nhiên. Muốn đánh giá sai số ngẫu nhiên ta phải tìm được quy luật phân bố sai số ngẫu nhiên thông qua lý thuyết xác suất thống kê. Để loại bỏ sai số hệ thống thì các lần đo phải tiến hành với cùng một độ chính xác như nhau (cùng một máy đo, cùng một điều kiện đo, cùng một phương pháp đo ...).

#### Hàm phân bố tiêu chuẩn sai số

Giả sử đo đại lượng X n lần với các sai số lần lượt là  $x_1, x_2, \dots, x_n$

Sắp xếp các sai số theo độ lớn thành từng nhóm riêng biệt  $n_1, n_2 \dots n_m$

ví dụ: có  $n_1$  sai số nằm trong khoảng  $0 - 0,01$

có  $n_2$  sai số nằm trong khoảng  $0,01 - 0,02$

có  $n_3$  sai số nằm trong khoảng  $0,02 - 0,03$

....

Lập tỉ số:

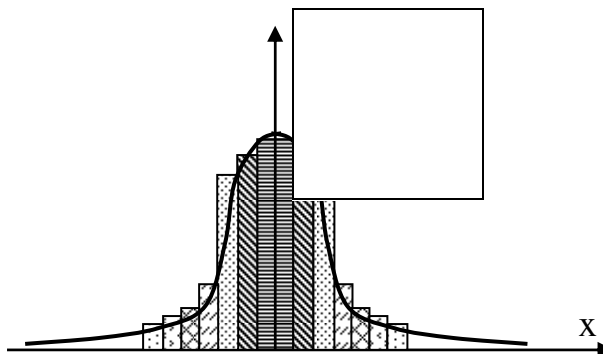
$$v_1 = \frac{n_1}{n}$$

$$v_2 = \frac{n_2}{n}$$

....

gọi là tần suất các lần đo có sai số ngẫu nhiên nằm trong khoảng tương ứng.

Biểu đồ phân bố tần suất như hình bên



Diện tích các hình chữ nhật biểu thị xác suất xuất hiện các sai số ngẫu nhiên ở những khoảng tương ứng trên trục hoành.

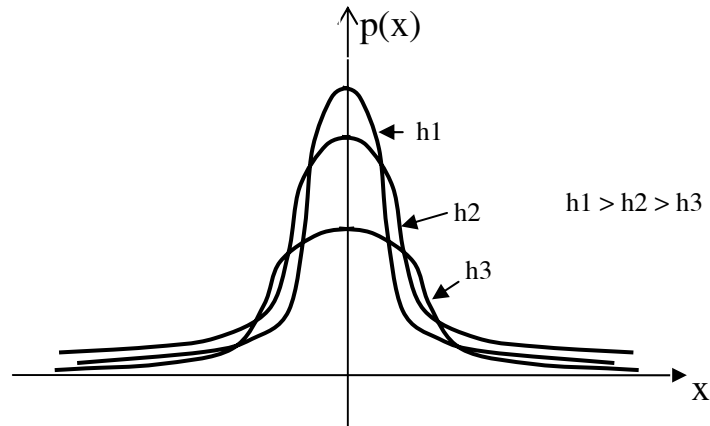
Khi thực hiện phép đo nhiều lần,  $n$  tiến tới vô cùng, theo quy luật tiêu chuẩn của lý thuyết xác suất biểu đồ trên sẽ tiến đến một đường cong trung bình  $p(x)$  gọi là hàm phân bố tiêu chuẩn sai số.

$$p(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} v(x)$$

Hàm  $p(x)$  còn được gọi là hàm Gausse với công thức sau:

$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2}$$

với  $h$  là tham số về độ chính xác



**Nhận xét:**

- + Hàm phân bố tiêu chuẩn sai số có dạng hình chuông đối xứng qua trục tung,  $h$  càng lớn đường cong càng cao và càng hẹp, tức là độ chính xác càng cao.
- + Xác suất xuất hiện các sai số có giá trị bé lớn hơn xác suất xuất hiện các sai số có giá trị lớn
- + Xác suất xuất hiện không phụ thuộc vào dấu, tức là các sai số có giá trị tuyệt đối như nhau sẽ có xác suất xuất hiện như nhau.
- + Khi biết  $p(x)$  thì có thể xác định được xác suất xuất hiện sai số trong một khoảng bất kỳ như sau:

$$p(x1 \leq x \leq x2) = \int_{x1}^{x2} p(x) dx = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{x1}^{x2} e^{-h^2 x^2} dx$$

(đây chính là diện tích giới hạn bởi đường cong  $p(x)$  và 2 đường  $x1, x2$ )

$$p(|x| \leq x1) = 2 \int_0^{x1} p(x) dx = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x1} e^{-h^2 x^2} dx$$

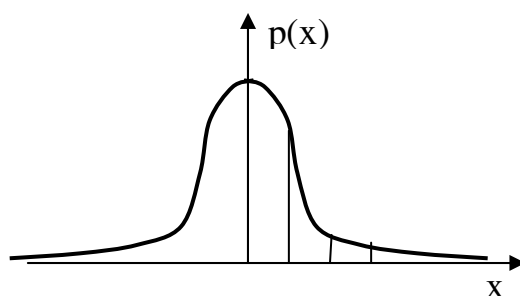
$$p(|x| \geq x1) = 1 - p(|x| \leq x1)$$

#### 4. Sai số trung bình bình phương và sai số trung bình

##### a. Sai số trung bình bình phương $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad \text{với } x_i \text{ là sai số của phép đo thứ } i$$

$$\text{khi đó } p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$



h biểu thị độ cao của đồ thị còn  $\sigma$  biểu thị độ rộng của đồ thị

$$p(-\sigma, \sigma) \approx 68,3\%$$

$$p(-2\sigma, 2\sigma) \approx 95\%$$

$$p(-3\sigma, 3\sigma) \approx 99,7\%$$

##### b. Sai số trung bình $d$

$d$  là trị số trung bình cộng của tất cả các trị số tuyệt đối của các sai số của

phép đo.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i|}{n} = \frac{1}{h\sqrt{\pi}} = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma$$

#### 5. Sự kết hợp của các sai số

Ở những phép đo có sử dụng nhiều dụng cụ đo hay nhiều phép đo thì các sai số hệ thống có xu hướng tích tụ lại, khi đó sai số của toàn bộ hệ thống thường lớn hơn bất kỳ sai số của phép đo đơn lẻ nào. Khi tính toán cần giả định rằng sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất.

##### a. Sai số của tổng các đại lượng

$$E = (V_1 \pm \Delta V_1) + (V_2 \pm \Delta V_2)$$

$$= (V_1 + V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2)$$

##### b. Sai số của hiệu các đại lượng

$$E = (V_1 \pm \Delta V_1) - (V_2 \pm \Delta V_2)$$

$$= (V_1 - V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2)$$

ví dụ:

$$E1 = 100V \pm 2V = 100V \pm 2\%$$

$$E2 = 80V \pm 4V = 80V \pm 5\%$$

$$E1 + E2 = 180V \pm 6V = 180V \pm 3,3\%$$

$$E1 - E2 = 20V \pm 6V = 20V \pm 30\%$$

từ đó ta thấy sai số % trong hiệu của các đại lượng rất lớn nên **cần tránh các phép đo có bao hàm phép hiệu của các đại lượng.**

**c. Tích của hai đại lượng**

$$\begin{aligned} E &= (V_1 \pm \Delta V_1)(V_2 \pm \Delta V_2) \\ &= V_1.V_2 \pm V_1.\Delta V_2 \pm V_2.\Delta V_1 \pm \Delta V_1.\Delta V_2 \\ &\approx V_1.V_2 \pm (V_1.\Delta V_2 + V_2.\Delta V_1) \\ \delta E &= \pm \left( \frac{V_1.\Delta V_2 + V_2.\Delta V_1}{V_1 V_2} \right).100\% = \left( \pm \frac{\Delta V_1}{V_1} \pm \frac{\Delta V_2}{V_2} \right).100\% \end{aligned}$$

**Nhận xét:** sai số tương đối của tích hai đại lượng bằng tổng sai số tương đối của từng thành phần.

Trường hợp riêng, khi nâng lên lũy thừa

$$\delta(E^\alpha) = \alpha.\delta E$$

**d. Thương của hai đại lượng**

$$\begin{aligned} E &= \frac{V_1 \pm \Delta V_1}{V_2 \pm \Delta V_2} \approx \frac{V_1}{V_2} \\ \delta E &= \pm(\delta V_1 + \delta V_2) \end{aligned}$$

**Ví dụ minh họa:**

1. Một điện trở có giá trị trong khoảng 1,14kΩ – 1,26kΩ

Tính sai số của điện trở này

Biết R = 1,2kΩ tại 25°C, tính giá trị lớn nhất tại 75°C, hệ số nhiệt là 500ppm/°C

$$\Delta R = 0,06k\Omega$$

$$\rightarrow R = 1,2 \pm 0,06 = 1,2k\Omega \pm 5\%$$

Khi nhiệt độ tăng 1°C R tăng một lượng:  $\frac{1,26.10^3.500}{10^6} = 0,63\Omega$

$$\text{Vậy giá trị } R_{\max} = 1,26 + 0,63.(75-25).10^{-3} = 1,2915k\Omega$$

2. Một nguồn 12V được mắc với một điện trở 470Ω ± 10%. Điện áp của nguồn được đo bằng một vôn kế có khoảng đo 25V và độ chính xác là 3%.

Tính công suất của điện trở và sai số của phép đo

$$\text{Ta có: } P = \frac{U^2}{R}$$

Vì Vôn kế có độ chính xác là 3% với khoảng đo 25V nên sai số tuyệt đối lớn nhất gặp phải là ΔU được tính bằng:

$$\Delta U = 25V.3\% = \pm 0,75V$$

$$\rightarrow U = 12V \pm 0,75V = 12V \pm 6,25\%$$

$$\rightarrow \delta(U^2) = 2.6,25\% = 12,5\%$$

$$\rightarrow \delta\left(\frac{U^2}{R}\right) = 12,5\% + 10\% = 22,5\%$$



$$\text{Vậy: } P = \frac{12^2}{470} \pm 22,5\%$$

3. Một Vôn kế có thang đo 30V và độ chính xác 4%, ampe kế có thang đo 100mA và độ chính xác 1% được sử dụng để đo điện áp và dòng điện qua điện trở R. Kết quả đo là 25V và 90mA. Hãy tính giá trị R và Pmin và Pmax

$$\Delta U = 30V \cdot 4\% = 1,2V \Rightarrow U = 25V \pm 1,2V = 25V \pm 4,8\%$$

$$\Delta I = 100mA \cdot 1\% = 1mA \Rightarrow I = 90mA \pm 1mA = 90mA \pm 1,1\%$$

$$\rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{25}{0,09} \pm (4,8 + 1,1)\% = 277,78\Omega \pm 5,9\%$$

$$\rightarrow P = U \cdot I = 25 \cdot 0,09 \pm (4,8 + 1,1)\% = 2,25W \pm 5,9\% = 2,25W \pm 0,13W$$

$$\text{Vậy: } P_{\min} = 2,25 - 0,13 = 2,12W = 2,25 \cdot (1 - 0,059)$$

$$P_{\max} = 2,25 + 0,13 = 2,38W = 2,25 \cdot (1 + 0,059)$$

**CHƯƠNG 2:**

**CẤU TRÚC VÀ CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG CỦA THIẾT BỊ ĐO**

**I. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA THIẾT BỊ ĐO**

**1. Sơ đồ khối của thiết bị đo**



+ CĐSC - Chuyển đổi sơ cấp: làm nhiệm vụ biến đổi các đại lượng đo thành tín hiệu điện. Đây là khâu quan trọng nhất của thiết bị đo.

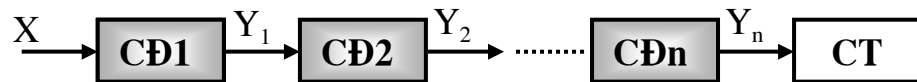
+ MĐ - Mạch đo: là khâu gia công tính toán sau CĐSC, nó làm nhiệm vụ tính toán và thực hiện phép tính trên sơ đồ mạch. Đó có thể là mạch điện tử thông thường hoặc bộ vi xử lý để nâng cao đặc tính của dụng cụ đo

+ CT - Cơ cấu chỉ thị: là khâu cuối cùng của dụng cụ đo để hiển thị kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị đo. Có 3 cách hiển thị kết quả đo:

- . Chỉ thị bằng kim trên vạch chia độ
- . Chỉ thị bằng thiết bị tự ghi (màn hình, giấy từ, băng đĩa từ ...)
- . Chỉ thị bằng số

**2. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng**

Dụng cụ đo sử dụng phương pháp đo biến đổi thẳng có cấu trúc như sau:



CĐ: bộ chuyển đổi

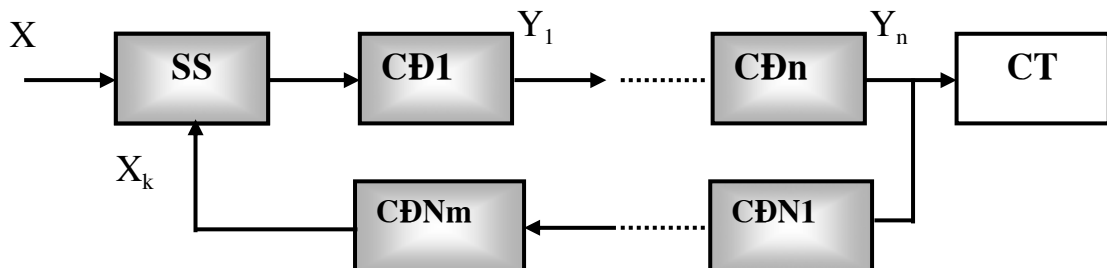
X: đại lượng cần đo

CT: cơ cấu chỉ thị

Yi: đại lượng trung gian (cho tiện quan sát và chỉ thị)

**3. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh**

Dụng cụ đo theo phương pháp so sánh có sơ đồ cấu trúc như sau:



CĐ: bộ chuyển đổi

CT: cơ cấu chỉ thị

$\Delta X = X - X_k$

CĐN: bộ chuyển đổi ngược

SS: bộ so sánh

**Chú ý:**

+ Nếu quá trình hồi tiếp được đưa về bộ so sánh liên tục tới khi  $\Delta X = 0$  thì dụng cụ đo gọi là dụng cụ đo so sánh cân bằng.

+ Nếu quá trình hồi tiếp đưa  $X_k$  về so sánh và cho  $\Delta X \neq 0$  thì dụng cụ đo gọi là dụng cụ đo so sánh không cân bằng.

**II. CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ**

Đây là khâu hiển thị kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị của đại lượng cần đo. Có 3 kiểu chỉ thị cơ bản là chỉ thị bằng kim chỉ (còn gọi là cơ cấu đo độ lệch hay cơ cấu cơ điện); chỉ thị kiểu tự ghi (ghi trên giấy, băng đĩa từ, màn hình ...) và chỉ thị số. Dưới đây ta sẽ xem xét những cơ cấu điển hình nhất cho mỗi kiểu chỉ thị.

**1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện**

Với loại chỉ thị cơ điện, tín hiệu vào là dòng điện hoặc điện áp, còn tín hiệu ra là góc quay của phần động (có gắn kim chỉ). Những dụng cụ này là loại dụng cụ đo biến đổi thẳng. Đại lượng cần đo như dòng điện, điện áp, điện trở, tần số hay góc pha ... được biến đổi thành góc quay của phần động, nghĩa là biến đổi năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học:

$$\alpha = F(X) \text{ với } X \text{ là đại lượng điện, } \alpha \text{ là góc quay (hay góc lệch)}$$

**Nguyên tắc làm việc của các chỉ thị cơ điện:**

Chỉ thị cơ điện bao giờ cũng gồm hai phần cơ bản là phần tĩnh và phần động. Khi cho dòng điện vào cơ cấu, do tác động của từ trường giữa phần động và phần tĩnh mà một mômen quay xuất hiện làm quay phần động. Mômen quay này có độ lớn tỉ lệ với độ lớn dòng điện đưa vào cơ cấu:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha} \text{ với } We \text{ là năng lượng từ trường và } \alpha \text{ là góc quay của phần động}$$

Nếu gắn một lò xo cản (hoặc một cơ cấu cản) với trục quay của phần động thì khi phần động quay lò xo sẽ bị xoắn lại và sinh ra một mômen cản, mômen này tỉ lệ với góc lệch  $\alpha$  và được biểu diễn qua biểu thức:

$M_c = D \cdot \alpha$  với  $D$  là hệ số mômen cản riêng của lò xo, nó phụ thuộc vào vật liệu, hình dáng và kích thước của lò xo.

Chiều tác động lên phần động của hai mômen kể trên ngược chiều nhau nên khi mômen cản bằng mômen quay phần động sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng. Khi đó:

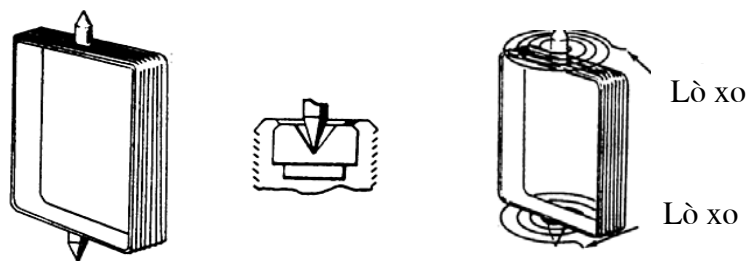
$$M_c = Mq \quad \Rightarrow \quad \frac{dWe}{d\alpha} = D \cdot \alpha \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{dWe}{d\alpha}$$

Phương trình trên được gọi là phương trình đặc tính của thang đo, từ phương trình này ta biết được đặc tính của thang đo và tính chất của cơ cấu chỉ thị.

**Những bộ phận chính của cơ cấu chỉ thị cơ điện**

+ Trục và trụ: là bộ phận đảm bảo cho phần động quay trên trục như khung dây, kim chỉ, lò xo cân ... Trục thường được làm bằng loại thép cứng pha irini hạc osimi, còn trụ đỡ làm bằng đá cứng.

+ Lò xo phản kháng hay lò xo cân là chi tiết thực hiện nhiệm vụ là tạo ra

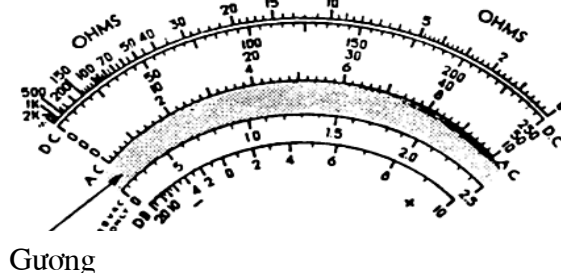
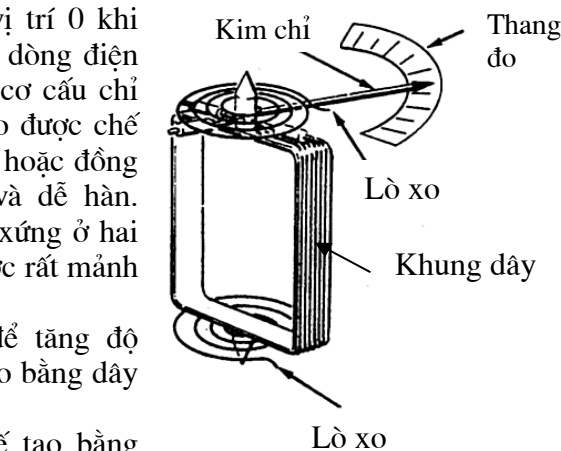


momen cản, đưa kim chỉ thị về vị trí 0 khi chưa đại lượng cần đo vào và dẫn dòng điện vào khung dây (trong trường hợp cơ cấu chỉ thị từ điện hoặc điện động). Lò xo được chế tạo dạng xoắn ốc bằng đồng berili hoặc đồng phốt pho để có độ đàn hồi tốt và dễ hàn. Thông thường sẽ có hai lò xo đối xứng ở hai đầu khung dây, chúng có kích thước rất mảnh nên rất dễ hỏng.

+ Dây căng và dây treo: để tăng độ nhạy cho chỉ thị người ta thay lò xo bằng dây căng hoặc dây treo.

+ Kim chỉ thường được chế tạo bằng nhôm, hợp kim nhôm và có thể là cả bằng thủy tinh với nhiều hình dáng khác nhau. Hình dáng của kim chỉ phụ thuộc vào cấp chính xác của dụng cụ đo và vị trí đặt dụng cụ để quan sát. Kim chỉ được gắn vào trục như hình bên.

+ Thang đo là bộ phận để khắc độ các giá trị của đại lượng cần đo. Có nhiều loại thang đo tùy vào độ chính xác của chỉ thị cũng như bản chất của cơ cấu chỉ thị.. Thang đo thường được chế tạo từ nhôm lá, đôi khi còn có cả gương phản chiếu phía dưới thang đo.



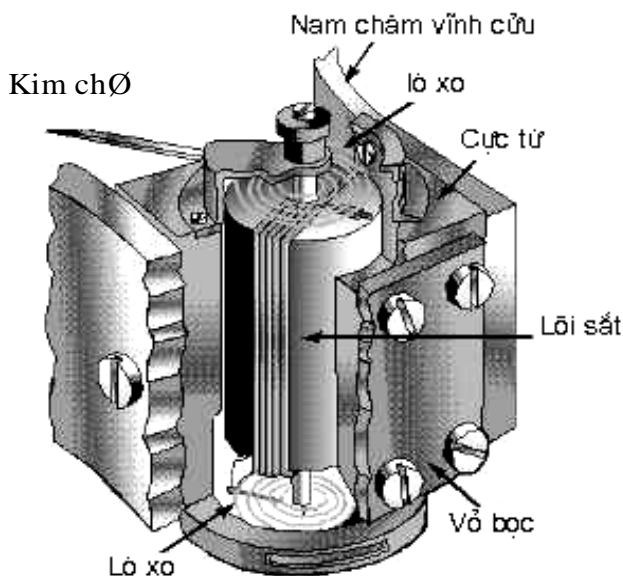
+ Bộ phận cản dịu là bộ phận để giảm quá trình dao động của phần động và xác định vị trí cân bằng. Quá trình này còn gọi là quá trình làm nhụt. Có hai loại cản dịu là cản dịu không khí và cản dịu cảm ứng từ. Cản dịu không khí đơn giản nhất là làm hộp kín có nắp đậy bên trong có cánh cản dịu (xem hình bên). Cản dịu cảm ứng từ có thể thực hiện nhờ lợi dụng chính dòng xoáy (dòng Fuco) xuất hiện trong phần động khi phần động quay. Ngoài ra để tránh ảnh hưởng của các tác động từ bên ngoài, toàn bộ cơ cấu có thể được đặt trong một màn chắn từ.

**a. Cơ cấu chỉ thị từ điện sử dụng nam châm vĩnh cửu (TĐNCVC)**

Dụng cụ đo từ điện còn gọi là dụng cụ đo kiểu D'Arsonval với cấu tạo bao gồm:

Phần tĩnh: Nam châm vĩnh cửu (nam châm hình móng ngựa), lõi sắt, cực từ (bằng sắt non). Giữa cực từ và lõi sắt có khe hở không khí rất hẹp.

Phần động: Khung dây được quấn bằng dây đồng. Khung dây gắn trên trục, nó quay trong khe hở không khí.



Ngoài ra còn một số bộ phận khác như: trục, trụ, 2 lò xo cản ở hai đầu trục, kim chỉ ...

**Nguyên tắc hoạt động:**

Khi có dòng điện chạy trong khung dây, dưới tác động của từ trường nam châm vĩnh cửu khung dây sẽ bị lệch khỏi vị trí cân bằng ban đầu một góc  $\alpha$ . Momen quay do từ trường của nam châm tương tác với từ trường của khung dây tạo ra được tính bằng:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha}$$

với We là năng lượng điện từ tỉ lệ với độ lớn của từ thông trong

khe hở không khí và độ lớn của dòng điện chạy trong khung dây.

$$We = \Phi \cdot I = B \cdot S \cdot W \cdot \alpha \cdot I$$

với B là độ từ cảm của nam châm

S là diện tích của khung dây

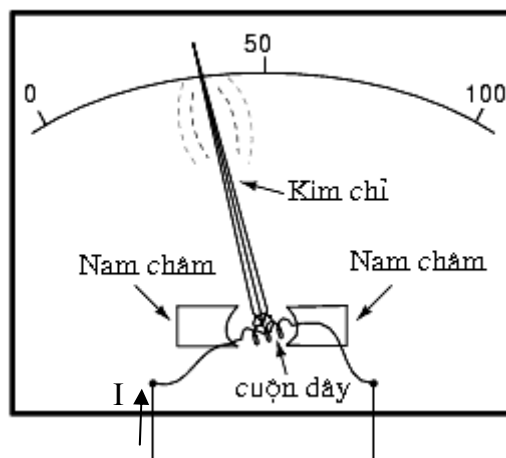
W là số vòng dây của khung dây

$$\Rightarrow Mq = \frac{d(B \cdot S \cdot W \cdot \alpha \cdot I)}{d\alpha} = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

mà ta có:  $Mc = D \cdot \alpha$

$$\Rightarrow Mc = Mq \Leftrightarrow D \cdot \alpha = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} B \cdot S \cdot W \cdot I = K \cdot I$$



## Chương 2. Cấu trúc và các phần tử chức năng

Từ phương trình đặc tính của thang đo ta thấy cơ cấu chỉ thị từ điện có thang đo đều vì góc lệch tỉ lệ với dòng cần đo theo một hằng số K.

Dụng cụ đo kiểu từ điện thường có cơ cấu chỉnh zero để đưa kim chỉ về vị trí 0 trước khi tiến hành phép đo. Thực chất là điều chỉnh vị trí cuộn dây và kim chỉ khi không có dòng điện vào. Việc làm nhụt được thực hiện nhờ lợi dụng sự xuất hiện dòng cảm ứng Fuco khi khung dây quay. Từ trường do dòng này tạo ra sẽ hạn chế sự dao động của kim chỉ để nó nhanh chóng đạt vị trí cân bằng, khi khung dây dừng dòng Fuco sẽ mất và như thế cũng không còn lực làm nhụt. Muốn vậy người ta thường tạo khung dây bằng cách quấn dây đồng trên một khung bằng nhôm, một vật liệu dẫn điện rất tốt nhưng lại không có đặc tính từ.

Dòng cần đo đưa vào cơ cấu chỉ được phép theo một chiều nhất định, nếu đưa dòng vào theo chiều ngược lại kim chỉ sẽ bị giật ngược trở lại và có thể gây hỏng cơ cấu. Vì vậy, phải đánh dấu + (dây màu đỏ) và - (dây màu xanh) cho các que đo. Tính chất này được gọi là tính phân cực của cơ cấu chỉ thị, nghĩa là chiều quay của kim chỉ thị phụ thuộc vào chiều dòng điện nên các đại lượng xoay chiều (tần số từ 20Hz – 100KHz) muốn chỉ thị bằng cơ cấu từ điện phải chuyển thành đại lượng một chiều và đưa vào cơ cấu theo một chiều nhất định

Cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy khá cao, thang đo đều nên được ứng dụng để chế tạo Vônmet, Ampemet, Ohmmet nhiều thang đo với dải đo rộng.

### b. Cơ cấu chỉ thị điện từ

Dụng cụ đo điện từ hoạt động dựa trên nguyên tắc khi hai chi tiết bằng sắt kề nhau bị từ hoá bởi dòng điện chạy qua một cuộn dây thì xuất hiện một lực đẩy giữa các cực cùng cực tính (N hoặc S).

Cấu tạo của một cơ cấu chỉ thị điện từ được cho ở hình dưới đây (bên trái là hình chiếu đứng, bên phải là hình chiếu xiên)

Phần tĩnh: Cuộn dây bên trong có khe hở không khí, một lá thép cố định nằm trong lòng cuộn dây, gọi là lá tĩnh.

Phần động: lá thép có khả năng di chuyển tương đối với lá tĩnh trong khe hở không khí, gọi là lá động.

Dòng điện chạy qua cuộn dây bao quanh phần động sẽ từ hoá các lá thép với cùng một cực do đó chúng đẩy nhau. Lực đẩy tổng hợp sẽ làm cho lá động dịch xa khỏi lá tĩnh, đây chính là lực làm lệch. Kim chỉ gắn với trục quay khi đó sẽ bị lệch một góc tương ứng.

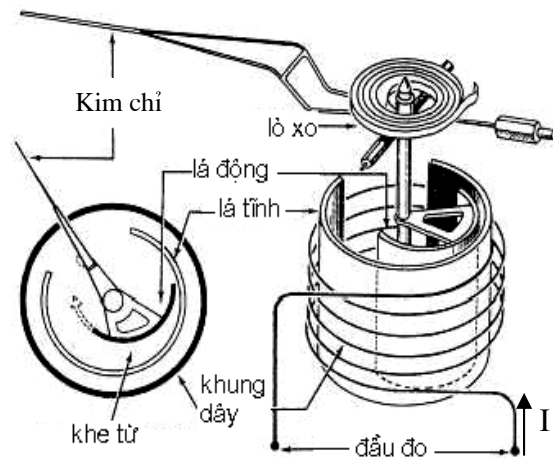
Lò xo dây quấn tạo ra momen cản hay lực điều khiển để dừng kim chỉ.

Momen quay do từ trường của nam châm điện tạo ra được tính bằng:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha}$$

$$We = \frac{1}{2} L.I^2$$

$$\Rightarrow Mq = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$



với  $L$  là điện cảm của cuộn dây

Momen cản xoắn lò xo tạo ra nên  $M_c = D \cdot \alpha$

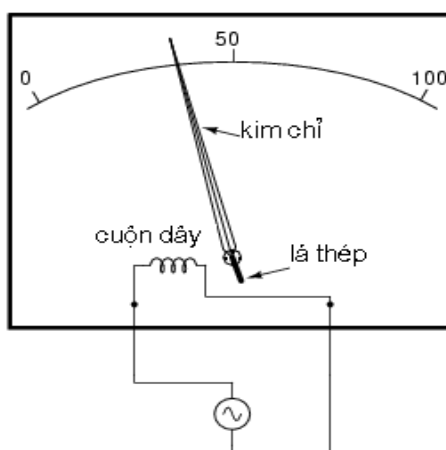
Khi kim chỉ dừng ở vị trí cân bằng, nghĩa là khi

$$M_c = M_q$$

$$\Rightarrow D \cdot \alpha = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{2 \cdot D} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Vậy, độ lệch  $\alpha$  không phụ thuộc vào chiều của  $I$ , thang đo không đều vì tỉ lệ với  $I^2$ .



Cơ cấu chỉ thị điện từ không cần phân biệt cực tính cho dây đo, có thể được dùng để chế tạo dụng cụ đo dòng một chiều và dòng xoay chiều như Vônmet, Ampemet tần số công nghiệp nhưng độ chính xác thấp và có tiêu thụ điện năng.

### c. Cơ cấu chỉ thị điện động

#### Cấu tạo:

Cuộn dây tĩnh hay còn gọi là cuộn kích thích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau (quấn theo cùng chiều) để tạo thành nam châm điện khi có dòng chạy qua.

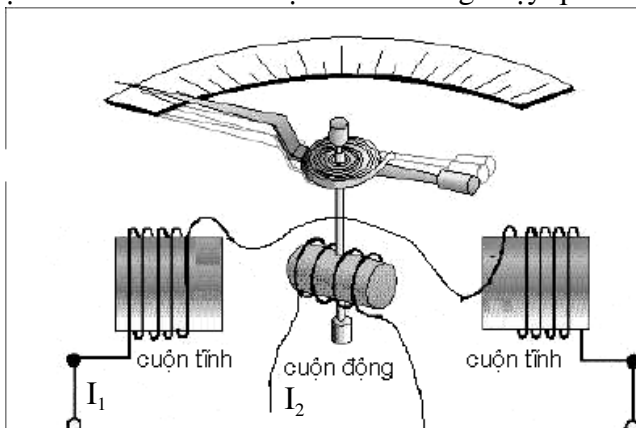
Cuộn dây động quay trong từ trường được tạo ra bởi cuộn tĩnh.

Các cuộn dây có lõi làm bằng vật liệu có độ từ thẩm cao để tạo ra từ trường mạnh. Thông thường chúng sẽ được bọc kín bằng màn chắn từ để tránh ảnh hưởng của từ trường bên ngoài.

Kim chỉ thị được gắn trên trục quay của phần động.

Lò xo tạo momen cản và các chi tiết phụ trợ khác.

#### Hoạt động:



## Chương 2. Cấu trúc và các phần tử chức năng

Khi cho dòng điện vào các cuộn dây thì từ trường của 2 cuộn dây tương tác với nhau khiến cho cuộn động di chuyển và kim bị lệch đi khỏi vị trí zero. Các lò xo xoắn tạo ra lực điều khiển và đóng vai trò dẫn dòng vào cuộn động.

Việc tạo ra sự cân bằng của hệ thống động (điều chỉnh zero) được thực hiện nhờ điều chỉnh vị trí lò xo.

Dụng cụ đo kiểu điện động thường làm nhọt bằng không khí vì nó không thể làm nhọt bằng dòng xoáy như dụng cụ đo kiểu từ điện.

Do không có lõi sắt trong dụng cụ điện động nên môi trường dẫn từ hoàn toàn là không khí do đó cảm ứng từ nhỏ hơn rất nhiều so với ở dụng cụ từ điện. Điều này đồng nghĩa với việc để tạo ra momen quay đủ lớn để quay phần động thì dòng điện chạy trong cuộn động cũng phải khá lớn. Như vậy, độ nhạy của dụng cụ đo điện động nhỏ hơn rất nhiều so với dụng cụ đo từ điện.

Momen quay do 2 từ trường tương tác nhau được tính bằng:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha} \quad \text{với } We = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot L_1 + \frac{1}{2} I_2^2 \cdot L_2 + I_1 \cdot I_2 \cdot M_{12}$$

vì các cuộn dây có hệ số tự cảm L riêng không phụ thuộc vào góc lệch trong quá trình hoạt động (tức là  $\frac{dL}{d\alpha} = 0$ ) nên:  $\Rightarrow Mq = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$

Vậy độ lệch của kim chỉ thị được tính theo biểu thức:

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

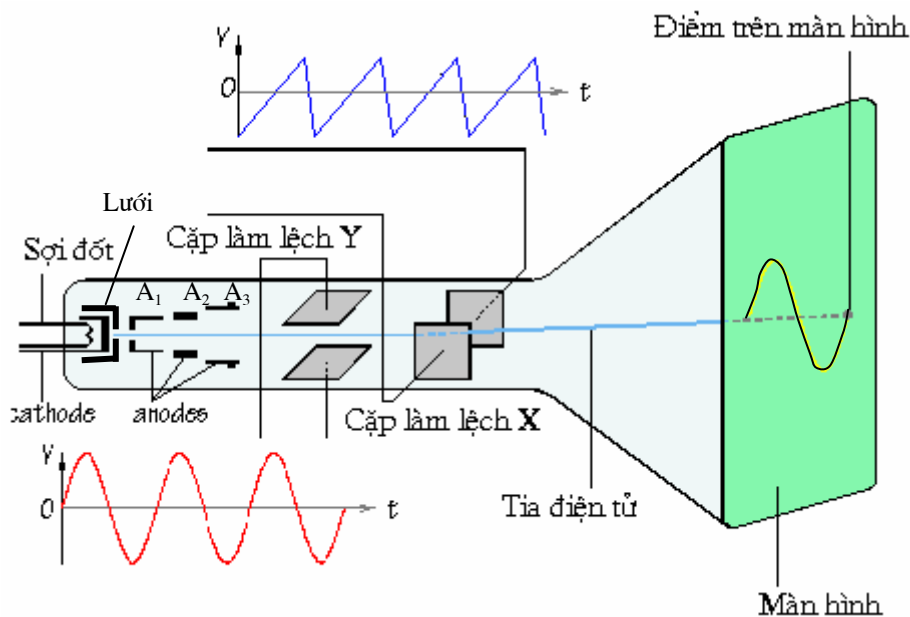
Nếu mắc các cuộn dây nối tiếp nhau, nghĩa là  $I_1 = I_2 \Rightarrow \alpha = C \cdot I^2$  với C là hằng số. Trong trường hợp này cần chú ý rằng để có lực đẩy làm quay phần động thì chiều quấn dây trên phần động phải ngược với chiều quấn dây trên hai phần của cuộn kích.

Vì góc lệch không tỉ lệ tuyến tính với dòng cần đo nên thang đo của cơ cấu điện động là thang đo không đều.

Cơ cấu điện động có thể được sử dụng để đo dòng xoay chiều và một chiều. Tuy nhiên nó có độ nhạy kém và tiêu thụ công suất khá lớn.

### 2. Cơ cấu chỉ thị tự ghi

Trong kỹ thuật đo lường vô tuyến điện các thiết bị chỉ thị tự ghi chủ yếu là máy hiện sóng với phần chỉ thị là ống phóng tia điện tử – CRT (Cathode Ray Tube). Dưới đây là cấu tạo cơ bản của một CRT.





CRT là một ống chân không với các hệ thống điện cực và màn huỳnh quang, chùm electron do katot phát ra sẽ được hướng tới màn hình theo sự điều khiển từ bên ngoài và làm phát sáng lớp photpho tại điểm chúng đập vào.

#### Cấu tạo:

+ Phần 3 cực (triot) gồm Katot, lưới và anot

Katot làm bằng niken hình trụ đáy phẳng phủ oxit để phát ra điện tử. Một sợi đốt nằm bên trong katot có nhiệm vụ nung nóng katot để tăng cường thêm số điện tử phát xạ. Sợi đốt có điện thế khoảng 6,3V nhưng katot có điện thế xấp xỉ  $-2kV$ .

Lưới là một cốc Niken có lỗ ở đáy bao phủ lấy katot. Thế của lưới xấp xỉ từ  $-2kV$  đến  $-2,05kV$  để điều khiển dòng electron từ katot hướng tới màn hình. Khi thế của lưới thay đổi sẽ điều chỉnh lượng electron bắn ra khỏi katot, tức là làm cho điểm sáng trên màn hình có độ chói khác nhau. Vì vậy thành phần điều khiển thế của lưới còn gọi là thành phần điều khiển độ chói.

Anot gồm 3 anot A1, A2 và A3. A1 có dạng hình trụ, một đầu hở và một đầu kín có lỗ ở giữa cho electron đi qua. A1 tiếp đất nên có thế dương hơn katot, electron được gia tốc từ katot qua lưới và anot để đến màn hình. Các anot này được gọi là các điện cực điều tiêu hay thấu kính điện tử. Vì các electron cùng mang điện tích âm nên chúng có xu hướng đẩy nhau, nghĩa là chùm tia điện tử sẽ loe rộng ra và khi đập vào màn huỳnh quang sẽ tạo ra một vùng sáng, nghĩa là hình ảnh hiển thị bị nhoè. Nhờ có các điện cực điều tiêu, chùm electron sẽ bị hội tụ lại làm cho các electron hướng tới 1 điểm nhỏ trên màn hình, tức là hình ảnh hiển thị được rõ nét. A2 có thế  $-2kV$  để tạo ra các đường đẳng thế làm cho electron chuyển động qua anot có tốc độ ổn định.

Phần 3 cực trên đôi khi còn được gọi là súng điện tử.

+ Hệ thống làm lệch (hay còn gọi là lái tia)

Khi các tấm làm lệch ngang và đứng được tiếp đất hoặc không nối thì chùm electron có thể đi qua chúng và đập vào tâm màn hình.

Khi đặt điện áp lên các tấm làm lệch thì các electron sẽ bị hút vào tấm có thế dương và bị đẩy ra xa khỏi tấm có thế âm. Để tác dụng của các điện áp làm lệch  $+/-$  gây ra những khoảng lệch như nhau thì thế  $+E/2$  phải đưa vào một tấm và thế  $-E/2$  đi vào tấm còn lại (với E là thế chênh lệch giữa hai tấm).

. Điện áp cần thiết để tạo ra 1 vạch chia độ lệch ở màn hình được gọi là **hệ số làm lệch đứng** của ống, đơn vị là V/cm

. Độ lệch do 1V tạo ra trên màn hình gọi là **độ nhạy lái tia**, đơn vị là cm/V

Ngoài ra, để tránh ảnh hưởng của điện trường giữa các cặp lái tia người ta đôi khi còn sử dụng một màn chắn cách điện giữa cặp lái tia ngang và cặp lái tia đứng.

+ Màn hình của CRT được mạ một lớp Photpho ở mặt trong của ống, khi chùm electron đập vào màn hình thì các electron bên trong lớp mạ sẽ chuyển lên mức năng lượng cao và khi trở về trạng thái bình thường sẽ phát ra ánh sáng. Sự lưu sáng của photpho khá dài từ vài ms đến vài s nên mắt người mới nhìn thấy hình dạng sóng hiện. Lớp than chì có tác dụng thu hồi các electron thứ cấp vì nếu không thu hồi lại thì sự tích tụ của các electron có thể tạo ra một thế âm ở màn hình và thế âm này sẽ chống lại sự di chuyển của dòng electron tiến đến màn hình. Ngoài ra, người ta có thể sử dụng màng nhôm để thu góp electron và dẫn tới đất. Màng nhôm này còn có tác dụng tăng cường độ chói của lớp sáng do phản xạ ánh sáng về phía màn thủy tinh và tản nhiệt cho màn hình.

Đường xoắn ốc làm bằng chất có điện trở cao kết tủa trong ống thủy tinh từ chỗ tấm lái tia tới màn hình có tác dụng gia tốc cho electron sau khi làm lệch để có được độ chói cần thiết. (nếu gia tốc trước lúc làm lệch thì sẽ làm giảm khả năng điều chỉnh dòng electron của các tấm làm lệch).

**Chú ý:** với các máy hiện sóng nhiều kênh (nhiều tia) thì có thể thực hiện theo 2 cách như sau:

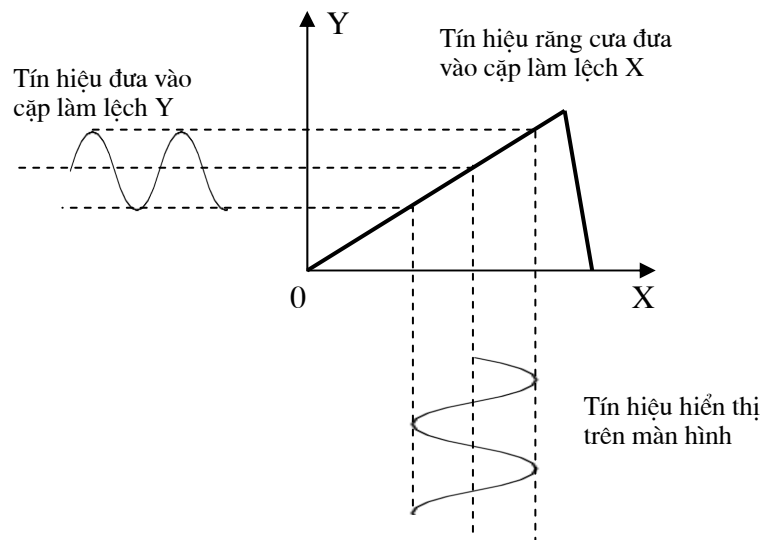
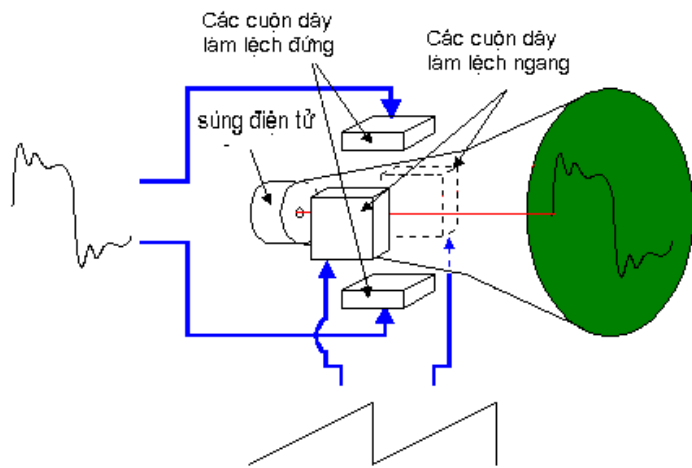
- + Sử dụng cho mỗi kênh một súng điện tử và cặp làm lệch đứng riêng nhưng cùng chung cặp làm lệch ngang
- + Sử dụng một súng điện tử, tách chùm tia điện tử thành nhiều phần trước khi cho qua các cặp làm lệch đứng (ứng với số kênh) và tất cả cùng qua một cặp làm lệch ngang.

**Nguyên tắc hiện hình của CRT:**

Katot phát ra electron và được các hệ thống điện cực điều khiển để có số lượng hạt, vận tốc và độ hội tụ cần thiết. Hệ thống làm lệch sẽ làm cho chùm tia điện tử di chuyển trên màn hình theo phương ngang và phương đứng để hiện dạng của tín hiệu.

Ở chế độ hiển thị dạng sóng thông thường tín hiệu cần hiển thị được đưa vào cặp làm lệch đứng còn một tín hiệu dạng răng cưa được đưa vào cặp lệch ngang (xem hình trên).

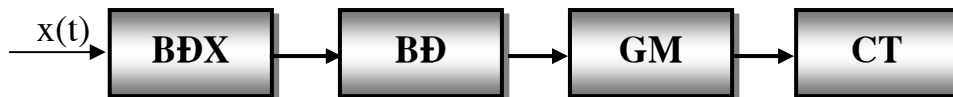
Khi đó với tần số răng cưa (còn gọi là tần số quét) phù hợp trên màn hình sẽ có một sóng đứng có dạng sóng cần hiển thị.



**3. Cơ cấu chỉ thị số**

**Nguyên tắc chỉ thị số**

Sơ đồ khối của bộ chỉ thị số  
Trong đó:



BDX: Bộ biến đổi xung có nhiệm vụ biến đổi đại lượng cần đo x(t) thành các xung tương ứng, số xung N tỉ lệ với độ lớn của x(t) sẽ được đưa vào bộ đếm (BD)

BD: Bộ đếm đếm số xung N theo một hệ đếm nhất định và đưa kết quả sang bộ giải mã (GM).

GM: Bộ giải mã có nhiệm vụ đổi loại mã của bộ đếm sang kiểu phù hợp với chỉ thị (CT)

CT: chỉ thị số có thể dưới dạng đèn thập phân, LED 7 vạch hay LCD

**Hiển thị 7 vạch**

Đèn hiển thị 7 vạch bao gồm các vạch nhỏ. Chúng có thể biểu diễn tới 16 ký tự trong đó có 10 số và 6 chữ cái như hình dưới đây:

Các mã đầu vào từ 0 -9 hiển thị các chữ số của hệ thập phân. Các mã đầu vào



từ 9-14 ứng với các ký hiệu đặc biệt như đã nêu, còn mã 15 sẽ tắt tất cả các vạch.

**II. CÁC MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG TÍN HIỆU**

Mạch đo lường và gia công tín hiệu làm nhiệm vụ biến đổi, gia công tính toán, phối hợp các tín tức với nhau trong một hệ vật lý thống nhất.

Có thể coi mạch đo lường là một khâu tính toán, thực hiện các phép tính đại số trên sơ đồ mạch nhờ vào kỹ thuật điện tử theo yêu cầu của thiết bị đo.

Mạch đo có nhiều loại khác nhau với các chức năng và thông số cụ thể, dưới đây là một số mạch thông dụng nhất.

**1. Mạch tỉ lệ**

Đây là mạch rất thông dụng trong các mạch đo lường, có hai loại là mạch tỉ lệ về dòng và mạch tỉ lệ về áp.

**a. Mạch tỉ lệ về dòng**

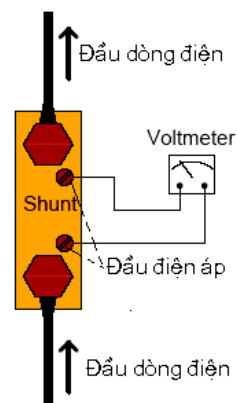
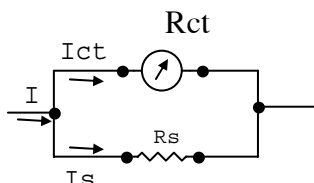
Để biến đổi dòng trong mạch một chiều người ta mắc các điện trở sun còn trong mạch xoay chiều người ta sử dụng các biến dòng điện.

\* Điện trở sun là điện trở mắc song song với cơ cấu chỉ thị dùng để chia dòng một chiều.

Điện trở sun có cấu trúc đặc biệt với 4 đầu (xem hình

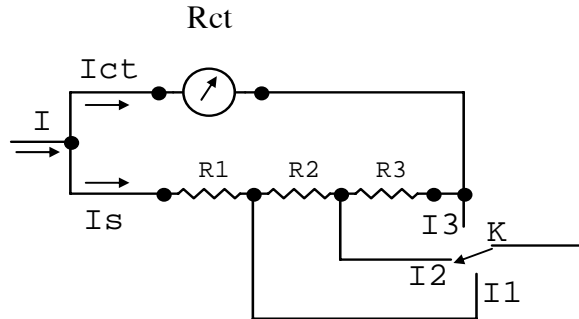
$$R_s = \frac{R_{ct}}{n-1}$$

$$n = \frac{I}{I_{ct}}$$



bên). Hai đầu dòng để đưa dòng  $I_s$  vào còn hai đầu áp sẽ lấy áp ra mắc với cơ cấu chỉ thị. Điện trở sun được chế tạo với dòng từ mA đến 10.000A và điện áp khoảng 60, 75, 100, 150 và 300mV.

Muốn dùng điện trở sun có nhiều hệ số chia dòng khác nhau người ta mắc như hình dưới đây,



khi đó:

$$R_{s1} = R1 = \frac{R_{ct} + R2 + R3}{n1 - 1}, n1 = \frac{I1}{I_{ct}}$$

$$R_{s2} = R1 + R2 = \frac{R_{ct} + R3}{n2 - 1}, n2 = \frac{I2}{I_{ct}}$$

$$R_{s3} = R1 + R2 + R3 = \frac{R_{ct}}{n3 - 1}, n3 = \frac{I3}{I_{ct}}$$

*Chú ý:* Dòng xoay chiều nếu muốn dùng điện trở sun để chia thì tải phải là thuần trở.

**\* Biến dòng điện**

Biến dòng là một biến áp mà thứ cấp được ngắn mạch, sơ cấp nối tiếp với mạch có dòng điện chạy qua. Nếu biến dòng lý tưởng và không có tổn hao thì:

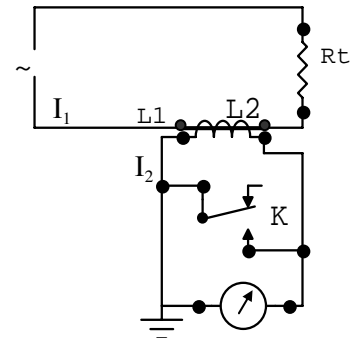
$$K_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2}$$

với  $I_1, I_2$  là dòng qua cuộn sơ cấp và thứ cấp  
 $W_1, W_2$  là số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp . Biến dòng được sử dụng nhằm lấy được dòng nhỏ ở bên thứ cấp tỉ lệ với bên sơ cấp nên số vòng dây  $W_2$  lớn hơn rất nhiều so với số vòng dây  $W_1$ .

Biến dòng thường được làm bằng lõi thép silic hình chữ E, O hay  $\Pi$  có tiết diện dây quấn lớn hơn và số vòng nhỏ hơn biến áp động lực. Biến dòng cần có tổn hao lõi thép nhỏ và điện trở tải ( $R_{ct}$ ) càng nhỏ càng tốt.

Biến dòng được chế tạo với điện áp từ 0,5 – 35kV; dòng sơ cấp định mức từ 0,1 – 25.000A; dòng thứ cấp định mức là 1A hoặc 5A; cấp chính xác là 0,05 – 0,5

Cuộn thứ cấp thường nối đất để tránh trường hợp cuộn thứ cấp hở gây ra điện áp cực lớn (hàng chục V tới hàng kV) vì biến dòng thực chất là một biến áp tăng áp.



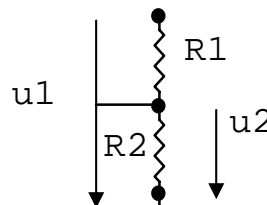
**b. Mạch tỉ lệ về áp**

Có hai mạch phân áp cơ bản là mạch sử dụng điện trở và mạch sử dụng tụ điện

**\* Mạch phân áp điện trở**

Gọi hệ số phân áp là:  $m = \frac{U1}{U2}$ . Khi đó:

$$m = \frac{U1}{U2} = \frac{I(R1 + R2)}{I.R2} = 1 + \frac{R1}{R2}$$



Khi tải là những cơ cấu chỉ thị có điện trở không đổi, người ta dùng R2 là điện trở của ngay bản thân chỉ thị. R1 gọi là điện trở phụ.

$$R1 = R2.(m - 1)$$

$$\Rightarrow Rp = Rct.(m - 1)$$

Để tăng thêm độ chính xác người ta sử dụng biến trở trượt được gắn thang chia độ, trên ấy có khắc hệ số phân áp tương ứng hoặc các hệ số phân áp nhảy cấp.

Điện áp vào U1 cố định, điện áp ra U2 có thể từ 0,0001U1 đến 0,9999U1.

Khi muốn có nhiều hệ số chia áp khác nhau người ta có thể mắc điện trở phụ như sau:

Trong đó:

$$Rp1 = R1 = Rct(m1 - 1)$$

với

$$m1 = \frac{U1}{Uct}$$

$$Rp2 = R1 + R2 = Rct(m2 - 1)$$

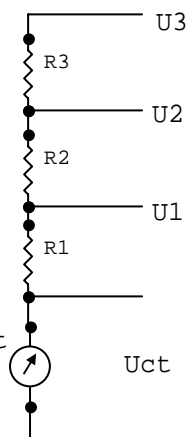
với

$$m2 = \frac{U2}{Uct}$$

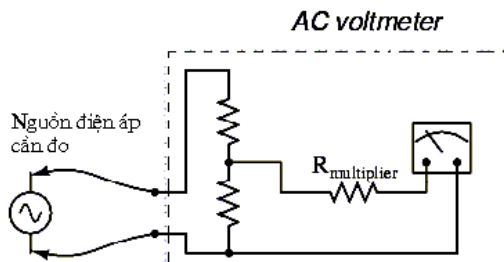
$$Rp3 = R1 + R2 + R3 = Rct(m3 - 1)$$

với

$$m3 = \frac{U3}{Uct}$$



Mạch phân áp điện trở thường được sử dụng trong các mạch vào của các dụng cụ đo, ví dụ như hình bên nó được sử dụng trong vôn kế xoay chiều



**\* Mạch phân áp điện dung**

Mạch này được sử dụng trong mạch xoay chiều.

Hệ số phân áp:

Khi tần số  $\omega$  khá lớn thì có thể tính m như sau:

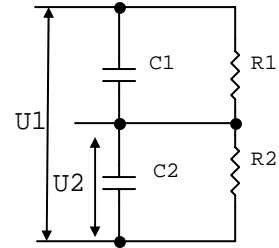
$$m = \frac{U1}{U2} = 1 + \frac{Z1}{Z2}$$

$$\text{với } Z1 = R1 // C1 = \frac{1}{1/R1 + j\omega C1}$$

$$Z2 = R2 // C2 = \frac{1}{1/R2 + j\omega C2}$$

$$\Rightarrow m = 1 + \frac{1/R2 + j\omega C2}{1/R1 + j\omega C1} = 1 + \frac{C2 + \frac{1}{j\omega R2}}{C1 + \frac{1}{j\omega R1}}$$

$$m = 1 + \frac{C2}{C1}$$



Nghĩa là chỉ phụ thuộc vào tụ điện. Do đó, mạch phân áp điện dung thường được sử dụng trong mạch có tần số cao.

ví dụ: trong Vôn kế tần số cao hoặc máy hiện sóng người ta dùng mạch phân áp điện dung như hình bên.

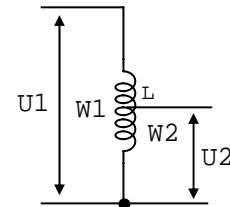
Để sử dụng được trong một dải tần rộng người ta mắc song song tụ điện và điện trở sao cho  $R1/R2 = C2/C1$

**\* Mạch phân áp điện cảm**

Có thể coi mạch như một biến áp tự ngẫu, đầu vào và đầu ra được nối với nhau cả về phần điện lẫn phần từ.

Khi đó hệ số phân áp là:

$$m = \frac{U1}{U2} = \frac{W1}{W2}$$



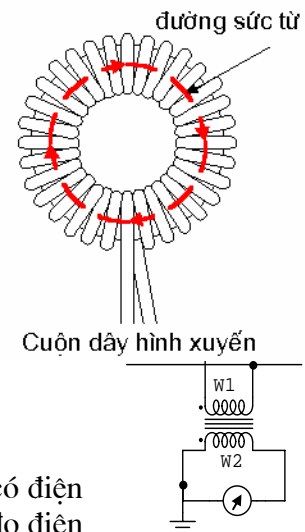
Để đảm bảo điều kiện biến áp lý tưởng lõi thép phải chế tạo kiểu mạch từ kín, từ thông mọc vòng đều trên toàn cuộn phân áp, từ thông tản vừa nhỏ vừa đều. Muốn vậy lõi thép phải là hình xuyên bằng những lá thép mỏng (dày cỡ 0,03mm). Cuộn dây được quấn đồng đều và chia làm nhiều đoạn ứng với số cấp của phân áp. Mạch phân áp điện cảm sẽ có sai số nhiều khi tần số thay đổi nhưng lại có ưu điểm là khi tải đầu ra thay đổi m hầu như không đổi.

**\* Mạch biến áp đo lường**

Đầu vào / ra có thể liên hệ với nhau bằng điện và từ (trong trường hợp biến áp tự ngẫu) hoặc chỉ bằng từ và cách điện với nhau.

Hệ số phân áp là: 
$$m = \frac{U1}{U2} = \frac{W1}{W2}$$

Mạch biến áp này dùng để đo điện áp xoay chiều có điện áp rất cao ở cuộn sơ cấp bằng một Vôn kế có khả năng đo điện



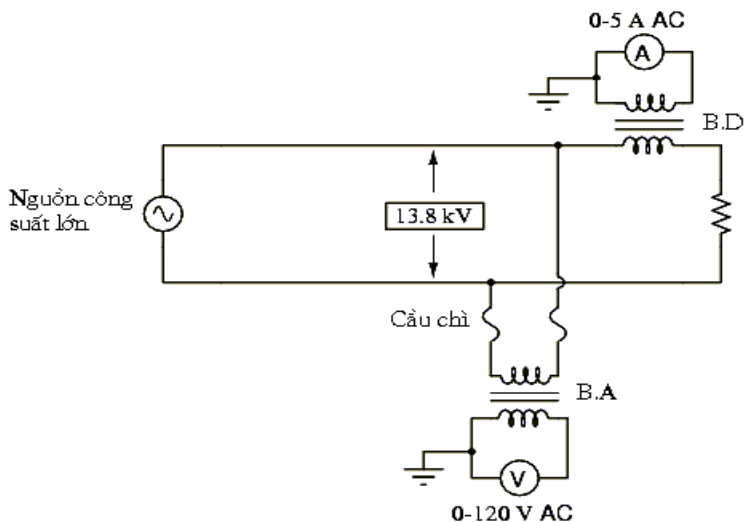
áp nhỏ hơn rất nhiều mắc ở cuộn thứ cấp. Khi đó hệ số phân áp  $m$  đã biết nên có thể tính  $U_1 = m.U_2$

Vôn kế phải có điện trở rất lớn, ngoài ra, để đề phòng dòng lớn xuất hiện khi hai đầu cuộn thứ cấp bị chập người ta mắc một đầu xuống đất.

Sai số của biến áp giống của biến dòng, nó gồm sai số về modun và pha.

Cấp chính xác của biến áp là 0,05; 0,1; 0,2 và 0,5.

Dưới đây là một mạch đo nguồn xoay chiều có dòng và áp rất lớn bằng cách sử dụng biến dòng và biến áp



**2. Mạch khuếch đại đo lường**

Mạch khuếch đại cho tín hiệu ra có công suất lớn hơn rất nhiều so với đầu vào. ở phương tiện gia công tin tức thì  $X_r = K.X_v$

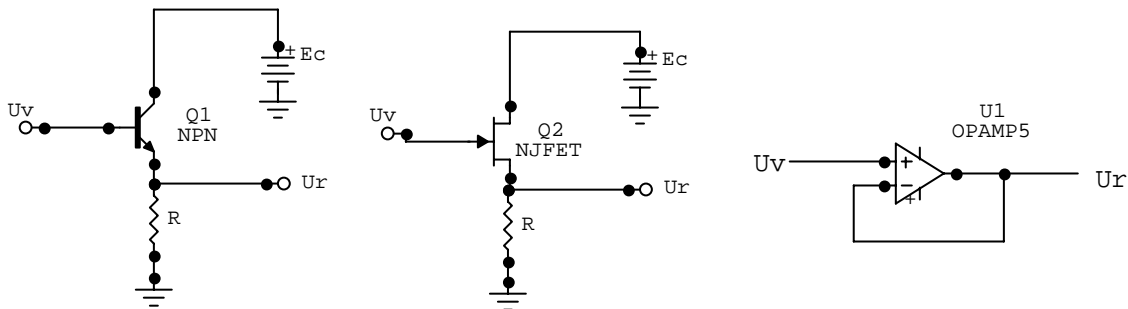
Mạch khuếch đại đo lường còn có khả năng mở rộng đặc tính tần của thiết bị đo và đặc biệt là tăng độ nhạy lên nhiều lần cũng như tăng trở kháng đầu vào của thiết bị.

Mạch khuếch đại có thể được thực hiện bởi đèn điện tử, đèn bán dẫn và vi mạch.

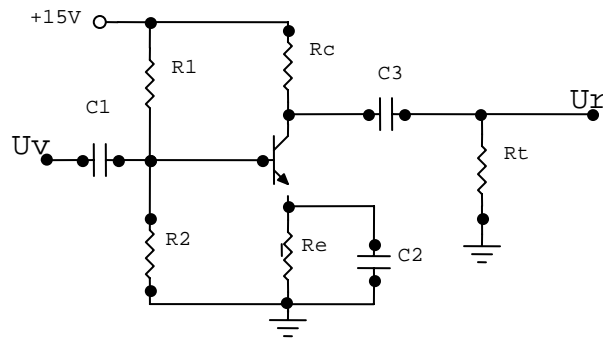
**a. Mạch khuếch đại dòng (lập điện áp)**

Mạch này có nhiệm vụ khuếch đại dòng điện lên giá trị lớn hơn còn điện áp có lặp lại như đầu vào hoặc suy giảm chút ít.

Ví dụ một số sơ đồ lập điện áp như hình dưới đây:



**b. Mạch khuếch đại công suất**

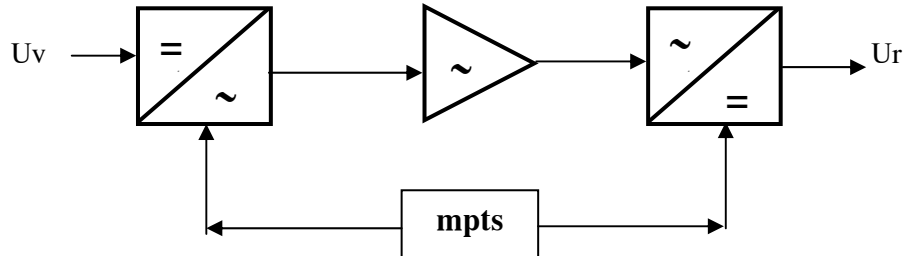


Đây là mạch kết hợp cả khuếch đại dòng và khuếch đại áp để có công suất lớn.

Ví dụ: hình bên là sơ đồ khuếch đại công suất dùng transistor mắc kiểu emito chung.

**c. Mạch khuếch đại điều chế**

Khi cần khuếch đại các thành phần một chiều, người ta phải sử dụng các bộ



khuếch đại vì sai nhưng hiện tượng trôi điểm lệch 0 và lệch điện áp ra là không thể tránh khỏi. Do đó, người ta thường biến đổi tín hiệu một chiều thành tín hiệu xoay chiều, sau đó khuếch đại tín hiệu xoay chiều này và cuối cùng lại biến đổi về tín hiệu một chiều. Sơ đồ khối của bộ khuếch đại điều chế như sau:

Bộ =/~ : chuyển từ tín hiệu một chiều sang tín hiệu xoay chiều tương ứng

Bộ ~/= : chuyển từ tín hiệu xoay chiều sang tín hiệu một chiều

Máy phát tần số (MP ts) có nhiệm vụ đóng mở 2 khoá điện tử ở đầu vào và ra của bộ khuếch đại

**d. Mạch khuếch đại cách li**

Khi cần khuếch đại một điện áp hoặc dòng điện nhưng yêu cầu phải cách li về điện người ta sử dụng các biến áp hoặc ghép quang.

**3. Mạch gia công tính toán**

Bao gồm các mạch cộng, trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân, logarit ...

Thông thường các mạch này sử dụng các bộ KĐTT để làm phần tử tích cực.

(xem lại phần KĐTT)

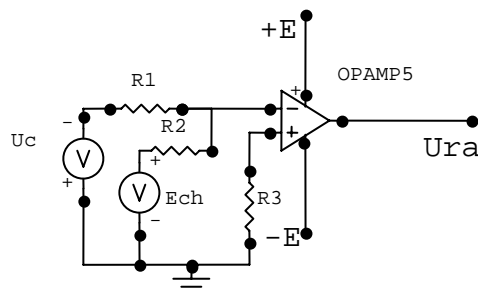
**4. Mạch so sánh**

Trong kỹ thuật đo lường điện tử người ta sử dụng rất nhiều những bộ so sánh để phát hiện thời điểm bằng nhau của 2 đại lượng vật lý nào đó.

Ví dụ về một số mạch so sánh thông dụng.

**a. Mạch so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo một đầu vào**

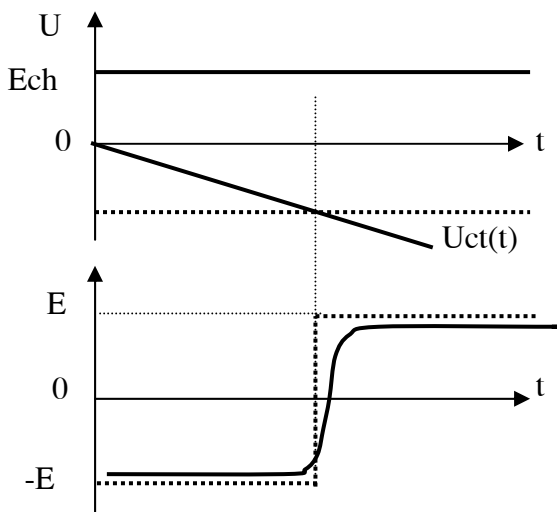
Sơ đồ trong hình bên có  $U_c(t)$  là điện áp cần so sánh với điện áp chuẩn một chiều Ech.  $U_c$  và Ech ngược dấu nhau.





+ Khi độ lớn của  $U_c$  nhỏ hơn độ lớn của  $\frac{R1}{R2} Ech$  thì  $Ech$  sẽ quyết định chế độ làm việc của bộ KĐTT. Do đó điện áp ra:  $U_r \approx -E$  vì  $Ech > 0$  đi vào cửa đảo và bộ KĐTT làm việc ở chế độ bão hoà

+ Khi độ lớn của  $U_c$  lớn hơn độ lớn của  $\frac{R1}{R2} Ech$  thì  $U_c$  sẽ quyết định chế độ làm việc của bộ KĐTT. Khi đó điện áp ra:  $U_r \approx +E$  vì  $U_c(t) < 0$  đi vào cửa đảo



Biểu đồ điện áp được cho ở hình bên

**Chú ý:** Thực tế khi bộ KĐTT làm việc ở chế độ bão hoà giá trị điện áp ra nhỏ hơn giá trị điện áp nguồn cung cấp.

Tại thời điểm  $U_c(t) = -\frac{R1}{R2} Ech$  bộ KĐTT chuyển trạng thái nhưng do các

thành phần ký sinh trong mạch nên có một độ trễ  $\Delta\tau$  nhất định.

Do đó đặc tuyến thực tế có dạng đường liền như hình trên thay vì đường nét đứt là đặc tuyến lý tưởng.

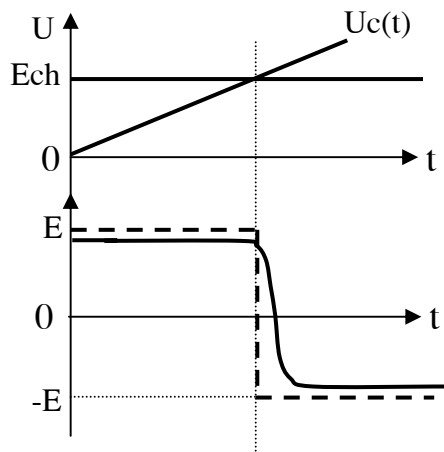
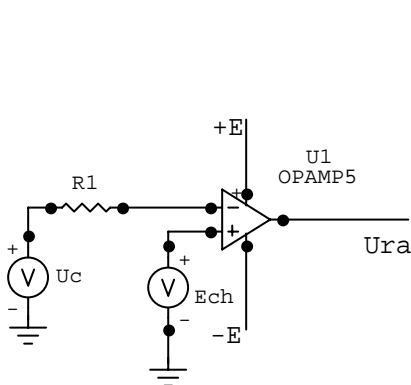
**b. Mạch so sánh các tín hiệu cùng dấu bằng KĐTT mắc 2 đầu vào**

Sơ đồ mạch và biểu đồ điện áp cho ở hình dưới đây:

Khi đó: + Khi  $U_c(t) < Ech$  ta có:  $U_{ra} = +E$

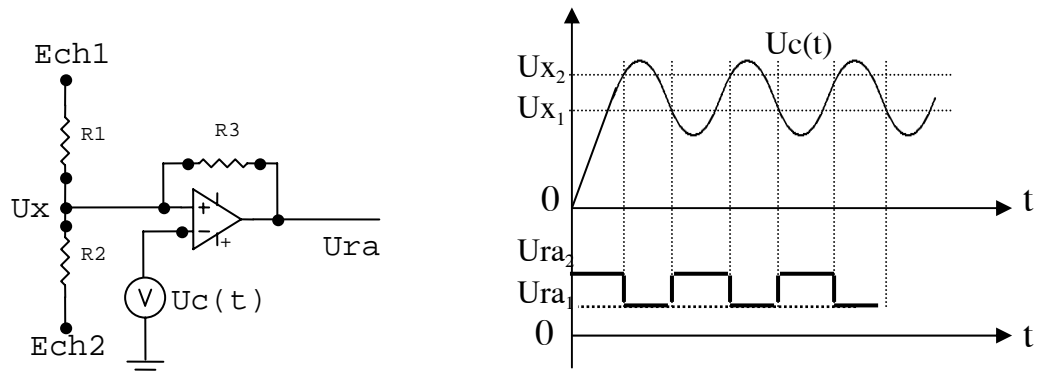
+ Khi  $U_c(t) > Ech$  ta có:  $U_{ra} = -E$

**c. Mạch so sánh 2 mức**



**Chương 2. Cấu trúc và các phần tử chức năng**

Mạch được sử dụng trong hệ thống kiểm tra hay điều chỉnh tự động một thông số nào đó luôn phải nằm trong khoảng giữa 2 mức cho trước ( $U_{x1} < U_{x2}$ ).



Trong sơ đồ mạch trên, 2 mức  $U_x$  được xác định bởi 2 nguồn điện áp chuẩn Ech.

+ Khi  $U_c(t) > U_{x2}$  tín hiệu ra  $U_{ra} = U_{r1}$  và giá trị này được giữ nguyên tới khi  $U_c(t)$  giảm xuống  $U_{x1}$

+ Khi  $U_c(t) = U_{x1}$  có sự thay đổi trạng thái của  $U_{ra} = U_{r2}$  và giá trị  $U_{r2}$  được giữ tới khi  $U_c(t)$  giảm xuống đỉnh âm và tăng tới  $U_{x2}$

**d. Mạch so sánh cực đại**

Mạch được sử dụng để chọn giá trị cực đại trong số các giá trị đầu vào.

Giả sử có mạch như hình bên. Các đầu katot của các diode bị ghim ở một mức xác định phụ thuộc vào giá trị của U. Nếu  $U_c$  nào có giá trị vượt giá trị chuẩn cho phép thì diode tương ứng với nó sẽ thông. Tuy nhiên nếu có nhiều  $U_c$  cùng vượt giá trị chuẩn thì diode ứng với giá trị  $U_{cmax}$  sẽ thông và đầu ra sẽ là hàm của  $U_{cmax}$  đó, nghĩa là mạch đã chọn được giá trị cực đại trong số các đầu vào vượt giá trị chuẩn.

Mạch bên có giá trị  $U_{ra} max$  ứng với  $U_{cmax}(U_{c1}, U_{c2}, U_{c3})$

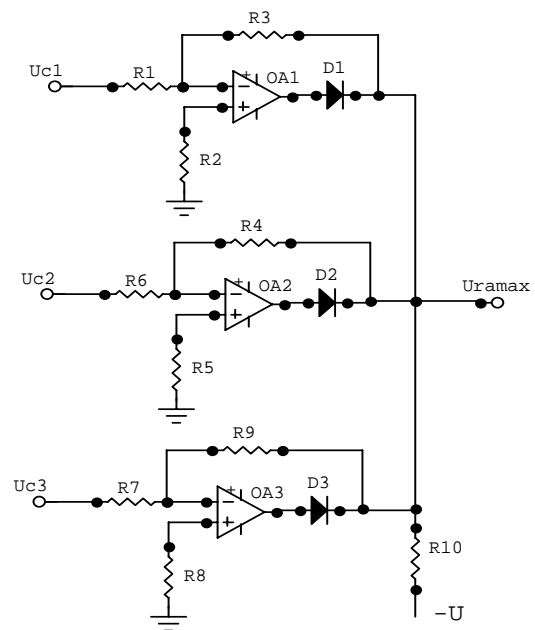
**e. Mạch cầu đo**

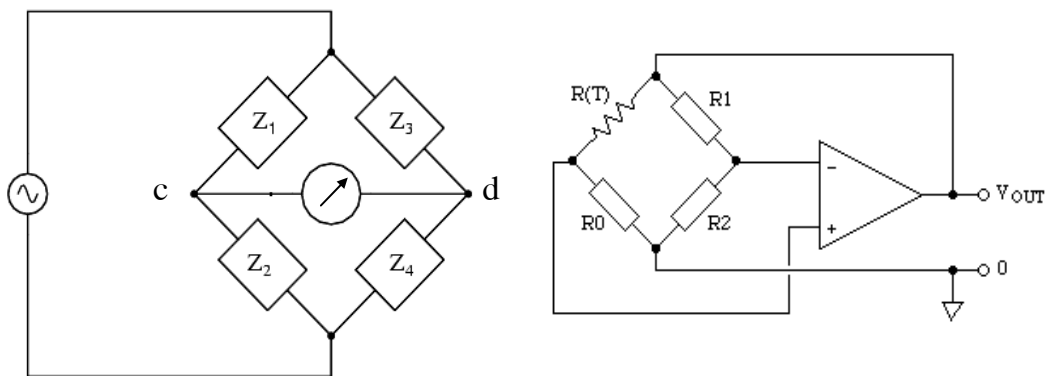
Đây là một mạch rất thông dụng để đo chính xác các giá trị của điện trở, điện cảm hay điện dung và là dụng cụ để phát hiện độ lệch áp rất nhỏ.

Tại thời điểm cầu cân bằng  $U_{cd} = 0$  và giá trị trở kháng trên các nhánh phải thoả mãn điều kiện:

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

Chỉ thị thường là chỉ thị lệch không, điện thế kế hoặc máy hiện sóng để phát hiện trạng thái mất cân bằng của cầu.



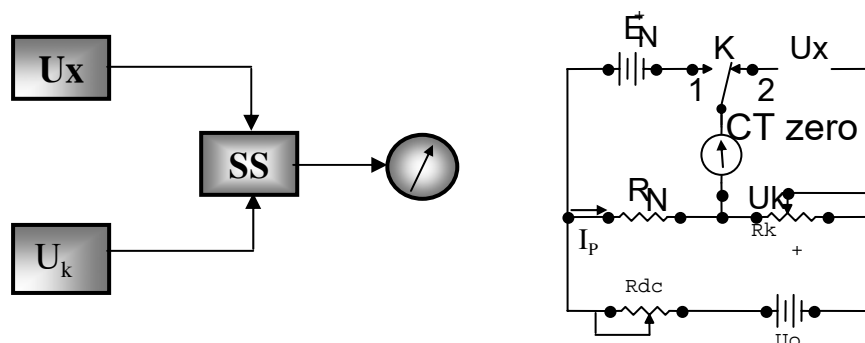


Hình trên là một ví dụ về mạch đo nhiệt độ bằng cách đo điện trở của một điện trở nhiệt R(T)

**f. Mạch điện thế kế**

Đây là mạch đo dựa trên phương pháp so sánh cân bằng giữa 2 điện áp: điện áp cần đo là  $U_x$  và điện áp mẫu  $U_k$ .

Dưới đây là sơ đồ khối và sơ đồ thực tế của một điện thế kế



Trong đó:  $R_N$  và  $E_N$  là điện trở mẫu và pin mẫu được chế tạo với độ chính xác cao. Điện thế kế hoạt động như sau:

+ Khi K ở vị trí 1, điều chỉnh chiết áp  $R_{dc}$  để chỉ thị chỉ zero. Khi đó:

$$I_p = \frac{E_N}{R_N}$$

+ Giữ nguyên  $R_{dc}$  và chuyển K sang vị trí 2, điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu để chỉ thị về zero, nghĩa là dòng qua chỉ thị bằng 0, điện áp mẫu bằng điện áp cần đo.

$$\text{Khi đó: } U_x = U_k = I_p \cdot R_k = \frac{E_N}{R_N} \cdot R_k$$

$$\text{Nếu: } \frac{E_N}{R_N} = 10^n$$

$$\Rightarrow U_x = 10^n \cdot R_k$$

Với n là số tự nhiên 1, 2 ... khi đó ta có thang đo theo hệ số mũ thập phân

Chỉ thị của điện thế kế thường là cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy cao ( $10^{-6} - 10^{-9}$  A/vạch)

**5. Mạch tạo hàm**

Trong kỹ thuật đo lường, chuyển đổi sơ cấp thường cho tín hiệu ra dưới dạng phi tuyến trong khi các bộ chuyển đổi chuẩn hoá thường làm việc với tín hiệu tuyến tính để giảm thiểu sai số. Do vậy, mạch thực hiện tuyến tính hoá các đặc tính phi tuyến là rất cần thiết.

**a. Mạch tạo hàm bằng biến trở**

Biến trở có thiết diện được chế tạo theo hệ số mong muốn

$$U_r = \frac{U}{R} \cdot R_x = K1 \cdot R_x$$

Giả sử độ di chuyển của con chạy là  $l$ , tỉ lệ với đại lượng vào  $X$  theo biểu thức:

$$l = K2 \cdot X$$

Nếu  $R_x = f(l)$  thì hàm  $U_r$  sẽ là một hàm của  $X$  theo biểu thức:

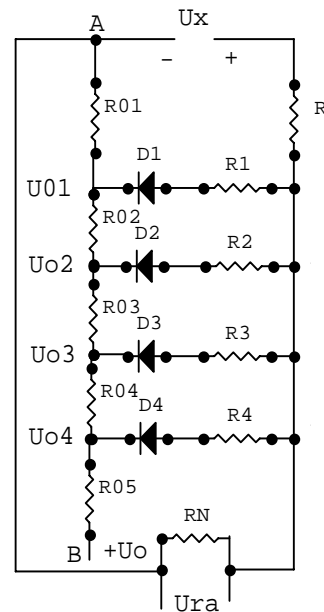
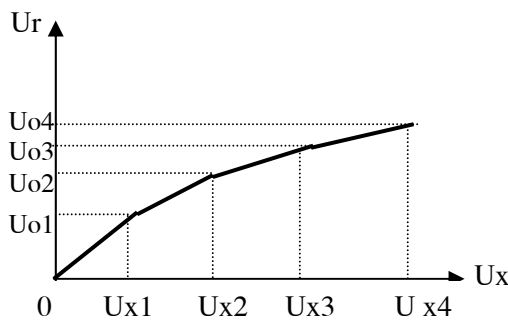
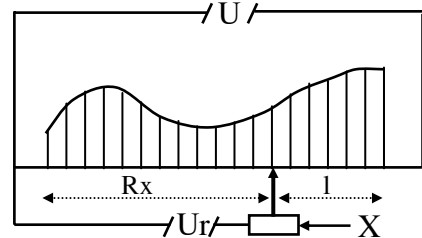
$$U_r = K1 \cdot R_x = K1 \cdot f(l) = K1 \cdot f(K2 \cdot X) = K1 \cdot K2 \cdot f(X) = K \cdot f(X)$$

Với  $K1, K2, K$  là hằng số.

**b. Mạch tạo hàm bằng diode bán dẫn**

Với mạch như hình dưới đây ta thấy nhờ có các diode mạch được tuyến tính hoá theo từng đoạn.

Các điện trở  $R01, R02 \dots$  tạo thành mạch phân áp với điện áp tổng là  $U0$ . Khi



đó katot của các diode có điện áp  $U01, U02 \dots$   $U_x$  là điện áp vào cần được tuyến tính hoá.

+ Khi  $0 < U_x < U_{x1}$  các diode đều khoá 
$$U_{ra} = U_x \cdot \frac{R_N}{R_N + R}$$

+ Khi  $U_{x1} < U_x < U_{x2}$  diode  $D1$  dẫn, các diode còn lại khoá

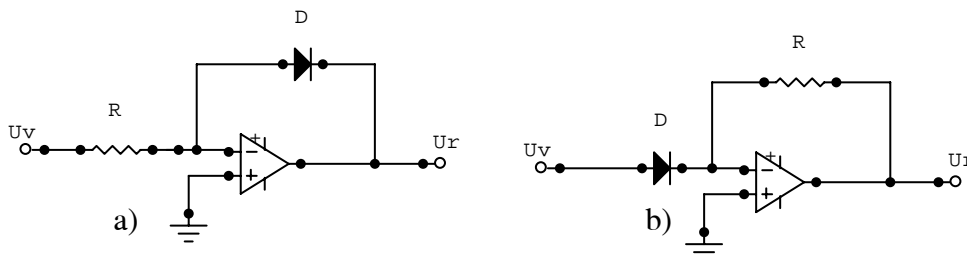
$$U_{ra} = U_x \cdot \frac{R_N}{R_N + R^*}$$

$$\text{với } R^* = R + \frac{R_N(Ro1 + R1)}{R_N + Ro1 + R1}$$

Quá trình tiếp tục với các đoạn gấp khúc khác  
Hiện nay các hàm thường được tạo bằng vi xử lý.

**c. Mạch tạo hàm logarit và đối logarit**

Ví dụ hai sơ đồ mạch tạo hàm logarit và đối logarit như sau:



Sơ đồ a) có:

$$U_r = -U_T \cdot \ln \frac{U_v}{I_s \cdot R}$$

Sơ đồ b) có:

$$U_r = I_s \cdot R \cdot e^{\left(\frac{U_v}{U_T}\right)}$$

trong đó:

$U_T$  là điện thế nhiệt ( $U_T = 26mV$  tại nhiệt độ phòng)

$I_s$  là dòng ngược qua diode

Như vậy điện áp ra là hàm logarit (hoặc đối logarit) đối với điện áp vào

**6. Các bộ chuyển đổi tương tự – số A/D và số – tương tự D/A**

Trong các dụng cụ đo lường chỉ thị số hoặc xử lý tín hiệu dưới dạng số người ta phải sử dụng các bộ biến đổi từ tín hiệu tương tự sang tín hiệu số A/D và đôi khi phải chuyển đổi ngược để khôi phục lại tín hiệu tương tự từ tín hiệu số người ta phải sử dụng các bộ chuyển đổi D/A.

**a. Các bộ biến đổi A/D**

Có 3 phương pháp khác nhau

+ **Phương pháp song song:** điện áp vào được so sánh đồng thời với n điện áp chuẩn và xác định chính xác xem nó đang ở giữa 2 mức nào. Kết quả là ta có 1 bậc của tín hiệu xấp xỉ.

Phương pháp này có tốc độ cao nhưng do phải sử dụng nhiều bộ so sánh nên giá thành rất cao.

+ **Phương pháp trọng số:** việc so sánh diễn ra cho từng bit của số nhị phân.

**Cách thực hiện:**

. Xác định điện áp vào có vượt điện áp chuẩn của bit già nhất hay không. Nếu nhỏ hơn mang giá trị 0 và giữ nguyên giá trị, nếu vượt mang giá trị “1” và lấy điện áp vào trừ điện áp chuẩn tương ứng.

. Phần dư được đem so sánh với bit trẻ lân cận và lại thực hiện như trên.

. Tiếp tục tiến hành tới bit trẻ nhất.

Như vậy, trong số nhị phân có bao nhiêu bit thì có bấy nhiêu bước so sánh và điện áp chuẩn.

## Chương 2. Cấu trúc và các phân tử chức năng

+ Phương pháp số: tiến hành so sánh lần lượt với từng đơn vị của bit trẻ nhất. Phương pháp này rất đơn giản nhưng mất nhiều thời gian hơn phương pháp song song

### **Các bộ chuyển đổi A/D trong công nghiệp**

Các bộ chuyển đổi A/D hiện nay đều được sản xuất dưới dạng IC theo công nghệ CMOS. Ví dụ: MC 14433 – bộ biến đổi A/D  $3\frac{1}{2}$  bit của Motorola; A/D  $3\frac{1}{2}$  bit 7106

### **b. Các bộ biến đổi D/A**

Có 2 phương pháp cơ bản để biến đổi tín hiệu số sang tín hiệu tương tự như sau:

+ Phương pháp lấy tổng các dòng trọng số

+ Phương pháp dùng khoá đổi chiều

Chuyển đổi ADC, xem thêm ở bài giảng Kỹ thuật Mạch Điện tử

Ví dụ: A/D 8 bit 7520, 7527; A/D 10bit 7533; A/D 12bit 7541

## III. CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SỐ CẤP

### 1. Khái niệm chung

#### a. Định nghĩa

+ **Chuyển đổi đo lường:** là thiết bị thực hiện một quan hệ hàm đơn trị giữa 2 đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định.

Nghĩa là chuyển đổi đo lường làm nhiệm vụ biến đổi từ đại lượng vật lý này sang đại lượng vật lý khác. Mối quan hệ có thể là tuyến tính hay phi tuyến. Khi quan hệ này là hàm phi tuyến người ta sử dụng mạch tạo hàm để tuyến tính hoá nhằm nâng cao độ chính xác của phép đo.

+ **Chuyển đổi sơ cấp:** là chuyển đổi thực hiện chuyển từ đại lượng không điện thành đại lượng điện

$$Y = f(X)$$

Với X là đại lượng không điện, và Y là đại lượng điện sau chuyển đổi

+ **Sensor / bộ cảm biến / đầu đo** là dụng cụ để thực hiện chuyển đổi sơ cấp

#### b. Đặc tính của chuyển đổi sơ cấp

+ Tính đơn trị

+ Đặc tuyến chuyển đổi ổn định

+ Có khả năng thay thế

+ Thuận tiện trong việc ghép nối với dụng cụ đo và máy tính

+ Sai số nằm trong khoảng cho phép

+ Đặc tính động / độ tác động nhanh / trễ nhỏ

+ Tác động ngược lên đại lượng đo

+ Kích thước và trọng lượng của đầu đo

#### c. Phân loại các chuyển đổi sơ cấp

**Phân loại dựa trên Nguyên tắc của chuyển đổi**

+ **Chuyển đổi điện trở:** là chuyển đổi trong đó đại lượng không điện X biến đổi làm thay đổi điện trở của nó

+ **Chuyển đổi điện từ:** là chuyển đổi làm việc dựa trên các quy luật về lực điện. X làm thay đổi các thông số của mạch từ như điện cảm L, hồ cảm M, độ từ thẩm  $\mu$  và từ thông  $\Phi$

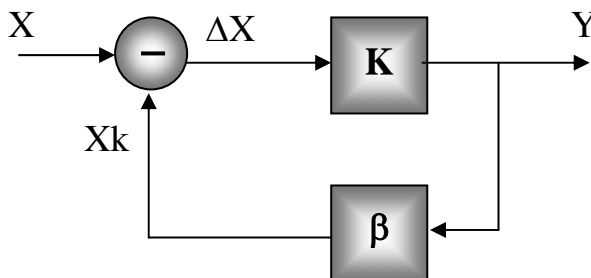
- + Chuyển đổi tĩnh điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng tĩnh điện. X làm thay đổi điện dung C hoặc điện tích Q
- + Chuyển đổi hoá điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng hoá điện. X làm thay đổi điện dẫn Y, điện cảm L, sức điện động ...
- + Chuyển đổi nhiệt điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiệu ứng nhiệt điện. X làm thay đổi sức điện động hoặc điện trở
- + Chuyển đổi điện tử và ion: là chuyển đổi mà X làm thay đổi dòng điện tử hoặc dòng ion chạy qua nó
- + Chuyển đổi lượng tử: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân

**Phân loại theo tính chất nguồn điện:**

- + Chuyển đổi phát điện hay chuyển đổi tích cực: là chuyển đổi trong đó đại lượng ra có thể là điện tích, điện áp, dòng điện hoặc sức điện động
- + Chuyển đổi thông số hay chuyển đổi thụ động: là chuyển đổi trong đó đại lượng ra là các thông số của mạch điện như điện trở, điện cảm, hồ cảm hay điện dung

**Phân loại theo phương pháp đo**

- + Chuyển đổi biến đổi trực tiếp là các chuyển đổi trong đó đại lượng không điện được biến đổi trực tiếp thành đại lượng điện
- + Chuyển đổi bù: đại lượng cần đo được so sánh với đại lượng mẫu. Sơ đồ cấu trúc như hình bên:



ta có:  $X_k = \beta Y$   
 $Y = K \cdot \Delta X = K(X - X_k)$   
 $\Rightarrow Y = K \cdot X - K \cdot \beta \cdot Y$   
 $\Rightarrow Y = \frac{K}{1 + K \cdot \beta} \cdot X$

Nếu K rất lớn thì khi đó có thể coi  $Y \approx \frac{1}{\beta} \cdot X$ , nghĩa là độ chính xác của phép

đo chỉ phụ thuộc vào chuyển đổi ngược.

**d. Các hiệu ứng được ứng dụng trong các cảm biến tích cực**

**+ Hiệu ứng nhiệt điện (hiệu ứng Thomson và hiệu ứng Seebeck)**

Khi 2 thanh kim loại a, b có bản chất hoá học khác nhau được hàn với nhau tại một đầu làm việc t1, hai đầu còn lại là 2 đầu tự do có nhiệt độ t0, nếu t1 ≠ t0 thì sẽ xuất hiện sức điện động giữa 2 đầu tự do

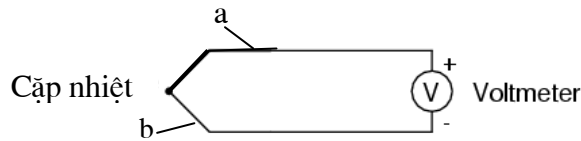
$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - E_{ab}(t_0)$

Nếu giữ cho t0 không đổi còn t1 phụ thuộc vào môi trường đo nhiệt độ thì

$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - C$

Với C là hằng số  $C = E_{ab}(t_0)$

Hiệu ứng nhiệt điện được ứng dụng để chế tạo Vôn kế, Ampe kế và cả Oat kế.



**+ Hiệu ứng hoá điện**

Một số tinh thể như sulfat triglycine gọi là tinh thể hoá điện có tính phân cực điện tự phát phụ thuộc vào nhiệt độ. Trên các bề mặt đối diện xuất hiện những điện tích trái dấu có độ lớn tỉ lệ với độ phân cực điện

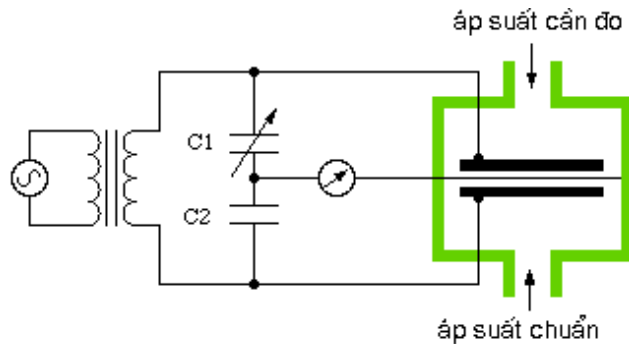
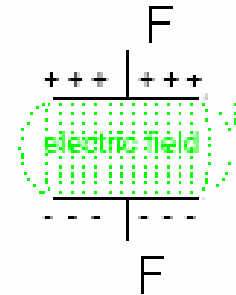
Hiệu ứng hoá điện được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi tinh thể hoá điện hấp thụ ánh sáng, nhiệt độ của nó tăng lên làm thay đổi phân cực điện. Sự phân cực này có thể xác định được bằng cách đo sự biến thiên của điện áp trên 2 cực của tụ điện

**+ Hiệu ứng áp điện (piezo)**

Khi tác dụng một lực cơ học lên 1 vật làm bằng vật liệu áp điện (như thạch anh, muối tualatine ...) sẽ gây ra biến dạng cho vật đó và làm xuất hiện lượng điện tích trái dấu trên hai mặt đối diện của vật.

Hiệu ứng này được ứng dụng để xác định lực hoặc các đại lượng gây nên lực tác dụng lên vật liệu áp điện (như áp suất, gia tốc ...) thông qua việc đo điện áp trên 2 bản cực tụ.

Hình dưới đây là ví dụ về mạch đo áp suất nhờ hiệu ứng áp điện

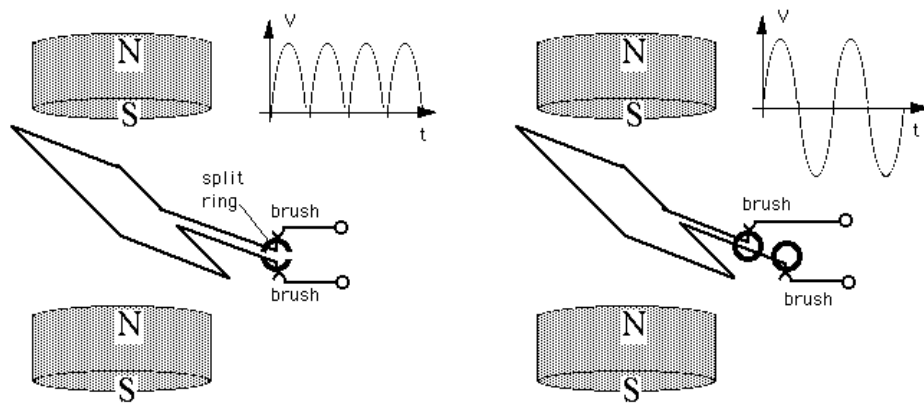


**+ Hiệu ứng cảm ứng điện từ**

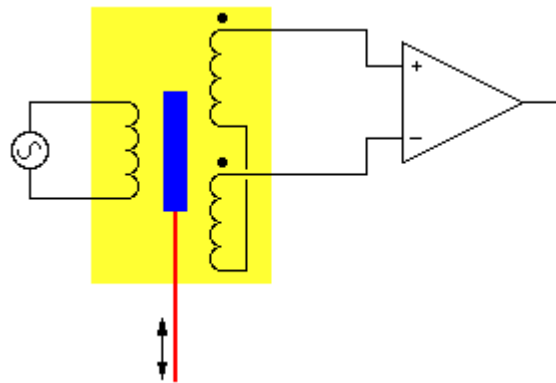
Trong một dây dẫn chuyển động trong từ trường không đổi sẽ xuất hiện một sức điện động tỉ lệ với từ thông cắt ngang dây trong một đơn vị thời gian, nghĩa là tỉ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây dẫn.

Dưới đây là hình mô phỏng việc tạo ra sức điện động một chiều khi phân nối với mạch ngoài là ngắt quãng và sức điện động xoay chiều khi phân nối mạch ngoài là liên tục.





Hiện tượng xảy ra tương tự khi một khung dây dẫn chịu tác động của từ



trường biến thiên, lúc này trong khung dây sẽ xuất hiện một sức điện động bằng và ngược dấu với sự biến thiên của từ thông.

Hiện tượng cảm ứng điện từ được ứng dụng để xác định tốc độ dịch chuyển của vật.

Hiệu ứng cảm ứng từ còn thể hiện trong trường hợp khi độ cảm ứng từ thay đổi dòng điện trong cuộn dây cũng thay đổi. Đo sự biến thiên dòng này sẽ xác định được sự thay đổi của cảm ứng từ. Dưới đây là sơ đồ đơn giản của một cảm biến vị trí. Khi vị trí thay đổi lõi của cuộn dây dịch chuyển và làm cho dòng trên thứ cấp thay đổi.

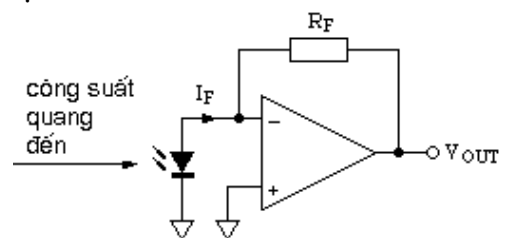
**+ Hiệu ứng quang điện**

Hiệu ứng này có nhiều biểu hiện khác nhau nhưng đều chung một bản chất: đó là hiện tượng giải phóng ra các hạt dẫn tự do trong vật liệu dưới tác dụng của bức xạ điện từ có bước sóng nhỏ hơn giá trị ngưỡng đặc trưng cho vật liệu (phụ thuộc vào độ rộng dải cấm của vật liệu).

Hiệu ứng quang điện có 3 biểu hiện cụ thể như sau:

. Hiệu ứng quang điện phát xạ điện tử: là hiện tượng khi được chiếu sáng các điện tử được giải phóng thoát khỏi bề mặt của vật và tạo thành dòng được thu lại nhờ điện trường.

. Hiệu ứng quang điện trong chất bán dẫn: khi một chuyển tiếp P-N được chiếu sáng sẽ phát sinh ra các cặp điện



tử – lỗ trống. Chúng di chuyển về hai phía của chuyển tiếp dưới tác động của điện trường.

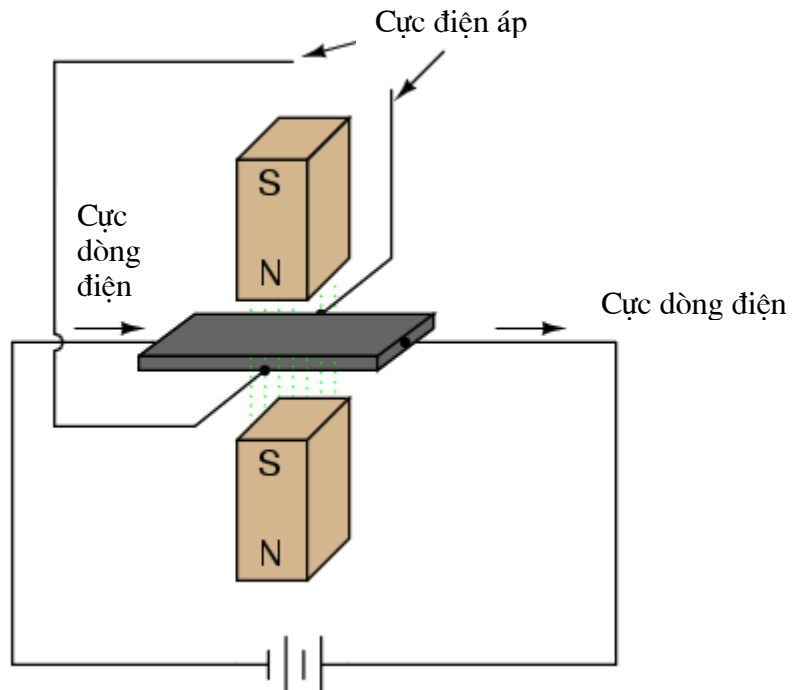
. Hiệu ứng quang điện từ: khi tác dụng một từ trường B vuông góc với bức xạ ánh sáng, trong vật liệu bán dẫn sẽ xuất hiện một hiệu điện thế theo hướng vuông góc với từ trường B và với hướng bức xạ ánh sáng.

**+ Hiệu ứng Hall**

Trong vật mỏng (thường làm bằng bán dẫn) có dòng điện chạy qua đặt trong từ trường B có phương tạo thành góc  $\theta$  với dòng điện I, sẽ xuất hiện một hiệu điện thế  $V_H$  theo hướng vuông góc với B và I.  $V_H$  được tính theo công thức sau:

$$V_H = K_H . I . B . \sin \theta$$

với  $K_H$  là hệ số phụ thuộc vào vật liệu và kích thước hình học của mẫu  
Hiệu ứng Hall được ứng dụng đo công suất (xem ở phần sau) hoặc xác định vị



trí của vật chuyển động. Vật này được ghép nối cơ học với một thanh nam châm. Vị trí của nam châm sẽ xác định từ trường B và  $\theta$ , nghĩa là  $V_H$  là hàm phụ thuộc vào vị trí của vật trong không gian.



## II. AMPE KẾ MỘT CHIỀU

Ampe kế một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Như đã biết, độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quấn bằng dây có tiết diện bé nên khả năng chịu dòng rất kém. Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng  $10^{-4}$  đến  $10^{-2}$  A; điện trở của cuộn dây từ  $20\Omega$  đến  $2000\Omega$  với cấp chính xác 1,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05

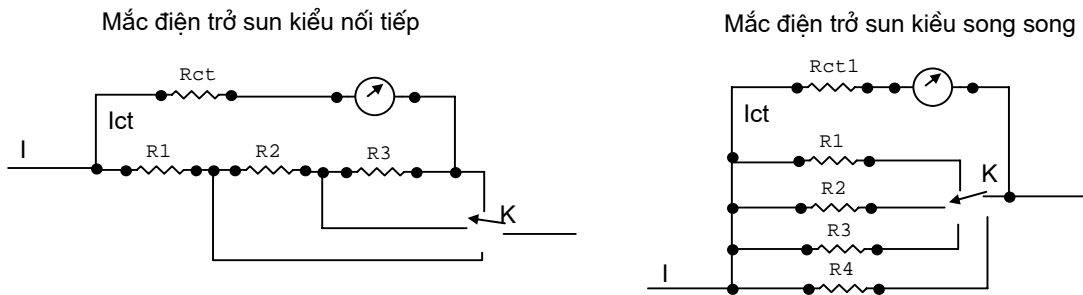
Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị có giá trị như sau:

$$R_s = \frac{R_{CT}}{n-1} \quad \text{với } n = \frac{I}{I_{CT}} \text{ gọi là hệ số mở rộng thang đo của ampe}$$

kế

$I$  là dòng cần đo và  $I_{CT}$  là dòng cực đại mà cơ cấu chịu đựng được (độ lệch cực đại của thang đo)

**Chú ý:** Khi đo dòng nhỏ hơn 30A thì điện trở sun nằm ngay trong vỏ của ampe kế còn khi đo dòng lớn hơn thì điện trở sun như một phụ kiện kèm theo. Khi ampe kế có nhiều thang đo người ta mắc sun như sau:



Việc tính điện trở sun ứng với dòng cần đo được xác định theo công thức như trên nhưng với  $n$  khác nhau.

ở hình a)

$$R_{S1} = R1 = \frac{R_{ct} + R2 + R3}{n1 - 1} \quad \text{với } n1 = \frac{I1}{I_{CT}}$$

$$R_{S2} = R1 + R2 = \frac{R_{ct} + R3}{n2 - 1} \quad \text{với } n2 = \frac{I2}{I_{CT}}$$

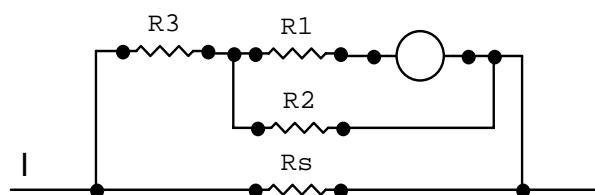
$$R_{S3} = R1 + R2 + R3 = \frac{R_{ct}}{n3 - 1} \quad \text{với } n3 = \frac{I3}{I_{CT}}$$

ở hình b)

$$\begin{aligned}
 R_{S1} &= \frac{R_{CT}}{n1-1} & n1 &= \frac{I1}{I_{CT}} \\
 R_{S2} &= \frac{R_{CT}}{n2-1} & n2 &= \frac{I2}{I_{CT}} \\
 R_{S3} &= \frac{R_{CT}}{n3-1} & n3 &= \frac{I3}{I_{CT}} \\
 R_{S4} &= \frac{R_{CT}}{n4-1} & n4 &= \frac{I4}{I_{CT}}
 \end{aligned}
 \quad \text{với}$$

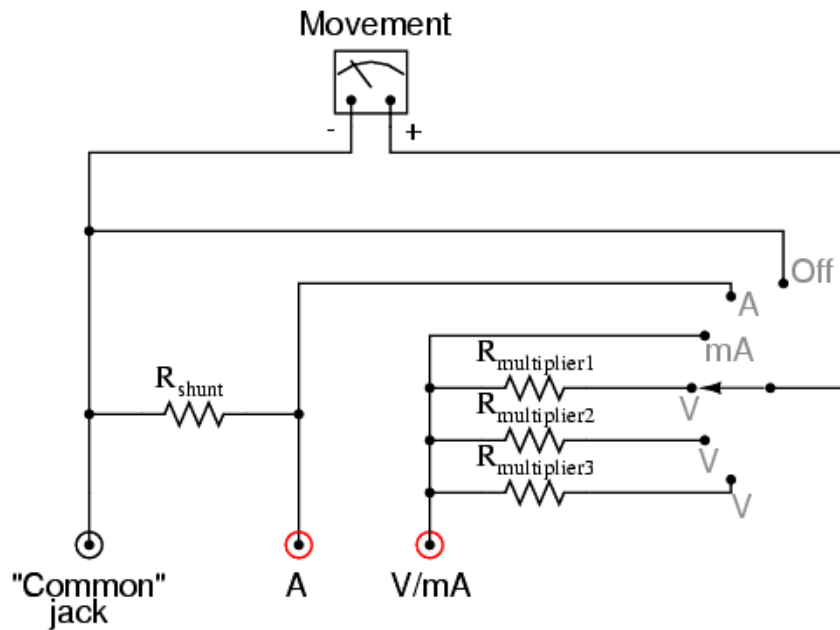
Chú ý: điện trở sun được chế tạo bằng Manganin có độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu đo ít nhất là 1 cấp

Do cuộn dây động của cơ cấu chỉ thị được quấn bằng dây đồng mảnh, điện trở của nó thay đổi đáng kể khi nhiệt độ của môi trường thay đổi và sau một thời gian làm việc bản thân dòng điện chạy qua cuộn dây cũng tạo ra nhiệt độ. Để giảm ảnh hưởng của sự thay đổi điện trở cuộn dây khi nhiệt độ thay đổi, người ta mắc thêm điện trở bù bằng Manganin hoặc Constantan với sơ đồ như sau:

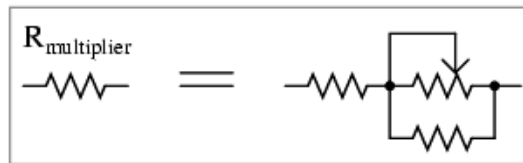


R1, 3: điện trở bằng Mr  
R2: điện trở bằng Cu

Dưới đây là ví dụ thực tế của một sơ đồ mắc điện trở sun của một dụng cụ đo cả dòng và áp



" $R_{multiplier}$ " resistors are actually rheostat networks



**Một số bài tập minh họa**

Ví dụ 1: Một dụng cụ từ điện có dòng cực đại qua chỉ thị là  $100\mu A$  và điện trở cuộn dây  $R_{CT} = 1k\Omega$ . Tính điện trở sun cần thiết để biến dụng cụ thành 1 ampe kế có độ lệch thang đo 100mA và độ lệch thang đo 1A.

**Bài giải:**

+ Độ lệch thang đo 100mA

$$V_{CT} = R_{CT} \cdot I_{CT} = 1k\Omega \cdot 100\mu A = 100mV$$

$$I_S = I - I_{CT} = 100mA - 100\mu A = 99,9mA$$

$$R_S = \frac{V_{CT}}{I_S} = \frac{100}{99,9} = 1,001\Omega$$

+ Độ lệch thang đo 1A

$$V_{CT} = R_{CT} \cdot I_{CT} = 1k\Omega \cdot 100\mu A = 100mV$$

$$I_S = I - I_{CT} = 1A - 100\mu A = 999,9mA$$

$$R_S = \frac{V_{CT}}{I_S} = \frac{100}{999,9} = 0,10001\Omega$$

Ví dụ 2: Một ampe kế từ điện có dòng điện cực đại chạy qua chỉ thị là 0,1mA; điện trở khung dây chỉ thị  $R_{CT} = 99\Omega$ . Điện trở sun  $R_s = 1\Omega$ . Xác định dòng đo được khi kim của ampe kế ở vị trí:

+ Lệch toàn thang đo

+ Lệch 1/2 thang đo

+ Lệch 1/4 thang đo

**Bài giải:**

+ Lệch toàn thang đo

$$I_{CT} = 0,1mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 9,9 \cdot 10^{-3} V = 9,9mV$$

$$I_s = \frac{U_{CT}}{R_s} = \frac{9,9 \cdot 10^{-3}}{1} = 9,9 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_s = 0,1 + 9,9 = 10mA$$

+ Lệch 1/2 thang đo

$$I_{CT} = \frac{0,1}{2} = 0,05mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 4,95 \cdot 10^{-3} V$$

$$I_s = \frac{U_{CT}}{R_s} = \frac{4,95 \cdot 10^{-3}}{1} = 4,95 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_s = \frac{0,1}{2} + 4,95 = 5mA$$

+ Lệch 1/4 thang đo

$$I_{CT} = \frac{0,1}{4} = 0,025mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,025 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 2,475 \cdot 10^{-3} V = 2,475mV$$

$$I_s = \frac{U_{CT}}{R_s} = \frac{2,475 \cdot 10^{-3}}{1} = 2,475 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_s = \frac{0,1}{4} + 2,475 = 2,5mA$$

Ví dụ 3: một ampe có 3 thang đo với các điện trở sun  $R_1=0,05\Omega$ ;  $R_2=0,45\Omega$ ;  $R_3=4,5\Omega$  mắc nối tiếp.  $R_{CT}=1k\Omega$ ;  $I_{CT}=50\mu A$

Tính giá trị dòng cực đại qua chỉ thị trong 3 trường hợp đó.

**Bài giải:**

+ Khi khoá K ở vị trí I3

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 = 5\Omega$$

$$I_s = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_s} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{5} = 10mA$$

khả năng đo của ampe kế là 10mA

+ Khi khoá K ở vị trí I2

$$R_s = R_1 + R_2 = 0,5\Omega$$

$$I_s = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_s} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot (4,5 + 10^3)}{0,5} = 100mA$$

khoảng đo của ampe kế là 100mA

+ Khi khoá K ở vị trí I1

$$R_s = R_1 = 0,05\Omega$$

$$I_s = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_s} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot (0,45 + 4,5) \cdot 10^3}{5} = 1A$$

khoảng đo của ampe kế là 1A

Ví dụ 4: Một miliampe kế từ điện có thang đo 150 vạch với giá trị độ chia là  $C=0.1mA$ ;  $R_{ct} = 100\Omega$ . Tính giá trị  $R_s$  để đo được các giá trị dòng tối đa là 1A, 2A và 3A

**Bài giải:**

Miliampe kế có dòng qua chỉ thị khi kim chỉ mức cực đại (còn gọi là tại độ lệch toàn thang - ĐLTT) là  $I_{ct} = \text{số vạch} \times \text{độ chia} = 150 \times 0.1 = 15 \text{ mA}$

+ Để đo dòng 1A cần sử dụng  $R_{s1}$  có giá trị như sau:

$$R_{s1} = \frac{R_{ct} \cdot I_{ct}}{I_{s1}} = \frac{R_{ct} \cdot I_{ct}}{I_1 - I_{ct}} = \frac{100 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{1 - 15 \cdot 10^{-3}} = 1.52\Omega$$

+ Để đo dòng 2A cần sử dụng  $R_{s2}$  có giá trị như sau:

$$R_{s2} = \frac{R_{ct} \cdot I_{ct}}{I_{s2}} = \frac{R_{ct} \cdot I_{ct}}{I_2 - I_{ct}} = \frac{100 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{2 - 15 \cdot 10^{-3}} = 0.76\Omega$$

+ Để đo dòng 5A cần sử dụng  $R_{s3}$  có giá trị như sau:

$$R_{s3} = \frac{R_{ct} \cdot I_{ct}}{I_{s3}} = \frac{R_{ct} \cdot I_{ct}}{I_3 - I_{ct}} = \frac{100 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{5 - 15 \cdot 10^{-3}} = 0.3\Omega$$

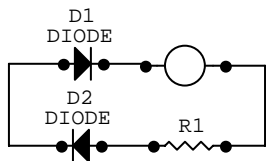


### III. AMPEMET XOAY CHIỀU

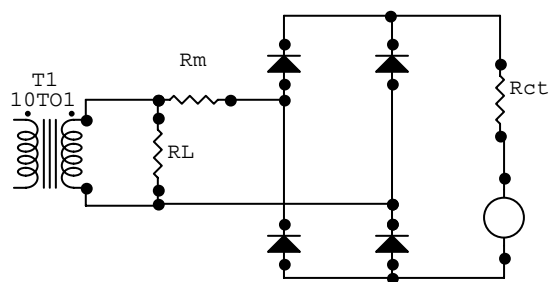
Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng ampemet từ điện chỉnh lưu, ampemet điện từ, và ampemet điện động.

#### 1. Ampemet chỉnh lưu

Là dụng cụ đo dòng điện xoay chiều kết hợp giữa cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diode



*Chỉnh lưu nửa chu kỳ*



*Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ*

Biến áp sử dụng là loại biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là  $W_1$  và  $W_2$ . Khi đó tỉ số dòng thứ cấp trên dòng sơ cấp được tính bằng:

Kim chỉ thị dừng ở vị trí chỉ dòng trung bình qua cuộn dây động

$R_L$  được chọn để gánh phần dòng dư thừa giữa  $I_{2trb}$  và  $I_{ct}$

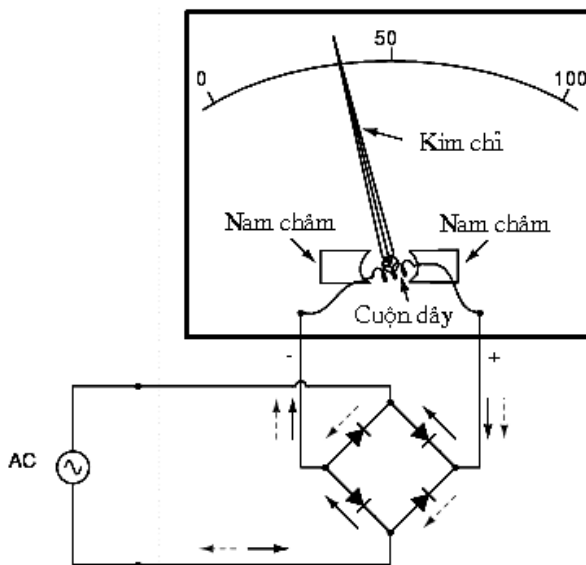
Mối quan hệ giữa dòng đỉnh  $I_p$ , dòng trung bình  $I_{trb}$  và dòng trung bình bình phương  $I_{rms}$  của sơ đồ mạch chỉnh lưu cấu như sau:

$$I_{trb} = 0,637.I_p$$

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 0,707.I_p$$

$$I_{rms} = 1,11.I_{trb}$$

Chú ý: giá trị dòng mà kim chỉ thị dừng là giá trị dòng trung bình nhưng thang khắc độ thường theo giá trị rms.



Ví dụ: Một ampe kế chỉnh lưu hai nửa chu kỳ (sơ đồ như hình trên) có ĐLTT với dòng sơ cấp là 250mA. Máy đo TĐNCVC có ĐLTT là 1mA;  $R_{ct}$  là 1,7kΩ. Biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là 500 và 4 vòng; sụt áp trên diode là 0,7V;  $R_m$  là 20kΩ.

Xác định  $R_L$

**Bài giải:**

$$R_L = \frac{U_{2rms}}{I_L rms}$$

$$U_{2rms} = 0,707.U_{2p}$$

$$U_{2p} = I_{2p} \cdot (R_m + R_{ct}) + 2.V_D$$

$$I_{2p} = \frac{I_{trb}}{0,637} = \frac{1mA}{0,637} = 1,57mA$$

$$\Rightarrow U_{2rms} = 0,707(1,57mA \cdot 21,7k\Omega + 2 \cdot 0,7) = 25,08V$$

$$I_L rms = I_{2rms} - I_{ct} rms$$

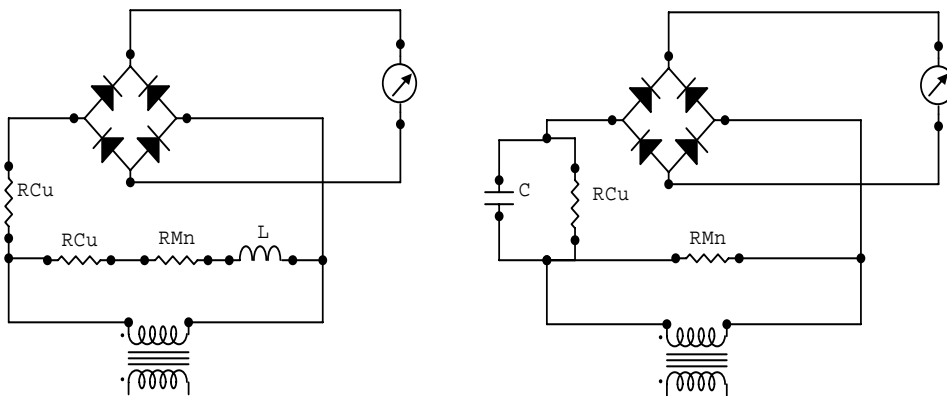
$$I_{2rms} = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_{1rms} = \frac{4}{500} \cdot 250mA = 2mA$$

$$I_{ct} rms = 1,11 \cdot I_{ct} trb = 1,11 \cdot 1mA = 1,11mA$$

$$\Rightarrow I_L rms = 2 - 1,11 = 0,89mA$$

$$\Rightarrow R_L = \frac{25,08V}{0,89mA} = 28,18k\Omega$$

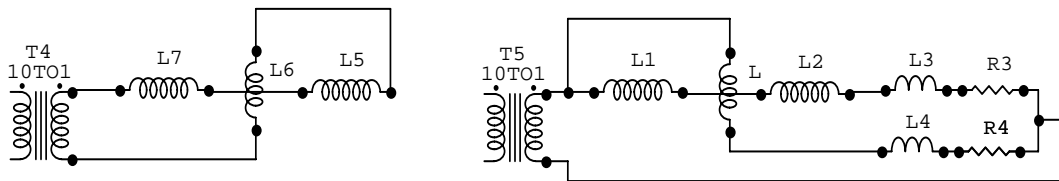
Chú ý: Nói chung các ampe kế chỉnh lưu có độ chính xác không cao (từ 1 tới 1,5) do hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ và thay đổi theo tần số. Có thể sử dụng sơ đồ bù sai số do nhiệt và do tần số cho ampe kế chỉnh lưu như sau:



## 2. Ampemet điện động

Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 0,2)

Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song.



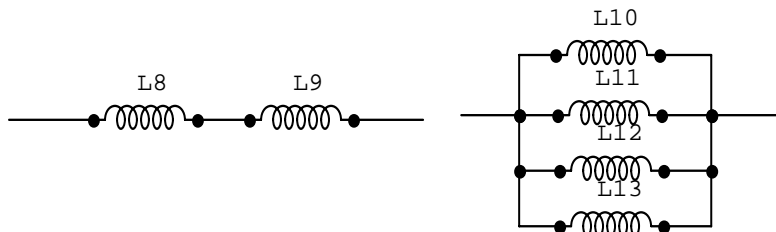
Trong đó các điện trở và cuộn dây (L3, R3), (L4, R4) là để bù sai số do nhiệt (thường làm bằng manganin hoặc constantan) và sai số do tần số (để dòng qua hai cuộn tĩnh và cuộn động trùng pha nhau)

Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với  $I^2$  nên máy đo chỉ giá trị rms. Giá trị rms của dòng xoay chiều có tác dụng như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể đọc thang đo của dụng cụ như dòng một chiều hoặc xoay chiều rms.

### 3. Ampemet điện từ

Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng xác định (I.W là một hằng số)

Khi đo dòng có giá trị nhỏ người ta mắc các cuộn dây nối tiếp và khi đo dòng lớn người ta mắc các cuộn dây song song.



### 4. Ampemet nhiệt điện

Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện.

Cặp nhiệt điện (hay còn gọi là cặp nhiệt ngẫu) gồm 2 thanh kim loại khác loại được hàn với nhau tại một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ  $t_1$ ), hai đầu kia nối với milivon kế gọi là đầu tự do (nhiệt độ  $t_0$ ).

Khi nhiệt độ đầu làm việc  $t_1$  khác nhiệt độ đầu tự do  $t_0$  thì cặp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

$$Et = k_1 \cdot \theta^0$$

$$\theta^0 = t_1 - t_0$$

Khi dùng dòng  $I_x$  để đốt nóng đầu  $t_1$  thì:

$$\theta^0 = k_2 \cdot I_x^2$$

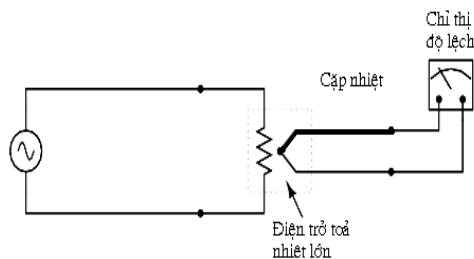
$$\Rightarrow Et = k_1 \cdot k_2 \cdot I_x^2 = k \cdot I_x^2$$

Như vậy kết quả hiển thị trên milivon kế tỉ lệ với dòng cần đo

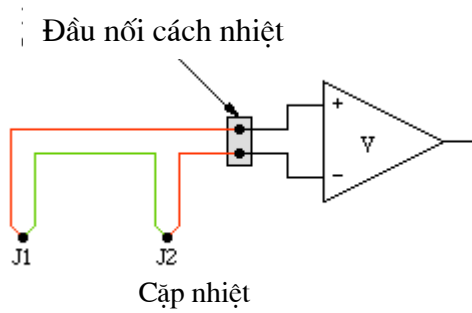
Vật liệu để chế tạo cặp nhiệt điện

có thể là sắt – constantan; đồng – constantan; crom – alumen và platin – platin/rodi  
Ampemet nhiệt điện có sai lớn do tiêu hao công suất, khả năng chịu quá tải kém nhưng có thể đo ở dải tần rất rộng từ một chiều tới hàng MHz.

Thông thường để tăng độ nhạy của cặp nhiệt, người ta sử dụng một bộ khuếch đại áp như sơ đồ dưới đây:



J1, J2 là 2 đầu đo nhiệt



**Chú ý:** Để đo giá trị điện áp của nguồn xoay chiều người ta cũng làm như trên vì khi đó nhiệt độ đo được tỉ lệ với dòng qua điện trở nhiệt mà dòng này lại tỉ lệ với áp trên hai đầu điện trở, do vậy cũng xác định được giá trị của điện áp thông qua giá trị nhiệt độ. Đây chính là nguyên tắc để chế tạo Vôn kế nhiệt điện

## CHƯƠNG 4:

### ĐO ĐIỆN ÁP

#### I. MỞ ĐẦU

Dụng cụ dùng để đo điện áp gọi là Vôn kế hay Vôn met (Voltmeter)



Ký hiệu là

Khi đo điện áp bằng Vôn kế thì Vôn kế luôn được mắc song song với đoạn mạch cần đo như hình dưới đây

Khi chưa mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_t = \frac{E}{R_t + R_{ng}} \cdot R_t$$

Khi mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_v = \frac{E}{R_e + R_{ng}} \cdot R_e$$

$$R_e = R_v // R_t = \frac{R_v \cdot R_t}{R_v + R_t}$$

Vậy sai số của phép đo điện áp bằng Vôn kế là:

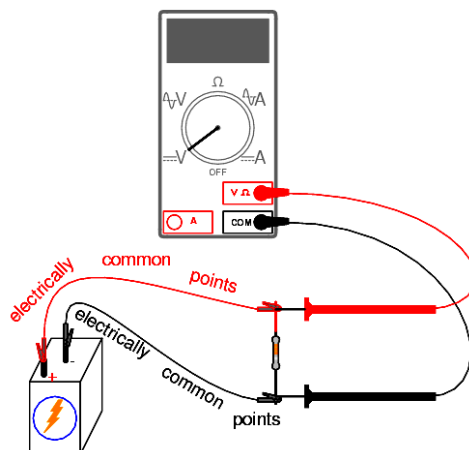
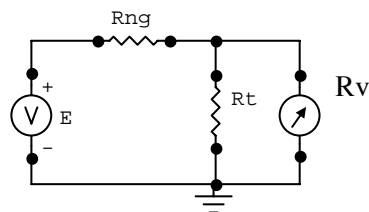
$$\gamma_u = \frac{U_t - U_v}{U_t} = 1 - \frac{U_v}{U_t} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{R_t \cdot R_{ng}}{R_v(R_t + R_n)}}$$

Như vậy, muốn sai số nhỏ thì yêu cầu  $R_v$  phải càng lớn càng tốt và lý tưởng là  $R_v \approx \infty$

Kết quả đo nếu muốn tính chính xác thì phải sử dụng công thức:

$$U_v = (1 + \gamma_u) \cdot U_t$$

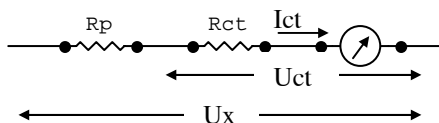
Để đo điện áp của một phân tử nào đó người ta mắc Vôn kế như hình bên:



#### II. VÔN KẾ MỘT CHIỀU

##### Nguyên tắc hoạt động

Độ lệch của dụng cụ đo TĐNCVC tỉ lệ với dòng qua cuộn dây động. Dòng qua cuộn dây tỉ lệ với điện áp trên cuộn dây nên thang đo của máy đo TĐNCVC có thể được chia để chỉ điện áp. Nghĩa là, Vôn kế chỉ là ampe kế dòng rất nhỏ với điện trở rất lớn. Điện áp định mức của chỉ thị vào khoảng 50 – 75mV nên cần nối tiếp nhiều điện trở phụ (còn gọi là điện trở nhân) với chỉ thị để làm tăng khoảng đo của Vôn kế. Sơ đồ mắc như sau:



trong đó:

$$I_{ct} = \frac{U_{ct}}{R_{ct}} = \frac{U_x}{R_p + R_{ct}}$$

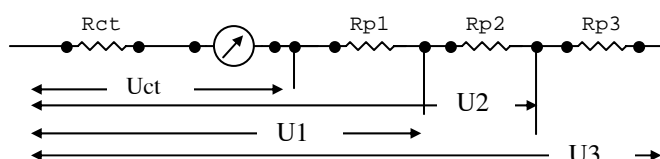
$$\Rightarrow (R_p + R_{ct}).U_{ct} = R_{ct}.U_x$$

$$\Rightarrow R_p = R_{ct} \cdot \frac{U_x - U_{ct}}{U_{ct}} = R_{ct} \left( \frac{U_x}{U_{ct}} - 1 \right) = (m - 1).R_{ct}$$

với  $m = \frac{U_x}{U_{ct}}$  gọi là hệ số mở rộng thang đo về áp

Vôn kế nhiều thang đo thì các điện trở phụ được mắc như sau:

Sơ đồ mắc nối tiếp:  
Trong đó:



$$m1 = \frac{U1}{U_{ct}}$$

$$R_{p1} = R_{ct}(m1 - 1)$$

$$R_{p1} + R_{p2} = R_{ct}(m2 - 1) \quad \text{với}$$

$$m2 = \frac{U2}{U_{ct}}$$

$$R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} = R_{ct}(m3 - 1)$$

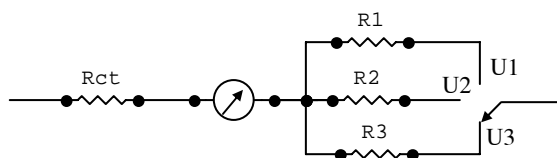
$$m3 = \frac{U3}{U_{ct}}$$

Hoặc sơ đồ mắc song song:

$$R1 = R_{ct}(m1 - 1)$$

$$R2 = R_{ct}(m2 - 1) \quad \text{với}$$

$$R3 = R_{ct}(m3 - 1)$$



$$m1 = \frac{U1}{U_{ct}}$$

$$m2 = \frac{U2}{U_{ct}}$$

$$m3 = \frac{U3}{U_{ct}}$$

Ví dụ: Một dụng cụ đo ĐĐNCVC với ĐLTT là  $100\mu\text{A}$  và  $R_{ct} = 1\text{k}\Omega$  được sử dụng để làm Vôn kế.

+ Xác định điện trở nhân cần thiết nếu muốn đo điện áp 100 V trên toàn thang.

+ Tính điện áp đặt vào khi kim chỉ 3/4; 1/2 và 1/4 ĐLTT

**Bài giải:**

+ Để đo điện áp 100V trên toàn thang thì phải sử dụng điện trở  $R_p$  có giá trị như sau:

$$R_p = R_{ct} \cdot (m - 1)$$

$$\text{Với } m = \frac{U}{U_{ct}} = \frac{U}{I_{ct} \cdot R_{ct}} = \frac{100}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} = 1000$$

$$\Rightarrow R_p = (1000 - 1) \cdot 1\text{k}\Omega = 999\text{k}\Omega$$

+ Với ĐLTT  $I_{ct} = 100\mu\text{A}$

$$3/4 \text{ ĐLTT sẽ có } U_x = \frac{3}{4} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 75V$$

$$1/2 \text{ ĐLTT sẽ có } U_x = \frac{1}{2} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 50V$$

$$1/4 \text{ ĐLTT sẽ có } U_x = \frac{1}{4} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 25V$$

Nhân xét: thang đo có vạch chia đều (tính chất của cơ cấu từ điện)

### III. VÔN KẾ XOAY CHIỀU

#### 1. Vôn kế từ điện đo điện áp xoay chiều

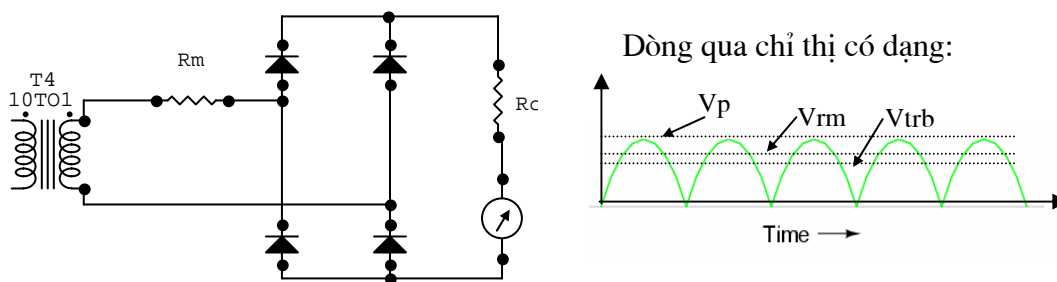
Sử dụng cơ cấu từ điện thì dụng cụ có tính phân cực và phải mắc đúng sao cho độ lệch dương (trên thang đo).

Khi dòng xoay chiều có tần số rất thấp chạy qua dụng cụ TĐNCVC thì kim có xu hướng chỉ theo giá trị tức thời của dòng xoay chiều. Như vậy, khi giá trị dòng tăng theo chiều + thì kim cũng tăng tới giá trị cực đại sau đó giảm tới 0 và xuống bán kỳ âm thì kim sẽ bị lệch ngoài thang đo. Trường hợp này xảy ra khi tần số của dòng xoay chiều cỡ 0,1Hz hoặc thấp hơn.

Khi dòng xoay chiều có tần số công nghiệp (50 / 60Hz) hoặc cao hơn thì cơ cấu làm nhụt và quán tính chuyển động của cơ cấu động (toàn máy đo) không biến đổi theo mức dòng tức thời mà thay vào đó kim của dụng cụ sẽ dừng ở vị trí trung bình của dòng chạy qua cuộn động. Với sóng sin thuần túy kim lệch sẽ ở vị trí zero mặc dù dòng Irms có thể có giá trị khá lớn và có khả năng gây hỏng dụng cụ.

Do đó, để sử dụng dụng cụ TĐNCVC làm thành dụng cụ đo xoay chiều người ta phải sử dụng các bộ chỉnh lưu (nửa sóng hoặc toàn sóng) để các giá trị của dòng chỉ gây ra độ lệch dương.

##### a. Sơ đồ chỉnh lưu cầu



Trong đó đối với sóng đầu vào hình sin thì các giá trị điện áp được tính như sau:

$$V_{rms} = 0,707 \cdot V_p$$

$$V_{trb} = 0,637 \cdot V_p$$

$$V_{rms} = 1,11 \cdot V_{trb}$$

với  $V_p$  là giá trị đỉnh,  $V_{rms}$  là giá trị trung bình bình phương và  $V_{trb}$  là giá trị trung bình

Với các sóng không phải dạng sin thì các công thức sẽ khác vì khi đó phải tính thêm các yếu tố hình dạng.

Ví dụ: Một dụng cụ đo TĐNCVC với ĐLTT là  $100\mu\text{A}$  và  $R_{ct} = 1\text{k}\Omega$  được dùng như một Vôn kế xoay chiều có ĐLTT là  $100\text{V}$  bằng cách sử dụng sơ đồ chỉnh lưu cầu diode như hình trên.

- + Xác định giá trị của điện trở nhân cần thiết
- + Xác định số chỉ của kim khi điện áp vào  $V_{rms}$  là  $75\text{V}$  và  $50\text{V}$
- + Tính độ nhạy của Vôn kế trên

**Bài giải:**

+ Xác định điện trở nhân  
 điện trở toàn phần của mạch = (điện áp đỉnh đặt vào - độ sụt áp chỉnh lưu)/dòng đỉnh chạy trong mạch

ĐLTT của cơ cấu chỉ thị TĐNCVC là  $100\mu\text{A} \Rightarrow I_{trb} = 100\mu\text{A}$

ĐLTT của Vôn kế là  $100\text{V} \Rightarrow V_{rms} = 100\text{V}$

Từ đó ta có công thức tính các đại lượng liên quan là:

$$V_p = V_{rms} / 0,707 = 100\text{V} / 0,707 = 141,44\text{V}$$

$$V_D = 0,7\text{V} \text{ (giả sử mạch cầu sử dụng diode Si)}$$

$$I_p = I_{trb} / 0,637 = 156,99\mu\text{A}$$

$$\Rightarrow R_m + R_{ct} = \frac{V_p - 2.V_D}{I_p} = \frac{141,44 - 2.0,7}{156,99.10^{-6}} = 892.10^3 \Omega$$

vì  $R_{ct} = 1\text{k}\Omega \Rightarrow R_m = 892 - 1 = 891\text{k}\Omega$

+ Xác định số chỉ của kim, nghĩa là xác định giá trị dòng trung bình ứng với các điện áp đầu vào là  $75\text{V}$  và  $50\text{V}$

Khi điện áp đầu vào là  $75\text{V}$  ta có:

$$V_p = \sqrt{2}.V_{rms} = \sqrt{2}.75$$

$$\Rightarrow I_{trb} = 0,637.I_p = 0,637 \cdot \frac{V_p - 2.V_D}{R_m + R_{ct}} = 0,637 \cdot \frac{\sqrt{2}.75 - 2.0,7}{\sqrt{2}.100 - 2.0,7} \cdot \frac{100\mu\text{A}}{0,637} \approx 75\mu\text{A}$$

Khi điện áp đầu vào là  $50\text{V}$  ta có:

$$V_p = \sqrt{2}.V_{rms} = \sqrt{2}.50$$

$$\Rightarrow I_{trb} = 0,637.I_p = 0,637 \cdot \frac{V_p - 2.V_D}{R_m + R_{ct}} = 0,637 \cdot \frac{\sqrt{2}.50 - 2.0,7}{\sqrt{2}.100 - 2.0,7} \cdot \frac{100\mu\text{A}}{0,637} \approx 50\mu\text{A}$$

+ Tính độ nhạy của Vôn kế

độ nhạy =  $1 /$  giá trị dòng rms trên toàn thang đo = điện trở của Vôn kế / giá trị điện áp rms trên toàn thang đo

Vôn kế trên có dòng trb ứng với ĐLTT là  $100\mu\text{A}$

$$\Rightarrow I_{rms} = 1,11.I_{trb} = 1,11.100\mu\text{A} = 111\mu\text{A}$$

$$\Rightarrow \text{độ nhạy của Vôn kế là } 1 / 111\mu\text{A} = 9.009\text{k}\Omega/\text{V}$$

Có thể tính cách khác như sau:

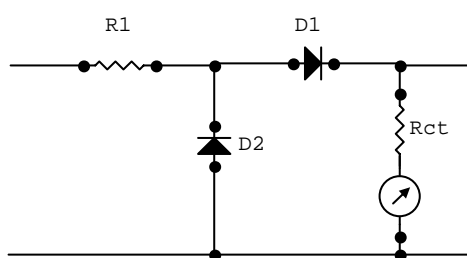
$$V_{rms} = 100\text{V}$$

$$R_v = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{100}{1,11.100.10^{-6}}$$

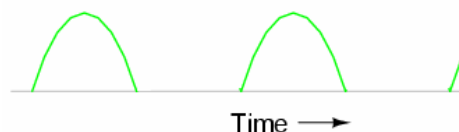
$$\text{độ nhạy} = \frac{R_v}{V_{rms}} = 90.9\text{k}\Omega/\text{V}$$

**b. Sơ đồ chỉnh lưu nửa sóng**





Dòng qua chỉ thị có dạng:



Khi đó ta có mối liên hệ giữa các đại lượng như sau:

$$I_{trb} = \frac{1}{2} \cdot 0,637 \cdot I_p$$

$$I_{rms} = \frac{1}{2} \cdot I_p$$

Ví dụ :

Một dụng cụ TĐNCVC với ĐLTT là  $50 \mu A$  và  $R_{ct} = 1,7 k\Omega$ . D1 phải có dòng thuận mình  $100 \mu A$  khi điện áp cần đo là 20% ĐLTT. Vôn kế chỉ  $50V$  tại toàn thang.

- + Xác định R1 và R2
- + Tính độ nhạy của Vôn kế ở trên khi có D2 và không có D2

Bài giải:

- + Xác định R2 và R1

$$I_{ct}(p) = \frac{2 \cdot I_{trb}}{0,637} = \frac{2 \cdot 50}{0,637} = 157 \mu A$$

$$I_{Dp} = \frac{100\%}{20\%} \cdot 100 = 500 \mu A = I_{ct} + I_2$$

$$\Rightarrow I_2 p = 500 - 157 = 343 \mu A$$

$$U_{ct}(p) = I_{ct}(p) \cdot R_{ct} = 157 \cdot 10^{-6} \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 266,9 \cdot 10^{-3} = 266,9 mV$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{U_{ct}}{I_2} = \frac{266,9}{343} \cdot 10^3 = 778 k\Omega$$

xét ở bán kỳ dương, D1 thông và D2 ngắt ta có:

dòng thuận đỉnh = (điện áp đỉnh -  $V_D$  -  $U_{ct}(p)$ ) / R1

$$U_{ct}(p) = 1,414 \cdot U_{ct}(rms) = 1,414 \cdot 50 = 70,7V$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{70,7 - 0,7 - 0,2669}{500 \cdot 10^{-6}} = 139,5 k\Omega$$

- + Tính độ nhạy

Khi có D2 ta có:

$$I_F(p) = 500 \mu A$$

$$I_R(p) = \frac{1,414 \cdot V_{rms} - V_D}{R_1} = \frac{1,414 \cdot 50 - 0,7}{139,5 \cdot 10^3} = 501,8 \mu A$$

Như vậy, cả hai bán kỳ thì dòng qua dụng cụ xấp xỉ nhau, do đó

$$I_{rms} = 0,707 \cdot 500 \mu A = 353,5 \mu A$$

$$\Rightarrow \text{độ nhạy} = 10^6 / 353,5 = 2,83 \text{ k}\Omega / \text{V}$$

Khi không có D2 ta có:

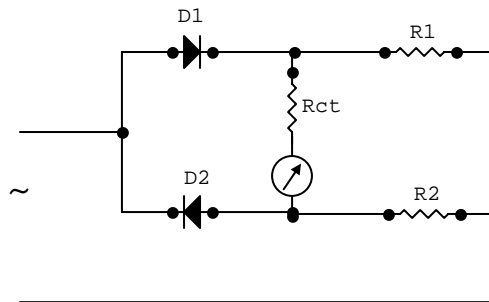
$$I_F(p) = 500 \mu A$$

$$I_R(p) = 0$$

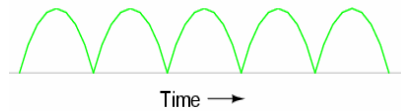
$$\Rightarrow I_{rms} = 0,5 \cdot I_F(p) = 250 \mu A$$

$$\Rightarrow \text{độ nhạy} = 10^6 / 250 = 4 \text{ k}\Omega / \text{V}$$

**c. Sơ đồ chỉnh lưu nửa cầu toàn sóng**



Dòng qua chỉ thị có dạng:



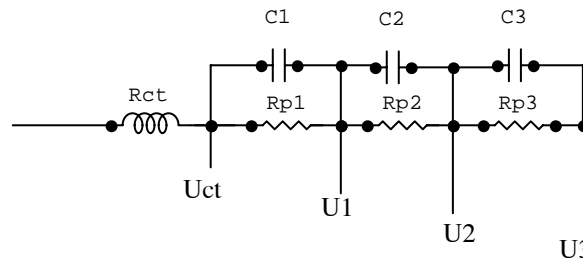
Sơ đồ trên chỉ sử dụng 2 diode (nửa cầu) nhưng cả 2 nửa chu kỳ đều có dòng qua máy đo. Tuy nhiên dòng qua diode khá lớn nên nó phải làm việc ở ngoài điểm uốn, nghĩa là có khả năng bù trừ những chênh lệch có thể xảy ra trong đặc tuyến của diode.

Chú ý: để bù sai số do nhiệt và khi tần số thay đổi người ta mắc thêm vào mạch các điện trở làm bằng đồng hoặc maganin để bù nhiệt kết hợp với cuộn cảm và tụ bù tần số.

**2. Vôn kế điện từ**

Là dụng cụ để đo điện áp xoay chiều tần số công nghiệp. Cuộn dây tĩnh có số vòng dây rất lớn từ 1000 – 6000 vòng. Để mở rộng thang đo người ta mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ.

Các tụ C được mắc song song với các điện trở phụ để bù sai số do tần số khi



tần số lớn hơn tần số công nghiệp.

### 3. Vôn kế điện động

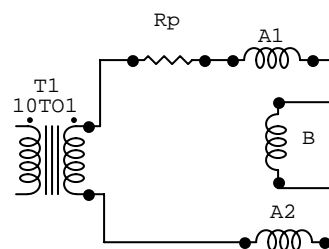
Cuộn kích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau và nối tiếp với cuộn động. Độ lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với  $I^2$  nên kim dừng ở giá trị trung bình của  $I^2$  tức giá trị tức thời rms.

#### Đặc điểm của Vôn kế điện động

+ Tác dụng của dòng rms giống như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể khác độ theo giá trị một chiều và dùng cho cả xoay chiều

+ Dụng cụ điện động thường đòi hỏi dòng nhỏ nhất là 100mA cho ĐLTT nên Vôn kế điện động có độ nhạy thấp hơn nhiều so với Vôn kế từ điện (chỉ khoảng  $10\Omega/V$ )

+ Để giảm thiểu sai số chỉ nên dùng ở khu vực tần số công nghiệp



## IV. ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG PHƯƠNG PHÁP SO SÁNH

### 1. Cơ sở lý thuyết

Các dụng cụ đo điện đã trình bày ở trên sử dụng có cấu cơ điện để chỉ thị kết quả đo nên cấp chính xác của dụng cụ không vượt quá cấp chính xác của chỉ thị. Để đo điện áp chính xác hơn người ta dùng phương pháp bù (so sánh với giá trị mẫu). Nguyên tắc cơ bản như sau:

+  $U_k$  là điện áp mẫu với độ chính xác rất cao được tạo bởi dòng điện  $I$  ổn định đi qua điện trở mẫu  $R_k$ . Khi đó:

$$U_k = I \cdot R_k$$

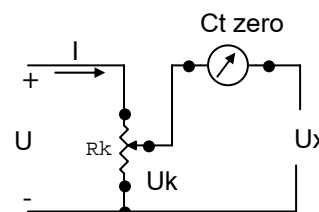
+ Chỉ thị là thiết bị phát hiện sự chênh lệch giữa điện áp mẫu  $U_k$  và điện áp cần đo  $U_x$

$$\Delta U = U_x - U_k$$

Khi  $\Delta U \neq 0$  điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu  $R_k$  sao cho  $U_x = U_k$ , nghĩa là làm cho  $\Delta U = 0$ ; chỉ thị chỉ zero.

+ Kết quả được đọc trên điện trở mẫu đã được khắc độ theo thứ nguyên điện áp.

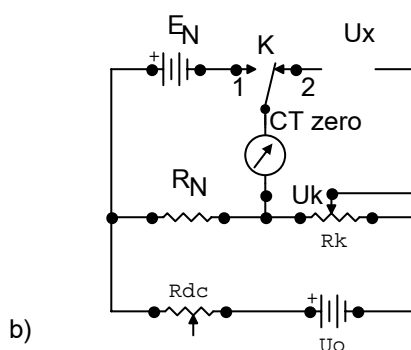
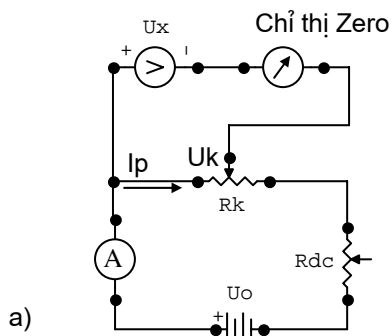
Chú ý: Các dụng cụ bù điện áp đều có nguyên tắc hoạt động như trên nhưng có thể khác nhau phần tạo điện áp mẫu  $U_k$



### 2. Điện thế kế một chiều

#### Sơ đồ mạch:

Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ a)



+ Xác định dòng công tác  $I_p$  nhờ nguồn điện áp  $U_0$ ,  $R_{dc}$  và Ampe kế.

+ Giữ nguyên giá trị của  $I_p$  trong suốt thời gian đo

+ Điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu  $R_k$  cho đến khi chỉ thị chỉ zero

+ Đọc kết quả trên điện trở mẫu, khi đó:  $U_x = U_k = I_p.R_k$

Trong sơ đồ a, vì sử dụng Ampe kế nên độ chính xác của điện thế kế không thể cao hơn độ chính xác của Ampe kế.

Người ta cải tiến mạch bằng cách sử dụng nguồn pin mẫu ( $E_N$ ) và điện trở mẫu ( $R_k$ ) có độ chính xác cao như ở hình b.

**Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ b)**

+ Khi K ở vị trí 1, điều chỉnh  $R_{dc}$  để chỉ thị chỉ zero.

$$\text{Khi đó: } I_p = \frac{E_N}{R_N}$$

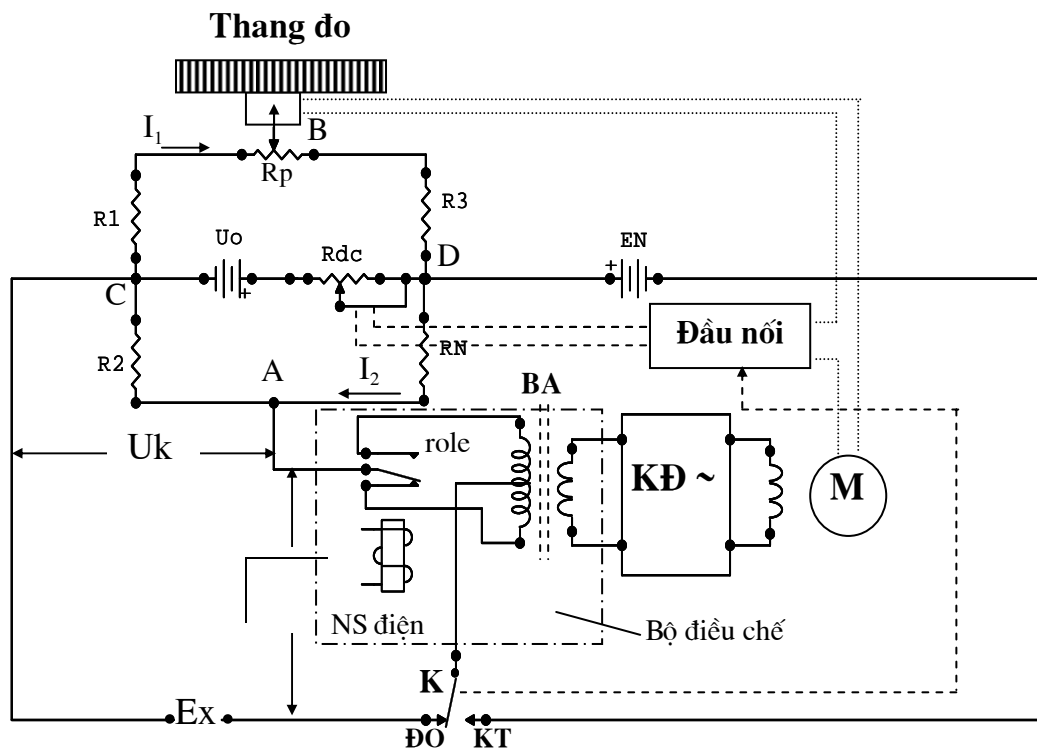
+ Giữ nguyên  $R_{dc}$  và chuyển K sang vị trí 2, điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu để chỉ thị về zero.

$$\text{Khi đó: } U_x = U_k = I_p.R_k = \frac{E_N}{R_N}.R_k$$

**Chú ý:** trên thực tế, người ta thường sử dụng điện thế kế một chiều tự động cân bằng (để đo sức điện động của các cặp nhiệt ngẫu đo nhiệt độ)

**Sơ đồ mạch của điện thế kế một chiều tự động cân bằng:**

Trong đó:



$R_N$ ,  $E_N$  là điện trở và nguồn điện mẫu có độ chính xác cao

$U_0$  là nguồn điện áp ổn định

Động cơ thuận nghịch hai chiều để điều chỉnh con chạy của  $R_p$  và  $R_{dc}$

Bộ điều chế làm nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều ( $\Delta U$ ) thành điện áp xoay chiều để điều khiển động cơ

**Hoạt động:**

+ Trước khi đo, khoá K được đặt ở vị trí  $KT$  (kiểm tra) khi đó dòng  $I_2$  qua điện trở mẫu  $R_N$  và  $\Delta U = E_N - I_2.R_N$

$\Delta U$  qua bộ điều chế để chuyển thành tín hiệu xoay chiều (role được điều khiển bởi nam châm điện nên có tần số đồng / cắt phụ thuộc vào dòng chạy trong nam châm điện). Tín hiệu xoay chiều này thường có giá trị rất nhỏ nên phải qua bộ khuếch đại để tăng tới giá trị đủ lớn có thể điều khiển động cơ thuận nghịch hai chiều. Động cơ này quay và kéo con chạy của Rđc để làm thay đổi  $I_2$  tới khi  $\Delta U = 0$ . Đồng thời nó cũng kéo con trượt của Rp về vị trí cân bằng.

+ Khi K ở vị trí ĐO ta có:  $\Delta U = E_x - U_k$

với  $U_k = I_1 (R_1 + R_{p1}) - I_2 \cdot R_2$

Nếu  $E_x > U_k$  thì động cơ sẽ kéo con chạy để tăng  $U_k$  tới khi  $\Delta U = 0$

Nếu  $E_x < U_k$  thì động cơ sẽ kéo con chạy để giảm  $U_k$  tới khi  $\Delta U = 0$

Vị trí của con chạy và kim chỉ sẽ xác định giá trị của  $E_x$

Ưu điểm của điện thế kế một chiều tự động cân bằng là tự động trong quá trình đo và có khả năng tự ghi kết quả trong một thời gian dài

### 3. Điện thế kế xoay chiều

Nguyên tắc hoạt động chung giống như điện thế kế một chiều, nghĩa là, cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng công tác chạy qua. Tuy nhiên, do không sử dụng pin mẫu mà sử dụng dòng xoay chiều nên việc điều chỉnh cho  $U_x$  và  $U_k$  bằng nhau là rất phức tạp.

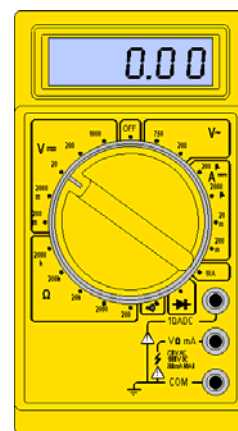
Muốn  $U_x$  và  $U_k$  cân bằng nhau thì phải thỏa mãn 3 điều kiện:

- +  $U_x$  và  $U_k$  cùng tần số
- +  $U_x$  và  $U_k$  bằng nhau về trị số
- +  $U_x$  và  $U_k$  ngược pha nhau ( $180^\circ$ )

## V. VÔN KẾ SỐ

Vôn kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo. Tùy thuộc vào phương pháp biến đổi người ta phân thành:

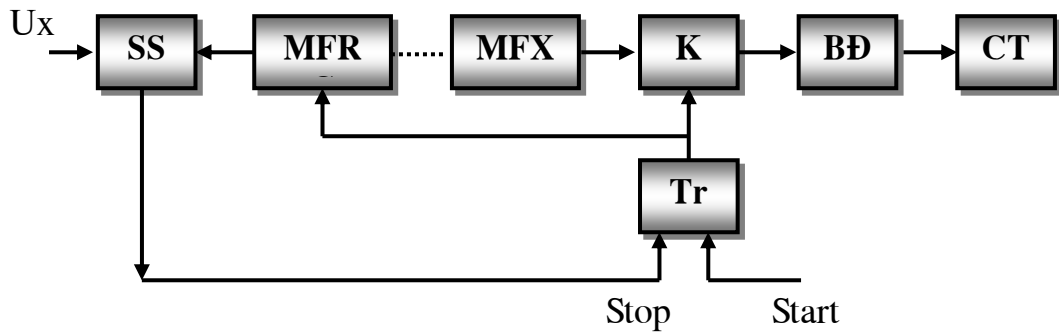
- + Vôn kế số chuyển đổi thời gian
- + Vôn kế số chuyển đổi tần số
- + Vôn kế số chuyển đổi bù



### 1. Vôn kế số chuyển đổi thời gian

Nguyên tắc hoạt động: Biến đổi điện áp cần đo ( $U_x$ ) thành khoảng thời gian (t) sau đó lắp đầy khoảng thời gian bằng các xung có tần số chuẩn ( $f_0$ ). Bộ đếm được dùng để đếm số lượng xung (N) tỉ lệ với  $U_x$  để suy ra  $U_x$ .

Sơ đồ khối:



Trong đó:

SS: Bộ so sánh

MFR: mạch phát tín hiệu răng cưa

MFX: mạch phát xung chuẩn tần số  $f_0$

Trigo: mạch lật

K: Khóa điện tử được điều khiển bởi trigo

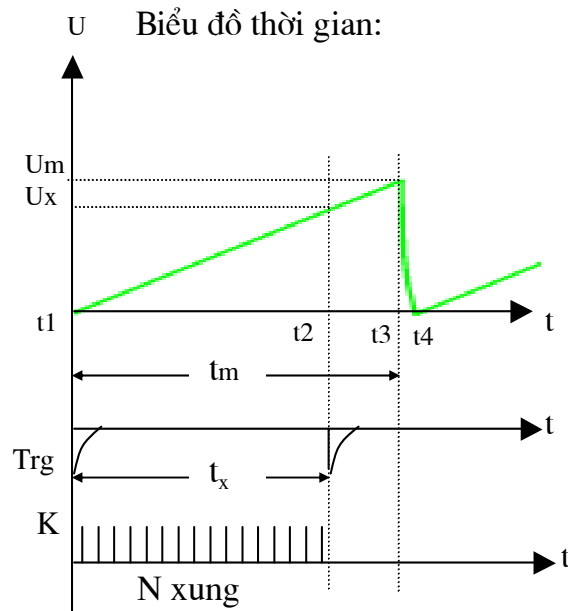
BĐ: bộ đếm

CT: bộ chỉ thị số (bao gồm cả mạch mã hoá, giải mã và hiển thị)

**Hoạt động:**

Khi mở máy (Start) xung khởi động tác động lên Trigo để mở khoá K và khởi động MFRC làm việc.

Tại thời điểm  $t_1$ , K mở thông để đưa xung tần số chuẩn từ MFX tới bộ đếm và chỉ thị số. Đồng thời, MFRC đưa điện áp mẫu  $U_k$  đến bộ so sánh để so sánh với điện áp cần đo.



Tới thời điểm  $t_2$  khi  $U_x = U_k$ , mạch so sánh đưa xung Stop tới trigo, trigo chuyển trạng thái làm đóng khoá K.

Trong suốt thời gian khoá K mở (từ  $t_1$  đến  $t_2$ ) bộ đếm đếm được  $N$  xung

$$N = \frac{t_2 - t_1}{T_0}$$

$$\Rightarrow N = f_0 \cdot t_x$$

với  $T_0$  là chu kỳ của xung chuẩn

$f_0 = 1 / T_0$  tần số của xung chuẩn

$t_x = t_2 - t_1$  thời gian đóng mở của khoá K

Mặt khác, từ biểu đồ điện áp ta có:

$$\frac{t_x}{t_m} = \frac{U_x}{U_m}$$

$$\Rightarrow U_x = t_x \cdot \frac{U_m}{t_m} = \frac{N \cdot U_m}{f_0 \cdot t_m} = C \cdot N$$

với  $t_m$ : thời gian lớn nhất để  $U_k = U_m$

$U_m$ : điện áp lớn nhất của xung do MFRC phát ra

Từ biểu thức trên ta thấy  $U_x$  tỉ lệ với số xung đếm được ( $C$  là hằng số)

**Chú ý:** sai số của dụng cụ chủ yếu là do:

+ Sai số lượng tử phụ thuộc vào  $t_x / T_0$

+ Sai số do MFRC không ổn định (tức làm thay đổi  $U_m$  và  $t_m$ , nghĩa là thay đổi hằng số  $C$ )

Thông thường Vôn met loại này có sai số  $\pm 0,05\%$

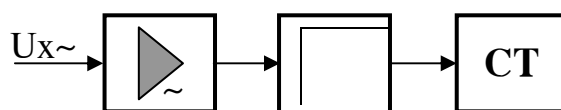
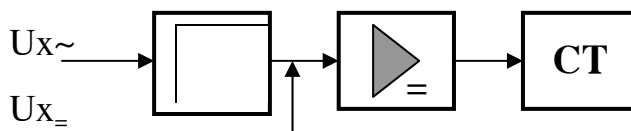
## 2. Vôn mét số chuyển đổi tần số

Nguyên tắc: Biến đổi điện áp cần đo  $U_x$  thành tần số  $f_x$ , sau đó đo tần số  $f_x$  để suy ra  $U_x$ .

## VI. VÔN MET VÀ AMPE MET ĐIỆN TỬ TƯƠNG TỰ

Ngày nay, nhờ sự phát triển của Kỹ thuật điện tử, các dụng cụ được kết hợp giữa các bộ khuếch đại (transistor hoặc khuếch đại thuật toán) với các chỉ thị cơ điện để khắc phục các nhược điểm của dụng cụ cơ điện thuần túy. Khi đó sẽ làm tăng độ nhạy, tăng điện trở đầu vào và có cấu trúc nhỏ gọn. Các thiết bị như vậy gọi là các thiết bị điện tử.

Sơ đồ khối của Vôn met và ampe met điện tử như sau:



Sơ đồ a) có thể đo dòng một chiều hoặc xoay chiều tần số từ 20Hz đến hàng MHz, tuy nhiên, độ ổn định của sơ đồ kém.

Sơ đồ b) có dải tần hạn chế nhưng tính ổn định cao.

### 1. Vôn met bán dẫn một chiều

Giả sử cho mạch như hình bên

$U_{cc} = 20V$ ;  $R_p = 9k\Omega$ ;  $R_{ct} = 0,3k\Omega$ ;

$h_{FE} = 100$

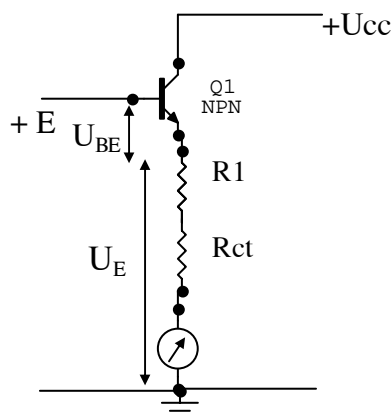
Chỉ thị thuộc loại TĐNCVC có ĐLTT là 1mA.

Xác định E là điện áp cần đo.

Rõ ràng qua chỉ thị ta sẽ xác định được dòng  $I_E = I_{ct}$

$$\Rightarrow E = U_{BE} + U_E = U_{BE} + I_{ct}(R_p + R_{ct})$$

$$\Rightarrow E = 0,7 + 9,3 \cdot 10^3 \cdot I_{ct}$$



Điện trở vào  $R_v$  của mạch trên có thể tính như sau:  $R_v = \frac{E_{max}}{I_B_{max}}$

ứng với ĐLTT ta có  $I_{ct} = 1mA \Rightarrow E_{max} = 0,7 + 9,3 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 10V$

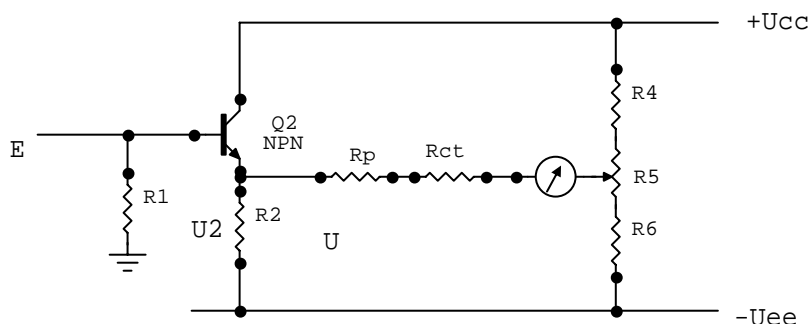
$$\text{và khi đó } I_B_{max} = \frac{I_E}{h_{FE}} = \frac{1mA}{100} = 10\mu A \quad \Rightarrow R_v = \frac{10}{10^{-5}} = 10^6 \Omega$$

Vậy nếu sử dụng làm Vôn kế thì mạch có điện trở vào khá lớn.

Tuy nhiên, sự bất ổn của  $U_{BE}$  khi nhiệt độ và dòng vào thay đổi sẽ gây sai số cho Vôn kế, do đó người ta thường sử dụng các sơ đồ sau đây:

Trong đó:

$$U_{cc} = +12V$$



$$U_{ee} = -12V$$

$R_1$  đảm bảo cho Bazo ở thế đất khi điện áp vào bằng 0

$R_4, R_5$  và  $R_6$  là bộ phân áp có  $U_p$  điều chỉnh được

$R_p$  là điện trở phụ mở rộng thang đo

+ Khi  $E = 0$  ta có:

$$U_B = 0$$

$$\Rightarrow U_E = U_B - U_{BE} = -U_{BE}$$

$$U_{R2} = U_E - U_{ee} = -U_{BE} - 12$$



Chiết áp R5 được điều chỉnh để  $U_p = -U_{BE}$  khi đó  $U = U_E - U_p = 0$  (kim chỉ về vị trí 0). Giữ nguyên vị trí của con chạy

+ Khi  $E \neq 0$  ta có:

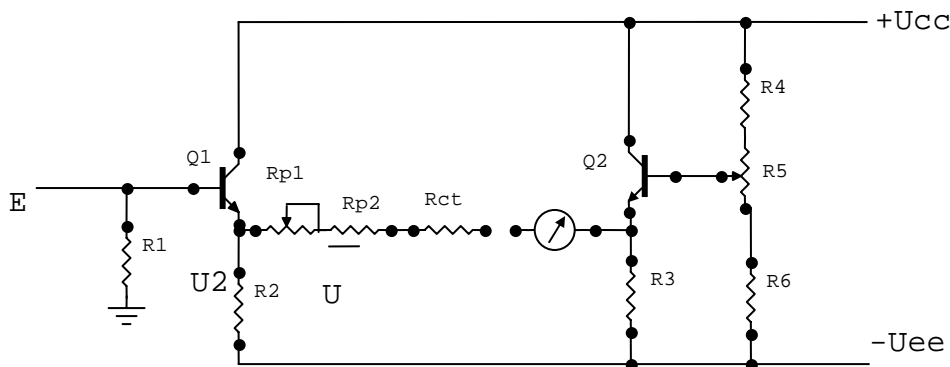
$$U_B = E$$

$$\Rightarrow U_E = U_B - U_{BE} = E - U_{BE}$$

$$\Rightarrow U = U_E - U_p = E - U_{BE} - (-U_{BE}) = E$$

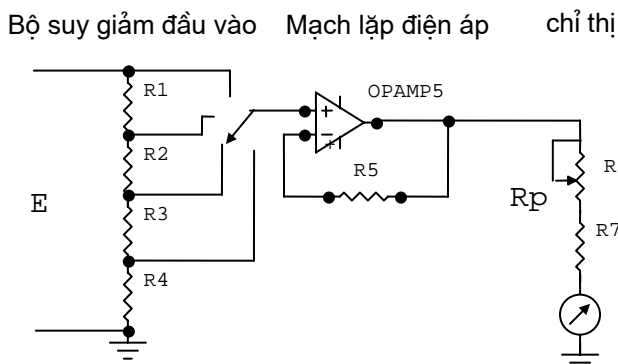
như vậy kim lệch ở vị trí tương ứng với giá trị của E

**Chú ý:** ngoài cách trên ra người ta còn có thể mắc transistor có cực B nối với con chạy của R5 để giữ nguyên giá trị  $U_p$  ở một giá trị thích hợp, hoặc có thể sử dụng các bộ khuếch đại vi sai hoặc mắc FET ở đầu vào để tăng điện trở đầu vào. ví dụ như sơ đồ dưới đây:

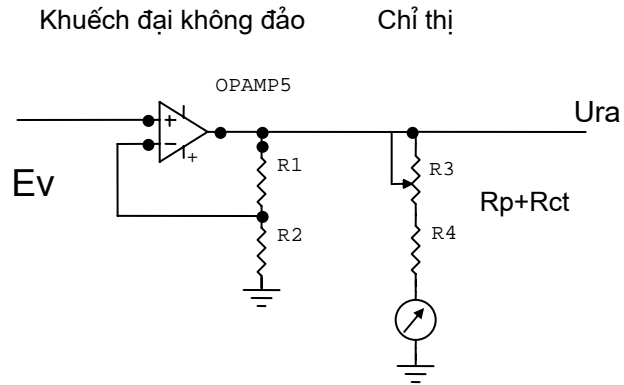


## 2. Vôn met điện tử một chiều dùng IC KĐT

ví dụ sơ đồ của một Vôn met lặp lại điện áp, sử dụng IC có hệ số khuếch đại 200.000. Điện áp trực tiếp tác động ở đầu vào không đảo lớn nhất là  $E = 1V$



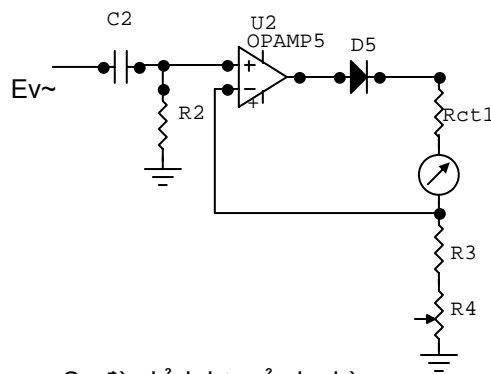
Để đo các điện áp nhỏ hơn người ta sử dụng vôn met khuếch đại như hình sau:



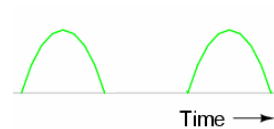
### 3. Vôn met điện tử xoay chiều

Thông thường các bộ chỉ thị của Vôn mét điện tử là cơ cấu từ điện, nghĩa là có tính phân cực. Do đó khi cần đo điện áp xoay chiều có thể sử dụng các mạch chỉnh lưu trước khi đưa vào các dụng cụ đo. Chỉnh lưu có thể thực hiện chỉnh lưu nửa chu kỳ và cả chu kỳ. Dưới đây là một số ví dụ:

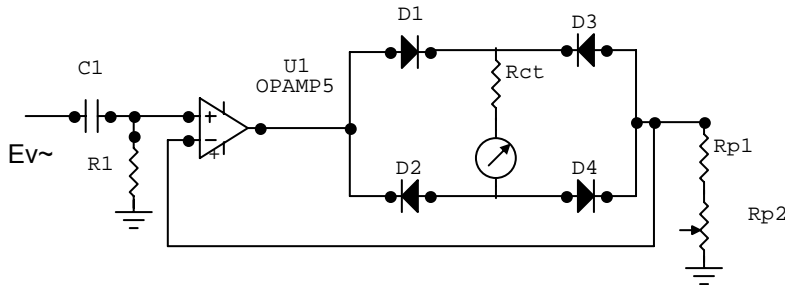
Sơ đồ chỉnh lưu nửa chu kỳ



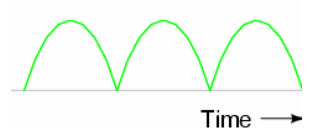
Dòng máy đo:



Sơ đồ chỉnh lưu cả chu kỳ



Dòng máy đo:



Nguyên tắc làm việc của Vôn met điện tử xoay chiều hoàn toàn giống như Vôn met điện tử một chiều. Đặc điểm và dải đo cũng tương tự như loại dụng cụ một chiều. Tuy nhiên, nhược điểm của các dụng cụ này là độ chính xác không cao, dải tần hẹp, độ ổn định thấp do đặc tính phi tuyến của các diode và ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường.

**CHƯƠNG 5:**

**ĐO CÔNG SUẤT**

**I. KHÁI NIỆM CHUNG**

Công suất là đại lượng cơ bản của các hiện tượng và quá trình vật lý nói chung và của các hệ thống điện tử nói riêng, do vậy việc xác định công suất là phép đo quan trọng và phổ biến.

Trong thực tế, người ta phân công suất thành các loại như sau:

- + Công suất thực (công suất hữu công): P
- + Công suất phản kháng (công suất vô công): Q
- + Công suất biểu kiến (công suất danh định): S

Dải đo của công suất từ  $10^{-20}$  W đến  $10^{10}$  W và dải tần từ 0 tới  $10^9$  Hz

\* Đối với mạch điện một chiều công suất thực P được tính theo một trong các công thức sau đây:

$$P = U.I \quad P = I^2.R \quad P = U^2 / R \quad P = k.q$$

Trong đó: I là dòng trong mạch  
 U là điện áp rơi trên phụ tải có điện trở R  
 q là lượng nhiệt toả ra trên phụ tải trong một đơn vị thời gian  
 k là hệ số

\* Đối với mạch điện xoay chiều một pha

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u.i dt$$

trong đó: p, u, i là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng  
 T là chu kỳ

Như vậy công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha được xác định như là một giá trị trung bình của công suất trong một chu kỳ T

Nếu dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì công suất được tính theo công thức:

$$P = U.I.\cos\varphi \quad Q = U.I.\sin\varphi \quad S = U.I$$

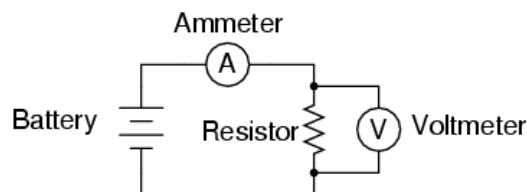
Trong đó: U, I là các giá trị hiệu dụng  
 $\varphi$  là góc lệch pha giữa dòng và áp trên phụ tải  
 $\cos\varphi$  được gọi là hệ số công suất

**II. DỤNG CỤ ĐO CÔNG SUẤT TRONG MẠCH MỘT PHA**

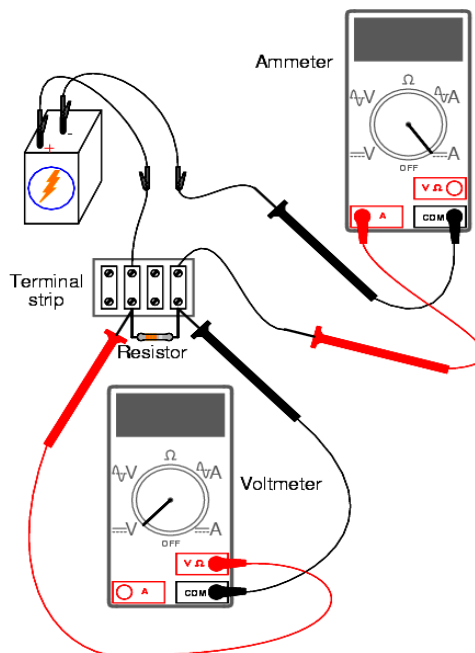
Từ công thức tính P ta có thể thấy ngay rằng để đo công suất của mạch một chiều trên phụ tải R thì có thể sử dụng các cặp dụng cụ như sau:

- + Ampe kế và Vôn kế

Khi đó  $P = U.I$  với U và I là kết quả chỉ thị trên Vôn kế và Ampe kế



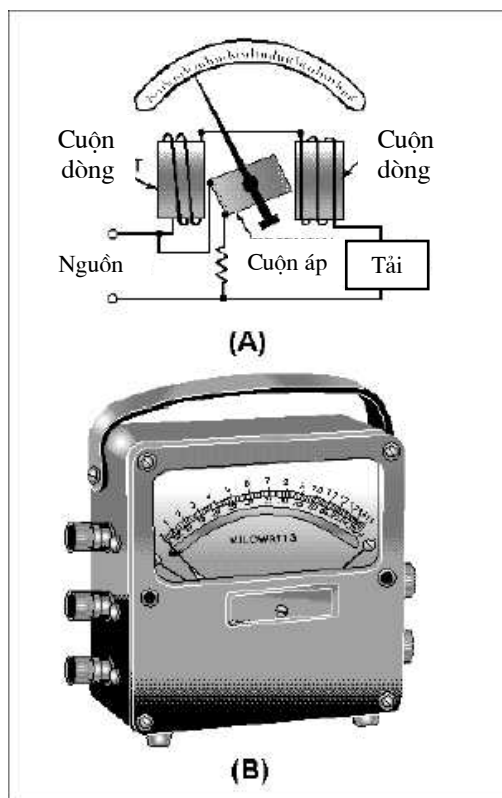
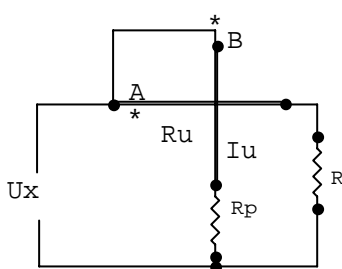
+ Ampe kế và Ohm kế  
 Khi đó  $P = I^2.R$   
*Chú ý:* Phép đo R thực hiện khi không nối nguồn (đo nguội)  
 + Vôn kế và Ohm kế  
 Khi đó  $P = U^2/R$   
 Tuy nhiên, do sử dụng nhiều dụng cụ nên sai số của phép đo khá lớn. Trên thực tế người ta sử dụng cách đo trực tiếp công suất bằng đồng hồ Oat kế (Wattmeter). Dưới đây là một số loại Oat kế phổ biến đo công suất một chiều và xoay chiều một pha.



**1. Oat kế điện động**

Oat kế điện động (hoặc sắt điện động) là dụng cụ cơ điện để đo công suất thực trong mạch điện một chiều hoặc xoay chiều một pha. Cấu tạo chủ yếu của Oat kế điện động là cơ cấu chỉ thị điện động.

Hình bên là cấu tạo về mặt Nguyên tắc và hình dạng thực tế của một oat kế.



**Hoạt động:** xét sơ đồ Nguyên tắc của Oat kế điện động như hình trên

- A là cuộn dây tĩnh mắc nối tiếp với điện trở tải R
- B là cuộn dây động mắc song song với nguồn cung cấp
- Rp là điện trở phụ
- Ru là điện trở của bản thân cuộn động

Khi có điện áp  $U$  đặt lên cuộn dây động (tức là dòng qua cuộn động là  $I_2$  tỉ lệ với  $U$ ) và dòng điện  $I$  đi qua phụ tải  $R$  (tức là dòng qua cuộn tĩnh  $I_1$  chính là dòng  $I$ ). Sự tương tác giữa các trường từ được tạo ra bởi các cuộn dây sẽ làm kim của Oatmet lệch đi một góc  $\alpha$

\* Đối với mạch điện một chiều, theo công thức tính góc lệch của dụng cụ điện động ta có:

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

trong đó:

$$I_1 = I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_u + R_p}$$

$$g/s : \frac{dM_{12}}{d\alpha} = const$$

$$\Rightarrow \alpha = K.U.I = K.P$$

$$K = \frac{1}{D.(R_u + R_p)} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} = const$$

Với:

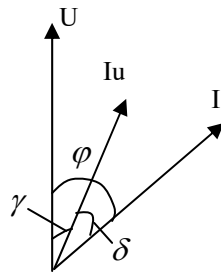
$D$ : momen cản riêng của lò xo phản kháng

$I_1, I_2$ : dòng qua cuộn tĩnh và cuộn động

$M_{12}$ : hồ cảm giữa 2 cuộn dây

$K$  được gọi là hệ số của Oat met với dòng một chiều

\* Đối với mạch điện xoay chiều ta có:



$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I \cdot I_u \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cos \delta$$

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_p} \cdot \cos \gamma$$

$$\delta = \varphi - \gamma$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{U \cdot I}{R_u + R_p} \cdot \cos \gamma \cdot \cos(\varphi - \gamma)$$

Nếu  $\varphi = \gamma \Rightarrow \alpha = K.U.I \cdot \cos \varphi = K.P$ , nghĩa là số chỉ của Oatmet tỉ lệ với công suất tiêu thụ trên phụ tải.

**Chú ý:**

+ Do Oatmet điện động có cực tính nên khi đảo pha của 1 trong 2 cuộn dây Oatmet sẽ quay ngược, vì vậy, các cuộn dây được đánh dấu (\*). Khi nối các đầu dây cần nối các đầu dây có dấu (\*) với nhau.

+ Oatmet điện động thường có nhiều thang đo theo dòng và áp. Giới hạn đo theo dòng là 5A và 10A, theo áp là 150V và 300V

+ Dải tần số từ 0 tới KHz

+ Độ chính xác đạt 0,1 tới 0,2% với tần số dưới 200Hz

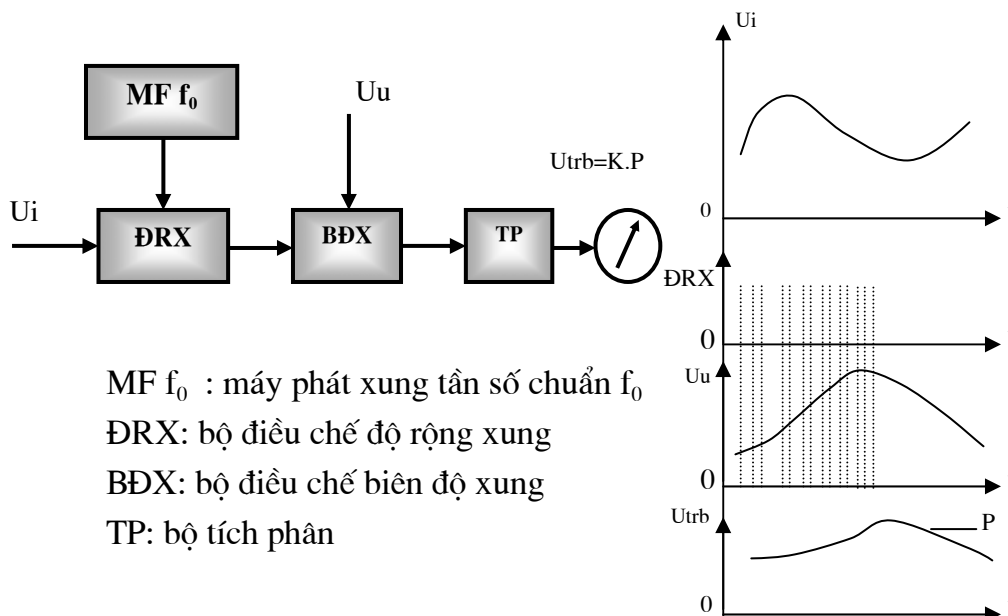
## **2. Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu**

**Nguyên tắc:**

Giả sử  $U_u$  là tín hiệu tỉ lệ với điện áp  $U$  rơi trên phụ tải và  $U_i$  tỉ lệ với dòng điện  $I$  chạy qua phụ tải. Khi đó phương pháp điều chế tín hiệu dựa vào việc nhân các tín hiệu  $U_u$  và  $U_i$  trên cơ sở điều chế hai lần tín hiệu xung là điều chế độ rộng xung (ĐRX) và biên độ xung (BĐX). Dưới đây là sơ đồ cấu trúc của Oatmet làm việc trên phương pháp điều chế tín hiệu và biểu đồ thời gian của nó.

**Hoạt động:**

Máy phát tần số chuẩn (MF  $f_0$ ) tạo ra các xung có biên độ và độ rộng như



- MF  $f_0$  : máy phát xung tần số chuẩn  $f_0$
- ĐRX: bộ điều chế độ rộng xung
- BĐX: bộ điều chế biên độ xung
- TP: bộ tích phân

nhau, các xung này được đưa vào bộ biến đổi độ rộng xung. Khi đó độ rộng xung sẽ phụ thuộc vào biên độ điện áp của  $U_i$ . Đầu ra của bộ điều chế có các xung với độ rộng

$t_i = k_1 \cdot U_i$ . Dãy xung sau khi được điều chế độ rộng xung sẽ được điều chế biên độ nhờ  $U_u$ , do đó diện tích của mỗi xung đầu ra sẽ tỉ lệ với công suất tức thời theo biểu thức sau:

$$S(t) = k_2 \cdot U_u \cdot t_i = k_1 \cdot k_2 \cdot U_u \cdot U_i = K \cdot U_u \cdot U_i$$

Như vậy, đầu ra của bộ tích phân tỉ lệ với công suất trung bình tiêu thụ trên tải  $U_{trb} = K \cdot P$

Oat met loại này có sai số khoảng  $\pm 0,1\%$

**3. Oatmet nhiệt điện**

Các dụng cụ đo dùng cặp nhiệt điện có thể hoạt động ở tần số rất cao, do đó người ta dùng cặp nhiệt điện để chế tạo Oatmet đo công suất ở khu vực tần số ngoài khoảng đo của Oatmet điện động.

Mạch cơ bản của Oatmet nhiệt điện như hình dưới đây.

Trong đó: Biến áp có điện áp thứ cấp tỉ lệ với điện áp  $U$  và tạo ra dòng  $i_u$  tỉ lệ với  $U$  và biến dòng có dòng thứ cấp tỉ lệ với dòng điện  $I$  và tạo dòng  $i_i$  tỉ lệ với dòng tải  $I$ .

Với sơ đồ như trên ta có dòng đốt nóng R1 là  $(i_i + i_u)$  và dòng đốt nóng R2 là  $(i_i - i_u)$

Theo công thức của cặp nhiệt điện ta có:

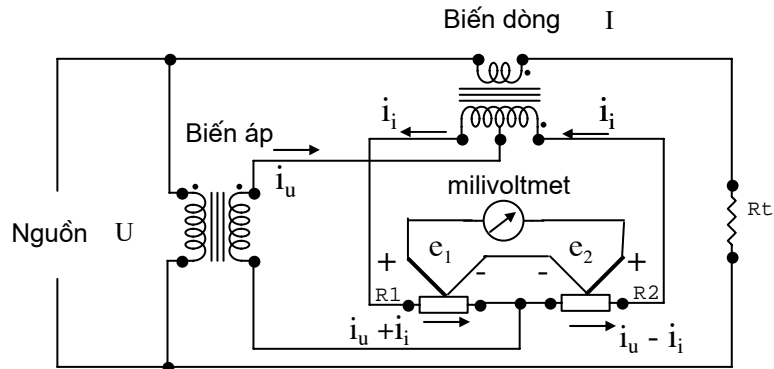
$$e_1 = k \cdot (i_i + i_u)^2 \quad \text{và} \quad e_2 = k \cdot (i_i - i_u)^2$$

(giả sử 2 cặp nhiệt điện có hệ số  $k$  như nhau)

Số chỉ của milivonmet khi đó là  $E_{ra} = e_1 - e_2 = 4k i_u i_i$

Do bộ biến đổi nhiệt có quán tính nhiệt cao nên loại bỏ thành phần xoay chiều ta sẽ có:

$$E_{ra} = K.U.I.\cos\varphi = K.P$$



Oatmet nhiệt điện có sai số cơ bản là  $\pm 1\%$  với thang đo điện áp từ 10mV – 300V; dòng điện từ 100 $\mu$ A – 3mA;  $\cos\varphi = 0,1 - 1$ ; tần số hoạt động từ 200Hz-100kHz

#### 4. Oatmet dùng chuyển đổi Hall

Bộ chuyển đổi Hall là 1 mạng 4 cực được chế tạo dưới dạng một tấm mỏng bằng bán dẫn. T – T là 2 cực dòng và X – X là 2 cực áp. Khi đặt vuông góc với bề mặt chuyển đổi 1 từ trường thì xuất hiện ở hai đầu X – X một thế điện động Hall được tính theo công thức sau:

$$E_x = k_x.B.i_x$$

Với  $k_x$  là hệ số mà giá trị của nó phụ thuộc vào vật liệu, kích thước và hình dáng của chuyển đổi, nhiệt độ của môi trường và giá trị của từ trường.

B là độ từ cảm của từ trường

$i_x$  là dòng qua tải

Như vậy, thế điện động Hall sẽ tỉ lệ với công suất nếu như 1 trong 2 đại lượng trên (ví dụ là B) tỉ lệ thuận với điện áp u còn dòng  $i_x$  là dòng đi qua phụ tải.

##### \* Oatmet sử dụng chuyển đổi Hall

Cho chuyển đổi vào khe hở của nam châm điện. Hướng của từ trường như hình vẽ (đường gạch – gạch). Dòng qua cuộn hút L chính là dòng qua phụ tải. Dòng qua 2 cực T – T tỉ lệ với điện áp đặt lên phụ tải (load). Rmultiplier (điện trở phụ) để hạn chế dòng.

Milivonke để xác định áp giữa hai cực áp X - X

Khi đó thế điện động Hall được tính như sau:

$$e_x = k.u.i = k.P$$

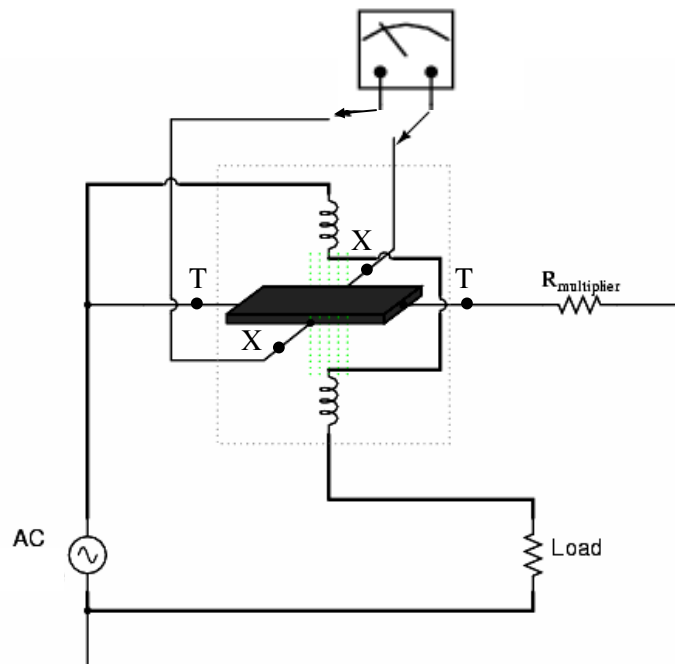
Trong đó:

$e_x$  được xác định bởi milivon kế; k là hệ số tỉ lệ

Do đó có thể suy ra giá trị của công suất P là:  $P = e_x/k$

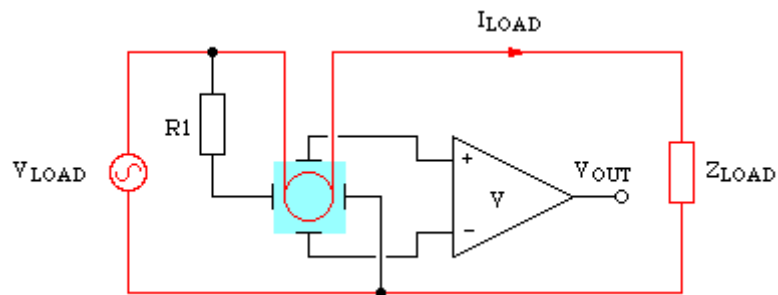


Hình dưới đây là sơ đồ của một oatmet sử dụng chuyển đổi Hall



*Nhân xét:* Oatmet dùng chuyển đổi Hall có khả năng đo công suất xoay chiều với tần số lên tới hàng MHz; hơn nữa, cơ cấu này không có quán tính, cấu tạo đơn giản, bền và độ tin cậy cao. Tuy nhiên, sai số do nhiệt cũng khá lớn.

Trên thực tế để tăng độ nhạy và khuếch đại thế điện động Hall người ta mắc thêm vào sơ đồ một bộ KĐTT như hình sau:



## CHƯƠNG 6:

### ĐO TẦN SỐ VÀ GÓC PHA

#### I. KHÁI NIỆM CHUNG

Tần số và góc pha là các đại lượng đặc trưng cho các quá trình dao động có chu kỳ.

Phép đo tần số sử dụng tần số chuẩn có thể đạt độ chính xác cao nhất so với các phép đo khác ( $10^{-13} - 10^{-12}$ )

+ Chu kỳ  $T(s)$  là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó và thoả mãn phương trình:

$$U(t) = U(t + T)$$

+ Tần số  $f(Hz)$  được xác định bởi số chu kỳ lặp lại của tín hiệu trong một đơn vị thời gian.

+ Tần số góc của tín hiệu được xác định bởi biểu thức:  $\omega = 2\pi f$

Tần số, góc pha và chu kỳ liên quan với nhau theo biểu thức:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 2\pi$$

với  $\tau$  là khoảng thời gian chênh lệch giữa hai tín hiệu

Do vậy việc đo tần số và góc pha được quy về đo tần số và khoảng thời gian.

Dụng cụ để đo độ lệch pha giữa các tín hiệu người ta gọi là *fazomet hay fazo kế*

Dụng cụ để đo tần số được gọi là *tần số kế*. Để đo tần số ta có thể thực hiện theo 2 phương pháp là biến đổi thẳng và phương pháp so sánh.

**Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng bao gồm các loại sau:**

+ *Tần số kế cơ điện tương tự* (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động). Loại tần số kế này dùng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz – 2,5kHz với cấp chính xác không cao (0,2; 0,5; 1,5 và 2,5) và tiêu thụ điện năng khá lớn

+ *Tần số kế điện dung tương tự* để đo tần số trong dải từ 10Hz – 500kHz

+ *Tần số kế chỉ thị số* có thể đo khá chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz – 50GHz. Ngoài ra nó còn được sử dụng để đo tỉ số giữa các tần số, chu kỳ, độ dài xung và khoảng thời gian.

**Đo tần số bằng phương pháp so sánh bao gồm:**

+ *Tần số kế trộn tần* dùng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng 100kHz – 20GHz

+ *Tần số kế cộng hưởng* để đo tần số trong dải tần 50kHz – 10GHz

+ *Cầu xoay chiều phụ thuộc vào tần số* để đo tần số trong khoảng 20Hz – 20kHz

+ *Máy hiện sóng (oscilloscope)* để so sánh tần số cần đo với tần số của máy phát chuẩn, dải tần đo có thể từ 10Hz – 100MHz (loại hiện đại nhất hiện nay có thể lên tới 500MHz)

Dưới đây là một số loại tần số kế và fazomet thông dụng nhất

#### II. ĐO TẦN SỐ VÀ PHA BẰNG PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI THẲNG

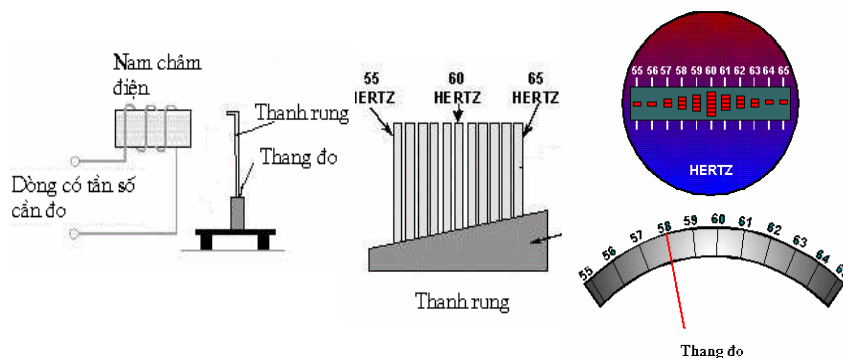
##### 1. Tần số kế cộng hưởng điện từ

**Cấu tạo:**

+ Nam châm điện

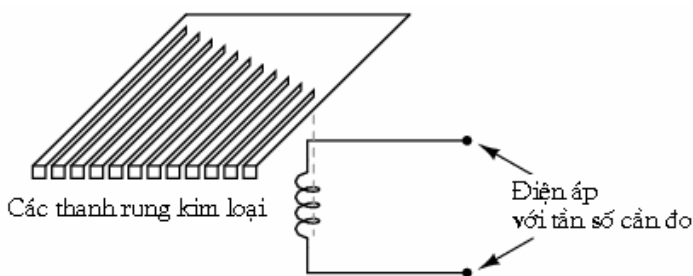
+ Thanh rung bằng các lá thép có tần số cộng hưởng riêng. Một đầu của thanh rung bị gắn chặt còn một đầu dao động tự do. Tần số dao động riêng của mỗi thanh bằng 2 lần tần số cần đo.

+ Thang đo khắc độ theo tần số, có thể dạng đĩa hoặc dạng thanh



**Hoạt động:**

Dưới tác động của từ trường tạo ra bởi nam châm điện các thanh rung bị hút vào nam châm 2 lần trong một chu kỳ của dòng đưa vào nam châm, do đó tạo nên dao động với tần số gấp 2 lần tần số của dòng đưa vào nam châm. Khi thanh rung có tần số dao động riêng bằng 2 lần tần số cần đo thì nó sẽ dao động với biên độ lớn nhất (hiện tượng cộng hưởng xảy ra) và qua đó xác định được tần số cần đo.



**Ưu điểm:** Cấu tạo đơn giản, rẻ tiền và tin cậy

**Nhược điểm:** Dải tần đo rất hẹp (45 – 55Hz), (55 – 65Hz) 0 và (450 – 550Hz)

Sai số lớn  $\pm 1,5\% \div 2,5\%$

Không thể sử dụng ở nơi có độ rung lớn hoặc thiết bị đang di chuyển.

**2. Tần số kế cơ điện**

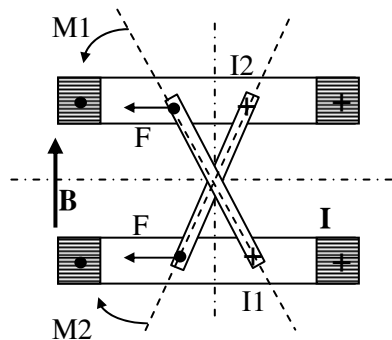
**a. Tần số kế và Fazo kế điện động**

Đây là dụng cụ đo tần số dựa vào cơ cấu logomet điện động. Logomet điện động có cấu tạo và Nguyên tắc hoạt động như sau:

Phần động gồm 2 cuộn dây B1, B2 gắn với nhau một góc cố định  $\gamma$ . Dòng điện  $I_1, I_2$  đi vào B1, B2

Phần tĩnh gồm 1 cuộn dây A được tách thành 2 phần nối tiếp. Dòng điện I đi vào A.

Hai cuộn động sẽ quay trong từ trường B do cuộn tĩnh tạo ra tùy theo lực tương tác được sinh ra giữa B và dòng chạy trong cuộn động. Giả sử chiều dòng điện chạy trong các cuộn dây như hình vẽ thì lực đẩy chính là lực sinh ra momen quay M1 và lực điều khiển là lực sinh ra momen cản M2. Vì hai cuộn động được gắn cố định với nhau nên khi momen cân bằng momen quay cuộn động sẽ dừng, nghĩa là kim chỉ sẽ đạt vị trí cân bằng.



ở vị trí cân bằng ta có:  $\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{\cos(I, I_1)}{\cos(I, I_2)}\right)$

vậy  $\alpha$  tỉ lệ với tỉ số 2 dòng chạy trong 2 cuộn động ( $I_1 / I_2$ ) và  $\cos(I, I_1)$ ;  $\cos(I, I_2)$

**Nhược điểm:** logomet điện động có độ nhạy thấp.

Để tăng độ nhạy cho cơ cấu người ta cho thêm lõi thép vào và gọi cơ cấu là chỉ thị sắt điện động.

**Cấu tạo của tần số kế điện động**

Cuộn tĩnh A nối với cuộn động B2 nên  $I_2 = I$  và góc  $(I, I_2) = 0$

( $R_2, L_2, C_2$ ) được chọn để cộng hưởng điện áp với tần số fxo là giá trị trung bình của dải tần cần đo.

$$f_{xo} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2.C_2}}$$

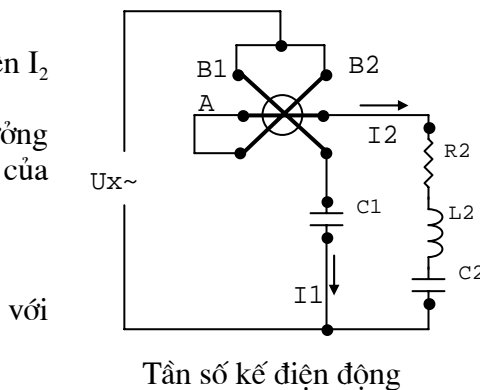
$$\Rightarrow \alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{\cos\psi_1}{\cos\psi_2}\right)$$

$\psi_1$  là góc  $(I, I_1) = (I_2, I_1)$

$\psi_2$  là góc  $(I, I_2) = 0$

Với các phân tử như trong mạch ta sẽ có  $\alpha = F'(f_x^2)$ , nghĩa là góc lệch của dụng cụ là một hàm của tần số, do đó thang đo có thể khắc độ trực tiếp theo thứ nguyên của tần số là Hz.

Tần số kế có giới hạn đo từ 45Hz – 55Hz; sai số  $\pm 1,5\%$  và có thể chế tạo dụng cụ đo tần số cao hơn đến 2500Hz



**\* Fazomet điện động**

Fazomet điện động là dụng cụ đo góc pha và hệ số công suất cosφ sử dụng cơ cấu chỉ thị logomet điện động.

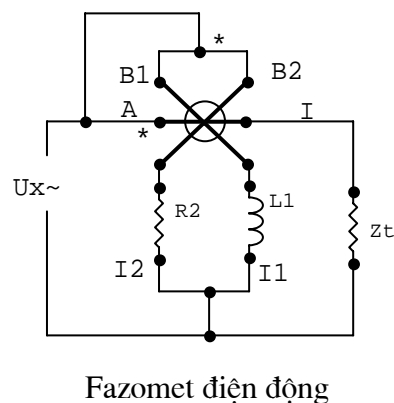
Sơ đồ Nguyên tắc như hình bên

Bằng cách chọn giá trị linh kiện phù hợp ta sẽ có

$$\alpha = \varphi$$

Như vậy độ lệch của dụng cụ có thể chỉ thị góc pha φ hoặc hệ số cosφ trên thang khắc độ.

Nhược điểm của sơ đồ trên là chỉ dùng cho một cấp điện áp. Khi điện áp thay đổi các thông số của mạch cũng phải thay đổi theo, hơn nữa mạch sử dụng điện cảm L nên cảm kháng phụ thuộc vào tần số và sẽ gây sai số cho kết quả đo. Để khắc phục nhược điểm trên người ta cải tiến mạch như sau:

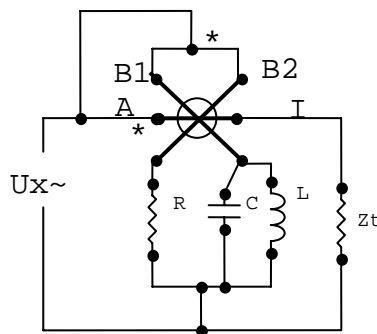


Chia cuộn B1 thành 2 cuộn song song, một cuộn nối với L và một cuộn nối với C. Giá trị của L và C được chọn sao cho  $\omega.L = \frac{1}{\omega.C}$

Khi đó nếu tần số thay đổi điện kháng toàn mạch coi như không đổi (vì khi điện kháng của nhánh này tăng, điện kháng của nhánh kia sẽ giảm).

Fazomet điện động thông thường có thông số như sau:

- + Dải tần số từ 50 – 60 Hz (dải tần số công nghiệp)
- + Thang đo  $\varphi$  từ 0 – 360<sup>0</sup>
- +  $\cos\varphi$  từ 0 – 1
- + Cấp chính xác từ 0,2 – 0,5



Fazomet điện động cải tiến

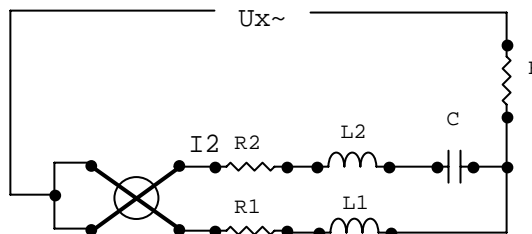
**b. Tần số kế điện từ**

Đây là dụng cụ đo tần số sử dụng cơ cấu logomet điện từ với hai cuộn dây tĩnh A, B và 2 lõi thép động được gắn trên cùng một trục quay.

Như đã biết, góc lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với bình phương tỉ số giữa 2 dòng điện I<sub>1</sub> và I<sub>2</sub> đi vào 2 cuộn dây.

$$\alpha = F\left[\left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2\right]$$

Dựa trên cơ sở của logomet điện từ người ta chế tạo tần số kế điện từ, trong đó các cuộn dây được mắc với R, L, C như sơ đồ hình bên. Khi đó trở kháng của các nhánh phụ thuộc vào tần số. Khi tần số thay đổi trở kháng sẽ thay đổi, do đó các dòng I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> cũng thay đổi theo và kim sẽ lệch góc  $\alpha$  thay đổi theo tỉ số  $\frac{I_1}{I_2}$ , nghĩa là tỉ lệ với tần số.

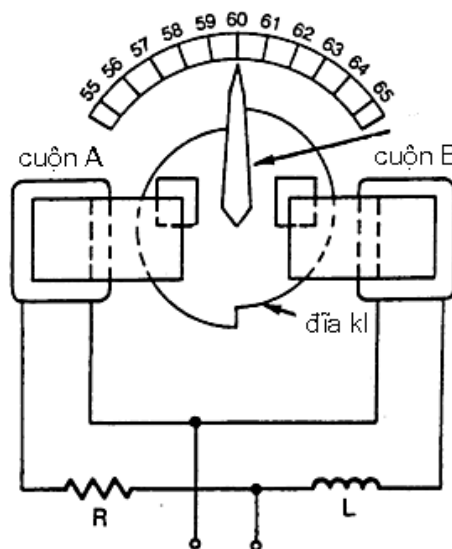


Tần số kế điện t

Dải đo của tần số kế điện từ cũng giống như của tần số kế cơ điện, đó là các dải tần (45Hz – 55Hz), (55 – 65Hz) và (450Hz – 550Hz).

Ngoài ra, người ta còn có thể sử dụng cơ cấu đĩa dịch chuyển để đo tần số như hình bên:

Cho cuộn dây A nối tiếp với một điện trở còn cuộn dây B nối tiếp với một cuộn cảm và cả hai cùng song song với nguồn điện áp cần đo tần số. Hai cuộn dây sẽ tạo ra lực đẩy ngược chiều lên hai nửa đĩa kim loại. Cuộn A đẩy theo chiều kim đồng hồ, cuộn B đẩy ngược chiều kim đồng hồ. Kim sẽ lệch về hướng có lực đẩy nhỏ, nghĩa là



rời xa cuộn có dòng lớn hơn chạy qua. Vì sử dụng điện trở nối tiếp với cuộn A nên dòng sẽ không thay đổi theo tần số như với dòng qua cuộn B. Nghĩa là lực đẩy đĩa kim loại do cuộn A gây ra là một số xác định, góc quay cũng xác định (thông thường sẽ lấy chuẩn ở tần số 60Hz). Khi tần số vào lớn hơn thì dòng qua cuộn B sẽ nhỏ đi (do trở kháng tăng) lực tác dụng của A lên kim sẽ lớn hơn lực tác dụng của B, do đó kim chỉ sẽ quay theo chiều kim đồng hồ. Ngược lại, khi tần số nhỏ hơn kim sẽ quay ngược chiều kim đồng hồ vì lực tác dụng của B lên nửa đĩa bên phải lớn hơn lực tác dụng của A lên nửa đĩa bên trái. Vị trí của kim dừng sẽ tương ứng với tần số cần đo được chỉ thị trên thang khắc độ (xem hình trên)

### 3. Tần số kế và Fazo kế điện tử

Tần số kế điện tử là dụng cụ để đo tần số âm tần và cao hơn mà các tần số kế cơ điện không đo được. Đó là sự kết hợp giữa cơ cấu từ điện và các bộ biến đổi để biến đổi tần số thành dòng một chiều.

Nguyên tắc biến đổi được minh hoạ ở hình bên:

Khi khoá K ở vị trí 1, tụ điện C được nạp đến điện áp U của nguồn và có điện tích  $Q = C.U$

Khi K chuyển sang vị trí 2, tụ C phóng qua cơ cấu chỉ thị với dòng  $I = Q / t$  với t là thời gian phóng.

Nếu khoá K được điều khiển đóng mở bằng tần số fx thì giá trị dòng qua cơ cấu là Itrb được tính bởi công thức:

$$I_{trb} = Q / T_x = Q.f_x = C.U.f_x$$

Với  $T_x$  là chu kỳ,  $f_x$  là tần số cần đo

Như vậy dòng qua chỉ thị tỉ lệ với tần số cần đo và có thể khắc độ trực tiếp theo đơn vị tần số lên thang đo.

Xét một sơ đồ tần số kế điện tử thực tế: (tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu)

TX là bộ tạo xung để chuyển điện áp cần đo tần số  $U_{fx}$  thành các xung điều khiển đóng mở transistor (đóng vai trò của khoá điện tử). Các xung này có biên độ không đổi  $U_m$ .

Khi không có xung đặt lên Bazo của transistor, transistor khoá, tụ C được nạp theo dòng đi từ  $U_{cc}$  qua R, tới C, qua D1 xuống mass. Tụ C khi này sẽ được nạp điện tích  $q = C.U$

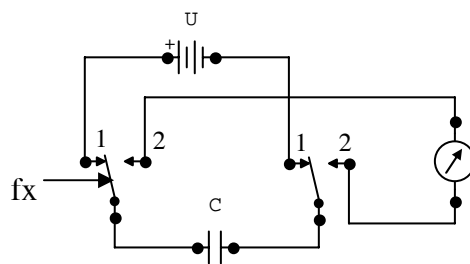
Khi có xung tác động, transistor mở thông, tụ C xả qua transistor xuống mass, qua chỉ thị tới D2 và về C.

Độ lệch của kim chỉ thị khi này sẽ tỉ lệ với giá trị dòng trung bình:

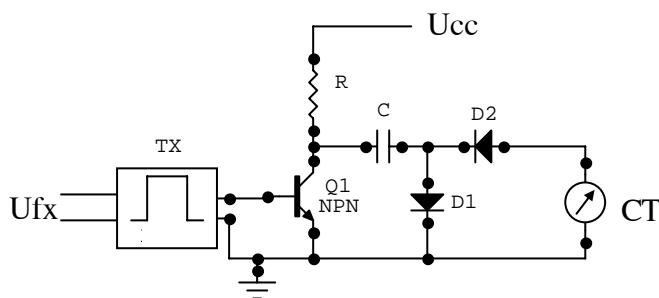
$$\alpha = K.I = K.q.f_x = K.C.U_m.f_x$$

Trên thang đo lúc này có thể khắc độ theo giá trị của tần số.

Tần số kế điện tử có ưu điểm là có thể đo tần số tín hiệu hình sin trong một dải tần khá rộng từ 0,1 Hz – 1000kHz với sai số  $\pm 2\%$



Sơ đồ nguyên lý của tần số kế điện tử



Tần số kế điện tử

**\* Fazomet điện tử**

Nguyên tắc: biến đổi góc lệch pha giữa 2 tín hiệu điện thành giá trị dòng điện hoặc điện áp, sau đó đo giá trị này bằng cơ cấu cơ điện và suy ra góc lệch pha.

Xét sơ đồ ở hình bên:

U1 và U2 là các tín hiệu hình sin cần xác định độ lệch pha giữa chúng. Sau khi qua các bộ tạo xung (TX1 và TX2) sẽ tạo thành các xung U3, U4 được hình thành khi tín hiệu U1, U2 đi qua 0 từ âm sang dương.

Các xung này được đưa tới điều khiển khoá điện tử K. Khoá K đóng khi U3 vào và ngắt khi U4 vào.

Như vậy độ lệch pha giữa 2 tín hiệu đã được chuyển thành khoảng thời gian  $\tau$

Khi khoá K thông, có dòng I qua chỉ thị do đó dòng trung bình được tính là:

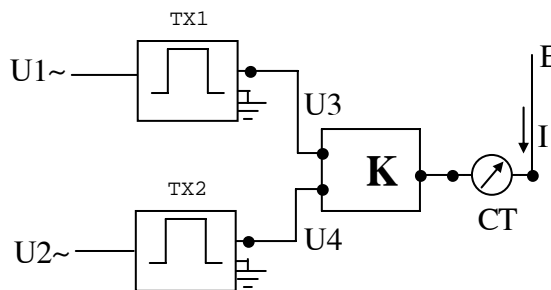
$$I_{trb} = I_m \cdot \frac{\tau}{T} = I_m \cdot \frac{\varphi_x}{360^\circ}$$

$$\Rightarrow \alpha = S \cdot I_{trb} = S \cdot I_m \cdot \frac{\varphi_x}{360^\circ}$$

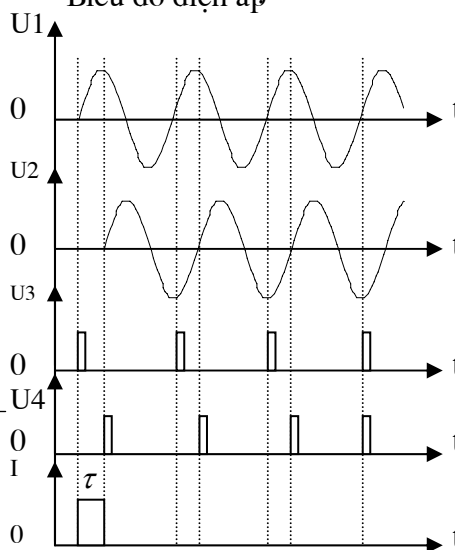
với  $I_m$  là giá trị biên độ của dòng điện I

và S là độ nhạy của cơ cấu

Thang đo được khắc độ trực tiếp theo góc lệch pha với khoảng đo từ 0 – 180° hoặc 0 – 360°, tần số từ 20Hz – 200kHz; độ chính xác 1 – 1,5



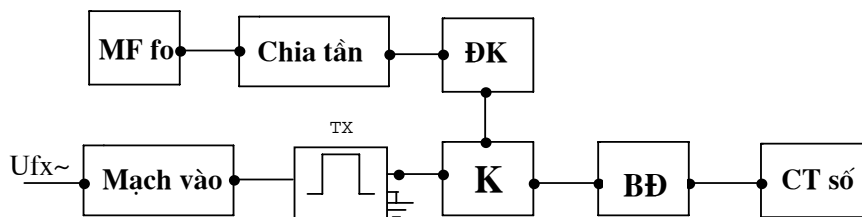
Biểu đồ điện tử Fazomet điện tử



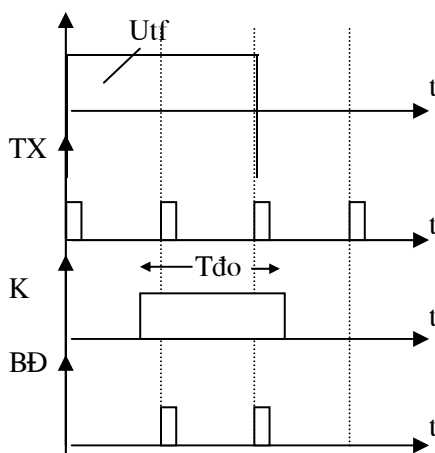
**4. Tần số kế và Fazo kế chỉ thị số**

Nguyên tắc: đếm số xung N tương ứng với số chu kỳ của tần số fx cần đo trong một khoảng thời gian xác định trước.

Dưới đây là sơ đồ khối và biểu đồ thời gian của tần số kế chỉ thị số



Tần số kế chỉ thị số



**Mạch vào** là bộ khuếch đại dải rộng với tần số từ 10Hz – 3,5MHz và một bộ suy giảm để hoà hợp giữa nguồn cần đo và tần số kế.

**Bộ tạo xung (TX)** có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu hình sin hoặc tín hiệu xung thành dãy các xung có biên độ không đổi nhưng tần số bằng tần số của tín hiệu vào.

**Máy phát tần số chuẩn (MF fo)** là bộ tạo xung chuẩn có độ ổn định cao với tần số khoảng 1MHz (bộ dao động này thường là bộ dao động thạch anh)

**Bộ chia tần** để xác định Tdo tùy ý (thường chia theo hệ số 10). Tdo có thể từ 10<sup>-6</sup>s đến 100s, nghĩa là tần số sau bộ chia tần có thể từ 1MHz đến 0,01Hz.

Thời gian Tdo để điều khiển khoá K hai đầu vào, fx theo đầu vào thứ 2 sẽ đi vào bộ đếm (BĐ) và ra cơ cấu chỉ thị.

**Mạch điều khiển** có nhiệm vụ:

- + Đảm bảo thời gian hiển thị kết quả đo từ 0,3 – 5s trên chỉ thị số
- + Xoá kết quả về 0 trước khi tiến hành phép đo
- + Điều khiển khoá K làm việc theo chế độ tự động hoặc bằng tay
- + Chọn dải đo tần số phù hợp

Từ biểu đồ điện áp (hình bên) ta thấy, số xung mà bộ đếm đếm được là N xung, N có mối quan hệ với Tdo và chu kỳ Tx của tín hiệu như sau:

$$N = \frac{T_{do}}{T_x} = \frac{K \cdot T_o}{T_x} = K \cdot \frac{f_x}{f_o}$$

Sai số của phép đo chủ yếu do sai số lượng tử theo thời gian, nghĩa là thời điểm bắt đầu của chu kỳ fx không trùng với thời điểm bắt đầu thời gian đo Tdo.

Khi Tdo = n.Tx thì ΔN = 0 nhưng khi thời gian đo không bằng một số nguyên lần chu kỳ tín hiệu cần đo thì sai số lớn nhất là ±1 xung đơn vị.

Sai số của phép đo được tính là:

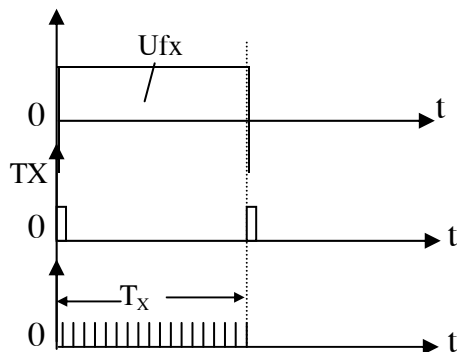
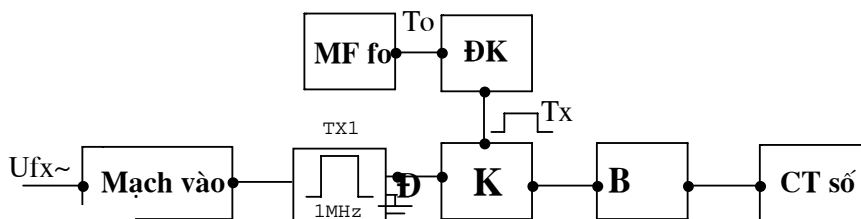
$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}}$$

Như vậy, đo tần số càng cao sai số càng nhỏ, thời gian đo Tdo càng dài thì phép đo càng chính xác.

Khi tần số cần đo rất thấp người ta thường đo Tx thay cho đo fx. Đo Tx bằng cách đếm số xung chuẩn fo trong khoảng thời gian Tx.



Sơ đồ khối và biểu đồ thời gian như sau:  
 Khi đó số xung đếm được là:



$$N = \frac{T_x}{T_o} = \frac{f_o}{f_x}$$

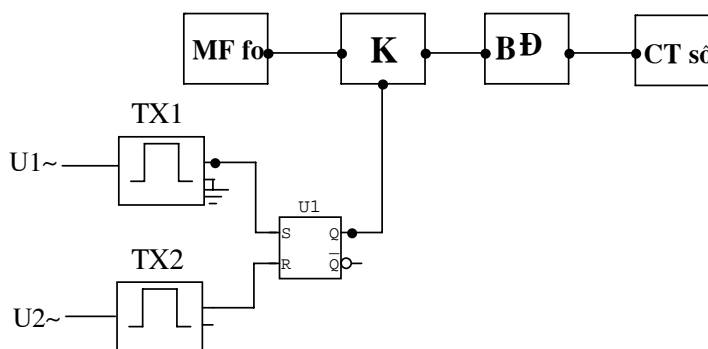
$$\Rightarrow f_x = \frac{f_o}{N}$$

\* Fazomet chỉ thị số

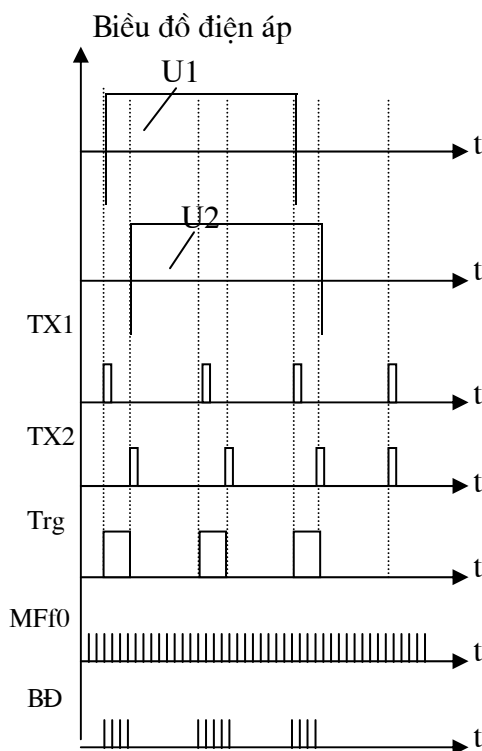
Nguyên tắc: biến đổi góc lệch pha cần đo giữa hai tín hiệu thành khoảng thời gian chênh lệch  $\tau$ , lắp đây  $\tau$  bằng cách xung có tần số đã biết trước, số xung đếm được sẽ tỉ lệ với góc lệch pha của 2 tín hiệu.

Sơ đồ khối của fazomet số như hình bên.

$U_1, U_2$  là hai tín hiệu điện áp cần so pha, được đưa vào 2 bộ tạo xung TX1 và TX2. Các xung sau bộ tạo xung được đưa tới đầu vào S và R của trigo, đầu ra của trigo sẽ xuất hiện các xung đóng mở khoá K với khoảng thời gian  $\tau$  ứng với độ lệch pha giữa hai tín hiệu.



Fazomet chỉ thị số



Khi khoá K mở, các xung chuẩn từ máy phát tần số chuẩn MF fo được đưa tới bộ đếm và đến chỉ thị số.

Số xung đếm được là:

$$N = \frac{\tau}{T_o} = \tau \cdot f_o$$

$$\text{mà ta có : } \frac{\tau}{T_x} = \frac{\varphi_x}{360^\circ}$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{T_x \cdot \varphi_x}{360^\circ}$$

$$\Rightarrow N = \frac{f_o}{360^\circ \cdot f_x} \cdot \varphi_x$$

Vậy số xung đếm được tỉ lệ với góc lệch pha cần đo. (xem biểu đồ thời gian)

Phương pháp đếm trên có nhược điểm là phụ thuộc vào fo và fx. Khắc phục điều này bằng cách thêm một khoá K2 sau K1, K2 được điều khiển sao cho đóng mở trong thời gian tu= k.To. Khi đó:

$$N = \frac{tu}{T_x} \cdot \frac{\tau}{T_o} = \frac{k}{360^\circ} \cdot \varphi_x$$

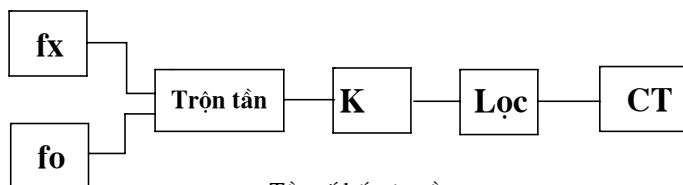
Như vậy trong biểu thức của N không chứa fo và fx, nó chỉ phụ thuộc vào hệ số chia tần, do đó phép đo có độ chính xác cao hơn.

Fazomet chỉ thị số có thể đo trong dải tần từ vài Hz cho đến hàng MHz với độ chính xác từ  $\pm 0,1 \div 0,2\%$

### III. ĐO TẦN SỐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SO SÁNH

#### 1. Tần số kế trộn tần

Sơ đồ khối:



Tần số kế trộn tần

Phương pháp trộn tần là phương pháp so sánh giữa tần số của tín hiệu khảo sát với tần số chuẩn của máy phát.

Hai tần số  $f_x$  và  $f_o$  được trộn với nhau ở bộ trộn tần và đầu ra bộ trộn tần sẽ có dạng phức tạp với nhiều thành phần tần số khác nhau, trong đó có tần số hiệu ( $F = f_x - f_o$ ).

Bộ chỉ thị có thể là cơ cấu từ điện, ống nghe hoặc oscilloscope ... để biểu thị tần số hiệu.

Có hai cách xác định  $f_x$  là:

+ So sánh cân bằng: điều chỉnh  $f_o$  để  $F = 0$ , suy ra  $f_x = f_o$

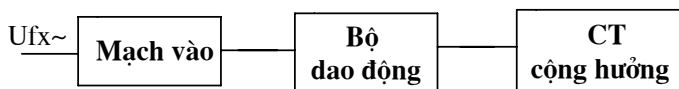
+ So sánh không cân bằng: điều chỉnh  $f_o$  để  $F$  đạt giá trị nào đó, suy ra  $f_x = F + f_o$

Tần số kế trộn tần có thể đo được tần số trong khoảng từ 100kHz đến 20GHz

#### 2. Tần số kế cộng hưởng

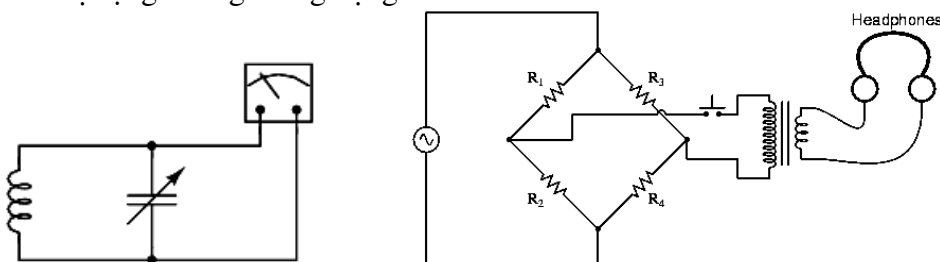
Nguyên tắc: xác định tần số cần đo bằng cách so sánh nó với tần số cộng hưởng của mạch dao động.

Sơ đồ khối:



Tần số kế cộng hưởng

Trong đó, bộ dao động được điều chỉnh cộng hưởng với tần số cần đo của nguồn tín hiệu. Trạng thái cộng hưởng được phát hiện theo chỉ số cao nhất của bộ chỉ thị cộng hưởng (tỉ lệ với dòng, áp hoặc âm lượng ...). Dưới đây là một số sơ đồ sử dụng chỉ thị cộng hưởng thông dụng.



Tần số cộng hưởng được khắc ngay trên thiết bị dò cộng hưởng của bộ dao động, đó cũng chính là thang đo của tần số  $f_x$ .

Ưu điểm của tần số cộng hưởng điện là đơn giản với độ chính xác đạt tới 0,1%.

#### 3. Các phương pháp khác

Ngoài hai cách xác định tần số kể trên thì có thể dùng máy hiện sóng, cầu xoay chiều có thông số phụ thuộc tần số. Các cách này sẽ được nói tới trong phần tiếp theo của tài liệu.

## CHƯƠNG 7:

### ĐO THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN

Thông số của mạch điện bao gồm điện trở R, điện cảm L, điện dung C, góc tổn hao của tụ điện  $tg\delta$  và hệ số phẩm chất của cuộn dây.

Có 2 phương pháp đo thông số của mạch là đo trực tiếp và đo gián tiếp.

+ Đo gián tiếp là sử dụng ampe kế và vôn kế đo dòng và áp để từ các phương trình và định luật suy ra thông số cần đo.

+ Đo trực tiếp là dùng các thiết bị xác định trực tiếp thông số cần đo như Ohmmet, Henrimet, Faramet ....

#### I. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN TRỞ

##### 1. Đo gián tiếp

##### a. Sử dụng Ampe kế và Vôn kế

Dựa vào định luật Ohm ta xác định được

$$R = \frac{U}{I}$$

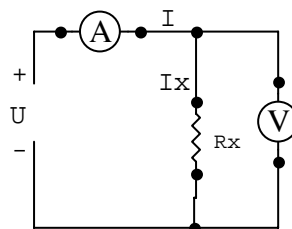
Có thể mắc theo một trong hai sơ đồ sau:

##### Sơ đồ a)

Ampe kế xác định I, Vôn kế xác định U

Giá trị thực của điện trở  $R_x$  là:

$$R_x = \frac{U}{I}$$



Bằng cách sử dụng các dụng cụ đo ta tính được giá trị của điện trở là:

$$R'_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U_v}{R_v}}$$

Như vậy:  $R'_x \neq R_x$

Do đó ta thấy phép đo đạt giá trị chính xác cao khi  $R_v$  càng lớn càng tốt ( $R_v \gg R_x$ ). Sơ đồ này được dùng để đo điện trở có giá trị nhỏ.

##### Sơ đồ b)

Ampe kế xác định  $I_x$ , Vôn kế xác định  $U_v$

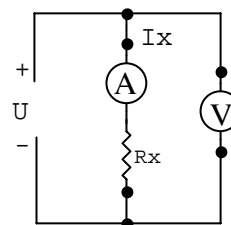
Kết quả đo cho ta giá trị điện trở  $R'_x$  là:

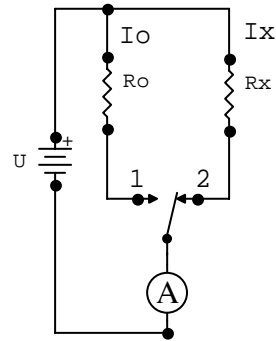
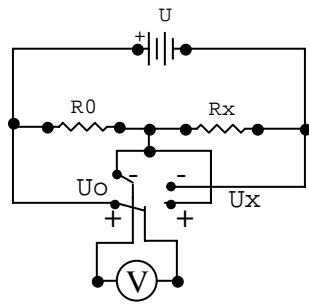
$$R'_x = \frac{U_v - U_A}{I_x} = \frac{U_v - I_x \cdot R_A}{I_x}$$

Như vậy:  $R'_x \neq R_x$

Rõ ràng để  $R'_x$  tiến tới giá trị của  $R_x$  thì  $R_A$  càng nhỏ càng tốt ( $R_A \ll R_x$ ). Sơ đồ b thường dùng để đo điện trở  $R_x$  lớn

##### b. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu





Giả sử có sơ đồ mạch như trên, khi đó có thể xác định điện trở  $R_x$  theo công thức tương ứng với hai sơ đồ như sau:

**Sơ đồ a) điện trở đo và điện trở mẫu mắc nối tiếp**

Điện áp rơi trên điện trở mẫu là  $U_0$ , điện áp rơi trên điện trở đo là  $U_x$ . Khi đó nếu dòng qua các điện trở không đổi ta có:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x}$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0$$

**Sơ đồ b) điện trở đo và điện trở mẫu mắc song song**

Dòng điện qua điện trở mẫu là  $I_0$ , dòng qua điện trở đo là  $I_x$ . Với điện áp cung cấp ổn định ta có:

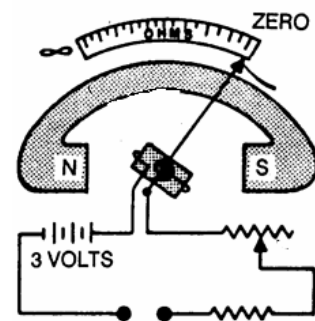
$$I_0 \cdot R_0 = I_x \cdot R_x$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0$$

**2. Đo điện trở trực tiếp bằng Ohmmet**

Khi đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp như trên sai số của phép đo sẽ lớn vì nó sẽ bằng tổng các sai số do các dụng cụ gây ra. Để giảm thiểu sai số không mong muốn này người ta chế tạo dụng cụ đo trực tiếp giá trị của điện trở gọi là Ohmmet.

Ohmmet là dụng cụ đo có cơ cấu chỉ thị từ điện với nguồn cung cấp là pin và các điện trở chuẩn. Dựa vào định luật Ohm ta có  $R = \frac{U}{I}$ , như vậy, nếu giữ U



không đổi thì dòng điện  $I$  qua mạch đo sẽ thay đổi khi điện trở thay đổi (tức là kim sẽ lệch những góc khác nhau khi giá trị của điện trở thay đổi). Trên cơ sở đó người ta chế tạo Ohmmet đo điện trở. Như vậy, về mặt nguyên tắc có thể sử dụng tất cả các cơ cấu chỉ thị theo dòng (như cơ cấu chỉ thị từ điện, điện từ hay điện động) để chế tạo Ohmmet nhưng trên thực tế người ta chỉ sử dụng cơ cấu từ điện vì những ưu điểm của cơ cấu này như đã nói ở phần trước. Dưới đây sẽ chỉ nói tới Ohmmet có cơ cấu chỉ thị kiểu từ điện.

Có hai loại Ohmmet là Ohmmet nối tiếp và Ohmmet song song.

**a. Ohmmet nối tiếp**

Đây là Ohmmet trong đó điện trở cần đo mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị. Ohmmet loại này thường để đo giá trị điện trở Rx cỡ từ Ohm trở lên.

Rp là điện trở phụ đảm bảo khi Rx = 0 dòng điện qua cơ cấu đo là lớn nhất (hết thang chia độ) và để bảo vệ cơ cấu chỉ thị.

Điện trở trong của Ohmmet được xác định là

$$R_{\Omega} = R_{ct} + R_p = \frac{U_o}{I_{ct\ max}}$$

Khi Rx = 0 dòng qua chỉ thị là dòng  $I_{ct\ max} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p}$

Khi Rx ≠ 0 dòng qua chỉ thị  $I_{ct} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p + R_x}$

Khi Rx = ∞ dòng qua chỉ thị bằng 0

Từ đó ta nhận thấy thang chia độ của Ohmmet ngược với của Ampemet hay Vônmet.

Ngoài ra số chỉ của Ohmmet còn phụ thuộc vào nguồn pin cung cấp bên trong. Khi Uo giảm thì sai số khá lớn. Để điều chỉnh sai số này (hay còn gọi là điều chỉnh zero) người ta mắc thêm chiết áp Rm như hình sau:

Cách chỉnh zero: mỗi lần sử dụng Ohmmet ta ngắn mạch đầu vào (cho Rx = 0 bằng cách chập hai đầu que đo với nhau), vặn núm điều chỉnh của Rm để kim chỉ zero trên thang đo.

Bằng cách làm như trên ta sẽ có kết quả đo chính xác hơn dù nguồn pin bị yếu đi.

**b. Ohmmet song song**

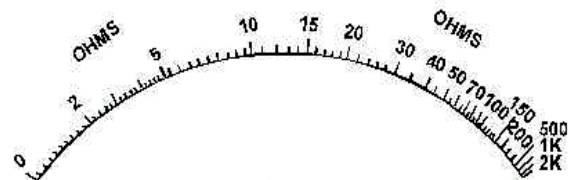
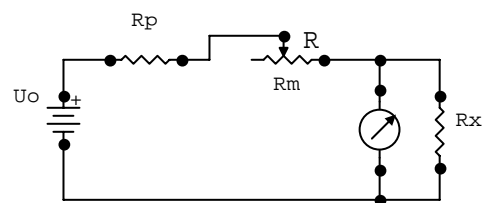
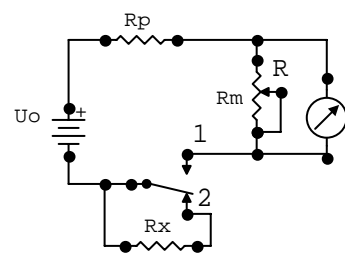
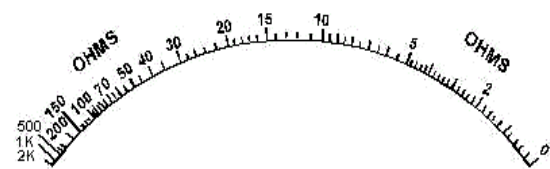
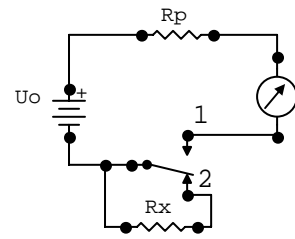
Loại Ohmmet này có điện trở cần đo Rx mắc song song với cơ cấu chỉ thị như hình dưới đây

Ohmmet loại này dùng để đo điện trở R khá nhỏ, nó có thang đo thuận chiều vì khi không có Rx (tức là Rx = ∞) dòng qua chỉ thị là lớn nhất còn khi Rx = 0 dòng qua chỉ thị xấp xỉ 0.

Như vậy thang đo của Ohmmet song song có dạng thuận như các thang đo thông thường khác

**c. Ohmmet nhiều thang đo**

Việc mở rộng nhiều thang đo cho Ohmmet sẽ tuân theo nguyên tắc chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở vào của Ohmmet với một số lần nhất định sao cho khi Rx = 0 kim chỉ vẫn đảm bảo lệch hết thang đo tức là dòng qua cơ cấu đo bằng giá trị định mức đã chọn.



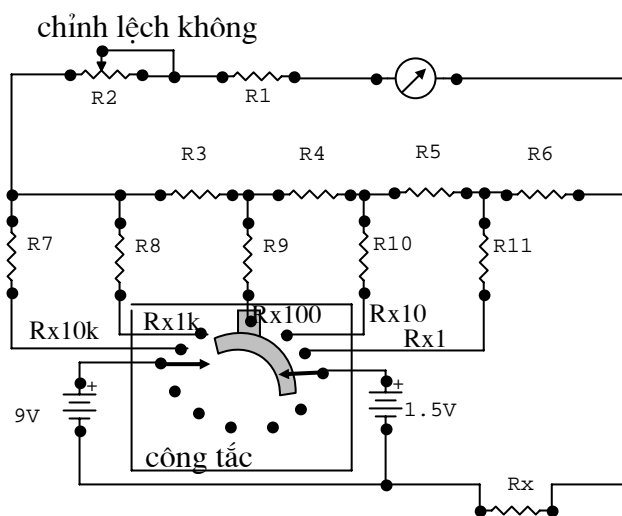
Để mở rộng giới hạn đo của Ohmmet người ta có thể dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân dòng cho các thang đo khác nhau.

Hình bên là ví dụ về một sơ đồ của Ohmmet nhiều thang đo.

**Chú ý:** Công tắc đo có phần tiếp xúc động có thể xoay từng nấc cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ. Công tắc này có hai phần tiếp xúc là tiếp xúc với điện trở phân dòng tương ứng của thang đo và tiếp xúc với nguồn cung cấp cho dải đo đó.

Khi thang đo điện trở ở giá trị nhỏ thì sử dụng nguồn nhỏ (ví dụ là 1,5V)

Khi thang đo điện trở ở giá trị lớn thì sử dụng nguồn lớn (ví dụ là 9V hoặc 15V)



Ohmmet nhiều thang đo

### 3. Cầu đo điện trở

Có hai loại cầu là cầu đơn (Wheatstone) và cầu kép (Kelvin) được sử dụng để đo điện trở với độ chính xác cao.

#### a. Cầu Wheatstone (cầu đơn)

Sơ đồ cầu như hình bên. Trong đó:

R1 là chiết áp

R2, R3 là các điện trở cố định

Đây là các điện trở làm bằng Manganine có độ chính xác cao.

Rx là điện trở cần đo

CT là chỉ thị 0.

#### Hoạt động của cầu:

Để xác định điện trở Rx người ta điều chỉnh con chạy của R1 để chỉ thị chỉ 0, khi đó cầu ở trạng thái cân bằng, tức là  $U_{ab} = 0$

Theo công thức phân áp ta có:

$$V_a = \frac{R1}{R1 + R2} \cdot U_o$$

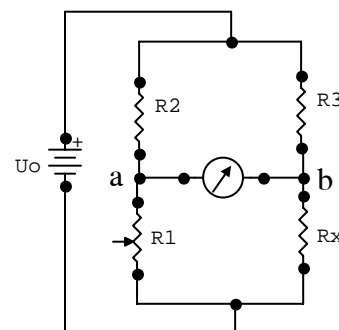
$$V_b = \frac{Rx}{Rx + R3} \cdot U_o$$

Cầu cân bằng khi  $V_a = V_b$

$$\Rightarrow \frac{R1}{R1 + R2} = \frac{Rx}{R3 + Rx}$$

$$\Leftrightarrow R1 \cdot R3 = R2 \cdot Rx$$

$$\Rightarrow Rx = \frac{R3}{R2} \cdot R1$$



Cầu Wheatstone



Vì R3 và R2 có giá trị cố định nên tỉ số giữa chúng là không đổi và được gọi là hệ số nhân k, như vậy,  $R_x = k.R1$

Từ đó ta có cách đo điện trở bằng cầu Wheatstone như sau:

Đưa điện trở Rx vào cầu và điều chỉnh con chạy của R1 sao cho kim chỉ thị chỉ 0, khi đó  $R_x = \frac{R3}{R2}.R1$ , hệ số R3 / R2 biết trước nên thang khác độ có thể khác trực tiếp giá trị của điện trở cần đo tùy thuộc vào vị trí con chạy của R1.

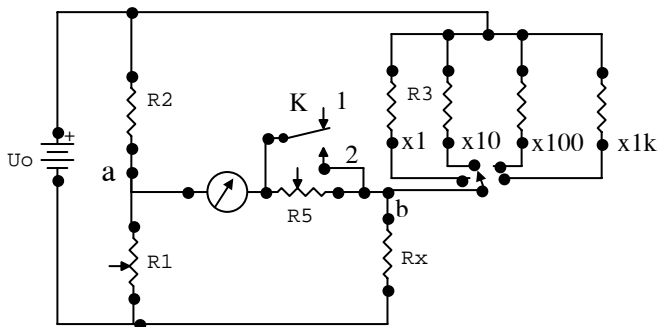
Thông thường để mở rộng thang đo người ta giữ nguyên R2 còn R3 được thay bởi một dãy các điện trở có giá trị hơn kém nhau 10 lần, khi đó ta sẽ có hệ số nhân là bội của 10. Sơ đồ mở rộng thang đo cho cầu Wheatstone như sau:

R5 là chiết áp điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị. Cách điều chỉnh:

+ Cho K ở vị trí 1 để chỉnh thô, bảo vệ quá dòng cho chỉ thị

+ Cho K ở vị trí 2 để chỉnh tinh sao cho cầu cân bằng hoàn toàn.

Tùy vào dải giá trị điện áp cần đo chọn giá trị của R3 phù hợp bằng cách xoay công tắc.



Cầu Wheatstone nhiều thang đo

Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị, độ chính xác của các điện trở mẫu. Tuy nhiên, ưu điểm chính của cầu Wheatstone là ở điểm giá trị của điện trở không phụ thuộc vào nguồn cung cấp. Nghĩa là nếu nguồn cung cấp có bị suy giảm trong quá trình sử dụng thì vẫn không ảnh hưởng tới cầu đo.

Ngoài ra người ta còn có thể mắc theo sơ đồ cầu biến trở như sau:

Khi đó:

$$R_x = \frac{R3}{R2}.R1$$

Tỉ số R3/R2 được xác định trên biến trở, nghĩa là giá trị của Rx được khắc độ ngay trên thang chia

R1 có nhiều giá trị để mở rộng thang đo.

Mạch trên có ưu điểm là gọn nhẹ, đơn giản nhưng lại có độ chính xác không cao do sai số của biến trở và chỉ thị.

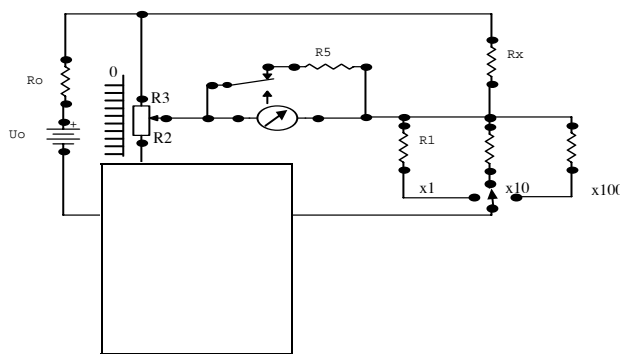
Giá trị điện trở cần đo càng lớn độ chính xác càng giảm

Khi đo  $R = 50 - 10^5 \Omega$  sai số khoảng 0,05% nhưng khi đo  $R = 10^5 - 10^6 \Omega$  thì sai số lên tới 0,5%.

**b. Cầu Kelvin (cầu kép)**

Đây là dụng cụ dùng để đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà cầu đơn ở trên không đo được hoặc có sai số quá lớn do điện trở dây nối và điện trở tiếp xúc.

Dưới đây là mạch nguyên lý và sơ đồ thông thường của cầu kép:



Khi cầu cân bằng ta có chỉ thị chỉ 0, dòng qua chỉ thị bằng 0 nên dòng qua R1, R2 là dòng I1, dòng qua R3, R4 là dòng I2.

+ Theo vòng 1 ta có:

$$I1.R1 = I.Rx + I2.R3$$

$$I.Rx = I1.R1 - I2.R3$$

$$\Rightarrow I.Rx = R1(I1 - I2 \cdot \frac{R3}{R1})$$

+ Theo vòng 2 ta có:

$$I1.R2 = I.Ro + I2.R4$$

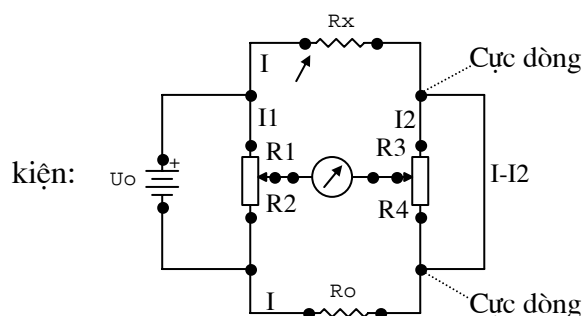
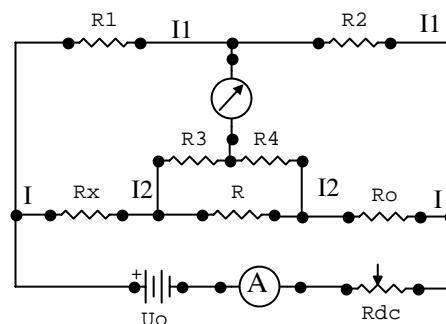
$$I.Ro = I1.R2 - I2.R4$$

$$\Rightarrow I.Ro = R2(I1 - I2 \cdot \frac{R4}{R2})$$

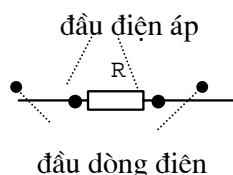
$$\text{Vậy: } \frac{Rx}{Ro} = \frac{R1}{R2} \cdot \frac{I1 - I2 \cdot \frac{R3}{R1}}{I1 - I2 \cdot \frac{R4}{R2}}$$

Với điều kiện  $\frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2}$  hay  $\frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R4}$

ta sẽ có:  $Rx = Ro \cdot \frac{R1}{R2}$



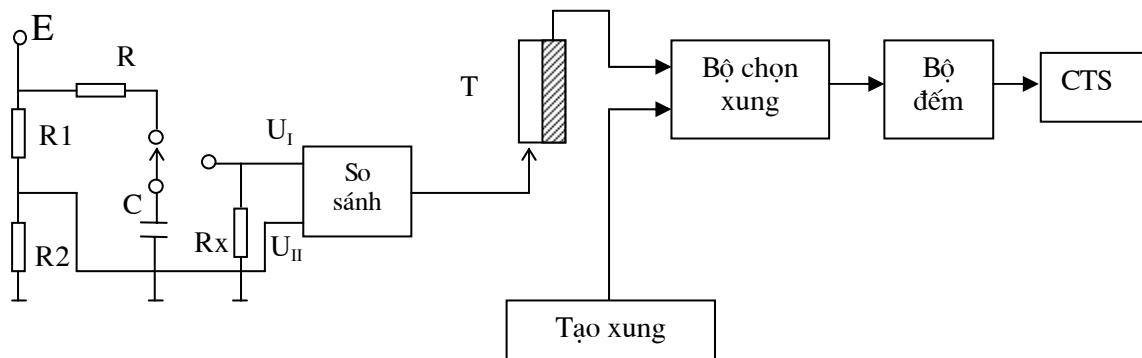
Như vậy nếu trong quá trình đo luôn giữ được tỉ số  $R1/R2 = R3/R4$  thì ta sẽ tính được Rx thông qua tỉ số trên.



**Chú ý:** Ro là điện trở mẫu còn Rx là điện trở cần đo có giá trị rất nhỏ nên để đảm bảo độ chính xác cao chúng thường được chế tạo thành điện trở 4 đầu, trong đó có 2 đầu áp và 2 đầu dòng (về thực chất đó chính là các điện trở sun nhỏ). Khi này sẽ tránh được sụt áp tại các điểm tiếp xúc của các đầu ra điện áp. Trong sơ đồ thông thường, R1, R2, R3 và R4 được mắc với các đầu điện áp của chúng. Nối giữa Rx và Ro là nối các đầu dòng. Dải đo của cầu kép từ  $10^{-6} - 100\Omega$ , giá trị điện trở càng nhỏ cấp chính xác càng thấp do hạn chế của khả năng tạo giá trị chuẩn.

#### 4. Đo điện trở bằng chỉ thị số:

- Trước khi đo (mạch ở trạng thái chờ):
  - + Tụ C luôn được nạp đầy từ nguồn E.
  - + Trigơ T luôn ở trạng thái "0"



Hình. Sơ đồ khối mạch đo điện trở bằng chỉ thị số

- Khi bắt đầu đo : + Trơ được kích hoạt chuyển từ 0--> 1
- + Đồng thời, mạch tạo xung cũng được kích hoạt
- + Khoá K ở vị trí 2.

Các hiện tượng xảy ra :

Nhờ tác động của xung tích cực đến từ trơ T mạch chọn xung sẽ cho qua các xung đến từ bộ tạo xung, mạch đếm bắt đầu đếm số xung này.

Tụ C phóng điện qua điện trở  $R_x$  theo phương trình :

$$U_T = E.e^{-t/T}, \text{ trong đó } T = R_x C = \text{hằng số thời gian của mạch}$$

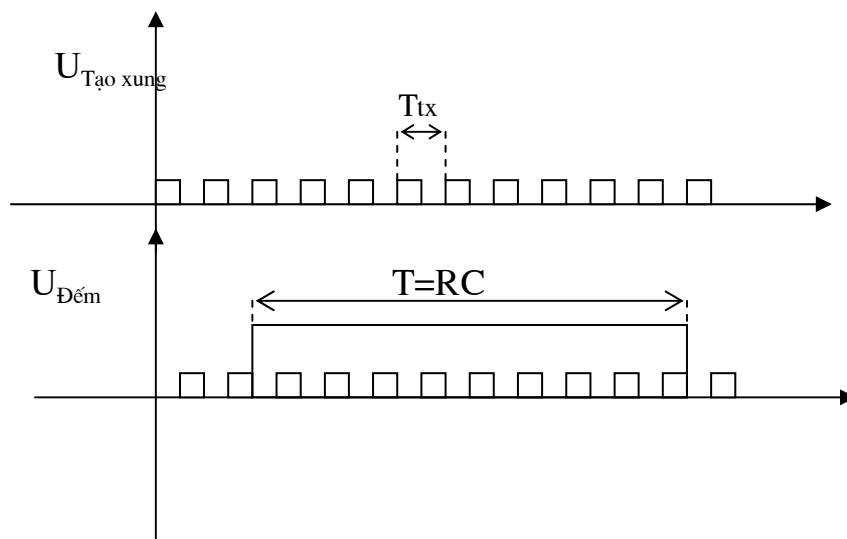
Sau khoảng  $t=T$ , ta có  $U_I = E.e^{-1}$

Trong quá trình chế tạo, chọn R1 và R2 sao cho :

$$U_{II} = E.R_2 / (R_1 + R_2) = E.e^{-1}$$

Tức là sau khoảng thời gian  $t=T=RC$  điện áp đầu vào bộ so sánh là bằng nhau, tức là đầu ra bộ so sánh có tín hiệu, tín hiệu này kích hoạt trơ T làm T chuyển trạng thái '1'-->'0', làm cho mạch chọn xung ngừng không cho xung qua, mạch đếm kết thúc quá trình đếm. Bộ chỉ thị chỉ thị kết quả đo

Ta có biểu đồ thời gian như sau :



Gọi số xung đếm được là m, ta có :  $T = R_x C = m.T_{tx} \Rightarrow$

$R_x = (T_{tx}/C).m = K.m$ , trong đó K là hằng số, vì T, C là những giá trị biết trước

## II. CẦU DÒNG XOAY CHIỀU

Đây là dụng cụ dựa trên cầu đơn để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao và hệ số phẩm chất Q.

Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều tần số công nghiệp (50 – 60Hz), âm tần hoặc cao tần từ máy phát tần.

Chỉ thị zero là dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng ...

Trong đó Z là tổng trở của các nhánh,  $Z = R + jX$  với R là phần thực và X là phần ảo.

Điều kiện cân bằng của cầu là:  $Z1.Z3 = Z2.Z4$

Điều kiện trên thoả mãn khi các điều kiện cân bằng biên độ và cân bằng pha được thoả mãn.

Dụng cụ chỉ 0 của cầu xoay chiều thường là điện kế chỉnh lưu có sử dụng thêm bộ khuếch đại để tăng đo nhạy cho chỉ thị với dải tần số đo là 20Hz – 1MHz (hình bên)

### 1. Cầu xoay chiều đo điện dung

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không qua tụ) nhưng trong thực tế vẫn có thành phần dòng rò đi qua lớp điện môi vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất. Để đặc trưng cho sự tổn hao này người ta sử dụng thông số góc tổn hao  $\delta$

Với tụ có tổn hao nhỏ  $\tan \delta = R \cdot \omega C$

Với tụ có tổn hao lớn  $\tan \delta = 1/R \cdot \omega C$

Trong đó R, C là hai thành phần đại diện cho phần thuận trở và phần thuận dung của tụ điện.

#### a. Cầu đo tụ điện tổn hao nhỏ

Tụ điện có tổn hao nhỏ được biểu diễn bởi một tụ điện lý tưởng mắc nối tiếp với một điện trở. Khi đó người ta mắc cầu như hình bên

$C_x, R_x$  là nhánh tụ điện cần đo

$C_m, R_m$  là nhánh tụ mẫu điều chỉnh được

được

$R1, R2$  là các điện trở thuận trở.

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ:

$$Z_x.Z2 = Z1.Z_m$$

Với :

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

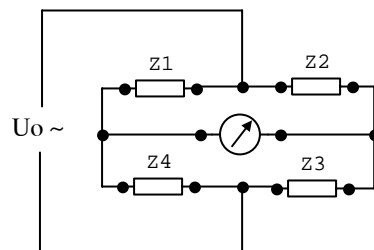
$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z1 = R1$$

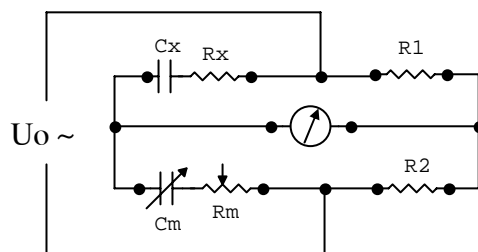
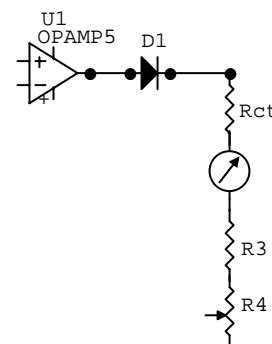
$$Z2 = R2$$

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right).R2 = R1\left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m}\right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R2.R_x = R1.R_m \\ R2/C_x = R1/C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R1}{R2}.R_m \\ C_x = \frac{R2}{R1}.C_m \end{cases}$$



Mạch cầu dòng xoay chiều



Cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ

**b. Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn**

Khi tụ có tổn hao lớn người ta biểu diễn nó dưới dạng một tụ điện lý tưởng mắc song song với một điện trở.

Cầu cân bằng ta có điều kiện:

$$Z_x.Z_2=Z_1.Z_m$$

Với:

$$Z_x = \frac{R_x \cdot \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$Z_m = \frac{R_m \cdot \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

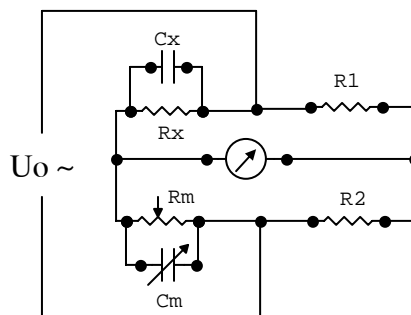
$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{1/R_m + j\omega C_m} = \frac{R_2}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$\Rightarrow R_1(1/R_x + j\omega C_x) = R_2.(1/R_m + j\omega C_m)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_m} \\ R_1.C_x = R_2.C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2}.R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1}.C_m \end{cases}$$



Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

**2. Cầu đo điện cảm**

Cuộn cảm lý tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng là  $(X_L = \omega L)$  hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm L, nhưng trong thực tế các cuộn dây bao giờ cũng có một điện trở nhất định. Điện trở càng lớn phẩm chất của cuộn dây càng kém. Q là thông số đặc trưng cho phẩm chất của cuộn dây, nó được tính bằng:

$$Q = \frac{X_L}{R_L}$$

Để đo các thông số của cuộn dây người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều.

**a. Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu**

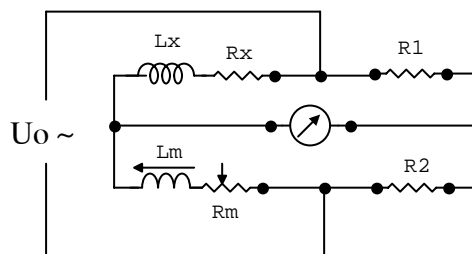
Mạch cầu so sánh các đại lượng cần xác định  $L_x, R_x$  với đại lượng mẫu  $L_m$  và  $R_m$ .

Hai nhánh  $R_1, R_2$  là các điện trở thuần trở có độ chính xác cao.

Khi đo người ta điều chỉnh  $R_m, L_m$  (và có thể cả  $R_1, R_2$ ) để cầu đạt giá trị cân bằng.

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x.Z_2 = Z_1.Z_m$$



Cầu đo điện cảm

Với:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = R_m + j\omega L_m$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x).R_2 = (R_m + j\omega L_m).R_1$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x.R_2 = R_m.R_1 \\ L_x.R_2 = L_m.R_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2}.R_m \\ L_x = \frac{R_1}{R_2}.L_m \end{cases}$$

Từ đó tính được hệ số phẩm chất của cuộn dây

$$Q_x = \frac{\omega.L_x}{R_x} = \frac{\omega.L_m}{R_m}$$

### b. Cầu điện cảm Maxwell

Trên thực tế việc chế tạo tụ điện chuẩn dễ hơn nhiều so với việc tạo cuộn dây chuẩn, do vậy người ta sử dụng tụ điện trong cầu Maxwell để đo điện cảm.

Khi cầu đạt cân bằng ta có:

$$Z_x.Z_m = Z_1.Z_2$$

Trong đó:

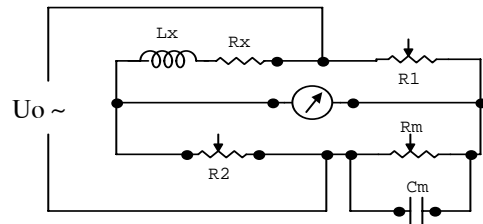
$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

Từ đó tính được  $Q_x = \frac{\omega.L_x}{R_x} = \omega.C_m.R_m$



Cầu điện cảm Maxwell

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m} = R_1.R_2$$

$$R_x + j\omega L_x = R_1.R_2 \left( \frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1.R_2}{R_m} \\ L_x = R_1.R_2.C_m \end{cases}$$

Cầu Maxwell chỉ thích hợp đo các cuộn cảm có hệ số Q thấp

### c. Cầu điện cảm Hay

Mạch cầu này được sử dụng cho việc đo các cuộn cảm có hệ số phẩm chất cao.

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x.Z_m = Z_1.Z_2$$

Với:

$$Z_x = \frac{R_x.j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x}$$

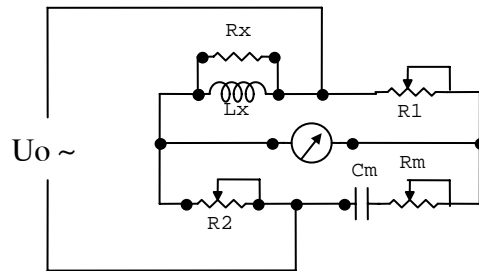
$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_x.j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \left( R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) = R_1.R_2$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_x = R_1.R_2.C_m \\ R_x = \frac{R_1.R_2}{R_m} \end{cases}$$



Cầu điện cảm Hay

khi đó  $Q_x = \frac{\omega.L_x}{R_x} = \omega.C_m.R_m$

Ngoài ra, người ta còn dùng các biến thể khác của mạch cầu như mạch cầu Owen, Shering ... để đo tụ điện và cuộn cảm.

**CHƯƠNG 8:**

**MÁY HIỆN SÓNG ĐIỆN TỬ**

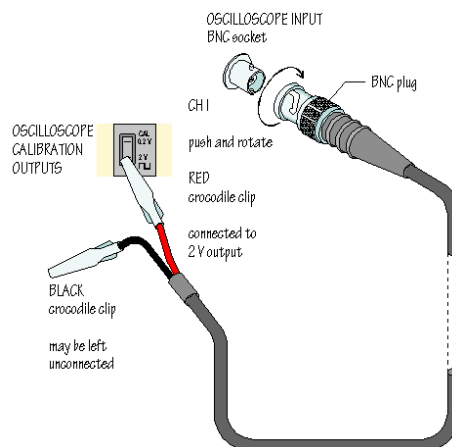
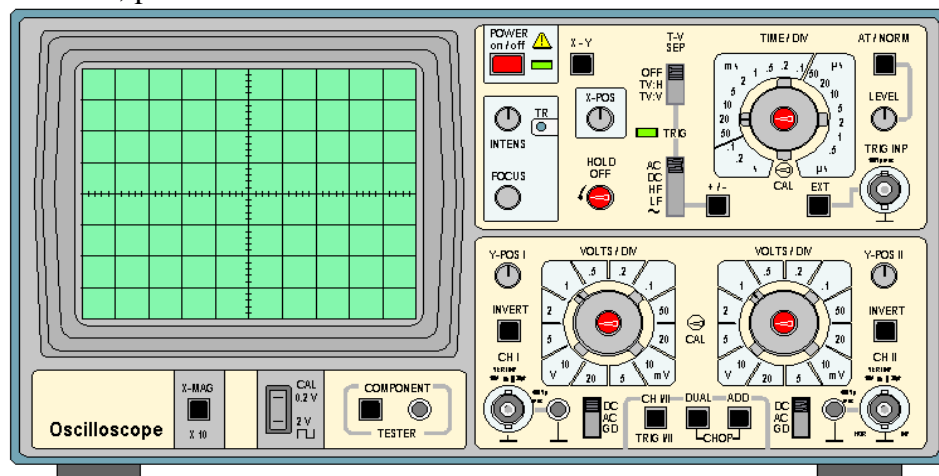
**I. MỞ ĐẦU**

Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng. Nó chủ yếu được sử dụng để vẽ dạng của tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được:

- + Giá trị điện áp và thời gian tương ứng của tín hiệu
- + Tần số dao động của tín hiệu
- + Góc lệch pha giữa hai tín hiệu
- + Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử
- + Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như thế nào
- + Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không

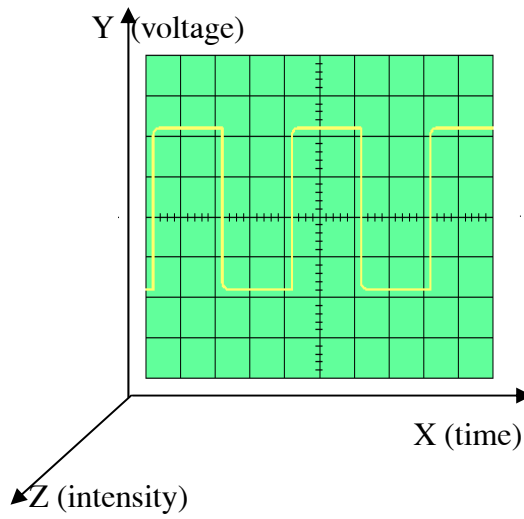


Một máy hiện sóng giống như một máy thu hình nhỏ nhưng có màn hình được kẻ ô và có nhiều phân điều khiển hơn TV. Dưới đây là panel của một máy hiện sóng thông dụng với phân hiển thị sóng; phân điều khiển theo trục X, trục Y, đồng bộ và chế độ màn hình; phân kết nối đầu đo ....





Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. Ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian: trục đứng Y là trục điện áp, trục ngang X là trục thời gian. Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi là trục Z.

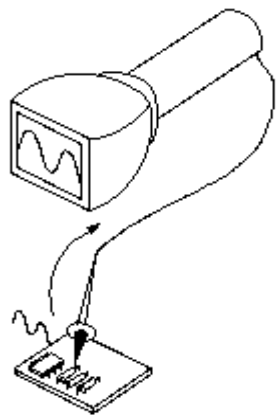


Máy hiện sóng có thể được dùng ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không đơn thuần chỉ trong lĩnh vực điện tử. Với một bộ chuyển đổi hợp lý ta có thể đo được thông số

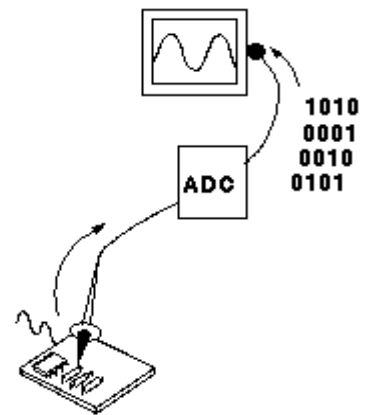
của hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý. Bộ chuyển đổi ở đây có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điện tương ứng với đại lượng cần đo, ví dụ như các bộ cảm biến âm thanh, ánh sáng, độ căng, độ rung, áp suất hay nhiệt độ ...

Các thiết bị điện tử thường được chia thành 2 nhóm cơ bản là thiết bị tương tự và thiết bị số, máy hiện sóng cũng vậy. Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên màn hình. Trong khi đó, máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự / số (ADC). Sau đó nó sử dụng các thông tin dưới dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình.

Tùy vào ứng dụng mà người ta sử dụng máy hiện sóng loại nào cho phù hợp. Thông thường, nếu cần hiển thị dạng tín hiệu dưới dạng thời gian thực (khi chúng



**Analog Oscilloscopes**

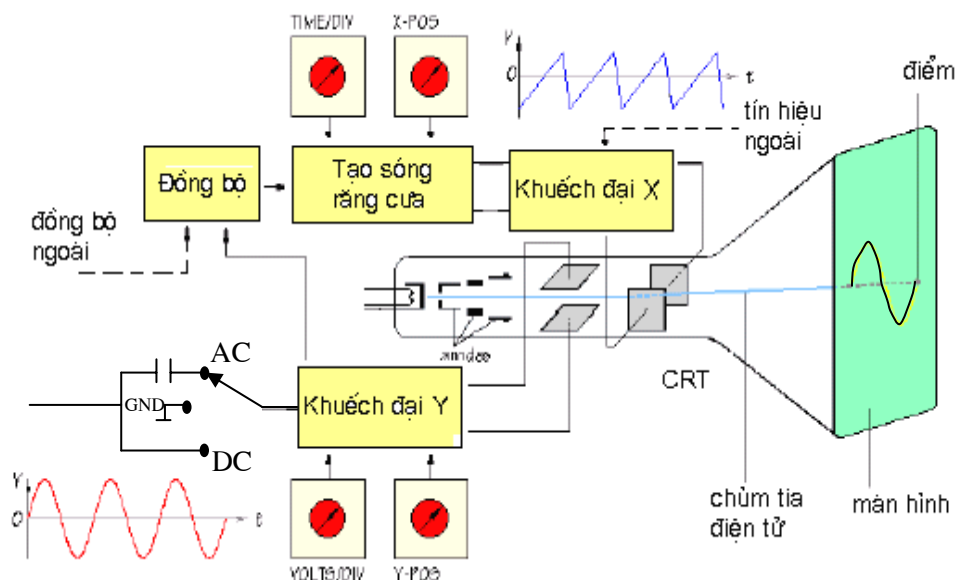


**Digital Oscilloscopes**

xảy ra) thì sử dụng máy hiện sóng tương tự. Khi cần lưu giữ thông tin cũng như hình ảnh để có thể xử lý sau hay in ra dạng sóng thì người ta sử dụng máy hiện sóng số có khả năng kết nối với máy tính và các bộ vi xử lý.

Phần tiếp theo của tài liệu chúng ta sẽ nói tới máy hiện sóng tương tự, loại dùng phổ biến trong kỹ thuật đo lường điện tử.

## II. SƠ ĐỒ KHỐI CỦA MỘT MÁY HIỆN SÓNG THÔNG DỤNG



Tín hiệu vào được đưa qua bộ chuyển mạch ac / dc (khoá K đóng khi cần xác định thành phần dc của tín hiệu còn khi chỉ quan tâm đến thành phần ac thì mở K). Tín hiệu này sẽ qua bộ phân áp (hay còn gọi là bộ suy giảm đầu vào) được điều khiển bởi chuyển mạch núm xoay VOLTS / DIV, nghĩa là xoay núm này cho phép ta điều chỉnh tỉ lệ của sóng theo chiều đứng. Chuyển mạch Y-POS để xác định vị trí theo chiều đứng của sóng, nghĩa là có thể di chuyển sóng theo chiều lên hoặc xuống tùy ý bằng cách xoay núm vặn này. Sau khi qua phân áp, tín hiệu vào sẽ được bộ khuếch đại Y khuếch đại làm lệch để đưa tới điều khiển cặp làm lệch đứng. Tín hiệu của bộ KĐ Y cũng được đưa tới trigo (khối đồng bộ), trường hợp này gọi là đồng bộ trong, để kích thích mạch tạo sóng răng cưa (còn gọi là mạch phát quét) và đưa tới điều khiển cặp làm lệch ngang (để tăng hiệu quả điều khiển, một số mạch còn sử dụng thêm các bộ khuếch đại X sau khối tạo điện áp răng cưa). Đôi khi người ta cũng cho mạch làm việc ở chế độ đồng bộ ngoài bằng cách cắt đường tín hiệu từ KĐ Y, thay vào đó là cho tín hiệu ngoài kích thích khối tạo sóng răng cưa.

Đi vào khối tạo sóng răng cưa còn có hai tín hiệu điều khiển từ núm vặn TIME/DIV và X-POS. TIME/DIV (có nhiều máy kí hiệu là SEC/DIV) cho phép thay đổi tốc độ quét theo chiều ngang, khi đó dạng sóng sẽ dừng trên màn hình với  $n$  chu kỳ nếu tần số của sóng đó lớn gấp  $n$  lần tần số quét). X-POS là núm điều chỉnh việc di chuyển sóng theo chiều ngang cho tiện quan sát.

Ống phóng tia điện tử CRT đã được mô tả ở phần trước.

Sau đây ta sẽ xem xét phần điều khiển, vận hành và các ứng dụng thông dụng nhất của một máy hiện sóng.

### III. THIẾT LẬP CHẾ ĐỘ HOẠT ĐỘNG VÀ CÁCH ĐIỀU KHIỂN MỘT MÁY HIỆN SÓNG

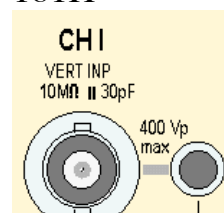
#### 1. Thiết lập chế độ hoạt động cho máy hiện sóng

Sau khi nối đất cho máy hiện sóng ta sẽ điều chỉnh các núm vặn hay công tắc để thiết lập chế độ hoạt động cho máy.

Panel trước của máy hiện sóng gồm 3 phần chính là VERTICAL (phần điều khiển đứng), HORIZONTAL (phần điều khiển ngang) và TRIGGER (phần điều khiển đồng bộ). Một số phần còn lại (FOCUS - độ nét, INTENSITY - độ sáng...) có thể khác nhau tùy thuộc vào hãng sản xuất, loại máy, và model.

Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình bên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có 2 que đo ứng với 2 kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mỗi kênh.

181H

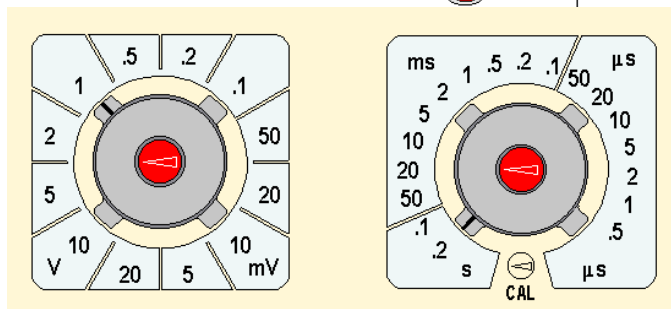


Một số máy hiện sóng có chế độ AUTOSET hoặc PRESET để thiết lập lại toàn bộ phần điều khiển, nếu không ta phải tiến hành bằng tay trước khi sử dụng máy.

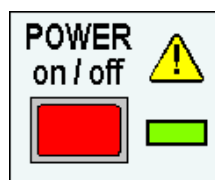
Các bước chuẩn hoá như sau:

1. + Đưa tất cả các nút bấm về vị trí OUT
- + Đưa tất cả các thanh trượt về vị trí UP
- + Đưa tất cả các núm xoay về vị trí CENTRED
- + Đưa nút giữa của VOLTS/DIV, TIME/DIV, HOLD OFF về vị trí CAL (cân chỉnh)

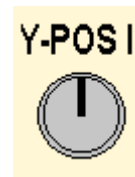
2. Vặn VOLTS/DIV và TIME/DIV về vị trí 1V/DIV và .2s/DIV



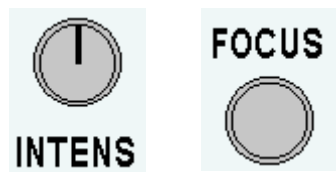
#### 3. Bật nguồn



4. Xoay Y-POS để điều chỉnh điểm sáng theo chiều đứng (điểm sáng sẽ chạy ngang qua màn hình với tốc độ chậm). Nếu vặn TIME/DIV ngược chiều kim đồng hồ (theo chiều giảm) thì điểm sáng sẽ di chuyển nhanh hơn và khi ở vị trí cỡ  $\mu\text{s}$  trên màn hình sẽ là 1 vạch sáng thay cho điểm sáng.



5. Điều chỉnh INTENS để thay đổi độ chói và FOCUS để thay đổi độ nét của vạch sáng trên màn hình.



6. Đưa tín hiệu chuẩn để kiểm tra độ chính xác của máy

Đưa đầu đo tới vị trí lấy chuẩn (hoặc là từ máy phát chuẩn hoặc ngay trên máy hiện sóng ở vị trí CAL 1Vpp, 1kHz). Với giá trị chuẩn như trên nếu VOLTS/DIV ở vị trí 1V/DIV và TIME/DIV ở vị trí 1ms/DIV thì trên màn hình sẽ xuất hiện một sóng vuông có biên độ đỉnh đỉnh 1 ô trên màn hình và độ rộng xung cũng là 1 ô trên màn hình. (xoay Y-POS và X-POS để đếm ô một cách chính xác)

Sau khi lấy lại các giá trị chuẩn ở trên, tùy thuộc chế độ làm việc mà ta sử dụng các nút điều khiển tương ứng như sẽ nói ở phần tiếp theo.

## 2. Các phân điều khiển chính

### a. Điều khiển màn hình

Phần này bao gồm:

+ Điều chỉnh độ sáng- INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lưới

+ Điều chỉnh độ nét – FOCUS - của dạng sóng. Thực chất là điều chỉnh điện áp các anot A1, A2 và A3

+ Điều chỉnh độ lệch của trục ngang – TRACE - (khi vị trí của máy ở những điểm khác nhau thì tác dụng của từ trường trái đất cũng khác nhau nên đôi khi phải điều chỉnh để có vị trí cân bằng)

### b. Điều khiển theo trục đứng

Phần này sẽ điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều đứng. Khi tín hiệu đưa vào càng lớn thì VOLTS/DIV cũng phải ở vị trí lớn và ngược lại.

Ngoài ra còn một số phần như

INVERT: đảo dạng sóng

DC/AC/GD: hiển thị phần một chiều/ xoay chiều/đất của dạng sóng

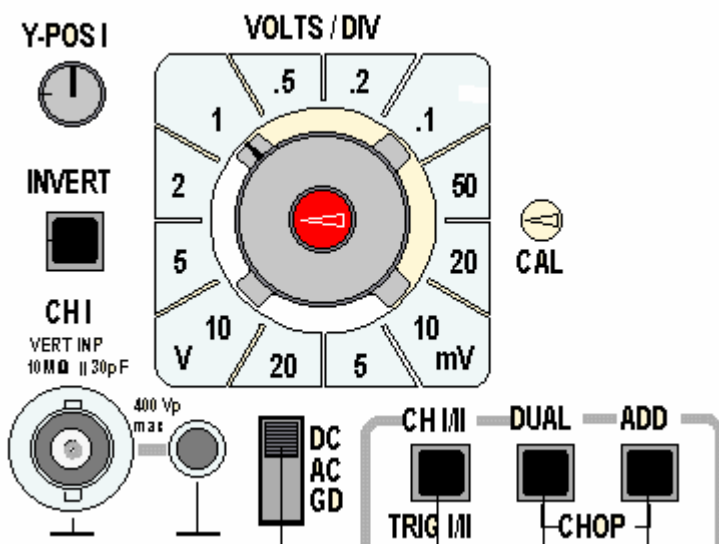
CH I/II: chọn kênh 1 hoặc kênh 2

DUAL: chọn cả hai kênh

ADD: cộng tín hiệu của cả hai kênh

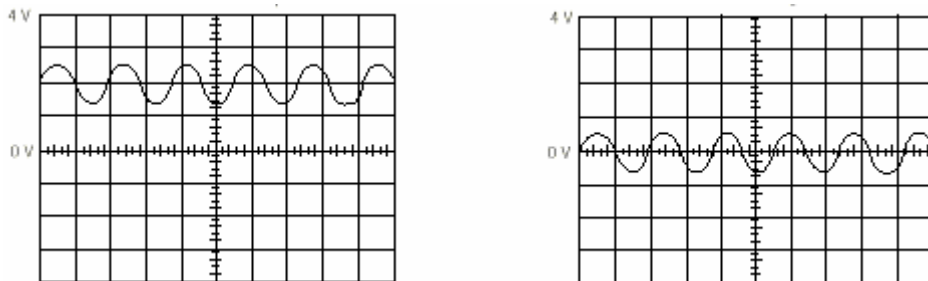
Khi bấm nút INVERT dạng sóng của tín hiệu sẽ bị đảo ngược lại (đảo pha 180°)

Khi gạt công tắc về vị trí GD trên màn hình sẽ xuất hiện một đường ngang, dịch chuyển vị trí của đường này để xác định vị trí đất của tín hiệu

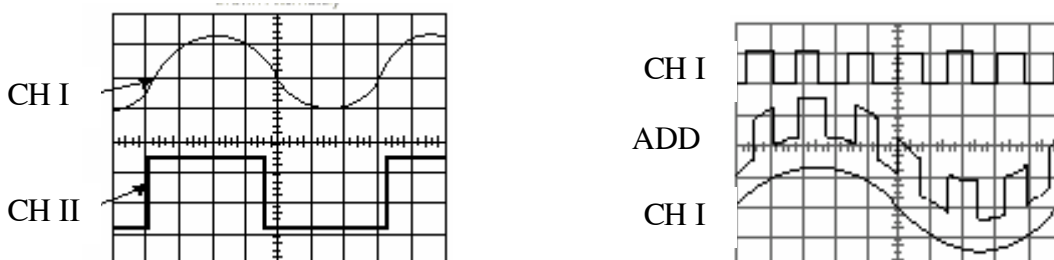


Gạt công tắc về vị trí DC nghĩa là trong tín hiệu bao gồm cả thành phần một chiều và xoay chiều, gạt về vị trí AC là hiện dạng sóng đã tách thành phần một chiều. Xem hình dưới đây: (bên trái là ở chế độ DC và bên phải ở chế độ AC)

Khi ấn nút DUAL để chọn cả hai kênh thì trên màn hình sẽ xuất hiện 2 đồ thị



của 2 dạng sóng ứng với 2 đầu đo. ADD để cộng các sóng với nhau. Nói chung vị trí của 3 nút CH I/II, DUAL và ADD sẽ cho các chế độ hiển thị khác nhau tùy thuộc vào từng loại máy.

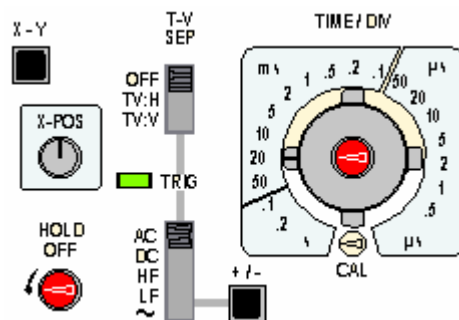


**c. Điều khiển theo trục ngang**

Phần này điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều ngang. Khi tín hiệu đưa vào có tần số càng cao thì TIME/DIV phải càng nhỏ và ngược lại. Ngoài ra còn một số phần sau:

X-Y: ở chế độ này kênh thứ 2 sẽ làm trục X thay cho thời gian như ở chế độ thường.

Chú ý: khi máy hoạt động ở chế độ nhiều kênh thì cũng chỉ có một phần điều khiển theo trục ngang nên tần số quét khi đó sẽ là tần số quét chung cho cả 2 dạng sóng.



**IV. ỨNG DỤNG CỦA MÁY HIỆN SÓNG TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG**

Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu thập và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu ...

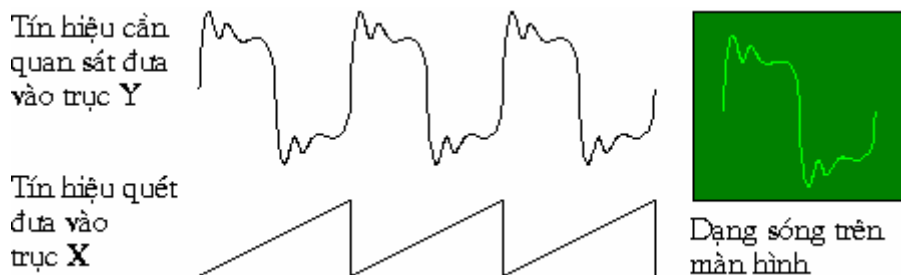
Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng.

**1. Quan sát tín hiệu**

Để quan sát được tín hiệu chỉ cần thiết lập máy ở chế độ đồng bộ trong và điều chỉnh tần số quét và trigô để dạng sóng đứng yên trên màn hình. Khi này có thể xác định được sự biến thiên của tín hiệu theo thời gian như thế nào. Các máy

### Chương 8: Máy hiện sóng điện tử

Hiện sóng hiện đại có thể cho phép cùng một lúc 2, 4 hoặc 8 tín hiệu dạng bất kỳ cùng một lúc và tần số quan sát có thể lên tới 400MHz.



### 2. Đo điện áp

Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV

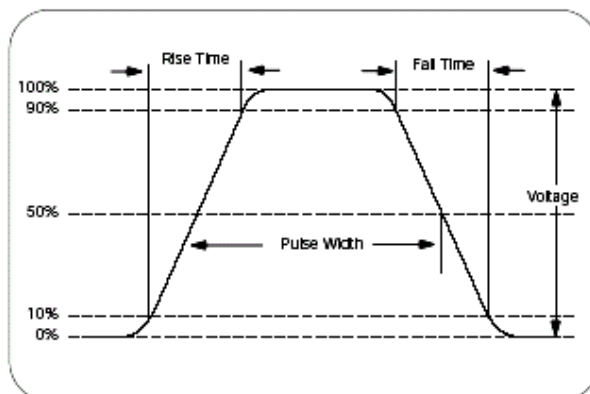
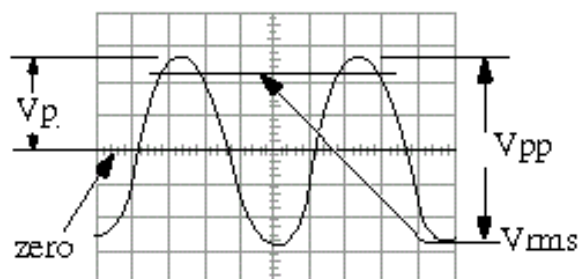
Ví dụ: VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở hình trên có:

$$V_p = 2,7\text{ ô} \times 1\text{V} = 2,8\text{V}$$

$$V_{pp} = 5,4\text{ ô} \times 1\text{V} = 5,4\text{V}$$

$$V_{rms} = 0,707V_p = 1,98\text{V}$$

Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình bên

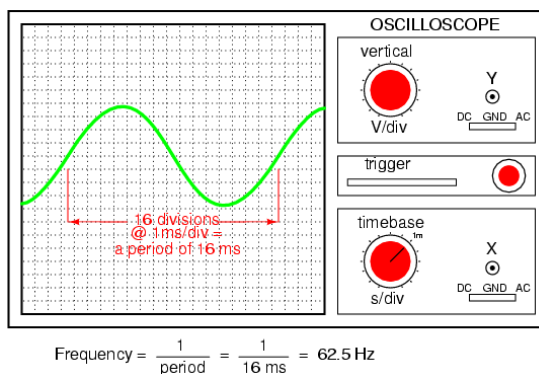


### 3. Đo tần số và khoảng thời gian

Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV

Việc xác định tần số của tín hiệu được thực hiện bằng cách tính chu kỳ theo cách như trên. Sau đó nghịch đảo giá trị của chu kỳ ta tính được tần số.

Ví dụ: ở hình bên s/div là 1ms. Chu kỳ của tín hiệu dài 16ô, do vậy chu kỳ là 16ms  $\Rightarrow f = 1/16ms = 62,5Hz$



#### 4. Đo tần số và độ lệch pha bằng phương pháp so sánh

Ngoài cách đo tần số thông qua việc đo chu kỳ như ở trên, có thể đo tần số bằng máy hiện sóng như sau: so sánh tần số của tín hiệu cần đo  $f_x$  với tần số chuẩn  $f_o$ . Tín hiệu cần đo đưa vào cực Y, tín hiệu tần số chuẩn đưa vào cực X. Chế độ làm việc này của máy hiện sóng gọi là chế độ X-Y mode và các sóng đều có dạng hình sin. Khi đó trên màn hình sẽ hiện ra một đường cong phức tạp gọi là đường cong Lissajou.

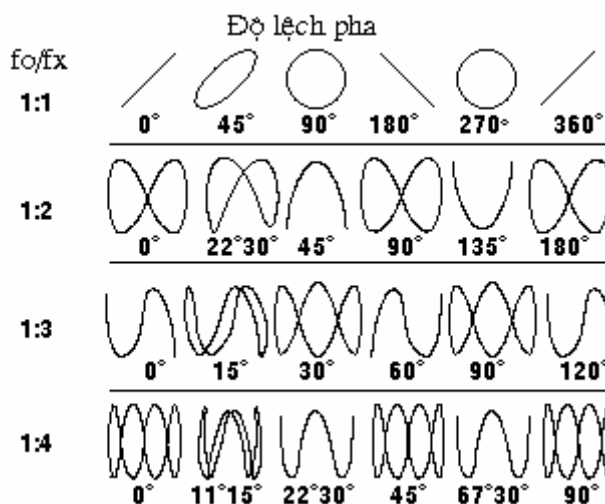
Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dáng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tỉ số tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng. Xem hình bên.

Ta có:  $\frac{f_o}{f_x} = \frac{m}{n}$

với n là số múi theo chiều ngang và m là số múi theo chiều dọc (hoặc có thể lấy số điểm cắt lớn nhất theo mỗi trục hoặc số điểm tiếp tuyến với hình Lissajou của mỗi trục)

Phương pháp hình Lissajou cho phép đo tần số trong khoảng từ 10Hz tới tần số giới hạn của máy.

Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho 2 tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y-POS và X-POS sao cho tâm của elip trùng với tâm màn hình (gốc tọa độ). Khi đó góc lệch pha được tính bằng:



$\varphi = \arctg\left(\frac{A}{B}\right)$  với A, B là đường kính trục dài và đường kính trục ngắn của

elip

Nhược điểm của phương pháp này là không xác định được dấu của góc pha và sai số của phép đo khá lớn (5 – 10%)



## CHƯƠNG 9:

### ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

#### I. KHÁI NIỆM CHUNG

+ **Đối tượng đo lường** là các đại lượng vật lý không điện như nhiệt độ, áp suất,... là các đại lượng cần đo X. Sau khi tiến hành các quá trình thực nghiệm bằng cách sử dụng các phương tiện điện tử để xử lý tín hiệu, ở đầu ra ta được một đại lượng tương ứng. Sự biến đổi của đại lượng này chứa đựng tất cả các thông tin cần thiết để nhận biết X, việc đo lường đại lượng X thực hiện được là nhờ sử dụng các cảm biến (*Sensor*)

+ **Định nghĩa cảm biến:**

Cảm biến là một thiết bị dùng để biến đổi từ đại lượng vật lý này sang đại lượng vật lý khác mang bản chất điện với một độ chính xác nhất định. Quan hệ giữa đại lượng ra và đại lượng vào là quan hệ hàm đơn trị.



trong đó: X là đại lượng không điện cần đo  
Y là đại lượng ra (đại lượng điện), là một hàm của đại lượng cần đo,  
 $Y = F(X)$

Việc đo lường Y sẽ cho phép nhận biết giá trị của X;  $Y = F(X)$  là dạng lý thuyết của định luật vật lý biểu diễn hoạt động của cảm biến, đồng thời là dạng số biểu diễn sự phụ thuộc của nó vào cấu tạo (kích thước và hình dạng), vật liệu chế tạo cảm biến, đôi khi cả vào môi trường và chế độ sử dụng (nhiệt độ, nguồn nuôi).

Vị trí của cảm biến trong thiết bị đo lường chính là phân chuyển đổi sơ cấp

+ **Lĩnh vực ứng dụng:** cảm biến được sử dụng ở hầu hết các mặt của sản xuất cũng như đời sống xã hội.

ví dụ: Viễn thông: trong các cơ cấu tự động cảnh báo nhiệt độ, độ ẩm, báo cháy... của tổng đài, góp phần đảm bảo tổng đài hoạt động được liên tục; cảm biến tại các thiết bị đầu cuối để chuyển âm thanh, hình ảnh thành tín hiệu điện; tại các thiết bị truyền dẫn chuyển tín hiệu điện thành tín hiệu quang và ngược lại.

Tự động hoá: sử dụng cảm biến để biết được các thông số của đối tượng cần điều khiển (tốc độ động cơ, vận tốc của vật, xe cộ; hướng đi....) từ đó xây dựng phương pháp điều khiển

.....

+ **Nguyên tắc:** cảm biến thường dựa trên các hiệu ứng vật lý biến đổi một dạng năng lượng nào đó (nhiệt, cơ, hoặc bức xạ) thành năng lượng điện. (*xem lại phân chuyển đổi sơ cấp*).

#### II. CÁC LOẠI CẢM BIẾN

Dưới đây là một số kiểu cảm biến thông dụng nhất

##### 1. Cảm biến kiểu biến trở

+ Cấu tạo: Gồm 3 phần: lõi, dây quấn và con trượt.

Lõi:

Có hình dáng khác nhau: dạng hàm số, dạng nhảy cấp.

Chất liệu: làm bằng bakelit, sứ, kim loại có phủ lớp cách điện.

Dây quấn:

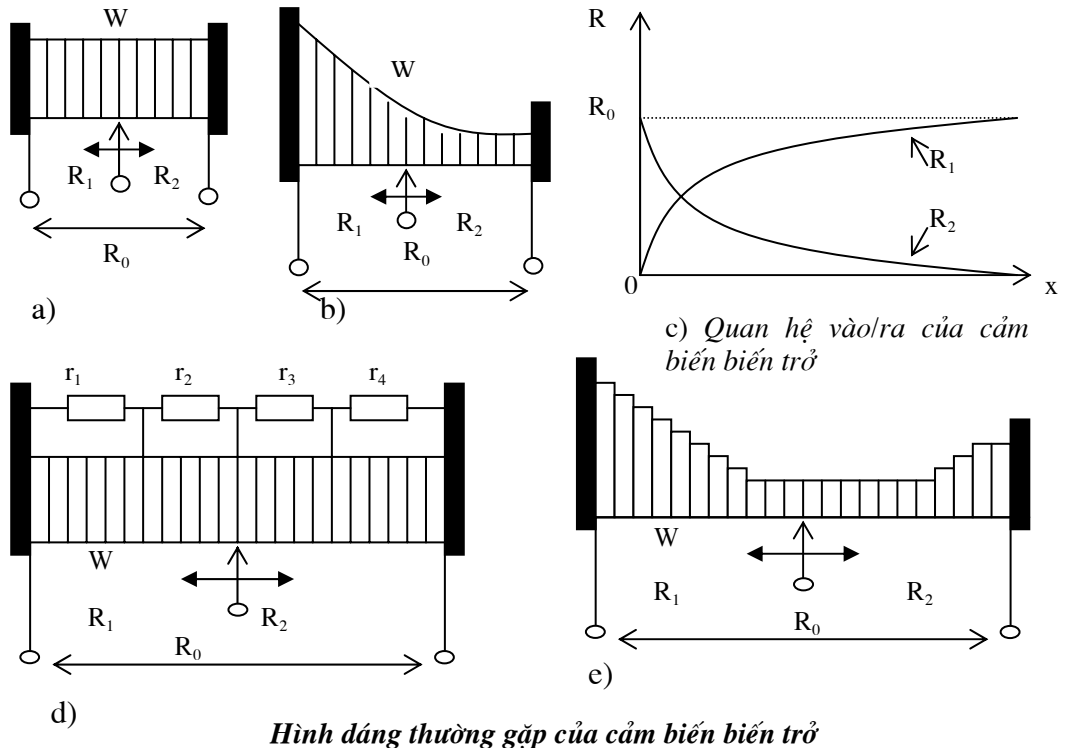
Có đường kính khoảng  $\varnothing = (0,02 \div 0,07) \text{mm}$ .

Chất liệu: làm bằng đồng, niken, pratin, mangamin. Đối với loại mangamin thì điện trở là ổn định nhất.

Điện trở của dây: tùy từng loại có thể từ vài  $\Omega$  đến  $1000\Omega$ .

Con trượt: chế tạo bằng đồng faberin-fôtfô.

Lực từ khoảng:  $0,01 \div 0,05 \text{ N}$ .



+ Nguyên tắc làm việc: khi đại lượng không điện tác động vào con trượt làm con trượt di chuyển, điện trở của cảm biến sẽ thay đổi tương ứng. Nghĩa là:

$$R = f(X)$$

Cảm biến điện trở chỉ cho ta phát hiện sự biến thiên điện trở bằng điện trở của một vòng dây tương ứng với một di chuyển bằng khoảng cách giữa hai vòng dây.

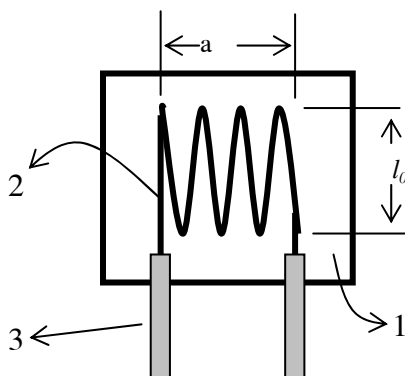
+ Ứng dụng:

Cảm biến biến trở thường dùng để đo di chuyển nhỏ (2-3)mm, đo di chuyển góc, đo lực áp suất  $>0,01 \text{N}$

## 2. Cảm biến điện trở lực căng (tenzômet)

+ Cấu tạo: Hình bên là cấu tạo của cảm biến điện trở lực căng, bao gồm:

1. Tấm giấy mỏng.



2. Dây mảnh:  $\Phi = 0,02 \div 0,03\text{mm}$ .

Chế tạo bằng vật liệu constantan, nicro, hợp kim platin-iridi

Thông thường  $l_0 = 8 \div 15\text{mm}$ , khi cần kích thước nhỏ  $l_0 = 2,5\text{mm}$ .

Chiều rộng  $a = 3 \div 10\text{mm}$

Điện trở thay đổi từ  $10 \div 150\Omega$ . Khi chiều dài tác dụng không bị hạn chế  $l_0$  có thể dài tới  $100\text{mm}$ . Điện trở từ  $800 \div 1000\Omega$ .

3. Thanh dẫn là đường tín hiệu, để nối với mạch đo

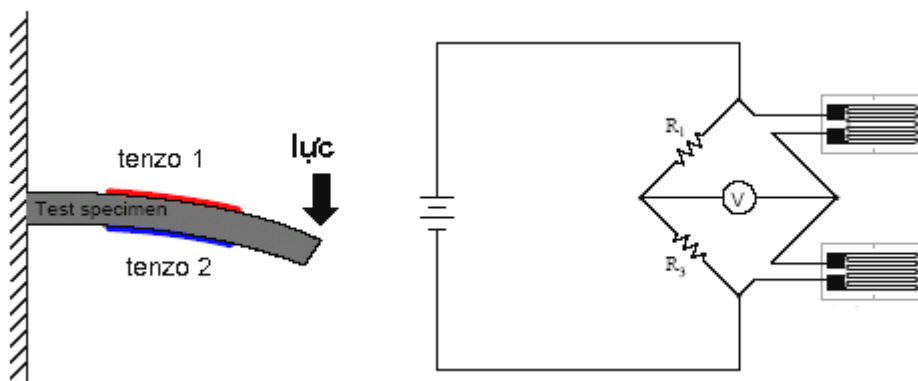
+Nguyên tắc làm việc: dựa trên hiệu ứng tenzô, có một số vật liệu mà khi nó bị biến dạng thì điện trở của nó thay đổi. Khi đo biến dạng  $\Delta l/l$ , cảm biến được dán trên đối tượng đo, khi đối tượng đo bị biến dạng thì tenzô biến dạng theo và điện trở của tenzô thay đổi một lượng  $\Delta R/R$ .

Tức là  $\Delta R/R=f(\Delta l/l)$

Qua việc xác định biến thiên R, ta có thể xác định được lượng biến thiên về chiều dài l

+ Phân loại: tenzômet chia làm các loại màng mỏng, lá mỏng, dây mảnh

+ Mach đo: thường dùng mạch cầu (cầu 1 chiều hoặc xoay chiều)



+ Ứng dụng:

Đo biến dạng.

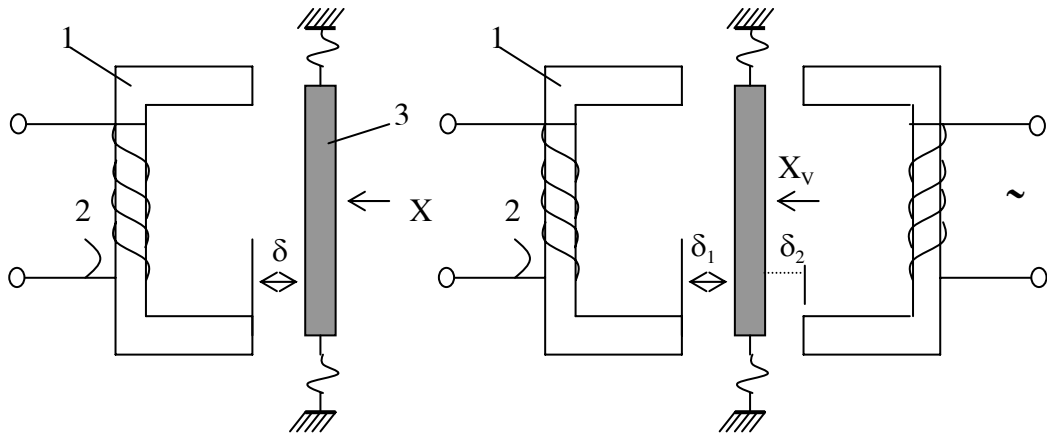
Đo lực, đo áp suất, đo mômen quay, đo gia tốc và các đại lượng khác nếu có thể biến đổi thành biến dạng đàn hồi với ứng suất không bé hơn  $(1 \div 2)10^7 \text{N/m}^2$ .

Loại cảm biến này có thể đo các đại lượng biến thiên tới vài chục KHZ

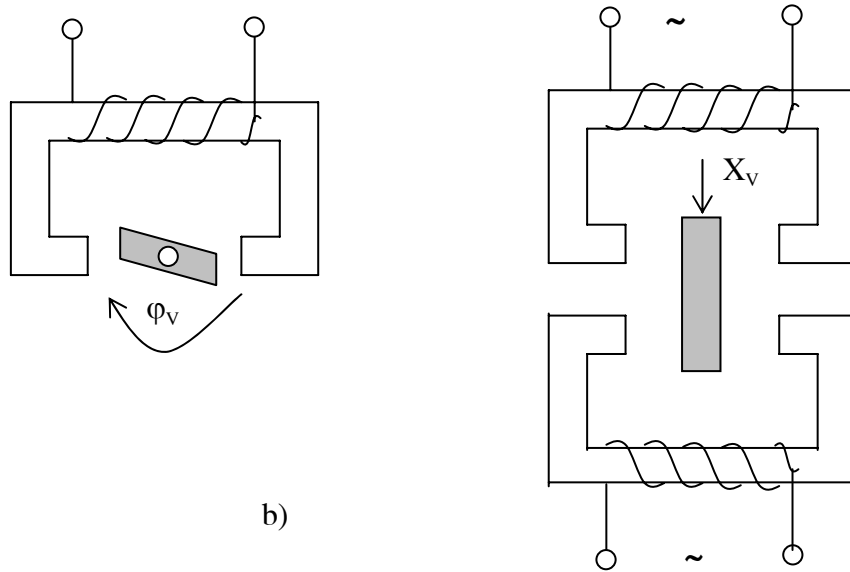
**3. Cảm biến kiểu điện cảm**

+ Cấu tạo:

Cảm biến điện cảm là một cuộn dây quấn trên lõi thép có khe hở không khí (mạch từ hở). Thông số của nó thay đổi dưới tác động của đại lượng vào  $X_v$ .



a)



b)

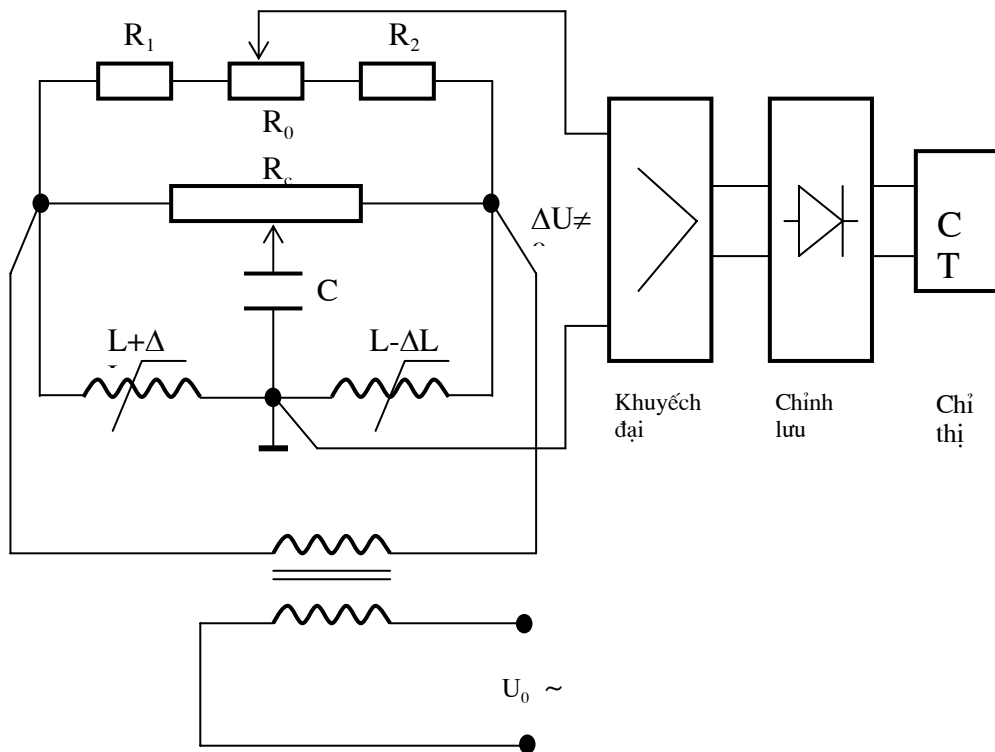
+ Nguyên tắc làm việc: Dưới tác động của đại lượng đo  $X_v$  làm cho phần ứng 3 di chuyển, khe hở không khí  $\delta$  thay đổi làm thay đổi từ trở của lõi thép, do đó điện cảm và tổng trở của cảm biến cũng thay đổi theo. Điện cảm có thể thay đổi do tiết diện khe hở không khí thay đổi hoặc thay đổi do tổn hao dòng điện xoáy dưới tác động của đại lượng đo  $X_v$

Nếu bỏ qua điện trở thuần của cuộn dây và trở từ của lõi thép, ta có:

$$L = W^2 \cdot \mu_0 \cdot s / \delta$$

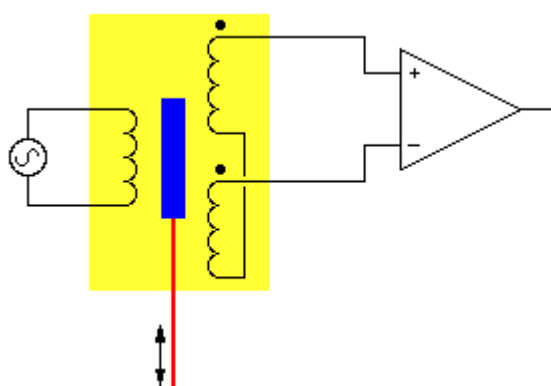
- W: số vòng dây của cuộn dây

- $\delta$ : chiều dài khe hở không khí
  - $\mu_0$ : độ từ thẩm của không khí
  - $s$ : tiết diện thực của khe hở không khí
- + Mạch đo: cũng sử dụng mạch cầu là chủ yếu



Sơ đồ cầu đo hai nhánh sử dụng cảm biến điện cảm

+ Ứng dụng:



Tùy từng loại cấu trúc của cảm biến mà cảm biến điện cảm có thể đo được các đại lượng vật lý khác nhau.

- Đo di chuyển từ vài chục  $\mu\text{m}$  đến vài chục  $\text{cm}$  (hình bên)
- Đo chiều dày lớp phủ, đo độ bóng của chi tiết gia công ...
- Đo lực từ 1/10 N đến hàng chục, hàng trăm N.
- Đo áp suất với dải đo:  $10^{-3} \text{N/m}^2 \div 10.000 \text{N/m}^2$
- Đo gia tốc:  $10^{-2} \text{g} \div 100 \text{g}$ .

Cùng loại còn có Hồ cảm, áp từ, cảm ứng chúng là nhóm các cảm biến dựa trên quy luật điện từ: Đại lượng không điện cần đo làm thay đổi điện cảm, hồ cảm của cảm biến hay từ thông, độ từ thẩm của lõi thép.

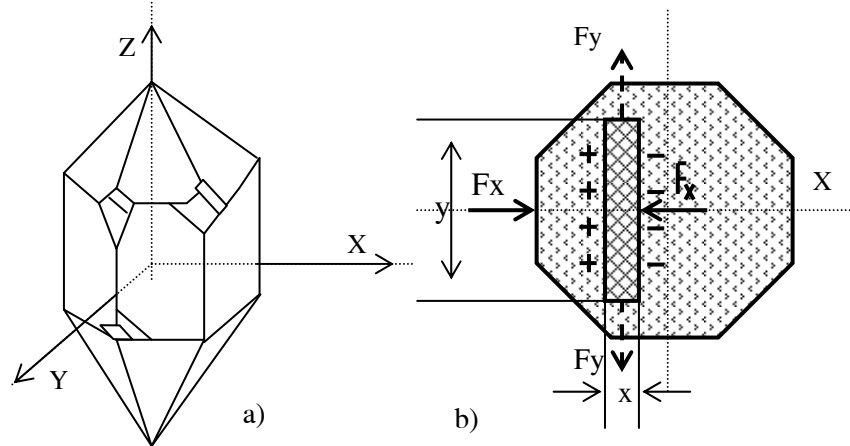
#### 4. Cảm biến kiểu áp điện

+ Cấu tạo:

Vật liệu chế tạo: Tinh thể thạch anh tự nhiên ( $\text{SiO}_2$ ),  
Titanatbari  $\text{BaTiO}_3$  nhân tạo,  
Muối xênhét

...

Cấu trúc một tinh thể thạch anh như sau:



a) Cấu trúc một tinh thể thạch anh  
b) Mặt cắt của tinh thể thạch anh

Gồm 3 trục: OX - trục điện,  
OY - trục cơ,  
OZ - trục quang.

+ Nguyên tắc làm việc:

Nguyên tắc làm việc của cảm biến áp điện dựa trên hiệu ứng áp điện (còn gọi là hiệu ứng piezô). Có một số vật liệu khi chịu tác động một lực cơ học biến thiên trên bề mặt của nó xuất hiện các điện tích  $q$ , khi lực tác động ngừng các điện tích  $q$  cũng biến mất, hiệu ứng trên gọi là hiệu ứng áp điện thuận. Ngược lại, nếu đặt các vật liệu trên trong các điện trường biến thiên, điện trường tác động lên chúng làm biến dạng cơ học, hiện tượng đó gọi là hiệu ứng áp điện ngược

*Hiện tượng áp điện chỉ xảy ra khi :*

- Tác động theo trục X một lực  $F_x$ , sẽ gây ra hiệu ứng áp điện dọc với điện tích

$q = d_1 \cdot F_x$ ,  $d_1$  là hằng số áp điện, điện tích sinh ra không phụ thuộc vào cấu trúc hình học của nó mà chỉ phụ thuộc vào độ lớn của lực  $F_x$ . Dấu của điện tích thay đổi với sự thay đổi dấu của lực  $F_x$ .

- Khi tác động theo trục Y một lực  $F_y$  thì sinh ra hiệu ứng áp điện ngang với điện tích  $q = -\left(\frac{y}{x}\right)d_1F_y$ . Điện tích này phụ thuộc vào kích thước hình học  $x, y$  là kích thước của chuyển đổi theo trục X và trục Y.

$d_1$ : là hằng số áp điện (còn gọi là mô đun áp điện).

$x, y$ : là kích thước của phân tử áp điện theo trục X và Y.

Dấu của điện tích  $q$  với hiệu ứng áp điện dọc và ngang ngược nhau nghĩa là lực  $F_x$  nén làm xuất hiện các điện tích cùng dấu với lực  $F_y$  kéo và ngược lại.

- Khi tác động theo trục quang (OZ) thì  $q = 0$ , không có hiệu ứng áp điện.

*Chú ý:* Trường hợp các cạnh của cảm biến không song song với các trục chính hoặc các lực tác động không song song với các trục thì điện tích sinh ra bé hơn

+ Tính chất của một số vật liệu áp điện:

**a, Thạch anh (SiO<sub>2</sub>):** là vật liệu tự nhiên hoặc tổng hợp có các tính chất sau:

Hằng số áp điện:  $d_1 = 2,1 \cdot 10^{-12}$  (C/N).

Hằng số điện môi:  $\epsilon = 39,8 \cdot 10^{-12}$  (F/m).

Ứng suất cho phép:  $\sigma = 70 \div 100$  N/mm<sup>2</sup>.

Điện trở suất:  $\rho = 10^{16}$  Ω/m nhưng phụ thuộc vào nhiệt độ và phụ thuộc vào chiều trục (có giá trị khác nhau ở các chiều trục khác nhau).

Từ  $0 \div 200^\circ\text{C}$  thì  $d_1$  không phụ thuộc vào nhiệt độ.

Từ  $200 \div 500^\circ\text{C}$  thì  $d_1$  bị giảm đi.

Với  $573^\circ\text{C}$  thì tính chất áp điện không còn.

**b, TitanatBari (BaTiO<sub>3</sub>):** là loại vật liệu tổng hợp có tính chất sau:

Hằng số áp điện:  $d_1 = 107 \cdot 10^{-12}$  (C/N).

Hằng số điện môi:  $\epsilon = 1240 \cdot 10^3$  (F/m).

Mô đun đàn hồi:  $E = 115 \cdot 10^1$  (F/mm<sup>2</sup>).

Các tính chất của BaTiO<sub>3</sub> không phụ thuộc vào độ ẩm nhưng phụ thuộc vào tạp chất, công nghệ chế tạo và điện áp phân cực.

Hệ số áp điện  $d_1$  không phải là hằng số. Nhiều trường hợp giảm 20% sau 2 năm sử dụng, tính chất áp điện của nó không ổn định theo nhiệt độ.

Do có hiện tượng trễ nên đặc tính  $q = f(F)$  không tuyến tính nhưng loại vật liệu này có độ bền cơ học cao, rẻ tiền, chế tạo được các hình dáng bất kỳ nên được dùng rộng rãi.

Ngoài ra còn có vật liệu Titanat chì (PbTiO<sub>3</sub>) và Ziriconat chì (PbZnO<sub>3</sub>) có mô đun điện áp lớn gấp 4 lần BaTiO<sub>3</sub>.

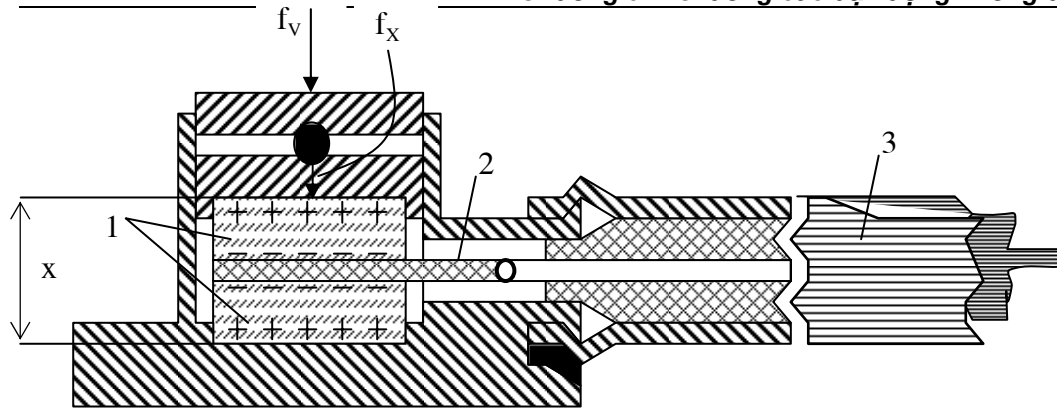
+ Mạch điện ứng dụng:

Ví dụ sơ đồ cấu tạo của cảm biến áp điện để đo lực  $f(x)$ .

Cấu tạo gồm:

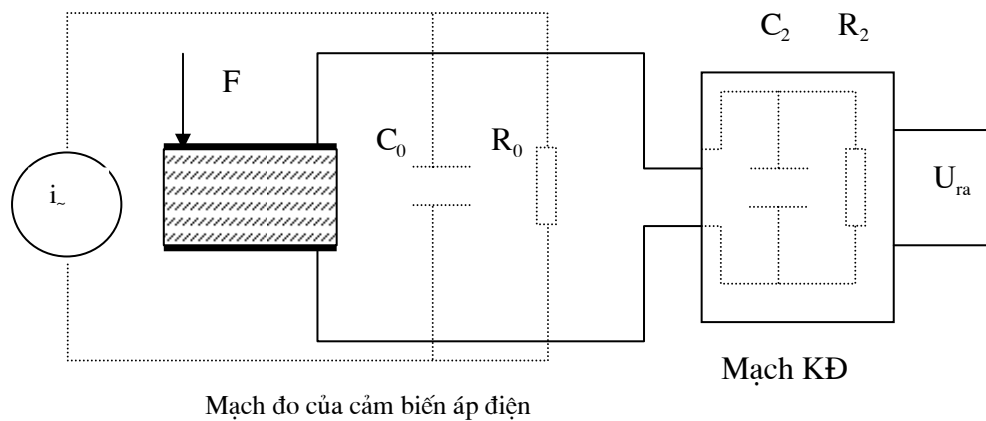
1. Phân tử áp điện.
2. Dây dẫn.
3. Cấp điện.

Và sơ đồ mạch đo của cảm biến áp điện như hình vẽ trang bên:



Khi lực  $F$  tác động có dạng  $F = F_{\max} \sin \omega t$ , thì điện áp ra sẽ là:

$$U_r = I \cdot \frac{R_o \cdot \frac{1}{j\omega C_o}}{R_o + \frac{1}{j\omega C_o}} = j\omega d_1 F \frac{R_o}{1 + j\omega C_o R_o}$$



$R_0, R_2, C_0, C_2$  là điện trở và điện dung thực của cảm biến và mạch khuếch đại.

+ Ứng dụng:

Dùng để đo lực biến thiên ( đến 10.000 N ).

Đo áp suất ( 100 N/mm<sup>2</sup> )

Làm các gia tốc kế đo gia tốc tới 100g ( g – gia tốc trọng trường ) trong dải tần từ 0,5 ÷ 100 kHz.

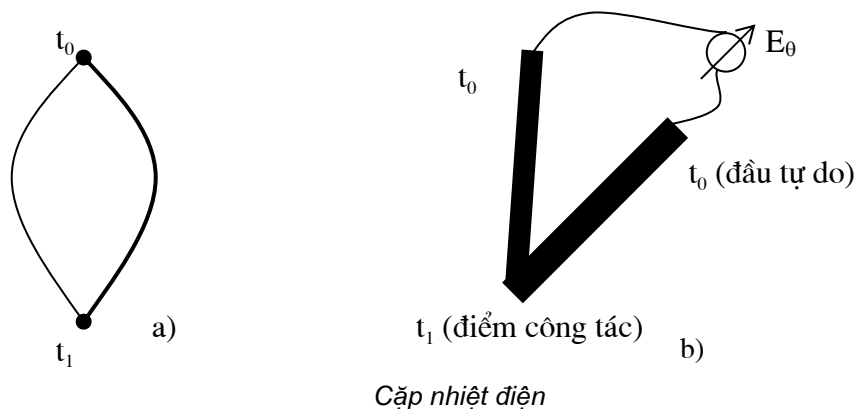
Đo các biến dạng , các di chuyển nhỏ

**5. Cặp nhiệt điện**

+ Cấu tạo:

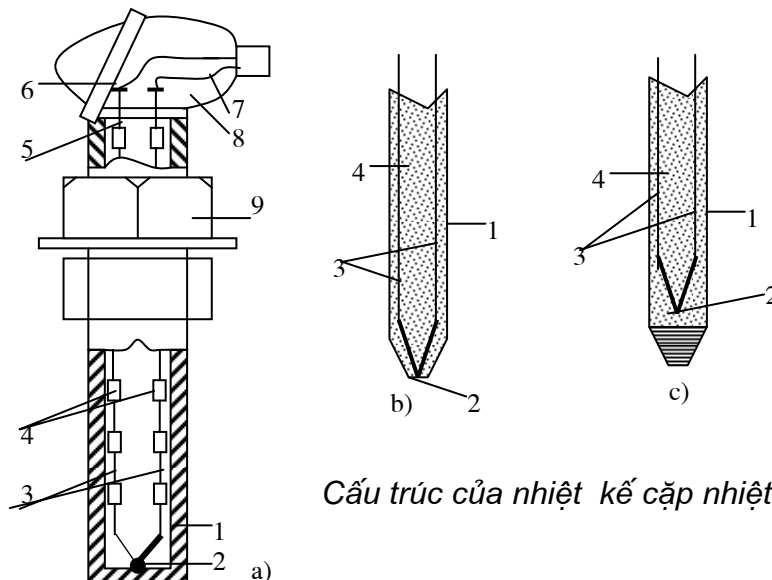
Gồm hai hay thanh kim loại khác nhau được hàn với nhau tại một đầu, điểm hàn ấy gọi là điểm công tác hai đầu còn lại gọi là đầu tự do.





Để đảm bảo tránh hư hỏng cơ học và ảnh hưởng ngẫu nhiên của các đối tượng đo, các điện cực nhiệt được đặt trong các vỏ thép bảo vệ. Hình dưới đây là cấu tạo của một loại điện kế chuẩn.

Trên hình vẽ người ta đặt các điện cực (3) trong vỏ bảo vệ (1) có chuỗi cách



điện (4). Mối hàn (2) tiếp xúc với đáy vỏ bảo vệ hay có thể cách ly bằng dầu sứ. Dây dẫn nối dài (7) được nối với điện cực ở đầu nối (8), vít (6) trên phích cắm (5). Vỏ bảo vệ được giữ chắc và đưa vào đối tượng đo, giữ chặt bằng mức (9). Để bảo đảm tiếp xúc chắc chắn, mối hàn (2) được thực hiện bằng máy hàn hơi. Vỏ bảo vệ có dạng hình trụ hay hình côn bằng vật liệu không thấm khí có đường kính (15 – 25)mm và có chiều dài tùy thuộc vào yêu cầu của đối tượng đo từ 100 đến (2500 – 3000)mm. Vật liệu để làm vỏ bảo vệ là các loại thép khác nhau. Đối với nhiệt độ cao, vỏ bảo vệ có thể bằng thạch anh hay gốm.

**+ Nguyên tắc làm việc:**

Nguyên tắc làm việc của cặp nhiệt điện dựa trên hiện tượng nhiệt điện, nếu nhiệt độ mối hàn  $t_1$  và  $t_0$  khác nhau thì trong mạch khép kín có một dòng điện chạy qua. Chiều của dòng điện này phụ thuộc vào nhiệt độ tương ứng của mối hàn, nghĩa là nếu  $t_1 > t_0$  thì dòng điện chạy theo hướng ngược lại. Nếu để hở một đầu thì giữa hai cực xuất hiện một sức điện động nhiệt điện, cụ thể như sau:

**Chương 9: Đo lường các đại lượng không điện**

Khi chưa làm việc nhiệt độ  $t_1 = t_0$ , do 2 thanh kim loại là khác nhau được hàn với nhau ở đầu  $t_1$  các điện tử tự do ở hai thanh kim loại là khác nhau do vậy chúng có thể khuếch tán sang nhau nhưng sự khuếch tán này là không đáng kể vì vậy suất điện động nhiệt điện ở hai đầu tự do  $E_0 \approx 0$ .

Khi làm việc, nhiệt độ  $t_1 \neq t_0$ , sự khuếch tán các điện tử tự do sang nhau là nhiều hơn  $\Rightarrow$  xuất hiện hiệu điện thế ở 2 đầu tự do.

$$E_0 = f(t_1) - f(t_0)$$

Nếu cố định nhiệt độ ở đầu tự do  $\Rightarrow f(t_0) = C = \text{const.}$

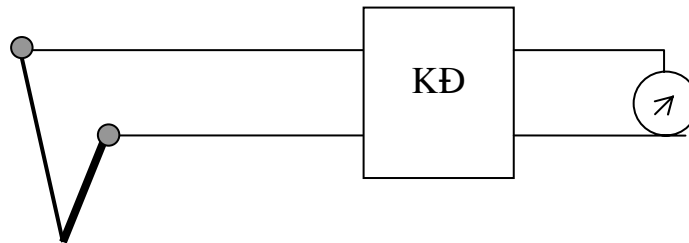
$$\Rightarrow E_0 = f(t_1) - C = f(t_1)$$

Đặc tính kỹ thuật của các cặp nhiệt ngẫu thông dụng:

Cặp nhiệt ngẫu	Dải nhiệt độ làm việc °C	Sức điện động mV
Đồng/ Constantan $\Phi = 1,63 \text{ mm}$	-270-370	-6,258-19,027
Sắt/ Constantan $\Phi = 3,25 \text{ mm}$	-210-800	-8,095-45,498
Chromel/Alumen $\Phi = 3,25 \text{ mm}$	-270-1250	-5,354-50,633
Chromel/Constantan $\Phi = 3,25 \text{ mm}$	-270-870	-9,835-66,473
Platin-Rođi (10%) /Platin $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	-50-1500	-0,236-15,576
Platin-Rođi (13%) /Platin $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	-50-1500	-0,226-17,445
Platin-Rođi (30%) /Platin-Rođi (6%) $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	0-1700	0-12,426
Vonfram-Reni (5%)/Vonfram-Reni (26%)	0-2700	0-38,45

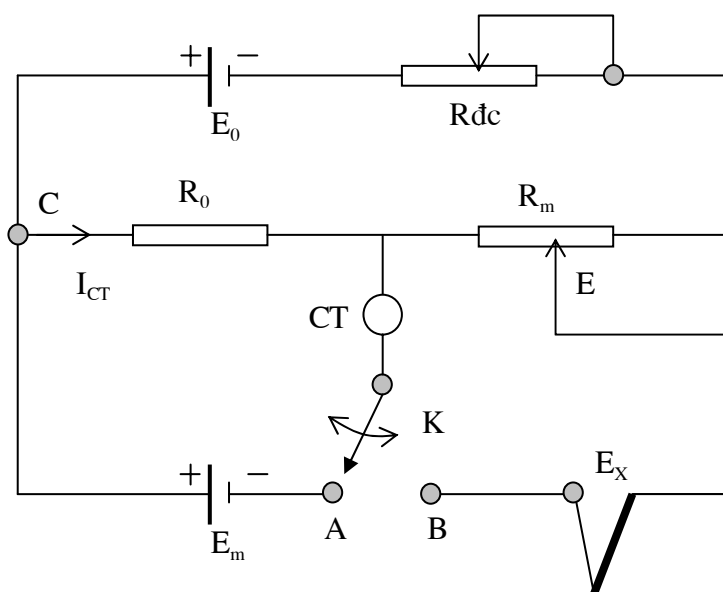
+ Mạch đo:

Dùng mạch đo khuếch đại kết hợp với mV (kim chỉ) hoặc là kết hợp với các chỉ thị số



Mạch đo đơn giản dùng mạch khuếch đại kết hợp với chỉ thị

- Dòng điện kế một chiều :



$E_0$ : nguồn cung cấp,  
 $E_m$ : nguồn pin mẫu,  
 $E_m = 1,0181V$ ,  
 $R_{dc}$ : điện trở điều chỉnh,  
đòng cung cấp,  
 $R_0$ : điện trở mẫu,  
 $R_0 = 10181\Omega$ ,  
 $R_m$ : hộp điện trở mẫu,  
 $E_x$ : điện áp cân đo.  
CT: chỉ thị (điện kế chỉ 0)

**Mạch đo nhiệt độ dòng điện thế kế một chiều**

Đây là dụng cụ đo theo phương pháp so sánh.

Muốn thực hiện phương pháp đo thì phải tiến hành theo 2 bước.

- Đóng khoá K  $\rightarrow$  vào A điều chỉnh  $R_{dc}$  sao cho điện kế chỉ 0

$$\Rightarrow U_{CD} = E_m = I_{CT} \cdot R_0 \Rightarrow I_{CT} = \frac{E_m}{R_0} = \frac{1,0181}{10181} = 10^{-4}A.$$

- Đóng khoá K  $\rightarrow$  sang vị trí B. Điều chỉnh  $R_m$  sao cho điện kế chỉ 0. Lúc điện kế chỉ 0 thì  $U_{DE} = E_x = I_{ct} \cdot R_{DE} = K \cdot R_{DE}$  với  $I_{CT} = \text{const}$

Trên hộp điện trở mẫu  $R_m$  có khắc luôn giá trị điện áp

+ Ứng dụng:

Đo nhiệt độ cao cỡ vài trăm độ  $\div 1700^\circ C$ .

Đo áp suất nhỏ ( $10^{-3} \div 10^{-4}$  mmHg).

Đo các đại lượng vật lý khác: Đo tốc độ của gió, tốc độ của dòng chảy, đo di chuyển.

## 6. Nhiệt điện trở

+ Cấu tạo:

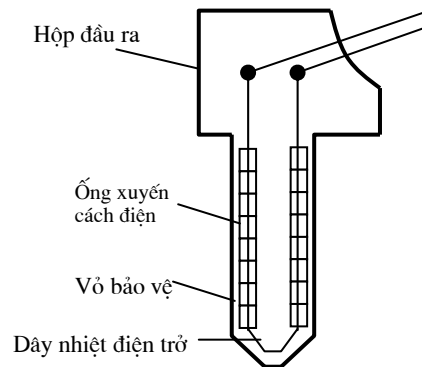
Các nhiệt trở dây (Cu, Ni, Pt) gồm:

Lõi để quấn các nhiệt điện trở lõi bằng gốm sứ, Bakelit, vật liệu cách điện chịu được nhiệt độ cao.

ống xuyên cách điện, bằng gốm, sứ.

Dây nhiệt điện trở đường kính

$\Phi = (0,02 \div 0,07)$  mm với chiều dài (5  $\div$  20)mm.



Cấu tạo của nhiệt điện trở dây

Hộp đầu ra (để lấy tín hiệu ra bên ngoài).

+ Nguyên tắc làm việc:

Dựa trên các hiệu ứng nhiệt độ. Có một số vật liệu (Cu, Ni) khi nhiệt độ thay đổi thì điện trở của nó cũng thay đổi theo, từ đó người ta chế tạo ra các nhiệt điện trở.

$$R_T = R_0(1 + \alpha t)$$

$R_0$  là điện trở của dây ở 00c;

$\alpha$  là hệ số nhiệt độ: Đồng là  $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Niken là  $5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Nhiệt điện trở chia làm 2 loại:

Nhiệt điện trở không đốt nóng: Dòng điện đi qua nó rất nhỏ, để đo nhiệt độ  $-50^\circ\text{C} \div 150^\circ\text{C}$ .

Nhiệt điện trở đốt nóng: Dòng đi qua nó rất lớn làm cho nhiệt điện trở lớn lên từ vài chục đến vài trăm độ.

Các nhiệt điện trở bán dẫn làm bằng các chất bán dẫn CuO, CoO, MnO...

+ Cấu tạo:

Được chế tạo từ một số oxit kim loại khác nhau như CuO, CoO, MnO... như hình vẽ trang bên.

+ Nguyên tắc làm việc:

Quan hệ giữa nhiệt độ và điện trở của nó

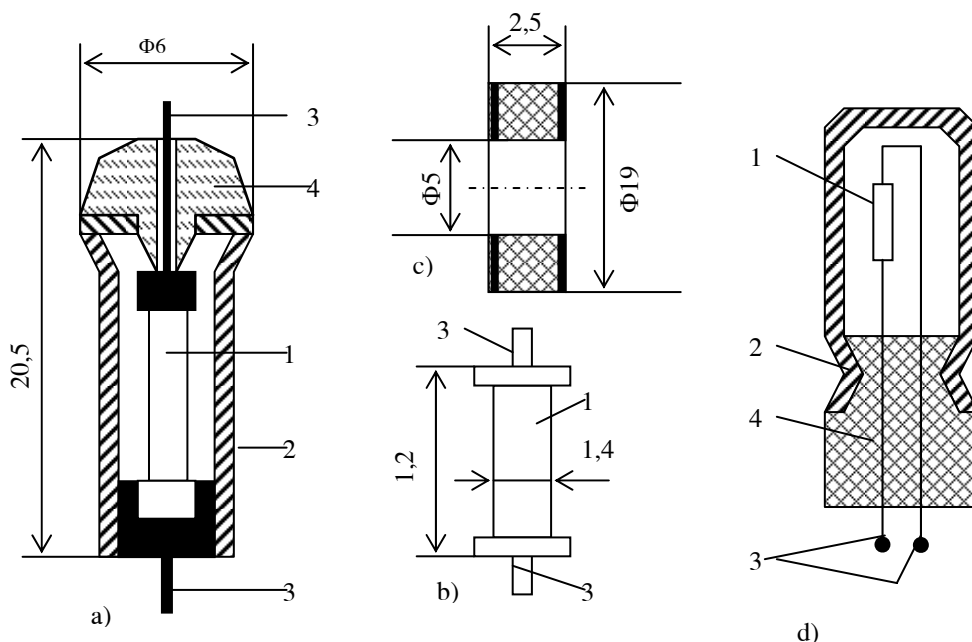
$$R_T = A e^{\beta/T}$$

A là hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của chất bán dẫn, kích thước hình dáng của nhiệt điện trở,

$\beta$  là hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của chất bán dẫn

T là nhiệt độ tuyệt đối, sức điện động là cơ số logarit tự nhiên.

Hệ số nhiệt  $\alpha$  của chất bán dẫn mang dấu âm và có giá trị từ  $0,02 \div 0,08 \text{ [1/}^\circ\text{C]}$  lớn gấp 8 ÷ 10 lần kim loại và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Điện trở suất lớn do đó kích thước của nó rất nhỏ.



**Cấu tạo của một số cảm biến nhiệt điện trở bán dẫn**

- 1. Dây đặt trong ống sứ.
- 2. Vỏ bảo vệ.
- 3. Đầu ra.
- 4. Giá đỡ.

+ Mạch đo: thông thường hay dùng mạch cầu không cân bằng chỉ có chỉ thị là logôm mét (hình trang bên)

+ Ứng dụng:

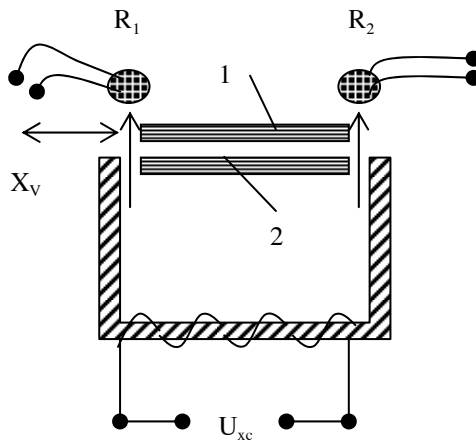
Đo nhiệt độ

Đo các đại lượng không điện như đo di chuyển, đo áp suất.

Dùng để phân tích thành phần, nồng độ của một số hợp chất và chất khí.  
dẫn chứng đo dịch chuyển:

**Ví dụ đo dịch chuyển:**

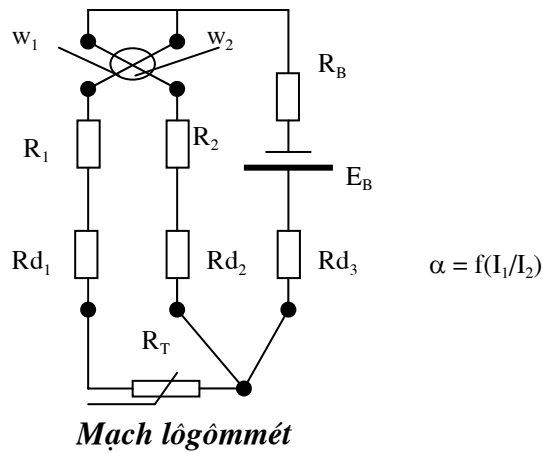
- 1. Tấm chắn.
  - 2. Màn rung.
  - 3. Bộ rung điện từ.
- $R_1, R_2$  là các nhiệt điện trở.



+ Nguyên tắc đo:

Khi chưa có di chuyển  $X_V$  thì lá chắn ở giữa, hai khe hở thổi vào hai cảm biến là như nhau.

Khi có  $X_V$  tác động, lá chắn di chuyển hai lá chắn là khác nhau, lượng gió thổi vào hai cảm biến là khác nhau  $\rightarrow$  hai điện trở có giá trị khác, gấp 2 điện trở này vào 2 nhánh cầu để chỉ thị.



## 7. Cảm biến quang

+ Cấu tạo:

Các cảm biến quang được sử dụng để chuyển thông tin từ ánh sáng nhìn thấy hoặc tia hồng ngoại (IR) và tia tử ngoại (UV) thành tín hiệu điện

**Phân cảm biến quang ta đã xem xét kỹ lưỡng ở phần Cầu kiện Điện tử, ở đây không xét lại**

+ Ứng dụng:

Trong thực tế, các tế bào quang dẫn thường được ứng dụng trong hai trường hợp:

- Phát hiện tín hiệu quang.
- Tế bào quang dẫn có thể được sử dụng để biến đổi xung quang thành xung điện. Sự ngắt quãng của xung ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn sẽ được phản ánh trung thực qua xung điện của mạch đo, do vậy các thông tin mà xung ánh sáng mang đến sẽ được thể hiện trên xung điện. Người ta ứng dụng mạch đo kiểu này để đếm hoặc đo tốc độ quay của đĩa.

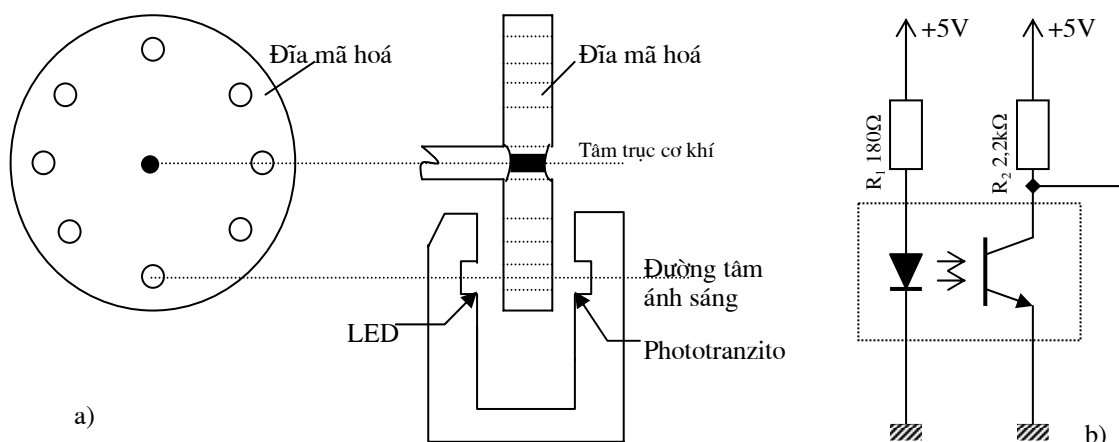
- Đo nhiệt độ
- Xác định vị trí
- Đo vận tốc ....

Sau đây là 2 ví dụ

### Ví dụ 1: Sử dụng bộ cảm biến quang tốc độ

Hình dưới là sơ đồ sử dụng bộ cảm biến quang tốc độ. Đĩa mã hoá gắn trên trục động cơ gồm các lỗ, trên hình có tám lỗ. Đĩa đặt giữa nguồn tia hồng ngoại do điốt phát quang LED cung cấp và đầu thu là tranzito quang (hình b). Khi đĩa quay tranzito quang sẽ chỉ chuyển mạch nếu vị trí LED, lỗ, tranzito quang thẳng hàng. Khi đó tranzito đưa điện áp trên  $R_2$  về mức thấp. Khi đĩa ngăn ánh sáng thì tranzito bị khoá, kết quả điện áp trên  $R_2$  về mức cao.

Kết quả là khi đĩa mã hoá quay, ứng với hình a trên đầu ra  $R_2$  ta được tám xung chữ nhật. Tần số xung phụ thuộc vào tốc độ đĩa.



*Bộ cảm biến quang tốc độ với đĩa mã hoá*

*a) Sơ đồ cảm biến quang tốc độ.*

*b) Sơ đồ nguyên lý tranzito quang.*

Nếu ta muốn duy trì tốc độ quay của rôto ở tốc độ không đổi nào đó ứng với chu kỳ tín hiệu do bộ cảm biến tốc độ tạo nên, chu kỳ này xác định điểm đặt tốc độ. Để xác định chiều quay (thuận hoặc nghịch) cần sử dụng bộ cảm biến kép gồm có hai LED và hai tranzito quang, hai đĩa mã hoá. Khi đĩa quay ta nhận được hai xung chữ nhật lệch nhau  $90^\circ$ . Chiều quay được xác định bằng vị trí tương đối của hai tín hiệu ra. Tốc độ bằng 0 có nghĩa là xung tiếp theo không bao giờ tới. Trong thực tế áp dụng ta sử dụng bộ thời gian tràn khi các xung đến lớn hơn 65536 bằng bộ đếm thời gian thanh ghi.

Thông thường các bộ cảm biến quang tốc độ còn kèm theo khả năng xử lý sườn các xung tín hiệu và trên cơ sở đó cho phép tăng số lượng vạch đếm trong một vòng đĩa lên bốn lần. Chuỗi xung A hoặc B được đưa tới cửa vào của khâu đếm tiến, biết số xung trong một chu kỳ, ta tính được tốc độ quay của động cơ:

$$n [\text{vòng/phút}] = \frac{60N}{4N_0T_n}$$

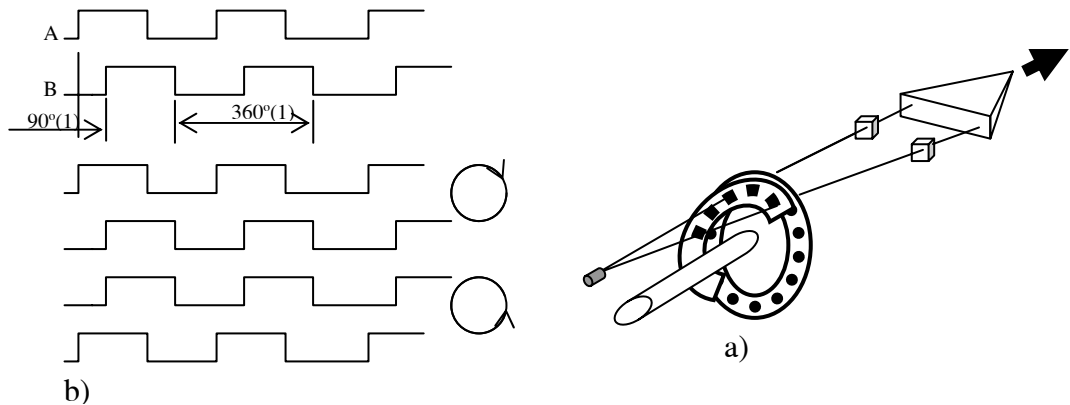
trong đó:

$T_n$  là chu kỳ điều chỉnh tốc độ, ở đây chu kỳ đếm xung tính bằng giây.

$N_0$  là số xung trong một vòng, còn gọi là độ phân giải của bộ cảm biến tốc độ.

$N$  là số xung trong thời gian  $T_n$ .

Để nâng cao độ phân giải của phép đo tốc độ ta có giải pháp là tăng số lỗ trong một rãnh, ta có đĩa mã hoá gồm nhiều rãnh, mỗi rãnh có số lỗ tăng dần theo quan hệ  $2^n$ ,  $n$  là số rãnh.



a) Bộ cảm biến quang tốc độ chiều quay;  
 b) Xác định chiều quay bằng so sánh pha 2 tín hiệu

**Ví dụ 2: Tốc kế sợi quang** (vấn đề này khá phức tạp, ở đây chỉ trình bày Nguyên tắc)

Tốc kế laser sử dụng hiệu ứng Doppler là dụng cụ đo tốc độ của các đối tượng bằng cách truyền dẫn (đối với dòng chất lỏng) hoặc bằng phản xạ (đối với vật rắn chuyển động dưới đầu laser). Dải đo rất rộng từ  $10^{-6} - 10^5$  m/s. Phép đo không làm thay đổi chuyển động của hệ.

Nguyên tắc hoạt động của tốc kế sợi quang là chiếu sáng đối tượng cần đo tốc độ bằng một lưới các vân sáng. Ánh sáng sáng khuếch tán từ đối tượng tuân theo **hiệu ứng Doppler nghĩa là tần số của nó khác với tần số ánh sáng nguồn**. Độ lệch tần số này phụ thuộc vào tốc độ của vật.

Trong trường hợp cần đo tốc độ dòng chảy nên cho vào dòng chảy các hạt kích thước đủ nhỏ để không làm ảnh hưởng tới tốc độ của dòng chảy. Các hạt này sẽ khuếch tán ánh sáng khi có nguồn sáng cắt qua. Tín hiệu quang do các hạt phát ra được điều biến cường độ các vân tối, sáng với tần số tỷ lệ với tốc độ dòng chảy.

Tần số điều biến ánh sáng do các hạt khuếch tán là:

$$f = |V| / y$$

với  $|V|$  là thành phần tốc độ của các hạt vuông góc với vân sáng,  
 $y$  là khoảng cách giữa các vân sáng.

Theo một phương pháp khác, hạt cắt qua một trong hai tia sáng không song song đến từ một nguồn laser  $He, Ne$ . Ta nhận được hai tia khuếch tán từ hạt, mỗi tia được đặc trưng bằng tần số Doppler. Giao thoa của hai tia này tạo nên một số  $f$  (phách tần) có thể suy ra giá trị của tốc độ nhưng không biết chiều chuyển động. Có thể khắc phục điều này bằng cách sử dụng hai tốc độ kế vuông góc. Ta đã biết hai thành phần tốc độ do vậy có thể xây dựng được vectơ  $V$ .

Ta cũng có thể điều pha  $\Phi$  của một trong hai tia ở tốc độ  $d\Phi/dt$  nhờ khối Bragg. Các vân lệch pha với tốc độ  $V_0$ :

$$V_0 = \frac{y}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

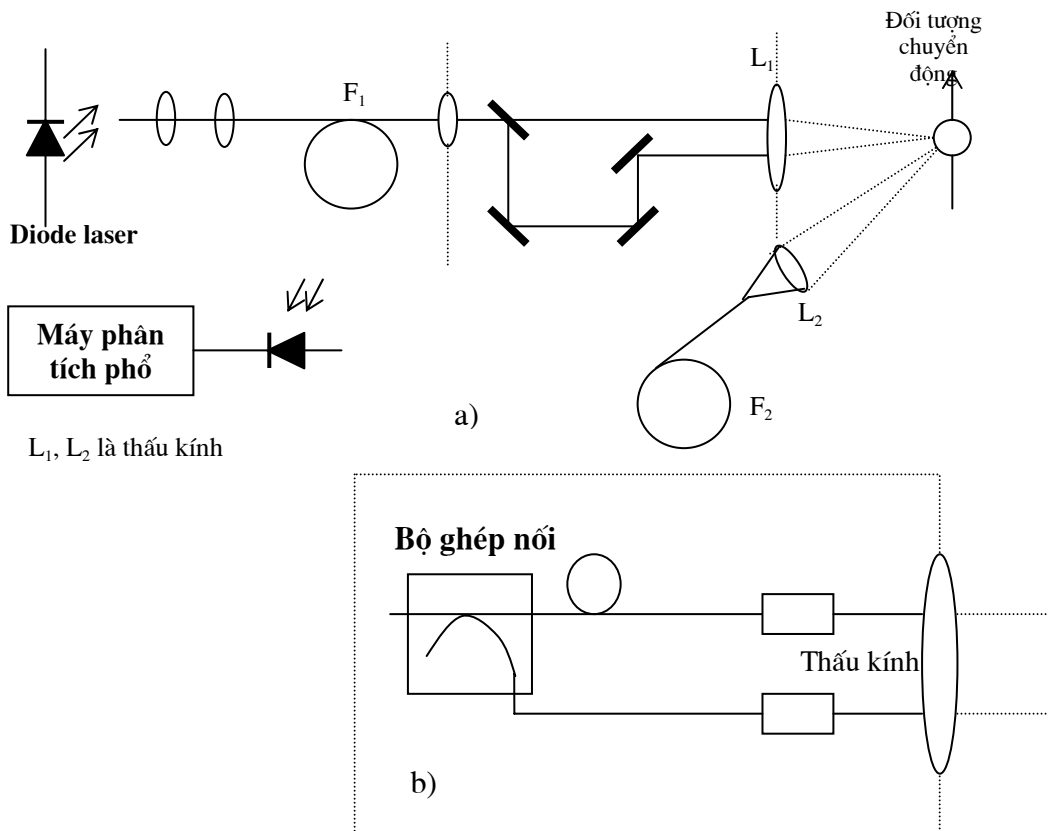
và ánh sáng khuếch tán bị điều biến ở tần số

$$f = |V - V_0| / y$$



Ta chọn  $d\Phi/dt$  sao cho  $V_0$  luôn lớn hơn vận tốc  $V$  của các hạt. Theo phương pháp này ta biết cả độ lớn và chiều của tốc độ.

Một diot laser có thể sử dụng trước khối laser Bragg dùng để điều biến dòng phát. Các sợi quang phối hợp với một diot quang để tạo nên thiết bị đo hoàn chỉnh (hình vẽ), với diot laser bước sóng  $850\text{ nm}$ , công suất  $5\text{ mW}$ ,  $F_1$  sợi đơn mode dài  $5\text{ m}$ ,  $F_2$  sợi đa mode dài  $5\text{ m}$ .



$L_1, L_2$  là thấu kính

- Đo tốc độ kế Doppler diode laser và sợi quang;  
 a) Chùm tia chiếu qua vật đo vận tốc bằng hệ thống thông thường;  
 b) Chia chùm tia bằng bộ nối ghép quang

**MỘT SỐ GỢI Ý:**

- + Đo nhiệt độ: có thể sử dụng: cặp nhiệt điện, điện trở nhiệt
- + Đo tốc độ tròn: dùng cảm biến quang
- + Đo tốc độ dài, có phạm vi di chuyển nhỏ: dùng cảm biến điện cảm.
- + Đo tốc độ dài, phạm vi di chuyển và tốc độ lớn, có thể dùng cảm biến quang
- + Đo lực dùng cảm biến kiểu áp điện.
- + Đo độ rung có thể dùng tenzômét

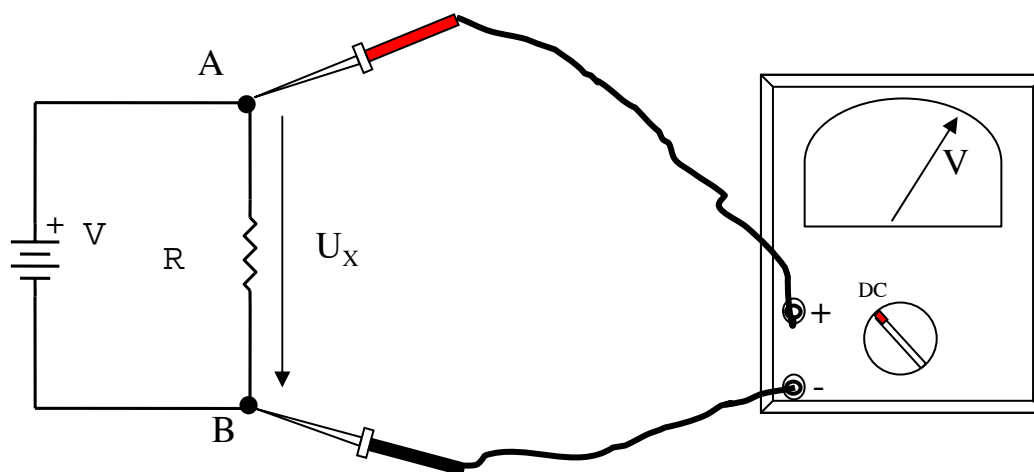
## PHỤ LỤC I.

Các phép đo cơ bản trong kỹ thuật điện tử

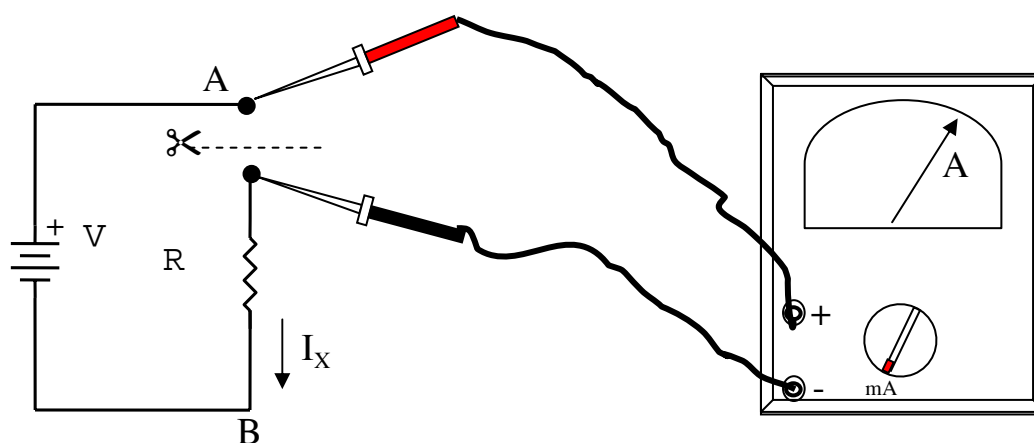
### 1. Đo điện áp và dòng điện bằng đồng hồ vạn năng (ĐHVN)™

Đây là hai đại lượng cơ bản nhất, chúng có điểm khác biệt là:

- Đo điện áp: là đo điện áp giữa hai điểm A và B nào đó của mạch điện, khi đó ĐHVN mắc song song với điện trở tải



Để phép đo chính xác, lý tưởng  $R_M = \infty$



Đo dòng điện, để phép đo chính xác, lý tưởng  $R_M = 0$

- Đo dòng điện là đo dòng điện chạy qua một điểm nào đó của mạch điện, khi đó ĐHVN được mắc nối tiếp với điện trở tải tại điểm A hoặc B:

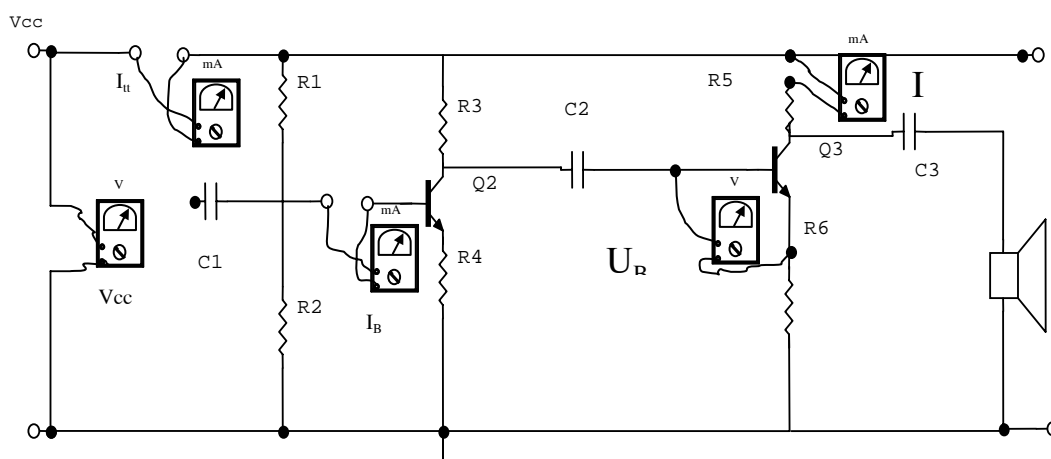
Khi đo điện áp và dòng điện DC cần chú ý tới cực tính của nguồn điện:

+ Que đỏ, đặt ở điểm có điện thế hoặc dòng điện cao hơn

+ Que đen, đặt ở điểm có điện thế hoặc dòng điện thấp hơn.

Khi không khẳng định được điểm có thế thấp, điểm có thế cao thì tiến hành đo nhanh, nếu thấy kim quay ngược thì đảo đầu que đo

Ví dụ: Khi đo một vài thông số của một mạch KĐ dùng Transistor, như điện áp cung cấp:  $V_{cc}$ , dòng áp tiêu thụ trên toàn mạch:  $I_{tt}$ ,  $V_b$ ,  $V_e$ ,  $V_c$ ,  $U_{BE}$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ... bố trí mạch đo có dạng:



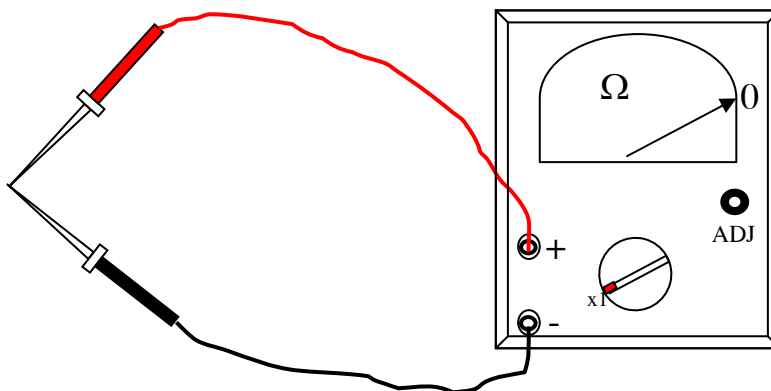
## 2. Đo điện trở bằng ĐHVN

Do điện trở là phần tử thụ động, không mang năng lượng, vì vậy để đo R người ta phải dùng nguồn PIN, nguồn có thể là 3V, 12V tùy theo các thang đo, thông thường:

+ Thang: x1; x10; x100; x1K dùng nguồn 3V

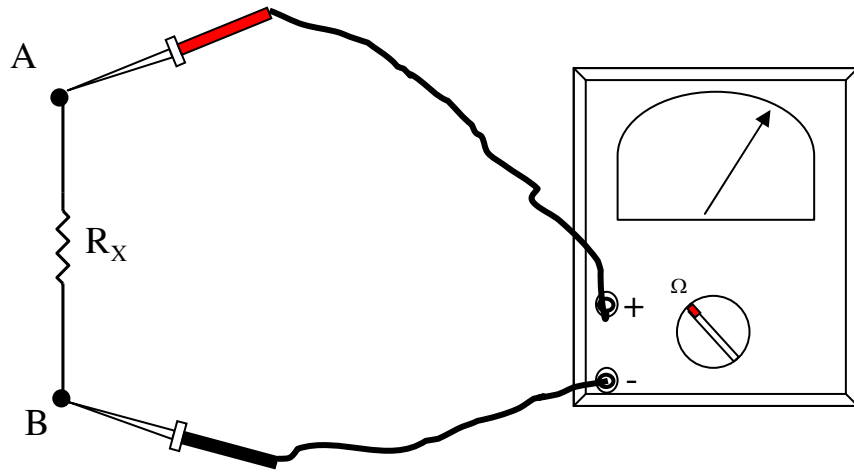
+ Thang: x10K; x100K; dùng nguồn 12V

- Trước khi đo ta phải tiến hành chuẩn đồng hồ, bằng cách, chập 2 que đo, rồi quan sát xem kim chỉ thị đã về '0' chưa?. Nếu chưa về phải chỉnh núm ADJ để kim về "0". Nếu chỉnh núm này mà không về "0" phải thay nguồn PIN:



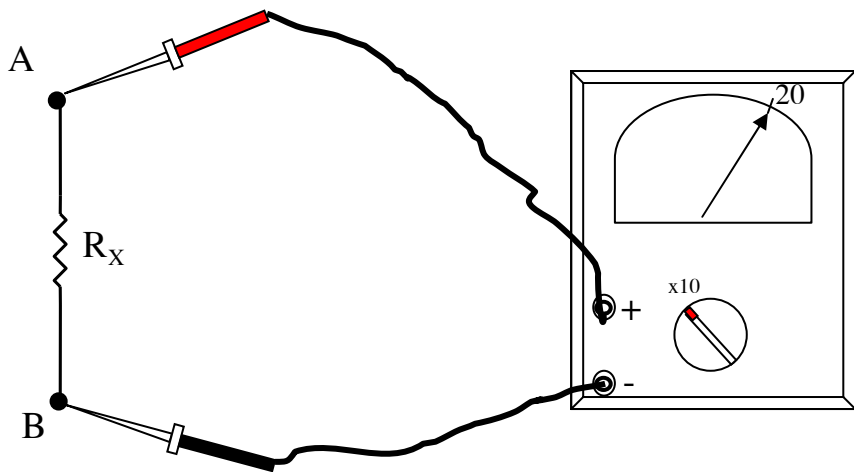
Chỉnh đồng hồ

- Khi đo lưu ý không chạm tay vào hai đầu điện trở, làm như vậy phép đo sẽ không chính xác



Phép đo điện trở

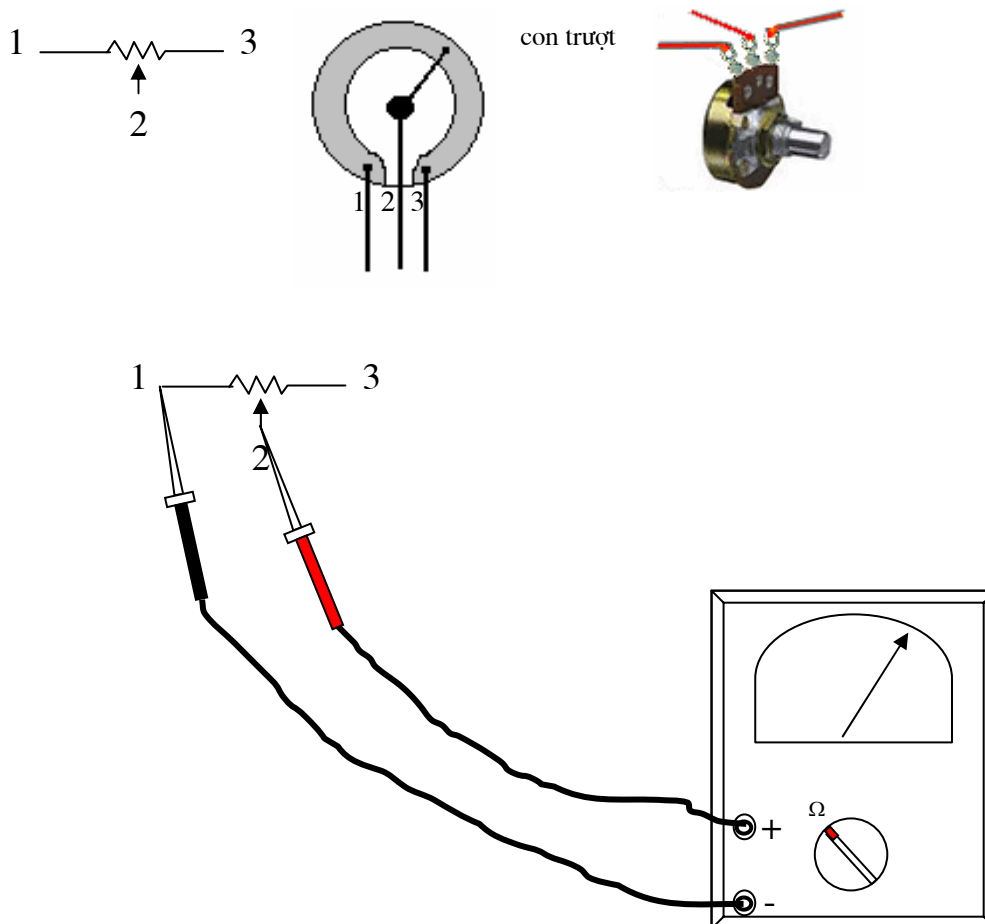
- Giá trị R được xác định bằng số vạch trên ĐHVN x giá trị thang đo



Kết quả =  $10 \times 20 = 200 \Omega$

**Chú ý:** Đo kiểm tra ngắn mạch giữa 2 điểm, thì kết quả đo là  $0 \Omega$ , còn đo hở mạch giữa 2 điểm, kết quả đo là  $\infty \Omega$

### 3. Đo và kiểm tra biến trở:



- + Đo  $R_{1,3}$  = giá trị ghi trên thân biến trở
- + Đo  $R_{1,2}$  Kim chỉ thị phải chuyển động

### 4. Đo kiểm tra xác định cực tính D

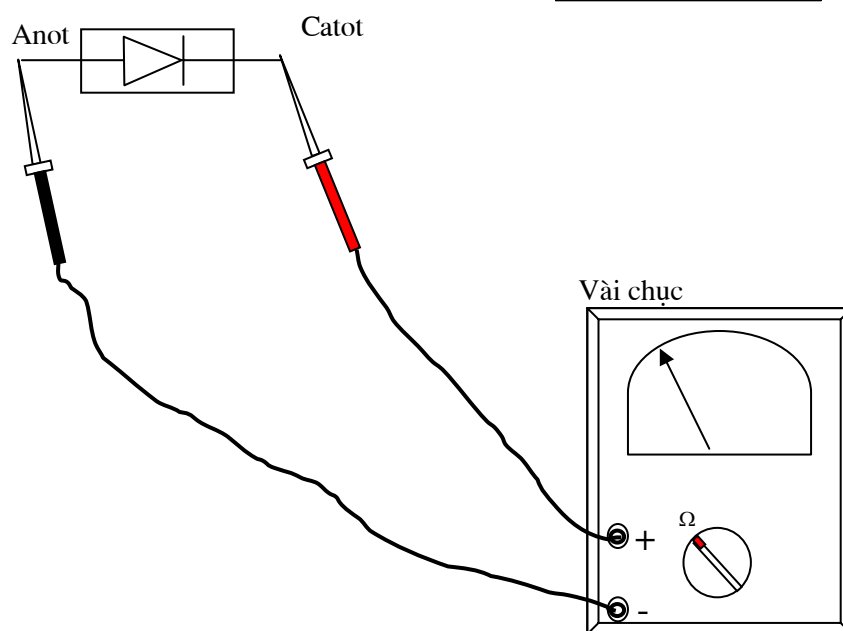
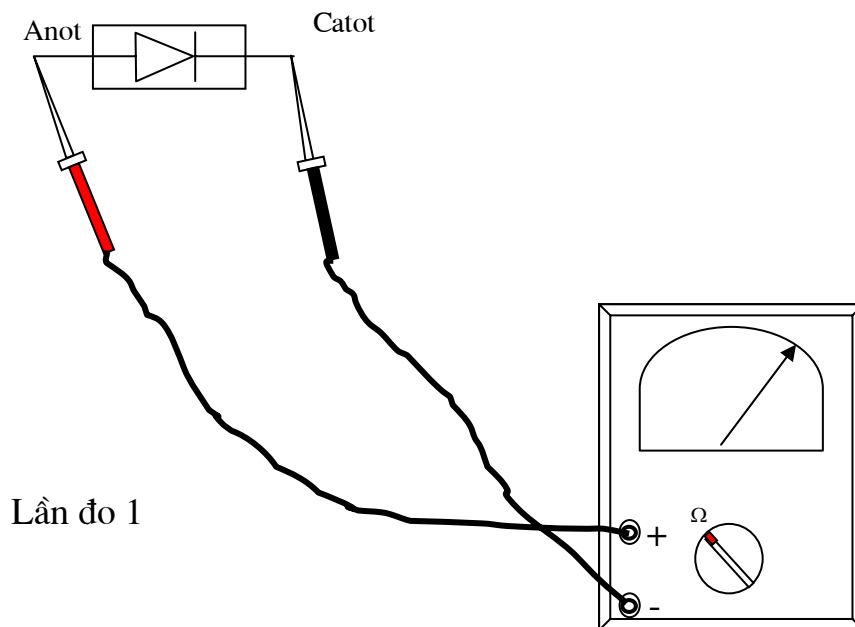
Để xác định cực tính của D ta sử dụng trực tiếp nguồn PIN của ĐHVN để phân cực.

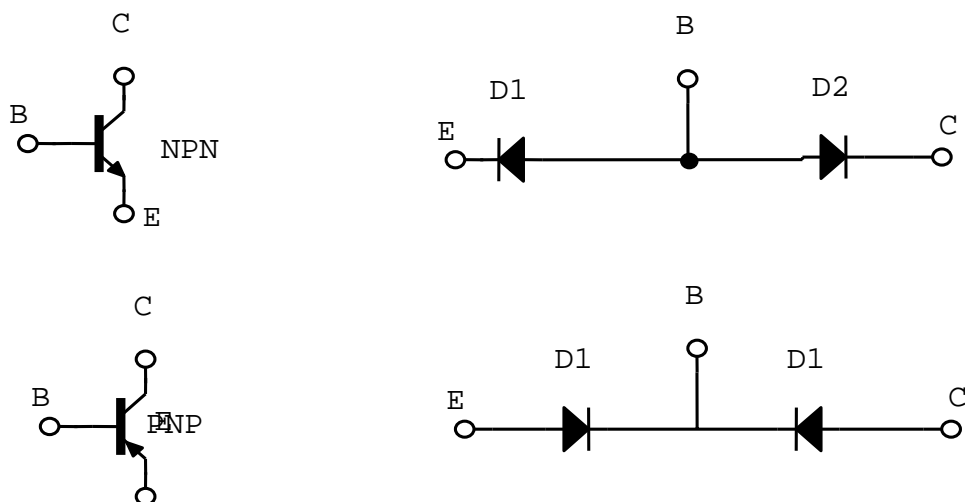
- Chuyển về đo  $\Omega$ , chọn thang x1, ta tiến hành đảo que đo 2 lần.

Nếu quan sát thấy một lần kim đồng hồ không lên  $=\infty$  (hết vạch), và một lần chỉ thị khoảng vài chục  $\Omega$  (10-15 $\Omega$ ), thì D còn tốt.

- Khi đó đầu nối với que đen là Anốt, và đầu nối với que đỏ là Catot

Chú ý: khi đo, kiểm tra và xác định cực tính của LED, ta chọn thang đo x10, vì khả năng chịu đựng dòng của LED là <10mA, khi thực hiện phân cực thuận cho LED thì đèn sẽ sáng.

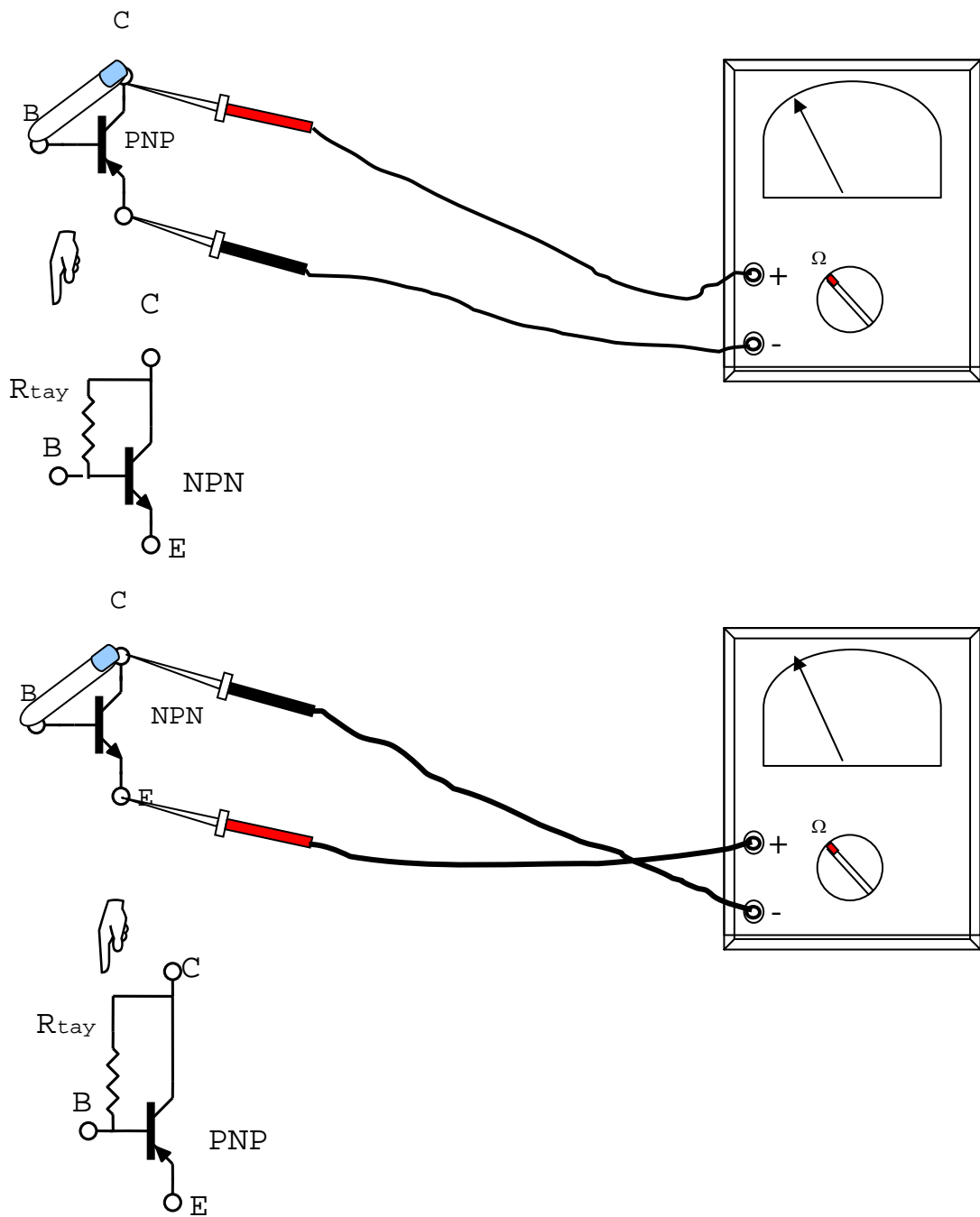


5. Đo xác định các cực của Transistor

- Trước hết, xác định cực B, dùng  $\Omega$ \_kế, vạn thang x1,
- Sau đó tiến hành lấy một que đo giữ cố định với 1 chân bất kỳ của que đo.
- Que còn lại lần lượt đưa vào đo 2 chân còn lại
- Tiếp tục đảo que đo, cho đến khi ta nhận được 2 giá trị điện trở R liên tiếp bằng nhau  $R=(10\div 15)\Omega$ , khi đó que nối với chân cố định là B:
  - + Nếu que cố định(lần đo cuối- trong loạt đo đầu tiên) là que đỏ, thì đây là Transistor loại N-P-N
  - + Nếu que cố định(lần đo cuối- trong loạt đo đầu tiên) là que đen, thì đây là Transistor loại P-N-P

- Để xác định nốt 2 chân còn lại C & E, ta dùng  $\Omega$ \_kế chọn thang x100-1K, hai que đo đưa vào 2 chân còn lại, sau đó dùng ngón tay chạm nối cực B với từng chân, nếu không thấy kim chỉ thị giá trị R khoảng từ 10K-100K thì ta đảo que đo, và làm lại các động tác đo trên, khi đó ta sẽ được giá trị  $R=(10-100)K$ , khi đó que chạm với B là cực C cực còn lại là E





**Lưu ý:** với tất cả các ĐHVN:

+ Que đen bao giờ cũng nối với (+) nguồn

+ Que đỏ bao giờ cũng nối với (-) nguồn

Chỉ trừ các loại Vôn kế điện tử thì:

+ Que đen nối với (-) nguồn

+ Que đỏ nối với (+) nguồn

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý.** Tập I, II. Phạm Thượng Hàn. Nhà xuất bản Giáo dục
2. **Dụng cụ và đo lường điện tử.** David A.Bell. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật
3. **Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển.** Lê Văn Doanh. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật
4. **Pháp lệnh đo lường** ngày 06 tháng 10 năm 1999 số 16/1999/PL – UBTVQH 10
5. **Nghị định của Chính phủ** số 65/2001/NĐ - CP
6. Electrical Measurements anh Measuring Instruments- Rajendra Prasad, ISBN Editor 1999.
7. Cơ sở kỹ thuật Đo lường- Vũ Quý Điềm, NXB KHKT 2001
8. Omron: [www.omron.com.vn](http://www.omron.com.vn)
9. Simens: [www2.automation.siemens.com](http://www2.automation.siemens.com)

**PHỤ LỤC**

<b>CHƯƠNG I. KHÁI NIỆM CƠ BẢN TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG.....</b>	<b>4</b>
<b>I. ĐỊNH NGHĨA VÀ KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ĐỊNH NGHĨA VỀ ĐO LƯỜNG, ĐO LƯỜNG HỌC VÀ KTĐL..</b>	<b>4</b>
<b>A. ĐO LƯỜNG.....</b>	<b>4</b>
<b>B. ĐO LƯỜNG HỌC.....</b>	<b>4</b>
<b>C. KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG (KTĐL).....</b>	<b>4</b>
<b>2. PHÂN LOẠI CÁCH THỰC HIỆN PHÉP ĐO .....</b>	<b>4</b>
<b>II. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA KTĐL.....</b>	<b>5</b>
<b>1. KHÁI NIỆM VỀ TÍN HIỆU ĐO VÀ ĐẠI LƯỢNG ĐO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ĐIỀU KIỆN ĐO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. ĐƠN VỊ ĐO.....</b>	<b>6</b>
<b>4. THIẾT BỊ ĐO VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐO .....</b>	<b>7</b>
<b>5. NGƯỜI QUAN SÁT .....</b>	<b>7</b>
<b>6. KẾT QUẢ ĐO .....</b>	<b>7</b>
<b>III. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO.....</b>	<b>7</b>
<b>1. PHƯƠNG PHÁP ĐO BIẾN ĐỔI THẮNG .....</b>	<b>7</b>
<b>2. PHƯƠNG PHÁP ĐO KIỂU SO SÁNH .....</b>	<b>8</b>
<b>A. SO SÁNH CÂN BẰNG.....</b>	<b>8</b>
<b>B. SO SÁNH KHÔNG CÂN BẰNG .....</b>	<b>8</b>
<b>C. SO SÁNH KHÔNG ĐỒNG THỜI.....</b>	<b>8</b>
<b>D. SO SÁNH ĐỒNG THỜI .....</b>	<b>9</b>
<b>3. CÁC THAO TÁC CƠ BẢN KHI TIẾN HÀNH PHÉP ĐO.....</b>	<b>9</b>
<b>IV. PHÂN LOẠI THIẾT BỊ ĐO .....</b>	<b>9</b>
<b>1. MẪU .....</b>	<b>9</b>
<b>2. THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG ĐIỆN .....</b>	<b>10</b>
<b>3. CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG.....</b>	<b>10</b>
<b>4. HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐO LƯỜNG.....</b>	<b>11</b>
<b>V. ĐỊNH GIÁ SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG.....</b>	<b>11</b>
<b>1. NGUYÊN NHÂN VÀ PHÂN LOẠI SAI SỐ .....</b>	<b>11</b>
<b>A. NGUYÊN NHÂN GÂY SAI SỐ .....</b>	<b>11</b>
<b>B. PHÂN LOẠI SAI SỐ.....</b>	<b>11</b>
<b>3. QUY LUẬT TIÊU CHUẨN PHÂN BỐ SAI SỐ .....</b>	<b>12</b>
<b>4. SAI SỐ TRUNG BÌNH BÌNH PHƯƠNG VÀ SAI SỐ TRUNG BÌNH .....</b>	<b>14</b>
<b>A. SAI SỐ TRUNG BÌNH BÌNH PHƯƠNG <math>\sigma</math> .....</b>	<b>14</b>
<b>B. SAI SỐ TRUNG BÌNH <math>D</math>.....</b>	<b>14</b>
<b>5. SỰ KẾT HỢP CỦA CÁC SAI SỐ .....</b>	<b>14</b>
<b>A. SAI SỐ CỦA TỔNG CÁC ĐẠI LƯỢNG .....</b>	<b>14</b>

<b>B. SAI SỐ CỦA HIỆU CÁC ĐẠI LƯỢNG</b> .....	14
<b>C. TÍCH CỦA HAI ĐẠI LƯỢNG</b> .....	15
<b>D. THƯƠNG CỦA HAI ĐẠI LƯỢNG</b> .....	15
<b>CHƯƠNG 2 CẤU TRÚC VÀ CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG CỦA THIẾT BỊ ĐO..17</b>	
<b>I. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA THIẾT BỊ ĐO</b> .....	17
1. SƠ ĐỒ KHỐI CỦA THIẾT BỊ ĐO .....	17
2. SƠ ĐỒ CẤU TRÚC CỦA DỤNG CỤ ĐO BIẾN ĐỔI THĂNG. 17	
3. SƠ ĐỒ CẤU TRÚC CỦA DỤNG CỤ ĐO KIỂU SO SÁNH .....	17
<b>II. CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ</b> .....	18
1. CƠ CẤU CHỈ THỊ CƠ ĐIỆN.....	18
A. CƠ CẤU CHỈ THỊ TỪ ĐIỆN SỬ DỤNG NAM CHÂM VĨNH CỬU (TĐNCVC).....	19
B. CƠ CẤU CHỈ THỊ ĐIỆN TỪ.....	21
C. CƠ CẤU CHỈ THỊ ĐIỆN ĐỘNG.....	22
2. CƠ CẤU CHỈ THỊ TỰ GHI.....	23
3. CƠ CẤU CHỈ THỊ SỐ.....	25
<b>II. CÁC MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG TÍN HIỆU</b> .....	26
1. MẠCH TỈ LỆ.....	26
A. MẠCH TỈ LỆ VỀ DÒNG.....	26
B. MẠCH TỈ LỆ VỀ ÁP .....	27
2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI ĐO LƯỜNG.....	30
A. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÒNG (LẶP ĐIỆN ÁP) .....	30
B. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT.....	30
C. MẠCH KHUẾCH ĐẠI ĐIỀU CHẾ.....	31
D. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÁCH LI.....	31
3. MẠCH GIA CÔNG TÍNH TOÁN.....	31
4. MẠCH SO SÁNH.....	31
A. MẠCH SO SÁNH CÁC TÍN HIỆU KHÁC DẤU BẰNG KĐTT MẮC THEO MỘT ĐẦU VÀO.....	31
B. MẠCH SO SÁNH CÁC TÍN HIỆU CÙNG DẤU BẰNG KĐTT MẮC 2 ĐẦU VÀO .....	32
C. MẠCH SO SÁNH 2 MỨC .....	32
D. MẠCH SO SÁNH CỰC ĐẠI.....	33
E. MẠCH CẦU ĐO .....	33
F. MẠCH ĐIỆN THẾ KẾ.....	34
5. MẠCH TẠO HÀM.....	35
A. MẠCH TẠO HÀM BẰNG BIẾN TRỞ .....	35
B. MẠCH TẠO HÀM BẰNG DIODE BÁN DẪN .....	35
C. MẠCH TẠO HÀM LOGARIT VÀ ĐỐI LOGARIT .....	36

<b>6. CÁC BỘ CHUYỂN ĐỔI TƯƠNG TỰ – SỐ A/D VÀ SỐ – TƯƠNG TỰ D/A.....</b>	<b>36</b>
<b>A. CÁC BỘ BIẾN ĐỔI A/D.....</b>	<b>36</b>
<b>B. CÁC BỘ BIẾN ĐỔI D/A.....</b>	<b>37</b>
<b>III. CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SƠ CẤP.....</b>	<b>37</b>
<b>1. KHÁI NIỆM CHUNG.....</b>	<b>37</b>
<b>A. ĐỊNH NGHĨA.....</b>	<b>37</b>
<b>B. ĐẶC TÍNH CỦA CHUYỂN ĐỔI SƠ CẤP.....</b>	<b>37</b>
<b>C. PHÂN LOẠI CÁC CHUYỂN ĐỔI SƠ CẤP.....</b>	<b>37</b>
<b>D. CÁC HIỆU ỨNG ĐƯỢC ỨNG DỤNG TRONG CÁC CẢM BIẾN TÍCH CỰC.....</b>	<b>38</b>
<b>CHƯƠNG 3. ĐO DÒNG ĐIỆN.....</b>	<b>42</b>
<b>I. KHÁI NIỆM CHUNG.....</b>	<b>42</b>
<b>II. AMPE KẾ MỘT CHIỀU.....</b>	<b>42</b>
<b>II. AMPE KẾ MỘT CHIỀU.....</b>	<b>43</b>
<b>III. AMPEMET XOAY CHIỀU.....</b>	<b>48</b>
<b>1. AMPEMET CHỈNH LƯU.....</b>	<b>48</b>
<b>2. AMPEMET ĐIỆN ĐỘNG.....</b>	<b>49</b>
<b>3. AMPEMET ĐIỆN TỬ.....</b>	<b>50</b>
<b>4. AMPEMET NHIỆT ĐIỆN.....</b>	<b>50</b>
<b>CHƯƠNG 4. ĐO ĐIỆN ÁP.....</b>	<b>52</b>
<b>I. MỞ ĐẦU.....</b>	<b>52</b>
<b>II. VÔN KẾ MỘT CHIỀU.....</b>	<b>52</b>
<b>III. VÔN KẾ XOAY CHIỀU.....</b>	<b>54</b>
<b>1. VÔN KẾ TỪ ĐIỆN ĐO ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU.....</b>	<b>54</b>
<b>A. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU CẦU.....</b>	<b>54</b>
<b>B. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU NỬA SÓNG.....</b>	<b>55</b>
<b>C. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU NỬA CẦU TOÀN SÓNG.....</b>	<b>57</b>
<b>2. VÔN KẾ ĐIỆN TỬ.....</b>	<b>57</b>
<b>3. VÔN KẾ ĐIỆN ĐỘNG.....</b>	<b>58</b>
<b>IV. ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG PHƯƠNG PHÁP SO SÁNH.....</b>	<b>58</b>
<b>1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....</b>	<b>58</b>
<b>2. ĐIỆN THẾ KẾ KẾ MỘT CHIỀU.....</b>	<b>58</b>
<b>3. ĐIỆN THẾ KẾ XOAY CHIỀU.....</b>	<b>60</b>
<b>V. VÔN KẾ SỐ.....</b>	<b>60</b>
<b>1. VÔN KẾ SỐ CHUYỂN ĐỔI THỜI GIAN.....</b>	<b>60</b>
<b>2. VÔN MÉT SỐ CHUYỂN ĐỔI TẦN SỐ.....</b>	<b>62</b>
<b>VI. VÔN MET VÀ AMPE MET ĐIỆN TỬ TƯƠNG TỰ.....</b>	<b>62</b>
<b>1. VÔN MET BÁN DẪN MỘT CHIỀU.....</b>	<b>63</b>

2. VÔN MET ĐIỆN TỬ MỘT CHIỀU DÙNG IC KĐT	64
3. VÔN MET ĐIỆN TỬ XOAY CHIỀU	65
<b>CHƯƠNG 5. ĐO CÔNG SUẤT</b>	67
<b>I. KHÁI NIỆM CHUNG</b>	67
<b>II. DỤNG CỤ ĐO CÔNG SUẤT TRONG MẠCH MỘT PHA</b>	67
1. OAT KẾ ĐIỆN ĐỘNG	68
2. ĐO CÔNG SUẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHẾ TÍN HIỆU	69
3. OAT MET NHIỆT ĐIỆN	70
4. OAT MET DÙNG CHUYỂN ĐỔI HALL	71
<b>CHƯƠNG 6. ĐO TẦN SỐ VÀ GÓC PHA</b>	73
<b>I. KHÁI NIỆM CHUNG</b>	73
<b>II. ĐO TẦN SỐ VÀ PHA BẰNG PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI THĂNG</b>	73
1. TẦN SỐ KẾ CỘNG HƯỞNG ĐIỆN TỬ	73
2. TẦN SỐ KẾ CƠ ĐIỆN	74
A. TẦN SỐ KẾ VÀ FAZO KẾ ĐIỆN ĐỘNG	74
B. TẦN SỐ KẾ ĐIỆN TỬ	76
3. TẦN SỐ KẾ VÀ FAZO KẾ ĐIỆN TỬ	77
4. TẦN SỐ KẾ VÀ FAZO KẾ CHỈ THỊ SỐ	78
<b>III. ĐO TẦN SỐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SO SÁNH</b>	82
1. TẦN SỐ KẾ TRỘN TẦN	82
2. TẦN SỐ KẾ CỘNG HƯỞNG	82
3. CÁC PHƯƠNG PHÁP KHÁC	82
<b>CHƯƠNG 7. ĐO THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN</b>	84
<b>I. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN TRỞ</b>	84
1. ĐO GIÁN TIẾP	84
A. SỬ DỤNG AMPE KẾ VÀ VÔN KẾ	84
B. ĐO ĐIỆN TRỞ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SO SÁNH VỚI ĐIỆN TRỞ MẪU	84
2. ĐO ĐIỆN TRỞ TRỰC TIẾP BẰNG OHMMET	85
A. OHMMET NỐI TIẾP	86
B. OHMMET SONG SONG	86
C. OHMMET NHIỀU THANG ĐO	86
3. CẦU ĐO ĐIỆN TRỞ	87
A. CẦU WHEATSTONE (CẦU ĐƠN)	87
B. CẦU KELVIN (CẦU KÉP)	88
4. ĐO ĐIỆN TRỞ BẰNG CHỈ THỊ SỐ:	89

<b>II. CẦU DÒNG XOAY CHIỀU</b> .....	91
<b>1. CẦU XOAY CHIỀU ĐO ĐIỆN DUNG</b> .....	91
<b>A. CẦU ĐO TỤ ĐIỆN TỔN HAO NHỎ</b> .....	91
<b>B. CẦU ĐO TỤ ĐIỆN CÓ TỔN HAO LỚN</b> .....	92
<b>2. CẦU ĐO ĐIỆN CẢM</b> .....	92
<b>A. CẦU XOAY CHIỀU DÙNG ĐIỆN CẢM MẪU</b> .....	92
<b>B. CẦU ĐIỆN CẢM MAXWELL</b> .....	93
<b>C. CẦU ĐIỆN CẢM HAY</b> .....	93
<b>CHƯƠNG 8. MÁY HIỆN SÓNG ĐIỆN TỬ</b> .....	95
<b>I. MỞ ĐẦU</b> .....	95
<b>II. SƠ ĐỒ KHỐI CỦA MỘT MÁY HIỆN SÓNG THÔNG DỤNG</b> .....	97
<b>III. THIẾT LẬP CHẾ ĐỘ HOẠT ĐỘNG VÀ CÁCH ĐIỀU KHIỂN MỘT MÁY HIỆN SÓNG</b> .....	98
<b>1. THIẾT LẬP CHẾ ĐỘ HOẠT ĐỘNG CHO MÁY HIỆN SÓNG</b> .....	98
<b>2. CÁC PHẦN ĐIỀU KHIỂN CHÍNH</b> .....	99
<b>A. ĐIỀU KHIỂN MÀN HÌNH</b> .....	99
<b>B. ĐIỀU KHIỂN THEO TRỤC ĐỨNG</b> .....	99
<b>C. ĐIỀU KHIỂN THEO TRỤC NGANG</b> .....	100
<b>IV. ỨNG DỤNG CỦA MÁY HIỆN SÓNG TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG</b> .....	100
<b>1. QUAN SÁT TÍN HIỆU</b> .....	100
<b>2. ĐO ĐIỆN ÁP</b> .....	101
<b>3. ĐO TẦN SỐ VÀ KHOẢNG THỜI GIAN</b> .....	101
<b>4. ĐO TẦN SỐ VÀ ĐỘ LỆCH PHA BẰNG PHƯƠNG PHÁP SO SÁNH</b> .....	102
<b>CHƯƠNG 9. ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN</b> .....	104
<b>I. KHÁI NIỆM CHUNG</b> .....	104
<b>II. CÁC LOẠI CẢM BIẾN</b> .....	104
<b>1. CẢM BIẾN KIỂU BIẾN TRỞ</b> .....	104
<b>2. CẢM BIẾN ĐIỆN TRỞ LỰC CĂNG (TENZÔMET)</b> .....	105
<b>3. CẢM BIẾN KIỂU ĐIỆN CẢM</b> .....	107
<b>4. CẢM BIẾN KIỂU ÁP ĐIỆN</b> .....	109
<b>5. CẶP NHIỆT ĐIỆN</b> .....	111
<b>6. NHIỆT ĐIỆN TRỞ</b> .....	114
<b>7. CẢM BIẾN QUANG</b> .....	117
<b>MỘT SỐ GỢI Ý:</b> .....	121
<b>+ ĐO ĐỘ RUNG CÓ THỂ DÙNG TENZÔMÉT</b> .....	121
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	129