

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

Thông tin liên hệ:

Yahoo mail: thanhlam1910_2006@yahoo.com

Gmail: 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.

LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật điện là ngành kỹ thuật ứng dụng các hiện tượng điện từ để biến đổi năng lượng, đo lường, điều khiển, xử lý tín hiệu. Năng lượng điện ngày nay trở nên rất cần thiết và đóng vai trò vô cùng quan trọng trong đời sống và sản xuất của con người.

Bài giảng điện tử môn Kỹ thuật điện được biên soạn dành cho sinh viên các ngành kỹ thuật không chuyên về Điện thuộc trường Đại học Thủy Sản Nha Trang

Nội dung bài giảng gồm ba phần chính:

Phần I: Mạch điện và đo lường điện

Gồm 5 chương cung cấp các kiến thức cơ bản về mạch điện (thông số, mô hình, các định luật cơ bản), các phương pháp tính toán mạch điện một pha và ba pha ở chế độ xác lập, đồng thời giới thiệu các cơ cấu đo lường điện và các đại lượng không điện

Phần II: Máy điện

Trình bày nguyên lý, cấu tạo, các tính năng kỹ thuật và các ứng dụng của các loại máy điện cơ bản thường gặp

Phần III: Thí nghiệm Kỹ thuật điện

Gồm 5 bài thí nghiệm giúp sinh viên củng cố phần lý thuyết đã học và sử dụng thành thạo các thiết bị điện và dụng cụ đo trong thực tế.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban chủ nhiệm khoa Khai Thác – Hàng Hải, Bộ môn Điện – Điện tử hàng hải, và Trung tâm Công nghệ phần mềm thuộc Trường Đại Học Thủy Sản Nha Trang đã quan tâm và tạo mọi điều kiện cho tác giả hoàn thành bài giảng này.

KS. NGUYỄN TUẤN HÙNG

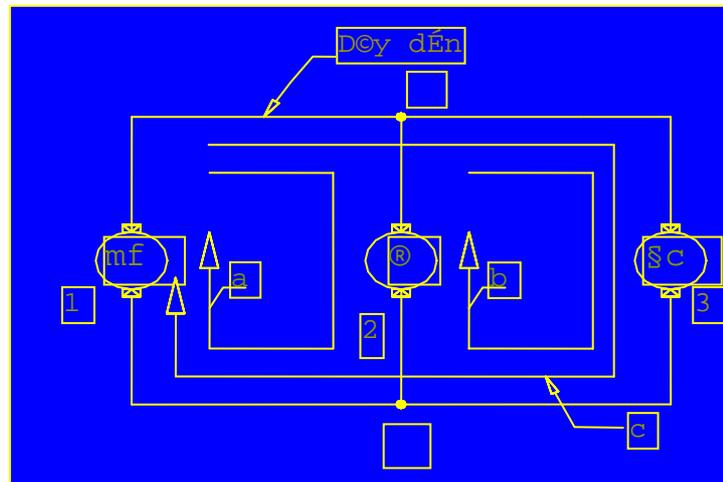
PHẦN I. MẠCH ĐIỆN VÀ ĐO LƯỜNG

CHƯƠNG I. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

1.1. MẠCH ĐIỆN, KẾT CẤU HÌNH HỌC CỦA MẠCH ĐIỆN

1.1.1. Mạch điện

Mạch điện là tập hợp các thiết bị điện nối với nhau bằng các dây dẫn (phần tử dẫn) tạo thành những vòng kín trong đó dòng điện có thể chạy qua. Mạch điện thường gồm các loại phần tử sau: nguồn điện, phụ tải (tải), dây dẫn.



Hình 1.1.a

a. Nguồn điện: Nguồn điện là thiết bị phát ra điện năng. Về nguyên lý, nguồn điện là thiết bị biến đổi các dạng năng lượng như cơ năng, hóa năng, nhiệt năng thành điện năng.



Hình 1.1.b

b. Tải: Tải là các thiết bị tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác như cơ năng, nhiệt năng, quang năng v...v. (hình 1.1.c)



Hình 1.1.c

c. Dây dẫn: Dây dẫn làm bằng kim loại (đồng, nhôm) dùng để truyền tải điện năng từ nguồn đến tải.

1.1.2. Kết cấu hình học của mạch điện

a. Nhánh: Nhánh là một đoạn mạch gồm các phần tử ghép nối tiếp nhau, trong đó có cùng một dòng điện chạy từ đầu này đến đầu kia.

b. Nút: Nút là điểm gặp nhau của từ ba nhánh trở lên.

c. Vòng: Vòng là lối đi khép kín qua các nhánh.

d. Mất lưới : vòng mà bên trong không có vòng nào khác

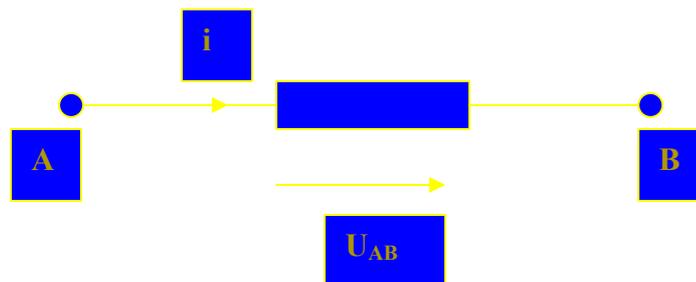
1.2. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG TRONG MẠCH ĐIỆN

Để đặc trưng cho quá trình năng lượng cho một nhánh hoặc một phần tử của mạch điện ta dùng hai đại lượng: dòng điện i và điện áp u .

Công suất của nhánh: $p = u \cdot i$

1.2.1. Dòng điện

Dòng điện i về trị số bằng tốc độ biến thiên của lượng điện tích q qua tiết diện ngang một vật dẫn: $i = dq/dt$



Hình 1.2.a

Chiều dòng điện quy ước là chiều chuyển động của điện tích dương trong điện trường.

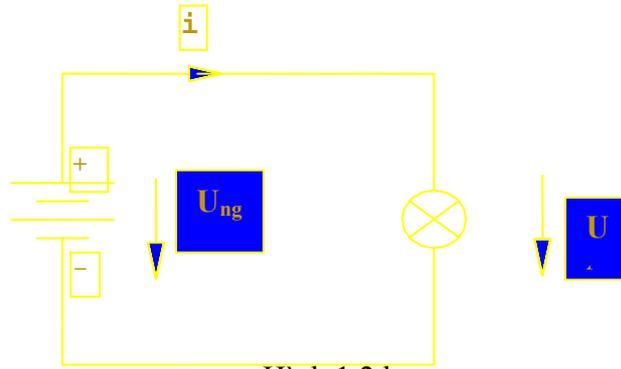
1.2.2. Điện áp

Hiệu điện thế (hiệu thế) giữa hai điểm gọi là điện áp. Điện áp giữa hai điểm A và B:

$$u_{AB} = u_A - u_B$$

Chiều điện áp quy ước là chiều từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp.

1.2.3. Chiều dương dòng điện và điện áp



Hình 1.2.b

Khi giải mạch điện, ta tùy ý vẽ chiều dòng điện và điện áp trong các nhánh gọi là chiều dương. Kết quả tính toán nếu có trị số dương, chiều dòng điện (điện áp) trong nhánh ấy trùng với chiều đã vẽ, ngược lại, nếu dòng điện (điện áp) có trị số âm, chiều của chúng ngược với chiều đã vẽ.

1.2.4. Công suất

Trong mạch điện, một nhánh, một phần tử có thể nhận năng lượng hoặc phát năng lượng.

$p = u.i > 0$ nhánh nhận năng lượng

$p = u.i < 0$ nhánh phát năng lượng

Đơn vị đo của công suất là W (Oát) hoặc KW

1.3. MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN, CÁC THÔNG SỐ

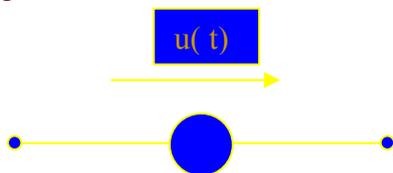
Mạch điện thực bao gồm nhiều thiết bị điện có thực. Khi nghiên cứu tính toán trên mạch điện thực, ta phải thay thế mạch điện thực bằng mô hình mạch điện.

Mô hình mạch điện gồm các thông số sau: nguồn điện áp $u(t)$ hoặc $e(t)$, nguồn dòng điện $J(t)$, điện trở R , điện cảm L , điện dung C , hồ cảm M .

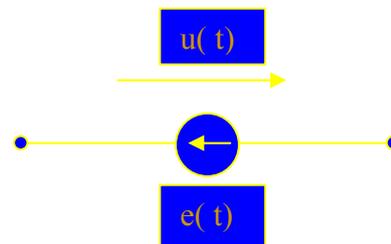
1.3.1. Nguồn điện áp và nguồn dòng điện

a. Nguồn điện áp

Nguồn điện áp đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một điện áp trên hai cực của nguồn.



Hình 1.3.1.a



Hình 1.3.1.b

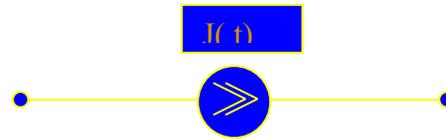
Nguồn điện áp còn được biểu diễn bằng một sức điện động $e(t)$ (hình 1.3.1.b).

Chiều $e(t)$ từ điểm điện thế thấp đến điểm điện thế cao. Chiều điện áp theo quy ước từ điểm có điện thế cao đến điểm điện thế thấp:

$$u(t) = - e(t)$$

b. Nguồn dòng điện

Nguồn dòng điện $J(t)$ đặc trưng cho khả năng của nguồn điện tạo nên và duy trì một dòng điện cung cấp cho mạch ngoài (hình 1.3.1.c)



Hình 1.3.1.c

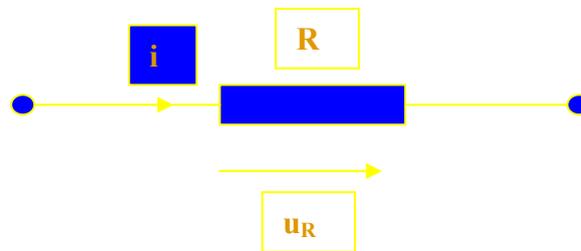
1.3.2. Điện trở R

Điện trở R đặc trưng cho quá trình tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng sang dạng năng lượng khác như nhiệt năng, quang năng, cơ năng v...v.

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp trên điện trở : $u_R = R \cdot i$ (hình 1.3.2.)

Đơn vị của điện trở là Ω (ôm)

Công suất điện trở tiêu thụ: $p = Ri^2$



Hình 1.3.2

Điện dẫn G: $G = 1/R$. Đơn vị điện dẫn là Simen (S)

Điện năng tiêu thụ trên điện trở trong khoảng thời gian t :

$$A = \int_0^t p dt = \int_0^t Ri^2 dt$$

Khi $i = \text{const}$ ta có $A = R i^2 \cdot t$

1.3.3. Điện cảm L

Khi có dòng điện i chạy trong cuộn dây W vòng sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cuộn dây $\psi = W\phi$ (hình 1.3.3)

Điện cảm của cuộn dây: $L = \psi / i = W\phi / i$

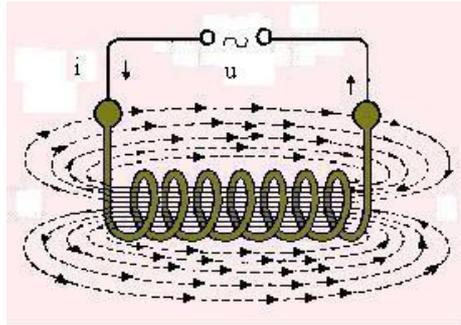
Đơn vị điện cảm là Henry (H).

Nếu dòng điện i biến thiên thì từ thông cũng biến thiên và theo định luật cảm ứng điện từ trong cuộn dây xuất hiện sức điện động tự cảm:

$$e_L = - d\psi / dt = - L di/dt$$

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp:

$$u_L = - e_L = L di/dt$$



Hình 1.3.3

Công suất tức thời trên cuộn dây: $p_L = u_L \cdot i = L i \, di/dt$

Năng lượng từ trường của cuộn dây:

$$W_M = \int_0^t p_L \, dt = \int_0^t L i \, di = 1/2 L i^2$$

Điện cảm L đặc trưng cho quá trình trao đổi và tích lũy năng lượng từ trường của cuộn dây.

1.3.4. Điện dung C

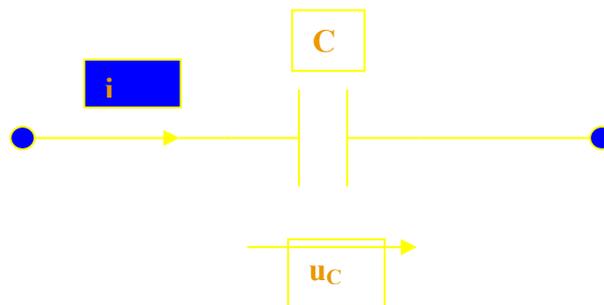
Khi đặt điện áp u_c hai đầu tụ điện (hình 1.3.4), sẽ có điện tích q tích lũy trên bản tụ điện.: $q = C \cdot u_c$

Nếu điện áp u_c biến thiên sẽ có dòng điện dịch chuyển qua tụ điện:

$$i = dq/dt = C \cdot du_c/dt$$

Ta có:

$$u_c = \frac{1}{C} \int i \, dt$$



Hình 1.3.4

Công suất tức thời của tụ điện: $p_c = u_c \cdot i = C \cdot u_c \cdot du_c/dt$

Năng lượng điện trường của tụ điện:

$$W_E = \int_0^t p_c \, dt = \int_0^u C u_c \, du_c = \frac{1}{2} C u^2$$

Điện dung C đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng điện trường (phóng tích điện năng) trong tụ điện.

Đơn vị của điện dung là F (Fara) hoặc μF

1.3.5. Mô hình mạch điện

Mô hình mạch điện còn được gọi là sơ đồ thay thế mạch điện, trong đó kết cấu hình học và quá trình năng lượng giống như ở mạch điện thực, song các phần tử của mạch điện thực đã được mô hình bằng các thông số R, L, C, M, u, e, j .

Mô hình mạch điện được sử dụng rất thuận lợi trong việc nghiên cứu và tính toán mạch điện và thiết bị điện.

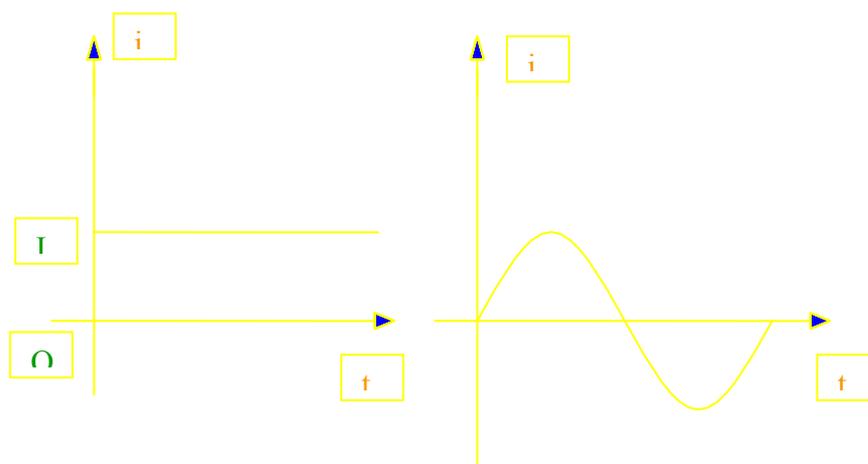
1.4. PHÂN LOẠI VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MẠCH ĐIỆN

1.4.1. Phân loại theo loại dòng điện

a. Mạch điện một chiều: Dòng điện một chiều là dòng điện có chiều không đổi theo thời gian. Mạch điện có dòng điện một chiều chạy qua gọi là mạch điện một chiều.

Dòng điện có trị số và chiều không thay đổi theo thời gian gọi là dòng điện không đổi (hình 1.4.a)

b. Mạch điện xoay chiều: Dòng điện xoay chiều là dòng điện có chiều biến đổi theo thời gian. Dòng điện xoay chiều được sử dụng nhiều nhất là dòng điện hình sin (hình 1.4.b).



Hình 1.4.a

Hình 1.4.b

1.4.2. Phân loại theo tính chất các thông số R, L, C của mạch điện

a. Mạch điện tuyến tính: Tất cả các phần tử của mạch điện là phần tử tuyến tính, nghĩa là các thông số R, L, C là hằng số, không phụ thuộc vào dòng điện i và điện áp u trên chúng.

b. Mạch điện phi tuyến: Mạch điện có chứa phần tử phi tuyến gọi là mạch điện phi tuyến. Thông số R, L, C của phần tử phi tuyến thay đổi phụ thuộc vào dòng điện i và điện áp u trên chúng.

1.4.3. Phụ thuộc vào quá trình năng lượng trong mạch ngoài ta phân ra chế độ xác lập và chế độ quá độ

a. Chế độ xác lập: Chế độ xác lập là quá trình, trong đó dưới tác động của các nguồn, dòng điện và điện áp trên các nhánh đạt trạng thái ổn định. Ở chế độ xác lập, dòng điện, điện áp trên các nhánh biến thiên theo một quy luật giống với quy luật biến thiên của nguồn điện

b. Chế độ quá độ: Chế độ quá độ là quá trình chuyển tiếp từ chế độ xác lập này sang chế độ xác lập khác. Ở chế độ quá độ, dòng điện và điện áp biến thiên theo các quy luật khác với quy luật biến thiên ở chế độ xác lập.

1.4.4. Phân loại theo bài toán về mạch điện

Có hai loại bài toán về mạch điện: phân tích mạch và tổng hợp mạch.

Nội dung bài toán phân tích mạch là cho biết các thông số và kết cấu mạch điện, cần tính dòng, áp và công suất các nhánh.

Tổng hợp mạch là bài toán ngược lại, cần phải thành lập một mạch điện với các thông số và kết cấu thích hợp, để đạt các yêu cầu định trước về dòng, áp và năng lượng.

1.5. HAI ĐỊNH LUẬT KIẾCHỚP

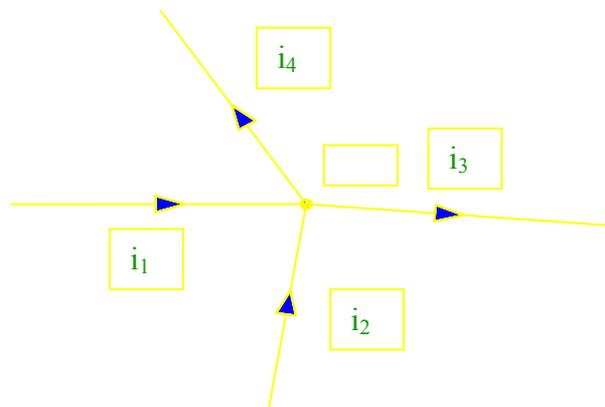
Định luật KiếchỚp 1 và 2 là hai định cơ bản để nghiên cứu và tính toán mạch điện.

1.5.1. Định luật KIẾCHỚP 1

Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không: $\sum i = 0$
trong đó thường quy ước các dòng điện có chiều đi tới nút mang dấu dương, và các dòng điện có chiều rời khỏi nút thì mang dấu âm hoặc ngược lại.

Ví dụ : Tại nút A hình 1.5.1, định luật KiếchỚp 1 được viết:

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$$

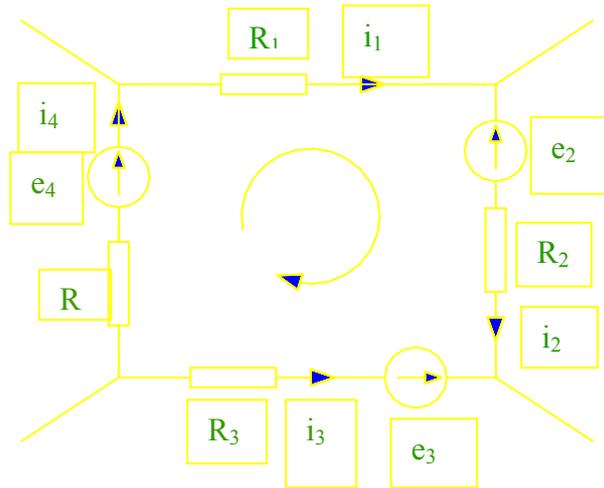


Hình 1.5.1

1.5.2. Định luật KIẾCHỚP 2

Đi theo một vòng khép kín, theo một chiều dương tùy ý, tổng đại số các điện áp rơi trên các phần tử R, L, C bằng tổng đại số các sức điện động có trong vòng; trong đó những sức điện động và dòng điện có chiều trùng với chiều dương của vòng sẽ mang dấu dương, ngược lại mang dấu âm.

Ví dụ: Đối với vòng kín trong hình 1.5.2, định luật KiếchỚp 2:



Hình 1.5.2

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 - R_3 i_3 + R_4 i_4 = -e_2 - e_3 + e_4$$

CHƯƠNG II. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

2.1. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CHO DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Biểu thức của dòng điện, điện áp hình sin:

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

trong đó i, u : trị số tức thời của dòng điện, điện áp.

I_{\max}, U_{\max} : trị số cực đại (biên độ) của dòng điện, điện áp.

φ_i, φ_u : pha ban đầu của dòng điện, điện áp.

Góc lệch pha giữa các đại lượng là hiệu số pha đầu của chúng. Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện thường kí hiệu là φ :

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

$\varphi > 0$ điện áp vượt trước dòng điện

$\varphi < 0$ điện áp chậm pha so với dòng điện

$\varphi = 0$ điện áp trùng pha với dòng điện

2.2. TRỊ SỐ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Trị số hiệu dụng của dòng điện hình sin là dòng một chiều I sao cho khi chạy qua cùng một điện trở R thì sẽ tạo ra cùng công suất.

Dòng điện hình sin chạy qua điện trở R , lượng điện năng W tiêu thụ trong một chu kỳ T :

$$W = \int_0^T Ri^2(t) dt$$

Công suất trung bình trong một chu kỳ:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt$$

Với dòng điện một chiều ta có công suất $P = I^2R$.

$$\text{Ta có: } \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt = RI^2 \Rightarrow I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

$$\text{Ta có: } I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Trong thực tế, giá trị đọc trên các cơ cấu đo dòng điện I , đo điện áp U , đo công suất P của dòng điện hình sin là trị số hiệu dụng của chúng.

Các giá trị U, I, P ghi nhãn mác của dụng cụ và thiết bị điện là trị số hiệu dụng.

2.3. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG VÉCTƠ

Các đại lượng hình sin được biểu diễn bằng véctơ có độ lớn (môđun) bằng trị số hiệu dụng và góc tạo với trục Ox bằng pha đầu của các đại lượng (hì

Véctơ dòng điện \vec{I} biểu diễn cho dòng điện:

$$i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^\circ)$$

và véctơ điện áp \vec{U} biểu diễn cho điện áp:

$$u = 20\sqrt{2}\sin(\omega t - 45^\circ)$$

Tổng hay hiệu của các hàm sin được biểu diễn bằng tổng hay hiệu các véctơ tương ứng.

Định luật Kirchhoff 1 dưới dạng véctơ: $\sum \vec{I} = 0$

Định luật Kirchhoff 2 dưới dạng véctơ: $\sum \vec{U} = 0$

Dựa vào cách biểu diễn các đại lượng và 2 định luật Kirchhoff bằng véctơ, ta có thể giải mạch điện trên đồ thị bằng phương pháp đồ thị véctơ.

2.4. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN BẰNG SỐ PHỨC

Cách biểu diễn véctơ gặp nhiều khó khăn khi giải mạch điện phức tạp. Khi giải mạch điện hình sin ở chế độ xác lập một công cụ rất hiệu quả là biểu diễn các đại lượng hình sin bằng số phức

2.4.1. Ký hiệu của đại lượng phức

Số phức biểu diễn các đại lượng hình sin ký hiệu bằng các chữ in hoa, có dấu chấm ở trên.

$\dot{U}, \dot{I}, \dot{E}$

Số phức có 2 dạng:

a. Dạng số mũ:

$$\dot{U} = Ue^{j\varphi_u}, \dot{I} = Ie^{j\varphi_i}$$

b. Dạng đại số:

$$A = a + jb \text{ trong đó } j^2 = -1$$

Biến đổi dạng số phức dạng mũ sang đại số:

$$\dot{I} = Ie^{j\varphi} = I(\cos \varphi + j\sin \varphi)$$

Biến đổi số phức dạng đại số sang số mũ: $a + jb = C.e^{j\varphi}$ trong đó:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\varphi = \arctg(b/a)$$

2.4.2. Một số phép tính đối với số phức

a. Cộng, trừ:

$$(a+jb) - (c+jd) = (a-c) + j(b-d)$$

b. Nhân, chia:

$$(a+jb).(c+jd) = ac + jbc + jad + j^2bd = (ac-bd) + j(bc+ad)$$

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{(a + jb)(c - jd)}{(c + jd)(c - jd)} = \frac{(ac + bd) + j(bc - ad)}{c^2 + d^2}$$

c. Nhân số phức với $\pm j$

$$e^{j90} = 1.(\cos 90 + j \sin 90) = j; \quad e^{j-90} = 1[\cos (-90) + j \sin (-90)] = -j$$

2.4.3. Tổng trở phức và tổng dẫn phức

Tổng trở phức kí hiệu là Z:

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{Ue^{j\varphi_u}}{Ie^{j\varphi_i}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = Ze^{j\varphi}$$

$$Z = R + jX$$

Mô đun của tổng trở phức kí hiệu là z: $z = \sqrt{R^2 + X^2}$

$$\text{Tổng dẫn phức: } Y = \frac{1}{Z}$$

2.4.4. Định luật Ôm dạng phức:

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$$

2.4.5. Định luật Kiếchốp dạng phức

a. Định luật Kiếchốp 1 dưới dạng phức: $\sum \dot{I} = 0$

b. Định luật Kiếchốp 2 dưới dạng phức: $\sum Zi = \dot{E}$

2.5. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN TRỞ

Khi có dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua điện trở R, điện áp trên điện trở:

$$u_R = R.i = U_{R\max} \sin \omega t, \text{ trong đó: } U_{R\max} = R.I_{\max}$$

Ta có: $U_R = R.I$ hoặc $I = U_R / R$

Biểu diễn vectơ dòng điện I và điện áp U_R

Dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ biểu diễn dưới dạng dòng điện phức:

$$\dot{I} = Ie^{j0}$$

Điện áp $u_R = U_{\max} \sin \omega t$ biểu diễn dưới dạng điện áp phức:

$$\dot{U}_R = U_R e^{j0} = RIe^{j0} = R\dot{I} \Rightarrow \dot{I} = \frac{\dot{U}}{R}$$

Công suất tức thời của mạch điện:

$$p_R(t) = u_R i = U_R I (1 - \cos 2\omega t)$$

Ta thấy $p_R(t) > 0$ tại mọi thời điểm, điện trở R luôn tiêu thụ điện năng của nguồn và biến đổi sang dạng năng lượng khác như quang năng và nhiệt năng .v.

Công suất tác dụng P là trị số trung bình của công suất tức thời p_R trong một chu kỳ.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_R I (1 - \cos 2\omega t) dt$$

Ta có: $P = U_R I = RI^2$

Đơn vị của công suất tác dụng là W (oát) hoặc KW

2.6. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN CẢM

Khi dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua điện cảm L (hình 2.6.a), điện áp trên điện cảm:

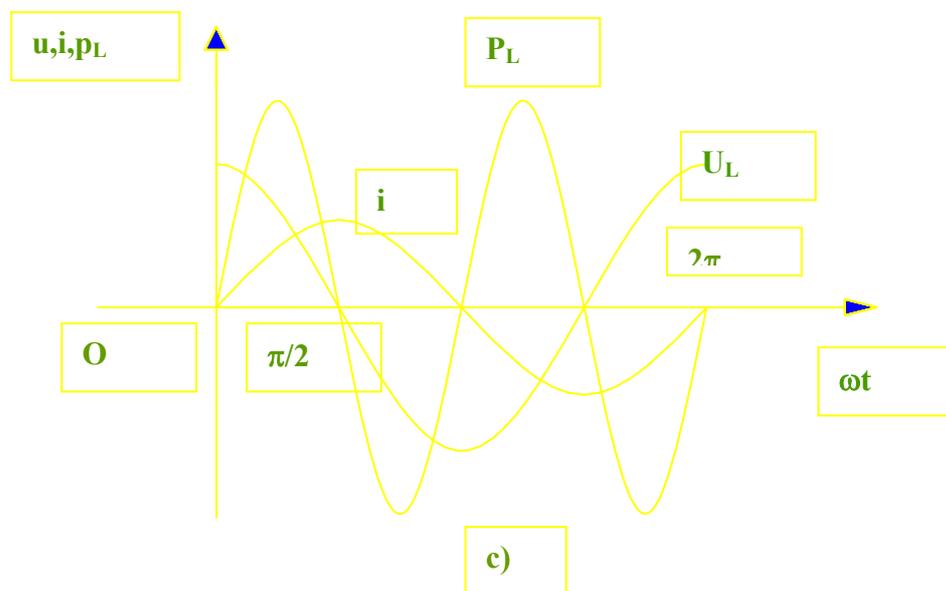
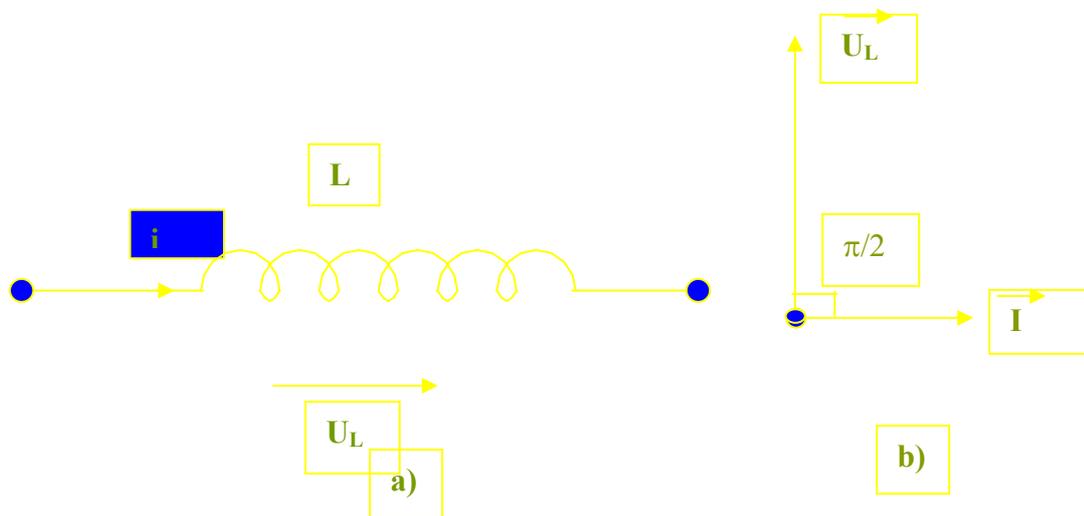
$$u_L(t) = L di/dt = U_{L\max} \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$\text{trong đó: } U_{L\max} = X_L I_{\max}$$

$$\Rightarrow U_L = X_L I \Rightarrow I = U_L / X_L$$

$$X_L = \omega L \text{ gọi là cảm kháng.}$$

Biểu diễn vectơ dòng điện I và điện áp U_L (hình 2.6.b)



Hình 2.6

Dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ biểu diễn dưới dạng dòng điện phức: $\hat{i} = I e^{j0}$
 Điện áp $u_L = U_{L\max} \sin(\omega t + \pi/2)$ biểu diễn dưới dạng điện áp phức:

$$\hat{U}_L = U_L e^{j90} = X_L \cdot I j = j e^{j0} X_L = j X_L \hat{i} \Rightarrow \hat{i} = \frac{\hat{U}_L}{j X_L}$$

Công suất tức thời của điện cảm: $p_L(t) = u_L \cdot i = U_L I \sin 2\omega t$

Công suất tác dụng của nhánh thuần cảm: $P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L(t) dt = 0$

Để biểu thị cường độ quá trình trao đổi năng lượng của điện cảm ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q_L

$$Q_L = U_L I = X_L I^2$$

Đơn vị công suất phản kháng là Var hoặc KVar

2.7. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN DUNG

Đặt vào hai đầu tụ điện một điện áp $u_C : u_C = U_{C\max} \sin(\omega t - \pi/2)$
 thì điện tích q trên tụ điện: $q = C u_C = C \cdot U_{C\max} \sin(\omega t - \pi/2)$

Ta có $i_C = dq/dt = I_{C\max} \sin \omega t$

trong đó: $I_{C\max} = U_{C\max} / X_C \rightarrow I_C = U_C / X_C$

$X_C = 1/(C\omega)$ gọi là dung kháng

Đồ thị véctơ dòng điện I và điện áp U_C

Biểu diễn điện áp $u_C = U_{C\max} \sin(\omega t - \pi/2)$ dưới dạng điện áp phức: $\hat{U}_C = U_C e^{j(-90)}$

Biểu diễn dòng điện $i_C = I_{C\max} \sin \omega t$ dưới dạng phức: $\hat{I}_C = I_C e^{j0}$

Ta có: $\hat{U}_C = U_C e^{j(-90)} = U_C e^{j(-90)} e^{j0} = -j X_C \cdot I_C e^{j0} = -j X_C \hat{I}_C$

Kết luận: $\hat{U}_C = -j X_C \hat{I}_C$

Công suất tức thời của nhánh thuần dung: $p_C = u_C i_C = -U_C I_C \sin 2\omega t$

Mạch thuần dung không tiêu tán năng lượng: $P_C = \frac{1}{T} \int_0^T p_C(t) dt = 0$

Công suất phản kháng của điện dung: $Q_C = -U_C \cdot I_C = -X_C I^2$

2.8. DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN TRONG MẠCH R – L – C MẮC NỐI TIẾP VÀ SONG SONG

2.8.1. Dòng điện hình Sin trong nhánh R-L-C nối tiếp

Khi cho dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ qua nhánh R – L – C nối tiếp sẽ gây ra các điện áp u_R, u_L, u_C trên các phần tử R, L, C.

Ta có: $u = u_R + u_L + u_C$ hoặc $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$

Biểu diễn véctơ điện áp U bằng phương pháp véctơ

Từ đồ thị véctor ta có:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ$$

Trong đó: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Z gọi là mô đun tổng trở của nhánh R - L - C nối tiếp.

$X = X_L - X_C$; X là điện kháng của nhánh.

Điện áp lệch pha so với dòng điện một góc φ : $\text{tg}\varphi = X/R = (X_L - X_C)/R$

Biểu diễn định luật Ôm dưới dạng phức:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I}R + j\dot{I}X_L - j\dot{I}X_C = \dot{I}[R + j(X_L - X_C)] = \dot{I}Z$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z}$$

Ta có:

Tổng trở phức của nhánh: $Z = R + jX = ze^{j\varphi}$

2.8.2. Dòng điện hình sin trong mạch R-L-C song song

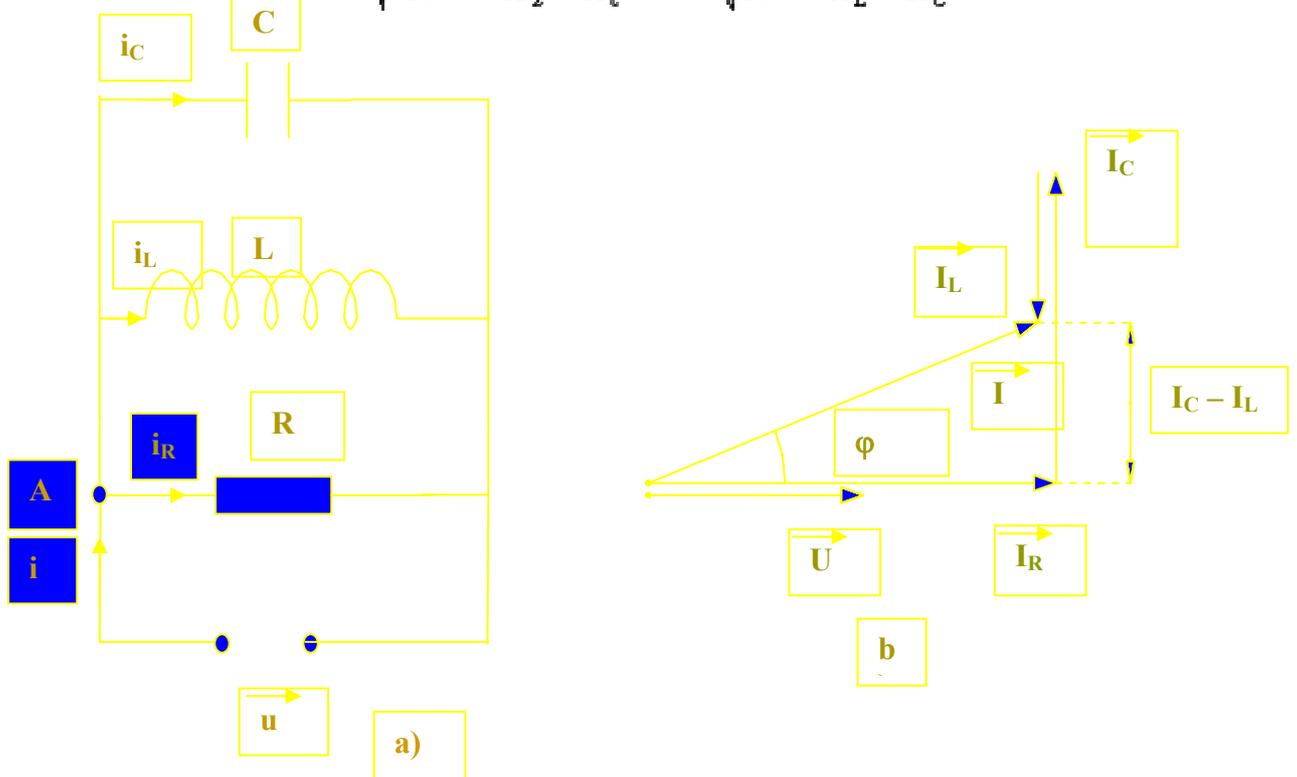
Cho mạch điện gồm điện trở R , điện cảm L , tụ C mắc song song (hình 2.8.2.a.)

Áp dụng định luật Kiếchốp 1 tại nút A: $i = i_R + i_L + i_C$ hoặc: $\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C$

Biểu diễn véctor I bằng phương pháp véctor (hình 2.8.2.b)

Trị số hiệu dụng I của dòng điện mạch chính:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{X_L} - \frac{U}{X_C}\right)^2} = U\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$



Hình 2.8.2

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} = U \frac{\sqrt{(X_L X_C)^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}{R X_L X_C} = \frac{U}{\frac{R X_L X_C}{\sqrt{(X_L X_C)^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}} = \frac{U}{Z}$$

Mô đun tổng trở z của toàn mạch:

$$z = \frac{R X_L X_C}{\sqrt{(X_L X_C)^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}$$

Dòng điện mạch chính I lệch pha so với điện áp U một góc φ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{\frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L}}{\frac{U}{R}} = \frac{(X_L - X_C)R}{X_L X_C}$$

Định luật Ôm dưới dạng phức trong mạch R, L, C song song

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 dạng phức tại nút A:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{R} + \frac{\dot{U}}{jX_L} - \frac{\dot{U}}{jX_C} = \dot{U} \left(\frac{X_L X_C + jR(X_L - X_C)}{R X_L X_C} \right) = \frac{\dot{U}}{Z}$$

Tổng trở phức của mạch:

$$Z = \frac{R X_L X_C}{X_L X_C + jR(X_L - X_C)} = z e^{j\varphi}$$

2.9. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

Đối với dòng điện xoay chiều có ba loại công suất

2.9.1. Công suất tác dụng P

Cho mạch điện (hình 2.9) gồm các thông số R, L, C được đặt vào điện áp $u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ và dòng điện $i = I_{\max} \sin \omega t$ chạy qua mạch.

$$\text{Công suất tác dụng } P: \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

$$\text{Công suất tức thời } p(t) = u \cdot i = UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$$

$$\text{Ta có: } P = \frac{1}{T} \int_0^T UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] dt = UI \cos \varphi$$

Công suất tác dụng P có thể được tính bằng tổng công suất tác dụng trên các điện trở của các nhánh của mạch điện: $P = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2$

Trong đó R_k , I_k là điện trở, dòng điện trên nhánh thứ k.

Công suất tác dụng đặc trưng cho hiện tượng biến đổi điện năng sang các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, cơ năng.v.v..

2.9.2. Công suất phản kháng Q

Để đặc trưng cho cường độ quá trình trao đổi năng lượng điện từ trường, người ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q.

$$Q = UI \sin \varphi$$

Công suất phản kháng có thể được tính bằng tổng công suất phản kháng của điện cảm và

điện dung của mạch điện : $Q = Q_L + Q_C = \sum_{k=1}^n X_{Lk} I_k^2 - \sum_{k=1}^n X_{Ck} I_k^2$

trong đó: X_{Lk} , X_{Ck} , I_k lần lượt là cảm kháng, dung kháng và dòng điện trên nhánh thứ k.

2.9.3. Công suất biểu kiến S

$$S = U.I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Công suất biểu kiến còn được gọi là công suất toàn phần.

P, S, Q có cùng 1 thứ nguyên, nhưng đơn vị của P là W, của Q là VAR và của S là VA.

2.10. NÂNG CAO HỆ SỐ CÔNG SUẤT COS φ

Ta có $P = UI \cos \varphi$; $\cos \varphi$ được gọi là hệ số công suất.

Nâng cao hệ số $\cos \varphi$ của tải sẽ nâng cao khả năng sử dụng công suất nguồn điện. Mặt khác nếu cần 1 công suất P nhất định trên đường dây 1 pha thì dòng điện chạy trên đường

dây: $I_d = \frac{P}{U \cos \varphi}$

Khi ta nâng hệ số $\cos \varphi$ thì dòng điện dây I_d sẽ giảm, dẫn đến giảm chi phí đầu tư cho đường dây và tổn hao điện năng trên đường dây.

Để nâng cao $\cos \varphi$ ta dùng tụ điện nối song song với tải

Ta có phụ tải: $Z = R + jX$, khi chưa bù (chưa có nhánh tụ điện) dòng điện trên đường dây I bằng dòng điện qua tải I_1 , hệ số công suất $\cos \varphi_1 = R/z$ của tải.

Khi có bù (có nhánh tụ điện), dòng điện trên đường dây I:

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_C$$

Lúc chưa bù chỉ có công suất Q_1 của tải: $Q_1 = P \operatorname{tg} \varphi_1$

Lúc có bù, công suất phản kháng của mạch : $Q = P \operatorname{tg} \varphi$

Công suất phản kháng của mạch gồm Q_1 của tải và Q_C của tụ điện:

$$Q_1 + Q_C = P \operatorname{tg} \varphi \Rightarrow Q_C = -P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi) \quad (*)$$

Mặt khác công suất phản kháng Q_C của tụ:

$$Q_C = -U_C \cdot I_C = -U^2 \omega C \quad (**)$$

Từ (*) và (**) ta tính được giá trị điện dung C để nâng hệ số công suất của mạch điện từ

$\cos \varphi_1$ lên $\cos \varphi$: $C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi)$

CHƯƠNG III. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Phân tích mạch điện là bài toán cho biết kết cấu và thông số của mạch điện (thông số của nguồn U và E, điện trở R, điện cảm L, điện dung C, tần số f của mạch) và yêu cầu phải tìm dòng điện, điện áp, và công suất trên các nhánh

Hai định luật Kiếchốp là cơ sở để giải mạch điện. Khi nghiên cứu giải mạch điện hình sin ở chế độ xác lập ta biểu diễn dòng điện, điện áp, và các định luật dưới dạng vectơ hoặc số phức. Đặc biệt khi cần lập hệ phương trình để giải mạch điện phức tạp ta nên sử dụng phương pháp biểu diễn bằng số phức.

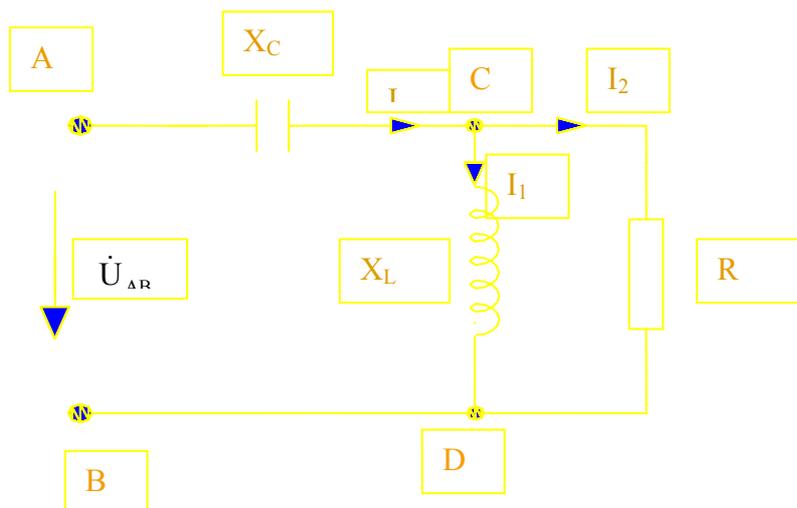
3.2. ỨNG DỤNG BIỂU DIỄN SỐ PHỨC ĐỂ GIẢI MẠCH ĐIỆN

Cho mạch điện như hình vẽ 3.2.
Cho biết:

$$\dot{U}_{AB} = 100e^{j0}; X_L = X_C = R = 10(\Omega)$$

Tìm dòng điện I, I₁, I₂ bằng phương pháp biểu diễn số phức

Tìm công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q, công suất biểu kiến S của mạch điện.



Hình 3.2

Giải mạch điện bằng phương pháp số phức:

$$\text{Tổng trở phức nhánh } Z_{CD} = R \cdot Z_L / (R + Z_L) = 5 (1+j) (\Omega);$$

Tổng trở phức $Z_{AC} = -jX_C = -10j (\Omega)$;

Tổng trở phức toàn mạch $Z_{AB} = Z_{AC} + Z_{CD} = 5(1+j) - 10j = 5(1-j) (\Omega)$;

Dòng điện phức mạch chính: $\dot{I} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{100}{5(1-j)} = 10(1+j)$

Giá trị hiệu dụng dòng điện mạch chính: $I = 10\sqrt{2} (A)$

Điện áp phức nhánh CD: $\dot{U}_{CD} = \dot{I} Z_{CD} = 10(1+j) 5(1+j) = 100j$

Dòng điện phức I_1 : $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{CD}}{Z_L} = \frac{100j}{10j} = 10$

Giá trị hiệu dụng dòng điện $I_1 = 10 (A)$

Dòng điện phức nhánh 2: $\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{CD}}{R} = \frac{100j}{10} = 10j$

Giá trị hiệu dụng dòng điện $I_2 = 10 (A)$

Công suất tác dụng toàn mạch: $P = I_2^2 \cdot R = 100 \cdot 10 = 1000 (W)$

Công suất phản kháng của toàn mạch:

$Q = I_1^2 X_L - I_2^2 X_C = 100 \cdot 10 - 200 \cdot 10 = -1000 (Var)$

Công suất biểu kiến của toàn mạch: $S = U_{AB} \cdot I = 1000\sqrt{2} (VA)$

3.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG

3.3.1. Mắc nối tiếp

Các tổng trở Z_1, Z_2, Z_3 được mắc nối tiếp

Tổng trở tương đương của mạch nối tiếp $Z_{td} = Z_1 + Z_2 + Z_3$

Ta có:

$$\dot{U} = \dot{I} Z_{td} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = \dot{I} Z_1 + \dot{I} Z_2 + \dot{I} Z_3 = \dot{I} (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

Suy ra $Z_{td} = Z_1 + Z_2 + Z_3$

Kết luận: Tổng trở tương đương của các phần tử mắc nối tiếp bằng tổng các tổng trở của các phần tử.

Công thức tổng quát:

$$Z_{td} = \sum_{k=1}^n Z_k$$

3.3.2. Mắc song song

Các tổng trở Z_1, Z_2, Z_3 được mắc song song

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút A: $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ (1)

Mặt khác: $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z_{td}}; \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_1}; \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{Z_2}; \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}}{Z_3}$ (2)

Từ (1) và (2) ta có: $\frac{\dot{U}}{Z_{td}} = \frac{\dot{U}}{Z_1} + \frac{\dot{U}}{Z_2} + \frac{\dot{U}}{Z_3} \Leftrightarrow \frac{1}{Z_{td}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$

Ta có: $Y_{td} = Y_1 + Y_2 + Y_3$

Kết luận: Tổng dẫn tương đương của các nhánh song song bằng tổng các tổng dẫn các phần tử trên các nhánh.

Công thức tổng quát:
$$Y_{\text{td}} = \sum_{k=1}^n Y_k$$

3.3.3. Biến đổi sao - tam giác (Y - Δ) và tam giác - sao (Δ - Y)

a. Biến đổi từ hình sao sang tam giác (Y - Δ):

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$$

$$Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$$

$$Z_{31} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2}$$

Nếu $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_Y \Rightarrow Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = 3 \cdot Z_Y$

b. Biến đổi từ hình tam giác sang sao (Δ - Y):

$$Z_1 = \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{23} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

Nếu $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = Z_{\Delta} \Rightarrow Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_{\Delta}/3$

3.4. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN NHÁNH

a. Thuật toán:

Xác định số nút n và số nhánh m của mạch điện:

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh
- Viết $n - 1$ phương trình Kirchhoff 1 cho $n - 1$ nút
- Viết $m - n + 1$ phương trình Kirchhoff 2 cho các vòng
- Giải hệ m phương trình tìm các dòng điện nhánh

b. Bài tập:

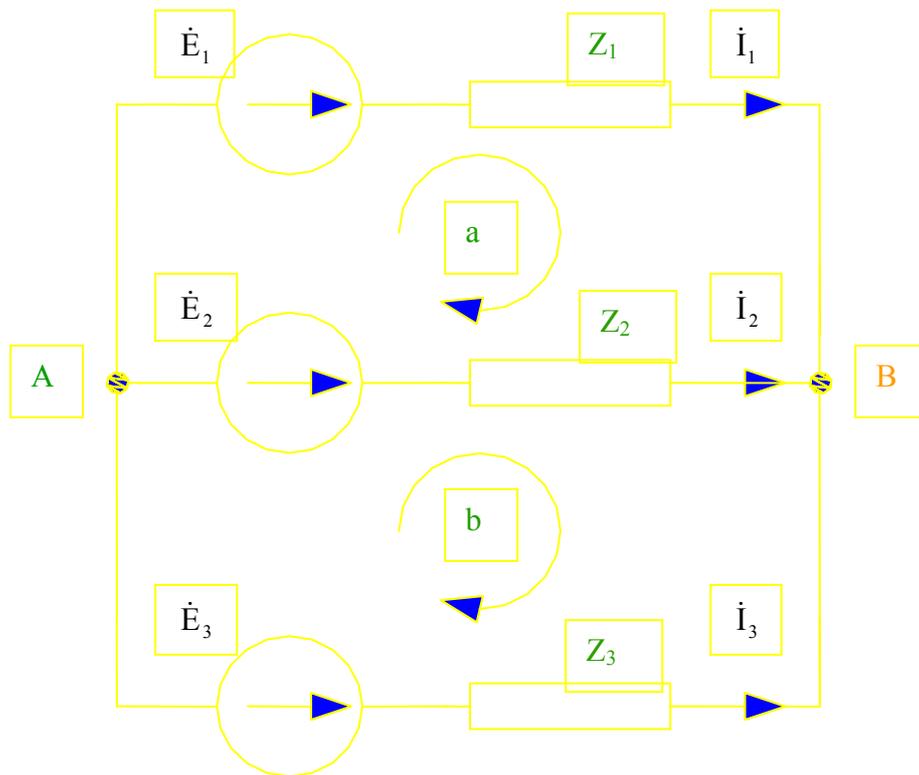
Cho mạch điện như hình vẽ 3.4

Cho biết:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 100e^{j\omega t} \text{ (V)}; \dot{E}_2 = 50e^{j\omega t} \text{ (V)}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1 + j \text{ (}\Omega\text{)};$$

Tìm các dòng điện I_1, I_2 và I_3 bằng phương pháp dòng điện nhánh.



Hình 3.4

Giải mạch điện bằng phương pháp dòng điện nhánh

Mạch điện có 2 nút ($n = 2$) và 3 nhánh ($m = 3$)

Chọn chiều dòng điện nhánh I_1, I_2, I_3 và chiều dương cho vòng a, b (hình 3.4)

Viết phương trình Kiếchốp 1 cho nút B: $\hat{I}_1 + \hat{I}_2 + \hat{I}_3 = 0$ (1)

Viết 2 phương trình Kiếchốp 2 cho hai vòng :

Vòng a: $\hat{I}_1 Z_1 - \hat{I}_2 Z_2 = \hat{E}_1 - \hat{E}_2$ (2)

Vòng b: $\hat{I}_2 Z_2 - \hat{I}_3 Z_3 = \hat{E}_2 - \hat{E}_3$ (3)

Thế số vào 3 phương trình (1) (2) và (3) ta giải hệ phương trình được kết quả:

$$\hat{I}_1 = 25/3 \cdot (1 - j)(A)$$

$$\hat{I}_2 = 50/3 \cdot (j - 1)(A)$$

$$\hat{I}_3 = 25/3 \cdot (1 - j)(A)$$

$$I_1 = I_3 = \frac{25}{3} \sqrt{2}(A); I_2 = \frac{50}{3} \sqrt{2}(A)$$

Suy ra giá trị hiệu dụng :

c. Kết luận

Nhược điểm của phương pháp dòng điện nhánh là giải hệ nhiều phương trình với nhiều ẩn số.

3.5. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN VÒNG

a. Thuật toán

- Tù ý chọn chiều dòng điện nhánh và dòng điện vòng
- Lập $m - n + 1$ phương trình Kiếchốp 2 cho $m - n + 1$ vòng độc lập
- Giải hệ $m - n + 1$ phương trình tìm các dòng điện vòng
- Từ các dòng điện vòng suy ra các dòng điện nhánh (Dòng điện nhánh bằng tổng đại số các dòng điện vòng chạy trên nhánh đó)
 m là số nhánh, n là số nút của mạch điện

Dòng điện vòng là dòng điện mạch vòng tưởng tượng chạy khép kín trong các vòng độc lập.

b. Bài tập

Cho mạch điện như hình 3.4

Cho biết:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 100e^{j\omega t} \text{ (V)}; \dot{E}_2 = 50e^{j\omega t} \text{ (V)}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1 + j \text{ (}\Omega\text{)};$$

Tìm các dòng điện I_1, I_2 và I_3 bằng phương pháp dòng điện vòng

Giải mạch điện bằng phương pháp dòng điện vòng:

Mạch điện có 2 nút ($n = 2$) và có 3 nhánh ($m = 3$)

Chọn chiều dòng điện nhánh I_1, I_2, I_3 , chiều hai dòng điện vòng I_a, I_b và chiều dương cho vòng a, b (hình 3.5)

Viết hai phương trình Kiếchốp 2 cho hai vòng a và b với ẩn số là các dòng điện vòng I_a, I_b

$$\text{Vòng a: } \dot{I}_a(Z_1 + Z_2) - \dot{I}_b Z_2 = \dot{E}_1 - \dot{E}_2 \quad (1)$$

$$\text{Vòng b: } -\dot{I}_a Z_2 + \dot{I}_b(Z_2 + Z_3) = \dot{E}_2 - \dot{E}_3 \quad (2)$$

Thế số vào ta giải hệ 2 phương trình (1)(2), tìm được dòng điện vòng:

$$\dot{I}_a = 25/3 \cdot (1 - j) \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_b = 25/3 \cdot (j - 1) \text{ (A)}$$

Dòng điện trên các nhánh

$$\text{Nhánh 1: } \dot{I}_1 = \dot{I}_a = 25/3 \cdot (1 - j) \text{ (A)}$$

$$\text{Nhánh 2: } \dot{I}_2 = \dot{I}_b - \dot{I}_a = 50/3 \cdot (j - 1) \text{ (A)}$$

$$\text{Nhánh 3: } \dot{I}_3 = -\dot{I}_b = 25/3 \cdot (1 - j) \text{ (A)}$$

c. Kết luận

Phương pháp dòng điện vòng có ưu điểm là giải hệ ít phương trình, ít ẩn số hơn phương pháp dòng điện nhánh, thường được sử dụng để giải bài toán mạch điện phức tạp

3.6. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN ÁP HAI NÚT

a. Thuật toán

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh và điện áp hai nút
- Tìm điện áp hai nút theo công thức tổng quát:

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{E}_k \cdot Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

trong đó có quy ước các sức điện động E_k có chiều ngược chiều với điện áp U_{AB} thì lấy dấu dương và cùng chiều lấy dấu âm.

- Tìm dòng điện nhánh bằng cách áp dụng định luật Ôm cho các nhánh.

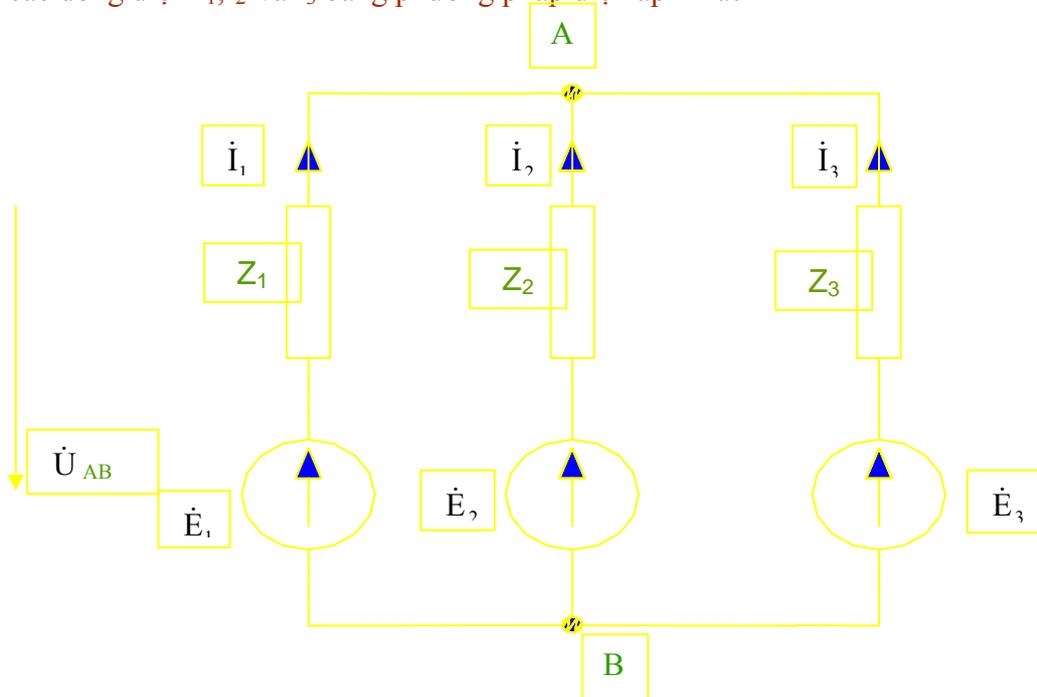
b. Bài tập

Cho mạch điện như hình 3.6

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_3 = 100e^{j0} \text{ (V)}; \dot{E}_2 = 50e^{j0} \text{ (V)}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1 + j \text{ (}\Omega\text{)}$$

Tìm các dòng điện I_1, I_2 và I_3 bằng phương pháp điện áp 2 nút



Hình 3.6

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{E}_k \cdot Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

Chứng minh công thức tổng quát :
Áp dụng định luật Ôm cho các nhánh

Nhánh 1:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{Z_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) Y_1$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB}}{Z_2} = (\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB})Y_2$$

Nhánh 2:

$$\text{Nhánh 3: } \dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}}{Z_3} = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB})Y_3$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút A: $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$

Từ các phương trình trên ta có:

$$\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3 = \dot{U}_{AB} (Y_1 + Y_2 + Y_3)$$

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3}{(Y_1 + Y_2 + Y_3)}$$

Suy ra:

$$\text{Công thức tổng quát nếu mạch có } n \text{ nhánh và chỉ có hai nút A,B: } \dot{U}_{AB} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{E}_k Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

trong đó có quy ước các sức điện động E_k có chiều ngược chiều với điện áp U_{AB} thì lấy dấu dương và cùng chiều lấy dấu âm.

Giải bài toán trên bằng phương pháp điện áp hai nút:

$$\text{Điện áp } U_{AB}: \dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 Y_1 + \dot{E}_2 Y_2 + \dot{E}_3 Y_3}{(Y_1 + Y_2 + Y_3)}$$

Thay số vào ta có: $\dot{U}_{AB} = 250/3 \text{ (V)}$

Áp dụng định luật Ôm cho các nhánh của mạch điện :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{Z_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB})Y_1 = 25/3 \text{ (1-j) (A)}$$

Nhánh 1 :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB}}{Z_2} = (\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB})Y_2 = 50/3 \cdot (j-1) \text{ (A)}$$

Nhánh 2:

Nhánh 3:

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}}{Z_3} = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB})Y_3 = 25/3 \cdot (1-j) \text{ (A)}$$

Kết luận:

Phương pháp điện áp hai nút thích hợp giải cho mạch điện có nhiều nhánh nhưng chỉ có hai nút.

3.7. PHƯƠNG PHÁP XẾP CHỒNG

Phương pháp này dựa trên nguyên lý xếp chồng sau:

Trong một mạch tuyến tính chứa nhiều nguồn, dòng (hoặc áp) trong một nhánh nào đó là tổng đại số (xếp chồng) của nhiều dòng (hoặc áp) sinh ra do từng nguồn độc lập làm việc một mình, các nguồn còn lại nghỉ.

a. Thuật toán:

- Chỉ cho nguồn 1 làm việc, các nguồn 2,3,...n nghỉ. Giải mạch thứ nhất này để tìm thành phần I_1 của dòng I cần tìm
- Tiếp tục với các nguồn 2,3, ..n., ta tìm được các thành phần I_2, I_3, \dots, I_n của I. Khi cả n nguồn cùng làm việc, dòng I cần tìm là: $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots + I_n$.

CHƯƠNG 4. MẠCH ĐIỆN BA PHA

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MẠCH ĐIỆN BA PHA

Việc truyền tải điện năng bằng mạch điện ba pha tiết kiệm được dây dẫn hơn việc truyền tải bằng dòng điện một pha đồng thời hệ thống điện ba pha có công suất lớn hơn Động cơ điện ba pha có cấu tạo đơn giản và đặc tính tốt hơn động cơ một pha.

Để tạo ra nguồn điện ba pha ta dùng máy phát điện đồng bộ ba pha.

Ta xét cấu tạo của máy phát điện đồng bộ ba pha đơn giản :

Phần tĩnh gồm 6 rãnh, trong các rãnh đặt ba dây quấn AX, BY, CZ có cùng số vòng dây và lệch nhau một góc $2\pi/3$ trong không gian.

Dây quấn AX gọi là pha A, dây quấn BY gọi là pha B, dây quấn CZ là pha C.

Phần quay là nam châm vĩnh cửu có 2 cực N – S

Nguyên lí làm việc của máy phát điện đồng bộ ba pha:

Khi quay rôto quay ngược chiều kim đồng hồ, từ trường lần lượt quét các dây quấn stato và cảm ứng vào trong dây quấn stato các sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số và lệch pha nhau một góc $2\pi/3$.

Sức điện động pha A: $e_A = E_{\max} \sin \omega t$

Sức điện động pha B: $e_B = E_{\max} \sin(\omega t - 2\pi/3)$

Sức điện động pha C: $e_C = E_{\max} \sin(\omega t - 4\pi/3) = E_{\max} \sin(\omega t + 2\pi/3)$

Nguồn điện gồm ba sức điện động hình sin cùng biên độ, cùng tần số, lệch pha nhau $2\pi/3$ gọi là nguồn ba pha đối xứng

Đối với nguồn đối xứng ta có: $e_A + e_B + e_C = 0$ hoặc $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$

Nếu tổng trở phức của các pha tải bằng nhau $Z_A = Z_B = Z_C$ thì ta có tải đối xứng.

Mạch điện ba pha gồm nguồn, tải và đường dây đối xứng gọi là mạch điện ba pha đối xứng.

Nếu không thỏa mãn một trong các điều kiện đã nêu gọi là mạch ba pha không đối xứng.

4.2. MẠCH ĐIỆN BA PHA PHỤ TẢI NỐI SAO

4.2.1. Cách nối

Muốn nối hình sao ta nối ba điểm cuối pha với nhau tạo thành điểm trung tính

4.2.2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha trong cách nối hình sao đối xứng

a. Quan hệ giữa dòng điện dây và pha

$$I_d = I_p$$

b. Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{U}_{AO} = U_p e^{j0} \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{BO} = U_p e^{-j120} \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{CO} = U_p e^{j120}\end{aligned}$$

Ta có:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AO} + \dot{U}_{OB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = U_p e^{j0} - U_p e^{j120} = U_p \sqrt{3} \frac{(\sqrt{3} + j)}{2} = U_p \sqrt{3} e^{j30}$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BO} + \dot{U}_{OC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = U_p e^{j120} - U_p e^{j240} = U_p \sqrt{3} e^{-j90}$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CO} + \dot{U}_{OA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = U_p e^{j240} - U_p e^{j0} = U_p \sqrt{3} e^{-j210}$$

Về độ lớn:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_d = \sqrt{3} U_p$$

Về pha, điện áp dây U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} lệch pha nhau một góc 120° và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 30° .

4.3. MẠCH ĐIỆN BA PHA PHỤ TẢI NỐI HÌNH TAM GIÁC

4.3.1. Cách nối

Muốn nối hình tam giác ta lấy đầu pha này nối với cuối pha kia.

A nối với Z, B nối với X, C nối với Y

4.3.2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và đại lượng pha trong cách nối hình tam giác đối xứng

a. Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha

$$U_d = U_p$$

b. Quan hệ giữa dòng điện dây và pha

Áp dụng định luật Kierchhoff 1 tại các nút

$$\text{Nút A': } \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

$$\text{Nút B': } \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$$

$$\text{Nút C': } \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Từ đồ thị hình 4.3.b ta có:

$$I_A = I_B = I_C = I_d$$

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_p$$

Về trị số dòng điện dây ta có: $I_d = \sqrt{3} I_p$

Về pha, dòng điện dây I_A, I_B, I_C lệch pha nhau một góc 120° và chậm pha so với dòng điện pha tương ứng một góc 30°

4.4. CÔNG SUẤT MẠCH ĐIỆN BA PHA

4.4.1. Công suất tác dụng

$$P_{3p} = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos\varphi_A + U_B I_B \cos\varphi_B + U_C I_C \cos\varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng: $U_A = U_B = U_C = U_p$; $I_A = I_B = I_C = I_p$

và $\cos\varphi_A = \cos\varphi_B = \cos\varphi_C = \cos\varphi$

Ta có: $P_{3p} = 3 U_p I_p \cos\varphi = 3 R_p I_p^2$; trong đó R_p là điện trở pha.

Đối với nối sao đối xứng: $I_p = I_d$; $U_p = U_d / \sqrt{3}$

Đối với nối tam giác đối xứng: $I_p = I_d / \sqrt{3}$; $U_p = U_d$

Công suất tác dụng ba pha viết theo đại lượng dây, áp dụng cho cả trường hợp nối sao và nối tam giác đối xứng: $P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$

4.4.2. Công suất phản kháng

$$Q_{3p} = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng: $Q_{3p} = 3 U_p I_p \sin \varphi = 3 X_p I_p^2$; trong đó X_p là điện kháng pha

Hoặc viết theo đại lượng dây: $Q_{3p} = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi$

4.4.3. Công suất biểu kiến

Khi mạch ba pha đối xứng, công suất biểu kiến ba pha:

$$S_{3p} = \sqrt{P_{3p}^2 + Q_{3p}^2} = 3 U_p I_p = \sqrt{3} U_d I_d$$

4.5. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với mạch ba pha đối xứng bao gồm nguồn đối xứng, tải và các dây pha đối xứng. Khi giải mạch ba pha đối xứng ta chỉ cần tính toán trên một pha rồi suy ra các pha kia

4.5.1. Giải mạch điện ba pha tải nối hình sao đối xứng

a. Khi không xét tổng trở đường dây pha

Điện áp trên mỗi pha tải: $U_p = U_d / \sqrt{3}$

Tổng trở pha tải:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$$

trong đó R_p , X_p là điện trở và điện kháng mỗi pha tải. U_d là điện áp dây

Dòng điện pha của tải:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

Tải nối hình sao: $I_d = I_p$

b. Khi có xét tổng trở của đường dây pha

Cách tính toán cũng tương tự:

$$I_d = I_p = \frac{U_p}{\sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2}} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2}}$$

trong đó R_d , X_d là điện trở và điện kháng đường dây.

4.5.2. Giải mạch điện ba pha tải nối tam giác đối xứng

a. Khi không xét tổng trở đường dây

Ta có: $U_d = U_p$

Dòng điện pha tải I_p

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

Dòng điện dây: $I_d = \sqrt{3}I_p = \sqrt{3} \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$

b. Khi có xét tổng trở đường dây

Tổng trở mỗi pha lúc nối tam giác: $Z_\Delta = R_p + jX_p$

Tổng trở biến đổi sang hình sao

$$Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{R_p + jX_p}{3}$$

Dòng điện dây I_d :
$$I_d = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{\left(R_d + \frac{R_p}{3}\right)^2 + \left(X_d + \frac{X_p}{3}\right)^2}}$$

Dòng điện pha của tải :

$$I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

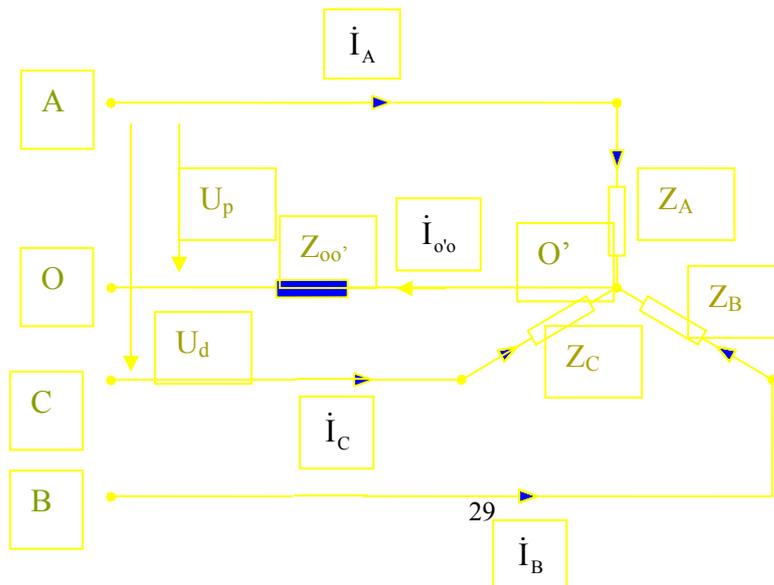
4.6. CÁCH GIẢI MẠCH BA PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG

Khi tải ba pha không đối xứng ($Z_A \neq Z_B \neq Z_C$) thì dòng điện và điện áp trên các pha tải sẽ không đối xứng. Trong phần này ta vẫn xem nguồn của mạch ba pha là đối xứng.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$

4.6.1. Giải mạch điện ba pha tải nối hình sao không đối xứng

a. Tải nối hình sao với dây trung tính có tổng trở Z_o (hình 4.6.1.a)



Hình 4.6.1.a

Dùng phương pháp điện áp hai nút, điện áp giữa hai điểm trung tính O' và O:

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0}$$

trong đó $Y_A = 1/Z_A$; $Y_B = 1/Z_B$; $Y_C = 1/Z_C$; $Y_0 = 1/Z_0$ là tổng dẫn phức các pha tải và dây trung tính.

Vì nguồn đối xứng:

$$\dot{U}_A = E_p e^{j0}, \dot{U}_B = E_p e^{-j120}, \dot{U}_C = E_p e^{j120}$$

Thay vào công thức trên ta có: $\dot{U}_{O'O} = E_p \frac{Y_A + Y_B e^{-j120} + Y_C e^{j120}}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0}$

Điện áp trên các pha tải:

$$\text{Pha A: } \dot{U}_A' = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O}$$

$$\text{Pha B: } \dot{U}_B' = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O}$$

$$\text{Pha C: } \dot{U}_C' = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O}$$

Dòng điện các pha tải: $i_A = \frac{\dot{U}_A'}{Z_A}$; $i_B = \frac{\dot{U}_B'}{Z_B}$; $i_C = \frac{\dot{U}_C'}{Z_C}$

Dòng điện trên dây trung tính I_0 : $i_0 = \frac{\dot{U}_{O'O}}{Z_0}$; $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

b. Nếu xét đến tổng trở Z_d của các dây dẫn pha
Phương pháp tính toán vẫn như trên nhưng với:

$$Y_A = \frac{1}{Z_A + Z_d}; Y_B = \frac{1}{Z_B + Z_d}; Y_C = \frac{1}{Z_C + Z_d};$$

c. Khi tổng trở dây trung tính $Z_0 = 0$

Nhờ có dây trung tính điện áp pha trên các tải đối xứng.
Dòng điện trên các pha tải

Pha A:

$$i_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}$$

Pha B:

$$i_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B}$$

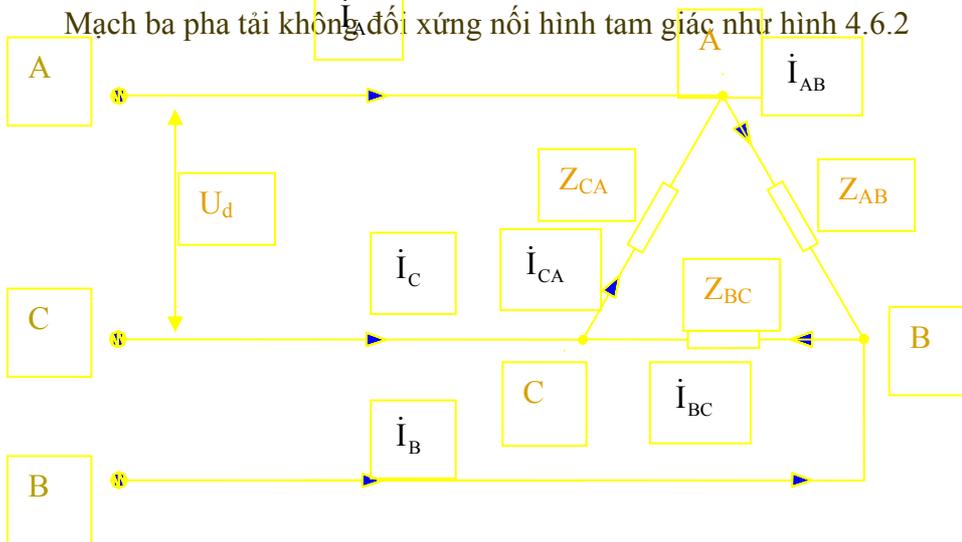
Pha C:

$$I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

Dòng điện trên dây trung tính I_0 : $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

4.6.2. Giải mạch điện ba pha tải nối tam giác không đối xứng

Mạch ba pha tải không đối xứng nối hình tam giác như hình 4.6.2



Hình 4.6.2

Nguồn điện có điện áp dây là U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}

Nếu không xét tổng trở các dây dẫn pha ($Z_d = 0$) điện áp đặt lên các pha tải là điện áp dây nguồn. Dòng điện trên các pha tải:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}; I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}}; I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}}; I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại các nút

Tại nút A:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

Tại nút B:

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

Tại nút C:

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

Nếu trường hợp có xét tổng trở Z_d của các dây dẫn pha ta nên biến đổi tương đương tải nối tam giác thành hình sao

4.7. CÁCH NỐI NGUỒN VÀ TẢI TRONG MẠCH ĐIỆN BA PHA

Nguồn điện và tải ba pha đều có thể nối hình sao hoặc hình tam giác, tùy theo điều kiện cụ thể như điện áp quy định của thiết bị, điện áp của mạng điện và một số yêu cầu kỹ thuật khác.

4.7.1. Cách nối nguồn điện

Các nguồn điện dùng trong sinh hoạt thường nối thành hình sao có dây trung tính. Cách nối này có ưu điểm là cung cấp hai điện áp khác nhau : Điện áp pha và điện áp dây

4.7.2. Cách nối động cơ điện ba pha

Khi thiết kế người ta đã quy định điện áp cho mỗi dây quấn. Ví dụ động cơ ba pha có điện áp định mức cho mỗi dây quấn pha là 220V ($U_p = 220$), do đó trên nhãn hiệu của động cơ ghi là $\Delta/Y \sim 220/380$ V . Nếu ta nối động cơ vào làm việc ở mạng điện có điện áp dây là 380 V thì động cơ phải nối hình sao

$$U_p = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ v}$$

Nếu động cơ ấy làm việc ở mạng điện 220/127V có điện áp dây là 220 V thì động cơ phải được nối hình tam giác

4.7.3. Cách nối các tải của một pha

Điện áp làm việc của tải phải bằng đúng điện áp định mức đã ghi trên nhãn
Ví dụ bóng đèn 220V lúc làm việc ở mạng điện 380/220V thì phải nối giữa dây pha và dây trung tính. Cũng bóng đèn ấy nếu làm việc ở mạng 220/127V thì phải nối hai dây pha để mạng điện áp đặt vào thiết bị đúng bằng định mức

Tuy nhiên lúc chọn thiết bị trong sinh hoạt, ta cần chọn điện áp thiết bị bằng điện áp pha.

CHƯƠNG 5. ĐO LƯỜNG ĐIỆN

5.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN

5.1.1. Định nghĩa

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo với đơn vị của đại lượng đo

5.1.2. Phân loại cách thực hiện phép đo

- a. Đo trực tiếp
Cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất
- b. Đo gián tiếp
Cách đo mà kết quả được suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng nhiều cách đo trực tiếp

5.1.3. Các loại sai số của phép đo và cấp chính xác

a. Sai số tuyệt đối

Hiệu số giữa giá trị đo X và giá trị thực X_{th} :

$$\Delta X = |X_{đo} - X_{th}|$$

b. Sai số tương đối

Tỉ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị đo được tính bằng phần trăm:

$$\delta \% = \Delta X / X_{đo} \cdot 100$$

c. Sai số của dụng cụ đo được đặc trưng bằng sai số tương đối quy đổi

$$\gamma \% = \Delta X / X_{đm} \cdot 100$$

$X_{đm}$ là trị số định mức của thang đo tương ứng

d. Sai số phương pháp

Sai số sinh ra do sự không hoàn thiện của phương pháp đo và sự không chính xác biểu thức lí thuyết cho ta kết quả của đại lượng đo

e. Sai số thiết bị

Sai số của thiết bị đo sử dụng trong phép đo, liên quan đến cấu trúc, tình trạng của dụng cụ đo

f. Sai số chủ quan

Sai số gây ra do người sử dụng. Ví dụ như mắt kém, do cầu thả, do đọc lệch

g. Sai số hệ thống

Thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hay là thay đổi có quy luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo

h. Cấp chính xác của dụng cụ đo

$$K = \Delta X_{\max} / A \cdot 100$$

ΔX_{\max} : sai số tuyệt đối lớn nhất; A khoảng thang đo trên dụng cụ đo

$K < 0.5$ là loại dụng cụ đo có cấp chính xác cao, thường làm dụng cụ mẫu. Các dụng cụ đo trong công nghiệp thường có cấp chính xác $1 \div 2.5$

i. Độ nhạy của dụng cụ đo

$$S = \Delta \alpha / \Delta X$$

$\Delta \alpha$: độ biến thiên của chỉ thị đo

ΔX : độ biến thiên của đại lượng cần đo

5.2. CƠ CẤU BIẾN ĐỔI ĐIỆN CƠ

a. Định nghĩa

Dụng cụ đo tương tự (analog) là loại dụng cụ đo mà chỉ số của nó là đại lượng liên tục tỉ lệ với đại lượng đo liên tục.

Trong dụng cụ đo tương tự người ta thường dùng các chỉ thị điện cơ, trong đó tín hiệu vào là dòng điện còn tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ thị.

Cơ cấu này thực hiện việc biến năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học làm quay phần động một góc lệch α so với phần tĩnh.

$$\alpha = f(X), X : \text{Đại lượng điện}$$

b. Nguyên lý làm việc của cơ cấu biến đổi điện cơ

Khi cho dòng điện vào một cơ cấu biến đổi cơ điện do tác dụng của từ trường quay lên phần động của cơ cấu mà sinh ra một mô men quay M_q .

$$M_q = dW_{dt}/d\alpha \quad (W_{dt} \text{ là năng lượng điện từ trường})$$

Nếu ta đặt vào trục của phần động một lò xo cản thì khi phần động quay lò xo bị xoắn lại và sinh ra một mômen cản M_c :

$$M_c = K \cdot \alpha \quad (\text{hệ số } K \text{ phụ thuộc vào kích thước và vật liệu chế tạo lò xo})$$

Khi phần động của cơ cấu nằm ở vị trí cân bằng:

$$M_q = M_c \Rightarrow \alpha = 1/K \cdot dW_{dt}/d\alpha$$

Đây là phương trình đặc tính thang đo

Cơ cấu biến đổi kiểu điện cơ có 4 loại:

1. Cơ cấu kiểu từ điện
2. Cơ cấu kiểu điện từ
3. Cơ cấu kiểu điện động
4. Cơ cấu kiểu cảm ứng
5. Cơ cấu kiểu tĩnh điện

5.2.1. Cơ cấu đo kiểu từ điện

a. Cấu tạo

Nam châm vĩnh cửu (1) có độ từ cảm cao có hai má cực từ.

- Lõi thép hình trụ (2) nhằm giảm khe hở không khí giữa hai cực nam châm làm cho từ trường mạnh và phân bố đều.
- Cuộn dây động (3) bằng dây đồng tiết diện nhỏ trên khung nhôm – khung nhôm để quấn dây.
- Lò xo (4) dùng để tạo mômen phản kháng.
- Trục (5)
- Kim chỉ thị (6)

b. Nguyên lý làm việc

Khi có dòng điện một chiều cần đo chạy vào cuộn dây động, từ trường của nó sẽ tác dụng với từ trường của nam châm vĩnh cửu, tạo nên lực F tác dụng lên hai cạnh cuộn dây động và gây ra mômen quay M_q :

$$M_q = F \cdot D = BLWI \cdot D = K_q \cdot I$$

Mối quan hệ giữa góc lệch α kim chỉ thị và dòng điện cần đo:

$$\alpha = S.I$$

trong đó S là độ nhạy của cơ cấu đo
c. Đặc điểm và ứng dụng

Ưu điểm:

- Có độ chính xác cao vì các phần tử cơ cấu có độ ổn định cao, từ trường cực từ mạnh nên ít bị ảnh hưởng của từ trường ngoài và công suất tiêu thụ nhỏ
- Thang đo chia độ đều
- Độ nhạy lớn nên đo được các dòng một chiều rất nhỏ.

Nhược điểm:

- Chỉ đo được dòng một chiều vì góc lệch α tỉ lệ bậc nhất với dòng điện
- Tiết diện cuộn dây động nhỏ, nên khả năng quá tải kém
- Cấu tạo phức tạp, hư hỏng khó sửa chữa.

Ứng dụng:

Chế tạo để đo dòng điện và điện áp một chiều: vôn kế, ampe kế.

Đo các dòng, áp trị số nhỏ như: điện kế, miliampe kế, milivol kế.

Đo điện trở : Ôm mét, megômét

Chế tạo đồng hồ vạn năng.

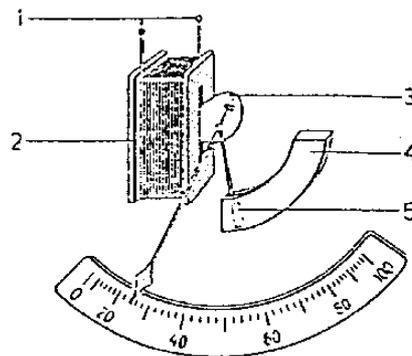
5.2.2. Cơ cấu đo kiểu điện từ

a. Cấu tạo

Cơ cấu gồm 2 loại chính: kiểu cuộn dây phẳng và kiểu cuộn dây tròn

Ta xét cơ cấu kiểu cuộn dây phẳng như hình 5.2.2

- Cuộn dây phẳng ở phần tĩnh (1)
- Lõi thép (2)
- Lá sắt từ mềm (3) là phần động, nằm trong lòng cuộn dây phần tĩnh
- Bộ phận cản dũa (4)



Hình 5.2.2

b. Nguyên lý làm việc

Khi cho dòng điện cần đo I vào cuộn dây 1, lá sắt từ 3 sẽ bị đẩy làm kim quay đi một góc α . Trong cuộn dây được tích lũy năng lượng từ trường:

$$W_M = LI^2 / 2$$

L: Điện cảm của cuộn dây

Mối quan hệ giữa góc lệch của kim chỉ thị α với dòng điện cần đo I:

$$\alpha = SI^2$$

S: độ nhạy của cơ cấu đo

c. Đặc điểm và ứng dụng

Ưu điểm:

- Đo được dòng xoay chiều và một chiều
- Khả năng quá tải lớn do tiết diện dây quấn lớn, đo được dòng và áp lớn
- Cấu tạo đơn giản

Nhược điểm:

- Từ trường bản thân yếu, bị ảnh hưởng của từ trường ngoài. Do tổn hao phụ cơ và từ trễ, nên độ chính xác không cao, độ nhạy thấp.
- Thang đo chia độ không đều.

Ứng dụng: Chế tạo các ampe kế và vôn kế một chiều và xoay chiều

5.2.3. Cơ cấu đo kiểu điện động

a. Cấu tạo

- Phần tĩnh là cuộn dây (1) gồm hai nửa cuộn dây đặt cạnh nhau để tạo ra khoảng không gian có từ trường tương đối đều, quấn dây tiết diện lớn.
- Phần động là cuộn dây (2) có tiết diện nhỏ đặt trong lòng cuộn dây tĩnh.

Ngoài ra còn có lò xo và bộ phận cản dũa

b. Nguyên lý làm việc

Dòng điện cần đo được đưa vào cuộn dây 1 (I_1) và 2 (I_2) tạo nên 2 từ trường đẩy nhau, gây nên mômen quay. Năng lượng từ trường tích lũy trong 2 cuộn dây:

$$W_M = L_1 I_1^2 / 2 + L_2 I_2^2 / 2 + M I_1 I_2$$

L_1, L_2 : điện cảm của hai cuộn dây; M : hồ cảm giữa hai cuộn dây

Mối quan hệ giữa góc lệch kim chỉ thị α với 2 dòng điện cần đo:

$$\alpha = S \cdot I_1 I_2$$

trong đó S là độ nhạy của cơ cấu đo

$$\text{Nếu } I_1 = I_2 = I \Rightarrow \alpha = S I^2$$

c. Đặc điểm và ứng dụng

Ưu điểm:

- Không có lõi thép nên không có tổn hao sắt từ, nên độ chính xác cao, chế tạo dụng cụ đo với cấp chính xác đến 0.05.
- Đo được dòng một chiều và xoay chiều.

Nhược điểm:

- Cuộn dây (2) có tiết diện nhỏ, nên khả năng quá tải kém.
- Cấu tạo phức tạp
- Từ trường của cơ cấu đo bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.

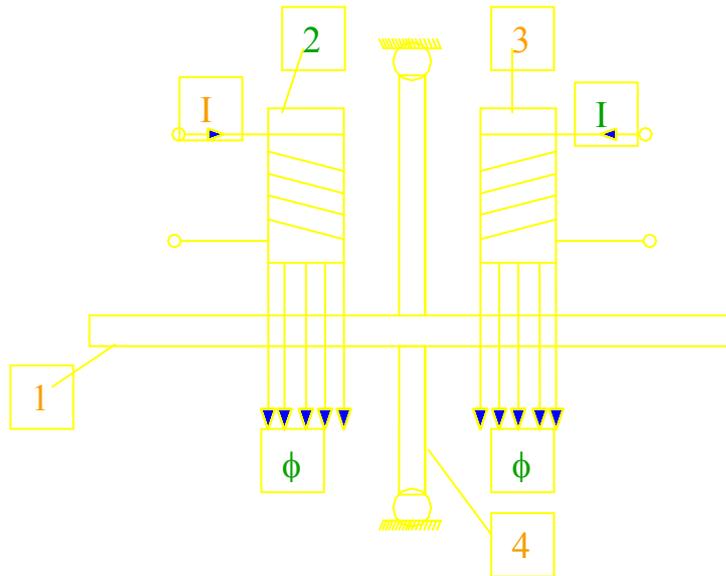
Ứng dụng:

Chế tạo vôn kế, ampe kế một chiều và xoay chiều và chế tạo dụng cụ đo công suất (oát kế) là chủ yếu.

5.2.4. Cơ cấu đo kiểu cảm ứng

a. Cấu tạo (hình vẽ 5.2.4)

- Phần tĩnh gồm cuộn dây (2) và cuộn dây (3)
Cuộn điện áp (2) có số vòng nhiều, tiết diện nhỏ.
Cuộn dòng điện (3) có tiết diện lớn, quấn ít vòng
- Phần động gồm đĩa nhôm (1) gắn với trục (4)



Hình 5.2.4

b. Nguyên lý làm việc

Cho dòng điện I_1 và I_2 vào hai cuộn dây (2) và (3) sinh ra từ thông ϕ_1 và ϕ_2 lệch nhau góc ψ . Mômen làm cho đĩa nhôm quay: $M_q = C_f \cdot \phi_1 \cdot \phi_2 \sin \psi$

Hai cuộn dây phần tính lần lượt đo dòng I và điện áp U cho nên:

$\phi_1 \sim U$; $\phi_2 \sim I$; góc lệch pha φ giữa U và I (vì U nhanh pha so với ϕ_1 góc 90° , I cùng pha với ϕ_2) cho nên $\varphi = \psi + 90^\circ$

$$M_q = C_f \cdot \phi_1 \cdot \phi_2 \sin \approx \psi KU \cdot I \cdot \cos \varphi = KP$$

Như vậy mômen quay tỉ lệ với công suất P mà tải tiêu thụ .

Để thể hiện số vòng quay của đĩa nhôm, người ta gắn vào trục cơ cấu chỉ thị đếm cơ khí.

Lượng điện năng tiêu thụ A trong khoảng thời gian Δt :

$$A = P \cdot \Delta t = C \cdot N \quad (N : \text{số vòng quay của đĩa nhôm})$$

c. Đặc điểm và ứng dụng

- Điều kiện để mômen quay là phải có hai từ trường
- Mômen quay phụ thuộc tần số dòng điện
- Chỉ làm việc trong mạch điện xoay chiều

Ứng dụng: Chế tạo công tơ đo điện năng

5.3. ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐO ĐIỆN ÁP

5.3.1. Đo dòng điện

Đo dòng điện bằng cách mắc ampe kế nối tiếp với phụ tải có dòng điện cần đo chạy qua. Điện trở trong của ampe kế càng nhỏ càng tốt

Để mở rộng thang đo một chiều, người ta dùng điện trở song (shunt) R_s nối song song với cơ cấu đo

$$\text{Ta có } I = I_s + I_A$$

$$K = I/I_A = R_A / R_s + 1$$

K : hệ số mở rộng thang đo.

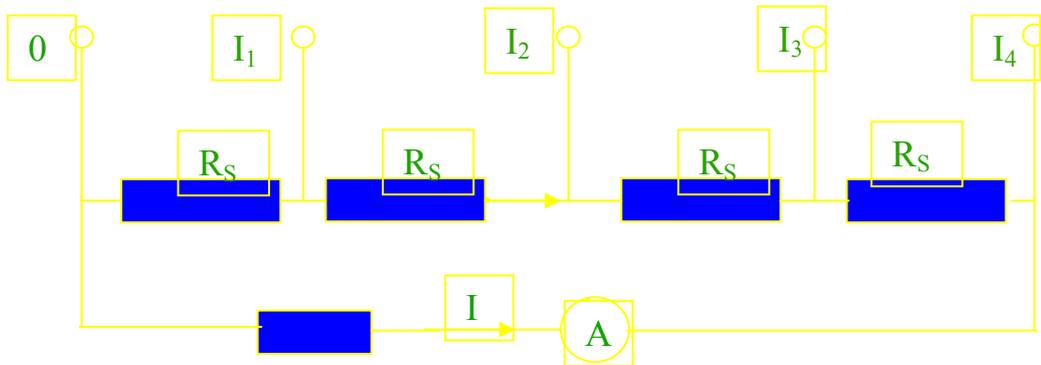
Thay đổi R_s ta được các hệ số mở rộng thang đo khác nhau

$$R_A / R_s = 9; 99; 999 \Rightarrow K = 10; 100; 1000; \dots$$

Dòng đi qua cơ cấu đó chỉ bằng $1/10$; $1/100$; $1/1000$; .. với dòng cần đo.

Đo dòng xoay chiều dùng các ampemét điện từ hay điện động.

Với dòng xoay chiều ta dùng máy biến dòng để mở rộng thang đo. Ampemét điện từ mở rộng thang đo bằng cách chia cuộn dây tính ra nhiều đoạn bằng nhau và tùy thuộc việc mắc nối tiếp hay song song (hình 5.3.1.b)
 Khi cần đo dòng xoay chiều bằng dụng cụ đo từ điện người ta phải chỉnh lưu dòng xoay chiều thành một chiều



Hình 5.3.1.b

5.3.2. Đo điện áp

Đo điện áp người ta dùng vôn kế mắc song song với mạch điện có điện áp cần đo. Để kết quả đo chính xác thì điện trở vôn kế càng lớn càng tốt. Để mở rộng thang đo bằng cách mắc thêm điện trở phụ nối tiếp với vôn kế
 Gọi $k = U/U_V$: hệ số mở rộng thang đo.
 $k = U/U_V = 1 + R_p/R_v$
 Thay đổi R_p có thể đạt được các giá trị k khác nhau

Khi đo điện áp U lớn để mở rộng thang đo người ta dùng máy biến áp điện áp.

5.4. ĐO CÔNG SUẤT

Dụng cụ đo công suất là Oát kế (oát mét), đơn vị của công suất là Oát (W).

5.4.1. Đo công suất trong mạch điện sin một pha

Oát mét hay dụng cụ đo công suất thường chế tạo theo cơ cấu kiểu điện động
 Nguyên lý hoạt động:

- Cuộn tĩnh 1 mắc nối tiếp với phụ tải và gọi là cuộn dòng, có điện trở rất nhỏ nên thường quấn ít vòng bằng dây cỡ lớn.
- Cuộn 2 ở phần động dùng làm cuộn áp, nối song song với phụ tải cần đo. Cuộn dây 2 điện trở rất lớn nên người ta nối thêm một điện trở phụ R_p .

Mômen quay tức thời của cuộn dây 2 phần động: $m_q = k_g I_I I_U$

Dòng điện qua cuộn dây tĩnh 1 là dòng điện phụ tải $I_{pt} = I_I$, còn dòng qua cuộn dây động 2:

$$I_I = I_{pt}; I_U = U / (R_2 + R_p) \Rightarrow I_U \sim U \Rightarrow M_q \sim P_{pt} = UI \cos \varphi$$

Như vậy M_q của oát mét tỉ lệ với công suất tác dụng của phụ tải nên được dùng để đo công suất mạch xoay chiều và cả một chiều.

5.4.2. Đo công suất trong mạch điện ba pha

Khi mạch ba pha bốn dây đối xứng, thì chỉ cần dùng một oát kế đo công suất 1 pha rồi nhân 3 : $P_{3p} = 3.P_{1p}$

Nếu là mạch 3 pha 4 dây không đối xứng thì phải dùng 3 oátmét đo rồi cộng kết quả lại.

$$P_{3p} = P_A + P_B + P_C$$

Khi mạch ba pha không có dây trung tính phụ tải bất kỳ, người ta dùng 2 oát kế để đo công suất:

$$P_{3p} = P_1 + P_2$$

Chứng minh:

$$\text{Công suất tức thời của mạch ba pha: } p_{3p} = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C \quad (1)$$

$$\text{Ta có: } i_A + i_B + i_C = 0 \Rightarrow i_C = - (i_A + i_B) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có:

$$p_{3p} = i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) = i_A u_{AC} + i_B u_{BC} = p_1 + p_2$$

Người ta đã chế tạo loại oát kế 3 pha hai phần tử, cách mắc sơ đồ đo tương tự như cách dùng 2 oát kế một pha

5.5. ĐO ĐIỆN TRỞ

a. Đo gián tiếp

Để đo điện trở ta dùng Ampe kế đo dòng điện I và vôn kế đo điện áp U.

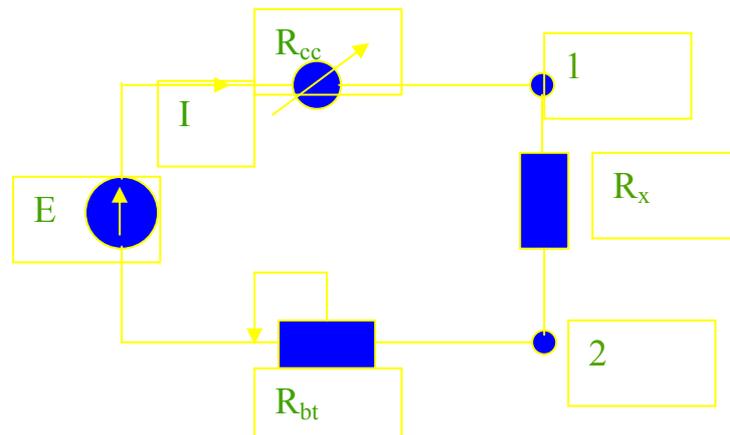
$$\text{Điện trở cần đo: } R_x = U/I$$

Ta có $R_x + R_A = U/I$, điện trở ampe kế gây sai số phép đo.

$$\text{Ta có: } I = U/R_x + U/R_v \Rightarrow R_x = 1 / (I/U - 1/R_v)$$

Điện trở vôn kế gây nên sai số phép đo, dùng để đo điện trở có giá trị nhỏ

b. Đo bằng Ôm kế (hình 5.5.2)



Hình 5.5.2

Ôm kế dùng để đo các điện trở có giá trị nhỏ

Cấu tạo:

- Nguồn pin E
- Cơ cấu chỉ thị kiểu từ điện R_{cc}
- R_{bt} - điện trở dùng để điều chỉnh vị trí không.
- R_x - điện trở cần đo

Khi nối R_x cần đo vào mạch, dòng điện đi qua cơ cấu đo I:

$$I = E / (R_{bt} + R_x)$$

E và R_{bt} không đổi thì I phụ thuộc R_x , đọc được I ta suy ra điện trở R_x

Trên thang đo khắc độ theo đơn vị điện trở tương ứng với dòng điện I

Sau một thời gian sử dụng E của pin giảm, nên trước khi đo cần ngắn mạch 1, 2 để chỉnh kim về vị trí 0, sau đó mới bắt đầu đo.

c. Mêgômét (lôgômét từ điện)

Dùng để đo điện trở lớn như điện trở cách điện

Phần tĩnh là một nam châm vĩnh cửu có lõi thép .

Phần động gồm hai khung dây 1 có điện trở R_1 , khung dây 2 có điện trở R_2

Nguồn cung cấp có điện áp từ 500 – 1000V do máy phát điện 1 chiều quay tay tạo ra

Điện trở phụ dùng để điều chỉnh R_{p1} mắc nối tiếp với điện trở R_1 , R_{p2} mắc nối tiếp với điện trở R_2 , điện trở cần đo R_x mắc nối tiếp với điện trở R_{p1}

Dòng điện qua 2 khung dây:

$$I_1 = U / (R_1 + R_{p1} + R_x); \quad I_2 = U / (R_2 + R_{p2});$$

Góc quay α của mêgômét tỷ lệ với tỷ số của hai dòng:

$$\alpha = f(I_1/I_2) = f[(R_2 + R_{p2}) / (R_1 + R_{p1} + R_x)]$$

Do R_1, R_{p1}, R_2, R_{p2} không thay đổi, nên $\alpha = f(R_x)$

d. Cầu đo điện trở

Điện trở cần đo là R_x là một nhánh của cầu, các điện trở R_1, R_2, R_3 có thể điều chỉnh được. Điều chỉnh các điện trở R_1, R_2, R_3 cho điện kế G chỉ không, cầu đã cân bằng:

$$R_x/R_2 = R_3/R_1 \Rightarrow R_x = R_2 \cdot R_3/R_1$$

5.6. KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

5.6.1. Những khái niệm chung về sự biến đổi đo lường

a. Khái niệm chung

Các đại lượng không điện như áp suất, nhiệt độ, lưu lượng, mực chất lỏng, vận tốc của vật, tốc độ quay, có thể đo được một cách chính xác bằng phép đo lường điện.

Đồng thời tín hiệu điện được truyền dẫn và điều khiển thuận lợi hơn.

Sơ đồ khối của dụng cụ đo lường các đại lượng không điện bao gồm:

1. Cơ cấu chuyển đổi đo lường

Để biến đổi các đại lượng không điện thành các đại lượng điện như điện áp, dòng điện, điện trở, điện cảm, điện dung .v.v

2. Các khâu trung gian như khuếch đại, bù các đại lượng điện

3. Các cơ cấu đo lường ở đầu ra có thang chia theo các đại lượng không điện

b. Chuyển đổi đo lường

Chức năng biến các đại lượng cần đo khác nhau thành các đại lượng điện

Có nhiều cách chuyển đổi:

1. Chuyển đổi điện trở

2. Chuyển đổi điện từ

3. Chuyển đổi điện dung

4. Chuyển đổi nhiệt điện

Một vài bộ chuyển đổi:

1. Chuyển đổi điện trở

- Biến trở

Điện trở của biến trở : $R_x = R \cdot L/L_x$

L_x là khoảng di chuyển của con chạy .

Biến trở dùng để đo di chuyển thẳng hoặc nếu có loại biến trở xoay

- Chuyển đổi điện trở lực căng

Cấu tạo gồm miếng giấy mỏng làm đế, trên đó dán sợi dây mảnh bằng hợp kim platin.

Sau đó dán lên chi tiết cần đo biến dạng.

Sự biến thiên điện trở chuyển đổi : $\Delta R/R = K \cdot \delta/E$

K : độ nhạy của chuyển đổi

δ : Ứng suất tác dụng lên chuyển đổi cần đo

E: môđun đàn hồi

2. Chuyển đổi điện từ

Chuyển đổi các di chuyển thẳng hay góc thành thay đổi điện cảm, hồ cảm và xuất hiện sức điện động

3. Chuyển đổi điện dung (như hình 5.6.1.c)

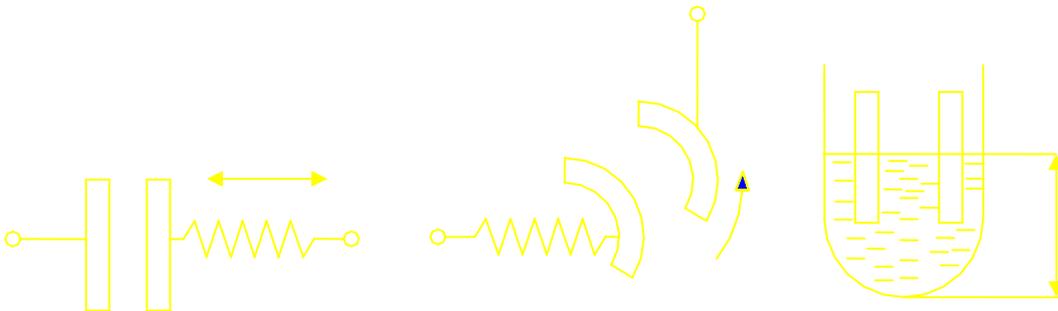
Điện dung của tụ điện C: $C = \epsilon \cdot S/d$

ϵ : hằng số điện môi

S: diện tích bản cực

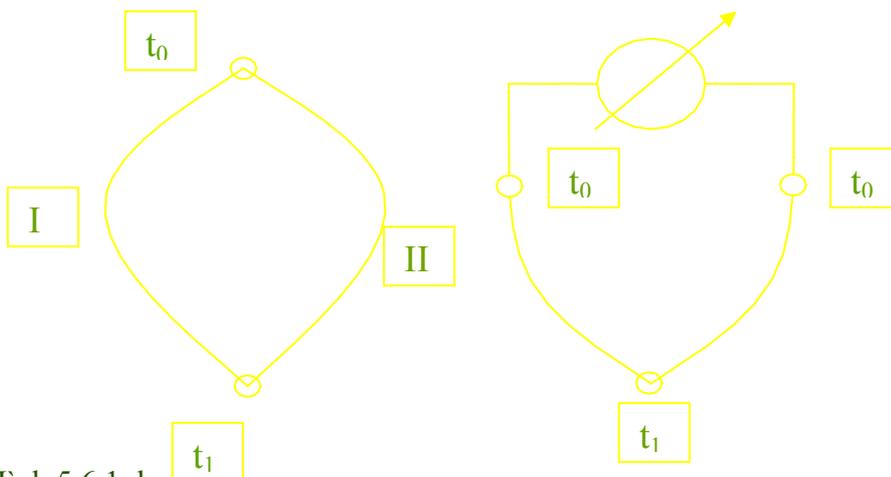
d: khoảng cách giữa hai bản cực

Sự di chuyển của khoảng cách giữa hai điện cực, góc quay hay chiều dày điện môi dẫn đến sự biến thiên của tụ điện



Hình 5.6.1.c

4. Chuyển đổi nhiệt điện (như hình 5.6.1.d)



Hình 5.6.1.d

Đem hàn hai thanh kim loại không đồng chất I và II, nhiệt độ t_1 và t_0 khác nhau dẫn đến xuất hiện sức điện động trong mạch gọi là sức nhiệt điện động

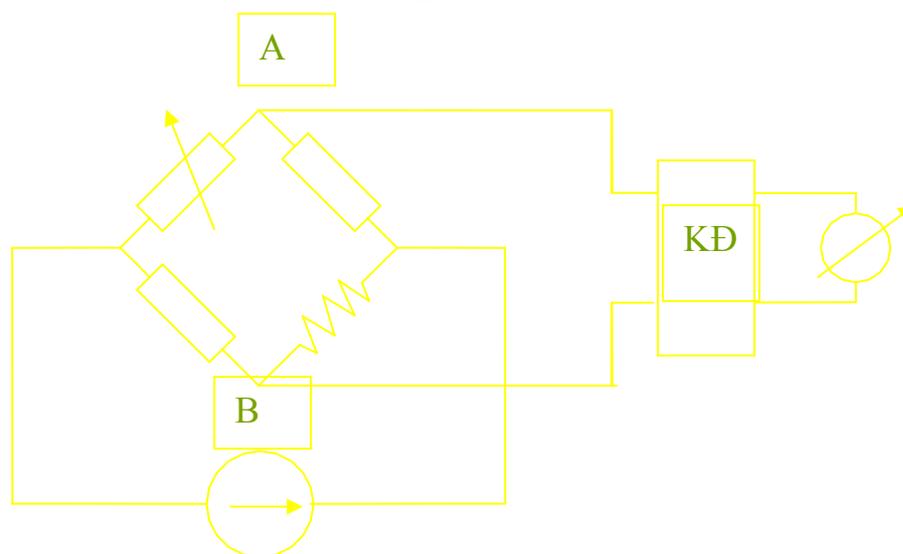
Trị số sức nhiệt điện động phụ thuộc độ chênh lệch nhiệt độ hai đầu t_1, t_0 . Cơ cấu dùng để đo nhiệt độ.

5.6.2. Một số mạch đo lường các đại lượng không điện

a. Đo ứng suất

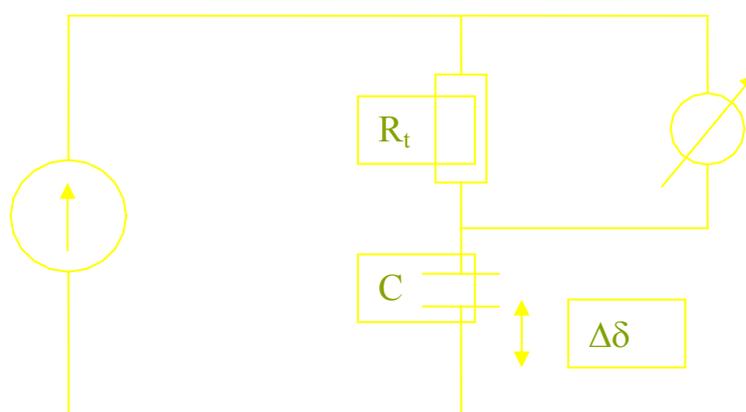
Ta dán chuyển đổi điện trở lực căng lên điểm cần đo và là một nhánh của mạch cầu như hình 5.6.2.a

Sự biến thiên của điện áp ra trên đường chéo được khuếch đại và đưa vào cơ cấu đo



Hình 5.6.2.a

b. Đo sự di chuyển (như hình 5.6.2.b)



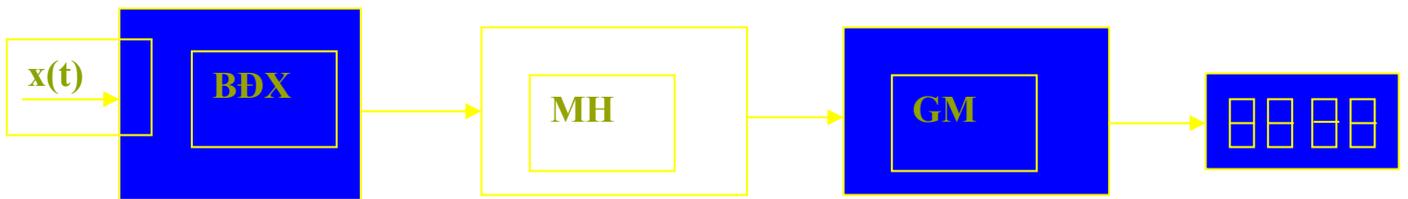
Hình 5.6.2.b

Sự di chuyển của vật thể dẫn đến sự thay đổi khoảng cách 2 bản cực của tụ C, dẫn đến thay đổi điện dung C, biến thiên điện áp và tín hiệu được đưa ra cơ cấu đo. Cơ cấu đo sẽ được khắc vạch khoảng di chuyển tương ứng.

5.7. ĐO LƯỜNG SỐ

a. Nguyên lý của chỉ thị số

Đại lượng đo $x(t)$ sau khi qua bộ biến đổi thành xung (BDX). Số xung được đưa vào bộ mã hóa (MH) cơ số 2 sau đó đến bộ giải mã (GM) và đưa ra bộ hiện số như hình 5.7.1

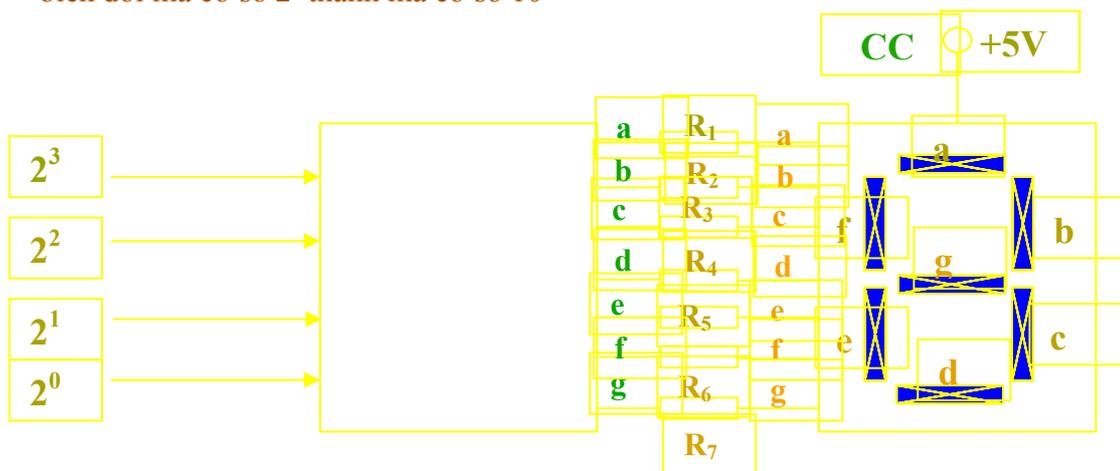


Hình 5.7.1

b. Thiết bị hiện số

Có nhiều loại thiết bị hiện số quang học khác nhau nhưng dùng phổ biến nhất là bộ hiện số bằng LED ghép 7 thanh và loại tinh thể lỏng. Điốt phát quang là chất bán dẫn phát sáng khi đặt vào điện áp một chiều, còn tinh thể lỏng dưới tác dụng của điện áp sẽ chuyển pha từ trạng thái trong suốt sang trạng thái mờ và ta có thể nhìn thấy màu sắc ở nền đằng sau.

Tinh thể lỏng tiêu thụ công suất rất nhỏ ($0,1\mu A$ một thanh) còn điốt phát quang là $10mA$. Các thiết bị kỹ thuật sử dụng mã cơ số 2. Để đọc thông tin đo thể hiện ra bên ngoài ta biến đổi mã cơ số 2 thành mã cơ số 10



Hình 5.7.2

Thiết bị làm nhiệm vụ này là bộ giải mã

Người ta sử dụng 7 vạch từ a đến g bố trí như hình 5.7.2 . Nếu tắt cả các vạch đều sáng ta nhận được số 8.

Bộ giải mã 7 vạch được chế tạo dưới dạng vi mạch kiểu SN 74247 có các đầu ra hở cực góp. Dùng để điều khiển bộ chỉ thị LED có chung anốt +5V . Để đảm bảo dòng anốt mong muốn cần thêm 7 điện trở bên ngoài.

Các bộ giải mã nhị thập phân 7 vạch được chế tạo kết hợp với khối hiển thị dưới dạng vi mạch . Trong vi mạch bố trí các bộ nhớ đệm lưu trữ các biến vào

Bộ chỉ thị số gồm nhiều chữ số . Hoạt động của bộ chỉ thị là nối tiếp chứ không phải song song với việc sử dụng cách nối ma trận và chế độ dòng kênh có thể rút gọn đáng kể số dây nối.

PHẦN II. MÁY ĐIỆN

CHƯƠNG 6. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

6.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

6.1.1. Định nghĩa

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Máy điện dùng để biến đổi dạng năng lượng như cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc ngược lại biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện), hoặc dùng để biến đổi thông số điện năng như biến đổi điện áp, dòng điện (máy biến áp, máy biến dòng), tần số (máy biến tần).

6.1.2. Phân loại

Máy điện có nhiều loại và có nhiều cách phân loại khác nhau, ví dụ phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng, theo loại dòng điện, theo nguyên lý làm việc v.v Trong chương này phân loại dựa theo nguyên lý biến đổi năng lượng như sau:

a. Máy điện tĩnh

Máy điện tĩnh là máy điện làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ do sự biến thiên từ thông giữa các cuộn dây không có sự chuyển động tương đối với nhau

b. Máy điện có phần quay

Nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ, do từ trường và dòng điện của các cuộn dây có chuyển động tương đối với nhau

6.2. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của máy điện thường dựa trên cơ sở hai định luật cảm ứng điện từ và định luật lực điện từ. Khi tính toán mạch từ người ta sử dụng định luật mạch từ.

6.2.1. Định luật cảm ứng điện từ

a. Trường hợp từ thông Φ biến thiên xuyên qua vòng dây

Khi từ thông Φ biến thiên xuyên qua vòng dây dẫn, trong vòng dây sẽ xuất hiện sức điện động cảm ứng e_{cu} tính theo công thức: $e_{cu} = - d\Phi/dt$

Chiều sức điện động cảm ứng được xác định theo quy tắc vặn nút chai

Cuộn dây có W vòng, sức điện động cảm ứng của cuộn dây: $e = - W \cdot d\Phi / dt$

b. Trường hợp thanh dẫn chuyển động trong từ trường

I: cường độ dòng điện

L: chiều dài thanh dẫn

F: lực điện từ

Chiều lực điện từ F xác định bằng quy tắc bàn tay trái

6.2.3. Định luật mạch từ

Mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông (trong máy điện mạch từ là lõi thép)

Nếu H là cường độ từ trường do một tập hợp dòng điện i_1, i_2, \dots, i_n tạo ra và nếu C là

đường cong kín trong không gian:
$$\oint_C H \cdot dl = \sum_{k=1}^n i_k$$

Công thức tổng quát đối với mạch từ có n đoạn và m cuộn dây quấn trên mạch từ:

$$\sum_{k=1}^n H_k \cdot l_k = \sum_{j=1}^m W_j \cdot i_j$$

trong đó dòng điện i_j có chiều phù hợp với chiều ϕ đã chọn theo quy tắc vặn nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm

H_k : cường độ từ trường trong đoạn mạch từ thứ k

l_k : chiều dài trung bình của đoạn mạch từ thứ k

W_j : số vòng dây của cuộn dây thứ j

$W_j \cdot i_j$: được gọi là sức từ động của cuộn dây thứ j

$H_k \cdot l_k$: từ áp rơi của đoạn mạch từ thứ k

Cho đoạn mạch từ (hình 6.2.3):

Áp dụng định luật mạch từ: $H_1 \cdot L_1 + H_2 \cdot L_2 = W_1 \cdot i_1 - W_2 \cdot i_2$

6.3. CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Vật liệu chế tạo máy điện gồm:

Vật liệu dẫn điện, vật liệu dẫn từ, vật liệu cách điện và vật liệu kết cấu.

6.3.1. Vật liệu dẫn điện

Dây quấn máy điện thường bằng đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hoặc chữ nhật.

Khi có yêu cầu đặc biệt, người ta dùng các hợp kim đồng, nhôm hoặc dùng thép

6.3.2. Vật liệu dẫn từ

Vật liệu dẫn từ dùng để chế tạo các bộ phận của mạch từ, người ta dùng các vật liệu sắt từ để làm mạch từ: thép lá kỹ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn.

Ở đoạn mạch từ có từ thông biến đổi với tần số 50hz thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0.35 – 0.5 mm, trong thành phần thép có từ 2 – 5 % Si .

Ở đoạn mạch từ có từ trường không đổi, thường dùng thép đúc, thép rèn.

6.3.3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện dùng cách ly các bộ phận dẫn điện và không dẫn điện, hoặc cách ly các bộ phận dẫn điện với nhau trong máy điện.

Chất cách điện của máy điện gồm 4 nhóm:

1. Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vi lụa
2. Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thủy tinh
3. Các chất tổng hợp

4. Các loại men, sơn cách điện

6.3.4. Vật liệu kết cấu

Vật liệu kết cấu là vật liệu để chế tạo các chi tiết chịu các tác động cơ học như trục, ổ trục, vỏ máy, nắp máy.

Các vật liệu kết cấu thường là gang, thép lá, thép rèn, kim loại màu và hợp kim của chúng, các chất dẻo.

6.4. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

Các loại tổn hao trong máy điện:

- Tổn hao hao sắt từ trong lõi thép (do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy)
- Tổn hao đồng trong điện trở dây quấn
- Tổn hao do ma sát

Tất cả tổn hao năng lượng đều biến thành nhiệt năng làm nóng máy điện.

Để làm mát, máy điện phải có các biện pháp tản nhiệt ra môi trường xung quanh.

Thường vỏ máy điện được chế tạo có các cánh tản nhiệt và có hệ thống quạt gió để mát máy hoặc hệ thống lưu chất làm mát máy điện như dầu trong máy biến áp .v.v.

6.5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Nghiên cứu máy điện gồm các bước sau:

1. Nghiên cứu các hiện tượng vật lý xảy ra trong máy điện
2. Dựa vào các định luật vật lý, viết hệ phương trình toán học diễn tả sự làm việc của máy điện. Đó là mô hình toán của máy điện.
3. Từ mô hình toán, thiết lập mô hình mạch, đó là mạch điện thay thế của máy điện.
4. Từ mô hình toán và mô hình mạch, tính toán các đặc tính và nghiên cứu máy điện, khai thác, sử dụng theo yêu cầu cụ thể.

CHƯƠNG 7. MÁY BIẾN ÁP

7.1. KHÁI NIỆM CHUNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để biến đổi điện áp (dòng điện) của dòng xoay chiều từ giá trị cao đến giá trị thấp hoặc ngược lại ta dùng máy biến áp.

7.1.1. Định nghĩa và các lượng định mức

a. Định nghĩa

Máy biến áp là thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên tắc cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi hệ thống điện xoay chiều (U_1, I_1, f) thành (U_2, I_2, f)
Đầu vào của máy biến áp nối với nguồn điện gọi là sơ cấp. Đầu ra nối với tải gọi là thứ cấp.

b. Các lượng định mức

- Điện áp định mức

Điện áp sơ cấp định mức kí hiệu U_{1dm} là điện áp đã quy định cho dây quấn sơ cấp. Điện áp thứ cấp định mức kí hiệu U_{2dm} là điện áp giữa các cực của dây quấn thứ cấp, khi dây quấn thứ cấp hở mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức.

Với máy biến áp ba pha điện áp định mức là điện áp dây

- Dòng điện định mức

Dòng điện định mức là dòng điện đã quy định cho mỗi dây quấn của máy biến áp, ứng với công suất định mức và điện áp định mức.

Đối với máy biến áp ba pha, dòng điện định mức là dòng điện dây.

Dòng điện sơ cấp định mức kí hiệu I_{1dm} , dòng điện thứ cấp định mức kí hiệu I_{2dm}

- Công suất định mức

Công suất định mức của máy biến áp là công suất biểu kiến thứ cấp ở chế độ làm việc định mức.

Công suất định mức kí hiệu là S_{dm} , đơn vị là KVA.

7.1.2. Công dụng của máy biến áp

Công dụng của máy biến áp là truyền tải và phân phối điện năng trong hệ thống điện

Muốn giảm tổn hao $\Delta P = I^2.R$ trên đường dây truyền tải có hai phương án:

Phương án 1: Giảm điện trở R của đường dây ($R = \rho.l/S$)

Muốn giảm R ta tăng tiết diện dây dẫn S , tức là tăng khối lượng dây dẫn, các trụ đỡ cho đường dây, chi phí xây dựng đường dây tải điện rất lớn (phương án này không kinh tế)

Phương án 2: Giảm dòng điện I chạy trên đường dây truyền tải.

Muốn giảm I ta phải tăng điện áp, ta cần dùng máy tăng áp vì đối với máy biến áp $U_1 I_1 = U_2 I_2$ (phương án này kinh tế và hiệu quả hơn)

Máy biến áp còn được dùng rộng rãi :

Trong kỹ thuật hàn, thiết bị lò nung, trong kỹ thuật vô tuyến điện, trong lĩnh vực đo lường. trong các thiết bị tự động, làm nguồn cho thiết bị điện, điện tử, trong thiết bị sinh hoạt gia đình v.v.

7.2. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

7.2.1 Cấu tạo máy biến áp

Gồm hai bộ phận chính: lõi thép và dây quấn

a. Lõi thép máy biến áp

Dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kỹ thuật điện mỏng ghép lại.

Để giảm dòng điện xoáy trong lõi thép, người ta dùng lá thép kỹ thuật điện, hai mặt có sơn cách điện ghép lại với nhau thành lõi thép.

b. Dây quấn máy biến áp

Được chế tạo bằng dây đồng hoặc nhôm có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.

Máy biến áp có công suất nhỏ thì làm mát bằng không khí

Máy có công suất lớn thì làm mát bằng dầu, vỏ thùng có cánh tản nhiệt

7.2.2. Nguyên lý làm việc của máy biến áp

Khi ta nối dây quấn sơ cấp vào nguồn điện xoay chiều điện áp U_1 sẽ có dòng điện sơ cấp I_1 (hình 7.2.2)

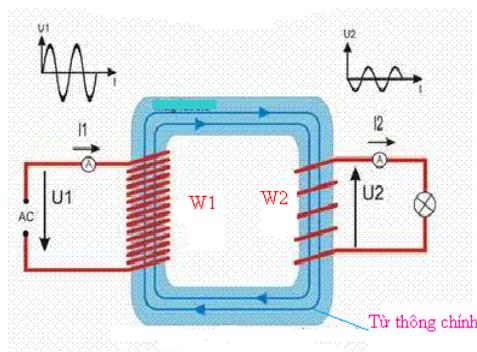
Dòng điện I_1 sinh ra từ thông Φ biến thiên chạy trong lõi thép. Từ thông này móc vòng đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp được gọi là từ thông chính.

Theo định luật cảm ứng điện từ:

$$e_1 = - W_1 d\Phi/dt$$

$$e_2 = - W_2 d\Phi/dt$$

W_1, W_2 là số vòng dây quấn sơ cấp và thứ cấp.



Hình 7.2.2

Khi máy biến áp có tải, dưới tác động của sức điện động e_2 , có dòng điện thứ cấp I_2 cung cấp điện cho tải.

Từ thông Φ biến thiên hình sin $\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$

Ta có:

$$e_1 = - W_1 d\Phi/dt = 4,44 f W_1 \Phi_{\max} \sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/2)$$

$$e_2 = - W_2 d\Phi/dt = 4,44 f W_2 \Phi_{\max} \sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/2)$$

trong đó $E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_{\max}$, $E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_{\max}$

$k = E_1 / E_2 = W_1 / W_2$, k được gọi là hệ số biến áp.

Bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí ta có:

$$U_1 / U_2 \approx E_1 / E_2 = W_1 / W_2 = k$$

Bỏ qua mọi tổn hao trong máy biến áp, ta có:

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1 \Rightarrow U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1 = W_1 / W_2 = k$$

7.3. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN VÀ TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

Theo quy tắc vận nút chai, chiều ϕ phù hợp với chiều i_1 , e_1 và i_1 cùng chiều.

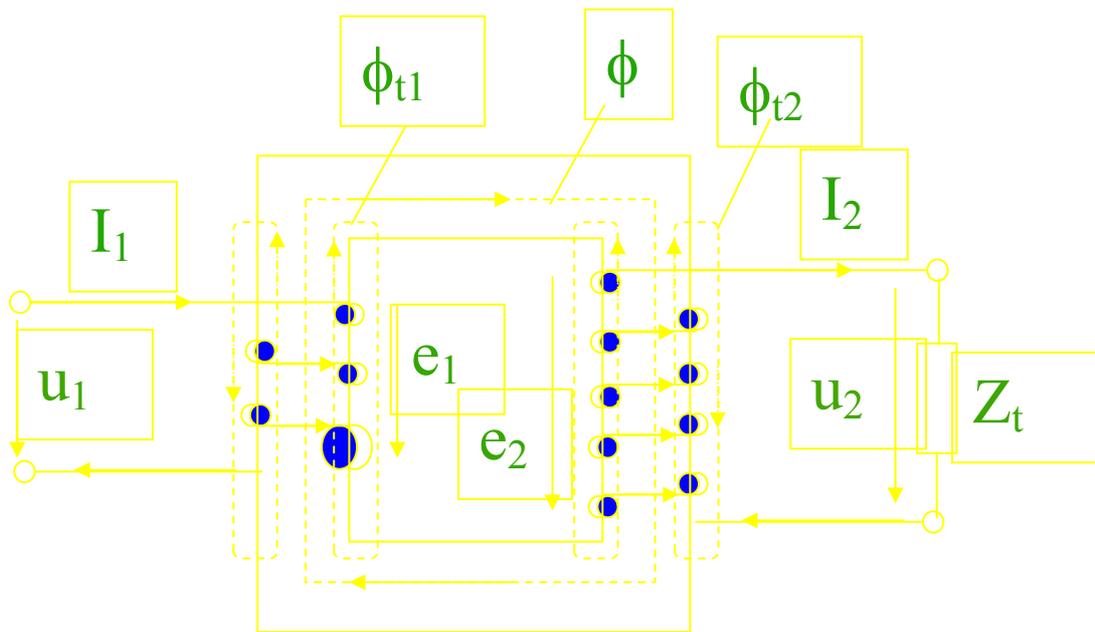
Chiều i_2 được chọn ngược với chiều e_2 nghĩa là chiều i_2 không phù hợp với chiều ϕ theo quy tắc vận nút chai.

Trong máy biến áp còn có từ thông tản ϕ_{t1} , ϕ_{t2} (hình 7.3.a)

Từ thông tản được đặc trưng bằng điện cảm tản.

Điện cảm tản dây quấn sơ cấp L_1 : $L_1 = \phi_{t1} / i_1$

Điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_2 : $L_2 = \phi_{t2} / i_2$



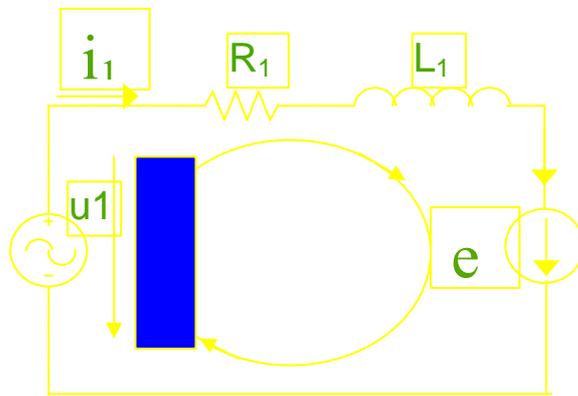
Hình 7.3.a

7.3.1. Phương trình cân bằng điện áp trên dây quấn sơ cấp

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 dạng phức cho mạch điện hình 7.3.b :

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$$

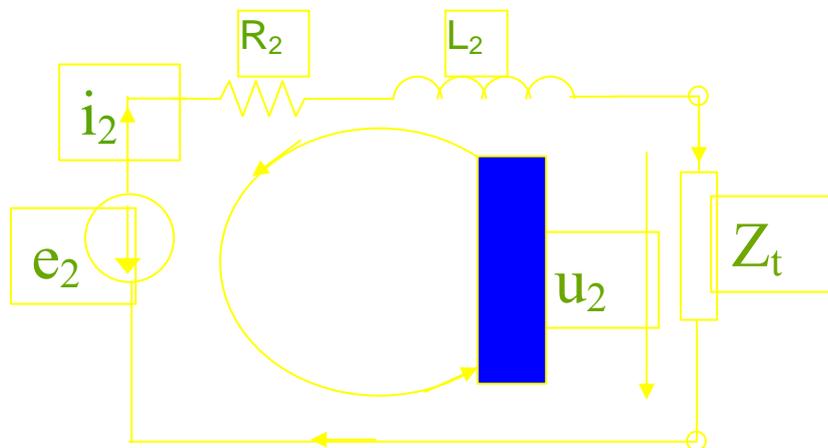
trong đó $X_1 = L_1 \omega$



Hình 7.3.b

7.3.2. Phương trình cân bằng điện áp trên dây quấn thứ cấp

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 dạng phức cho mạch điện hình 7.3.c :



Hình 7.3.c

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2$$

Trong đó $X_2 = L_2 \cdot \omega$

7.3.3. Phương trình cân bằng từ

Điện áp lưới điện đặt vào máy biến áp $U_1 \approx E_1 = 4.44 f W_1 \phi_{\max}$ không đổi, cho nên từ thông chính ϕ_{\max} sẽ không đổi.

Phương trình cân bằng từ dưới dạng số phức:

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_2 w_2 \Rightarrow \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2$$

7.4. SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Từ các phương trình cân bằng điện từ ta xây dựng mô hình mạch điện cho máy biến áp. Sơ đồ thay thế là sơ đồ điện phản ánh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp, ta có hệ phương trình:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 = (R_{th} + jX_{th}) \dot{I}_0 + \dot{I}_1 (R_1 + jX_1)$$

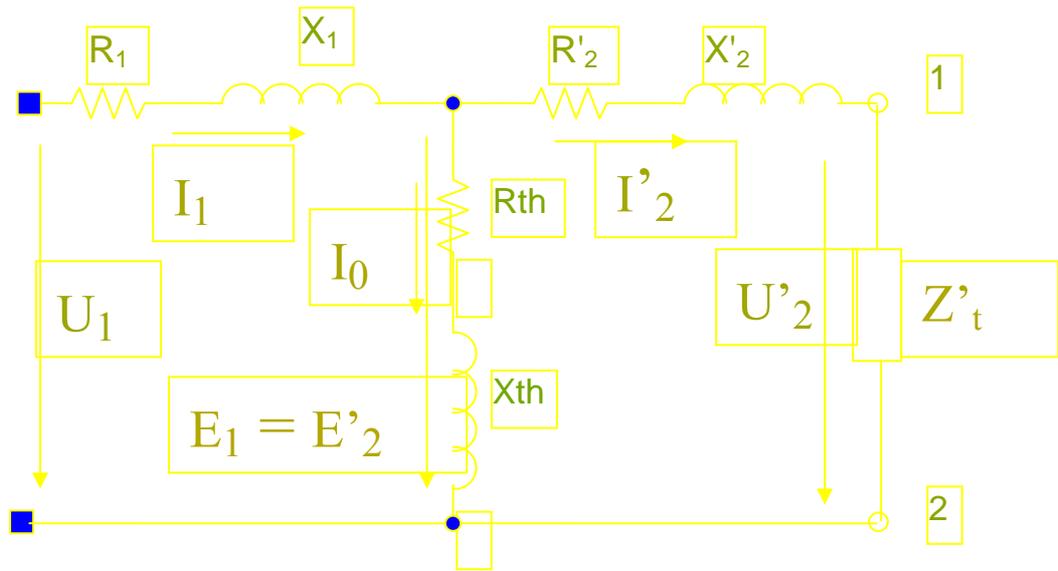
$$\dot{U}'_2 = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 - (R'_2 + jX'_2)\dot{I}'_2$$

□

Trong đó:

$$\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2; Z'_2 = k^2 Z_2; \dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k}; Z'_1 = k^2 Z_1$$

Từ hệ phương trình trên ta xây dựng được sơ đồ thay thế cho máy biến áp (hình 7.4.a)



Hình 7.4.a

7.5. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Là chế độ mà phía thứ cấp hở mạch và phía sơ cấp được đặt vào điện áp.

7.5.1. Đặc điểm chế độ không tải của máy biến áp

a. Dòng điện không tải I_0

Ta có : $I_0 = U_1 / z_0$

□

Tổng trở z_0 rất lớn vì thế I_0 rất nhỏ: $I_0 = (3\% - 10\%) I_{1dm}$

b. Công suất không tải P_0

$$P_0 = R_0 I_0^2 = R_{th} I_{th}^2 = P_{st}$$

c. Hệ số công suất $\cos\varphi_0$

$$\cos\varphi_0 = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = 0.1 - 0.3$$

7.5.2. Thí nghiệm không tải của máy biến áp

Xác định hệ số biến áp k , tổn hao sắt từ P_{st} , X_{th} , R_{th} , $\cos\varphi_0$, I_0

Sơ đồ thí nghiệm

Vôn kế V_1 chỉ $U_{1đm}$; vôn kế V_2 chỉ $U_{2đm}$

Ampe kế A chỉ dòng điện không tải I_0

Oát mét W chỉ công suất không tải P_0

a. Hệ số biến áp k : $k = W_1/W_2 = U_{1đm}/U_{2đm}$

b. Dòng điện không tải phần trăm: $I_0 \% = I_0/I_{1đm} \cdot 100\% = (3\% \div 01\%) I_{1đm}$

c. Điện trở không tải: $R_0 = P_0/I_0^2 \approx R_{th}$

d. Tổng trở không tải: $z_0 = U_{1đm}/I_0$

Điện kháng không tải:

□

$$X_{th} \approx X_0$$

e. Hệ số công suất không tải: $\cos\varphi_0 = P_0/(U_{1đm}I_0) = 0.1 \div 0.3$

7.6. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại và phía sơ cấp vẫn đặt vào điện áp. Đây là tình trạng sự cố.

7.6.1. Đặc điểm chế độ ngắn mạch của máy biến áp

Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch.

Sơ đồ thay thế

Tổng trở z'_2 rất nhỏ so với z_{th} , nên có thể bỏ nhánh từ hoá.

Dòng điện ngắn mạch I_n :

$$I_n = U_{1đm}/z_n$$

$$z_n = \sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2} = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$$

R_n : điện trở ngắn mạch máy biến áp

X_n : điện kháng ngắn mạch máy biến áp.

z_n : tổng trở ngắn mạch máy biến áp

Z_n rất nhỏ cho nên I_n rất lớn:

$$I_n = U_{1đm}/z_n \approx (10 \div 25) I_{1đm} \text{ (tình trạng sự cố)}$$

7.6.2. Thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp

Xác định tổn hao trên điện trở dây quấn và các thông số R_1, X_1, R_2, X_2

Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch

Dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp.

Nhờ bộ điều chỉnh điện áp, ta có thể điều chỉnh điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng U_n sao cho dòng điện trong các dây quấn đạt giá trị định mức.

$$U_n \% = U_n / U_{1dm} 100\% = (3 \div 10 \%) U_{1dm}$$

Công suất đo trong thí nghiệm ngắn mạch P_n là tổn hao trong điện trở 2 dây quấn.

- Tổng trở ngắn mạch: $z_n = U_n / I_{1dm}$
- Điện trở ngắn mạch: $R_n = P_n / I_{1dm}^2$
- Điện kháng ngắn mạch

□

d. Thông số dây quấn

$$R_1 = R_2 = R_n / 2$$

$$X_1 = X_2 = X_n / 2$$

Biết hệ số biến áp, tính được thông số thứ cấp chưa quy đổi.

$$R_2 = R_2' / k^2 ; \quad X_2 = X_2' / k^2$$

7.7. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải.

$$\text{Hệ số tải : } k_t = I_2 / I_{2dm} = I_1 / I_{1dm}$$

$k_t = 1$ tải định mức, $k_t < 1$ non tải, $k_t > 1$ quá tải.

a. Độ biến thiên điện áp thứ cấp.

$$\Delta U_2 \% = (U_{2dm} - U_2) / U_{2dm} \cdot 100\%$$

b. Đặc tính ngoài của máy biến áp

Quan hệ $U_2 = f(I_2)$, khi $U_1 = U_{1dm}$ và $\cos \varphi_t = \text{const}$.

Điện áp thứ cấp U_2 là: $U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} (1 - \Delta U_2 \% / 100)$

c. Tổn hao và hiệu suất máy biến áp

- Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp gọi là tổn hao đồng

$$\Delta P_d = \Delta P_{d1} + \Delta P_{d2} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = k_t^2 P_n$$

trong đó P_n là công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch.

- Tổn hao sắt từ ΔP_{st} trong lõi thép do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra. Tổn hao sắt từ bằng công suất đo khi thí nghiệm không tải. $\Delta P_{st} = P_0$

Hiệu suất máy biến áp η :

$$\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d) = k_t S_{dm} \cos \varphi_t / (k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n)$$

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t$$

Nếu $\cos \varphi_t$ không đổi, hiệu suất cực đại khi $\eta \partial / \partial k_t = 0 \Rightarrow k_t^2 P_n = P_0$

Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại:

$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$$

Đối với máy biến áp công suất trung bình và lớn, hiệu suất cực đại khi hệ số tải

$$k_t = 0.5 \div 0.7$$

7.8. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

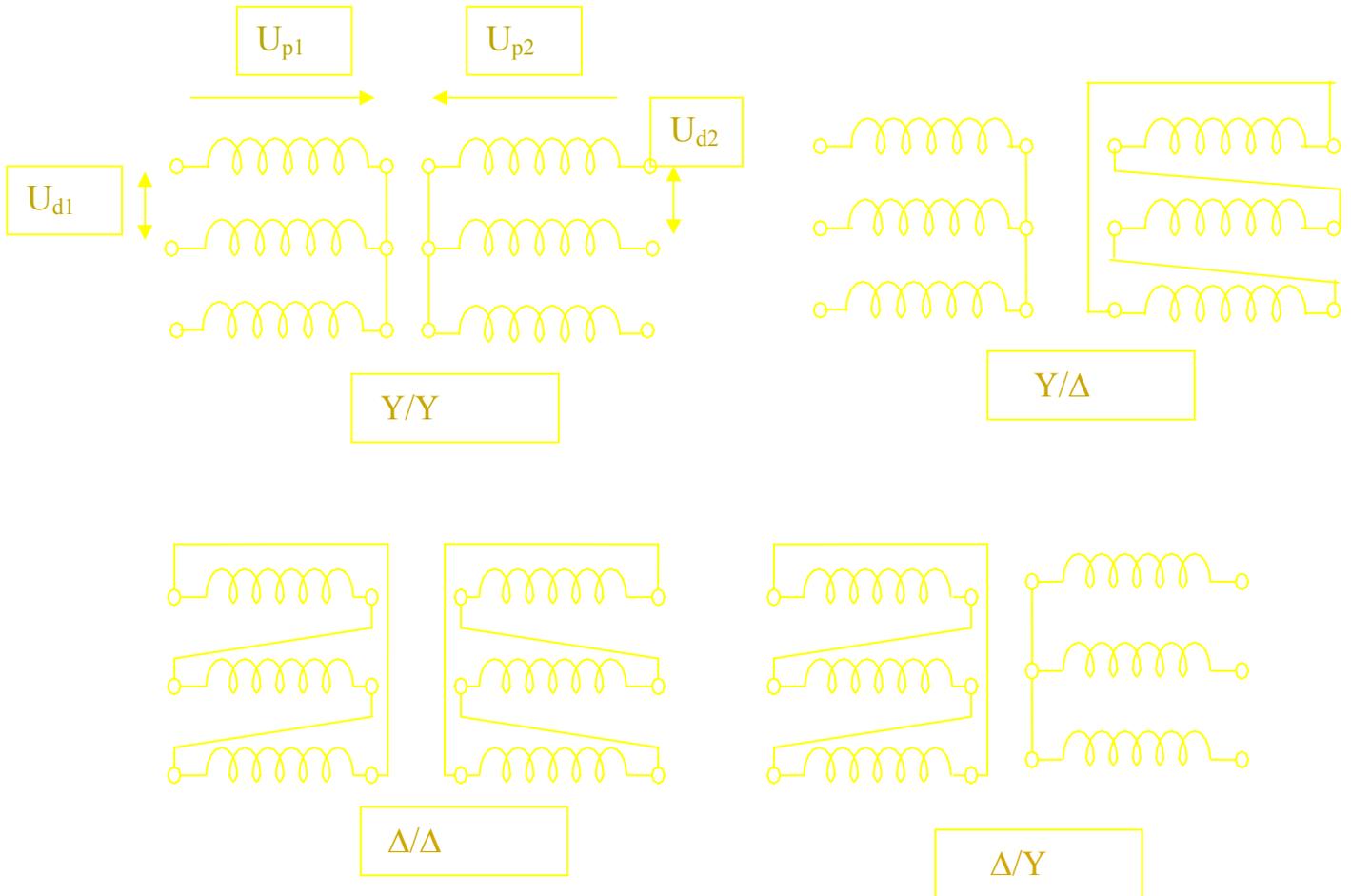
Để biến đổi điện áp của hệ thống điện ba pha, ta dùng máy biến áp ba pha.

Về cấu tạo lõi thép của máy biến áp ba pha gồm 3 trụ và trên mỗi trụ quấn dây quấn sơ cấp và thứ cấp của mỗi pha

Dây quấn sơ cấp: pha A thường kí hiệu là AX, pha B là BY, pha C là CZ.

Dây quấn thứ cấp: pha a thường kí hiệu là ax, pha b là by, pha c là cz.

Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác, ví dụ như có 4 trường hợp cơ bản, bao gồm 12 tổ nối dây (hình 7.8.1)



Hình 7.8.1

Tỷ số điện áp dây trong 4 trường hợp cơ bản:

Nối Y/Y:

□

Y/Δ:

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{\sqrt{3}W_1}{W_2}$$

Δ/Y:

□

Δ/Δ :

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{\gamma 1}}{U_{\gamma 2}} = \frac{W_1}{W_2}$$

Tổ nối dây của máy biến áp cho ta biết cách mắc của cuộn sơ cấp, thứ cấp và góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp.

Ví dụ: Tổ nối dây kí hiệu Y/Y- 21; phía sơ cấp và thứ cấp nối sao, góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là $12 \times 30^\circ = 360^\circ$

7.9. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA MÁY BIẾN ÁP

Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn rất nhiều so với công suất mỗi máy, đảm bảo nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống và an toàn cung cấp điện, khi một máy hỏng hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho các máy biến áp làm việc song song :

1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau tương ứng
2. Các máy phải có cùng tổ nối dây
3. Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau.

$$U_{nI}\% = U_{nII}\% = \dots = U_{nN}\%$$

Cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

7.10. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

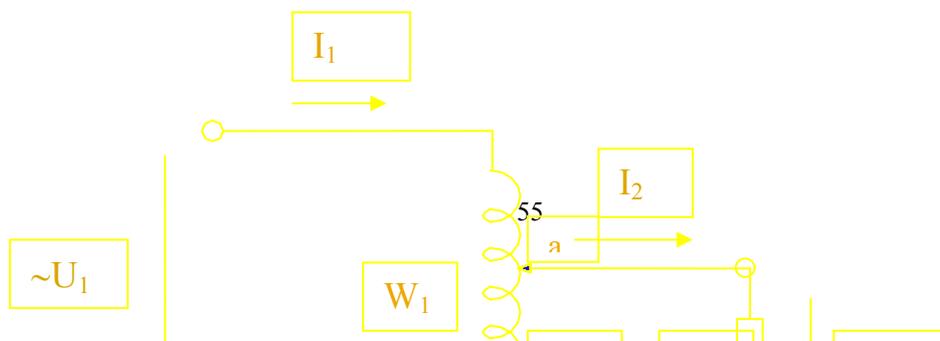
7.10.1. Máy biến áp tự ngẫu

Biến áp tự ngẫu còn được gọi là máy tự biến áp

Máy biến áp tự ngẫu một pha thường có công suất nhỏ, được dùng trong các phòng thí nghiệm và trong các thiết bị để làm nguồn có khả năng điều chỉnh được điện áp đầu ra theo yêu cầu.

Máy biến áp tự ngẫu một pha gồm có dây quấn thấp áp (số vòng dây W_2) là một phần của dây quấn cao áp (số vòng dây W_1) (hình 7.10.1)

Ta có: $U_1/U_2 = W_1/W_2$ hay là $U_2 = U_1 \cdot W_1/W_2$



Hình 7.10.1

Ta thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a, sẽ thay đổi được điện áp U_2 .

Máy tự biến áp có tiết diện lõi thép bé hơn máy biến áp thông thường nhưng vẫn đảm bảo đủ công suất

Máy tự biến áp trong đó cuộn thấp áp là một phần cuộn cao áp cho nên tiết kiệm được dây dẫn, và giảm được tổn hao.

Máy tự biến áp có nhược điểm là mức độ an toàn điện không cao

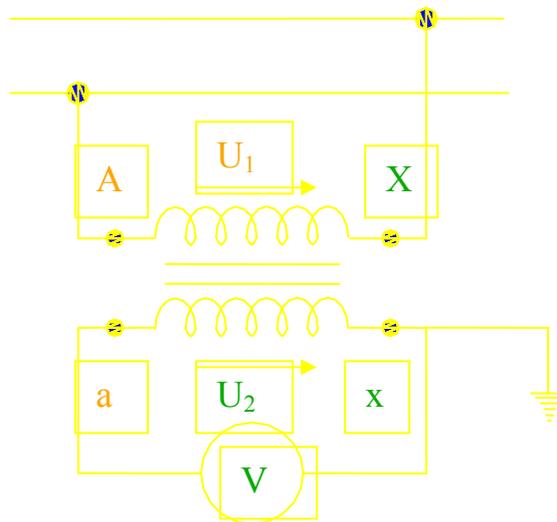
7.10.2. Máy biến áp đo lường

a. Máy biến điện áp

Dùng biến đổi điện áp xoay chiều rất cao xuống điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ thông thường.

Số vòng dây cuộn thứ cấp phải ít hơn số vòng dây cuộn sơ cấp. Tiết diện dây quấn sơ cấp nhỏ hơn tiết diện dây quấn thứ cấp.

Trong khi làm việc, không được để cho máy biến điện áp ngắn mạch ở thứ cấp.



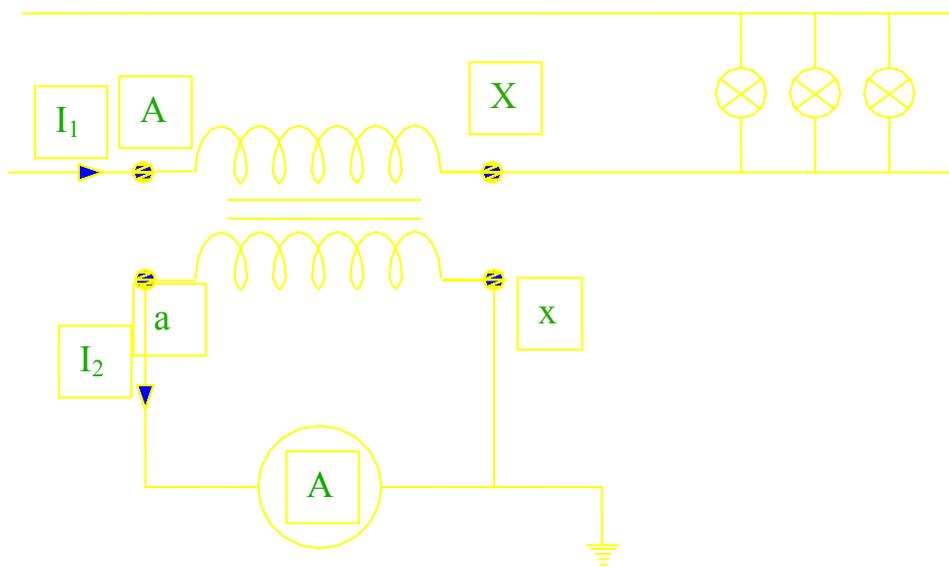
Hình 7.10.2.a

b. Máy biến dòng điện

Dùng biến đổi dòng điện xoay chiều lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường và một số mục đích khác.

Vì dòng điện thứ cấp nhỏ hơn dòng điện sơ cấp nên số vòng dây thứ cấp nhiều hơn số vòng dây sơ cấp. Tiết diện dây quấn thứ cấp nhỏ hơn tiết diện dây sơ cấp

Đối với máy biến dòng không được để hở mạch ở thứ cấp.



Hình 7.10.2.b

CHƯƠNG 8. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

8.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện có phần quay, làm việc với điện xoay chiều, theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto khác với tốc độ quay của từ trường.

Máy điện không đồng bộ có tính thuận nghịch, có thể làm việc ở chế độ động cơ điện và máy phát điện. Máy phát điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt nên ít được dùng.

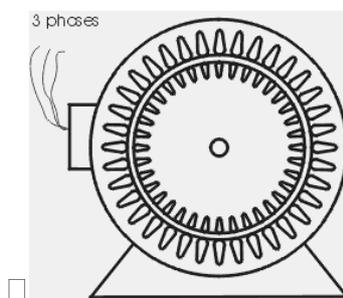
Động cơ điện không đồng bộ có cấu tạo và vận hành đơn giản, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong sản xuất và đời sống.

Động cơ điện không đồng bộ gồm các loại: động cơ ba pha, hai pha và một pha.

8.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Gồm hai phần chính:

1. Phần tĩnh (Stator: Stato, xtato)
2. Phần quay (Rotor: Rôto)



Hình 8.2

8.2.1. Phần tĩnh (STATO)

Phần tĩnh gồm các bộ phận là lõi thép và dây quấn, ngoài ra có vỏ máy và nắp máy (hình 8.2.1.a)

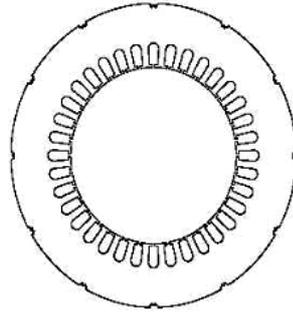


Hình 8.2.1.a

a. Lõi thép

Lõi thép stato hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong, ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy (hình 8.2.1.b)

Lá thép kỹ thuật điện của lõi thép stato



□

Hình 8.2.1.b

b. Dây quấn ba pha

Dây quấn stato làm bằng dây dẫn điện được bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép. Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong ba dây quấn ba pha stato sẽ tạo ra từ trường quay. Dây quấn ba pha có thể nối sao hoặc tam giác

c. Vỏ máy

Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép, cố định máy trên bệ, bảo vệ máy và đỡ trục rôto (hình 8.2.1.c)

8.2.2. Phần quay (RÔTO)

Gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

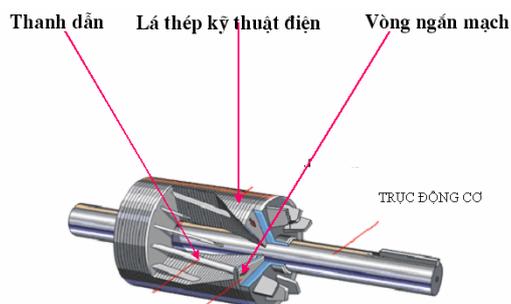
a. Lõi thép

Lõi thép gồm các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng trục, ở giữa các lỗ để lắp trục

b. Dây quấn

Dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ thường có hai kiểu: rôto lồng sóc (rôto ngắn mạch) và rôto dây quấn.

Rôto lồng sóc trong các rãnh của lõi thép rôto đặt các thanh đồng (hoặc nhôm), các thanh đồng thường đặt nghiêng so với trục, hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng (nhôm), tạo thành lồng sóc (hình 8.2.2.b)



Hình 8.2.2.b

Rôto dây quấn gồm lõi thép và dây quấn.

Lõi thép do các lá thép kỹ thuật điện ghép lại với nhau tạo thành các rãnh hướng trục

Trong rãnh lõi thép rôto, đặt dây quấn ba pha. Dây quấn rôto thường nối sao, ba đầu ra nối với ba vòng tiếp xúc bằng đồng (vành trượt), được nối với ba biến trở bên ngoài để điều chỉnh tốc độ và mở máy

Động cơ không đồng bộ có hai loại: Động cơ rôto lồng sóc và động cơ rôto dây quấn

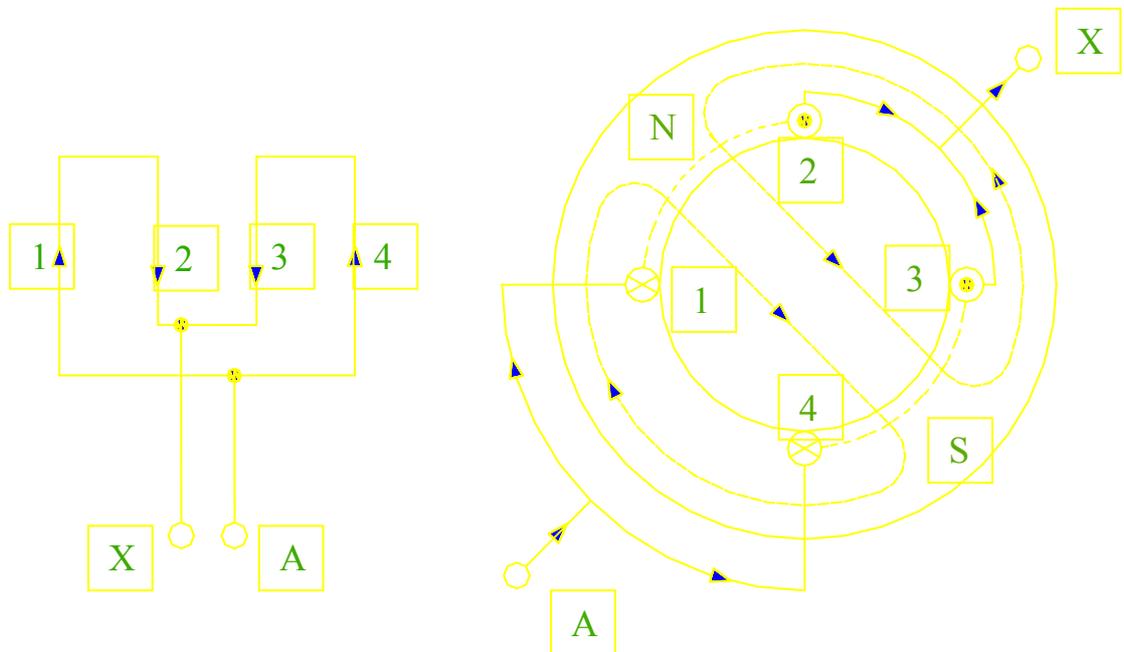
8.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

8.3.1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, gọi là từ trường đập mạch.

Cho dòng điện hình sin một pha chạy vào cuộn dây AX (hình 8.3.1.a)

Dây quấn AX được đặt trong 4 rãnh trên stato 1,2,3,4.



Hình 8.3.1.a

Căn cứ vào chiều dòng điện ta vẽ được chiều từ trường theo quy tắc vụn nút chai, dây quấn tạo ra từ trường đập mạch có hai cực ($p=1$; p là số đôi cực), từ trường này có phương không đổi, nhưng có chiều và độ lớn biến thiên hình sin theo thời gian.

Tương tự ta đặt dây quấn AX trên 4 rãnh tạo ra từ trường 4 cực đập mạch ($p=2$).

8.3.2. Từ trường quay của dây quấn ba pha

a. Sự tạo thành từ trường quay

Ta xét máy điện ba pha đơn giản gồm 6 rãnh trong đó đặt ba dây quấn đối xứng AX, BY, CZ trên stato

Ba dây quấn được đặt lệch nhau trong không gian một góc 120^0 điện.

Trong các dây quấn có dòng điện ba pha đối xứng chạy qua có đồ thị

$$i_A = I_{\max} \sin \omega t$$

$$i_B = I_{\max} \sin(\omega t - 120^0)$$

$$i_C = I_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

i_A chạy vào cuộn dây AX, i_B chạy vào cuộn dây BY, i_C chạy vào cuộn dây CZ

Nếu $i_A > 0$ thì dòng đi vào A ra X, nếu $i_A < 0$ thì dòng đi vào X ra A

Xét từ trường tổng do dòng ba pha gây ra tại 3 thời điểm:

□ Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ$

Dòng điện pha A cực đại và dương, các dòng điện pha B và C âm và có độ lớn bằng nhau.

Dùng quy tắc vắn nút chai ta xác định chiều đường sức từ trường $B_A, B_B, B_C, B_{\text{tổng}}$

□ Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$

Dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm. Dùng quy tắc vắn nút chai ta xác định chiều đường sức từ trường $B_A, B_B, B_C, B_{\text{tổng}}$.

Véc tơ từ trường tổng $B_{\text{tổng}}$ đã quay đi một góc là 120° so với thời điểm trước theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

□ Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$

Dòng điện pha C cực đại và dương, các dòng điện pha A và B âm.

Véc tơ từ trường tổng $B_{\text{tổng}}$ đã quay đi một góc là 240° so với thời điểm ban đầu theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

Vậy dòng điện ba pha tạo ra từ trường quay

b. Đặc điểm của từ trường quay

- Tốc độ từ trường quay

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện stato f và số đôi cực p .

Tốc độ từ trường quay là $n_1 = 60f/p$ (vòng/phút)

- Chiều quay của từ trường

Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện đặt cực đại

Muốn đổi chiều quay của từ trường ta giữ nguyên một pha và thay đổi thứ tự hai pha còn lại với nhau.

Ví dụ: Dòng điện i_B cho vào dây quấn CZ, dòng điện i_C cho vào dây quấn BY, từ trường sẽ quay theo chiều ngược lại tức là cùng chiều kim đồng hồ.

- Biên độ của từ trường quay

Từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn biến thiên hình sin và có biên độ bằng $3/2$ từ thông cực đại của một pha

$$\phi_{\max} = 3/2 \phi_{p\max}$$

c. Từ trường quay của dây quấn hai pha

Khi có dây quấn hai pha đặt lệch nhau trong không gian 1 góc 90° điện, dòng điện trong hai dây quấn lệch pha nhau về thời gian 90° , cũng phân tích như trên, từ trường hai pha là từ trường quay và có biên độ: $\phi_{\max} = \phi_{p\max}$

d. Từ thông tản

Bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn gọi là từ thông tản

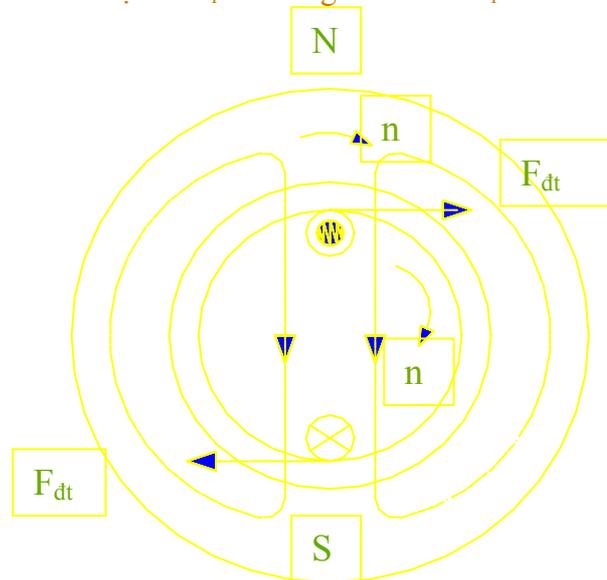
8.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ ba pha:

Khi ta cho dòng điện ba pha tần số f vào ba dây quấn stato sẽ tạo ra từ trường quay với tốc độ là $n_1 = 60f/p$.

Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto và cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rôto nối kín mạch, nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện trong các thanh dẫn rôto.

Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rôto, kéo rôto quay với tốc độ $n < n_1$ và cùng chiều với n_1



Hình 8.4

Tốc độ quay của rôto n luôn luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 vì tốc độ bằng nhau thì trong dây quấn rôto không còn sức điện động và dòng điện cảm ứng, cho nên lực điện từ bằng không.

Hệ số trượt của tốc độ : $s = (n_1 - n) / n_1$

Tốc độ của động cơ : $n = 60f / p \cdot (1 - s)$ (vòng/phút)

8.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN VÀ TỪ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

8.5.1. Phương trình cân bằng điện dây quấn stato

Dây quấn stato của động cơ điện tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp, phương trình cân bằng điện áp:

□

8.5.2. Phương trình cân bằng điện ở dây quấn rôto

Dây quấn rôto được coi như dây quấn thứ cấp máy biến áp, dây quấn rôto chuyển động đối với từ trường quay tốc độ trượt: $n_1 - n$

Sức điện động và dòng điện trong dây quấn rôto có tần số : $f_2 = p (n_1 - n) / 60 = sf$

Sức điện động pha dây quấn rôto lúc quay:

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 \cdot W_2 \cdot k_{dq2} \cdot \phi_{\max} = sE_2$$

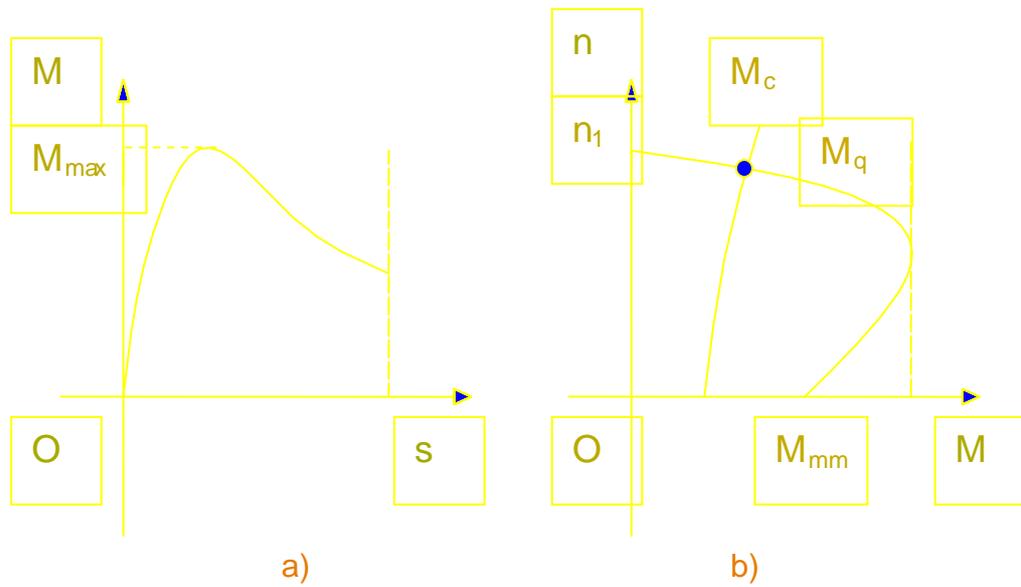
Điện kháng tản dây quấn rôto lúc quay:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 \cdot L_2 = s \cdot 2\pi f \cdot L_2 = s \cdot X_2$$

k_e : Hệ số quy đổi sức điện động rôto

$$k_e = E_1 / E_2 = W_1 \cdot k_{dq1} / W_2 \cdot k_{dq2}$$

Quan hệ $n=f(M)$, gọi là ý đồ tính ckc là ý đồ không ý đồ bÝ (hình 8.7.b)



Hình 8.7

Ý đồ ckc Á làm vì là ý đồ $M_q = M_c$ (hình 8.7.b)

ý đồ ckc mômen quay:

a. Mômen tải \tilde{E} bình phương ý đồ áp $M \propto U_1^2$, n \tilde{E} U_1 thay ý đồ mômen ý đồ ckc thay ý đồ nhi \tilde{E} .

b. Mômen có tải \tilde{E} ý đồ M_{max} ý đồ giá trị \tilde{E} h \tilde{E} s_h

$$M_{mm} = \frac{3pU_1^2}{2s(R_1 + X_1 + X_2)}$$

c. Mômen m máy M_{mm}

8.8. MÃ MÁY ỨNG DỤNG TRONG BỔ PHA

Khi mã máy ý đồ ckcph \tilde{E} mã ba yêu cầu:

1. Mômen mã máy ý đồ ckcph \tilde{E} h k mômen ckc \tilde{E} lúc mã máy
2. Mômen ý đồ ckcph \tilde{E} ý đồ ý đồ á gian mã máy trong ph \tilde{E} vi cho phép
3. Dòng mã máy ph \tilde{E} nh \tilde{E} ý đồ \tilde{E} áp \tilde{E} mi \tilde{E} ý đồ không b \tilde{E} áp và ý đồ h m \tilde{E} ý đồ các thi \tilde{E} b \tilde{E} khác

8.8.1. Mã máy ý đồ ckc rôto dây quấn

Khi mã máy dây quấn rôto ý đồ ckc \tilde{E} bi \tilde{E} tr \tilde{E} mã máy.

« tiên ý đồ \tilde{E} tr \tilde{E} nh \tilde{E} sau ý đồ gi \tilde{E} đ \tilde{E} ý đồ \tilde{E} không.

m \tilde{E} ý đồ tính ckc ý đồ \tilde{E} các giá trị \tilde{E} mã

Khi có ý đồ tr \tilde{E} mã máy $R_{m\tilde{E}}$, dòng ý đồ \tilde{E} pha lúc mã máy :

Qua các phương pháp, chúng ta đã tìm được mômen máy gi ết xu ết như sau.

Các phương pháp này, nguyên nhân chính là do sự có mặt của các khe hở và các rãnh sâu có ý nghĩa đối với

8.8.3. Các khe hở và các rãnh sâu có ý nghĩa đối với mômen máy gi ết

a. Các khe hở và các rãnh sâu

Trong các khe hở này, rãnh rôtô và sâu (chính sâu bằng 10-12 lần chiều rộng rãnh). Khi có dòng điện chạy trong thanh rôtô, từ thông từ rôtô phân bố từ từ thông từ các khe hở và từ các rãnh sâu dẫn đến hiện tượng

Do lúc máy chạy, từ trường từ phía rôtô, dòng điện tập trung phía trên thanh rôtô gần các khe hở làm phân bố dòng điện tập trung nhiều phía trên các rãnh, vì vậy dẫn đến các thanh coi như ảnh hưởng, từ trường rôtô tăng lên làm tăng mômen máy gi ết. Khi máy chạy xong, từ trường từ rôtô tác động trên bề mặt, từ trường rôtô gi ết xu ết như bình thường.

b. Các khe hở và các rãnh sâu

Rôtô của máy có hai khe hở, các thanh từ các khe hở ngoài (còn gọi là khe hở máy) có chiều dài nhỏ và từ trường dẫn

Các khe hở trong có chiều dài lớn hơn từ trường dẫn khi máy dòng điện tập trung các khe hở ngoài có từ trường dẫn, mômen máy gi ết. Khi làm việc bình thường, dòng điện phân bố đều các khe hở, từ trường các khe hở ngoài nhỏ.

Các khe hở rãnh sâu và các rãnh sâu có ý nghĩa đối với mômen máy gi ết vì từ trường từ rôtô, nên hệ số công suất cosφ giảm từ đó các khe hở của các rãnh sâu thông thường.

8.9. CÁC CHỈ SỐ TÍNH TOÁN VÀ CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT

Tốc độ quay của máy không tải: $n = 60f/p \cdot (1-s)$ (vòng/phút)

8.9.1. Các chỉ số tính toán thay đổi từ số (f)

Thay đổi số cực của dòng điện stato về độ chính xác hệ thống điện áp và tần số. Khi thay đổi số cực của máy biến áp thì thông số I_{max} không thay đổi cho nên phải giữ số cực của máy biến áp và tần số không thay đổi.

Các chỉ số tính toán thay đổi từ số cực cho phép xác định các chỉ số kỹ thuật cách mạng trong phần vỏ máy và cho các nhóm các thông số giá thành của máy biến áp.

8.9.2. Các chỉ số tính toán thay đổi từ số cực (p)

Số cực của các từ trường quay phải vào các dây quấn.

Muốn thay đổi các thông số thay đổi cách các dây quấn có các dây quấn để

8.9.3. Các chỉ số tính toán thay đổi từ số cực để áp dụng cho stato

Phương pháp này chỉ áp dụng cho các máy biến áp.

Khi gi ết áp dụng ý nghĩa tính $M=f(s)$ thay đổi do yếu tố thay đổi từ trường từ máy biến áp.

Như vậy ý đồ của phương pháp này là giảm thiểu tổn hao quá tải của máy công suất phân vị và ảnh hưởng tới năng suất hao và chi phí đáng cho các máy công suất nhỏ

8.9.4. Ảnh hưởng của cách thay đổi tải trọng của máy công suất phân vị

Khi tải trọng của máy công suất phân vị tăng thì tải trọng cho nên tải trọng của máy công suất phân vị.

Phương pháp này yêu cầu giảm tải trọng và khoảng cách ảnh hưởng tới máy công suất phân vị.

8.10. CÁC ĐẶC TÍNH CƠ BẢN CỦA MÁY CÔNG SUẤT PHÂN VỊ

Đặc tính của máy công suất phân vị là các quan hệ giữa tải trọng quay rôto n , hiệu suất $\cos\phi$ và mômen quay M , và dòng điện stato I_1 và công suất hữu ích trên trục P_2 .

8.10.1. Đặc tính dòng điện stato $I_1 = f(P_2)$

Với U_1 không đổi thì I_0 gần như không đổi. Khi P_2 tăng, I_2 tăng nên I_1 tăng theo.

8.10.2. Đặc tính tải trọng $n = f(P_2)$

Khi tải trọng, công suất P_2 trên trục máy công suất phân vị tăng, mômen công suất tăng lên, tải trọng máy công suất phân vị tính mômen tải trọng hiệu suất tăng lên, và tải trọng máy công suất phân vị giảm xuống.

8.10.3. Đặc tính mômen quay $M = f(P_2)$

Khi P_2 tăng, tải trọng không đổi thì tải trọng máy công suất phân vị tăng lên nên M tăng nhanh hơn P_2 .

8.10.4. Đặc tính hiệu suất $K = f(P_2)$

Hiệu suất của máy công suất phân vị:

$$K = \frac{P_2}{P_2 + P_0}$$

Nếu P_2 tăng, P_0 và P_2 tăng theo, hiệu suất tăng theo, hiệu suất tăng lên về gần $K_m = 0.75 - 0.9$, sau đó giảm xuống.

8.10.5. Hiệu suất công suất $\cos\phi = f(P_2)$

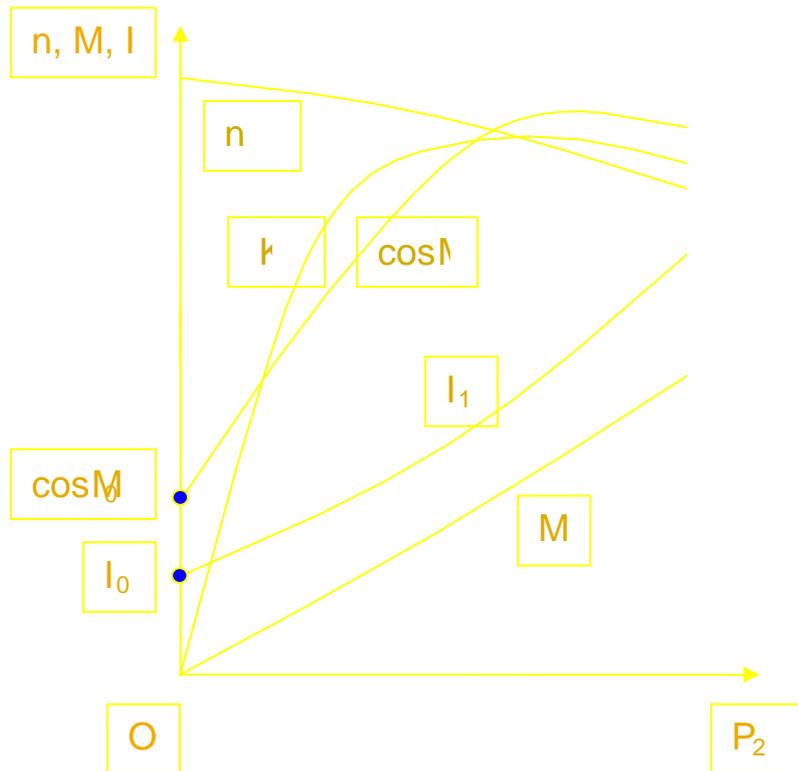
$$\cos\phi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$$

Trong đó P_1 là công suất tác dụng (đây là máy công suất phân vị tiêu thụ công suất của P_2). Q_1 là công suất phản kháng mà máy công suất phân vị đưa ra tải trọng cho máy.

Khi tải trọng, công suất P_1 tăng và $\cos\phi$ tăng lên thì tải trọng máy công suất phân vị giá trị tải trọng $\cos\phi$ 0,8 - 0,9.

Khi quá tải dòng điện vượt quá tải trọng, tải trọng tăng, Q_1 tăng; do vậy $\cos\phi$ giảm xuống.

Các đặc tính máy công suất phân vị mô tả chi tiết trên hình vẽ 8.10



Hình 8.10

8.11. ỨNG DỤNG CỦA MÁY BIẾN ÁP KHÔNG DÒNG BỀ MẶT ỨT PHA

a. Tỷ trọng dòng điện hình sin lệch pha

Dòng điện xoay chiều lệch pha không tạo ra tỷ trọng quay.

Do số bị nhân của dòng điện, chiều và trục của tỷ trọng thay đổi nên tổng hợp của tỷ trọng không về trục tỷ trọng này nên là tỷ trọng lệch pha.

Phân tích tỷ trọng lệch pha thành hai tỷ trọng quay, quay ngược chiều nhau cùng tần số quay và biên độ bằng nhau thì biên độ tỷ trọng lệch pha.

Trong số tỷ trọng quay có chiều quay trùng với chiều quay rôto, nên là tỷ trọng quay thuận B^+ , còn tỷ trọng có chiều quay ngược chiều quay rôto nên là tỷ trọng quay ngược B^- .

Mômen quay M_1 do tỷ trọng thuận sinh ra có giá trị dương và M_2 do tỷ trọng ngược gây ra có giá trị âm. Mômen quay của máy là $M = M_1 - M_2$.

Tỷ trọng tính mômen, lúc máy $M_1 = M_2$ thì $M = 0$ thì máy không tải.

Nhưng nếu tác dụng làm cho máy quay, máy có mômen M và số điện cực quay.

Phải có biện pháp máy, để cho máy có mômen máy.

b. Ứng dụng lệch pha

Vấn đề của stato chế độ dây quấn lệch pha, rôto thường là lồng sóc.

Để làm việc máy này, ngoài dây quấn chính, còn có dây quấn phụ.

Dây quấn phụ có thể khác nhau về vị trí chổi quét máy (nên là lệch pha 1 pha không đồng thời, hoặc làm việc thường trực (lệch pha 1 pha đồng thời).

Dây quấn pha ở trong các rãnh stato, sao chsinh ra mY tĩ thông lĩch vĩ tĩ thông chính mY góc 90° trong không gian. Dòng ỹ lĩ ãdây quấn và dây quấn chính sinh ra tĩ tr mĩ quay ỹ C ra mĩn mĩ máy.

Cdòng ỹ lĩ trong dây quấn phĩ lĩch pha vĩ dòng ỹ lĩ trong dây quấn chính mY góc 90°, phĩn Ỗti ỹ vĩ dây quấn phĩm Ỗt ỹ lĩ C.

CHỈ NG 9. MÁY I Ề N ỜNG B Ồ

9.1. ỀNH NGH Ầ VÀ CÔNG D ỀNG

9.1.1. Ềnh ngh ầ

Nhĩng máy ỹ lĩ xoay chi Ầĩ có t Ỗ ỹ Ỗ quay rôto n bĩng ỹng t Ỗ ỹ Ỗ quay cầ tĩ tr mĩ stato ỹng lĩ là máy ỹ lĩ ỹ ng b Ỗ ầ ch Ầĩ Ỗ ác l ỹ, máy ỹ lĩ ỹ ng b Ỗ có t Ỗ ỹ Ỗ quay rôto luôn không ỹ khi t ỹ thay ỹ Ỗ

9.1.2. Công d ềng

a. Ch Ầĩ Ỗ máy phát

Máy phát ỹ lĩ ỹ ng b Ỗ là ngu ầ ỹ lĩ chính cầ l mĩ ỹ lĩ qu Ỗ gia, trong ỹ ỹ ỹ g cks k c Ỗ là các tua bin ỹ, tuabin khí ho ỹ tuabin n m Ỗ (hình 9.1.2)

Hai dây quấn dây quấn kích từ nối ở hai vòng trượt để đã dây trên, thông qua hai chốt than ở ổ trượt lấy ra 1 chiều.

Có hai loại rôto cực từ -n và rôto cực I *

a. Rôto cực I *

Dùng máy có từ để lấy từ, có nhiều cực. Rôto cực I * dây quấn kích từ quấn xung quanh thân cực từ

b. Rôto cực -n

Thường dùng máy có từ để lấy cao 3000v/ph có nhiều cực. Rôto cực -n dây quấn kích từ quấn ở trong các rãnh.

9.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Dòng điện kích từ (dòng điện không yêu) vào dây quấn kích từ sẽ sinh nên từ trường rôto I_0

Khi quay rôto bằng tay hoặc các cực từ dây quấn pha ứng stato và cuộn ứng suất sẽ quay chiều hình sin có tần số chỉ bằng: $E_0 = 4,44 f W_1 k_{dq} I_0$. Nếu rôto có nhiều cực, tần số của suất điện động: $f = pn/60$

Dây quấn bành stato có thể lệch nhau trong không gian góc 120 độ điện, cho nên sẽ sinh ra ba pha lệch nhau góc pha 120

Trong dây quấn stato xuất hiện ba pha điện áp

Khi dây quấn stato nối ở trong các dây quấn có dòng điện ba pha:

$$i_A = I_{max} \sin \omega t$$

$$i_B = I_{max} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_{max} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Dòng điện ba pha sẽ sinh ra từ trường máy sẽ không yêu bằng sẽ sinh nên từ trường quay, với từ để lấy $n_1 = 60f/p$ ($n = 60f/p = n_1$), ứng bằng từ để lấy quay n của rôto. Do vậy máy điện này gọi là máy điện yêu bằng.

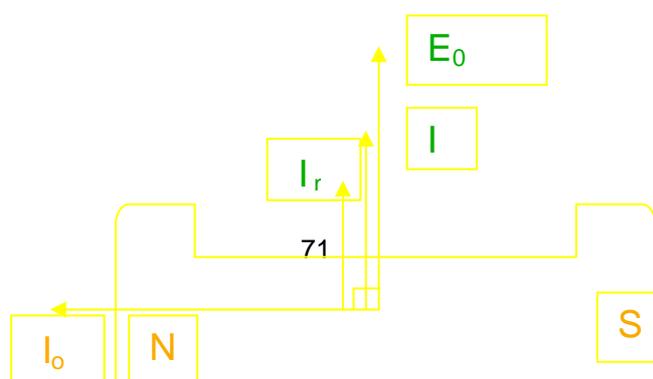
9.4. PHÂN TÍCH PHÂN TÍCH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ rôto I_0 của dây quấn stato ứng ra suất điện động E_0 chênh pha so với nó một góc 90.

Dây quấn stato nối ở sẽ sinh nên dòng điện I cùng cực cho từ, dòng điện I sẽ sinh nên từ trường quay pha ứng (stato). Tác dụng của từ trường pha ứng (stato) lên từ trường cực từ (rôto) gọi là phản ứng pha ứng.

Tổng hợp lại

Từ thông pha ứng I_m (stato) theo hướng ngang trục, làm lệch hướng từ trường của từ (rôto) I_0 ta gọi là phản ứng pha ứng ngang trục (hình 9.4.a)



Hình 9.4.d

Phổ ứng ph ứng của máy phát y là y ng b Ý ia phéthu Ý vào dòng y là t § I (y Ý ß bé) via phéthu Ý vào tính chĐc là t § (thu ñ tr ã thu ñ c §ñ và thu ñ dung).

9.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN TÍNH CẶA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

9.5.1. Phương trình cân bằng y là áp của máy phát y là y ng b Ý

Phương trình y là áp của máy phát y là y ng b Ý c ñ n

$X_{\text{đ}} = X_{\text{d}} = X_{\text{q}}$ g ñ là y là kháng y ng b Ý
 Phương trình cân bằng y là áp:

9.5.2. Các y mệ y ñ tính cặa máy phát y là y ng b Ý

a. ñ tính không §

$U_0 = E_0 = f(I_{\text{kt}})$ khi $I_{\text{t}} = 0$, $n = \text{const}$ ($f = \text{const}$)

Ta có: $E_0 = 4,44fW_1k_{\text{dq}}I_0 = K \cdot I_0$

ñ tính không § là y mệ $I_0 = f(I_{\text{kt}})$, g ñ là y mệ cong tí hóa v ± li là s ñ tí

b. ñ tính ngoài của máy phát y là y ng b Ý

M ñ quan h ñ gi á y là áp U trên của máy phát và dòng y là t § I khi tính chĐt § $\cos \varphi$ không y ù t ñ s ñ và dòng y là kích tí I_{kt} không y ù

$U = f(I)$ khi $I_{\text{kt}} = \text{const}$, $n = \text{const}$ ($f = \text{const}$), $\cos \varphi = \text{const}$

ñ tính ngoài của máy phát phéthu Ý tính chĐc là t §

c. ñ tính y ñ chñh của máy phát y là y ng b Ý

M ñ quan h ñ gi á dòng y là kích tí v ß dòng y là t § y là áp U b ñg y là áp y ññ m íc, t ñ s ñ và tính chĐt § không y ù

$I_{\text{kt}} = f(I)$ khi $U = \text{const}$, $n = \text{const}$ ($f = \text{const}$), $\cos \varphi = \text{const}$

9.6. ỨNG DỤNG ĐIỆN ĐỒNG BỘ

9.6.1. Nguyên lý làm vi ñ

Khi cho dòng y là ba pha ñ I_a, I_b, I_c vào ba dây qĐ stato, dòng y là ba pha ñ stato s ñ sinh ra tí tr mệ quay v ß t ñ y Ý $\gamma_1 = 60f/p$

Khi cho dòng y là m Ý chỉ ñ vào dây qĐ rôto, rôto bi ñ thành m Ý nam châm y là

Khi t i tr m^ong stato quay v^ot t^o y^o Y₁, l^oc t^oc d^ong t^os k^o r^oto quay v^ot t^o y^o Y_n = n
 Ph^ong tr^ong y^o l^oc ^ong c^ok y^o l^oc y^o ng b^oY

$$\dot{\varphi} = \dot{\xi} - jX_{\Sigma} \dot{i}$$

9.62. M^o máy y^o ng c^ok y^o l^oc y^o ng b^oY

Mu^ot^o y^o ng c^ok làm vi^o l^oc, ph^os^ot^o t^o m^omen m^o máy y^o Quay r^oto y^o ng b^oY v^ot t^o i tr m^ong quay stato.
 Tr^on các m^oc t^o r^oto, ng m^o đ^oa y^o t^oc các thanh đ^o, y^o m^o t^ong t^o m^o h^o nh^o m^o ng s^oc ^o y^o ng c^ok không y^o ng b^oY (h^onh 9.6.2)

H^onh 9.6.2

Khi m^o máy, nh^oc ^o đ^oa qu^o m^o máy ^o r^oto y^o ng c^ok s^o làm vi^o l^oc nh^o m^o ng c^ok không y^o ng b^oY.

Tr^ong quá tr^ong m^o máy ^o đ^oa qu^o kích t^o s^o t^ong t^o ng y^o l^oc ^o đ^o l^o đ^o, có th^o phá h^o đ^o đ^o đ^o kích t^o, vì th^o đ^o đ^o kích t^o s^o t^ong t^o ng h^o nh^o qua m^o h^o y^o l^oc có y^o l^oc tr^o ã l^o đ^o y^o t^o v^o đ^o đ^o kích t^o

Khi r^oto y^o quay y^o t^o t^o y^o ng t^o y^o ng b^oY₁, y^ong ngu^o y^o l^oc m^o Y^o chi^o ã vào đ^o đ^o kích t^o, y^o ng c^ok s^o làm vi^o l^oc y^o ng b^oY

9.63. Máy bù y^o ng b^oY

Y^o ng c^ok y^o l^oc y^o ng b^oY làm vi^o l^oc ã ch^o ã y^o ng không t^ong và đ^ong y^o l^oc kích t^o y^o ã ch^o h^o quá kích thích y^o ng c^ok phát ra công s^oph^ong kh^ong v^o m^o t^o y^o ch^o nâng cao l^oc s^o công su^o đ^o mi^ong l^oc.

Công su^oph^ong kh^ong: $Q = rU (E_0 \cos \varphi_U) / X_{\Sigma}$ mà E_0 ph^o é thu^o t^o l^oc I_{kt}

T^ong I_{kt} y^o t^ong E_0 y^o $Q > 0$ y^o ng c^ok phát ra công s^oph^ong kh^ong vào mi^ong l^oc, y^o ng c^ok làm vi^o l^oc quá kích thích.

H^o ã công su^o đ^o mi^ong l^oc $\cos \mu$

$$\cos \mu = \frac{I}{\sqrt{I^2 + Q^2}}$$

T^ong I_{kt} y^o t^ong Q y^o gi^ong Q y^o $\cos \mu$ t^ong và ng m^o t^ong

CHƯƠNG 10. MÁY ĐIỆN MẶT CHÌ

10.1. CẤU TRÚC CỦA MÁY ĐIỆN MẶT CHÌ

Máy điện mặt chổi bao gồm stato và rôto và góp và chổi than

10.1.1. PHẦN THẬT (STATO)

Stato gồm là phần lõi thép bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy. Gồm có stato là các cực từ chính có dây quấn kích từ

10.1.2. PHẦN QUAY (RÔTO)

Rôto của máy điện mặt chổi là phần lõi thép, dây quấn phần ứng, góp và chổi than (hình 10.1.2.a)

Hình 10.1.2.a

a. Lõi thép và dây quấn

Lõi thép hình trụ làm bằng các lá thép lamination ghép lại.

Các lá thép lamination có lỗ thông gió và rãnh dây quấn phần ứng.

Mỗi phần tử dây quấn phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu nối vào hai phiến góp.

Các phiến góp đặt trên góp

b. Góp và chổi than

$$U = E_m + R_m I_m$$

10.3. SỰ LÊN ỨNG PHẢN ỨNG, CÔNG SUẤT LÊN TỈ VÀ MÔMEN

LÊN TỈ

a. Sức ẩy ẩy ph ớng

Khi quay rôto, các thanh ớng của dây quấn ph ớng c ớ t ớ tr m ớng, trong m ớ thanh đ ớ c ớ ớng sức ẩy ẩy : $e = B l v$

Sức ẩy ẩy ph ớng E_m bằng tổng các sức ẩy ẩy thanh đ ớ trong m ớ nhánh.

Số thanh đ ớ trong m ớ nhánh: $N/2a$

Sức ẩy ẩy ph ớng E_m :

$$E_m = N/2a \cdot e = N/2a \cdot B l v \quad (1)$$

T ớ ớ ớ: $v = \omega n/60 \quad (2)$

$$M ớ khác t ớ thông m ớ c ớ t ớ $I = B_{tb} \omega l/2p \quad (3)$$$

T ớ (1) (2) (3) ta có $E_m = pN/60a \cdot nI = k_E I$

$$K ớ ớ: E_m = k_E I$$

b. Công suất ớ t ớ và mômen ớ t ớ

$$\text{Công suất ớ t ớ: } P_y = E_m I_m \quad (5)$$

T ớ (4) và (5) ta có : $P_y = pN/60a \cdot nI I_m$

$$\text{Mômen ớ t ớ: } M_y = P_y / \omega \quad (6)$$

ω là t ớ số góc quay của rôto $\omega = 2\pi n/60 \quad (7)$

T ớ (6) và (7) ta có $M_y = pN/2\pi a I_m I = k_M I_m I$

$$K ớ ớ: M_y = k_M I_m I$$

10.4. PH ỚNG PH ỚNG C ỚA MÁY PHÁT LÊN M ỚT CHI ỚU

Khi máy ớ m ớ chi ớ không t ớ t ớ tr m ớ trong máy ch ớ do dòng ớ kích t ớ gây ra g ớ là t ớ tr m ớ c ớ t ớ.

T ớ tr m ớ c ớ t ớ phân bố ớ ớng, ớ ớng trung tính hình ớ AB

ớ ớng trung tính hình ớ có cm ớ ớ c ớ B = 0, thanh đ ớ chuy ớ ớ qua ớ không c ớ ớng sức ẩy ẩy.

Khi máy ớ có t ớ dòng ớ I_m trong dây quấn ph ớng (rôto) sinh ra t ớ tr m ớ ph ớng. Tác đ ớng của t ớ tr m ớ ph ớng lên t ớ tr m ớ c ớ t ớ g ớ là ph ớ ớng ph ớng. T ớ tr m ớ trong máy là t ớ tr m ớ tổng hợp của t ớ tr m ớ c ớ t ớ và t ớ tr m ớ ph ớng.

H ớ qu ớ của ph ớ ớng ph ớng

a. T ớ tr m ớ trong máy b ớ b ớ đ ớ

m ớng trung tính hình ớ AB ớ ớ v ớ t ớ m ớ g ớ là trung tính v ớ lý A1B1 v ớ góc l ớ th m ớng nh ớ và l ớ theo chi ớ quay của rôto khi là máy phát ớ, và ng ớ chi ớ quay của rôto khi là ớ c ớ ớ.

b. Khi t_đ l_đ, dòng y_đ ph_đ ứng l_đ, tỉ trọng ph_đ ứng l_đ, tỉ thông l_đ của máy bị giảm xuống, kéo theo sức y_đ ứng ph_đ ứng E_m giảm, y_đ áp máy phát U giảm. Mạch A_y ứng ck_t tỉ thông giảm làm cho mômen quay giảm, và t_đ ứng ck_t thay y_đ ứng ck_t phức tạp qu_đ trên, ng_đ dùng các tỉ ph_đ và dây qu_đ bù. Tỉ trọng các tỉ ph_đ và dây qu_đ bù ng_đ chi_đ và tỉ trọng ph_đ ứng nh_đ tỉ_đ tiêu tỉ trọng ph_đ ứng.

10.5. NGUYÊN NHÂN TIA L ỎA IÊN TRÊN C ỘGÓP VÀ BI ẾN PHÁP KH 2C PH ỀC

Khi máy y_đ làm vi_đ, quá trình y_đ chi_đ th_đ gây ra tia l_đ y_đ giá ch_đ than và c_đ. Tia l_đ l_đ có th_đ gây nên vành l_đ xung quanh c_đ, phá h_đ ch_đ y_đ và c_đ, gây t_đ hao n_đ l_đ, và làm hi_đ y_đ các th_đ b_đ y_đ t_đ khác. S_đ phát sinh tia l_đ do các ngu_đ nhân sau:

1. Nguyên nhân k_đ

S_đ tỉ_đ xúc giá c_đ và ch_đ y_đ không t_đ do c_đ không tròn, không nh_đ, ch_đ than không y_đ ứng qu_đ, rung y_đ của ch_đ than dọc O_đ nh_đ không t_đ ho_đ l_đ xo không y_đ ứng c_đ sát ch_đ y_đ vào c_đ.

2. Nguyên nhân y_đ tỉ

Khi rôto quay liên ti_đ có ph_đ t_đ ch_đ y_đ l_đ m_đ nhánh này sang th_đ nhánh khác. trong ph_đ t_đ y_đ chi_đ s_đ các sức y_đ ứng sau:

- S_đ y_đ ứng t_đ e_đ, do s_đ tỉ_đ thiên dòng y_đ trong ph_đ t_đ y_đ chi_đ.
- S_đ y_đ ứng h_đ e_m, do s_đ tỉ_đ thiên dòng y_đ của các ph_đ t_đ y_đ chi_đ khác lân c_đ.
- S_đ y_đ ứng e_đ do tỉ trọng ph_đ ứng gây ra

3. Bi_đ pháp k_đ phức

C_đ phức tia l_đ, ngoài vi_đ lo_đ tỉ_đ nguyên nhân k_đ ta ph_đ tìm cách gi_đ tr_đ s_đ các sức y_đ ứng trên b_đng cách dùng các tỉ ph_đ và dây qu_đ bù y_đ ứng nên trong ph_đ t_đ y_đ chi_đ các sức y_đ ứng nh_đ bù (tỉ_đ tiêu) t_đ 3 sức y_đ ứng e_đ, e_m, e_đ.

10.6. MÁY PHÁT IÊN M ỨT CHI Ậ

D_đ vào ph_đ pháp cung c_đ dòng y_đ kích tỉ, ng_đ chia máy y_đ m_đ chi_đ ra các lo_đ:

- Máy y_đ m_đ chi_đ kích tỉ y_đ l_đ.
- Máy y_đ m_đ chi_đ kích tỉ song song
- Máy y_đ m_đ chi_đ kích tỉ n_đ tỉ_đ
- Máy y_đ m_đ chi_đ kích tỉ h_đ h_đ

10.6.1. MÁY PHÁT IÊN M ỨT CHI Ậ KÍCH TỈ ỨC L ỘP

S_đ y_đ máy phát y_đ kích tỉ y_đ l_đ
 Phương trình cân b_đng y_đ áp
 M_đ ph_đ ứng: $U = E_m - R_{đm}$

Dựa vào phương pháp kích từ, vẽ phân bố từ trường của máy phát chi tiết gi ống từ là máy phát chi tiết.

Sức từ trường của từ trường của máy phát chi tiết E_m

$$E_m = pN/60a \cdot nI = k_E n I$$

Mômen từ là M_x của từ trường

$$M_x = pN/2a I_m I = k_M I_m I$$

10.7.1. MÃ MÁY VÀ I ẬU CH ỀNH T Ồ Ừ CHO ỪNG C Ậ I Ề M ỪT CHI Ậ

a. Mã máy từ trường của máy phát chi tiết

Phương trình cân bằng từ áp: $U = E_m + R_m I_m \Rightarrow (U - E_m) / R_m$

Khi mã máy, từ trường $E_m = 0 \Rightarrow E_m = k_E n I = 0 \Rightarrow I_m = U / R_m$

Vì R_m nhỏ dòng từ trường phản ứng I_m lúc mã máy rất lớn $I_m (20 \text{ y } 30) I_{mN}$, làm hỏng cuộn góp, chui than và hệ thống từ trường.

Để hạn chế dòng từ trường mã máy, dùng các biện pháp:

- Dùng biến trở mã máy $R_{m\grave{a}}$

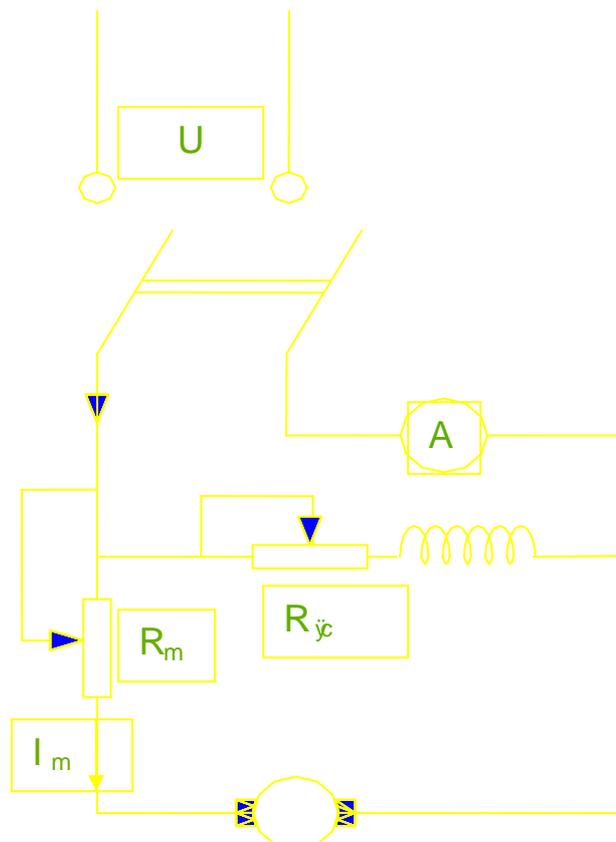
Mắc biến trở mã máy vào mạch phản ứng, dòng từ trường mã máy lúc có biến trở mã máy:

$$I_{m\grave{a}} = U / (R_m + R_{m\grave{a}})$$

Lúc từ trường biến trở $R_{m\grave{a}}$ lớn nhều trong quá trình mã máy, từ trường tăng, từ trường mã máy giảm dòng từ trường không (hình 10.7.1)

- Giảm từ trường áp từ vào phản ứng

Phương pháp này rất cần thiết khi có nguồn từ trường chi tiết có thể từ trường chính từ trường áp



Hình 10.7.1

b. i Ậ chính từ trường

Phân tích trình độ tính các có dạng hyperbôn

Khi không thể ho ẽ t ẽ nh ẽ dòng ỹ ẽ và tỉ thông nh ẽ t ỹ Ý ỹ ckt ng r ẽ l ẽ, vì th ẽ không cho phép ỹ ỹ ckt kích tỉ n ẽ ti ẽ m ẽ máy không t ẽ ho ẽ t ẽ nh ẽ

b. m ẽ ỹ ỹ tính làm vi ẽ

10.7.4. ỨNG DỤNG IÊN M ỨT CHI ẬU KÍCH T Ỉ H ỨNG H ẶC

Các dây qu ẽ kích tỉ có th ẽ n ẽ thu ẽ (tỉ tr m ẽ hai dây qu ẽ cùng chi ẽ) làm t ẽ ng tỉ thông, ho ẽ n ẽ làm gi ẽ tỉ thông

ẽ tính các ẽ ỹ ỹ ckt kích tỉ h ẽ h ẽ khi n ẽ thu ẽ (ỹ m ẽ 1) s ẽ à trung bình gi ẽ ỹ ỹ tính các ẽ ỹ ỹ ckt kích tỉ song song ỹ m ẽ 2) và n ẽ ti ẽ (ỹ m ẽ 3)

Các ỹ ỹ ckt làm vi ẽ n ẽ ng n ẽ dây qu ẽ kích tỉ n ẽ ti ẽ ẽ là dây qu ẽ kích tỉ chính, còn dây qu ẽ kích tỉ song song là p ẽ và ỹ m ẽ n ẽ thu ẽ .

Dây qu ẽ kích tỉ song song ỹ b ẽ t ỹ Ý ỹ ckt không t ẽ ng quá l ẽ khi mômen nh ẽ Ý ỹ ckt kích tỉ h ẽ h ẽ có dây qu ẽ kích tỉ n ẽ ti ẽ ẽ là kích tỉ p ẽ và n ẽ ng m ẽ có ỹ ỹ tính ckt ẽ ẽ ẽ là ỹ m ẽ 4, ngh ẽ là t ỹ Ý quay h ẽ nh ẽ không ỹ l ẽ khi mômen thay ỹ l ẽ

PHẦN III. THÍ NGHIỆM KẾT THÚC THỰC HÀNH

CHƯƠNG 11. THÍ NGHIỆM KẾT THÚC THỰC HÀNH

11.1. THÍ NGHIỆM 1: MẠCH ĐIỆN HÌNH SIN MỘT PHA

11.1.1. MỤC ĐÍCH VÀ ĐỀ NGHỊ THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

Hiểu rõ sự phân bố dòng điện, điện áp và số thay đổi góc pha do tính cảm kháng trong mạch điện phân nhánh và không phân nhánh.

b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 1

Stt	Tên thiết bị	Ký hiệu	Quy cách	Số lượng
1	Nguồn xoay chiều 1 pha 220V	220V~		
2	Biến áp tổng hợp	BAT	In 220V/ Out 250V/6,6A	1
3	Ampe kế điện tử	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄	0,5A	4
4	Vôn kế điện tử	V ₁ , V ₂ , V ₃ , V ₄	0,5/250VAC	4
5	Điện trở	R ₁	75W/110VAC	2
6	Điện trở	R ₂	75W/110VAC	4
7	Cuộn cảm	L		1
8	Tụ điện	C ₁ , C ₂ , C ₃	2μF, 1μF, 0,5μF	3
9	Công tắc	K	5A/250VAC	2
10	Công tắc 1 pha	KWh 1~	10A	1

11.1.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

a. Mạch R – L – C nối tiếp

Trình tự thao tác

Mức độ đo lường mạch R – L – C nối tiếp

Vấn đề: Nút nhấn ở vị trí 0 (Ngắm nhìn kim ở 0).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch xong, đóng công tắc CD cung cấp điện cho BAT.
- Vị trí chỉnh áp ra của BAT là $U_{nguồn} = 60V$ ($V_4 = 60V$).
- Thay biến trở ở mạch dung (ở nút 0) hoặc song song các tụ hoặc thay biến trở ở mạch cảm (chỉnh khe hở giữa cuộn cảm hoặc ở nút 0) các cuộn cảm) sao cho mạch mang tính cảm ($U_L > U_C$).
- Lắp số 1 ghi vào bảng 2.
- Vị trí chỉnh tốc độ cuộn cảm L ở mạch mang tính dung ($d > L$).
- Lắp các số 1 ghi vào bảng 2.

Bảng 2

Tính chất	Kế quả					Ghi chú
	$U_{nguồn}$	I_t	U_R	U_L	U_C	
mạch						
tính cảm						
tính dung						

Đưa vào kế quả về kết quả thí nghiệm về mạch khi mạch mang tính cảm, mạch mang tính dung.

Sinh viên phần thí nghiệm về mạch mang tính cảm

Sinh viên phần thí nghiệm về mạch mang tính dung

b. Mạch R – L – C mắc song song

Trình thao tác

Mục đích mạch ở mạch R – L – C mắc song song

Vấn đề: Nút nhấn ở vị trí 0 (Ngắm nhìn kim ở 0).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch xong, chỉnh nút của BAT theo chỉ kim ở 0 ($V_4 = 60V$).
- Đóng công tắc CD cung cấp điện cho BAT
- Thay biến trở và cuộn cảm sao cho mạch mang tính cảm ($I_L > I_C$).
- Lắp số 1 ghi vào bảng 3
- Thay biến trở và cuộn cảm L sao cho mạch mang tính dung ($d > L$).
- Lắp số 1 ghi vào bảng 3

Bảng 3

Tính chất	Kế quả			
	I_t	I_R	I_L	I_C
mạch				
Tính cảm				
Tính dung				

Đưa vào số 1 ghi về kết quả thí nghiệm về mạch khi mạch mang tính cảm, mạch mang tính dung. Sinh viên phần thí nghiệm về mạch mang tính cảm và ghi về kết quả thí nghiệm về mạch mang tính dung

11.2. THÍ NGHIỆM 2 : MẠCH ĐIỆN HÌNH SIN BA PHA

11.2.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

1. Làm quen với mạch 3 pha thực tế và cách nối phết theo kiểu sao và tam giác.
2. Kiểm soát mối quan hệ dòng điện và điện áp pha và dây trong mạch 3 pha đúng ý.
3. Kiểm soát vai trò của dây trung tính trong mạch 3 pha không ý.
4. Vẽ sơ đồ mạch vectơ dòng điện và điện áp của mạch 3 pha

b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 4

Stt	Tên thiết bị	Ký hiệu	Quy cách	Số mwg
1	Áp tô mát 3 pha	CB	220V/ 30A	1
2	Công tắc 3 pha	KWH 3~	220V/10A	1
3	Ampe mét	A_0	0 y1 A	1
4	Ampe mét	A_1, A_2, A_3	0 y3 A	3
5	Vôn mét	V	0 y260 V	1
6	Phết (bóng đèn dây tóc)	Z_A, Z_B, Z_C	220V/75W	15

11.2.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

a. Mạch điện hình sin 3 pha phết ý đúng tam giác

- Mạch sơ bộ mạch phết ý đúng tam giác
- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch, tổng cấu dao CD.
- Lắp các số ghi vào bảng 5.
- Đọc vào số ghi bảng 5 và vẽ sơ đồ vectơ

Bảng 5

Kế quả						
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	I_A

b. Mạch điện hình sin 3 pha phết ý đúng sao

- Mạch sơ bộ mạch phết ý đúng sao
- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch, tổng cấu dao CD.
- Lắp các số ghi vào bảng 6.
- Đọc vào số ghi bảng 6 và vẽ sơ đồ vectơ

Bảng 6

Kế quả								
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{AX}	U_{BY}	U_{CZ}	I_A	I_B	I_C

Sinh viên vẽ sơ đồ vectơ dòng áp tam giác và tam giác và tam giác

3. Kiểm soát vai trò của dây trung tính

Dây trung tính có tác dụng làm cân bằng điện áp 3 pha khi phết các pha không ý

- a. Mạch 3 pha không có dây trung tính ϕ không y \bar{O} \bar{x} \bar{y} \bar{z} \bar{O} sao.
 - Sk y x m \bar{y} \bar{z} 3 pha không có dây trung tính ϕ không y \bar{O} \bar{x} \bar{y} \bar{z} \bar{O} sao.
 Bảng hai công $\bar{K}1, \bar{K}2, \bar{y}$ \bar{A} $\bar{z}_a, \bar{z}_b, \bar{z}_c$ (s \bar{O} \bar{b} \bar{y} \bar{e} \bar{n} 3 pha khác nhau).
 - \bar{N} \bar{s} \bar{O} \bar{i} \bar{E} ghi vào \bar{b} \bar{t} \bar{g} 7.
 - \bar{D} \bar{a} vào \bar{s} \bar{O} \bar{i} \bar{E} trong \bar{b} \bar{t} \bar{g} 7 và \bar{y} \bar{x} \bar{h} \bar{i} \bar{v} \bar{e} \bar{c} \bar{k}
 Bảng 7

Tr \bar{m} \bar{a} \bar{t} \bar{h} \bar{p} \bar{h}	K \bar{A} \bar{q} \bar{u} \bar{s} \bar{y} \bar{o}										
	\bar{U}_{AB}	\bar{U}_{BC}	\bar{U}_{CA}	\bar{U}_{AX}	\bar{U}_{BY}	\bar{U}_{CZ}	$\bar{U}_{OO'}$	\bar{I}_A	\bar{I}_B	\bar{I}_C	$\bar{I}_{OO'}$
Không có dây trung tính											
Có dây trung tính											

Sinh viên \bar{p} \bar{h} \bar{e} \bar{n} \bar{h} \bar{x} \bar{e} \bar{t} :

- b. Mạch 3 pha có dây trung tính ϕ không y \bar{O} \bar{x} \bar{y} \bar{z} \bar{O} hình sao
 Sk y x m \bar{y} \bar{z} trong \bar{y} \bar{O} là \bar{y} \bar{O} \bar{x} \bar{y} \bar{z} \bar{O} trung tính \bar{c} \bar{a} \bar{n} \bar{g} \bar{u} \bar{x} , \bar{O}' là \bar{y} \bar{O} \bar{x} \bar{y} \bar{z} \bar{O} trung tính \bar{c} \bar{a} \bar{t} \bar{s}
 - Ampe \bar{m} \bar{e} \bar{t} \bar{A}_0 \bar{c} \bar{h} \bar{i} \bar{g} \bar{i} \bar{a} \bar{t} \bar{r} \bar{i} \bar{l} \bar{O}' \bar{O}
 - \bar{O} \bar{n} \bar{g} \bar{c} \bar{u} \bar{d} \bar{a} \bar{o} \bar{C} \bar{D}
 - \bar{N} \bar{s} \bar{O} \bar{i} \bar{E} , ghi vào \bar{b} \bar{t} \bar{g} 7.
 - \bar{D} \bar{a} vào \bar{s} \bar{O} \bar{i} \bar{E} trong \bar{b} \bar{t} \bar{g} 7, và \bar{y} \bar{x} \bar{h} \bar{i} \bar{v} \bar{e} \bar{c} \bar{k}

Sinh viên \bar{p} \bar{h} \bar{e} \bar{n} \bar{h} \bar{x} \bar{e} \bar{t} \bar{r} \bar{m} \bar{a} \bar{t} \bar{h} \bar{p} \bar{h} không dây trung tính và \bar{m} \bar{a} \bar{t} \bar{h} \bar{p} \bar{h} có dây trung tính

11.3. THÍ NGHIỆM 3: MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA

11.3.1. MỤC ĐÍCH VÀ DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

- a. Mục \bar{y} \bar{c} \bar{h} \bar{t} \bar{h} \bar{i} \bar{n} \bar{h}
 1. Tìm \bar{h} \bar{i} \bar{q} \bar{c} \bar{a} \bar{t} \bar{h} và nguyên lý \bar{m} \bar{a} \bar{y} \bar{b} \bar{i} \bar{e} \bar{n} \bar{a} \bar{p} (MBA)
 2. Xác \bar{y} \bar{r} \bar{i} \bar{h} thông \bar{s} \bar{c} \bar{a} MBA
 3. \bar{D} \bar{o} \bar{g} \bar{y} \bar{m} \bar{a} \bar{t} \bar{h} \bar{y} \bar{e} \bar{t} \bar{i} \bar{n} ngoài \bar{q} \bar{u} \bar{a} \bar{o} \bar{y} \bar{a} \bar{n} \bar{h} \bar{g} \bar{i} \bar{a} \bar{c} \bar{h} \bar{i} \bar{m} \bar{a} \bar{t} \bar{h} \bar{c} \bar{a} \bar{m} \bar{a} \bar{y} \bar{b} \bar{i} \bar{e} \bar{n} \bar{a} \bar{p}
 b. \bar{D} \bar{o} \bar{g} \bar{c} \bar{e} \bar{h} \bar{i} \bar{n} \bar{h}

Stt	Tên \bar{t} \bar{i} \bar{h} \bar{i} \bar{e} \bar{i}	Ký \bar{h} \bar{i} \bar{e}	Quy \bar{c} \bar{a} \bar{c}	S \bar{O} \bar{m} \bar{a} \bar{t}
1	Máy \bar{b} \bar{i} \bar{e} \bar{n} \bar{a} \bar{p} \bar{c} \bar{a} \bar{c} \bar{h} \bar{l} \bar{y} 1 \bar{p} \bar{h}	BA	110/220V/1KW	1
2	Máy \bar{b} \bar{i} \bar{e} \bar{n} \bar{a} \bar{p} \bar{t} \bar{o} \bar{n} \bar{g} \bar{u} 1 \bar{p} \bar{h}	BAT	220V/250V/6.6A	1
3	Công \bar{t} \bar{k} 1 \bar{p} \bar{h}	KWH	220V/10A	1
4	Vôn \bar{m} \bar{e} \bar{t}	\bar{V}_1, \bar{V}_{10}	0 \bar{y} 250 V	1
5	Vôn \bar{m} \bar{e} \bar{t}	\bar{V}_2, \bar{V}_{20}	0 \bar{y} 250 V	1
6	Ampe \bar{m} \bar{e} \bar{t}	\bar{A}_{10}	0 \bar{y} 1 A	1
7	Ampe \bar{m} \bar{e} \bar{t}	\bar{A}_1	0 \bar{y} 9 A	1
8	Ampe \bar{m} \bar{e} \bar{t}	\bar{A}_2	0 \bar{y} 5 A	1
9	Phét \bar{s} (bóng \bar{y} \bar{e} \bar{n} \bar{d} \bar{a} \bar{y} \bar{t} \bar{o} \bar{c})	\bar{R}_{PT}	220V/75W	15

11.3.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

- a. Thí \bar{n} \bar{h} \bar{i} \bar{n} không \bar{t} \bar{s}
 M \bar{c} \bar{m} \bar{a} \bar{y} \bar{h} \bar{i} \bar{e} cho máy \bar{b} \bar{i} \bar{e} \bar{n} \bar{a} \bar{p} \bar{a} \bar{c} \bar{h} \bar{y} \bar{K} \bar{h} \bar{o} \bar{n} \bar{g} \bar{t} \bar{s}
 - \bar{i} \bar{A} \bar{c} \bar{h} \bar{i} \bar{h} \bar{n} \bar{u} \bar{m} \bar{v} \bar{n} BAT và \bar{A} \bar{v} \bar{l} \bar{t} \bar{r} \bar{i} 0 (\bar{n} \bar{g} \bar{m} \bar{a} \bar{c} \bar{h} \bar{i} \bar{A} \bar{k} \bar{i} \bar{m} \bar{y} \bar{e} \bar{m} \bar{g} \bar{h} \bar{x}).

- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch ý để đồng chiều dao CD cung cấp ý để cho BAT.
 - Chỉnh núm vặn BAT theo chiều kim đồng hồ sao cho ý để áp ra là 110V ($V_{10} = 110V$).
 - Theo dõi và cần công tơ quay 1 vòng là bao nhiêu giây.
- Từ những số liệu công tơ quay 400 vòng/1000wh ta tính ra công suất tiêu thụ của MBA khi không tải

$$P_0 = \frac{1000 \cdot 3600}{600 \cdot s} \text{ (giây ứng với 1 vòng)}$$

- Điền vào phiếu học tập để tính các thông số MBA

Kiểm tra và tính ghi vào bảng 8.

Bảng 8

U_{10}	U_{20}	I_{10}	P_0	K	R_0	X_0	$\cos\phi$

I_{10} bằng khoảng (2% - 10%) I_{1n}

b. Thí nghiệm ngắn mạch

Mục đích của thí nghiệm máy biến áp để xác định các thông số ngắn mạch

- Xoay núm vặn cần biến áp tổng từ vôn (ngắn mạch kim đồng hồ).
- Sau khi giáo viên kiểm tra mạch ý để, đồng chiều dao CD cung cấp ý để cho BAT, xoay núm vặn cần BAT theo chiều kim đồng hồ sao cho ý để áp ngõ ra sao cho dòng điện trong dây quấn ngắn mạch và thí nghiệm cần máy biến áp ý để giá trị ý để như sau:

$$I_{1n} = I_{1ng} = 8A \quad (\text{giá trị này ý để trên ý để } \times A_1)$$

$$I_{2n} = I_{2ng} = 5A \quad (\text{giá trị này ý để trên ý để } \times A_2)$$

Điền các số liệu vào bảng 9.

Điền vào phiếu học tập, tính các thông số ngắn mạch và ghi vào bảng 9.

Công thức tính các thông số ngắn mạch.

$$\cos\phi_{ng} = \frac{P_{ng}}{U_{1ng} \cdot I_{1ng}} = \frac{P_{ng}}{U_{2ng} \cdot I_{2ng}} = \frac{P_{ng}}{U_{1ng} \cdot I_{2ng}} = \frac{P_{ng}}{U_{2ng} \cdot I_{1ng}} = \frac{P_{ng}}{U_{1ng} \cdot I_{2ng}}$$

Áp dụng công thức trên để tính P_{ng}

Bảng 9

Kiểm tra					Kiểm tra ngắn mạch				
U_{1ng}	U_{2ng}	I_{1ng}	I_{2ng}	P_{ng}	$U_{1ng}\%$	Z_{ng}	R_{ng}	X_{ng}	$\cos\phi_{ng}$

c. Thí nghiệm có tải

- Mục đích của thí nghiệm máy biến áp để xác định các thông số ngắn mạch
- Xoay núm vặn BAT về vị trí 0.

- Sau khi giáo viên kiểm tra xong, dùng cưa dao CD cung cấp để cho BAT
- Vặn núm vặn của BAT theo chiều kim đồng hồ khi $V_2 = 220V$
- Giữ nguyên núm vặn của BAT
- Thay ý R_{PT} bằng cách thay đổi số bóng đèn (dùng công tắc K)
- Các số để ghi vào bảng 10.
- Đọc vào kế quả số để tính các thông số còn lại ghi vào bảng 10.
- Công thức tính các thông số có thể:
 - $P_2 = U_2 I_2 \cos\phi$
 - $P_1 = U_1 I_1 \cos\phi$
 - $K = P_2/P_1 \cdot 100\%$

Bảng 10

Kế quả số				Kế quả tính			
R_{PT}	U_1	U_2	I_1	I_2	P_1	P_2	$K\%$
0							
3 bóng							
5 bóng							
8 bóng							
11 bóng							
15 bóng							

Theo kế quả số ở bảng 10, sinh viên phải đồng ý tính ngoài của MBA, từ đó đưa ra nhận xét về hiệu suất của MBA.

Nhận xét của sinh viên:

Sinh viên phải vẽ ảnh chụp ý tính ngoài

11.4. THÍ NGHIỆM 4: ỨNG DỤNG KHÔNG ĐỒNG BẬC BA PHA

11.4.1. MỤC ĐÍCH VÀ NỘI DUNG CỦA THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

1. Tìm hiểu đặc tính của ứng dụng không đồng bộ ba pha.
2. Kiểm tra sơ đồ mạch máy ứng dụng xác định các dây ra để cách ý
3. Tụ ý dây, khả năng và ý lực quay ứng dụng hai cách ý sao và ý tam giác

b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 11

Stt	Tên thiết bị	Kí hiệu	Quy cách	Số lượng
1	Nguồn 220V xoay chiều	220V~		1
2	Ứng dụng không đồng bộ 3 pha	C3	220V/380V/ 0,18KW	1
3	Vôn mét	V_1	0,450 V	1
4	Vôn mét	V	0,15 V	1

0,51 – 1	40	55	60	65
1,1 – 5	35	50	55	60
5,1 – 10	25	45	50	55
10,1 – 25	20	40	45	40
25,1 - 50	18	35	40	45

g. Khảo nghiệm trực tiếp và yêu cầu chi trả quay nghiệm

1. Khảo nghiệm trực tiếp

- Mục đích nghiên cứu là yêu cầu chi trả quay nghiệm

Yêu cầu giáo viên kiểm tra mục đích.

Chú ý:

Cụ dao nghiệm K_2 có 2 vị trí: Y và '.

I_{ky} và I_0 bằng ampe kế AA_2 nhưng các thán nghiệm khác nhau.

- Đặt K_2 sang vị trí Y, đồng cụ dao CD, số 0 ghi vào bảng 13
- Nghiệm cụ dao CD nghiệm quay (n = 0)
- Đặt K_2 sang vị trí ', đồng cụ dao CD, số 0 ghi vào bảng 13

Chú ý:

Dòng nghiệm khảo nghiệm (I_{ky}) và công suất khảo nghiệm (P_{ky}) là dòng nghiệm và công suất ngay thán nghiệm vị trí đồng cụ dao, quan sát ngay.

Còn I_0 và P_0 là các giá trị khi nghiệm quay nghiệm 0 nghiệm nghiệm và không

Bảng 13

Chẩn nghiệm sao sang tam giác	I_{ky}	I_0	P_{ky}	P_0
Nghiệm hình sao				
Nghiệm hình tam giác				

2. Chi trả nghiệm

Đặt vị trí 2 pha A, B, gốc nguyên pha C

Phân nhánh xét các sinh viên:

h. Khảo nghiệm sao – tam giác (Y')

Khảo nghiệm Y' nghiệm nghiệm dòng khảo nghiệm các nghiệm

- Gỉ nguyên nghiên cứu
- Đặt K_2 sang vị trí Y.
- Đặt CD cùng nghiệm cho nghiệm
- Ghi số 0 vào hàng 1 bảng 14
- Nghiệm quay chuyển K_2 sang vị trí '.
- Ghi số 0 vào hàng 2 bảng 14

Bảng 14

Chẩn nghiệm	I_{ky}	I_0	P_{ky}	P_0
Nghiệm sao				
Nghiệm tam giác				

11.5. THÍ NGHIỆM 5: ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

11.5.1. MỤC ĐÍCH VÀ NỘI DUNG CỦA THÍ NGHIỆM

a. Mục đích thí nghiệm

1. Tìm hiểu cấu tạo của động cơ không đồng bộ một pha.
2. Kiểm tra kỹ thuật của động cơ và xác định các yêu cầu dây quấn để cách ly một pha.
3. Trình bày dây, khả năng và yêu cầu quay của động cơ.

b. Dụng cụ thí nghiệm

Bảng 11

Stt	Tên thiết bị	Kí hiệu	Quy cách	Số lượng
1	Nguồn 220V xoay chiều	220V~		1
2	Động cơ không đồng bộ 1 pha	C 1~	220V/110V/ 0,75KW	1
3	Vôn mét	V ₁	0-450 V	1
4	Vôn mét	V	0-15 V	1
5	Megaohm	M :		1
6	Đồng hồ vạn năng	VOM		1
7	Ampe mét			1

11.5.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM

a. Tìm hiểu cấu tạo của động cơ

Mở nắp để kiểm tra các dây quấn stato và rôto lồng sóc.

b. Kiểm tra cơ khí

Dùng tay quay để kiểm tra xem có bị kẹt trục, trục có bị kẹt mòn hay không?

c. Kiểm tra số cách nối của dây quấn stato và yêu cầu

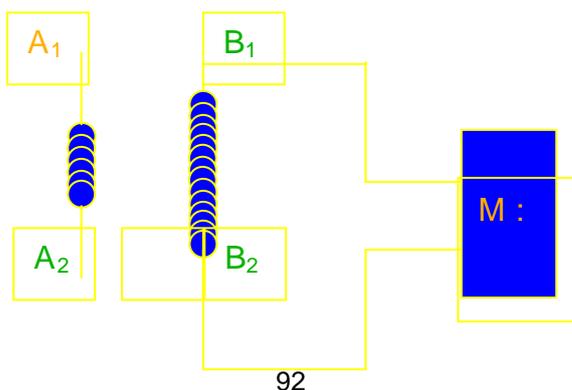
Dùng 1 đồng hồ Megaohm để kiểm tra điện trở của dây stato (A₁, A₂, B₁, B₂) của động cơ còn lại Megaohm cho tiếp xúc với máy.

Nếu kiểm tra cách nối của dây quấn stato và yêu cầu R_{cđ} > 0,5 MΩ thì yêu cầu.

Nếu R_{cđ} = 0, dây quấn stato cần phải sửa chữa.

d. Sơ đồ đấu dây (pha chính) và cầu pha phụ

Mở nắp để kiểm tra hình 11.5.2.b



Hình 11.5.2.b

Bảng công thức của DVM (đồng hồ đo điện trở) :

Cho đồng hồ đo hai cực dây A_1A_2 và B_1B_2 , hình 11.5.2.b. Bảng đồng hồ đo trước của B_1B_2 . Ghi giá trị của chúng vào bảng 1 và kiểm tra xem cực nào là cực chung, cực nào là cực ý định.

Bảng 1

	Giá trị đồng hồ đo	Kiểm tra
Cực A_1A_2		
Cực B_1B_2		

Chú ý: Đồng hồ đo cực ý định khác đồng hồ đo cực chung.

Cho đồng hồ đo nguồn, đồng hồ đo điện áp, đồng hồ đo cực chung và cực ý định. Ghi các giá trị vào bảng 2.

Bảng 2

Đồng hồ đo	Giá trị	Ghi chú
Điện áp		
Điện áp C		
Cực ý định		
Cực chung		
Đồng hồ đo nguồn		

e. Số chỉ của đồng hồ đo 1 pha.

Muốn đồng hồ đo chỉ của đồng hồ đo 1 pha ta đồng hồ đo cực chung hoặc đồng hồ đo cực ý định.

Quan sát chiều quay của đồng hồ đo

Đồng hồ đo có đồng hồ đo quay không? Có Không

CHƯƠNG MỘT

NHẬP MÔN VỀ KHOA HỌC BẢO HỘ LAO ĐỘNG VÀ VỆ SINH LAO ĐỘNG

1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KHOA HỌC KỸ THUẬT BẢO HỘ LAO ĐỘNG

1.1.1. Mục đích, ý nghĩa, tính chất của công tác bảo hộ lao động (BHLĐ)

a. Mục đích, ý nghĩa của công tác BHLĐ

Mục đích của BHLĐ là thông qua các biện pháp về khoa học kỹ thuật, tổ chức, kinh tế, xã hội để loại trừ các yếu tố nguy hiểm và có hại phát sinh trong quá trình sản xuất; tạo nên một điều kiện lao động thuận lợi và ngày càng được cải thiện để ngăn ngừa tai nạn lao động và bệnh nghề nghiệp, hạn chế ốm đau, giảm sút sức khoẻ cũng như những thiệt hại khác đối với người lao động, nhằm bảo đảm an toàn, bảo vệ sức khoẻ và tính mạng người lao động trực tiếp góp phần bảo vệ và phát triển lực lượng sản xuất, tăng năng suất lao động.

Bảo hộ lao động trước hết là phạm trù sản xuất, do yêu cầu của sản xuất và gắn liền với quá trình sản xuất nhằm bảo vệ yếu tố năng động, quan trọng nhất của lực lượng sản xuất là người lao động. Mặt khác, việc chăm lo sức khoẻ của người lao động mang lại niềm vui, hạnh phúc cho mọi người. mà công tác BHLĐ mang lại còn có ý nghĩa nhân đạo.

b. Tính chất của công tác bảo hộ lao động

BHLĐ Có 3 tính chất chủ yếu là: Pháp lý, Khoa học kỹ thuật và tính quần chúng.

- BHLĐ mang tính chất pháp lý

Những quy định và nội dung về BHLĐ được thể chế hoá chúng thành những luật lệ, chế độ chính sách, tiêu chuẩn và được hướng dẫn cho mọi cấp mọi ngành mọi tổ chức và cá nhân nghiêm chỉnh thực hiện. Những chính sách, chế độ, quy phạm, tiêu chuẩn, được ban hành trong công tác bảo hộ lao động là luật pháp của Nhà nước.

- BHLĐ mang tính KHKT

Mọi hoạt động của BHLĐ nhằm loại trừ các yếu tố nguy hiểm, có hại, phòng và chống tai nạn, các bệnh nghề nghiệp... đều xuất phát từ những cơ sở của KHKT. Các hoạt động điều tra khảo sát phân tích điều kiện lao động, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố độc hại đến con người để đề ra các giải pháp chống ô nhiễm, giải pháp đảm bảo an toàn đều dựa trên các cơ sở khoa học kỹ thuật.

- BHLĐ mang tính quần chúng

BHLĐ là hoạt động hướng về cơ sở sản xuất và con người và trước hết là người trực tiếp lao động. Nó liên quan với quần chúng lao động, bảo vệ quyền lợi và hạnh phúc cho mọi người, mọi nhà, cho toàn xã hội. Vì thế BHLĐ luôn mang tính quần chúng

Tóm lại: Ba tính chất trên đây của công tác bảo hộ lao động: tính pháp lý, tính khoa học kỹ thuật và tính quần chúng có liên quan mật thiết với nhau và hỗ trợ lẫn nhau.

1.1.2. Điều kiện lao động và các yếu tố liên quan

a. Điều kiện lao động.

Điều kiện lao động là tập hợp tổng thể các yếu tố tự nhiên, kỹ thuật, kinh tế xã hội được biểu hiện thông qua các công cụ và phương tiện lao động, đối tượng lao động, trình công nghệ, môi trường lao động, và sự sắp xếp bố trí cũng như các tác động qua lại của chúng trong mối quan hệ với con người tạo nên những điều kiện nhất định cho con người trong quá trình lao động. Điều kiện lao động có ảnh hưởng đến sức khoẻ và tính mạng con người.

Những công cụ và phương tiện lao động có tiện nghi, thuận lợi hay gây khó khăn nguy hiểm cho người lao động, đối tượng lao động cũng ảnh hưởng đến người lao động rất đa dạng như dòng điện, chất nổ, phóng xạ, ... Những ảnh hưởng đó còn phụ thuộc quy trình công nghệ, trình độ sản xuất (thô sơ hay hiện đại, lạc hậu hay tiên tiến), môi trường lao động rất đa dạng, có nhiều yếu tố tiện nghi, thuận lợi hay ngược lại rất khắc nghiệt, độc hại, đều tác động lớn đến sức khoẻ của người lao động.

b. Các yếu tố nguy hiểm và có hại

Trong một điều kiện lao động cụ thể, bao giờ cũng xuất hiện các yếu tố vật chất có ảnh hưởng xấu, nguy hiểm, có nguy cơ gây tai nạn hoặc bệnh nghề nghiệp cho người lao động, ta gọi đó là các yếu tố nguy hiểm và có hại. Cụ thể là:

- Các yếu tố vật lý như nhiệt độ, độ ẩm, tiếng ồn, rung động, các bức xạ có hại, bụi.
- Các yếu tố hoá học như hoá chất độc, các loại hơi, khí, bụi độc, các chất phóng xạ.
- Các yếu tố sinh vật, vi sinh vật như các loại vi khuẩn, siêu vi khuẩn, ký sinh trùng, côn trùng, rắn.
- Các yếu tố bất lợi về tư thế lao động, không tiện nghi do không gian chỗ làm việc, nhà xưởng chật hẹp, mất vệ sinh.
- Các yếu tố tâm lý không thuận lợi... đều là những yếu tố nguy hiểm và có hại.

c. Tai nạn lao động

Tai nạn lao động là tai nạn không may xảy ra trong quá trình lao động, gắn liền với việc thực hiện công việc hoặc nhiệm vụ lao động làm tổn thương cho bất kỳ bộ phận, chức năng nào của người lao động, hoặc gây tử vong. Nhiễm độc đột ngột cũng là tai nạn lao động.

Những tiêu chuẩn đặc trưng cho tai nạn lao động là:

- Sự cố gây tổn thương và tác động từ bên ngoài.
- Sự cố đột ngột.
- Sự cố không bình thường.
- Hoạt động an toàn

d. Bệnh nghề nghiệp:

Bệnh phát sinh do tác động của điều kiện lao động có hại đối với người lao động được gọi là bệnh nghề nghiệp. Bệnh nghề nghiệp làm suy yếu sức khỏe một cách dần dần và lâu dài.

1.1.3. Những nội dung chủ yếu của khoa học kỹ thuật bảo hộ lao động

a) . Nội dung khoa học kỹ thuật.

Nội dung khoa học kỹ thuật chiếm một vị trí rất quan trọng, là phần cốt lõi để loại trừ các yếu tố nguy hiểm và có hại, cải thiện điều kiện lao động.

Khoa học kỹ thuật bảo hộ lao động là lĩnh vực khoa học rất tổng hợp và liên ngành, được hình thành và phát triển trên cơ sở kết hợp và sử dụng thành tựu của nhiều ngành khoa học khác nhau, từ khoa học tự nhiên (như toán, vật lý, hoá học, sinh học ...) đến khoa học kỹ thuật chuyên ngành và còn liên quan đến các ngành kinh tế, xã hội, tâm lý học ... Những nội dung nghiên cứu chính của Khoa học bảo hộ lao động bao gồm những vấn đề:

- Khoa học vệ sinh lao động (VSLĐ).

VSLĐ là môn khoa học nghiên cứu ảnh hưởng của những yếu tố có hại trong sản xuất đối với sức khỏe người lao động, tìm các biện pháp cải thiện điều kiện lao động, phòng ngừa các bệnh nghề nghiệp và nâng cao khả năng lao động cho người lao động.

Nội dung của khoa học VSLĐ chủ yếu bao gồm :

- Phát hiện, đo, đánh giá các điều kiện lao động xung quanh.
- Nghiên cứu, đánh giá các tác động chủ yếu của các yếu tố môi trường lao động đến con người.
- Đề xuất các biện pháp bảo vệ cho người lao động.

Để phòng bệnh nghề nghiệp cũng như tạo ra điều kiện tối ưu cho sức khoẻ và tình trạng lành mạnh cho người lao động chính là mục đích của vệ sinh lao động.

. Cơ sở kỹ thuật an toàn

Kỹ thuật an toàn là hệ thống các biện pháp, phương tiện, tổ chức và kỹ thuật nhằm phòng ngừa sự tác động của các yếu tố nguy hiểm gây chấn thương sản xuất đối với người lao động.

. Khoa học về các phương tiện bảo vệ người lao động

Ngành khoa học này có nhiệm vụ nghiên cứu, thiết kế, chế tạo những phương tiện bảo vệ tập thể hay cá nhân người lao động để sử dụng trong sản xuất nhằm chống lại những ảnh hưởng của các yếu tố nguy hiểm và có hại, khi các biện pháp về mặt kỹ thuật an toàn không thể loại trừ được chúng. Ngày nay các phương tiện bảo vệ cá nhân như mặt nạ phòng độc, kính màu chống bức xạ, quần áo chống nóng, quần áo kháng áp, các loại bao tay, giày, ủng cách điện... là những phương tiện thiết yếu trong lao động.

. Ergonomi với an toàn sức khoẻ lao động

Ergonomi là môn khoa học liên ngành nghiên cứu tổng hợp sự thích ứng giữa các phương tiện kỹ thuật và môi trường lao động với khả năng của con người về giải phẫu, tâm lý, sinh lý nhằm đảm bảo cho lao động có hiệu quả nhất, đồng thời bảo vệ sức khoẻ, an toàn cho con người.

Ergonomi tập trung vào sự thích ứng của máy móc, công cụ với người điều khiển nhờ vào việc thiết kế, tuyển chọn và huấn luyện. Ergonomi tập trung vào việc tối ưu hoá môi trường xung quanh thích hợp với con người và sự thích nghi của con người với điều kiện môi trường. Ergonomi coi cả hai yếu tố bảo vệ sức khoẻ người lao động và năng suất lao động quan trọng như nhau.

Trong Ergonomi người ta thường nhấn mạnh tới khái niệm nhân trắc học Ergonomi tức là quan tâm tới sự khác biệt về chủng tộc và nhân chủng học khi nhập khẩu hay chuyển giao công nghệ của nước ngoài.

b) Nội dung xây dựng và thực hiện pháp luật về bảo hộ lao động.

1.1.4. Sự phát triển bền vững

Phát triển bền vững là cách phát triển “thoả mãn nhu cầu của thế hệ hiện tại mà không ảnh hưởng đến khả năng thoả mãn nhu cầu của thế hệ mai sau”

Phát triển bền vững có thể được xem là một tiến trình đòi hỏi sự tiến triển đồng thời 4 lĩnh vực: kinh tế, nhân văn, môi trường và kỹ thuật.

1.2. Luật pháp, chế độ chính sách bảo hộ lao động

1.2.1. Hệ thống luật pháp chế độ chính sách BHLĐ của Việt nam

Đảng và nhà nước Việt Nam ta nhất là trong công cuộc đổi mới luôn luôn

quan tâm đến người lao động nói chung và công tác BHLĐ nói riêng. Đến nay chúng ta đã có một hệ thống văn bản pháp luật chế độ chính sách BHLĐ tương đối đầy đủ.

Hệ thống pháp luật BHLĐ gồm 3 phần:

Phần I: Bộ luật lao động và các luật khác có liên quan đến ATVSLĐ.

Phần II: Nghị định 06/CP và các nghị định khác liên quan đến ATVSLĐ.

Phần III: Các thông tư, Chỉ thị, Tiêu chuẩn qui phạm ATVSLĐ.

a. Bộ luật lao động và các luật pháp có liên quan đến ATVSLĐ

- Một số điều của Bộ luật lao động có liên quan đến ATVSLĐ

Ngoài chương IX về “an toàn lao động, vệ sinh lao động” còn một số điều liên quan đến ATVSLĐ với nội dung cơ bản sau:

Điều 29. Chương IV qui định hợp đồng lao động ngoài nội dung khác phải có nội dung điều kiện về an toàn lao động, vệ sinh lao động.

Điều 23. Chương IV qui định một trong nhiều trường hợp về chấm dứt hợp đồng là: người sử dụng lao động không được đơn phương chấm dứt hợp đồng lao động khi người lao động bị ốm đau hay bị tai nạn lao động, bệnh nghề nghiệp đang điều trị, điều dưỡng theo quyết định của thầy thuốc.

Điều 46. Chương V qui định một trong những nội dung chủ yếu của thoả ước tập thể là ATLĐ, vệ sinh lao động.

Điều 68 Chương IV qui định việc rút ngắn thời gian làm việc đối với những người làm công việc đặc biệt nặng nhọc, độc hại, nguy hiểm.

Điều 69 quy định số giờ làm thêm không được vượt quá trong một ngày, một năm.

Điều 284 Chương VIII qui định các hình thức xử lý người vi phạm kỷ luật lao động trong đó có vi phạm nội dung ATVSLĐ.

b. Tai nạn lao động, bệnh nghề nghiệp

Nội dung này được quy định trong bộ luật lao động và được cụ thể hoá trong các điều 9, 10, 11, 12 chương III Nghị định 06/CP như sau:

- Trách nhiệm người sử dụng lao động đối với người bị tai nạn lao động: Sơ cứu cấp cứu kịp thời; tai nạn lao động nặng, chết người phải giữ nguyên hiện trường và báo ngay cho cơ quan Lao động, Y tế, Công đoàn cấp tỉnh và công an gần nhất.
- Trách nhiệm của người sử dụng lao động đối với người mắc bệnh nghề nghiệp là phải điều trị theo chuyên khoa, khám sức khoẻ định kỳ và lập hồ sơ sức khoẻ riêng biệt.
- Trách nhiệm người sử dụng lao động bồi thường cho người bị tai nạn lao động hoặc bệnh nghề nghiệp.
- Trách nhiệm người sử dụng lao động tổ chức điều tra các vụ tai nạn lao

động có sự tham gia của các đại diện BCH Công đoàn, lập biên bản theo đúng quy định.

1.3. Kỹ thuật vệ sinh lao động (VSLĐ).

1.3.1. Đối tượng và nhiệm vụ và nội dung của VSLĐ

Vệ sinh lao động là môn khoa học dự phòng, nghiên cứu điều kiện thiên nhiên, điều kiện sản xuất, sức khỏe con người, ngưỡng sinh lý cho phép và những ảnh hưởng của điều kiện lao động, quá trình lao động, gây nên tai nạn lao động và bệnh nghề nghiệp. Trong đó vệ sinh lao động (VSLĐ) chủ yếu đi sâu nghiên cứu các tác hại nghề nghiệp, từ đó mà có biện pháp phòng ngừa các tác nhân có hại một cách có hiệu quả.

Nội dung của VSLĐ bao gồm :

- Nghiên cứu đặc điểm vệ sinh của các quá trình sản xuất.
- Nghiên cứu các biến đổi sinh lý, sinh hoá của cơ thể người.
- Nghiên cứu việc tổ chức lao động và nghỉ ngơi hợp lý.
- Nghiên cứu các biện pháp đề phòng tình trạng mệt mỏi trong lao động, hạn chế ảnh hưởng của các yếu tố tác hại nghề nghiệp trong sản xuất, đánh giá hiệu quả các biện pháp đó.
- Qui định các chế độ bảo hộ lao động, các tiêu chuẩn vệ sinh, chế độ vệ sinh xí nghiệp và cá nhân.
- Tổ chức khám tuyển và sắp xếp hợp lý công nhân vào làm việc ở các bộ phận sản xuất khác nhau trong xí nghiệp.
- Quản lý, theo dõi tình hình sức khỏe công nhân, tổ chức khám sức khỏe định kỳ, phát hiện sớm bệnh nghề nghiệp. Giám định khả năng lao động cho công nhân bị tai nạn lao động, mắc bệnh nghề nghiệp và các bệnh mãn tính khác.
- Đôn đốc, kiểm tra việc thực hiện các biện pháp vệ sinh an toàn lao động trong sản xuất.

1.3.2. Các tác hại nghề nghiệp .

Các tác hại nghề nghiệp đối với người lao động có thể do các yếu tố vi khí hậu; tiếng ồn và rung động; bụi; phóng xạ; điện từ trường; chiếu sáng gây ra.

Các tác hại nghề nghiệp có thể phân ra các loại sau:

- Tác hại liên quan đến quá trình sản xuất như các yếu tố vật lý, hoá học, sinh vật xuất hiện trong quá trình sản xuất.
- Tác hại liên quan đến tổ chức lao động như chế độ làm việc, nghỉ ngơi không hợp lý, cường độ làm việc quá cao, thời gian làm việc quá dài...
- Tác hại liên quan đến điều kiện vệ sinh an toàn như thiếu các thiết bị thông gió, chống bụi, chống nóng, chống tiếng ồn, thiếu trang bị phòng hộ lao

động, không thực hiện đúng và triệt để các qui tắc vệ sinh và an toàn lao động...

a. Vi khí hậu.

Vi khí hậu là trạng thái lý học của không khí trong khoảng không gian thu hẹp gồm các yếu tố nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối của không khí, vận tốc chuyển động không khí và bức xạ nhiệt. Điều kiện vi khí hậu trong sản xuất phụ thuộc vào tính chất của quá trình công nghệ và khí hậu địa phương.

Về mặt vệ sinh, vi khí hậu có ảnh hưởng đến sức khỏe, bệnh tật của công nhân. Làm việc lâu trong điều kiện vi khí hậu lạnh và ẩm có thể mắc bệnh thấp khớp, viêm đường hô hấp trên, viêm phổi và làm cho bệnh lao nặng thêm. Vi khí hậu lạnh và khô làm cho rối loạn vận mạch thêm trầm trọng, gây khô niêm mạc, nứt nẻ da. Vi khí hậu nóng ẩm làm giảm khả năng bay hơi mồ hôi, gây ra rối loạn thăng bằng nhiệt, làm cho mệt mỏi xuất hiện sớm, nó còn tạo điều kiện cho vi sinh vật phát triển, gây các bệnh ngoài da.

b. Tiếng ồn và rung động.

Tiếng ồn là những âm thanh gây khó chịu, quấy rối sự làm việc và nghỉ ngơi của con người.

Rung động là dao động cơ học của vật thể đàn hồi sinh ra khi trọng tâm hoặc trục đối xứng của chúng xô xích (dịch) trong không gian hoặc do sự thay đổi có tính chu kỳ hình dạng mà chúng có ở trạng thái tĩnh.

Tiếng ồn tác động trước hết đến hệ thần kinh trung ương, sau đó đến hệ thống tim mạch và nhiều cơ quan khác. Tác hại của tiếng ồn chủ yếu phụ thuộc vào mức ồn. Tuy nhiên tần số lặp lại của tiếng ồn, đặc điểm của nó cũng ảnh hưởng lớn đến người. Tiếng ồn liên tục gây tác dụng khó chịu ít hơn tiếng ồn gián đoạn. Tiếng ồn có các thành phần tần số cao khó chịu hơn tiếng ồn có tần số thấp. Khó chịu nhất là tiếng ồn thay đổi cả về tần số và cường độ. Ảnh hưởng của tiếng ồn đối với cơ thể còn phụ thuộc vào hướng của năng lượng âm thanh tới, thời gian tác dụng, vào độ nhạy riêng của từng người cũng như vào lứa tuổi, giới tính và trạng thái cơ thể của người công nhân.

c. Bụi

Bụi là tập hợp nhiều hạt có kích thước lớn nhỏ khác nhau tồn tại lâu trong không khí dưới dạng bụi bay hay bụi lắng và các hệ khí dung nhiều pha như hơi, khói, mù. Bụi phát sinh tự nhiên do gió bão, động đất, núi lửa nhưng quan trọng hơn là trong sinh hoạt và sản xuất của con người như từ các quá trình gia công, chế biến, vận chuyển các nguyên vật liệu rắn.

Bụi gây nhiều tác hại cho con người mà trước hết là các bệnh về đường hô hấp, bệnh ngoài da, bệnh tiêu hoá... như các bệnh về phổi, bệnh viêm mũi, họng, phế quản, bệnh mụn nhọt, lở loét...

d. Chiếu sáng.

Chiếu sáng hợp lý không những góp phần làm tăng năng suất lao động mà còn hạn chế các tai nạn lao động, giảm các bệnh về mắt.

e. Phóng xạ.

Nguyên tố phóng xạ là những nguyên tố có hạt nhân nguyên tử phát ra các tia có khả năng ion hoá vật chất, các tia đó gọi là tia phóng xạ. Hiện tại người ta đã biết được khoảng 50 nguyên tố phóng xạ và 1000 đồng vị phóng xạ nhân tạo. Hạt nhân nguyên tử của các nguyên tố phóng xạ có thể phát ra những tia phóng xạ như tia α, β, γ tia Ronghen, tia notoron..., những tia này mắt thường không nhìn thấy được, phát ra do sự biến đổi bên trong hạt nhân nguyên tử.

Làm việc với các chất phóng xạ có thể bị nhiễm xạ. Nhiễm xạ cấp tính thường xảy ra sau vài giờ hoặc vài ngày khi toàn thân nhiễm xạ 1 liều lượng nhất định (trên 200Rem). Khi bị nhiễm xạ cấp tính thường có những triệu chứng như :

- Da bị bỏng, tấy đỏ ở chỗ tia phóng xạ chiếu vào.
- Chức năng thần kinh trung ương bị rối loạn.
- Gầy, sút cân, chết dần chết mòn trong tình trạng suy nhược...

Trường hợp nhiễm xạ cấp tính thường ít gặp trong sản xuất và nghiên cứu mà chủ yếu xảy ra trong các vụ nổ vũ khí hạt nhân và tai nạn ở các lò phản ứng nguyên tử.

Nhiễm xạ mãn tính xảy ra khi liều lượng ít hơn (nhỏ hơn 200 Rem) nhưng trong một thời gian dài và thường có các triệu chứng sau :

- Thần kinh bị suy nhược.
- Rối loạn các chức năng tạo máu.
- Có hiện tượng đục nhân mắt, ung thư da, ung thư xương.
- Cần lưu ý là các cơ quan cảm giác của người không thể phát hiện được các tác động của phóng xạ lên cơ thể, chỉ khi nào có hậu quả mới biết được.

1.4 Các yếu tố nguy hiểm gây chấn thương và biện pháp phòng ngừa.

1.4.1 Các yếu tố nguy hiểm gây chấn thương sản xuất.

Các yếu tố nguy hiểm gây chấn thương sản xuất chủ yếu do cơ cấu, đặc trưng quá trình công nghệ của các dây chuyền sản xuất gây ra như :

- + Có các cơ cấu chuyển động, khớp nối truyền động.
- + Chi tiết, vật liệu gia công văng bắn ra (cắt, mài đập, nghiền...)
- + Điện giật.
- + Yếu tố về nhiệt : Kim loại nóng chảy, vật liệu nung nóng, nước nóng (luyện kim, sản xuất vật liệu xây dựng...)
- + Chất độc công nghiệp, các chất lỏng hoạt tính (a xít, kiềm..)
- + Bụi (sản xuất xi măng...)

- + Nguy hiểm về nổ, cháy, áp suất cao (sản xuất pháo hoa, vũ khí, lò hơi ...)
- + Làm việc trên cao, vật rơi từ trên cao xuống (xây dựng).

1.4.2 Nguyên nhân gây chấn thương .

a) Nhóm các nguyên nhân kỹ thuật.

- Quá trình công nghệ chứa đựng các yếu tố nguy hiểm, có hại: có các bộ phận chuyển động, bụi, tiếng ồn...

- Thiết kế, kết cấu không đảm bảo, không thích hợp với đặc điểm sinh lý của người sử dụng; độ bền kém; thiếu các tín hiệu, cơ cấu báo hiệu, ngăn ngừa quá tải như van an toàn, phanh hãm, chiếu sáng không thích hợp; ồn, rung vượt quá mức cho phép, ...

- Không thực cơ khí hoá, tự động hoá những khâu lao động nặng nhọc, nguy hiểm.

- Không thực hiện hoặc thực hiện không đúng các qui tắc kỹ thuật an toàn như các thiết bị áp lực không được kiểm nghiệm trước khi đưa vào sử dụng, thiếu hoặc sử dụng không đúng các phương tiện bảo vệ cá nhân....

b) Nhóm các nguyên nhân về quản lý, tổ chức.

- Tổ chức, sắp xếp chỗ làm việc không hợp lý, tư thế thao tác khó khăn.
- Tổ chức tuyển dụng, phân công, huấn luyện, giáo dục không đúng, không đạt yêu cầu.

1.4.3 Các biện pháp và phương tiện kỹ thuật an toàn cơ bản.

a) Biện pháp an toàn đối với bản thân người lao động .

- Thực hiện thao tác, tư thế lao động phù hợp, đúng nguyên tắc an toàn, tránh các tư thế cúi gập người, các tư thế có thể gây chấn thương cột sống, thoát vị đĩa đệm...
- Bảo đảm không gian vận động, thao tác tối ưu, sự thích nghi giữa người và máy...
- Đảm bảo các điều kiện lao động thị giác, thính giác, xúc giác....
- Đảm bảo tâm lý phù hợp, tránh quá tải, căng thẳng hay đơn điệu.

b) Thực hiện các biện pháp che chắn an toàn.

Mục đích của thiết bị che chắn an toàn là cách li các vùng nguy hiểm đối với người lao động như các vùng có điện áp cao, có các chi tiết chuyển động, những nơi người có thể rơi, ngã .

Yêu cầu đối với thiết bị che chắn là :

- Ngăn ngừa được các tác động xấu, nguy hiểm gây ra trong quá trình sản xuất.

- Không gây trở ngại, khó chịu cho người lao động.
- Không ảnh hưởng đến năng suất lao động, công suất thiết bị.

Phân loại các thiết bị che chắn :

- Che chắn các bộ phận, cơ cấu chuyển động.
- Che chắn các bộ phận dẫn điện.
- Che chắn các nguồn bức xạ có hại.
- Che chắn hào, hố, các vùng làm việc trên cao..
- Che chắn cố định, che chắn tạm thời.

c) Sử dụng thiết bị và cơ cấu phòng ngừa.

Mục đích sử dụng thiết bị và cơ cấu phòng ngừa là để ngăn chặn các tác động xấu do sự cố của quá trình sản xuất gây ra, ngăn chặn, hạn chế sự cố lan rộng. Sự cố gây ra có thể do sự quá tải (về áp suất, nhiệt độ, điện áp...) hoặc do các hư hỏng ngẫu nhiên của các chi tiết, phần tử của thiết bị.

Nhiệm vụ của thiết bị và cơ cấu phòng ngừa là phải tự động loại trừ nguy cơ sự cố hoặc tai nạn khi đối tượng phòng ngừa vượt quá giới hạn qui định.

Thiết bị phòng ngừa chỉ làm việc tốt khi đã tính toán đúng ở khâu thiết kế, chế tạo và nhất là khi sử dụng phải tuân thủ các qui định về kỹ thuật an toàn.

Phân loại thiết bị và cơ cấu phòng ngừa :

- Hệ thống có thể tự phục hồi lại khả năng làm việc khi đối tượng phòng ngừa đã trở lại dưới giới hạn qui định như van an toàn kiểu tải trọng, rơ le nhiệt...
- Hệ thống phục hồi lại khả năng làm việc bằng cách thay thế cái mới như cầu chì, chốt cấm...

d) Sử dụng các tín hiệu, dấu hiệu an toàn.

Tín hiệu an toàn nhằm mục đích:

- Báo trước cho người lao động những nguy hiểm có thể xảy ra.
- Hướng dẫn các thao tác cần thiết .
- Nhận biết qui định về kỹ thuật và an toàn qua các dấu hiệu qui ước về màu sắc, hình vẽ (biển báo chỉ đường...).

Tín hiệu an toàn có thể dung :

- Ánh sáng, màu sắc.
- Âm thanh : còi chuông...
- Màu sơn, hình vẽ, chữ.

- Đồng hồ, dụng cụ đo lường.

Yêu cầu đối với tín hiệu an toàn :

- Dễ nhận biết.
- Độ tin cậy cao, ít nhầm lẫn.
- Dễ thực hiện, phù hợp với tập quán, cơ sở khoa học kỹ thuật và yêu cầu của tiêu chuẩn hoá.

e) Đảm bảo khoảng cách và kích thước an toàn.

Khoảng cách an toàn là là khoảng không gian tối thiểu giữa người lao động và các phương tiện, thiết bị, hoặc khoảng cách nhỏ nhất giữa chúng với nhau để không bị tác động xấu của các yếu tố sản xuất như khoảng cách giữa đường dây dẫn điện đến người, khoảng cách an toàn khi nổ mìn, khoảng cách giữa các máy móc, khoảng cách trong chặt cây, kéo gỗ, khoảng cách an toàn về phóng xạ...

Tùy thuộc vào quá trình công nghệ, đặc điểm của từng loại thiết bị mà qui định các khoảng cách an toàn khác nhau..

f) Thực hiện cơ khí hoá, tự động hoá và điều khiển từ xa..

Đó là biện pháp nhằm giải phóng người lao động khỏi khu vực nguy hiểm , độc hại. Các trang thiết bị cơ khí hoá, tự động hoá và điều khiển từ xa thay thế con người thực hiện các thao tác từ xa, trong điều kiện khó khăn, nguy hiểm , đồng thời nâng cao được năng suất lao động.

g) Trang bị các phương tiện bảo vệ cá nhân.

Trang bị phương tiện bảo vệ cá nhân là biện pháp bảo vệ bổ sung, hỗ trợ nhưng có vai trò rất quan trọng khi các biện pháp bảo vệ khác vẫn không đảm bảo an toàn cho người lao động, nhất là trong điều kiện thiết bị, công nghệ lạc hậu.

Các trang bị , phương tiện bảo vệ cá nhân có thể bao gồm :

- Trang bị bảo vệ mắt :các loại kính bảo vệ khác nhau.
- Trang bị bảo vệ cơ quan hô hấp :mặt nạ, khẩu trang, bình thở...
- Trang bị bảo vệ cơ quan thính giác nhằm ngăn ngừa tiếng ồn.như nút bịt tai, bao úp tai..
- Trang bị bảo vệ đầu, chân tay : các loại mũ, giày, bao tay..
- Quần áo bảo hộ lao động : bảo vệ người lao động khỏi các tác động về nhiệt, về hoá chất, về phóng xạ, áp suất...

Trang bị phương tiện cá nhân phải được sản xuất theo tiêu chuẩn chất lượng nhà nước, việc cấp phát, sử dụng phải theo qui định của pháp luật. Người sử dụng lao động phải tiến hành kiểm tra chất lượng phương tiện bảo vệ cá nhân trước khi cấp phát và kiểm tra định kỳ theo tiêu chuẩn khi đưa vào sử dụng.

h) Thực hiện kiểm nghiệm dự phòng thiết bị.

Kiểm nghiệm độ bền, độ tin cậy của máy móc, thiết bị, công trình, các bộ phận của chúng là biện pháp an toàn nhất thiết trước khi đưa chúng vào sử dụng. Mục đích của kiểm nghiệm dự phòng là đánh giá chất lượng của thiết bị về các mặt tính năng, độ bền, độ tin cậy để quyết định có đưa thiết bị vào sử dụng hay không. Kiểm nghiệm dự phòng được tiến hành định kỳ, hoặc sau những kỳ sửa chữa, bảo dưỡng.

CHƯƠNG 2

CÁC KHÁI NIỆM VỀ AN TOÀN ĐIỆN

2.1. TÁC DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN ĐỐI VỚI CƠ THỂ CON NGƯỜI

Người bị điện giật là do tiếp xúc với mạch điện có điện áp hay nói một cách khác là do có dòng điện chạy qua cơ thể người. Dòng điện chạy qua cơ thể người sẽ gây ra các tác dụng sau đây:

- Tác dụng nhiệt: làm cháy bỏng thân thể, thần kinh, tim não và các cơ quan nội tạng khác gây ra các rối loạn nghiêm trọng về chức năng.
- Tác dụng điện phân: biểu hiện ở việc phân ly máu và các chất lỏng hữu cơ dẫn đến phá huỷ thành phần hoá lý của máu và các tế bào.
- Tác dụng sinh lý: gây ra sự hưng phấn và kích thích các tổ chức sống dẫn đến co rút các bắp thịt trong đó có tim và phổi. Kết quả có thể đưa đến phá hoại, thậm chí làm ngừng hẳn hoạt động hô hấp và tuần hoàn.

Các nguyên nhân chủ yếu gây chết người bởi dòng điện thường là tim phổi ngừng làm việc và sốc điện:

Tim ngừng đập là trường hợp nguy hiểm nhất và thường cứu sống nạn nhân hơn là ngừng thở và sốc điện. Tác dụng dòng điện đến cơ tim có thể gây ra ngừng tim hoặc rung tim. Rung tim là hiện tượng co rút nhanh và lộn xộn các sợi cơ tim làm cho các mạch máu trong cơ thể bị ngừng hoạt động dẫn đến tim ngừng đập hoàn toàn.

Ngừng thở thường xảy ra nhiều hơn so với ngừng tim, người ta thấy bắt đầu khó thở do sự co rút do có dòng điện 20-25mA tần số 50Hz chạy qua cơ thể. Nếu dòng điện tác dụng lâu thì sự co rút các cơ lồng ngực mạnh thêm dẫn đến ngạt thở, dần dần nạn nhân mất ý thức, mất cảm giác rồi ngạt thở cuối cùng tim ngừng đập và chết lâm sàng.

Sốc điện là phản ứng phản xạ thần kinh đặc biệt của cơ thể do sự hưng phấn mạnh bởi tác dụng của dòng điện dẫn đến rối loạn nghiêm trọng tuần hoàn, hô hấp và quá trình trao đổi chất. Tình trạng sốc điện kéo dài độ vài chục phút cho đến một ngày đêm, nếu nạn nhân được cứu chữa kịp thời thì có thể bình phục.

Hiện nay còn nhiều ý kiến khác nhau trong việc xác định nguyên nhân đầu tiên và quan trọng nhất dẫn đến chết người. ý kiến thứ nhất cho rằng đó là do tim ngừng đập song loại ý kiến thứ hai lại cho rằng đó là do phổi ngừng thở vì theo họ trong nhiều trường hợp tai nạn điện giật thì nạn nhân đã được cứu sống chỉ đơn thuần bằng biện pháp hô hấp nhân tạo thôi. Loại ý kiến thứ ba cho rằng khi có dòng điện qua người thì đầu tiên nó phá hoại hệ thống hô hấp sau đó nó làm ngừng trệ hoạt động tuần hoàn.

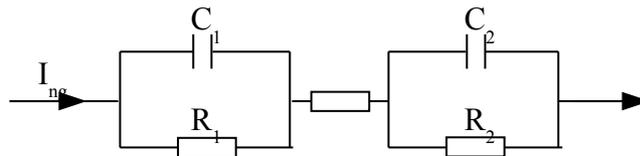
Do có nhiều quan điểm khác nhau như vậy nên hiện nay trong việc cứu chữa nạn nhân bị điện giật người ta khuyên nên áp dụng tất cả các biện pháp để vừa phục hồi hệ thống hô hấp (thực hiện hô hấp nhân tạo) vừa phục hồi hệ thống tuần hoàn (xoay bóp tim)

2.2. ĐIỆN TRỞ CƠ THỂ NGƯỜI:

Thân thể người ta gồm có da thịt xương máu...tạo thành và có một tổng trở nào đó đối với dòng điện chạy qua người. Lớp da có điện trở lớn nhất mà điện trở của da là do điện trở của lớp sừng trên da quyết định. Điện trở của người là một đại lượng rất không ổn định và không chỉ phụ thuộc vào trạng thái sức khỏe của cơ thể người từng lúc mà còn phụ thuộc vào môi trường xung quanh, điều kiện tổn thương...

Qua nghiên cứu rút ra một số kết luận cơ bản về giá trị điện trở cơ thể người như sau:

❶ Điện trở cơ thể người là một đại lượng không thuần nhất. Thí nghiệm cho thấy dòng điện đi qua người và điện áp đặt vào có sự lệch pha. Sơ đồ thay của điện trở người có thể biểu diễn bằng hình vẽ sau:



Trong đó:

R_1 : điện trở tác dụng của da

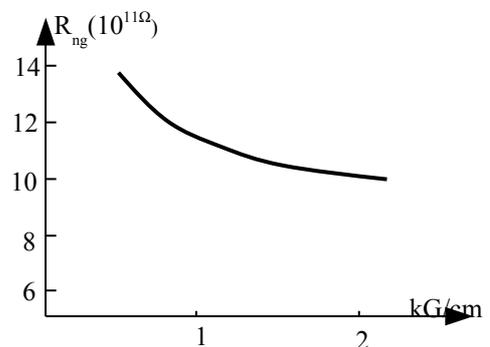
R_2 : điện trở của tổng các bộ phận bên trong cơ thể người

C: điện dung của da và lớp thịt dưới da

Vì thành phần điện dung rất bé nên trong tính toán thường bỏ qua.

❷ Điện trở của người luôn luôn thay đổi trong một phạm vi rất lớn từ vài chục ngàn Ω đến 600Ω . Trong tính toán thường lấy giá trị trung bình là 1000Ω . Khi da bị ẩm hoặc khi tiếp xúc với nước hoặc do mồ hôi đều làm cho điện trở người giảm xuống.

❸ Điện trở của người phụ thuộc vào áp lực và diện tích tiếp xúc. Áp lực và diện tích tiếp xúc càng tăng thì điện trở người càng giảm. Sự thay đổi này rất dễ nhìn thấy trong vùng áp lực nhỏ hơn 1kG/cm^2 (hình 2.1).



Hình 2.1: Sự phụ thuộc của điện trở người vào áp lực tiếp xúc

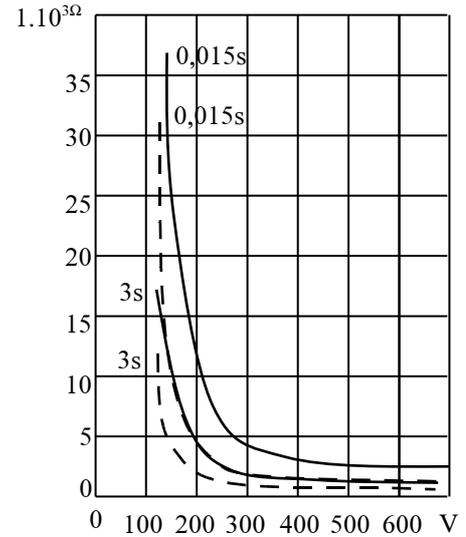
❹ Điện trở người giảm đi khi có dòng điện đi qua người, giảm tỉ lệ với thời gian tác dụng của dòng điện. Điều này có thể giải thích vì da bị đốt nóng và có sự thay đổi về điện phân

Trang

⑤ Điện trở người phụ thuộc điện áp đặt vào vì ngoài hiện tượng điện phân còn có hiện tượng chọc thủng. Khi điện áp đặt vào ~250V lúc này lớp da ngoài cùng mất hết tác dụng nên điện trở người giảm xuống rất thấp.

Hình 2.2: Sự phụ thuộc điện trở người vào điện áp ứng với các thời gian tiếp xúc khác nhau (0,015s và 3s).

———— Đường đi của dòng điện tay – tay
 - - - - - Đường đi của dòng điện tay - chân



2.3. ẢNH HƯỞNG CỦA TRỊ SỐ DÒNG ĐIỆN GIẬT ĐẾN TAI NẠN ĐIỆN

Dòng điện là nhân tố vật lý trực tiếp gây tổn thương khi bị điện giật. Cho tới nay vẫn còn nhiều ý kiến khác nhau về giá trị dòng điện có thể gây nguy hiểm chết người. Trường hợp chung thì dòng điện 100mA xoay chiều gây nguy hiểm chết người. Tuy vậy cũng có trường hợp dòng điện chỉ khoảng 5- 10mA đã làm chết người bởi vì còn tùy thuộc vào nhiều yếu tố khác nữa như điều kiện nơi xảy ra tai nạn, sức khoẻ trạng thái thần kinh của từng nạn nhân, đường đi của dòng điện ..

Trong tính toán thường lấy trị số dòng điện an toàn là 10mA đối với dòng điện xoay chiều và 50mA với dòng điện một chiều. Bảng 2.1 cho phép đánh giá tác dụng của dòng điện đối với cơ thể người:

Bảng 2-1

Trị số dòng điện (mA)	Tác dụng của dòng điện xoay chiều	Tác dụng của dòng điện một chiều
0.6-1.5	Bắt đầu thấy ngón tay tê	Không có cảm giác gì
2 - 3	Ngón tay tê rất mạnh	Không có cảm giác gì
3 - 7	Bắp thịt co lại và rung	Đau như kim châm cảm thấy nóng
8 - 10	Tay đã khó rời khỏi vật có điện nhưng vẫn rời được. Ngón tay, khớp tay, lòng bàn tay cảm thấy đau	Nóng tăng lên
20 - 25	Tay không rời khỏi vật có điện, đau khó thở	Nóng càng tăng lên thịt co quắp lại nhưng chưa mạnh
50 - 80	Cơ quan hô hấp bị tê liệt. Tim bắt đầu đập mạnh	Cảm giác nóng mạnh. Bắp thịt ở tay co rút, khó thở.
90 - 100	Cơ quan hô hấp bị tê liệt. Kéo dài 3 giây hoặc dài hơn tim bị tê liệt đến ngừng đập	Cơ quan hô hấp bị tê liệt

Qua bảng 2-1 ta thấy dòng điện xoay chiều nguy hiểm hơn dòng một chiều vì:

Trang

- Qua nghiên cứu người ta thấy rằng trị số dòng điện tác dụng lên người không phải là trị số hiệu dụng mà là trị số biên độ của nó.
- Đối với dòng xoay chiều trên cơ thể người tồn tại nhiều vùng nhạy nguy hiểm.

2.4. ẢNH HƯỞNG CỦA DÒNG ĐIỆN GIẬT ĐẾN TAI NẠN ĐIỆN GIẬT

Về đường đi của dòng điện qua người có thể có rất nhiều trường hợp khác nhau, tuy vậy có những đường đi cơ bản thường gặp là: dòng qua tay - chân, tay - tay, chân - chân. Một vấn đề còn tranh cãi là đường đi nào là nguy hiểm nhất.

Đa số các nhà nghiên cứu cho rằng đường đi nguy hiểm nhất phụ thuộc vào số phần trăm dòng điện tổng qua tim và phổi. Theo quan điểm này thì dòng điện đi từ tay phải qua chân, đầu qua chân, đầu qua tay là những đường đi nguy hiểm nhất vì:

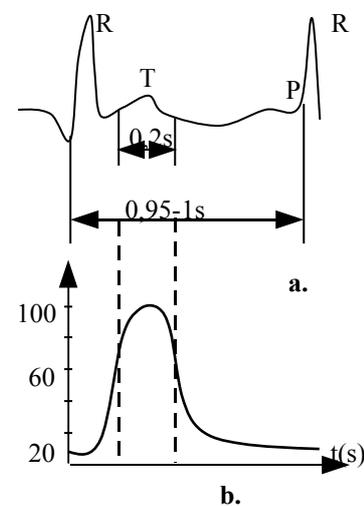
- Dòng đi từ tay qua tay có 3.3% dòng điện tổng qua tim
- Dòng đi từ tay trái qua chân có 3.7% dòng điện tổng qua tim
- Dòng đi từ tay phải qua chân có 6.7% dòng điện tổng qua tim
- Dòng đi từ chân qua chân có 0.4% dòng điện tổng qua tim
- Dòng đi từ đầu qua tay có 7% dòng điện tổng qua tim
- Dòng đi từ đầu qua chân có 6.8% dòng điện tổng qua tim.

2.5. ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN DÒNG ĐIỆN QUA NGƯỜI ĐẾN TAI NẠN ĐIỆN GIẬT

Yếu tố thời gian tác động của dòng điện vào cơ thể người rất quan trọng và biểu hiện dưới nhiều hình thái khác nhau. Đầu tiên chúng ta thấy thời gian tác dụng của dòng điện ảnh hưởng đến điện trở của người. Thời gian tác dụng càng lâu, điện trở của người càng bị giảm xuống vì lớp da bị nóng dần và lớp sừng trên da bị chọc thủng càng nhiều. Thứ hai là thời gian tác dụng của dòng điện càng lâu thì xác suất trùng hợp với thời điểm chạy qua tim với pha T (là pha dễ thương tổn nhất của chu trình tim) tăng lên. Hay nói một cách khác trong mỗi chu kỳ của tim kéo dài độ một giây có 0,4s tim nghỉ làm việc (giữa trạng thái co và giãn) ở thời điểm này tim rất nhạy cảm với dòng điện đi qua nó.

Hình 2.3: Sự nguy hiểm khi thời điểm dòng điện chạy qua tim trùng với pha T của chu trình tim.

- Điện tâm đồ của người khoẻ
- Đặc tính phụ thuộc giữa xác suất xảy ra tai nạn và thời điểm dòng điện chạy qua tim



2.6. ẢNH HƯỞNG CỦA TẦN SỐ DÒNG ĐIỆN GIẬT ĐẾN TAI NẠN ĐIỆN

Trang

GIẬT:

Ta xét xem khi tần số thay đổi thì tai nạn xảy ra nặng hay nhẹ

Theo lý luận thông thường thì khi tần số f tăng lên thì tổng trở cơ thể người giảm xuống vì điện kháng của da người do điện dung tạo ra: ... dẫn đến dòng điện tăng càng nguy hiểm. Tuy nhiên qua thực tế và nghiên cứu người ta thấy rằng tần số nguy hiểm nhất là từ (50 - 60)Hz. Nếu tần số lớn hơn tần số này thì mức độ nguy hiểm giảm còn nếu tần số bé hơn thì mức độ nguy hiểm cũng giảm.

Có thể giải thích như sau: Lúc đặt dòng điện một chiều vào tế bào, các phân tử trong tế bào bị phân thành những ion khác dấu và bị hút ra màng tế bào. Như vậy phân tử bị phân cực hoá, các chức năng sinh vật hoá học của tế bào bị phá hoại đến mức độ nhất định. Bây giờ nếu đặt nguồn điện xoay chiều vào thì ion cũng chạy theo hai chiều khác nhau ra phía ngoài của màng tế bào. Nhưng khi dòng điện đổi chiều thì chuyển động của ion cũng ngược lại. Với tần số nào đó của dòng điện, tốc độ của ion đủ lớn để trong một chu kỳ chạy được hai lần bề rộng của tế bào thì trường hợp này mức độ kích thích lớn nhất, chức năng sinh vật - hoá học của tế bào bị phá hoại nhiều nhất. Nếu dòng điện có tần số cao thì khi dòng điện đổi chiều thì ion chưa kịp đập vào màng tế bào.

Khi nghiên cứu tác hại của dòng điện một chiều đối với người thấy rằng ở trường hợp một chiều điện trở của người lớn hơn xoay chiều. Điều này có thể giải thích là ở một chiều có điện dung và sự phân cực tăng lên. Nghiên cứu thấy rằng khi dòng điện một chiều lớn hơn 80mA mới ảnh hưởng đến tim và cơ quan hô hấp của con người.

2.7. HIỆN TƯỢNG DÒNG ĐIỆN ĐI TRONG ĐẤT

Khi cách điện của thiết bị điện bị chọc thủng sẽ có dòng điện chạm đất, dòng điện này đi vào đất trực tiếp hay qua một cấu trúc nào đó.

Về phương diện an toàn mà nói thì dòng điện chạm đất thay đổi cơ bản trạng thái của mạng điện (điện áp giữa dây dẫn và đất thay đổi xuất hiện các thế hiệu khác nhau giữa các điểm trên mặt đất gần chỗ chạm đất). Dòng điện đi vào đất sẽ tạo nên ở điểm chạm đất một vùng dòng điện rò trong đất và điện áp trong vùng này phân bố theo một quy luật nhất định. Để đơn giản nghiên cứu hiện tượng này ta giải thích dòng điện chạm đất đi vào đất qua một cực kim loại hình bán cầu. Đất thì thuần nhất và có điện trở suất là ρ (tính bằng Ohm.cm). Như thế có thể xem như dòng điện đi từ tâm hình bán kính cầu tỏa ra theo đường bán kính.

Trên cơ sở lý thuyết tượng tự ta có thể xem trường của dòng điện đi trong đất giống dạng trường trong tĩnh điện, nghĩa là tập hợp của những đường sức và đường đẳng thế của chúng giống nhau.

Đại lượng cơ bản trong điện trường của môi trường dẫn điện là mật độ dòng điện J . Vectơ này hướng theo hướng của vectơ cường độ điện trường.

Trang

Phương trình để khảo sát điện trường trong đất là phương trình theo định luật Ohm dưới dạng vi phân :

$$E = J \cdot \rho$$

Trong đó : ρ là điện trở suất.

E là điện áp trên đơn vị chiều dài dọc theo đường đi của dòng điện .

Mật độ dòng điện tại điểm cách tâm bán cầu 1 khoảng X bằng :

$$J = \frac{I_d}{2\pi \cdot X^2}$$

ở đây I_d là dòng điện chạm đất.

Điện áp trên một đoạn vô cùng bé dX (Xem hình 2.4) dọc trên đường đi của

dòng điện là :

$$dU = E \cdot dX = J \cdot \rho \cdot dX = \frac{I_d}{2\pi X^2} \rho \cdot dX$$

Điện áp tại một điểm A nào đấy cũng tức là hiệu số điện thế giữa điểm A và điểm vô cùng xa (thế của điểm vô cùng xa có thể xem như bằng 0) bằng :

$$U_A = \int_{x_A}^{\infty} dU = \frac{I_d \rho}{2\pi} \int_{x_A}^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{I_d \rho}{2\pi X_A}$$

Nếu dịch chuyển điểm A đến gần mặt của vật nối đất ta có điện áp cao nhất đối với đất U_d :

$$U_d = \frac{I_d \cdot \rho}{2\pi \cdot X_d}$$

Trong đó X_d là bán kính của vật nối đất hình bán cầu.

Ở đây ta xem bản thân vật nối đất có bán kính X_d như vật mà các điểm của nó có điện áp như nhau. Giả thiết này dựa trên cơ sở vật nối đất có điện dẫn rất lớn (Ví dụ : điện dẫn của thép gần như bằng 10^9 lần điện dẫn của đất)

Ta có thể viết :

$$\frac{U_A}{U_d} = \frac{X_d}{X_A}$$

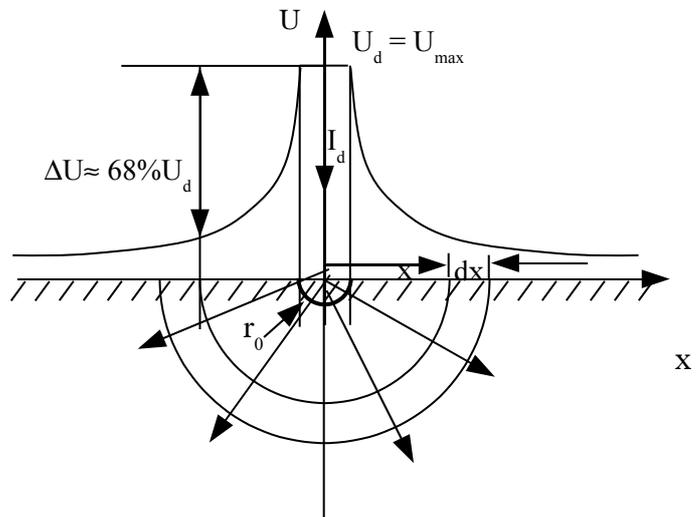
Hay :

$$U_A = U_d \cdot \frac{X_d}{X_A}$$

Thay tích $U_d \cdot X_d = K$ (là một hằng số ứng với những điều kiện nhất định) ta có

phương trình hyperbol sau :

$$U_A = \frac{K}{X_A}$$



Hình 2.4: Dòng chạm đất đi vào đất qua bán cực bán cầu

Trang

+ Như vậy, sự phân bố điện áp trong vùng dòng điện rò trong đất đối với điểm vô cực ngoài vùng dòng điện rò có dạng hyperbol.

+ Tại điểm chạm đất trên mặt của vật nổi đất ta có điện áp đối với đất là cực đại.

+ Không riêng gì vật nổi đất có dạng hình bán cầu mà ngay đối với các dạng khác của vật nổi đất như hình ống, thanh, chữ nhật... cũng đều có sự phân bố điện áp gần giống hình hyperbol.

Dùng cách đo trực tiếp điện áp từng điểm trên mặt đất quanh chỗ chạm đất ta cũng vẽ được đường cong phân bố điện áp đối với đất trong vùng dòng điện rò trong đất có dạng hyperbol.

+ Khi $x = r_0$

Ta được $U_{r_0} = \frac{I_d \rho}{2\pi \cdot r_0} = U_d$: gọi là

điện thế đất (điện thế tại bề mặt điện cực)

Đặt $R_d = \frac{\rho}{2\pi \cdot r_0}$: gọi là điện trở

nổi đất của điện cực kim loại bán cầu. R_d chỉ phụ thuộc vào điện trở suất ρ của đất không phụ thuộc vào điện trở kim loại. R_d còn gọi là điện trở tản.

Trong thực tế điện trở suất của kim loại rất nhỏ so với điện trở suất của đất vì thế có thể xem điện cực là đẳng thế. Lúc này điện thế trên bề mặt kim loại là:

$$U_{\max} = U_d = I_d \cdot R_d$$

+ Khi $x > 20m$ thì có thể xem như ngoài vùng dòng điện rò hay còn được gọi là những điểm có điện áp bằng không

+ Trong vùng gần 1m cách vật nổi đất chiếm 68% điện áp rơi

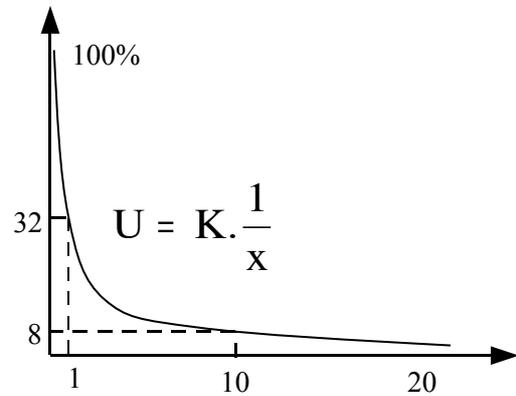
Những nhận xét trên đây cũng đúng với các loại điện cực khác, chỉ có hàm phân bố điện thế là khác (công thức khác)

2.8. ĐIỆN ÁP TIẾP XÚC VÀ ĐIỆN ÁP BƯỚC

2.8.1. Điện áp tiếp xúc

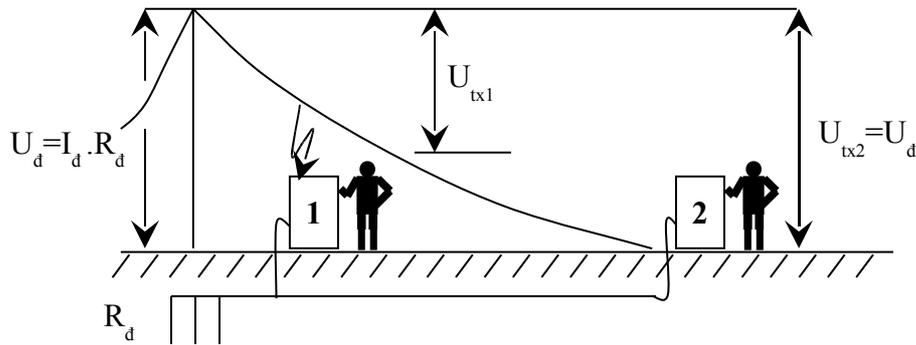
Trong quá trình tiếp xúc với thiết bị điện, nếu có mạch điện khép kín qua người thì điện áp giáng lên người lớn hay nhỏ là tùy thuộc vào điện trở khác mắc nối tiếp với người.

Điện áp đặt vào người (tay-chân) khi người chạm phải vật có mang điện áp gọi là điện áp tiếp xúc. Hay nói cách khác điện áp giữa tay người khi chạm vào vật có mang điện áp và đất nơi người đứng gọi là điện áp tiếp xúc.



Hình 2.5: Đường cong chỉ sự phân bố điện áp của các điểm trên mặt đất lúc có chạm đất.

Vì chúng ta nghiên cứu an toàn trong điều kiện chạm vào một pha là chủ yếu cho nên có thể xem điện áp tiếp xúc là thế giữa hai điểm trên đường dòng điện đi mà người có thể chạm phải.



Hình 2.6:

Trên hình 2.6 vẽ hai thiết bị điện (động cơ, máy sản xuất...) có vỏ máy được nối với vật nối đất có điện trở đất là R_d . Giả sử cách điện của một pha của thiết bị 1 bị chọc thủng và có dòng điện chạm đất đi từ vỏ thiết bị vào đất qua vật nối đất. Lúc này, vật nối đất cũng như vỏ các thiết bị có nối đất đều mang điện áp đối với đất là :

$$U_d = I_d \cdot R_d$$

Trong đó , I_d là dòng điện chạm đất.

Tay người chạm vào thiết bị nào cũng đều có điện áp là U_d trong lúc đó điện áp của chân người U_{ch} lại phụ thuộc người đứng tức là phụ thuộc vào khoảng cách từ chỗ đứng đến vật nối đất. Kết quả là người bị tác động của hiệu số điện áp đặt vào tay và chân, đó là điện áp tiếp xúc :

$$U_{tx} = U_d - U_{ch}$$

Như vậy, điện áp tiếp xúc phụ thuộc vào khoảng cách từ vỏ thiết bị được nối đất.

Trường hợp chung có thể biểu diễn điện áp tiếp xúc theo biểu thức :

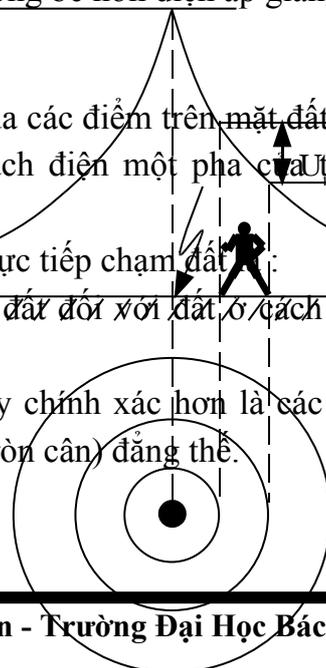
$$U_{tx} = \alpha \cdot U_d \quad \text{trong đó } \alpha \text{ là hệ số tiếp xúc } (\alpha \leq 1)$$

Trong thực tế điện áp tiếp xúc thường bé hơn điện áp giáng trên vật nối đất.

2.8.2. Điện áp bước

Trên hình 1.7 vẽ sự nhân hố thế của các điểm trên mặt đất lúc có pha chạm đất (do dây dẫn 1 pha rớt chạm đất tại đây cách điện một pha của thiết bị điện bị chọc thủng...)

- Ta biết điện áp đối với đất ở chỗ trực tiếp chạm đất :
- + Điện áp của các điểm trên mặt đất đối với đất ở cách xa chỗ chạm/đất từ 20m trở lên có thể xem bằng không.
- + Những vòng tròn đồng tâm (hay chính xác hơn là các mặt phẳng mà tâm điểm là chỗ chạm đất chính là các vòng tròn cân) đẳng thế.
- + Khi người



Hình 2.7: Phân bố thế của các điểm trên mặt đất

Trang

đứng trên mặt đất gần chỗ chạm đất thì hai chân người thường ở hai vị trí khác nhau cho nên người sẽ bị một điện áp nào đó tác dụng lên đó là điện áp bước. Điện áp bước là điện áp giữa hai chân

người đứng trong vùng có dòng

chạm đất. Gọi U_b là điện áp bước

ta có :

$$U_b = U_{ch1} - U_{ch2}$$

Trong đó : U_{ch1} , U_{ch2} là điện áp đặt vào hai chân người.

Hay nếu chân thứ nhất đứng ở vị trí cách điểm chạm đất là x còn chân thứ hai ở vị trí $(x+a)$ thì :

$$U_b = U_{ch1} - U_{ch2} = U_x + U_{x+a} = \frac{I_d \cdot \rho}{2\pi} \int_x^{x+a} \frac{dx}{x^2} = \frac{I_d \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_d \cdot \rho \cdot a}{2\pi x(x+a)}$$

Trong đó: a là độ dài khoảng bước của chân người, thường lấy $a = 0,8$ m.

Từ công thức trên ta thấy càng xa chỗ chạm đất thì điện áp bước càng bé (khác với điện áp tiếp xúc). Ở khoảng cách xa chỗ chạm đất 20m trở lên có thể xem điện áp bước bằng không.

Ví Dụ : Nếu có sự chạm đất với dòng chạm đất $I_d = 100A$ ở nơi có điện trở suất của đất là $\rho = 10^4 \text{ Ohm.cm}$ thì điện áp bước đặt vào người khi người đứng cách chỗ chạm đất 2,2m (220cm) là :

$$U_b = \frac{100.80.10^4}{2\pi \cdot 220.300} = 193V \quad \text{ở đây ta lấy } a = 80\text{cm.}$$

+ Điện áp bước có thể bằng 0 mặc dầu người đứng gần chỗ chạm đất, đó là trường hợp khi hai chân người đều đặt trên cùng một vòng tròn đẳng thế.

+ Điện áp bước có thể đạt đến trị số lớn vì vậy mặc dù không tiêu chuẩn hoá điện áp bước nhưng để bảo đảm an toàn tuyệt đối cho người, quy định là khi có xảy ra chạm đất phải cấm người đến gần chỗ bị chạm khoảng cách sau :

- Từ 4÷5 m đối với thiết bị trong nhà.

Trang

- Từ 8÷10 m đối với thiết bị ngoài trời.

Người ta không tiêu chuẩn hoá điện áp bước nhưng không nên cho rằng điện áp bước không nguy hiểm đến tính mạng con người. Dòng điện qua hai chân người thường ít nguy hiểm nhưng với trị số lớn (trên 100V) thì các bắp cơ của người có thể bị co rút làm người ngã xuống và lúc đó sơ đồ nối điện sẽ thay đổi nguy hiểm hơn.

2.9. ĐIỆN ÁP CHO PHÉP:

Trị số dòng điện qua người là yếu tố quan trọng nhất gây ra tai nạn chết người nhưng dự đoán trị số dòng điện qua người trong nhiều trường hợp không thể làm được bởi vì ta biết rằng trị số đó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố khó xác định được. Vì vậy, xác định giới hạn an toàn cho người không đưa ra khái niệm “dòng điện an toàn”, mà theo khái niệm “điện áp cho phép”. Dùng “điện áp cho phép” rất thuận lợi vì với mỗi mạng điện thường có một điện áp tương đối ổn định đã biết. Cũng cần nhấn mạnh rằng “điện áp cho phép” ở đây cũng có tính chất tương đối, đừng nghĩ rằng “điện áp cho phép” là an toàn tuyệt đối với người vì thực tế đã xảy ra nhiều tai nạn điện nghiêm trọng ở các cấp điện áp rất thấp.

Tuỳ theo mỗi bước mà điện áp cho phép qui định khác nhau :

- Ba Lan, Thụy Sĩ, Tiệp Khắc điện áp cho phép là 50V
- Hà Lan, Thụy Điển điện áp cho phép là 24V
- Ở Pháp qui định là 24 V
- Ở Liên Xô tuỳ theo môi trường làm việc mà trị số điện áp cho phép có thể là 12V, 36V, 65 V.

2.10. PHÂN LOẠI XÍ NGHIỆP THEO QUAN ĐIỂM AN TOÀN ĐIỆN:

Môi trường xung quanh như bụi, độ ẩm, nhiệt độ, ... ảnh hưởng rất lớn đến tai nạn điện giết vì vậy theo quy định an toàn điện các xí nghiệp (hay nơi đặt thiết bị điện) được chia ra :

a. Nơi (Xí nghiệp) nguy hiểm: Đó là nơi có một trong các yếu tố sau :

- Ẩm (độ ẩm tương đối của không khí vượt quá 75% trong thời gian dài.
- Có bụi dẫn điện (bụi dẫn điện bám vào dây dẫn, hay lọt vào trong thiết bị điện)
- Có nền, sàn nhà dẫn điện (sàn bằng kim loại, đất, bê tông cốt thép hoặc gạch)
- Có nhiệt độ cao (nhiệt độ vượt quá 35 °C trong thời gian dài hơn 1 ngày đêm.
- Những nơi mà người đồng thời tiếp xúc với 1 bên là các kết cấu kim loại của nhà cửa, máy móc, thiết bị... đã được nối đất và 1 bên là vỏ kim loại của các thiết bị điện.

b. Những nơi (Xí nghiệp) đặc biệt nguy hiểm là nơi có 1 trong các yếu tố sau:

Trang

- Rất ẩm: độ ẩm tương đối của không khí xấp xỉ 100% (Trần, tường, sàn nhà và đồ vật trong nhà có đọng sương)
 - Môi trường có hoạt tính hoá học: Thường xuyên hay trong thời gian dài chứa hơi, khí, chất lỏng có thể dẫn đến phá huỷ cách điện và các bộ phận mang điện của thiết bị điện.
 - Đồng thời có từ hai hay nhiều hơn các yếu tố của nơi nguy hiểm đã kể ở trên, ví dụ như vừa ẩm vừa có sàn nhà dẫn điện .
- c. Nơi ít nguy hiểm: Là nơi không thuộc 2 loại trên.

CHƯƠNG 3

PHÂN TÍCH AN TOÀN CÁC MẠNG ĐIỆN

3.1. KHÁI NIỆM:

Phân tích an toàn trong mạng điện là tính toán, xác định giá trị dòng điện qua người trong các điều kiện khác nhau mà người có thể tiếp xúc với mạng điện trong quá trình vận hành lưới điện và thiết bị điện. Quá trình phân tích an toàn mạng điện cũng cần phải đánh giá được các yếu tố khác, cũng như các thông số của mạng điện ảnh hưởng đến tai nạn điện giật.

Tai nạn điện giật có thể xảy ra khi ta tiếp xúc hai pha hoặc một pha nhưng ở đây ta chỉ xét một pha. Tiếp xúc một pha có thể được xem là chạm đất không an toàn và lúc này dòng điện qua người phụ thuộc vào chế độ trung tính của mạng điện.

Dòng điện qua người khi người tiếp xúc với vật nối đất có dòng chạm đất đi qua phụ thuộc vào dòng điện chạm đất.

Dòng điện chạm đất là dòng điện đi qua chỗ chạm đất vào đất phụ thuộc vào các thông số mạng điện và trung tính của lưới.

Trung tính máy biến áp và máy phát có thể được nối đất trực tiếp hoặc cách điện đối với đất.

Nếu trung tính máy biến áp, máy phát không nối với các thiết bị nối đất hoặc nối qua thiết bị để bù dòng điện dung trong mạng, qua máy biến điện áp ...hay qua khí cụ có điện trở lớn, được gọi là trung tính cách điện đối với đất. Ngược lại, nếu trung tính nối trực tiếp với thiết bị nối đất hoặc qua một điện trở bé (máy biến dòng) được gọi là trung tính trực tiếp nối đất.

Theo “Quy trình thiết bị điện” người ta có thể chia ra:

1. Thiết bị có điện áp dưới 1000V (hạ áp)

2. Thiết bị có điện áp trên 1000V (cao áp)

a. Thiết bị có dòng chạm đất lớn ($I_d > 500A$, trong đó I_d là dòng chạm đất 1 pha), thường là nằm trong mạng có trung tính trực tiếp nối đất.

b. Thiết bị có dòng chạm đất bé ($I_d < 500A$, trong đó I_d là dòng chạm đất 1 pha) thường là nằm trong mạng có trung tính cách điện.

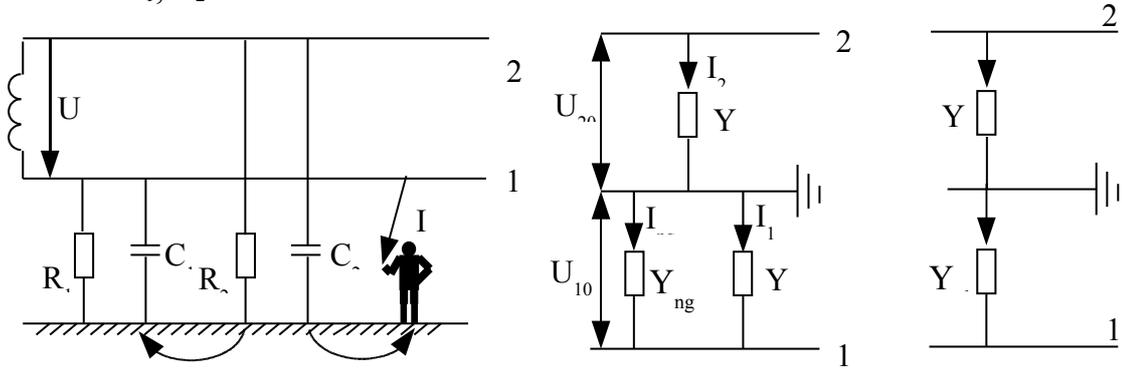
3.2. MẠNG ĐIỆN MỘT PHA

+ Mạng điện một pha cách điện với đất

+ Mạng điện một pha có trung tính trực tiếp nối đất.

3.2.1. MẠNG ĐIỆN MỘT PHA CÁCH ĐIỆN ĐỐI VỚI ĐẤT

Xét mạng điện một pha cách điện đối với đất như hình vẽ (hình 3.1) trong mạng điện này mỗi pha ngoài điện trở cách điện (tác dụng) r_1, r_2 còn có điện dung đối với đất C_1, C_2



Hình 3.1: Chạm vào một dây của mạng điện một pha

Điện dẫn toàn phần của mỗi pha đối với đất

$$\dot{Y}_1 = g_1 + jb_1$$

$$\dot{Y}_2 = g_2 + jb_2$$

Điện dẫn của người

$$\dot{Y}_{ng} = \frac{1}{R_{ng}}$$

Điện dẫn tương đương:

$$\dot{Y}_{td} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_{ng}$$

Ta có : $\dot{U}_{10}, \dot{U}_{20}$: điện áp của pha 1 và pha 2 so với đất

$\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$: dòng điện qua \dot{Y}_1, \dot{Y}_2 và qua người

Theo sơ đồ thay thế tương đương ta có :

$$\dot{I}_2 = \dot{U} \cdot \frac{\dot{Y}_2 \cdot \dot{Y}_{td}}{\dot{Y}_2 + \dot{Y}_{td}}$$

Dòng điện qua người I_{ng} ta có thể tính được như sau:

$$\dot{I}_{ng} = \frac{\dot{I}_2 \cdot Y_{ng}}{\dot{Y}_{td}} = \dot{U} \cdot \dot{Y}_{ng} \frac{\dot{Y}_2}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + Y_{ng}}$$

Trong mạng điện ta có : $\dot{Y}_1 = \dot{Y}_2 = \dot{Y} = \frac{1}{Z}$; $Y_{ng} = 1/R_{ng}$

Suy ra :

$$\dot{I}_{ng} = \dot{U} \cdot Y_{ng} \frac{\dot{Y}}{2\dot{Y} + Y_{ng}}$$

Hay

$$\dot{I}_{ng} = \frac{\dot{U}}{2Y_{ng} + Z} \tag{3-1}$$

Từ công thức 3-1 ta xét các trường hợp sau:

a) Mạng điện có điện dung bé:

Đây là các đường dây trên không có điện áp <1000V chiều dài ngắn

$$\dot{Z} = \frac{1}{\dot{Y}} = \frac{1}{g + jb} \approx \frac{1}{g} = R_{cd}$$

do đó lúc này dòng qua người :

$$\dot{I}_{ng} = \frac{\dot{U}}{2Y_{ng} + R_{cd}}$$

b) Mạng điện có điện dung lớn:

❶ Mạng điện đường dây trên không có điện áp >1000V có cách điện tốt

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{g + jb} = -jX_C = -\frac{1}{\omega c}$$

Từ đó xác định được trị hiệu dụng của dòng điện qua người:

$$I_{ng} = \frac{U}{\sqrt{(2R_{ng})^2 + X_C^2}}$$

❷ Với mạng điện dây cáp dài có điện áp bé hơn 1000V phải tính đến điện dẫn của cách điện và cả điện dung

Khi người chạm vào dây 1 thì điện trở của dây dẫn 1 lúc này sẽ là: $R = r_1 // R_{ng}$

Do vậy điện áp của dây dẫn 1 sẽ thay đổi từ U_1 đến U'_1 , và điện áp của dây dẫn 2 cũng sẽ thay đổi từ U_2 thành U'_2 . Đây chính là nguyên nhân sự phóng và nạp điện tích của C_1 và C_2 .

Dòng điện qua người:
$$I_{ng} = \frac{\Delta U}{R_{ng}} \cdot e^{-\frac{t}{R_{ng} \cdot (C_1 + C_2)}}$$

Ngoài ra, còn có dòng điện chạy qua điện trở cách điện qua người:

$$I_{ng} = \frac{U \cdot r_1}{(r_1 + r_2) \cdot R_{ng} + r_1 \cdot r_2}$$

Vậy dòng điện qua là tổng hợp hai thành phần dòng điện trên.

3.2.2. MẠNG ĐIỆN MỘT PHA CÓ TRUNG TÍNH TRỰC TIẾP NỐI ĐẤT

Xét mạng điện 1 pha có trung tính nối đất như hình vẽ

❶ Ở trạng thái làm việc bình thường với tải Z_t

- Nếu người chạm vào pha cách điện đối với đất một cách gần đúng có thể xác định dòng qua người :

$$I_{ng} = \frac{U}{R_0 + R_{ng}}$$

- Nếu người chạm vào pha nối đất thì dòng qua người :

$$I_{ng} = \frac{\Delta U}{R_{ng}} = \frac{I_{bv} Z_d}{R_{ng}}$$

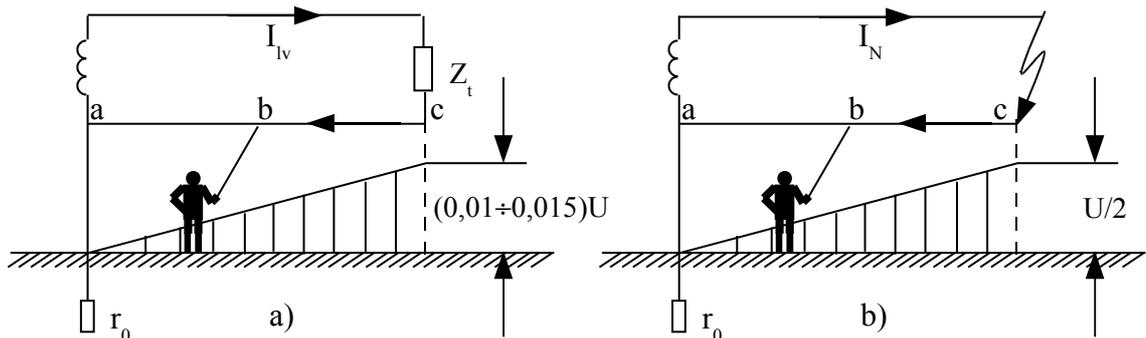
Trong đó :

Z_d : Tổng trở đoạn dây từ người đến chỗ chạm.

ΔU : Điện áp rơi trên đoạn từ nguồn đến chỗ người chạm vào dây

I_{bv} : Dòng điện làm việc.

* Cho dù người chạm vào điểm b xa nhất thì điện áp trên người cũng không lớn hơn 5% U mạng điện.



Hình 3.2 a) Chạm vào một dây trong mạng một pha trung tính nối đất
b) Chạm vào một dây đồng thời xảy ra ngắn mạch trong mạng một pha trung tính nối đất

❷ Trường hợp mạng điện bị ngắn mạch như hình b. Giả sử tiết diện của 2 dây là như nhau thì người chạm tại điểm C thì điện áp đặt vào người là: $U_{ng} = U/2$. Người chạm càng gần nguồn thì điện áp càng giảm

Nếu người chạm tại điểm E thì điện áp đặt vào người sẽ là :

$$U_{ng} = U_N \frac{l_Z}{l_D}$$

Trong đó :

U_N : Điện áp tại điểm ngắn mạch một cách gần đúng có thể xem $U_N=U/2$

l_Z : Khoảng cách từ nguồn đến vị trí người chạm vào dây

l_d : Khoảng cách từ nguồn đến điểm ngắn mạch.

3.3. PHÂN TÍCH AN TOÀN TRONG MẠNG ĐIỆN BA PHA

3.3.1 GIỚI THIỆU VỀ CÁC LOẠI MẠNG ĐIỆN BA PHA :

1– Mạng điện ba pha bốn dây

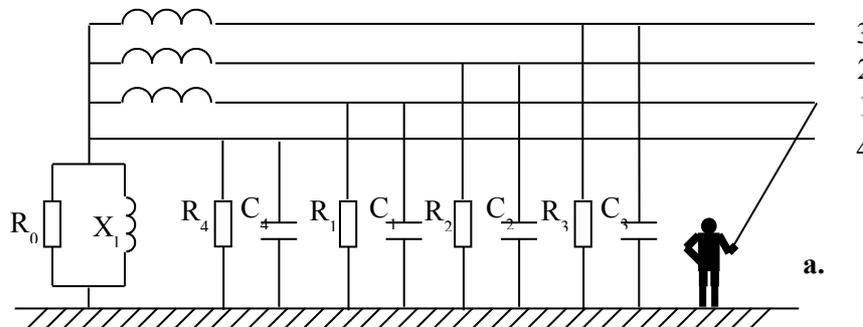
- Trung tính cách điện đối với đất
- Trung tính nối đất trực tiếp
- Trung tính nối đất qua cuộn kháng nhỏ

2–Mạng điện ba pha ba dây

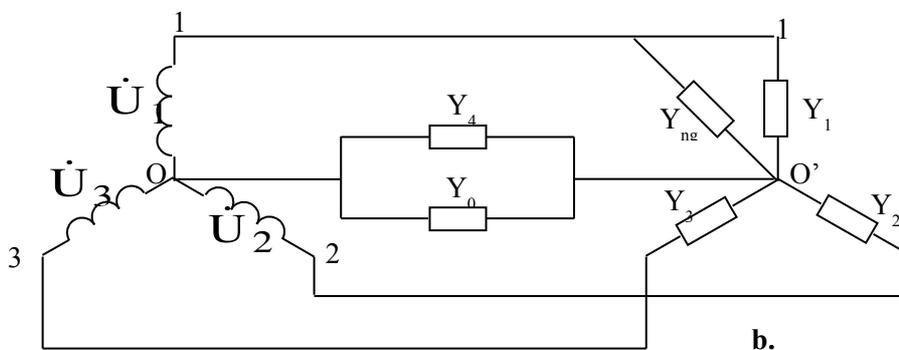
- Trung tính cách điện đối với đất
- Trung tính nối đất qua cuộn dập hồ quang
- Trung tính nối đất trực tiếp

3.3.2. PHÂN TÍCH AN TOÀN TRONG MẠNG BA PHA

Ta xét mạng điện tổng quát là mạng điện 3 pha 4 dây (như hình vẽ) có trung tính nối đất qua điện trở R_0 và điện kháng X_1



Hình 3.3a: Mạng điện tổng quát 3 pha 4 dây



Hình 3.3b: Sơ đồ thay thế mạng điện 3 pha 4 dây

Ta có :

- r_1, r_2, r_3, r_4 là điện trở cách điện của các dây
 - C_1, C_2, C_3, C_4 là điện dung của đường dây đối với đất
 - Y_i là điện dẫn của các dây pha, dây trung tính và trung tính máy biến áp so với đất .

$$\dot{Y}_1 = g_1 + jb_1 = \frac{1}{r_1} + j\omega C_1 \quad \dot{Y}_2 = g_2 + jb_2 = \frac{1}{r_2} + j\omega C_2$$

$$\dot{Y}_3 = g_3 + jb_3 = \frac{1}{r_3} + j\omega C_3 \quad \dot{Y}_4 = g_4 + jb_4 = \frac{1}{r_4} + j\omega C_4$$

$$\dot{Y}_0 = g_0 - jb_0 = \frac{1}{r_0} - j/\omega L \quad \text{điện dẫn người : } \dot{Y}_{ng} = \frac{1}{R_{ng}}$$

khi người tiếp xúc với một pha (ví dụ pha 1 như hình vẽ) điện áp tiếp xúc đặt vào người là :

$$\dot{U}_{ng} = \dot{U}_1 - \dot{U}_0$$

và dòng qua người : $\dot{I}_{ng} = \dot{U}_{ng} \cdot \dot{Y}_{ng} = (\dot{U}_1 - \dot{U}_0) \cdot \dot{Y}_{ng}$

trong đó : \dot{U}_1 : Điện áp pha

\dot{U}_0 : Điện áp trung tính đối với đất .

Ta có:

$$\dot{U}_0 = \frac{\sum \dot{U} \cdot \dot{Y}}{\dot{Y}} = \frac{\dot{U}_1(\dot{Y}_{ng} + \dot{Y}_1) + \dot{U}_2 \cdot \dot{Y}_2 + \dot{U}_3 \cdot \dot{Y}_3}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4 + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_{ng}}$$

Với mạng ba pha đối xứng ta có :

$$\dot{U}_1 = U_f$$

$$\dot{U}_1 = a^2 U_f$$

$$\dot{U}_1 = a U_f$$

trong đó : $a = e^{j120} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$

U_f là giá trị tuyệt đối của điện áp pha

$$\text{Suy ra : } \dot{U}_0 = U_f \frac{\dot{Y}_1 + a^2 \cdot \dot{Y}_2 + a \cdot \dot{Y}_3 + \dot{Y}_{ng}}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4 + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_{ng}}$$

Từ đó có thể xác định được điện áp tiếp xúc của người như sau :

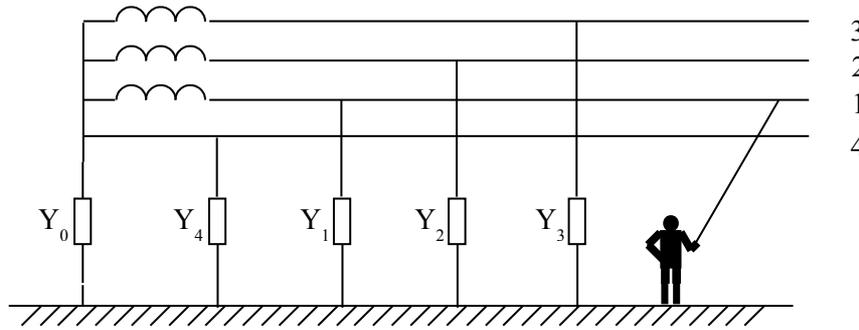
$$\dot{U}_{ng} = U_f \frac{(1 - a^2) \cdot \dot{Y}_2 + (1 - a) \cdot \dot{Y}_3 + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_4}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4 + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_{ng}} \quad (3-2)$$

Dòng qua người :

$$\dot{I}_{ng} = \dot{U}_{ng} \cdot \dot{Y}_{ng} = U_f \cdot \dot{Y}_{ng} \frac{(1-a^2) \cdot \dot{Y}_2 + (1-a) \cdot \dot{Y}_3 + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_4}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4 + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_{ng}} \quad (3-3)$$

1 Mạng điện ba pha bốn dây trung tính nối đất trực tiếp

a. Người tiếp xúc với một pha trong chế độ làm việc bình thường:



Hình 3.4: Người chạm vào một pha trong chế độ làm việc bình thường

Trên

hình vẽ ta có điện dẫn trung tính: $Y_0 = \frac{1}{r_0} = g_0$ (r_0 : là điện trở nối đất trung tính)

- Trong trường hợp này điện dẫn của dây trung tính nhỏ hơn nhiều so với điện dẫn Y_0 của điểm trung tính cho nên có thể xem : $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y_4 \approx 0$ cho nên điện áp tiếp xúc của người theo (2-2) đơn giản hơn nhiều :

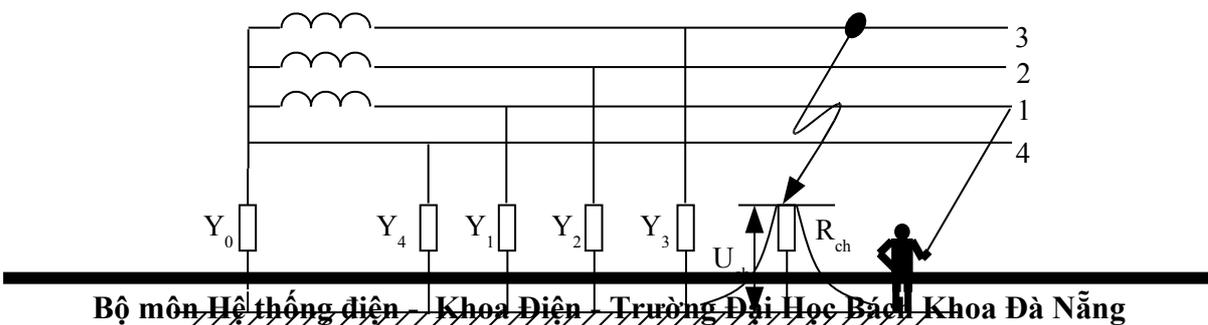
$$\dot{U}_{ng} = U_f \frac{\dot{Y}_0}{\dot{Y}_0 + \dot{Y}_{ng}}$$

hay
$$\dot{U}_{ng} = U_f \frac{R_{ng}}{R_0 + R_{ng}} \quad (3-4)$$

và dòng qua người là :
$$\dot{I}_{ng} = I_{ng} = \frac{U_f}{R_0 + R_{ng}} \quad (3-5)$$

Nhận xét: Trong trường hợp này dòng điện qua người gần như không thay đổi khi điện trở của hệ thống thay đổi. Hay dòng điện qua người không phụ thuộc vào điện trở cách điện.

b. Tiếp xúc với một pha trong trường hợp mạng sự cố :



Hình 3.5: Chạm vào một pha trong khi pha khác chạm đất

Giả thiết khi người chạm vào pha 1 và pha 3 chạm đất qua một điện trở nhỏ R_{ch} và Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 nhỏ hơn nhiều so với Y_0 và $Y_{ch} = \frac{1}{R_{ch}}$ tức : $Y_1=Y_2=Y_3=Y_4 \approx 0$

Vậy từ (3-2) ta có :

$$\dot{U}_{ng} = U_f \frac{(1-a)\dot{Y}_{ch} + \dot{Y}_0}{\dot{Y}_0 + \dot{Y}_{ch} + \dot{Y}_{ng}}$$

thay $Y_{ch} = \frac{1}{R_{ch}}$; $Y_0 = \frac{1}{R_0}$; $Y_{ng} = \frac{1}{R_{ng}}$ vào biểu thức trên rồi biến đổi ta rút ra

được trị hiệu dụng:

$$U_{ng} = U_f \cdot R_{ng} \frac{\sqrt{3R_0 + 3R_0R_{ch} + R_{ch}^2}}{R_0R_{ch} + R_0R_{ng} + R_{ng}R_{ch}}$$

Để đơn giản ta giả thiết : $3R_{ch}R_0 = 2\sqrt{3} R_{ch}R_0$ ta có :

$$U_{ng} = U_f \cdot R_{ng} \frac{\sqrt{3}R_0 + R_{ch}}{R_0R_{ch} + R_0R_{ng} + R_{ng}R_{ch}} = U_f \cdot R_{ng} \frac{\sqrt{3}R_0 + R_{ch}}{R_0R_{ch} + R_{ng}(R_0 + R_{ch})} \tag{3-6}$$

và :

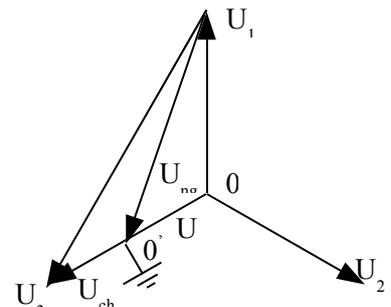
$$I_{ng} = U_f \frac{\sqrt{3}R_0 + R_{ch}}{R_0R_{ch} + R_{ng}(R_0 + R_{ch})} \tag{3-7}$$

Ta xét hai trường hợp đặt trung :

* Khi điện trở chạm đất : $R_{ch} = 0$ ta có $U_{ng} = \sqrt{3} U_f$ tức trong trường hợp này điện áp đặt vào người bằng điện áp dây

* Khi $R_0 = 0$ ta tính được: $U_{ng} = U_f$ trong thực tế R_0, R_{ch} luôn luôn lớn hơn không nên : $U_{ng} = U_{13} - U_{ch}$
suy ra $\sqrt{3}U_f > U_{ng} > U_f$

Điều này cũng được minh họa trên giản đồ véc tơ.



Hình 3.6: Giản đồ vector

Như vậy tiếp xúc với dây pha trong trong mạng có trung tính trực tiếp nối đất khi có sự cố sẽ nguy hiểm hơn trong trường hợp làm việc bình thường .

Ví dụ 1: Một người chạm vào một pha của lưới điện ba pha bốn dây 380/220V có trung tính trực tiếp nối đất hãy xác định dòng điện qua người.

Cho biết : $r_0=4\Omega$; $R_{ng}=1000\Omega$; $r_1=r_2=r_3=r_4=r_{c1}=10^4\Omega$

$$c_1=c_2=c_3=c_4=c=0,1\mu f, \text{ hay } X_C = \frac{1}{\omega c} = 32 \cdot 10^3 \Omega$$

Giải: Ta có : $Y = \frac{1}{10^4} + j \frac{1}{32 \cdot 10^3} \ll Y_0 = \frac{1}{4}$

Do đó có thể coi : $Y_1=Y_2=Y_3=Y_4=Y \approx 0$

Nên: $I_{ng} = \frac{U_f}{R_{ng} + R_0} = \frac{220}{1000 + 4} \approx 220\text{mA}$

hay nếu bỏ qua R_0 thì: $I_{ng} = \frac{U_f}{R_{ng}} = \frac{220}{1000} \approx 220\text{mA}$

Ví dụ 2 : Một người chạm vào một pha của lưới điện ba pha 4 dây có trung tính trực tiếp nối đất, điện áp 380/220V khi pha 3 chạm đất như hình (2-3).

Biết : $R_0=4\Omega$; $R_{ng}=1000\Omega$; $r_1=r_2=r_3=r_4=r_c=10^4\Omega$; $c_1=c_2=c_3=c_4=c=0,1\mu f$

Hãy xác định các giá trị ứng với các giá trị của điện trở chạm đất

$$R_{ch}=100\Omega ; 50; 4; \text{ và } 0,5\Omega$$

Giải : Với $R_{ch}=100\Omega$

Tương tự ta cũng xem $Y_1=Y_2=Y_3=Y_4 \approx 0$

Dòng điện qua người được xác định theo công thức (3-7)

$$I_{ng} = U_f \frac{\sqrt{3}R_0 + R_{ch}}{R_0R_{ch} + R_{ch}R_{ng} + R_0R_{ng}} = 220 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 4 + 100}{4 \cdot 100 + 100 \cdot 1000 + 4 \cdot 1000} = 226\text{mA}$$

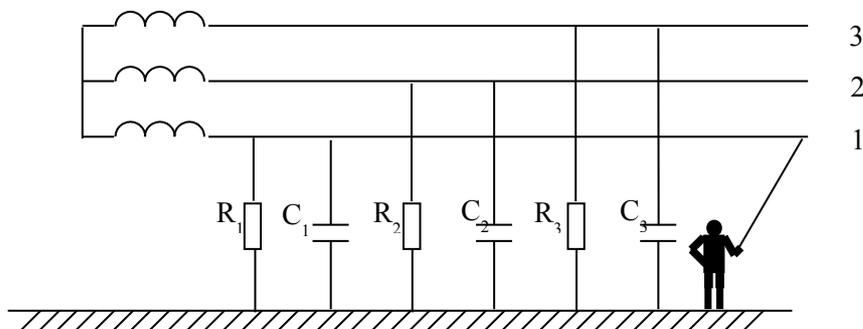
Tương tự với : $R_{ch} = 50\Omega \rightarrow I_{ng} = 232\text{mA}$

$R_{ch} = 4\Omega \rightarrow I_{ng} = 300\text{mA}$

$R_{ch} = 0,5\Omega \rightarrow I_{ng} = 360\text{mA}$

2 Mạng điện ba pha ba dây có trung tính cách điện

a. Tiếp xúc một pha trong chế độ làm việc bình thường



Hình 3.7: Chạm vào một pha trong chế độ làm việc bình thường

Xét trường hợp người tiếp xúc trực tiếp với một pha trong mạng 3 pha 3

dây hình (3-7).

$$\text{Áp dụng công thức: } \dot{U}_{ng} = U_f \frac{\dot{Y}_2(1-a^2) + \dot{Y}_3(1-a) + \dot{Y}_0 + \dot{Y}_4}{\dot{Y}_0 + \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4 + \dot{Y}_{ng}}$$

Ở đây do không nối đất nên: $Y_4=Y_0=0$.

$$\dot{U}_{ng} = U_f \frac{\dot{Y}_2(1-a^2) + \dot{Y}_3(1-a)}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_{ng}} \quad (3-8)$$

$$\text{Suy ra: } \dot{I}_{ng} = U_f \cdot \dot{Y}_{ng} \frac{\dot{Y}_2(1-a^2) + \dot{Y}_3(1-a)}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_{ng}} \quad (3.9)$$

Sử dụng công thức (3-8) và (3.9) để đánh giá mức độ nguy hiểm khi tiếp xúc với một pha trong ba trường hợp sau :

* Khi điện dung của các pha bằng nhau: $C_1 = C_2 = C_3 = C$ và điện trở các cũng pha bằng nhau: $R_1 = R_2 = R_3 = R_{cd}$. Đây là mạng điện cáp có điện áp nhỏ hơn 1000V

Từ (3-8) ta có :

$$\dot{U}_{ng} = U_f \frac{\dot{Y}(1-a^2+1-a)}{3\dot{Y}_1 + \dot{Y}_{ng}} = U_f \frac{3\dot{Y}}{3\dot{Y} + \dot{Y}_{ng}} \quad (\text{vì } 1-a^2+1-a=3)$$

$$\text{Suy ra: } \dot{I}_{ng} = U_f \cdot \dot{Y}_{ng} \frac{3\dot{Y}}{3\dot{Y} + \dot{Y}_{ng}} = U_f \cdot \frac{1}{R_{ng} + \frac{Z}{3}} \quad (3-10)$$

$$\text{Trong đó : } Z = \frac{1}{\dot{Y}} = \frac{1}{g + jb} = \frac{1}{\frac{1}{R_{cd}} + j\omega c}$$

Khi chuyển qua giá trị hiệu dụng ta có :

$$I_{ng} = \frac{U_f}{R_{ng}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_{cd}(R_{cd} + 6.R_{ng})}{9(1 + R_{cd}^2\omega^2 c^2)R_{ng}^2}}} \quad (3-11)$$

* Khi : $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ và $R_1 = R_2 = R_3 = R_{cd}$

Đây là trường hợp trong mạng điện áp nhỏ hơn 1000V có chiều dài bé nên bỏ qua trị số điện dung. Ở đây $Y_1=Y_2=Y_3=Y = g = 1/R_{cd}$

$$\text{Theo (3-11) ta có } I_{ng} = \frac{U_f}{R_{ng} + \frac{R_{cd}}{3}} \quad (3-12)$$

* Khi : $C_1 = C_2 = C_3 = C$ và $R_1 = R_2 = R_3 = \infty$

Đây là trường hợp của mạng điện áp lớn hơn 1000V.

Lúc này ta có $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y = jb = j\omega c = 1/Z$

thay vào (3-11) ta được:

$$I_{ng} = \frac{U_f}{R_{ng} + \frac{1}{j3\omega c}} = \frac{U_f}{R_{ng} - j\frac{X_c}{3}} \quad (3-13)$$

Hay giá trị hiệu dụng :

$$I_{ng} = \frac{U_f (R_{ng} + j\frac{X_c}{3})}{R_{ng}^2 + (\frac{X_c}{3})^2} \Rightarrow I_{ng} = \frac{U_f}{\sqrt{R_{ng}^2 + (\frac{X_c}{3})^2}} \quad (3-14)$$

Ví dụ 3: Một người tiếp xúc với một pha của mạng điện 3 pha 3 dây có trung tính cách điện điện áp 380V. Biết $R_{ng} = 1000\Omega$. Hãy xác định dòng điện qua người trong hai trường hợp

a–Khi $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ và $R_1 = R_2 = R_3 = 3 \cdot 10^3 \Omega$

b–Khi $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0,03 \mu f$ hay $X_c = 100 \cdot 10^3$ và $R_1 = R_2 = R_3 = \infty$

Giải:

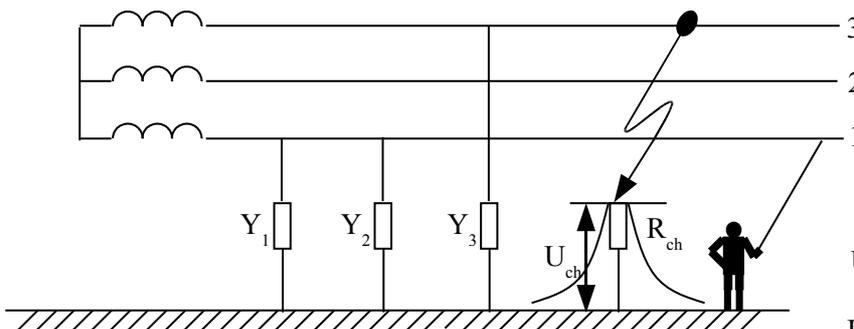
a) Ta áp dụng công thức (3-12):

$$I_{ng} = \frac{220}{1000 + \frac{3000}{3}} = 110mA$$

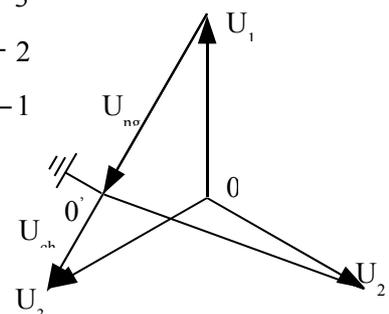
b) Ta áp dụng công thức (3-14) ta có

$$I_{ng} = \frac{220}{\sqrt{1000^2 + (\frac{100 \cdot 10^3}{3})^2}} = 6,6mA$$

b. Tiếp xúc một pha trong chế độ sự cố:



Hình 3.8: Chạm vào một pha trong khi pha khác chạm đất



Hình 3.9: Giảm đồ vectơ

Giả thiết pha 3 chạm đất mà người tiếp xúc với pha 1, điện trở chạm đất là R_{ch} . Ở đây có thể coi $Y_4 = Y_0 = 0$ và $Y_{ch} = 1/R_{ch}$

$$\text{Thay các giá trị này vào (3-9) ta được : } \dot{I}_{ng} = U_f Y_{ng} \frac{Y_{ch}(1-a)}{Y_{ch} + Y_{ng}} \quad (3-15)$$

Thay: $Y_{ch} = 1/R_{ch}$ và $Y_{ng} = 1/R_{ng}$ và biến đổi ta tính được giá trị hiệu dụng của dòng điện qua người.

$$I_{ng} = \frac{\sqrt{3}U_f}{R_{ng} + R_{ch}} = \frac{U_d}{R_{ng} + R_{ch}} \quad (3-16)$$

và điện áp:

$$U_{ng} = I_{ng} R_{ng} = \sqrt{3}U_f \frac{R_{ng}}{R_{ng} + R_{ch}} \quad (3-17)$$

Nếu cho $R_{ch} \approx 0$ hoặc coi $R_{ch} \ll R_{ng}$ thì ta có :

$$U_{ng} = \sqrt{3}U_f = U_d$$

Tức là điện áp đặt vào người bằng điện áp dây. Như vậy chạm vào một pha trong tình trạng sự cố ở mạng trung tính cách điện nguy hiểm hơn trong mạng trung tính trực tiếp nối đất.

CHƯƠNG 4

BẢO VỆ NỔ ĐẤT

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Bảo vệ nối đất là một trong những biện pháp bảo vệ an toàn cơ bản đã được áp dụng từ lâu. Bảo vệ nối đất là nối tắt cả các phần kim loại của thiết bị điện hoặc của các kết cấu kim loại mà có thể xuất hiện điện áp khi cách điện bị hư hỏng với hệ thống nối đất.

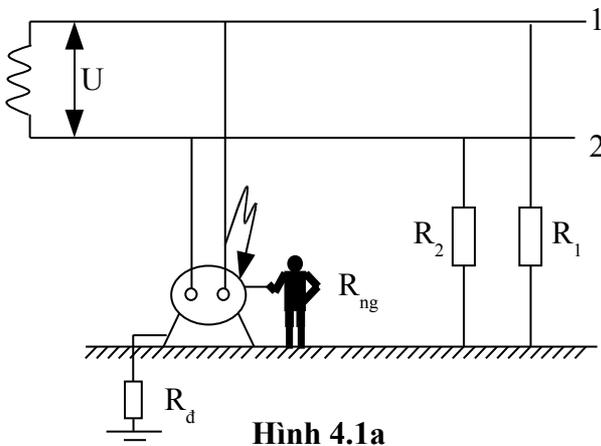
4.2. MỤC ĐÍCH, Ý NGHĨA CỦA BẢO VỆ NỔ ĐẤT:

4.2.1. Mục đích: Bảo vệ nối đất nhằm bảo vệ an toàn cho người khi người tiếp xúc với thiết bị đã bị chạm vỏ bằng cách giảm điện áp trên vỏ thiết bị xuống một trị số an toàn.

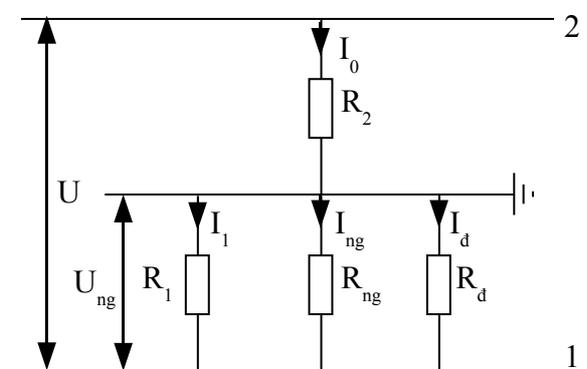
Chú ý: Ở đây ta hiểu chạm vỏ là hiện tượng một pha nào đó bị hỏng cách điện và có sự tiếp xúc điện với vỏ thiết bị.

4.2.2. Ý nghĩa:

Để hiểu rõ ý nghĩa của bảo vệ nối đất ta xét mạng điện đơn giản sau (H 4.1a).



Hình 4.1a



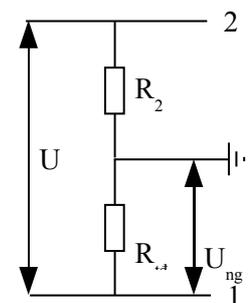
Hình 4.1b

Xét 1 thiết bị làm việc trong lưới điện 2 pha có điện áp U . Giả sử thiết bị điện A trong mạng điện trên được nối bảo vệ với điện trở nối đất là R_d và xảy ra sự cố 1 pha chạm vỏ thiết bị trong lúc người đang tiếp xúc vỏ thiết bị. Điện trở cách điện hai pha tương ứng là R_1, R_2 và xem điện dung của các pha đối với đất là bé có thể bỏ qua, ta có sơ đồ thay thế của mạng như ở hình 4.1b.

- Điện áp đặt vào người: $U_{ng} = I_0 \cdot R_{td}$

Trong đó: I_0 là dòng điện tổng

R_{td} là điện trở tương đương: $R_{td} = R_1 // R_{ng} // R_d$



$$U_{ng} = I_o \times R_{td} = U \cdot \frac{R_{td}}{R_2 + R_{td}} = U \cdot \frac{1}{R_2 \left(\frac{1}{R_{td}}\right) + 1} = \frac{U}{R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{ng}} + \frac{1}{R_d}\right) + 1}$$

Vì R_1, R_2 và $R_{ng} \gg R_d$ nên có thể xác định một cách gần đúng:

$$U_{ng} = \frac{U \cdot R_d}{R_2} = U \cdot \frac{g_2}{g_d}$$

Và dòng điện qua người là:

$$I_{ng} = \frac{U_{ng}}{R_{ng}} = \frac{U \cdot R_d}{R_{ng} \cdot R_2} = \frac{U \cdot g_2 \cdot g_{ng}}{g_d}$$

Từ đây ta thấy vì U, R_2, R_{ng} là những giá trị tương đối ổn định nên để giảm dòng điện qua người ta cần phải giảm điện trở R_d .

Vì vậy ý nghĩa bảo vệ nối đất là tạo ra giữa vỏ thiết bị và đất một mạch điện có điện dẫn lớn làm giảm phân lượng dòng điện qua người (nói cách khác là giảm điện áp trên vỏ thiết bị) đến một trị số an toàn khi người chạm vào vỏ thiết bị đã bị chạm vỏ.

4.3. CÁC HÌNH THỨC NỐI ĐẤT :

Có hai hình thức nối đất

4.3.1. Nối đất tập trung:

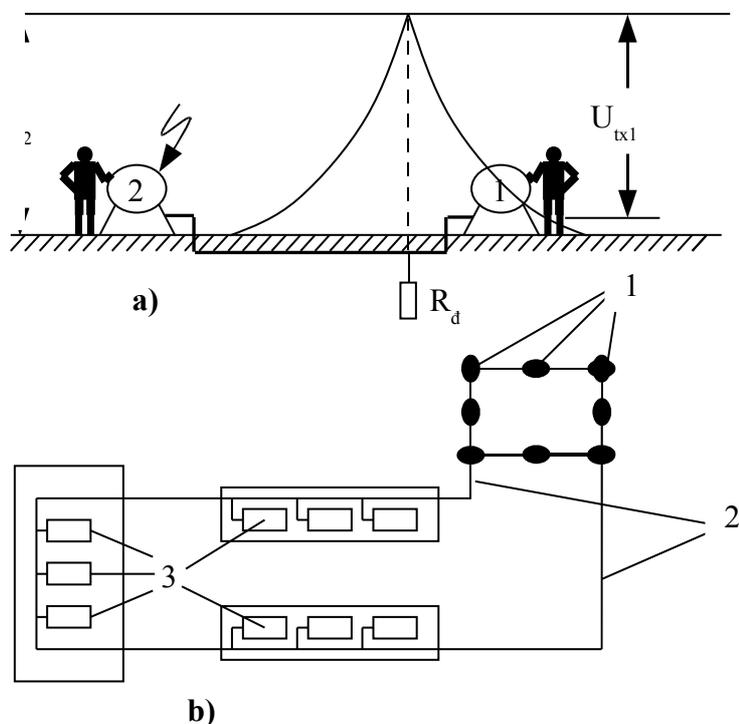
Là hình thức dùng một số cọc nối đất tập trung trong đất tại một chỗ, một vùng nhất định phía ngoài vùng bảo vệ.

Hình 4.2: Nối đất tập trung

- a. Phân bố điện áp
- b. Sơ đồ mặt bằng nối đất
- 1. các cọc nối đất
- 2. Dây dẫn nối đất chính
- 3. Thiết bị điện

Nhược điểm của nối đất tập trung là trong nhiều trường hợp nối đất tập trung không thể giảm được điện áp tiếp xúc và điện áp đến giá trị an toàn cho người.

Theo hình 4.2a điện áp tiếp xúc khi có sự chạm vỏ khi tiếp xúc với thiết bị 1 là U_{tx1} nhỏ hơn tiếp xúc với thiết bị 2 (thiết bị 2 đặt xa vật nối đất từ 20m trở lên).



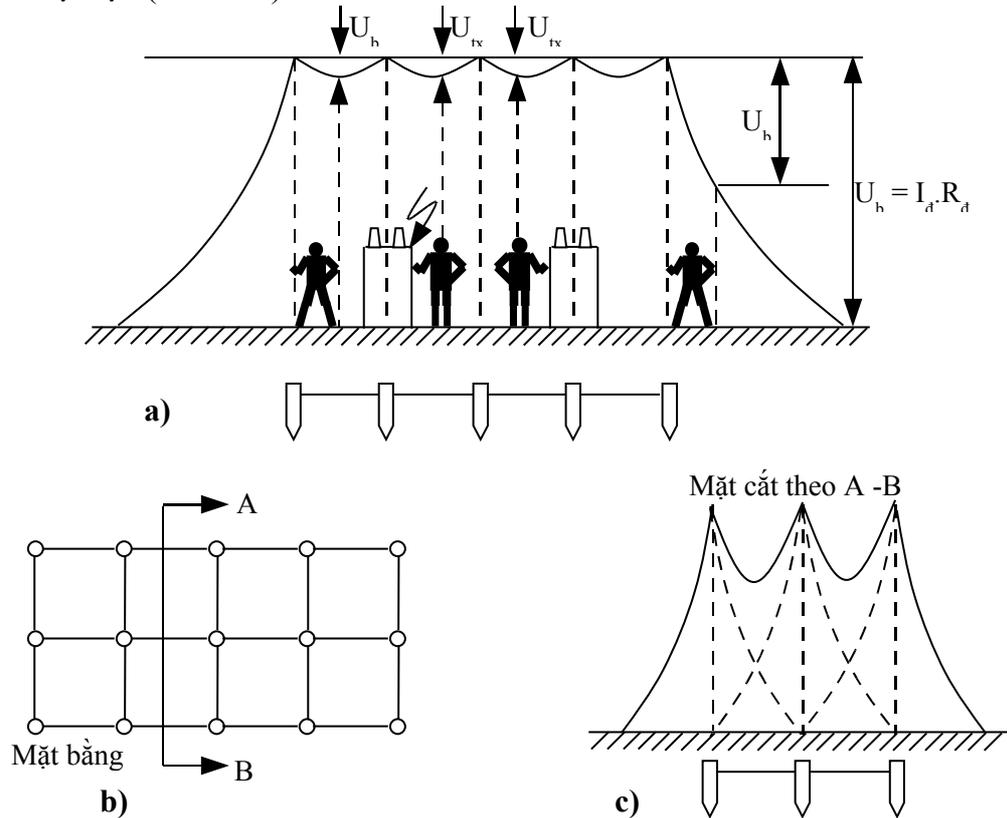
$$U_{tx1} < U_{tx2} = U_d$$

Với điện áp bước thì ngược lại: $U_{b1} > U_{b2}$.

Ta thấy càng xa vật nổi đất thì điện áp tiếp xúc càng lớn.

4.3.2. Nối đất mạch vòng:

Để khắc phục nhược điểm của nối đất tập trung người ta sử dụng hình thức nối đất mạch vòng. Đó là hình thức dùng nhiều cọc đóng theo chu vi và có thể ở giữa khu vực đặt thiết bị điện (hình 4.3).



Hình 4.3: Nối đất mạch vòng

Mặt cắt AB (Hình 4.3c) chỉ cách xây dựng đường thể hiện của mỗi ống nối đất riêng rẽ, và sau đây cộng tất cả tung độ của các đường cong này lại sẽ xó mạng phân bố điện áp cho hệ thống nối đất trong vùng bảo vệ (đường liền nét).

Trên hình (4.3a) chúng ta thấy rất nhiều điểm trên mặt đất có thể cực đại (các điểm nằm trên trục thẳng của vật nổi đất), cho nên thế giữa các điểm trong vùng bảo vệ chênh lệch rất ít do đó giảm được điện áp tiếp xúc cũng như điện áp bước.

Lưu ý: Ngoài vùng bảo vệ của mạng nối đất đường phân bố điện áp còn rất dốc nên điện áp bước nguy hiểm. Để tránh điều này người ta chôn các tấm bằng sắt và các tấm sắt này không nối với hệ thống nối đất.

4.4. LĨNH VỰC ÁP DỤNG CỦA BẢO VỆ NỐI ĐẤT:

Bảo vệ nối đất được áp dụng với tất cả các thiết bị có điện áp >1000V lần thiết bị có điện áp <1000V tuy nhiên trong mỗi trường hợp là khác nhau.

❶ Đối với các thiết bị có điện áp > 1000V thì bảo vệ nối đất phải được áp dụng trong mọi trường hợp, không phụ thuộc vào chế độ làm việc của trung tính và loại nhà cửa.

❷ Đối với các thiết bị có điện áp < 1000V thì việc có áp dụng bảo vệ nối đất hay không là phụ thuộc vào chế độ làm việc của trung tính. Khi trung tính cách điện đối với đất thì phải áp dụng bảo vệ nối đất còn nếu trung tính nối đất thì thay bảo vệ nối đất bằng biện pháp bảo vệ nối dây trung tính.

Trong mạng có trung tính cách điện đối với đất điện áp < 1000V thì tùy theo điện áp áp mà chia ra các trường hợp sau:

* Với mạng có trung tính cách điện và điện áp >150V (như các mạng điện 220, 380, 500...) đều phải được thực hiện nối đất trong tất cả các nhà sản xuất và các thiết bị điện đặt ngoài trời không phụ thuộc vào điều kiện môi trường.

* Khi mạng điện có trung tính cách điện đối với đất từ 150V đến 65V (như mạng 110V) thì cho phép chỉ cần thực hiện nối đất:

- Cho các nhà nguy hiểm đặc biệt, nhà có khả năng dễ cháy nổ.
- Cho các thiết bị điện ngoài trời.
- Cho các bộ phận kim loại mà con người có thể tiếp xúc đến như: tay cầm, cần điều khiển, thiết bị điện.

* Khi điện áp <65V cho phép không cần thực hiện nối đất bảo vệ trừ các trường hợp đặt biệt.

4.5. ĐIỆN TRỞ NỐI ĐẤT, ĐIỆN TRỞ SUẤT CỦA ĐẤT:

4.5.1. Điện trở nối đất:

Điện trở nối đất hay điện trở của hệ thống nối đất bao gồm:

- Điện trở tản của vật nối đất hay nói chính xác hơn là điện trở tản của môi trường đất xung quanh điện cực. Đó chính là điện trở của đất đối với dòng điện đi từ vật nối đất vào đất.

- Điện trở của bản thân cực nối đất (điện cực nối đất).

- Điện trở của dây dẫn nối đất từ các thiết bị điện đến các vật nối đất.

Do nối đất dùng vật liệu kim loại có trị số điện dẫn lớn hơn nhiều so với điện dẫn của đất nên điện trở bản thân của vật nối đất thường được bỏ qua. Như vậy khi nói đến điện trở nối đất, chủ yếu là nói đến điện trở tản của vật nối đất.

Điện trở của đất được xác định bằng công thức:

$$R_d = U_d / I_d$$

Trong đó: U_d là điện áp đo được trên vỏ thiết bị có nối đất khi chạm vỏ có dòng điện đi vào đất là I_d .

Qua phân tích ở trên ta có điện trở của đất phụ thuộc rất nhiều vào điện trở của đất đối với dòng điện đi từ vật nối đất vào đất mà điện trở của đất lại phụ thuộc vào điện trở suất của đất tại nơi đặt nối đất.

4.5.2. Điện trở suất của đất:

Điện trở suất của đất (ρ) thường được tính bằng đơn vị $\Omega.m$ hay $\Omega.cm$

Do thành phần phức tạp của điện trở suất nên điện trở suất của đất được thay đổi trong một phạm vi rất rộng. Thực tế cho thấy rằng điện trở suất phụ thuộc vào các yếu tố chính sau:

❶. Thành phần của đất: Thành phần của đất khác nhau thì có điện trở suất khác nhau. Đất chứa nhiều muối, axit thì có điện trở suất nhỏ. Các trị số gần đúng của điện trở suất của đất tính bằng $\Omega.m$ như sau:

Cát 7.10^4

Đất cát 3.10^4

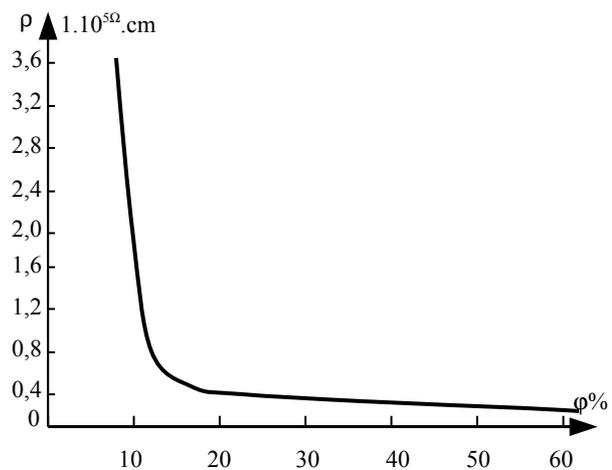
Đất sét, sét lẫn sỏi 1.10^4

Đất đen, đất vườn $0,5.10^4$

Đất bùn $0,2.10^4$

❷. Độ ẩm:

Độ ẩm ảnh hưởng rất lớn đến điện trở suất của đất. Ở trạng thái hoàn toàn khô ráo có thể xem điện trở suất của đất bằng vô cùng. Khi tỉ lệ độ ẩm từ 15% trở lên thì ảnh hưởng đến điện trở của đất không đáng kể. Tuy nhiên, lúc độ ẩm lớn hơn 70-80% điện trở đất có thể tăng lên. Độ ẩm càng tăng thì ρ càng giảm.



Hình 4.4: Sự phụ thuộc của điện trở suất của đất vào lượng độ ẩm tính bằng phần trăm

❸. Nhiệt độ:

Khi nhiệt độ hạ xuống quá thấp sẽ làm cho đất như bị đông kết lại và do đó ρ tăng lên rất nhanh. Khi nhiệt độ $< 100^{\circ}C$ thì ρ giảm xuống vì các chất muối trong đất được hòa tan dễ. Khi nhiệt độ $> 100^{\circ}C$ nước bị bốc hơi và ρ của nước tăng lên.

❹. Độ nén của đất:

Tức là đất có được nén chặt hay không, đất được nén chặt tức là mật độ lớn nên ρ của đất giảm.

Điện trở suất của đất không phải là một trị số nhất định trong năm mà thay đổi theo mùa do ảnh hưởng của độ ẩm và nhiệt độ của đất. Do đó làm cho ρ của hệ thống nối đất cũng thay đổi. Vì vậy trong tính toán nối đất người ta phải dùng khái niệm điện trở suất tính toán của đất, đó là trị số lớn nhất trong năm.

$$\rho_{tt} = K_m \cdot \rho$$

Trong đó:

ρ : Trị số điện trở suất đo trực tiếp được.

K_m : Hệ số tăng cao hay hệ số mùa có thể tham khảo ở bảng 4.1 sau:

Bảng 4-1

HÌNH THỨC NỐI ĐẤT	K ₁	K ₂	K ₃
- Thanh dẹt chôn nằm ngang cách mặt đất 0,5m	6,5	5	4,5
- Thanh dẹt chôn nằm ngang cách mặt đất 0,8 m	3,0	2,0	1,6
- Cọc thép, ống thép, thép góc đóng sâu cách mặt đất 0,5-0,8m	2,0	1,5	1,4

(Chú thích: K₁; K₂; K₃ là do khi đất ẩm, khi đất ẩm trung bình, khi đất khô)

4.6. CÁC QUY ĐỊNH VỀ ĐIỆN TRỞ NỐI ĐẤT TIÊU CHUẨN:

Điện trở nối đất an toàn của hệ thống không được lớn hơn các trị số nối đất tiêu chuẩn đã được quy định trong các quy phạm cụ thể:

❶. Đối với các thiết bị điện áp > 1000V có dòng chạm đất lớn (>500A) như các thiết bị điện ở mạng điện có điện áp từ 110kV trở lên thì điện trở nối đất tiêu chuẩn:

$$R_d \leq 0,5\Omega$$

Với các mạng có dòng chạm đất lớn này, khi có sự chạm đất (chạm vỏ) thì điện áp trên vỏ thiết bị so với đất (đã thỏa mãn điều kiện $R_d \leq 0,5\Omega$) vẫn có thể đạt trị số lớn (hàng trăm thậm chí hàng ngàn vôn) nhưng khi có cân bằng thì điện áp tiếp xúc không vượt quá 250-300V. Rõ ràng điện áp này vẫn nguy hiểm cho người nhưng với cấp điện áp này thì khi có sự chạm đất, chạm vỏ thì rơle bảo vệ sẽ tác động cắt nhanh phần sự cố. Mặt khác, với cấp điện áp này không cho phép con người tiếp xúc trực tiếp (khi không có thiết bị bảo vệ) với thiết bị khi chưa cắt điện nên xác suất người bị điện giật rất bé.

Trong mạng điện có dòng chạm đất lớn, bắt buộc phải có nối đất nhân tạo trong mọi trường hợp không phụ thuộc vào điện trở nối đất tự nhiên. Ngay cả khi điện trở nối đất tự nhiên thỏa mãn yêu cầu ($R_d \leq 0,5\Omega$) vẫn phải thực hiện nối đất nhân tạo trị số điện trở nhân tạo không được lớn hơn 1Ω ($R_{nt} \leq 1\Omega$).

❷. Đối với các thiết bị điện có điện áp >1000V có dòng chạm đất bé (<500 A) như các thiết bị ở mạng điện 3-35kV thì quy định điện trở nối đất tiêu chuẩn tại thời điểm bất kỳ trong năm như sau:

* Khi hệ thống nối đất chỉ dùng cho các thiết bị có điện áp >1000V:

$$R_d \leq \frac{250V}{I_d} \quad (\text{nhưng phải thỏa mãn } R_d \leq 10\Omega)$$

* Khi hệ thống nối đất dùng cho cả thiết bị có điện áp <1000V:

$$R_d \leq \frac{125V}{I_d} \quad (R_d \leq 10\Omega)$$

Trong mạng có dòng chạm đất bé (mạng có trung tính cách điện) khi có 1 pha chạm đất, các thiết bị rơle bảo vệ thường không cắt phần sự cố. Vì vậy chạm đất 1 pha có thể bị kéo dài làm tăng xác suất người tiếp xúc với điện áp nguy hiểm. Do đó người ta mới qui định điện áp lớn nhất cho phép trên hệ thống nối đất là 250V (khi điện áp > 1000V) và 125V (khi điện áp <1000V) với dòng chạm đất là I_d .

③ Đối với các thiết bị điện trong các mạng có điện áp < 1000V có trung tính cách điện thì điện trở nối đất tại mọi thời điểm trong năm **không quá 4Ω**.

Riêng với các thiết bị nhỏ mà công suất tổng của máy phát điện hoặc máy biến áp có công suất không quá 100KVA thì cho phép: $R_a \leq 10\Omega$

Đối với các thiết bị có điện áp > 1000V có dòng chạm đất bé và các thiết bị có điện áp < 1000V có trung tính cách điện nên sử dụng nối đất tự nhiên có sẵn. Nếu trị số của điện trở nối đất tự nhiên nhỏ hơn trị số của điện trở nối đất tiêu chuẩn mà qui phạm đã qui định thì cho phép không cần phải thực hiện nối đất nhân tạo.

Chú ý trong các trường hợp có nhiều thiết bị điện có điện áp khác nhau nên thực hiện nối đất chung. Trị số điện trở nối đất chung cần phải thỏa mãn yêu cầu của hệ thống nối đất nào đòi hỏi điện trở nối đất có giá trị nhỏ nhất.

④ Đối với đường dây tải điện trên không:

Với các đường dây tải điện trên không ta phân biệt các trường hợp sau:

* Khi điện áp của mạng điện $U \geq 110KV$. Trong trường hợp này thì nối đất ở các cột điện chỉ để chống sét và qui phạm không yêu cầu nối đất bảo vệ các cột điện ở các mạng có dòng chạm đất lớn này vì:

- Trong các mạng điện này (có $U \geq 110KV$) khi có sự chạm đất thì role bảo vệ tác động cắt nhanh sự cố với thời gian từ 0.12-0,8 sec nên xác suất người bị điện giật do điện áp tiếp xúc là rất bé.

- Vì dòng điện chạm đất trong mạng này rất lớn nên điện áp xuất hiện trên hệ thống cột nối đất cũng rất lớn, do vậy việc thực hiện nối đất cho các cột điện rất phức tạp và tốn kém

Ví dụ: Với dòng điện chạm đất từ 1,5-2KA và giả sử điện trở nối đất an toàn của cột là 10Ω thì điện áp trên hệ thống nối đất của cột sẽ có trị số là:

$$U = I_a \cdot R_d = 15-20KV.$$

* Với các mạng điện có dòng chạm đất bé (mạng 3-35KV có trung tính cách điện).

Trong mạng này vì dòng chạm đất có trị số bé (thường từ 10-30A) nên điện áp trên hệ thống nối đất cột sẽ có trị số bé do đó có thể bảo đảm an toàn cho người bằng cách nối đất các cột điện (ví dụ: nếu điện trở nối đất của cột điện là 10Ω . thì điện áp xuất hiện trên hệ thống nối đất là khoảng 100-300V).

Như vậy nối đất cột điện ở mạng có dòng chạm đất bé có thể vừa chống sét, vừa bảo vệ an toàn và qui định như sau:

Phải thực hiện nối đất các cột của đường dây 35KV. Với các đường dây từ 3-22KV cho phép chỉ nối đất các cột trong vùng có dân cư và nối đất các cột các thiết bị chống sét hay thiết bị thao tác đo lường.

Điện trở nối đất của các cột điện qui định ở bảng 4-2

* Trong các mạng điện, điện áp < 1000V có trung tính cách điện, các cột thép và bê tông cốt thép phải có điện trở nối đất **không quá 50 Ω**.

Bảng 4-2. Điện trở nổi đất của cột đường dây cao áp.

Điện trở suất của đất $\Omega \cdot \text{cm}$	Trị số cực đại của điện trở nổi đất
Dưới 10^4	10
Từ $10^4 - 5 \cdot 10^4$	15
Từ $5 \cdot 10^4 - 10 \cdot 10^4$	20
Trên $10 \cdot 10^4$	30

4.7. TÍNH TOÁN HỆ THỐNG NỔI ĐẤT:

4.7.1. Cách thực hiện nổi đất:

Trước hết cần phải phân biệt nổi đất tự nhiên và nổi đất nhân tạo.

Nổi đất tự nhiên là sử dụng các ống dẫn nước, các cọc sắt, các sào sắt có sẵn trong đất. Hay sử dụng các kết cấu nhà cửa, các công trình có nổi đất, các vỏ cáp trong đất ... làm điện cực nổi đất.

Khi xây dựng vật nổi đất cần phải sử dụng, tận dụng các vật nổi đất tự nhiên có sẵn. Điện trở nổi đất của các vật nổi đất tự nhiên được xác định bằng cách đo tại chỗ hay có thể lấy theo các sách tham khảo.

Nổi đất nhân tạo thường được thực hiện bằng các cọc thép tròn, thép góc, thép ống, thép dẹt ... dài 2 - 5m chôn sâu xuống đất sao cho đầu trên cùng của chúng cách mặt đất 0,5 - 0,8m.

Kinh nghiệm cũng như tính toán cho thấy rằng điện trở nổi đất giảm xuống khi tăng độ dài chôn sâu của vật nổi đất (vì giảm ảnh hưởng của thời tiết) nhưng lúc chiều dài các cọc vượt quá 5m thì điện trở nổi đất giảm xuống không rõ rệt. Đường kính hay bề dày của vật nổi đất ảnh hưởng rất ít đến trị số điện trở của vật nổi đất. Vì vậy các ống thép đặt trong đất phải có bề dày không được nhỏ hơn 3,5mm, các thanh thép dẹt không được nhỏ hơn 4mm và tiết diện nhỏ nhất không được bé hơn 48mm^2 để đảm bảo độ bền cơ học. Các cọc thép chôn thẳng đứng được nối với nhau bằng thanh thép nằm ngang (thường bằng thép dẹt).

Dây nổi đất (hay nổi đất trung tính) phải có tiết diện thỏa mãn độ bền cơ khí và ổn định nhiệt, chịu được dòng điện cho phép lâu dài.

Khi thực hiện bảo vệ nổi đất thì tất cả các phần kim loại của các thiết bị điện, của các kết cấu kim loại (vỏ thiết bị, khung, bệ của các thiết bị phân phối điện ...) mà có thể xuất hiện điện áp khi cách điện bị hư hỏng phải được nối một cách chắc chắn với hệ thống nổi đất. Các mối nối của hệ thống nổi đất tốt nhất nên thực hiện bằng cách hàn (có thể cho phép nối bằng bulông), mỗi thiết bị điện phải có một dây nổi đất riêng, không cho phép dùng một dây nổi đất chung cho nhiều thiết bị.

Khi thực hiện nổi đất mà có sử dụng nổi đất tự nhiên nếu trị số điện trở nổi đất tự nhiên (R_m) lớn hơn trị số điện trở nổi đất tiêu chuẩn (R_d) thì trị số điện trở nổi đất nhân tạo là:

$$R_{nt} = \frac{R_d \cdot R_{tn}}{R_{tn} - R_d}$$

Mặt khác điện trở nối đất nhân tạo là gồm hệ thống các điện cực (cọc) chôn thẳng đứng có điện trở là R_c và thanh nối ngang nối giữa các cọc có điện trở R_n

$$R_{nt} = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n}$$

Trong thực tế người ta sử dụng nhiều loại vật nối đất có hình dáng và cách lắp đặt khác nhau với những công thức nối đất tính điện trở khác nhau. Sau đây ta xét một số trường hợp thường dùng nhất.

❶ Vật nối đất là thép tròn, thép ống chôn sát mặt đất như hình 4-5 thì điện trở nối đất của một cọc là:

$$R_{lc} = \frac{\rho_{tt}}{2 \cdot l \cdot \pi} \cdot \ln \frac{4l}{d}$$

Trong đó:

$\rho_{tt} = \rho$ ($\Omega \cdot m$) là điện trở suất tính toán của đất

d : là đường kính ngoài của cọc nối đất, nếu dùng thép góc thì đường kính đương trị là: $d = 0,95 \cdot b$ (b : là chiều rộng của thép góc)

❷ Vật nối đất cũng là thép tròn, thép ống nhưng được đóng sâu xuống sao cho đầu trên cùng của chúng cách mặt đất 1 khoảng nào đó (Hình 4.6).

Lúc này điện trở nối đất của cọc là:

$$R_{lc} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

Trong đó:

t : khoảng cách từ mặt đất đến điểm giữa của cọc.

❸ Vật nối đất là thép dẹt, thép tròn chôn nằm ngang trong đất (hình 4.7) thì

điện trở nối đất là:

$$R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l^2}{b \cdot t}$$

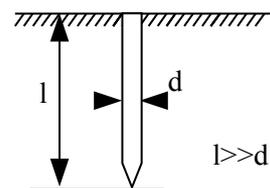
Trong đó :

b : là chiều rộng của thanh thép, nếu dùng thép tròn thì thay $b=2d$

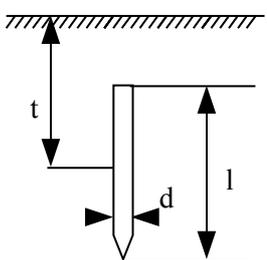
d : là đường kính

Một điều cần chú ý khi xác định điện trở nối đất cần phải xét đến ảnh hưởng của nhau giữa các điện cực khi tản dòng điện vào đất. Quá trình tản dòng điện trong đất ở điện cực nào đó sẽ bị hạn chế bởi quá trình tản dòng điện cực từ các điện cực lân cận, do đó làm tăng chỉ số điện trở nối đất ảnh hưởng này được tính bằng việc đưa vào công thức xác định điện trở nối đất một hệ số gọi là hệ số sử dụng.

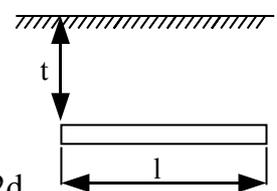
Vì vậy điện trở nối đất của n cọc (đóng thẳng đứng) có xét đến hệ số sử dụng:



Hình 4.5



Hình 4.6



Hình 4.7

$$R_c = \frac{R_{1c}}{n \cdot \mu_c}$$

Trong đó:

R_{1c} : là trị số điện trở nối đất của một cọc.

μ_c : là hệ số sử dụng của các cọc.

Hệ số μ_c này phụ thuộc vào số cọc n và tỉ số a/l .

Trong đó:

a : là khoảng cách giữa các cọc chôn thẳng đứng

l : là chiều dài giữa các cọc.

Thông thường $a/l = 1, 2, 3$

Tương tự điện trở nối đất của các thanh ngang khi có tính đến hệ số sử dụng:

$$R_n = \frac{R'_n}{\mu_n}$$

Trong đó :

R'_n : là điện trở nối đất của các thanh ngang khi chưa tính đến hệ số sử dụng của các thanh ngang μ_n

μ_n cũng phụ thuộc vào n và a/l .

Hệ số μ_n cũng như μ_c thường cho trong các sổ tay. Rõ ràng μ_n hay μ_c luôn luôn nhỏ hơn 1.

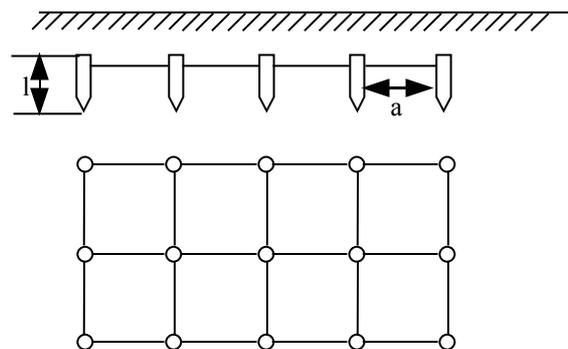
4.7.2. Các bước tính toán nối đất:

Mục đích tính toán nối đất là xác định hình thức nối đất thích hợp (nối đất tập trung hay mạch vòng), xác định các thông số chủ yếu của hệ thống nối đất (như số lượng, hình dáng cọc, các thanh) xuất phát từ trị số điện trở nối đất tiêu chuẩn và các điều kiện cụ thể nơi cần lắp đặt.

Trong các điều kiện cho phép cần thực hiện nối đất theo nối đất mạch vòng. Tuy vậy trong các mạng có dòng chạm đất bé nếu điều kiện lắp đặt mặt bằng bị hạn chế thì có thể cho phép nối đất tập trung. Với các mạng có dòng chạm đất lớn bắt buộc phải thực hiện nối đất mạch vòng. Ngoài ra phải thực hiện cân bằng thế (để giảm điện áp tiếp xúc và điện áp bước) trong các mạng điện có dòng chạm đất lớn này người ta thường đặt thêm các thanh nối ngang ở ngay phía dưới các thiết bị có độ sâu từ 0,5-0,7m dưới dạng mặt lưới (hình 4.8)

Sau khi đã được các số liệu cần thiết ban đầu (như mặt bằng, hình dạng,

kích thước vật nối đất, chế độ làm việc của điểm trung tính, điện trở nối đất tự nhiên,



Hình 4.8

điện trở suất của đất...)

Các bước tính toán hệ thống nối đất được tính như sau:

- ❶ Xác định điện trở nối đất yêu cầu R_d .
- ❷ Xác định điện trở nối đất nhân tạo. Nếu có sử dụng điện trở nối đất tự nhiên với trị số là R_{tn} thì điện trở nối đất nhân tạo cần thiết là:

$$R_{nt} = \frac{R_d \cdot R_{tn}}{R_{tn} - R_d}$$

- ❸ Xác định điện trở suất tính toán của đất:

Ở đây cần chú ý là vì các cọc chôn thẳng đứng và các thanh nối ngang có độ chôn sâu khác nhau nên chúng có điện trở suất tính khác nhau.

Cụ thể:

+ Với các cọc $\rho_{ttc} = K_{mc} \cdot \rho$

+ Với các thanh nối ngang: $\rho_{tnn} = K_{mn} \cdot \rho$

Trong đó:

- K_{mc} : là hệ số mùa của các cọc.

- K_{mn} : là hệ số mùa các thanh ngang.

❹ Theo địa hình thực tế mà bố trí hệ thống nối đất mà từ đó xác định gần đúng số lượng cọc ban đầu và chiều dài tổng của các thanh nối ngang (n_{bd} và l_n). Ở đây cần lưu ý là khoảng cách giữa các cọc không được bé hơn chiều dài các cọc ($\frac{a}{l} \geq 1$).

Cũng theo điều kiện và yêu cầu thực tế mà chọn cách lắp đặt, kích thước, hình dạng của vật nối đất... rồi từ đó xác định được điện trở nối đất của một cọc (R_{1c}) theo công thức đã biết.

- ❺ Xác định số lượng cọc cần dùng:

$$n_{sb} = \frac{R_{1c}}{R_{nt} \cdot \mu_c}$$

Trong đó:

μ_c : là hệ số sử dụng của các cọc phụ thuộc vào số lượng cọc ban đầu (n_{bd}) và tỉ số a/l .

R_{nt} : là điện trở suất nhân tạo yêu cầu khi đã tính đến điện trở nối đất tự nhiên (nếu có).

Nếu không có sử dụng nối đất tự nhiên thì R_{nt} bằng trị số nối đất tiêu chuẩn yêu cầu: $R_{nt} = R_d$.

❻ Xác định điện trở nối đất của các thanh ngang nối đất giữa các cọc theo công thức đã biết có tính đến hệ số sử dụng của các thanh ngang:

$$R_{nt} = \frac{\rho_{ttn}}{2\pi \cdot \mu_n \cdot l_n} \cdot \frac{2 \cdot l_n^2}{b \cdot t}$$

Trong đó:

μ_n : là hệ số sử dụng của các thanh ngang phụ thuộc vào nbđ và a/l.

l_n : tổng chiều dài của các thanh ngang nối giữa các cọc ở đây ta coi đó là một thanh ngang duy nhất.

⑦ Xác định trị số điện trở nối đất yêu cầu của cọc khi có xét đến điện trở nối đất của các thanh ngang:

$$R_c = \frac{R_n \cdot R_{nt}}{R_n - R_{nt}} \quad \text{Chú ý có bất đẳng thức: } R_d \leq R_{nt} < R_c$$

⑧ Xác định chính xác số cọc cần dùng:

$$n_c = \frac{R_{lc}}{R_c \cdot \mu_c'}$$

Trong đó: μ_c : hệ số sử dụng của các cọc khi đã biết số cọc sơ bộ n_{sb} .

Lưu ý là số cọc dùng trong nối đất không được nhỏ hơn 2.

Phương pháp tính toán hệ thống nối đất ở trên là phương pháp tính toán dựa theo điện trở nối đất tiêu chuẩn (R_d) với giả thiết là đất thuần nhất có điện trở suất không đổi là ρ nên có sai số nhất định vì trong thực tế điện trở suất của đất thay đổi theo sự thay đổi độ sâu. Vì vậy ngoài phương pháp coi điện trở suất của đất là một số không đổi còn có những phương pháp tính toán nối đất chính xác hơn, trong đó có tính đến sự thay đổi điện trở suất của đất phụ thuộc vào độ sâu của đất.

Mặt khác, nhằm mục đích tiết kiệm và giảm bớt phức tạp tốn kém khi xây dựng hệ thống nối đất cho các thiết bị có dòng chạm đất lớn. Hiện nay, trong một số trường hợp người ta có thể tính toán hệ thống nối đất theo trị số điện áp tiếp xúc cho phép mà không phải theo trị số điện trở nối đất tiêu chuẩn như đã trình bày ở trên.

Ví dụ tính toán hệ thống nối đất:

Hãy tính toán hệ thống nối đất của trạm biến áp 35/6KV. Lưới 35 và 6KV có trung tính cách điện đối với đất. Phía 35KV có dòng chạm đất 1 pha là: $I_d = 8A$, phía 6KV là: $I_d = 25A$ tự dùng của trạm được cung cấp bằng máy biến áp 6/0,4KV có trung tính nối đất trực tiếp ở phía hạ áp. Điện trở suất của đất đo được là $86\Omega.m$. Thiết bị của trạm chiếm diện tích $(18 \times 8)m^2$. Biết không có sử dụng điện trở nối đất tự nhiên và cho hệ số mùa của các cọc $K_{mc} = 2$, của các thanh ngang $K_{mn} = 3$.

Giải:

Ta tính theo các bước sau:

1.Xác định điện trở nối đất tiêu chuẩn theo yêu cầu của hệ thống nối đất:

Giả sử ở đây ta dùng hệ thống nối đất chung cho các thiết bị cao áp và thiết bị

hạ áp.

- Điện trở nối đất cần thiết của các thiết bị cao áp 35KV là:

$$R_{d1} \leq \frac{250}{I_d} = \frac{250}{8} = 31,4\Omega$$

- Điện trở nối đất cần thiết phía 6KV là:

$$R_{d2} \leq \frac{250}{I_d} = \frac{250}{25} = 10\Omega$$

- Khi dùng cho cả thiết bị cao áp và hạ áp :

$$R_{d3} \leq \frac{250}{I_d} = \frac{125}{25} = 5\Omega$$

Điện trở nối đất của trung tính máy biến áp tự dùng 6/0,4KV qui định là $\leq 4\Omega$.

Như vậy điện trở nối đất chung cho toàn trạm lấy theo trị số bé nhất là 4Ω .

$$R_{\text{điện}} = 4\Omega$$

2. Xác định điện trở nối đất nhân tạo:

Ở đây vì không có sử dụng nối đất tự nhiên nên ta có điện trở nối đất nhân tạo bằng trị số điện trở nối đất tiêu chuẩn:

$$R_{nt} = R_d = 4\Omega$$

3. Xác định điện trở suất tính toán của đất:

Với các cọc : $\rho_{ttc} = K_{mc} \cdot \rho = 2.86 = 172 \Omega.m$

Với các thanh ngang: $\rho_{ttn} = K_{mn} \cdot \rho = 3.86 = 258 \Omega.m$

4. Dự định:

Hệ thống nối đất, trạm dùng cho các cọc thép tròn đường kính 3 12mm, dài 5m đóng cách nhau 5m và các thanh nối ngang nối các cọc đặt ở 1 độ sâu 0,7m.

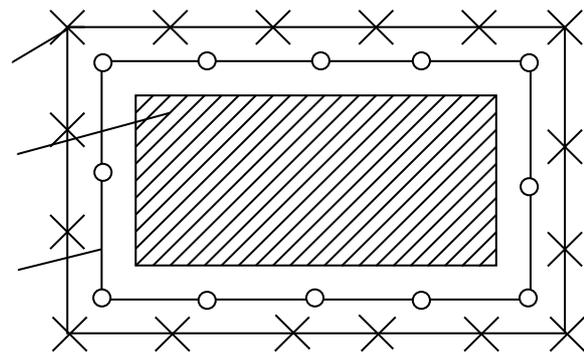
Dự kiến mạch vòng nối đất là: 2

$$2 \cdot (20 + 10) = 60m$$

Như vậy chiều dài của thanh nối ngang là:

$L_n = 60m$, tỉ số $a/l = 1$ và số lượng cọc ban đầu là: $n_{bd} = 60/5 = 12$.

Điện trở nối đất của 1 cọc nối đất thẳng đứng theo cách lắp đặt trên là:



Hình 4.9: Mặt bằng hệ thống nối đất

1. Diện tích đặt thiết bị ($18 \times 8m^2$)

2. mạch vòng nối đất

3. Hàng rào

$$R_{1c} = \frac{\rho_{ttc}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

$$\rho_{ttc} = 172 \Omega \cdot m$$

$$t = 0,7 + \frac{5}{2} = 3,2 m$$

$$R_{1c} = \frac{172}{2\pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 38,8 \Omega$$

5. Xác định số lượng cọc:

$$n_{sb} = \frac{R_{1c}}{R_{nt} \cdot \mu_c}$$

Trong đó: $R_{nt} = R_d = 4 \Omega$; μ_c tra bảng theo $n_{sb} = 12$ và $a/l = 1$.

$$n_{bd} = \frac{38,8}{4 \cdot 0,57} = 17,1 \text{ cọc}$$

6. Xác định điện trở nối đất của các thanh ngang:

$$R_n = \frac{\rho_{ttn}}{2\pi \cdot \mu_n \cdot l_n} \cdot \frac{l_n^2 \cdot 2}{b \cdot t}$$

Ta có: $n = 60m$; $b = 40 \cdot 10^{-3}m$; trung tính $= 0,7m$.

$\mu_n = 0,326$ tra bảng theo $n = 17$ và $a/l = 1$.

$$R_n = \frac{258}{2\pi \cdot 60 \cdot 0,326} \cdot \ln \frac{2 \cdot 60^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 25,8 \Omega$$

7. Xác định điện trở nối đất yêu cầu của các cọc sau khi xét tới điện trở nối đất của các thanh nối ngang:

$$R_c = \frac{R_n \cdot R_t}{R_n - R_t} = \frac{26,8 \cdot 4}{26,8 - 4} = 4,7 \Omega$$

Để dàng ta thấy: $R_d = R_{tn} = 4 < R_c = 4,7 \Omega$

8. Xác định số lượng cọc cần thiết:

$$n_c = \frac{R_{1c}}{R_c \cdot \mu_c}$$

Ở đây $\mu_c = 0,52$ tra bảng theo $n = 17$ và $a/l = 1$.

$$\text{Vậy } n_c = \frac{38,8}{4,7 \cdot 0,52} = 15,8$$

Kết quả ta lấy $n = 16$ cọc.

Như vậy so với dự kiến ban đầu ta phải đóng thêm 4 cọc nữa.

CHƯƠNG 5

BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH

5.1. KHÁI NIỆM CHUNG:

Trong mạng điện 3 pha 4 dây điện áp nhỏ hơn 1000V có trung tính trực tiếp nối đất người ta không áp dụng hình thức bảo vệ nối đất mà thay nó bằng hình thức bảo vệ nối dây trung tính. Trong bảo vệ nối dây trung tính người ta nối các phần kim loại của thiết bị điện hoặc các kết cấu kim loại mà những bộ phận đó có thể xuất hiện điện áp khi cách điện bị hư hỏng với dây trung tính.

5.2. MỤC ĐÍCH VÀ Ý NGHĨA CỦA BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH:

5.2.1. Mục đích:

Bảo vệ nối dây trung tính nhằm bảo đảm an toàn cho người khi có sự chạm vỏ của 1 pha nào đó bằng cách nhanh chóng cắt phần điện có sự chạm vỏ .

5.2.2. Ý nghĩa:

Bảo vệ nối dây trung tính dùng để thay thế cho bảo vệ nối đất trong các mạng điện 3 pha 4 dây điện áp nhỏ hơn 1000 V có trung tính trực tiếp nối đất như ở mạng điện 380/ 220 V, 220/ 127 V...

Ý nghĩa của việc thay thế này xuất phát từ thực tế là trong mạng điện 3 pha 4 dây trung tính trực tiếp nối đất mà vẫn áp dụng hình thức bảo vệ nối đất thì không thể bảo đảm an toàn cho người. Điều này có thể giải thích bằng ví dụ sau:

* Giả sử ta có mạng điện 3 pha 4 dây trung tính trực tiếp nối đất, điện áp nhỏ hơn 1000 V như hình 4-1 và giả thiết ta vẫn bảo vệ an toàn cho người là bảo vệ nối đất tức là nối vỏ thiết bị với hệ thống nối đất có điện trở nối đất là R_d .

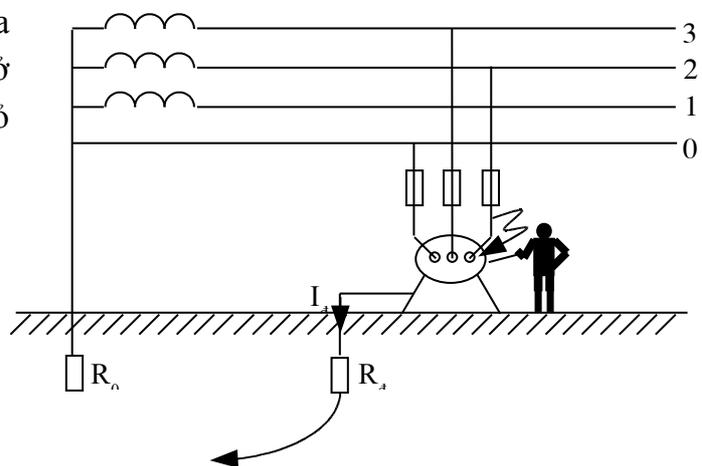
Khi có sự chạm vỏ của 1 pha do cách điện bị hư hỏng (pha ở trong h 5-1) sẽ có dòng điện qua vỏ thiết bị đi vào đất với trị số:

$$I_d = \frac{U_f}{R_0 + R_d}$$

Trong đó :

- U_f là điện áp pha của mạng điện.
- R_0, R_d là điện trở nối đất của trung tính và của thiết bị cần bảo vệ.

Trị số dòng điện I_d này lúc điện áp nhỏ hơn 1000 V không phải lúc nào cũng đủ lớn để làm cho các



Hình 5.1: Thiết bị bị chạm vỏ trong mạng điện có trung tính nối đất có điện áp dưới 1000V

thiết bị bảo vệ (như cầu chì, áp tô mát ...) tác

Trang

động 1 cách chắc chắn và nhanh để cắt phần bị chạm vỏ ra, vì vậy trên vỏ thiết bị sẽ có một điện áp nguy hiểm tồn tại lâu dài là:

$$U_d = I_d \cdot R_d$$

Ví dụ: Mạng 380/220 V có trung tính trực tiếp nối đất với $R_0 = R_d = 4\Omega$ thì.

$$I_d = \frac{220}{4 + 4} = 27,5A$$

Dòng điện 27,5 A chỉ có thể làm cho cầu chì có dòng định mức của dây chảy có trị số khoảng 10A tác động. Thực tế dòng định mức của dây chảy có thể lớn hơn trị số 10 A trên nhiều (trị số đó phụ thuộc chủ yếu vào công suất và chế độ làm việc của các thiết bị điện). Lúc này các thiết bị bảo sẽ không tác động, và trên vỏ thiết sẽ có điện áp nguy hiểm là:

$$U_d = I_d \cdot R_d = 27,5 \cdot 4 = 110 V$$

Điện áp này có thể tồn tại lâu dài. Ở đây $R_d = R_0$ nên: $U_d = U_f / 2$.

Nếu $R_d > R_0$ thì U_d sẽ lớn hơn.

* Để có thể giảm U_d :

- Giảm R_d so với R_0 nhưng như vậy sẽ không kinh tế.
- Trong trường hợp trên nếu chúng ta bằng cách nào đó có thể tăng dòng chạm vỏ I_d đến một giá trị đủ lớn nào đó để các thiết bị bảo vệ có thể cắt nhanh chỗ bị sự cố chạm vỏ thì mới có thể bảo vệ an toàn được cho người. Biện pháp đơn giản nhất là dùng dây dẫn để nối vỏ thiết bị với dây trung tính .

Như vậy ý nghĩa của bảo vệ nối dây trung tính là biến sự chạm vỏ của thiết bị thành ngắn mạch một pha để các thiết bị bảo vệ cắt nhanh và chắc chắn phần bị chạm vỏ bảo đảm an toàn cho người.

Cần lưu ý rằng bảo vệ nối dây trung tính chỉ tác động tốt khi có sự chạm vỏ thiết bị còn khi có sự chạm đất thì bảo vệ nối dây trung tính sẽ không tác dụng bảo vệ vì lúc đó dòng chạm đất bé nên có thể các thiết bị bảo vệ không tác động vì vậy sự cố chạm đất này sẽ tồn tại lâu dài nguy hiểm (trong mạng trung tính trực tiếp nối đất điện áp nhỏ hơn 1000 V cần phân biệt hai khái niệm chạm đất và chạm vỏ).

5.3. PHẠM VI ỨNG DỤNG CỦA BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH :

Nói chung, không phụ thuộc vào môi trường xung quanh trong các cơ sở sản xuất với các mạng điện 3 pha 4 dây điện áp nhỏ hơn 1000 V có trung tính trực tiếp nối đất phải luôn luôn thực hiện biện pháp bảo vệ nối dây trung tính. Tuy vậy cần lưu ý một số điểm sau:

❶. Với các mạng điện 3 pha 4 dây trung tính trực tiếp nối đất, điện áp 220/127 V cho phép chỉ thực hiện bảo vệ nối dây trung tính trong các trường hợp sau:

- a. Xưởng đặc biệt nguy hiểm về mặt an toàn .
- b. Các thiết bị đặt ngoài trời.

Trang

c. Các bộ phận bằng kim loại của các thiết bị điện mà người thường tiếp xúc như tay cầm, cần điều khiển...

②. Với các phòng làm việc, nhà ở có nền cao ráo thì với điện áp 380/220 V và 220/127 V (trong mạng có trung tính nối đất) cho phép không cần bảo vệ nối dây trung tính.

③. Trên các đường dây 3 pha 4 dây điện áp 380/ 220 V có trung tính trực tiếp nối đất các cột thép, xà thép phải được nối với dây trung tính.

5.4. NỐI ĐẤT LÀM VIỆC VÀ NỐI ĐẤT LẶP LẠI TRONG BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH:

Khi thực hiện bảo vệ nối dây trung tính, dây trung tính sẽ được nối đất ở đầu nguồn (gọi là nối đất làm việc) và có thể được nối đất lặp lại trong từng đoạn của mạng điện gọi là nối đất lặp lại dây trung tính.

Nhiệm vụ của nối đất làm việc là tạo ra các điều kiện làm việc bình thường cho các thiết bị điện, ví dụ của nối đất làm việc là nối đất trung tính MBA, máy phát, cuộn dập hồ quang.

Quy phạm quy định điện trở nối đất làm việc đầu nguồn của mạng điện có trung tính trực tiếp nối đất không được quá 4 và 8 Ω tương ứng với mạng 380/220 V và 220/127 V (chỉ với các nguồn công suất bé 100 KVA ở mạng 380/220 V thì cho phép đến 10 Ω).

Sở dĩ có sự quy định như trên là để hạn chế điện áp của dây trung tính đối với đất lúc có sự xâm nhập điện áp cao sang phía điện áp thấp cũng như lúc xảy ra chạm đất của 1 pha nào đó ở phía hạ áp.

Nhiệm vụ của nối đất lặp lại dây trung tính là giảm điện áp trên vỏ thiết bị so với đất khi có sự chạm vỏ, nhất là trong trường hợp dây trung tính bị đứt. Ta hãy phân tích nhiệm vụ đó khi so sánh với trường hợp khi không có nối đất lặp lại.

A. Trường hợp không có nối đất lặp lại :

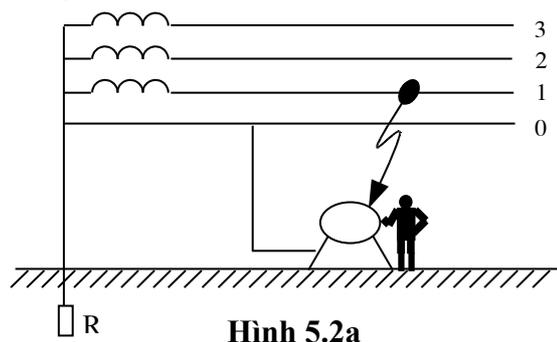
1. Khi dây trung tính không bị đứt (hình 5.2a):

Khi chạm vỏ thì trên vỏ thiết bị có điện áp:

$$U_1 = I_R \cdot Z_K < U_f$$

I_N : Dòng ngắn mạch 1 pha (dòng chạm vỏ).

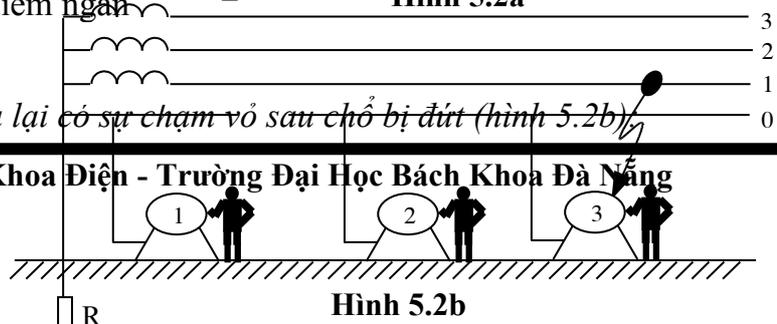
Z_K : Tổng trở ngắn mạch của dây trung tính tính từ nguồn đến điểm ngắn mạch.



Hình 5.2a

2. Khi đứt dây trung tính mà lại có sự chạm vỏ sau chỗ bị đứt (hình 5.2b)

Bộ môn Hệ thống điện - Khoa Điện - Trường Đại Học Bách Khoa Đà Nẵng



Hình 5.2b

Trang

Điện áp trên vỏ thiết bị trước chỗ đứt:

$$U_1 = 0$$

Điện áp trên vỏ thiết bị bị sau chỗ bị đứt:

$$U_2 = U_3 = U_f$$

B. Trường hợp có nối đất lặp lại dây trung tính:

1. Khi dây trung tính không bị đứt (hình 5.3a):

Khi có sự chạm vỏ thì trên thiết bị sẽ có điện áp:

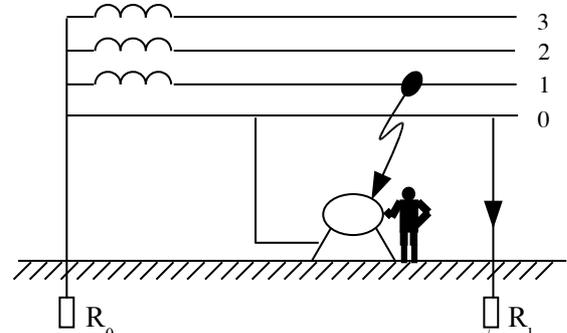
$$U_2 = I_d \cdot R_2 = \frac{I_N \cdot Z_K}{R_0 + R} \cdot R_2$$

$$U_2 < U_1$$

U_1 : Điện áp trên vỏ thiết bị khi không nối đất lặp lại

R_0 : Điện trở nối đất trung tính.

R_2 : Điện trở nối đất lặp lại.



Hình 5.3a

2. Khi đứt dây trung tính mà có sự chạm vỏ sau chỗ bị đứt (hình 5.3b):

Điện áp trên vỏ thiết bị trước chỗ bị đứt:

$$U_4 = I_d \cdot R_0 = \frac{U_f}{R_0 + R_2} R_0 < U_f$$

Điện áp trên vỏ thiết bị sau chỗ bị đứt:

$$U_5 = I_d \cdot R_2 = \frac{U_f}{R_0 + R_2} R_2 < U_f$$

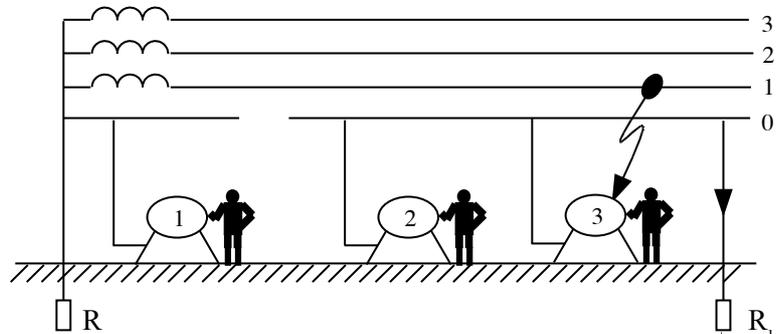
$$U_4 + U_5 = U_f ; \quad U_f - \text{Điện áp pha.}$$

Ta thấy khi có nối đất lặp lại dây trung tính thì sự phân bố điện áp trước và sau chỗ bị đứt được đều hơn (nếu $R_0 = R_2$ thì điện áp sẽ bằng $U_f / 2$).

Qua phân tích so sánh trên, rõ ràng ta thấy nối đất lặp lại dây trung tính sẽ giảm rất nhiều mức độ nguy hiểm cho người nhất là khi dây trung tính bị đứt.

Quy phạm quy định điện trở nối đất lặp lại dây trung tính trong mạng 380/220 V không được vượt quá **10 Ω**

Cũng cần lưu ý rằng nối đất lặp lại dây trung tính chỉ có tác dụng làm giảm mức độ nguy hiểm cho người nhất là khi dây trung tính bị đứt mà có sự chạm vỏ phía sau chỗ bị đứt (vì lúc đó sự cố đó có thể tồn tại lâu dài) nó không thể đảm bảo an toàn



Hình 5.3b

Trang

tuyệt đối cho người được vì vậy trong mọi trường hợp cần tránh xa dây đứt trung tính vì bất cứ lý do nào.

Các quy định liên quan đến việc nối đất lặp lại dây trung tính :

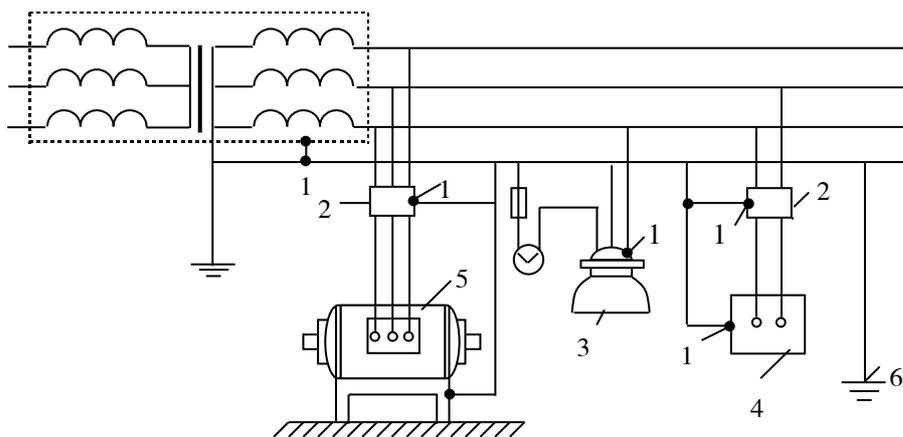
❶. Không có nối đất lặp lại: Quy phạm cho phép không dùng nối đất lặp lại cho các mạng điện dùng dây cáp. Với các mạng cáp này thường dùng một lõi riêng (cáp 4 lõi) hay dùng ngay vỏ kim loại của cáp để làm dây trung tính vì vậy xác suất đứt rất nhỏ.

❷. Nối đất lặp lại bố trí tập trung: Quy định dùng cho các mạng đường dây trên không để đề phòng trường hợp dây trung tính bị đứt. Quy phạm quy định phải nối đất lặp lại dây trung tính tại đầu cuối của đường dây trên không có chiều dài lớn hơn 200m và cả tại điểm giữa của của đường dây có chiều dài khoảng 500 m.

❸. Nối đất lặp lại bố trí theo chu vi mạch vòng: Không phụ thuộc vào kết cấu của mạng điện (đường dây trên không hay dây cáp) đối với các thiết bị cố định (trong các phân xưởng, nhà máy sản xuất cố định...) phải dùng nối đất lặp lại dây trung tính bố trí theo chu vi mạch vòng.

5.5. CÁCH THỰC HIỆN BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH:

Khi thực hiện bảo vệ nối dây trung tính thì tất cả các phần kim loại của các thiết bị điện, của các kết cấu kim loại (như vỏ thiết bị, khung bệ của thiết bị phân phối điện, vỏ kim loại của cáp...) mà có thể xuất hiện điện áp khi có sự cố chạm vỏ đều phải được nối một cách chắc chắn với dây trung tính. Trên hình 4.4 cho ta một cách thực hiện bảo vệ nối dây trung tính:



Hình 5-4: Ví dụ về nối dây trung tính các thiết bị

1 - Điểm nối vỏ thiết bị với dây trung tính.

2 - Thiết bị đóng cắt bảo vệ (cầu dao, áp tô mát...)

3 - Đèn chiếu sáng. 4 - Thiết bị 2 pha.

5 - Thiết bị 3 pha. 6 - Nối đất lặp lại dây trung

* Khi thực hiện bảo vệ nối dây trung tính cần lưu ý một số điểm sau:

❶. Để tránh làm hở mạch dây trung

Bộ môn Hệ thống điện - Khoa Điện - Trường Đại Học Bách Khoa Đà Nẵng

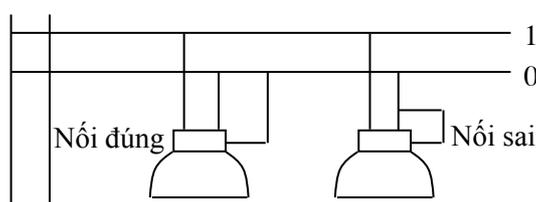
Hình 5-5: Sự nguy hiểm khi hở mạch dây trung tính

Trang

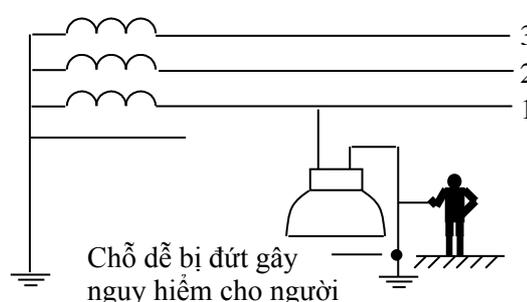
tính người ta quy định rằng dây trung tính không được đặt cầu chì, cầu dao hoặc các thiết bị đóng cắt khác (trừ trường hợp đặc biệt khi cắt đồng thời các dây pha và dây trung tính). Ví dụ như ở hình 5.5 nếu đặt cầu dao K ở mạch dây trung tính, thì lúc hở mạch (cầu dao K hở) mà người chạm vào vỏ thiết bị có nối dây trung tính sẽ có dòng điện nguy hiểm qua người ngay cả khi cách điện tốt.

②. Quy định rằng dây nối trung tính bảo vệ phải dùng một dây riêng, dây này không được đồng thời dùng làm dây dẫn điện, như hình 5.6:

③. Trong mạng có trung tính trực tiếp nối đất, nếu vì một nguyên nhân nào đó mà bị mất trung tính, người ta không cho phép dùng đất như một dây dẫn (hình 5.7).



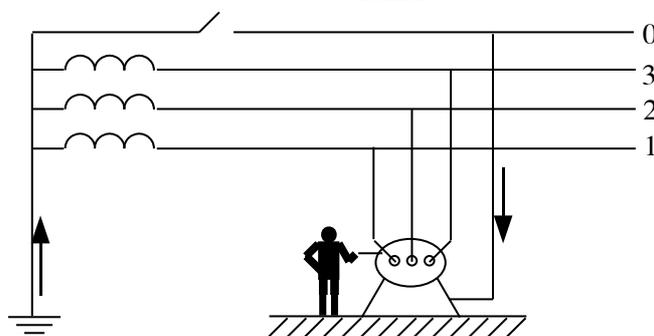
Hình 5.6



Hình 5.7

④. Khi xây dựng đường dây hạ áp phải chú ý bố trí dây trung tính nằm dưới dây pha, vì nếu bố trí trên dây pha có thể gây nguy hiểm. Hình 5.8:

⑤. Các dây nối bảo vệ (nối từ dây trung tính đến vỏ thiết bị) theo độ bền cơ học và chống ăn mòn phải có kích thước tối thiểu



Hình 5.8:

Bảng 5.1

Tiết diện tối thiểu (mm^2) của dây nối bảo vệ bằng đồng và nhôm trong các thiết bị có điện áp nhỏ hơn 1000 V.

Loại dây nối bảo vệ	Đồng	Nhôm
1. Dây trần khi đặt hở	4	6
2. Dây bọc cách điện	1,5	2,5
3. Lõi cáp hoặc dây dẫn nhiều sợi trong cùng một vỏ chung	1	1,5

⑥. Trong việc sử dụng vỏ kim loại của cáp vào mục đích bảo vệ nối đất và bảo vệ nối dây trung tính cần chú ý:

Trang

Qua tính toán người ta nhận thấy rằng vỏ nhôm của cáp có thể sử dụng làm dây trung tính và dây nối bảo vệ vì nó có đủ độ dẫn điện cần thiết còn vỏ chì của cáp thường có độ dẫn điện kém hơn nên không được sử dụng làm dây trung tính hoặc dây nối bảo vệ. Ngược lại vỏ nhôm của cáp lại không được sử dụng như một điện cực nối đất (khi nó đặt trong đất) vì bên ngoài vỏ nhôm của cáp thường có lớp phủ cách điện bên ngoài (để bảo vệ nhôm chống sự ăn mòn) còn vỏ chì của cáp lại có thể sử dụng được như một điện cực nối đất khi có cáp đặt trong đất không nhỏ hơn 2.

5.6. TÍNH TOÁN BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH:

Trong bảo vệ nối dây trung tính, để các thiết bị bảo vệ (như cầu chì, áp tô mát..) có thể cắt nhanh và chắc chắn phần bị chạm vỏ nguy hiểm cho người thì trị số dòng ngắn mạch (dòng chạm vỏ) phải đủ lớn, cũng như dòng điện định mức của các thiết bị bảo vệ phải chọn thích hợp. Nếu do dòng chạm vỏ bé hay dòng định mức của các thiết bị bảo vệ chọn không đúng (quá lớn) thì các thiết bị bảo vệ có thể không tác động hoặc tác động chậm gây nguy hiểm cho người vì lúc đó trên vỏ thiết bị sẽ có điện áp :

$$U = I_N \cdot Z_K$$

I_N : Dòng điện chạm vỏ (ngắn mạch) .

Z_K : Tổng trở của dây trung tính từ nguồn đến điểm ngắn mạch.

Muốn tăng dòng điện chạm vỏ I_N lên đến một giá trị đủ lớn để các thiết bị bảo vệ cắt nhanh và chắc chắn thì phải tìm cách giảm hợp lý tổng trở của mạch ngắn mạch pha- trung tính. Tổng trở của mạch pha trung tính này bao gồm tổng trở của dây pha, dây trung tính, và cả tổng trở của máy biến áp nguồn. Trong đó, tổng trở của máy biến áp đối với dòng ngắn mạch 1 pha này là gồm cả tổng trở mạch từ của nó chứ không phải chỉ là tổng trở của cuộn dây.

Tổng trở của máy biến áp đối với dòng ngắn mạch 1 pha có ảnh hưởng lớn đến trị số của dòng ngắn mạch, mà tổng trở của máy biến áp lại phụ thuộc vào tổ nối dây của máy biến áp. Nhận thấy rằng tổng trở của máy biến áp 3 pha đối với dòng ngắn mạch 1 pha sẽ lớn nhất khi các cuộn dây của nó nối Y/Δ , còn sẽ nhỏ hơn nhiều khi nối Δ/Y vì vậy muốn tăng dòng I_N thì nên dùng sơ đồ Δ/Y_0 .

Ví dụ máy biến áp Liên Xô có công suất định mức 400 KVA nên nối Y/Y_0 thì tổng trở đối với dòng ngắn mạch một pha là: $Z_B = 0,065 \Omega$, còn cũng với máy biến áp đó nếu nối Δ/Y thì Z_B chỉ bằng $0,022 \Omega$

Ngoài ra cũng có thể tăng dòng ngắn mạch bằng cách tăng hợp lý độ dẫn điện của dây trung tính (tức là giảm điện trở của dây trung tính) vì vậy người ta quy định rằng : trong bảo vệ nối dây trung tính thì độ dẫn điện của dây trung tính không được nhỏ hơn 50% độ dẫn điện của dây pha.

Xác định dòng điện ngắn mạch 1 pha: Trong mạng điện 3 pha 4 dây có trung tính trực tiếp nối đất có điện áp nhỏ hơn 1000 V thì dòng điện ngắn mạch 1 pha có

Trang

thể xác định gần đúng như sau:

$$I_N = \frac{U_f}{Z_d + \frac{Z_B}{3}}$$

Trong đó: U_f : Là điện áp pha (V).

Z_B : Là tổng trở của máy biến áp đối với dòng ngắn mạch 1 pha.

Z_d : Là tổng trở của mạch pha trung tính. Đối với các máy biến áp có công suất lớn hơn 630 KVA có thể lấy $Z_B = 0$.

Tổng trở Z_d của mạng có thể xác định như sau:

$$Z_d = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

R_d : Điện trở tác dụng của mạch pha - trung tính (gồm dây pha và dây trung tính).

$$R_d = R_f + R_{tt}$$

R_f : Điện trở dây pha.

R_{tt} : Điện trở dây trung tính.

X_d : Cảm kháng của mạch pha - trung tính.

Trong nhiều số tay về điện người ta thường cho chung một trị số Z_d ứng với từng loại mạng cụ thể.

Để các thiết bị bảo vệ cắt nhanh và chắc chắn khi có sự chạm vỏ bảo đảm an toàn cho người thì dòng ngắn mạch 1 pha phải thỏa mãn bất đẳng thức sau:

$$I_N \geq K_{BV} \cdot I_{dm}$$

K_{BV} : Hệ số bảo vệ, là tỉ số yêu cầu giữa dòng ngắn mạch so với dòng định mức của thiết bị bảo vệ.

I_{dm} : Dòng định mức của thiết bị bảo vệ (cầu chì, áp tô mát) cụ thể đó là :

- Dòng điện định mức của dây chảy cầu chì nếu bảo vệ bằng cầu chì.
- Dòng điện định mức của bộ phận cắt của bảo vệ bằng áp tô mát có bộ phận cắt hỗn hợp (quá tải và ngắn mạch) hay áp tô mát chỉ có bộ phận cắt quá tải (cắt nhiệt).
- Dòng điện tác động tức thời của áp tô mát chỉ có bộ phận cắt điện từ (cắt ngắn mạch).

Quy định:

- $K_{BV} \geq 3$ nếu bảo vệ bằng cầu chì hoặc áp tô mát có bộ phận cắt quá tải.
- $K_{BV} = 1,4$ nếu bảo vệ bằng áp tô mát có bộ phận cắt điện từ khi dòng điện định mức của áp tô mát $\leq 100A$ và $K_{BV} = 1.25$ khi dòng định mức của áp tô mát $> 100A$.

Trong các xưởng có nguy cơ cháy nổ thì :

- $K_{BV} \geq 4$ nếu bảo vệ bằng cầu chì .
- $K_{BV} \geq 6$ nếu bảo vệ bằng áp tô mát có bộ phận cắt quá tải.

Các trường hợp còn lại không thay đổi.

Trang

Ví dụ: Một đường dây cáp nhôm 4 ruột đặt trong ống thép nhận điện từ tủ phân phối điện áp 380/220 V, với máy biến áp công suất 1000 KVA có trung tính trực tiếp nối đất. Hãy kiểm tra lại sự làm việc của các thiết bị bảo vệ khi có ngắn mạch một pha (có chạm vỏ) tại điểm xa nhất của mạng điểm C nếu:

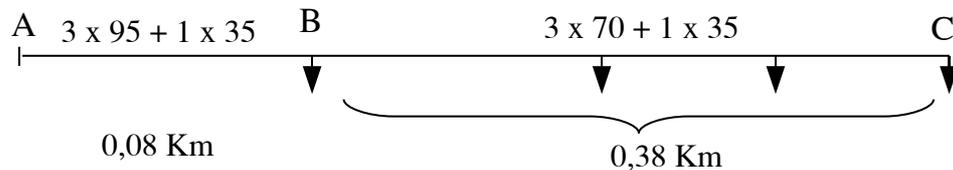
1. Mạng được bảo vệ bằng cầu chì với dòng điện định mức của dây chảy bằng 100 A : $I_{do} = 100$ A.

2. Mạng điện được bảo vệ bằng áp tô mát có bộ phận cắt hỗn hợp với dòng định mức của bộ phận cắt bằng 80 A.

3. Mạng được bảo vệ bằng áp tô mát chỉ có bộ phận cắt điện từ (ngắn mạch) với dòng điện tác động tức thời bằng 200 A.

Cho biết các loại áp tô mát trên đều có dòng định mức lớn hơn 100 A.

Sơ đồ mạng:

**GIẢI:**

Ta có điều kiện để kiểm tra là :

$$I_N \geq K_{BV} \cdot I_{dm}$$

Trước hết ta xác định dòng ngắn mạch I_N khi có ngắn mạch tại điểm xa nhất, điểm C là:

Với cáp : 3 x 95 + 1 x 35 có $Z_{do1} = 1,45 \Omega/\text{Km}$.

Với cáp : 3 x 70 + 1 x 35 có $Z_{do2} = 1,59 \Omega/\text{Km}$.

Vì ở đây công suất định mức của máy biến áp $S_{dm} = 1000$ KVA nên một cách gần đúng ta có thể lấy $Z_B = 0$.

Tổng trở của mạch pha - trung tính tính từ nguồn (máy biến áp) đến điểm xa nhất C là:

$$Z_d = 1,45 \cdot 0,08 + 1,59 \cdot 0,38 = 0,72 \Omega$$

Vậy:
$$I_N = \frac{U_f}{Z_d + Z_B / 3} = \frac{229}{0,72} = 306 \text{ A.}$$

Bây giờ ta tiến hành kiểm tra sự làm việc của các thiết bị bảo vệ trong 3 trường hợp đã cho.

*** Trường hợp 1:**

Khi dùng cầu chì bảo vệ ta có : $K_{BV} = 3$; $I_{dm} = I_{do} = 100$ A.

$$I_{dm} \cdot K_{BV} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ A} < I_N = 306 \text{ A.}$$

Vậy nếu dùng cầu chì để bảo vệ với $I_{do} = 100$ A thì bảo đảm cắt chắc chắn khi có

Trang

sự ngắn mạch (chạm vỏ) bảo vệ an toàn cho người .

*** Trường hợp 2:**

Khi dùng áp tô mát có bộ phận cắt hỗn hợp (có bộ phận cắt nhiệt) ta có :

$$K_{BV} = 3 \quad , \quad I_{dm} = I_0 = 80 \text{ A.}$$

$$\text{Vậy:} \quad K_{BV} \cdot I_{dm} = 3 \cdot 80 = 240 \text{ A} < I_N = 306 \text{ A} .$$

Do đó bảo vệ cũng sẽ tác động tốt.

*** Trường hợp 3:**

Khi dùng áp tô mát chỉ có bộ phận cắt điện từ, ta có:

$$I_{dm} = 200 \text{ A} \quad , \quad K_{BV} = 1,25$$

$$\text{Vậy :} \quad I_{dm} \cdot K_{BV} = 200 \cdot 1,25 = 250 \text{ A} < I_N = 306 \text{ A.}$$

Do đó bảo vệ cũng sẽ tác động tốt.

Tóm lại: Dùng 1 trong 3 phương án trên để bảo vệ sẽ bảo đảm tác động tốt khi xảy ra ngắn mạch (chạm vỏ) một pha, vì vậy bảo vệ an toàn cho người

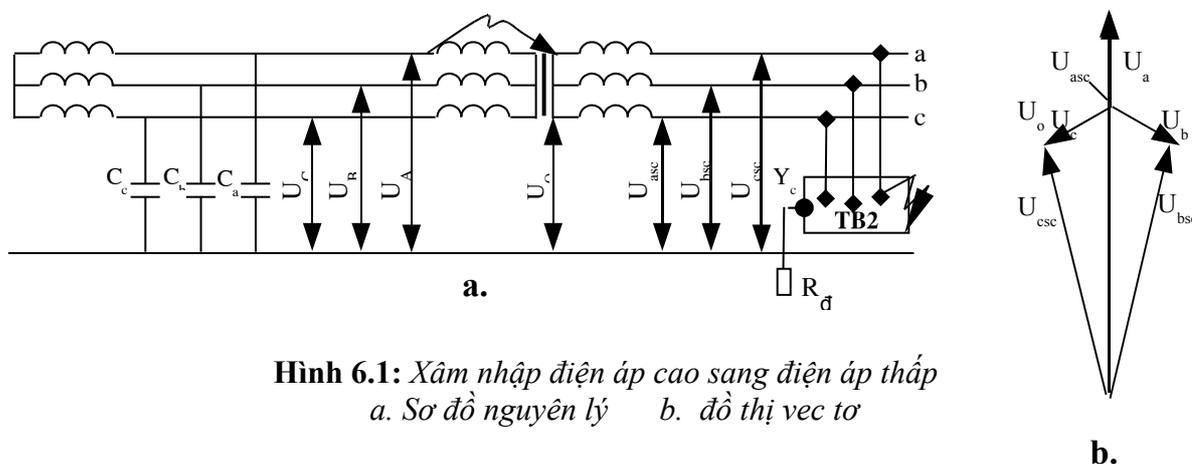
CHƯƠNG 6

BẢO VỆ CHỐNG SỰ XÂM NHẬP ĐIỆN ÁP CAO SANG ĐIỆN ÁP THẤP

6.1. Sự nguy hiểm khi có sự xâm nhập từ điện áp cao sang điện áp thấp

Khi cách điện của máy biến áp bị hư hỏng thì không những có thể xảy ra hiện tượng chạm vỏ mà còn có thể có sự xâm nhập từ điện áp phía cao (sơ cấp) sang phía thấp (thứ cấp). Lúc này phía thứ cấp có điện áp cao rất nguy hiểm không những cho người mà còn cho các thiết bị. Ta lần lượt xét các trường hợp sau:

6.1.1. Mạng điện phía sơ cấp và thứ cấp đều có trung tính cách điện:



Hình 6.1: Xâm nhập điện áp cao sang điện áp thấp
a. Sơ đồ nguyên lý b. đồ thị vec tơ

Giả sử máy biến áp có cấp biến đổi điện áp là 6000/380V và phía sơ và thứ cấp đều trung tính cách điện đối với đất. Cũng giả thiết rằng điện trở cách điện và điện dung của các pha trong mạng điện là như nhau thì:

$$U_A = U_B = U_C = \frac{6000}{\sqrt{3}} = 3460V$$

Khi có sự xâm nhập điện áp cao từ phía sơ cấp sang phía thứ cấp thì trung tính phía điện áp 380 sẽ nối điện với phía điện áp cao do đó nó cũng có điện áp bằng 3460V. Nếu tổ nối dây của máy biến áp là Y/Y₀ thì trung tính hạ áp sẽ có điện áp trùng với điện áp pha A của phía cao áp

Do vậy từ đồ thị vectơ ta có:

Điện áp pha a phía sơ cấp so với đất:

$$U_{asc} = 3460 + 220 = 3680 V$$

Điện áp pha b,c so với đất:

$$U_{bsc} = U_{csc} = \left| 3460 + a^2 \cdot 220 \right| = \left| 3460 + a \cdot 220 \right| = 3350V$$

Như vậy khi có sự xâm nhập điện áp từ phía cao sang phía thấp thì điện áp các pha ở phía thứ cấp sẽ tăng lên rất cao. Vì cách điện của thiết bị điện và lưới điện phía hạ áp không được tính toán với giá trị điện áp cao (khi có sự xâm nhập điện áp) nên sự xâm nhập điện áp này rất nguy hiểm vì nó sẽ phá hỏng cách điện của các thiết bị điện hạ áp, kết quả là sẽ xuất hiện dòng chạm đất từ mạng hạ áp qua điện trở nối đất của các thiết bị hạ áp (thường có trị số không quá 4Ω) về nguồn cao áp, đây chính là dòng chạm đất trong mạng có trung tính cách điện có trị số không lớn ($5\div 30A$). Lúc này điện áp trên vỏ thiết bị hạ áp sẽ là $U=I_d.R_d$ vẫn có thể gây nguy hiểm cho người. (ví dụ nếu $I_d=20A$, $R_d=10$ thì $U=20.10=200V$ - nguy hiểm).

Tóm lại khi có sự xâm nhập điện áp cao từ mạng sơ cấp (có trung tính cách điện) sang mạng thứ cấp (hạ áp- cũng có trung tính cách điện) thì sẽ nguy hiểm không những cho người mà cả cho các thiết bị điện hạ áp.

6.1.2. Mạng điện sơ cấp có trung tính cách điện còn phía hạ áp có trung tính trực tiếp nối đất:

Lúc này nếu có sự xâm nhập điện áp cao sang điện áp thấp thì sẽ có sự chạm đất một pha của mạng cao áp và dòng điện này (dòng điện dung) có thể xác định theo công thức:

$$I_d = \frac{U.(35.l_c + l_d)}{350} \quad (A)$$

Trong đó: U : điện áp dây của mạng cao áp.

l_c, l_d : chiều dài của các mạng điện cáp và mạng đường dây trên không có sự liên hệ về điện với nhau (km).

Từ đồ thị vectơ ta có điện áp các dây pha so với đất sẽ bằng:

$$\text{Pha a:} \quad U_{asc} = I_d.R_0 + 220 = U_0 + 220$$

R_0 : điện trở nối đất của trung tính nguồn.

Giả sử $R_0 = 4\Omega$ và $I_d = 30A$:

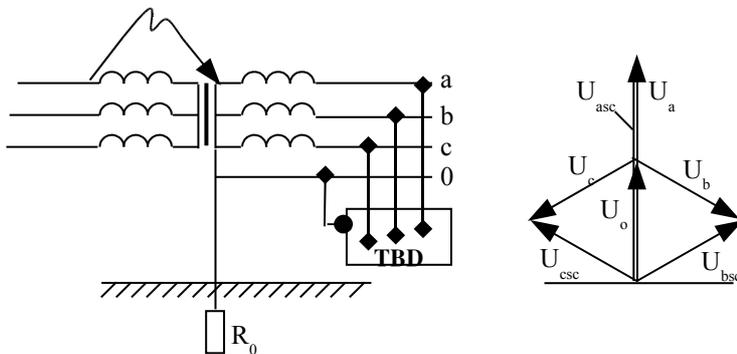
$$\text{Pha a:} \quad U_{asc} = 4.30 + 220 = 340V$$

$$\text{Pha b,c:} \quad U_{bsc} = U_{csc} = |120 + a.220| = |120 + a^2.220| = 190V$$

Trong trường hợp này điện áp lớn nhất trên dây trung tính (cũng chính là điện áp trên vỏ các thiết bị điện hạ áp) cũng có thể có giá trị tương đối cao và bằng :

$$U_0 = I_d.R_0$$

Với trị số dòng chạm đất trong mạng này (cao áp có trung tính cách điện) thường không lớn (khoảng 5-30A) thì nếu R_0 lớn thì U_0 có thể sẽ nguy hiểm cho người. Trị



Hình 6.2

Trang

số điện áp này phụ thuộc vào điện trở nối đất của trung tính R_0 , nếu R_0 lớn thì điện áp sẽ lớn và ngược lại. Tuy nhiên với các thiết bị hạ áp, khi có xâm nhập điện áp cao sang thấp thì điện áp của các pha so với vỏ thiết bị (đã được nối với dây trung tính) vẫn không thay đổi và bằng điện áp pha nên không nguy hiểm cho thiết bị hạ áp.

6.2. Các biện pháp bảo vệ chống xâm nhập điện áp cao sang điện áp thấp:

6.2.1. Mạng điện có trung tính cách điện phía sơ cấp (cao áp) và có trung tính trực tiếp nối đất phía hạ áp:

Các biện pháp bảo vệ chính là:

- Chế tạo, sử dụng các MBA có chất lượng tốt, lúc cần thiết có thể phải sử dụng loại MBA có thêm màn che giữa cuộn sơ và thứ cấp.

- Chọn giá trị nối đất cuộn hạ áp của MBA R_0 thích hợp. Qua phân tích trên ta thấy trong trường hợp này khi có sự xâm nhập điện áp cao sang điện áp thấp ta có thể giảm điện áp của các pha phía hạ áp so với đất bằng cách chọn giá trị điện trở nối đất trung tính R_0 một cách thích hợp.

Quy phạm quy trình chọn $R_0 \leq 4 \Omega$ (với mạng 380/220 V) là thỏa mãn

- Thực hiện nối đất lặp lại dây trung tính nhiều lần.

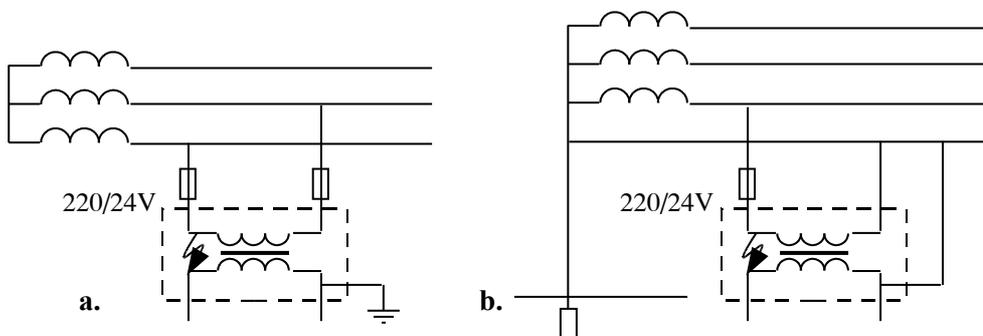
$$\text{Vì lúc này : } U = I_d \cdot R_{td} = I_d \cdot \frac{R_0 \cdot R_l}{R_0 + R_l} < I_d \cdot R_0$$

Trong đó: - R_{td} : điện trở tương đương của các điện trở nối đất lặp lại .

6.2.2. Mạng điện có trung tính cách điện phía sơ cấp (cao áp) và có trung tính cách điện phía hạ áp:

Trong trường hợp này, ngoài các biện pháp bảo vệ như ở mạng có trung tính cách điện ở phía cao áp (mục 5.2.1 ở trên), thì cần phải tính toán, chỉnh định bảo vệ rơ le để có thể cắt nhanh lưới cao áp (phía sơ cấp MBA) khi có xâm nhập điện áp cao sang thấp.

6.2.3. Bảo vệ chống sự xâm nhập điện áp cao sang điện áp thấp khi điện áp cuộn sơ cấp bé hơn 1000V.



Hình 6.3. Cách nối máy biến áp có điện áp phía sơ cấp nhỏ hơn 1000V

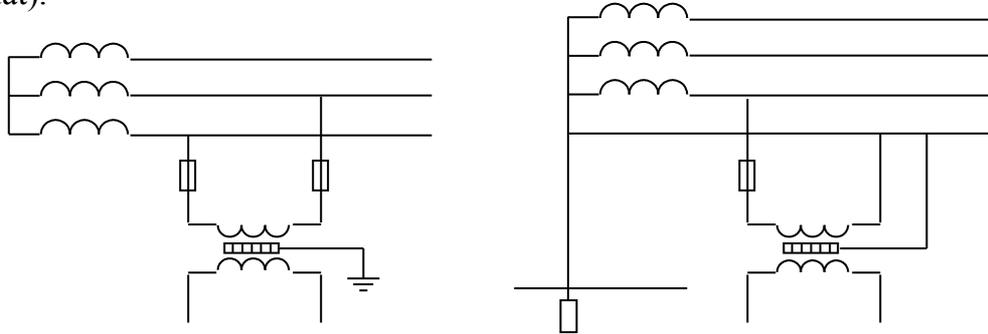
a. Mạng điện có trung tính cách điện

b. Mạng điện có trung tính nối đất

Trong

Trang

các trường hợp khi điện áp cuộn sơ cấp bé hơn 1000V, để chống sự xâm nhập điện áp từ phía cuộn sơ cấp sang phía thứ cấp người ta phải nối đầu dây của cuộn thứ cấp với đất (trong mạng có trung tính cách điện) hoặc với dây trung tính (trong mạng có trung tính nối đất).



Ngoài các biện pháp nối đất và nối dây trung tính như đã xét còn có thêm biện pháp nối đất phụ hoặc nối đất trung tính phụ tức là đặt thêm một cuộn chắn giữa cuộn sơ và cuộn thứ cấp của máy biến áp và cuộn phụ này lại được nối đất hoặc nối dây trung tính (phụ thuộc vào chế độ trung tính của mạng).

CHƯƠNG 7

ẢNH HƯỞNG CỦA TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ ĐỀ PHÒNG TÍNH ĐIỆN

7.1. TRƯỜNG ĐIỆN TỪ TẦN SỐ CAO VÀ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CON NGƯỜI

Hiện nay trong nhiều ngành kinh tế, quốc phòng, trong các phòng nghiên cứu chúng ta sử dụng nhiều thiết bị máy móc liên quan đến điện trường tần số cao như radar trong quốc phòng và các sân bay....

Ở nhiều ngành công nghiệp năng lượng của dòng điện tần số cao được dùng để đốt nóng kim loại như khi đúc, rèn nhiệt luyện, tán nổi và còn dùng để sấy, dán thiêu kết các chất phi kim loại.

Trường điện từ tần số cao thường là trường điện từ của các thiết bị công nghiệp có tần số trong khoảng từ $3 \cdot 10^4$ đến $3 \cdot 10^6$ Hz.

Ta nhận thấy rằng xung quanh dòng điện xuất hiện đồng thời điện trường và từ trường. Khi dòng điện là dòng xoay chiều thì điện trường và từ trường liên hệ với nhau coi chung thành một trường điện từ thống nhất.

Trường điện từ tần số cao có khả năng lan truyền trong không gian với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng, và khi lan truyền nó mang theo năng lượng

Trường điện từ có tác dụng bất lợi đến cơ thể con người và đáng ngại là cơ thể con người không có cảm giác gì khi có tác dụng của trường điện từ.

Tác hại của trường điện từ đến cơ thể con người:

Gần nguồn cao tần hình thành hai vùng cảm ứng và bức xạ

Cách nguồn với khoảng cách bằng $1/6$ bước sóng là vùng cảm ứng chiếm ưu thế. Ngoài vùng này là vùng bức xạ. Nếu ở trong vùng cảm ứng con người sẽ chịu tác dụng của trường từ và trường điện theo chu kỳ, còn ở vùng bức xạ thì con người chịu tác dụng một điện từ trường với các thành phần điện, từ bằng nhau đồng thời thay đổi.

Cường độ điện từ trường nơi làm việc có thể thay đổi phụ thuộc vào công suất máy phát sóng, khoảng cách tới nguồn và sự phản xạ các bề mặt bao quanh.

Mức độ tác dụng của điện từ trường lên cơ thể con người phụ thuộc vào độ dài bước sóng, chế độ làm việc của nguồn (xung hay liên tục), cường độ bức xạ, thời gian tác dụng, khoảng cách từ nguồn đến cơ thể và sự cảm thụ riêng của từng người.

Tần số càng cao (nghĩa là bước sóng càng ngắn), năng lượng điện từ mà cơ thể hấp thụ càng tăng:

- Tần số cao 20%
- Tần số siêu cao 25%
- Tần số cực cao 50%

Song tác hại của sóng điện từ không chỉ phụ thuộc vào năng lượng bức xạ bị hấp thụ, mà còn phụ thuộc vào độ thâm sâu của sóng bức xạ vào cơ thể. Độ thâm sâu càng cao thì tác hại càng nhiều. Độ thâm sâu cho trong bảng dưới đây và năng lượng hấp thụ nêu trên có thể làm rõ các đặc tính sau đây của sóng điện từ: sóng decimet gây biến đổi lớn nhất đối với cơ thể so với sóng centimet và sóng met. Sóng milimet gây tác dụng bệnh lý rất ít so với sóng centimet và decimet.

Bước sóng	Độ thâm sâu
Loại milimet	Bề mặt lớp da
Loại centimet	Da và các tổ chức dưới da
Loại decimet	Vào sâu trong các tổ chức khoảng 10-15cm
Loại met	Vào sâu hơn 15cm

Dưới tác dụng của trường điện từ tần số cao, các ion của các tổ chức cơ thể sẽ chuyển động, trong các tổ chức này sẽ xuất hiện một dòng điện cao tần do đó một phần năng lượng của trường bị thâm hút.

Trị số độ truyền dẫn của tổ chức cơ thể tỉ lệ với thành phần chất lỏng có trong tổ chức. Độ truyền dẫn mạnh nhất là ở máu và ở các bắp thịt, còn yếu nhất là trong các mô mỡ. Chiều dày lớp mỡ ở nơi bị bức xạ có ảnh hưởng đến mức độ phản xạ sóng bức xạ ra ngoài cơ thể. Đại não, tuỷ xương sống có lớp mô mỏng, còn mắt thì hoàn toàn không có nên các bộ phận này chịu tác dụng nhiều hơn cả.

Chịu tác dụng của trường điện từ có tần số khác nhau và cường độ lớn hơn cường độ giới hạn cho phép một cách có hệ thống và kéo dài sẽ dẫn đến sự thay đổi một số chức năng của cơ thể, trước hết là hệ thống thần kinh trung ương, mà chủ yếu là làm rối loạn hệ thần kinh thực vật và rối loạn hệ thống tim mạch. Sự thay đổi đó có thể làm nhức đầu, dễ mệt mỏi, khó ngủ hoặc buồn ngủ nhiều, suy yếu toàn thân, sinh ra nóng nảy và hàng loạt triệu chứng khác. Ngoài ra nó có thể làm chậm mạch, giảm áp lực máu, đau tim, khó thở, làm biến đổi gan và lá lách.

Tác dụng của năng lượng điện từ trường tần số siêu cao có thể làm biến đổi máu, giảm sự thính mũi, biến đổi nhân mắt.

Sóng vô tuyến còn có thể gây rối loạn kinh nguyệt của phụ nữ. Nói chung phụ nữ chịu tác hại của sóng điện từ nhiều hơn nam giới.

Căn cứ để đánh giá tác hại của trường điện từ có thể là cường độ tác dụng của trường biểu thị bằng vôn/met. Trị số giới hạn cho phép ở chỗ làm việc là 5V/m còn đối với các lò cảm ứng để tôi, đúc kim loại cho phép đến 10V/m do điều kiện không bao che được thiết bị.

Ngoài ra người ta còn dùng mật độ dòng công suất được xác định bằng năng lượng truyền qua diện tích 1cm² vuông góc với phương truyền sóng trong một giây. Đơn vị tính là $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mW/cm^2 , W/cm^2 .

Trị số cường độ bức xạ giới hạn cho phép của trường điện từ tần số cao tại chỗ làm việc được xác định như sau: Khi chịu tác dụng cả ngày làm việc thì cường độ bức

xạ không lớn hơn $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$, khi chịu tác dụng không quá 2h trong một ngày thì không lớn hơn $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$, khi chịu tác dụng không quá 15-20phút trong một ngày thì không lớn hơn $1\text{mW}/\text{cm}^2$ và khi đó nhất thiết phải đeo kính để bảo vệ mắt.

7.2. Các biện pháp phòng chống

Các cuộn cảm ứng là nguồn điện từ trường cao (cao tần). Trường bên trong ống nguy hiểm hơn trường bên ngoài ống dây cảm ứng. Đối với tụ điện tạo nguồn cao tần, để nung nóng các chất cách điện thì trường giữa hai tấm của tụ điện lớn hơn trường phía ngoài. Nguồn trường còn có thể là các phần tử riêng của máy phát các cuộn dây, tụ điện các dây dẫn... tùy điều kiện công nghệ có thể đặt trong gian nhà sản xuất chung nhưng cần che phủ kín luồng công nghệ của nó; tốt nhất là đặt chúng trong các phòng riêng biệt.

Trong khi sử dụng các thiết bị cao tần cần chú ý đề phòng điện giật, tuân thủ các quy tắc an toàn. Phần kim loại của thiết bị phải được nối đất. Các dây nối đất phải ngắn và không cuộn tròn thành nguồn cảm ứng.

Các thiết bị cao tần cần được rào chắn, bao bọc để tránh tiếp xúc phải những phần có điện thế, cần có các panen và các bảng điều khiển, khi cần phải điều khiển từ xa.

Nước làm nguội thiết bị cũng có điện áp cần phải tìm cách nối đất.

Để bao vây vùng có điện từ trường, người ta dùng các màn chắn bằng những kim loại có độ dẫn điện cao, vỏ máy cũng cần nối đất.

Diện tích làm việc cho mỗi công nhân làm việc phải đủ rộng.

Trong phòng đặt các thiết bị cao tần không nên có những dụng cụ bằng kim loại nếu không cần thiết, vì sẽ tạo ra nguồn bức xạ điện từ thứ cấp.

Vấn đề thông gió cần được đặt ra theo yêu cầu về thông gió, chú ý là chụp hút đặt trên miệng lò không được làm bằng kim loại vì sẽ bị cảm ứng.

7.3. Ảnh hưởng trường điện từ tần số công nghiệp

Điện trường của đường dây và trạm điện cao thế (tần số 50Hz) đặc biệt là các đường dây và trạm 220kV đến 500kV thường có trị số khá cao. Khi làm việc, sống ở rất gần các đường dây, thiết bị của trạm thì cường độ điện trường rất lớn và gây nguy hiểm cho người

Khi thiết kế, xây lắp người ta đã tính đến mức độ an toàn cho dân cư nhưng nếu vi phạm quy định về khoảng cách an toàn thì sẽ bị ảnh hưởng nguy hiểm. Tiêu chuẩn hiện hành của ngành điện lực quy định:

- Khu dân cư, khu vực có người làm việc thường xuyên cường độ điện trường phải dưới $5\text{kV}/\text{m}$ (dưới $5\text{kV}/\text{m}$ là giới hạn an toàn).

- Cấm người đi vào trong vùng điện trường có cường độ trên $20\text{kV}/\text{m}$

- Khi công nhân làm việc trong vùng có cường độ điện trường lớn hơn $5\text{kV}/\text{m}$

thì phải có biện pháp bảo vệ hay phải giảm thời gian làm việc trong trường.

Để hạn chế tác hại của điện trường người ta phải áp dụng các biện pháp: mặc quần áo chắn đặc biệt, dùng các lưới chắn, lồng chắn ... để giảm cường độ điện trường tác dụng lên người. Ngoài ra các công trình khác ở gần các đường dây cao thế 220kV-500kV thì các bộ phận kim loại của công trình cần được nối đất.

7.4. Đề phòng tĩnh điện

7.4.1. Hiện tượng tĩnh điện

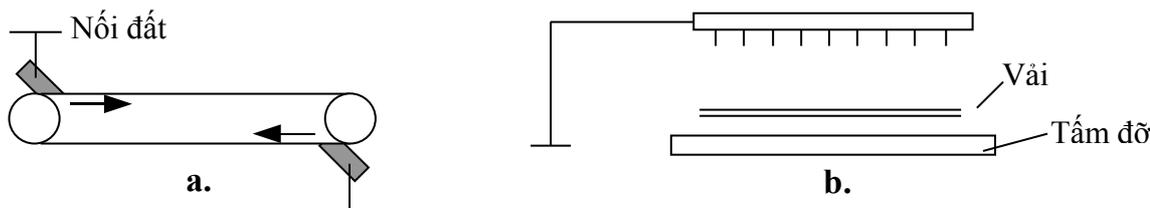
Trong quá trình sản xuất, ở một số dây chuyền công nghệ chúng ta thường gặp hiện tượng tích và phóng điện tĩnh điện như: dệt vải, len, cuộn sợi vải, giấy, sợi PVC, cán cao su, phủ sơn trên vải hay giấy, rót và vận chuyển dầu... Đó là hiện tượng tích điện ở một số loại nguyên vật liệu có tính cách điện, một số chất lỏng khi chúng chuyển động và cọ xát.

Khi đã tích điện đến điện thế cao, điện tích lớn thì sẽ xảy ra hiện tượng phóng điện. Điện thế tĩnh điện có trị số thay đổi phụ thuộc vào loại vật liệu, điều kiện môi trường, độ ma sát, vận tốc chuyển động và có thể từ vài KV đến vài chục KV hoặc cao hơn. Khi người công nhân chạm vào sợi, vào băng cao su, giấy, vải đang cuộn thường bị điện giật, có thể nguy hiểm cho người hoặc gây cảm giác khó chịu. Trong một số môi trường nó còn gây nên cháy nổ (khi có xăng dầu, khí dễ cháy, vật liệu nổ).

7.4.2. Các biện pháp phòng tránh ảnh hưởng của tĩnh điện

Để phòng tránh nguy hiểm của phóng điện do tĩnh điện người ta áp dụng nhiều biện pháp khác nhau hoặc không để xuất hiện sự tích điện, hoặc trung hoà điện tích, hoặc dẫn điện tích xuống đất. Có thể dẫn ra các biện pháp cơ bản sau:

- Làm tăng độ ẩm của nguyên vật liệu và môi trường (thường thì nếu độ ẩm nguyên vật liệu cao tức là độ ẩm trên 85% thì khả năng tích điện sẽ giảm cơ bản)
- Làm tăng điện dẫn của nguyên vật liệu (phải phun hay bôi một số chất để tăng độ dẫn điện của nguyên vật liệu)
- Dẫn điện tích xuống đất: như dùng lược hay bàn chải bằng kim loại được nối đất (răng lược, bàn chải chạm vào sợi vải, len, băng cao su)



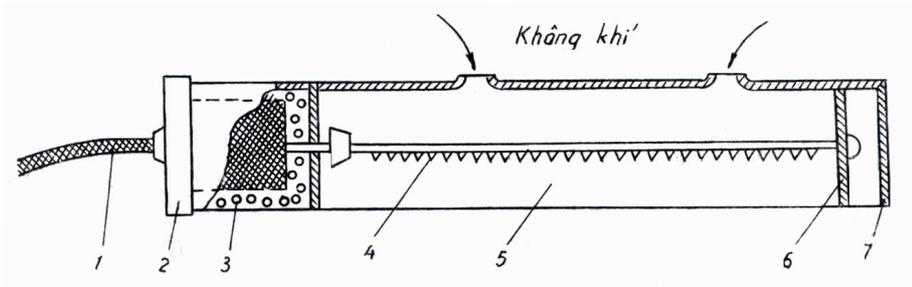
Hình 7.1: Khử tĩnh điện bằng chổi (a), lược (b)

- Trung hoà điện tích dùng thiết bị phát ra các ion trung hoà điện tích trên

Trang

nguyên vật liệu (dùng tia cực tím, tia roghen, phóng xạ, điện trường)

- Nối đất các rulô, trục kim loại trên dây chuyền hay các thùng, bể xitéc, đồ đựng, rót xăng dầu.



Hình 7.2: Sơ đồ thiết bị trung hoà loại ion hoá cao tần
1. Dây dẫn; 2. Nắp; 3. Biến áp; 4. Đầu phóng điện.
5. Tấm đồng; 6. Tấm cách điện.; 7. Nắp

CHƯƠNG 8

DỤNG CỤ, PHƯƠNG TIỆN CẦN THIẾT CHO AN TOÀN ĐIỆN. CẤP CỨU NGƯỜI KHI BỊ ĐIỆN GIẬT

8.1. CÁC BIỆN PHÁP BẢO VỆ AN TOÀN CHO NGƯỜI TRÁNH BỊ ĐIỆN GIẬT

8.1.1. Các quy tắc chung để đảm bảo an toàn điện

Để đảm bảo an toàn điện cần phải thực hiện đúng các quy định:

- ❶. Phải che chắn các thiết bị và bộ phận của mạng điện để tránh nguy hiểm khi tiếp xúc bất ngờ vào vật dẫn điện.
- ❷. Phải chịu đúng điện áp sử dụng và thực hiện nối đất hoặc nối dây trung tính các thiết bị điện cũng như thấp sáng theo đúng tiêu chuẩn.
- ❸. Nghiêm chỉnh sử dụng các thiết bị, dụng cụ an toàn và bảo vệ khi làm việc.
- ❹. Tổ chức kiểm tra, vận hành theo đúng các quy tắc an toàn.
- ❺. Phải thường xuyên kiểm tra cách điện của các thiết bị cũng như của hệ thống điện.

Qua thực tế cho thấy, hầu hết các trường hợp để xảy ra tai nạn điện giết thì nguyên nhân chính không phải là do thiết bị không hoàn chỉnh, cũng không phải là do thiết bị không hoàn chỉnh, cũng không phải do phương tiện bảo vệ an toàn chưa đảm bảo mà chính là do vận hành không đúng quy cách, trình độ vận hành kém, sức khỏe không đảm bảo. Để vận hành an toàn cần phải thường xuyên kiểm tra sửa chữa thiết bị, chọn cán bộ kỹ thuật, mở các lớp huấn luyện về chuyên môn...

Cần kiểm tra thiết bị thường xuyên, tu sửa thiết bị theo định kỳ, và theo đúng quy trình vận hành.

Để tránh tình trạng thao tác nhầm không đúng gây sự cố và nguy hiểm cho người thì cần phải vận hành thiết bị điện theo đúng quy trình với sơ đồ nối điện của đường dây bao gồm tình trạng thực tế của thiết bị điện và những điểm có nối đất. Các thao tác phải được tiến hành theo mệnh lệnh, trừ các trường hợp xảy ra tai nạn mới có quyền tự động thao tác rồi mới báo cáo sau.

8.1.2. Các biện pháp kỹ thuật an toàn điện

Để phòng ngừa, hạn chế tác hại do tai nạn điện, cần áp dụng các biện pháp kỹ thuật an toàn điện sau:

** Các biện pháp chủ động để phòng xuất hiện tình trạng nguy hiểm có thể gây tai nạn*

- Đảm bảo cách điện của thiết bị điện.
- Đảm bảo khoảng cách an toàn, bao che, rào chắn các bộ phận mang điện.

- Sử dụng điện áp thấp, máy biến áp cách ly.
- Sử dụng tín hiệu, biển báo, khoá liên động.

* Các biện pháp để ngăn ngừa, hạn chế tai nạn điện khi xuất hiện tình trạng nguy hiểm

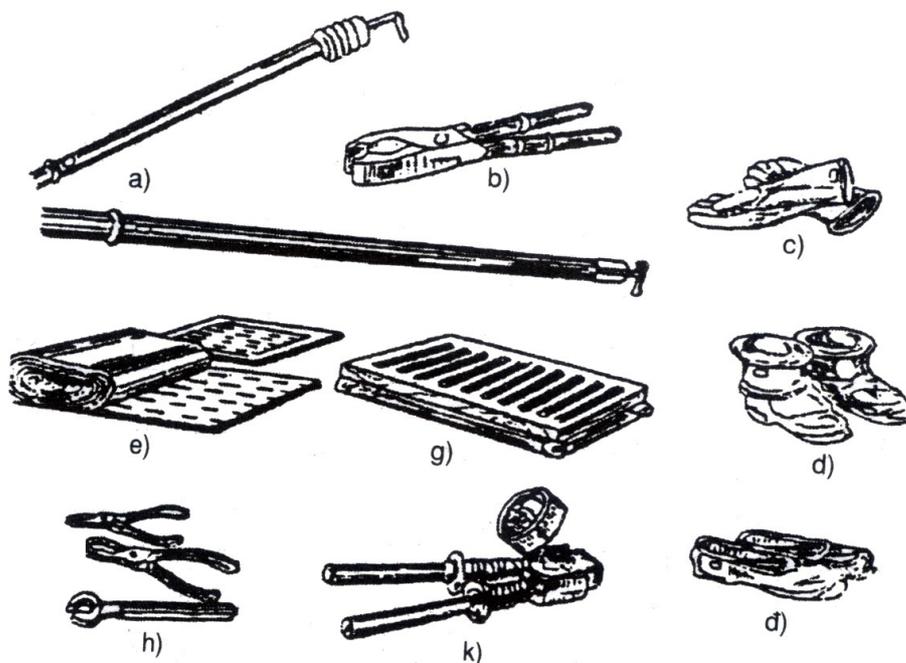
- Thực hiện nối không bảo vệ.
- Thực hiện nối đất bảo vệ, cân bằng thế.
- Sử dụng máy cắt điện an toàn.
- Sử dụng các phương tiện bảo vệ dụng cụ phòng hộ.

8.2. Phương tiện bảo vệ và dụng cụ kiểm tra điện cho người khi làm việc

Để bảo vệ con người khi làm việc với các thiết bị điện khỏi bị tác dụng của dòng điện, hồ quang cần phải sử dụng các phương tiện bảo vệ cần thiết. Các phương tiện bảo vệ chia thành nhóm:

- ①. Phương tiện cách điện, tránh điện áp (bước, tiếp xúc, làm việc) gồm: sào cách điện, kim cách điện, dụng cụ có tay cầm cách điện, găng tay cao su, giày cao su, ủng cao su, đệm cách điện cao su.
- ②. Thiết bị thử điện di động, kim đo dòng điện.
- ③. Bảo vệ nối đất di chuyển tạm thời, hàng rào, bảng báo hiệu.
- ④. Phương tiện bảo vệ tránh tác dụng của hồ quang, mảnh kim loại bị nung nóng, các hư hỏng cơ học: kính bảo vệ, găng tay bằng vải bạt, dụng cụ chống khí độc.

8.2.1. Cấu tạo một số phương tiện bảo vệ cách điện:



Hình 8.1: Phương tiện bảo vệ và dụng cụ

- a. Sào cách điện; b. Kim cách điện; c. Găng tay điện môi
 d. Giày ủng; đ. Ủng điện môi; e. Đệm và thảm cao su; g. Bê cách điện
 h. Những dụng cụ sửa chữa có tay cầm cách điện; k. Cái chỉ điện áp di động

Phương tiện bảo vệ cách điện chia làm hai loại chính và phụ. Phương tiện bảo vệ chính có cách điện đảm bảo không bị điện áp của thiết bị chọc thủng, có thể dùng chúng để sờ trực tiếp những phần mạng điện. Phương tiện bảo vệ phụ chỉ làm phương tiện phụ vào phương tiện chính bản thân chúng không thể bảo vệ.

Loại bảo vệ	Điện áp cao hơn 1000V	Điện áp thấp hơn 1000V
Chính	Sào, kìm	Sào, kìm, găng tay cách điện, dụng cụ của thợ điện có cán cách điện (10cm)
Phụ	Găng tay cách điện, đệm, bệ, giày ống ngắn và dài	Giày, đệm, bệ cách điện

a. Sào cách điện

Sào cách điện dùng trực tiếp để điều khiển dao cách li, đặt nối đất di động, thí nghiệm cao áp. Gồm 3 phần: phần cách điện, phần làm việc và phần cầm tay. Độ dài của sào phụ thuộc vào điện áp. Khi dùng sào cần đứng trên bệ cách điện, tay đeo găng cao su, chân mang giày cao su.

Điện thế định mức của thiết bị (KV)	Độ dài của phần cách điện (m)	Độ dài tay cầm (m)
Dưới 1kV	Không có tiêu chuẩn	Tuỳ theo sự liên hệ
Trên 1kV dưới 10kV	1,0	0,5
Trên 10kV dưới 35kV	1,5	0,7
Trên 35kV dưới 110kV	1,8	0,9
Trên 110kV dưới 220kV	3,0	1,0

b. Kìm cách điện

Kìm cách điện dùng để đặt và lấy cầu chì, đẩy các nắp cách điện bằng cao su. Kìm là phương tiện chính dùng với điện áp dưới 35kV. Gồm 3 phần: phần làm việc, phần cách điện, phần cầm tay.

Điện thế định mức của thiết bị (KV)	Độ dài của phần cách điện (m)	Độ dài tay cầm (m)
10	0,45	0,15
35	0,75	0,2

c. Găng tay điện môi, giày ống, đệm lót

Dùng với thiết bị điện, các dụng cụ này được sản xuất riêng với cấu tạo phù hợp với quy trình.

d. Bệ cách điện:

Bệ cách điện có kích thước khoảng 75 x 75 nhưng không quá 150 x 150cm, làm bằng gỗ tấm ghép. Khoảng cách giữa các tấm gỗ không quá 2,5cm. Chiều cao bệ

từ sàn gỗ đến nền nhà không nhỏ hơn 10cm.

8.2.2. Thiết bị thử điện di động

Thiết bị thử điện di động dùng để kiểm tra có điện áp hay không và để định pha. Dụng cụ có bóng đèn neon, đèn sáng khi có dòng điện dung đi qua. Kích thước thiết bị phụ thuộc vào điện áp, kích thước tối thiểu như sau:

Điện thế định mức của thiết bị (kV)	Độ dài giá đỡ (mm)	Độ dài tay cầm (mm)	Độ dài chung (mm)
10	320	110	680
10 ÷ 35	510	120	1060

Khi dùng thiết bị thử điện chỉ đưa vào thiết bị thử đến mức cần thiết để có thể thấy sáng. Chạm vào thiết bị chỉ cần khi vật được thử không có điện áp.

8.2.3. Thiết bị bảo vệ nối đất tạm thời di động

Bảo vệ nối đất tạm thời di động là phương tiện bảo vệ khi làm việc ở những chỗ đã ngắt mạch điện những để có khả năng đưa điện áp nhằm vào hoặc dễ bị xuất hiện điện áp bất ngờ trên chúng.

Cấu tạo gồm những dây dẫn để ngăn mạch pha, cần nối đất với các chốt để nối vào phần mang điện. Chốt phải chịu được lực điện động khi có dòng ngắn mạch. Các dây dẫn làm bằng đồng tiết diện không bé hơn 25mm². Chốt phải có chỗ để tháo dây ngắn mạch bằng đòn.

Nối đất chỉ được thực hiện khi đã kiểm tra, không đóng điện vào bộ phận được nối đất. Đầu tiên nối đầu cuối của cái nối đất vào đất sau đó thử có điện áp hay không rồi nối dây vào vật mang điện. Khi tháo nối đất thì làm ngược lại.

8.2.4. Những cái chắn tạm thời di động, nắp đậy bằng cao su

Cái chắn tạm thời di động bảo vệ cho người thợ sửa chữa khỏi bị chạm vào điện áp. Những vật này làm bình phong để ngăn cách, chiều cao chừng 1,8m.

Vật lót cách điện đặt che vật mang điện phải làm bằng vật mềm, không cháy (cao su, tectolit, bakelit...). Có thể dùng chúng ở những thiết bị dưới 10 kV trong trường hợp không tiện dùng bình phong.

Bao đậy bằng cao su để cách điện dao cách ly phải chế tạo sao cho dễ đậy và tháo dễ dàng bằng kim.

8.2.5. Bảng báo hiệu

Cần có các bảng báo hiệu để báo trước sự nguy hiểm cho người đến gần vật mang điện, cấm thao tác những thiết bị gây ra tai nạn chết người, để nhắc nhở...

Các loại bảng báo hiệu sau:

❶. Bảng báo trước:

“Điện thế cao - nguy hiểm” “Đứng lại - điện thế cao”
 “Không trèo - nguy hiểm chết người” “Không sờ vào - nguy hiểm chết người”

2. Bảng cấm:

“Không đóng điện - có người đang làm việc”
 “Không đóng điện - đang làm việc trên đường dây”

3. Bảng cho phép:

“Làm việc tại chỗ này”

4. Bảng nhắc nhở:

“Nói đất”.

8.3. Cấp cứu người bị điện giật

Nguyên nhân chính làm chết người vì điện giật là do hiện tượng kích thích chứ không do bị chấn thương.

Khi có người bị tan nạn điện, việc tiến hành sơ cứu nhanh chóng, kịp thời và đúng phương pháp là các yếu tố quyết định để cứu sống nạn nhân. Các thí nghiệm và thực tế cho thấy rằng từ lúc bị điện giật đến một phút sau được cứu chữa thì 90% trường hợp cứu sống, để 6 phút sau mới cứu chỉ có thể cứu sống 10%, nếu để từ 10 phút mới cấp cứu thì rất ít trường hợp cứu sống được. Việc sơ cứu phải thực hiện đúng phương pháp mới có hiệu quả và tác dụng cao.

Khi sơ cứu người bị tai nạn cần thực hiện hai bước cơ bản sau:

- Tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện.
- Làm hô hấp nhân tạo và xoa bóp tim ngoài lồng ngực.

1. Tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện

* Nếu nạn nhân chạm vào điện hạ áp cần:

Nhanh chóng cắt nguồn điện (cầu dao, aptomat, cầu chì...); nếu không thể cắt nhanh nguồn điện thì phải dùng các vật cách điện khô như sào, gậy tre, gỗ khô để gạt dây điện ra khỏi nạn nhân, nếu nạn nhân nắm chặt vào dây điện cần phải đứng trên các vật cách điện khô (bê tông) để kéo nạn nhân ra hoặc đi ủng hay dùng găng tay cách điện để gỡ nạn nhân ra; cũng có thể dùng dao rìu với cán gỗ khô, kim cách điện để chặt hoặc cắt đứt dây điện.

* Nếu nạn nhân bị chạm hoặc bị phóng điện từ thiết bị có điện áp cao

Không thể đến cứu ngay trực tiếp mà cần phải đi ủng, dùng gậy, sào cách điện để tách nạn nhân ra khỏi phạm vi có điện. Đồng thời báo cho người quản lý đến cắt điện trên đường dây. Nếu người bị nạn đang làm việc ở đường dây trên cao dùng dây nối đất làm ngắn mạch đường dây. Khi làm ngắn mạch và nối đất cần phải tiến hành nối đất trước, sau đó ném dây lên làm ngắn mạch đường dây. Dùng các biện pháp để đỡ chống rơi, ngã nếu người bị nạn ở trên cao.

2. Làm hô hấp nhân tạo

Thực hiện ngay sau khi tách người bị nạn ra khỏi bộ phận mang điện. Đặt nạn nhân ở chỗ thoáng khí, cởi các phần quần áo bó thân (cúc cổ, thắt lưng ...), lau sạch máu, nước bọt và các chất bẩn. Thao tác theo trình tự:

- Đặt nạn nhân nằm ngửa, kê gáy bằng vật mềm để đầu ngửa về phía sau. Kiểm tra khí quản có thông suốt không và lấy các dị vật ra. Nếu hàm bị co cứng phải mở miệng bằng cách để tay và phía dưới của góc hàm dưới, tỳ ngón tay cái vào mép hàm để đẩy hàm dưới ra.

- Kéo ngửa mặt nạn nhân về phía sau sao cho cằm và cổ trên một đường thẳng đảm bảo cho không khí vào dễ dàng. Đẩy hàm dưới về phía trước để phòng lưỡi rơi xuống đóng thanh quản.

- Mở miệng và bịt mũi nạn nhân. Người cấp cứu hít hơi và thổi mạnh vào miệng nạn nhân (đặt khăn trang hoặc khăn sạch lên miệng nạn nhân). Nếu không thể thổi vào miệng được thì có thể bịt kín miệng nạn nhân và thổi vào mũi.

- Lặp lại các thao tác trên nhiều lần. Việc thổi khí cần làm nhịp nhàng và liên tục 10-12 lần trong 1 phút với người lớn, 20 lần trong 1 phút với trẻ em.



Hình 7.2: Cấp cứu phương pháp hà hơi thổi ngạt

3. Xoa bóp tim ngoài lồng ngực

Nếu có hai người cấp cứu thì một người thổi ngạt còn một người xoa bóp tim. Người xoa bóp tim đặt hai tay chồng lên nhau và đặt ở 1/3 phần dưới xương ức của nạn nhân, ấn khoảng 4-6 lần thì dừng lại 2 giây để người thứ nhất thổi không khí vào phổi nạn nhân. Khi ép mạnh lồng ngực xuống khoảng 4-6cm, sau đó giữ tay lại khoảng 1/3s rồi mới rời tay khỏi lồng ngực cho trở về vị trí cũ.

Nếu có một người cấp cứu thì cứ sau hai ba lần thổi ngạt ấn vào lồng ngực nạn nhân như trên từ 4-6 lần.



Hình 8.3: Cấp cứu theo phương pháp ấn tim vào lồng ngực

Các thao tác phải được làm liên tục cho đến khi nạn nhân xuất hiện dấu hiệu sống trở lại, hệ hô hấp có thể tự hoạt động ổn định. Để kiểm tra nhịp tim nên ngừng xoa bóp khoảng 2-3s. Sau khi thấy khí sắc mặt trở lại hồng hào, đồng tử co giãn, tim phổi bắt đầu hoạt động nhẹ... cần tiếp tục cấp cứu khoảng 5-10 phút nữa để tiếp sức thêm cho nạn nhân. Sau đó kịp thời chuyển nạn nhân đến bệnh viện. Trong quá trình vận chuyển vẫn phải tiếp tục tiến hành công việc cấp cứu liên tục.

A. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ MÁY PHÁT ĐIỆN

Máy phát điện (MFĐ) là một phần tử rất quan trọng trong hệ thống điện (HTĐ), sự làm việc tin cậy của các MFĐ có ảnh hưởng quyết định đến độ tin cậy của HTĐ. Vì vậy, đối với MFĐ đặc biệt là các máy có công suất lớn, người ta đặt nhiều loại bảo vệ khác nhau để chống tất cả các loại sự cố và các chế độ làm việc không bình thường xảy ra bên trong các cuộn dây cũng như bên ngoài MFĐ. Để thiết kế tính toán các bảo vệ cần thiết cho máy phát, chúng ta phải biết các dạng hư hỏng và các tình trạng làm việc không bình thường của MFĐ.

I. Các dạng hư hỏng và tình trạng làm việc không bình thường của MFĐ

I.1. Các dạng hư hỏng:

- Ngắn mạch nhiều pha trong cuộn stator. (1)
- Chạm chập giữa các vòng dây trong cùng 1 pha (đối với các MFĐ có cuộn dây kép). (2)
- Chạm đất 1 pha trong cuộn dây stator. (3)
- Chạm đất một điểm hoặc hai điểm mạch kích từ. (4)

I.2. Các tình trạng làm việc không bình thường của MFĐ:

- Dòng điện tăng cao do ngắn mạch ngoài hoặc quá tải. (5)
 - Điện áp đầu cực máy phát tăng cao do mất tải đột ngột hoặc khi cắt ngắn mạch ngoài. (6)
- Ngoài ra còn có các tình trạng làm việc không bình thường khác như: Tải không đối xứng, mất kích từ, mất đồng bộ, tần số thấp, máy phát làm việc ở chế độ động cơ, ...

II. Các bảo vệ thường dùng cho MFĐ

Tùy theo chủng loại của máy phát (thủy điện, nhiệt điện, turbine khí, thủy điện tích năng...), công suất của máy phát, vai trò của máy phát và sơ đồ nối dây của nhà máy điện với các phần tử khác trong hệ thống mà người ta lựa chọn phương thức bảo vệ thích hợp. Hiện nay không có phương thức bảo vệ tiêu chuẩn đối với MFĐ cũng như đối với các thiết bị điện khác. Tùy theo quan điểm của người sử dụng đối với các yêu cầu về độ tin cậy, mức độ dự phòng, độ nhạy... mà chúng ta lựa chọn số lượng và chủng loại role trong hệ thống bảo vệ. Đối với các MFĐ công suất lớn, xu thế hiện nay là lắp đặt hai hệ thống bảo vệ độc lập nhau với nguồn điện thao tác riêng, mỗi hệ thống bao gồm một bảo vệ chính và một số bảo vệ dự phòng có thể thực hiện đầy đủ các chức năng bảo vệ cho máy phát.

Để bảo vệ cho MFĐ chống lại các dạng sự cố nêu ở phần I, người ta thường dùng các loại bảo vệ sau:

- Bảo vệ so lệch dọc để phát hiện và xử lý khi xảy ra sự cố (1).
- Bảo vệ so lệch ngang cho sự cố (2).
- Bảo vệ chống chạm đất một điểm cuộn dây stator cho sự cố (3).
- Bảo vệ chống chạm đất mạch kích từ cho sự cố (4).
- Bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải cho sự cố (5).
- Bảo vệ chống điện áp đầu cực máy phát tăng cao cho sự cố (6).

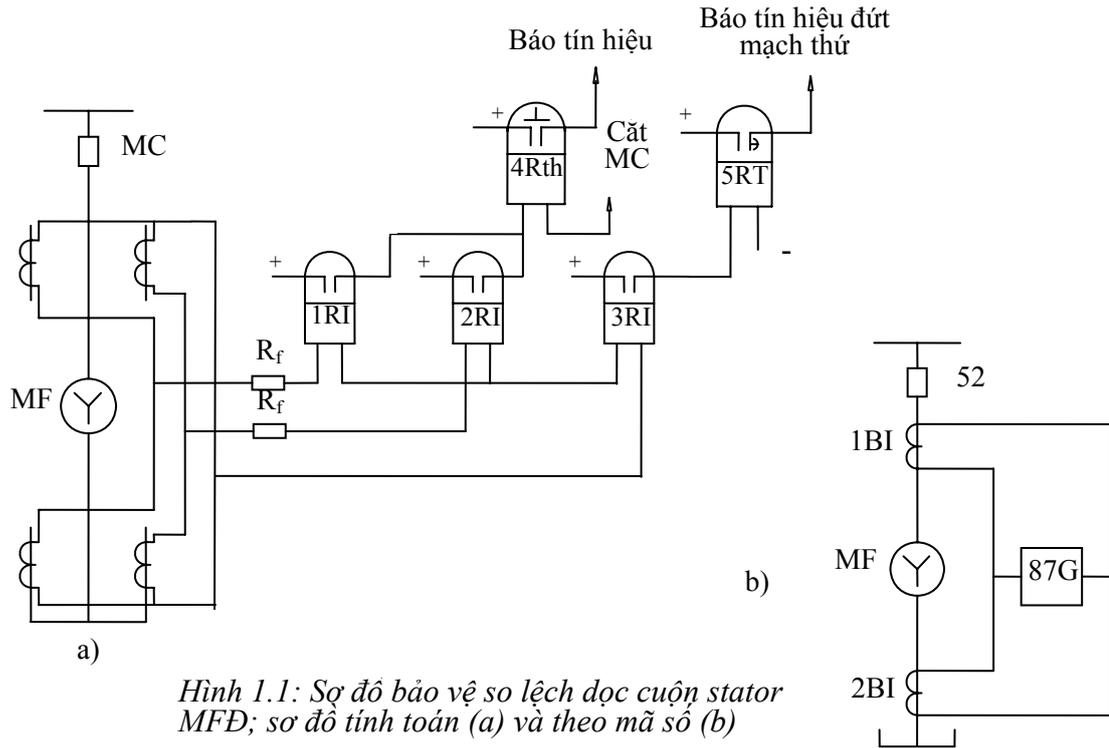
Ngoài ra có thể dùng: Bảo vệ khoảng cách làm bảo vệ dự phòng cho bảo vệ so lệch, bảo vệ chống quá nhiệt rotor do dòng máy phát không cân bằng, bảo vệ chống mất đồng bộ, ...

B. CÁC BẢO VỆ ROLE CHO MÁY PHÁT ĐIỆN

I. Bảo vệ số lệch dọc (87G)

I.1. Nhiệm vụ và sơ đồ nguyên lý:

Bảo vệ số lệch dọc (BVSLD) có nhiệm vụ chống ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stator máy phát. Sơ đồ thực hiện bảo vệ như hình 1.1.



Hình 1.1: Sơ đồ bảo vệ số lệch dọc cuộn stator MFĐ; sơ đồ tính toán (a) và theo mã số (b)

Trong đó:

- R_f : dùng để hạn chế dòng điện không cân bằng (I_{KCB}), nhằm nâng cao độ nhạy của bảo vệ.
 - 1RI, 2RI, 4Rth: phát hiện sự cố và đưa tín hiệu đi cắt máy cắt đầu cực máy phát không thời gian (thực tế thường $t \approx 0,1$ sec).
 - 3RI, 5RT: báo tín hiệu khi xảy ra đứt mạch thứ sau một thời gian cần thiết (thông qua 5RT) để tránh hiện tượng báo nhầm khi ngắn mạch ngoài mà tưởng đứt mạch thứ.
- Vùng tác động của bảo vệ là vùng giới hạn giữa các BI nối vào mạch số lệch. Cụ thể ở đây là các cuộn dây stator của MFĐ, đoạn thanh dẫn từ đầu cực MFĐ đến máy cắt.

I.2. Nguyên lý làm việc:

BVSLD hoạt động theo nguyên tắc so sánh độ lệch dòng điện giữa hai đầu cuộn dây stator, dòng vào role là dòng số lệch:

$$I_R = I_{1T} - I_{2T} = I_{SL} \quad (1-1)$$

Với I_{1T} , I_{2T} là dòng điện thứ cấp của các BI ở hai đầu cuộn dây.

Bình thường hoặc ngắn mạch ngoài, dòng vào role 1RI, 2RI là dòng không cân bằng

I_{KCB} :

$$I_{SL} = I_{1T} - I_{2T} = I_{KCB} < I_{KDR} \text{ (dòng khởi động role)} \quad (1-2)$$

nên bảo vệ không tác động (hình 1.2a).

Khi xảy ra chạm chập giữa các pha trong cuộn dây stator (hình 1.2b), dòng điện vào các role 1RI, 2RI:

$$I_{SL} = I_{1T} - I_{2T} = \frac{I_N}{n_1} > I_{KDR} \quad (1-3)$$

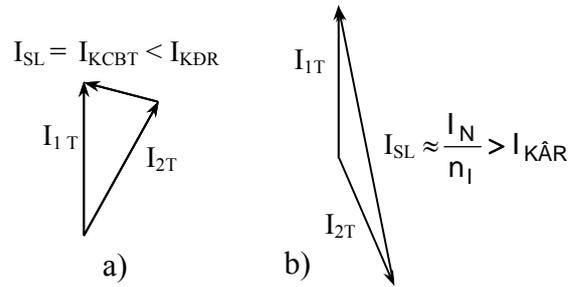
Trong đó:

- I_N : dòng điện ngắn mạch.
- n_1 : tỉ số biến dòng của BI

Bảo vệ tác động đi cắt 1MC đồng thời đưa tín hiệu đi đến bộ phận tự động diệt từ (TDT).

Trường hợp đứt mạch thứ của BI, dòng vào role là:

$$I_R = \frac{I_F}{n_1} \quad (1-4)$$



Hình 1.2: Đồ thị vectơ của dòng điện trong mạch BVSLD

- a) Bình thường và khi ngắn mạch ngoài
- b) Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ

Dòng điện này có thể làm cho bảo vệ tác động nhầm, lúc đó chỉ có 3RI khởi động báo đứt mạch thứ với thời gian chậm trễ, để tránh hiện tượng báo nhầm trong quá trình quá độ khi ngắn mạch ngoài có xung động lớn.

Ở sơ đồ hình 1.1, các BI nội theo sơ đồ sao khuyết nên bảo vệ so lệch dọc sẽ không tác động khi xảy ra ngắn mạch một pha ở pha không đặt BI. Tuy nhiên các bảo vệ khác sẽ tác động.

1.3. Tính các tham số và chọn Role:

1.3.1. Tính chọn 1RI và 2RI:

Dòng điện khởi động của role 1RI, 2RI được chọn phải thỏa mãn hai điều kiện sau:

□ Điều kiện 1: Bảo vệ không tác động đối với dòng không cân bằng cực đại I_{KCBmax} khi ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ.

$$I_{KDB} \geq K_{at} \cdot I_{KCBtt} \quad (1-5)$$

$$I_{KCBtt} = K_{dn} \cdot K_{KCK} \cdot f_i \cdot I_{Nngmax} \quad (1-6)$$

Trong đó:

- K_{at} : hệ số an toàn tính đến sai số của role và dự trữ cần thiết. K_{at} có thể lấy bằng 1,3.
- K_{KCK} : hệ số tính đến sự có mặt của thành phần không chu kỳ của dòng ngắn mạch, K_{KCK} có thể lấy từ 1 đến 2 tùy theo biện pháp được sử dụng để nâng cao độ nhạy của bảo vệ.
- K_{dn} : hệ số tính đến sự đồng nhất của các BI ($K_{dn} = 0,5 \div 1$).
- f_i : sai số tương đối của BI, f_i có thể lấy bằng 0,1 (có kể đến dự trữ, vì các máy biến dòng chọn theo đường cong sai số 10%).
- I_{Nngmax} : thành phần chu kỳ của dòng điện chạy qua BI tại thời điểm đầu khi ngắn mạch ngoài trực tiếp 3 pha ở đầu cực máy phát.

□ Điều kiện 2: Bảo vệ không được tác động khi đứt mạch thứ BI.

Lúc đó dòng vào role 1RI, 2RI: (giả sử MF đang làm việc ở chế độ định mức)

$$I_{SL} = \frac{I_{âmF}}{n_1} \quad (1-7)$$

Dòng khởi động của bảo vệ:

$$I_{KDB} = \frac{K_{at}}{n_1} I_{âmF} \quad (1-8)$$

Như vậy, điều kiện để chọn dòng khởi động cho 1RI, 2RI:

$$I_{KDB} = \max \{ K_{at} \cdot I_{KCBtt}; K_{at} \cdot I_{dmF} \} \quad (1-9)$$

Dòng điện khởi động của role:

$$I_{KDR} = \frac{K^{(3)} \cdot I_{KAB}}{n_1} \quad (1-10)$$

Với $K^{(3)}$ là hệ số sơ đồ. Sau khi tính được I_{KDR} ta sẽ chọn được loại role cần thiết.

Kiểm tra độ nhạy K_n của bảo vệ:

$$K_n = \frac{I_{Nmin}}{I_{KAB}} \quad (1-11)$$

Với I_{Nmin} : dòng điện ngắn mạch 2 pha ở đầu cực máy phát khi máy phát làm việc riêng lẻ.
 Vì bảo vệ có tính chọn lọc tuyệt đối nên yêu cầu $K_n > 2$.

I.3.2. Tính chọn Role 3RI:

Dòng khởi động sơ cấp của role 3RI phải lớn hơn dòng không cân bằng cực đại khi ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ. Nhưng trong tính toán thì điều kiện ổn định nhiệt của role là quyết định. Theo kinh nghiệm có thể chọn dòng khởi động cho 3RI:

$$I_{KDS(3RI)} = 0,2 \cdot I_{dmf} \quad (1-12)$$

Ta tính được I_{KDR} của 3RI và chọn được loại role tương ứng.

I.3.3. Thời gian làm việc của 5RT:

Khi xảy ra ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ, có thể xuất hiện những xung dòng lớn thoáng qua làm cho bảo vệ tác động nhầm do vậy phải chọn thời gian tác động của 5RT thỏa mãn điều kiện:

$$t_{5RT} > t_{cát\ Ng\ oài} \quad (1-13)$$

$$t_{5RT} = t_{cát\ Ng} + \Delta t \quad (1-14)$$

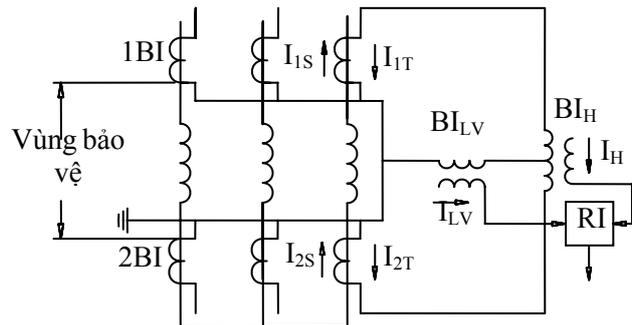
Trong đó:

- $t_{cát\ Ng}$: thời gian lớn nhất của các bảo vệ nối vào thanh góp điện áp máy phát.
- Δt : bậc chọn lọc thời gian, thường $\Delta t = (0,25 \div 0,5)$ sec.

□ Nhận xét:

- Bảo vệ sẽ tác động khi ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stator máy phát.
- Bảo vệ không tác động khi chạm chập giữa các vòng dây trong cùng 1 pha hoặc khi xảy ra chạm đất 1 điểm trong cuộn dây phân tĩnh.

Để tăng độ nhạy của bảo vệ so lệch người ta có thể sử dụng role so lệch có hãm.



Hình 1.3: Bảo vệ so lệch dòng điện có hãm cuộn dây stator MFD

I.4. Bảo vệ so lệch có hãm:

Sơ đồ bảo vệ như hình 1.3. Role gồm có hai cuộn dây: Cuộn hãm và cuộn làm việc. Role làm việc trên nguyên tắc so sánh dòng điện giữa I_{LV} và I_H .

- Dòng điện vào cuộn làm việc I_{LV} :

$$I_{LV} = |I_{1T} - I_{2T}| = I_{SL} \quad (1-15)$$

- Dòng điện hãm vào cuộn hãm I_H :

$$I_H = |I_{1T} + I_{2T}| \quad (1-16)$$

Khi làm việc bình thường hay ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ: Dòng điện I_{1T} cùng chiều với dòng I_{2T} : $|I_{1T}| \approx |I_{2T}|$

$$I_{SL} = I_{LV} = |I_{1T} - I_{2T}| = I_{KCB} \quad (1-17)$$

$$I_H = |I_{1T} + I_{2T}| \approx 2 \cdot |I_{1T}| > I_{LV} \quad (1-18)$$

nên bảo vệ không tác động.

Khi xảy ra ngắn mạch trong vùng bảo vệ: Dòng điện I_{1T} ngược pha với I_{2T} :

$$\begin{aligned} |I_{1T}| &= |-I_{2T}| \\ I_H &= |I_{1T} - I_{2T}| \approx 0 \\ I_{LV} &= |I_{1T} + I_{2T}| \approx 2 \cdot |I_{1T}| > I_H \end{aligned} \quad (1-19)$$

bảo vệ sẽ tác động.

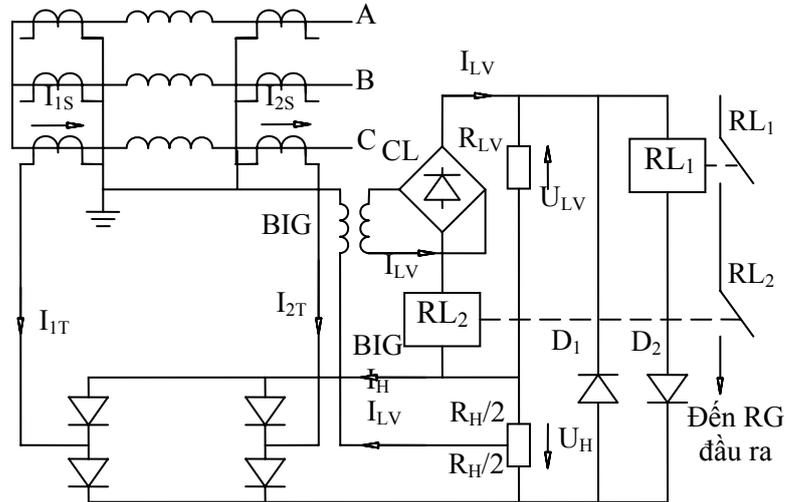
- **Nhận xét:**
-

- Bảo vệ hoạt động theo nguyên tắc so sánh dòng điện giữa I_{LV} và I_H , nên độ nhạy của bảo vệ rất cao và khi xảy ra ngắn mạch thì bảo vệ tác động một cách chắc chắn với thời gian tác động thường $t = (15 \div 20)$ msec.

- Bảo vệ so lệch dọc dùng rơle có hãm có thể ngăn chặn bảo vệ tác động nhầm do ảnh hưởng bão hoà của BI.

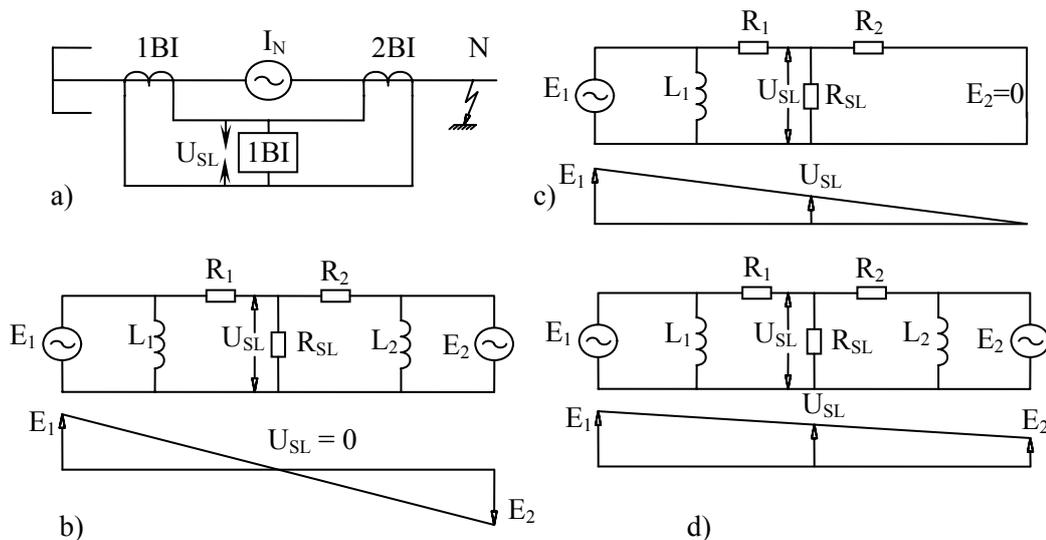
- Đối với các máy phát điện có công suất lớn có thể sử dụng sơ đồ bảo vệ so lệch hãm tác động nhanh (hình 1.4).

Ở chế độ làm việc bình thường, dòng điện thứ cấp I_{1T} và I_{2T} của các nhóm biến dòng 1BI, 2BI chạy qua điện trở hãm R_H , tạo nên điện áp hãm U_H , còn hiệu dòng thứ cấp (dòng so lệch) I_{SL} chạy qua biến dòng trung gian BIG, cầu chỉnh lưu CL và điện trở làm việc R_{LV} tạo nên điện áp làm việc U_{LV} . Giá trị điện áp $U_H > U_{LV}$, bảo vệ không tác động.



Hình 1.4: Bảo vệ so lệch có hãm tác động nhanh cho MFD công suất lớn

Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ, điện áp $U_{LV} \gg U_H$, dòng điện chạy qua rơle RL_1 làm rơle này tác động đóng tiếp điểm RL_1 lại. Dòng điện làm việc sau khi nắn chạy qua rơle RL_2 , RL_2 đóng tiếp điểm lại, rơle cắt đầu ra sẽ được cấp nguồn thao tác qua hai tiếp điểm nối tiếp RL_1 và RL_2 đi cắt máy cắt đầu cực máy phát. Ngoài ra, người ta còn dùng rơle so lệch tổng trở cao để bảo vệ so lệch máy phát điện (hình 1.5). Rơle so lệch RU trong sơ đồ có tổng trở khá lớn sẽ tác động theo điện áp so lệch U_{SL} , ở chế độ làm việc bình thường và khi ngắn mạch ngoài, các biến dòng 1BI, 2BI (được chọn giống nhau) có cùng dòng điện máy phát đi qua do đó các sức điện động E_1 và E_2 bằng nhau và ngược pha nhau, $L_1 = L_2$, phân bố điện áp trong mạch như hình 1.5b.



Hình 1.5: Bảo vệ so lệch dùng rơle tổng trở cao cho MFD

a) Sơ đồ nguyên lý b) Mạch điện đẳng trị và phân bố điện áp trong chế độ làm việc bình thường c) nhóm 2BI bị bão hoà khi ngắn mạch ngoài và hoàn toàn d) khi có ngắn mạch trong.

Trị số điện áp đặt lên role so lệch RU phụ thuộc vào quan hệ giữa các điện trở R_1 và R_2 . Điện trở R_1, R_2 gồm điện trở cuộn dây thứ cấp và dây dẫn phụ nối giữa hai nhóm biến dòng 1BI và 2BI, với $R_1 = R_2 \Rightarrow U_{SL} = 0$

Khi xảy ra ngắn mạch trong vùng bảo vệ:

* **Trường hợp máy phát làm việc biệt lập với hệ thống:** Dòng điện qua 1BI là dòng của máy phát. Dòng điện qua 2BI bằng không $E_2 = 0$. Điện áp đặt lên role so lệch RU hình 1.5c:

$$U_{SL1} = \frac{I_N'' \cdot (R_1 + R_2)}{n_1} \quad (\text{vì } R_{SL} \gg R_2) \quad (1-20)$$

Trong đó:

- I_N'' : trị hiệu dụng của dòng siêu quá độ khi ngắn mạch trên đầu cực máy phát.
- $I_N'' = I_{Nngmax}^{(3)} = I_{Nđầu cực MF}^{(3)}$

với:

- n_1 : tỷ số biến dòng của BI.
- R_{SL} : điện trở mạch so lệch (gồm role và dây nối).
-

* **Trường hợp máy phát nối với hệ thống:** Khi đó tại điểm ngắn mạch, ngoài dòng điện do bản thân máy phát cung cấp I_{NF}'' còn có thêm thành phần dòng điện do hệ thống đổ về I_{NH}'' . Mạch điện đẳng trị và phân bố điện áp như hình 1.5d. Giá trị điện áp đặt lên role so lệch RU:

$$U_{SL2} = \frac{(I_{NF}'' + I_{NH}'') \cdot (R_1 + R_2)}{n_1} \quad (1-21)$$

Để đảm bảo tính chọn lọc, điện áp khởi động của role so lệch RU phải chọn lớn hơn $\min\{U_{SL1}; U_{SL2}\}$, nghĩa là:

$$U_{KĐR} = K_{at} \cdot U_{SL1} = \frac{K_{at} \cdot I_N'' \cdot (R_1 + R_2)}{n_1} \quad (1-22)$$

Với $K_{at} = (1,15 \div 1,2)$ là hệ số an toàn.

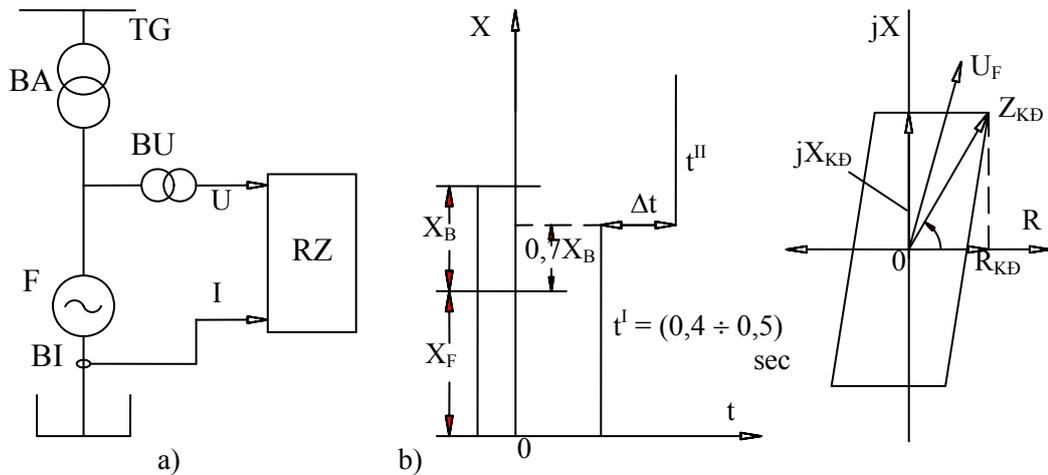
Thời gian tác động của bảo vệ thường: $t = (15 \div 20)$ msec

□ **Nhận xét:**

- Đối với các MFĐ có công suất lớn, hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều trong dòng điện ngắn mạch có thể đạt đến hàng trăm msec, gây bão hòa mạch từ của các máy biến dòng và làm chậm tác động của bảo vệ khi có ngắn mạch trong vùng bảo vệ. Vì vậy cần phải sử dụng sơ đồ bảo vệ tác động nhanh trước khi xảy ra bão hòa mạch từ của máy biến dòng, tức là: $t_{bh} > t_{bv}$, với t_{bv} là thời gian cắt ngắn mạch của bảo vệ; t_{bh} thời gian bão hòa mạch từ của BI.

I.5. Bảo vệ khoảng cách (21):

Đối với các MFD công suất lớn người ta thường sử dụng bảo vệ khoảng cách làm bảo vệ dự phòng cho BVSL (hình 1.6a).



Hình 1.6: Sơ đồ nguyên lý (a); đặc tính thời gian (b) và đặc tuyến khởi động (c) của bảo vệ khoảng cách cho MFD

Vi khoảng cách từ MBA đến máy cắt cao áp khá ngắn, để tránh tác động nhầm khi ngắn mạch ngoài MBA, vùng thứ nhất của bảo vệ khoảng cách được chọn bao gồm điện kháng của MFD và khoảng 70% điện kháng của MBA tăng áp (để bảo vệ hoàn toàn cuộn hạ của MBA), nghĩa là:

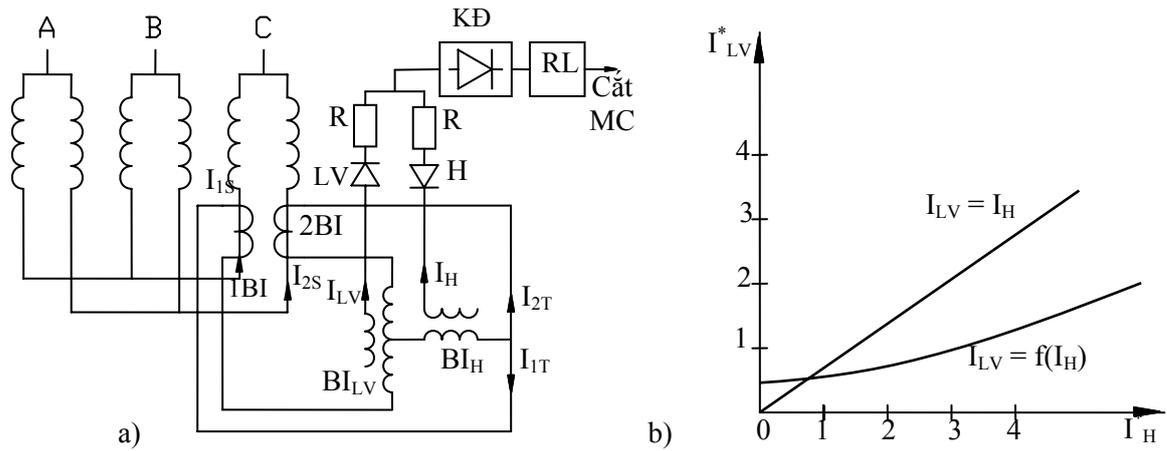
$$Z_{kd}^I = Z_F + 0,7 \cdot Z_B \quad (1-23)$$

Thời gian làm việc của vùng thứ nhất thường chọn $t^I = (0,4 \div 0,5) \text{ sec}$ (hình 1.6b).

Vùng thứ hai thường bao gồm phần còn lại của cuộn dây MBA, thanh dẫn và đường dây truyền tải nối với thanh góp liên kế. Đặc tuyến khởi động của rơle khoảng cách có thể có dạng vòng tròn với tâm ở góc tọa độ hoặc hình bình hành với độ nghiêng của cạnh bên bằng độ nghiêng của véctor điện áp U_F hình 1.6c.

II. Bảo vệ so lệch ngang (87G)

Các vòng dây của MFD chạm nhau thường do nguyên nhân hư hỏng cách điện của dây quấn. Có thể xảy ra chạm chập giữa các vòng dây trong cùng một nhánh (cuộn dây đơn) hoặc giữa các vòng dây thuộc hai nhánh khác nhau trong cùng một pha, dòng điện trong các vòng dây bị chạm chập có thể đạt đến trị số rất lớn. Đối với máy phát điện mà cuộn dây stator là cuộn dây kép, khi có một số vòng dây chạm nhau sức điện động cảm ứng trong hai nhánh sẽ khác nhau tạo nên dòng điện cân bằng chạy quanh trong các mạch vòng sự cô và đốt nóng cuộn dây có thể gây ra hư hỏng nghiêm trọng. Trong nhiều trường hợp khi xảy ra chạm chập giữa các vòng dây trong cùng một pha nhưng BVSLD không thể phát hiện được, vì vậy cần phải đặt bảo vệ so lệch ngang để chống dạng sự cô này.



Hình 1.7: Bảo vệ so lệch ngang có hãm (a) và đặc tính khởi động (b)

Đối với MFĐ công suất vừa và nhỏ chỉ có cuộn dây đơn, lúc đó chạm chập giữa các vòng dây trong cùng một pha thường kèm theo chạm vỏ, nên bảo vệ chống chạm đất tác động (trường hợp này không cần đặt bảo vệ so lệch ngang).

Với MFĐ công suất lớn, cuộn dây stator làm bằng thanh dẫn và được quấn kép, đầu ra các nhánh đưa ra ngoài nên việc bảo vệ so lệch ngang tương đối dễ dàng. Người ta có thể dùng sơ đồ bảo vệ riêng hoặc chung cho các pha.

II.1. Sơ đồ bảo vệ riêng cho từng pha: (hình 1.7, 1.8)

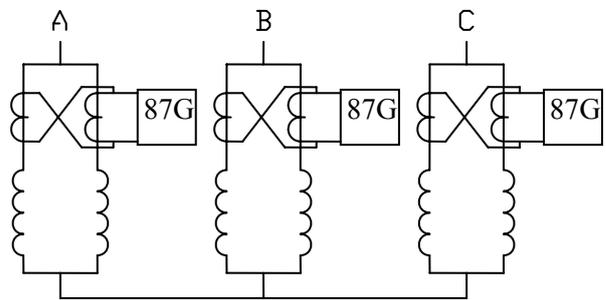
Trong chế độ làm việc bình thường hoặc ngắn mạch ngoài, sức điện động trong các nhánh cuộn dây stator bằng nhau nên $I_{1T} = I_{2T}$. Khi đó:

$$|I_H| = |I_{1T} + I_{2T}| = 2.I_{1T} \quad (1-24)$$

$$|I_{SL}| = |I_{LV}| = |I_{1T} - I_{2T}| = I_{KCB} \quad (1-25)$$

$\Rightarrow I_H > I_{LV}$ nên bảo vệ không tác động

Khi xảy ra chạm chập giữa các vòng dây của hai nhánh khác nhau cùng một pha, giả thiết ở chế độ máy phát chưa mang tải, ta có: $I_{1T} = -I_{2T}$

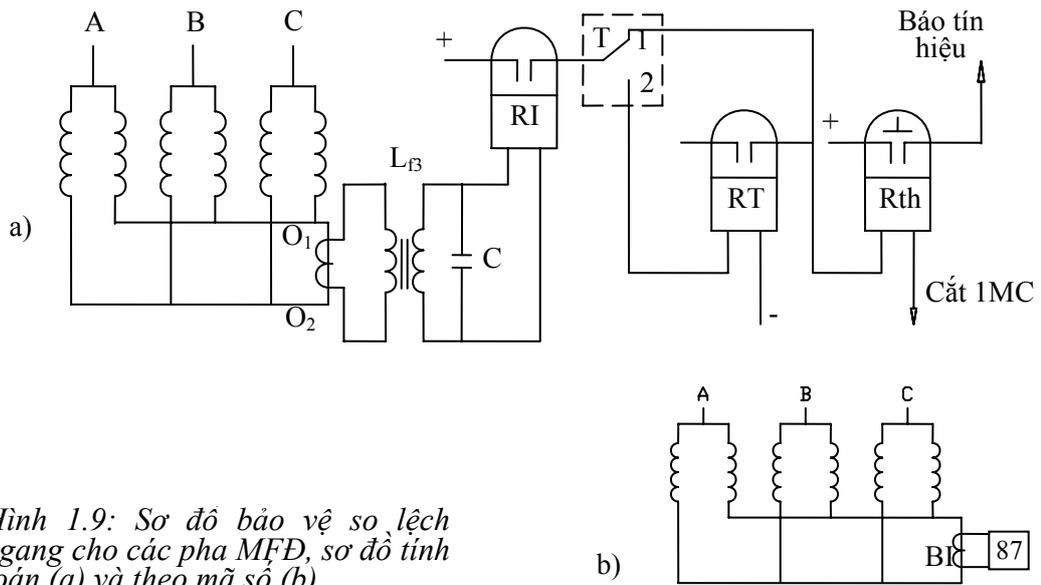


Hình 1.8: Sơ đồ bảo vệ so lệch ngang theo mã số

$$\begin{aligned} |I_H| &= |I_{1T} - I_{2T}| = I_{KCB} \\ |I_{LV}| &= |I_{1T} + I_{2T}| = 2.I_{1T} \\ \Rightarrow I_{LV} &> I_H \text{ nên role tác động cắt máy cắt đầu cực máy phát.} \end{aligned} \quad (1-26)$$

II.2. Sơ đồ bảo vệ chung cho các pha: (hình 1.9)

Trong sơ đồ BI được đặt ở giữa hai điểm nối trung tính của 2 nhóm nhánh của cuộn dây stator, thứ cấp của BI nối qua bộ lọc sóng hài bậc ba L_{3f} dùng để giảm dòng không cân bằng đi vào role.



Hình 1.9: Sơ đồ bảo vệ so lệch ngang cho các pha MFD, sơ đồ tính toán (a) và theo mã số (b)

CN: cầu nối, bình thường CN ở vị trí 1 và bảo vệ tác động không thời gian. Khi máy phát đã chạm đất 1 điểm mạch kích từ (không nguy hiểm), CN được chuyển sang vị trí 2 lúc đó bảo vệ sẽ tác động có thời gian để tránh tác động nhầm khi chạm đất thoáng qua điểm thứ 2 mạch kích từ.

II.2.1. Nguyên lý hoạt động:

Bảo vệ hoạt động trên nguyên lý so sánh thế V_1 và V_2 của trung điểm O_1 và O_2 giữa 2 nhánh song song của cuộn dây.

* Ở chế độ bình thường hoặc ngắn mạch ngoài:

$$U_{12} = V_1 - V_2 \approx 0 \quad (1-27)$$

nên không có dòng qua BI do đó bảo vệ không tác động (cầu nối ở vị trí 1).

* Khi xảy ra chạm chập 1 điểm mạch kích từ, máy phát vẫn được duy trì vận hành nhưng phải chuyển cầu nối sang vị trí 2 để tránh trường hợp bảo vệ tác động nhầm khi ngắn mạch thoáng qua điểm thứ 2 mạch kích từ.

* Khi sự cố (chạm chập giữa các vòng dây):

$$U_{12} = V_1 - V_2 \neq 0 \quad (1-28)$$

nên có dòng qua BI bảo vệ tác động cắt máy cắt.

II.2.2. Dòng khởi động của role:

Dòng điện khởi động của bảo vệ được xác định theo công thức:

$$I_{KDB} \geq K_{at} \cdot I_{KCBtt} \quad (1-29)$$

Thực tế việc xác định dòng không cân bằng tính toán I_{KCBtt} tương đối khó, nên thường xác định theo công thức kinh nghiệm:

$$I_{KDB} = (0,05 \div 0,1) \cdot I_{dmf} \quad (1-30)$$

$$\Rightarrow I_{KDR} = \frac{I_{KAB}}{n_1} \quad (1-31)$$

từ đó có thể chọn được loại role cần thiết.

II.2.3. Thời gian tác động của bảo vệ:

Bình thường bảo vệ tác động không thời gian (cầu nối CN ở vị trí 1). Khi chạm đất điểm thứ nhất mạch kích từ thì cầu nối CN được chuyển sang vị trí 2. Thời gian tác động của role RT được xác định như sau:

$$t_{RT} = t_{BV 2 \text{ điểm ktừ}} + \Delta t \quad (1-32)$$

Trong đó:

- $t_{BV 2 \text{ điểm ktừ}}$: thời gian tác động của bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ.
- Δt : bậc chọn thời gian, thường lấy $\Delta t = 0,5 \text{ sec}$.

□ **Nhận xét:**

- Bảo vệ so lệch ngang cũng có thể làm việc khi ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stator. Tuy nhiên nó không thể thay thế hoàn toàn cho BVSLD được vì khi ngắn mạch trên đầu cực máy phát bảo vệ so lệch ngang không làm việc.
- Bảo vệ tác động khi chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ (nếu bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ không tác động) do sự không đối xứng của từ trường làm cho $V_1 \neq V_2$.

III. Bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây stator (50/51n)

Mạng điện áp máy phát thường làm việc với trung tính cách điện với đất hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang nên dòng chạm đất không lớn lắm. Tuy vậy, sự cô một điểm cuộn dây stator chạm lỗi từ lại thường xảy ra, dẫn đến đốt cháy cách điện cuộn dây và lan rộng ra các cuộn dây bên cạnh gây ngắn mạch nhiều pha. Vì vậy, cần phải đặt bảo vệ chống chạm đất một điểm cuộn dây stator.

Dòng điện tại chỗ chạm đất khi trung điểm của cuộn dây máy phát không nối đất là:

$$I_{\hat{A}\alpha}^{(1)} = \frac{\alpha \cdot U_p}{\sqrt{r_{qđ}^2 + X_{C_{0\Sigma}}^2}} \quad (1-33)$$

Trong đó:

- α : số phần trăm cuộn dây tính từ trung điểm đến vị trí chạm đất ($\alpha \leq 1$).
- U_p : điện áp pha của máy phát.
- $r_{qđ}$: điện trở quá độ tại chỗ sự cố.
- $X_{C_{0\Sigma}}$: dung kháng 3 pha đẳng trị của tất cả các phần tử trong mạng điện áp

máy phát. $X_{C_{0\Sigma}} = \frac{1}{3 \cdot j \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma}}$

Nếu bỏ qua điện trở quá độ tại chỗ sự cố ($r_{qđ} = 0$), dòng chạm đất bằng:

$$I_{\hat{A}\alpha}^{(1)} = 3 \cdot \alpha \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma} \cdot U_p \quad (1-34)$$

Khi chạm đất xảy ra tại đầu cực máy phát ($\alpha = 1$) dòng chạm đất đạt trị số lớn nhất:

$$I_{\hat{A}\alpha \max}^{(1)} = 3 \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma} \cdot U_p \quad (1-35)$$

Nếu dòng chạm đất lớn cần phải đặt cuộn dập hồ quang (CDHQ), theo quy định của một số nước, CDHQ cần phải đặt khi:

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 30 \text{ A đối với mạng có } U = 6 \text{ kV}$$

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 20 \text{ A đối với mạng có } U = 10 \text{ kV}$$

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 15 \text{ A đối với mạng có } U = (15 \div 20) \text{ kV}$$

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 10 \text{ A đối với mạng có } U = 35 \text{ kV}$$

Kinh nghiệm cho thấy rằng dòng điện chạm đất $I_{\hat{A}}^{(1)} \geq 5 \text{ A}$ có khả năng duy trì tia lửa điện tại chỗ chạm đất làm hỏng cuộn dây và lõi thép tại chỗ sự cố, vì vậy bảo vệ cần phải tác động cắt máy phát. Phần lớn sự cố cuộn dây stator là chạm đất một pha vì các cuộn dây cách điện nằm trong các rãnh lõi thép. Để giới hạn dòng chạm đất trung tính máy phát thường nối đất qua một tổng trở. Các phương pháp nối đất trung tính được trình bày trong hình 1.10.

Nếu tổng trở trung tính đủ lớn dòng chạm đất có thể giới hạn nhỏ hơn dòng điện định mức máy phát. Không có công thức tổng quát nào cho giá trị tối ưu của tổng trở giới hạn dòng. Nếu tổng trở trung tính quá cao, dòng chạm đất bé làm cho role không tác động. Ngoài ra điện trở quá lớn sẽ xuất hiện hiện tượng cộng hưởng quá độ giữa các cuộn dây với đất và đường dây kết nối. Để tránh hiện tượng này khi tính chọn điện trở trung tính cực đại

dựa vào dung dẫn giữa 3 cuộn dây stator máy phát, thường yêu cầu: $R \leq \frac{1}{3\omega C}$ (Ω)
(1-36)

với C là điện dung của mỗi cuộn dây stator máy phát.

Nếu điện trở trung tính thấp, dòng điện chạm đất sẽ cao và sẽ gây nguy hiểm cho máy phát. Khi điện trở trung tính giảm độ nhạy của role chống chạm đất giảm do điện thế thứ tự không nhỏ. Role chống chạm đất sẽ cảm nhận điện thế giáng trên điện trở nối đất do vậy giá trị điện thế này phải đủ lớn để đảm bảo độ nhạy của role.

Hình 1.10 giới thiệu một số phương án áp dụng nối đất trung tính máy phát.

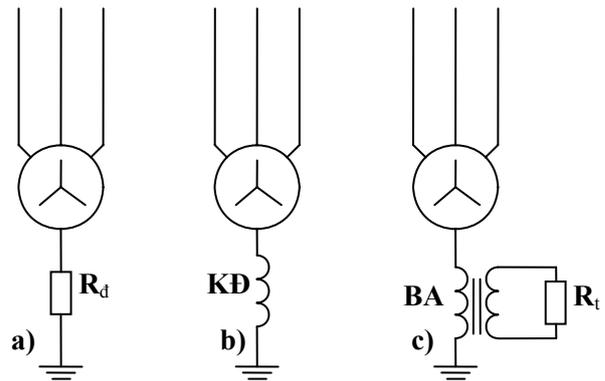
□ **Phương án a:** Trung tính nối đất qua điện trở cao R_t (hình 1.10a) để giới hạn dòng chạm đất nhỏ hơn 25A. Một phương án khác cũng nối đất qua điện trở thấp cho phép dòng chạm đất có thể đạt đến 1500A.

□ **Phương án b:** Trung tính nối đất qua điện kháng có kháng trở bé (hình 1.10b), với phương án này cho phép dòng chạm đất lớn hơn khi dùng *phương án a*, giá trị dòng chạm đất khoảng (25÷100)% dòng ngắn mạch 3 pha.

□ **Phương án c:** Trung tính nối đất qua máy biến áp BA hình 1.10c, điện áp của cuộn sơ MBA bằng điện áp máy phát, điện áp của cuộn thứ MBA khoảng 120V hay 240V.

- Đối với sơ đồ có thanh góp cấp điện áp máy phát khi $I_{d\alpha} > 5$ (A) cần phải cắt máy phát.

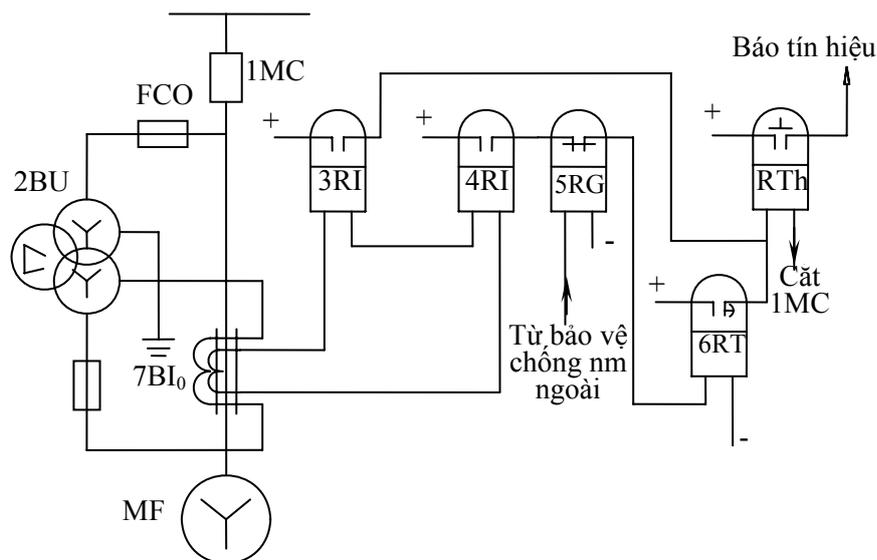
- Đối với sơ đồ nối bộ MF-MBA thường $I_{d\alpha} < 5$ (A) chỉ cần đặt bảo vệ đơn giản hơn để báo tín hiệu chạm đất stator mà không cần cắt máy phát.



Hình 1.10: Các phương án nối đất trung tính MFD

III.1. Đối với sơ đồ thanh góp điện áp máy phát:

Sơ đồ hình 1.11 được dùng để bảo vệ cuộn dây stator máy phát khi xảy ra chạm đất. Bảo vệ làm việc theo dòng thứ tự không qua biên dòng thứ tự không $7BI_0$ có kích từ phụ từ nguồn xoay chiều lấy từ 2BU.



Hình 1.11: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất 1 điem cuộn stator MFD

- 3RI: role chống chạm đất 2 pha tại hai điểm khi dùng bảo vệ so lệch dọc đặt ở 2 pha (sơ đồ sao khuyết).
- 4RI: role chống chạm đất 1 pha cuộn dây stator.
- 5RG: khoá bảo vệ khi ngắt mạch ngoài.
- 6RT: tạo thời gian làm việc cần thiết để bảo vệ không tác động đối với những giá trị quá độ của dòng điện dung đi qua máy phát khi chạm đất 1 pha trong mạng điện áp máy phát.
- Rth: role báo tín hiệu.

III.1.1. Nguyên lý hoạt động:

Tình trạng làm việc bình thường, dòng điện qua role 3RI, 4RI:

$$I_R = \frac{1}{n_l} (I_A + I_B + I_C) = \frac{1}{n_l} I_{KCBtt} \quad (1-37)$$

Dòng điện không cân bằng do các pha phía sơ cấp của 7BI₀ đặt không đối xứng với cuộn thứ cấp và do thành phần kích từ phụ gây nên. Dòng điện khởi động của role cần phải chọn lớn hơn dòng điện không cân bằng trong tình trạng bình thường này:

$$I_{KĐR} > I_{KCBtt}$$

Khi xảy ra chạm đất 1 pha trong vùng bảo vệ:

Dòng qua chỗ chạm đất bằng:

$$I_D = (3 \cdot \alpha \cdot \omega \cdot C_{OHT} + 3 \cdot \alpha \cdot \omega \cdot C_{OF}) \cdot U_{pF} \quad (1-38)$$

Trong đó:

- α : phần số vòng dây bị chọc thủng kể từ điểm trung tính cuộn dây stator.
- C_{OF} , C_{OHT} : điện dung pha đối với đất của máy phát và hệ thống.
- U_{pF} : điện áp pha của máy phát.

Dòng điện vào role bằng:

$$I'_D = 3 \cdot \omega \cdot \alpha \cdot C_{OHT} \cdot U_{pF} \quad (1-39)$$

để bảo vệ có thể tác động được cần thực hiện điều kiện:

$$I_{KĐB} \leq I'_{D\alpha} - I_{KCBtt} \quad (1-40)$$

để đơn giản, ta giả thiết dòng chạm đất đi qua bảo vệ và dòng không cân bằng tính toán ngược pha nhau.

Khi số vòng chạm α bé, dòng điện chạm đất $I'_{D\alpha}$ nhỏ và bảo vệ có thể có vùng chết ở gần trung tính máy phát.

Khi chạm đất một pha ngoài vùng bảo vệ, dòng điện đi qua bảo vệ:

$$I''_{D\alpha} = 3 \cdot \omega \cdot \alpha \cdot C_{OF} \cdot U_{pF} \quad (1-41)$$

để bảo vệ không tác động trong trường hợp này, dòng khởi động của bảo vệ phải được chọn:

$$I_{K\hat{A}B} > I''_{D\alpha q\hat{a}} + I_{KCBtt} \quad (1-42)$$

Ở đây chúng ta chọn điều kiện nặng nề nhất là khi dòng điện chạm đất qua bảo vệ và dòng không cân bằng có chiều trùng nhau, đồng thời phải chọn giá trị của dòng điện chạm đất bằng giá trị quá độ lớn nhất vì chạm đất thường là không ổn định.

Khi xảy ra chạm đất 2 pha tại hai điểm, trong đó có một điểm nằm trong vùng bảo vệ. Bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát nhờ role 3RI. Trong trường hợp này role 4RI cũng khởi động nhưng tín hiệu từ 4RI bị trễ do 6RT.

III.1.2. Tính chọn Role:

* **Dòng khởi động của role 3RI:** Việc xác định dòng không cân bằng đi qua bảo vệ khi ngắt mạch ngoài vùng bảo vệ rất phức tạp vì thế người ta thường chỉnh định với một độ dự trữ khá lớn, theo kinh nghiệm vận hành thường chọn:

$$I_{KĐB3RI} = (100 \div 200) \text{ (A)} \quad (\text{phía sơ cấp}) \quad (1-43)$$

* **Dòng khởi động của role 4RI:** Dòng khởi động của 4RI được chọn theo 2 điều kiện:

- Bảo vệ không được tác động khi ngắt mạch ngoài vùng bảo vệ, khi đó:

$$I_{K\hat{A}B4RI} = \frac{K_{at}}{K_{tv}} (3\omega C_0 k_{q\hat{a}} U_{pF} + I_{KCBtt \max}) \text{ (A)} \quad (\text{phía sơ cấp}) \quad (1-44)$$

□ Theo giá trị dòng điện sơ cấp bé nhất tương ứng với dòng điện khởi động cực tiểu của 4RI (giá trị này phụ thuộc vào cấu tạo và độ nhạy của role 4RI). Đối với các role thường gặp giá trị này khoảng:

$$I_{KDB4RI} = (2 \div 3) \text{ (A) (phía sơ cấp)} \quad (1-45)$$

Từ hai điều kiện trên chúng ta sẽ chọn được dòng điện lớn hơn làm dòng điện tính toán.

* **Thời gian làm việc của role 6RT:** Để loại trừ ảnh hưởng của những giá trị quá độ của dòng điện dung khi chạm đất một pha trong mạng điện áp máy phát, người ta thường chọn:

$$t_{6RT} = (1 \div 2) \text{ sec} \quad (1-46)$$

III.2. Đối với sơ đồ nối bộ MF-MBA:

Với sơ đồ nối bộ, khi xảy ra chạm đất một điểm cuộn dây stator dòng chạm đất bé vì vậy bảo vệ chỉ cần báo tín hiệu, ở đây chỉ cần dùng sơ đồ bảo vệ đơn giản, làm việc theo điện áp thứ tự không như hình 1.12.

Giá trị khởi động của RU (U_{KDRU}) thường chọn theo hai điều kiện sau:

- Điều kiện 1: $U_{KDRU} > U_{KCBmax}$
- Điều kiện 2: U_{KDRU} chọn theo điều kiện ổn định nhiệt của role và thường lấy bằng 15V.

Thường chọn theo điều kiện 2 là đã thỏa điều kiện 1.

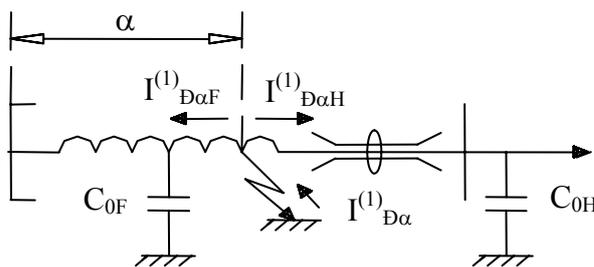
Role thời gian dùng để tạo thời gian trễ tránh trường hợp bảo vệ tác động nhầm do quá độ sự cố bên ngoài.

$$t_{RT} = t_{max} \text{ (BV của phần tử kế cận)} + \Delta t. \quad (1-47)$$

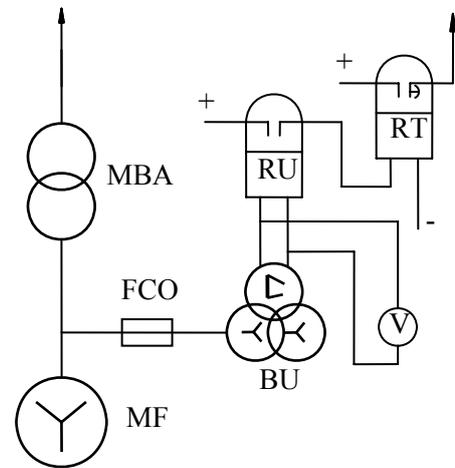
III.3. Một số sơ đồ khác:

MFĐ nối với thanh góp điện áp thường có công suất bé và sơ đồ bảo vệ thường dựa trên nguyên lý làm việc theo biên độ hoặc hướng dòng điện chạm đất.

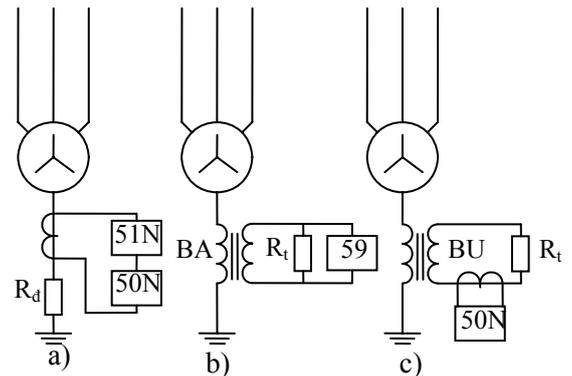
III.3.1. Phương pháp biên độ:



Hình 1.13: Chạm đất trong cuộn dây stator MFĐ



Hình 1.12: Sơ đồ bảo vệ chạm đất một điểm cuộn stator bộ MF-MBA



Hình 1.14: Bảo vệ chạm đất dây quấn stator

Phương pháp biên độ thường được sử dụng khi thành phần dòng điện chạm đất từ phía điện dung hệ thống $I_{d\alpha H}^{(1)}$ lớn hơn nhiều so với thành phần chạm đất từ phía điện dung máy phát $I_{d\alpha F}^{(1)}$ nghĩa là:

$$I_{d\alpha H}^{(1)} \gg I_{d\alpha F}^{(1)} \text{ với } I_{d\alpha F} = 3 \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot U \alpha$$

Vì dòng chạm đất $I(1)_{đđ}$ (hình 1.13) phụ thuộc vào vị trí α của điểm chạm đất, nên nếu xảy ra chạm đất gần trung tính ($\alpha \rightarrow 0$) bảo vệ sẽ không đủ độ nhạy, vì vậy phương pháp này chỉ bảo vệ được khoảng 70% cuộn dây stator máy phát kể từ đầu cực máy phát.

Ngoài sơ đồ nêu ở phần III.1, sau đây chúng ta sẽ xét thêm một số sơ đồ bảo vệ theo phương pháp biên độ khác sau:

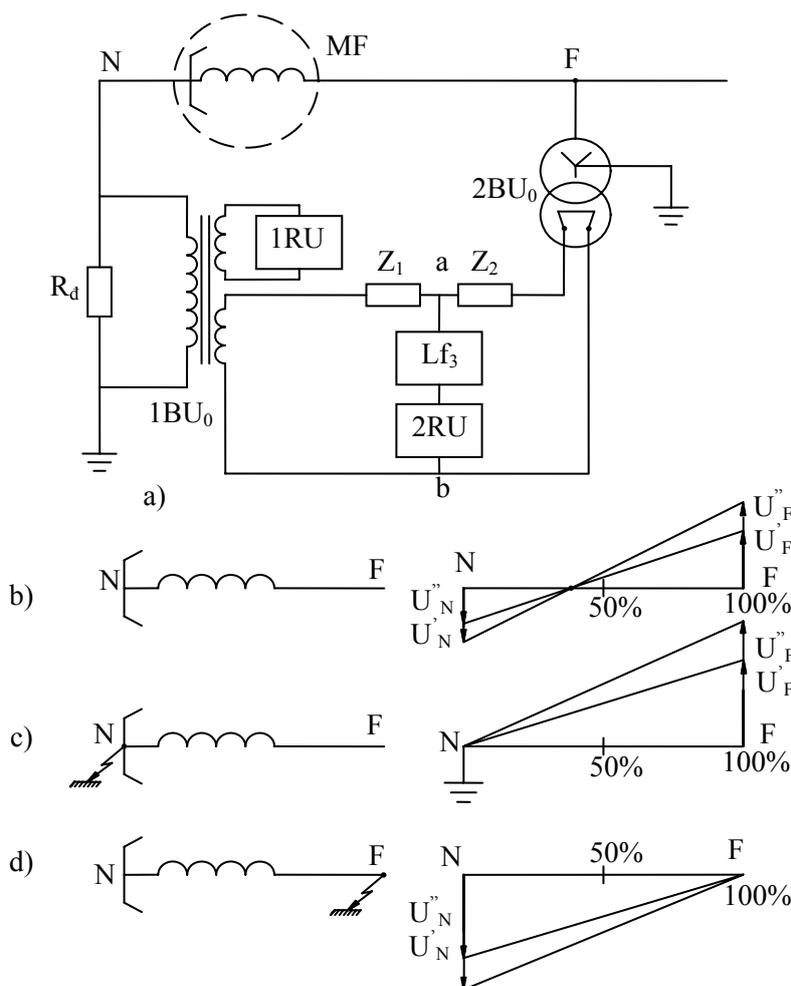
□ **Trung tính máy phát nối đất qua điện trở cao R_d :** (hình 1.14a)

Máy biến dòng đặt ở dây nối trung tính MFD qua điện trở nối đất R_d , cuộn thứ cấp nối vào rơle dòng cắt nhanh (có mã số 50N). Trị số dòng điện đặt của rơle lấy bằng 10% giá trị dòng điện chạm đất cực đại ở cấp điện áp máy phát. Đây là trị số đặt nhỏ nhất có tính đến độ an toàn khi thành phần dòng điện thứ tự không từ hệ thống cao áp truyền qua điện dung cuộn dây MBA tới máy phát. Để nâng cao hiệu quả của bảo vệ người ta có thể đặt thêm bảo vệ dòng cực đại (51N) có đặc tính thời gian phụ thuộc có trị số dòng điện đặt khoảng 5% giá trị dòng chạm đất cực đại $I_{đmax}$ ở cấp điện áp máy phát.

□ **Máy phát nối đất trung tính qua MBA:** (hình 1.14b)

MBA nối đất đặt ở trung tính máy phát điện, vừa có chức năng như một kháng điện nối đất của máy phát vừa cung cấp nguồn cho bảo vệ. Cuộn thứ cấp của MBA được nối với rơle quá điện áp (59) song song với tải trở R_t nhằm ổn định sự làm việc cho MBA và tạo giá trị điện áp đặt lên rơle quá điện áp. Trị số điện áp đặt khoảng (5,4 ÷ 20) V. Sơ đồ chỉ có thể bảo vệ được khoảng 90% cuộn stator tính từ đầu cực máy phát. Người ta cũng có thể sử dụng phương án hình 1.14c để bảo vệ chống chạm đất cuộn stator máy phát. Cuộn thứ cấp của MBA được mắc thêm tải trở R_t , điện trở này làm tăng thành phần tác dụng chạm đất lên khoảng 10A và trên mạch thứ cấp này đặt biên dòng nối vào rơle dòng cực đại (50N). Giá trị đặt của rơle này khoảng 5% giá trị dòng điện chạm đất cực đại ở cấp điện áp máy phát. Dòng điện thứ cấp của BI chọn 1A còn dòng điện phía sơ cấp của BI chọn bằng hoặc nhỏ hơn dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của MBA nối đất.

□ **Sơ đồ sử dụng điện áp sóng hài bậc 3:** (hình 1.15)



Hình 1.15: Sơ đồ bảo vệ chạm đất 100% cuộn stator theo điện áp hài bậc 3 (a); đồ thị vectơ trong chế độ vận hành bình thường (b); khi chạm đất ở trung tính (c) và khi chạm đất ở đầu cực điểm máy phát

Role so sánh trong quan giữa dòng điện làm việc I_{LV} và dòng điện hãm I_H theo quan hệ :

$$\Delta I = I_H - I_{LV} \quad (1-48)$$

Trong đó:

$$I_H = I_U + I_D^1 \quad (1-49a)$$

$$I_{LV} = I_U - I_D^1 \quad (1-49b)$$

Với I_U là dòng điện lấy từ nguồn điện áp U_0 ; I_D^1 lấy từ bộ lọc dòng thứ tự không.

Từ đồ thị véctơ hình 1.16b ta có thể thấy rằng, điều kiện làm việc của bảo vệ được xác định theo dấu của ΔI , bảo vệ sẽ tác động cắt MC khi $\Delta I > 0$, nghĩa là $I_H > I_{LV}$ điều này được thoả mãn nếu chạm đất xảy ra trong vùng bảo vệ. Đường K-L trên đồ thị véctơ hình 1.16b là ranh giới giữa miền tác động và miền hãm của bảo vệ.

Nếu chuyển mạch khoá K (hình 1.16a) đầu vào điện áp U_0 qua điện trở R_1 thay cho tụ điện C_1 thì sơ đồ có thể sử dụng để bảo vệ cho các máy phát có trung tính nối đất qua điện trở lớn. Khi ấy thành phần tác dụng của dòng điện tác dụng sẽ được so sánh với thành phần phản kháng của dòng điện khi trung điểm cuộn dây máy phát không nối đất.

Nếu thành phần tác dụng và thành phần phản kháng của dòng điện chạm đất gần bằng nhau, người ta sử dụng sơ đồ có tên gọi là sơ đồ 45° khi ấy khoá K sẽ chuyển sang mạch R_2, C_2 với thông số được lựa chọn thích hợp.

Một phương án khác để thực hiện bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stator máy phát có trung tính không nối đất hoặc nối đất qua điện trở lớn làm việc trực tiếp với thanh góp điện áp máy phát trình bày trên hình 1.17.

Trong phương án này người ta sử dụng thiết bị tạo thêm tải thứ tự không. Tải này được đưa vào làm việc khi phát hiện có chạm đất và làm tăng thành phần tác dụng của dòng điện sự cố lên khoảng 10A, tạo điều kiện thuận lợi cho việc xác định hướng dòng điện. Thiết bị tạo thêm tải bao gồm BI_{0N} đầu vào trung tính của máy phát, tải R của BI này được đóng mở bằng tiếp điểm của role điện áp RU_0 . Khi có chạm đất, điện áp U_0 xuất hiện, RU_0 đóng tức thời tiếp điểm của mình và duy trì một khoảng thời gian t_2 đủ cho sơ đồ làm việc chắc chắn.

Tỉ số biến đổi của BIG trong mạch thiết bị tạo thêm tải được chọn sao cho thành phần tác dụng của dòng điện đưa vào bộ so sánh pha α đủ để xác định đúng hướng sự cố. Hình 1.17b,c trình bày sơ đồ nguyên lý và đồ thị véctơ để xác định hướng sự cố khi chạm đất xảy ra bên trong (hình 1.17b) và bên ngoài (hình 1.17c) cuộn dây stator máy phát.

Khi chạm đất ngoài vùng bảo vệ, dòng điện tổng I_Σ đưa vào bộ so sánh pha:

$$I_\Sigma = I_A - I_D^{(1)} \quad (1-50)$$

Trong đó:

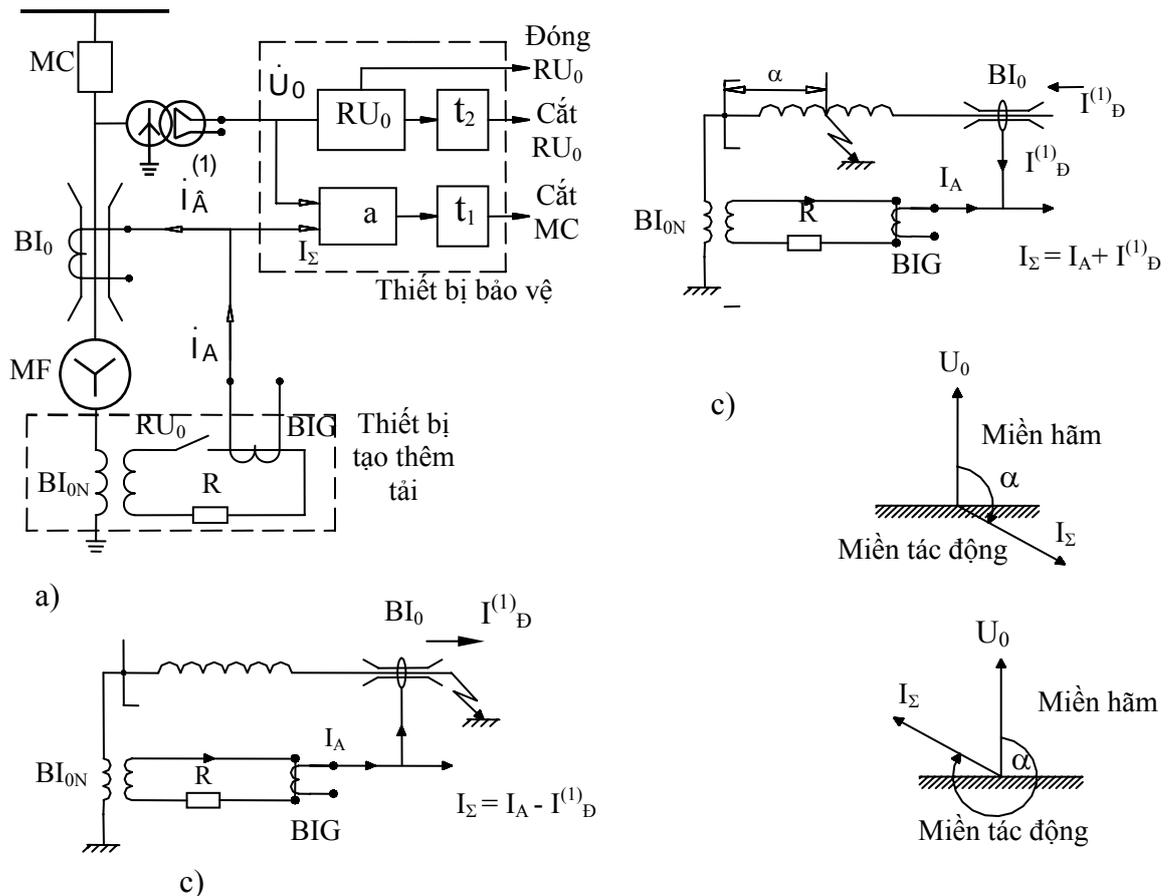
- I_A dòng điện được tạo nên bởi thiết bị tạo thêm tải.
- $I_D^{(1)}$ dòng điện chạm đất chạy qua bảo vệ.

Trong trường hợp này góc pha α giữa điện áp thứ tự không U_0 và dòng điện tổng I_Σ vượt qua trị số góc làm việc giới hạn nên sẽ không có tín hiệu cắt.

Khi chạm đất trong cuộn dây stator MFD ta có:

$$I_\Sigma = I_A + I_D^{(1)}$$

và góc pha α giữa điện áp thứ tự không U_0 và dòng điện tổng I_Σ nằm trong miền tác động của bảo vệ. Role tác động cắt với thời gian t_1 .



Hình 1.17 : Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stator MFĐ có thiết bị tạo thêm tải (a) đồ thị vectơ khi có chạm đất ngoài (b) và trong (c) vùng bảo vệ.

Sơ đồ ở hình 1.17 có thể bảo vệ được 90% cuộn dây. Khi chạm đất trong vùng 10% còn lại (gần trung điểm) bảo vệ không đủ độ nhạy. Tuy nhiên, do điện áp ở phần này của cuộn dây không lớn (không vượt quá 10% U_p) nên xác suất xảy ra hỏng hóc về điện (chẳng hạn do cách điện bị đánh thủng) rất thấp nên ở các máy phát công suất bé người ta thường không đòi hỏi bảo vệ toàn bộ cuộn dây.

Đối với các MFĐ nối bộ với MBA, thông thường cuộn dây MBA phía máy phát đấu tam giác nên chạm đất ở phía cáo áp dòng thứ tự không không ảnh hưởng đến MFĐ.

Với các điểm chạm đất xảy ra trong mạng cấp điện áp máy phát có thể phát hiện bằng sự xuất hiện U_0 ở đầu cực tam giác hồ của BU đặt ở đầu cực MFĐ, hoặc đầu ra của MBA đấu với trung điểm của MFĐ.

Với các MFĐ công suất lớn, người ta yêu cầu phải bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất để ngăn ngừa khả năng chạm đất ở vùng gần trung điểm của cuộn dây do các nguyên nhân cơ học.

Ngày nay để bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất, người ta thường dùng hai phương pháp sau đây:

- Theo dõi sự biến thiên của hài bậc ba của sóng điện áp ở trung điểm và đầu cực MFĐ.
- Đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào trung điểm của cuộn dây MFĐ.

* Phương theo dõi sự biến thiên của sóng hài bậc ba (xem mục III.3.1) có một số nhược điểm:

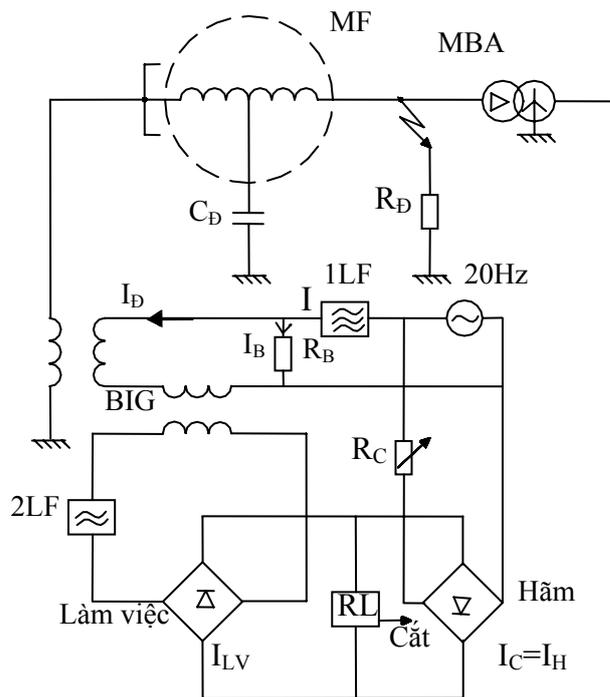
- Khi chạm đất ở vùng gần giữa cuộn dây, bảo vệ có thể không làm việc vì thành phần sóng hài bậc ba trong điện áp quá bé.
- Điện áp U_{ab} đặt vào rơle sẽ suy giảm khi điện trở chổi sự cố lớn.
- Sơ đồ không phát hiện được chạm đất khi MFĐ không làm việc. Trong một số MFĐ, thành phần hài bậc ba không đủ lớn để bảo vệ có thể phát hiện được.

Để khắc phục những nhược điểm này người ta dùng phương pháp đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào mạch trung tính của MFĐ.

* Phương pháp đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào trung điểm của cuộn dây MFĐ (hình 1.18):

- Dòng điện I từ nguồn 20Hz sau khi qua bộ lọc 1LF được phân thành hai thành phần I_D chạy qua BU_0 nối với trung tính MFĐ và I_B chạy qua điện trở đặt R_B . Thành phần I_D thông qua biến dòng trung gian BIG và bộ lọc tần số 2LF được nắn thành dòng điện làm việc.

- I_{LV} đưa vào role để so sánh với dòng điện hãm I_H cũng do nguồn 20Hz tạo nên thông qua điện trở đặt R_C , dòng điện hãm có trị số không đổi. Ở chế độ làm việc bình thường ($R_D = \infty$) dòng điện I_D được xác định theo điện dung của cuộn dây đối với đất C_D nên có trị số bé do đó $I_{LV} < I_H$ và role sẽ không tác động.



Hình 1.18: Sơ đồ bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất có đưa thêm điện áp hãm 20Hz vào trung điểm MFĐ

- Khi có chạm đất, dòng I_D được xác định chủ yếu theo điện trở chạm đất R_D , $I_{LV} > I_H$ role sẽ tác động cắt máy phát.

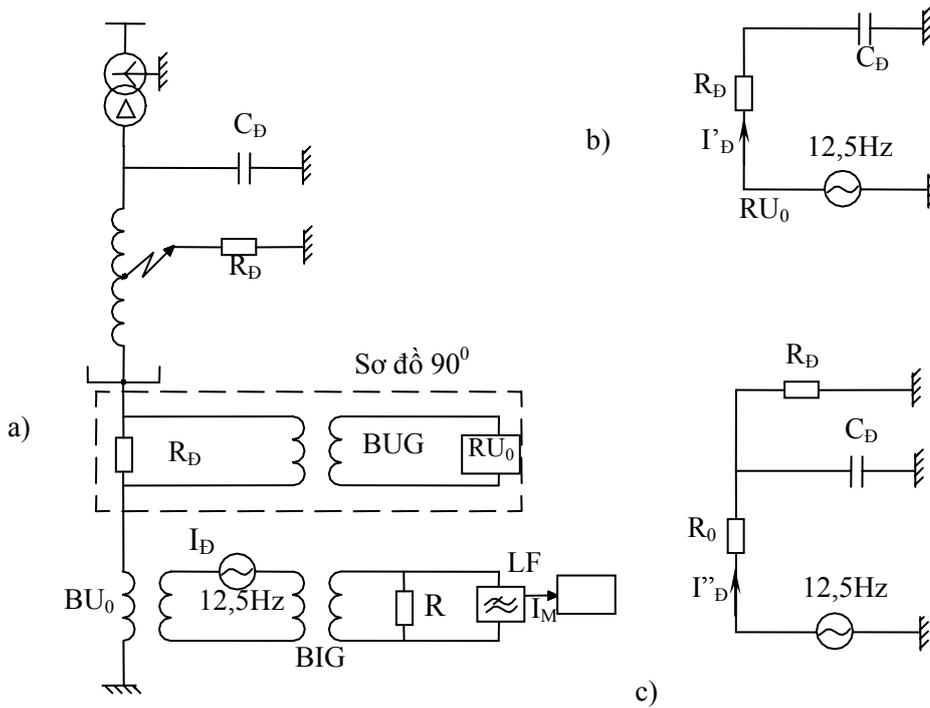
- Các bộ lọc tần số 1LF, 2LF đảm bảo cho sơ đồ chỉ làm việc với thành phần 20Hz, ngoài ra bộ lọc 1LF bảo vệ cho máy phát 20Hz khỏi bị quá tải bởi dòng điện công nghiệp khi có chạm đất xảy ra ở đầu cực MFĐ.

Một phương án khác để thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất là dùng nguồn phụ 12,5Hz (với tần số công nghiệp là 60Hz người ta dùng 15Hz) có tín hiệu được mã hóa để đưa vào mạch sơ cấp thông qua BU_0 đầu vào mạch trung tính của MFĐ (hình 1.19a).

Trong chế độ làm việc bình thường, dòng điện I_D' chạy qua điểm trung tính MFĐ được xác định theo trị số điện dung đẳng trị của MFĐ là C_D (hình 1.19b).

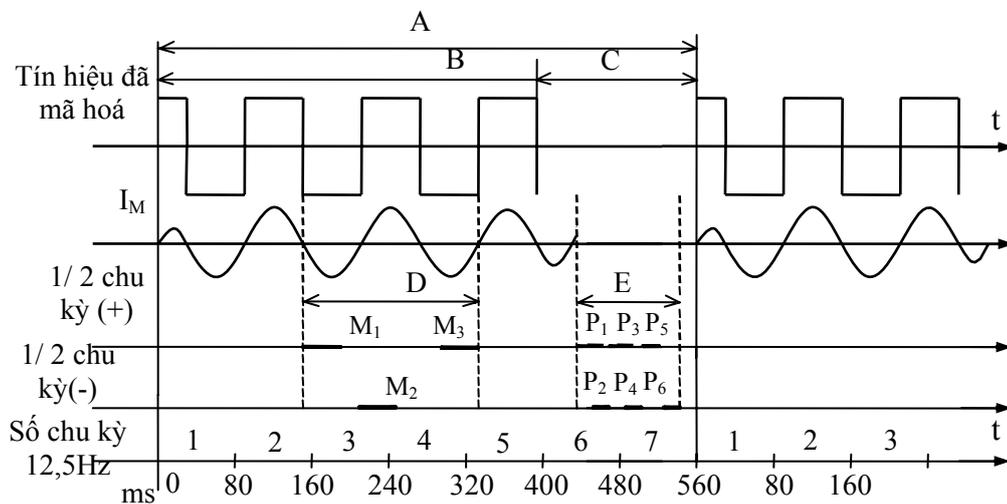
Khi xảy ra chạm đất, điện trở chạm đất R_D được ghép song song với C_D làm tăng dòng điện đến trị số $I_D'' > I_D'$ (hình 1.19c). Role đầu ra sẽ phản ứng theo sự tăng dòng điện và theo tín hiệu phản hồi đã được mã hóa.

Trên hình 1.20 trình bày việc mã hóa tín hiệu bằng cách thay đổi thời gian phát tín hiệu và thời gian dừng. Trong các khoảng thời gian này nhiều phép đo được tiến hành: M_1, M_2 và M_3 cho khoảng thời gian truyền tín hiệu và P_1, P_2, P_6 cho khoảng thời gian dừng. Phương pháp này cho phép loại trừ được ảnh hưởng của nhiễu do dòng điện phía sơ cấp và phép đo được tiến hành riêng cho từng nửa chu kỳ dương và âm sẽ tránh được ảnh hưởng của nhiễu có tần số bội của 12,5Hz.



Hình 1.19 : Sơ đồ nguyên lý (a) của bảo vệ 100% cuộn dây stator MFD chống chạm đất dùng biện pháp bơm tín hiệu 12,5Hz được mã hoá và sơ đồ xác định dòng điện chạm đất I_a khi làm việc bình thường (b) và khi chạm đất (c).

Các sơ đồ bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất thường được sử dụng kết hợp với sơ đồ bảo vệ 90% để tăng độ tin cậy cho hệ thống chạm đất.



Hình 1.20: Biểu đồ bơm tín hiệu 12,5Hz được mã hoá để thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất. A- chu kỳ hoạt động; B- thời gian phát tín hiệu; C- thời gian dừng; D- thời gian đo; E- thời gian kiểm tra tín hiệu phản hồi

IV. Bảo vệ chống chạm đất mạch kích từ của MFĐ (64)

Đối với MFĐ, do nguồn kích từ là nguồn một chiều nên khi chạm đất một điểm mạch kích từ các thông số làm việc của máy phát hầu như thay đổi không đáng kể. Khi chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ, một phần cuộn dây kích từ sẽ bị nối tắt, dòng điện qua chỗ cách điện bị đánh thủng có thể rất lớn sẽ làm hỏng cuộn dây và phần thân rotor. Ngoài ra dòng điện trong cuộn rotor tăng cao có thể làm mạch từ bị bão hòa, từ trường trong máy phát bị méo làm cho máy phát bị rung, ... gây hư hỏng nghiêm trọng máy phát.

Đối với MFĐ công suất bé và trung bình (máy phát nhiệt điện), thường người ta đặt bảo vệ báo tín hiệu khi có một điểm chạm đất trong mạch kích từ và tác động cắt máy phát khi xảy ra chạm đất điểm thứ hai.

Đối với MFĐ công suất lớn (máy phát thủy điện), hậu quả của việc chạm đất điểm thứ hai trong mạch kích từ có thể rất nghiêm trọng, vì vậy khi chạm đất một điểm trong cuộn dây rotor bảo vệ phải tác động cắt máy phát ra khỏi hệ thống.

IV.1 Bảo vệ chống chạm đất một điểm mạch kích từ:

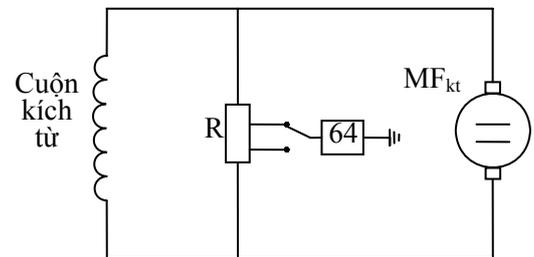
Có ba phương pháp được sử dụng để phát hiện chống chạm đất một điểm mạch kích từ :

- * Phương pháp phân thế.
- * Phương pháp dùng nguồn phụ AC.
- * Phương pháp dùng nguồn phụ DC.

IV.1.1 Phương pháp phân thế:

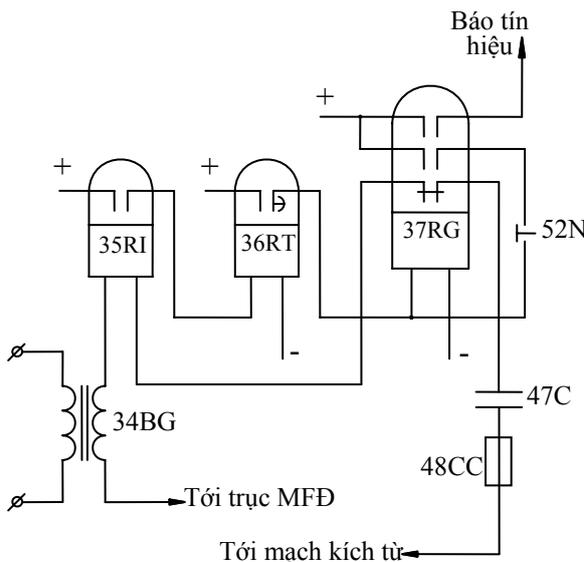
(hình 1.21)

Trong sơ đồ bảo vệ chống chạm đất cuộn dây rotor, người ta dùng điện trở mắc song song với cuộn dây kích từ, điểm giữa của điện trở nối qua rơle điện áp, khi có một điểm chạm đất sẽ xuất hiện một điện thế ở rơle điện áp, điện thế này lớn nhất khi điểm chạm đất ở đầu cuộn dây. Để tránh vùng chết khi điểm chạm đất ở gần trung tính cuộn dây kích từ, người ta chuyển nấc thay đổi điện đầu vào rơle tác động.

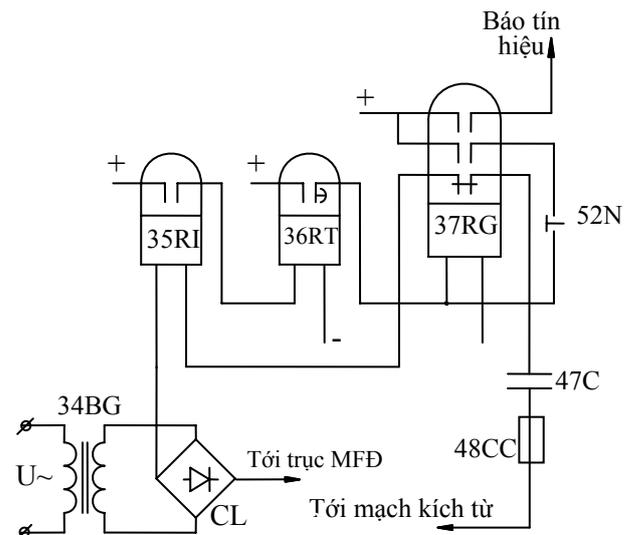


HÌNH 1.21 : Bảo vệ chạm đất rotor bằng phương pháp phân thế

IV.1.2. Phương pháp dùng nguồn điện áp phụ AC:



HÌNH 1.22: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất 1 điểm cuộn rotor dùng nguồn điện phụ AC



HÌNH 1.23: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất 1 điểm cuộn rotor dùng nguồn điện phụ DC

Sơ đồ bảo vệ được trình bày ở hình 1.22. Điện áp nguồn phụ xoay chiều thường bằng điện áp cuộn kích từ,

- 34BG: biến áp trung gian, lấy điện từ thanh góp tự dùng.
- 35 RI: role dòng điện, để phát hiện sự cố.
- 36RT: role thời gian, tạo thời gian trễ tránh trường hợp bảo vệ tác động nhầm khi ngắn mạch thoáng qua.

- 37RG: rơle trung gian.
- 52N: nút ấn giải trừ tự giữ.
- 47CC: cầu chì bảo vệ.
- 48C: tụ điện dùng để cách ly mạch kích từ một chiều với mạch xoay chiều.

Nguyên lý làm việc của sơ đồ như sau:

- Bình thường, phía thứ cấp của biến áp trung gian 34RG hở mạch do đó không có dòng qua role 35RI, bảo vệ không tác động.

- Khi xảy ra chạm đất một điểm mạch kích từ, thứ cấp của biến áp trung gian khép mạch, có dòng chạy qua role 35RI làm cho bảo vệ tác động đi báo tín hiệu.

Sơ đồ có ưu điểm là không có vùng chết nghĩa là chạm đất bất kỳ điểm nào trong mạch kích từ bảo vệ đều có thể tác động. Tuy nhiên do dùng nguồn xoay chiều nên phải chống sự xâm nhập điện áp xoay chiều vào nguồn kích từ một chiều.

IV.1.3 . Phương pháp dùng nguồn điện áp phụ DC:

Phương pháp này khắc phục được nhược điểm của phương pháp trên bằng sơ đồ hình 1.23, nhờ bộ chỉnh lưu điốt mà ta có thể cách li nguồn một chiều và nguồn xoay chiều.

Nguồn điện phụ một chiều cho phép loại trừ vùng chết và thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây rotor chống chạm đất. Sơ đồ có nhược điểm là sự liên hệ trực tiếp về điện giữa thiết bị bảo vệ và điện áp kích từ U_{KT} có trị số khá lớn đối với các MFD có công suất lớn.

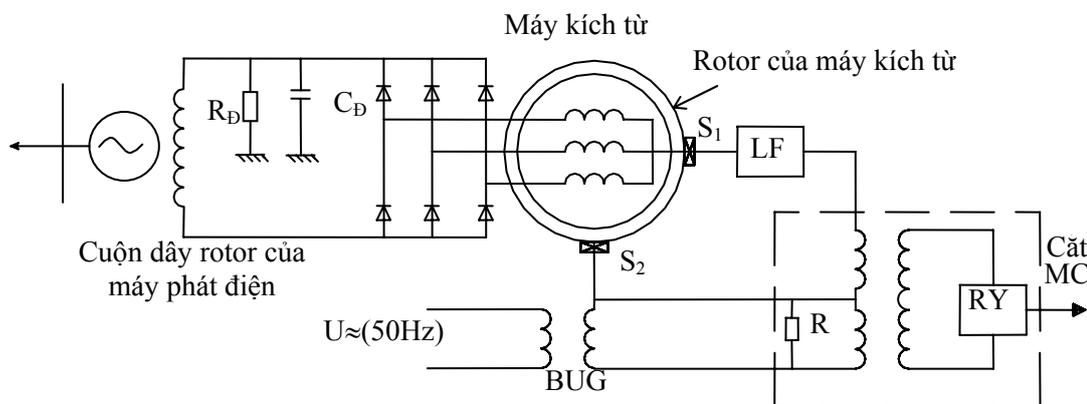
IV.2. Một số sơ đồ bảo vệ chống chạm đất một điểm trong các MFD hiện đại:

Đối với các MFD có hệ thống kích từ không chổi than với các điốt chỉnh lưu lắp trực tiếp trên thân rotor của máy phát, điện dung của hệ thống kích từ đối với đất sẽ tăng lên đáng kể và hệ thống bảo vệ chống chạm đất của cuộn dây rotor cũng trở nên phức tạp .

Các sơ đồ bảo vệ chống chạm đất một điểm trong cuộn dây rotor của các MFD hiện đại thường tác động cắt máy phát (để loại trừ xảy ra chạm đất điểm thứ hai) và dựa trên một trong những nguyên lý sau:

- Đo điện dẫn trong mạch kích từ (đối với đất) bằng tín hiệu điện áp xoay chiều tần số 50Hz.

- Đo điện trở của mạch kích từ (đối với đất) bằng tín hiệu điện áp một chiều hoặc tín hiệu sóng chữ nhật tần số thấp. Nguyên lý đo điện dẫn của mạch kích từ đối với đất của MFD có hệ thống kích từ không chổi than trình bày trên hình 1.24.



HÌNH 1.24: bảo vệ chống chạm đất cuộn rotor MFD có hệ thống kích từ không chổi than với điốt chỉnh lưu lắp trực tiếp trên thân rotor theo nguyên lý đo điện dẫn.

Nguồn điện áp phụ xoay chiều tần số 50Hz được đặt vào mạch trung tính của cuộn dây máy kích thích xoay chiều ba pha và thân rotor của MFD thông qua các vành góp và chổi than S_1, S_2 . Bộ lọc tần số LF chỉ cho tần số công nghiệp chạy qua role đo điện dẫn RY để loại trừ ảnh hưởng của hài bậc cao trong phép đo.

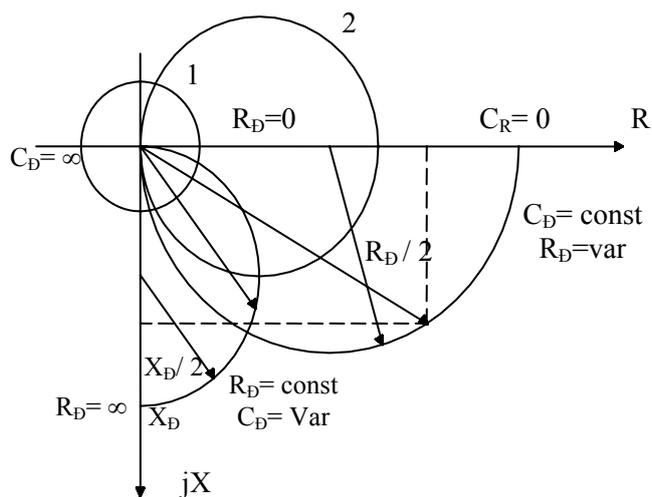
Điện dẫn mà role RY đo được chủ yếu xác định theo điện trở R_D và điện dung C_D đối với đất của mạch kích từ.

Trên hình 1.25 trình bày quỹ đạo của nút véctor tổng trở Z mà role đo được cho hai trường hợp: Khi $R_D = \text{const}, C_D = \text{var}$ và khi $C_D = \text{const}, R_D = \text{var}$.

Role RY được chỉnh định với hai mức tác động: mức cảnh báo với đặc tính khởi động 2 và mức tác động cắt máy phát với đặc tính khởi động 1. Đặc tính 1 bọc lấy một phần của góc phân tư thứ hai và thứ ba trên mặt phẳng tọa độ để đảm bảo cho bảo vệ tác động một cách chắc chắn khi có chạm đất trực tiếp ($R_D \approx 0$).

Sơ đồ bảo vệ hình 1.24 có một số nhược điểm là: sự có mặt của chổi than S_1, S_2 làm cho độ tin cậy của sơ đồ không cao và trị số của điện trở tiếp xúc có thể ảnh hưởng đến trị số đo của role. Ngoài ra bản thân hệ thống kích thích một chiều cũng có thể ảnh hưởng đến sự làm việc của bảo vệ khi điện dung của mạch kích thích đối với đất C_D lớn, điện trở rò R_D lớn nhất có thể đo được 10 kΩ.

Để khắc phục nhược điểm này, người ta dùng sơ đồ với nguồn điện phụ một chiều hoặc xoay chiều với tần số thấp có dạng sóng hình chữ nhật.



Hình 1.25: Đặc tính biên thiên của tổng trở đối với đất của mạch kích từ và đặc tính tác động của Role đo điện dẫn để chống chạm đất mạch roto MFD đồng bộ. 1- đặc tính cắt; 2- đặc tính cảnh báo.

Trên hình 1.26 trình bày nguyên lý phát hiện chạm đất trong cuộn dây rotor của MFD được kích thích từ nguồn điện tự dùng qua bộ chỉnh lưu Thyristor dùng nguồn tín hiệu sóng chữ nhật có tần số 1Hz.

Các điện trở phụ R_1, R_2 được chọn có chỉ số khá lớn so với điện trở R_M để tạo điện áp U_M đặt vào bộ phận đo lường M.

Dòng điện do nguồn điện phụ U tạo ra bằng:

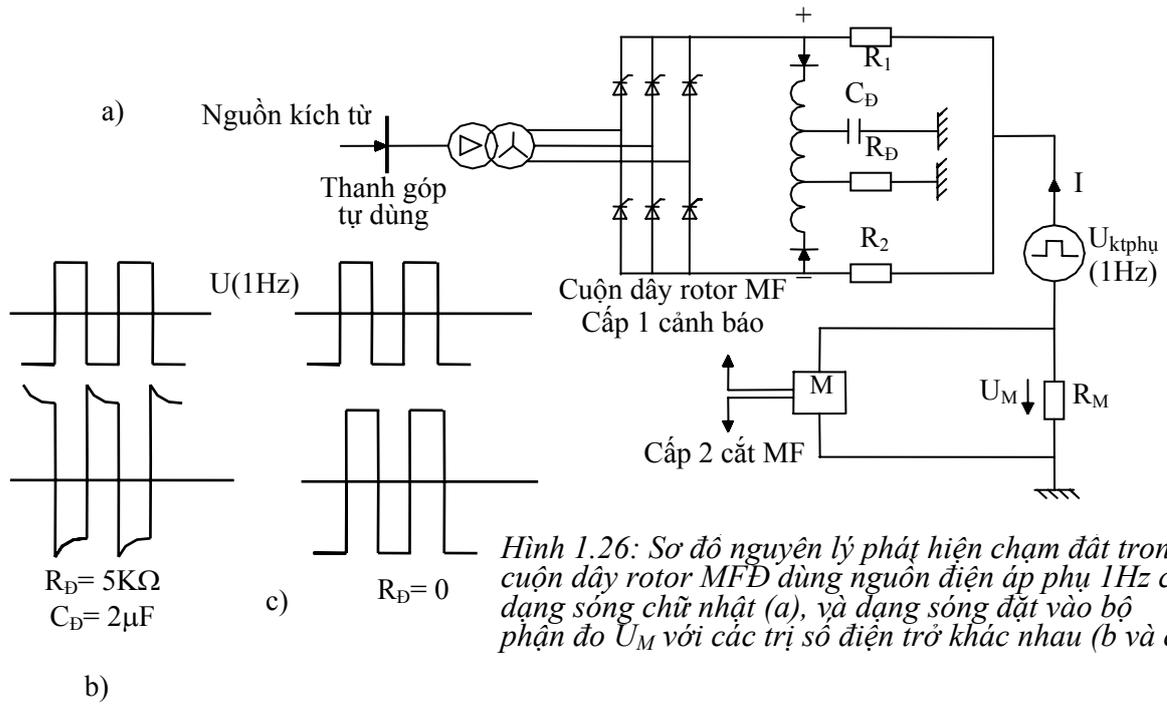
$$I = \frac{U}{R_A + R_M + R} \quad (1-51)$$

Trong đó:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Lưu ý rằng $R_M \ll R$ và bỏ qua điện trở của bản thân cuộn dây rotor, ta có:

$$U_M \approx \frac{U \cdot R_M}{R + R_A} \quad (1-52)$$



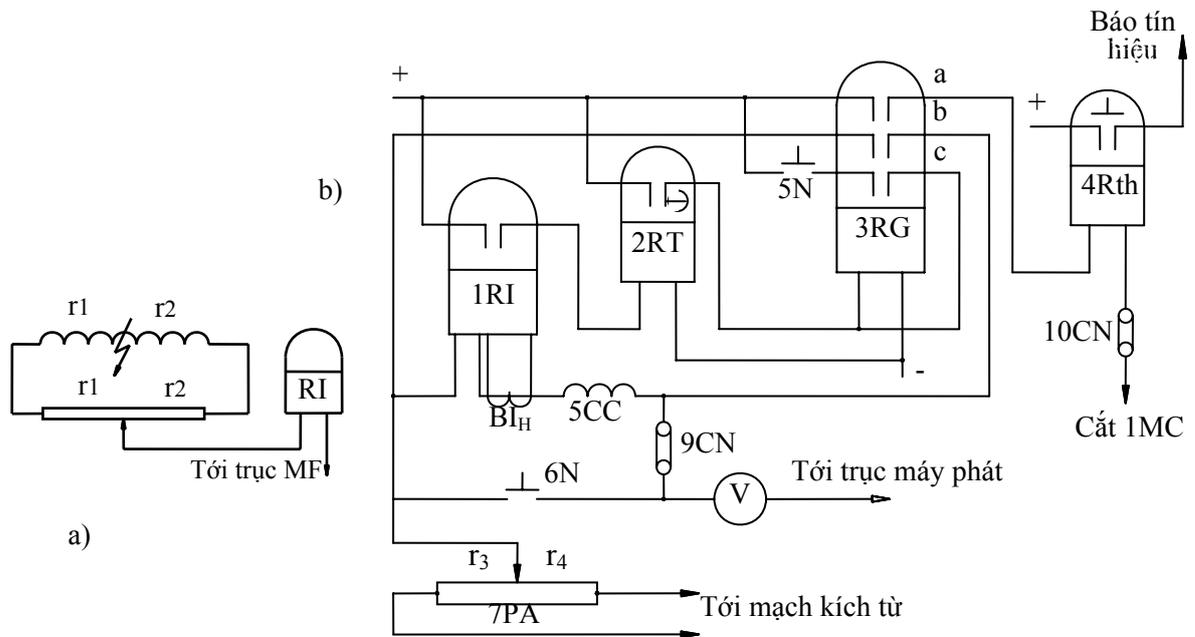
Hình 1.26: Sơ đồ nguyên lý phát hiện chạm đất trong cuộn dây rotor MF dùng nguồn điện áp phụ 1Hz có dạng sóng chữ nhật (a), và dạng sóng đặt vào bộ phận đo U_M với các trị số điện trở khác nhau (b và c)

Điện dung đối với đất của mạch kích từ C_D mắc song song với điện trở R_D sẽ làm tức thời tăng trị số dòng điện I và điện áp U_M ở thời điểm đầu của mỗi nửa chu kỳ của nguồn điện áp U .

Điện trở R_D có tác dụng làm suy giảm trị số của I và U_M . R_D càng bé độ suy giảm càng nhanh, trên hình 1.26b và 1.26c trình bày dạng sóng U_M đo được cho hai trị số của R_D khác nhau.

Bảo vệ được chỉnh định để tác động báo hiệu khi điện trở rò R_D tụt dưới 80kΩ (mức 1) và tác động cắt máy phát khi $R_D < 5kΩ$ (mức 2).

IV.3. Bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ:



Hình 1.27: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất thứ hai mạch kích từ
a) Sơ đồ nguyên lý b) Sơ đồ bảo vệ

Bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ (hình 1.27) được đưa vào làm việc sau khi có tín hiệu báo chạm đất một điểm mạch kích từ. Thường bảo vệ được đặt trên một bảng di động và được dùng chung cho nhiều tổ máy của nhà máy. Bảo vệ làm việc dựa trên nguyên tắc cầu bốn nhánh: Khi chạm đất một điểm mạch kích từ, người ta điều chỉnh cho cầu cân bằng nhờ đồng hồ V. Khi cầu cân bằng ta có: $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$, do đó không có dòng qua 1RI, bảo vệ không tác động.

Khi chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ sẽ làm cho cầu mất cân bằng, có dòng qua 1RI và 2RT có điện, sau một thời gian 3RG có điện đi báo tín hiệu thông qua 4Rth, cắt máy cắt đồng thời nối tắt cuộn dây của 1RI để tránh bị hư hỏng và tự giữ cho 3RG thông qua mạch tự giữ.

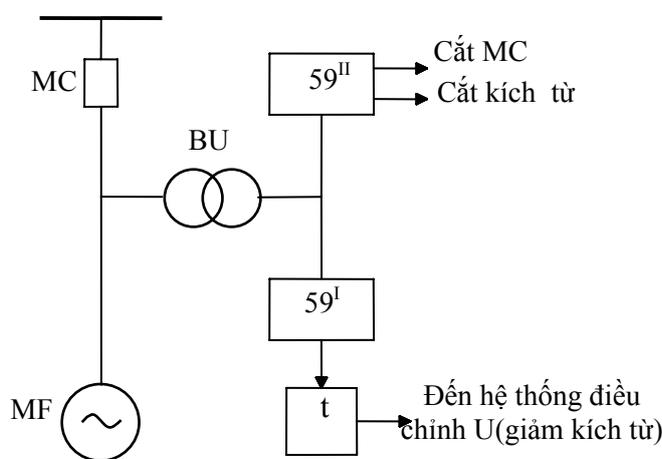
Các phần tử trong sơ đồ:

- 3RG: rơle trung gian, bao gồm các tiếp điểm:
 - Tiếp điểm a: đưa tín hiệu đi cắt máy phát.
 - Tiếp điểm b: để bảo vệ RI không bị cháy (nối tắt RI).
 - Tiếp điểm c: tiếp điểm tự giữ.
- BI_H: lẫy thành phần xoay chiều của nhiều để tăng cường tác động hãm cho RI.
- 9CN: cầu nối, dùng để khoá bảo vệ khi sửa chữa hoặc không muốn bảo vệ tác động.
- 6N: nút ấn, kết hợp với đồng hồ V để điều chỉnh cho cầu cân bằng khi xảy ra chạm đất điểm thứ nhất mạch kích từ.
- 5N: nút ấn, để giải tự giữ sau khi bảo vệ đã tác động đi cắt máy cắt.
- 5CC: cuộn cảm nhằm hạn chế thành phần nhiễu xoay chiều, tránh làm cho RI tác động nhầm.
- 10CN: khoá bảo vệ không cho cắt máy cắt.

V. Bảo vệ chống quá điện áp (59)

Điện áp ở đầu cực máy phát có thể tăng cao quá mức cho phép khi có trục trặc trong hệ thống tự động điều chỉnh kích từ hoặc khi máy phát bị mất tải đột ngột.

Khi mất tải đột ngột, điện áp ở đầu cực các máy phát thủy điện có thể đạt đến 200% trị số danh định là do hệ thống tự động điều chỉnh tốc độ quay của turbine nước có quán tính lớn và khả năng vượt tốc của rotor máy phát cao hơn nhiều so với máy phát turbine hơi.



Hình 1.28: Bảo vệ chống quá điện áp hai cấp đặt ở MFĐ

Ở các máy phát nhiệt điện (turbine hơi hoặc turbine khí) các bộ điều tốc làm việc với tốc độ cao, có quán tính bé hơn nên có thể khống chế mức vượt tốc thấp hơn, ngoài ra các turbine khí hoặc hơi còn được trang bị các van STOP đóng nguồn năng lượng đưa vào turbine trong vòng vài msec khi mức vượt tốc cao hơn mức chính định.

Mặt khác, các máy phát thủy điện nằm xa trung tâm phụ tải và bình thường phải làm việc với các mức điện áp đầu cực cao hơn điện áp danh định để bù lại điện áp giáng trên hệ thống truyền tải, khi mất tải đột ngột mức điện áp lại càng tăng cao.

Quá điện áp ở đầu cực máy phát có thể gây tác hại cho cách điện của cuộn dây, các thiết bị dầu nổi ở đầu cực máy phát, còn đối với các máy phát làm việc hợp bộ với MBA sẽ làm bão hoà mạch từ của MBA tăng áp, kéo theo nhiều tác dụng xấu.

Bảo vệ chống quá điện áp ở đầu cực máy phát thường gồm hai cấp hình 1.28.

* Cấp 1 (59^I) với điện áp khởi động: $U_{KD59}^I = 1,1U_{Fdm}$ (điện áp định mức MFĐ).
Cấp 1 làm việc có thời gian và tác động lên hệ thống tự động điều chỉnh kích từ để giảm kích từ của máy phát.

* Cấp 2 (59^{II}) với điện áp khởi động: $U_{KD59}^{II} = (1,3 \div 1,5)U_{Fdm}$. Cấp 2 làm việc tức thời, tác động cắt MC ở đầu cực máy phát và tự động diệt từ trường của máy phát.

VI. Bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải

Mục đích đặt bảo vệ:

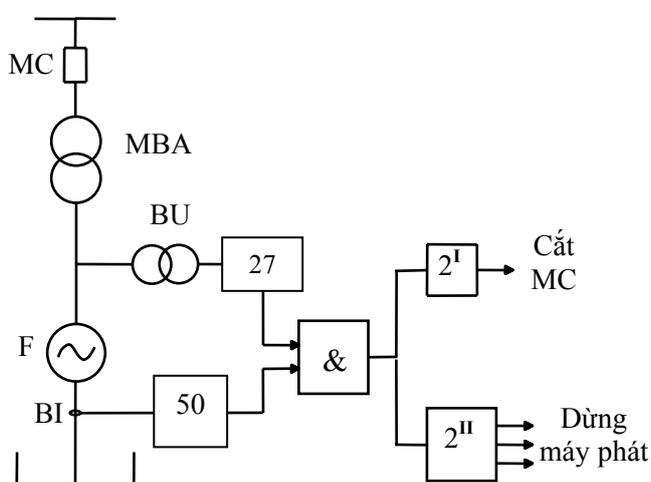
- Chống ngắn mạch trên các phần tử kề (thanh góp máy phát, máy biến áp,...) nếu bảo vệ của các phần tử này không làm việc.
- Chống quá tải do hệ thống cắt giảm một số nguồn cung cấp.
- Làm dự trữ cho BVSLD máy phát điện.

Để thực hiện bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải ta có thể sử dụng các phương thức bảo vệ sau:

VI.1. Bảo vệ quá dòng điện:

Với các máy phát bé và trung bình, người ta thường sử dụng bảo vệ quá dòng điện có khoá điện áp thấp (hình 1.29). Bảo vệ thường có 2 cấp thời gian:

Cấp 1 (2^I) tác động cắt MC ở đầu cực máy phát (nếu nối với thanh góp điện áp máy phát) hoặc MC của bộ MF-MBA. Cấp 1 được phối hợp với thời gian tác động của bảo vệ dự phòng của đường dây và MBA.



Hình 1.29: Bảo vệ quá dòng điện có khoá điện áp thấp

Cấp 2 (2^{II}) tác động dừng máy phát nếu sau khi cắt MC đầu cực máy phát (có thanh góp điện áp máy phát) hoặc đầu hợp bộ (MF-MBA) mà dòng sự cố vẫn tồn tại (tức là sự cố xảy ra bên trong hợp bộ hoặc máy phát).

Khóa điện áp thấp cho phép phân biệt ngắn mạch với quá tải và cho phép bảo vệ làm việc chắc chắn khi máy phát được kích từ bằng chính lưu lấy điện từ đầu cực máy phát. Trong trường hợp này dòng ngắn mạch sẽ suy giảm nhanh chóng khi xảy ra ngắn mạch tại đầu cực máy phát. Trong một số sơ đồ người ta còn dùng biện pháp đảm bảo cho bảo vệ tác động chắc chắn là chỉ lấy tín hiệu điện áp thấp sau khi role dòng điện đã trở về do sự suy giảm dòng ngắn mạch.

Dòng điện khởi động của role quá dòng 50 (khi bảo vệ quá dòng có khoá điện áp thấp 27):

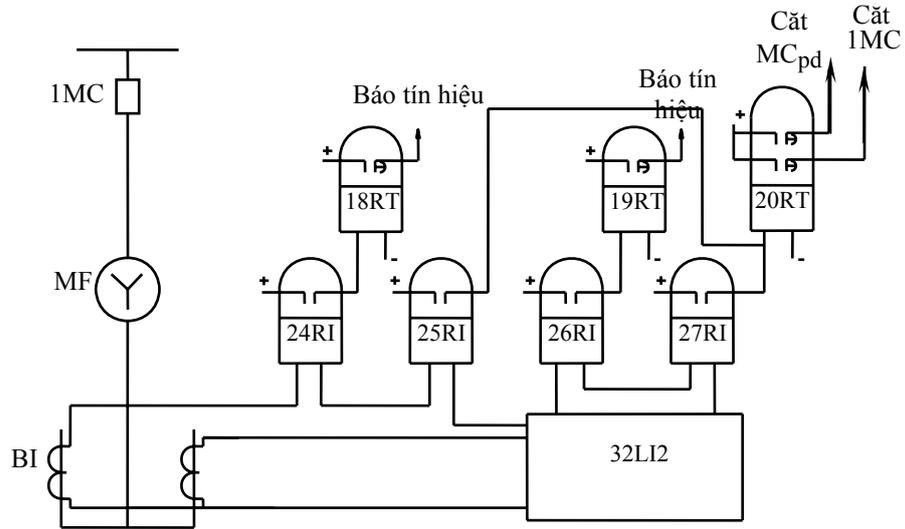
$$I_{K\dot{A}50} = \frac{K_{at}}{K_{tv} n_I} I_{lvmax} \quad (1-53)$$

với I_{lvmax} là dòng điện làm việc lớn nhất qua cuộn thứ cấp của BI.

VI.2. Bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải MFD:

Quá tải gây phát nóng cuộn dây stator có thể do nhiều nguyên nhân như máy phát điện vận hành với hệ số công suất thấp, thành phần công suất phản kháng vượt quá mức cho phép, có hư hỏng trong hệ thống làm mát hoặc hệ thống điều chỉnh điện áp làm cho máy phát bị quá kích thích. Cuộn dây rotor cũng có thể bị quá tải ngắn hạn trong quá trình điều chỉnh điện áp khi máy phát đầy tải công suất tác dụng.

Thời gian chịu đựng quá tải của các cuộn dây máy phát có giới hạn và phụ thuộc vào mức độ quá tải, kết cấu của máy phát, hệ thống làm mát và công suất của máy phát. Thường các nhà chế tạo cho sẵn quan hệ giữa mức quá tải ($I^* = I/I_{dm}$) với thời gian quá tải cho phép của từng loại máy phát điện.



Hình 1.30: Sơ đồ bảo vệ chống quá tải và ngắn mạch ngoài

Có nhiều nguyên lý khác nhau có thể được áp dụng để thực hiện bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây của máy phát điện: theo số đo trực tiếp của nhiệt độ cuộn dây, nhiệt độ của chất làm mát hoặc gián tiếp qua trị số dòng điện chạy qua cuộn dây.

Để bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải cho máy phát người ta có thể sử dụng sơ đồ hình 1.30, thực chất đây cũng là một bảo vệ quá dòng.

Trong đó:

- 24RI, 18RT; 25RI, 20RT: để chống quá tải và ngắn mạch đối xứng.
- 26RI, 19RT; 27RI, 20RT: chống quá tải và ngắn mạch không đối xứng.
- 32LI₂: bộ lọc dòng thứ tự nghịch (để nâng cao độ nhạy cho bảo vệ, thường dùng cho các máy phát có công suất lớn).

VI.3. Tính chọn các thông số của role:

VI.3.1. Bảo vệ chống quá tải đối xứng 24RI, 18RT:

Dòng điện khởi động của 24RI:

$$I_{K\hat{A}24RI} = \frac{K_{at} \cdot I_{âmF}}{K_{tv} \cdot n_I} \quad (1-54)$$

Thời gian tác động của 18RT:

$$t_{18RT} = (7 \div 9) \text{ sec} \quad (1-55)$$

VI.3.2. Bảo vệ chống ngắn mạch đối xứng 25RI, 20RT:

$$I_{K\hat{A}4RI} = \frac{K_{at} \cdot K_{mm} \cdot I_{âmF}}{K_{tv} \cdot n_I} \quad (1-56)$$

$$t_{20RT} = t_{\max \text{ các phần tử lân cận}} + \Delta t \quad (1-57)$$

VI.3.3. Bảo vệ chống quá tải không đối xứng 26RI, 19RT:

Dòng điện khởi động cho role 26RI được chọn theo hai điều kiện:

- Điều kiện 1: I_{KD26RI} phải lớn hơn dòng thứ tự nghịch lâu dài cho phép I_{2cp} :

$$I_{K\hat{A}26RI} = K_{at} \cdot I_{2cp} \quad (1-58)$$

- Đối với máy phát điện turbine nước: $I_{2cp} = 5\% \cdot I_{dmF}$
 - Đối với máy phát điện turbine hơi: $I_{2cp} = 10\% \cdot I_{dmF}$
- Điều kiện 2: Role phải trở về sau khi đã cắt ngắn mạch ngoài.

Từ hai điều kiện trên và theo kinh nghiệm người ta chọn:

$$I_{K\hat{A}26RI} = 0,1 \cdot \frac{I_{âmF}}{n_1} \quad (1-59)$$

Thời gian tác động của 19RT thường được chọn:

$$t_{19RT} = (7 \div 9) \text{ sec} \quad (1-60)$$

VI.3.4. Bảo vệ chống ngắn mạch không đối xứng 27RI, 20RT:

Dòng khởi động của 27RI chọn theo các điều kiện sau:

- Điều kiện 1: Bảo vệ không được tác động khi đứt một pha trong hệ thống nối với nhà máy.

- Điều kiện 2: Bảo vệ phải phối hợp độ nhạy với các bảo vệ lân cận.

Trên thực tế tính toán dòng thứ tự nghịch khá phức tạp, theo kinh nghiệm người ta chọn:

$$I_{K\hat{A}26RI} = (0,5 \div 0,6) \frac{I_{âmF}}{n_1} \quad (1-61)$$

từ giá trị dòng khởi động tính được ta có thể chọn được role thích hợp.

Thời gian tác động của role 20RT phải phối hợp với các bảo vệ lân cận:

$$t_{20RT} = t_{\max \text{ các phần tử lân cận}} + \Delta t \quad (1-62)$$

VI.3.5. Kiểm tra độ nhạy của bảo vệ:

Độ nhạy K_n của bảo vệ được tính theo công thức sau:

$$K_n = \frac{I_{N\min}}{I_{K\hat{A}B}} \quad (1-63)$$

Tùy vào nhiệm vụ của bảo vệ mà giá trị độ nhạy của bảo vệ phải đạt yêu cầu. Khi làm bảo vệ chính $K_n \geq 1,5$ và khi đóng vai trò làm bảo vệ dự trữ $K_n \geq 1,2$.

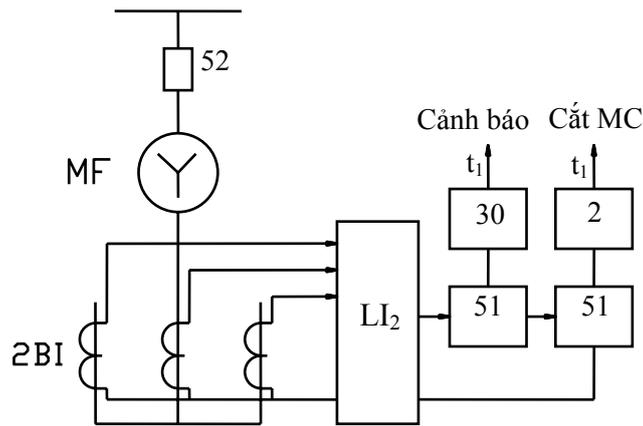
VI.4. Bảo vệ dòng thứ tự nghịch: (hình 1.31)

Dòng điện thứ tự nghịch có thể xuất hiện trong cuộn dây stator máy phát khi xảy ra đứt dây (hoặc hở mạch một pha), khi phụ tải không đối xứng hoặc ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống.

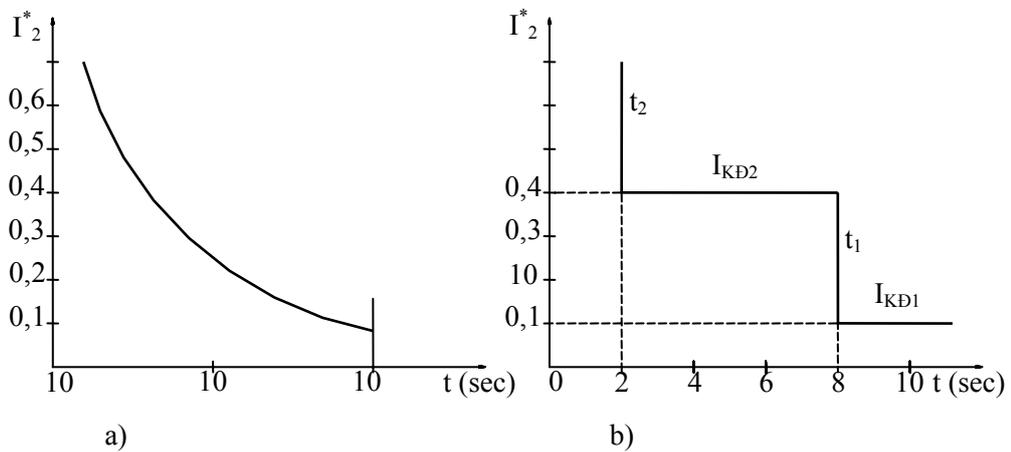
Quá tải không đối xứng nguy hiểm hơn quá tải đối xứng rất nhiều vì nó tạo nên từ thông thứ tự nghịch ϕ_2 biến thiên với vận tốc 2ω gấp hai lần tốc độ của rotor, làm cảm ứng trên thân rotor dòng điện lớn đốt nóng rotor và máy phát.

Dòng thứ tự nghịch I_2 càng lớn thì thời gian cho phép tồn tại càng bé, vì vậy bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch có thời gian tác động t phụ thuộc tỉ lệ nghịch với dòng I_2 :

$$t = \frac{K_1}{\left(\frac{I_2}{I_{âmF}}\right)^2 - K_2^2} \quad (1-64)$$



HÌNH 1.31: Bảo vệ dòng điện TTN cho máy phát



HÌNH 1.32: ĐẶC TÍNH THỜI GIAN PHỤ THUỘC (A) VÀ ĐỘC LẬP CÓ HAI

Trong đó:

$$-K_1, K_2 \text{ là hệ số tỉ lệ, } K_2 = \alpha \frac{I_{2cp}}{I_{âmF}}$$

với:

- α là hằng số đối với từng loại role cụ thể.
- I_{2cp} : dòng thứ tự nghịch cho phép vận hành lâu dài, nó phụ thuộc vào chủng loại máy phát, công suất và hệ thống làm mát của cuộn dây rotor.
- $I_{âmF}$: dòng điện định mức của máy phát.

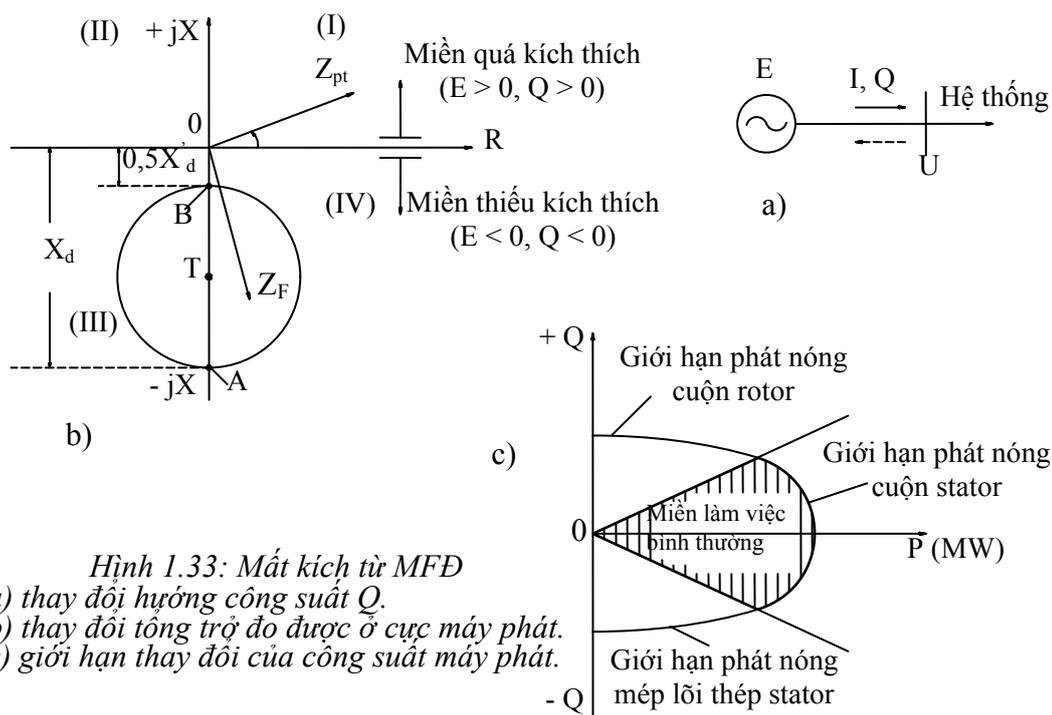
$$- I_2^*: \text{ dòng thứ tự nghịch tương đối, } I_2^* = \frac{I_2}{I_{âmF}}$$

Bảo vệ có thể có đặc tính thời gian phụ thuộc tỉ lệ nghịch theo quan hệ $t = f(I_2)$ (hình 1.32a) hoặc đặc tính thời gian độc lập 2 cấp (hình 1.32b): cấp 1 cảnh báo và cấp 2 đi cắt máy cắt.

VII. BẢO VỆ CHỐNG MẮT KÍCH TỪ

Trong quá trình vận hành máy phát điện có thể xảy ra mất kích từ do hư hỏng trong mạch kích thích (do ngắn mạch hoặc hở mạch), hư hỏng trong hệ thống tự động điều chỉnh điện áp, thao tác sai của nhân viên vận hành... Khi máy phát bị mất kích từ thường dẫn đến mất đồng bộ ở stator và rotor. Nếu hở mạch kích thích có thể gây quá điện áp trên cuộn rotor nguy hiểm cho cách điện cuộn dây.

Ở chế độ vận hành bình thường, máy phát điện đồng bộ làm việc với sức điện động E cao hơn điện áp đầu cực máy phát U_F (chế độ quá kích thích, đưa công suất phản kháng Q vào hệ thống, $Q > 0$). Khi máy phát làm việc ở chế độ thiếu kích thích hoặc mất kích thích, sức điện động E thấp hơn điện áp U_F , máy phát nhận công suất phản kháng từ hệ thống ($Q < 0$) (hình 1.33a,c). Như vậy khi mất kích từ, tổng trở đo được đầu cực máy phát sẽ thay đổi từ Z_{pt} (tổng trở phụ tải nhìn từ phía máy phát) nằm ở góc phân tư thứ nhất trên mặt phẳng tổng trở phức sang Z_F (tổng trở của máy phát nhìn từ đầu cực của nó trong chế độ $Q < 0$) nằm ở góc phân tư thứ tư trên mặt phẳng tổng trở phức (hình 1.33b).



Hình 1.33: Mất kích từ MFĐ

- a) thay đổi hướng công suất Q .
 b) thay đổi tổng trở đo được ở cực máy phát.
 c) giới hạn thay đổi của công suất máy phát.

Khi xảy ra mất kích từ, điện kháng của máy phát sẽ thay đổi từ trị số X_d (điện kháng đồng bộ) đến trị số X_d (điện kháng quá độ) và có tính chất dung kháng. Vì vậy để phát hiện mất kích từ ở máy phát điện, chúng ta có thể sử dụng một rơle điện kháng cực tiêu có $X_d < X_{kd} < X_d$ với đặc tính vòng tròn có tâm nằm trên trục $-jX$ của mặt phẳng tổng trở phức. Đặc tính khởi động của rơle điện kháng cực tiêu hình 1.33b có thể nhận được từ sơ đồ nguyên lý hình 1.34a. Tín hiệu đầu vào của rơle là điện áp dây U_{bc} lấy ở đầu cực máy phát và dòng điện pha I_b, I_c lấy ở các pha tương ứng. Điện áp sơ cấp U_{BC} được đưa qua biến áp trung gian BÙG sao cho điện thứ cấp có thể lấy ra các đại lượng $a.U_{BC}$ và $b.U_{BC}$ (với $b > a$) tương ứng với các điểm A và B trên đặc tính điện kháng khởi động ở hình 1.33b.

Khi mất kích từ, dòng điện chạy vào máy phát mang tính chất dung và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 90° . Hiệu dòng điện các pha B và C thông qua biến dòng cảm kháng BIG tạo nên điện áp phía thứ cấp U_D vượt trước dòng điện I_{BC} một góc 90° . Như vậy góc lệch pha giữa hai vectơ điện áp U_D và U_{BC} là 180° (hình 1.34).

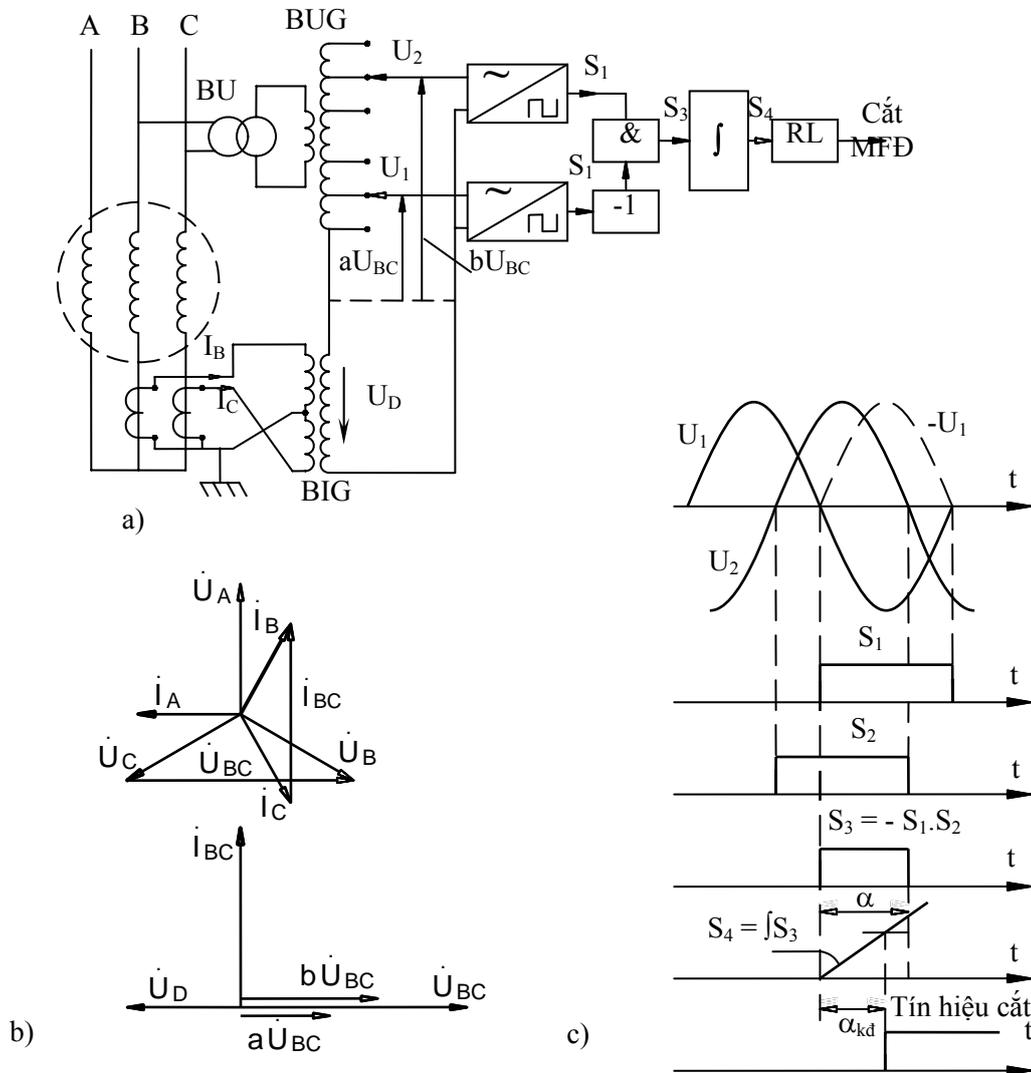
Điện áp đưa vào các bộ biến đổi dạng sóng (hình sin sang hình chữ nhật) S_1 và S_2 tương ứng bằng:

$$\dot{U}_1 = a.\dot{U}_{BC} - \dot{U}_D \quad (1-65)$$

$$\dot{U}_2 = b.\dot{U}_{BC} - \dot{U}_D \quad (1-66)$$

Góc lệch pha α giữa \dot{U}_1 và \dot{U}_2 sẽ được kiểm tra. Ở chế độ bình thường $\alpha = 0^\circ$, role không làm việc. Khi bị mất kích từ $\alpha = 180^\circ$, role sẽ tác động. Góc khởi động được chọn khoảng 90° . Các hệ số a, b được chọn (bằng cách thay đổi đầu phân áp của BUG) sao cho các điểm A và B trên hình 1.34b thoả mãn điều kiện:

$$b \cdot \dot{U}_{BC} > \dot{U}_D > a \cdot \dot{U}_{BC} \quad (1-67)$$



HÌNH 1.34: Sơ đồ bảo vệ chống mất kích từ máy phát điện dùng role điện kháng cực tiểu a) sơ đồ nguyên lý; b) đồ thị vectơ; c) dạng sóng của các đại lượng

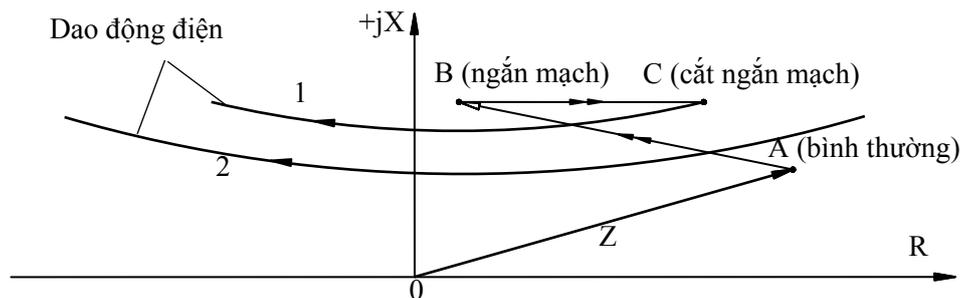
Khi mất kích thích, góc pha dòng điện thay đổi, góc lệch pha α được kiểm tra thông qua độ dài của tín hiệu $S_3 = -S_1 \cdot S_2$. Nếu $\alpha > \alpha_{kd}$ (hình 1.34c) bảo vệ sẽ tác động đi cắt máy phát trong khoảng thời gian từ (1 ÷ 2) sec.

VIII. BẢO VỆ CHỐNG MẤT ĐỒNG BỘ

Bảo vệ chống mất đồng bộ đôi khi còn có tên gọi là bảo vệ chống trượt cực từ. Khi máy phát điện đồng bộ bị mất kích từ, rotor máy phát có thể bị mất đồng bộ với từ trường quay. Việc mất đồng bộ cũng có thể xảy ra khi có dao động công suất trong hệ thống điện do sự cô kéo dài hoặc do cắt một số đường dây trong hệ thống. Hậu quả của việc mất đồng bộ gây nên sự dao động công suất trong hệ thống có thể làm mất ổn định kéo theo sự tan rã hệ

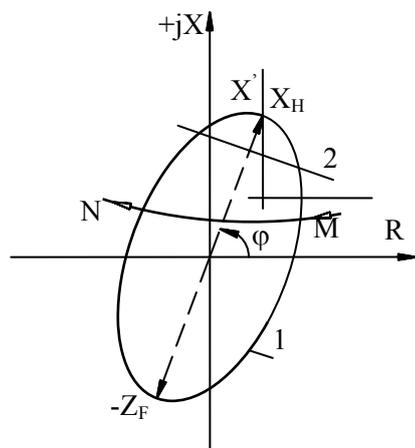
thông điện, ngoài ra nó còn tạo ra các ứng suất cơ nguy hiểm trên một số phần tử của máy phát. Để phát hiện sự cố này có thể sử dụng nguyên lý đo tổng trở đầu cực máy phát.

Trên hình 1.35 trình bày đặc tính biên thiên của mút vectơ tổng trở đo được trên đầu cực máy phát trong quá trình sự cố và xảy ra dao động điện trong hệ thống. Ở chế độ vận hành bình thường, mút vectơ tổng trở nằm ở vị trí điểm A. khi xảy ra ngắn mạch mút vectơ dịch chuyển từ A đến B, sau khi bảo vệ cắt ngắn mạch vectơ tổng trở nhảy từ B sang C và nếu xảy ra dao động, mút vectơ ở chu kỳ đầu tiên sẽ dịch chuyển theo quỹ đạo 2... Hành vi này của vectơ tổng trở khi có dao động điện có thể được phát hiện bằng một rơle với đặc tính khởi động như trên hình 1.36. Đặc tính khởi động có dạng hình elíp hoặc thấu kính 1 và dạng điện kháng 2 kết hợp với nhau theo nguyên lý "và". Khi có dao động nếu quỹ đạo của mút vectơ Z đi vào miền khởi động ở điểm M và ra khỏi miền khởi động ở điểm N dưới đặc tuyến 2 (hình 1.37) có nghĩa là tâm dao động (tâm điện) nằm trong miền tổng trở của bộ MF-MBA, bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát ngay trong chu kỳ dao động đầu tiên.

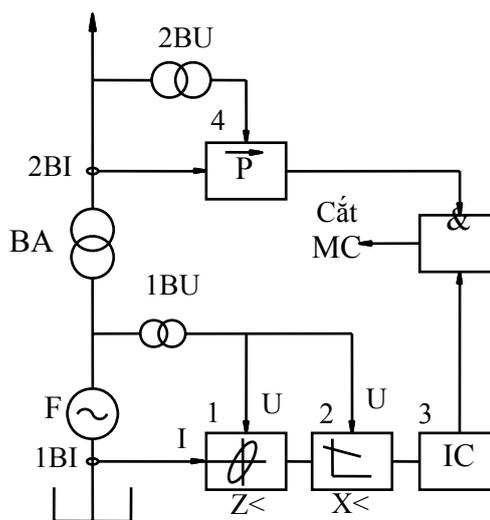


HÌNH 1.35: Hành trình của vectơ tổng trở Z khi xảy ra sự cố và dao động

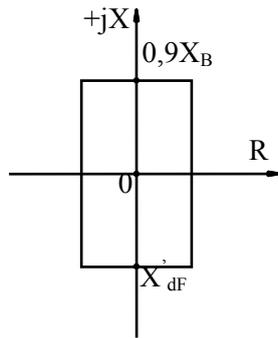
Nếu tâm dao động nằm ở phía hệ thống quỹ đạo của mút vectơ Z sẽ nằm cao hơn đặc tuyến 2, khi ấy bảo vệ sẽ tác động cắt sau một số chu kỳ định trước. Trên hình 1.37 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống trượt cực từ, bảo vệ gồm bộ phận đo khoảng cách với đặc tuyến thấu kính 1 kết hợp với bộ phận hạn chế theo điện kháng 2 để giới hạn miền tác động từ phía hệ thống, bộ phận đếm chu kỳ dao động 3 để cắt máy phát khi số chu kỳ đạt trị số đặt trước. Ở phía cao áp của MBA tăng có đặt thêm bộ phận định hướng công suất 4 thực hiện chức năng giống như bộ phận 2 và làm nhiệm vụ dự phòng cho bộ phận này. Thay vì đặc tuyến tổng trở kết hợp 1 và 2 trên hình 1.36 người ta có thể sử dụng đặc tuyến hình chữ nhật như trên hình 1.38 để phát hiện dao động điện.



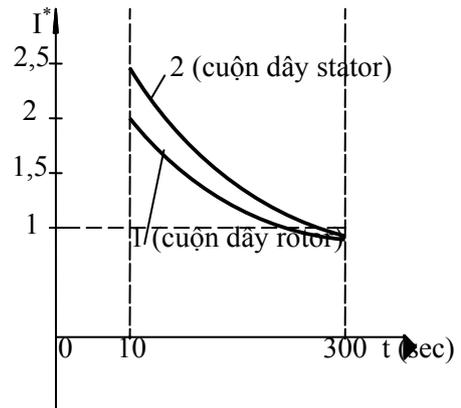
HÌNH 1.36: Đặc tính khởi động hình thấu kính để phát hiện dao động điện



HÌNH 1.37: Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống trượt cực từ (dao động điện)



HÌNH 1.38: Đặc tính khởi động hình chữ nhật để phát hiện dao động điện



HÌNH 1.39: Quan hệ giữa mức quá tải và thời gian quá tải cho phép của các cuộn dây máy phát

IX. bảo vệ chống luồng công suất ngược

Công suất sẽ đổi chiều từ hệ thống vào máy phát nếu việc cung cấp năng lượng cho Turbine (dầu, khí, hơi nước hoặc dòng nước...) bị gián đoạn. Khi đó máy phát điện sẽ làm việc như một động cơ tiêu thụ công suất từ hệ thống. Nguy hiểm của chế độ này đối với các máy phát nhiệt điện là Turbine sẽ làm việc ở chế độ máy nén, nén lượng hơi thừa trong Turbine làm cho cánh Turbine, có thể phát nóng quá mức cho phép. Đối với các máy phát diezen chế độ này có thể làm nổ máy.

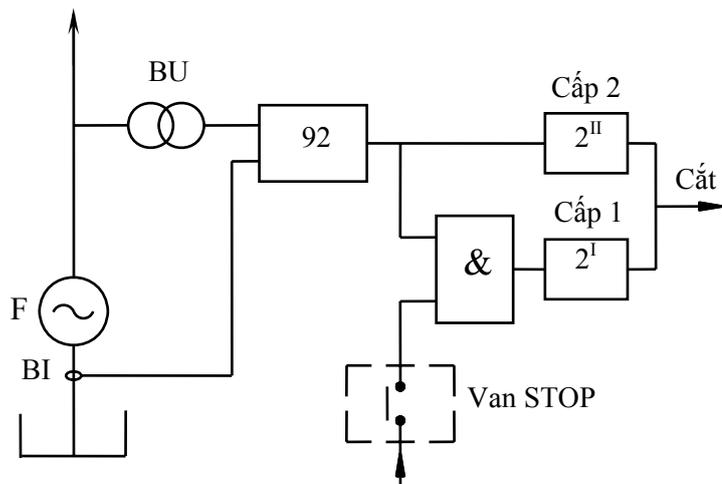
Để bảo vệ chống chế độ công suất ngược, người ta kiểm tra hướng công suất tác dụng của máy phát. Yêu cầu rơle hướng công suất phải có độ nhạy cao để phát hiện được luồng công suất ngược với trị số khá bé (thường chỉ bù đắp lại tổn thất cơ của máy phát trong chế độ này). Với các máy phát điện Turbine hơi, công suất khởi động ΔP_{kd} bằng:

$$\Delta P_{kd} = (0,01 \div 0,03)P_{dm} \quad (1-68)$$

Với các máy phát thủy điện và Turbine khí:

$$\Delta P_{kd} = (0,03 \div 0,05)P_{dm} \quad (1-69)$$

Để đảm bảo độ nhạy của bảo vệ cho các máy phát công suất lớn, mạch dòng điện của bảo vệ thường được đấu vào lõi đo lường của máy biến dòng (thay cho lõi bảo vệ thường dùng cho các thiết bị khác). Bảo vệ chống công suất ngược thường có hai cấp tác động: cấp 1 với thời gian khoảng (2 ÷ 5) sec sau khi van STOP khẩn cấp làm việc và cấp thứ 2 với thời gian cắt máy khoảng vài chục giây không qua tiếp điểm của van STOP (hình 1.40).



HÌNH 1.40: Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống công suất ngược

X. Một số sơ đồ bảo vệ máy phát điện dùng rơle số

X.1. Sơ đồ bảo vệ máy phát điện công suất trung bình ($\leq 1\text{MW}$):

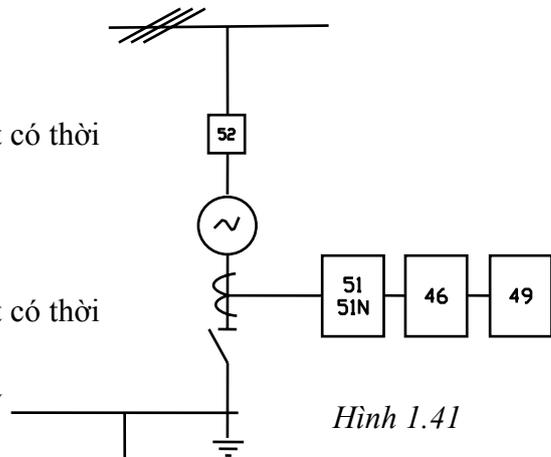
Phương án 1:

Sơ đồ sử dụng các bảo vệ sau:

- 51: bảo vệ quá dòng có thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 46: bảo vệ dòng thứ tự nghịch.
- 49: rơle nhiệt độ.

Phương án 2: hình 1.42

- 51: bảo vệ quá dòng có thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 46: bảo vệ dòng thứ tự nghịch.
- 64: bảo vệ chống chạm đất cuộn dây rotor.
- 32: rơle định hướng công suất.
- 40: rơle phát hiện mất kích từ máy phát điện.

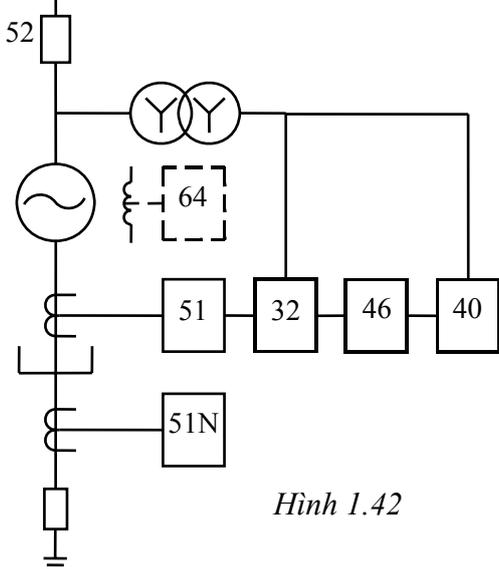


Hình 1.41

X.2. Sơ đồ bảo vệ máy phát điện công suất lớn ($> 1\text{MW}$): (hình 1.43)

Sơ đồ sử dụng các bảo vệ sau:

- 51: bảo vệ quá dòng có thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 46: bảo vệ dòng thứ tự nghịch.
- 32: rơle định hướng công suất.
- 40: rơle phát hiện mất kích từ máy phát điện.
- 49: rơle nhiệt độ.
- 87,87N: rơle so lệch chống chạm pha và chạm đất.
- 27: rơle điện áp thấp.
- 59: rơle quá điện áp.
- 81: rơle tần số.
- 64F: chống chạm đất cuộn dây rotor.



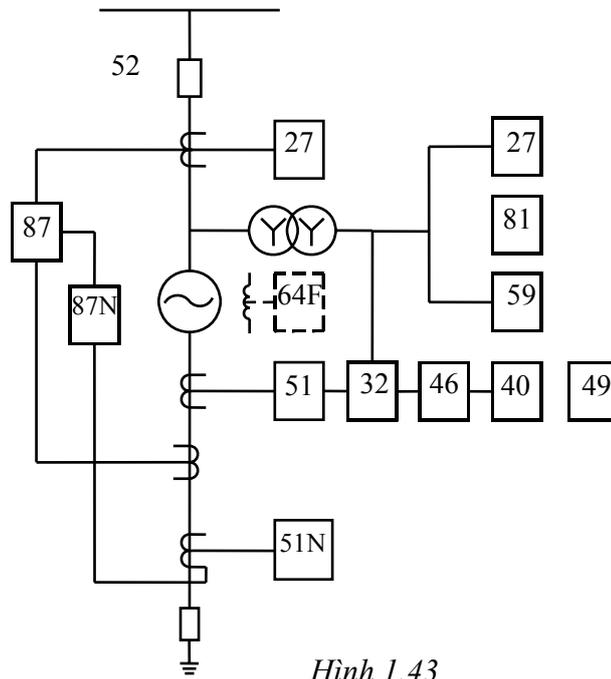
Hình 1.42

X.3. Sơ đồ bảo vệ bộ MFD-MBA:

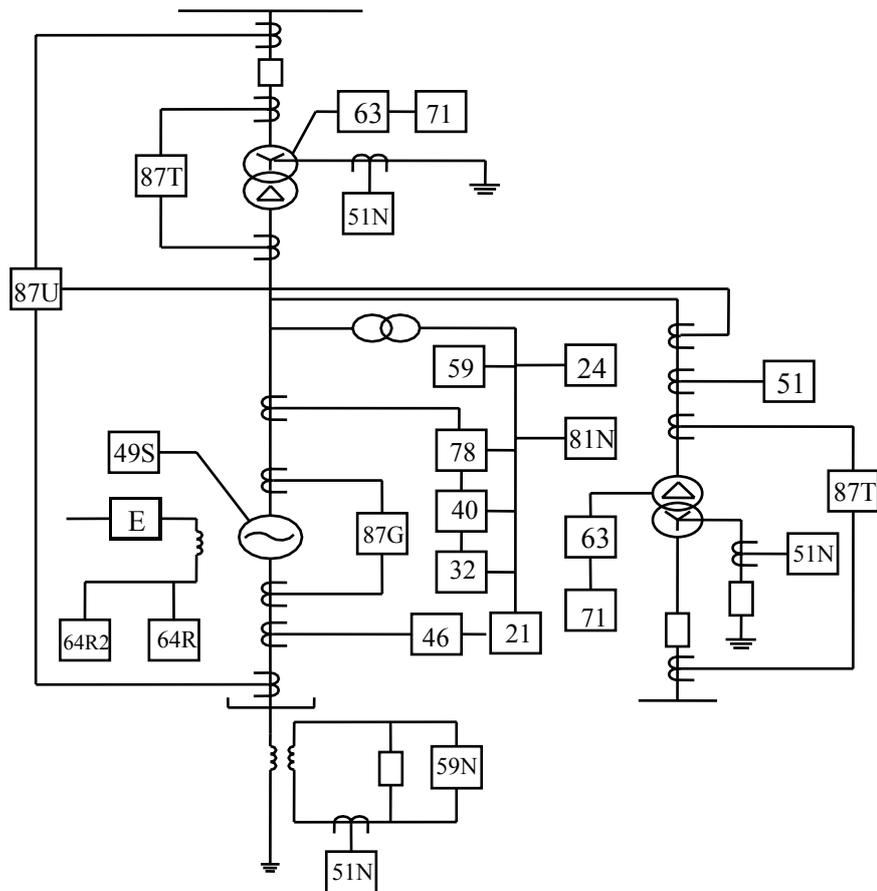
Phương án 1: hình 1.44

- 87U: bảo vệ so lệch dọc chung cho máy phát và MBA tăng áp và MBA tự dùng.
- 87T: bảo vệ so lệch dọc MBA tăng áp và MBA tự dùng.
- 51: bảo vệ quá dòng có chỉnh định thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 63: rơle áp suất dùng cho MBA.
- 71: rơle hơi dùng cho MBA.
- 64R, 64R2: bảo vệ chống chạm đất 1 điểm và 2 điểm mạch kích từ.
- 51N, 59N: bảo vệ chống chạm đất cuộn dây rotor.
- 87G: bảo vệ so lệch chống chạm pha trong máy phát.
- 49S: bảo vệ quá nhiệt cuộn dây stator.
- 59: rơle quá điện áp.
- 81N: rơle tần số.
- 24: rơle quá từ. 78: rơle kiểm tra đồng bộ.
- 40: rơle phát hiện mất kích từ máy phát điện.
- 21: rơle khoảng cách.
- 32: rơle định hướng công suất.

Phương án 2: hình 1.45



Hình 1.43



HÌNH 1.44: Sơ đồ bảo vệ bộ máy phát và máy biến áp.

Giáo trình Linh Kiện Điện Tử

Lời nói đầu

Linh kiện điện tử là kiến thức bước đầu và căn bản của ngành điện tử.

Giáo trình được biên soạn từ các bài giảng của tác giả trong nhiều năm qua tại Khoa Công Nghệ và Công Nghệ Thông Tin, Trường Đại học Cần Thơ và các Trung Tâm Giáo dục thường xuyên ở đồng bằng sông Cửu Long sau quá trình sửa chữa và cập nhật.

Giáo trình chủ yếu dùng cho sinh viên chuyên ngành Điện Tử Viễn Thông và Tự Động Hóa. Các sinh viên khối Kỹ thuật và những ai ham thích điện tử cũng tìm thấy ở đây nhiều điều bổ ích.

Giáo trình bao gồm 9 chương:

Từ chương 1 đến chương 3: Nhắc lại một số kiến thức căn bản về vật lý vi mô, các mức năng lượng và dải năng lượng trong cấu trúc của kim loại và chất bán dẫn điện và dùng nó như chìa khóa để khảo sát các linh kiện điện tử.

Từ chương 4 đến chương 8: Đây là đối tượng chính của giáo trình. Trong các chương này, ta khảo sát cấu tạo, cơ chế hoạt động và các đặc tính chủ yếu của các linh kiện điện tử thông dụng. Các linh kiện quá đặc biệt và ít thông dụng được giới thiệu ngắn gọn mà không đi vào phân giải.

Chương 9: Giới thiệu sự hình thành và phát triển của vi mạch.

Người viết chân thành cảm ơn anh Nguyễn Trung Lập, Giảng viên chính của Bộ môn Viễn Thông và Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ Thông Tin, Trường Đại học Cần Thơ đã đọc kỹ bản thảo và cho nhiều ý kiến quý báu.

Cần Thơ, tháng 12 năm 2003

Trương Văn Tám

Mục lục

Chương I.....	4
MỨC NĂNG LƯỢNG VÀ DẢI NĂNG LƯỢNG.....	4
I. KHÁI NIỆM VỀ CƠ HỌC NGUYÊN LƯỢNG:.....	4
II. PHÂN BỐ ĐIỆN TỬ TRONG NGUYÊN TỬ THEO NĂNG LƯỢNG:.....	6
III. DẢI NĂNG LƯỢNG: (ENERGY BANDS).....	8
Chương II.....	12
SỰ DẪN ĐIỆN TRONG KIM LOẠI.....	12
I. ĐỘ LINH ĐỘNG VÀ DẪN XUẤT:.....	12
II. PHƯƠNG PHÁP KHẢO SÁT CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT TỬ BẰNG NĂNG LƯỢNG:.....	14
III. THỂ NĂNG TRONG KIM LOẠI:.....	15
IV. SỰ PHÂN BỐ CỦA ĐIỆN TỬ THEO NĂNG LƯỢNG:.....	18
V. CÔNG RA (HÀM CÔNG):.....	20
VI. ĐIỆN THỂ TIẾP XÚC (TIẾP THỂ):.....	21
Chương III.....	22
CHẤT BÁN DẪN ĐIỆN.....	22
I. CHẤT BÁN DẪN ĐIỆN THUẦN HAY NỘI BẨM:.....	22
II. CHẤT BÁN DẪN NGOẠI LAI HAY CÓ CHẤT PHA:.....	24
1. Chất bán dẫn loại N: (N - type semiconductor).....	24
2. Chất bán dẫn loại P:.....	25
3. Chất bán dẫn hỗn hợp:.....	26
III. DẪN SUẤT CỦA CHẤT BÁN DẪN:.....	27
IV. CƠ CHẾ DẪN ĐIỆN TRONG CHẤT BÁN DẪN:.....	29
V. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC:.....	30
Chương IV.....	32
NỐI P-N VÀ DIODE.....	32
I. CẤU TẠO CỦA NỐI P-N:.....	32
II. DÒNG ĐIỆN TRONG NỐI P-N KHI ĐƯỢC PHÂN CỰC:.....	34
1. Nối P-N được phân cực thuận:.....	35
2. Nối P-N khi được phân cực nghịch:.....	38
III. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ LÊN NỐI P-N:.....	40
IV. NỘI TRỞ CỦA NỐI P-N.....	41
1. Nội trở tĩnh: (Static resistance).....	41
2. Nội trở động của nối P-N: (Dynamic Resistance).....	42
V. ĐIỆN DUNG CỦA NỐI P-N.....	44
1. Điện dung chuyển tiếp (Điện dung nối).....	44
2. Điện dung khuếch tán. (Diffusion capacitance).....	45
VI. CÁC LOẠI DIODE THÔNG DỤNG.....	45
1. Diode chỉnh lưu:.....	45
2. Diode tách sóng.....	53
3. Diode schottky:.....	53
4. Diode ổn áp (diode Zenner):.....	54
5. Diode biến dung: (Varicap – Varactor diode).....	57
6. Diode hầm (Tunnel diode).....	58
Bài tập cuối chương.....	59
Chương V.....	61
TRANSISTOR LƯỜNG CỰC.....	61
I. CẤU TẠO CƠ BẢN CỦA BJT.....	61
II. TRANSISTOR Ở TRẠNG THÁI CHƯA PHÂN CỰC.....	61
III. CƠ CHẾ HOẠT ĐỘNG CỦA TRANSISTOR LƯỜNG CỰC.....	63
IV. CÁC CÁCH RÁP TRANSISTOR VÀ ĐỘ LỢI DÒNG ĐIỆN.....	64
V. DÒNG ĐIỆN RỈ TRONG TRANSISTOR.....	66
VI. ĐẶC TUYẾN V-I CỦA TRANSISTOR.....	67
1. Mắc theo kiểu cực nền chung:.....	68
2. Mắc theo kiểu cực phát chung.....	69
3. Ảnh hưởng của nhiệt độ lên các đặc tuyến của BJT.....	72
VII. ĐIỂM ĐIỀU HÀNH – ĐƯỜNG THẲNG LẤY ĐIỆN MỘT CHIỀU.....	73
VIII. KIỂU MẪU MỘT CHIỀU CỦA BJT.....	78

IX. BJT VỚI TÍN HIỆU XOAY CHIỀU	80
1. Mô hình của BJT:	80
2. Điện dẫn truyền (transconductance)	82
3. Tổng trở vào của transistor:	83
4. Hiệu ứng Early (Early effect)	85
5. Mạch tương đương xoay chiều của BJT:	86
Bài tập cuối chương	90
CHƯƠNG 6.....	91
TRANSISTOR TRƯỜNG ỨNG.....	91
I. CẤU TẠO CĂN BẢN CỦA JFET:.....	91
II. CƠ CHẾ HOẠT ĐỘNG CỦA JFET:	93
III. ĐẶC TUYẾN TRUYỀN CỦA JFET.	99
IV. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ TRÊN JFET.	100
V. MOSFET LOẠI HIẾM (DEPLETION MOSFET: DE MOSFET).....	102
VI. MOSFET LOẠI TĂNG (ENHANCEMENT MOSFET: E-MOSFET)	107
VII. XÁC ĐỊNH ĐIỂM ĐIỀU HÀNH:.....	111
VIII. FET VỚI TÍN HIỆU XOAY CHIỀU VÀ MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG VỚI TÍN HIỆU NHỎ	113
IX. ĐIỆN DẪN TRUYỀN (TRANSCONDUCTANCE) CỦA JFET VÀ DEMOSFET	117
X. ĐIỆN DẪN TRUYỀN CỦA E-MOSFET	118
XI. TỔNG TRỞ VÀO VÀ TỔNG TRỞ RA CỦA FET	119
XII. CMOS TUYẾN TÍNH (LINEAR CMOS).....	120
XIII. MOSFET CÔNG SUẤT: V-MOS VÀ D-MOS.....	122
1. V-MOS:.....	122
2. D-MOS:.....	123
Bài tập cuối chương	125
CHƯƠNG VII.....	126
LINH KIỆN CÓ BỐN LỚP BÁN DẪN PNP VÀ NHỮNG LINH KIỆN KHÁC	126
I. SCR (THYRISTOR – SILICON CONTROLLED RECTIFIER).....	126
1. Cấu tạo và đặc tính:	126
2. Đặc tuyến Volt-Ampere của SCR:.....	128
3. Các thông số của SCR:	129
4. SCR hoạt động ở điện thế xoay chiều.....	130
5. Vai ứng dụng đơn giản:	131
II. TRIAC (TRIOD AC SEMICONDUCTOR SWITCH).....	133
III. SCS (SILICON – CONTROLLED SWITCH).....	135
IV. DIAC	136
V. DIOD SHOCKLEY.....	137
VI. GTO (GATE TURN – OFF SWITCH).....	138
VII. UJT (UNIUNCTION TRANSISTOR – TRANSISTOR ĐỘC NỔ).....	140
1. Cấu tạo và đặc tính của UJT:	140
2. Các thông số kỹ thuật của UJT và vấn đề ổn định nhiệt cho định:	143
3. Ứng dụng đơn giản của UJT:.....	144
VIII. PUT (Programmable Unijunction Transistor).....	145
CHƯƠNG VIII.....	148
LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ.....	148
I. ÁNH SÁNG.....	148
II. QUANG ĐIỆN TRỞ (PHOTORESISTANCE).....	149
III. QUANG DIOD (PHOTODIODE).....	151
IV. QUANG TRANSISTOR (PHOTO TRANSISTOR).....	152
V. DIOD PHÁT QUANG (LED-LIGHT EMITTING DIODE).....	154
VI. NÓI QUANG.....	155
CHƯƠNG IX.....	157
SƠ LƯỢC VỀ IC	157
I. KHÁI NIỆM VỀ IC - SỰ KẾT TỤ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN TỬ.....	157
II. CÁC LOẠI IC	159
1. IC màng (film IC):.....	159
2. IC đơn tinh thể (Monolithic IC):.....	159
3. IC lai (hibrid IC).....	160
III. SƠ LƯỢC VỀ QUI TRÌNH CHẾ TẠO MỘT IC ĐƠN TINH THỂ.....	160
IV. IC SỐ (IC DIGITAL) VÀ IC TƯƠNG TỰ (IC ANALOG).....	162
1. IC Digital:.....	162
2. IC analog:	163
Tài liệu tham khảo	163

Có những quỹ đạo đặc biệt, trên đó điện tử có thể di chuyển mà không phát ra năng lượng. Tương ứng với mỗi quỹ đạo có một mức năng lượng nhất định. Ta có một quỹ đạo dừng.

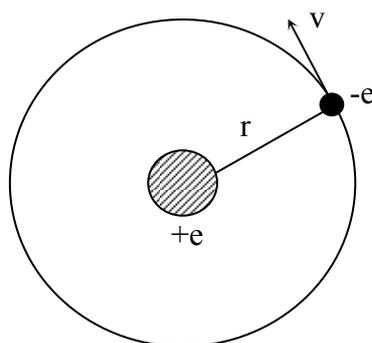
Khi điện tử di chuyển từ một quỹ đạo tương ứng với mức năng lượng w_1 sang quỹ đạo khác tương ứng với mức năng lượng w_2 thì sẽ có hiện tượng bức xạ hay hấp thụ năng lượng. Tần số của bức xạ (hay hấp thụ) này là:

$$f = \frac{w_2 - w_1}{h}$$

Trong đó, $h=6,62.10^{-34}$ J.s (hằng số Planck).

Trong mỗi quỹ đạo dừng, moment động lượng của điện tử bằng bội số của $\frac{h}{2\pi} = \hbar$

$$\text{Moment động lượng: } m.v.r = n \cdot \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$



Hình 1

Với giả thuyết trên, người ta đã dự đoán được các mức năng lượng của nguyên tử hydro và giải thích được quang phổ vạch của Hydro, nhưng không giải thích được đối với những nguyên tử có nhiều điện tử. Nhận thấy sự đối tính giữa sóng và hạt, Louis de Broglie (Nhà vật lý học Pháp) cho rằng có thể liên kết mỗi hạt điện khối lượng m , chuyển động với vận tốc v một bước sóng $\lambda = \frac{h}{mv}$.

Tổng hợp tất cả giả thuyết trên là môn cơ học nguyên lượng, khả dĩ có thể giải thích được các hiện tượng quan sát được ở cấp nguyên tử.

Phương trình căn bản của môn cơ học nguyên lượng là phương trình Schrodinger được viết như sau:

$$-\frac{\hbar^2}{2.m} \nabla^2 \varphi + (E - U)\varphi = 0$$

∇^2 là toán tử Laplacien

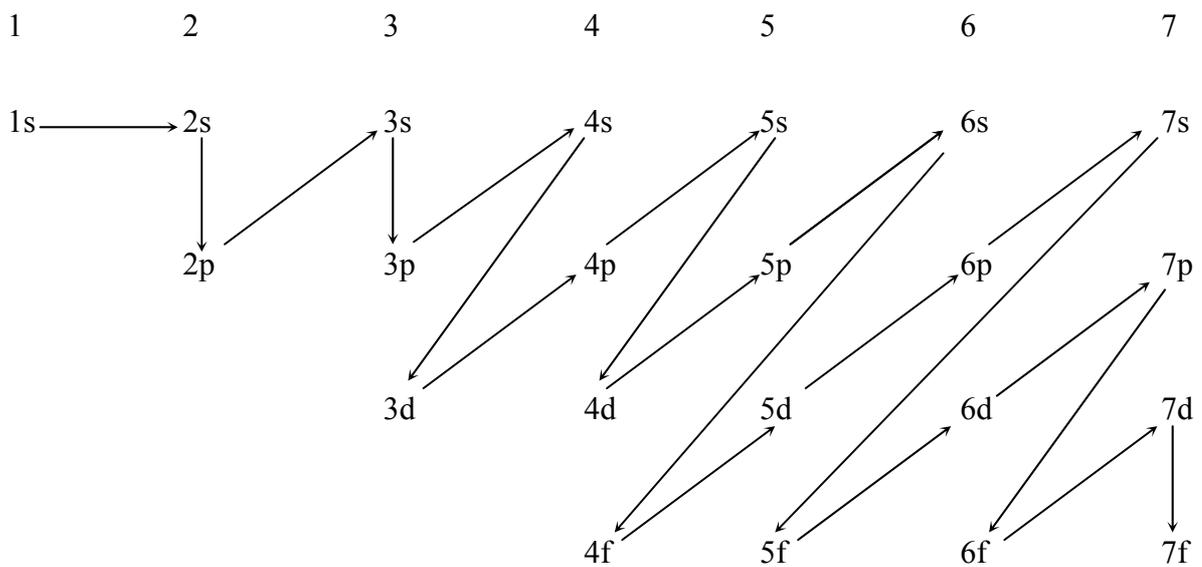
Tầng L có tối đa 8 điện tử.

Tầng M có tối đa 18 điện tử.

Tầng N có tối đa 32 điện tử.

Các tầng O,P,Q cũng có 4 phụ tầng và cũng có tối đa 32 điện tử.

Ứng với mỗi phụ tầng có một mức năng lượng và các mức năng lượng được xếp theo thứ tự như sau:



Hình 2

Khi không bị kích thích, các trạng thái năng lượng nhỏ bị điện tử chiếm trước (gần nhân hơn) khi hết chỗ mới sang mức cao hơn (xa nhân hơn). Thí dụ: nguyên tử Na có số điện tử $z=11$, có các phụ tầng 1s,2s,2p bị các điện tử chiếm hoàn toàn nhưng chỉ có 1 điện tử chiếm phụ tầng 3s.

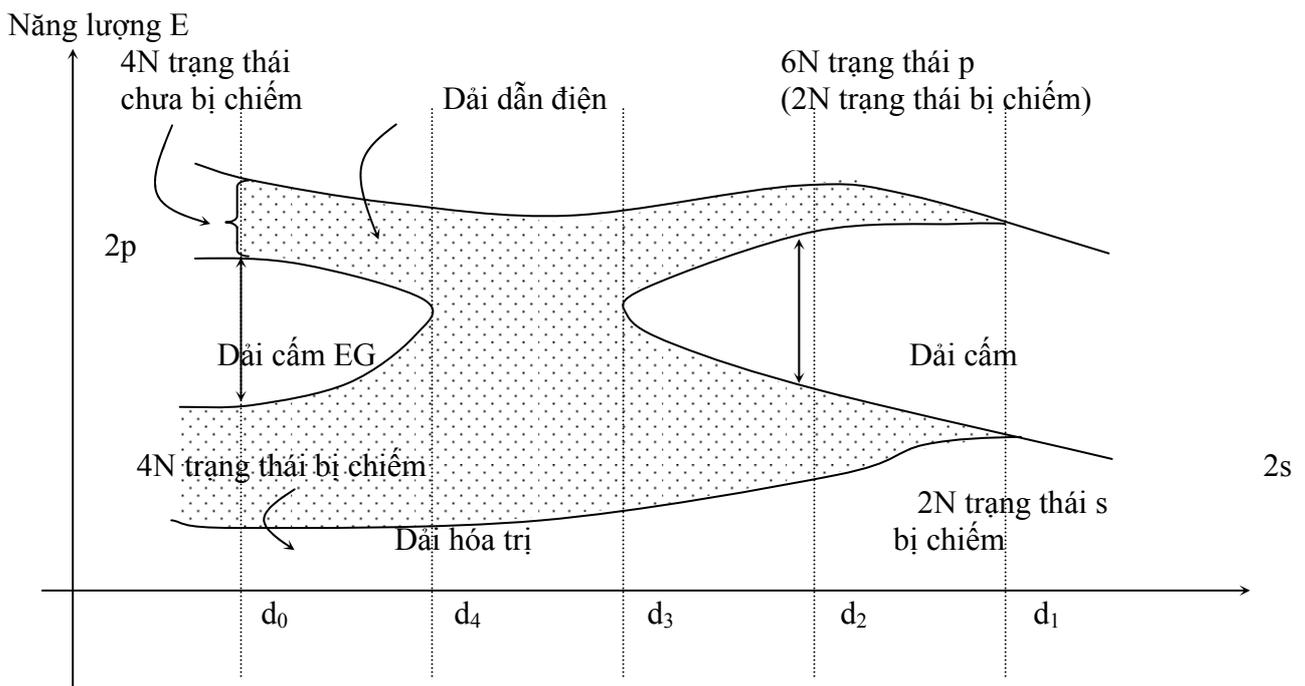
Cách biểu diễn:

Theo mẫu của Bohr

Theo mức năng lượng

<p><u>NATRI</u></p> <p>Na 2-8-1</p>	<p>$\text{Na}^{11} \quad 1s^2 \quad 2s^2 \quad 2p^6 \quad 3s^1$</p>
-------------------------------------	--

Ta xét một mạng tinh thể gồm N nguyên tử thuộc nhóm 4A, thí dụ C^6 . Ta tưởng tượng rằng có thể thay đổi được khoảng cách giữa các nguyên tử mà không thay đổi cấu tạo căn bản của tinh thể. Nếu các nguyên tử cách nhau một khoảng d_1 sao cho tác động lẫn nhau không đáng kể thì các mức năng lượng của chúng trùng với các mức năng lượng của một nguyên tử độc nhất. Hai phụ tầng ngoài cùng có 2 điện tử s và 2 điện tử p ($C^6=1s^22s^22p^2$). Do đó, nếu ta không để ý đến các tầng trong, ta có $2N$ điện tử chiếm tất cả $2N$ trạng thái s và có cùng mức năng lượng; Ta cũng có $2N$ điện tử p chiếm $2N$ trạng thái p . Vậy có $4N$ trạng thái p chưa bị chiếm. Giả sử khoảng cách giữa các nguyên tử được thu nhỏ hơn thành d_2 , tác dụng của một nguyên tử bất kỳ lên các nguyên tử lân cận trở thành quan trọng.



Hình 4

Ta có một hệ thống gồm N nguyên tử, do đó các nguyên tử phải tuân theo nguyên lý Pauli. $2N$ điện tử s không thể có cùng mức năng lượng mà phải có $2N$ mức năng lượng khác nhau; khoảng cách giữa hai mức năng lượng rất nhỏ nhưng vì N rất lớn nên khoảng cách giữa mức năng lượng cao nhất và thấp nhất khá lớn, ta có một dải năng lượng. $2N$ trạng thái của dải năng lượng này đều bị $2N$ điện tử chiếm. Tương tự, bên trên dải năng lượng này ta có một dải gồm $6N$ trạng thái p nhưng chỉ có $2N$ trạng thái p bị chiếm chỗ.

Ta để ý rằng, giữa hai dải năng lượng mà điện tử chiếm-được có một dải cấm. Điện tử không thể có năng lượng nằm trong dải cấm, khoảng cách (dải cấm) càng thu hẹp khi khoảng cách d càng nhỏ (xem hình). Khi khoảng cách $d=d_3$, các dải năng lượng chồng lên nhau, $6N$ trạng thái của dải trên hoà với $2N$ trạng thái của dải dưới cho ta $8N$ trạng thái, nhưng chỉ có $4N$ trạng thái bị chiếm. Ở khoảng cách này, mỗi nguyên tử có 4 điện tử tầng ngoài nhưng ta không thể phân biệt được điện tử nào là điện tử s và điện tử nào là điện tử p , ở khoảng cách từ đó, tác dụng của các nguyên tử lên nhau rất mạnh. Sự phân

bổ các dải năng lượng tùy thuộc vào dạng tinh thể và nguyên tử số. Người ta xác định sự phân bố này bằng cách giải phương trình Schrodinger và có kết quả như hình vẽ. Ta có một dải hoá trị (valence band) gồm 4N trạng thái hoàn toàn bị chiếm và một dải dẫn điện (conduction band) gồm 4N trạng thái chưa bị chiếm. Giữa hai dải năng lượng này, có một dải năng lượng cấm có năng lượng khoảng 6eV. (eV: ElectronVolt)

1 volt là hiệu điện thế giữa hai điểm của một mạch điện khi năng lượng cung cấp là 1 Joule để chuyển một điện tích 1 Coloumb từ điểm này đến điểm kia.

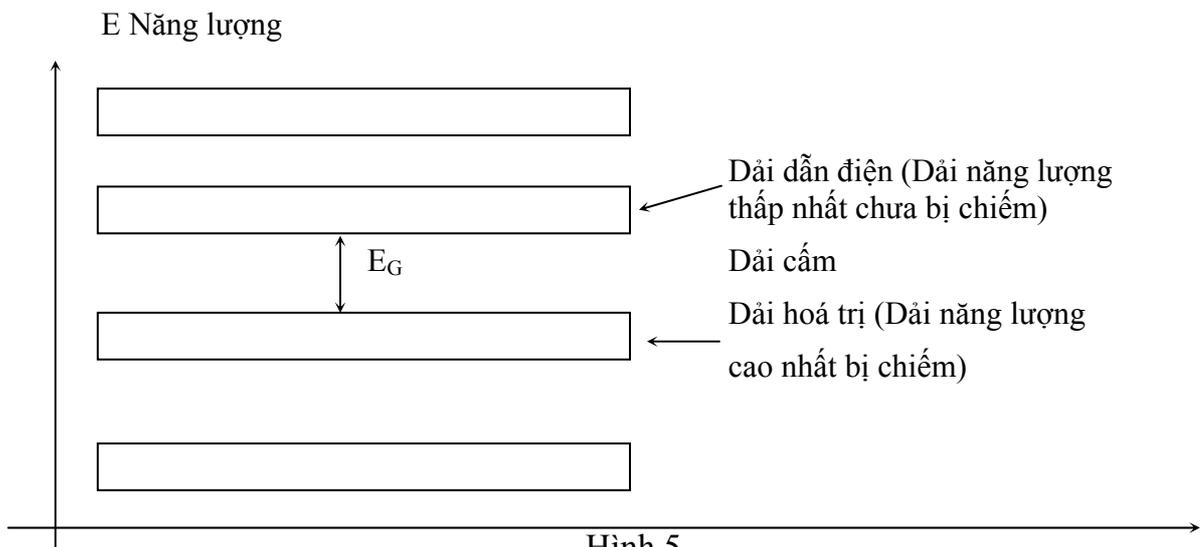
$$\text{Vậy, volt} \leftarrow V = \frac{W \rightarrow \text{Joule}}{Q \rightarrow \text{Coloumb}}$$

Vậy năng lượng mà một điện tử tiếp nhận khi vượt một hiệu điện thế 1 volt là:

$$\begin{aligned} V &= \frac{W}{Q} \\ \Rightarrow 1V &= \frac{W}{1,602 \cdot 10^{-19}} \\ \Rightarrow W &= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Joule} \end{aligned}$$

Năng lượng này được gọi là 1eV (1eV=1,602.10⁻¹⁹J)

Ta đã khảo sát trường hợp đặc biệt của tinh thể Cacbon. Nếu ta khảo sát một tinh thể bất kỳ, năng lượng của điện tử cũng được chia thành từng dải. Dải năng lượng cao nhất bị chiếm gọi là dải hóa trị, dải năng lượng thấp nhất chưa bị chiếm gọi là dải dẫn điện. Ta đặc biệt chú ý đến hai dải năng lượng này.



* Ta có 3 trường hợp:

Dải cấm có độ cao khá lớn ($E_G > 5\text{eV}$). Đây là trường hợp của các chất cách điện. Thí dụ như kim cương có $E_G = 7\text{eV}$, SiO_2 $E_G = 9\text{eV}$.

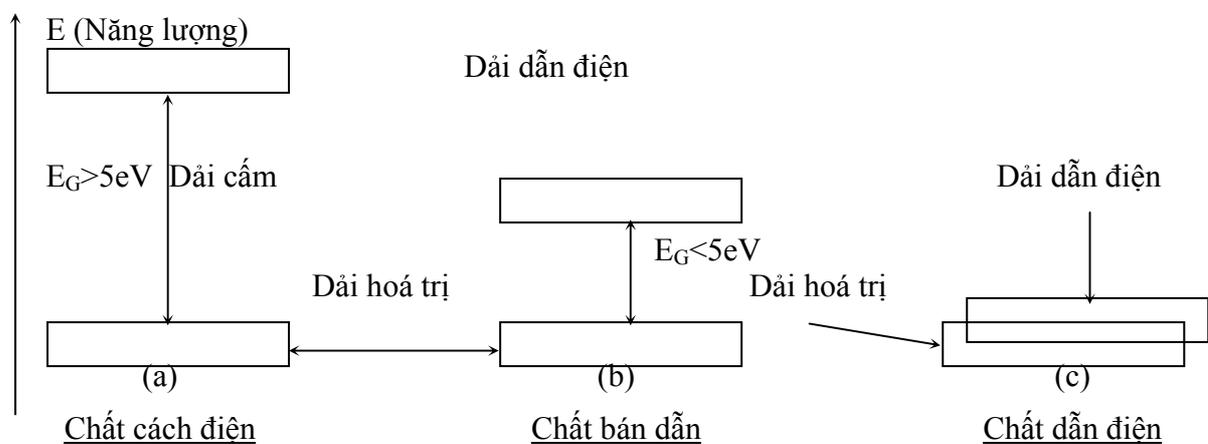
Dải cấm có độ cao nhỏ ($E_G < 5\text{eV}$). Đây là trường hợp chất bán dẫn điện.

Thí dụ: Germanium có $E_G = 0,75\text{eV}$

Silicium có $E_G = 1,12\text{eV}$

Galium Arsenic có $E_G = 1,4\text{eV}$

Dải hóa trị và dải dẫn điện chồng lên nhau, đây là trường hợp của chất dẫn điện. Thí dụ như đồng, nhôm...



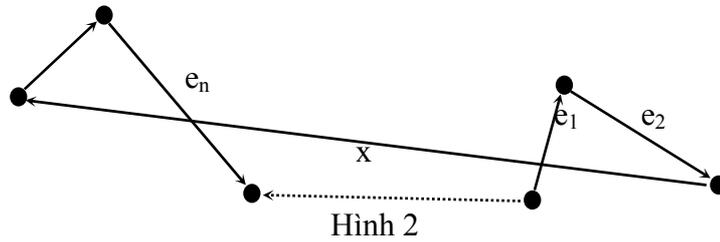
Hình 6

Giả sử ta tăng nhiệt độ của tinh thể, nhờ sự cung cấp nhiệt năng, điện tử trong dải hóa trị tăng năng lượng. Trong trường hợp (a), vì E_G lớn, điện tử không đủ năng lượng vượt dải cấm để vào dải dẫn điện. Nếu ta cho tác dụng một điện trường vào tinh thể, vì tất cả các trạng thái trong dải hóa trị đều bị chiếm nên điện tử chỉ có thể di chuyển bằng cách đổi chỗ cho nhau. Do đó, số điện tử đi, về một chiều bằng với số điện tử đi, về theo chiều ngược lại, dòng điện trung bình triệt tiêu. Ta có chất cách điện.

Trong trường hợp (b), một số điện tử có đủ năng lượng sẽ vượt dải cấm vào dải dẫn điện. Dưới tác dụng của điện trường, các điện tử này có thể thay đổi năng lượng dễ dàng vì trong dải dẫn điện có nhiều mức năng lượng trống để tiếp nhận chúng. Vậy điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện có thể di chuyển theo một chiều duy nhất dưới tác dụng của điện trường, ta có chất bán dẫn điện.

Trong trường hợp (c) cũng giống như trường hợp (b) nhưng số điện tử trong dải dẫn điện nhiều hơn làm cho sự di chuyển mạnh hơn, ta có kim loại hay chất dẫn điện.

Giả sử, một điện trường \vec{E} được thiết lập trong mạng tinh thể kim loại, ta thử khảo sát chuyển động của một điện tử trong từ trường này.



Hình trên mô tả chuyển động của điện tử dưới tác dụng của điện trường \vec{E} . Quỹ đạo của điện tử là một đường gấp khúc vì điện tử chạm vào các ion dương và đổi hướng chuyển động. Trong thời gian $t=n$ lần thời gian tự do trung bình, điện tử di chuyển được một đoạn đường là x . Vận tốc $v = \frac{x}{t}$ gọi là vận tốc trung bình. Vận tốc này tỉ lệ với điện trường \vec{E} . $v = \mu E$

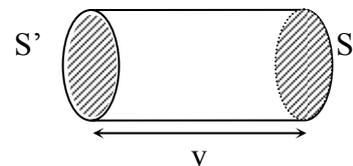
Hằng số tỉ lệ μ gọi là độ linh động của điện tử, tính bằng $m^2/Vsec$.

Điện tích đi qua mỗi đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian được gọi là mật độ dòng điện J .

Ta có: $J = n.e.v$

Trong đó, n : mật độ điện tử, e : điện tích của một electron

Bây giờ, ta xét một diện tích vi cấp S đặt thẳng góc với chiều di chuyển của điện tử. Những điện tử tới mặt S ở thời điểm $t=0$ ($t=0$ được chọn làm thời điểm gốc) là những điện tử ở trên mặt S' cách S một khoảng v (vận tốc trung bình của điện tử) ở thời điểm $t=-1$. Ở thời điểm $t=+1$, những điện tử đi qua mặt S chính là những điện tử chứa trong hình trụ giới hạn bởi mặt S và S' . Điện tích của số điện tử này là $q=n.e.v.s$, với n là mật độ điện tử di chuyển. Vậy điện tích đi ngang qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian là: $J=n.e.v$



Nhưng $v = \mu E$ nên $J = n.e.\mu.E$

Người ta đặt $\sigma = n.e.\mu$ (đọc là Sigma)

Nên $J = \sigma E$ σ gọi là dẫn suất của kim loại

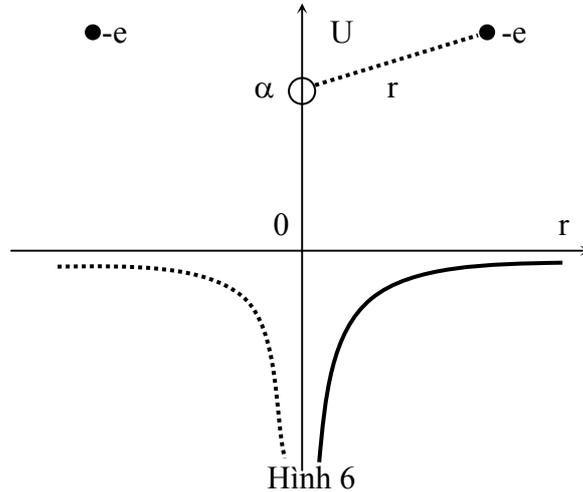
Và $\rho = \frac{1}{\sigma}$ gọi là điện trở suất của kim loại

Điện trở suất tính bằng Ωm và dẫn suất tính bằng mho/m

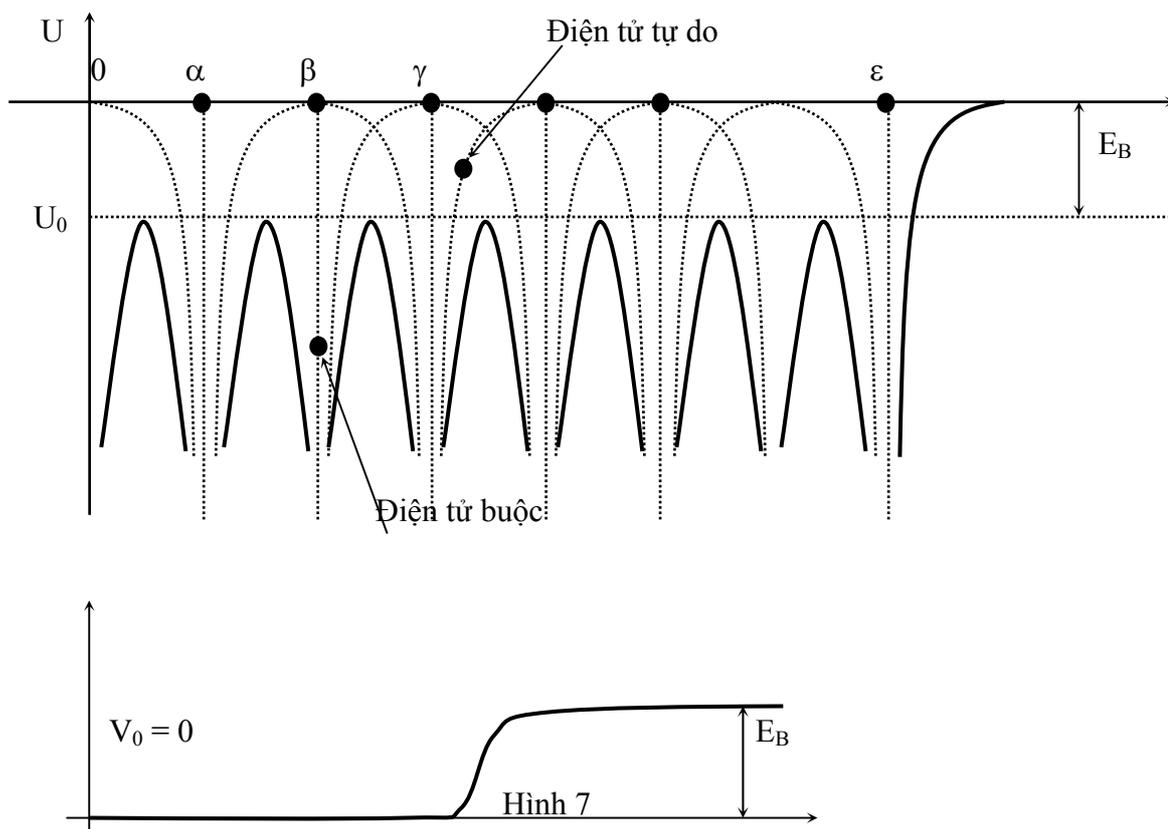
$$V = \frac{k}{r} + C$$

Nếu chọn điện thế tại một điểm rất xa làm điện thế Zero thì $C=0$. Vậy một điện tử có điện tích $-e$ ở cách nhân α một đoạn r sẽ có thế năng là:

$$U = -eV = -\frac{ke}{r}$$



Hình trên là đồ thị của thế năng U theo khoảng cách r . Phần đồ thị không liên tục ứng với một điện tử ở bên trái nhân α . Nếu ta có hai nhân α và β thì trong vùng giữa hai nhân này thế năng của điện tử là tổng các thế năng do α và β tạo ra. Trong kim loại, các nhân được sắp xếp đều đặn theo 3 chiều. Vậy, ta có thể khảo sát sự phân bố của thế năng bằng cách xét sự phân bố dọc theo dải α , β và γ ...



+

Hình trên biểu diễn sự phân bố đó.

Ta thấy rằng có những vùng đẳng thế rộng nằm xen kẽ với những vùng điện thế thay đổi rất nhanh. Mặt ngoài của mỗi kim loại không được xác định hoàn toàn và cách nhân cuối cùng một khoảng cách nhỏ. Vì bên phải của nhân ϵ không còn nhân nên thế năng tiến tới Zero chứ không giữ tính tuần hoàn như bên trong kim loại. Do đó, ta có một rào thế năng tại mặt ngoài của kim loại.

Ta xét một điện tử của nhân β và có năng lượng nhỏ hơn U_0 , điện tử này chỉ có thể di chuyển trong một vùng nhỏ cạnh nhân giữa hai rào thế năng tương ứng. Đó là điện tử buộc và không tham gia vào sự dẫn điện của kim loại. Trái lại, một điện tử có năng lượng lớn hơn U_0 có thể di chuyển từ nguyên tử này qua nguyên tử khác trong khối kim loại nhưng không thể vượt ra ngoài khối kim loại được vì khi đến mặt phân cách, điện tử đụng vào rào thế năng. Các điện tử có năng lượng lớn hơn U_0 được gọi là các điện tử tự do. Trong các chương sau, ta đặt biệt chú ý đến các điện tử này.

Vì hầu hết khối kim loại đều có cùng điện thế V_0 tương ứng với thế năng $U_0 = -eV_0$ nên ta có thể giả sử khối kim loại là một khối đẳng thế V_0 . Nhưng điện thế tùy thuộc vào một hằng số cộng nên ta có thể chọn V_0 làm điện thế gốc ($V_0 = 0V$). Gọi E_B là chiều cao của rào thế năng giữa bên trong và bên ngoài kim loại. Một điện tử bên trong khối kim loại muốn vượt ra ngoài phải có ít nhất một năng lượng $U = E_B$, vì vậy ta cần phải biết sự phân bố của điện tử theo năng lượng.

Ta chấp nhận rằng:

$$N(E) = \gamma \cdot E^{\frac{1}{2}} \quad \gamma \text{ là hằng số tỉ lệ.}$$

Lúc đó, mật độ điện tử có năng lượng E là:

$$\rho(E) = f(E) \cdot N(E) = \gamma \cdot E^{\frac{1}{2}} \cdot f(E)$$

Hình trên là đồ thị của $\rho(E)$ theo E tương ứng với nhiệt độ $T=0^0\text{K}$ và $T=2.500^0\text{K}$.

Ta thấy rằng hàm $\rho(E)$ biến đổi rất ít theo nhiệt độ và chỉ biến đổi trong vùng cận của năng lượng E_F . Do đó, ở nhiệt độ cao ($T=2.500^0\text{K}$) có một số rất ít điện tử có năng lượng lớn hơn E_F , hầu hết các điện tử đều có năng lượng nhỏ hơn E_F . Diện tích giới hạn bởi đường biểu diễn của $\rho(E)$ và trục E cho ta số điện tử tự do n chứa trong một đơn vị thể tích.

$$n = \int_0^{E_F} \rho(E) \cdot dE = \int_0^{E_F} \gamma \cdot E^{\frac{1}{2}} \cdot dE = \frac{2}{3} \gamma \cdot E_F^{\frac{3}{2}}$$

(Đề ý là $f(E)=1$ và $T=0^0\text{K}$)

Từ đây ta suy ra năng lượng Fermi E_F

$$E_F = \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{n}{\gamma} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Nếu ta dùng đơn vị thể tích là m^3 và đơn vị năng lượng là eV thì γ có trị số là:

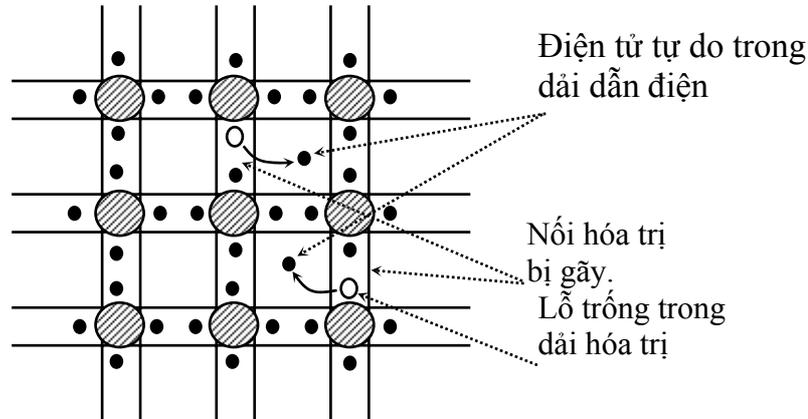
$$\gamma = 6,8 \cdot 10^{27}$$

$$\text{Do đó, } E_F = 3,64 \cdot 10^{-19} \cdot n^{\frac{2}{3}}$$

Nếu biết được khối lượng riêng của kim loại và số điện tử tự do mà mỗi nguyên tử có thể nhả ra, ta tính được n và từ đó suy ra E_F . Thông thường $E_F < 10\text{eV}$.

Thí dụ, khối lượng riêng của Tungsten là $d = 18,8\text{g/cm}^3$, nguyên tử khối là $A = 184$, biết rằng mỗi nguyên tử cho $v = 2$ điện tử tự do. Tính năng lượng Fermi.

Giải: Khối lượng mỗi cm^3 là d, vậy trong mỗi cm^3 ta có một số nguyên tử khối là d/A . Vậy trong mỗi cm^3 , ta có số nguyên tử thực là:



Hình 2: Tinh thể chất bán dẫn ở nhiệt độ cao ($T = 300^{\circ}\text{K}$)

Khi năng lượng này lớn hơn năng lượng của dải cấm ($0,7\text{eV}$ đối với Ge và $1,12\text{eV}$ đối với Si), điện tử có thể vượt dải cấm vào dải dẫn điện và chừa lại những lỗ trống (trạng thái năng lượng trống) trong dải hóa trị. Ta nhận thấy số điện tử trong dải dẫn điện bằng số lỗ trống trong dải hóa trị.

Nếu ta gọi n là mật độ điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện và p là mật độ lỗ trống có năng lượng trong dải hóa trị. Ta có: $n=p=n_i$

Người ta chứng minh được rằng:

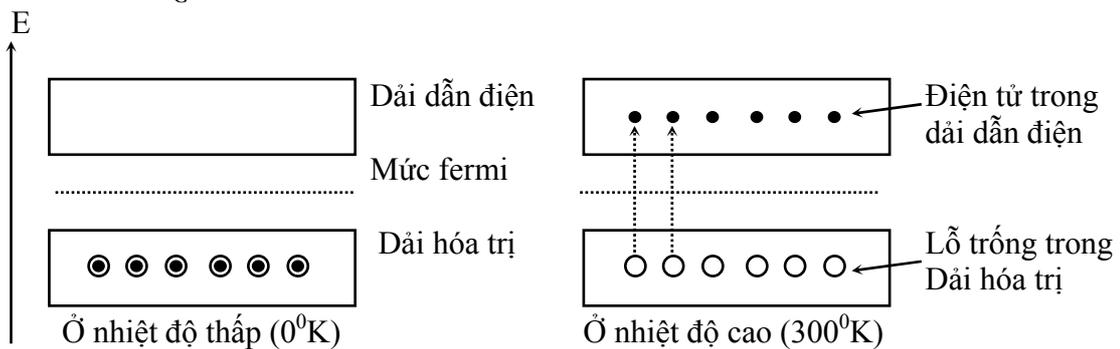
$$n_i^2 = A_0 \cdot T^3 \cdot \exp(-E_G/KT)$$

Trong đó: A_0 : Số Avogadro = $6,203 \cdot 10^{23}$

T : Nhiệt độ tuyệt đối (Độ Kelvin)

K : Hằng số Boltzman = $8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV}/^{\circ}\text{K}$

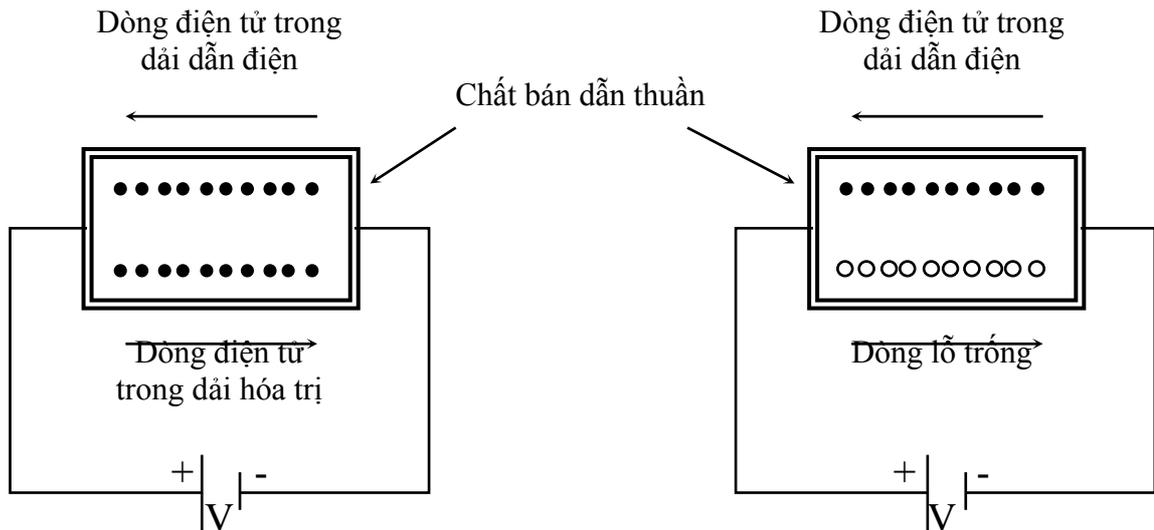
E_G : Chiều cao của dải cấm.



Hình 3

Ta gọi chất bán dẫn có tính chất $n=p$ là chất bán dẫn nội bản hay chất bán dẫn thuần. Thông thường người ta gặp nhiều khó khăn để chế tạo chất bán dẫn loại này.

Vậy ta có thể coi như dòng điện trong chất bán dẫn là sự hợp thành của dòng điện do những điện tử trong dải dẫn điện (đa số đối với chất bán dẫn loại N và thiểu số đối với chất bán dẫn loại P) và những lỗ trống trong dải hóa trị (đa số đối với chất bán dẫn loại P và thiểu số đối với chất bán dẫn loại N).



Hình 11

Tương ứng với những dòng điện này, ta có những mật độ dòng điện J , J_n , J_p sao cho: $J = J_n + J_p$

Ta đã chứng minh được trong kim loại:

$$J = n \cdot e \cdot v = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot E$$

Tương tự, trong chất bán dẫn, ta cũng có:

$$J_n = n \cdot e \cdot v_n = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot E \quad (\text{Mật độ dòng điện trôi của điện tử, } \mu_n \text{ là độ linh động của điện tử, } n \text{ là mật độ điện tử trong dải dẫn điện})$$

$$J_p = p \cdot e \cdot v_p = p \cdot e \cdot \mu_p \cdot E \quad (\text{Mật độ dòng điện trôi của lỗ trống, } \mu_p \text{ là độ linh động của lỗ trống, } p \text{ là mật độ lỗ trống trong dải hóa trị})$$

$$\text{Như vậy: } J = e \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \cdot E$$

Theo định luật Ohm, ta có:

$$J = \sigma \cdot E$$

$$\Rightarrow \sigma = e \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \text{ được gọi là dẫn suất của chất bán dẫn.}$$

$$\frac{dp}{dt} = 0; dI_p=0; P=P_0=\text{hằng số}$$

Phương trình (1) cho ta:

$$0 = g - \frac{p}{\tau_p} \Rightarrow g = \frac{P_0}{\tau_p}$$

Với P_0 là mật độ lỗ trống ở trạng thái cân bằng nhiệt. Thay trị số của g vào phương trình (1) và để ý rằng p và I_p vẫn tùy thuộc vào thời gian và khoảng cách x , phương trình (1) trở thành:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{p - p_0}{\tau_p} - \frac{\partial I_p}{\partial x} \cdot \frac{1}{eA} \quad (2)$$

Gọi là phương trình liên tục.

Tương tự với dòng điện tử I_n , ta có:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{n - n_0}{\tau_n} - \frac{\partial I_n}{\partial x} \cdot \frac{1}{eA} \quad (3)$$

TD: ta giải phương trình liên tục trong trường hợp p không phụ thuộc vào thời gian và dòng điện I_p là dòng điện khuếch tán của lỗ trống.

Ta có: $\frac{dp}{dt} = 0$ và $I_p = -D_p \cdot eA \cdot \frac{dp}{dx}$

Do đó, $\frac{dI_p}{dx} = -D_p \cdot eA \cdot \frac{d^2p}{dx^2}$

Phương trình (2) trở thành:

$$\frac{d^2p}{dx^2} = \frac{P - P_0}{D_p \cdot \tau_p} = \frac{P - P_0}{L_p^2}$$

Trong đó, ta đặt $L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p}$

Nghiệm số của phương trình (4) là:

$$P - P_0 = A_1 \cdot e^{\frac{x}{L_p}} + A_2 \cdot e^{\left(-\frac{x}{L_p}\right)}$$

Vì mật độ lỗ trống không thể tăng khi x tăng nên $A_1 = 0$

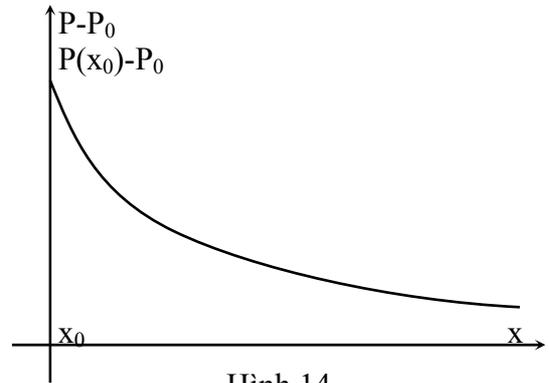
Do đó: $P - P_0 = A_2 \cdot e^{\left(-\frac{x}{L_p}\right)}$ tại $x = x_0$.

Mật độ lỗ trống là $p(x_0)$,

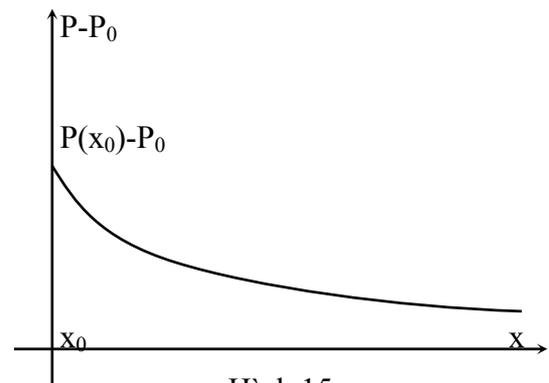
Do đó: $P(x_0) - P_0 = A_2 \cdot e^{\left(-\frac{x_0}{L_p}\right)}$

Suy ra, nghiệm của phương trình (4) là:

$$P(x) - P_0 = [P(x_0) - P_0] e^{\left(-\frac{x-x_0}{L_p}\right)}$$



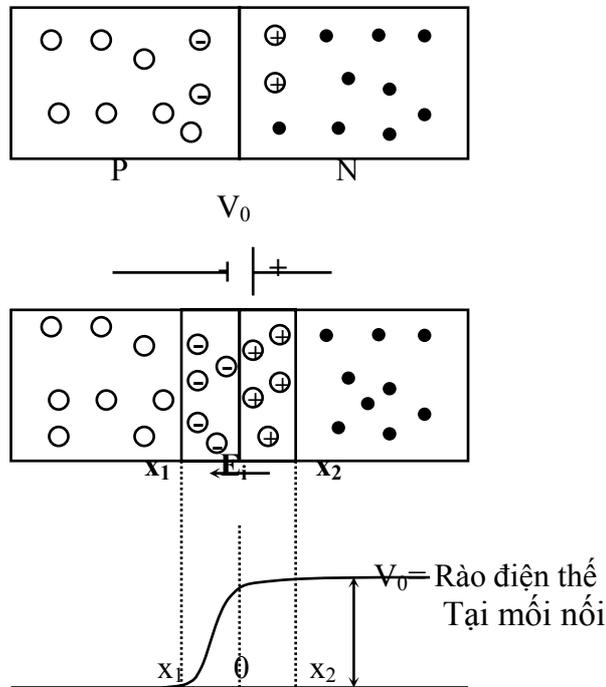
Hình 14



Hình 15

cùng, người ta phủ kim loại lên các vùng p và n+ và hàn dây nối ra ngoài. Ta được một nối P-N có mặt nối giữa vùng p và n+ thẳng.

Khi nối PN được thành lập, các lỗ trống trong vùng P khuếch tán sang vùng N và ngược lại, các điện tử trong vùng N khuếch tán sang vùng P. Trong khi di chuyển, các điện tử và lỗ trống có thể tái hợp với nhau. Do đó, có sự xuất hiện của một vùng ở hai bên mỗi nối trong đó chỉ có những ion âm của những nguyên tử nhận trong vùng P và những ion dương của nguyên tử cho trong vùng N. các ion dương và âm này tạo ra một điện trường E_j chống lại sự khuếch tán của các hạt điện, nghĩa là điện trường E_i sẽ tạo ra một dòng điện trôi ngược chiều với dòng điện khuếch tán sao cho dòng điện trung bình tổng hợp triệt tiêu. Lúc đó, ta có trạng thái cân bằng nhiệt. Trên phương diện thống kê, ta có thể coi vùng có những ion cố định là vùng không có hạt điện di chuyển (không có điện tử tự do ở vùng N và lỗ trống ở vùng P). Ta gọi vùng này là vùng khiếm khuyết hay vùng hiêm (Depletion region). Tương ứng với điện trường E_i , ta có một điện thế V_0 ở hai bên mặt nối, V_0 được gọi là rào điện thế.



Hình 2

Tính V_0 : ta để ý đến dòng điện khuếch tán của lỗ trống:

$$J_{pkt} = -e \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx} > 0$$

và dòng điện trôi của lỗ trống:

$$J_{ptr} = e \cdot p \cdot \mu_p \cdot E_i < 0$$

Khi cân bằng, ta có:

$$J_{pkt} + J_{ptr} = 0$$

các lỗ trống khuếch tán thẳng ngang qua mà không bị mất và tiếp tục khuếch tán sang vùng N nhưng bị mất lần vì có sự tái hợp với các điện tử trong vùng này.

Tương tự, sự khuếch tán của điện tử từ vùng N sang vùng P cũng tuân theo qui chế trên. Ta để ý là các đồ thị nhận một trục đối xứng vì tổng số các dòng điện lỗ trống và dòng điện tử phải bằng một hằng số.

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } J_{pp}(x_1) &= J_{pn}(x_2) \\ J_{np}(x_1) &= J_{nn}(x_2) \end{aligned}$$

Dòng điện J tại một tiết diện bất kỳ là hằng số. Vậy tại x_1 hoặc x_2 ta có:

$$J = J_{pp}(x_1) + J_{np}(x_1) = J_{pn}(x_2) + J_{nn}(x_2)$$

Dòng điện J_{pn} là dòng khuếch tán các lỗ trống, nên có trị số tại tiết diện x là:

$$J_{pn}(x) = -e \cdot D_p \cdot \frac{dP_n(x)}{dx}$$

Trong đó, $P_n(x)$ là mật độ lỗ trống trong vùng N tại điểm x. Ta tính $P_n(x)$

Ta dùng phương trình liên tục:

$$\frac{\partial P_n}{\partial t} = -\frac{P_n - P_{n_0}}{\tau_p} - \frac{\partial I_p}{\partial x} \cdot \frac{1}{e \cdot A}$$

Vì dòng điện J_{pn} không phụ thuộc vào thời gian nên phương trình trở thành:

$$\frac{d^2 P_n}{dx^2} = \frac{P_n - P_{n_0}}{L_p^2} \quad \text{Trong đó } L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p}$$

Và có nghiệm số là: $P_n(x) - P_{n_0} = [P_n(x_2) - P_{n_0}] e^{-\frac{x-x_2}{L_p}}$

$$\text{Suy ra, } J_{pn}(x_2) = -e \cdot D_p \left. \frac{dP_n}{dx} \right|_{x=x_2} = \frac{e \cdot D_p}{L_p} [P_n(x_2) - P_{n_0}]$$

Ta chấp nhận khi có dòng điện qua mối nối, ta vẫn có biểu thức: $dv = -V_T \frac{dp}{p}$ như trong trường hợp nối cân bằng.

Lấy tích phân hai vế từ x_1 đến x_2 ta được:

$$\int_0^{V_B} dv = -V_T \int_{P_{p(x_1)} \approx P_{p_0}}^{P_n(x_2)} \frac{dp}{p}$$

Ta được:

$$\text{Mà: } V_B = V_0 - V = V_T \log \left(\frac{P_{p_0}}{P_{n_0}} \right) - V$$

$$\text{Suy ra: } V = V_T \log \left(\frac{P_n(x_2)}{P_{n_0}} \right)$$

Nên: $P_n(x_2) = P_{n_0} \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$

Do đó: $J_{pn}(x_2) = e \cdot D_p \cdot \frac{1}{L_p} [P(x_2) - P_{n_0}]$

$$J_{pn}(x_2) = e \cdot \frac{D_p}{L_p} \cdot P_{n_0} \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Tương tự, ta có:

$$J_{np}(x_1) = e \cdot D_n \cdot \frac{1}{L_n} [n_p(x_1) - n_{p_0}]$$

$$J_{np}(x_1) = e \cdot \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Suy ra, mật độ dòng điện J trong mối nối P-N là:

$$J = J_{pn}(x_2) + J_{np}(x_1)$$

$$J = e \left[\frac{D_p}{L_p} \cdot p_{n_0} + \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \right] \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Như vậy, dòng điện qua mối nối P-N là:

$$I = A \cdot e \left[\frac{D_p}{L_p} \cdot p_{n_0} + \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \right] \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

$$\text{Đặt: } I_0 = A \cdot e \left[\frac{D_p}{L_p} \cdot p_{n_0} + \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \right]$$

$$\text{Ta được: } I = I_0 \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Phương trình này được gọi là phương trình Shockley

Trong đó: $V_T = \frac{kT}{e} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n}$

Với $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ là hằng số Boltzman

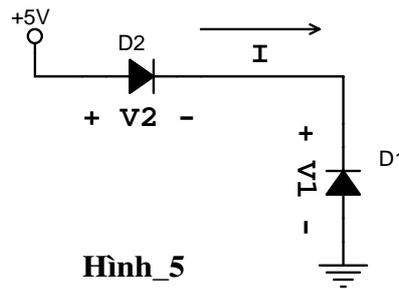
$e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$, là điện tích của electron

T là nhiệt độ tuyệt đối.

Ở nhiệt độ bình thường, $T=273^0\text{K}$, $V_T=0,026 \text{ volt}$. Khi mối nối chuyển vận bình thường, V thay đổi từ 0,3 V đến 0,7 V tùy theo mối là Ge hay Si, $\frac{V}{V_T} > 10 \Rightarrow e^{\frac{V}{V_T}} \gg 1$

$$\text{Vậy, } I \approx I_0 \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$

Ghi chú: Công thức trên chỉ đúng trong trường hợp dòng điện qua mối nối khá lớn (vùng đặc tuyến V-I thẳng, xem phần sau); với dòng điện I tương đối nhỏ (vài mA trở xuống), người ta chứng minh được dòng điện qua mối nối là:



D₁ và D₂ là 2 nối P-N Si. Tìm điện thế V₁ và V₂ xuyên qua nối.

Giải: Dòng điện qua 2 nối P-N là như nhau. Chú ý là dòng điện qua D₂ là dòng thuận và dòng qua D₁ là dòng nghịch.

$$\text{Vậy: } I = I_0 \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right] = I_0 \text{ với } \eta = 2 \text{ và } V_T = 0,026V$$

$$\Rightarrow e^{\frac{V_2}{0,052}} = 2$$

$$\Rightarrow V_2 = 0,693 \cdot 0,052 = 0,036(V)$$

Do đó, điện thế ngang qua nối phân cực nghịch là:

$$V_1 = 5 - V_2 = 5 - 0,036 = 4,964 (V)$$

I₀ là dòng điện bão hòa ngược. Dòng điện trong nối P-N có thể diễn tả bằng đồ thị sau đây, được gọi là đặc tuyến V-I của nối P-N.

Khi hiệu thế phân cực thuận còn nhỏ, dòng điện I tăng chậm. Khi hiệu thế phân cực thuận đủ lớn, dòng điện I tăng nhanh trong lúc hiệu điện thế hai đầu mỗi nối tăng rất ít.

Khi hiệu thế phân cực nghịch còn nhỏ, chỉ có 1 dòng điện rỉ I₀ chạy qua. Khi hiệu điện thế phân cực nghịch đủ lớn, những hạt tải điện sinh ra dưới tác dụng của nhiệt được điện trường trong vùng hiếm tăng vận tốc và có đủ năng lượng rút nhiều điện tử khác từ các nối hóa trị. Cơ chế này cứ chồng chất, sau cùng ta có một dòng điện ngược rất lớn, ta nói nối P-N ở trung vùng phá hủy theo hiện tượng tuyết lở (avalanche).

$$\frac{dI}{dV} = I_0 \left[\frac{1}{\eta V_T} \cdot e^{\frac{V}{\eta V_T}} \right]$$

Ngoài ra,

$$I = I_0 \cdot \left[e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right] = I_0 \cdot e^{\frac{V}{\eta V_T}} - I_0$$

Hay $I + I_0 = I_0 \cdot e^{\frac{V}{\eta V_T}}$

Do đó, $\frac{dI}{dV} = \frac{I + I_0}{\eta V_T}$

Và điện trở động là:

$$r_d = \frac{dI}{dV} = \frac{\eta V_T}{I + I_0}$$

Thông thường, $I \gg I_0$ nên $r_d = \frac{\eta V_T}{I}$

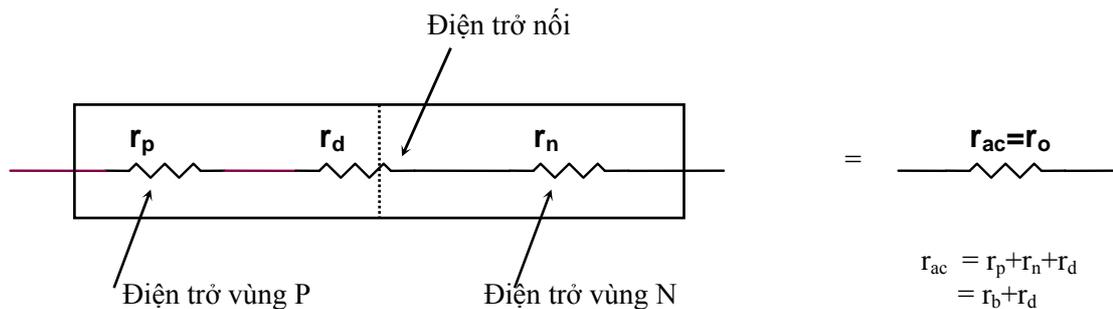
Ở nhiệt độ bình thường (25°C), $V_T = 26\text{mV}$, điện trở động là:

$$r_d = \frac{\eta \cdot 26\text{mV}}{I(\text{mA})}$$

Với dòng điện I khá lớn, $\eta=1$, điện trở động r_d có thể được tính theo công thức:

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{I(\text{mA})}$$

Ở nhiệt độ bình thường, nếu $I_Q = 100\text{mA}$ thì $r_d = 0,26\Omega$. Trong một nối P-N thực, vì có tiếp trở giữa các mối nối, điện trở giữa hai vùng bán dẫn P và N nên điện trở động thực sự lớn hơn nhiều so với trị số tính được, thông thường khoảng vài chục Ω .



Hình 11

Đây cũng chính là kiểu mẫu của Diode với tín hiệu nhỏ. Người ta cũng định nghĩa điện trở động khi phân cực nghịch

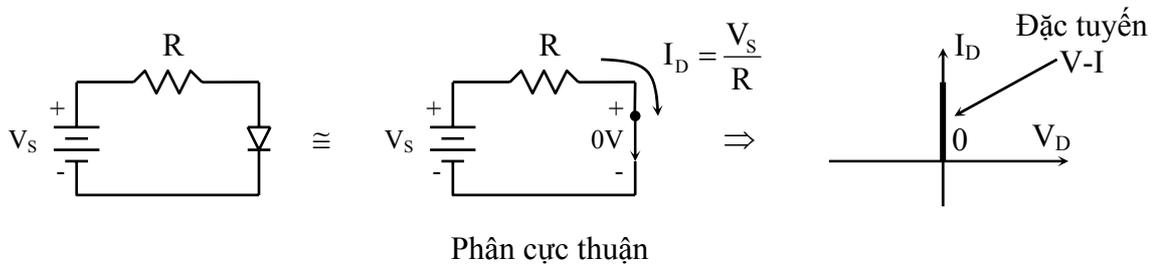
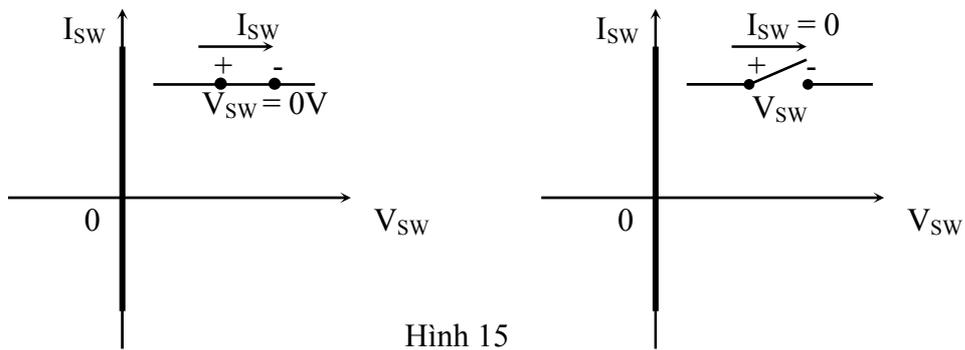
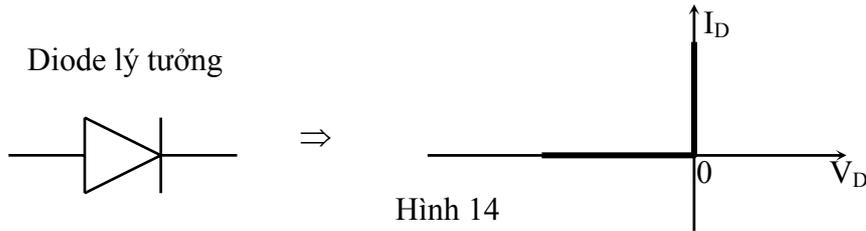
$$r_r = \left. \frac{dV}{dI} \right|_Q$$

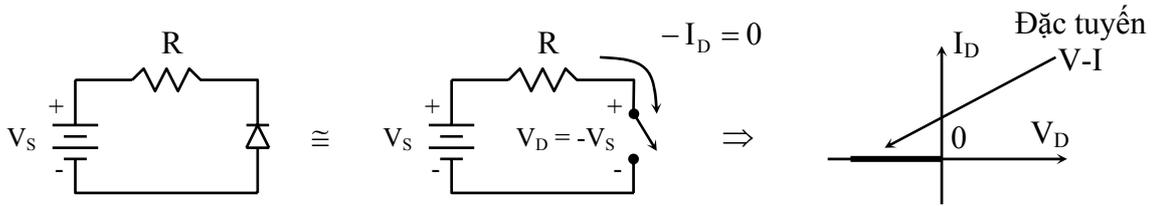
Trước khi xem qua một số sơ đồ chỉnh lưu thông dụng, ta xem qua một số kiểu mẫu thường dùng của diode.

Kiểu mẫu một chiều của diode. Diode lý tưởng (Ideal diode)

Trong trường hợp này, người ta xem như điện thế ngang qua diode khi phân cực thuận bằng không và nội trở của nó không đáng kể. Khi phân cực nghịch, dòng rỉ cũng xem như không đáng kể.

Như vậy, diode lý tưởng được xem như một ngắt (switch): ngắt điện đóng mạch khi diode được phân cực thuận và ngắt điện hở mạch khi diode được phân cực nghịch.



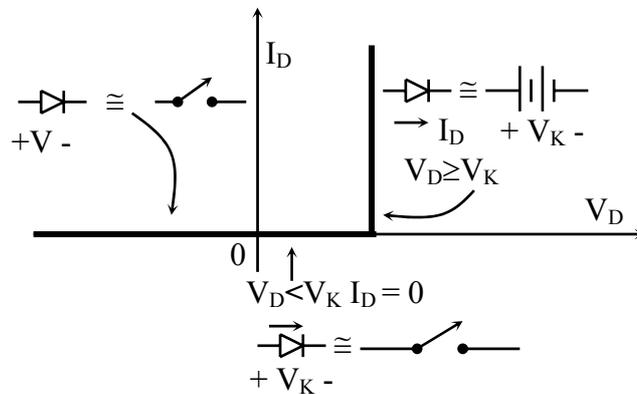


Phân cực nghịch
Hình 15

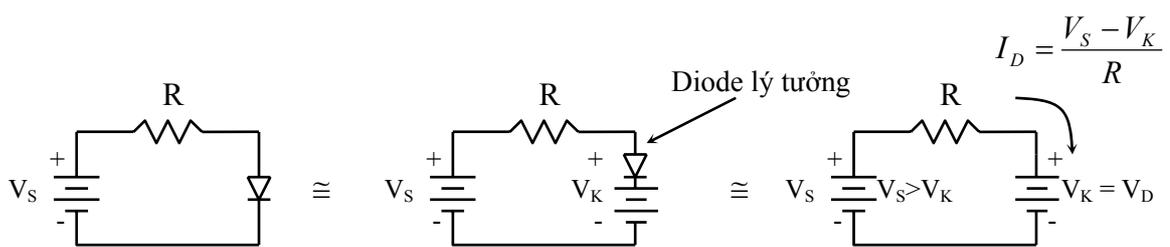
Kiểu mẫu điện thế ngưỡng (Knee-Voltage model)

Trong kiểu mẫu này, điện thế ngang qua diode khi được phân cực thuận là một hằng số và được gọi là điện thế ngưỡng V_K (khoảng 0,3V đối với diode Ge và 0,7 volt đối với diode Si).

Như vậy, khi phân cực thuận, diode tương đương với một diode lý tưởng nối tiếp với nguồn điện thế V_K , khi phân cực nghịch cũng tương đương với một ngắt điện hở.



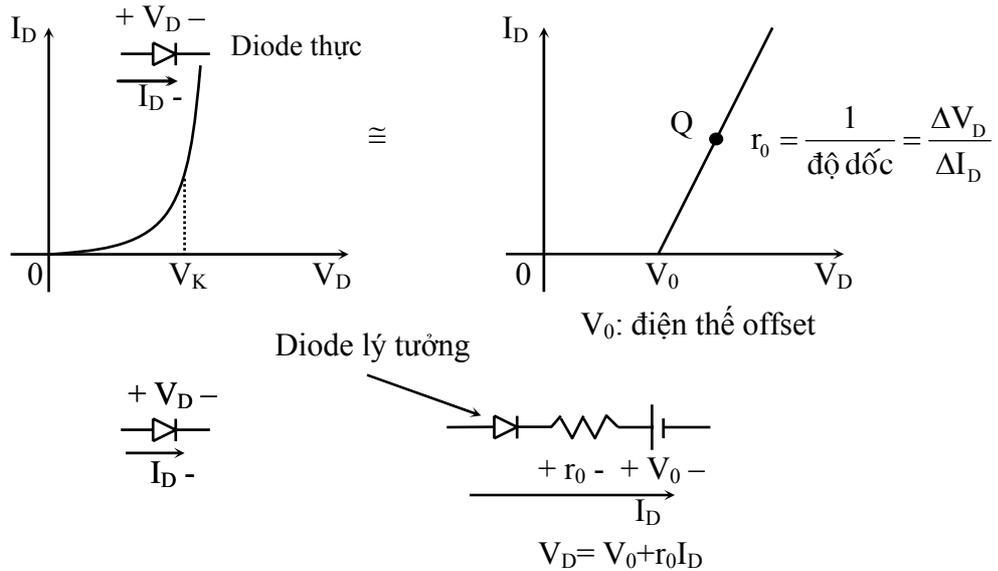
Hình 16



Hình 17

Kiểu mẫu diode với điện trở động:

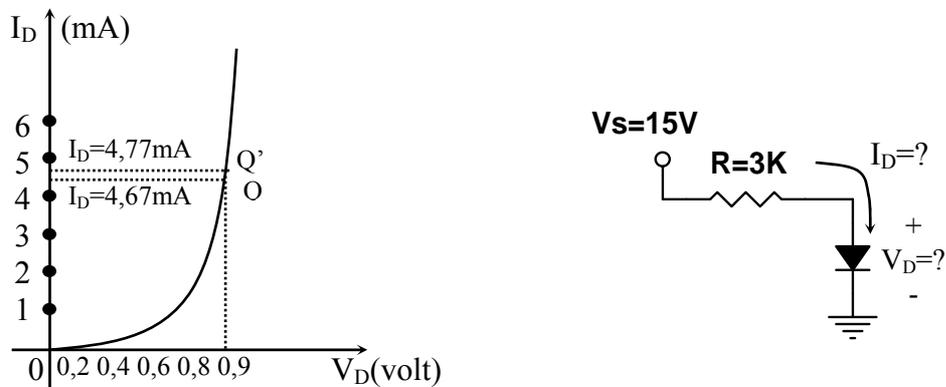
Khi điện thế phân cực thuận vượt quá điện thế ngưỡng V_K , dòng điện qua diode tăng nhanh trong lúc điện thế qua hai đầu diode V_D cũng tăng (tuy chậm) chứ không phải là hằng số như kiểu mẫu trên. Để chính xác hơn, lúc này người ta phải chú ý đến độ giảm thế qua hai đầu điện trở động r_0 .



Hình 18 - 19

Thí dụ:

Từ đặc tuyến V-I của diode 1N917(Si), xác định điện trở động r_0 và tìm điểm điều hành Q (I_D và V_D) khi nó được dùng trong mạch hình bên.

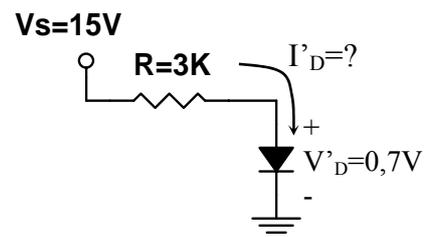


Hình 20

Giải:

Bước 1: dùng kiểu điện thế ngưỡng:

$$I'_D = \frac{V_s - V_K}{R} = \frac{15 - 0,7}{3\text{K}\Omega} = 4,77 \text{mA}$$



Hình 21

Bước 2: với $I_D = 4,77\text{mA}$, ta xác định được điểm Q' ($V_D = 0,9\text{V}$)

Bước 3: vẽ tiếp tuyến tại Q' với đặc tuyến để tìm điện thế offset V_0 .

$$V_0 = 0,74\text{V}$$

Bước 4: Xác định r_0 từ công thức:

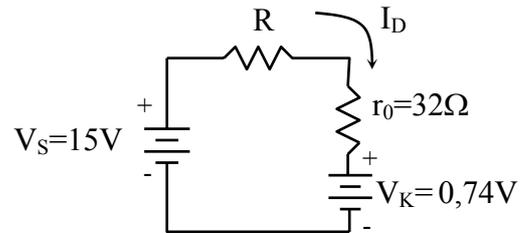
$$r_0 = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0,9 - 0,74}{4,77} = \frac{0,16}{4,77} \approx 32\Omega$$

Bước 5: Dùng kiểu mẫu với điện trở động r_0 .

$$I_D = \frac{V_S - V_0}{R + r_0} = \frac{15 - 0,74}{3000 + 32} = 0,00467\text{A}$$

$$I_D = 4,67\text{mA}$$

$$\text{Và } V_D = V_0 + r_0 I_D = 0,74 + 0,00467 \times 32 = 0,89\text{V}$$



Hình 22

Chú ý:

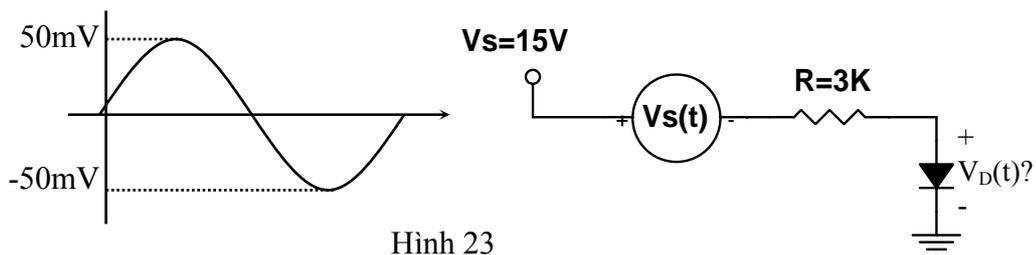
Trong trường hợp diode được dùng với tín hiệu nhỏ, điện trở động r_0 chính là điện trở động r_d mà ta đã thấy ở phần trước cộng với điện trở của hai vùng bán dẫn P và N.

$$r_0 = r_{ac} = r_p + r_n + r_d = r_B + r_d$$

$$\text{với } r_d = \eta \frac{26\text{mV}}{I_D \text{mA}}$$

Ví dụ: Xem mạch dùng diode 1N917 với tín hiệu nhỏ $V_S(t) = 50 \sin \omega t$ (mV).

Tìm điện thế $V_D(t)$ ngang qua diode, biết rằng điện trở r_B của hai vùng bán dẫn P-N là 10Ω .



Hình 23

Giải:

Theo ví dụ trước, với kiểu mẫu điện thế ngưỡng ta có $V_D = 0,7\text{V}$ và $I_D = 4,77\text{mA}$.

Từ đó ta tìm được điện trở nối r_d :

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{I_D} = \frac{26\text{mV}}{4,77\text{mA}} = 5,45\Omega$$

$$r_{ac} = 10 + 0,45 = 10,45\Omega$$

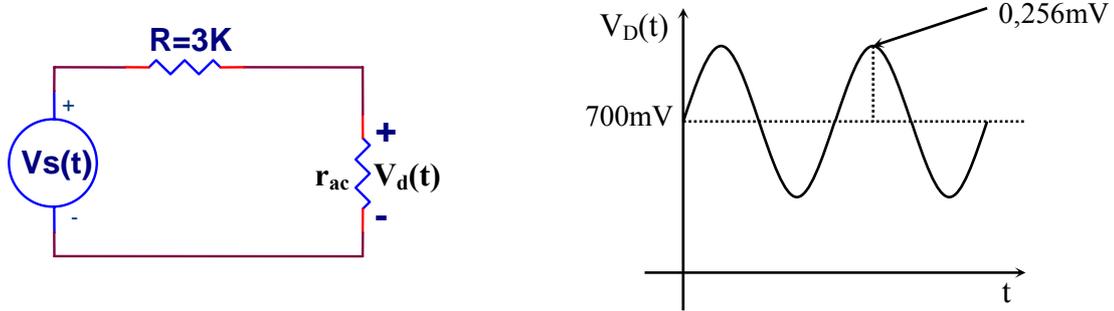
Mạch tương đương xoay chiều:

Điện thế đỉnh V_{dm} ngang qua diode là $V_{dm} = \frac{r_{ac}}{R + r_{ac}} V_m = \frac{15,45}{15,45 + 3000} \cdot 50$

$V_{dm} = 0,256 \text{ Sin}\omega t \text{ (mV)}$.

Vậy điện thế tổng cộng ngang qua diode là:

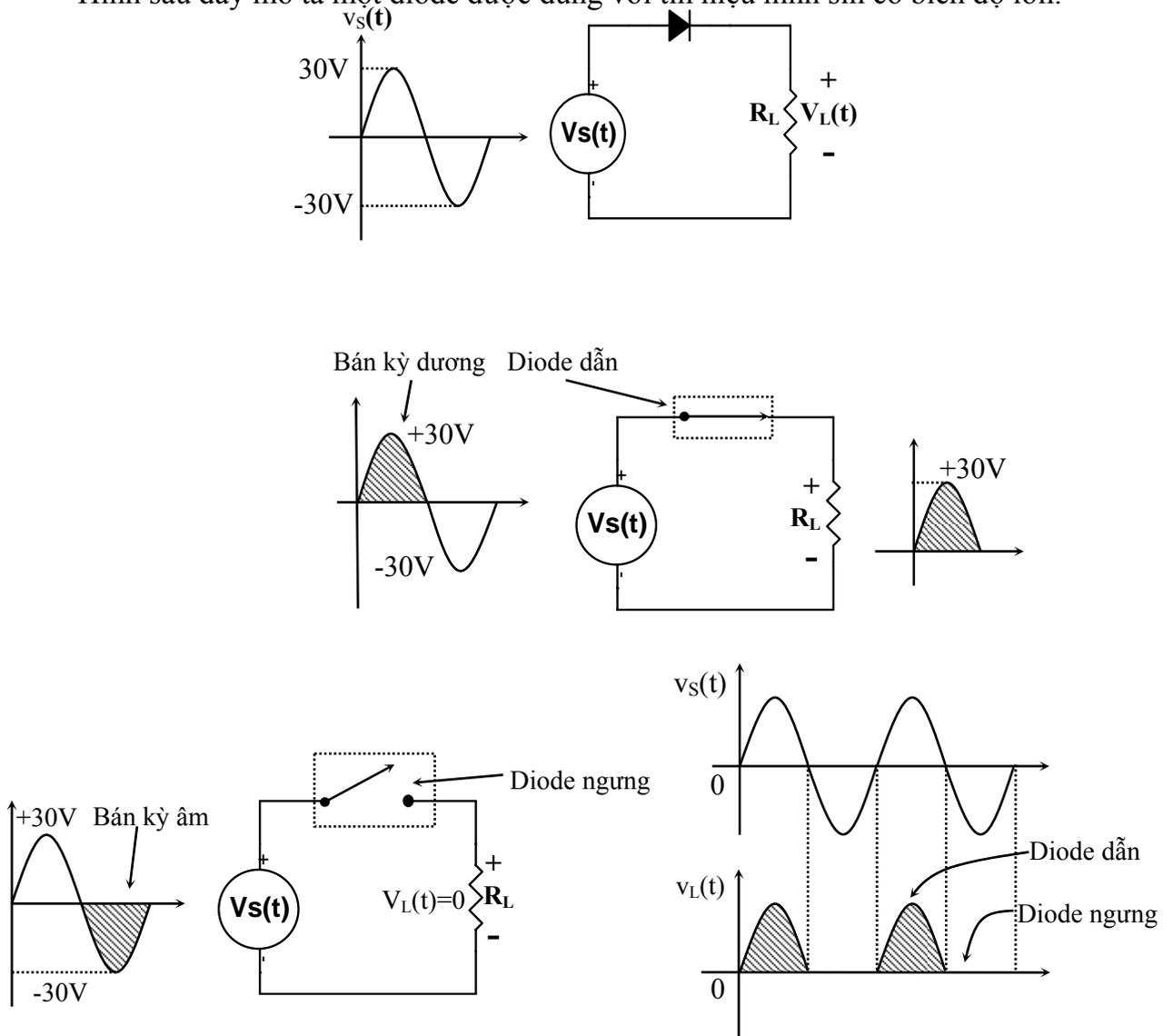
$V_D(t) = 700\text{mV} + 0,256 \text{ Sin } \omega t \text{ (mV)}$.



Hình 24

Kiểu mẫu tín hiệu rộng và hiệu ứng tần số.

Hình sau đây mô tả một diode được dùng với tín hiệu hình sin có biên độ lớn.



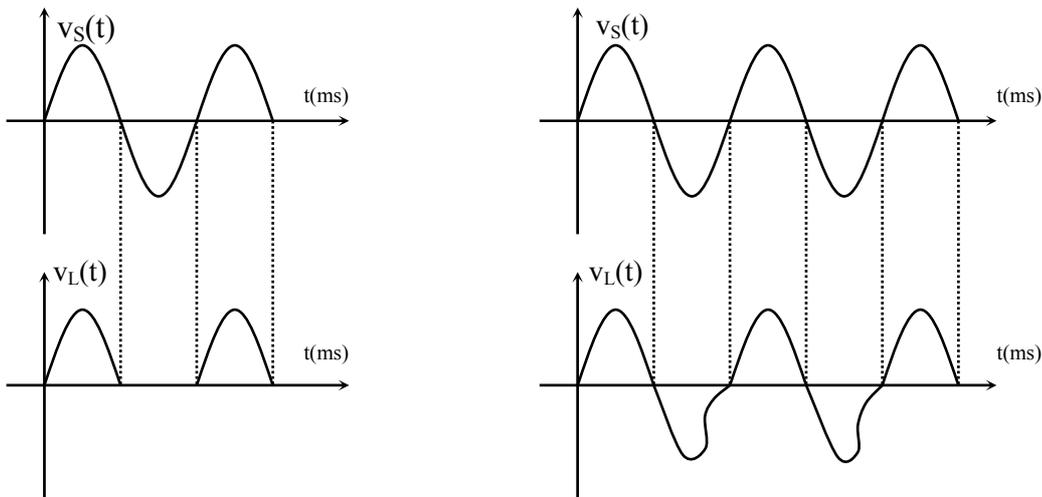
Hình 25

Khi diode được dùng với nguồn tín hiệu xoay chiều tín hiệu biên độ lớn, kiểu mẫu tín hiệu nhỏ không thể áp dụng được. vì vậy, người ta dùng kiểu mẫu một chiều tuyến tính.

Kết quả là ở nửa chu kỳ dương của tín hiệu, diode dẫn và xem như một ngắt điện đóng mạch. ở nửa chu kỳ âm kế tiếp, diode bị phân cực nghịch và có vai trò như một ngắt điện hở mạch. Tác dụng này của diode được gọi là chỉnh lưu nửa sóng (mạch chỉnh lưu sẽ được khảo sát kỹ ở giáo trình mạch điện tử).

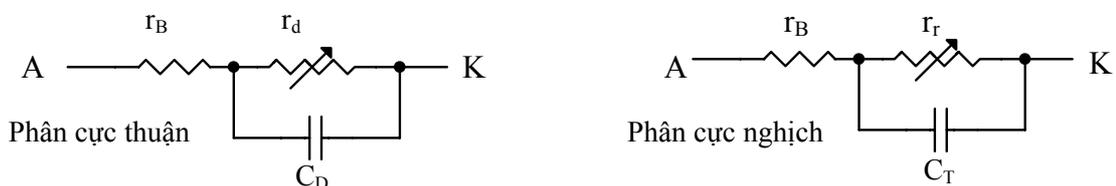
Đáp ứng trên chỉ đúng khi tần số của nguồn xoay chiều $V_S(t)$ thấp-thí dụ như điện 50/60Hz, tức chu kỳ $T=20ms/16,7ms$ -khi tần số của nguồn tín hiệu lên cao (chu kỳ ở hàng nano giây) thì ta phải quan tâm đến thời gian chuyển tiếp từ bán kỳ dương sang bán kỳ âm của tín hiệu.

Khi tần số của tín hiệu cao, điện thế ngõ ra ngoài bán kỳ dương (khi diode được phân cực thuận), ở bán kỳ âm của tín hiệu cũng qua được một phần và có dạng như hình vẽ. Chú ý là tần số của nguồn tín hiệu càng cao thì thành phần bán kỳ âm xuất hiện ở ngõ ra càng lớn.



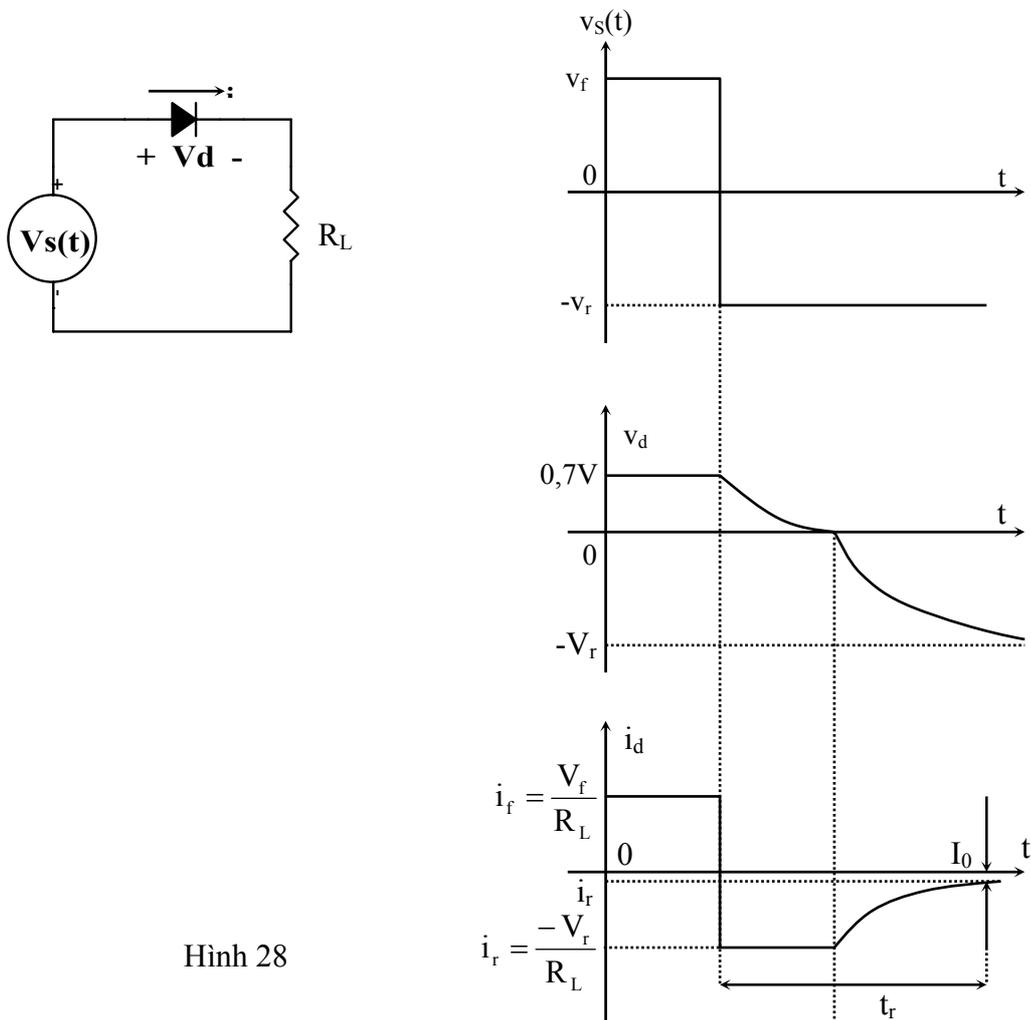
Hình 26

Hiệu ứng này do điện dung khuếch tán C_D của nối P-N khá lớn khi được phân cực thuận (C_D có trị từ 2000pF đến 15000pF). Tác dụng của điện dung này làm cho diode không thể thay đổi tức thời từ trạng thái dẫn sang trạng thái ngưng dẫn mà phải mất đi một thời gian (thường được gọi là thời gian hồi phục, kiểu mẫu diode phải kể đến tác dụng của điện dung của nối).



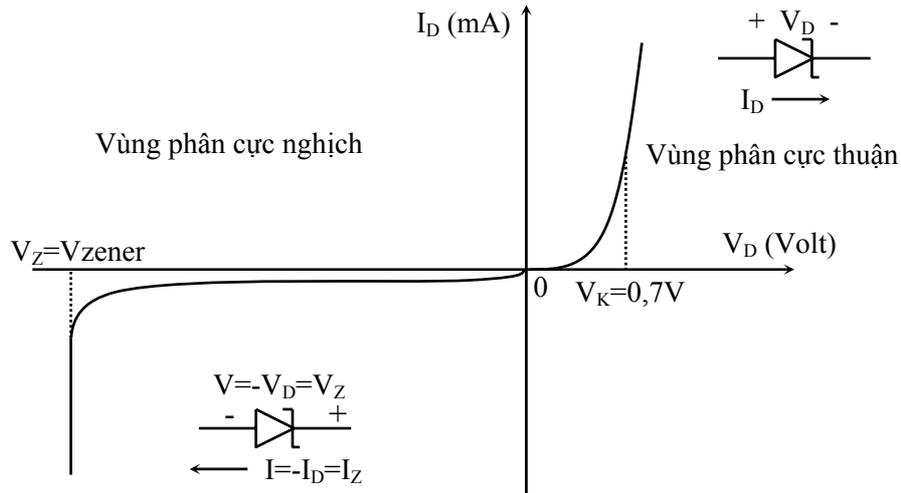
- r_B : Điện trở hai vùng bán dẫn P và N
- r_d : Điện trở động của nối P-N khi phân cực thuận (rất nhỏ)
- C_D : Điện dung khuếch tán
- r_r : Điện trở động khi phân cực nghịch (rất lớn)
- C_T : Điện dung chuyển tiếp

Để thấy rõ hơn thời gian hồi phục, ta xem đáp ứng của diode đối với hàm nấc (dạng sóng chữ nhật) được mô tả bằng hình vẽ sau.



Hình 28

Thông thường, giá trị của t_r có thể thay đổi từ nhỏ hơn 1 nano giây đến xấp xỉ $1\mu s$. Hiệu ứng của t_r trên diode chỉnh lưu (sóng sin) được diễn tả như hình sau. Người ta nhận thấy rằng, có thể bỏ qua thời gian hồi phục trên mạch chỉnh lưu khi $t_r < 0,1T$, với T là chu kỳ của sóng sin được chỉnh lưu.

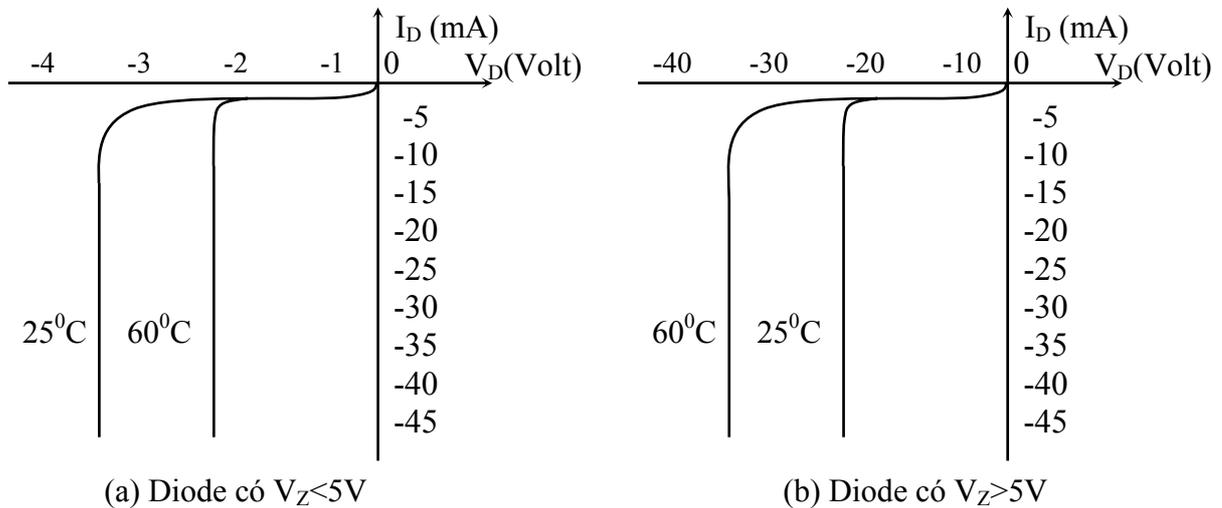


Hình 32

* Ảnh hưởng của nhiệt độ:

Khi nhiệt độ thay đổi, các hạt tải điện sinh ra cũng thay đổi theo:

- Với các diode Zener có điện thế Zener $V_Z < 5V$ thì khi nhiệt độ tăng, điện thế Zener giảm.
- Với các diode có điện thế Zener $V_Z > 5V$ (còn được gọi là diode tuyết đổ-diode avalanche) lại có hệ số nhiệt dương (V_Z tăng khi nhiệt độ tăng).
- Với các diode Zener có V_Z nằm xung quanh $5V$ gần như V_Z không thay đổi theo nhiệt độ.

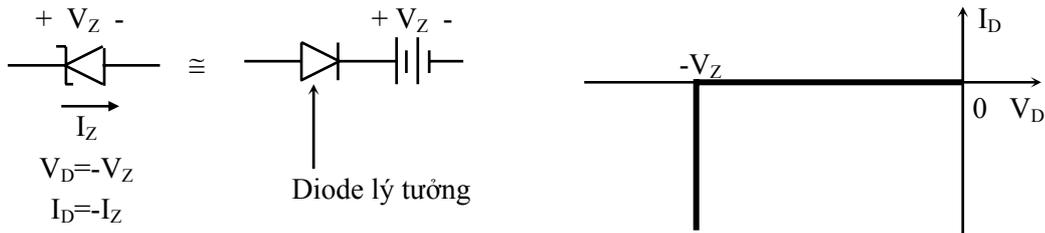


Hình 33

* Kiểu mẫu lý tưởng của diode Zener:

Trong kiểu mẫu lý tưởng, diode Zener chỉ dẫn điện khi điện thế phân cực nghịch lớn hay bằng điện thế V_Z . Điện thế ngang qua diode Zener không thay đổi và bằng điện thế

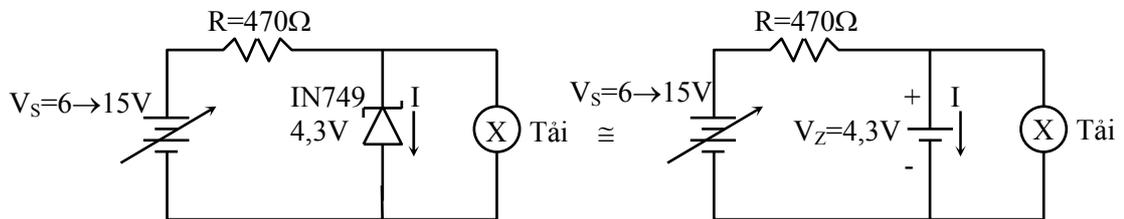
V_Z . Khi điện thế phân cực nghịch nhỏ hơn hay bằng điện thế V_Z , diode Zener không dẫn điện ($I_D=0$).



Hình 34

Do tính chất trên, diode zener thường được dùng để chế tạo điện thế chuẩn.

Thí dụ: mạch tạo điện thế chuẩn 4,3V dùng diode zener 1N749 như sau:



Hình 35

Khi chưa mắc tải vào, thí dụ nguồn $V_S=15V$, thì dòng qua zener là:

$$I = \frac{V_S - V_Z}{R} = \frac{15 - 4,3}{470} = 22,8\text{mA}$$

* Kiểu mẫu của diode zener đối với điện trở động:

Thực tế, trong vùng zener, khi dòng điện qua diode tăng, điện thế qua zener cũng tăng chút ít chứ không phải cố định như kiểu mẫu lý tưởng.

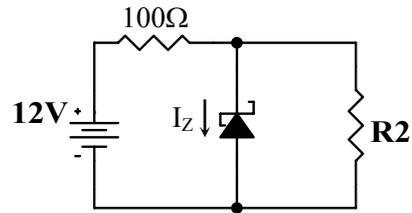
Người ta định nghĩa điện trở động của diode là:

$$r = Z_Z = \frac{V_{ZT} - V_{ZO}}{I_{ZT}}$$

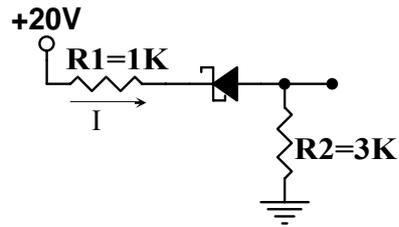
Trong đó: V_{ZO} là điện thế nghịch bắt đầu dòng điện tăng.

V_{ZT} là điện thế ngang qua hai đầu diode ở dòng điện sử dụng I_{ZT} .

3. Tính I_Z , V_O trong mạch điện sau khi $R_2 = 50\Omega$ và khi $R_2 = 200\Omega$. Cho biết Zener sử dụng có $V_Z = 6V$.



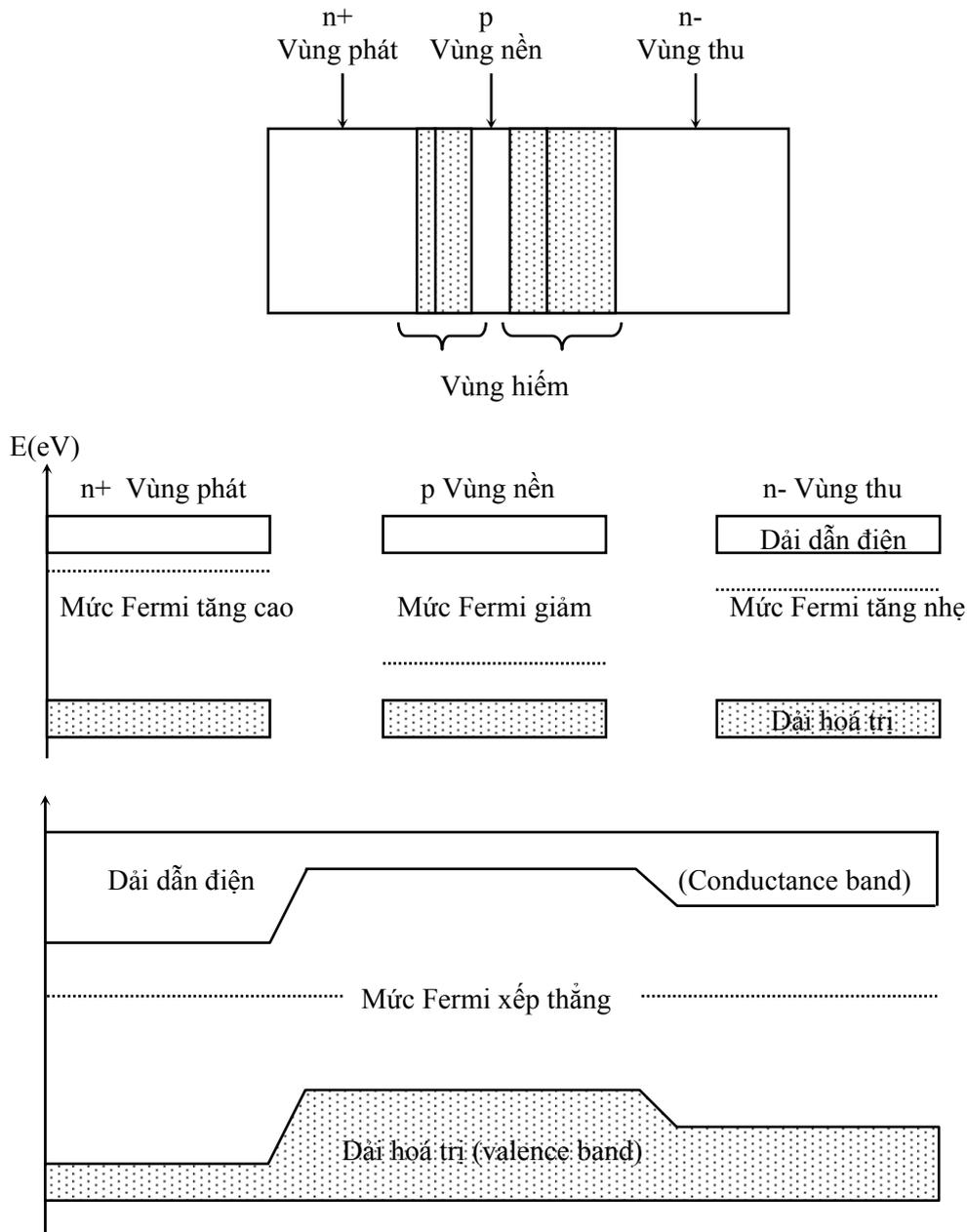
4. Tính I , V_O trong mạch sau, cho biết Zener có $V_Z = 8V$.



Khi nối P-N được xác lập, một rào điện thế sẽ được tạo ra tại nối. Các điện tử tự do trong vùng N sẽ khuếch tán sang vùng P và ngược lại, các lỗ trống trong vùng P khuếch tán sang vùng N. Kết quả là tại hai bên mỗi nối, bên vùng N là các ion dương, bên vùng P là các ion âm. Chúng đã tạo ra rào điện thế.

Hiện tượng này cũng được thấy tại hai nối của transistor. Quan sát vùng hiếm, ta thấy rằng kích thước của vùng hiếm là một hàm số theo nồng độ chất pha. Nó rộng ở vùng chất pha nhẹ và hẹp ở vùng chất pha đậm.

Hình sau đây mô tả vùng hiếm trong transistor NPN, sự tương quan giữa mức năng lượng Fermi, dải dẫn điện, dải hoá trị trong 3 vùng, phát nền, thu của transistor.



Hình 2

$$h_{FE} \approx \beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$$

Như vậy: $I_C = \beta_{DC} \cdot I_B$

Nhưng: $I_E = I_C + I_B = \beta_{DC} \cdot I_B + I_B$

$$\Rightarrow I_E = (\beta_{DC} + 1) \cdot I_B$$

Độ lợi dòng điện trong cách ráp cực nền chung được cho bởi:

$$h_{FB} \approx \alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$$

β_{DC} có trị số từ vài chục đến vài trăm, thậm chí có thể lên đến hàng ngàn. α_{DC} có trị từ 0,95 đến 0,999... tùy theo loại transistor. Hai thông số β_{DC} và α_{DC} được nhà sản xuất cho biết.

Từ phương trình căn bản:

$$I_E = I_C + I_B$$

Ta có: $I_C = I_E - I_B$

Chia cả hai vế cho I_C , ta được:

$$1 = \frac{I_E}{I_C} - \frac{I_B}{I_C} = \frac{1}{\frac{I_C}{I_E}} - \frac{1}{\frac{I_C}{I_B}}$$

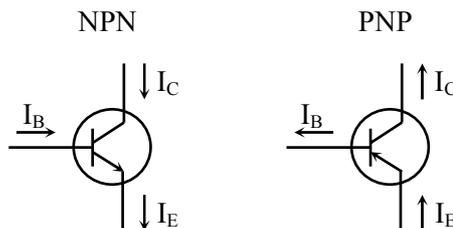
Như vậy: $1 = \frac{1}{\alpha_{DC}} - \frac{1}{\beta_{DC}}$

Giải phương trình này để tìm β_{DC} hay α_{DC} , ta được:

$$\beta_{DC} = \frac{\alpha_{DC}}{1 - \alpha_{DC}} \quad \text{và} \quad \alpha_{DC} = \frac{\beta_{DC}}{1 + \beta_{DC}}$$

* Ghi chú: các công thức trên là tổng quát, nghĩa là vẫn đúng với transistor PNP.

Ta chú ý dòng điện thực chạy trong hai transistor PNP và NPN có chiều như sau:



Hình 5

Thí dụ:

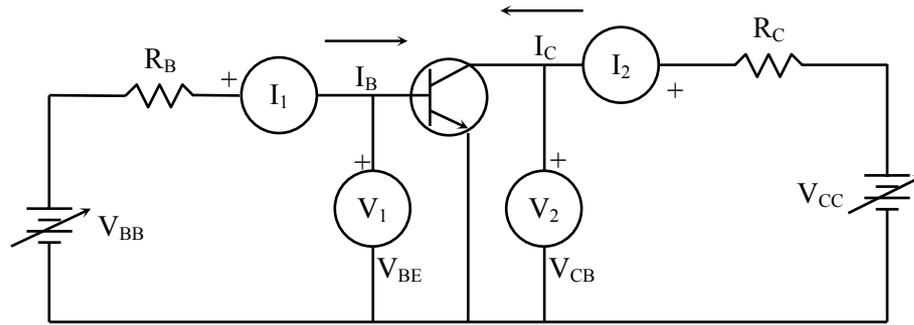
Một transistor NPN, Si được phân cực sau cho $I_C = 1\text{mA}$ và $I_B = 10\mu\text{A}$.

Tính β_{DC} , I_E , α_{DC} .

Giải: từ phương trình:

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}, \text{ Ta có: } \beta_{dc} = \frac{1\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 100$$

Từ phương trình:

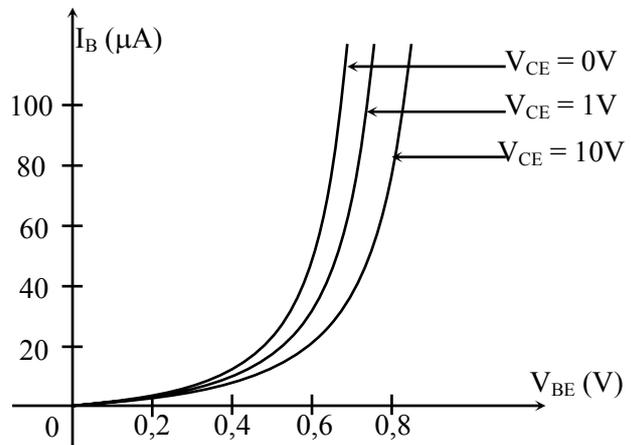


Hình 13

Đặc tuyến ngõ vào:

Biểu diễn sự thay đổi của dòng điện I_B theo điện thế ngõ vào V_{BE} . Trong đó hiệu thế thu phát V_{CE} chọn làm thông số.

Đặc tuyến như sau:

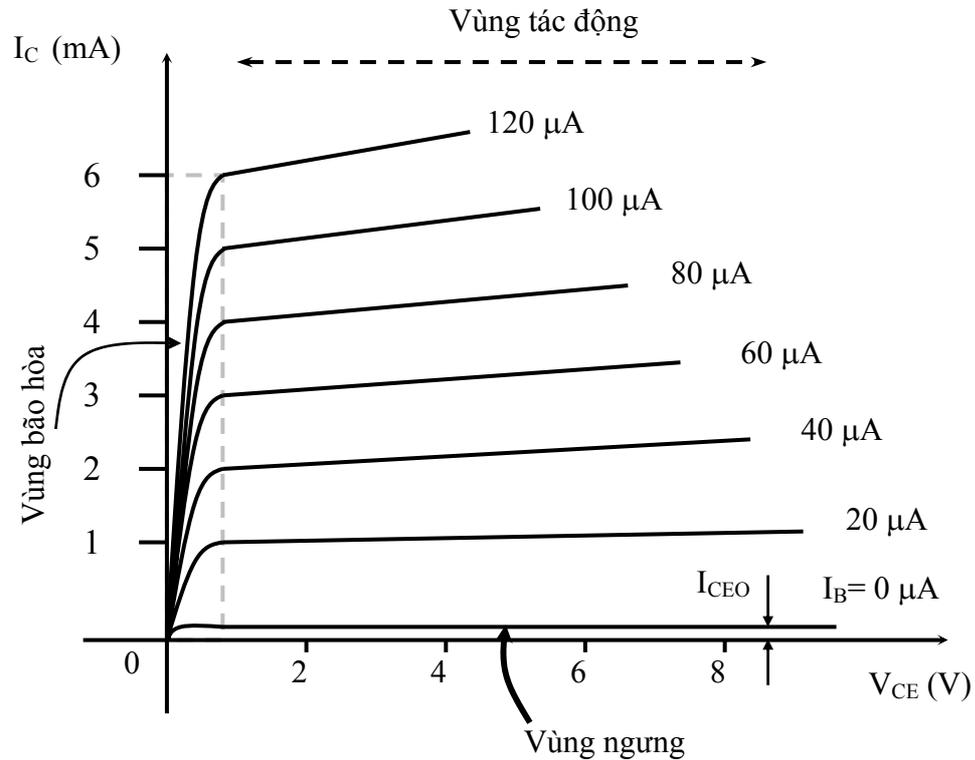


Hình 14

Đặc tuyến ngõ ra:

Biểu diễn dòng điện cực thu I_C theo điện thế ngõ ra V_{CE} với dòng điện ngõ vào I_B được chọn làm thông số.

Dạng đặc tuyến như sau:



Hình 15

- Ta thấy cũng có 3 vùng hoạt động của transistor: vùng bão hoà, vùng tác động và vùng ngưng.
- Khi nối tắt V_{BE} (tức $I_B=0$) dòng điện cực thu xấp xỉ dòng điện rỉ I_{CEO} .

Đặc tuyến truyền: (Transfer characteristic curve)

Từ đặc tuyến ngõ vào và đặc tuyến ngõ ra. Ta có thể suy ra đặc tuyến truyền của transistor. Đặc tuyến truyền biểu diễn sự thay đổi của dòng điện ngõ ra I_C theo điện thế ngõ vào V_{BE} với điện thế ngõ ra V_{CE} làm thông số.

Đặc tuyến có dạng như sau:

1. Mạch ngõ vào:

$$\text{Ta có: } V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = 0$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

Chú ý là $V_{BE} = 0,7V$ với BJT là Si và $V_{BE} = 0,3V$ nếu BJT là Ge.

2. Từ công thức $I_C = \alpha_{DC} I_E \cong I_E$.

Suy ra dòng điện cực thu I_C .

3. Mạch ngõ ra:

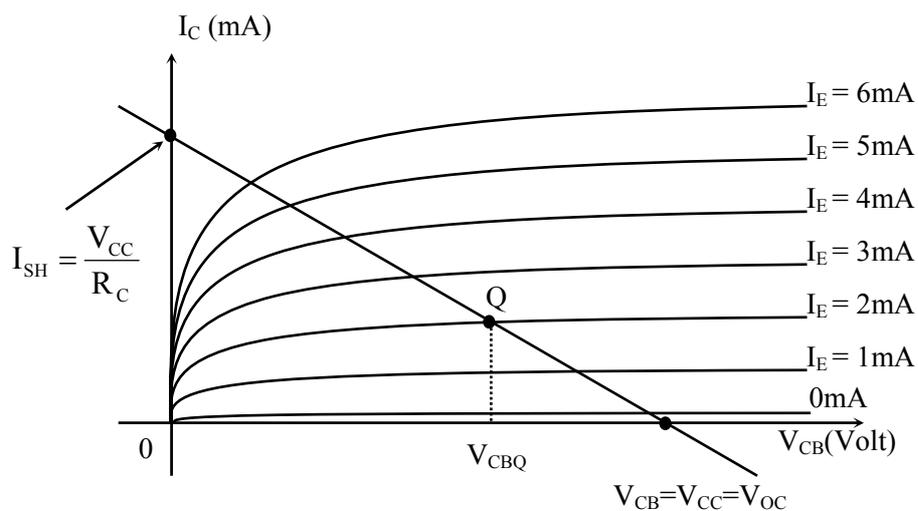
$$\text{Ta có: } V_{CB} - V_{CC} + R_C I_C = 0$$

$$\Rightarrow I_C = -\frac{V_{CB}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Đây là phương trình đường thẳng lấy điện một chiều (đường thẳng lấy điện tĩnh). Trên đặc tuyến ra, giao điểm của đường thẳng lấy điện với I_E tương ứng (thông số) của đặc tuyến ra chính là điểm tĩnh điều hành Q.

Ta chú ý rằng:

- Khi $V_{CB} = 0 \Rightarrow I_C = I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C}$ (Dòng điện bảo hoà)
- Khi $I_C = 0$ (dòng ngưng), ta có: $V_{CB} = V_{CC} = V_{OC}$

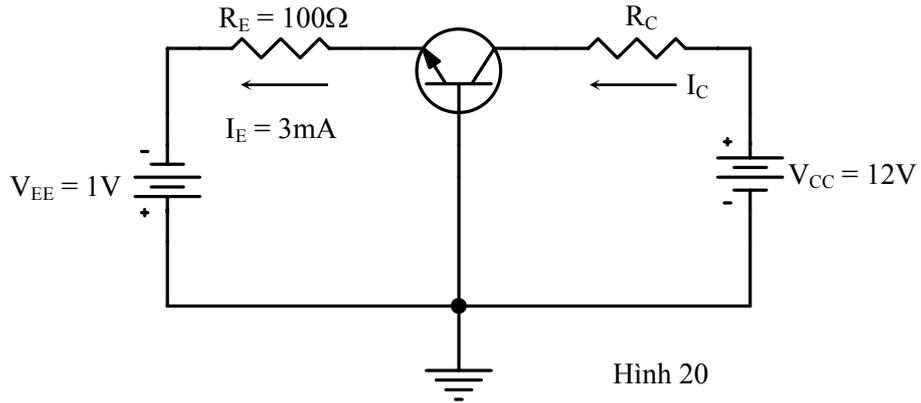


Hình 19

Một số nhận xét:

Để thấy ảnh hưởng tương đối của R_C, V_{CC}, I_E lên điểm điều hành, ta xem ví dụ sau đây:

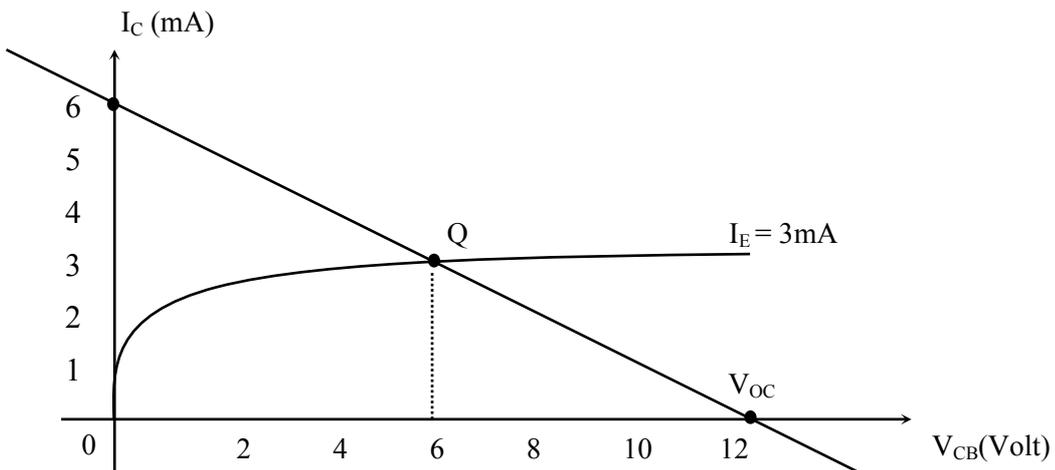
1. Ảnh hưởng của điện trở cực thu R_C : $R_C = 1,5K\Omega; 2K\Omega; 3 K\Omega$



Ta có:
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{1 - 1,7}{0,1} = 3mA \approx I_C$$

* Khi $R_C = 2 K\Omega$, $I_C = -\frac{V_{CB}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$

$$3 = -\frac{V_{CB}}{2} + \frac{12}{2} \Rightarrow V_{CB} = 6mA$$

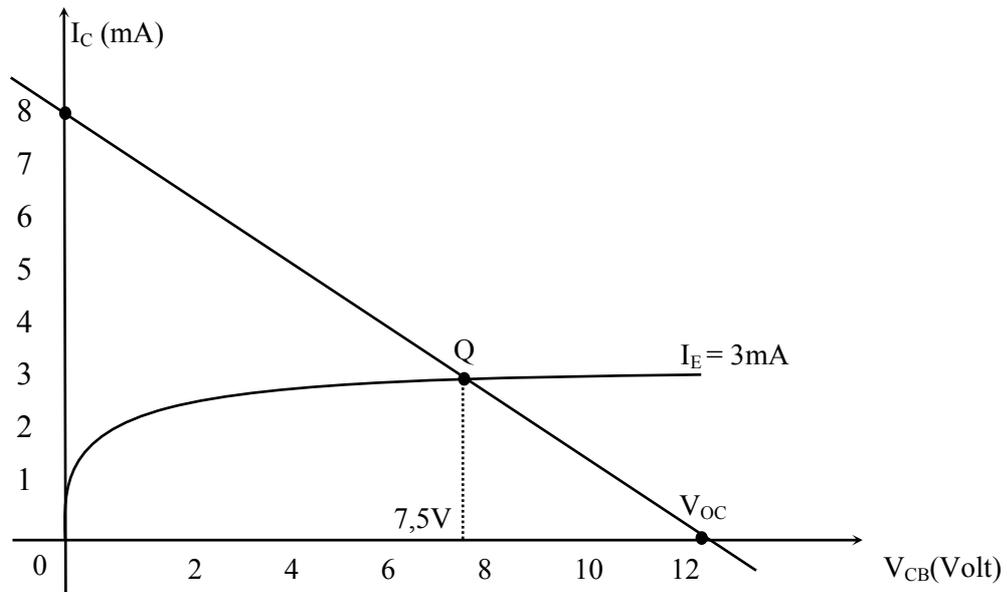


* Khi $R_C = 1,5 K\Omega$ (R_C giảm), giữ R_E, V_{EE}, V_{CC} không đổi.

$$I_C \neq I_E \neq 3mA$$

$$V_{CB} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 1,5 \times 3 = 7,5V$$

$$I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{1,5} = 8mA$$

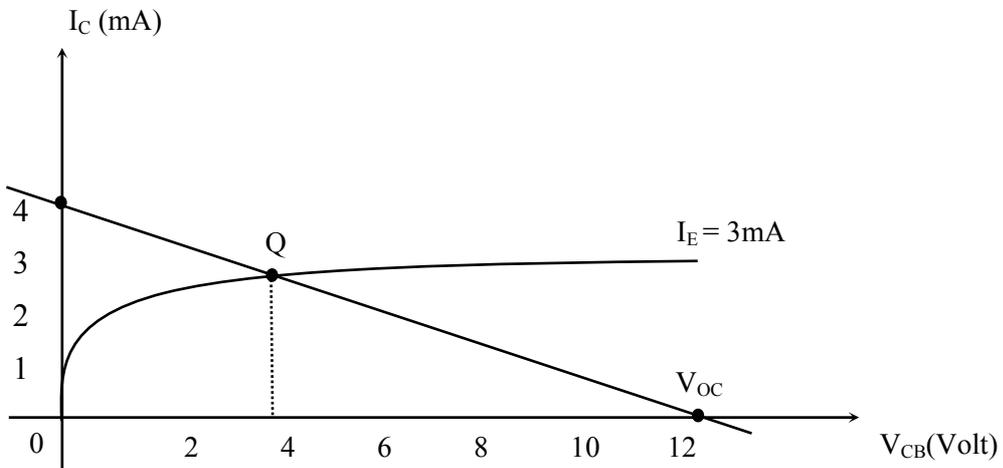


* Khi $R_C = 3\text{ K}\Omega$ (R_C tăng) Hình 22

$$I_C \# I_E = 3\text{mA}$$

$$V_{CB} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 3 \times 3 = 3\text{V}$$

$$I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{3} = 4\text{mA}$$



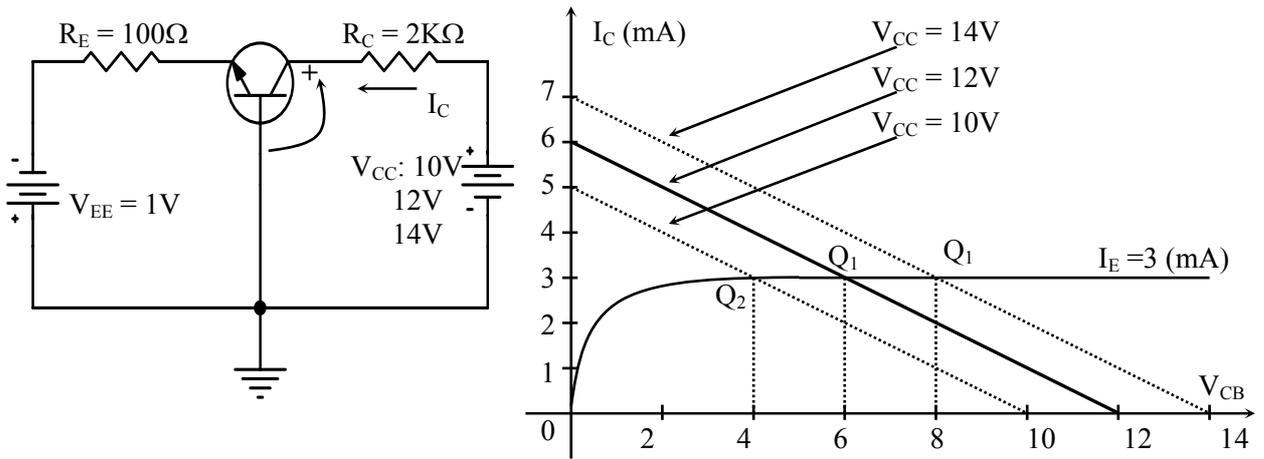
Hình 23

Như vậy, khi giữ các nguồn phân cực V_{CC} , V_{EE} và R_E cố định, thay đổi R_C , điểm điều hành Q sẽ chạy trên đặc tuyến tương ứng với $I_E = 3\text{mA}$. Khi R_C tăng thì V_{CB} giảm và ngược lại.

2. Ảnh hưởng của nguồn phân cực nối thu nền V_{CC} .

Nếu giữ I_E là hằng số (tức V_{EE} và R_E là hằng số), R_C là hằng số, thay đổi nguồn V_{CC} , ta thấy: Khi V_{CC} tăng thì V_{CB} tăng, khi V_{CC} giảm thì V_{CB} giảm.

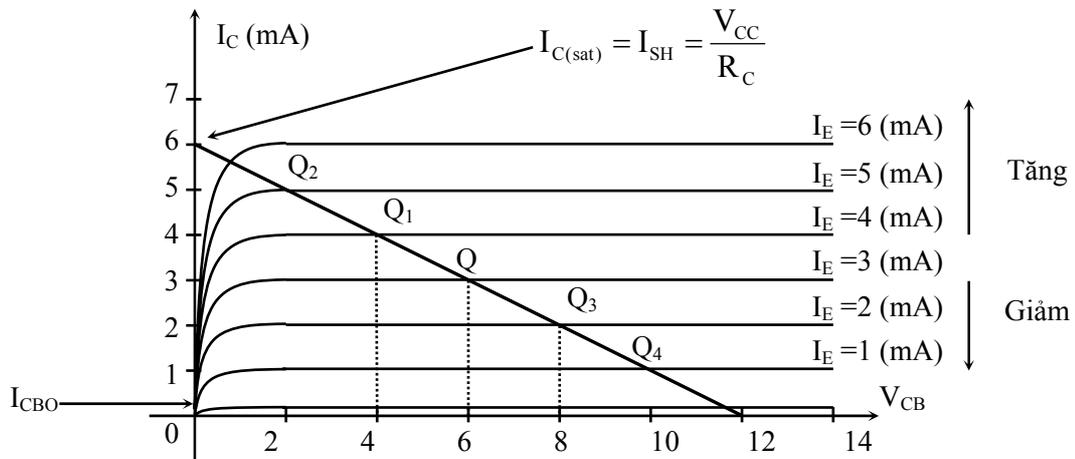
Thí dụ:



Hình 24

3. Ảnh hưởng của I_E lên điểm điều hành:

Nếu ta giữ R_C và V_{CC} cố định, thay đổi I_E (tức thay đổi R_E hoặc V_{EE}) ta thấy: khi I_E tăng thì V_{CB} giảm (tức I_C tăng), khi I_C giảm thì V_{CB} tăng (tức I_C giảm).



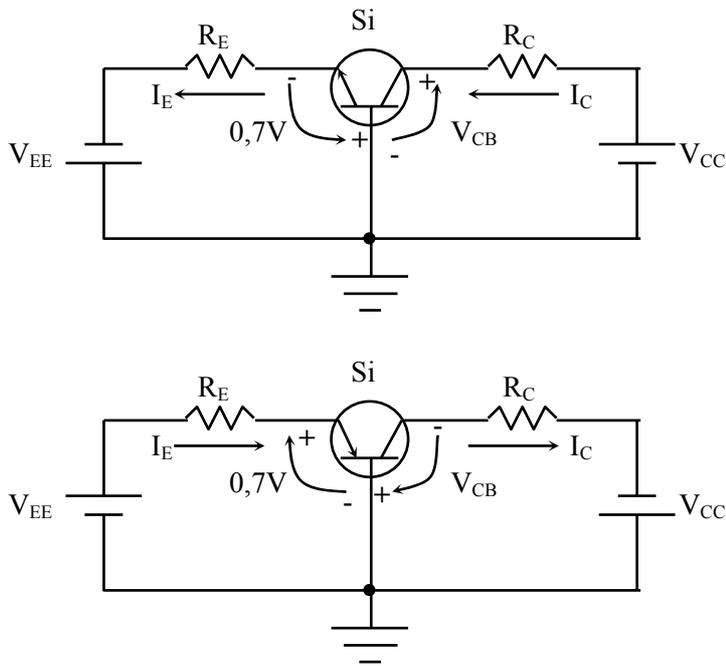
Hình 25

Khi I_E tăng thì I_C tăng theo và tiến dần đến trị I_{SH} . Transistor dần dần đi vào vùng bão hoà. Dòng tối đa của I_C , tức dòng bão hoà gọi là $I_C(sat)$. Như vậy:

$$I_C(sat) = I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Lúc này, V_{CB} giảm rất nhỏ và xấp xỉ bằng 0V (thật sự là 0,2V).

Khi I_E giảm thì I_C giảm theo. Transistor đi dần vào vùng ngưng, V_{CB} lúc đó gọi là $V_{CB(off)}$ và $I_C = I_{CBO}$.



Hình 27

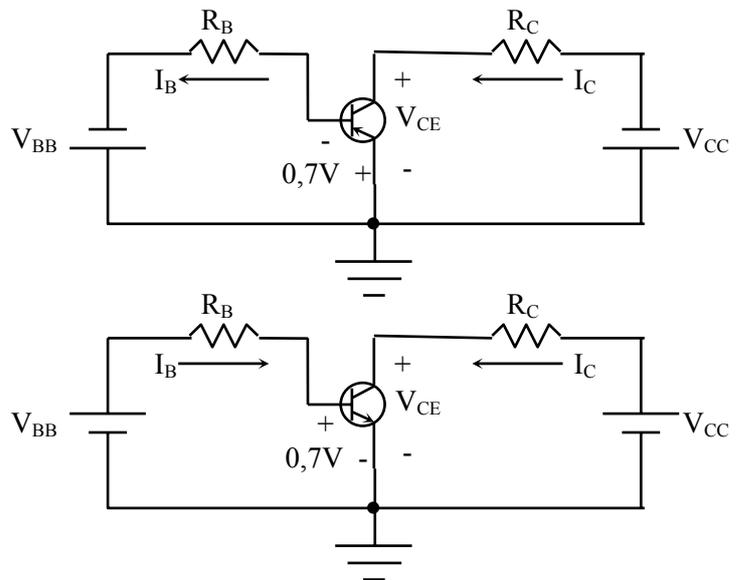
Ta dùng 3 bước:

Mạch nền phát (ngõ vào): $I_E = \frac{V_{EE} - 0,7}{R_E}$; $I_C \approx \alpha_{DC} \cdot I_E$

Áp dụng định luật kirchoff (ngõ ra), ta có:

- Với transistor NPN: $V_{CB} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$; $V_{CB} > 0$
- Với transistor PNP: $V_{CB} = -V_{CC} + R_C \cdot I_C$; $V_{CB} < 0$

Thí dụ 2: Tính dòng điện I_B , I_C và điện thế V_{CE} của mạch cực phát chung.



Hình 28

Mạch nền phát (ngõ vào): $I_B = \frac{V_{BB} - 0,7}{R_B}$

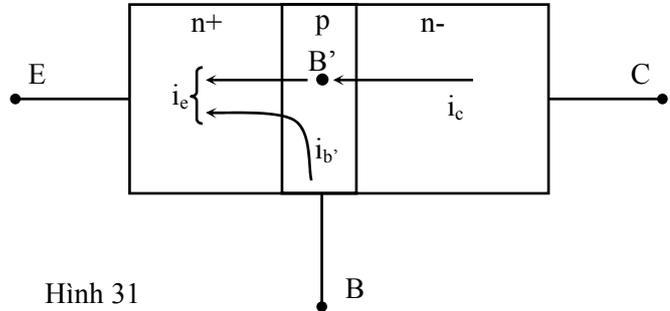
Dòng $I_C = \beta_{DC} \cdot I_B$

Mạch thu phát (ngõ ra)

$$v_{BE}(t) = V_{BE} + v_{be}(t)$$

Thành phần tức thời = thành phần DC + thành phần xoay chiều.

Trong mô hình các dòng điện chạy trong transistor ta thấy: điểm B' nằm trong vùng nền được xem như trung tâm giao lưu của các dòng điện. Do nối nền phát phân cực thuận nên giữa B' và E cũng có một điện trở động r_e giống như điện trở động r_d trong nối P-N khi phân cực thuận nên: $r_e = \frac{26mV}{I_E}$



Hình 31

Ngoài ra, ta cũng có điện trở r_b của vùng bán dẫn nền phát (ở đây, ta có thể coi như đây là điện trở giữa B và B'). Do giữa B' và C phân cực nghịch nên có một điện trở r_0 rất lớn. Tuy nhiên, vẫn có dòng điện $i_c = \alpha \cdot i_e = \beta i_b$ chạy qua và được coi như mắc song song với r_0 .

* α là độ lợi dòng điện xoay chiều trong cách mắc nền chung:

$$\alpha = \alpha_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{di_C}{di_E} = \frac{i_c}{i_e}$$

Thông thường α hoặc α_{ac} gần bằng α_{DC} và xấp xỉ bằng đơn vị.

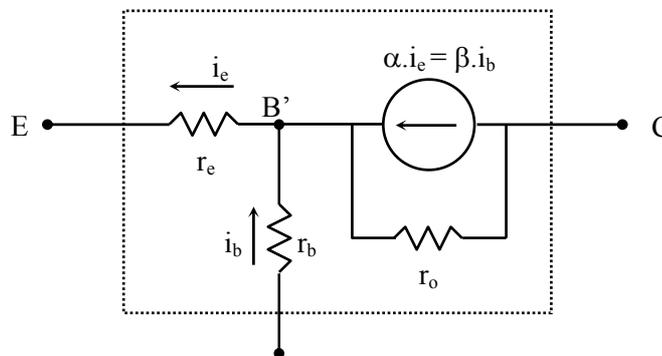
* β là độ lợi dòng điện xoay chiều trong cách mắc cực phát chung.

$$\beta = \beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{di_C}{di_B} = \frac{i_c}{i_b}$$

Thông thường β hoặc β_{ac} gần bằng β_{DC} và cũng thay đổi theo dòng i_c .

Trị số α , β cũng được nhà sản xuất cung cấp.

Như vậy, mô hình của transistor đối với tín hiệu xoay chiều có thể được mô tả như sau:



r_b thường có trị số khoảng vài chục Ω , r_0 rất lớn nên có thể bỏ qua trong mô hình của transistor.

Vì $i_e = (\beta + 1)i_b$ nên mạch trên có thể vẽ lại như hình phía dưới bằng cách coi như dòng i_e chạy trong mạch và phải thay r_b bằng $\frac{r_b}{\beta + 1}$.

Vậy:
$$R_{in} = \frac{V_{be}}{i_e} = \frac{r_b}{\beta + 1} + r_e = \frac{r_b + (\beta + 1)r_e}{\beta + 1}$$

Đặt:
$$h_{ie} = r_b + (\beta + 1)r_e$$

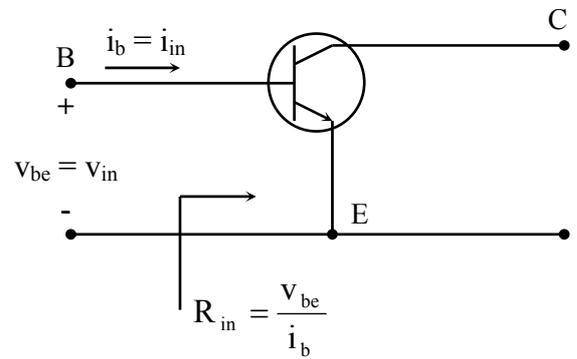
Suy ra:
$$R_{in} = \frac{h_{ie}}{\beta + 1}$$

Do $\beta \gg 1$, r_b nhỏ nên $\frac{r_b}{\beta + 1} \ll r_e$ nên người ta thường coi như:

$$R_{in} = r_e + \frac{r_b}{\beta + 1} \approx r_e$$

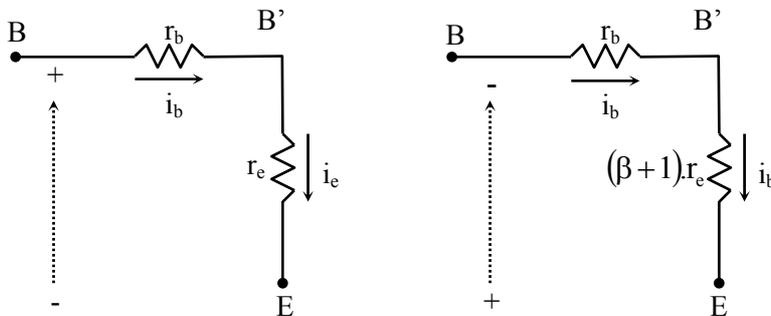
Tổng trở vào nhìn từ cực nền B:

Xem mô hình định nghĩa sau (hình 37):



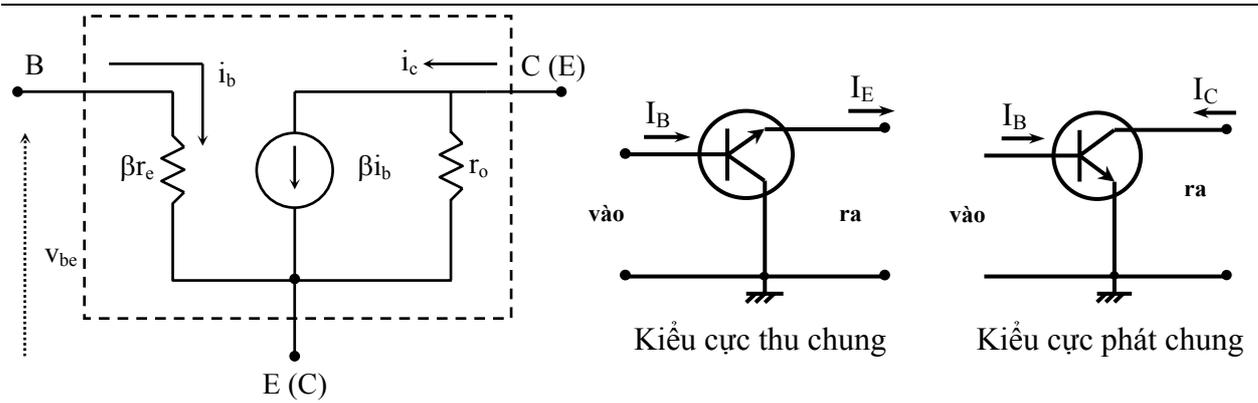
Hình 37

Mạch tương đương ngõ vào:



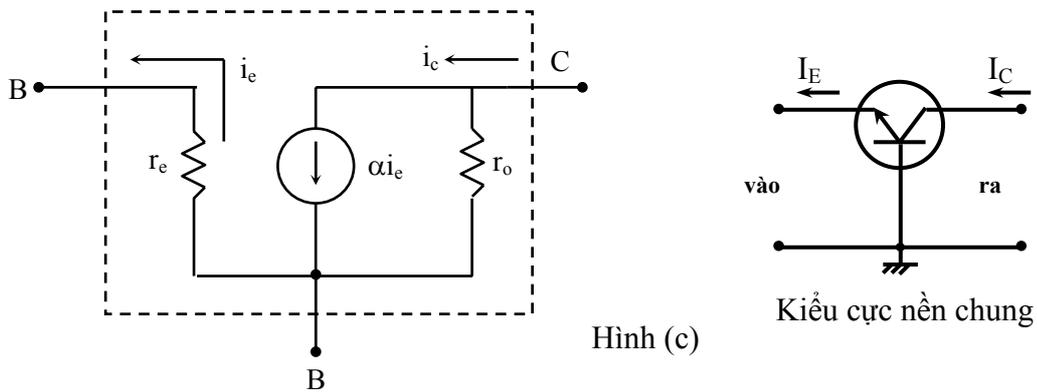
Hình 38

Do $i_e = (\beta + 1)i_b$ nên mạch hình (a) có thể được vẽ lại như mạch hình (b).



Hình 40(b)

- Kiểu cực nền chung



Hình (c)

Thường người ta có thể bỏ r_o trong mạch tương đương khi R_C quá lớn.

Kiểu thông số h: (h-parameter)

Nếu ta coi v_{be} và i_c là một hàm số của i_B và v_{CE} , ta có:

$$v_{BE} = f(i_B, v_{CE}) \text{ và } i_C = f(i_B, v_{CE})$$

Lấy đạo hàm:

$$v_{be} = dv_{BE} = \frac{\delta v_{BE}}{\delta i_B} di_B + \frac{\delta v_{BE}}{\delta v_{CE}} dv_{CE}$$

$$i_c = di_C = \frac{\delta i_C}{\delta i_B} di_B + \frac{\delta i_C}{\delta v_{CE}} dv_{CE}$$

Trong kiểu mẫu thông số h, người ta đặt:

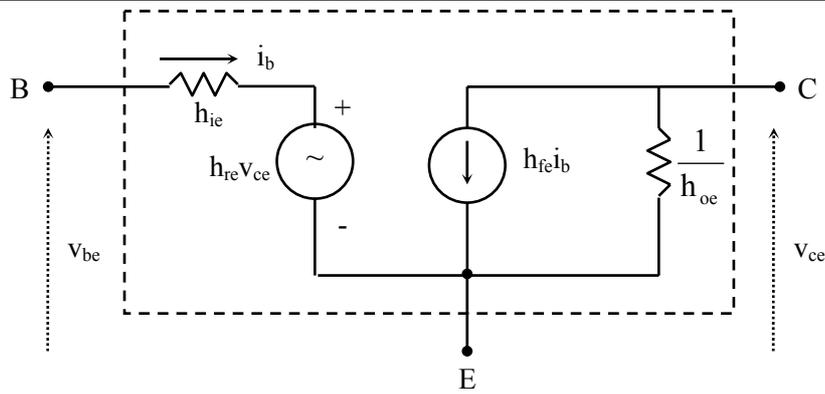
$$h_{ie} = \frac{\delta v_{BE}}{\delta i_B}; \quad h_{re} = \frac{\delta v_{BE}}{\delta v_{CE}}; \quad h_{fe} = \beta = \frac{\delta i_C}{\delta i_B}; \quad h_{oe} = \frac{\delta i_C}{\delta v_{CE}}$$

Vậy, ta có:

$$v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce}$$

Từ hai phương trình này, ta có mạch điện tương đương theo kiểu thông số h:



Hình 41

h_{re} thường rất nhỏ (ở hàng 10^{-4}), vì vậy, trong mạch tương đương người ta thường bỏ $h_{re} \cdot V_{ce}$.

So sánh với kiểu hỗn tạp, ta thấy rằng:

$$h_{ie} = r_b + (\beta + 1)r_e = r_b + r_\pi$$

Do $r_b \ll r_\pi$ nên $h_{ie} = r_\pi$

Nếu bỏ qua h_{re} , ta thấy:

$$i_b = \frac{V_{be}}{h_{ie}} \quad \text{Vậy: } h_{fe}i_b = h_{fe} \cdot \frac{V_{be}}{h_{ie}}$$

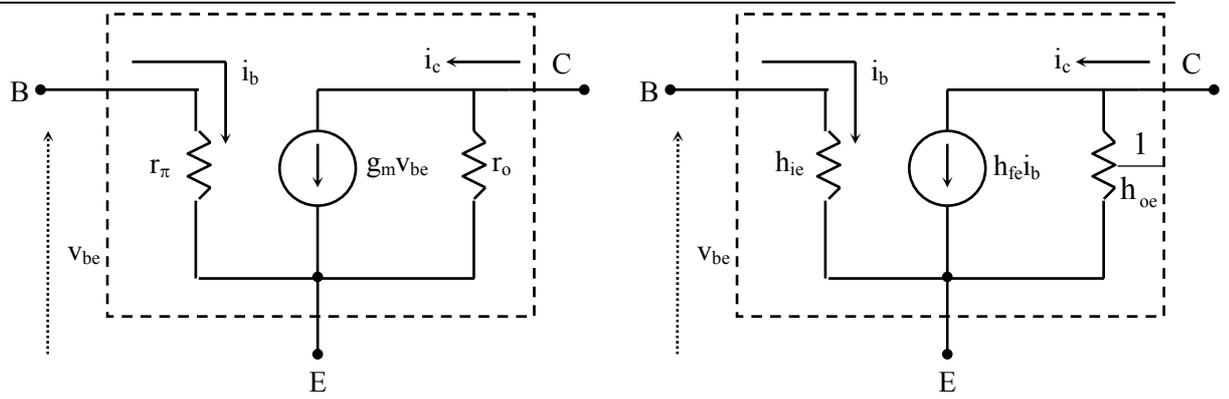
$$\text{Do đó, } g_m v_{be} = h_{fe} i_b = h_{fe} \frac{v_{be}}{h_{ie}};$$

$$\text{Hay } g_m = \frac{h_{fe}}{h_{ie}}$$

$$\text{Ngoài ra, } r_0 = \frac{1}{h_{oe}}$$

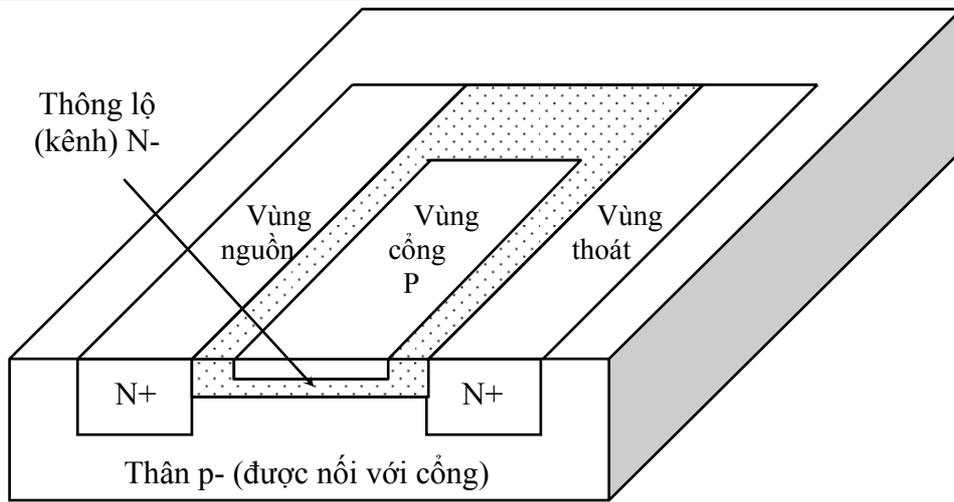
Các thông số h do nhà sản xuất cho biết.

Trong thực hành, r_0 hay $\frac{1}{h_{oe}}$ mắc song song với tải. Nếu tải không lớn lắm (khoảng vài chục $K\Omega$ trở lại), trong mạch tương đương, người ta có thể bỏ qua r_0 (khoảng vài trăm $K\Omega$).



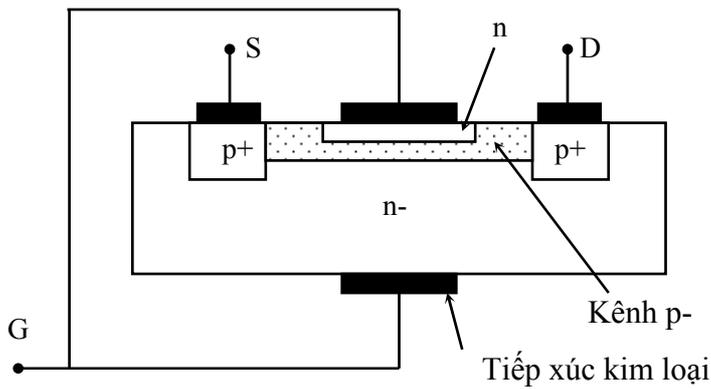
Hình 42

Mạch tương đương đơn giản: (có thể bỏ r_o hoặc $\frac{1}{h_{oe}}$)

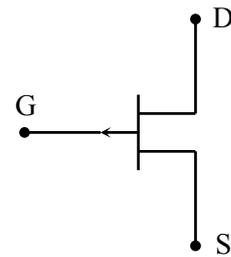


Hình 1

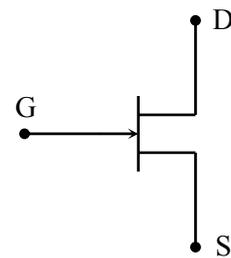
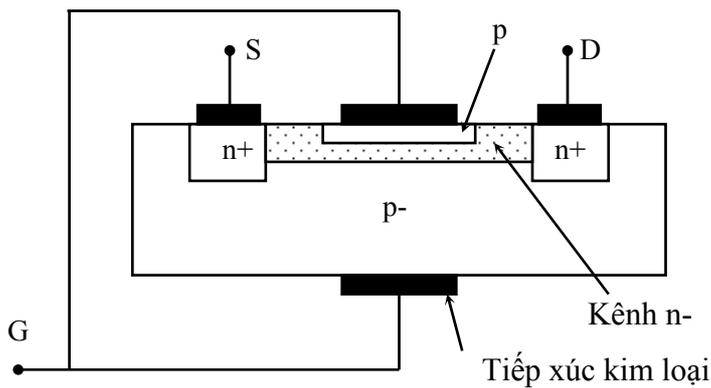
JFET Kênh P



Ký hiệu



JFET Kênh N



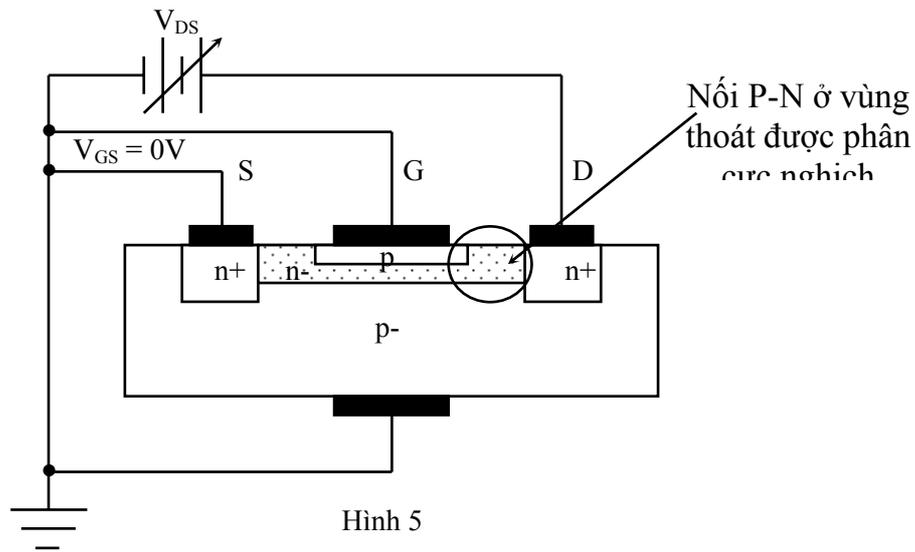
S (Source): cực nguồn
 D (Drain): cực thoát
 G (Gate): cực cổng

Hình 2

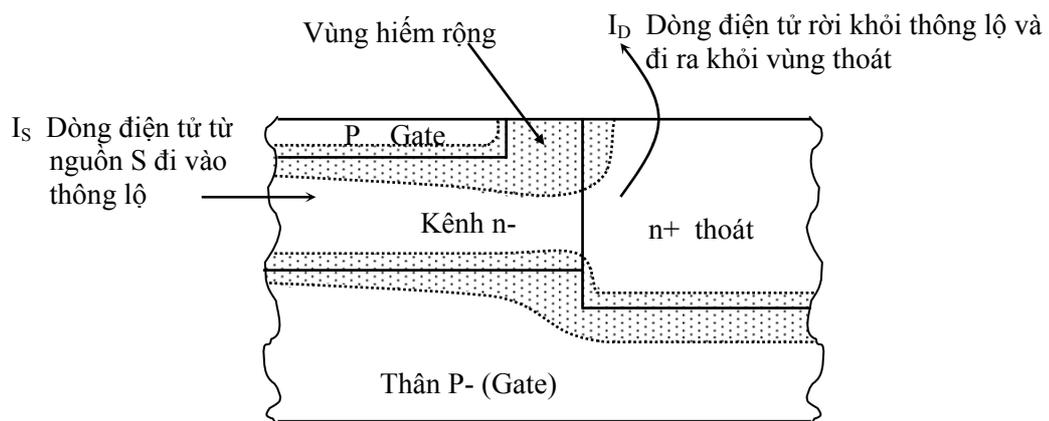
Nếu so sánh với BJT, ta thấy: cực thoát D tương đương với cực thu C, cực nguồn S tương đương với cực phát E và cực cổng G tương đương với cực nền B.

Bây giờ, nếu ta mắc cực nguồn S và cực cổng G xuống mass, nghĩa là điện thế $V_{GS}=0V$. Điều chỉnh điện thế V_{DS} giữa cực thoát và cực nguồn, chúng ta sẽ khảo sát dòng điện qua JFET khi điện thế V_{DS} thay đổi.

Vì vùng thoát n+ nối với cực dương và vùng cổng G nối với cực âm của nguồn điện V_{DS} nên nối PN ở vùng thoát được phân cực nghịch, do đó vùng hiếm ở đây rộng ra (xem hình vẽ)



Hình 5

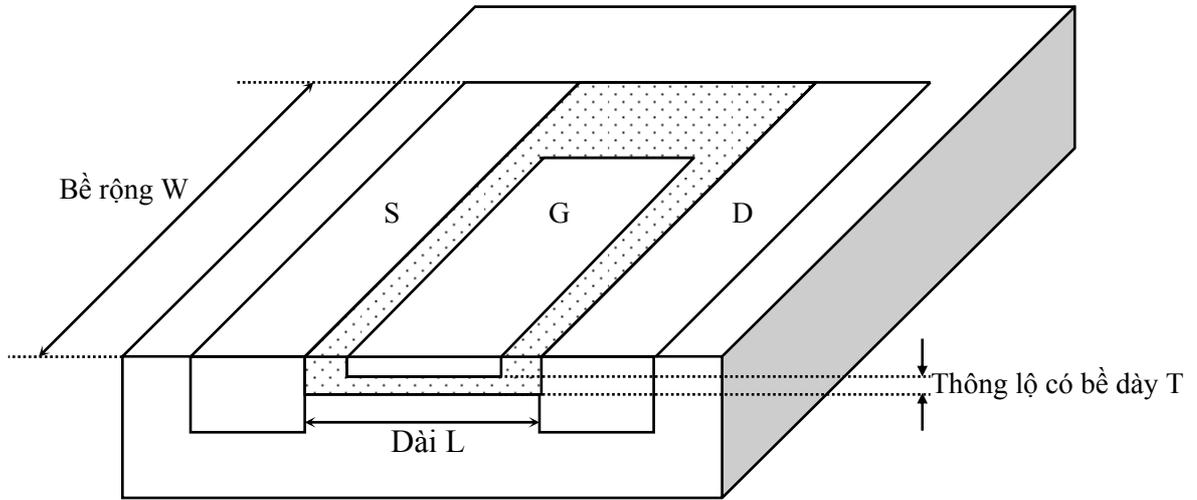


Hình 6

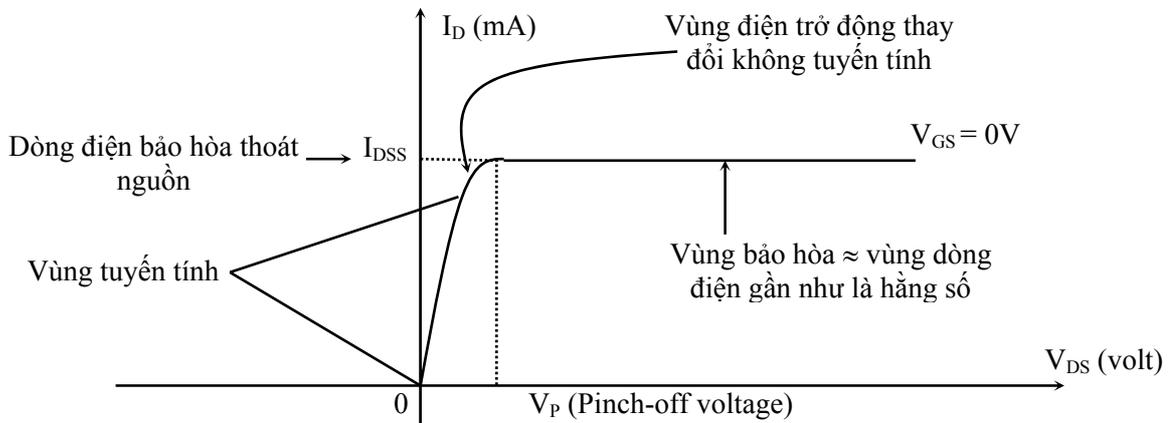
Khi V_{DS} còn nhỏ, dòng điện tử từ cực âm của nguồn điện đến vùng nguồn (tạo ra dòng I_S), đi qua thông lộ và trở về cực dương của nguồn điện (tạo ra dòng điện thoát I_D).

Nếu thông lộ có chiều dài L, rộng W và dày T thì điện trở của nó là:

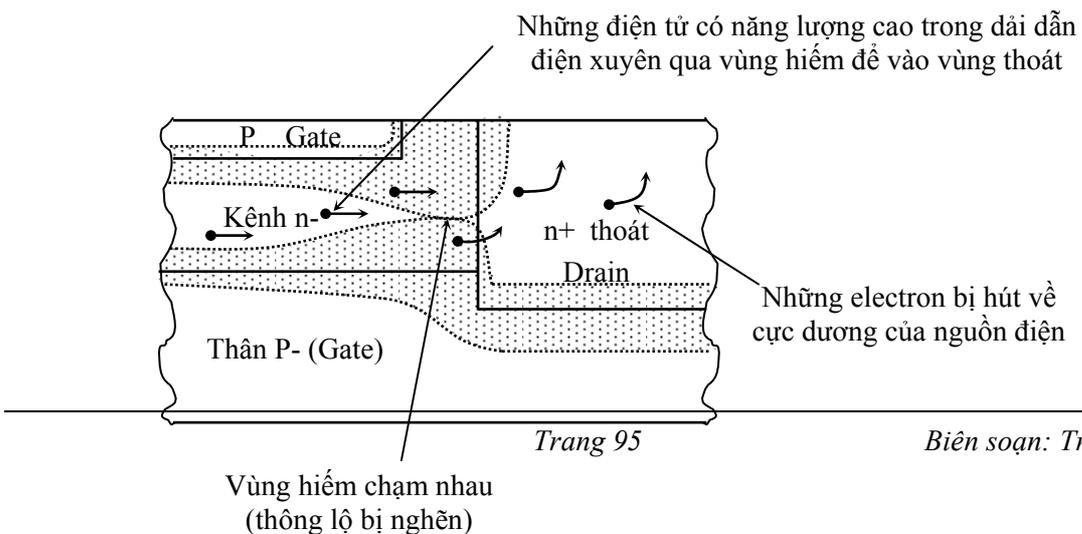
$R = \rho \cdot \frac{L}{WT}$; Trong đó, ρ là điện trở suất của thông lộ. Điện trở suất là hàm số theo nồng độ chất pha.



Hình 7



Hình 8

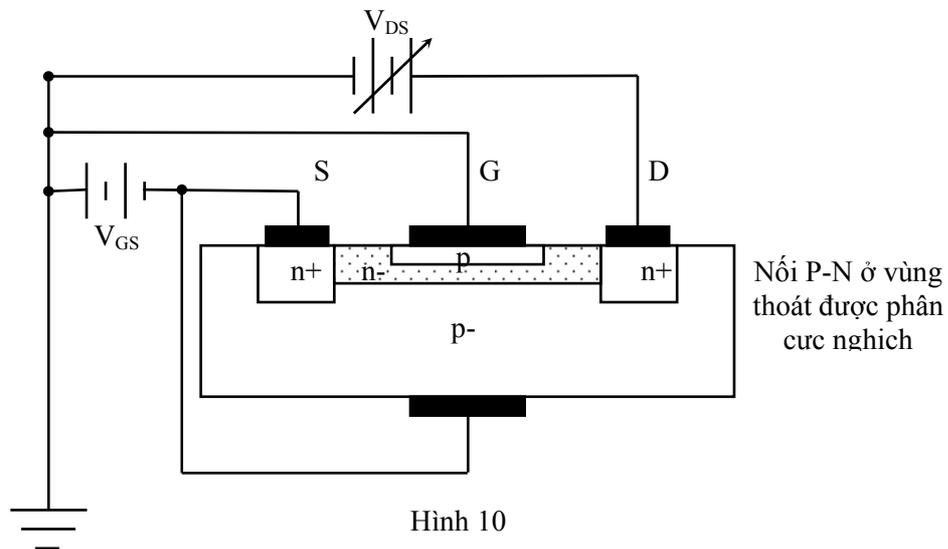


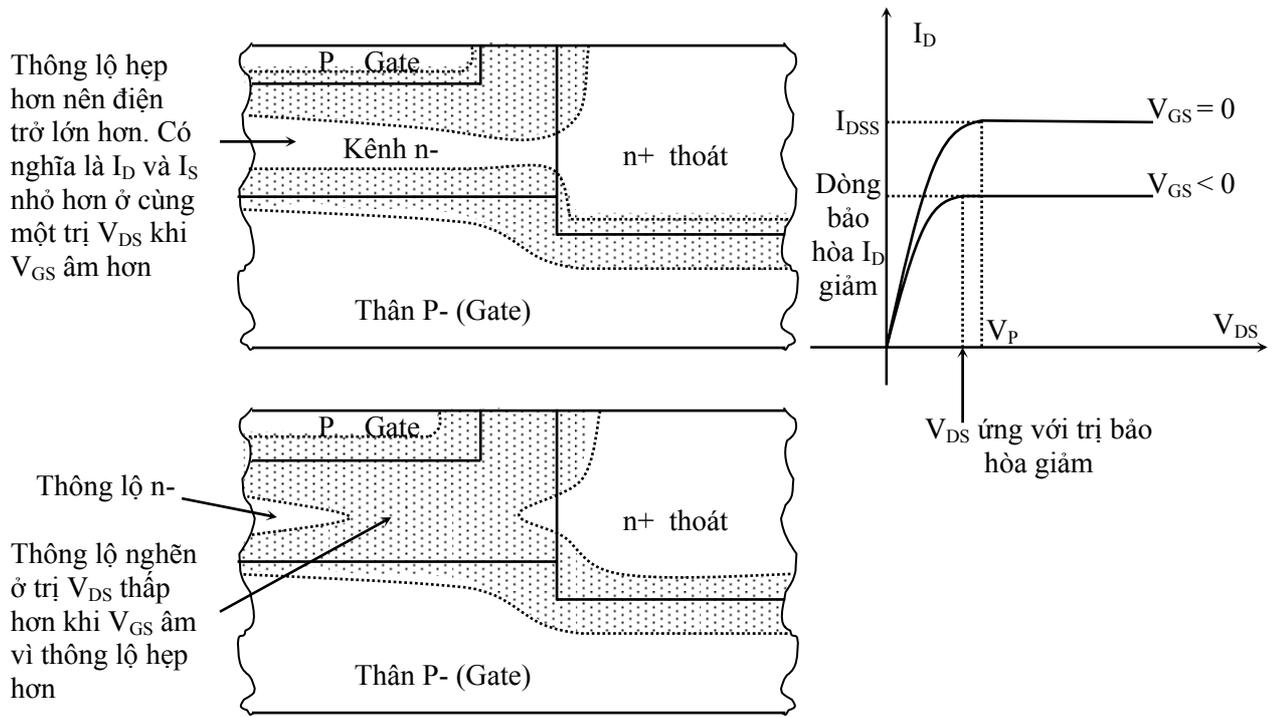
Khi V_{DS} còn nhỏ (vài volt), điện trở R của thông lộ gần như không thay đổi nên dòng I_D tăng tuyến tính theo V_{DS} . Khi V_{DS} đủ lớn, đặc tuyến không còn tuyến tính nữa do R bắt đầu tăng vì thông lộ hẹp dần. Nếu ta tiếp tục tăng V_{DS} đến một trị số nào đó thì hai vùng hiếm chạm nhau, ta nói thông lộ bị nghẽn (pinched off).

Trị số V_{DS} để thông lộ bắt đầu bị nghẽn được gọi là điện thế nghẽn V_P (pinched off voltage). Ở trị số này, chỉ có các điện tử có năng lượng cao trong dải dẫn điện mới có đủ sức xuyên qua vùng hiếm để vào vùng thoát và bị hút về cực dương của nguồn điện V_{DS} tạo ra dòng điện thoát I_D .

Nếu ta cứ tiếp tục tăng V_{DS} , dòng điện I_D gần như không thay đổi và được gọi là dòng điện bão hoà thoát - nguồn I_{DSS} (chú ý: ký hiệu I_{DSS} khi $V_{GS}=0V$).

Bây giờ, nếu ta phân cực cổng-nguồn bằng một nguồn điện thế âm V_{GS} (phân cực nghịch), ta thấy vùng hiếm rộng ra và thông lộ hẹp hơn trong trường hợp $V_{GS}=0V$. Do đó điện trở của thông lộ cũng lớn hơn.

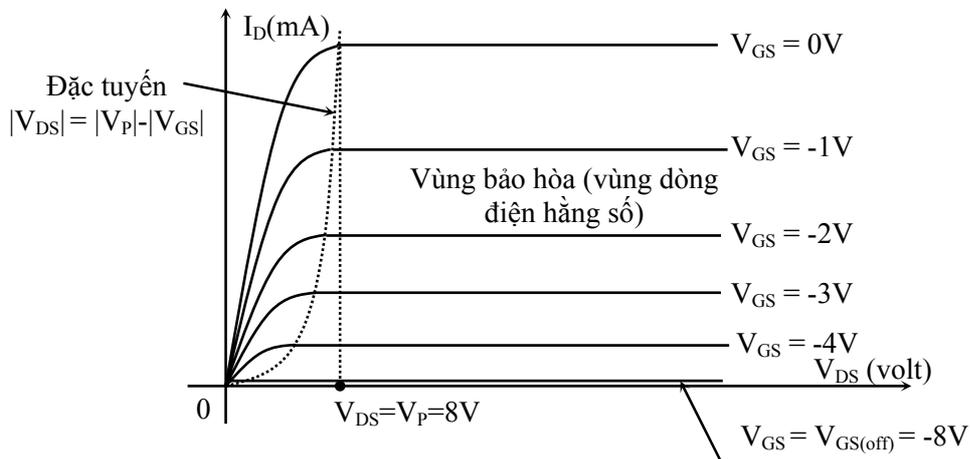




Hình 11

Khi V_{DS} còn nhỏ, I_D cũng tăng tuyến tính theo V_{DS} , nhưng khi V_{DS} lớn, thông lộ bị nghẽn nhanh hơn, nghĩa là trị số V_{DS} để thông lộ nghẽn nhỏ hơn trong trường hợp $V_{GS}=0V$ và do đó, dòng điện bão hoà I_D cũng nhỏ hơn I_{DSS} .

Chùm đặc tuyến $I_D=f(V_{DS})$ với V_{GS} là thông số được gọi là đặc tuyến ra của JFET mắc theo kiểu cực nguồn chung.



Hình 12

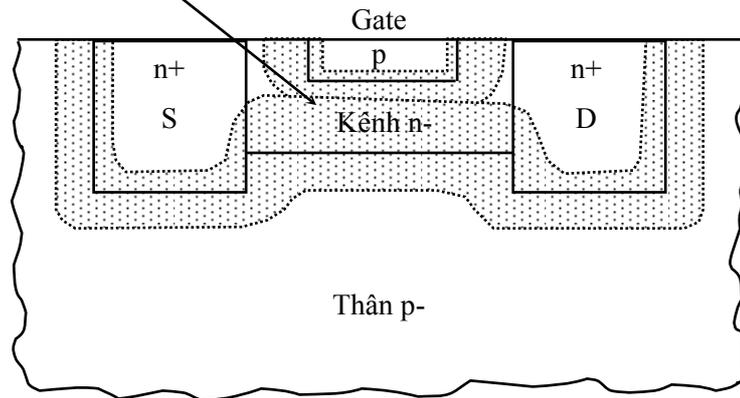
Khi V_{GS} càng âm, dòng I_D bão hoà càng nhỏ. Khi V_{GS} âm đến một trị nào đó, vùng hiểm chiếm gần như toàn bộ thông lộ và các điện tử không còn đủ năng lượng để vượt qua được và khi đó $I_D = 0$. Trị số của V_{GS} lúc đó gọi là $V_{GS(off)}$. Người ta chứng minh được trị số này bằng với điện thế nghẽn.

$$|V_{GS(off)}| = |V_P|$$

Vì V_P chính là hiệu thế phân cực ngược các nối P-N vừa đủ để cho các vùng hiếm chạm nhau. Vì vậy, trong vùng bảo hoà ta có:

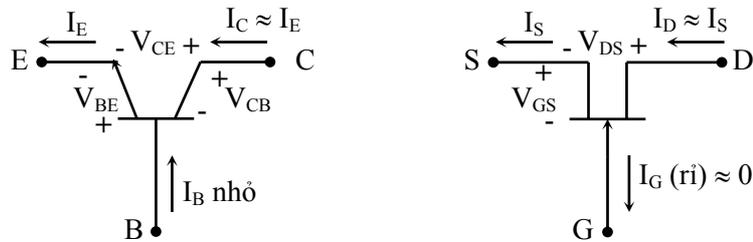
$$|V_{DS}| + |V_{GS}| = |V_P|$$

Vì nối công nguồn được phân cực nghịch, dòng điện I_G chính là dòng điện rỉ ngược nên rất nhỏ, do đó dòng điện chạy vào cực thoát D được xem như bằng dòng điện ra khỏi cực nguồn S. $I_D \approx I_S$. Không có hạt tải điện di chuyển qua thông lộ ($I_D = I_S = 0$)



Hình 13

So sánh với BJT, ta thấy:



Hình 14

Thí dụ: một JFET kênh N có $I_{DSS}=20\text{mA}$ và $V_{GS(off)}=-10\text{V}$.

Tính I_S khi $V_{GS}=0\text{V}$? Tính V_{DS} bảo hoà khi $V_{GS} = -2\text{V}$.

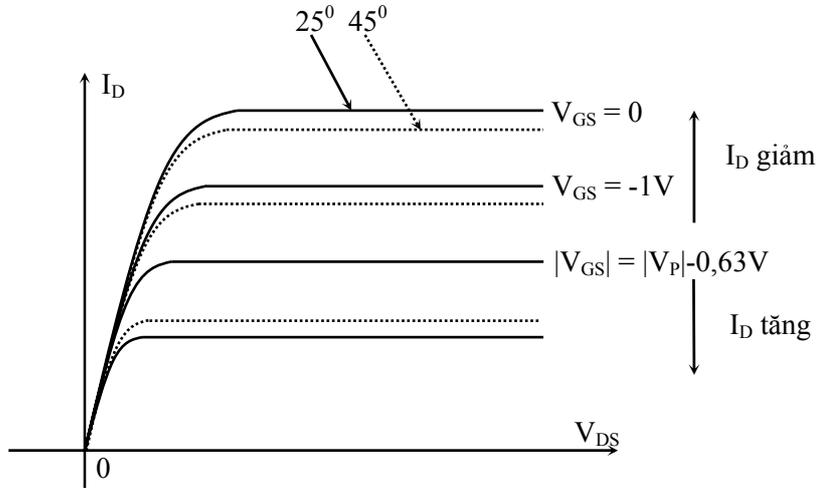
Giải:

Khi $V_{GS}=0\text{V} \Rightarrow I_D=I_{DSS}=20\text{mA}$ và $I_D=I_S=20\text{mA}$

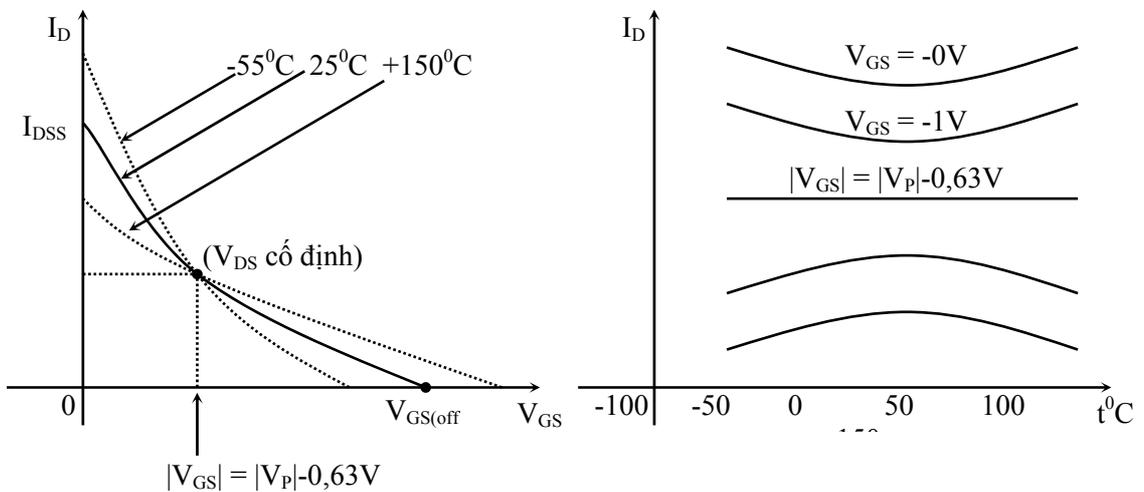
Ta có: $|V_P| = |V_{GS(off)}| = 10\text{V}$ và $|V_{DS}| = |V_P| - |V_{GS}| = 10 - 2 = 8\text{V}$

$|V_{GS}| = |V_P| - 0,63V$ với V_P là điện thế ngẽn ở nhiệt độ bình thường.

Các hình vẽ sau đây mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ trên các đặc tuyến ra, đặc tuyến truyền và đặc tuyến của dòng I_D theo nhiệt độ khi V_{GS} làm thông số.

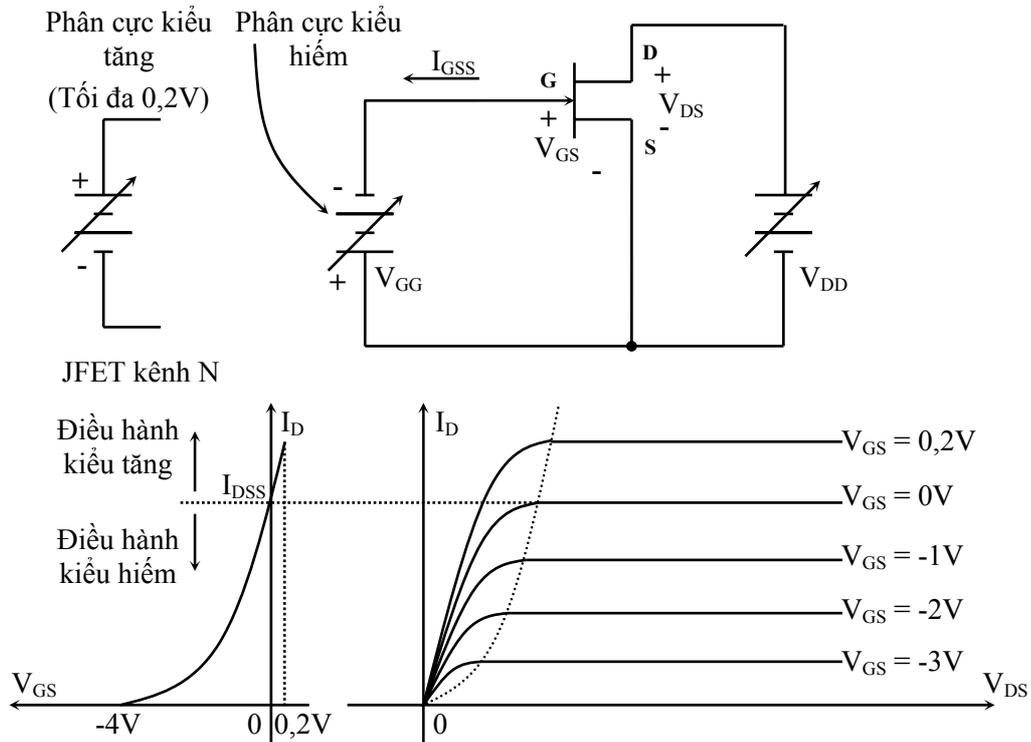


Hình 18

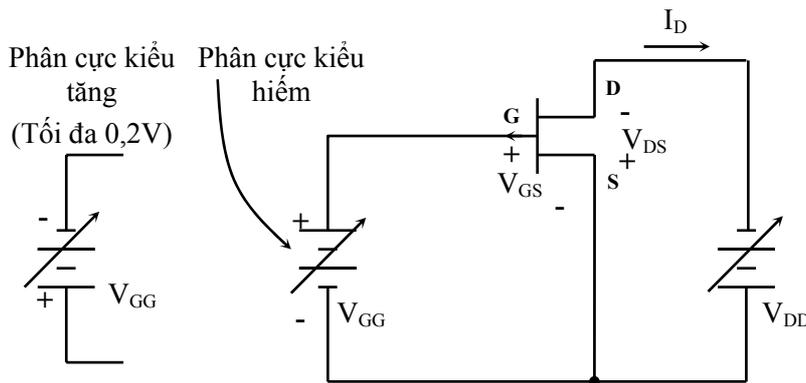


Hình 19

Ngoài ra, một tác dụng thứ ba của nhiệt độ lên JFET là làm phát sinh các hạt tải điện trong vùng hiếm giữa thông lỗ-cổng và tạo ra một dòng điện rỉ cực cổng I_{GSS} (gate leakage current). Dòng I_{GSS} được nhà sản xuất cho biết. dòng rỉ I_{GSS} chính là dòng điện phân cực nghịch nối P-N giữa cực cổng và cực nguồn. Dòng điện này là dòng điện rỉ cổng-nguồn khi nối tắt cực nguồn với cực thoát. Dòng I_{GSS} tăng gấp đôi khi nhiệt độ tăng lên $10^{\circ}C$.



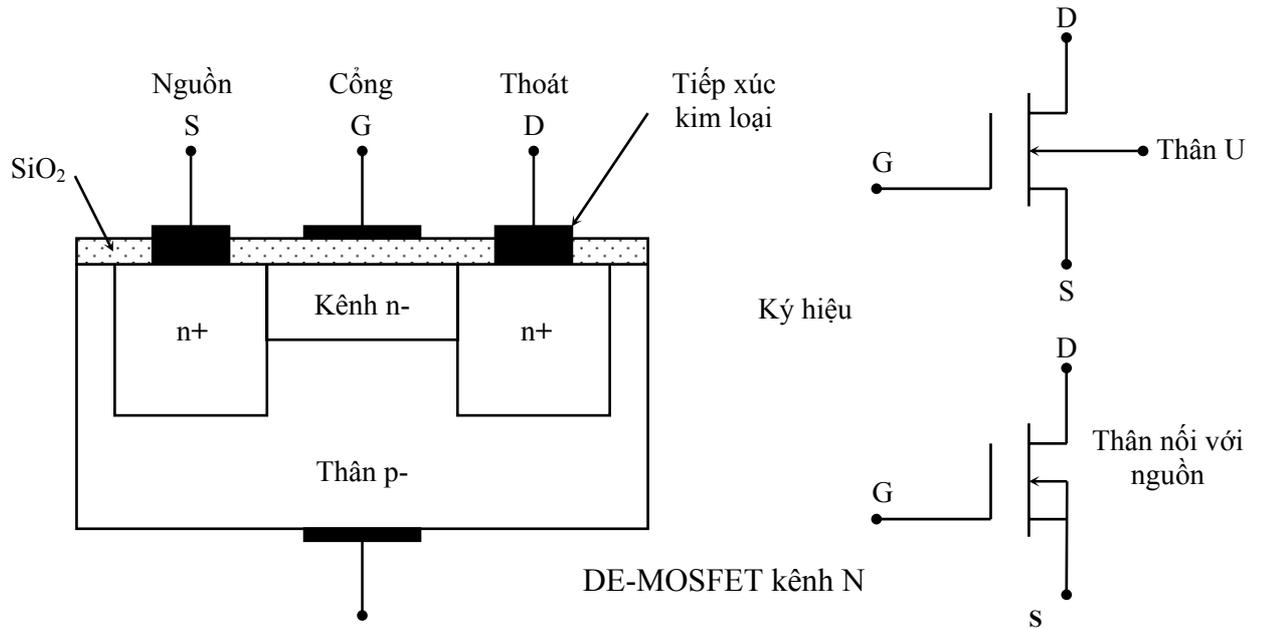
Hình 21



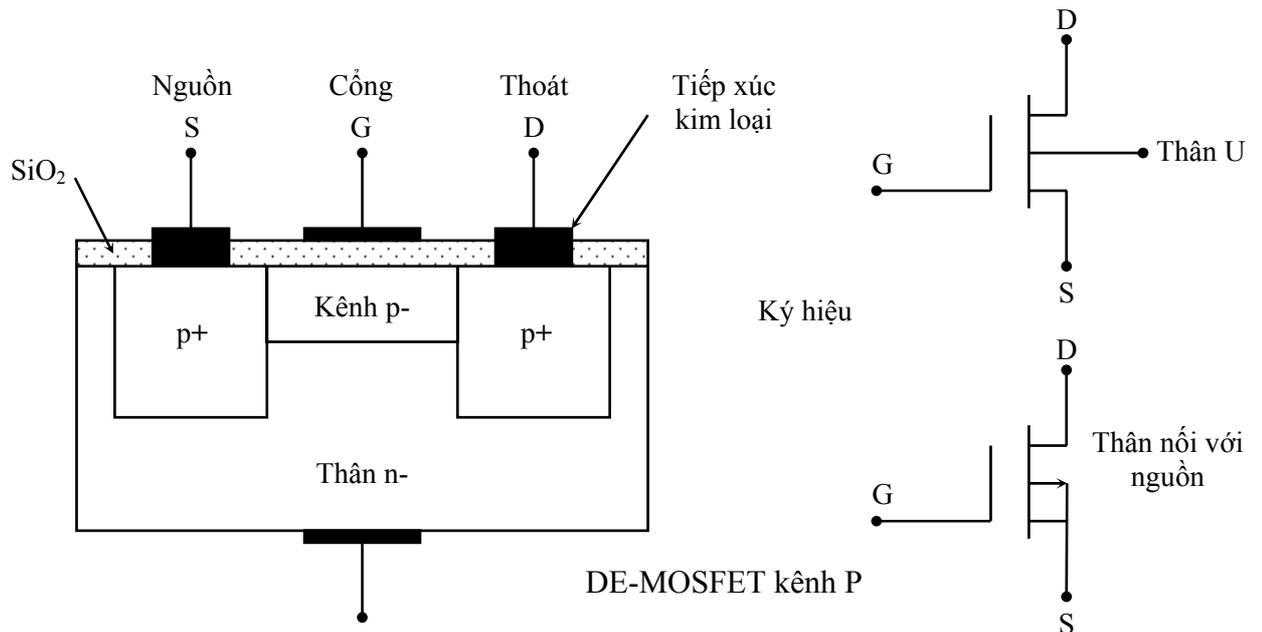
Hình 22

Tuy JFET có tổng trở vào khá lớn nhưng cũng còn khá nhỏ so với đèn chân không. Để tăng tổng trở vào, người ta đã tạo một loại transistor trường khác sao cho cực cổng cách điện hẳn cực nguồn. Lớp cách điện là Oxyt bán dẫn SiO_2 nên transistor được gọi là MOSFET.

Ta phân biệt hai loại MOSFET: MOSFET loại hiếm và MOSFET loại tăng.
 Hình sau đây mô tả cấu tạo căn bản MOSFET loại hiếm (DE - MOSFET) kênh N và kênh P.



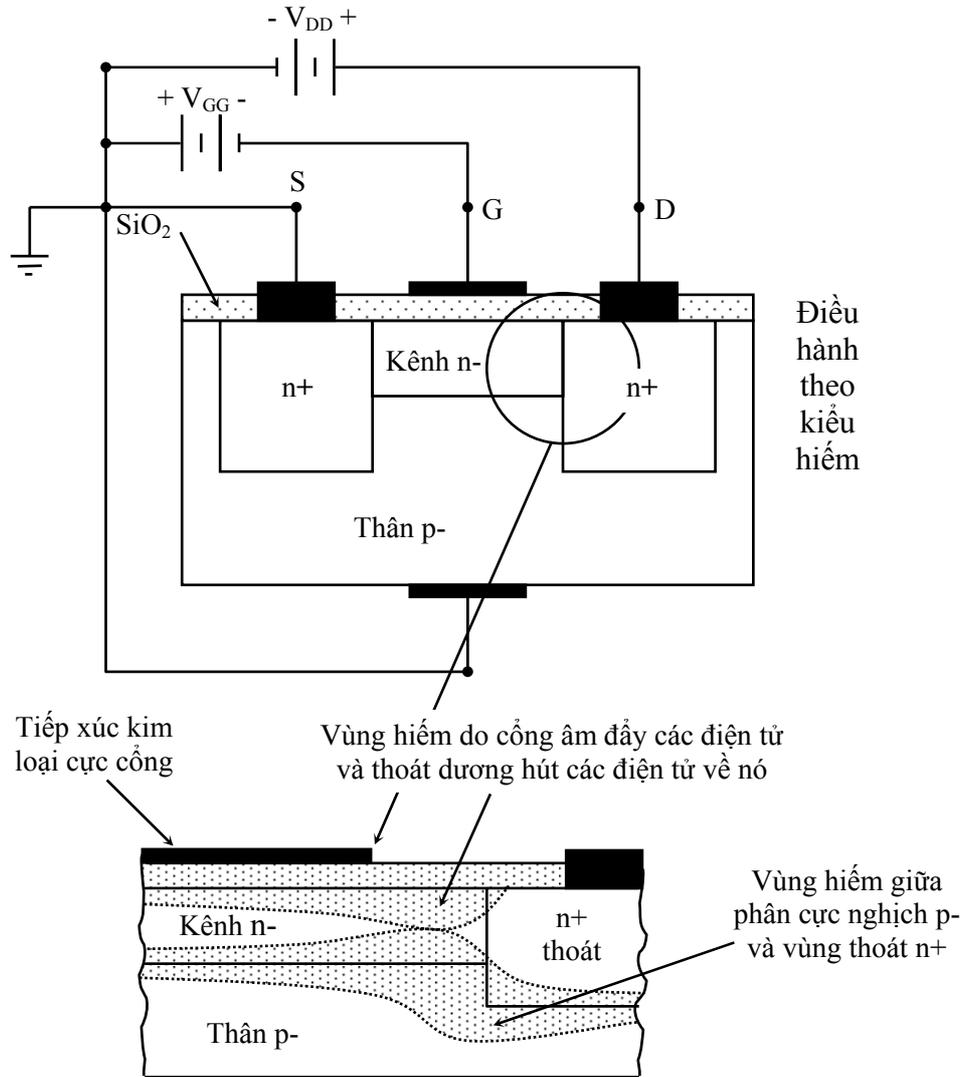
Hình 23



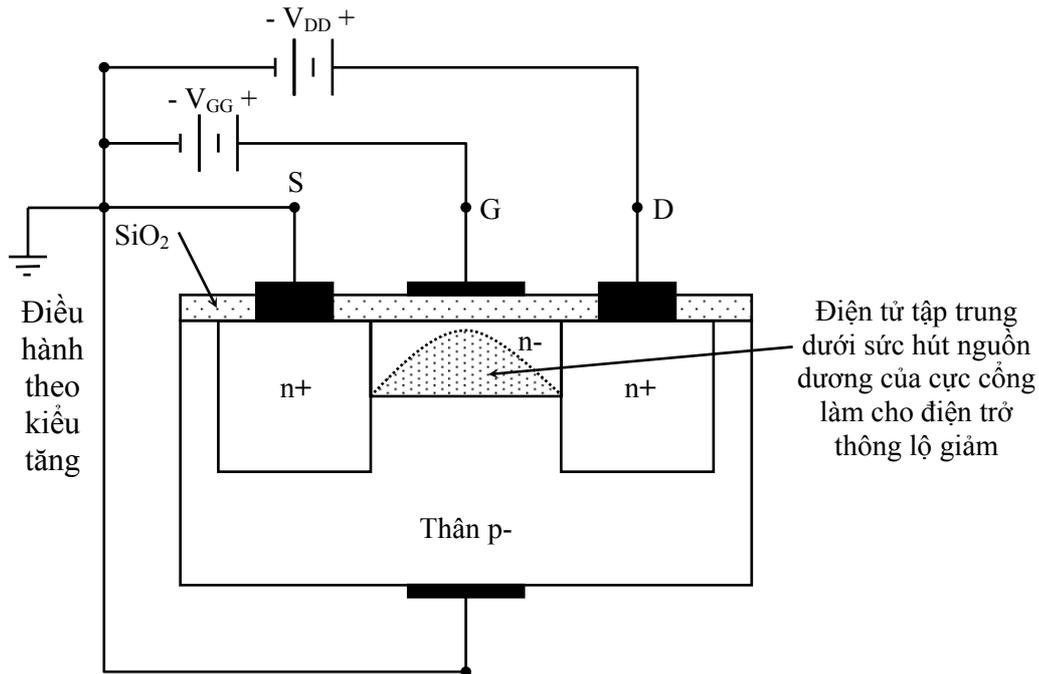
Hình 24

Chú ý rằng DE - MOSFET có 4 cực: cực thoát D, cực nguồn S, cực cổng G và thân U (substrate). Trong các ứng dụng thông thường, thân U được nối với nguồn S.

Để DE-MOSFET hoạt động, người ta áp một nguồn điện V_{DD} vào cực thoát và cực nguồn (cực dương của nguồn điện nối với cực thoát D và cực âm nối với cực nguồn S trong DE-MOSFET kênh N và ngược lại trong DE-MOSFET kênh P). Điện thế V_{GS} giữa cực cổng và cực nguồn có thể âm (DE-MOSFET kênh N điều hành theo kiểu hiếm) hoặc dương (DE-MOSFET kênh N điều hành theo kiểu tăng)



Hình 25



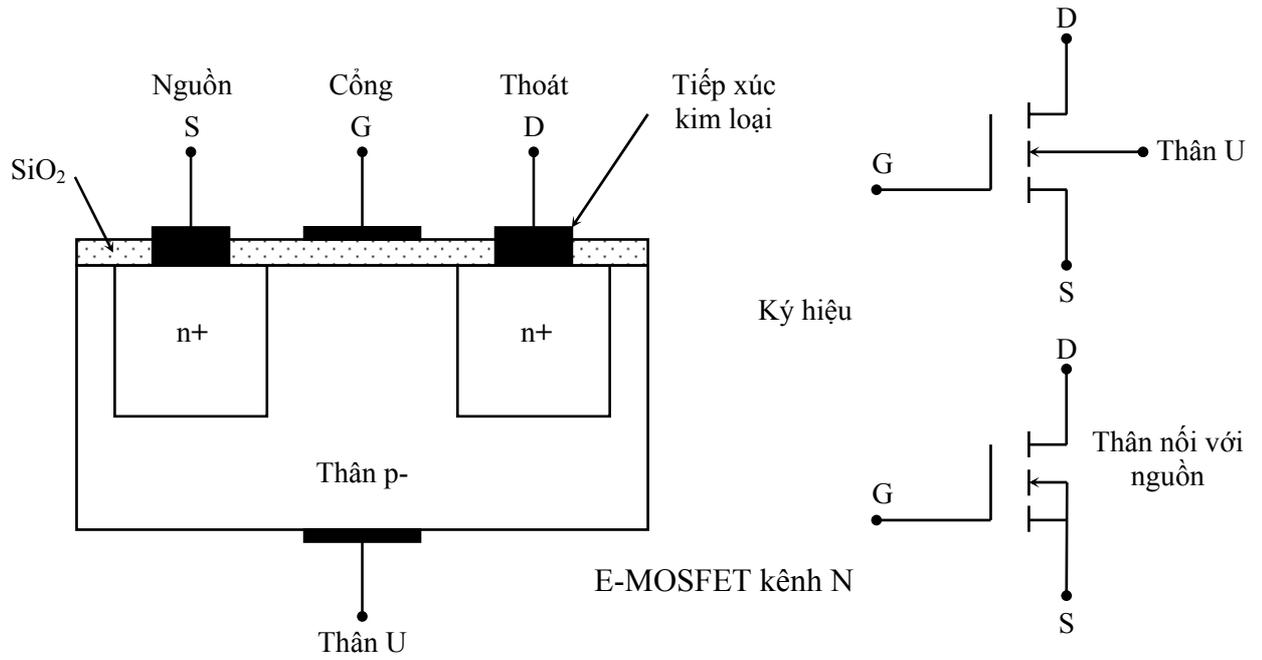
Hình 26

Khi $V_{GS} = 0V$ (cực cổng nối thẳng với cực nguồn), điện tử di chuyển giữa cực âm của nguồn điện V_{DD} qua kênh n- đến vùng thoát (cực dương của nguồn điện V_{DD}) tạo ra dòng điện thoát I_D . Khi điện thế V_{DS} càng lớn thì điện tích âm ở cổng G càng nhiều (do cổng G cùng điện thế với nguồn S) càng đẩy các điện tử trong kênh n- ra xa làm cho vùng hiếm rộng thêm. Khi vùng hiếm vừa chắn ngang kênh thì kênh bị nghẽn và dòng điện thoát I_D đạt đến trị số bảo hoà I_{DSS} .

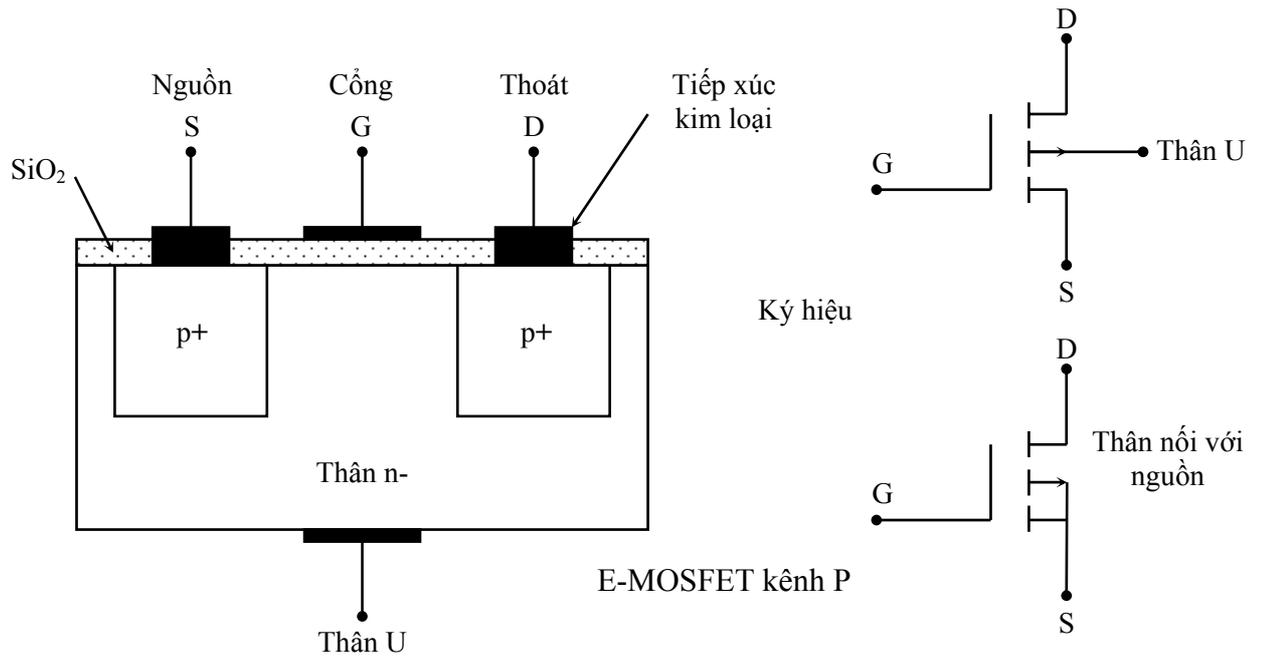
Khi V_{GS} càng âm, sự nghẽn xảy ra càng sớm và dòng điện bảo hoà I_D càng nhỏ.

Khi V_{GS} dương (điều hành theo kiểu tăng), điện tích dương của cực cổng hút các điện tử về mặt tiếp xúc càng nhiều, vùng hiếm hẹp lại tức thông lộ rộng ra, điện trở thông lộ giảm nhỏ. Điều này làm cho dòng thoát I_D lớn hơn trong trường hợp $V_{GS} = 0V$.

Vì cực cổng cách điện hẳn khỏi cực nguồn nên tổng trở vào của DE-MOSFET lớn hơn JFET nhiều. Cũng vì thế, khi điều hành theo kiểu tăng, nguồn V_{GS} có thể lớn hơn 0,2V. Thế nhưng ta phải có giới hạn của dòng I_D gọi là $I_{D_{MAX}}$. Đặc tuyến truyền và đặc tuyến ngõ ra như sau:

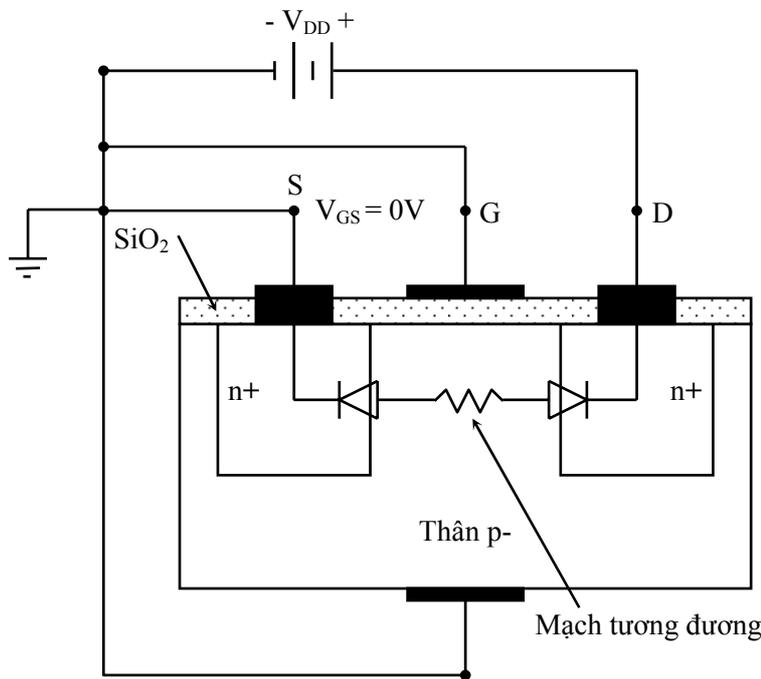


Hình 29



Hình 30

Khi $V_{GS} < 0V$, (ở E-MOSFET kênh N), do không có thông lộ nối liền giữa hai vùng thoát nguồn nên mặc dù có nguồn điện thế V_{DD} áp vào hai cực thoát và nguồn, điện tử cũng không thể di chuyển nên không có dòng thoát I_D ($I_D \neq 0V$). Lúc này, chỉ có một dòng điện rỉ rất nhỏ chạy qua.



Hình 31

Khi $V_{GS} > 0$, một điện trường được tạo ra ở vùng cổng. Do cổng mang điện tích dương nên hút các điện tử trong nền p- (là hạt tải điện thiếu số) đến tập trung ở mặt đối diện của vùng cổng. Khi V_{GS} đủ lớn, lực hút mạnh, các điện tử đến tập trung nhiều và tạo thành một thông lộ tạm thời nối liền hai vùng nguồn S và thoát D. Điện thế V_{GS} mà từ đó dòng điện thoát I_D bắt đầu tăng được gọi là điện thế thêm cổng - nguồn (gate-to-source threshold voltage) $V_{GS(th)}$. Khi V_{GS} tăng lớn hơn $V_{GS(th)}$, dòng điện thoát I_D tiếp tục tăng nhanh.

Người ta chứng minh được rằng:

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

Trong đó: I_D là dòng điện thoát của E-MOSFET

K là hằng số với đơn vị $\frac{A}{V^2}$

V_{GS} là điện thế phân cực cổng nguồn.

$V_{GS(th)}$ là điện thế thêm cổng nguồn.

Hằng số K thường được tìm một cách gián tiếp từ các thông số do nhà sản xuất cung cấp.

Thí dụ: Một E-MOSFET kênh N có $V_{GS(th)} = 3,8V$ và dòng điện thoát $I_D = 10mA$ khi $V_{GS} = 8V$. Tìm dòng điện thoát I_D khi $V_{GS} = 6V$.

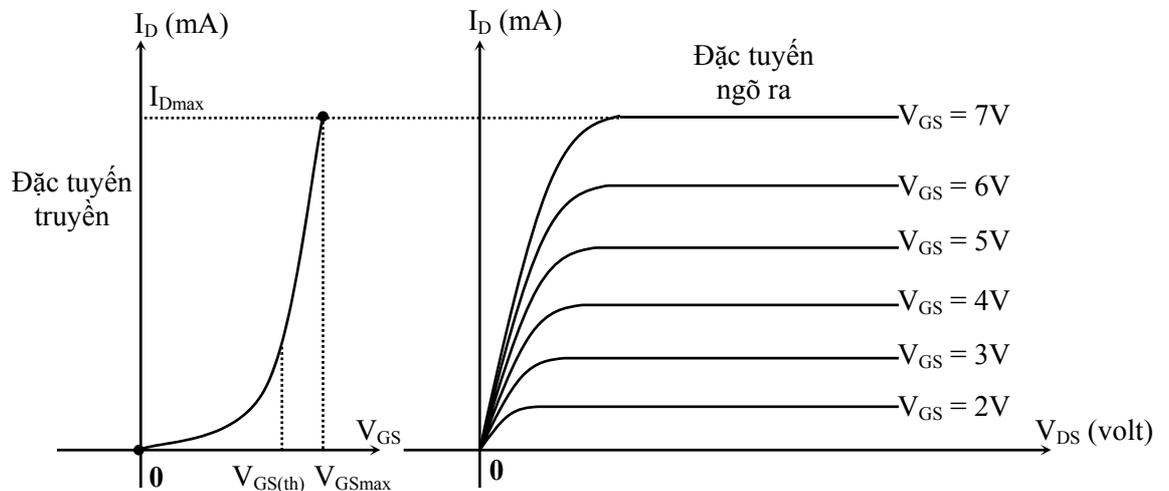
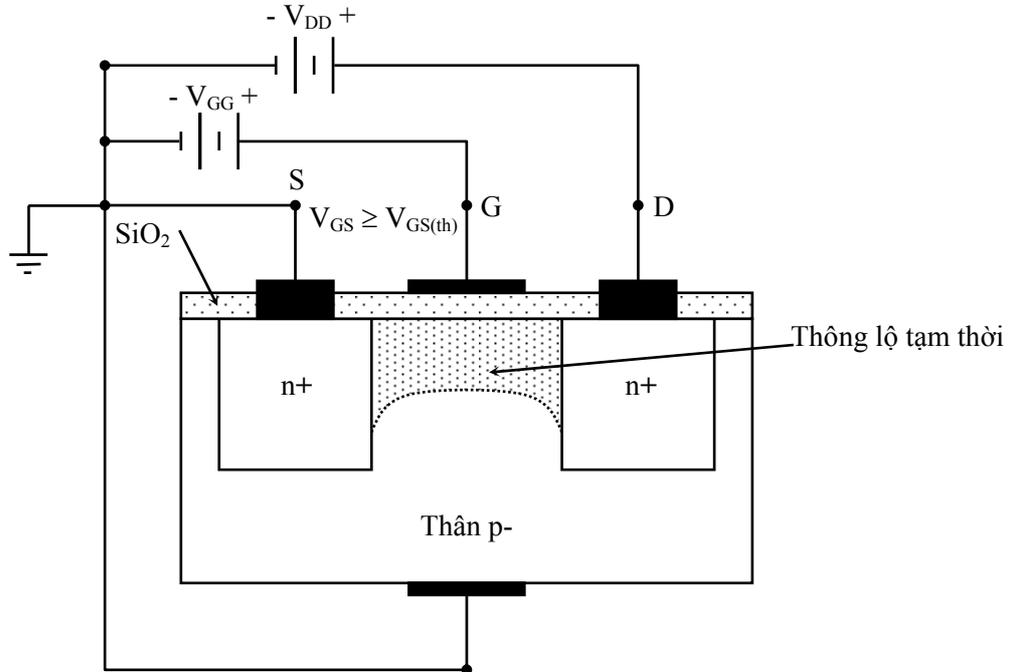
Giải: trước tiên ta tìm hằng số K từ các thông số:

$$K = \frac{I_D}{[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{[8 - 3,8]^2} = 5,67 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V^2}$$

Vậy dòng thoát I_D và V_{GS} là:

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2 = 5,67 \cdot 10^{-4} [6 - 3,8]^2$$

$$\Rightarrow I_D = 2,74 \text{ mA}$$



Hình 32

Dùng đặc tuyến truyền hay công thức: $I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$ trong trường hợp DE-MOSFET hoặc công thức $I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$ trong trường hợp E-MOSFET để xác định dòng điện thoát I_D .

Áp dụng định luật Krichoff ở mạch ngõ ra để tìm hiệu điện thế V_{DS} .

Bây giờ, ta thử ứng dụng vào mạch điện hình trên:

Mạch ngõ vào, ta có:

$$V_{GG} - R_G I_{GSS} + V_{GS} = 0$$

Suy ra, $V_{GS} = -V_{GG} + R_G I_{GSS}$

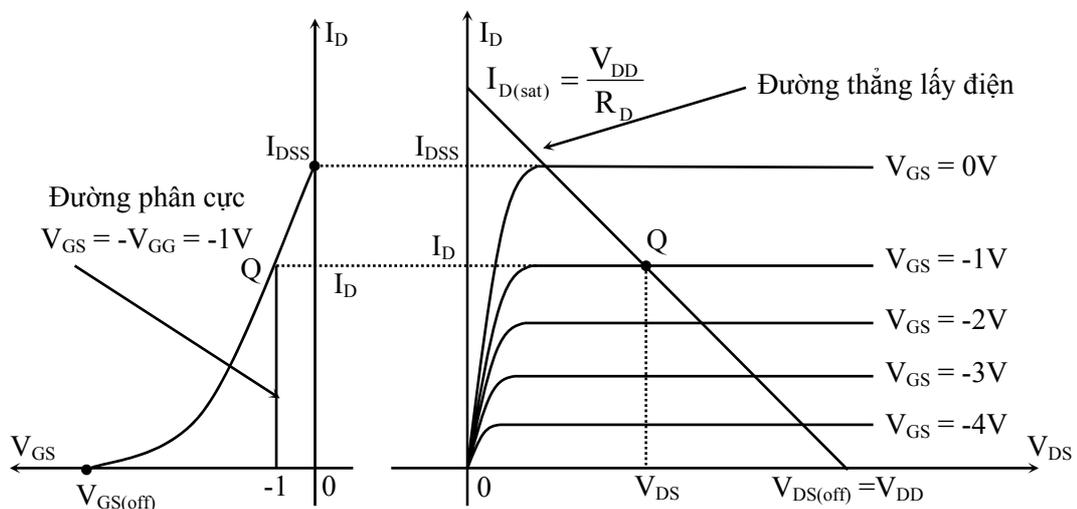
Vì dòng điện I_{GSS} rất nhỏ nên ta có thể bỏ qua.

Như vậy, $V_{GS} \approx -V_{GG}$

Trong trường hợp trên, $V_{GS} = -1$

Đây là phương trình biểu diễn đường phân cực (bias line) và giao điểm của đường thẳng này với đặc tuyến truyền là điểm điều hành Q.

Nhờ đặc tuyến truyền, ta có thể xác định được dòng thoát I_D .



Hình 35

- Để xác định điện thế V_{DS} , ta áp dụng định luật Kirchoff cho mạch ngõ ra:

$$V_{DD} = R_D I_D + V_{DS}$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$$

Đây là phương trình của đường thẳng lấy điện tĩnh. Giao điểm của đường thẳng này với đặc tuyến ngõ ra với $V_{GS} = -V_{GG} = -1V$ chính là điểm tĩnh điều hành Q.

theo tín hiệu. Ở thời điểm khi V_{GS} ít âm hơn, dòng thoát $i_D(t)$ tăng và khi V_{GS} âm nhiều hơn, dòng thoát $i_D(t)$ giảm. Vậy dòng điện thoát $i_D(t)$ thay đổi cùng chiều với $v_{GS}(t)$ và có trị số quanh dòng phân cực I_D tĩnh (được giả sử là 12,25mA). Độ gia tăng của $i_D(t)$ và độ giảm của $i_D(t)$ bằng nhau với tín hiệu nhỏ (giả sử là 0,035mA). (Xem hình trang sau).

Sự thay đổi dòng điện thoát $i_D(t)$ sẽ làm thay đổi hiệu số điện thế giữa cực thoát và cực nguồn.

Ta có $v_{DS}(t) = V_{DD} - i_D(t).R_D$. Khi $i_D(t)$ có trị số tối đa, thì $v_{DS}(t)$ có trị số tối thiểu và ngược lại. Điều này có nghĩa là sự thay đổi của $v_{DS}(t)$ ngược chiều với sự thay đổi của dòng $i_D(t)$ tức ngược chiều với sự thay đổi của hiệu thế ngõ vào $v_{GS}(t)$, người ta bảo điện thế ngõ ra ngược pha - lệch pha 180° so với điện thế tín hiệu ngõ vào.

Người ta định nghĩa độ lợi của mạch khuếch đại là tỉ số đỉnh đối đỉnh của hiệu thế tín hiệu ngõ ra và trị số đỉnh đối đỉnh của hiệu thế tín hiệu ngõ vào:

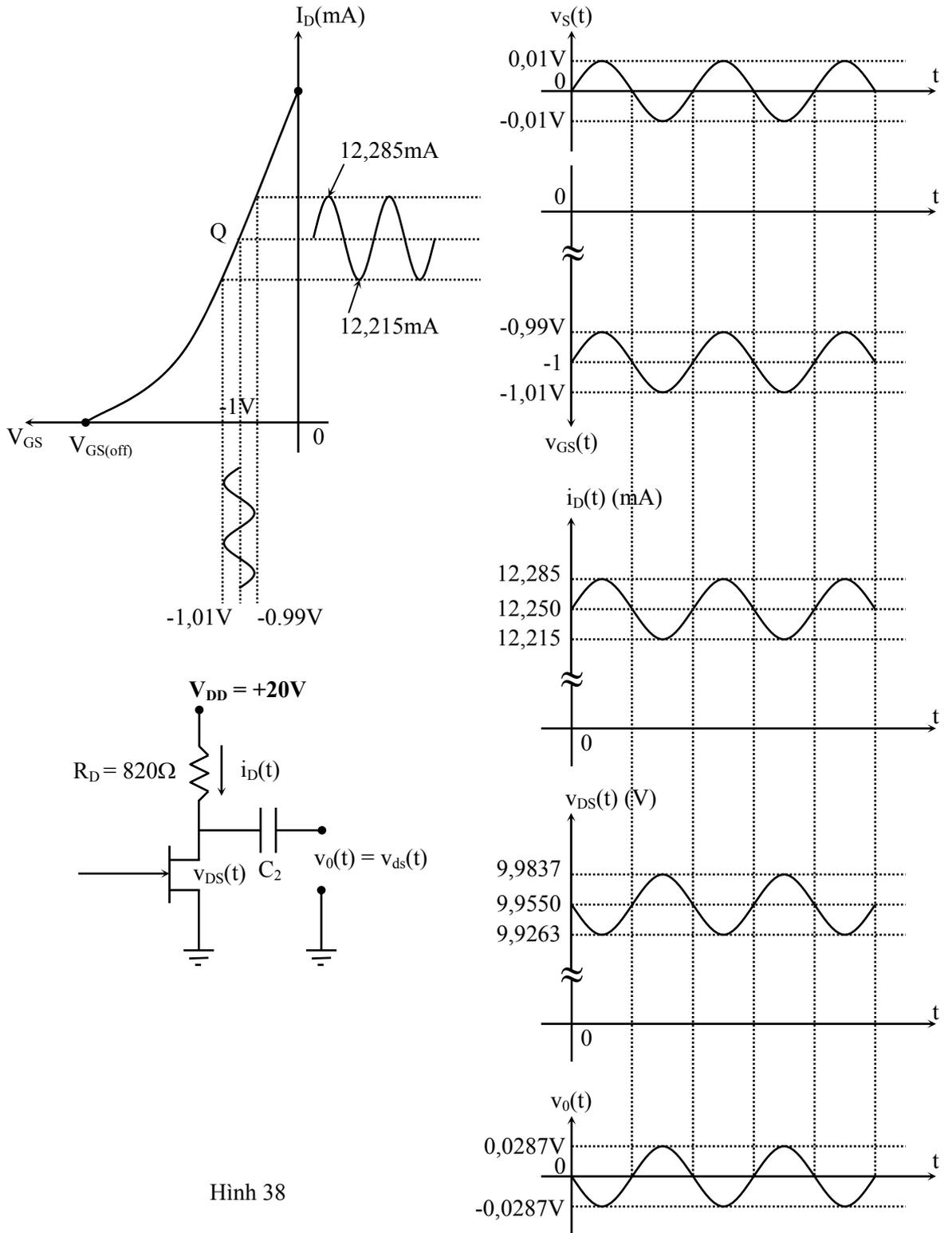
$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)}$$

Trong trường hợp của thí dụ trên:

$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)} = \frac{0,0574V_{P-P} \angle -180^\circ}{0,02V_{P-P}}$$

$$A_v = 2,87 \angle -180^\circ$$

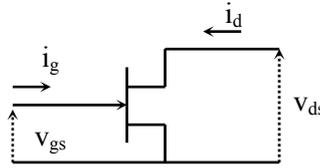
Người ta dùng dấu - để biểu diễn độ lệch pha 180°



Hình 38

* Mạch tương đương của FET với tín hiệu nhỏ:

Người ta có thể coi FET như một tứ cực có dòng điện và điện thế ngõ vào là v_{gs} và i_g . Dòng điện và điện thế ngõ ra là v_{ds} và i_d



Hình 39

Do dòng i_g rất nhỏ nên FET có tổng trở ngõ vào là:

$$r_{\pi} = \frac{v_{gs}}{i_g} \text{ rất lớn}$$

Dòng thoát i_d là một hàm số theo v_{gs} và v_{ds} . Với tín hiệu nhỏ (dòng điện và điện thế chỉ biến thiên quanh điểm điều hành), ta sẽ có:

$$i_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q v_{gs} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q v_{DS}$$

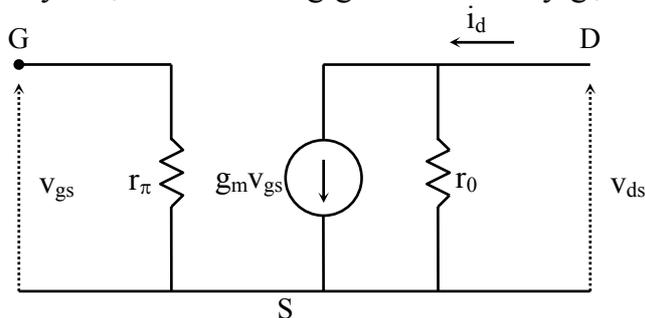
Người ta đặt:

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q \quad \text{và} \quad \frac{1}{r_o} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q$$

Ta có: $i_d = g_m v_{gs} + \frac{1}{r_o} v_{ds}$ (có thể đặt $\frac{1}{r_o} = g_o$)

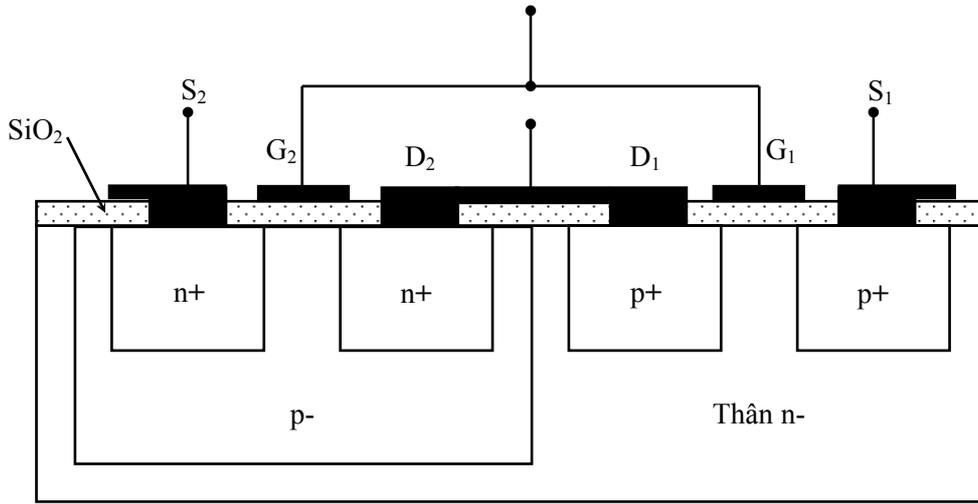
$$v_{gs} = r_{\pi} \cdot i_g$$

Các phương trình này được diễn tả bằng giản đồ sau đây gọi là mạch tương đương xoay chiều của FET.



Hình 40

Riêng đối với E-MOSFET, do tổng trở vào r_{π} rất lớn, nên trong mạch tương đương người ta có thể bỏ r_{π}



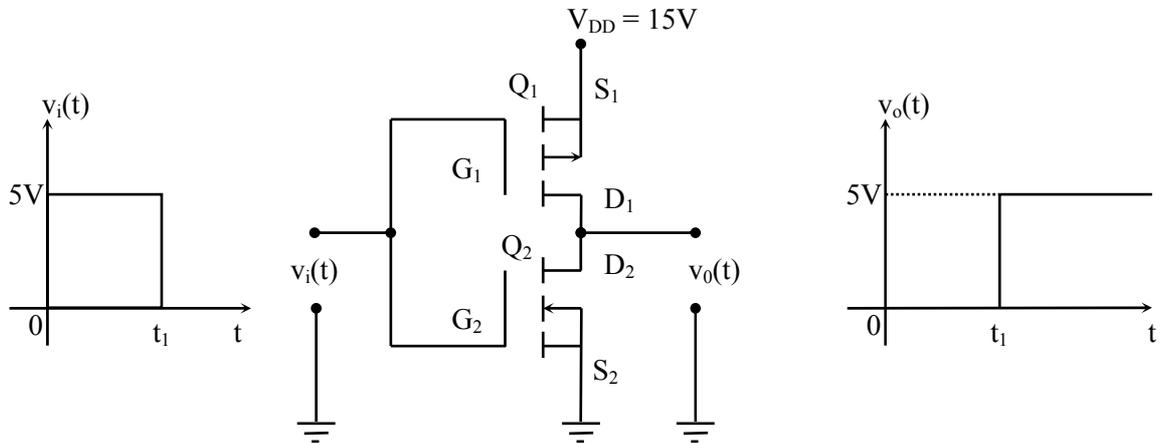
Hình 47

Cấu trúc CMOS được dùng rất nhiều trong IC tuyến tính và IC số

+ Bây giờ ta xét mạch căn bản như trên, ta thử xem đáp ứng của CMOS khi tín hiệu vào có dạng xung vuông như hình vẽ. Mạch này được ứng dụng làm công đảo và là tầng cuối của OP-AMP (IC thuật toán).

- Khi $v_i = 5V$ ($0 \leq t \leq t_1$); E-MOSFET kênh P ngưng vì $v_{GS}(t)=0V$, trong lúc đó E-MOSFET kênh N dẫn mạnh vì $v_{GS}(t)=5V$ nên điện thế ngõ ra $v_o(t)=0V$.

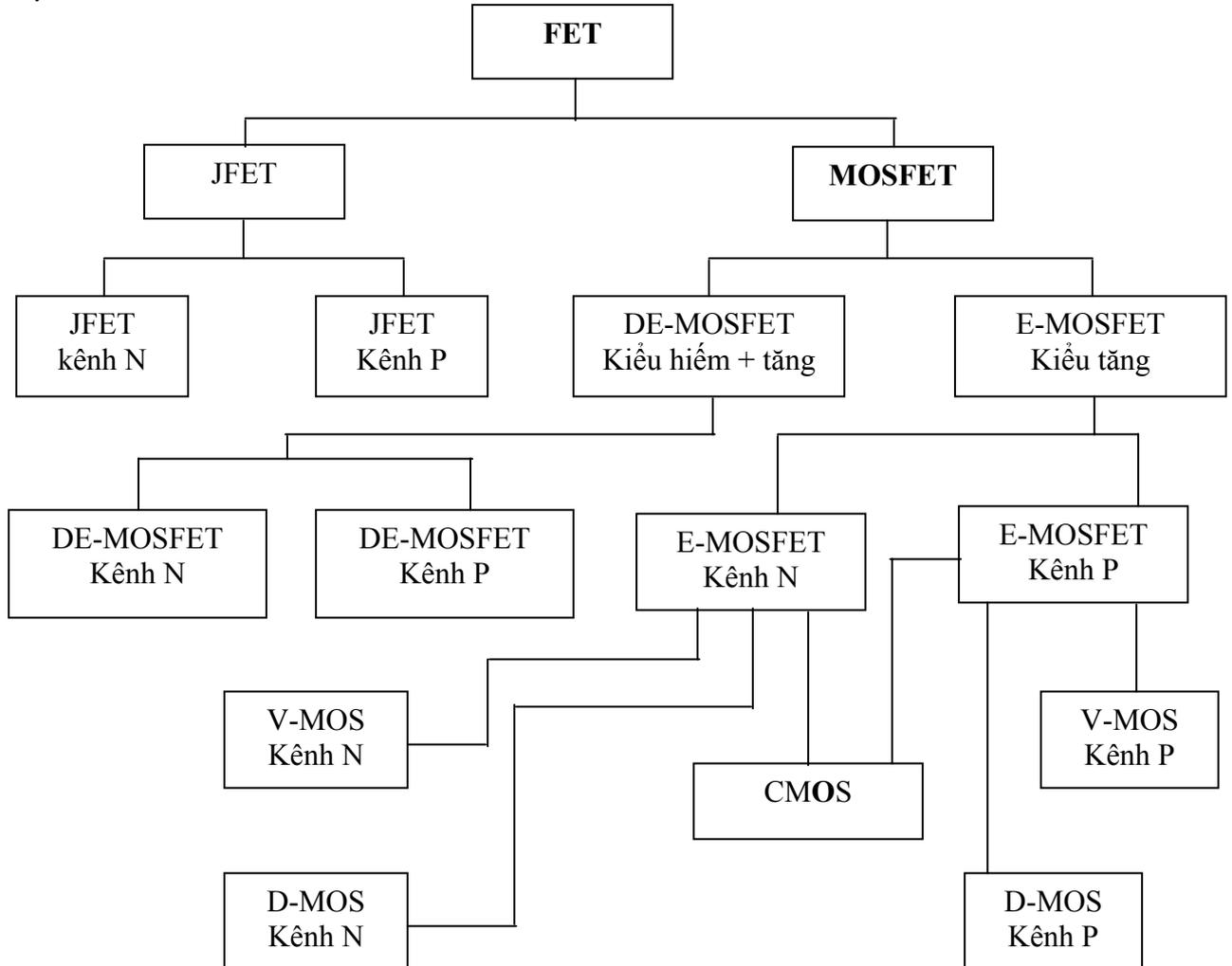
- Khi $v_i(t)=0V$ ($t \geq t_1$), E-MOSFET kênh P dẫn điện mạnh (vì $v_{GS}(t) = -5V$) trong lúc E-MOSFET kênh N không dẫn điện (vì $v_{GS}(t) = 0V$) nên điện thế ngõ ra $v_o(t)=V_{DD}=5V$.



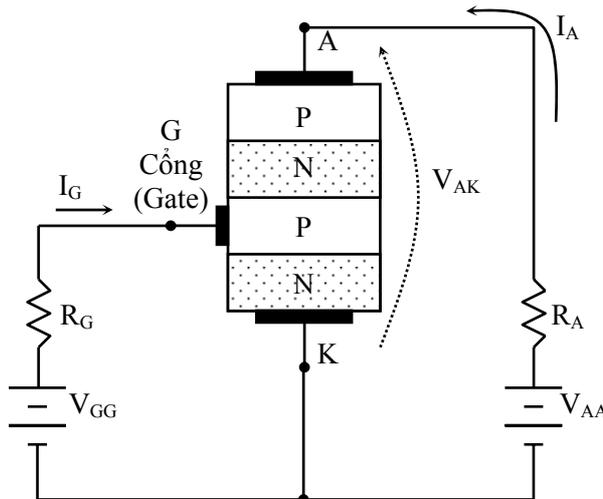
Hình 48

- Điện trở động r_{ds} khi hoạt động rất nhỏ (thường nhỏ hơn 1Ω)
- Có thể khuếch đại công suất ở tần số rất cao
- Dải thông của mạch khuếch đại công suất có thể lên đến vài chục MHz
- V-MOS và D-MOS cũng có kênh N và kênh P, nhưng kênh N thông dụng hơn
- V-MOS và D-MOS cũng có ký hiệu như E-MOSFET

Họ FET có thể tóm tắt như sau



Nếu ta mắc một nguồn điện một chiều V_{AA} vào SCR như hình sau. một dòng điện nhỏ I_G kích vào cực cổng G sẽ làm nối PN giữa cực cổng G và catot K dẫn phát khởi dòng điện anod I_A qua SCR lớn hơn nhiều. Nếu ta đổi chiều nguồn V_{AA} (cực dương nối với catod, cực âm nối với anod) sẽ không có dòng điện qua SCR cho dù có dòng điện kích I_G . Như vậy ta có thể hiểu SCR như một diode nhưng có thêm cực cổng G và để SCR dẫn điện phải có dòng điện kích I_G vào cực cổng.



Hình 2

Ta thấy SCR có thể coi như tương đương với hai transistor PNP và NPN liên kết nhau qua ngõ nền và thu

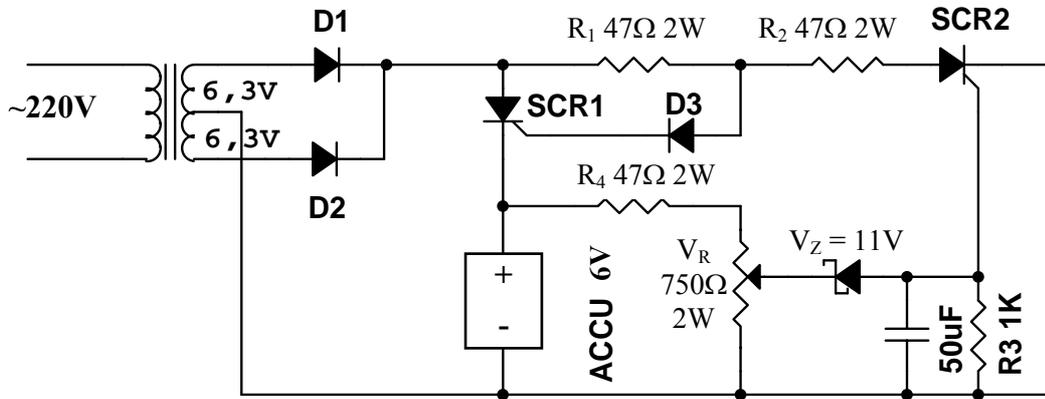
Khi có một dòng điện nhỏ I_G kích vào cực nền của Transistor NPN T_1 tức cổng G của SCR. Dòng điện I_G sẽ tạo ra dòng cực thu I_{C1} lớn hơn, mà I_{C1} lại chính là dòng nền I_{B2} của transistor PNP T_2 nên tạo ra dòng thu I_{C2} lại lớn hơn trước... Hiện tượng này cứ tiếp tục nên cả hai transistor nhanh chóng trở nên bão hòa. Dòng bão hòa qua hai transistor chính là dòng anod của SCR. Dòng điện này tùy thuộc vào V_{AA} và điện trở tải R_A .

Cơ chế hoạt động như trên của SCR cho thấy dòng I_G không cần lớn và chỉ cần tồn tại trong thời gian ngắn. Khi SCR đã dẫn điện, nếu ta ngắt bỏ I_G thì SCR vẫn tiếp tục dẫn điện, nghĩa là ta không thể ngắt SCR bằng cực cổng, đây cũng là một nhược điểm của SCR so với transistor.

Người ta chỉ có thể ngắt SCR bằng cách cắt nguồn V_{AA} hoặc giảm V_{AA} sao cho dòng điện qua SCR nhỏ hơn một trị số nào đó (tùy thuộc vào từng SCR) gọi là dòng điện duy trì I_H (holding current).

Bình thường đèn 6V cháy sáng nhờ nguồn điện qua mạch chỉnh lưu. Lúc này SCR ngưng dẫn do bị phân cực nghịch, accu được nạp qua D₁, R₁. Khi mất điện, nguồn điện accu sẽ làm thông SCR và thấp sáng đèn.

Mạch nạp accu tự động (trang sau)

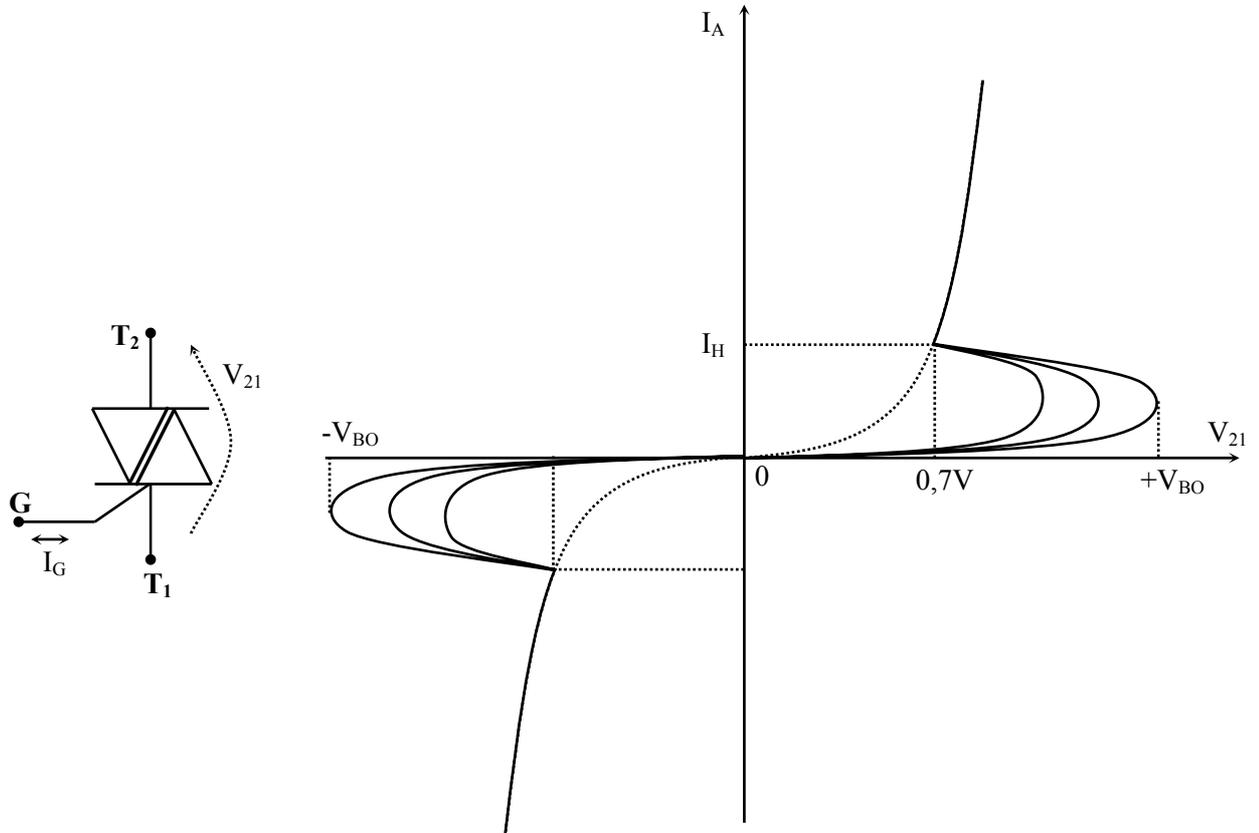


Hình 8

- Khi accu nạp chưa đầy, SCR₁ dẫn, SCR₂ ngưng
- Khi accu đã nạp đầy, điện thế cực dương lên cao, kích SCR₂ làm SCR₂ dẫn, chia bớt dòng nạp bảo vệ accu.
- VR dùng để chỉnh mức bảo vệ (giảm nhỏ dòng nạp)

Như vậy, ta thấy Triac như gồm bởi một SCR PNPN dẫn điện theo chiều từ trên xuống dưới, kích bởi dòng công dương và một SCR NPNP dẫn điện theo chiều từ dưới lên kích bởi dòng công âm. Hai cực còn lại gọi là hai đầu cuối chính (main terminal).

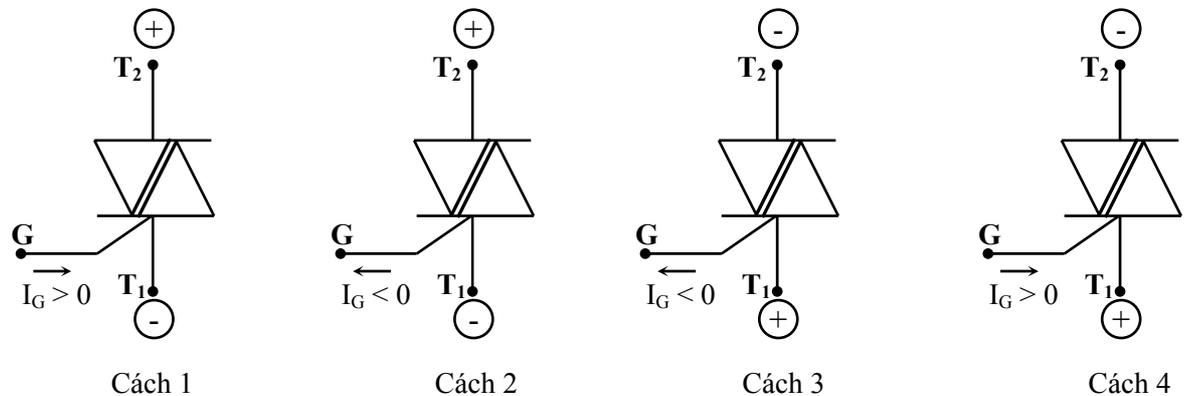
- Do đầu T_2 dương hơn đầu T_1 , để Triac dẫn điện ta có thể kích dòng công dương và khi đầu T_2 âm hơn T_1 ta có thể kích dòng công âm.



Hình 10

- Như vậy đặc tuyến V-I của Triac có dạng sau:

- Thật ra, do sự tương tác của vùng bán dẫn, Triac được náy theo 4 cách khác nhau, được trình bày bằng hình vẽ sau đây:

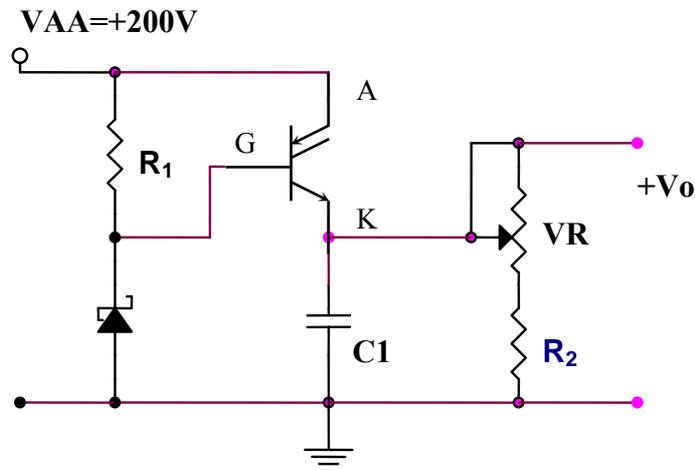


Hình 11

Tuy có ký hiệu khác với SCR và SCS nhưng các tính chất thì tương tự. Sự khác biệt cơ bản cũng là sự tiến bộ của GTO so với SCR hoặc SCS là có thể mở hoặc tắt GTO chỉ bằng một công (mở GTO bằng cách đưa xung dương vào cực cổng và tắt GTO bằng cách đưa xung âm vào cực cổng).

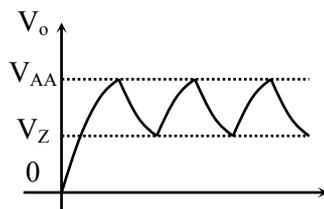
- So với SCR, GTO cần dòng điện kích lớn hơn (thường hàng trăm mA)

- Một tính chất quan trọng nữa của GTO là tính chuyển mạch. Thời gian mở của GTO cũng giống như SCR (khoảng $1\mu s$), nhưng thời gian tắt (thời gian chuyển từ trạng thái dẫn điện sang trạng thái ngưng dẫn) thì nhỏ hơn SCR rất nhiều (khoảng $1\mu s$ ở GTO và từ $5\mu s$ đến $30\mu s$ ở SCR). Do đó GTO dùng như một linh kiện có chuyển mạch nhanh. GTO thường được dùng rất phổ biến trong các mạch đếm, mạch tạo xung, mạch điều hoà điện thế... mạch sau đây là một ứng dụng của GTO để tạo tín hiệu răng cưa kết hợp với Diode Zener.



Hình 22

Khi cấp điện, GTO dẫn, anod và catod xem như nối tắt. C_1 nạp điện đến điện thế nguồn V_{AA} , lúc đó $V_{GK} < 0$ làm GTO ngưng dẫn. Tụ C_1 xả điện qua $R_3 = R_1 + R_2$. Thời gian xả điện tùy thuộc vào thời hằng $\tau = R_3 C_1$. Khi $V_o < V_Z$, GTO lại dẫn điện và chu kỳ mới lại được lập lại.



Hình 23

- Khi chưa áp V_{EE} vào cực phát E (cực phát E để hở) thời bán dẫn là một điện trở với nguồn điện thế V_{BB} , được ký hiệu R_{BB} và gọi là điện trở liên nền (thường có trị số từ 4 K Ω đến 10 K Ω). Từ mô hình tương đương ta thấy Diod được dùng để diễn tả nối P-N giữa vùng P và vùng n⁻. Điện trở R_{B1} và R_{B2} diễn tả điện trở của thời bán dẫn n⁻. Như vậy:
 $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \Big|_{I_E=0}$

Vậy điện thế tại điểm A là:

$$V_A = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} = \eta \cdot V_{BB} > 0$$

Trong đó: $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$ được gọi là tỉ số nội tại (intrinsic stand – off)

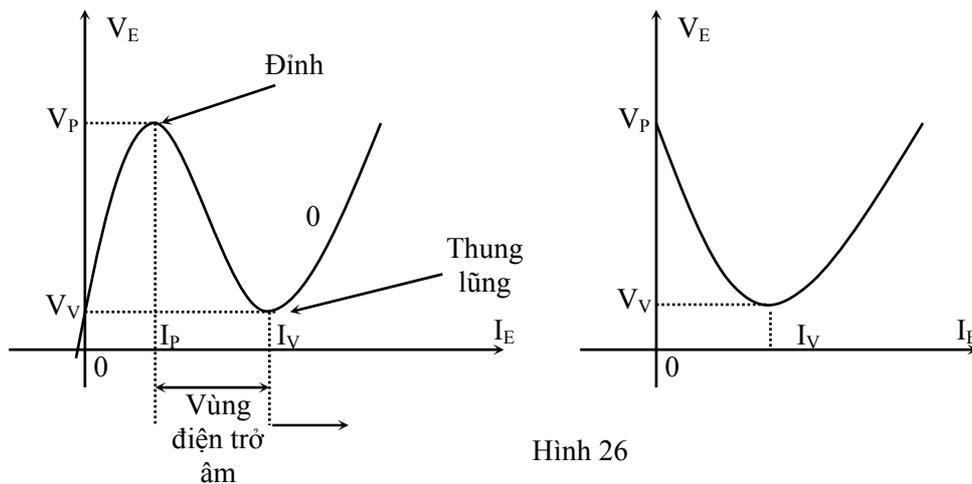
R_{BB} và η được cho bởi nhà sản xuất.

- Bây giờ, ta cấp nguồn V_{EE} vào cực phát và nền B_1 (cực dương nối về cực phát). Khi $V_{EE}=0V$ (nối cực phát E xuống mass), vì V_A có điện thế dương nên Diod được phân cực nghịch và ta chỉ có một dòng điện rỉ nhỏ chạy ra từ cực phát. tăng V_{EE} lớn dần, dòng điện I_E bắt đầu tăng theo chiều dương (dòng rỉ ngược I_E giảm dần, và triệt tiêu, sau đó dương dần). Khi V_E có trị số

$$V_E = V_D + V_A$$

$V_E = 0,5V + \eta V_{B2B1}$ (ở đây $V_{B2B1} = V_{BB}$) thì Diod phân cực thuận và bắt đầu dẫn điện mạnh.

Điện thế $V_E = 0,5V + \eta V_{B2B1} = V_P$ được gọi là điện thế đỉnh (peak-point voltage) của UJT.



Hình 26

Khi $V_E = V_P$, nối P-N phân cực thuận, lỗ trống từ vùng phát khuếch tán vào vùng n⁻ và di chuyển đến vùng nền B₁, lúc đó lỗ trống cũng hút các điện tử từ mass lên. Vì độ dẫn điện của chất bán dẫn là một hàm số của mật độ điện tử di động nên điện trở R_{B1} giảm. Kết quả là lúc đó dòng I_E tăng và điện thế V_E giảm. Ta có một vùng điện trở âm.

Điện trở động nhìn từ cực phát E trong vùng điện trở âm là:
$$r_d = - \frac{\Delta V_E}{\Delta I_E}$$

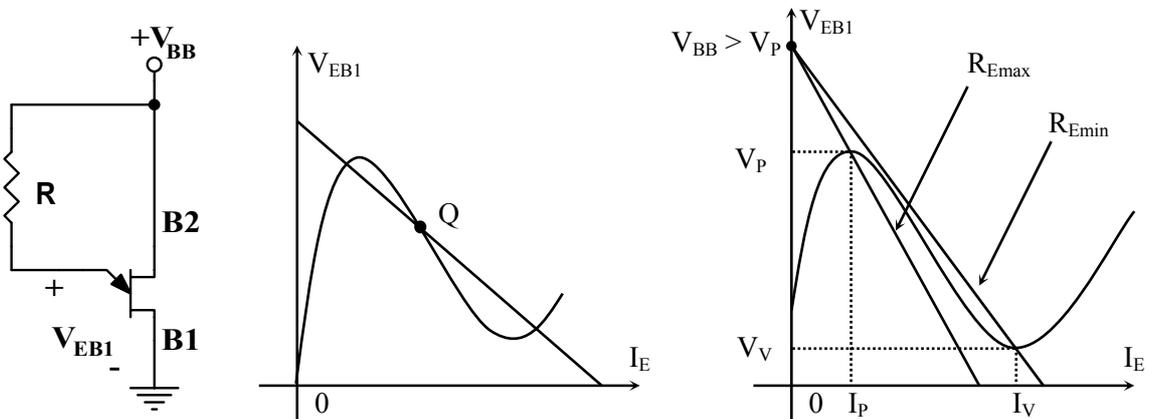
Khi I_E tăng, R_{B1} giảm trong lúc R_{B2} ít bị ảnh hưởng nên điện trở liên nền R_{BB} giảm. Khi I_E đủ lớn, điện trở liên nền R_{BB} chủ yếu là R_{B2}. Kết thúc vùng điện trở âm là vùng thung lũng, lúc đó dòng I_E đủ lớn và R_{B1} quá nhỏ không giảm nữa (chú ý là dòng ra cực nền B₁) gồm có dòng điện liên nền I_B cộng với dòng phát I_E) nên V_E không giảm mà bắt đầu tăng khi I_E tăng. Vùng này được gọi là vùng bảo hòa.

Như vậy ta nhận thấy:

- Dòng đỉnh I_P là dòng tối thiểu của cực phát E để đặt UJT hoạt động trong vùng điện trở âm. Dòng điện thung lũng I_V là dòng điện tối đa của I_E trong vùng điện trở âm.
- Tương tự, điện thế đỉnh V_P là điện thế thung lũng V_V là điện thế tối đa và tối thiểu của V_{EB1} đặt UJT trong vùng điện trở âm.

Trong các ứng dụng của UJT, người ta cho UJT hoạt động trong vùng điện trở âm, muốn vậy, ta phải xác định điện trở R_E để I_P < I_E < I_V

Thí dụ trong mạch sau đây, ta xác định trị số tối đa và tối thiểu của R_E



Hình 27

Đề ý là công G nằm ở vùng N gần anod nên để PUT dẫn điện, ngoài việc điện thế anod lớn hơn điện thế catod, điện thế anod còn phải lớn hơn điện thế công một điện thế ngưỡng của nối PN.

Ta có:
$$V_{GK} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} = \eta V_{BB}$$

Trong đó:
$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$
 như được định nghĩa trong UJT

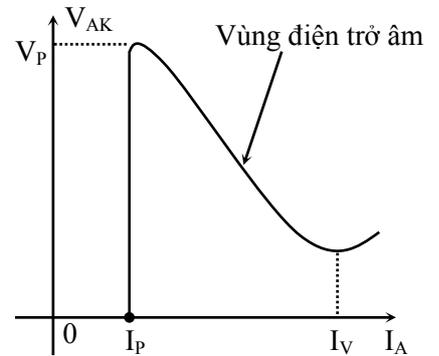
Tuy nhiên, nên nhớ là UJT, R_{B1} và R_{B2} là điện trở nội của UJT, Trong lúc ở PUT, R_{B1} và R_{B2} là các điện trở phân cực bên ngoài.

Đặc tuyến của dòng I_A theo điện thế công V_{AK} cũng giống như ở UJT

Điện thế đỉnh V_P được tính bởi:
$$V_P = V_D + \eta V_{BB}$$

mà $V_D = 0,7V$ (thí dụ Si)

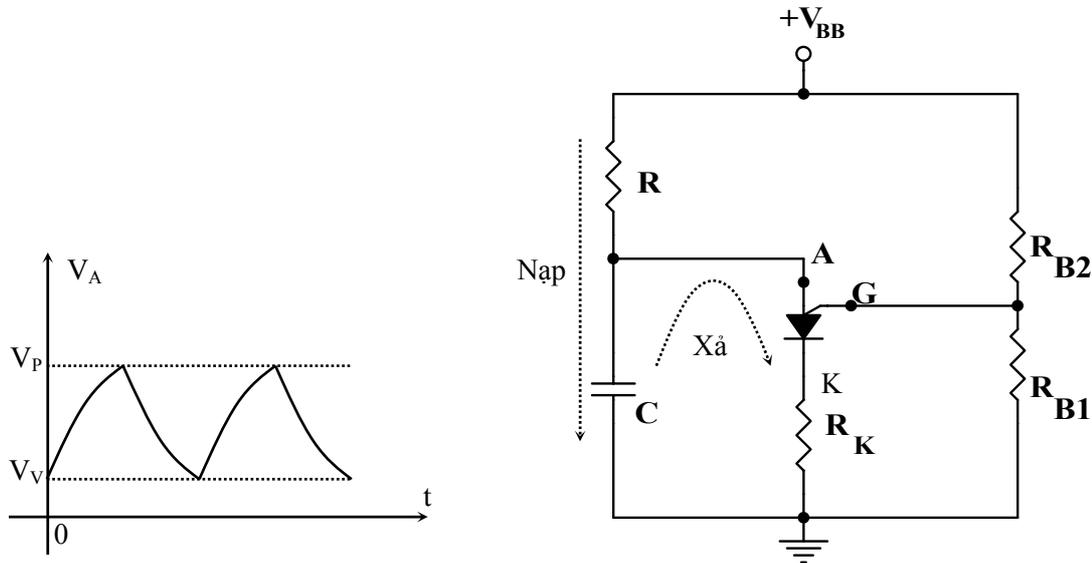
$$V_G = \eta V_{BB} \Rightarrow V_P = V_G + 0,7V$$



Hình 32

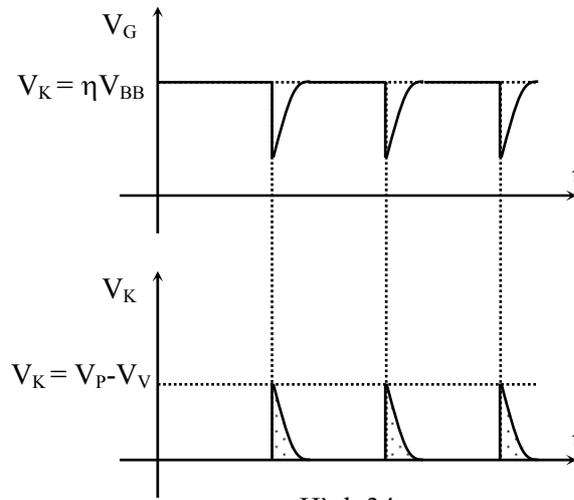
Tuy PUT và UJT có đặc tính giống nhau nhưng dòng điện đỉnh và thung lũng của PUT nhỏ hơn UJT

+ Mạch dao động thư giãn dùng PUT



Hình 33

Chú ý trong mạch dùng PUT, ngõ xả của tụ điện là anod. Tín hiệu ra được sử dụng thường lấy ở catod (và có thể dùng kích SCR như ở UJT)

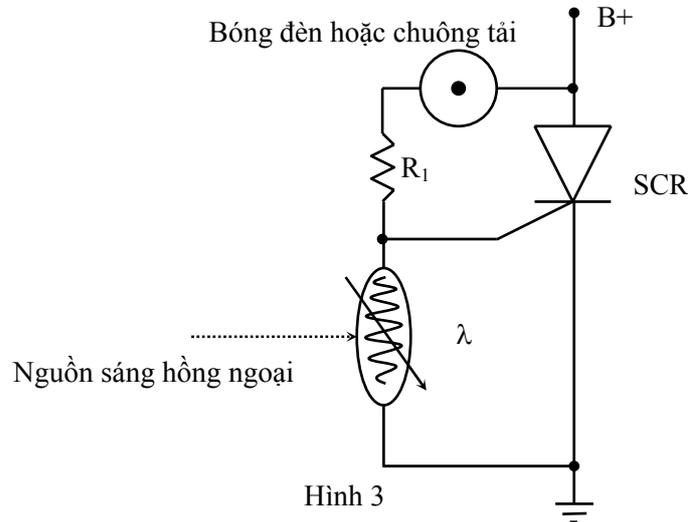


Hình 34

Vài ứng dụng của quang điện trở:

Quang điện trở được dùng rất phổ biến trong các mạch điều khiển

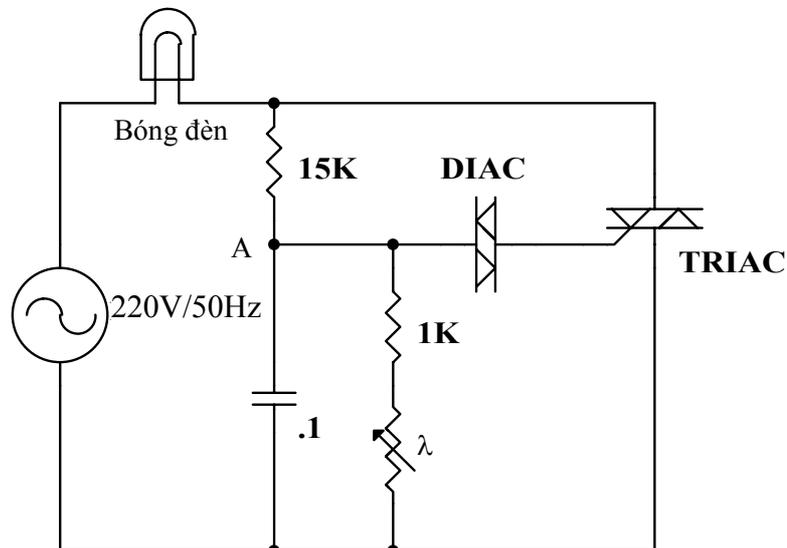
1. Mạch báo động:

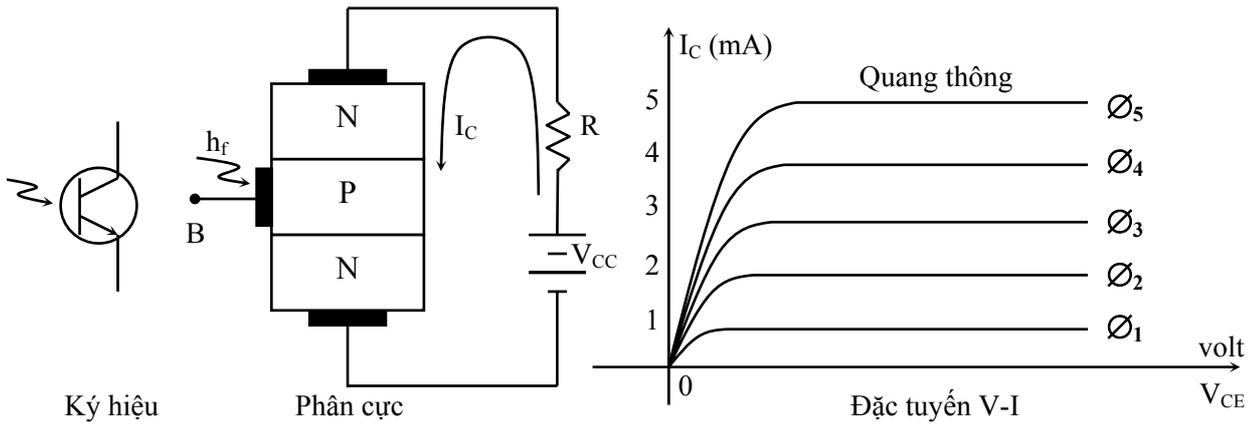


Khi quang điện trở được chiếu sáng (trạng thái thường trực) có điện trở nhỏ, điện thế cổng của SCR giảm nhỏ không đủ dòng kích nên SCR ngưng. Khi nguồn sáng bị chắn, R tăng nhanh, điện thế cổng SCR tăng làm SCR dẫn điện, dòng điện qua tải làm cho mạch báo động hoạt động.

Người ta cũng có thể dùng mạch như trên, với tải là một bóng đèn để có thể cháy sáng về đêm và tắt vào ban ngày. Hoặc có thể tải là một relais để điều khiển một mạch báo động có công suất lớn hơn.

2. Mạch mở điện tự động về đêm dùng điện AC:



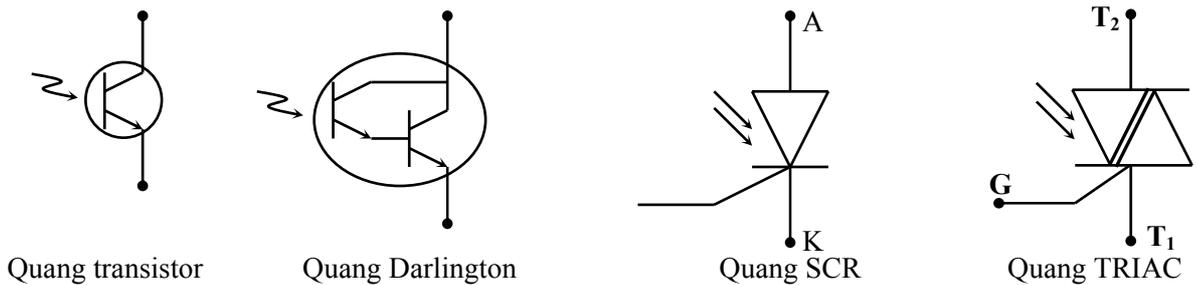


Hình 8

Khi có ánh sáng chiếu vào mối nối thu nên thì sự xuất hiện của các cặp điện tử và lỗ trống như trong quang diod làm phát sinh một dòng điện I_λ do ánh sáng nên dòng điện thu trở thành: $I_C = (\beta + 1)(I_{C0} + I_\lambda)$

Như vậy, trong quang transistor, cả dòng tới lẫn dòng chiếu sáng đều được nhân lên $(\beta + 1)$ lần so với quang diod nên dễ dàng sử dụng hơn. Hình trên trình bày đặc tính V-I của quang transistor với quang thông là một thông số. Ta thấy đặc tuyến này giống như đặc tuyến của transistor thường mắc theo kiểu cực phát chung.

Có nhiều loại quang transistor như loại một transistor dùng để chuyển mạch dùng trong các mạch điều khiển, mạch đếm... loại quang transistor Darlington có độ nhạy rất cao. Ngoài ra người ta còn chế tạo các quang SCR, quang triac...

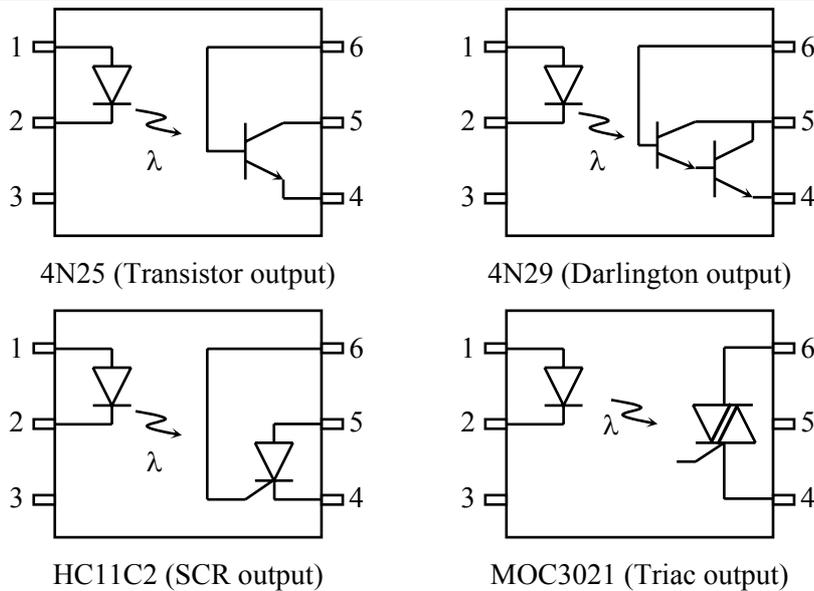


Hình 9

Vài ứng dụng của quang transistor:

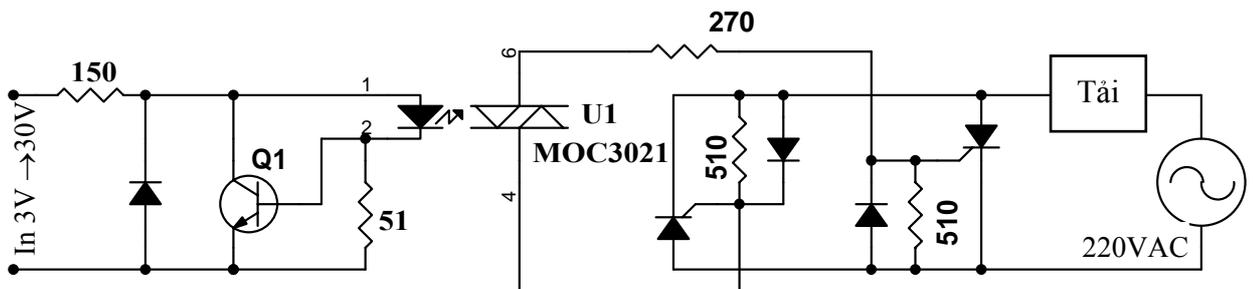
1. Quang kế:

Đây là mạch đơn giản để đo cường độ ánh sáng, biến trở 5K dùng để chuẩn máy nhờ một quang kế mẫu. Khi ánh sáng chiếu vào càng mạch, quang transistor càng dẫn mạnh, kim điện kế lệch càng nhiều. Dĩ nhiên ở mạch trên ta cũng có thể dùng quang điện trở hay quang diod nhưng kém nhạy hơn.



Hình 14

Hình sau đây giới thiệu một áp dụng của nối quang



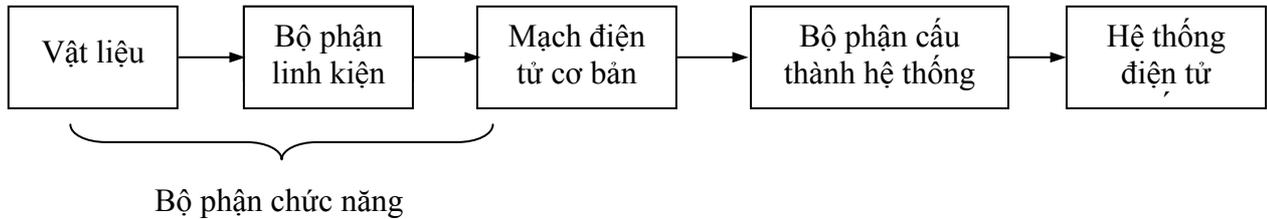
Hình 15

- Q1: Bảo vệ nối quang khi điện thế nguồn lớn (chia bớt dòng điện qua LED).
- Khi LED sáng, nối quang hoạt động kích hai SCR hoạt động (mỗi SCR hoạt động ở một bán kỳ khi có xung kích từ nối quang) cấp dòng cho tải.
- Khi LED tắt, nối quang ngưng, 2 SCR ngưng, ngắt dòng qua tải.
- Mạch này là một ví dụ về mạch SSR (Solid – State – Relay).

Vậy nếu một transistor có tuổi thọ là 10^8 h, thì một máy tính gồm 500000 ngàn transistor sẽ chỉ có tuổi thọ $\frac{10^8}{5 \cdot 10^5} = 200$ giờ

Các thành phần trong IC được chế tạo đồng thời và cũng cùng phương pháp, nên tuổi thọ IC xấp xỉ một tuổi thọ một transistor Planar.

4. Một hệ thống (hay một máy) điện tử có cấu tạo như hình vẽ:



Sự kết tụ áp dụng vào IC thường thực hiện ở giai đoạn bộ phận chức năng. Song khái niệm kết tụ không nhất thiết dừng lại ở giai đoạn này. Người ta vẫn nỗ lực để kết tụ với mật độ cực cao trong IC, nhằm hướng tới việc kết tụ toàn thể hệ thống điện tử trên một phiến (chíp)

Năm	1947	1950	1961	1966	1971	1980	1985	1990
Công nghệ	Phát minh Transistor	Linh kiện rời	SSI	MSI	LSI	VLSI	ULSI	GSI
Số Transistor trên 1 chip trong các sản phẩm thương mại	1	1	10	100→1000	1000→20000	20000→500000	>500000	>1000000
Các sản phẩm tiêu biểu		BJT Diode	Linh kiện planar, Cổng logic, Flip Flop	Mạch đếm, đa hợp, mạch cộng	Vi xử lý 8 bit, ROM, RAM	Vi xử lý 16 và 32 bit	Vi xử lý chuyên dụng, xử lý ảnh, thời gian thực	

SSI: Small scale integration: Tích hợp qui mô nhỏ

MSI: Medium scale intergration: Tích hợp qui mô trung bình

LSI: Large scale integration: Tích hợp theo qui mô lớn

GSI: Ultra large scale integration: Tích hợp qui mô khổng lồ

Tóm lại, công nghệ IC đưa đến những điểm lợi so với kỹ thuật linh kiện rời như sau:

- Giá thành sản phẩm hạ
- Kích cỡ nhỏ
- Độ khả tín cao (tất cả các thành phần được chế tạo cùng lúc và không có những

- a. Từ một nền P-Si (hoặc n-Si) đơn tinh thể
- b. Tạo một lớp epitaxy mỏng loại N-Si
- c. Phủ một lớp cách điện SiO₂

Bước 2:

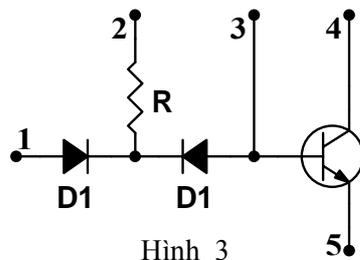
Dùng phương pháp quang khắc để khử lớp SiO₂ ở một số chỗ nhất định, tạo ra các cửa sổ ở bề mặt tinh thể. Từ các cửa sổ, có thể khuếch tán tạp chất vào.

Đầu tiên, vẽ sơ đồ những nơi cần mở cửa sổ, chụp hình sơ đồ rồi lấy phim âm bản, thu nhỏ lại. Những nơi cần mở cửa sổ là vùng tối trên phim

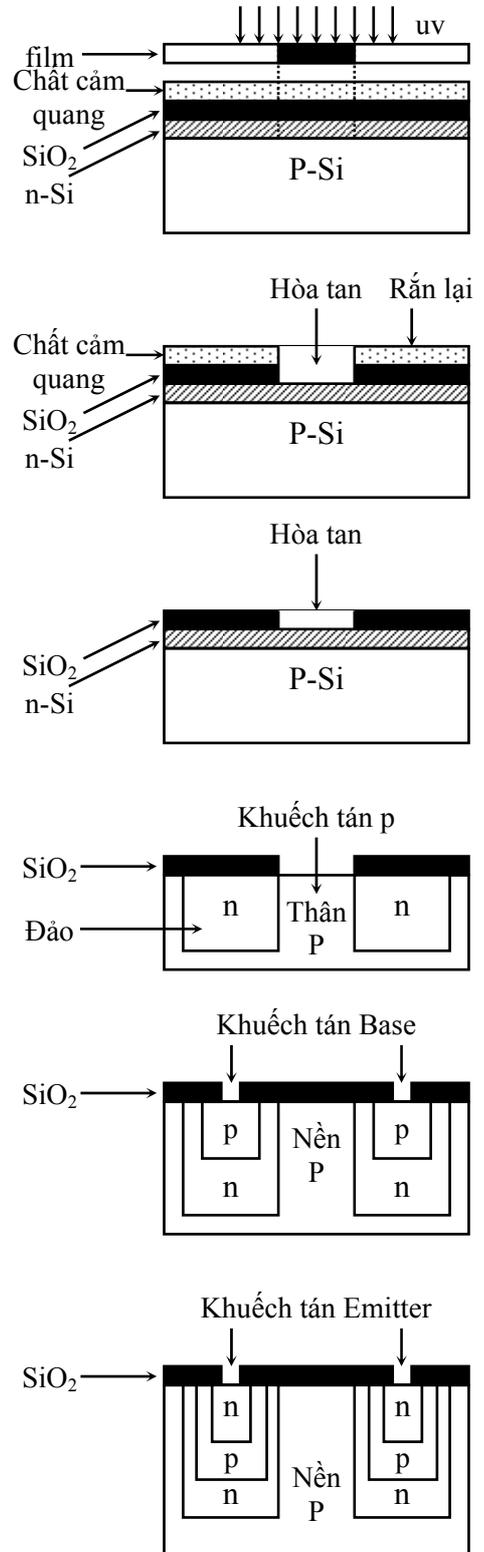
- a. Bôi một lớp cản quang trên bề mặt. Đặt phim ở trên rọi tia cực tím vào những nơi cần mở cửa sổ được lớp đen trên phim bảo vệ. Nhúng tinh thể vào dung dịch tricloetylen. Chỉ những nơi cần mở cửa sổ lớp cản quang mới bị hòa tan, các nơi khác rắn lại.
- b. Lại đem tinh thể nhúng vào dung dịch fluorhydric. Chỉ những nơi cần mở cửa sổ lớp SiO₂ bị hòa tan, những nơi khác nhờ lớp cản quang che chở.
- c. Đem tẩy lớp cản quang
- d. Khuếch tán chất bán dẫn P sâu đến thân, tạo ra các đảo N.
- e. Lại mở cửa sổ, khuếch tán chất bán dẫn P vào các đảo N (khuếch tán Base)
- f. Lại mở cửa sổ, khuếch tán chất bán dẫn N vào (khuếch tán Emitter)
- g. Phủ kim loại. Thực hiện các chỗ nối

Thí dụ:

Một mạch điện đơn giản như sau, được chế tạo dưới dạng IC đơn tinh thể.

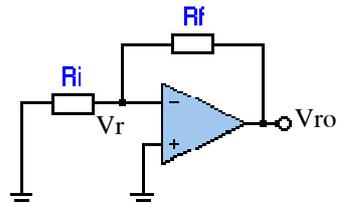
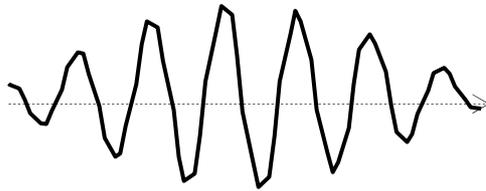


Hình 3



Hình 2

Đào Thanh Toán
Phạm Thanh Huyền
Võ Quang Sơn



BÀI GIẢNG

KỸ THUẬT MẠCH ĐIỆN TỬ

Chuyên ngành: KTVT, KTTT, ĐKH-THGT

Lời nói đầu:

Bài giảng Kỹ thuật Mạch 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

CHƯƠNG I. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VÀ CƠ SỞ PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN TỬ

I. MẠCH ĐIỆN TỬ:

Mạch điện tử là loại mạch có nhiệm vụ gia công tín hiệu theo những thuật toán khác nhau, chúng được phân loại theo dạng tín hiệu được xử lý.

Tín hiệu: là số đo điện áp hoặc dòng điện của một quá trình, sự thay đổi của tín hiệu theo thời gian tạo ra tín tức hữu ích.

Tín hiệu được chia làm 2 loại là tín hiệu tương tự Analog và tín hiệu số Digital.

Tín hiệu tương tự là tín hiệu biến thiên liên tục theo thời gian và có thể nhận mọi giá trị trong khoảng biến thiên của nó.

Tín hiệu số: là tín hiệu đã được rời rạc hoá về mặt thời gian và lượng tử hoá về mặt biên độ, nó được biểu diễn bởi tập hợp xung tại những điểm đo rời rạc.

Tín hiệu có thể được khuếch đại; điều chế; tách sóng; chỉnh lưu; nhớ; đo; truyền đạt; điều khiển; biến dạng; tính toán bằng các mạch điện tử.

Để gia công 2 loại tín hiệu số và tương tự dùng 2 loại mạch cơ bản: mạch tương tự và mạch số, trong khuôn khổ giáo trình này chỉ xem xét các mạch tương tự.

Với mạch điện tử tương tự, chỉ quan tâm tới 2 thông số: biên độ tín hiệu và độ khuếch đại tín hiệu.

Biên độ tín hiệu: liên quan mật thiết đến độ chính xác của quá trình gia công tín hiệu và xác định mức độ ảnh hưởng của nhiễu đến hệ thống. Khi biên độ tín hiệu nhỏ mV, hoặc μV , thì nhiễu có thể lấn át tín hiệu, vì vậy khi thiết kế các hệ thống điện tử cần lưu ý nâng cao biên độ tín hiệu ngay ở tầng đầu của hệ thống.

Khuếch đại tín hiệu là chức năng quan trọng nhất của mạch tương tự, có thể thực hiện trực tiếp hoặc gián tiếp trong các phân tử chức năng của hệ thống, thông thường trong một hệ thống lại chia thành tầng gia công tín hiệu, tầng khuếch đại công suất.

Hiện nay các mạch tổ hợp(IC) tương tự được dùng phổ biến, không những đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật mà còn có độ tin cậy cao và chi phí thấp, tuy nhiên chúng được dùng chủ yếu cho tín hiệu có phạm vi tần số thấp.

Xu hướng phát triển của kỹ thuật mạch điện tử tương tự là nâng cao độ tích hợp, và khả năng ứng dụng của mạch.

II. CÁC KIẾN THỨC CƠ BẢN VỀ TRANSISTOR

Xem lại ở các giáo trình Cấu kiện Điện tử, những nội dung sau:

- 1- Cấu tạo, nguyên lý hoạt động,
- 2- Có 3 cách mắc cơ bản của BJT(FET) : EC(SC); CC(DC); BC(GC).
- 3- Các ứng dụng của BJT và FET, tùy theo việc phân cực mà T sẽ làm việc theo các chế độ sau:
 - + Chế độ khuếch đại tín hiệu: phân cực ở chế độ khuếch đại
 - + Làm việc ở chế độ khoá: miền bão hoà và miền cắt
- 4- Các sơ đồ tương đương của T
- 5- Đặc tính tần số của T
- 6- Sơ đồ và cách tính toán của T khi khuếch đại tín hiệu nhỏ
- 7- So sánh giữa BJT và FET,

Gợi ý :

Fet có ưu điểm kích thước và điện áp cung cấp(dẫn đến công suất tiêu thụ) nhỏ hơn và độ tin cậy cao hơn BJT, nhưng Fet lại có nhược điểm là điện dẫn g nhỏ và nhạy cảm với điện tích tĩnh, vì vậy Fet thường được tích hợp trong mạch IC, còn BJT thường dùng cho mạch rời.

III. MẠCH CẤP NGUỒN VÀ ỔN ĐỊNH CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC

1. Đặt vấn đề:

Trong các tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ, điểm làm việc nằm trong miền tích cực của BJT, trong miền thất của FET, ở chế độ tĩnh, trên các cực của T có các dòng điện tĩnh $I_c(I_D)$; $I_B(I_G)$ và điện áp một chiều $U_{CE}(U_{DS})$; $U_{BE}(U_{GS})$. Điểm làm việc tương ứng với chế độ này là điểm làm việc tĩnh Q.

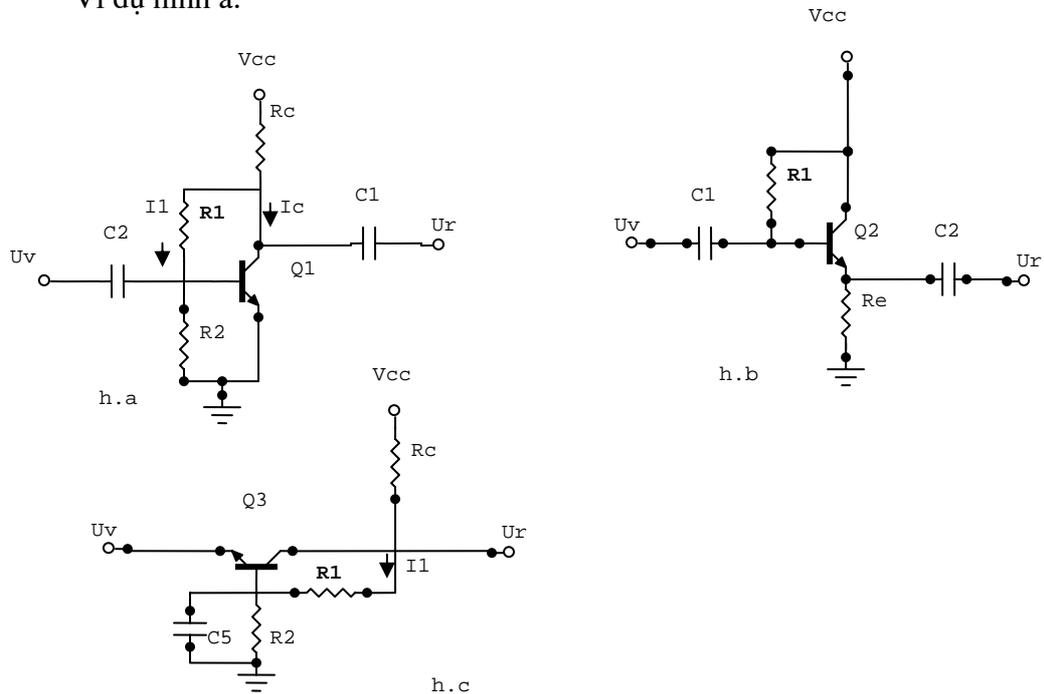
Khi có tín hiệu vào thì điện áp và dòng điện thay đổi xung quanh giá trị tĩnh, để đảm bảo cho các tầng làm việc bình thường trong những điều kiện khác nhau, ngoài việc cung cấp điện áp thích hợp cho các cực, còn cần phải ổn định điểm làm việc tĩnh đã chọn, nếu không chất lượng làm việc của tầng bị giảm sút.

2. Với BJT.

a. Sơ đồ ổn định tuyến tính:

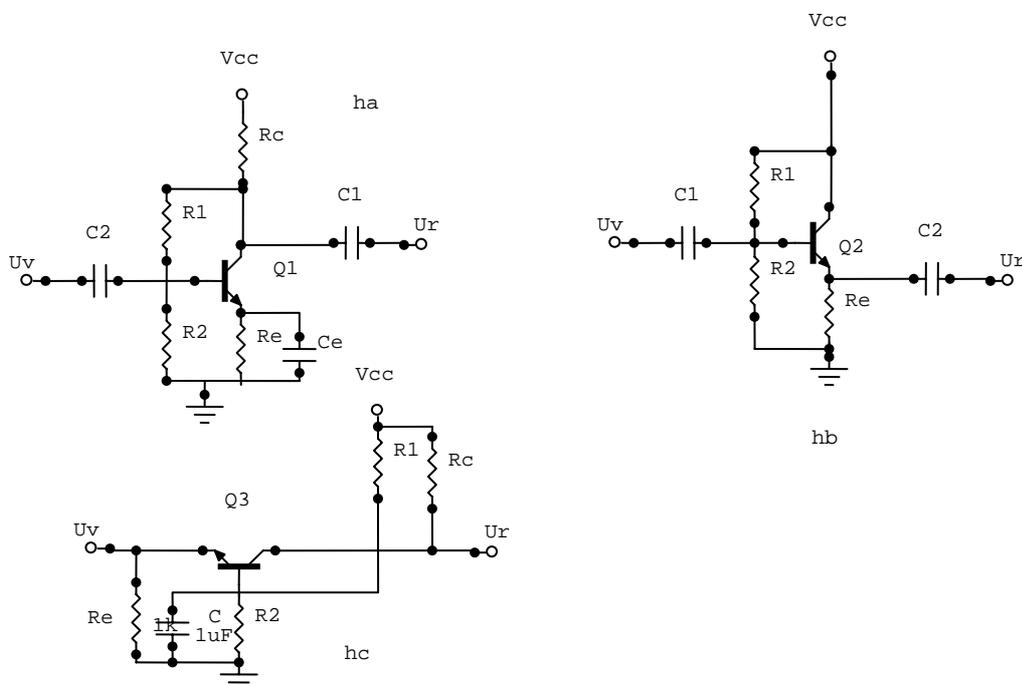
Sơ đồ phổ biến là sơ đồ hồi tiếp- một chiều: nhằm biến đổi điện áp mạch vào của T sao cho có thể hạn chế sự di chuyển điểm tĩnh trên đặc tuyến ra, gây nên bởi các yếu tố mất ổn định. Sơ đồ như sau:

Ví dụ hình a:



Mạch cung cấp và ổn định điểm làm việc bằng hồi tiếp âm điện áp
 ha. EC; hb:CC; hc: BC

Nguyên tắc ổn định: nếu có một nguyên nhân mất ổn định nào đó làm cho dòng một chiều I_{CE0} trên collector tăng thì điện thế U_{CE0} giảm, do đó dòng định thiên $I_{B0} = U_{CE0}/R1$ giảm theo, làm I_{CE0} giảm xuống, nghĩa là dòng tĩnh ban đầu giữ nguyên. Cũng có thể dùng sơ đồ hồi tiếp dòng điện: Nguyên tắc ổn định như sau:



Sơ đồ cung cấp và ổn định điểm làm việc bằng hồi tiếp - dòng điện một chiều.
 ha. EC; hb: CC; hc: BC

Khi I_C tăng, thì điện áp $U_{E0} = I_e \cdot R_e$ tăng, vì điện áp U_e lấy trên bộ phân áp $R1$ và $R2$ không đổi, nên $U_{BE0} = I_B R2 - U_{E0}$ giảm làm cho I_B giảm, do vậy I_C không tăng. Tụ C_e có tác dụng tránh hồi tiếp - xoay chiều.

a. Sơ đồ ổn định phi tuyến :

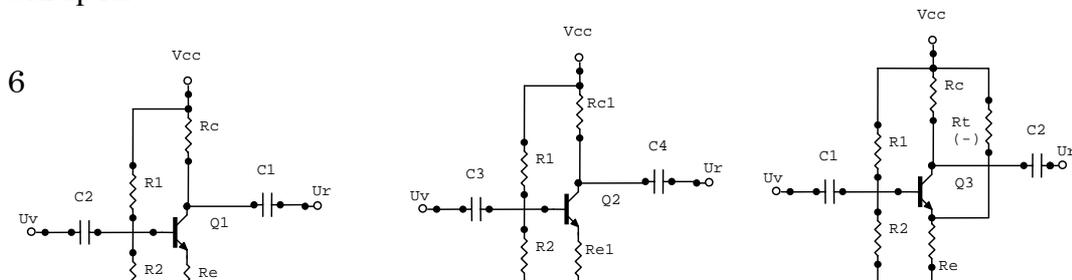
Áp dụng phương pháp bù nhiệt nhờ các phân tử có tham số phụ thuộc vào nhiệt độ như T, D , Điện trở nhiệt, phương pháp này thích hợp cho mạch tổ hợp.

- Nếu D và T như hình a đều được sản xuất từ một loại bán dẫn như nhau, và nhiệt độ mặt ghép của chúng như nhau, thì đặc tính nhiệt của điện áp B-E và của điện áp hạ trên D là như nhau; hơn nữa U_{BE} ; U_D có chiều ngược nhau, nên ảnh hưởng của nhiệt độ được bù hoàn toàn.

- Sơ đồ hình B cũng làm việc theo nguyên tắc đó, khi mắc nối tiếp $R2$ với D phân cực thuận, thì $R1, R2, D$ tạo thành mạch phân áp đưa điện áp vào B, nếu chọn $R2 \ll R1$ thì U_B hầu như không phụ thuộc nguồn V_{cc} .

- Sơ đồ hình c: dùng điện trở có hệ số nhiệt - để bù, khi nhiệt độ tăng thì R_T giảm, do đó điện áp U_E tăng làm I_C giảm sao cho có thể bù lại sự tăng của I_C theo nhiệt độ

Các mạch loại này có ưu điểm có tổn hao phụ không đáng kể, không gây ảnh hưởng đến áp ra.



c. Ổn định trong mạch tổ hợp tương tự

Dùng các nguồn điện để ổn định vì nguồn dòng dễ chế tạo dưới dạng tổ hợp, trên sơ đồ dưới đây, giả thiết IC không phụ thuộc U_{CE} và Q1, Q2 có tham số hoàn toàn giống nhau và ở cùng một nhiệt độ, do đó:

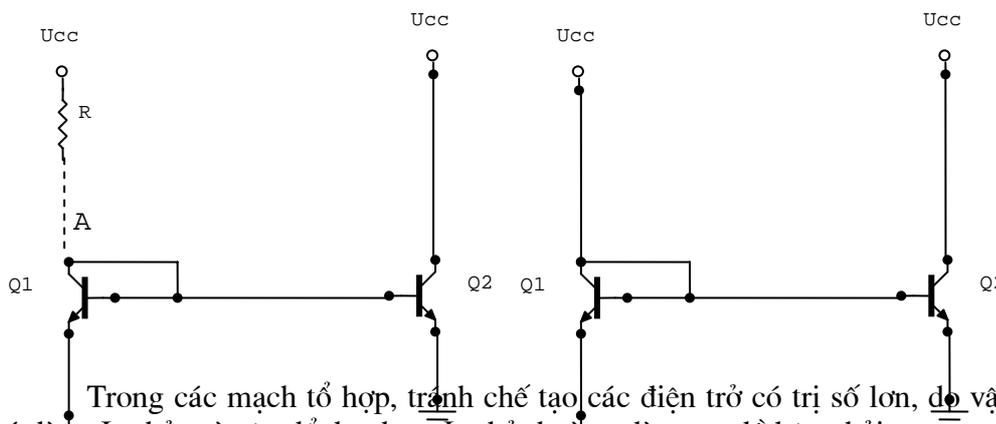
$$I_{C1}=I_{C2} \text{ và } I_{B1}=I_{B2}= I_{C1}/B_N$$

Theo sơ đồ hình a:

$$I_1=I_{C1}+ 2I_{B2} = I_{C2}+ 2I_{C2}/B_N$$

Từ đó suy ra: $I_{C2}= I_1/(1+2/B_N) \approx I_1$ khi $B_N \gg 2$

Từ đây ta thấy có thể dùng I_1 để điều khiển trị số của I_{C2} . Để I_1 ổn định, đơn giản nhất là nối A với Vcc qua R.



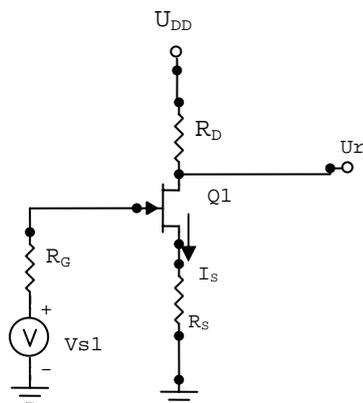
Trong các mạch tổ hợp, tránh chế tạo các điện trở có trị số lớn, do vậy khó có dòng I_1 nhỏ, vì vậy để đạt được I_1 nhỏ thường dùng sơ đồ bên phải.

3. với FET

Vấn đề ổn định nhiệt của FET là làm cho điểm làm việc không phụ thuộc vào độ tạp tán tham số của FET, không phụ thuộc nhiệt độ, thời gian, và các biến đổi của điện áp nguồn cung cấp, cũng giống BJT biện pháp ổn định nhiệt của FET cũng dùng nguyên tắc hồi tiếp - dòng điện và điện áp. ví dụ:

Các loại sơ đồ hồi tiếp - dòng điện thông qua R_s có dạng như hình sau:

Nếu coi $I_G=0$, ta có $U'_G=I_D R_s + U_{GS}$; biểu thức này cho biết dạng của đường điện trở R_s với độ dốc:



$$\text{tg}\alpha = -(dI_D/dU_{GS})$$

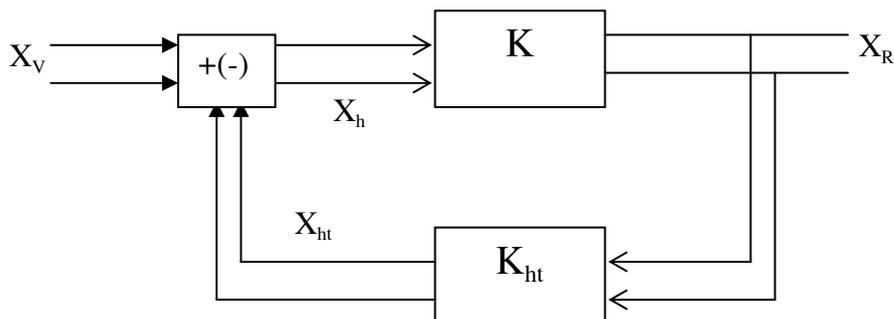
U'_G phải chọn sao cho dòng máng I_D không đổi khi thay FET, chọn U'_G chính là chọn R_G , điện trở ổn định.

CHƯƠNG 2. HỒI TIẾP

I. KHÁI NIỆM:

1. Định nghĩa:

Hồi tiếp là ghép một phần tín hiệu ra (điện áp hoặc dòng điện) của mạng 4 cực tích cực (phần tử khuếch đại- Transistor hoặc KĐTT) về đầu vào thông qua một mạng 4 cực, mạng 4 cực này gọi là mạng hồi tiếp.



X_v : tín hiệu vào

X_R : tín hiệu ra

X_{ht} : tín hiệu hồi tiếp

K : Hệ số khuếch đại của mạch Khuếch đại

K_{ht} : Hệ số khuếch đại mạch hồi tiếp

Hình. Sơ đồ khối bộ khuếch đại có hồi tiếp

Hồi tiếp đóng vai trò quan trọng trong kỹ thuật mạch điện tử tương tự, nó cho phép cải thiện các tính chất của bộ khuếch đại như: trở kháng vào, trở kháng ra, băng thông,...

2. Phân loại:

Theo tác dụng hồi tiếp có hai loại về hồi tiếp cơ bản:

- Hồi tiếp (-) : Tín hiệu hồi tiếp – ngược pha với tín hiệu vào

- Hồi tiếp (+): Tín hiệu hồi tiếp – cùng pha với tín hiệu vào

Trong các loại hồi tiếp ta lại quan tâm: tín hiệu hồi tiếp là một chiều hay xoay chiều, hồi tiếp âm một chiều được dùng để ổn định chế độ công tác, còn hồi tiếp âm xoay chiều được dùng để ổn định các tham số của bộ khuếch đại. Quan tâm đến cách ghép nối tiếp hay song song.

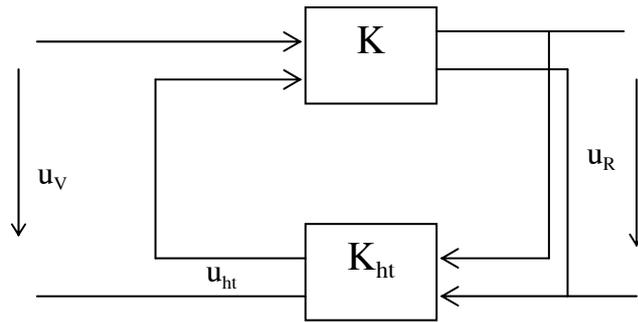
Tổng hợp ta có các loại như sau:

+ Hồi tiếp nối tiếp điện áp: tín hiệu hồi tiếp đưa đến đầu vào nối tiếp với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với điện áp đầu ra.

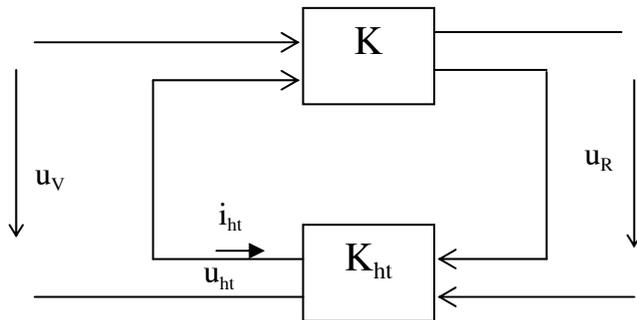
+ Hồi tiếp song song điện áp: tín hiệu hồi tiếp đưa đến đầu vào song song với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với điện áp đầu ra.

+ Hồi tiếp nối tiếp dòng điện: tín hiệu hồi tiếp đưa đến đầu vào nối tiếp với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với dòng điện đầu ra.

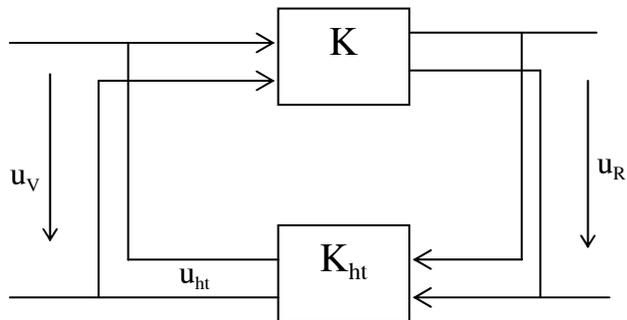
+ Hồi tiếp song song dòng điện: tín hiệu hồi tiếp đưa đến đầu vào song song với nguồn tín hiệu ban đầu và tỷ lệ với dòng điện đầu ra.



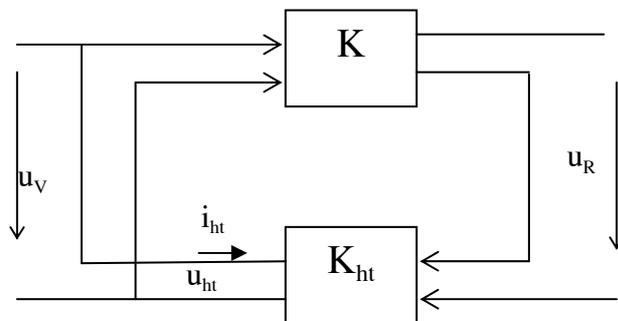
Hình. Sơ đồ khối hồi tiếp nối tiếp điện áp



Hình. Sơ đồ khối hồi tiếp nối tiếp dòng điện

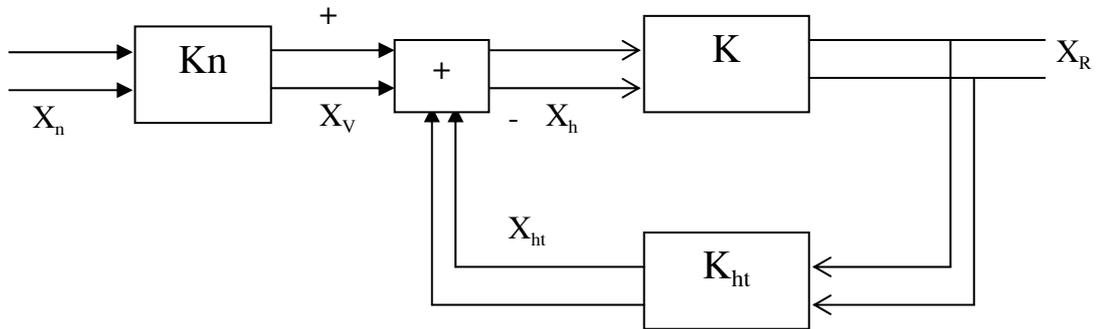


Hình. Sơ đồ khối hồi tiếp song song điện áp



Hình. Sơ đồ khối hồi tiếp song song dòng điện

3. Các phương trình cơ bản:



- X_v : tín hiệu vào
- X_R : tín hiệu ra
- X_{ht} : tín hiệu hồi tiếp
- K: Hệ số khuếch đại của mạch Khuếch đại
- K_{ht} : Hệ số khuếch đại mạch hồi tiếp
- X_n : tín hiệu từ tầng trước
- K_n : Hệ số khuếch đại mạch ghép

Hình. Sơ đồ khối bộ tổng quát khuếch đại có hồi tiếp

Từ sơ đồ suy ra các quan hệ:

- + $X_R = KX_{ht}$
- + $X_v = K_n X_n$
- + $X_h = X_v - X_{ht}$ nếu tín hiệu vào(X_h) và tín hiệu hồi tiếp X_{ht} đồng pha ($X_v = X_h + X_{ht}$)
- + $X_h = X_v + X_{ht}$ nếu tín hiệu vào(X_h) và tín hiệu hồi tiếp X_{ht} ngược pha ($X_v = X_h - X_{ht}$)

$$+ X_{ht} = K_{ht} X_R$$

$$K' = \frac{X_R}{X_v} = \frac{K}{1 \pm KK_{ht}}; K_{tp} = \frac{X_R}{X_n} = K' K_n$$

- K' : Hàm truyền đạt mạng 4 cực tích cực có hồi tiếp
- K_{tp} : Hàm truyền đạt toàn phần của nó
- K_n : Hàm truyền đạt toàn phần của khâu ghép
- Gọi $K_v = KK_{ht}$ là hệ số khuếch đại vòng
- Gọi $g = 1 \pm K_v = 1 \pm KK_{ht}$ là độ sâu hồi tiếp(dấu - khi hồi tiếp song song, dấu + khi hồi tiếp là nối tiếp)
- Các tham số này dùng để đánh giá mức độ thay đổi các tham số của bộ khuếch đại. Phân biệt các trường hợp sau:
 - $g > 1$, tức $K' < K$, tức mạch hồi tiếp mắc vào làm giảm hệ số khuếch đại, ta có hồi tiếp (-).

- $g < 1$, tức $K' > K$, tức mạch hồi tiếp mắc vào làm tăng hệ số khuếch đại, ta có hồi tiếp (+).
- $g = 1$, tức $K' = K$, mạch trở thành mạch dao động (xem chương mạch dao động)

III. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH CÓ HỒI TIẾP:

Phân tích là việc tìm ra các thông số cơ bản: Z_v , Z_r , K , B ... Cơ bản giống như các mạch điện tử khác, chủ yếu vẫn dùng các kiến thức của lý thuyết mạch điện để phân tích, ngoài ra còn có thể kết hợp với các lý thuyết khác như lý thuyết điều khiển tự động.

Hồi tiếp + sẽ xem xét tại chương dao động, sau đây xét cho các trường hợp hồi tiếp -

Sau đây là ví dụ về các trường hợp, phần tử tích cực là Transistor:

a, Hồi tiếp âm dòng điện, ghép nối tiếp

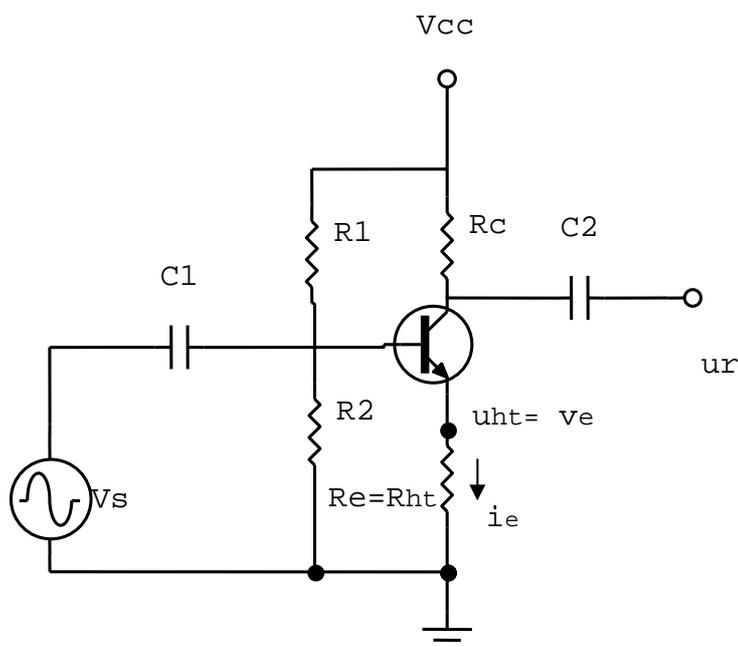
Chọn giá trị của các tụ điện sao cho trở kháng của nó với tần số tín hiệu làm việc của mạch là rất nhỏ, để có thể coi tín hiệu được nối tắt mà không qua R_e ở sơ đồ không hồi tiếp.

Với sơ đồ có hồi tiếp, không dùng R_e , nên dòng ngõ ra $i_c \approx i_e$, đi qua R_e tạo ra điện áp xoay chiều, đây cũng chính là điện áp hồi tiếp $V_{ht} = V_e = R_e \cdot i_c$ (phải tính là điện áp vì tín hiệu X_n là tín hiệu áp - V_s).

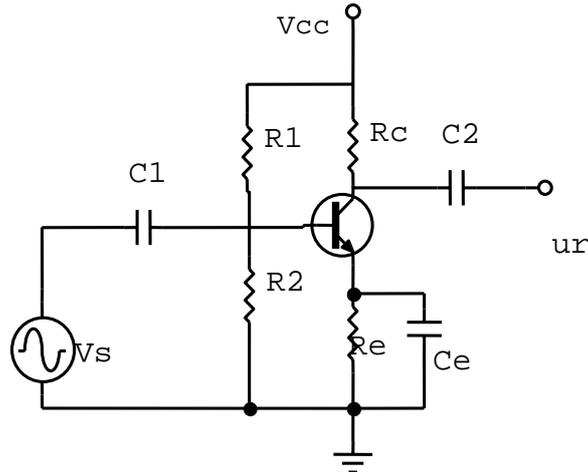
Hệ số khuếch đại hồi tiếp:

$$K_{ht} = X_{ht}/X_r = V_{ht}/V_c = (i_b \cdot \beta \cdot R_e) / (-i_b \cdot \beta \cdot R_c) = -R_e/R_c$$

Từ kết quả này ta có thể tính tiếp các thông số khác



hình. Mạch khuếch đại hồi tiếp



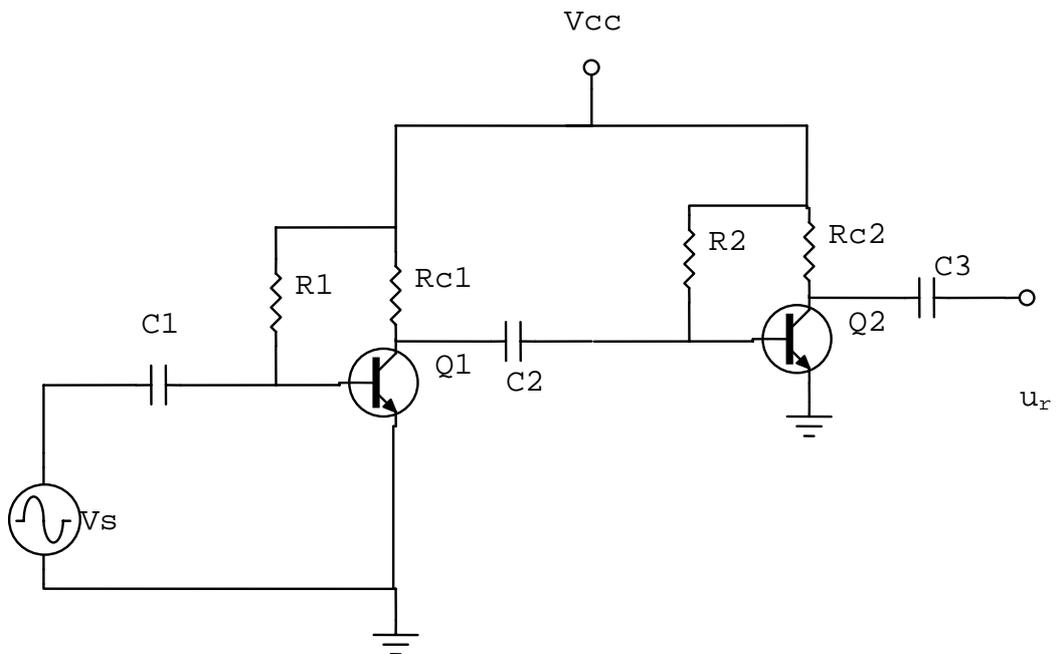
hình. Mạch khuếch đại không hồi tiếp

b, Hồi tiếp âm điện áp, ghép nối tiếp

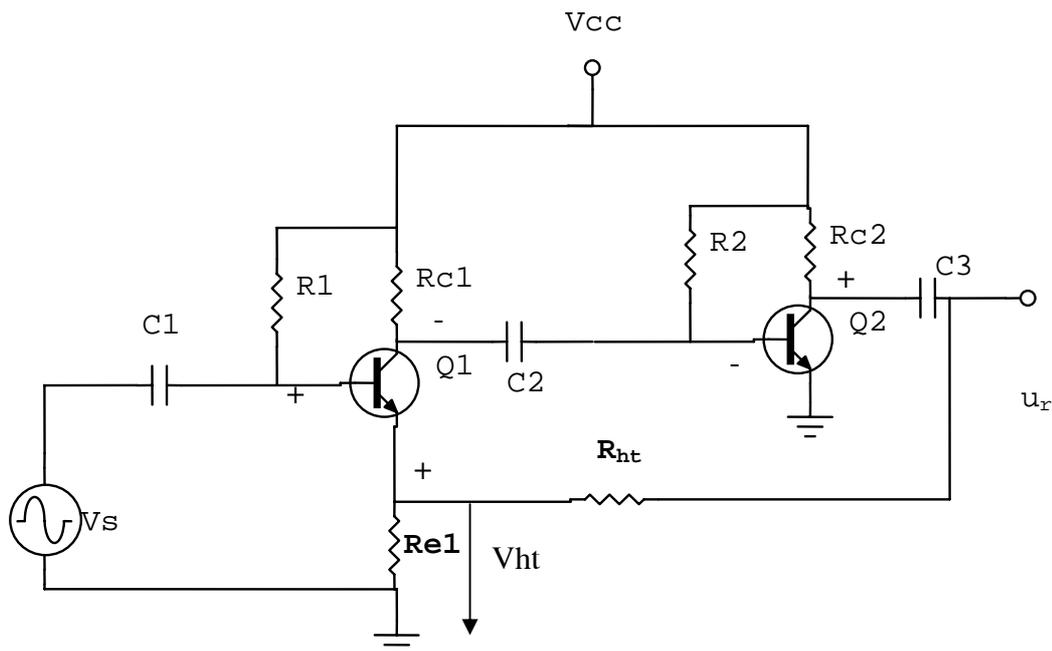
Cặp điện trở Rht và Re1 tạo thành cặp phân áp lấy tín hiệu áp u_r về đầu vào, điện áp hồi tiếp lấy trên điện trở Re1, có giá trị:

$$V_{ht} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{ht}} \cdot u_r \Rightarrow K' = V_{ht} / u_{\bar{n}} = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{ht}}$$

Từ công thức ta thấy hệ số khuếch đại hồi tiếp phụ thuộc vào 2 điện trở Re1 và Rht, nhưng để đảm bảo chế độ thiên áp một chiều cho Q1, Re1 không thể thay đổi trong phạm vi lớn, vì vậy hệ số khuếch đại hồi tiếp phụ thuộc chủ yếu vào Rht.



Hình. Mạch khuếch đại không hồi tiếp

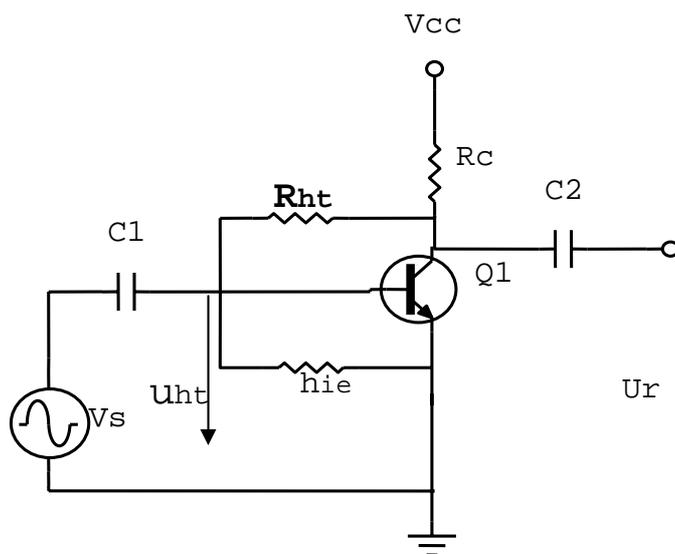


Hình. Mạch khuếch đại hồi tiếp điện áp nối tiếp
c, Hồi tiếp âm điện áp, ghép song song

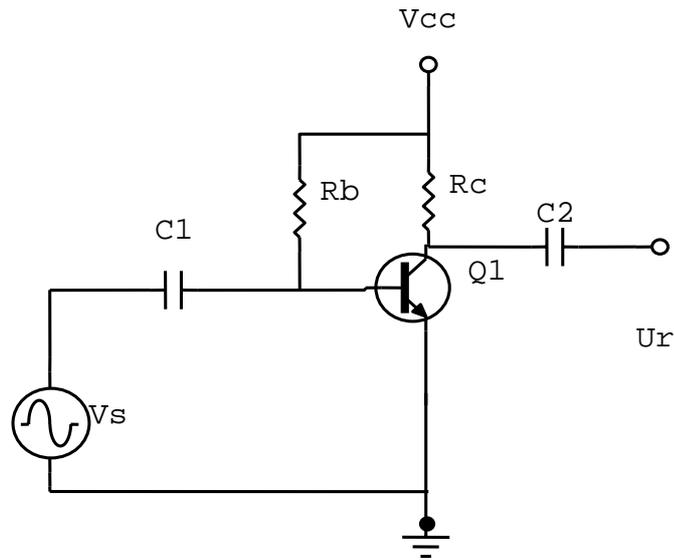
Điện trở R_{ht} thay thế R_b phân áp cho B của Transistor, đồng thời R_{ht} cũng lấy điện áp ra hồi tiếp về.

R_{ht} kết hợp với tổng trở ngõ vào tạo thành mạch phân áp, điện áp hồi tiếp được xác định:

$$V_{ht} = \frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_{ht}} \cdot u_r \Rightarrow K' = V_{ht} / u_{\bar{n}} = \frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_{ht}}$$



Hình. Hồi tiếp âm điện áp song song



Hình .Mạch không hồi tiếp

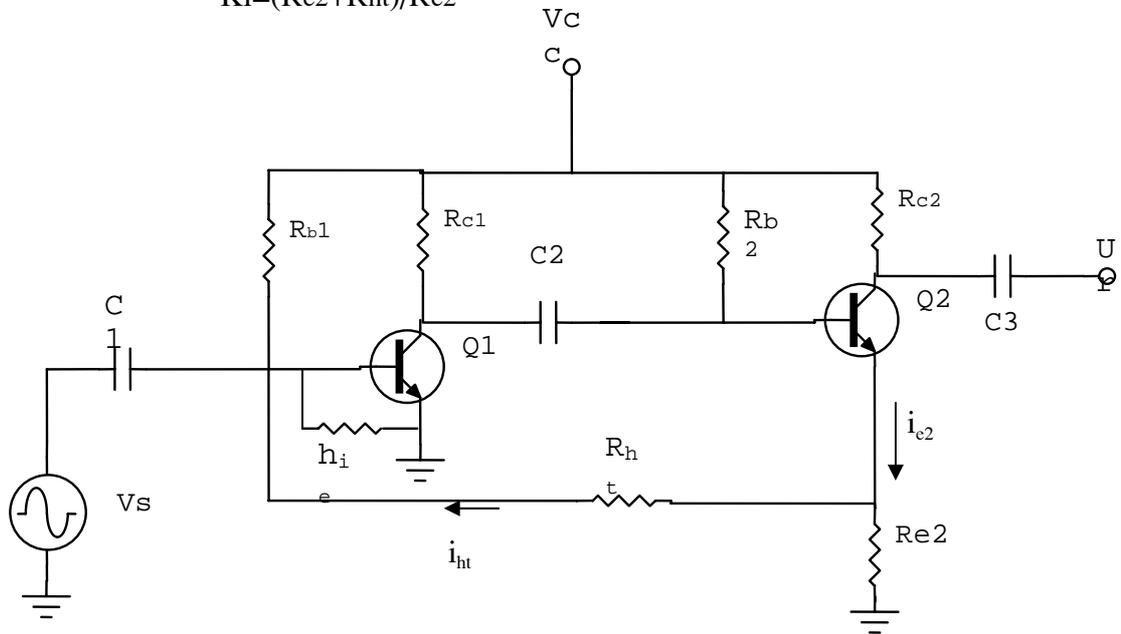
d, Hồi tiếp âm dòng điện, ghép song song

Mạch hồi tiếp dùng R_{ht} lấy V_{e2} để phân cực cho B1 đồng thời lấy tín hiệu ra $i_{c2} \approx i_{c2}$ qua R_{e2} tạo tín hiệu dòng i_{ht} .

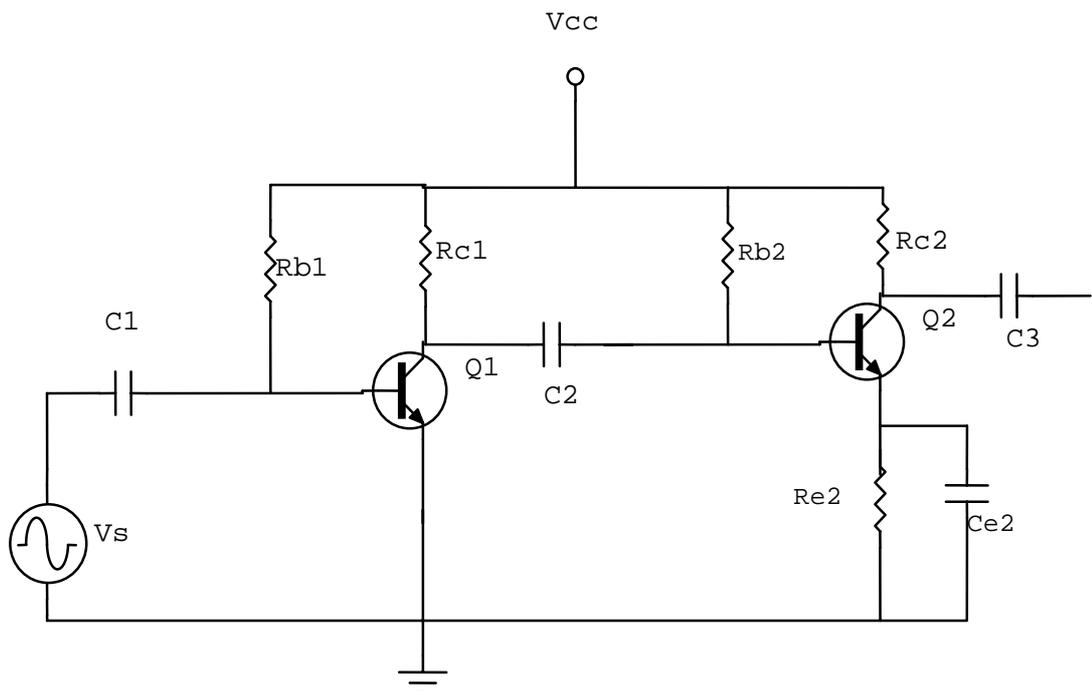
Dòng điện hồi tiếp i_{ht} phản ánh thành điện áp hồi tiếp V_{ht} qua điện trở R_{ht} đưa đến đầu vào

Hệ số hồi tiếp dòng điện:

$$K_i = (R_{e2} + R_{ht}) / R_{e2}$$



Mạch hồi tiếp âm dòng, ghép song song



Mạch dạng không hồi tiếp

IV. ẢNH HƯỞNG CỦA HỒI TIẾP ĐẾN CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH.

Ảnh hưởng của hồi tiếp được tóm tắt theo bảng sau:

CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT	HỒI TIẾP ÂM DÒNG ĐIỆN NỐI TIẾP	HỒI TIẾP ÂM ĐIỆN ÁP NỐI TIẾP	HỒI TIẾP ÂM ĐIỆN ÁP SONG SONG	HỒI TIẾP ÂM DÒNG ĐIỆN SONG SONG
Tổng trở ngõ vào: Z_v	$Z_i.g$	$Z_i.g$	Z_i / g	Z_i / g
Tổng trở ngõ ra: Z_r	$Z_o.g$	Z_o / g	Z_i / g	$Z_i.g$
Độ khuếch đại điện áp: K_u	K_u/g	K_u/g	K_u/g	K_u/g
Độ rộng băng thông: B	B.g	B.g	B.g	B.g

Trong đó $g = 1 \pm K.K_{ht}$

Các mạch khuếch đại hồi tiếp âm làm tăng tổng trở ngõ vào thường dùng cho tầng tiền khuếch đại, để không làm giảm biên độ của tín hiệu hữu ích, các mạch hồi tiếp âm làm giảm tổng trở ngõ ra thường dùng cho các tầng cuối (công suất), để tăng khả năng cấp dòng cho tải.

Ngoài các thông số thống kê trên, mạch hồi tiếp còn có tác dụng giảm biên độ nhiễu, giảm độ méo phi tuyến và méo tần số.

CHƯƠNG 3. CÁC SƠ ĐỒ CƠ BẢN CỦA TẦNG KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ DÙNG TRANSISTOR

- Với tín hiệu nhỏ thường dùng sơ đồ tương đương để phân tích, có thể biểu diễn các phần tử tích cực bằng sơ đồ tương đương Π , hoặc sơ đồ tương đương của mạng 4 cực

I. KHÁI NIỆM

- Transistor là linh kiện phi tuyến, nhưng khi xét với tín hiệu trong phạm vi biến thiên nhỏ thì mức độ phi tuyến ảnh hưởng không lớn, nên có thể xem như mạch tuyến tính, T được vẽ thành các mạch tương đương gồm R, nguồn dòng, để có thể tính toán và phân tích theo các nguyên lý của Lý thuyết mạch, có thể biểu diễn bằng sơ đồ tương đương Π , hoặc sơ đồ tương đương của mạng 4 cực

- Việc tính toán, phân tích một mạch khuếch đại dùng T bao gồm các phần sau:

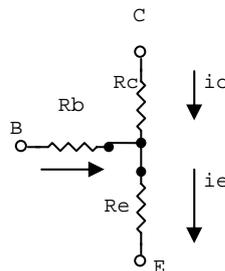
- + Tính toán chế độ một chiều
- + Tính toán các tham số ở chế độ xoay chiều(chế độ động).

Phân tích toán chế độ một chiều ta đã xem xét ở phần Cấu kiện Điện tử, vì vậy chỉ nghiên cứu chế độ động.

II. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI BẰNG SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG

1. Mạch tương đương của Transistor

Điều kiện để một T dẫn là phân cực thuận với tiếp giáp BE và phân cực ngược với tiếp giáp BC, mạch tương đương của T như sau:



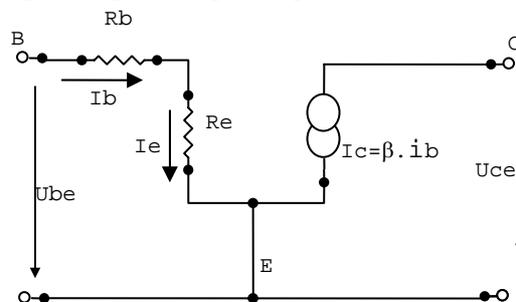
Trong đó:

- + R_b là điện trở đoạn từ cực B và giữa vùng bán dẫn của cực B.
- + R_e là điện trở thuận ở trạng thái xoay chiều của mối nối BE:

$$R_e = 26mV / I_E(mA)$$

- + R_c là điện trở nghịch của mối nối BC.

Mạch tương đương T dùng thông số của ma trận H:



trong đó:

+ i_b : dòng điện tín hiệu ngõ vào, giá trị phụ thuộc vào R_b, R_e

+ i_c : dòng điện tín hiệu ngõ ra, $i_c = \beta i_b$

Phương trình đặc trưng theo ma trận H:

$$U_{be} = h_{11} \cdot i_b + h_{12} \cdot U_{ce}$$

$$i_c = h_{21} \cdot i_b + h_{22} \cdot U_{ce}$$

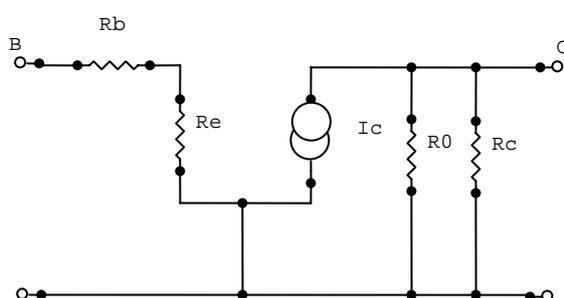
+ $h_{11} = U_{be}/I_b$: điện trở ngõ vào

+ $h_{21} = I_c/I_b$: hệ số khuếch đại dòng

+ $h_{12} = U_{be}/U_{ce}$: độ khuếch đại điện áp ngược

+ $h_{22} = I_c/U_{ce}$: dẫn nạp ngõ ra.

2. Mạch tương đương kiểu EC:



- Tổng trở ngõ vào:

$$h_{11} = h_{ie} = R_i = \frac{V_i}{I_b} = \frac{i_b \cdot r_b + i_e \cdot r_e}{i_b} = \frac{i_b \cdot r_b + \beta \cdot i_b \cdot r_e}{i_b}$$

- Tổng trở ngõ ra:

$$r_o = 1/h_{22}$$

- Độ khuếch đại dòng:

$$K_i = h_{21} = \beta$$

- Độ khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{U_{ce}}{U_{be}} = \frac{1}{h_{12}} = -\beta \cdot \frac{R_c}{R_{be}}$$

3. Mạch tương đương kiểu BC:

- Tổng trở ngõ vào:

$$h_{11} = h_{ie} = R_i = \frac{i_e \cdot r_e + i_b \cdot r_b}{i_e} = \frac{\beta \cdot r_e + r_e}{\beta}$$

- Tổng trở ngõ ra:

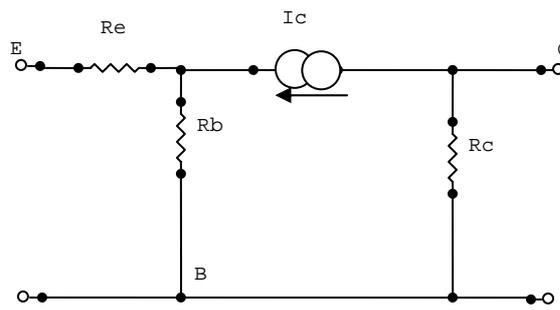
$$r_o = V_o/i_c$$

- Độ khuếch đại dòng:

$$K_i = i_c/i_e = (\beta/(\beta+1)) \approx 1$$

- Độ khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{-i_c \cdot R_c}{-i_e \cdot R_i} = \beta \cdot \frac{R_c}{R_{be}}$$



4. Mạch tương đương kiểu CC:

- Tổng trở ngõ vào:

$$h_{11} = h_{ie} = R_i = \frac{i_b \cdot r_b + i_e \cdot r_e + i_e \cdot R_1}{i_b} = r_b + \beta \cdot r_e + \beta \cdot R_1$$

- Tổng trở ngõ ra:

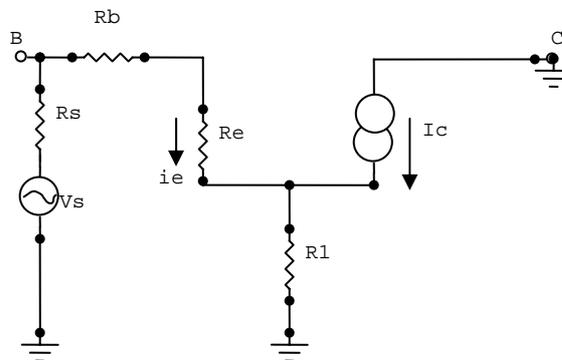
$$r_o = r_e + 1/\beta(r_s + r_b)$$

- Độ khuếch đại dòng:

$$K_i = i_e / i_b = \beta + 1$$

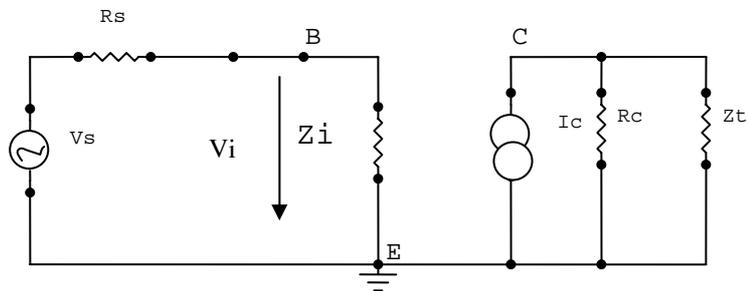
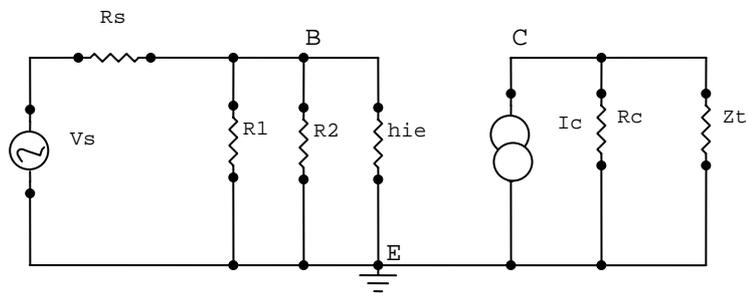
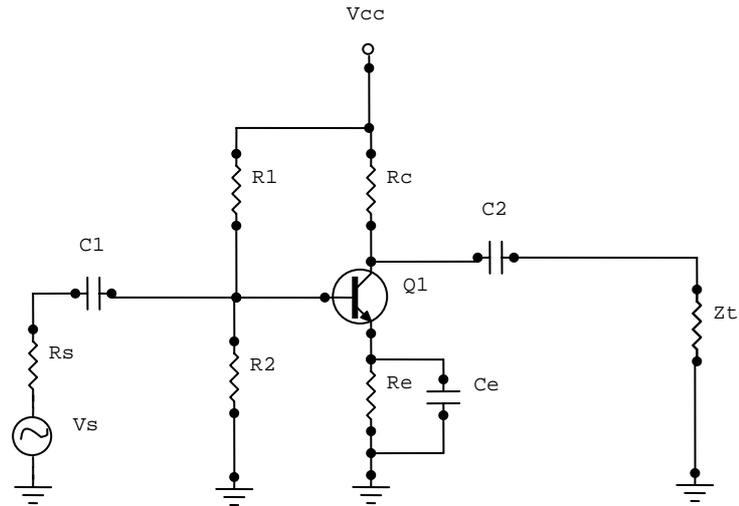
- Độ khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{v_e}{v_b} = \frac{\beta \cdot R_1}{i_b \cdot r_b + i_e \cdot r_e + i_e \cdot R_1} \approx 1$$



5. Phân tích mạch khuếch đại bằng mạch tương đương

Minh họa:



ta có $Z_i = h_{ie} // R_1 // R_2$

- $K_i = \beta$

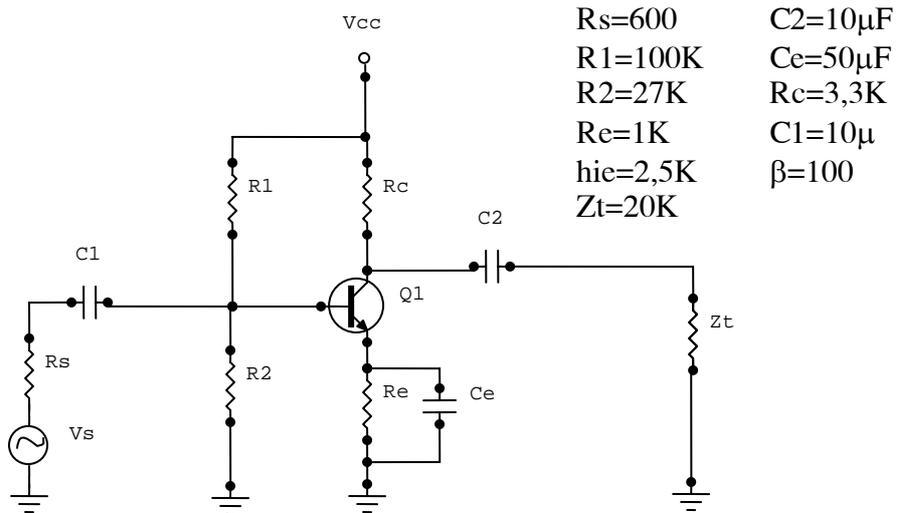
- $K_u = \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{Z_t}{Z_i}$

- Hệ số khuếch đại toàn mạch $K_{tp} = K_u \cdot \frac{V_i}{V_s} = -\beta \frac{Z_t}{Z_t + R_s}$

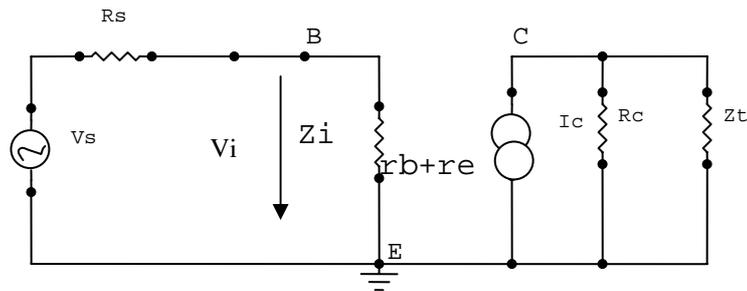
III. TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ Ở CHẾ ĐỘ ĐỘNG

Minh họa qua ví dụ:

Tính toán chế độ động cho mạch có tham số như hình vẽ:



Giải: Sơ đồ tương đương:



- Tổng trở vào của T: $R_i = h_{ie} = 2,5K$

- $K_i = \beta = 100$ lần

- $K_u = -\beta \frac{R_c // Z_t}{h_{ie}} = -100 \cdot \frac{2,8}{2,5} \approx -112$ lần (hệ số KĐ của riêng T)

- Z_v chung cả mạch $= Z_i // h_{ie} = \frac{h_{ie} \cdot Z_i}{h_{ie} + Z_i} = \frac{h_{ie}(R1 // R2)}{h_{ie} + (R1 // R2)} \approx 2,2K$

- Độ khuếch đại áp toàn mạch:

$$K_{tp} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = K_u \cdot \frac{Z_v}{Z_v + R_s} = -112 \cdot \frac{2,2}{2,2 + 600} = -88$$

Dấu - chứng tỏ tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào

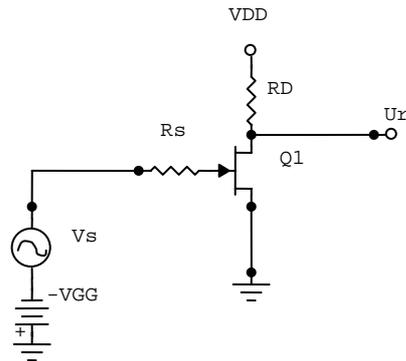
IV. TRANSISTOR TRƯỜNG- FET

Mạch khuếch đại điện hình dùng FET, như hình vẽ sau, dòng điện cực của IG, có giá trị nhỏ không đáng kể, nên sụt áp trên Rs là không đáng kể, có thể bỏ qua, ta có:

$$+ V_{GS} = -V_{GG}$$

$$+ V_{gs} = V_s$$

Điện áp tổng gồm cả một chiều và xoay chiều là: $V_{GS} = v_{gs} + V_{GS}$



Điện áp tại cực tháo là: $V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot i_D = V_{DD} - R_D \cdot I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{PO}} + \frac{v_s}{V_{PO}}\right)$

- Công suất tiêu tán trên FET:

$$P_D = V_{DS} \cdot I_D$$

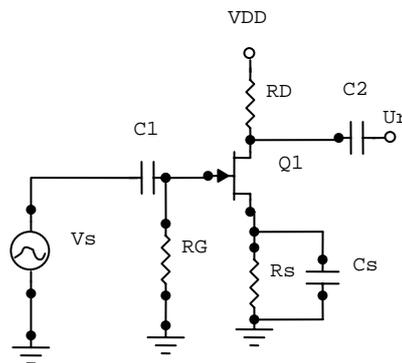
- Công suất ra trên tải:

$$P_T = R_D \cdot I_D^2 + R_D \cdot I_d^2$$

I_d : dòng trung bình của tín hiệu làm việc

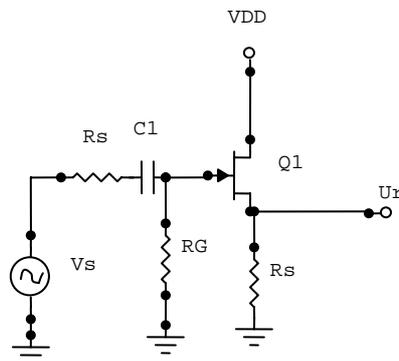
SAU ĐÂY LÀ CÁC MẠCH KHUẾCH ĐẠI THÔNG DỤNG:

- Mạch SC (nguồn chung):



Độ khuếch đại áp K_u tính gần đúng: $K_u = \frac{V_O}{V_{gs}} = -\frac{id}{v_{gs}} \cdot R_D$ u

- Mạch DC (tháo chung):



Độ khuếch đại áp Ku tính gần đúng:
$$K_u = \frac{V_0}{V_{gs}} = \frac{g_m \cdot R_s}{1 + g_m R_s}$$

Trong đó $g_m = i_d / V_{gs}$

V. CÁC PHƯƠNG PHÁP GHÉP TẦNG GIỮA CÁC BỘ KHUẾCH ĐẠI

Một bộ khuếch đại thường gồm nhiều tầng khuếch đại mắc liên tiếp vì thông thường một tầng khuếch đại không đảm bảo đủ hệ số khuếch đại cần thiết. Trong trường hợp này tín hiệu ra của tầng trước là tín hiệu vào của tầng sau và hệ số khuếch đại tổng $K(dB) = \sum_{i=1}^n K_i$ với K_i là hệ số khuếch đại tính theo dB của tầng khuếch đại thứ i trong tổng số n tầng khuếch đại.

Chọn số tầng và kiểu tầng

Việc lựa chọn số tầng khuếch đại, kiểu tầng và thứ tự của chúng chủ yếu dựa vào trở kháng nguồn, trở kháng tải và hệ số khuếch đại yêu cầu. Hầu hết các mạch khuếch đại cần:

- Trở kháng vào cao so với trở kháng nguồn.
- Trở kháng ra nhỏ so với trở kháng tải.

Ví dụ: khi cần bộ khuếch đại có hệ số tăng ích và trở kháng vào cao thì sẽ sử dụng BJT mắc kiểu CC làm tầng 1 (trở kháng vào cao) và BJT mắc kiểu CE làm tầng 2 (hệ số khuếch đại lớn).

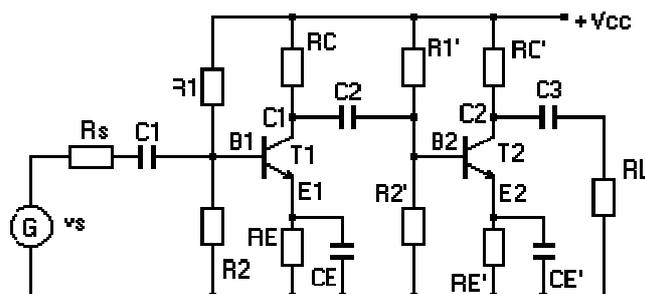
Kiểu ghép giữa các tầng

Có 3 kiểu ghép tầng: ghép trực tiếp, ghép RC, ghép biến áp.

Phần tiếp sau đây sẽ giới thiệu các cách ghép giữa các tầng

1. Ghép RC

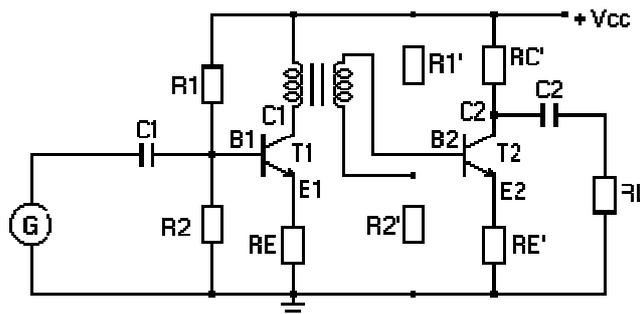
Trong mạch khuếch đại nhiều tầng, mạch ghép RC sẽ thực hiện ghép giữa tầng này với tầng khác nhờ 1 tụ điện. Tụ C_2 như trong hình dưới đây biểu diễn kiểu ghép này giữa 2 tầng CE.



Ghép RC cho phép tín hiệu ac đi qua nhưng lại ngăn cản tín hiệu dc. Như vậy, thành phần một chiều không ảnh hưởng lẫn nhau giữa các tầng, đồng thời điểm làm việc tĩnh cũng được cách ly.

2. Ghép biến áp

Trong trường hợp này, việc liên kết giữa 2 tầng khuếch đại được thực hiện bởi biến áp. Dưới đây là mạch ghép điển hình giữa 2 tầng dùng biến áp.

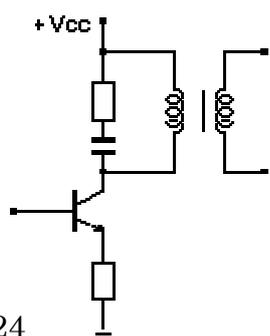


Như ta thấy trong hình trên, cuộn sơ cấp của biến áp thay cho điện trở tải R_L . Vì biến áp hoạt động giống như một cuộn cảm (có trở kháng bằng 0 hay rất nhỏ so với dòng dc), nên dòng tĩnh I_{CQ} qua tầng thứ nhất sẽ không bị suy hao. Còn với thành phần dòng ac, tải động (tải xoay chiều) sẽ là tải thứ cấp khi nhìn từ cuộn sơ cấp, tức là bằng với $(n^2 \cdot R)$ với n : là hệ số truyền đạt của biến áp. Việc sử dụng biến áp sẽ khiến các tầng khuếch đại được cách ly với nhau. Điểm làm việc tĩnh Q có thể được xác định tách biệt với từng tầng.

Ưu điểm của ghép biến áp là: không có dòng một chiều trên tải và đạt được hiệu suất cao hơn.

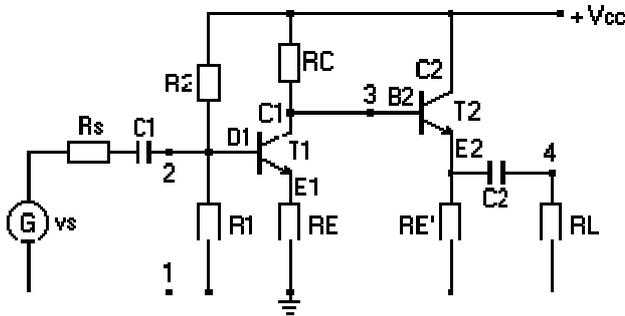
Nhược điểm của ghép biến áp là: kích cỡ và trọng lượng lớn của biến áp, giới hạn tần số của biến áp và sự không tuyến tính của đường cong đáp ứng tần số.

Vì những nhược điểm như vậy, biến áp sẽ không được sử dụng trong các mạch tần số thấp, tín hiệu nhỏ. Nó chỉ được dùng nhiều trong các mạch khuếch đại tần số cao điều chỉnh kênh thu, trong đó biến áp sử dụng để tạo mạch cộng hưởng.



Trong mạch khuếch đại sử dụng biến áp, thành phần tín hiệu ac trong cuộn sơ cấp sẽ phụ thuộc vào điện kháng của cuộn dây. Hệ số khuếch đại tỷ lệ với điện kháng của biến áp vì thế tín hiệu ra sẽ phụ thuộc vào tần số. Để khắc phục vấn đề này, cần mắc song song một mạch RC với cuộn sơ cấp.(hình bên).

3. Ghép trực tiếp.



Ghép trực tiếp là phương pháp đưa trực tiếp tín hiệu từ tầng trước tới tầng sau mà không thông qua bất cứ một linh kiện nào. Hình bên là một ví dụ của sơ đồ mạch ghép trực tiếp dùng 2 tầng T : một tải kép (tầng 1) và một CC (tầng 2).

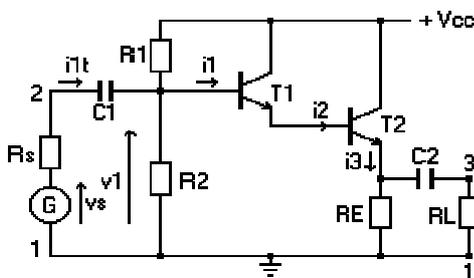
Đáp ứng tần số của sơ đồ mạch ghép trực tiếp được xác định bởi từng tầng cấu thành mạch. Ghép trực tiếp được viết tắt là “d.c”.

Nhược điểm lớn nhất của kiểu ghép trực tiếp là: điện áp một chiều giữa các tầng không độc lập với nhau. Sự dao động của điểm Q tại tầng 1 sẽ khiến điểm làm việc Q của tầng 2 thay đổi.

4. Các kiểu ghép transistor khác

a. Mạch Darlington.

Hai Transistor được gọi là kết nối Darlington (hoặc tạo thành cặp Darlington) khi dòng emitter của tầng đầu tiên chính là dòng base của tầng thứ hai (hình dưới đây)



Cặp Darlington có hệ số khuếch đại dòng cao và trở kháng vào cao. Nó thường được dùng thay cho các mạch lặp E

Thông thường các nhà chế tạo Transistor sẽ đặt cặp Darlington vào trong 1 vỏ đơn làm cho cả 2 Transistor

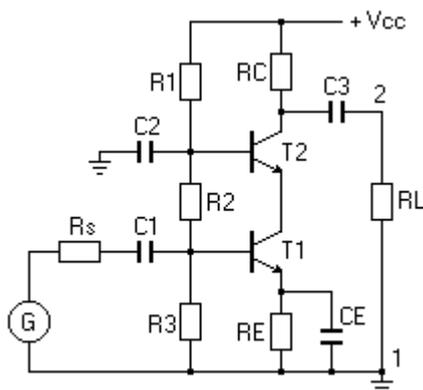
có cùng nhiệt độ làm việc.

Các đặc điểm chính của mạch lặp E sử dụng kết nối Darlington so với mạch lặp E dùng Transistor đơn là:

- Trở kháng vào cao hơn.
- Hệ số khuếch đại áp Av gần 1 hơn.
- Hệ số khuếch đại dòng cao hơn.
- Trở kháng ra nhỏ hơn.

b. Mạch Cascode.

Mạch khuếch đại Cascode là mạch khuếch đại nhiều tầng ghép trực tiếp. cấu hình này gồm một mạch Transistor kiểu CE và 1 Transistor CB nối với nhau như hình dưới đây.



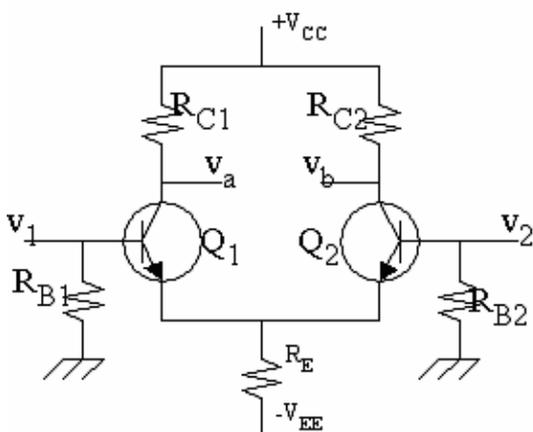
Mạch này có các đặc điểm chính:

- Trở kháng ra rất cao giống như mạch CB.
- Độ ổn định và đáp ứng tần số cao.

Các đặc trưng trên khiến mạch Cascode đặc biệt hữu dụng tại miền tần số cao.

5. Mạch khuếch đại vi sai

* Cấu tạo: dạng căn bản của mạch khuếch đại vi sai như hình sau:



- Mạch đối xứng theo đường thẳng đứng. Các phần tử tương ứng giống nhau về mọi đặc tính.

$$R_{B1} = R_{B2}$$

$$R_{C1} = R_{C2}$$

$$V_{CC} = V_{EE}$$

Q1 giống hệt Q2, thường được chế tạo trên cùng một mẫu tinh thể.

- Mạch có 2 ngõ vào v1, v2 và 2 ngõ ra là va, vb.

- Có 2 phương pháp lấy tín hiệu ra: Lấy ra ở cả 2 cực C của 2 T hoặc lấy ra từ một cực và điểm GND

- Phân biệt 3 trường hợp:

+ Khi hai tín hiệu vào cùng biên độ và cùng pha $v1=v2$, do mạch

$$V_a = K.v1$$

$$V_b = K.v2$$

là đối xứng nên có $V_a=V_b \Rightarrow$ ngõ ra vi sai=0

+ Khi tín hiệu vào có dạng vi sai $v1=-v2$ (cùng biên độ nhưng ngược pha):

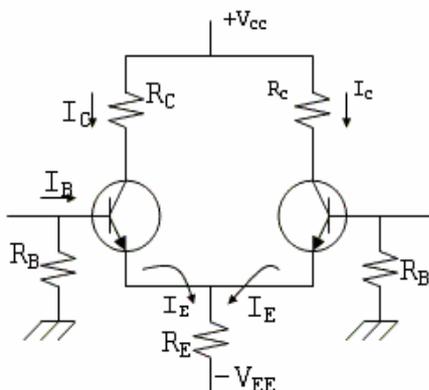
Khi đó $V_a - V_b = K_{VS}(v1 - v2) \neq 0$, trong đó K_{VS} là hệ số khuếch đại vi sai, giá trị này thường rất lớn

Như vậy, mạch khuếch đại vi sai chỉ khuếch đại đại lượng là sai số của 2 tín hiệu vào mà không khuếch đại từng tín hiệu thành phần
 + Khi 2 tín hiệu vào là bất kỳ, thì mạch khuếch đại sẽ khuếch đại cả thành phần vi sai và không vi sai của 2 tín hiệu đó.

*** Mạch phân cực:**

Khi mạch hoàn toàn đối xứng:

$$I_E = (V_{EE} - V_{BE}) / 2R_E = 0$$

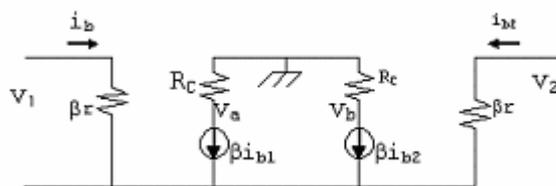


Ta có: $V_{CC} + V_{EE} = R_C I_C + V_{CE} + 2R_E I_E$
 Xem $I_C \approx I_E$
 $\Rightarrow V_{CE} = (V_{CC} + V_{EE}) - (R_C + 2R_E) I_C$
 Phương trình này xác định đường thẳng lấy điện đồ thị $I_C = f(V_{CE})$.

Ngoài ra:
 $R_B I_B + V_{BE} + 2R_E I_E - V_{EE} = 0$
 $\Rightarrow I_E \approx \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_E + \frac{R_B}{\beta}} \approx I_C$

*** Tín toán thông số:**

Ta tìm cho tín hiệu vi sai:



$$v_1 = -v_2$$

$$v_a = -v_b$$

Như vậy dòng điện luôn ngược chiều trong 2 T, không qua R_E , nên có thể bỏ R_E trong khi tính toán:

$$\text{Ta có: } \frac{v_a}{R_c} + \beta i_{b1} = 0$$

$$\text{Và } i_{b1} = \frac{v_1}{\beta r_e}$$

$$\text{Suy ra: } \frac{v_a}{R_c} = -\frac{v_1}{r_e} \Rightarrow \frac{v_a}{v_1} = -\frac{R_c}{r_e}$$

$$\text{Ngoài ra: } \mathbf{Ku} = \frac{v_a - v_b}{v_1 - v_2} = \frac{2v_a}{2v_1} = \frac{v_a}{v_1} = -\frac{R_c}{r_e}$$

***. Các nguyên nhân gây mất cân bằng**

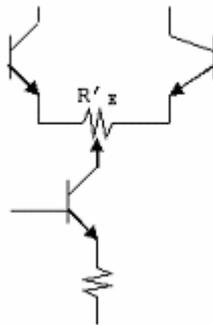
Các linh kiện hình thành mạch: T, R,... không hoàn toàn giống nhau và đồng nhất.

Khi đó mạch khuếch đại vi sai sẽ bị mất cân bằng, thành phần tín hiệu ra xuất hiện cả tín hiệu vi sai.

Biện pháp khắc phục:

- Lựa chọn thật kỹ linh kiện, nên chế tạo theo dạng mạch tích hợp.
- Giữ dòng điện phân cực nhỏ, để sai số trên điện trở tạo ra điện áp vi sai nhỏ.

- Thêm một điện trở R'_E để cân bằng dòng điện phân cực



CHƯƠNG 4 . KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT

I. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

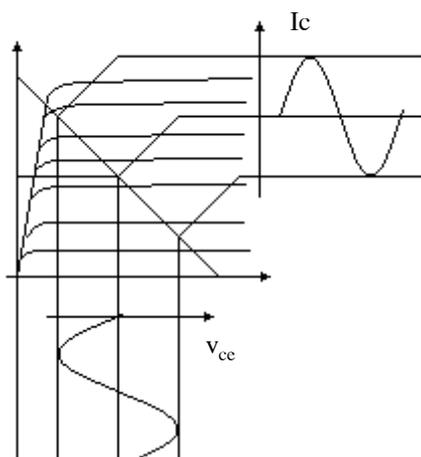
Các mạch khuếch đại đã nói ở trên chỉ làm việc với tín hiệu nhỏ với công suất thấp. Để tín hiệu ra đủ lớn đáp ứng cho các phụ tải như loa, cuộn lái tia ... cần dùng đến bộ khuếch đại công suất lớn. Khuếch đại công suất là tầng khuếch đại cuối cùng của bộ khuếch đại. Nó có nhiệm vụ cho ra tải một công suất lớn nhất có thể với độ méo cho phép và đảm bảo hiệu suất cao.

Tầng khuếch đại công suất có thể làm việc ở các chế độ A, B, AB và C, D tùy thuộc vào chế độ công tác của transistor.

- Chế độ A: là chế độ khuếch đại cả chu kỳ tín hiệu vào. Chế độ này có hiệu suất thấp nhưng méo phi tuyến nhỏ nhất nên chỉ được dùng trong các tầng khuếch đại đơn.
- Chế độ B: là chế độ khuếch đại nửa chu kỳ tín hiệu vào, chế độ này có hiệu suất cao nhưng méo xuyên tâm lớn, có thể khắc phục bằng cách kết hợp với chế độ AB và dùng hồi tiếp âm.
- Chế độ AB: có tính chất chuyển tiếp giữa chế độ A và B. Nó có dòng tĩnh nhỏ để tham gia vào việc giảm méo lúc tín hiệu vào có biên độ nhỏ.
- Chế độ C: khuếch đại tín hiệu ra trong một phần nửa chu kỳ, nó có hiệu suất rất cao nhưng méo cũng rất lớn. Chế độ này được ứng dụng trong các mạch khuếch đại cao tần có tải là khung cộng hưởng để chọn lọc tần số mong muốn hoặc các mạch khuếch đại đẩy kéo.
- Chế độ D: ở chế độ này transistor làm việc như một khoá điện tử

Dưới đây sẽ xem xét chi tiết các chế độ A, B, AB và C là các chế độ hoạt động của transistor ở các tầng khuếch đại.

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CHẾ ĐỘ A



Trong mạch khuếch đại chế độ A, có dòng chảy trong mạch ra trong cả chu kỳ tín hiệu. Kiểu mạch khuếch đại này đòi hỏi hoạt động trong miền tuyến tính. Khi tín hiệu vào thay đổi khiến dòng base thay đổi, và nếu sự thay đổi này đủ nhỏ để giữ điểm làm việc trong miền tuyến tính thì tín hiệu ra sẽ có dạng như tín hiệu vào.

Dòng collector sẽ chảy trong cả chu kỳ của tín hiệu và giá trị trung bình của nó bằng với giá trị tĩnh.

Hình bên chỉ ra các đường đặc tuyến điển hình cho mạch khuếch đại sử dụng Transistor chế độ A: đường cong đặc tuyến ra, đường tải, dòng i_c ; điện áp ra v_{ce}

Công suất.

Để tìm các giá trị công suất tiêu thụ trong chế độ A, giả thiết mạch khuếch đại như hình dưới đây có điện áp tĩnh $V_{CEQ} = V_{CC}/2$, tương ứng với dòng $I_{CQ} = V_{CC} \cdot R_L / 2$.

Công suất hữu ích P_u :

với tín hiệu vào hình sin, điện áp trên tải R_L là:

$$V_{RL} = V_s \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Công suất tiêu hao trên tải R_L bằng với giá trị trung

bình của công suất tức thời $v_s(t) \cdot i_s(t)$:

$$P_{RL} = \frac{V_{CC}^2}{4 \cdot R_L} = \frac{V_s^2}{2 \cdot R_L}$$

Chỉ xem xét thành phần công suất liên quan tới tín hiệu, ta có:

$$P_u = V_s^2 / 2 \cdot R_L$$

Công suất P_{cc} cung cấp bởi nguồn dc.

Đây là giá trị công suất trung bình ($V_{CC} \cdot i_s$) được cung cấp bởi nguồn dc và bằng với:

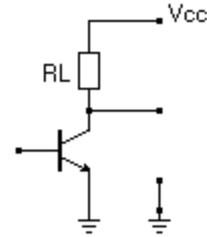
$$P_{cc} = V_{CC}^2 / 2 \cdot R_L$$

Công suất tiêu hao trên T:

Đây là giá trị công suất tiêu hao trung bình trên T [$v_{cc}(t) \cdot i_s(t)$]:

$$P_D = V_{CC}^2 / 4 \cdot R_L - V_s^2 / 2 \cdot R_L$$

Như ta thấy, P_D sẽ nhỏ nhất nếu biên độ tín hiệu là lớn nhất.



Hiệu suất.

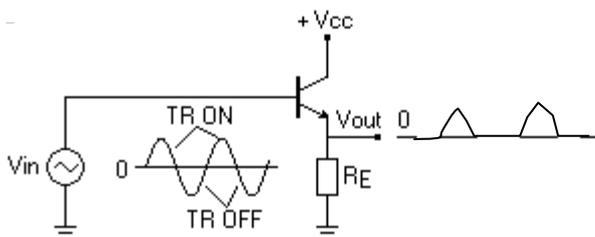
Hiệu suất được định nghĩa là công suất hữu ích trên tải (P_u) và công suất cung cấp bởi nguồn (P_{cc}).

$$\eta_c = P_u / P_{cc} = V_s^2 / V_{CC}^2$$

Từ đây, có thể nhận thấy là hiệu suất sẽ lớn nhất khi V_s đạt giá trị max. Theo lý thuyết, $V_{smax} = V_{CC}/2$; và trong điều kiện lý tưởng hiệu suất lớn nhất đạt 25%. Thực tế, hiệu suất của mạch khuếch đại chế độ A chỉ đạt khoảng 20%.

Mạch khuếch đại chế độ A đạt hiệu suất cao hơn (max=50%) nếu tải được ghép biến áp.

III. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CHẾ ĐỘ B.



Hiệu suất thấp của mạch khuếch đại chế độ A phát sinh từ thực tế là ngay cả khi không có tín hiệu vào, Transistor vẫn tiêu thụ công suất. Giải pháp cho vấn đề này là cố định điểm Q gần với

miền ngắt. Trong trường hợp này, nếu không có tín hiệu vào, dòng collector

là rất thấp. Tuy nhiên, khi có tín hiệu vào, chỉ có dòng ra trong nửa chu kỳ dương của tín hiệu vào. Mỗi nửa chu kỳ âm của tín hiệu vào mà thấp hơn giá trị ngắt cut-off, sẽ ngăn dòng collector. Hình trên là ví dụ của bộ khuếch đại tín hiệu ac ở chế độ B.

Với tín hiệu ac, dòng collector chỉ chảy trong nửa chu kỳ tín hiệu có nghĩa 180°. Góc này được gọi là góc dẫn. Để có được tín hiệu ra lặp lại dạng của tín hiệu vào, sẽ cần đến 2 linh kiện tích cực cùng hoạt động trong chế độ B. Mỗi một linh kiện sẽ khuếch đại tín hiệu trong 1/2 chu kỳ. Có 3 kiểu mạch thực hiện nguyên tắc này:

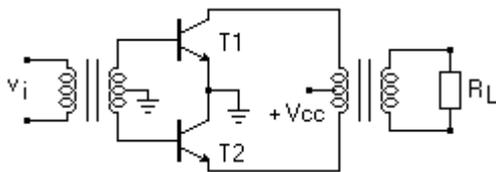
Mạch đẩy kéo push-pull.

Mạch kết cuối đơn (single - ended).

Mạch đẩy kéo - đối xứng bù (complementary symmetry).

a. Mạch khuếch đại đẩy kéo

Mạch khuếch đại đẩy kéo gồm 2 Transistor NPN mà kết nối đối xứng với



nhau và có điểm E chung như hình bên. Tại đầu ra của 2 tầng, có 1 biến áp với điểm giữa đấu nguồn. Vì 2 Transistor là cùng loại, mỗi dòng collector chỉ chảy trong một nửa cuộn dây của biến áp, chúng sẽ có

hướng ngược nhau và sẽ tạo 2 dòng chảy ngược chiều.

Trong chế độ tĩnh, vì cả 2 Transistor hoạt động ở chế độ B nên chúng sẽ ngắt.

Trong chế độ động hay chế độ ac, giả thiết mỗi T sẽ thay phiên dẫn trong mỗi nửa chu kỳ của tín hiệu. Vì 2 nửa sóng trên cuộn thứ cấp là ngược chiều nhau, dạng sóng sin hoàn chỉnh sẽ được tạo lại trên tải.

Mạch đẩy kéo sử dụng 2 Transistor dẫn luân phiên. Một biến áp vào có điểm giữa nối đất có nhiệm vụ đưa đến base của 2 Transistor hai tín hiệu bằng nhau nhưng ngược pha. Một cách khác là dùng mạch đảo pha giống như trường hợp của mạch khuếch đại tải kép. Điều này sẽ cải thiện đáp ứng tần số hơn việc sử dụng biến áp.

Các công thức tính công suất.

1. Công suất hữu ích Pu:

Giả thiết điện áp trên tải có giá trị đỉnh là V_M , công suất tiêu thụ hữu ích trên tải là:

$$P_u = V_M^2 / 2R_L .$$

2. Công suất cung cấp bởi nguồn Pcc.

Đây là giá trị trung bình của công suất cung cấp bởi nguồn dc:

$$P_{cc} = 2*V_{cc}*V_M/(\pi*R_L).$$

từ đó, ta thấy rằng P_{cc} là max khi V_M đạt max có nghĩa bằng V_{cc} . Lúc này:

$$P_{cc} = 2 * V_{cc}^2 / (\pi R_L).$$

3. Công suất tiêu hao trên T.

đây là giá trị trung bình của công suất tiêu hao trên mỗi T:

$$P_D = \frac{V_{cc} * V_M}{\pi * R_L} - \frac{V_M^2}{4 * R_L}$$

P_D sẽ lớn nhất khi $V_M = 2 * V_{cc} / \pi$. Lúc này:

$$P_{D_{MAX}} = V_{cc}^2 / (\pi^2 * R_L).$$

và đạt xấp xỉ $P_{umax} / 5$.

4. Hiệu suất:

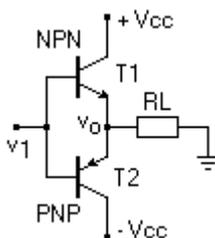
Được định nghĩa như là tỷ số giữa công suất hữu ích trên tải P_u và công suất cung cấp bởi nguồn dc P_{cc} .

$$\eta = P_u / P_{cc} = \pi * V_M / (4 * V_{cc}).$$

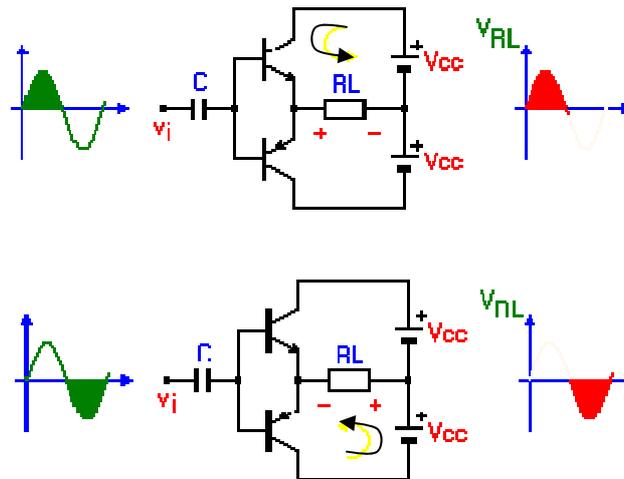
từ công thức này, ta thấy rằng hiệu suất là một hàm tuyến tính của V_M đạt max khi $V_M = V_{cc}$. Lúc này, $\eta_{MAX} = \pi / 4 = 78,5\%$. Hiệu suất thực tế của mạch khuếch đại chế độ B là khoảng 70%.

b. Mạch khuếch đại đẩy kéo, đối xứng bù (ngược).

Sơ đồ khối điển hình của các mạch khuếch đại đẩy kéo, đối xứng bù được chỉ ra ở hình bên



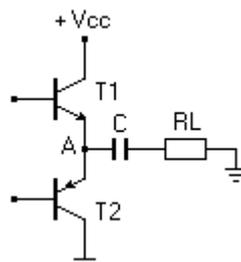
2 Transistor khác loại (1 loại NPN và 1 loại PNP) và cả hai được mắc theo kiểu lặp E. Trở tải được điều khiển bởi T1 trong nửa chu kỳ dương và bởi T2 trong nửa chu kỳ âm (xem hình dưới đây)



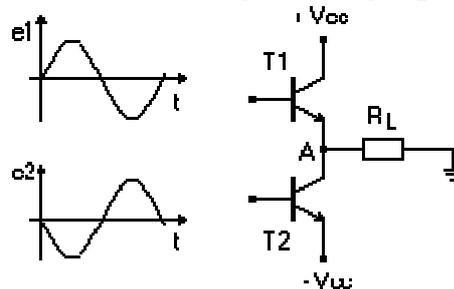
Tín hiệu vào và ra của mạch khuếch đại là cùng pha; cũng sẽ có méo qua điểm 0 đáng kể với mạch này. Méo qua điểm 0 là do 2 transistor T1 và T2 chỉ dẫn khi điện áp V_{BE} của chúng đạt tới ngưỡng dẫn (khoảng 0,7V). Ngược lại chúng sẽ ngắt khi V_{BE} rơi xuống thấp hơn 0,7V.

Sử dụng nguồn cung cấp đơn.

Mạch đối xứng ngược cũng có thể chỉ dùng một nguồn cung cấp bởi việc nối tải với một tụ điện có trị số lớn như hình bên.



c. Mạch khuếch đại kết cuối đơn với 2 nguồn cung cấp.



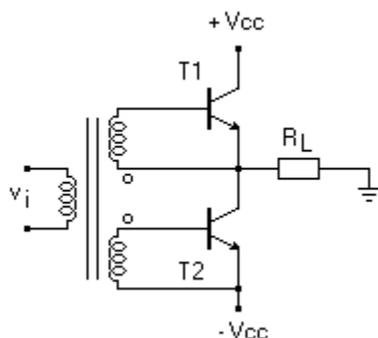
Một mạch kết cuối đơn được cho ở hình bên

Trong chế độ tĩnh, 2 Transistor ngắt và điểm chung A của chúng được nối đất. Không có dòng chảy qua tải.

Trong chế độ động, T1 sẽ dẫn trong 1/2 chu kỳ dương và có dòng chảy từ trái sang phải trên tải. Trong nửa chu kỳ âm, T2 dẫn và có dòng chảy trên

tải theo hướng ngược lại. Như vậy, để tạo lại trung thực một tín hiệu, cần thiết đưa vào base của 2 Transistor hai tín hiệu ngược pha nhau.

Khi xác định linh kiện, nhớ rằng, điện áp rơi trên Transistor ngắt là gấp 2 lần V_{cc} (điện áp sụt trên Transistor dẫn là bằng 0V). Như vậy, sẽ phải lựa chọn Transistor có $V_{CE0} > 2V_{cc}$ (với V_{CE0} là giá trị điện áp đánh thủng của Transistor).

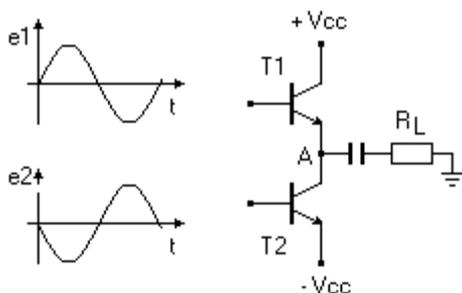


Chú ý rằng, vì T1 hoạt động như mạch khuếch đại lặp emitter trong khi T2 hoạt động như mạch CE, nên hai nửa sóng trên tải sẽ không có cùng biên độ.

Để T1 hoạt động như mạch CE, cần cung cấp tín hiệu vào giữa base và emitter. Điều này thực hiện được bởi việc ghép biến

áp như hình bên.

d. Mạch khuếch đại kết cuối đơn với 1 nguồn cung cấp



Để sử dụng chỉ 1 nguồn cung cấp như hình bên thì tải sẽ phải được nối tới một tụ điện có giá trị cao (khoảng vài trăm μF). Trong trường hợp này, điện áp trên tụ sẽ là hằng số trong suốt chu kỳ hoạt động, giống như một nguồn cung cấp thứ 2.

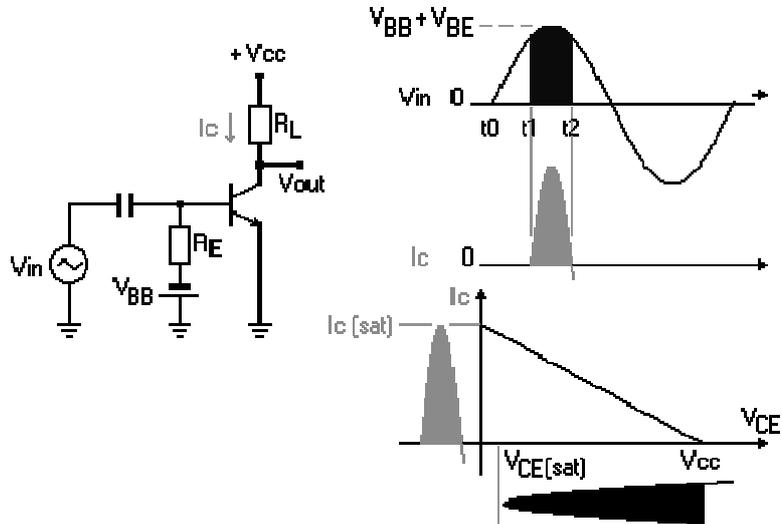
Nếu 2 Transistor giống nhau, tại điểm chung A có điện áp $V_{cc}/2$ và tụ sẽ

duy trì điện áp này.

Như vậy, hoạt động của mạch sẽ giống như trường hợp 2 nguồn cung cấp. Khi T1 dẫn, điện áp cung cấp cho mạch sẽ là hiệu của V_{cc} và điện áp trên tụ, tức là bằng $V_{cc}/2$. Còn khi T2 dẫn, chỉ có nguồn cung cấp bởi tụ là hoạt động, tức cũng bằng $V_{cc}/2$.

IV. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CHẾ ĐỘ C.

Trong mạch khuếch đại chế độ C, T sẽ được phân cực trong miền ngắt. Với tín hiệu vào hình sin, tín hiệu ra sẽ là các xung với độ rộng nhỏ hơn 1/2 chu kỳ như hình dưới đây. Méo trong trường hợp này là rất lớn. Hoạt động của mạch khuếch đại chế



độ C không tuyến tính. Mạch khuếch đại lớp C thường sử dụng kết hợp với tải cộng hưởng và chủ yếu để khuếch đại công suất tần số cao.

HOẠT ĐỘNG

Khi tín hiệu sin $v(t) = V_M \cdot \sin(\omega t)$, được đưa tới đầu vào mạch khuếch đại, dòng $i(t)$ qua tải R_L sẽ khác 0 trong khoảng thời gian dẫn $T = t_2 - t_1$ tương ứng với góc dẫn $\phi = \phi_2 - \phi_1$ với $\phi = \omega \cdot T$.

Trong mạch khuếch đại chế độ A góc: $\phi < 180^\circ$ và phụ thuộc vào chế độ phân áp của Transistor.

Mạch khuếch đại này không tiêu hao công suất trong chế độ tĩnh (vì $I_{CQ} = 0$) trong khi công suất tiêu hao tại chế độ động phụ thuộc vào biên độ của tín hiệu vào $v(t)$ và góc dẫn. Vì lý do đó, hiệu suất của mạch chế độ C là hàm của góc dẫn. Khi giảm góc dẫn ϕ này, hiệu suất tăng và có thể đạt tới 100%. Thực tế không thể giảm góc dẫn nhiều vì công suất tổng sẽ giảm theo.

Các xung của dòng $i(t)$ là một hàm tuần hoàn, chu kỳ của hàm bằng với chu kỳ tín hiệu vào. Sử dụng chuỗi Fourier, dòng tải có thể được biểu diễn bởi tổng của các sóng sin:

$$i(t) = I_{CQ} + i_1 \cdot \sin(\omega t) + i_2 \cdot \sin(2\omega t) + \dots$$

Nếu sử dụng tải là một mạch cộng hưởng điều chỉnh được tần số thì mạch khuếch đại này có thể ứng dụng làm bộ nhân tần. Tuy nhiên, do biên độ

của các hài bậc cao là nhỏ nên ứng dụng khuếch đại chủ yếu tại tần số cơ bản $f = \omega / 2\pi$.

Một bộ khuếch đại chế độ C hoạt động tại tần số cao, nhưng chỉ dùng để khuếch đại 1 tần số, nó không thể dùng cho các ứng dụng khuếch đại đòi hỏi tuyến tính.

CHƯƠNG 5. KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

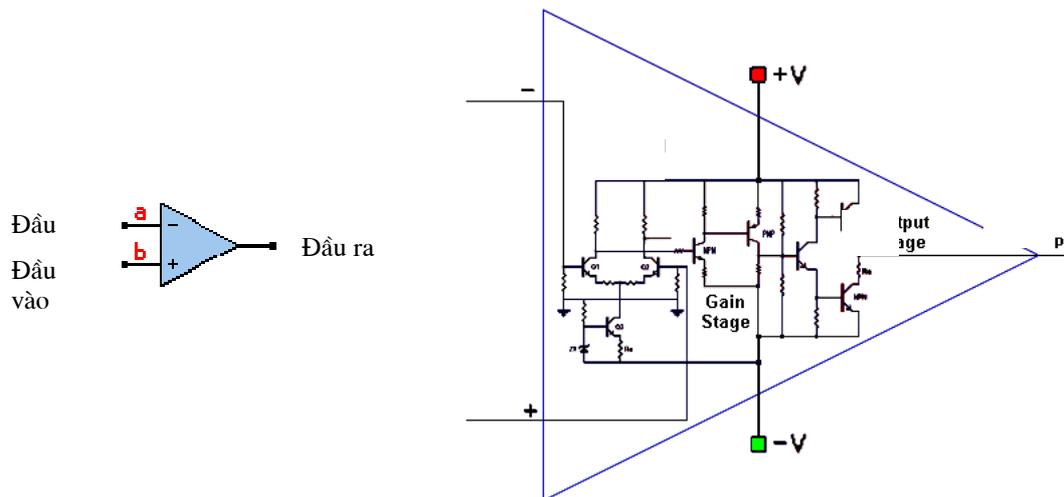
Khuếch đại thuật toán (KĐTT) là một thuật ngữ được đưa ra để chỉ một bộ khuếch đại đặc biệt có thể có nhiều cấu hình hoạt động khác nhau bằng cách ghép nối thích hợp các thành phần bên ngoài. Các bộ KĐTT được ứng dụng đầu tiên trong các máy tính tương tự với các phép tính số học đơn giản như cộng, trừ, nhân, chia, vi phân và tích phân. Khả năng này là kết quả của sự kết hợp giữa hệ số khuếch đại lớn và hồi tiếp âm.

Cùng với sự phát triển không ngừng của kỹ thuật điện tử từ cấu tạo bằng những bóng chân không nặng nề, sau đến các BJT rời rạc, tới nay các bộ KĐTT đều ở dạng tích hợp. Việc này làm cho các bộ KĐTT trở nên gọn nhẹ, tiêu thụ ít năng lượng, làm việc ổn định và được ứng dụng rất rộng rãi.

Chương này sẽ giới thiệu cơ bản về KĐTT cũng như các kỹ thuật phân tích các mạch KĐTT thông dụng nhất.

I. CƠ BẢN VỀ BỘ KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN (OPERATIONAL AMPLIFIER)

Một bộ KĐTT sẽ có hai đầu vào mà thực chất chính là 2 đầu vào của một bộ khuếch đại vi sai, tầng đầu của bộ KĐTT. Bộ KĐTT chỉ có một đầu ra duy nhất, hai đầu vào cấp nguồn và các chân bù điện áp, bù tần số ... (thông thường bộ KĐTT là IC có 8 chân). Hình dưới đây là ký hiệu và sơ đồ



đơn giản minh họa cấu trúc bên trong của bộ KĐTT.

Điện áp đầu ra V_r tỷ lệ với hiệu số của điện thế giữa hai đầu vào, và cho bởi:

$$V_r = K_d.(V_b - V_a).$$

với K_d là hệ số khuếch đại áp, thường rất lớn cỡ 1 000 000 lần.

Như vậy bộ KĐTT khuếch đại hiệu điện áp giữa hai đầu vào.

Nếu $V_b = 0$ thì $V_r = -K_d.V_a$ nên V_r ngược pha với tín hiệu vào. Vì vậy, người ta gọi a là đầu vào đảo và ký hiệu bởi dấu (-) hay chữ N (negative)

Nếu $V_a = 0$ thì $V_r = K_d.V_b$ nên V_r đồng pha với tín hiệu vào. Vì vậy, người ta gọi b là đầu vào không đảo và ký hiệu bởi dấu (+) hay chữ P (positive)

Một KĐTT lý tưởng có:

- Trở kháng vào là vô cùng, $Z_v \approx \infty$
- Trở kháng ra bằng không, $Z_r = 0$
- Hệ số khuếch đại $K_d \approx \infty$
- Đáp ứng tần số là như nhau ở mọi tần số

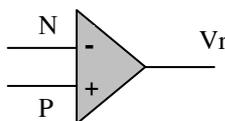
Tuy nhiên trên thực tế các tham số chính của một KĐTT là:

- Điện áp lệch không là điện áp đưa tới đầu vào để tạo điện áp 0 tại đầu ra. Điều này có nghĩa, khi không có điện áp tại đầu vào, đầu ra vẫn có một điện áp khác 0.
- Trở kháng vào rất lớn cỡ từ hàng trăm $K\Omega$ tới hàng $M\Omega$
- Trở kháng ra rất nhỏ cỡ từ hàng Ω tới vài chục Ω
- Hệ số khuếch đại K_d từ vài trăm tới hàng triệu lần.
- Đáp ứng tần số có giới hạn

II. CÁC THAM SỐ CƠ BẢN CỦA BỘ KĐTT

1. Hệ số khuếch đại hiệu K_d

Hệ số khuếch đại hiệu K_d được định nghĩa như tỷ số điện áp đầu ra và điện áp đầu vào vi sai.



$$K_d = V_r/V_v$$

với $V_v = V_p - V_n$

Tuy nhiên, V_r chỉ tỉ lệ với V_v trong một dải điện áp nhất định từ V_{rmin} tới V_{rmax} . Dải điện áp này gọi là dải biến đổi điện áp ra của bộ KĐTT, ngoài dải này điện áp ra không đổi và không phụ thuộc vào điện áp vào, bộ KĐTT ở trạng thái bão hòa.

Đối với điện áp ở tần số thấp K_d không phụ thuộc vào tần số nhưng khi tần số càng cao hệ số này giảm xuống do ảnh hưởng của các tham số điện dung ký sinh bên trong bộ KĐTT. Tần số giới hạn được xác định tại vị trí K_d ở tần số trung tâm giảm xuống $\sqrt{2}$ lần và đó chính là độ rộng dải tần

của bộ KĐTT.

2. Dòng vào tĩnh và điện áp lệch không

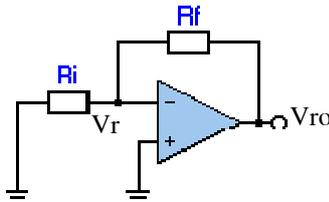
Dòng vào tĩnh là giá trị trung bình của dòng vào đầu vào đảo và đầu vào không đảo khi không có tín hiệu vào.

$$I_t = \frac{I_P + I_N}{2} \text{ với } V_P = V_N = 0$$

Dòng vào lệch không là hiệu dòng vào ở hai đầu vào

$$I_0 = I_P - I_N$$

Thông thường $I_0 = 0,1I_t$. Hai thông số này cho thấy tính không lý tưởng của bộ KĐTT thực, chúng phụ thuộc vào nhiệt độ.



Dòng vào lệch không là nguyên nhân gây ra hiệu điện áp lệch không.

Trong một bộ KĐTT thực, khi $V_P = V_N$ thì V_r vẫn khác không. Đó là vì sự không hoàn hảo của linh kiện trong mạch khiến mạch không hoàn toàn đối xứng. Lúc này điện áp ra do điện áp lệch không ở đầu vào gây nên. Người ta gọi điện áp V_r là điện áp lệch không cần đặt giữa hai đầu vào để điện áp ra bằng 0 V_{rlt} . Nói cách khác, điện áp lệch không là điện áp để cân bằng điện áp rất nhỏ tồn tại ở đầu vào.

Mạch như hình dưới đây sử dụng để đo điện áp lệch không. V_{ro} là điện áp đầu ra không mong muốn gây ra bởi điện áp V_r tại đầu vào.

Hai giá trị điện áp này phụ thuộc vào các giá trị trở kháng R_i và R_f :

$$V_{ro} = V_0 \frac{R_i}{R_i + R_f}$$

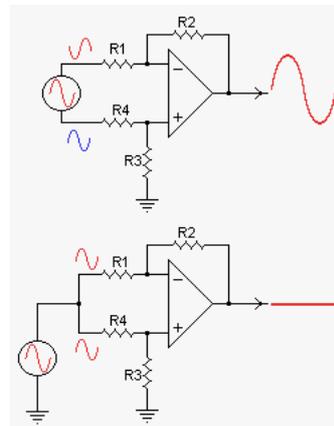
Vì không có tín hiệu nào được đưa tới bộ khuếch đại và giả thiết không có ảnh hưởng của dòng lệch cũng như dòng phân cực thì điện áp ra chỉ có do điện áp lệch không. Đo được V_{ro} cho phép tính giá trị của điện áp lệch không V_r . Khi đó nếu ta đưa một điện áp bằng nhưng đảo dấu so với điện áp lệch không vào đầu vào thì điện áp đầu ra sẽ bằng 0.

3. Tỷ số nén tín hiệu đồng pha

Tỷ số nén tín hiệu đồng pha CMRR(common mode rejection ratio).

Nếu đặt vào đầu vào đảo và đầu vào không đảo các điện áp bằng nhau thì theo lý thuyết V_r phải bằng 0. Nhưng trên thực tế lại không như vậy, lúc này sẽ có:

$$V_r = K_c \cdot V_{cm}$$



Với K_c là hệ số khuếch đại đồng pha (KĐTT lý tưởng $K_c = 0$, tức là $V_r = 0$ như hình bên)

$$V_{cm} = V_p = V_N$$

Để đánh giá khả năng làm việc của bộ KĐTT thực so với bộ KĐTT lý tưởng người ta đưa ra hệ số CMRR để so sánh giữa hệ số khuếch đại hiệu K_d và hệ số khuếch đại đồng pha K_c

$$CMRR = K_d / K_c \quad (\text{khoảng } 10^3 - 10^5)$$

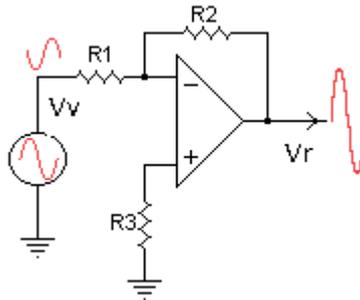
Chú ý: Tỷ số nén tín hiệu đồng pha thường được tính theo đơn vị decibel

$$CMRR(dB) = 20 \lg \left| \frac{K_d}{K_c} \right| \quad (\text{khoảng } 76dB - 100dB)$$

III. CÁC SƠ ĐỒ CƠ BẢN CỦA BỘ KĐTT

1. Bộ khuếch đại đảo

Hệ số khuếch đại hở mạch của một bộ khuếch đại thuật toán rất lớn (điển hình khoảng 100 000 lần hay 100dB). Hệ số này quá lớn nên sẽ gây mất ổn định cho mạch, do đó không được sử dụng trên thực tế.



Để giảm bớt hệ số khuếch đại của mạch người ta sử dụng biện pháp hồi tiếp âm. Nghĩa là lấy một phần tín hiệu ra quay trở về đầu vào đảo của bộ KĐTT. Mạch cơ bản của cấu hình này như hình bên.

Trong hình này, đầu vào đảo có cùng điện thế so với đầu vào không đảo tức bằng 0V, do vậy thường gọi đầu vào đảo là điểm “đất ảo”.

Dòng chảy qua R1 được cho bởi:

$$I = V_v / R_1$$

Chú ý: Trở kháng vào có giá trị vô cùng nên dòng điện I này sẽ chảy qua Rf và điện áp Vr qua nó sẽ là:

$$V_r = - R_2 \cdot I$$

Dấu “-“ xuất phát từ thực tế rằng, nếu $V_v > 0V$ dòng chảy từ V_v tới V_r bởi thế V_r có mức điện áp thấp hơn đầu vào đảo; tuy nhiên đầu vào đảo lại là điểm đất ảo (0V) nên V_r sẽ phải âm.

Thay thế giá trị của I vào ta được :

$$V_r = - V_v \cdot R_2 / R_1$$

vì hệ số khuếch đại được định nghĩa như tỷ số giữa áp vào và áp ra nên:

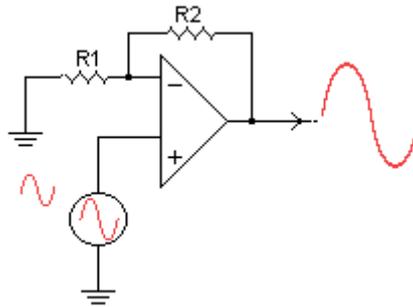
$$K = V_r / V_v = - R_2 / R_1$$

Chú ý: Với bộ khuếch đại thực, trở kháng vào và hệ số khuếch đại không phải là vô cùng nhưng cũng rất lớn do đó công thức trên có thể chấp nhận được.

2. Mạch khuếch đại không đảo

Một mạch khuếch đại không đảo đơn giản được chỉ ra như ở hình dưới đây

Để ổn định mạch khuếch đại, một phần tín hiệu ra được lấy quay trở về đầu vào đảo (hồi tiếp âm).



Tương tự, từ tính chất trở kháng vào bằng vô cùng, có thể thấy rằng dòng chảy qua R_2 sẽ bằng dòng chảy qua R_1 . R_1 và R_2 sẽ tạo thành mạch phân áp đối với điện áp ra V_r .

Từ đó, suy ra hệ số khuếch đại:

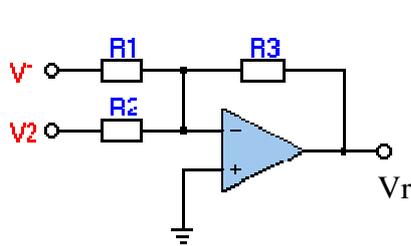
$$K = \frac{V_r}{V_v} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Các công thức trên đúng cho mạch KĐTT thực tế có hệ số khuếch đại lớn và trở kháng vào cao.

Chú ý: Từ công thức trên thấy rằng hệ số khuếch đại của mạch không đảo không thể nhỏ hơn 1, hệ số này chỉ bằng 1 khi $R_2=0$ hoặc $R_1 = \infty$.

3. Mạch khuếch đại tổng

Mạch khuếch đại tổng có 2 đầu vào và có thể nhiều hơn nếu cần. Như thấy trong hình bên điện áp V_1 và V_2 đều được đưa đến đầu vào đảo của bộ KĐT qua điện trở R_1 và R_2 .



Mỗi đầu vào sẽ tạo tác động trên đầu ra độc lập với nhau. Bởi thế, điện áp ra được xác định bằng tổng kết quả tính với mỗi đầu vào.

$$V_r = -\left(V_1 \cdot \frac{R_3}{R_1} + V_2 \cdot \frac{R_3}{R_2}\right)$$

Dấu “-” biểu thị đầu ra sẽ ngược pha với tín hiệu vào.

Từ công thức trên, nếu yêu cầu đầu ra là tổng của các đầu vào thì tỷ số $R_3/R_1 = R_3/R_2 = 1$. Lúc này:

$$V_r = -(V_1 + V_2).$$

Nếu đầu ra bằng trung bình điện áp của các đầu vào thì tỷ số $R_3/R_1 = R_3/R_2 = 0,5$. Tức là:

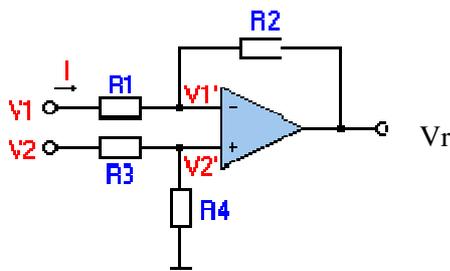
$$V_r = -(V_1 + V_2)/2.$$

Chú ý: Có thể có rất nhiều đầu vào, nhưng chú ý rằng số lượng này cũng giới hạn để không khiến cho bộ khuếch đại vượt ra khỏi khoảng làm việc tuyến tính, đồng thời tổng dòng phải nhỏ hơn dòng max cho phép do nhà sản xuất quy định.

Mạch khuếch đại tổng sẽ làm việc với cả tín hiệu dc lẫn tín hiệu ac.

4. Mạch khuếch đại hiệu

Mạch khuếch đại hiệu sẽ cho ta điện áp ra bằng hiệu của 2 (hay nhiều) điện áp vào. Mạch điển hình sử dụng bộ KĐT để tính hiệu hai điện áp được chỉ ra trong hình dưới.



Ta có thể tìm các công thức tính toán đối với mạch khuếch đại hiệu, giả thiết rằng bộ KĐT là lý tưởng. Vì trở kháng vào, trong trường hợp này song song với R_4 , theo lý thuyết là vô cùng, nên điện áp vào cực không đảo sẽ là:

$$V2' = V2 \cdot \frac{R4}{R3 + R4}$$

Vì mạch KĐTT lý tưởng có hệ số khuếch đại vô cùng nên điện áp $V1' = V2'$. Do vậy, dòng I qua R1 là:

$$I = \frac{V1 - V1'}{R1} = \frac{V1 - \frac{V2 * R4}{R3 + R4}}{R1}$$

Toàn bộ dòng điện này sẽ chảy qua R2 do trở kháng đầu vào bằng vô cùng. Do vậy, điện áp ra là:

$$Vr = V1' - I * R2$$

Thay các công thức trên vào ta tính được Vr như sau:

$$Vr = -\frac{R2}{R1} V1 + \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \frac{R4}{R3 + R4} V2$$

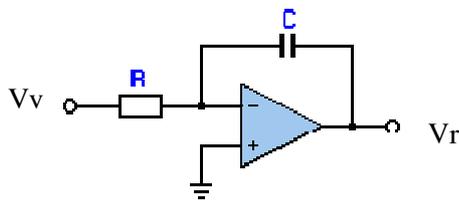
Nếu tỷ số $R2/R1 = R4/R3$ thì ta có:

$$Vr = (V2 - V1) * R2/R1.$$

và nếu $R2 = R1$ và $R4 = R3$ thì:

$$Vr = V2 - V1.$$

5. Mạch tích phân



Mạch tích phân đơn giản nhất được cho ở hình bên.

Ta thấy có tụ điện C trong mạch hồi tiếp.

Đầu vào không đảo nối đất, do vậy đầu vào đảo coi như có điện áp 0 V (điểm đất ảo). Bởi thế, dòng chảy qua điện trở R sẽ được tính bởi tỷ số Vv chia cho R. Toàn bộ dòng điện này sẽ nạp cho tụ. Nói cách khác, ta có:

$$\frac{Vv}{R} = C \cdot \frac{dVr}{dt}$$

vì $Vr = -Vv$, nên: $dVr = -\frac{1}{RC} \cdot Vv \cdot dt$

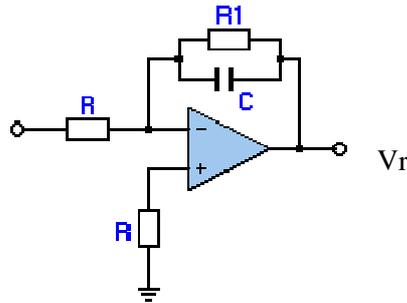
tích phân 2 vế, ta có:

$$Vr = -\frac{1}{RC} \int Vv \cdot dt$$

vậy điện áp ra sẽ bằng tích phân của điện áp vào chia cho hằng số thời gian $\tau = RC$

Biến τ có thể được định nghĩa như là thời gian cần thiết cho điện áp V_r đạt tới biên độ bằng với điện áp vào, bắt đầu từ điều kiện 0 và với điện áp vào là hằng số.

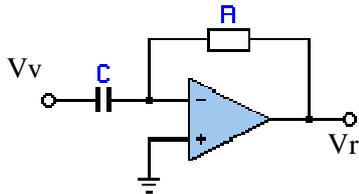
Xét với bộ KĐTT thực, ta có thể tìm được điện áp lệch không, xuất hiện như là điện áp dc tại đầu vào và khi được tích phân sẽ xuất hiện tại đầu ra như là một điện áp tăng tuyến tính. Tương tự, một phần của dòng thiên áp cũng được tích phân, tạo nên sự thay đổi của điện áp ra.



Hai nguyên nhân gây lỗi trên thực tế sẽ đưa bộ KĐTT đến trạng thái bão hoà. Đây chính là một hạn chế của mạch. Vấn đề này sẽ được khắc phục bởi việc nối thêm 1 điện trở giữa đầu vào không đảo và đất, để bù ảnh hưởng của dòng thiên áp; đồng thời thêm điện trở mắc song song với tụ C để trung

hoà ảnh hưởng của điện áp lệch (hình bên).

6. Mạch vi phân



Sơ đồ mạch vi phân được chỉ ra ở hình bên. Điện trở được dùng trong mạch hồi tiếp, trong khi tụ được nối với điện áp vào.

Giả sử bộ KĐTT lý tưởng, đầu vào đảo sẽ có mức điện áp 0 (điểm đất ảo), bởi thế, dòng chảy qua R được cho bởi:

$$i = V_r/R.$$

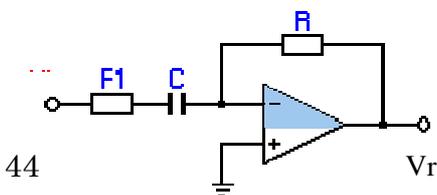
với tụ điện, ta có quan hệ sau:

$$i = C \cdot dV/dt.$$

vì trở kháng vào bằng vô cùng, nên dòng qua tụ sẽ bằng với dòng qua trở R, thay vào ta có:

$$V_r = -RC \frac{dV_r}{dt}$$

Nếu tín hiệu vào là tín hiệu dc, điện áp ra sẽ bằng 0V, vì tụ ngăn cản dòng dc. Nghĩa là hệ số khuếch đại sẽ bằng 0 với thành phần tín hiệu dc. Khi tần số tăng, biên độ điện áp ra cũng như hệ số khuếch đại cũng tăng từ công thức trên ta thấy: **V_r tỷ lệ với ω** (dựa vào đây người ta xây dựng mạch biến đổi tần số-điện áp)



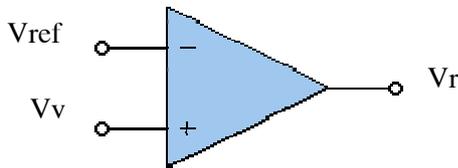
Theo lý thuyết, nếu tần số bằng vô cùng, tụ điện sẽ có dung kháng bằng 0, tức là hệ số khuếch đại bằng vô cùng với mạch vi phân. Tuy nhiên, hệ số khuếch đại cao khiến mạch không ổn định. Ngoài ra, vì hệ

số khuếch đại gia tăng theo tần số, nên nhiễu giao thoa tại tần số cao sẽ được khuếch đại gây biến dạng tín hiệu ban đầu. Do vậy điện trở R1 sẽ được mắc nối tiếp với tụ C như hình trên để giới hạn hệ số khuếch đại của mạch vi phân, với tỷ số R/R1 tại tần số cao khi dung kháng của tụ là rất nhỏ (nói cách khác là mở rộng dải tần hoạt động của mạch)

7. Mạch so sánh

Mạch so sánh là mạch mà so sánh tín hiệu vào V_v và tín hiệu chuẩn V_{ref} . Điện áp ra của bộ so sánh V_r có thể nhận một trong hai giá trị: V_{min} hay V_{max} .

Trong ứng dụng này, mạch khuếch đại hoạt động trong miền không tuyến tính.



Xét mạch trong hình bên, giả thiết KĐTT là lý tưởng, khi $V_v > V_{ref}$ thì đầu ra của bộ so sánh sẽ đạt tới mức điện áp dương max (bão hoà dương); ngược lại nếu $V_v < V_{ref}$ thì đầu ra đạt

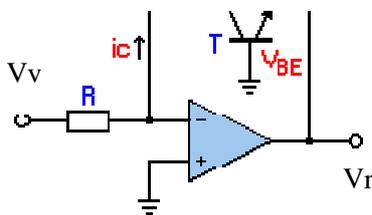
mức giá trị âm max (bão hoà âm).

Hoạt động của mạch có được do hệ số khuếch đại rất cao, bởi vì một điện áp hiệu rất nhỏ cũng đủ để đưa mạch vào trạng thái bão hoà.

Ta có thể thấy rằng mạch điện rất đơn giản không cần có thêm các linh kiện ngoài. Ứng dụng chủ yếu của mạch là bộ phát hiện *qua mức 0* và mạch tạo xung vuông.

8. Mạch khuếch đại logarit

Mạch khuếch đại logarit có nhiệm vụ cung cấp tín hiệu ra có quan hệ logarit với tín hiệu vào. Sơ đồ mạch cho bộ khuếch đại này được chỉ ra như hình bên trong đó nhánh hồi tiếp gồm 1 Transistor.



Bộ KĐTT có hệ số khuếch đại rất cao, chỉ cần một điện áp lệch nhỏ cũng đủ để đưa đầu ra tới trạng thái bão hoà. Vì base của T nối đất và Emitter nối đầu ra nên điện áp ra bằng điện áp base-emitter nhưng trái dấu.

$$V_r = -v_{BE}$$

Khi v_{BE} tăng, dòng collector cũng tăng. Do trở kháng vào rất cao (vì thế dòng đi vào đầu vào đảo có thể bỏ qua), dòng collector của T sẽ bằng dòng qua R. Điều này khiến điện áp lệch giảm và do đó điện áp ra cũng giảm. Để

tránh bão hoà điện áp lệch sẽ nằm trong dải μV (do hệ số khuếch đại khoảng 100000).

Trong chế độ hoạt động thông thường, điện áp v_{BE} của T là khoảng 0,5 – 1V; có nghĩa điện áp lệch sẽ rất nhỏ nên có thể coi đầu vào đảo như là điểm đất ảo. Dòng i_c đưa vào collector của T là:

$$i_c = V_v / R \quad (1)$$

Ta có tỷ số giữa dòng collector và dòng base là:

$$i_c = h_{FE} * i_B \quad (2)$$

đồng thời, ta có quan hệ giữa điện áp base-emitter và dòng base:

$$i_B = I_o * e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \quad (3)$$

trong đó: i_B là dòng base.

I_o = dòng rò (ngược) bão hoà của chuyển tiếp PN.

v_{BE} = điện áp base-emitter.

$V_T = K * T / q$ là điện thế nhiệt

với K: hằng số Boltzmann ; T : nhiệt độ tuyệt đối ; q: điện tích e.

Từ (2) và (3) , ta có:

$$v_{BE} = V_T * \ln \frac{i_c}{h_{FE} * I_o}$$

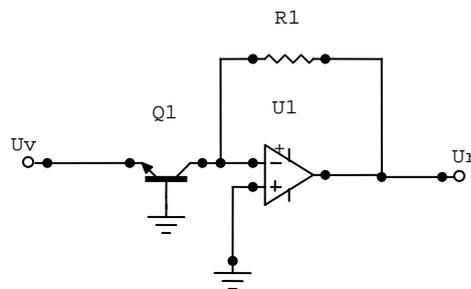
Thay giá trị của i_c trong (1) vào ta có:

$$v_{BE} = V_T * \ln \frac{V_v}{R * h_{FE} * I_o}$$

$$V_r = -v_{BE} = -V_T * \ln \frac{v_{in}}{R * h_{FE} * I_o}$$

Như vậy điện áp đầu ra là một hàm logarit của điện áp đầu vào

9. Mạch exp:

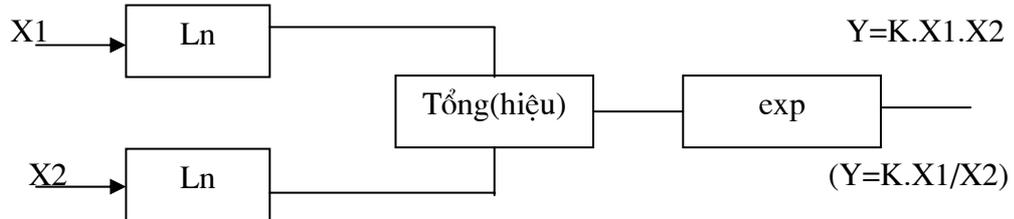


Bạn đọc chứng minh tương tự để tìm ra dạng kết quả:

điện áp ra có dạng $U_r = \exp(uv)$

10. Mạch nhân(chia) tương tự:
 $Y = X1.X2$

Mạch nhân được thực hiện trên cơ sở mạch log và Exp:



IV. PHẦN BÀI TẬP

1. Bài toán thuận phân tích một mạch KĐTT được thực hiện như sau:

Viết phương trình KCL cho nút N để tìm V_N theo các nguồn đầu vào đảo

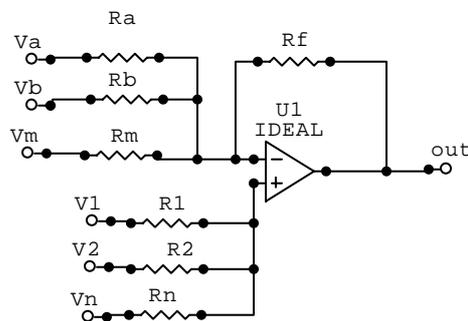
Viết phương trình KCL cho nút P để tìm V_P theo các nguồn đầu vào thuận

Cho $V_P = V_N$ để tìm dạng điện áp đầu ra theo các điện áp đầu vào

Chú ý: Bước 1 và 2 được thực hiện với giả thiết dòng vào các cửa của bộ KĐTT bằng không.

Ví dụ:

Xác định điện áp đầu ra theo điện áp đầu vào của mạch sau:



Áp dụng KCL cho nút P ta có:

$$\frac{V_P - V_1}{R1} + \frac{V_P - V_2}{R2} + \dots + \frac{V_P - V_n}{Rn} = 0$$

$$\rightarrow V_P = (R1 // R2 // \dots // Rn) \left(\frac{V_1}{R1} + \frac{V_2}{R2} + \dots + \frac{V_n}{Rn} \right)$$

Tương tự, áp dụng dòng điện nút cho nút N ta có:

$$\frac{V_N - V_a}{Ra} + \frac{V_N - V_b}{Rb} + \dots + \frac{V_N - V_m}{Rm} + \frac{V_N - V_{out}}{Rf} = 0$$

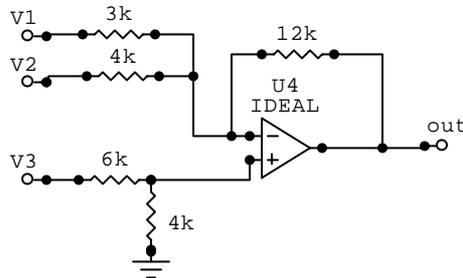
$$\rightarrow V_N = (R1 // R2 // \dots // Rn) \left(\frac{V_a}{Ra} + \frac{V_b}{Rb} + \dots + \frac{V_m}{Rm} \right) + \frac{V_{out}}{Rf} (R1 // R2 // \dots // Rn // Rf)$$

Thay $V_N = V_P$ ta được:

$$V_{out} = \left(\frac{V_1}{R1} + \frac{V_2}{R2} + \dots + \frac{V_n}{Rn} \right) (R1 // R2 // \dots // Rn) \frac{Rf}{Ra // Rb // \dots // Rx // Rf} - Rf \left(\frac{V_a}{Ra} + \frac{V_b}{Rb} + \dots + \frac{V_m}{Rm} \right)$$

Bài tập mẫu:

Cho mạch điện như hình vẽ. Tìm biểu thức của điện áp đầu ra theo các đầu vào



Viết phương trình KCL tại điểm N với giả thiết trở kháng vào của bộ khuếch đại rất lớn nên coi như không có dòng vào cửa đảo.

$$\frac{V_1 - V_N}{3} + \frac{V_2 - V_N}{4} + \frac{V_{out} - V_N}{12} = 0$$

$$\rightarrow V_N = \frac{V_1}{2} + \frac{3.V_2}{8} + \frac{V_{out}}{8}$$

Cũng với giả thiết như trên ta coi như không có dòng vào cửa thuận. Khi đó phương trình KCL cho nút P sẽ là:

$$\frac{V_p - V_3}{6} + \frac{V_p}{4} = 0$$

$$\rightarrow V_p = \frac{4}{4+6} V_3 = \frac{2 \cdot V_3}{5}$$

Theo tính chất của bộ khuếch đại thuật toán điện áp tại cửa đảo bằng điện áp tại cửa thuận nên ta có: $V_N = V_P$

Do vậy :

$$V_N = \frac{V_1}{2} + \frac{3 \cdot V_2}{8} + \frac{V_{out}}{8} = V_P = \frac{2 \cdot V_3}{5}$$

$$\rightarrow V_{out} = -4V_1 - 3V_2 + \frac{16}{5} V_3$$

2. Bài toán ngược

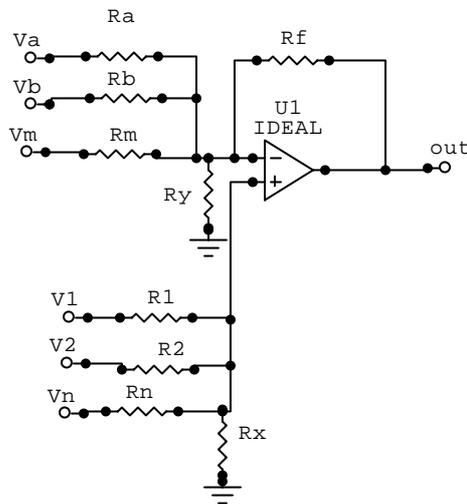
Thiết kế một mạch KĐTT có phương trình:

$$V_{rut} = X_1 \cdot V_1 + \dots + X_n \cdot V_n - Y_1 V_a - \dots - Y_m V_m$$

Trong đó X_1, X_2, X_n là hệ số khuếch đại của các đầu vào không đảo

$Y_1, Y_2 \dots Y_m$ là hệ số khuếch đại của các đầu vào đảo

Giả sử mạch cần thiết kế có dạng sau:



Từ phân tích lý thuyết người ta đưa ra cách làm như sau:

+ Tính:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_n$$

$$Y = \sum_{j=1}^m Y_j = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_m$$

$$Z = X - Y - 1$$

+ Dựa vào giá trị của Z ta sẽ chọn 1 trong 3 trường hợp sau để tính:

TH	Z	Ry	Rx	R1,2	Ra,b
1	> 0	Rf/Z	∞		
2	< 0	∞	Rf/Z	Rf/Xi	Rf/Yj
3	$= 0$	∞	∞		

Chú ý: nên chọn giá trị của Rf cỡ 100k - 200k

Bài tập mẫu:

Thiết kế mạch cộng sử dụng bộ khuếch đại thuật toán có mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra như sau:

$$V_{\text{rout}} = 10v_1 + 6v_2 + 4v_3 - 5v_a - 2v_b$$

Giải:

$$X = \sum_{i=1}^3 X_i = 10 + 6 + 4 = 20$$

$$Y = \sum_{j=a}^b Y_j = 5 + 2 = 7$$

$$Z = X - Y - 1 = 20 - 7 - 1 = 12$$

Do $Z > 0$ nên ta sẽ áp dụng cách tính của trường hợp 1. Chọn $R_f = 120k\Omega$.

Khi đó các giá trị còn lại được tính như sau:

$$R_1 = \frac{R_f}{X_1} = \frac{120k\Omega}{10} = 12k\Omega$$

$$R_a = \frac{R_f}{Y_a} = \frac{120k\Omega}{5} = 24k\Omega$$

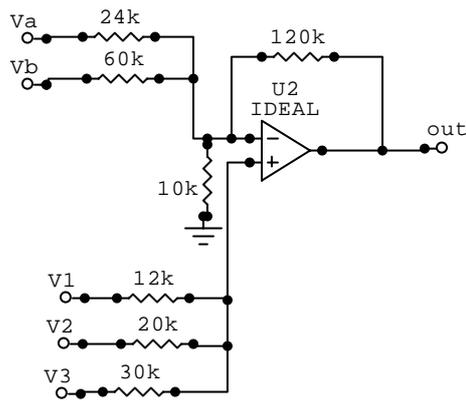
$$R_2 = \frac{R_f}{X_2} = \frac{120k\Omega}{6} = 20k\Omega$$

$$R_b = \frac{R_f}{Y_b} = \frac{120k\Omega}{2} = 60k\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_f}{X_3} = \frac{120k\Omega}{4} = 30k\Omega$$

$$R_y = \frac{R_f}{Z} = \frac{120k\Omega}{12} = 10k\Omega$$

Kết quả là ta có mạch như sau:



3. Thiết kế một mạch KĐTT có phương trình của điện áp đầu ra chứa cả biểu thức tính tổng, hiệu, vi phân và tích phân.

Ta thực hiện như sau:

Bước 1: Thiết kế mạch dùng bộ KĐTT 1 thực hiện phép tính tổng, hiệu

Bước 2: Thiết kế mạch dùng bộ KĐTT 2 thực hiện phép tính vi phân

Bước 3: Thiết kế mạch dùng bộ KĐTT 3 thực hiện phép tính tích phân

Bước 4: Dùng một bộ tổng với các hệ số bằng 1 để cộng các kết quả trên

Bài tập mẫu:

Thiết kế mạch sử dụng bộ KĐTT thực hiện hàm sau:

$$y = \frac{da}{2dt} + 2 \int bdt + c - 3d$$

Giải:

Dựa vào biểu thức đã cho ta sẽ thiết kế mạch

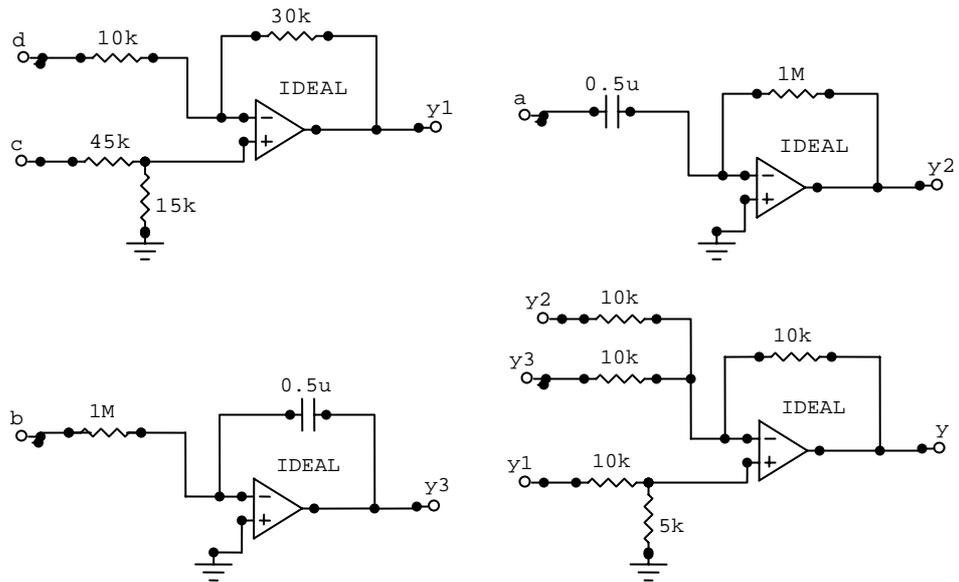
$$y1 = c - 3d$$

$$y2 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{da}{dt}$$

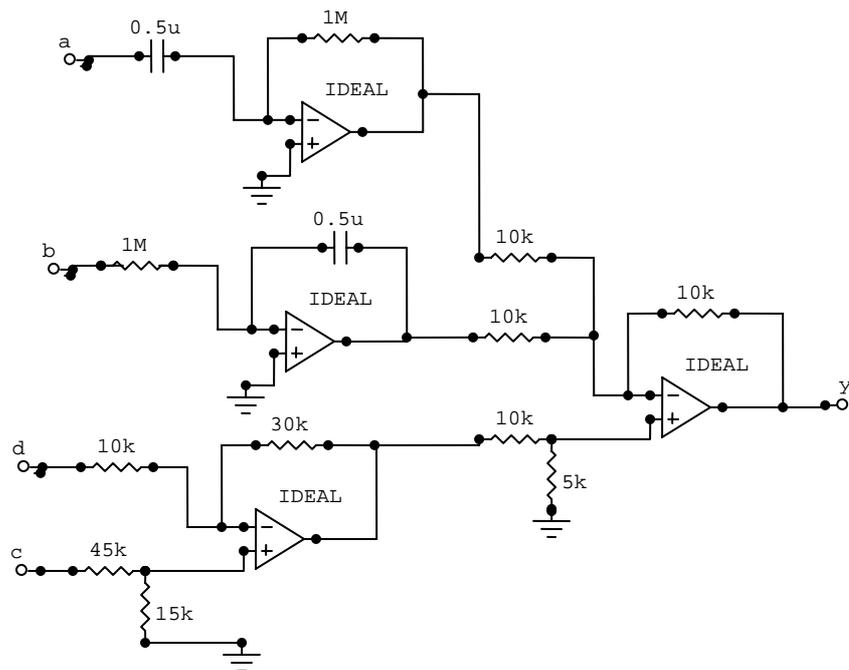
$$y3 = -2 \int bdt$$

$$\rightarrow y = y1 - y2 - y3$$

áp dụng tính như các bài tập đã biết ta có kết quả như sau:



Kết quả là ta có mạch sau:



CHƯƠNG 5 .MẠCH LỌC TÍCH CỰC.

I. KHÁI NIỆM VỀ MẠCH LỌC TẦN SỐ

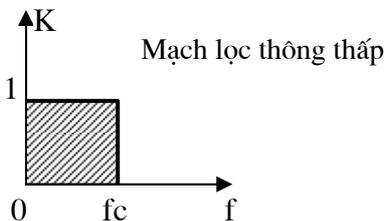
Mạch lọc tần số là mạch chọn lọc lấy tín hiệu trong một hay một số khoảng tần số nào đó còn các tín hiệu ở tần số khác thì bị loại trừ.

Nếu phân chia theo dải tần số thì có các loại mạch lọc sau:

- Mạch lọc thông thấp
- Mạch lọc thông cao
- Mạch lọc thông dải
- Mạch lọc chặn dải
- Mạch lọc pha

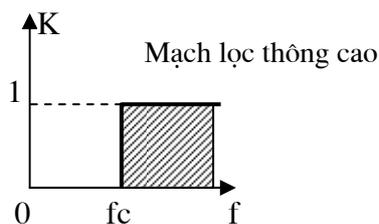
Khi biểu diễn mạch lọc tần số thông qua hệ số truyền đạt điện áp thì có thể nói mạch lọc lý tưởng là một mạng 4 cực có hệ số truyền đạt $K = 1$ trong dải thông và $K = 0$ ngoài dải thông. Nghĩa là mạch lọc lý tưởng sẽ không gây suy giảm tín hiệu trong dải thông và triệt tiêu hoàn toàn tín hiệu ngoài dải thông, mạch này có vùng chuyển tiếp thẳng đứng và không gây di pha tín hiệu.

Với các bộ lọc lý tưởng ta có các dạng đặc tuyến như sau:



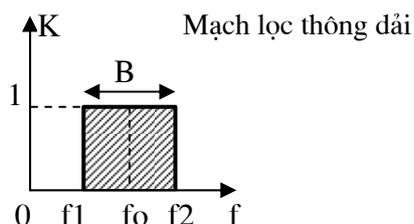
- Mạch lọc thông thấp

Mạch lọc thông thấp cho qua các tần số từ 0 tới f_c và chặn tất cả các tần số từ f_c trở lên và f_c gọi là tần số cắt của mạch.



- Mạch lọc thông cao

Mạch lọc thông cao chặn tất cả các tần số từ 0 tới f_c và cho qua tất cả các tần số từ tần số cắt f_c trở đi



- Mạch lọc thông dải

Mạch lọc thông dải cho qua các tần số nằm trong khoảng từ f_1 tới f_2 và chặn tất cả các tần số nằm ngoài dải này.

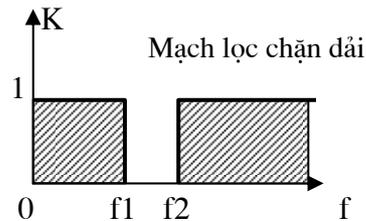
Độ rộng của dải thông được tính bằng $B = f_2 - f_1$

$$\text{Tần số trung tâm } f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

- Mạch lọc chặn dải

Mạch lọc chặn dải cho qua các tần số nằm trong khoảng nhỏ hơn f_1 và lớn hơn f_2 , và chặn tất cả các tần số nằm trong khoảng $f_1 - f_2$

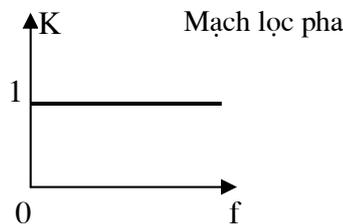
Độ rộng của dải chặn được tính bằng $B = f_2 - f_1$



$$\text{Tần số trung tâm } f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

- Mạch lọc pha

Mạch lọc pha không có dải chặn, nó cho qua tất cả các tần số nhưng giữa đầu vào và đầu ra có sự dịch pha.



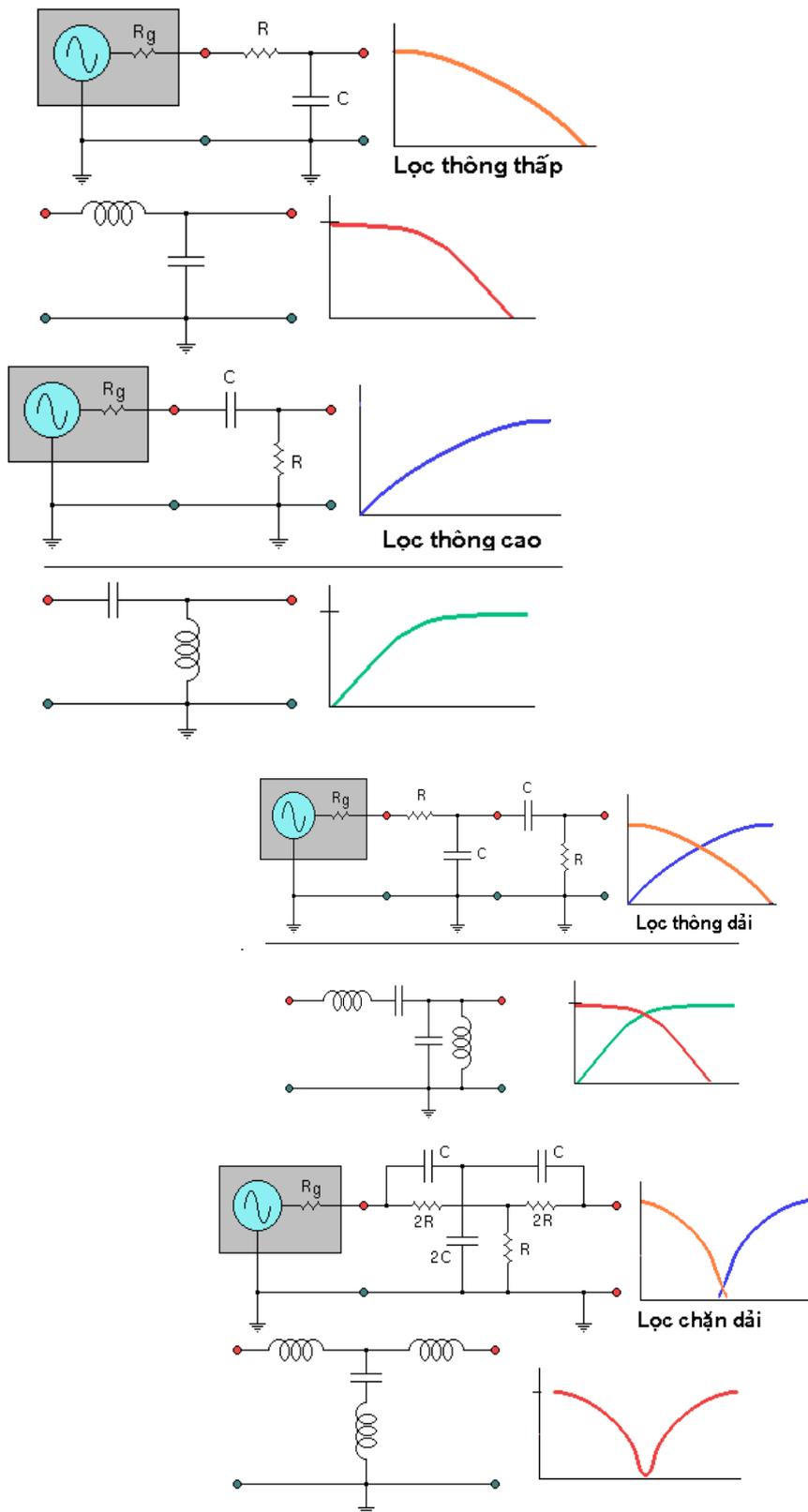
II. MẠCH LỌC THỤ ĐỘNG

Mạch lọc thụ động là mạch chứa các phần tử thụ động R, L, C mà không có các phần tử tích cực như BJT hay KĐTĐT.

Mạch lọc thụ động là Mạch lọc có hệ số truyền đạt $K(\omega) < 1$

Các mạch này hầu hết làm việc ở tần số cao ($> 1\text{MHz}$) vì ở khu vực tần số thấp các mạch này có kết cấu nặng nề và hệ số phẩm chất giảm.

Một số mạch lọc thụ động thường gặp và đặc tuyến truyền đạt của chúng:



III. MẠCH LỌC TÍCH CỰC

Mạch lọc tích cực là mạch lọc có hệ số truyền đạt $K(\omega) \geq 1$

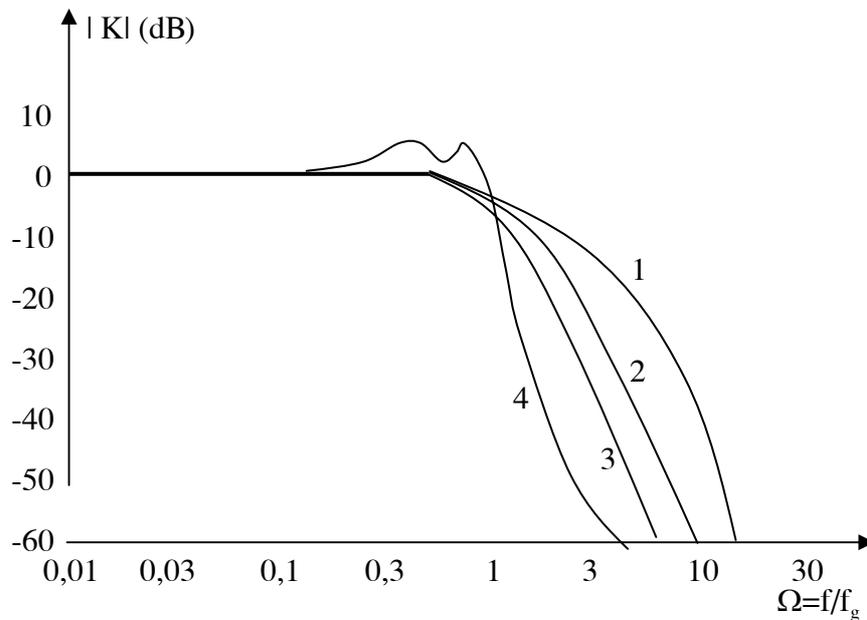
Mạch lọc tích cực được đặc trưng bởi 3 tham số cơ bản: tần số giới hạn f_g , bậc của bộ lọc và loại bộ lọc.

+ Tần số giới hạn f_g : là tần số mà tại đó hàm truyền đạt giảm 3 dB so với hàm truyền đạt ở tần số trung tâm.

+ Bậc của bộ lọc: xác định độ dốc của đặc tuyến biên độ - tần số ở tần số $f \gg f_g$.

+ Loại bộ lọc: xác định dạng của đặc tuyến biên độ - tần số xung quanh tần số giới hạn và trong khu vực thông của mạch lọc.

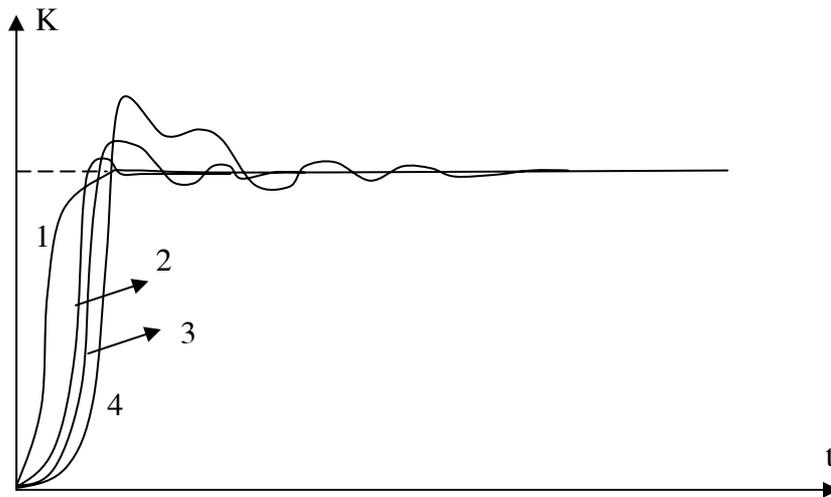
Người ta quan tâm nhiều đến 3 loại bộ lọc: lọc Bessel, lọc Butterworth và lọc Tschebyscheff. Đặc tuyến của các bộ lọc đó được thể hiện trên hình vẽ 1.



Hình vẽ . Đặc tuyến biên độ – tần số của mạch lọc thông thấp bậc 4:

1- Lọc thụ động; 2- Lọc Bessel; 3- Lọc Butterworth; 4- Lọc Tschebyscheff.

Mạch lọc Butterworth (3) có đặc tuyến phẳng kéo dài và gấp khúc trước khi đạt được tần số giới hạn f_g . Mạch lọc Tschebyscheff (4) có độ dốc lớn nhất ở tần số $f > f_g$, đồng thời, trong dải thông, đặc tuyến không phẳng hoàn toàn mà có độ gợn sóng nhất định. Mạch lọc Bessel có đặc tuyến giảm đều từ khu vực thông sang khu vực chắn và có đáp ứng xung gần như lý tưởng (hình dưới). Tùy yêu cầu cụ thể, có thể chọn loại mạch lọc thích hợp.



Hình vẽ. Đáp ứng xung của mạch lọc thông thấp.

1-Lọc thụ động; 2- Lọc Bessel; 3- Lọc Butterworth; 4- Lọc Tschebyscheff.

Hàm truyền đạt tổng quát của một mạch lọc thông thấp:

$$K(P) = \frac{K_0}{\prod_i (1 + a_i \cdot P + b_i \cdot P^2)} \quad (1)$$

trong đó, $P = j \cdot \Omega = j (\omega / \omega_g) = j (f / f_g) = p / \omega_g = p / 2\pi f_g$.

Hàm truyền đạt tổng quát của mạch lọc thông cao:

$$K(P) = \frac{K_\infty}{\prod_i (1 + \frac{a_i}{P} + \frac{b_i}{P^2})} \quad (2)$$

K_0 : hàm truyền đạt ở tần số trung tâm (tần số thấp $f \ll f_g$).

K_∞ : hàm truyền đạt ở tần số trung tâm (tần số cao $f \gg f_g$).

a_i, b_i : các số thực dương.

Các hệ số a_i, b_i được cho trong bảng chuẩn đối với các loại lọc Bessel, lọc Butterworth và lọc Tschebyscheff như sau:

<i>Bậc</i>	<i>Lọc Bessel</i>			
	a_1	b_1	a_2	b_2
1	1,000	0,000	0,000	0,000
2	1,362	0,618	0,000	0,000
3	0,756	0,000	1,000	0,477
4	1,340	0,489	0,774	0,389

Bậc *Lọc Butterworth*

n	a_1	b_1	a_2	b_2
1	1,000	0,000	0,000	0,000
2	1,414	1,000	0,000	0,000
3	1,000	0,000	1,000	1,000
4	1,848	1,000	0,765	1,000

<i>Bậc</i>		<i>Lọc Tschebyscheff</i>		
n	a_1	b_1	a_2	b_2
1	1,352	0,000	0,000	0,000
2	0,978	1,663	0,000	0,000
3	3,480	0,000	0,369	1,283
4	2,140	5,323	0,192	1,154

Bảng: Các hệ số a_i, b_i của các loại mạch lọc.

Trong đó, n : bậc của bộ lọc.

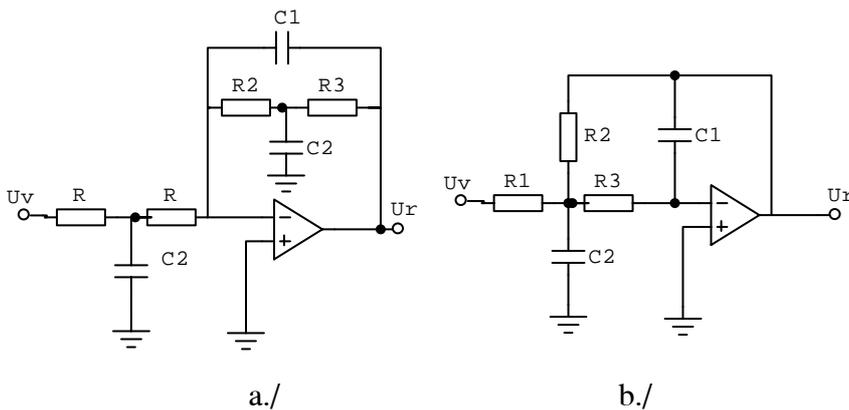
i : số thứ tự mắt lọc.

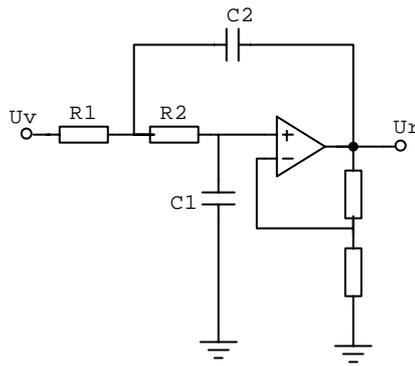
1 Thực hiện mạch lọc thông thấp và thông cao bậc 2.

Có 3 loại mạch lọc tích cực thông dụng: mạch lọc hồi tiếp âm một vòng, mạch lọc hồi tiếp âm nhiều vòng và mạch lọc hồi tiếp dương một vòng. Các mạch lọc đó có thể thực hiện cho cả 3 loại: lọc Bessel, lọc Butterworth và lọc Tschebyscheff, chúng chỉ khác nhau ở hệ số a_i, b_i

1. Lọc thông thấp bậc 2:

Sơ đồ mạch:





c./

Hình vẽ 3. Mạch lọc thông thấp bậc 2.

a./ hồi tiếp âm một vòng; b./ hồi tiếp âm nhiều vòng;

c./ hồi tiếp dương một vòng.

Hàm truyền đạt

Xét mạch lọc thông thấp hồi tiếp dương một vòng, viết phương trình tại các đỉnh của mạch, ta sẽ có được hàm truyền đạt sau:

$$K(P) = \frac{k}{1 + P\omega_g [R_1C_1 + R_2C_1 + (1-k)R_1C_2] + P^2\omega_g^2 R_1R_2C_1C_2} \quad (3)$$

Xác định các phần tử của mạch

Để đơn giản, ta xác định các phần tử của mạch trong 2 trường hợp sau:

a. Cho $R_1 = R_2 = R$ và $k = 1$.

Khi đó, ta có Op-amp là một mạch lặp điện áp. Biểu thức hàm truyền đạt trở thành:

$$K(P) = \frac{1}{1 + 2P\omega_g RC_1 + P^2\omega_g^2 C_1C_2} \quad (3a)$$

So sánh biểu thức 3a với 1, ta thấy:

$$K_0 = 1$$

$$C_1 = a_1/4\pi f_g R; \quad C_2 = b_1/\pi f_g R a_1.$$

Tùy theo loại lọc, mà ta sẽ xác định được hệ số a_1, b_1 .

b. Cho $R_1 = R_2 = R$

$$C_1 = C_2 = C$$

Biểu thức hàm truyền trở thành:

$$K(P) = \frac{k}{1 + P\omega_g RC(3-k) + P^2\omega_g^2 R^2C^2} \quad (3b)$$

So sánh với (1), ta có:

$$RC = \sqrt{b_1} / 2\pi f_g .$$

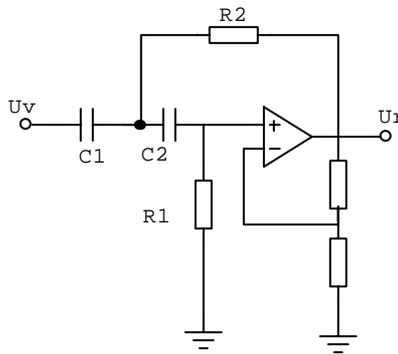
$$k = K_0 = 3 - a_1 / \sqrt{b_1}$$

Lúc này, loại bộ lọc hoàn toàn được xác định bởi k mà không phải bởi các linh kiện RC. Do đó, có thể thay đổi tần số giới hạn f_g của mạch bằng cách thay đổi RC mà không ảnh hưởng đến tính chất của bộ lọc.

2. Lọc thông cao bậc 2:

Sơ đồ mạch:

Xét mạch hồi tiếp dương một vòng.



Hình vẽ 3. Mạch lọc thông cao hồi tiếp dương một vòng.

Hàm truyền đạt:

$$K(P) = \frac{k}{1 + \frac{1}{P} \frac{R_2(C_1 + C_2) + R_1 C_2(1-k)}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_g} + \frac{1}{P^2} \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_g^2}} \tag{4}$$

Xác định các phần tử mạch

a. Chọn : $C_1 = C_2 = C$

$$k = 1$$

Biểu thức (4) trở thành:

$$K(P) = \frac{1}{1 + \frac{1}{P} \frac{2}{R_1 C \omega_g} + \frac{1}{P^2} \frac{1}{R_1 R_2 C^2 \omega_g^2}} \tag{4a}$$

So sánh (4a) với (2), ta có:

$$K_\infty = 1.$$

$$a_1 = \frac{2}{R_1 C \omega_g}$$

$$b_1 = \frac{1}{R_1 R_2 C^2 \omega_g^2} = \frac{1}{2} \frac{a_1}{R_2 C \omega_g}$$

b. Chọn $R_1 = R_2 = R$
 $C_1 = C_2 = C$

Biểu thức (4) có dạng:

$$K(P) = \frac{k}{1 + \frac{1}{P} \frac{3-k}{RC\omega_g} + \frac{1}{P^2} \frac{1}{R^2 C^2 \omega_g^2}} \quad (4b)$$

Ta có:

$$K_\infty = 1.$$

$$a_1 = \frac{3-k}{RC\omega_g}$$

$$b_1 = \frac{1}{R^2 C^2 \omega_g^2}$$

2. Thực hiện mạch lọc thông thấp và thông cao bậc cao, $n > 2$.

Trong trường hợp đặc tuyến biên độ - tần số của bộ lọc không đủ vuông góc, phải thực hiện bộ lọc bậc cao hơn hi. Muốn vậy, mắc nối tiếp các bộ lọc thông thấp bậc một và bậc hai đã biết. Lúc đó, đặc tính tần số của mạch là tích đặc tính tần số của từng mạch riêng rẽ.

3. Mạch lọc chọn lọc và mạch lọc thông dải.

1. Mạch lọc thông dải.

Nếu mắc nối tiếp một mạch lọc thông thấp có tần số giới hạn f_{g1} và một mạch lọc thông cao có tần số giới hạn f_{g2} ta sẽ nhận được mạch lọc thông dải với điều kiện $f_{g1} > f_{g2}$. Lúc đó, f_{g1} được gọi là tần số giới hạn trên (f_{gt}) và f_{g2} được gọi là tần số giới hạn dưới (f_{gd}). Đặc tính tần số của nó là tích đặc tính tần số của hai khâu lọc riêng rẽ.

2. Mạch lọc chọn lọc.

Lọc chọn là lọc thông dải có tần số giới hạn trên bằng tần số giới hạn dưới: $f_{gt} = f_{gd} = f_0$.

Để đơn giản, xét một bộ lọc chọn lọc được cấu tạo từ một mạch lọc thông cao tích cực bậc một và mạch lọc thông thấp tích cực bậc một.

Hàm truyền đạt phức của bộ lọc:

$$K(P) = \frac{K_0}{(1 + a_1 P)} \frac{K_\infty}{(1 + \frac{a_1}{P})} = \frac{K_0 K_\infty P}{a_1 + (a_1^2 + 1)P + a_1 P^2} \quad (5)$$

Đặt: $K_0 \cdot K_\infty = A$.

$$a_1^2 + 1 = \beta.$$

chú ý rằng với bộ lọc bậc một: $a_1 = 1$ ta sẽ viết lại biểu thức trên:

$$K(P) = \frac{AP}{1 + \beta P + P^2} \quad (6)$$

Đặc trưng cơ bản của mạch lọc chọn là: hệ số khuếch đại của mạch ở tần số trung tâm f_0 và hệ số phẩm chất Q .

Tại tần số trung tâm f_0 , ta có:

$$\Omega = f/f_0 = 1$$

và $P = j\Omega = j$

Lúc này, hệ số khuếch đại ở tần số f_0 (tần số cộng hưởng):

$$K_{CH} = \frac{A}{\beta} \quad (6a)$$

Độ rộng dải thông được xác định khi hệ số khuếch đại giảm $\sqrt{2}$ lần, nên ta có:

$$|K| = \frac{K_{CH}}{\sqrt{2}} = \frac{A}{\beta\sqrt{2}} \quad (6b)$$

Thay (6b) vào (6) và giải phương trình theo Ω , ta có 2 nghiệm:

$$\Omega_{1,2} = \sqrt{\frac{2 + \beta^2}{2} \pm \frac{\beta}{2} \sqrt{4 + \beta^2}} \quad (7)$$

Theo định nghĩa, phẩm chất của mạch:

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{1}{\Omega_1 - \Omega_2} \quad (8)$$

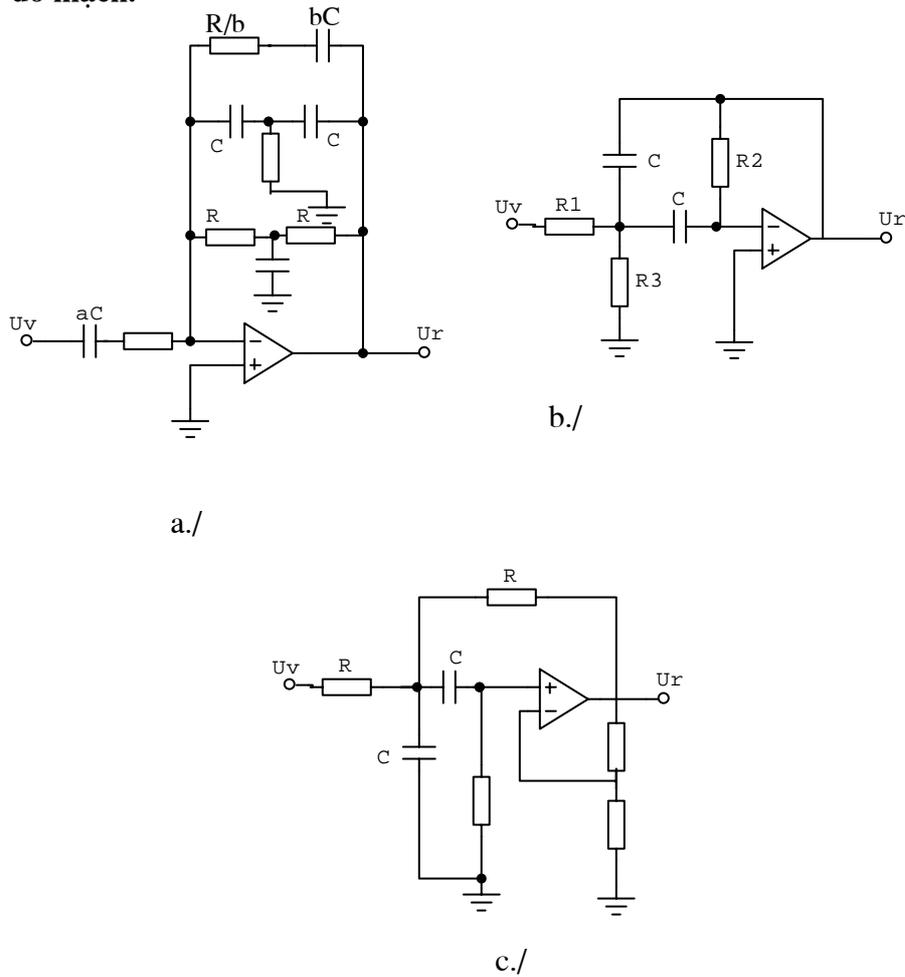
Thay nghiệm từ (7) vào (8), ta có:

$$Q = \frac{1}{\beta} \quad (9)$$

Thay (6a) và (9) vào (6), ta sẽ nhận được hệ số khuếch đại của mạch lọc chọn:

$$K = \frac{(K_{CH} / Q) \cdot P}{1 + (1/Q) \cdot P + P^2} \quad (10)$$

Sơ đồ mạch.



Hình vẽ 5. Mạch lọc chọn lọc.

a./ hồi tiếp âm một vòng; b./ hồi tiếp âm nhiều vòng; c./hồi tiếp dương một vòng.

Hàm truyền đạt

Xét mạch phản hồi âm nhiều vòng, hàm truyền đạt được viết:

$$K(P) = - \frac{P\omega_0 \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_3} C}{1 + 2P\omega_0 \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} C + P^2 \omega_0^2 \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2} \tag{11}$$

So sánh (11) với (10), ta thấy, biểu thức (11) sẽ có dạng hệ số khuếch đại của mạch lọc chọn nếu hệ số P^2 bằng 1, tức:

$$\omega_0^2 \cdot \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2 = 1$$

Do đó, tần số cộng hưởng:

$$\omega_o = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}}$$

Khi đó:

$$K_{CH} = \frac{R_2}{2R_1}$$

$$Q = \pi \cdot R_2 C f_o.$$

$$B = \frac{f_o}{Q} = \frac{1}{\pi R_2 C}$$

4. Mạch nén chọn lọc

Để nén một tần số nào đó, người ta dùng một bộ lọc có hệ số truyền đạt ở tần số cộng hưởng bằng không, còn ở tần số thấp và tần số cao thì hệ số truyền đạt tăng đến một giá trị không đổi nào đó. Một mạch nén chọn lọc thụ động khá phổ biến là mạch T kép. Hàm truyền đạt của mạch:

$$K_T = \frac{1 - \Omega^2}{1 + 4j\Omega - \Omega^2} \quad (12)$$

với $\Omega = \omega RC$.

$$\text{hay: } K_T = \frac{1 + P^2}{1 + 4P + P^2} \quad (13)$$

Biểu thức này tương đương với biểu thức (6), trong đó:

$$A=1; \quad \beta=4;$$

Khi $f \ll f_o$ hay $f \gg f_o$ tức $P \ll j$ hay $P \gg j$ thì $K_T = K_{TO} = A$ còn khi, $f=f_o$ tức $P=j$ thì $K_T=0$. Tương tự với mạch lọc chọn lọc, ta tính được 2 nghiệm Ω_1 và Ω_2 , do đó:

$$Q = f_o / B = 1 / \Omega_1 - \Omega_2 = 1/\beta. \quad (14)$$

Thay (14) vào (6), ta có biểu thức:

$$K_T = \frac{K_{TO}(1 + P^2)}{1 + \frac{1}{Q}P + P^2} \quad (15)$$

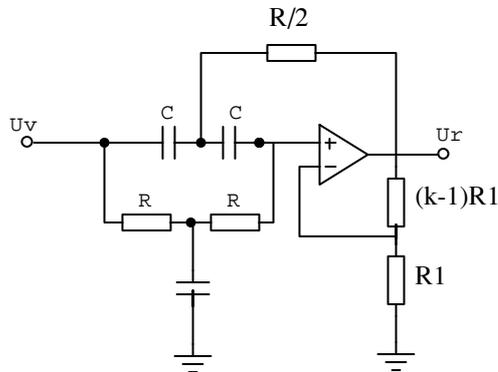
So sánh với (13), rút ra:

$$Q=1/4.$$

Từ (15), tính được modyn của K_T :

$$K_T = \frac{K_{TO}(1 - \Omega^2)}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + \Omega^2 / Q^2}} = \frac{K_{TO}(1 - \Omega^2)}{\sqrt{1 - Q^2 \left(\frac{1}{Q^2} - 2 \right) + \Omega^4}}$$

Ta đã tính được hệ số phẩm chất của mạch T kép $Q=1/4$ Ta có thể tăng Q bằng cách mắc mạch T kép vào mạch hồi tiếp của bộ KĐTT để tạo mạch lọc tích cực.



Hình vẽ 6. Sơ đồ mạch nén chọn lọc dùng mạch lọc T kép

Tại tần số cao và thấp, tính chất truyền đạt của mạch T kép không có gì thay đổi, do đó, điện áp ra:

$$\bar{u}_r = K \bar{u}_1$$

Tại tần số cộng hưởng $\bar{u}_r = 0$, lúc này coi như một đầu của $R/2$ nối đất, do đó tần số cộng hưởng f_o vẫn xác định theo biểu thức :

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

Hàm truyền đạt phức của mạch điện :

$$K = \frac{k(1 + P^2)}{1 + 2(2 - k)P + P^2}$$

Do đó, $K_o = k$ và:

$$Q = \frac{1}{2(2 - k)}$$

Khi $k=1$ thì $Q = 0,6$;

Khi $k=2$ thì $Q = \infty$.

CHƯƠNG 6. CÁC MẠCH DAO ĐỘNG

I. KHÁI NIỆM

Mạch dao động là mạch điện tử, dùng để tạo ra các tín hiệu hình sin, xung hình chữ nhật, xung tam giác, xung răng cưa....

Mạch điện dao động là thông qua các phương thức tự kích để có thể biến điện áp một chiều thành ra một điện áp biến đổi theo quy luật nhất định: sin, xung hình chữ nhật, xung tam giác, xung răng cưa....

Mạch dao động có các thông số cơ bản:

+ Tần số dao động:

- Bộ dao động siêu thấp tần: dưới 1Hz
- Bộ dao động tần số thấp: 1Hz-3Khz(chứa âm tần)
- Bộ dao động cao tần 3Khz-3Mhz
- Bộ dao động siêu cao tần: trên 3Khz

+ Biên độ điện áp dao động

+ Độ ổn định tần số

+ Công suất ra

+ Hiệu suất...

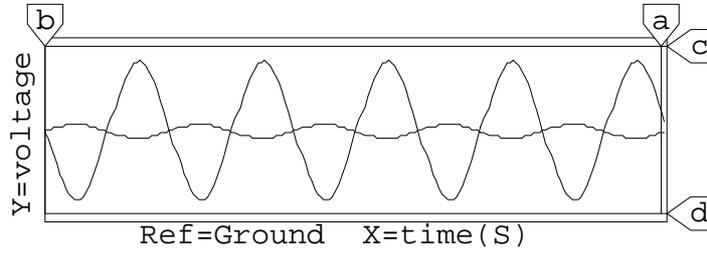
Nguyên lý tạo dao động:

+ Tạo dao động bằng hồi tiếp dương

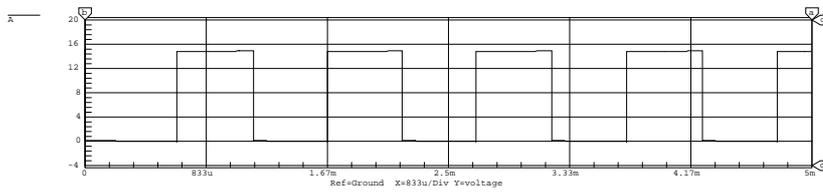
+ Tạo dao động bằng phương pháp tổng hợp mạch

Xa: 497.6u Xb: 0.000 a-b: 497.6u f
 Yc: 1.200 Yd: -1.200 c-d: 2.400

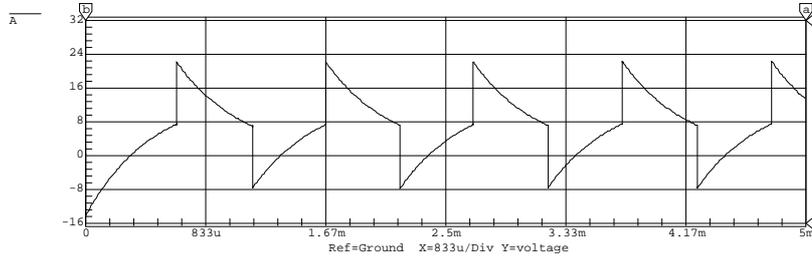
A
 B



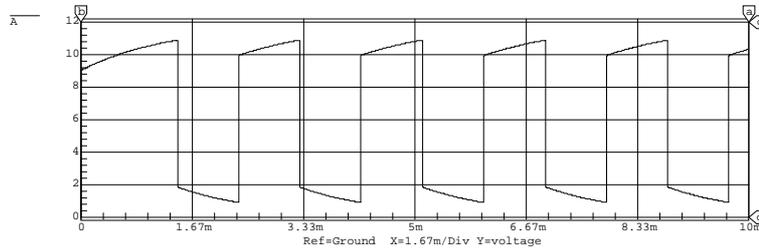
Xa: 5.000m Xb: 0.000 a-b: 5.000m f: 200.0
 Yc: 20.00 Yd: -4.000 c-d: 24.00



Xa: 5.000m Xb: 0.000 a-b: 5.000m f: 200.0
 Yc: 32.00 Yd: -16.00 c-d: 48.00

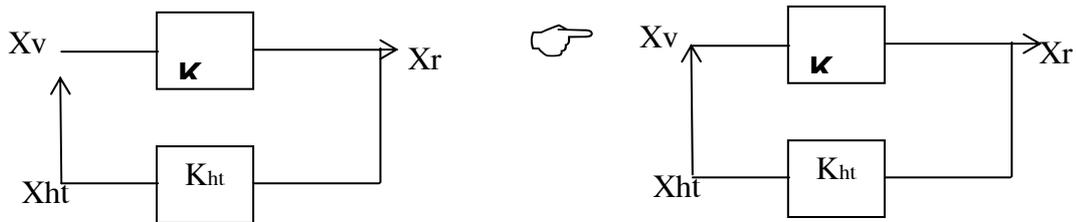


Xa: 10.000m Xb: 0.000 a-b: 10.000m f: 100.0
 Yc: 12.00 Yd: 0.000 c-d: 12.00



1. Điều kiện dao động và đặc điểm của mạch tạo dao động

Phân tích mạch dao động theo quan điểm mạng 4 cực như sau:



Sơ đồ khối mạch dao động

Trong đó :

- Khối K: là các phân tử khuếch đại(cung cấp năng lượng cho quá trình dao động hệ số truyền đạt=>1).
- Khối Kht: là các phân tử tạo dao động, thường là sự tổ hợp của các phân tử thụ động(hệ số truyền đạt<=1).

Xét một cách tổng quát, ta có hệ số truyền đạt theo dạng phức của từng khối:

+ Khối khuếch đại: $K=[K].e^{j\phi_k}$

+ Khối hồi tiếp: $Kht=[Kht].e^{j\phi_{ht}}$

Trong đó $[Kht]$, $[K]$: là các module hệ số hồi tiếp và khuếch đại

$\phi_{ht} \cdot \phi_k$ là các góc di pha của mạch hồi tiếp và mạch khuếch đại

$\Rightarrow X_r = K.X_v$ (1)

$\Rightarrow X_{ht} = Kht.X_r$ (2)

$\Rightarrow X_{ht} = Kht.K.X_v$ (3)

Để mạch là mạch dao động, thì $X_v = X_{ht}$, từ (3) $\Rightarrow Kht.K = 1$ (4)

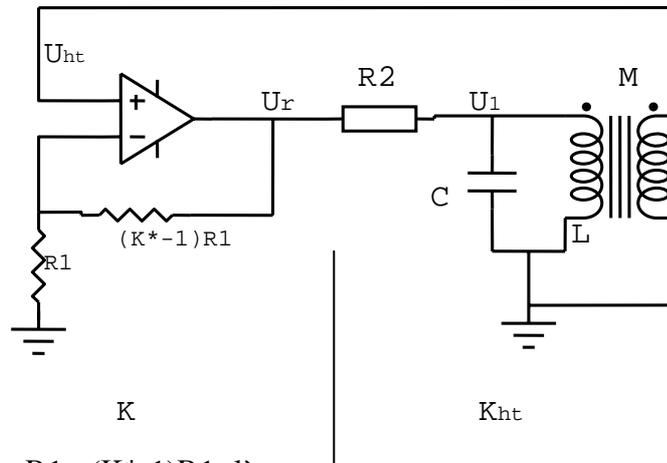
Dạng tổng quát của (4): $[K].[Kht].e^{j(\phi_{ht} + \phi_k)} = 1$

$\Rightarrow [K].[Kht] = 1$ (5)

$+ e^{j(\phi_{ht} + \phi_k)} = 1$, tức là $\phi_{ht} + \phi_k = 2n\pi$ (6), với $n=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Gọi $\phi = \phi_{ht} + \phi_k$ gọi là tổng di pha của hồi tiếp và bộ khuếch đại, đặc trưng cho độ dịch pha giữa tín hiệu vào ban đầu X_v và tín hiệu ra mạch hồi tiếp X_{ht} .

2. Tính toán mạch dao động



- R1, (K*-1)R1 là các điện trở của khâu khuếch đại không đảo.
- R2 điện trở phối hợp trở kháng
- LC khung dao động
- Biến áp: hồi tiếp tín hiệu(hỗ cảm cùng chiều)

Mạch dao động LC

- Phân bù biên độ là mạch khuếch đại thuật toán mắc theo kiểu không đảo

$$k = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{(K^* - 1)R1}{R1} = K^* \quad (7)$$

- Điện áp hồi tiếp về đầu vào thuận thông qua biến áp:
 $u_{ht} = (M/L) \cdot u_1 = K_{ht} \cdot u_1 \quad (8)$

M: hệ số hỗ cảm của các cuộn dây, L- điện cảm khung dao động

- Điện áp ra của bộ khuếch đại $u_r = K \cdot u_v = K^* \cdot u_{ht}$

- Theo định luật K1 với nút A:

$$\frac{u_r - u_1}{R} - C \frac{du_1}{dt} - \frac{1}{L} \int u_1 dt = 0 \quad (9)$$

Thay (7) và (8) vào (9), ta được:

$$\frac{d^2 u_r}{dt^2} + \frac{1 - K_{ht} K^*}{RC} \cdot \frac{du_r}{dt} + \frac{1}{LC} u_r = 0 \quad (10)$$

Đặt : $\alpha = (1 - K^* K_{ht}) / 2RC$

$$\omega_0^2 = 1/LC$$

(10) có dạng:

$$\frac{d^2 u_r}{dt^2} + 2\alpha \cdot \frac{du_r}{dt} + \omega_0^2 \cdot u_r = 0 \quad (11)$$

Phương trình vi phân trên là dạng cơ bản, có nghiệm dạng:

$$u_r = u_{r0} e^{-\alpha t} \cdot \cos \sqrt{\omega_o^2 - \alpha^2} \cdot t \quad (12)$$

+ Nếu $\alpha=(1-K \cdot K_{ht})/2RC > 0$, tức là $K \cdot K_{ht} < 1$, biên độ điện áp dao động bị suy giảm theo hàm mũ, dao động sẽ tắt dần.

+ Nếu $\alpha=(1-K \cdot K_{ht})/2RC = 0$, tức là $K \cdot K_{ht} = 1$, biên độ điện áp dao động không đổi, dao động được duy trì có tần số $\omega_o = 1/LC$.

+ Nếu $\alpha=(1-K \cdot K_{ht})/2RC < 0$, tức là $K \cdot K_{ht} > 1$, biên độ điện áp dao động tăng theo hàm mũ.

Như vậy: để có được dao động thì khi mới đóng mạch (quá độ) $K \cdot K_{ht} > 1$ để biên độ dao động tăng dần, cho đến khi mạch chuyển sang xác lập, hệ số khuếch đại giảm dần sao cho $K \cdot K_{ht} = 1$

Đặc điểm cơ bản của mạch dao động:

+ Mạch dao động là mạch khuếch đại tự điều khiển bằng hồi tiếp (+) từ đầu ra đến đầu vào, năng lượng dao động từ nguồn điện một chiều.

+ Phải thoả mãn điều kiện cân bằng về biên độ và pha

+ Mạch phải chứa ít nhất một phân tử **tích cực** chuyển năng lượng một chiều thành xoay chiều.

+ Mạch phải chứa phân tử phi tuyến, huặc một khâu điều chỉnh để đảm bảo cho biên độ dao động không đổi ở trạng thái xác lập

3. Nguyên lý xây dựng các mạch dao động phổ biến:

Phân tử tích cực		Phân tử dao động	
Linh kiện	Góc lệch pha	Bộ linh kiện	Góc lệch pha
IC_KĐTT- mắc đảo	Π	LC	0
IC_KĐTT- không đảo	0	RC	$\Pi/4$ - mỗi khâu
T-EC(SC)	Π (giữa B và C)	3 điểm điện cảm	Π
T-BC(GC)	0	3 điểm điện cảm	Π
Các loại linh kiện khác	?	Bộ kết hợp các linh kiện kiểu khác	?
Ghép sao cho: + Thoả mãn điều kiện về biên độ + Thoả mãn điều kiện về pha			

II. CÁC LOẠI MẠCH DAO ĐỘNG

1. Mạch dao động L,C

a. Vấn đề ổn định biên độ trong dao động LC

- Chế độ dao động mềm và dao động cứng, để ổn định biên độ trong các bộ dao động trong loại này, thường dùng phương pháp di chuyển điểm làm việc của phân tử tích cực.

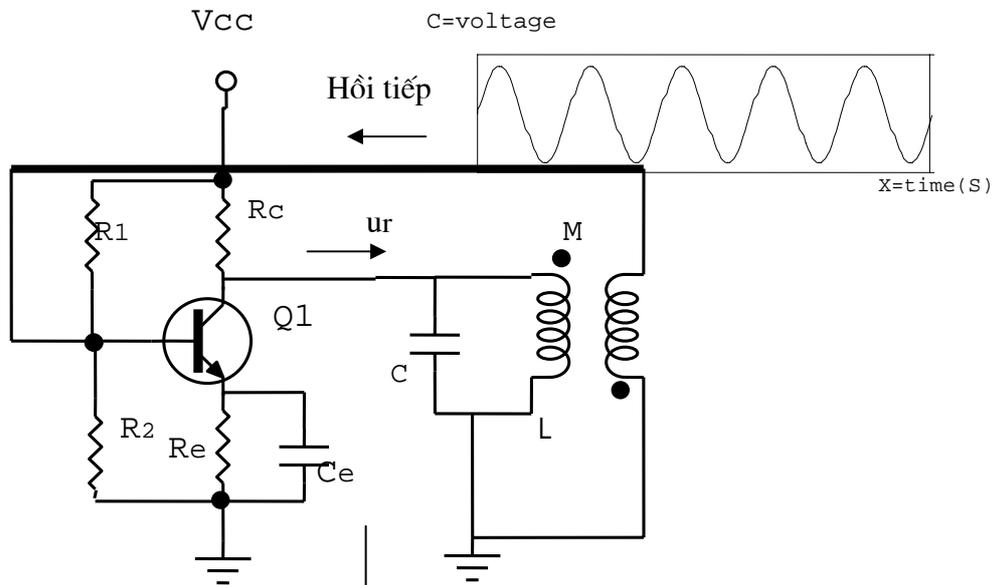
+ Nếu phân tử tích cực làm việc với góc cắt tín hiệu $\theta = 180^\circ$ được gọi là chế độ dao động mềm.

- + Nếu phần tử tích cực làm việc với góc cắt tín hiệu $\theta < 90^\circ$ được gọi là chế độ dao động cứng.
- Như vậy để có thể dao động được thì chế độ làm việc của các phần tử tích cực phải chuyển đổi từ chế độ dao động mềm (quá độ) sang chế độ dao động cứng (xác lập). Điều này được thực hiện bằng các điện trở định thiên (tạo điểm làm việc Q) của T và điều chỉnh nguồn cấp của IC-KĐTT.
- Hiện tượng dao động ngắt quãng: tín hiệu dao động không liên tục, xem phần Kỹ thuật xung.

b. Mạch dao động dùng khung dao động L-C

Giả sử dùng phần tử tích cực là T-BJT, sơ đồ EC: như vậy góc lệch pha giữa C và B là Π , mà khung L-C có góc lệch pha là 0, để thỏa mãn điều kiện về pha thì cần có phần tử có độ lệch pha Π nữa ->

- + Dùng một khâu khuếch đại EC nữa: tổn nguồn ▶ ▶
- + Dùng biến áp cuộn ngược chiều ở khâu hồi tiếp- góc lệch pha là Π :



K, lệch 180

K_{ht}, lệch 180

Mạch dao động L-C dùng T

- Xét điều kiện cân bằng biên độ:

$$+ K = -S \cdot Z_C \tag{13}$$

Trong đó $\frac{1}{Z_C} = \frac{1}{R_{td}} + \frac{n^2}{h_{11e}} + \frac{1}{Z_t}$ và $S = \frac{h_{21e}}{h_{11e}}$

$$+ K_{ht} = -\frac{U_B}{U_C} = -\frac{M}{L} = -n \tag{14}$$

=> Xét bất phương trình $K \cdot K_{ht} \geq 1$, ta có :

$$n^2 \cdot h_{21e} \cdot n + h_{11e} / Z \leq 0, \text{ trong đó } Z = R_{td} // Z_t \tag{15}$$

$$\Rightarrow \frac{h_{21e}}{2} - \sqrt{\left(\frac{h_{21e}}{2}\right)^2 - \frac{h_{11e}}{Z}} \leq n \leq \frac{h_{21e}}{2} + \sqrt{\left(\frac{h_{21e}}{2}\right)^2 - \frac{h_{11e}}{Z}} \quad (16)$$

(16) chính là điều kiện về biên độ của mạch dao động L-C, mạch có dao động hình sin tại 2 điểm nút(cực trị)

$$\text{Tần số dao động } f_{dd} = f_{ch} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (17)$$

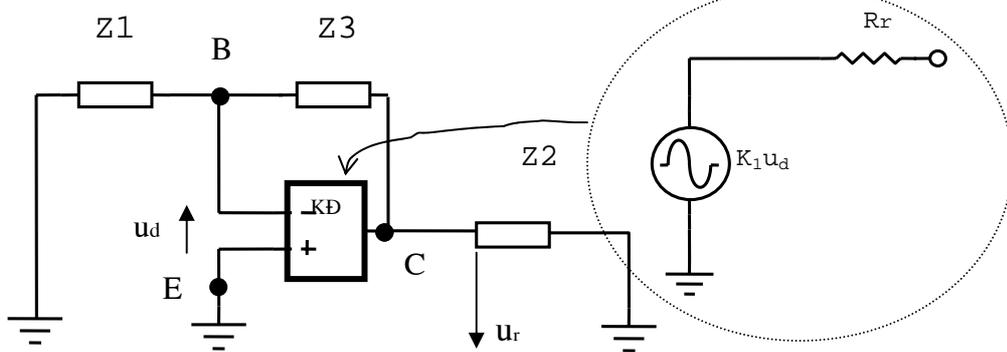
Chú ý: với mạch dao động loại này, để tạo dao động tần số cao, dùng phần tử tích cực mắc theo kiểu BC(căn cứ vào bảng trên tự thiết kế)

c. Mạch dao động dùng khung dao động ba điểm

Phần trên đã xét mạch loại L- C, dịch pha là 0 độ, một loại khác là mạch dao động 3 điểm, được thiết kế bằng cách tạo ra một điểm trung tính, để có được góc dịch pha là 180°

- Nguyên lý thiết lập mạch 3 điểm: Mạch dao động 3 điểm có sơ đồ khối chung như hình vẽ dưới đây, để thuận tiện cho việc tính toán:

- + Coi phần tử KĐ là một nguồn áp
- + Coi các trở kháng là thuần kháng $Z_i = j.X_i$



Sơ đồ tổng quát mạch dao động 3 điểm

$$K = \frac{u_r}{u_d} = -K_1 \frac{Z_t}{R_r + Z_t}, \quad (18), \text{ trong đó } Z_t = Z_2 // (Z_1 \text{ nt } Z_3); K_1 \text{ hệ số KĐ}$$

không tải, Rr điện trở ra của bộ KĐ

$$K_{ht} = \frac{u_B}{u_C} = \frac{u_B}{u_r} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \quad (19)$$

Từ các công thức trên, ta có:

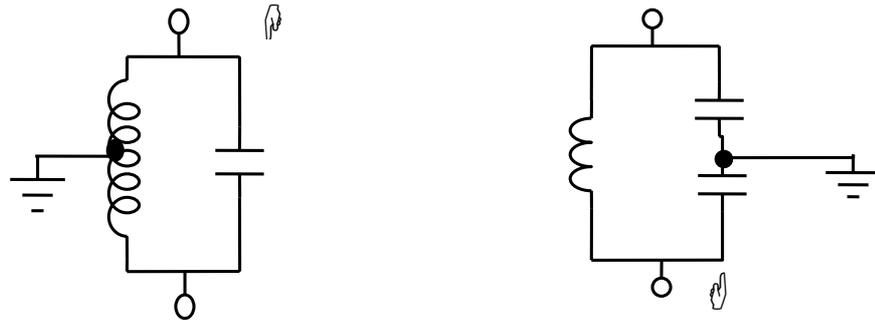
$$K.K_{ht} = -K_1 \frac{X_1 X_2}{Rr(X_1 + X_2 + X_3) + X_2(X_1 + X_3)} \quad (20)$$

Tại tần số cộng hưởng, tổng trở bằng không: $X_1 + X_2 + X_3 = 0$, tức $X_1 + X_3 = -X_2$ (21), trong mạch dao động L-C, tần số dao động ≈ tần số cộng hưởng, thay (21) vào (20) ta có:

$$K.K_{ht} = K_1 \frac{X_1}{X_2} \quad (22)$$

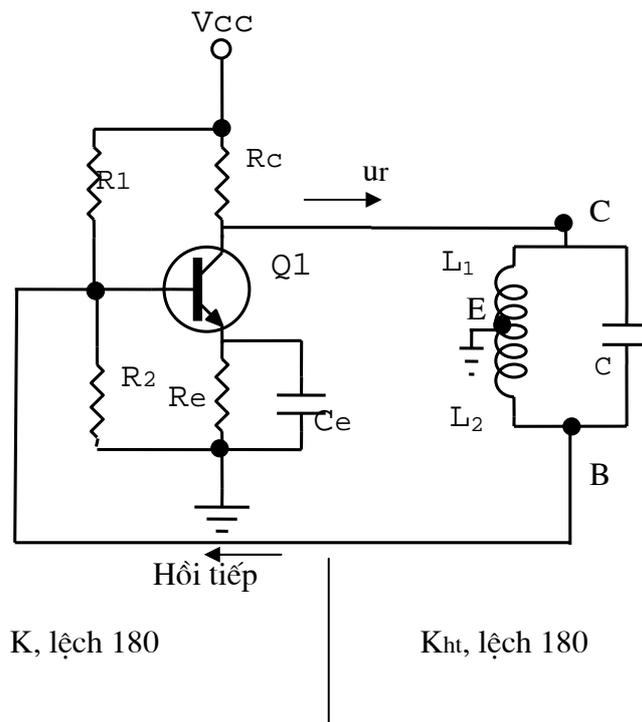
Mặt khác theo điều kiện cân bằng về pha, tín hiệu hồi tiếp, và tín hiệu vào (tại B), phải cùng dấu tức là $K.K_{ht} > 0$, tức là $X_1 \cdot X_2 > 0$ (từ 22), theo (21) X_3 , trái dấu với X_1 và X_2 . Tóm lại ta có 2 loại mạch dao động 3 điểm cơ bản:

- Mạch 3 điểm điện cảm: $(L)X_1, (L)X_2 > 0; (C)X_3 < 0$



- Mạch 3 điểm điện dung: $(C)X_1 < 0, (C)X_2 < 0; (L)X_3 > 0$

- Mạch 3 điểm điện cảm (mạch Hartley)



K, lệch 180

K_{ht}, lệch 180

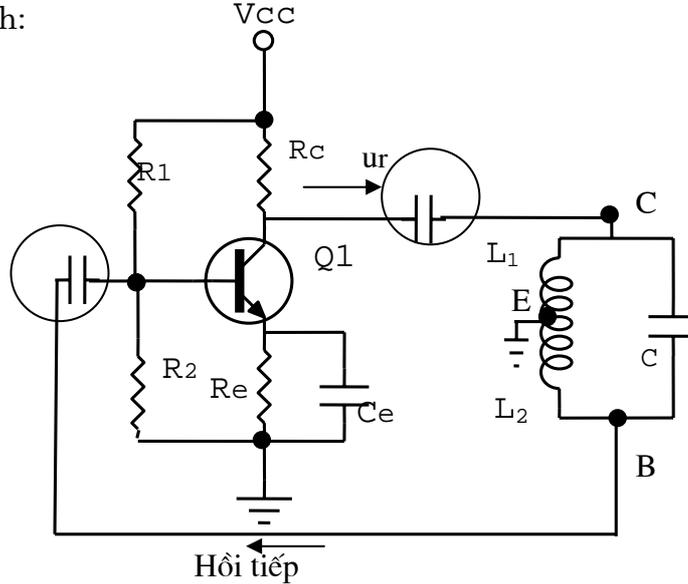
Hình. Mạch dao động 3 điểm điện cảm

- $X_1 = X_{BE} = \omega L_2 > 0$
- $X_2 = X_{CE} = \omega L_1 > 0$
- $X_3 = X_{CB} = -1/\omega C < 0$

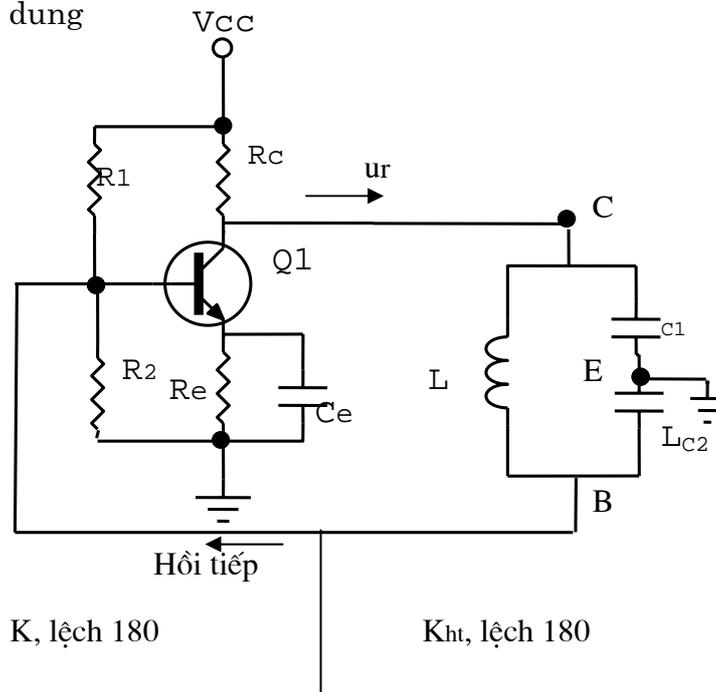
Tần số dao động của mạch được xác định theo công thức:

$$f_{dd} = f_{ch} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}} \quad (23)$$

Có thể mắc thêm các tụ điện ở ngõ ra và ngõ vào, để tăng thêm chất lượng của mạch:



✎ Thiết kế mạch khi dùng T-BC, IC-KĐTT
- Mạch 3 điểm điện dung



Mạch dao động 3 điểm điện dung

- $X_1 = X_{BE} = -1/\omega C_1 < 0$
- $X_2 = X_{CE} = -1/\omega C_2 < 0$
- $X_3 = X_{CB} = \omega L_2 > 0$

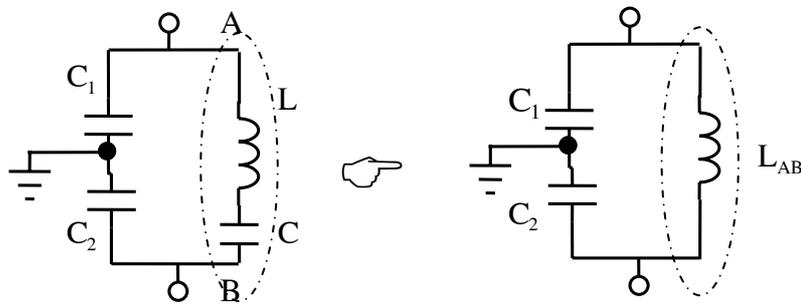
Tần số dao động của mạch được xác định theo công thức:

$$f_{dd} = f_{ch} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \right)}} \quad (24)$$

Có thể mắc thêm các tụ điện ở ngõ ra và ngõ vào, để tăng thêm chất lượng của mạch (tự vẽ hình)

Dạng khác của mạch 3 điểm điện dung:

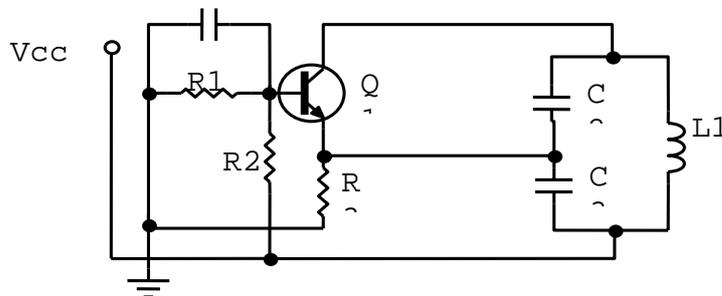
+Mạch Clapp: nhánh điện cảm L, được mắc gồm L và C nối tiếp, nhưng vẫn đảm bảo tính chất của mạch 3 điểm, nghĩa là phải chọn linh kiện sao cho đặc tính điện trên nhánh mang tính cảm kháng: $X = X_L - X_C > 0$



Hình vẽ và công thức tính tần số dao động cũng giống như trường hợp trên(?), chỉ có tính C_{td} thêm thành phần C nối tiếp:

$$C_{td} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C} \quad (25)$$

✍ Thiết kế mạch khi dùng T-BC (còn gọi là sơ đồ Colpits), dùng IC-KĐT



Hình. Mạch dao động Colpits

2. Mạch dao động R,C

a. Đặc điểm chung của mạch dao động R-C

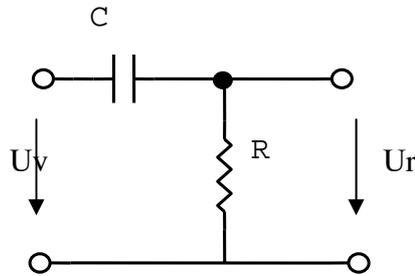
- Mạch dao động R-C: Có kích thước nhỏ gọn, có thể chế tạo thành vi mạch.
- Thường dùng trong phạm vi tần số thấp
- Cùng một giá trị của điện dung, có thể thay đổi phạm vi tần số lớn hơn loại L-C, vì giá trị tần số tỉ lệ với C, còn L-C là căn bậc hai của C.
- Khâu hồi tiếp trong R-C, chỉ gồm các điện trở và tụ điện, nên không gây ra hiện tượng cộng hưởng tại tần số dao động, vì vậy cơ cấu KĐ có thể dùng chế độ A, không gây méo tín hiệu ra.

b. Bộ dao động dùng mạch di pha trong khâu hồi tiếp

- Xét một khâu R-C:

$$K(\omega) = U_r(\omega)/U_v(\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad (26)$$

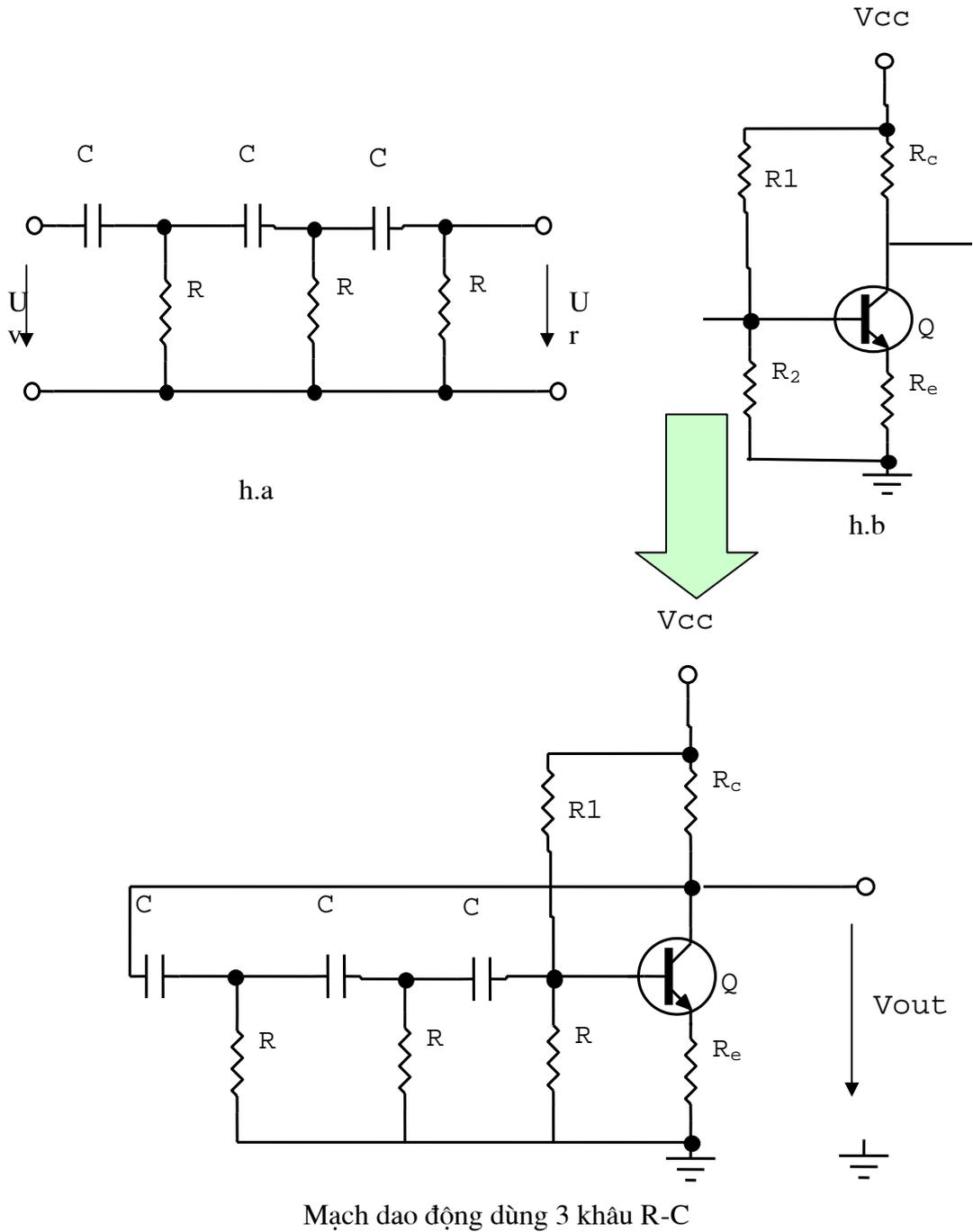
$$\varphi_{RC} = -\arctg \frac{1}{\omega CR} \quad (27)$$



Vì đặc tính suy giảm -20dB/Decade(xem thêm phần bù tần số của chương KĐTT), cho nên góc di pha của cơ cấu phải thực hiện trong khoảng 0° - 90° .

Thực tế thường dùng 3 khâu với góc di pha của mỗi khâu là 60° và 4 khâu, mỗi khâu di pha 45° để đảm bảo tổng di pha là 180° . Các phần tử tích cực sử dụng phải có góc di pha là 180° .

- Xét khi dùng 3 khâu:



+ Xây dựng đặc tuyến truyền đạt của hình h.a, và đặt $\alpha=1/\omega RC$, ta được

$$K_{ht} = \frac{U_r}{U_v} = \frac{U_b}{U_c} = \frac{1}{1-5\alpha^2 - j\alpha(6-\alpha^2)} \quad (28)$$

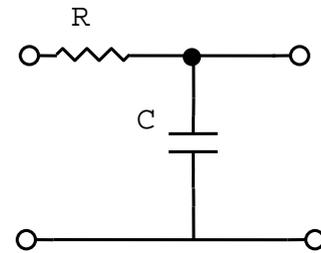
$$\Rightarrow |K_{ht}| = \frac{1}{\sqrt{1-5\alpha^2 - j\alpha(6-\alpha^2)}}; \quad \varphi_{ht} = \arctg \frac{\alpha(6-\alpha^2)}{1-5\alpha^2} \quad (29)$$

Như trên đã xét $\varphi_{ht}=180^0$, nên $\alpha^2=6 \Rightarrow$

$$+ K_{ht} = -1/29$$

$$+ f_{dd} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

-Ngoài ra còn có thể dùng các kiểu khác: 4khâu R-C thông cao, khâu hồi tiếp là các khâu thông thấp (3, 4 khâu):



Với các kết quả như sau:

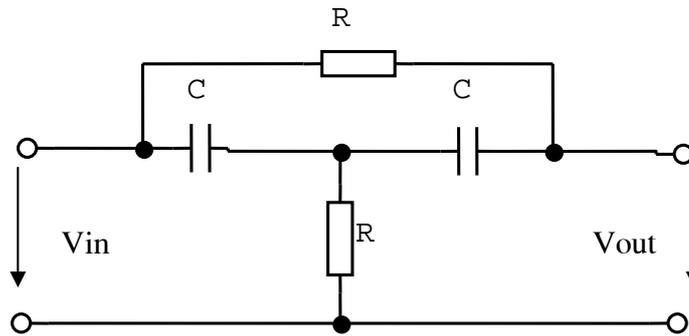
Loại	f_{dd}	K_{ht}	Hình vẽ
Thông cao 3 khâu	?	?	Tự vẽ
Thông cao 4 khâu	$\frac{1}{2\pi\sqrt{10/7}RC}$	-1/18,4	Tự vẽ
Thông thấp 3 khâu	$\frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$	-1/29	Tự vẽ
Thông thấp 4 khâu	$\frac{\sqrt{10/7}}{2\pi RC}$	-1/18,4	Tự vẽ

c. Bộ dao động dùng mạch lọc T

+ Xây dựng đặc tuyến truyền đạt, và đặt $\alpha=1/\omega RC$, ta được

$$K_{ht} = \frac{U_r}{U_v} = \frac{\alpha^2 - 1 - j2\alpha}{\alpha^2 - 1 - j3\alpha} \quad (30)$$

$$\Rightarrow |K_{ht}| = \sqrt{\frac{(\alpha^2 - 1)^2 + 4\alpha^2}{(\alpha^2 - 1)^2 + 9\alpha^2}}; \quad \varphi_{ht} = \arctg \frac{\alpha(1-\alpha^2)}{(\alpha^2 - 1)^2 + 6\alpha^2} \quad (31)$$



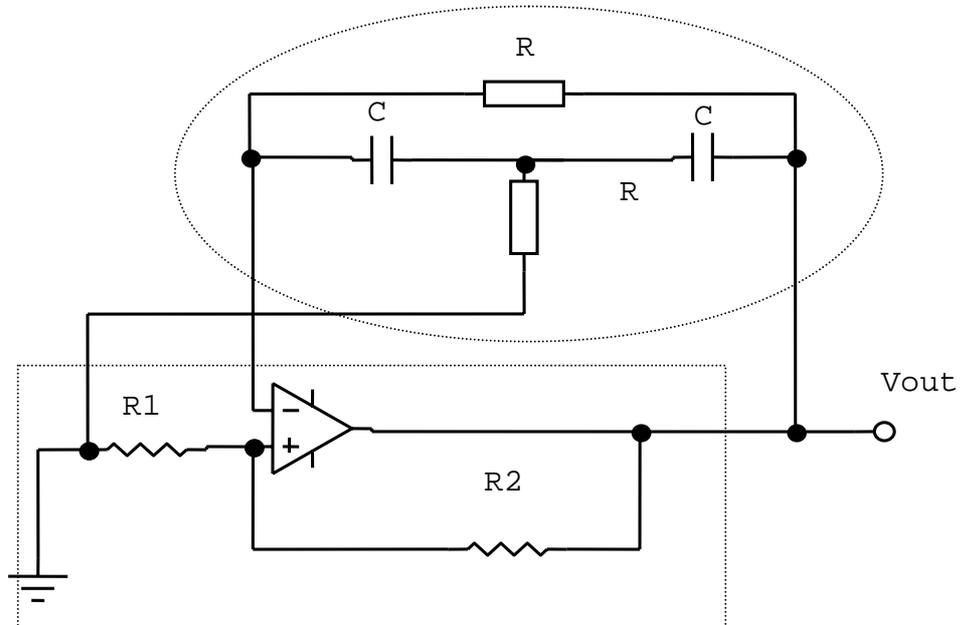
Mạch lọc hình T

Thực tế khâu T thường xác định tần số dao động của mạch là

$$f_{dd} = \frac{1}{2\pi RC}, \text{ kết hợp với điều kiện đặt ở đầu mục, ta có: } \alpha=1,$$

từ đó xác định được $\varphi_{ht}=0^0$ và $K_{ht}=2/3$ (là giá trị nhỏ nhất)

Như vậy, phần tử tích cực ghép với khâu T phải độ di pha cũng là 0^0 thì mới đảm bảo điều kiện cân bằng về pha, thực tế mạch T được mắc vào nhánh hồi tiếp $-$ (đầu N) của bộ khuếch đại, và làm nhiệm vụ chọn lọc tần số, và để mạch có thể dao động được cần 1 nhánh hồi tiếp $+$ (đảm bảo về pha) không phụ thuộc vào tần số dao động, như hình vẽ dưới đây:



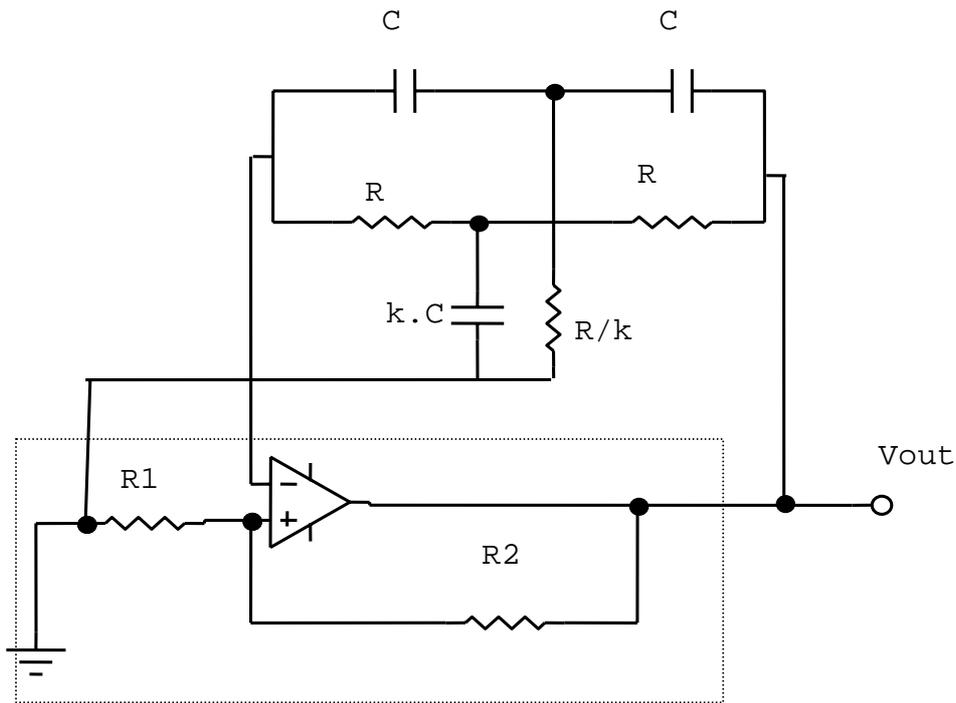
Mạch dao động khâu T

e. Bộ dao động dùng mạch lọc T-Kép

+ Xây dựng đặc tuyến truyền đạt, và đặt $\alpha=1/\omega RC$, chọn hệ số $k=1/2$ ta được

$$K_{ht} = \frac{U_{out}}{U_N} = \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha^2 - 1 + j4\alpha} \quad (32)$$

$$\Rightarrow |K_{ht}| = \sqrt{\frac{(\alpha^2 - 1)^2}{(\alpha^2 - 1)^2 + 16\alpha^2}}; \quad \varphi_{ht} = \text{arctg} \frac{4\alpha}{1 - \alpha^2} \quad (33)$$



Mạch dao động khâu T- kép

Khi $\alpha=1$, ta có

$+ K_{ht} = 0$ $+ \varphi_{ht} = 0$
--

+ Như vậy hệ số truyền đạt biên độ không thoả mãn, thực tế thường chọn k là lân cận trên của $1/2$, khi đó $K_{ht} > 0$, nhưng vẫn có giá trị nhỏ, để bù được thành phần biên độ và pha này cũng giống như mạch T, khâu T- Kép cũng được nối vào nhánh hồi tiếp – nhằm chọn lọc tần số, như hình vẽ trên.

f. Bộ dao động dùng mạch cầu Viên trong mạch hồi tiếp

- **Mạch cầu Viên** chính là mạch lọc thông dải, được ghép nối tiếp thông thấp và thông cao.

+ Xây dựng đặc tuyến truyền đạt ta được

$$K_{ht} = \frac{U_r}{U_v} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j(\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1})} \quad (34)$$

$$\Rightarrow |K_{ht}| = \frac{1}{\sqrt{(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1})^2 + (\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1})^2}}$$

$$\varphi_{ht} = -\arctg \frac{\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \quad (35)$$

Thường chọn $C_1 = C_2 = C$ và $R_1 = R_2 = R$, khi đó:

$$\Rightarrow |K_{ht}| = \frac{1}{\sqrt{9 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}; \quad \varphi_{ht} = -\arctg \frac{\omega RC - \frac{1}{\omega RC}}{3} \quad (36)$$

Tại tần số dao động $f_{dd} = \frac{1}{2\pi RC}$, thì

+ $K_{ht} = K_{max} = 1/3$
+ $\varphi_{ht} = 0$

Tại tần số dao động, mạch có hệ số truyền đạt (hệ số hồi tiếp) lớn nhất và góc đi pha bằng không, do đó có thể dùng mạch này kết hợp với độ khuếch đại thuận ($\varphi_k = 360^\circ$) để tạo hồi tiếp dương làm nhiệm vụ tạo dao động.

Hình vẽ dưới đây là mạch tạo dao động như vậy. Nhánh R_1, R_2 tạo thành một mạch hồi tiếp âm. Mạch hồi tiếp âm R_1, R_2 cùng với mạch lọc thông dải tạo thành mạch cầu Viên mà nhánh chéo thứ nhất là U_d và nhánh chéo thứ hai là U_r . Mạch dao động ứng với ω_{dd} khi $K_{ht(+)} = K_{ht(+),max} = 1/3$. Nhánh hồi tiếp âm không phụ thuộc tần số.

Vì $K_{ht(+)} = 1/3$ nên để đảm bảo điều kiện cân bằng biên độ, hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại có hồi tiếp âm phải bằng 3; nghĩa là :

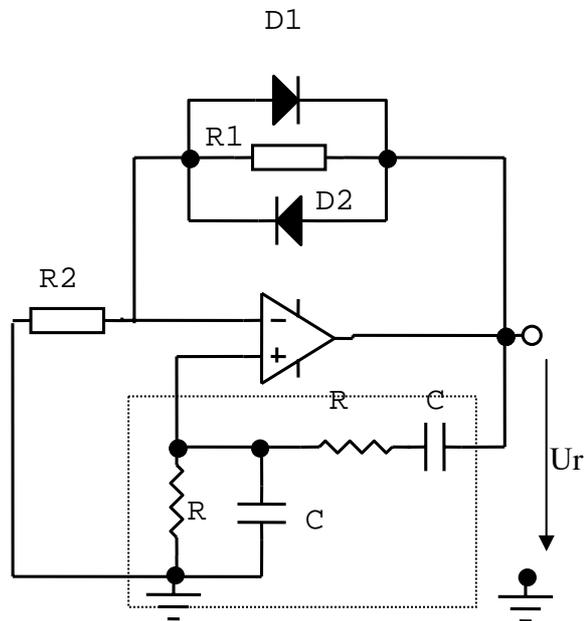
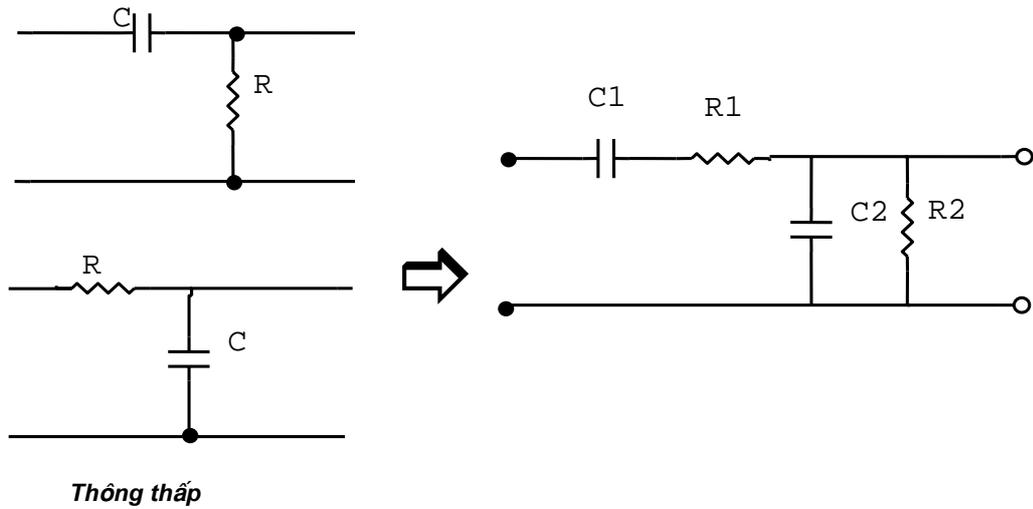
$$K' = \frac{K_0}{1 + K_0 K_{ht(-)}} = \frac{1}{\frac{1}{K_0} + K_{ht(-)}} \approx \frac{1}{K_{ht(-)}} = 3$$

hay $K_{ht(-)} = \frac{1}{3} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$. Từ đó suy ra :

$$R_1 = 2R_2$$

Nhưng đây cũng chính là điều kiện cân bằng của cầu, điện trở hồi tiếp về $U_d = 0$, do đó mạch không thể dao động được. Vì vậy, người ta điều chỉnh cho cầu lệch cân bằng chút ít, nghĩa là:

$$R_1 > 2R_2 \text{ một lượng nhỏ}$$

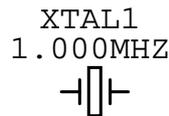


Bộ dao động dùng mạch cầu Viên trong mạch hồi tiếp

Trong sơ đồ trên, hai diot mắc song song ngược chiều với R_1 có tác dụng hạn biên độ dao động. Khi biên độ dao động tăng thì điện trở tương đương của nhánh R_1 giảm làm cho hồi tiếp âm tăng và do đó hệ số khuếch đại của mạch giảm và ổn định ứng với $K \square K_{ht(+)} = 1$. Người ta đã chứng minh được với mạch điện này, hệ số khuếch đại của phần tử khuếch đại càng lớn thì độ ổn định tần số đạt được càng cao, vì vậy dùng khuếch đại thuật toán rất có lợi về ổn định tần số.

3. Mạch dao động dùng thạch anh.

a. Cấu tạo và tính chất của thạch anh:



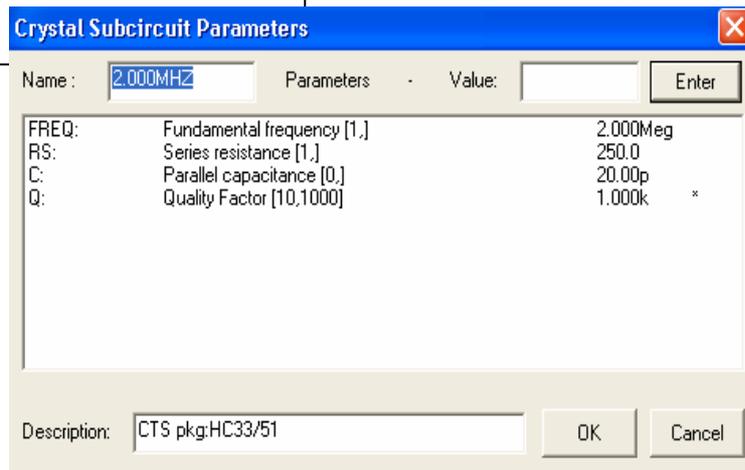
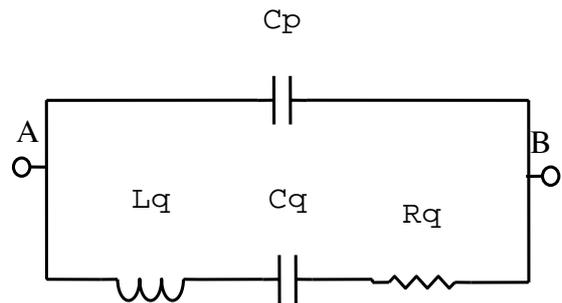
-Tinh thể thạch anh:

Thành phần hoá học của thạch anh là SiO_2 , được cắt theo những lớp nhất định đối với tinh thể thạch anh thành những lớp mỏng, gọi là lát tinh thể, có hình dạng Vuông, tròn, chữ nhật.

Dao động của thạch anh dựa trên hiệu ứng áp điện: nếu giữa 2 bản cực của tinh thể thạch anh đặt vào một điện trường sẽ làm cho tinh thể sinh ra sự biến hình về mặt cơ khí; ngược lại nếu giữa hai bản cực đặt vào một lực cơ khí sẽ sinh ra một điện trường trên một chiều tương ứng, hiệu ứng này gọi là hiệu ứng áp điện: nếu giữa 2 bản cực đặt vào là điện áp biến thiên thì sẽ sinh ra dao động cơ, đồng thời dao động cơ sẽ sinh ra điện trường giao biến, biên độ dao động nhỏ và ổn định, nếu đặt vào một điện áp giao biến bên ngoài có tần số bằng với tần số cố hữu của lát tinh thể, thì sẽ cộng hưởng làm biên độ dao động cơ tăng lên đáng kể, tức là có sự kết hợp cơ-điện, làm cho dao động được duy trì và có độ ổn định cao.

- Mạch tương đương về điện của thạch anh:

- C_p : điện dung song song
 - C_q, L_q, R_q : điện dung, điện cảm, điện trở nối tiếp, các thông số này phụ thuộc vào kích thước, và cách cắt khối thạch anh.
 - Thông số của nhà sản xuất thường là Tần số cộng hưởng, điện trở nối tiếp, điện dung song song, hệ số phẩm chất



Các tính chất điện cơ bản của thạch anh :

- + Hệ số phẩm chất cao $Q=10^4-10^5$
- + Tỷ số L_q/C_q là rất lớn.

+ $C_p \gg C_q$

+ Có độ ổn định tần số rất cao: $(\Delta f/f) = 10^{-6} - 10^{-10}$

Giá trị của R_q nhỏ (vài chục-vài trăm Ω), nên có thể bỏ qua khi tính toán, để xác định được tần số cắt (cũng trùng với tần số dao động), ta xác định tổng trở Z :

$$Z \approx (C_q \text{ nt } L_q) // C_p = j \frac{\omega^2 L_q C_q - 1}{\omega(C_q + C_p - \omega^2 L_q C_q C_p)} \quad (37)$$

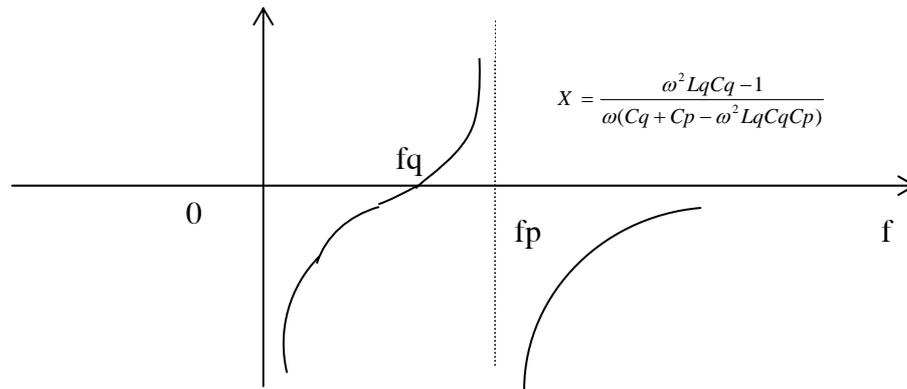
+ $Z=0$, khi $\omega = \frac{1}{\sqrt{L_q C_q}} = \omega_q$, đây được gọi là tần số cộng hưởng nối tiếp

của thạch anh,

+ $Z \rightarrow \infty$, khi $\omega = \sqrt{\frac{C_p + C_q}{L_q C_q C_p}} = \frac{1}{\sqrt{L_q C_{td}}} = \omega_p$; trong đó $C_{td} = C_p \text{ nt } C_q$

gọi là tần số cộng hưởng song song của thạch anh. Như tính chất trên của thạch anh $C_p \gg C_q \Rightarrow C_{td} \approx C_q$, tức là tần số cộng hưởng song song gần bằng tần số cộng hưởng nối tiếp.

Trở kháng Z có quan hệ với tần số được biểu diễn như hình vẽ sau:



- Để thay đổi tần số cộng hưởng của thạch anh trong phạm vi hẹp, mắc nối tiếp thạch anh với một tụ điện C_s như hình vẽ dưới đây; khi đó tần số cộng hưởng sẽ là;

$$f^1_q = f_q \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p + C_s}} \quad (38)$$

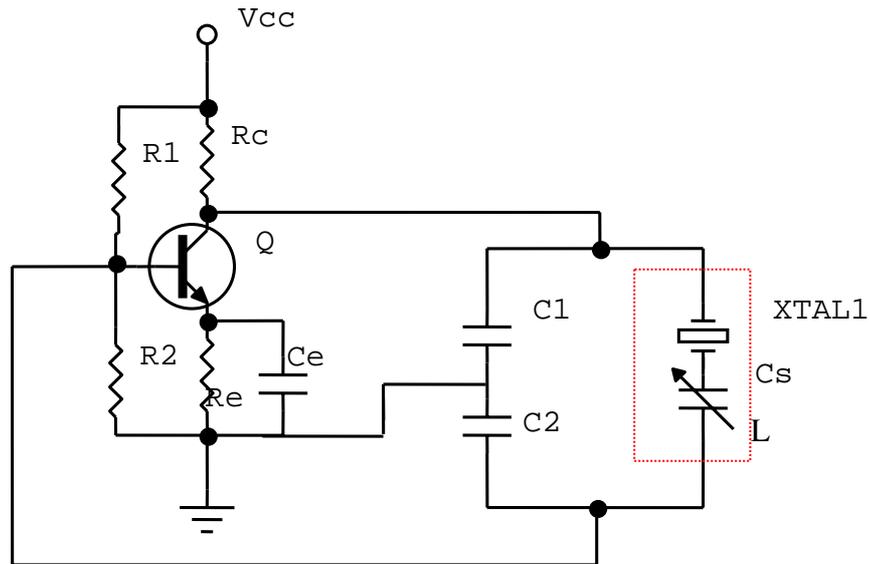
- Với thạch anh C_p có tính ổn định không cao so với C_q , để khắc phục nhược điểm này có thể mắc một tụ điện $C_o (\gg C_p)$ song song với C_p để tăng tính ổn định:

$$f^1_p = f_q \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_p + C_o}}, \text{ khi } C_o \gg C_p \text{ thì } f_p \approx f_q$$

b. Một số mạch dao động dùng thạch anh

- Mạch điện bộ dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng song song:



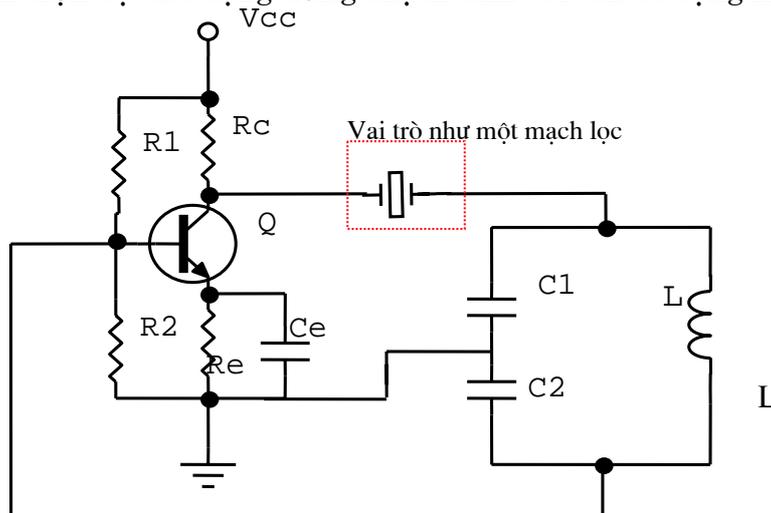


Mạch dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng song song

- Để thỏa mãn điều kiện dao động 3 diêm, nhánh mắc thạch anh phải có tính cảm kháng, tức là $X_{\text{thạch-anh}} - X_{Cs} > 0$. Khi đó tần số dao động của mạch gần bằng tần số cộng hưởng song song của thạch anh (hiểu thạch anh là một bộ lọc, cho tần số dao động bằng tần số cộng hưởng song song đi qua - cho nên tại đầu ra ta lấy được tín hiệu dao động có tần số dao động bằng với tần số cộng hưởng song song của thạch anh):

$$f_{dd} = f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LqCtd}} \quad (39)$$

- Mạch điện bộ dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp:



Mạch dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp

- Lúc này thạch anh đóng vai trò như một mạch lọc, không tham gia vào

điều kiện hình thành dao động

$$f_{dd}=f_q=\frac{1}{2\pi\sqrt{LqCq}} \quad (40)$$

✍ Từ hai ví dụ sử dụng thạch anh trên, có thể thấy rằng, thạch anh đóng vai trò như là một mạch lọc, có hệ số phẩm chất cao, bản thân nó không hình thành nên dao động mà chỉ nâng cao được chất lượng của tín hiệu dao động.

✍ Thạch anh được dùng nhiều trong các mạch yếu cầu độ ổn định tần số cao, thực tế thường gặp các mạch như: mạch tạo xung nhịp cho Vi xử lý, mạch điều chế, vòng khoá pha PLL....

CHƯƠNG 7. ĐIỀU CHẾ BIÊN ĐỘ

I. ĐỊNH NGHĨA

-Điều chế là quá trình ghi tin tức vào một dao động cao tần nhờ biến đổi một thông số nào đó: biên độ, tần số, pha, độ rộng xung... của dao động cao tần theo tin tức.

- Tin tức thông thường là tín hiệu có tần số thấp (ví dụ tín hiệu âm tần 16Hz-20000Hz) cho nên không thể truyền tải đi xa được, thông qua quá trình điều chế tín tức ở miền tần số thấp được chuyển sang miền tần số cao để truyền đi xa.

-Tin tức gọi là tín hiệu điều chế, dao động cao tần được gọi là tải tin, dao động cao tần mang tin tức gọi là dao động cao tần đã điều chế.

-Đối với tín hiệu điều hoà, phân biệt hai loại điều chế: điều biên và điều chế góc, trong đó điều chế góc bao gồm điều tần và điều pha.

II. ĐIỀU BIÊN (AM)

Điều biên là quá trình làm cho biên độ tải tin biến đổi theo tin tức

1. Phổ của tín hiệu điều biên

Giả sử tín hiệu tin tức và tín hiệu tải tin là các dao động điều hoà, tín hiệu tải tin có tần số biên thiên từ f_{\min} - f_{\max} ; tín hiệu tải tin có tần số $f_t \gg f_{\max}$

$$u_s(t) = U_s \cdot \cos(\omega_s \cdot t) \quad (II.1)$$

$$u_t(t) = U_t \cdot \cos(\omega_t \cdot t) \quad (II.2)$$

Tín hiệu $\sin u_s(t)$ được gọi là tín hiệu điều biên, tín hiệu $u_t(t)$ được gọi là tín hiệu sóng mang.

Tín hiệu điều biên biên độ được xác định theo công thức :

$$u_{dB}(t) = [U_t + U_s \cdot \cos(\omega_s \cdot t)] \cdot \cos \omega_t \cdot t \quad (II.3)$$

$$= U_t [1 + m \cos(\omega_s \cdot t)] \cdot \cos \omega_t \cdot t \quad (II.4)$$

Với m là hằng số tỷ lệ, $m = U_s / U_t$, hệ số m phải thoả mãn điều kiện không lớn hơn 1. Để tín hiệu điều chế không bị méo.

Áp dụng công thức lượng giác đối với II.4 ta được:

$$u_{dB}(t) = U_t \cdot \cos(\omega_t \cdot t) + m/2 \cdot U_t \cdot \cos(\omega_t + \omega_s) \cdot t + m/2 \cdot U_t \cdot \cos(\omega_t - \omega_s) \cdot t \quad (II.5)$$

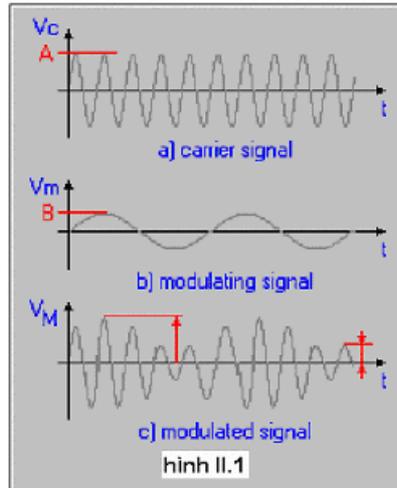
Từ đó ta có thể thấy tín hiệu được điều biên biên độ gồm 3 thành phần sau:

$$+ U_t \cdot \cos(\omega_t \cdot t) \quad \text{Sóng mang}$$

$$+ m/2 \cdot U_t \cdot \cos(\omega_t - \omega_s) \cdot t \quad \text{Dải băng thấp}$$

$$+ m/2 \cdot U_t \cdot \cos(\omega_t + \omega_s) \cdot t \quad \text{Dải băng cao}$$

Hình dưới đây đưa ra các thành phần khác nhau của tín hiệu AM



Carrier signal: tín hiệu sóng mang
Modulating signal: tín hiệu tin tức
Modulated signal: tín hiệu đã điều chế

Dạng sóng của tín hiệu điều biên

2 Quan hệ năng lượng trong điều chế biên độ

Trong tín hiệu đã điều biên, các biên tần chứa tin tức, còn tải tin không mang tin tức. Cần xem xét năng lượng được phân bố như thế nào đối với các thành phần phổ tín hiệu đã điều biên.

Công suất tải tin là công suất bình quân trong một chu kỳ tải tin:

$$P_{\sim t} = 1/2 U_t^2 \quad (II.6)$$

Công suất biên tần:

$$P_{\sim bt} = 1/2 (m U_t / 2)^2 \quad (II.7)$$

Công suất của tín hiệu đã điều biên là công suất bình quân trong một chu kỳ của tín hiệu điều chế:

$$P_{\sim db} = P_{\sim t} + 2P_{\sim bt} = P_{\sim t} (1 + (1/2)m^2) \quad (II.8)$$

Ta thấy rằng, công suất của tín hiệu đã điều biên phụ thuộc vào hệ số điều chế m. Hệ số điều chế m càng lớn thì công suất tín hiệu đã điều biên càng lớn. Khi m=1 thì ta có quan hệ giữa công suất hai biên tần và tải tần như sau:

$$2P_{\sim bt} = P_{\sim t} / 2 \quad (II.9)$$

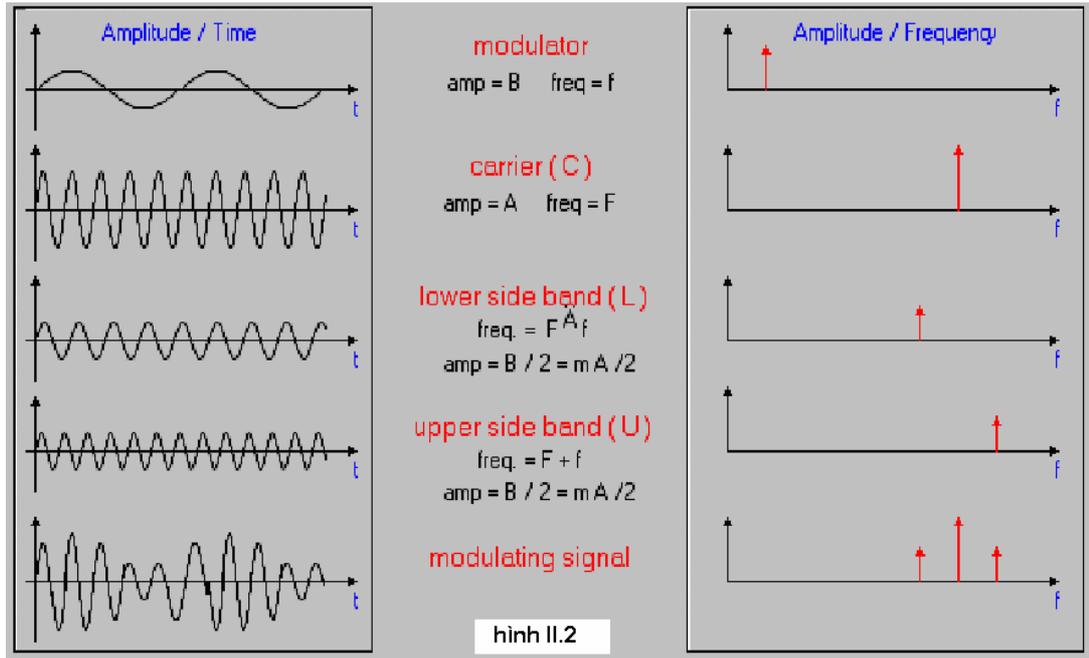
Để giảm méo, hệ số điều chế m thường chọn nhỏ hơn 1, **do đó công suất các biên tần thực tế chỉ bằng khoảng một phần ba công suất tải tần**. Nghĩa là phần lớn công suất phát xạ được phân bố cho thành phần phổ không mang tin tức, còn thành phần phổ chứa tin tức (các biên tần) chỉ chiếm phần nhỏ công suất điều biên.

Ngoài ra, còn cần quan tâm đến công suất ở chế độ cực đại ứng với biên độ điện áp điều biên cực đại, để chọn được phần tử tích cực hợp lý.

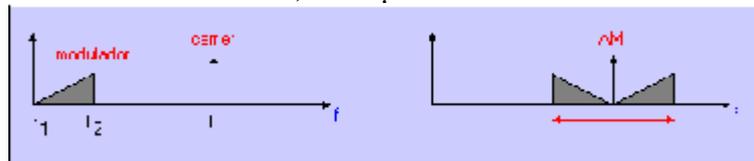
Từ II.3 suy ra:

$$U_{dbmax} = U_t (1+m) \quad (II.10)$$

$$\text{Do đó } P_{\sim max} = 1/2 (1+m^2) U_t^2 \quad (II.11)$$



modulator: tín hiệu tin tức
Carrier: tín hiệu sóng mang
lower side band: băng tần thấp
upper side band: băng tần cao
modulating signal: tín hiệu đã điều chế
 a, tín hiệu điều chế đơn tần



b tín hiệu điều chế biến thiên f_1-f_2
 Dạng tín hiệu và phổ tương ứng của tín hiệu điều biên

3. Các chỉ tiêu cơ bản của dao động đã điều biên
- Hệ số méo phi tuyến

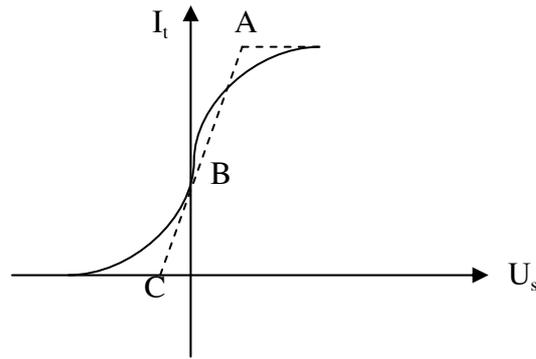
$$k = \frac{\sqrt{I_{w_t \pm 2w_s}^2 + I_{w_t \pm 3w_s}^2 + \dots}}{I_{w_t \pm w_s}} \quad (11.12)$$

Trong đó $I_{w_t \pm n w_s}$ $n \geq 2$ là biên độ các thành phần dòng điện ứng với hài bậc cao của tín hiệu điều chế

$I_{w_t \pm w_s}$ Biên độ thành phần điều tần

Để đặc trưng cho méo phi tuyến trong mạch điều biên, người ta dùng đặc tuyến điều chế tĩnh, đặc tuyến này cho biết quan hệ giữa biên độ tín hiệu ra và giá trị tức thời của tín hiệu điều chế đầu vào.

Dạng tổng quát của đặc tuyến điều chế tĩnh được biểu diễn trên hình:



Đặc tuyến điều chế tĩnh

Đường đặc tuyến điều chế tĩnh lý tưởng là đường thẳng C->A. Đặc tuyến điều chế tĩnh không thẳng sẽ làm cho lượng biến đổi của biên độ dao động cao tần đầu ra so với giá trị ban đầu(điểm B) không tỉ lệ đường thẳng với trị tức thời của điện áp điều chế. Do đó trên đầu ra thiết bị điều biên, ngoài các biên tần, còn có các thành phần bậc cao không mong muốn khác. Trong đó lượng chú ý nhất là thành phần $I_{wt\pm 2ws}$ có thể lọt vào các biên tần mà không thể lọc được.

Để giảm méo phi tuyến, cần hạn chế. Lúc đó buộc phải giảm độ sâu điều chế.

- Hệ số méo tần số

Để đánh giá độ méo tần số, người ta căn cứ vào đặc tuyến biên - tần:

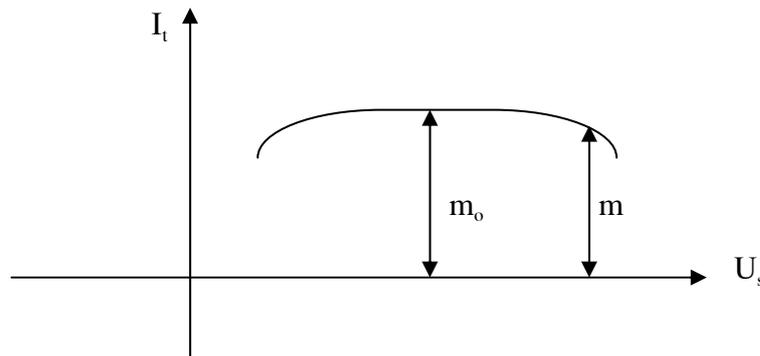
$$m=f(F_s)|_{U_s=\text{hằng số}}$$

Hệ số méo tần số được xác định theo biểu thức:

$$M = \frac{m_0}{m} \text{ hoặc } M_{dB}=20 \lg M \quad (II.13)$$

m_0 : hệ số điều chế lớn nhất

m : hệ số điều chế tại tần số đang xét



Đặc tuyến biên độ- tần số

Méo tần số xuất hiện chủ yếu trong các tầng khuếch đại âm tần(tín hiệu điều chế), nhưng cũng có thể xuất hiện trong các tầng điều chế và sau điều chế, khi mạch lọc đầu ra của tầng này không đảm bảo dải thông cho phổ của tín hiệu đã điều biên ($2f_{smax}$).

4. Phương pháp tính toán mạch điều biên

Các mạch điều biên được xây dựng dựa vào hai nguyên tắc sau đây:

- Dùng các phần tử phi tuyến: cộng tải tin và tín hiệu điều chế trên đặc tuyến của phần tử phi tuyến đó.
- Dùng phần tử tuyến tính có tham số điều khiển được: nhân tải tin và tín hiệu điều chế nhờ phần tử tuyến tính đó.

a. Điều biên dùng phần tử phi tuyến

Các phần tử phi tuyến dùng để điều biên có thể là đèn điện tử, đèn bán dẫn, điện trở có trị số biến đổi theo điện áp đặt vào.

Tùy thuộc vào điểm làm việc được chọn trên đặc tuyến phi tuyến, hàm số đặc trưng cho phần tử phi tuyến có thể biểu diễn gần đúng theo chuỗi Taylor khi chế độ làm việc của mạch là chế độ A ($\theta=180^\circ$) hoặc phân tích theo chuỗi Fourier khi mạch làm việc ở chế độ góc cắt $\theta < 180^\circ$ (AB, B, C).

***. Trường hợp 1: $\theta=180^\circ$**

Giả thiết mạch điều biên dùng diode, để mạch làm việc ở chế độ A, phải thoả mãn điều kiện: $|U_D| + |U_s| < |E_0|$

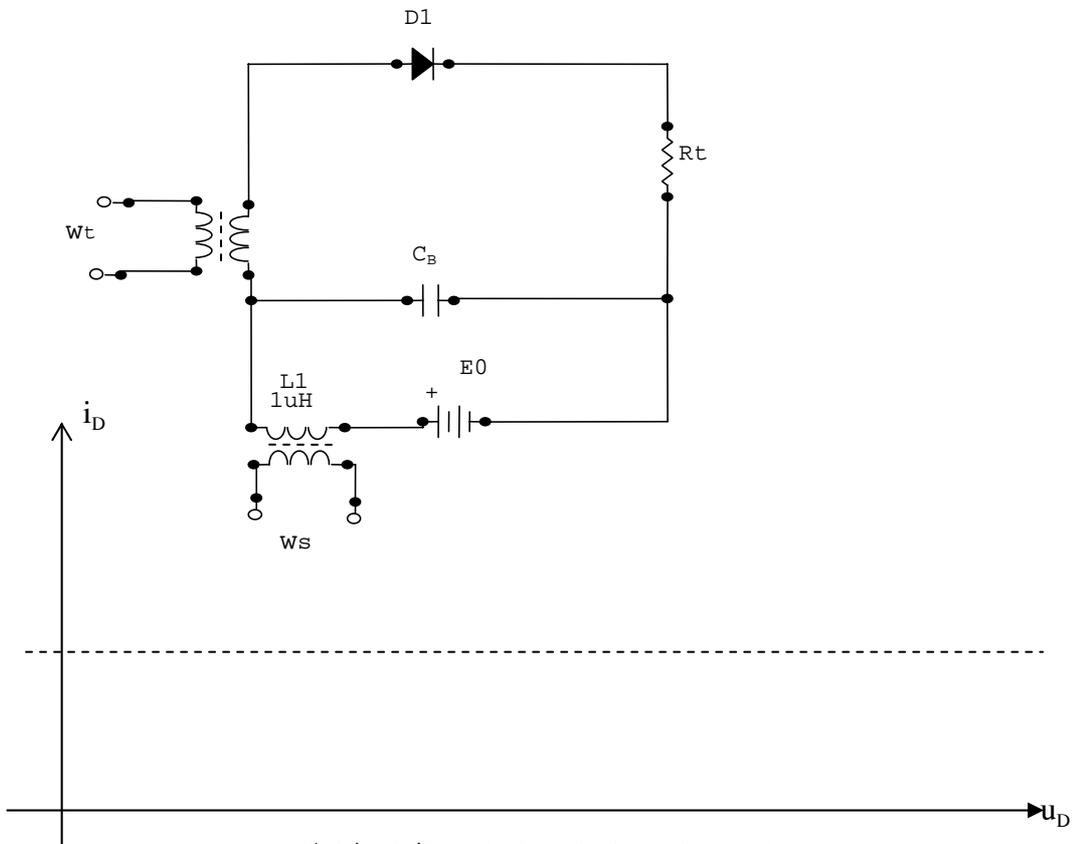
Hàm số đặc trưng cho phần tử phi tuyến xung quanh điểm làm việc được biểu diễn theo chuỗi Taylor:

$$i_D = a_1 \cdot u_D + a_2 \cdot u_D^2 + a_3 \cdot u_D^3 + \dots \quad (II.14)$$

Với $u_D = E_D + U_t \cos \omega_t t + U_s \cos \omega_s t$ (II.15)

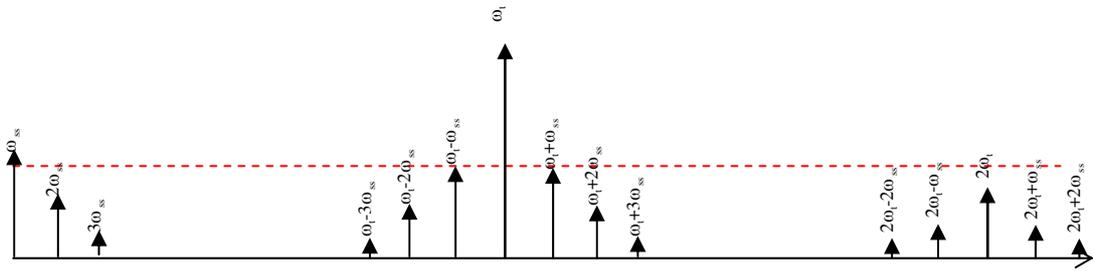
Thay II.15 vào II.14 ta được:

$$i_D = a_1 \cdot (E_D + U_t \cos \omega_t t + U_s \cos \omega_s t) + a_2 \cdot (E_D + U_t \cos \omega_t t + U_s \cos \omega_s t)^2 + a_3 \cdot (E_D + U_t \cos \omega_t t + U_s \cos \omega_s t)^3 + \dots \quad (II.16)$$



Sơ đồ điều chế biên độ dùng diode- và dạng tín hiệu ra

Khai triển II.16 và bỏ các số hạng bậc lớn hơn 4, ta sẽ biểu diễn được dạng phổ tín hiệu như sau:



. Phổ tín hiệu điều biên làm việc ở chế độ A

Phổ tín hiệu ra trong trường hợp này gồm thành phần phổ mong muốn $\omega_1 \pm \omega_s$ và các thành phần phụ không mong muốn. Các thành phần phụ bằng không khi $a_3=a_4=...=0$

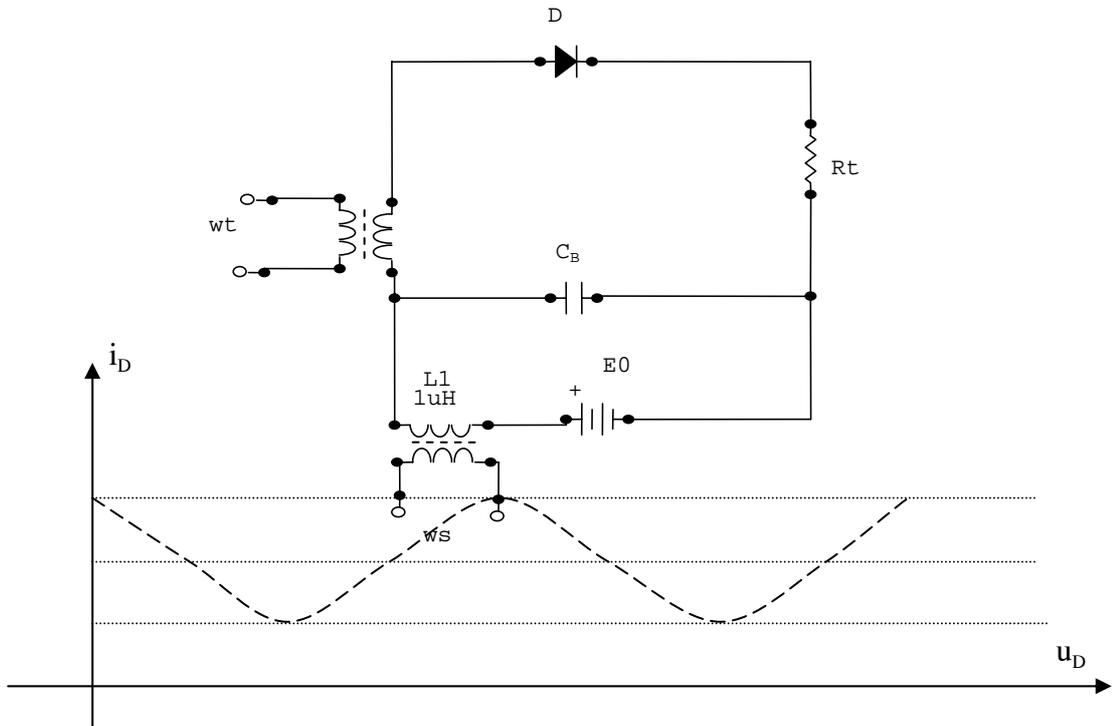
Nghĩa là nếu đường đặc tính của phần tử phi tuyến là một đường cong bậc 2 thì tín hiệu đã điều biên không có méo phi tuyến. Phần tử phi tuyến có đặc tính gần với dạng lý tưởng.

Làm việc ở chế độ A biên độ của tải tin và tín tức phải có biên độ bé, vì vậy ít dùng chế độ này.

***. Trường hợp $\theta < 180^\circ$**

Khi $\theta < 180^\circ$, nếu biên độ điện áp đặt vào đủ lớn thì có thể coi đặc tuyến của nó là đường gấp khúc. Phương trình biểu diễn đặc tuyến của diode trong trường hợp này như sau:

$$i_D = S \cdot u_D \quad (s: \text{hỗ dẫn của diode}) \text{ khi } u_D > 0, \text{ và } = 0 \text{ cho các trường hợp khác.} \quad (II.17)$$



Sơ đồ điều chế chế độ C và dạng tín hiệu ra

Chọn điểm làm việc ban đầu trong khu tắt của diode, ứng với chế độ C. Vì dòng qua diode là một dãy xung hình sin như hình 7, nên có thể biểu diễn i_D theo chuỗi Fourier như sau:

$$i_D = I_0 + I_1 \cos \omega_1 t + I_2 \cos 2\omega_1 t + I_3 \cos 3\omega_1 t + \dots + I_n \cos n\omega_1 t \quad (II.18)$$

Trong đó:
$$I_i = \frac{i}{\Pi} \int_0^\theta i_D \cos \omega_1 t d\omega_1 t, \quad i=1-n \quad (II.19)$$

Từ II.15 và II.17 ta có:

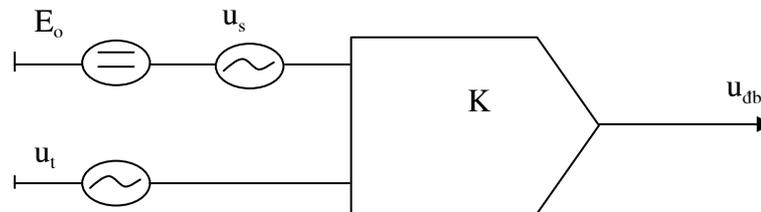
$$i_D = S \cdot U_i (\cos \omega_1 t - \cos \theta) \quad (II.21)$$

và:
$$\cos \theta = - (E_0 + U_s \cos \omega_s t) / U_i \quad (II.22)$$

Cũng từ II.21 và II.22 biên độ của các thành phần hài theo II.19 được xác định.

b. Điều biên dùng phần tử tuyến tính có tham số thay đổi

Thực chất quá trình điều biên này là quá trình nhân tín hiệu, một ví dụ về mạch loại này là điều biên dùng bộ nhân tương tự như hình dưới đây:



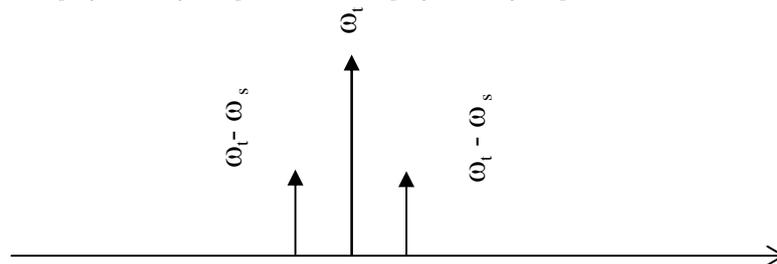
sơ đồ điều chế biên độ dùng mạch nhân

Trong mạch điện này quan hệ giữa điện áp ra u_{db} và điện áp vào u_i là quan hệ tuyến tính. Tuy nhiên khi u_s biến thiên thì điểm làm việc chuyển từ đặc tuyến này sang đặc tuyến khác làm biên độ tín hiệu ra thay đổi để có tín hiệu điều biên.

Căn cứ vào tính chất của mạch nhân ta có biểu thức:

$$u_{db} = (E_0 + U_s \cos \omega_s t) U_i \cos \omega_1 t$$

$$= E_0 U_i \cos \omega_1 t + (1/2) U_s U_i \cos(\omega_1 + \omega_s) t + (1/2) U_s U_i \cos(\omega_1 - \omega_s) t \quad (II.23)$$



Phổ tín hiệu điều biên dùng mạch nhân

5. Mạch điều biên cụ thể

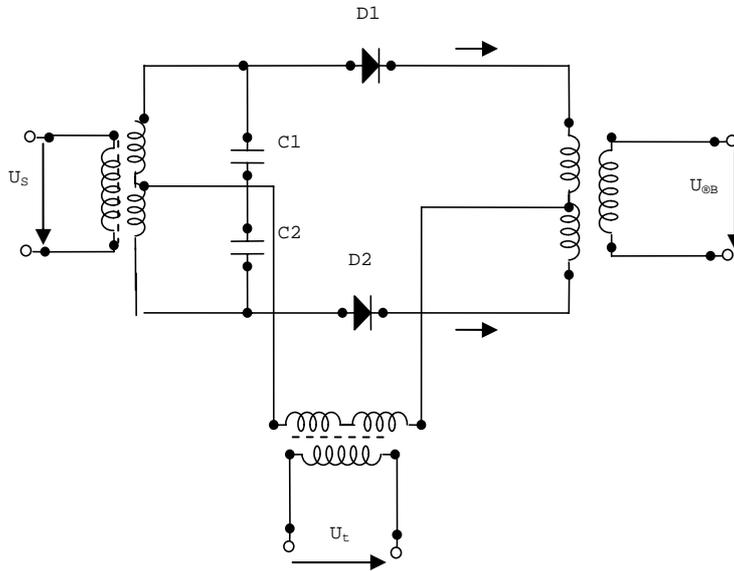
Để thực hiện điều biên theo phương pháp thứ nhất, có thể dùng mọi phần tử phi tuyến, nhưng nếu dùng đèn bán dẫn thì không những có thể điều biên tín hiệu mà còn có thể khuếch đại tín hiệu, về mạch điện phân làm các loại: điều chế đơn biên, điều biên cân bằng, điều biên vòng.

Mạch điều biên đơn là mạch chỉ dùng một phần tử tích cực để điều chế, các mạch theo sơ đồ hình 5 và hình 7 là các mạch điều chế theo kiểu này, như đã xét, 93

dòng điện ra tải ngoài các thành phần hữu ích là các biên tần còn có đủ các thành phần hài và tải tần không mong muốn khác, đây cũng là đặc điểm của các mạch điều chế đơn biên.

Trong trường hợp dùng đèn bán dẫn hay đèn điện tử, phân biệt các loại: điều biên bazơ, điều biên collector, điều biên cửa, điều biên máng, điều biên anot, điều biên lưới...chúng có tên gọi tương ứng với cực mà điện áp điều chế được đặt vào.

Để giảm méo phi tuyến, dùng mạch điều biên cân bằng theo sơ đồ sau:



Sơ đồ điều chế cân bằng dùng Diode

Theo sơ đồ hình 10 ta có, điện áp đặt lên D1 và D2 là

$$u_1 = U_1 \cos \omega_1 t + U_s \cos \omega_s t \quad (II.24)$$

$$u_2 = U_1 \cos \omega_1 t - U_s \cos \omega_s t \quad (II.25)$$

Dòng qua diode được biểu diễn theo chuỗi Taylor:

$$i_1 = a_0 + a_1 \cdot u_1 + a_2 \cdot u_1^2 + a_3 \cdot u_1^3 + \dots \quad (II.26)$$

$$i_2 = a_0 + a_1 \cdot u_2 + a_2 \cdot u_2^2 + a_3 \cdot u_2^3 + \dots \quad (II.27)$$

Dòng điện ra tải $i = i_1 - i_2$ (II.28)

Kết hợp II.24-II.28, và chỉ lấy 4 vế đầu ta có

$$i = A \cos \omega_s t + B \cos 3 \omega_s t + C [\cos(\omega_1 + \omega_s) t + \cos(\omega_1 - \omega_s) t] + D [\cos(2 \omega_1 + \omega_s) t + \cos(2 \omega_1 - \omega_s) t] \quad (II.29)$$

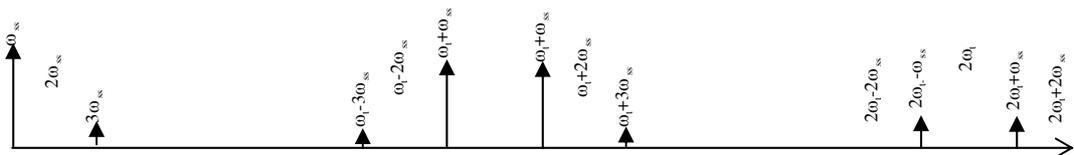
Trong đó $A = U_s [2a_1 + 3a_3 U_1^2 + (a_3/2) U_s^2]$

$$B = (a_3/2) U_s^3$$

$$C = 2 a_2 U_s U_1$$

$$D = 3/2 a_3 U_s U_1$$

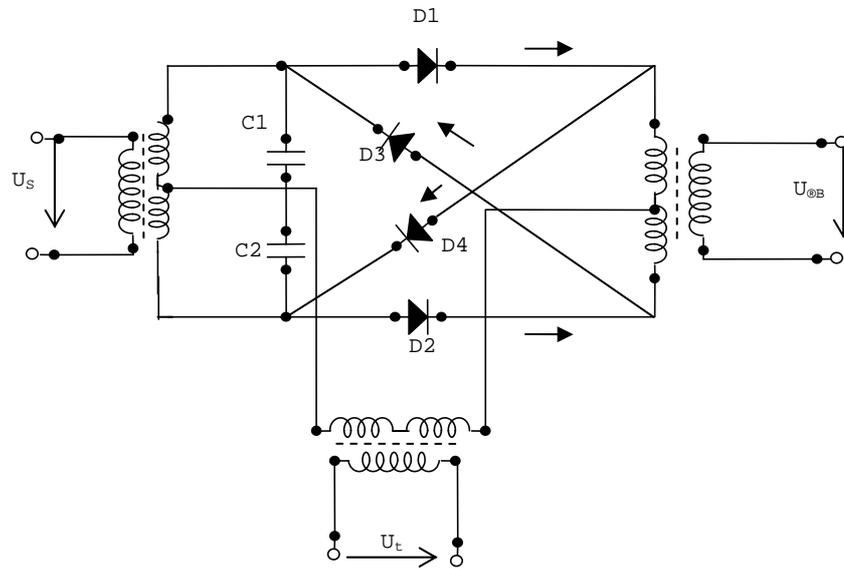
6'



Phổ tín hiệu điều biên cân bằng

Sơ với phổ hình 6 ta thấy đã có nhiều thành phần đã được triệt tiêu

*. Một dạng khác của điều chế cân bằng là điều biên vòng, với loại điều chế này tải tần và các tín hiệu hài sẽ bị triệt bỏ.



Sơ đồ điều biên vòng

Tương tự như cách tính toán trên, gọi dòng điện ra của mạch điều chế cân bằng gồm D_1, D_2 là i_1 và D_3, D_4 là i_{II} . i_1 đã xác định theo II.29

$$i_{II} = i_{D3} - i_{D4} \quad (II.30)$$

Trong đó:

$$i_{D3} = a_0 + a_1 \cdot u_3 + a_2 \cdot u_3^2 + a_3 \cdot u_3^3 + \dots \quad (II.31)$$

$$i_{D4} = a_0 + a_1 \cdot u_4 + a_2 \cdot u_4^2 + a_3 \cdot u_4^3 + \dots \quad (II.32)$$

$$u_3 = -U_t \cos \omega_t - U_s \cos \omega_s \quad (II.33)$$

$$u_4 = -U_t \cos \omega_t + U_s \cos \omega_s \quad (II.34)$$

Từ (II.30 - II.34) ta có:

$$i_{II} = -A \cos \omega_s t - B \cos 3\omega_s t + C[\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t] - D[\cos(2\omega_t + \omega_s)t + \cos(2\omega_t - \omega_s)t] \quad (II.35)$$

Trong đó $A = U_s[2a_1 + 3a_3 U_t^2 + (a_3/2) U_s^2]$

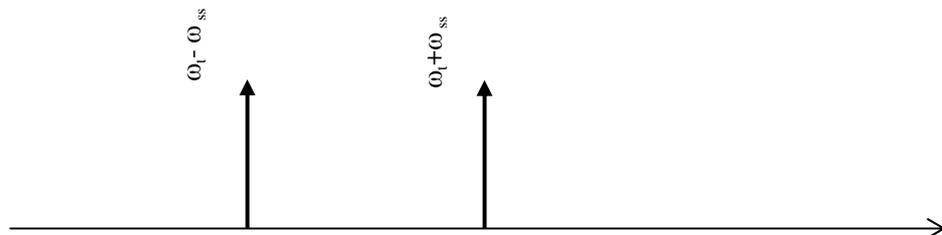
$$B = (a_3/2) U_s^3$$

$$C = 2 a_2 U_s U_t$$

$$D = 3/2 a_3 U_s U_t$$

Từ (II.29) và (II.35) ta có

$$i_{dB} = i_1 + i_{II} = 2C[\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t] \quad (II.36)$$



. Phổ tín hiệu điều biên vòng

So với phổ các hình trên ta thấy chỉ còn lại thành phần mang tin tức

Như vậy khi dùng mạch điều chế vòng còn có thể khử được các hài bậc lẻ của ω_s và các biên tần của ω_t .

III. ĐIỀU CHẾ ĐƠN BIÊN

1. Khái niệm

Như đã biết ở những phần trên, phổ của dao động đã điều biên gồm tải tần và hai dải biên tần trong đó chỉ có các biên tần la mang tin tức. Vì hai biên tần mang tin tức là như nhau (về biên độ và tần số), nên chỉ cần truyền đi một biên tần là đủ thông tin về tin tức. Tải tần chỉ cần dùng để tách sóng, do đó có thể nén toàn bộ hoặc một phần tải tần trước khi truyền đi. Quá trình điều chế nhằm tạo ra một dải biên tần gọi là điều chế đơn biên.

Điều chế đơn biên (với một phần dư của tải tần) mang ý nghĩa thực tế. Điều chế tuy phức tạp hơn nhưng lại có ưu điểm như:

- Độ rộng dải tần giảm một nửa
- Công suất phát xạ yêu cầu thấp hơn với cùng một cự ly truyền dẫn.
- Tạp âm đầu thu giảm do dải tần của tín hiệu hẹp hơn.

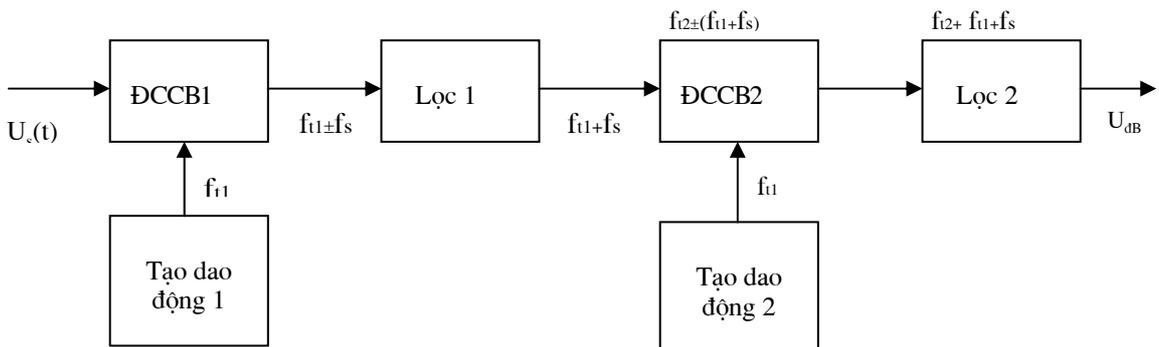
Từ biểu thức (II.5) ta có : $u_{dB} = m/2U_t(\cos(\omega_t + \omega_s)t)$ (III.1)
 m gọi là hệ số nén tải tần $m=U_s/U_t$

2. Các phương pháp điều chế đơn biên

Có 3 phương pháp điều chế đơn biên: phương pháp lọc, phương pháp quay pha, và phương pháp lọc và quay pha kết hợp.

a. Điều chế đơn biên theo phương pháp lọc

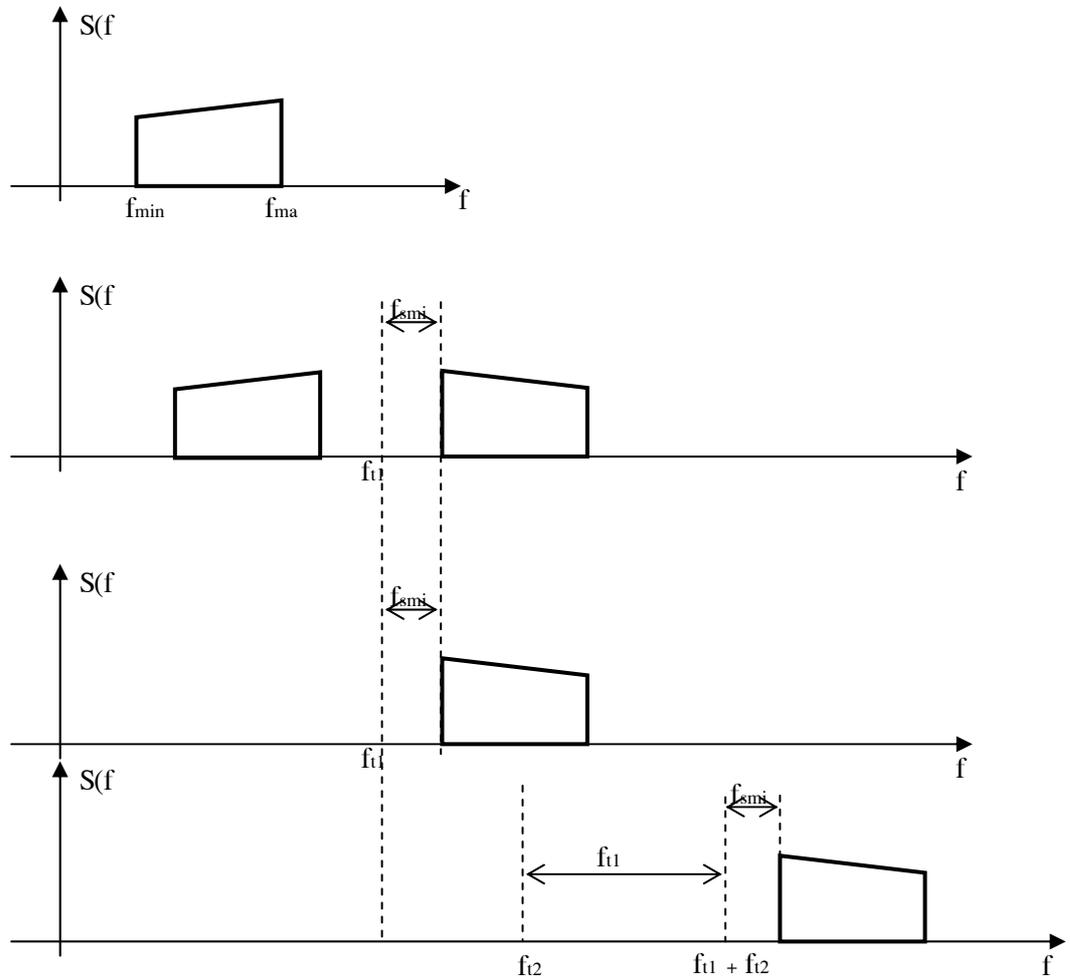
Từ việc phân tích phổ của tín hiệu điều biên, muốn có tín hiệu đơn biên cần lọc bớt một biên tần, thực tế rất khó làm được như vậy. Khi tải tần cao tần thì vấn đề lọc để tách ra một dải tần gặp khó khăn. Giả sử tần số $f_{smin}=300\text{hz}$, lúc đó khoảng cách 2 biên tần là $\Delta f=2f_{smin}=600\text{hz}$. Nếu tải tần là $f_t=60\text{Mhz}$, thì hệ số của bộ lọc là $X=(\Delta f/f_t)=10^{-5}$, khá nhỏ rất khó lọc. Bởi vậy phải dùng một bộ biến đổi trung gian để có thể hạ thấp yêu cầu đối với bộ lọc, theo sơ đồ sau:



Sơ đồ khối mạch điều chế đơn biên dùng phương pháp lọc

Trong sơ đồ trên tín tức ban đầu được điều chế với tần số f_{t1} , tần số này khá thấp so với tần số yêu cầu, sao cho hệ số lọc tăng lên, để có thể lọc bỏ một biên tần dễ dàng. Trên đầu ra bộ 1 lại được điều chế với tần số f_{t2} , f_{t2} yêu cầu sao cho $f_t = f_{t1} + f_{t2}$.

Dạng phổ theo phương pháp này như sau:



b. Điều chế đơn biên theo phương pháp quay pha

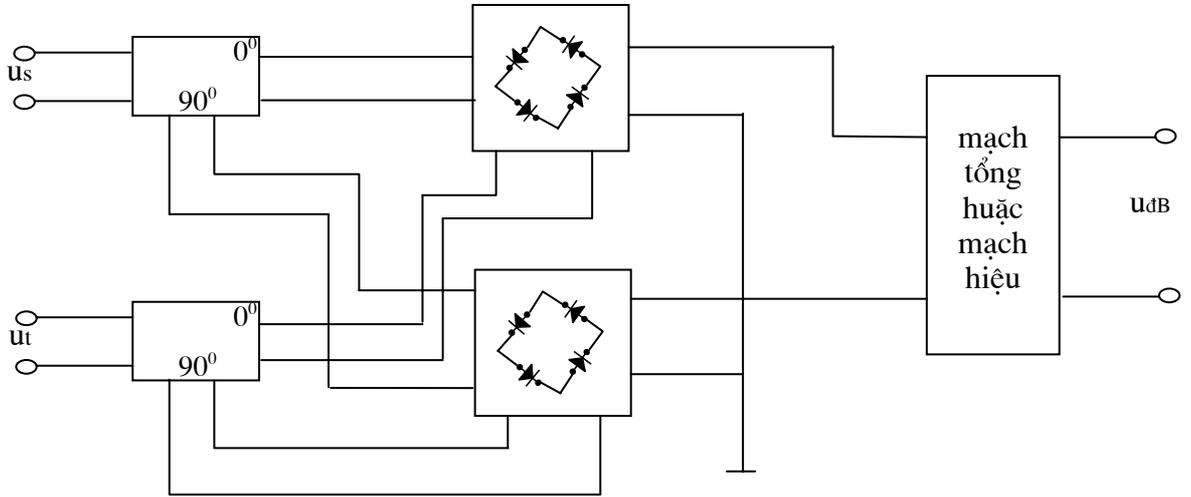
Sơ đồ hình 15 là sơ đồ khối phương pháp điều chế đơn biên bằng phương pháp quay pha.

Tín tức và tải tin thông qua mạch quay pha, và được đưa đến 2 bộ điều chế cân bằng lệch pha 90° do đó các biên tần trên của 2 bộ điều chế cân bằng lệch pha 180° . Còn các biên tần dưới đồng pha, nếu lấy hiệu của các điện áp ra trên 2 bộ điều chế ta nhận được biên tần trên. Ngược lại nếu lấy tổng các điện áp ra sẽ nhận được biên tần dưới.

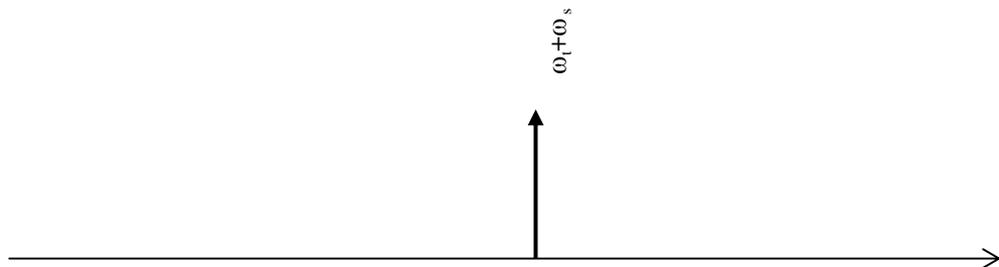
$$u_{CB1} = UCB \cos \omega_s t \cos \omega_t t = UCB/2 [\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t] \tag{III.2}$$

$$u_{CB2} = UCB \sin \omega_s t \sin \omega_t t = UCB/2 [-\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t] \tag{III.3}$$

$$u_{dB} = U_{CB1} - U_{CB2} = U_{CB} \cos(\omega_1 + \omega_s)t \quad (III.4)$$

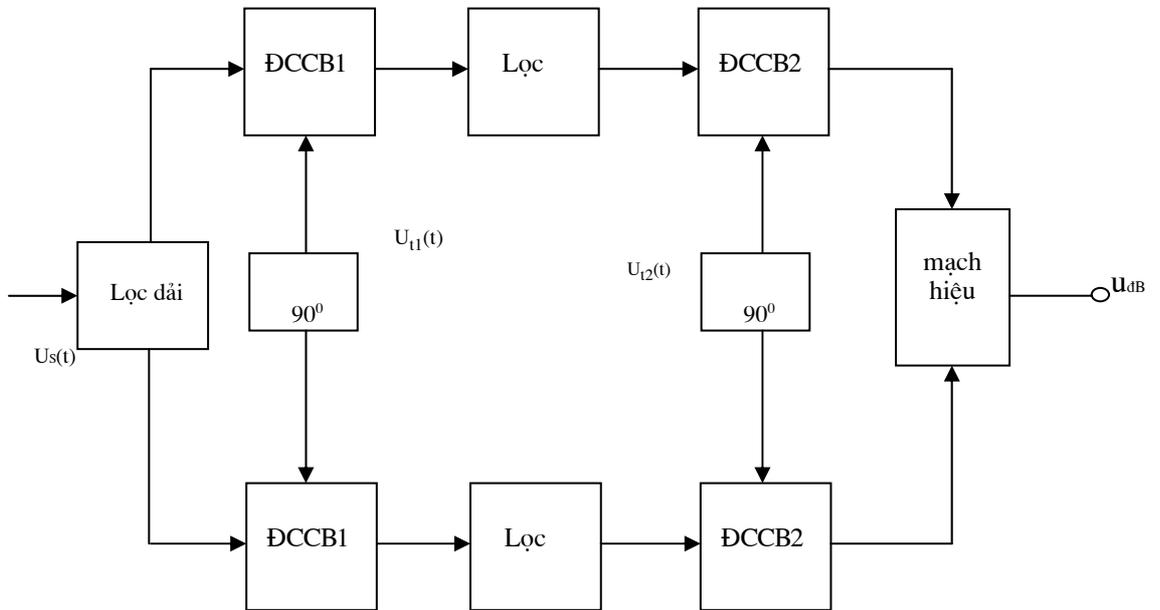


Sơ đồ điều chế đơn biên theo phương pháp quay pha



Phổ tín hiệu điều chế đơn biên theo phương pháp quay pha

c. Điều chế đơn biên theo phương pháp lọc và quay pha kết hợp
 Phương pháp này có sơ đồ khối như sau



Sơ đồ khối mạch điều chế đơn biên dùng phương pháp lọc và quay pha kết hợp

Tín hiệu ra của bộ điều chế cân bằng 1 (ĐCCB1):

$$u''_{CB1} = U_{CB} \cos \omega_s t \cos \omega_t t = U_{CB}/2 [\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t] \quad (III.2)$$

$$u''_{CB2} = U_{CB} \cos \omega_s t \sin \omega_t t = U_{CB}/2 [\sin(\omega_t + \omega_s)t + \sin(\omega_t - \omega_s)t] \quad (III.3)$$

Sau bộ lọc 1, còn lại biên tần trên của 2 bộ điều chế cân bằng 1 lệch pha 90, có thể coi đây là tín hiệu điều chế đã quay pha, tín hiệu này cùng với tải tin u_{t2} được đưa đến 2 bộ điều chế cân bằng 2 lệch nhau 90. Điện áp ra hai bộ điều chế cân bằng 2:

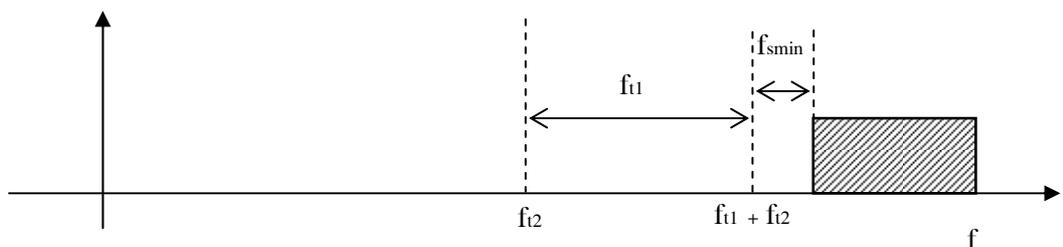
$$u''_{CB1} = U_{t2} U_{CB}/2 \cos(\omega_{t2} + \omega_s)t \cos \omega_{t2} t \quad (III.4)$$

$$u''_{CB2} = U_{t2} U_{CB}/2 \sin(\omega_{t2} + \omega_s)t \sin \omega_{t2} t \quad (III.5)$$

$$u_{dB} = u''_{CB1} - u''_{CB2} = U_{t2} U_{CB}/2 \cos(\omega_{t2} + \omega_{t1} + \omega_s)t \quad (III.6)$$

Phổ của tín hiệu theo phương pháp này như hình 18

Điều chế theo phương pháp này không dùng mạch quay pha đối với tín hiệu điều chế nên dễ thực hiện hơn so với phương pháp quay pha.



Phổ tín hiệu ra của các khối trên hình 17

IV. ĐIỀU TẦN(FM) VÀ ĐIỀU PHA(PM)

1. Các công thức cơ bản và mối quan hệ của hai phương pháp

Điều tần và điều pha là quá trình ghi tin tức vào tải tin, làm cho tần số hoặc pha tức thời của tải tin biến thiên theo dạng tín hiệu điều chế.

Tần số và góc pha có mối quan hệ :

$$\omega = \frac{d\psi}{dt} \quad (IV.1)$$

Giả sử tải tin là tín hiệu điều hoà:

$$u(t) = U_t \cos \psi(t) = U_t \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (IV.2)$$

$$\text{Từ (IV.1) rút ra } \psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi(t) \quad (IV.3)$$

Thay IV.3 vào IV.2 ta có:

$$u(t) = U_t \cos \left(\int_0^t \omega(t) dt + \varphi(t) \right) \quad (IV.4)$$

Giả sử tín tức là tín hiệu đơn âm(1 tần số):

$$u_s(t) = U_s \cos \omega t \quad (IV.5)$$

Khi điều chế tần số hoặc điều pha thì tần số hoặc góc pha của dao động cao tần biến thiên tỉ lệ với tín hiệu điều chế và chúng được xác định lần lượt theo các biểu thức sau:

$$\omega(t) = \omega + K_{\text{đt}} \cdot U_s \cos \omega t = \omega + \Delta \omega m \cdot U_s \cos \omega t \quad (IV.6)$$

$$\varphi(t) = \varphi_0 + K_{\text{đp}} \cdot U_s \cos \omega t = \varphi_0 + \Delta \varphi m \cdot U_s \cos \omega t \quad (IV.7)$$

Trong đó $\Delta \omega m$, $\Delta \varphi m$ được gọi là lượng di tần và di pha cực đại

Khi điều tần thì góc pha ban đầu không đổi, do đó $\varphi(t) = \varphi_0$, thay IV.6 và IV.7 vào IV.4, ta nhận được biểu thức của tín hiệu đã điều tần và điều pha:

$$u_{\text{đt}}(t) = U_t \cos(\omega t + \Delta \omega m / \omega_s \cdot \sin \omega t + \varphi_0) \quad (IV.8)$$

$$u_{\text{đp}}(t) = U_t \cos(\omega t + \Delta \varphi m \cdot \sin \omega t + \varphi_0) \quad (IV.9)$$

Vậy lượng di pha đạt được khi điều pha:

$$\Delta \varphi = \Delta \varphi m \cdot \cos \omega t \quad (IV.10)$$

$$\text{Lượng di tần tương ứng: } \Delta \omega = \Delta \varphi m \cdot \omega_s \cdot \sin \omega t \quad (IV.11)$$

Lượng di tần max đạt được khi điều pha:

$$\Delta \omega m = \omega_s \cdot \Delta \varphi m = \omega_s \cdot k_{\text{đf}} \cdot U_s \quad (IV.12)$$

Lượng di tần max đạt được khi điều tần:

$$\Delta \omega m = k_{\text{đf}} \cdot U_s \quad (IV.13)$$

So sánh IV.12 và IV.13 ta thấy sự khác nhau cơ bản giữa điều tần và điều pha là lượng di tần khi điều pha tỉ lệ với biên độ điện áp điều chế và tần số điều chế còn lượng di tần khi điều tần tỉ lệ với biên độ điện áp điều chế. **Vì vậy từ một mạch điều chế pha có thể lấy ra tín hiệu điều chế tần số, nếu trước khi đưa vào điều chế được đưa qua mạch tích phân. Và ngược lại có thể lấy tín hiệu điều pha từ một mạch điều tần, nếu tín hiệu điều chế được đưa qua mạch vi phân trước khi đưa vào bộ điều chế.**

2, Phổ của dao động đã điều tần và điều pha

Trong biểu thức IV.8, cho $\varphi_0=0$, và gọi $M_f = \Delta\omega m / \omega s$ là hệ số điều tần ta có:

$$u_{đt}(t) = U_t \cos(\omega t + M_f \sin \omega t) \quad (IV.14)$$

Nếu tín hiệu điều chế chiếm cả dải tần thì $M_f = \Delta\omega m / \omega s_{max}$

Hệ số điều tần M_f không những phụ thuộc vào biên độ điện áp điều chế mà còn phụ thuộc vào tần số điều chế.

Tương tự ta có biểu thức của tín hiệu điều pha:

$$u_{đt}(t) = U_t \cos(\omega t + M_\phi \cos \omega t) \quad (IV.15)$$

Nếu không xét đến pha thì phổ của tín hiệu điều tần và điều pha là giống nhau, gồm thành phần tải tần ω , và vô số các biên tần $\omega \pm n\omega_s$.

Các tính toán đã chỉ ra, độ rộng dải tần của tín hiệu điều chế tần số không phụ thuộc vào tín tức, được tính gần đúng:

$$D = 2\Delta\omega m \quad (IV.16)$$

nhưng điều chế pha, băng tần lại phụ thuộc tần số tín hiệu tin tức:

$$D = 2 \cdot \omega_s \cdot \Delta\omega m \quad (IV.17)$$

những phụ thuộc vào biên độ điện áp điều chế mà còn phụ thuộc

3, Mạch điều tần và điều pha

Như đã phân tích ở trên điều tần và điều pha có thể được chuyển đổi lẫn nhau, thường phân biệt mạch điều tần (điều pha) trực tiếp, và gián tiếp.

a, Mạch điều tần trực tiếp

Khi điều tần trực tiếp, tần số dao động riêng của mạch tạo dao động được điều khiển theo tín hiệu điều chế (tín tức).

Mạch điều tần trực tiếp thường được thực hiện bởi các mạch tạo dao động mà tần số dao động riêng của nó được điều khiển bởi dòng huặc áp (CCO- bộ dao động được điều khiển bởi dòng điện, VCO- bộ dao động được điều khiển bởi điện áp)

Huặc bởi các mạch biến đổi điện áp - tần số. Các mạch tạo dao động có tần số biến đổi theo điện áp đặt vào có thể là các mạch tạo dao động xung, các mạch tạo dao động điều hoà LC.

Nguyên tắc thực hiện điều tần trong các bộ dao động là làm biến đổi trị số điện kháng của bộ tạo dao động theo điện áp đặt vào, phương pháp phổ biến nhất là dùng diode biến dung và trazitor điện kháng, sau đây là các thí dụ:

1. Điều tần trực tiếp dùng diode biến dung:

Diode biến dung có điện dung mặt ghép biến đổi theo điện áp đặt vào. Có sơ đồ tương đương như hình 19

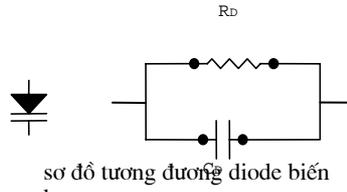
Trị số R_D và C_D phụ thuộc vào điện áp đặt lên diode, nếu diode được phân cực ngược, R_D rất lớn, còn C_D được xác định theo biểu thức:

$$C_D = \frac{K}{(u_D + \varphi_K)^\gamma} \quad (IV.18)$$

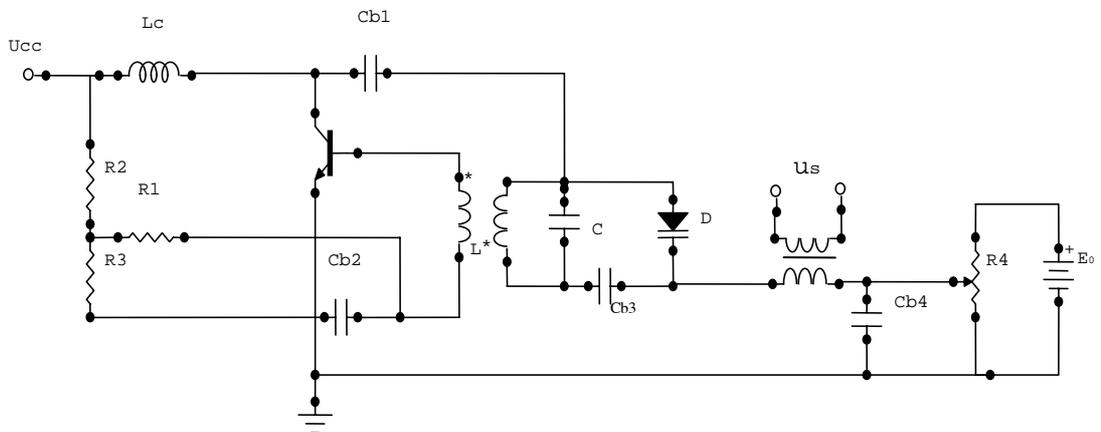
Trong đó: k: hệ số tỉ lệ

φ_K : điện áp tiếp xúc của mặt ghép P-N

γ : Hệ số phụ thuộc vật liệu



Mắc diode song song với tín hiệu ra của bộ tạo dao động, đồng thời đặt điện áp điều chế lên Diode, làm C_D thay đổi theo điện áp điều chế, do đó tần số cộng hưởng riêng của bộ tạo dao động cũng thay đổi theo, như hình 20.



Mạch điều tần dùng diode biến dung

Tần số dao động của mạch gần bằng tần số cộng hưởng riêng của hệ dao động và được xác định:

$$f_{ad} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_D)}} \quad (IV.19)$$

Theo sơ đồ 20, điện áp đặt lên Diode:

$$u_D = u_t - u_s - E_0 = U_t \cos \omega t - U_s \cos \omega t - E_0 \quad (IV.20)$$

Để Diode luôn phân cực ngược và không vượt quá trị số cho phép cần có điều kiện:

$$u_D = u_{Dmin} = | -U_t - U_s - E_0 | \leq u_{ngcphép}$$

Khi dùng Diode điều tần cần chú ý:

- Chỉ cần phân cực ngược cho diode để tránh ảnh hưởng của R_D để phẩm chất của hệ dao động nghĩa là đến độ ổn định tần số của mạch.
- Phải hạn chế khu vực làm việc trong đoạn tuyến tính của đặc tuyến $C_D(u_D)$ của diode biến dung để giảm méo phi tuyến. Lượng di tần được biến đổi khi điều tần dùng diode là khoảng 1%.
- Vì dùng diode để điều tần, nên thiết bị điều tần có kích thước nhỏ. Có thể

dùng diode bán dẫn để điều tần ở tần số siêu cao, khoảng vài trăm MHz, tuy nhiên độ tạp tán của tham số bán dẫn lớn, nên kém ổn định

Điều tần trực tiếp dùng Trazitor điện kháng:

Phần tử điện kháng (dung tính hoặc cảm tính), có trị số biến thiên theo điện áp điều chế đặt vào, phần tử điện kháng mắc song song với hệ dao động của bộ tạo dao động làm cho tần số dao động thay đổi theo tín hiệu điều chế. Phần tử điện kháng được thực hiện nhờ một mạch di pha mắc trong mạch hồi tiếp của Trazitor.

Có 4 cách mắc phần tử điện kháng như hình 21, sau đây xét trường hợp a, các trường hợp khác tương tự:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{U}{S \cdot U_{BE}} = \frac{U}{S \cdot U \cdot \frac{Z_C}{R + Z_C}} = \frac{R + 1/j\omega C}{S \cdot 1/j\omega C} \quad (IV.21)$$

Nếu chọn $R \gg Z_C$, thì trở kháng Z có thể xác định theo biểu thức:

$$Z \approx j\omega C/S = jX_L = j\omega L_{td}, \text{ trong đó } L_{td} = CR/S \quad (IV.22)$$

Bằng cách tính tương tự ta có:

Sơ đồ b:

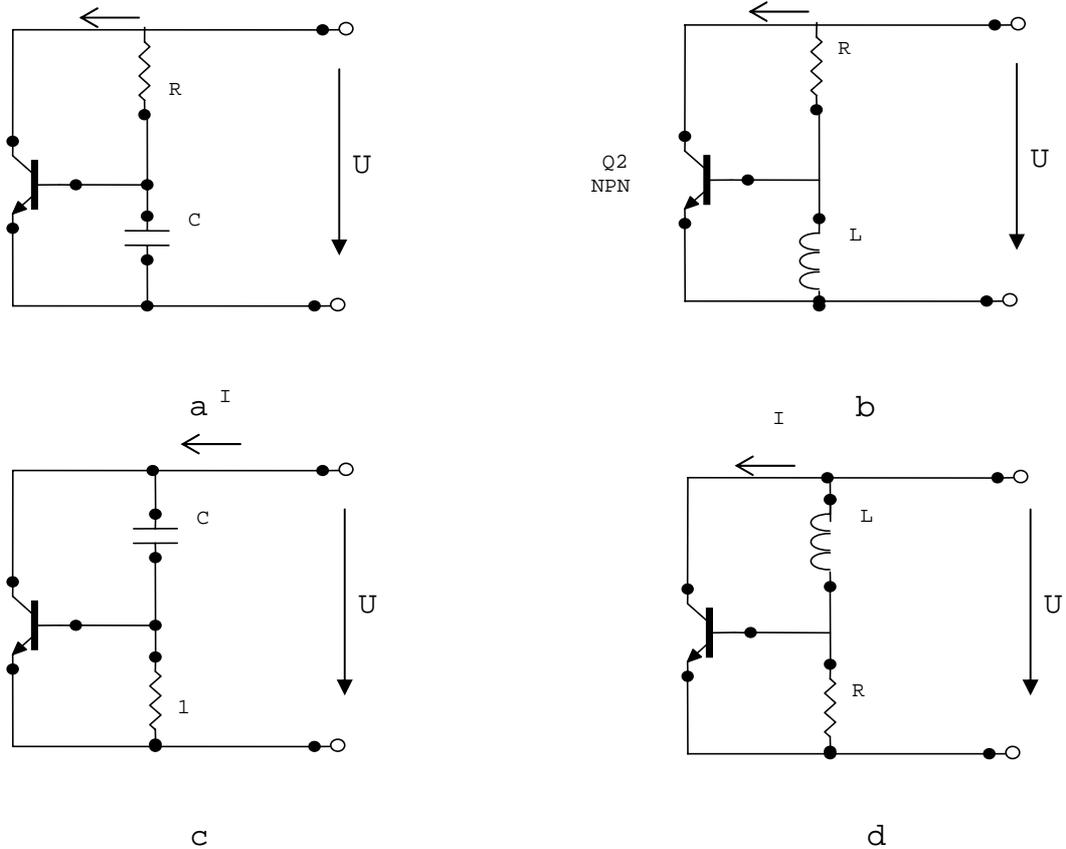
$$Z \approx -j R/\omega LS = jX_C = j\omega C_{td}, \text{ trong đó } C_{td} = LS/R \quad (IV.23)$$

Sơ đồ c:

$$Z \approx -j 1/\omega RSC = jX_C = j\omega C_{td}, \text{ trong đó } C_{td} = RSC \quad (IV.24)$$

Sơ đồ d:

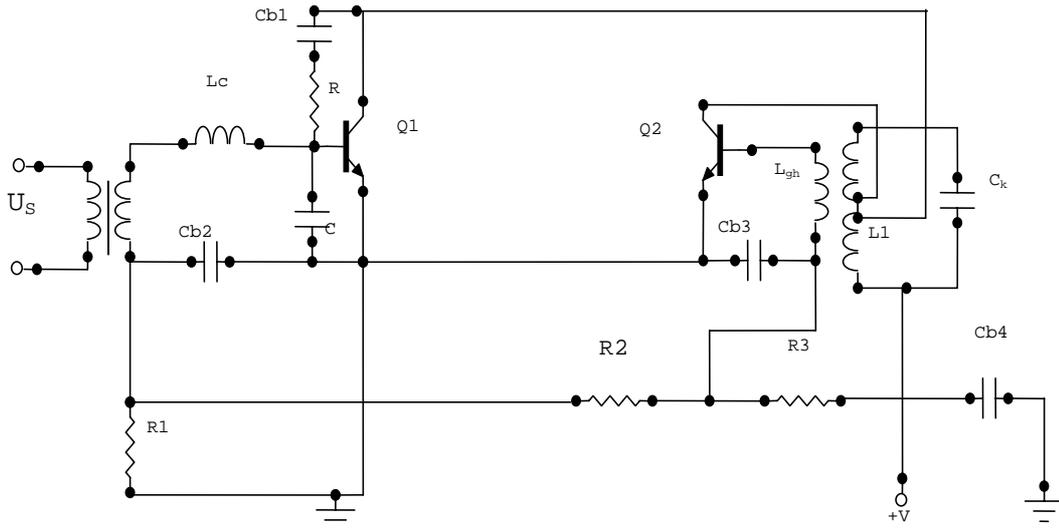
$$Z \approx j\omega L/RS = jX_L = j\omega L_{td}, \text{ trong đó } L_{td} = L/SR \quad (IV.25)$$



Các phương pháp mắc phần tử điện kháng

Rõ ràng khi điện áp điều chế đặt vào Bazơ của phần tử điện kháng thay đổi thì S thay đổi và do đó các tham số L_{td} , C_{td} thay đổi làm cho tần số dao động thay đổi theo.

Điều tần dùng phần tử điện kháng có thể đạt được lượng di tần tương đối $(\Delta f/f_0)$ khoảng 2%.



Điều tần dùng phần tử điện kháng RC

Hình trên là sơ đồ bộ dao động LC, phần tử điện kháng RC lúc này tương đương như một cuộn cảm, được ghép vào cuộn L1 của mạch dao động .

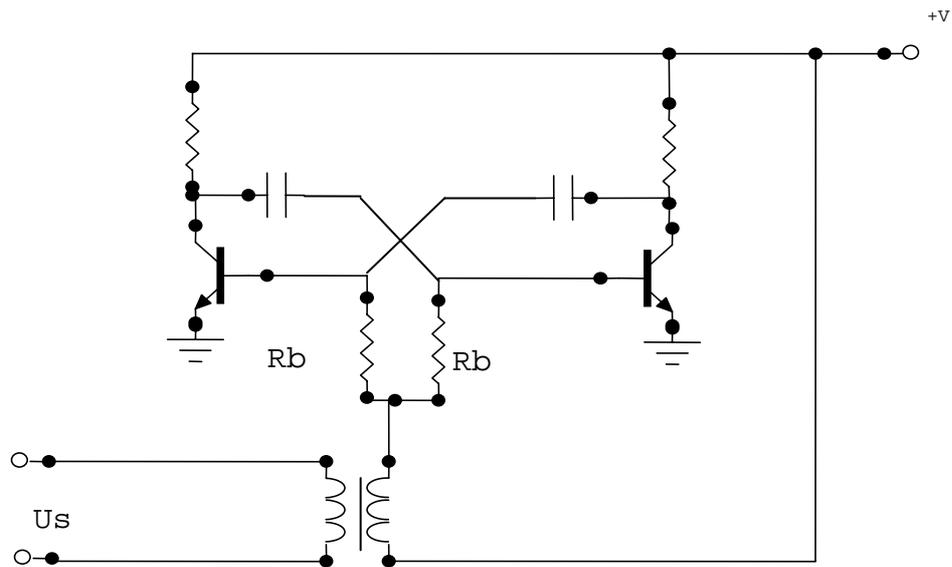
- + T1, R, C đóng vai trò là tranzitor điện kháng.
- + T2, Lgh, L1, Ck là các phần tử dao động
- + Cb1-Cb4 tụ ngắn mạch tần số cao tần (U_s)
- + Lc: Cuộn chặn, cách ly tín hiệu cao tần và nguồn.

Giá trị L_{td} của tranzitor điện kháng sẽ thay đổi khi tín hiệu điều chế (U_s) đầu vào thay đổi, dẫn đến thành phần điện cảm của bộ dao động LC thay đổi, tức là tần số tín hiệu dao động thay đổi theo, lấy tín hiệu ở đầu ra bộ dao động ta được tín hiệu điều tần.

dùng phần tử điện kháng có thể đạt được lượng di tần tương đối $(\Delta f/f_0)$ khoảng

Điều tần trong các bộ tạo xung:

Hình 23 là mạch dao động đa hài mà dãy xung ra của nó có tần số lặp thay đổi theo điện áp điều chế U_s . Tần số lặp được xác định bằng quá trình phóng của tụ điện qua điện trở R_b , khi có một sụt áp trên điện trở collector. Khi R_b được đấu trực tiếp với nguồn V, quá trình phóng xảy ra giữa các mức bão hòa của 2 tranzitor.



điều tần trong bộ dao động đa hài

Tần số lặp của dãy xung được xác định như sau:

$$f = 1/2\pi RCLn2 \quad (IV.26)$$

Để điều chế tần số lặp của dãy xung, đưa điện áp điều chế U_s vào B của 2 tranzitor cùng với điện áp nguồn của tụ điện qua điện trở R_b , khi có một sụt áp trên điện trở collector. Khi này tần số lặp của dãy xung biến thiên theo điện áp điều chế và được xác định bằng biểu thức:

$$f \approx \frac{1}{2RCLn\left[\frac{\Delta U_c / R_B + I_{Bbh}}{I_{Bbh}}\right]} \quad (IV.27)$$

Trong đó: $U_{Bbh} = (U_{cc} + U_s + U_{BE0} + I_{BM}R_B) / R_B$
 $\Delta U_c = U_c - I_{CM}R_c - U_{CEbh}$

Phương pháp này có thể đạt được lượng di tần tương đối khoảng vài %
 Nhận xét: Nhược điểm của điều tần trực tiếp là độ ổn định tần số trung tâm thấp, vì không thể dùng thạch anh thay cho mạch cộng hưởng trong bộ tạo dao động để ổn định trực tiếp được. Do đó để đạt được độ ổn định tần số trung tâm cao, trong mạch điều tần trực tiếp phải sử dụng thêm khâu tự động điều chỉnh tần số(FGC). Nhưng với loại mạch này lượng di tần đạt được lại lớn.

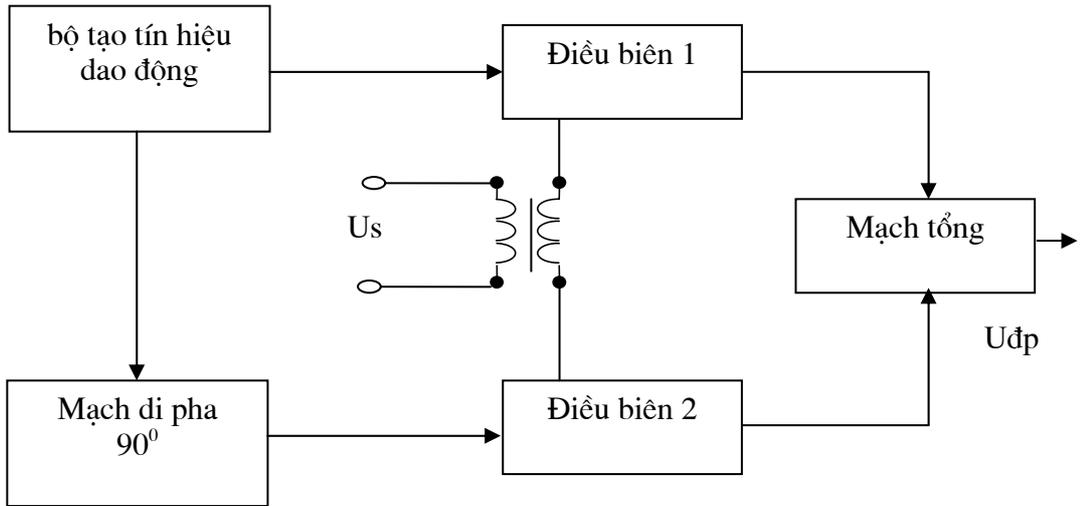
b, Mạch điều pha

Điêu pha theo Armstrong:

Tải tin từ bộ tạo dao động thạch anh được đưa đến bộ điều biên 1 và lệch pha nhau 90°

Tín hiệu điều chế đưa vào 2 bộ điều chế ngược pha nhau .

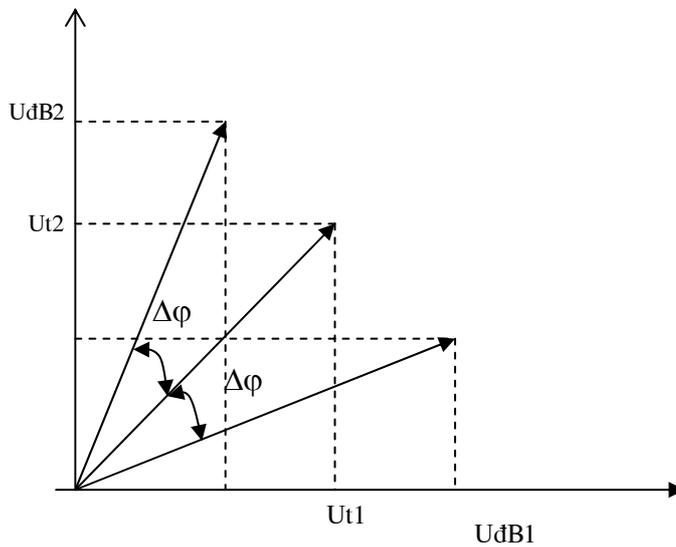
Điện áp ra trên 2 bộ điều biên:



Sơ đồ khối mạch điều pha theo Armstrong

$$u_{dB1} = U_{t1}(1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_t t = U_{t1} \cos \omega_t t + m U_{t1}/2 [\cos(\omega_t + \omega_s)t + \cos(\omega_t - \omega_s)t] \quad (IV.28)$$

$$u_{dB2} = U_{t2}(1 - m \cos \omega_s t) \sin \omega_t t = U_{t2} \sin \omega_t t - m U_{t2}/2 [\sin(\omega_t + \omega_s)t + \sin(\omega_t - \omega_s)t] \quad (IV.29)$$



Đồ thị véc tơ tín hiệu điều pha theo Armstrong

Từ đồ thị ta thấy: tổng các dao động điều biên $u = u_{dB1} + u_{dB2}$ là một dao động được điều chế về pha và biên độ. Điều biên ở đây là điều biên ký sinh.

Điều pha dùng mạch lọc

Trong mạch điện này, trị số điện dung của diode biến phụ thuộc vào điện áp điều chế U_s . Khi U_s thay đổi thì tần số cộng hưởng của mạch lọc lệch

khởi tần số tín hiệu vào f một lượng Δf sao cho đối với tín hiệu vào, mạch cộng hưởng là một trở kháng phức được xác định như sau :

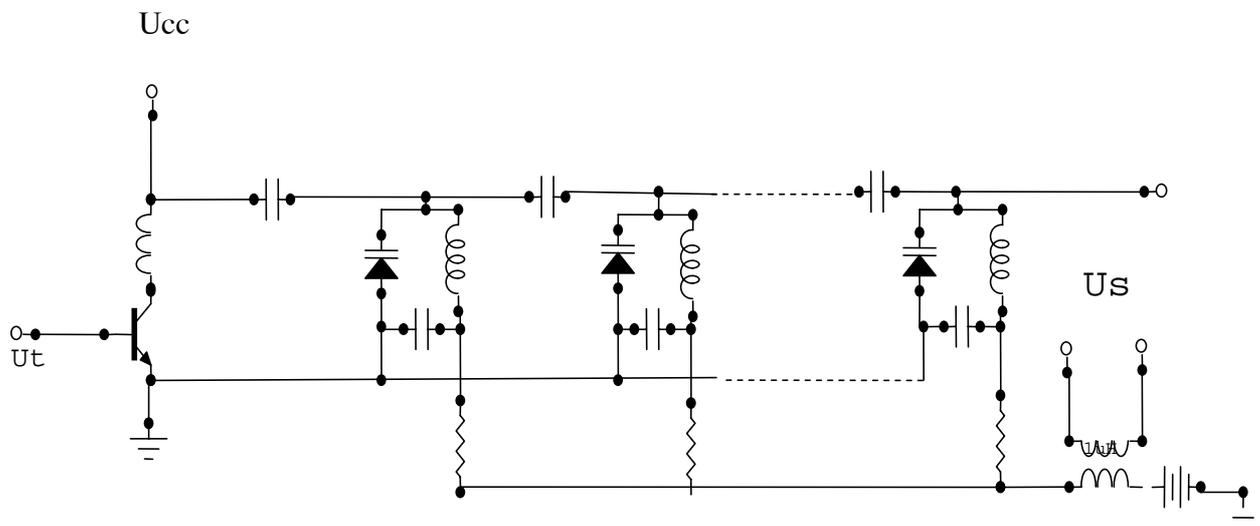
$$Z = \frac{R_{t\text{đ}}}{1 + jQ \frac{2\Delta\omega}{\omega_t}} \quad (IV.30)$$

$$R_{t\text{đ}} = L/CR; Q = 1/\omega CR; \omega_t = (1/LC)^{-1/2}$$

$$\Delta\omega = \omega - \omega_t \quad \text{và} \quad \omega_t + \omega = 2\omega_t$$

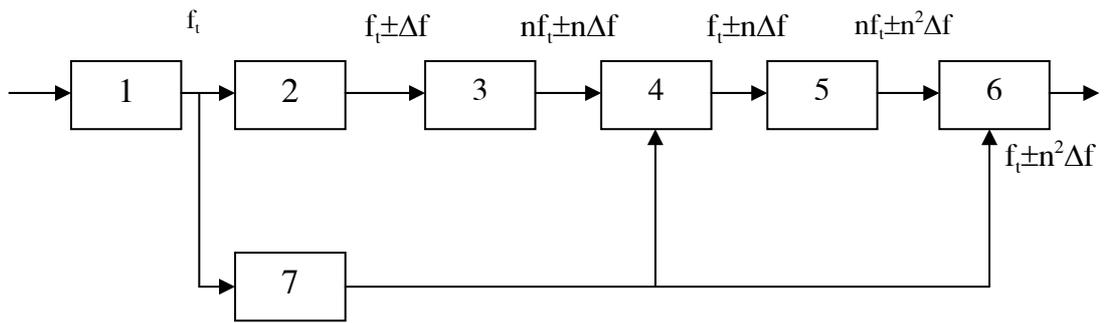
Góc pha được xác định:

$$\varphi = \text{arctg}\left(-\frac{2Q\Delta\omega}{\omega_t}\right) \quad (IV.31)$$



Sơ đồ nguyên lý mạch điều chế pha dùng mạch lọc

Rõ ràng khi u_s thay đổi, do đó góc pha φ biến đổi một lượng tương ứng. Quá trình điều pha này có kèm theo điều biên ký sinh, vì $\text{modyn} |Z|$ cũng biến thiên theo $\Delta\omega$. Cũng tương tự như mạch điều chế pha theo Armstrong, nếu giữ cho mức điều biên ký sinh nhỏ hơn 1% thì góc di pha cực đại $\Delta\varphi = 0,35$. Nếu dùng nhiều mắt lọc như trên hình 27, thì nhờ chọn các khâu ghép hợp lý, có thể làm cho đặc tuyến $\varphi = f(u_s)$ tuyến tính hơn, do đó đạt được lượng di pha tương đối lớn $\Delta\varphi = \Pi$. Trong thực tế các mạch điều chế pha thường được dùng kết hợp với mạch tích phân để thực hiện điều tần gián tiếp so với mạch điều tần trực tiếp thì lượng di tần nhỏ hơn, vì $\Delta\varphi$ nhỏ. Nhưng mạch điều tần gián tiếp có độ ổn định tần số trung tâm cao, vì thế có thể dùng thạch anh trong tầng dao động để ổn định tần số. Để khắc phục nhược điểm về lượng di tần nhỏ, sau tầng điều tần có thể mắc thêm một số tầng điều tần nhân tần để đảm bảo lượng di tần yêu cầu như sơ đồ khối trên hình sau:



1-Bộ tạo dao động

2-Mạch điều tần gián tiếp

3-Mạch nhân tần bậc n

4-Mạch trộn tần

5-Mạch nhân tần bậc n

6-Mạch trộn tần

7-Mạch nhân tần bậc(n-1)

Sơ đồ khối phương pháp nâng cao lượng di tần trong mạch điều tần gián tiếp

4. Một số biện pháp để nâng cao chất lượng tín hiệu điều tần.

Tín hiệu điều tần có hệ số điều chế $M_f = \Delta\omega_m / \omega_s$. Khi tần số điều chế tăng thì M_f giảm (giả thiết $U_s = \text{const}$) làm cho tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) giảm. Vì vậy trước khi điều chế, tín hiệu điều chế u_s được đưa qua một mạch lọc thông cao. Các thành phần tần số cao của u_s khi qua mạch đó được ưu tiên về mặt biên độ. ở đầu thu, sau khi tách sóng lại phải dùng một mạch lọc thông thấp có hằng số thời gian bằng hằng số thời gian của mạch lọc thông cao để nhận lại sự phân bố biên độ theo tần số đúng như tín hiệu thực ban đầu .

Trong phát thanh UKW , theo tiêu chuẩn châu Âu , người ta quy định hằng số thời gian $\tau = 50\mu\text{s}$. Khi truyền tín hiệu điều chế tần số của tín hiệu màu (tín hiệu hiệu) trong hệ SECAM, chọn $\tau = 2\mu\text{s}$. Ngoài ra để giảm ảnh hưởng của điều biên ký sinh đối với tín hiệu điều tần có thể đưa tín hiệu điều tần qua mạch hạn biên trước khi đưa vào bộ tách sóng tần số.

CHƯƠNG 8. GIẢI ĐIỀU CHẾ(TÁCH SÓNG)

I. KHÁI NIỆM:

Tách sóng là quá trình tìm lại tín hiệu điều chế, tín hiệu sau khi tách sóng gọi là tín hiệu hồi phục(reconstruction signal).

Yêu cầu tín hiệu sau tách sóng phải giống tín hiệu ban đầu, nhưng thực tế chỉ giống ở một mức độ nào đó, nói chung là vẫn khác nhau, đặc trưng cho sự khác nhau này, gọi là méo phi tuyến.

Cũng có hai loại tách sóng ứng với hai loại điều chế: đó là tách sóng biên độ và tách sóng tần số.

II. Tách sóng biên độ:

1. Các tham số cơ bản của tách sóng biên độ:

- Hệ số tách sóng



+ Tín hiệu vào bộ tách sóng là tín hiệu điều biên gọi là

$$u_{VTS} = U_{VTS} \cdot \cos \omega_c t = U \omega_c \cdot \cos \omega_c t \quad (1)$$

Trong đó U_{VTS} biến thiên theo quy luật tin tức, bao gồm thành phần một chiều và thành phần biến đổi chậm theo thời gian: $U_{VTS} = U'_0 + u''$

Tương tự tín hiệu ra bộ tách sóng ký hiệu: $U_{RTS} = U''_0 + u_s''$

$$\Rightarrow \text{Hệ số tách sóng } K_{TS} = \frac{U_{RTS}}{U_{VTS}} \quad (2)$$

Với quá trình tách sóng, thì tín hiệu biến thiên chậm mới có ý nghĩa, do vậy K_{TS} , thường được tính với thành phần biến đổi:

$$K_{TS} = \frac{u_s''}{u'_s} \quad (3)$$

Hệ số tách sóng càng lớn thì hiệu quả tách sóng càng cao, khi $K_{TS} = h/s$, lúc đó mạch tách sóng gọi là tách sóng tuyến tính.

- Trở kháng vào:

$$Z_{VTS} = \frac{U_{VTS}}{I_{VTS}} = \frac{U_{ot}}{I_{ot}} = a_{VTS} + jb_{VTS} \quad (4)$$

Tham số này đặc trưng cho mức độ ảnh hưởng của bộ tách sóng đến nguồn tín hiệu vào.

- Méo phi tuyến:

Đặc trưng cho sự sai lệch của tín hiệu hồi phục và tín hiệu ban đầu, được xác định theo công thức:

$$k = \frac{\sqrt{I_{2\omega_s}^2 + I_{3\omega_s}^2 + I_{4\omega_s}^2 + \dots}}{I_{\omega_s}} \quad (5)$$

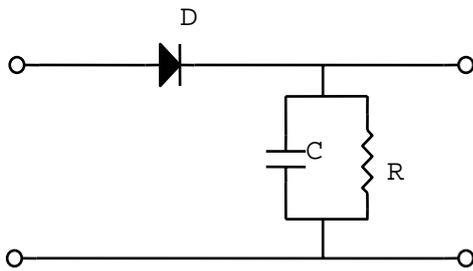
$I_{\omega_s}, I_{2\omega_s}, I_{3\omega_s}, \dots$ là các hài bậc 1, 2, 3...

2. Mạch tách sóng biên độ:

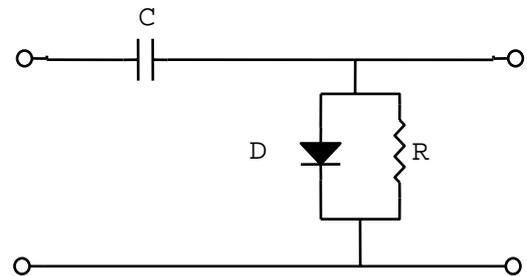
a. Mạch tách sóng biên độ dùng mạch chỉnh lưu:

Có hai sơ đồ tách sóng dùng mạch chỉnh lưu, đó là sơ đồ nối tiếp (diode tách sóng nối tiếp với tải) và song song (diode tách sóng song song với tải).

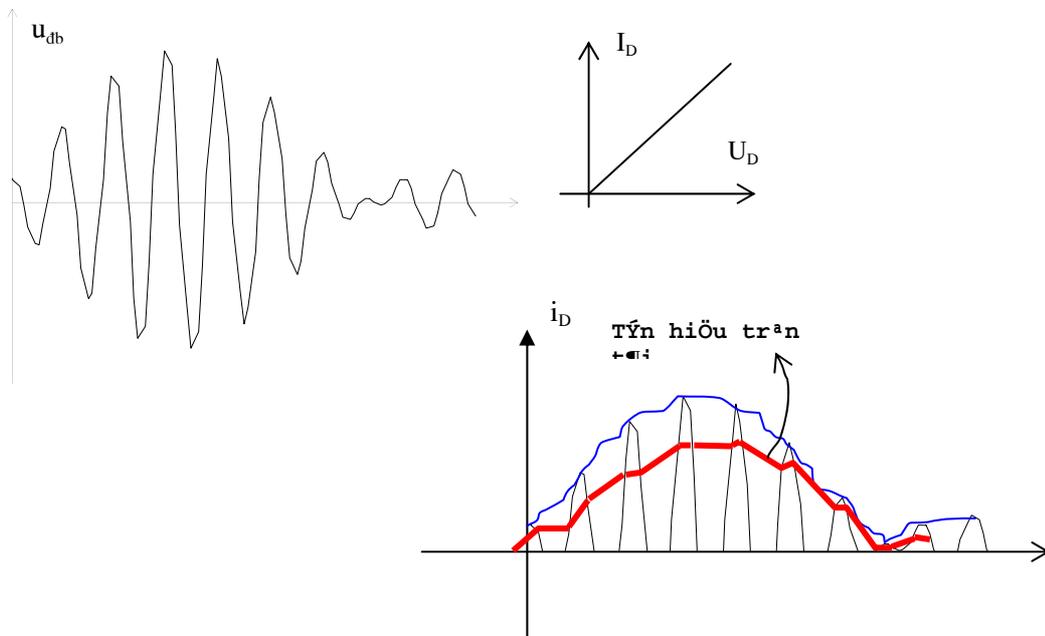
Ta đã làm quen với diode tách sóng trong chương trình Cấu kiện Điện tử, để mở thông cho diode dùng trực tiếp tín hiệu làm việc, mà không dùng nguồn một chiều.



Hình. Tách sóng biên độ nối tiếp



Hình. Tách sóng biên độ nối tiếp



Coi điện áp đầu vào của tín hiệu cần tách sóng có biên độ đủ lớn (các mạch trước đó đã khuếch đại: KĐ cao tần, KĐ trung tần), sao cho đặc tuyến V-A của D có thể coi như đường thẳng:

$$i = S \cdot u_D \text{ khi } u_D \geq 0$$

$$0 \text{ khi } u_D < 0$$

Ví dụ tính toán cho sơ đồ nối tiếp:

$$+ i_D = S \cdot u_D = S(u_{db} - u_c), \text{ trong đó } u_{db} = U_{db} \cos \omega_s t = U_T(1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_s t$$

$$\Rightarrow i_D = S \cdot u_D = S(U_{db} \cos \omega_s t - u_c) \quad (6)$$

Tại $\omega_s t = \theta$ (góc cắt tín hiệu), thì $i_D = 0$, thay vào (6), ta có

$$0 = S(U_{db} \cos \theta - u_c) \quad (7)$$

$$\Rightarrow \cos \theta = \frac{u_c}{U_{db}} \quad (8)$$

$$\text{Lấy (6)-(7), ta được } i_D = S \cdot u_D = S(U_{db} \cos \omega_s t - \cos \theta) \quad (9)$$

+ Mặt khác, dòng qua D là các tín hiệu biến đổi, cho nên tổng quát ta có thể khai triển theo chuỗi Fourier để đưa về dạng COS, như sau:

$$i_D = I_0 + I_1 \cos \omega_s t + I_2 \cos 2\omega_s t + I_3 \cos 3\omega_s t + \dots + I_4 \cos 4\omega_s t + \dots \quad (10)$$

$$I_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\theta i_D d\omega_s t$$

$$I_1 = \frac{2}{\pi} \int_0^\theta i_D \cos 2\omega_s t d2\omega_s t \quad (11)$$

⋮
⋮
⋮

$$I_n = \frac{n+1}{\pi} \int_0^\theta i_D \cos n\omega_s t d\omega_s t$$

Thay công thức (9) vào hệ (11), và tính toán ta được:

$$I_0 = \frac{SU_{db}}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (12)$$

$$I_1 = \frac{SU_{db}}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta) \quad (13)$$

Từ thành phần một chiều I_0 , có thể tính được điện áp ra trên tải:

$$u_c = RI_0 = R \frac{SU_{db}}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) \quad (14)$$

Và cũng xác định được góc cắt bằng cách thay (14) vào (8):

$$\cos \theta = R \frac{S}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta)$$

$$\text{tg } \theta - \theta = \frac{\pi}{RS} \quad (15)$$

Từ (15), ta thấy góc cắt tín hiệu chỉ phụ thuộc vào thông số hỗ dẫn S của diode và điện trở tải R, mà không phụ thuộc vào tín hiệu vào, như vậy tách sóng tín hiệu lớn thì tín hiệu đó không bị méo.

Tính cho $\theta=90^0$, thì $I_0 = \frac{SU_{db}}{\pi}$

$$I_1 = \frac{SU_{db}}{2}$$

...

Và $i_D = SU_{db} \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cos \omega_t t - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{4n^2 - 1} \cos 2n\omega_t t \right)$ (16)

$$i_D = S U_T (1 + m \cos \omega_s t) \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cos \omega_t t - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{4n^2 - 1} \cos 2n\omega_t t \right)$$
 (17)

Từ (17) suy ra : Phổ của tín hiệu i_D gồm các thành phần: một chiều, thành phần cơ bản ω_t , ω_s ; thành phần kết hợp: $\omega_t \pm \omega_s$; $n\omega_t \pm \omega_s$. Thông thường $\omega_t \gg \omega_s$ cho nên có thể lọc lấy thành phần hữu ích ω_s : $i_s = \frac{mSU_t}{\pi} \cos \omega_s t$, đây chính là tín hiệu hồi phục.

Trong các sơ đồ trên phải chọn hằng số thời gian $\tau=RC$ đủ lớn sao cho dạng điện áp trên tải (tín hiệu hồi phục), giống với tín hiệu tin tức ban đầu. Tổng quát R, C chọn theo biểu thức sau:

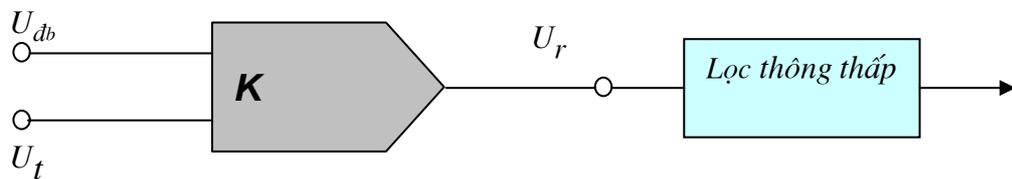
$$\frac{1}{\omega_t} \ll RC \ll \frac{1}{\omega_s}$$

Thực tế thường chọn $\frac{10}{\omega_t} < RC < \frac{1}{\omega_{smax}}$ (18), muốn dễ dàng thoả mãn

điều kiện này thì phải chọn tần số điều chế tín hiệu $\omega_t \geq 100\omega_{smax}$

Sơ đồ tách sóng song song có ưu điểm là có thể loại được thành phần một chiều DC, không cho đi ra tải (do không qua được tụ điện); nhưng lại có nhược điểm là thành phần cao tần dễ dàng đi ra tải, cần phải lọc.

b. Tách sóng biên độ dùng phần tử tuyến tính



$$u_r = \frac{KU_t^2}{2} (1 + m \cos \omega_s t)$$

Xét mạch như hình trên:

+ $u_{db} = U_t(1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_t t$: tín hiệu đầu vào bộ tách sóng

+ $u_t = U_t \cos(\omega_t t + \varphi)$: tín hiệu dao động nội

+ Trên đầu ra của mạch nhân ta có:

$$u_r = K \cdot u_t \cdot u_{db} = K [U_t(1 + m \cos \omega_s t) \cos \omega_t t] [U_t \cos(\omega_t t + \varphi)]$$

$$=K.U_i(1+m\cos\omega_s t) [\cos\omega_t][U_i\cos(\omega_t +\varphi)]$$

$$\Rightarrow u_r = \frac{KU_i^2}{2}(1+m\cos\omega_s t)[\cos\varphi + \cos(2\omega_t + \varphi)] \quad (19)$$

Sau khi qua mạch lọc thông thấp, ta có được thành phần hữu ích

$$u_r = \frac{KU_i^2}{2}(1+m\cos\omega_s t)\cos\varphi \quad (20)$$

Nhận xét: + Muốn tách sóng được, điện áp u_i tại đầu vào thứ 2 của mạch nhân phải có tần số bằng tần số của tải tin đã điều chế, điều này làm phương pháp này trở nên phức tạp về vấn đề đồng bộ, ngay pha của tín hiệu dao động nội cũng cần phải có được đồng bộ với pha tín hiệu vào:

- Khi $\varphi=\pm 90$, thì $\cos\varphi=0$ tức là không có tín hiệu ra điều chế
- Khi $\varphi=0$, thì $\cos\varphi=1$ biên độ tín hiệu ra cực đại
- Khi $\varphi=180$, thì $\cos\varphi=-1$ biên độ tín hiệu ra cực tiểu

Vì vậy loại này còn gọi là tách sóng đồng bộ.

+ Thực tế mạch nhân không đối xứng hoàn toàn(vẫn có giá trị lệch không), cho nên thành phần tín hiệu ra vẫn có tải tần với biên độ nhỏ, cho nên vẫn cần thêm những mạch lọc để loại bỏ thành phần này. Tuy nhiên so với phương pháp dùng D thì nó chứa ít thành phần hài hơn.

c. Hiện tượng phách và chèn ép trong tách sóng biên độ

Trong hệ thống vô tuyến, tại đầu vào của máy thu, bên cạnh tín hiệu cao tần của kênh cần thu, còn có tín hiệu nhiễu từ các kênh khác hoặc nguồn nhiễu nào đó. Chúng kết hợp với nhau sinh ra hiện tượng phách và chèn ép trong bộ tách sóng biên độ.

1. Hiện tượng phách.

- Giả thiết các điện áp đặt vào bộ tách sóng biên độ:

$$u_1 = U_1 \cos \omega_1 t$$

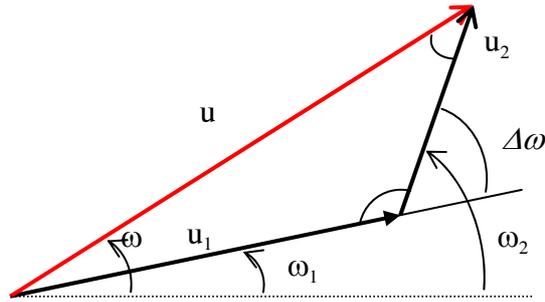
$$u_2 = U_2 \cos \omega_2 t$$

Do đó điện áp tổng :

$$\vec{u} = \vec{u}_1(t) + \vec{u}_2(t) = U(t)\cos\omega t = U(t)\cos[\omega_1 t + \varphi(t)] \quad (21)$$

Vì u_1 và u_2 có tần số không cố định, nên biên độ của véc tơ tổng không cố định. Tại một thời điểm bất kỳ ta có véc tơ tổng \vec{u} như trên hình:

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$$



Áp dụng hệ thức lượng trong tam giác thường ta tìm được:

$$U(t) = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos(180 - \Delta\omega t)} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos \Delta\omega t} \quad (22)$$

$$\varphi(t) = \arctg \frac{U_2 \sin \Delta\omega t}{U_1 + U_2 \cos \Delta\omega t} \quad (23)$$

Vì bộ tách sóng biên độ không có phản ứng đối với pha của điện áp

đặt vào, nên để xem xét kết quả ra trên bộ tách sóng không cần

quan tâm đến $\varphi(t)$.

Nếu giả thiết bộ tách sóng biên độ không có quán tính đối với tần số

hiệu $\Delta\omega$ nghĩa là $\frac{1}{\Delta\omega.C} \gg R$ thì điện áp ra trên tải bộ tách sóng

theo định nghĩa:

$$\begin{aligned} U_{RTS} &= K_{TS} U_{VTS} = K_{TS} U(t) \\ &= K_{TS} U_1 \sqrt{1 + \frac{U_2^2}{U_1^2} + 2 \frac{U_2}{U_1} \cos(\Delta\omega t)} \end{aligned} \quad (24)$$

Như vậy, điện áp ra biến thiên theo tần số hiệu $\Delta\omega$, ta gọi hiện tượng này là hiện tượng phách.

Hiện tượng phách được ứng dụng trong điện báo đẳng biên. Tín hiệu báo đẳng biên sau khi tách sóng là điện áp một chiều, do đó nó không có tác dụng đối với tai nghe. Vì vậy để tách sóng tín hiệu điện báo đẳng biên có tần số ω_1 , còn đưa thêm tín hiệu ngoại sai có tần số ω_2 vào bộ tách sóng sao cho $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ nằm trong phạm vi âm tần để tai ta có thể nhận biết được.

2. Hiện tượng chèn ép.

Trường hợp hai dao động tác động lên bộ tách sóng có biên độ chênh lệch nhau nhiều thì hiện tượng phách trở thành hiện tượng chèn ép.

Trong biểu thức (24), đặt

$$x = \frac{U_2^2}{U_1^2} + 2 \frac{U_2}{U_1} \cos \Delta\omega t. \quad (25)$$

Nếu giả thiết $U_2 \ll U_1$ thì $x \ll 1$.

Áp dụng biểu thức gần đúng ($\sqrt{1+x} \approx (1+x)^{1/2}$ khi $x \ll 1$), ta có thể viết lại biểu thức (25) như sau:

$$\begin{aligned}
 U(t) &= K_{TS} U_1 \sqrt{1+x} \approx K_{TS} U_1 \left(1 + \frac{U_2^2}{2U_1^2} + \frac{U_2}{U_1} \cos \Delta \omega t\right) \\
 &= K_{TS} \left(U_1 + \frac{U_2^2}{2U_1} + U_2 \cos \Delta \omega t \right) \\
 &= K_{TS} \left(U_1 + \frac{U_2^2}{2U_1} + U_2 \cos \Delta \omega t \right) \quad (26)
 \end{aligned}$$

Từ (26) suy ra tín hiệu ra đối với từng tín hiệu vào u_1 và u_2

$$U_{RTS1} = K_{TS} U_1 \Rightarrow K_{TS1} = K_{TS} \quad (27)$$

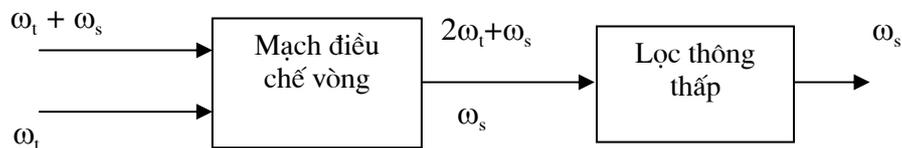
$$U_{RTS2} = K_{TS} \frac{U_2^2}{2U_1} \Rightarrow K_{TS2} = K_{TS} \frac{U_2^2}{2U_1} \quad (28)$$

Khi $U_1 \gg U_2 \Rightarrow K_{TS1} \gg K_{TS2}$, tức là khi tách sóng biên độ có hai dao động cao tần có biên độ khác nhau nhiều, thì trong quá trình tách sóng xuất hiện chèn ép: tín hiệu biên độ lớn sẽ chèn ép tín hiệu có biên độ lớn.

C. Tách sóng tín hiệu đơn biên

Tách sóng tín hiệu đơn biên được thực hiện nhờ mạch điều chế vòng.

Tín hiệu đơn biên với tần số $\omega_t + \omega_s$ và tín hiệu tải tin phụ với tần số ω_t lấy từ bộ dao động nội, được đưa vào 2 đầu vào của mạch điều chế vòng (xem mạch điều chế vòng ở phần điều chế đơn biên). Tại đầu ra sẽ có 2 tín hiệu: tần số thấp ω_s và tín hiệu tần số cao $2\omega_t + \omega_s$



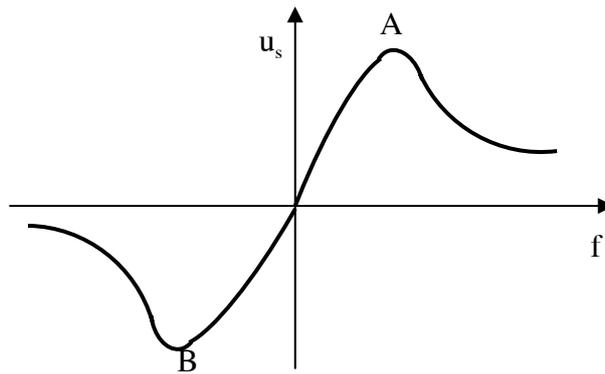
Mạch lọc thông thấp sẽ loại bỏ thành phần tần số cao, con lại là hữu ích ω_s

Cũng như phương pháp tách sóng đồng bộ, vấn đề là phải tạo ra được sự đồng bộ về tần số giữa tín hiệu tải tin và tín hiệu dao động nội. Để giải quyết vấn đề này, tiến hành lọc lấy tải tin đã bị nén (thường căn cứ vào tín hiệu pilot), rồi khuếch đại để có được tín hiệu dao động nội cần thiết

III. TÁCH SÓNG TÍN HIỆU ĐIỀU TẦN

- Tách sóng tín hiệu điều tần là quá trình biến đổi độ lệch tần số tức thời của tín hiệu đã điều tần so với tần số trung bình thành biến thiên điện áp ở đầu ra.

- Đặc tuyến truyền đạt bộ tách sóng điều tần là mối quan hệ giữa điện áp biến đổi đầu ra và biến thiên tần số vào:



Để hạn chế méo phi tuyến, phải chọn đoạn đặc tuyến gần tuyến tính AB.

- Tách sóng tần số và tách sóng pha, thường thực hiện theo 3 cách sau:

+ Biến tín hiệu điều tần và tín hiệu điều pha thành tín hiệu điều biên, rồi thực hiện tách sóng biên độ.

+ Biến tín hiệu điều tần thành tín hiệu điều chế độ rộng xung, rồi thực hiện tách sóng tín hiệu điều chế độ rộng xung nhờ mạch tích phân.

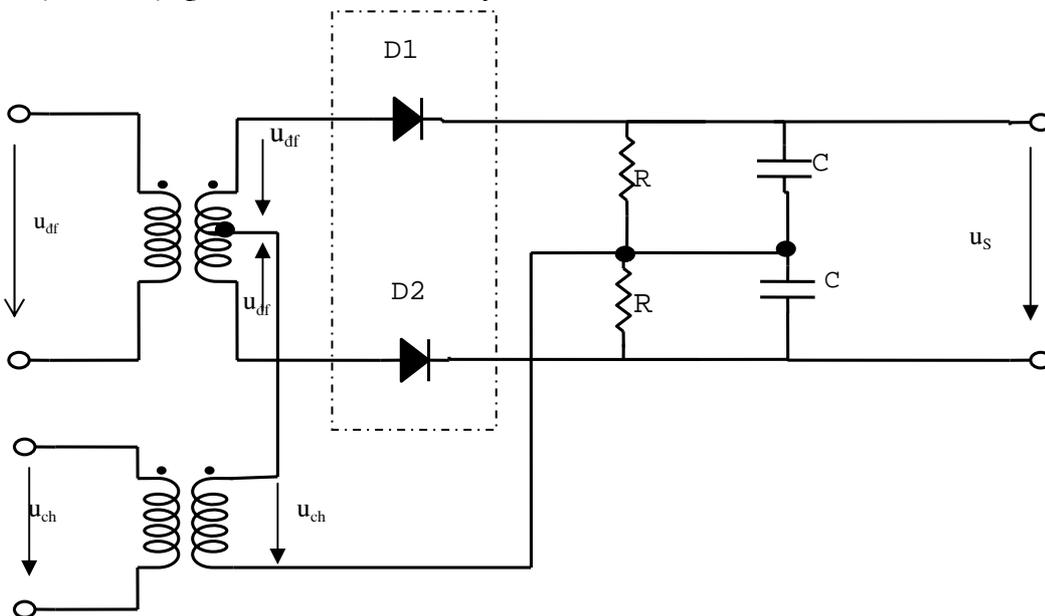
+ Dùng bộ vòng khoá pha PLL, tín hiệu dao động nội của PLL bám theo tín hiệu điều tần, sai số chính là tín hiệu cần tách.

Sau đây là một số mạch điện dùng các phương pháp trên

a. Mạch tách sóng biên độ để tách sóng tần số:

→ Mạch tách sóng pha cân bằng dùng diode:

Mạch có dạng như hình vẽ dưới đây:

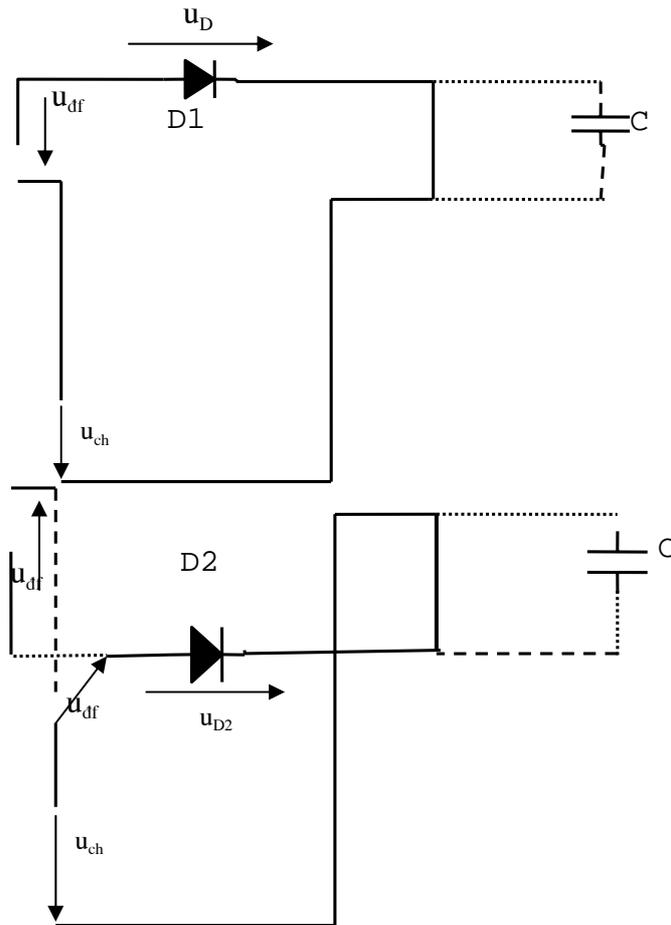


. Mạch biên độ tách sóng pha dùng D

Tín hiệu cần tách sóng là tín hiệu điều pha u_{df} , nó được so sánh về pha với tín hiệu chuẩn u_{ch} .

$$\text{Giả thiết: } u_{df} = U_1 \cos(\omega_{01}t + \varphi(t) + \varphi_{01}) = U_1 \cos \varphi_1(t)$$

$$u_{ch} = U_2 \cos(\omega_{02}t + \varphi_{02}) = U_2 \cos \varphi_2(t)$$

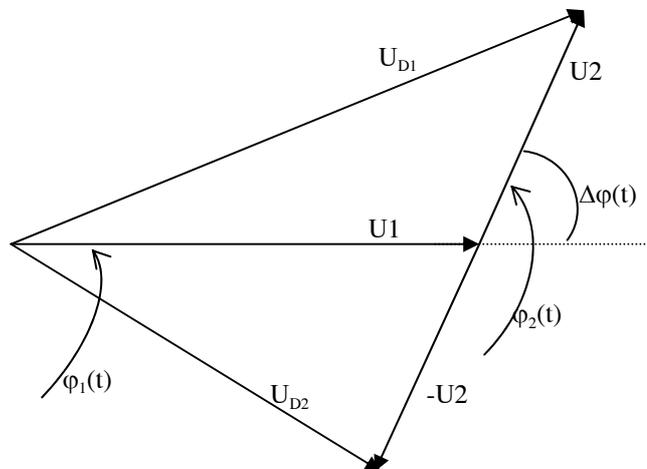


Điện áp trên các D: biến áp tại cửa u_{df} tạo 2 tín hiệu u_{df} đảo pha; hai tụ điện dung để ngăn tín hiệu xoay chiều u_{ch} , u_{df} (hình trên)

$$D1: u_{D1} = u_{df} + u_{ch}$$

$$D2: u_{D2} = -u_{df} + u_{ch}$$

Tín hiệu giải điều chế được giải thích theo kiểu vector như sau:



Áp dụng công thức hàm số cosin cho các tam giác, ta tính được:

$$u_{D1} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos(180 - \Delta\varphi(t))} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi(t)} \quad (29)$$

$$u_{D2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi(t)} \quad (30)$$

$$\Rightarrow u_s = K_{TS} \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi(t)} \quad (31)$$

$$\Rightarrow u_s = K_{TS} \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi(t)} \quad (32)$$

⇒ Điện áp ra bộ tách sóng:

$$u_s = u_{s1} - u_{s2} = K_{TS} [\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi(t)} - \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi(t)}] \quad (33)$$

tức là $u_s = f(\Delta\varphi(t))$, ta nói điện áp ra phụ thuộc vào độ lệch tần số và pha tín hiệu vào.

Trong công thức (33): $\Delta\varphi(t) = (\omega_{01} - \omega_{02})t + \varphi(t) + \varphi_{01} - \varphi_{02}$ (34)

Và: K_{TS} là hệ số tách sóng, các tính toán đã chỉ ra

$$K_{TS} = u_s / mU_t$$

+ Nếu $\omega_{01} = \omega_{02}$ và $\varphi_{01} = \varphi_{02}$, thì điện áp chỉ $\Delta\varphi(t) = \varphi(t)$, tức là điện áp ra chỉ phụ thuộc vào pha của tín hiệu vào- Ta có mạch tách sóng pha

+ Tương tự $\varphi(t) = 0$, ta có mạch tách sóng tần số.

+ Thực tế tín hiệu điều chế thường là kết hợp cả pha và tần cho nên tổng quát có thể dùng phương pháp này để giải điều chế tín hiệu.

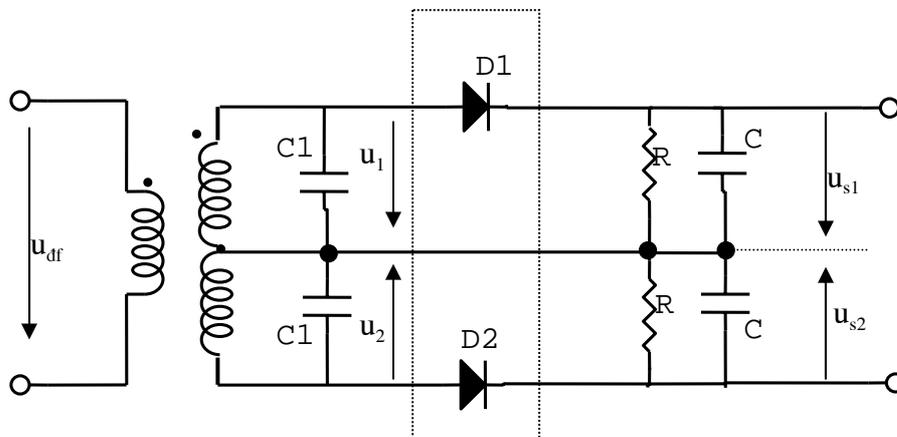
↔ Mạch tách sóng tần số dùng mạch lệch cộng hưởng

Hình dưới đây là bộ tách sóng tần số dùng mạch lệch cộng hưởng, đầu vào hai bộ tách sóng biên độ D1 và D2, chúng chính là hai mạch cộng hưởng được điều chỉnh cộng hưởng tại các tần số ω_1, ω_2

Gọi tần số trung tâm của tín hiệu vào là $\omega_0 = \omega_t$, ta có:

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega_0$$

$$\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega_0$$



Sự điều chuẩn mạch cộng hưởng lệch khỏi tần số trung bình của tín hiệu vào làm biên độ điện áp vào của hai bộ tách sóng biên độ U_1, U_2 thay đổi phụ thuộc vào tần số điện áp tín hiệu vào.

$$U_1 = m U_{dt} Z_1 \quad (36)$$

$$U_2 = m U_{dt} Z_2 \quad (37)$$

Trong đó $m=M/L$ gọi là hệ số ghép của biến áp, Z_1, Z_2 là trở kháng của hai mạch cộng hưởng 1 và 2, được tính như sau:

$$Z_1 = \frac{R_{td1}}{\sqrt{1 + [2Q_1 \frac{\omega - \omega_1}{\omega_1}]^2}} = \frac{R_{td1}}{\sqrt{1 + [\xi_0 - \xi]^2}} \quad (38)$$

$$Z_2 = \frac{R_{td2}}{\sqrt{1 + [2Q_1 \frac{\omega - \omega_2}{\omega_2}]^2}} = \frac{R_{td2}}{\sqrt{1 + [\xi_0 + \xi]^2}} \quad (39)$$

R_{td1}, R_{td2} là trở kháng cộng hưởng của 2 mạch

Q_1, Q_2 : hệ số phẩm chất của các mạch

Chọn hai mạch cộng hưởng như nhau, ta có $R_{td1} = R_{td2} = R$

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

Ta có được kết quả: $\xi_0 = \frac{2Q|\omega_0 - \omega_{1,2}|}{\omega_0}$ và $\xi_1 = \frac{2Q|\omega - \omega_{1,2}|}{\omega_0}$

ξ_0 : Là độ lệch tần số tương đối giữa tần số cộng hưởng riêng của mạch dao động và tần số trung bình của tín hiệu vào

ξ_1 : Là độ lệch tần số tương đối giữa tần số tín hiệu vào và tần số trung bình của tín hiệu vào.

$$u_{s1} = K_{TS} U_1 = K_{TS} m U_{dt} Z_1 = K_{TS} m U_{dt} \frac{R_{td1}}{\sqrt{1 + [\xi_0 - \xi]^2}}$$

$$u_{s2} = K_{TS} U_2 = K_{TS} m U_{dt} Z_2 = K_{TS} m U_{dt} \frac{R_{td2}}{\sqrt{1 + [\xi_0 + \xi]^2}}$$

Điện áp ra (hình vẽ):

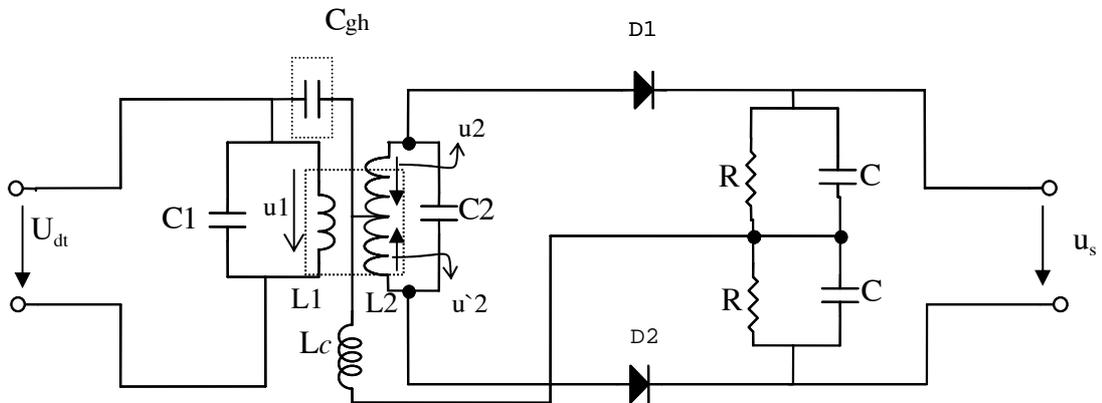
$$u_s = u_{s1} - u_{s2} = K_{TS} m U_{dt} \left[\frac{R_{td1}}{\sqrt{1 + [\xi_0 - \xi]^2}} - \frac{R_{td2}}{\sqrt{1 + [\xi_0 + \xi]^2}} \right] \quad (40)$$

(40) là biểu thức nói lên quan hệ giữa điện áp ra tách sóng và tần số tín hiệu vào tách sóng.

Phương pháp này có nhược điểm là khó chọn được 2 mạch cộng hưởng giống nhau (về tham số), cho nên ít dùng.

➤ Mạch tách sóng tần số dùng cộng hưởng ghép:

Mạch loại này làm việc theo nguyên tắc: biến tín hiệu điều tần thành tín hiệu điều pha, sau đó dùng bộ tách sóng biên độ để tách sóng pha.



Bộ tách sóng tần số dùng mạch cộng hưởng ghép

Tín hiệu điều tần được ghép theo 2 hướng(hình vuông nét đứt):

- + Qua biến áp (L1, L2) đưa đến mạch dao động thứ cấp: L2, C2
- + Qua tụ C_{gh} đưa vào bộ tách sóng biên độ.

Cách lý luận mạch như ở phương pháp: Mạch biên độ tách sóng pha, ta có:

$$\begin{aligned} U_{D1} &= U_1 + U_2 \\ U_{D2} &= U_1 - U_2 \end{aligned}$$

Có 3 khả năng:

- + Khi tần số tín hiệu vào $f=f_0$ (tần số cộng hưởng của mạch sơ cấp và thứ cấp),

dòng điện qua L₁ chậm pha hơn U₁ 90⁰, được xác định: $I_{L1} = \frac{U_1}{j\omega L_1}$, I_{L1} gây ra trên

L₂ sức điện động: $E_M = j\omega M I_{L1}$, giả sử biến áp cuộn cùng chiều, tức M>0, nên E_M sớm pha hơn I_{L1} 90⁰

Bản thân E_M lại sinh ra dòng I₂ trong mạch cộng hưởng thứ cấp, và vì $f=f_0$, nên

I₂ đồng pha với E_M: $I_2 = \frac{E_M}{r}$, với r là điện trở tổn hao của mạch thứ cấp, hai điện

áp (u₂) tại đầu ra cuộn thứ cấp ngược pha nhau và lệch pha so với dòng điện I₂ là +90⁰ với điện áp u₂, và -90⁰ với điện áp u₂. Tức là 2 điện áp trên 2D là như nhau

Mặt khác:

$$\begin{aligned} u_{s1} &= K_{TS} \cdot U_{D1} \\ u_{s2} &= K_{TS} \cdot U_{D2} \Rightarrow u_s = u_{s1} - u_{s2} = K_{TS}(U_{D1} - U_{D2}) = K_{TS} \cdot 0 = 0 \end{aligned}$$

+ Khi $f > f_0$: Mạch cộng hưởng thứ cấp mang tính chất điện cảm, nên I₂ chậm pha hơn E_M, góc < 90⁰, u₂, u₂ ngược pha và vuông góc với I₂, u₁ và u₂ lệch pha một góc φ₁ và u₁ lệch pha u₂ góc (π - φ₁). Tần số tín hiệu f càng lớn hơn f₀, thì biên độ |U_{D1}| càng lớn hơn |U_{D2}|, tức là u_s = K_{TS}(U_{D1} - U_{D2}), càng lớn.

+ Khi $f < f_0$: Mạch cộng hưởng thứ cấp mang tính chất điện dung, nên I₂ sớm pha hơn E_M, góc < 90⁰. |U_{D1}| < |U_{D2}|, tức là u_s = K_{TS}(U_{D1} - U_{D2}), càng nhỏ.

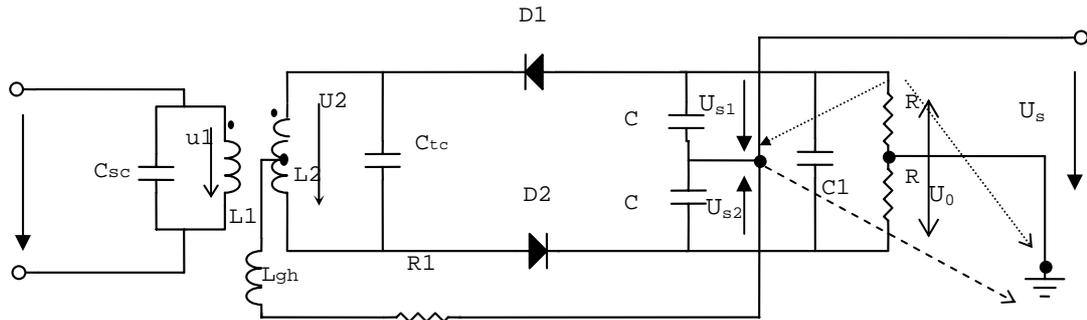
Tóm lại: khi tần số tín hiệu vào thay đổi (nhỏ hơn, lớn hơn, hay bằng với f₀), dẫn đến thay đổi độ lớn của U_{D1}, U_{D2}, làm cho điện áp ra thay đổi. Trị số điện áp ra 120

đặc trưng cho độ lệch tần số của tín hiệu vào so với tần số trung tâm.

Tách sóng dùng mạch cộng hưởng ghép ít méo và dễ điều chỉnh, vì cả 2 mạch cùng cộng hưởng với tần số f_0 . Tuy nhiên có nhược điểm là điện áp ra u_s phụ thuộc cả vào tần số và biên độ (U_1) nên nó sinh ra hiện tượng nhiễu biên độ, để khắc phục thường U_1 được hạn biên trước khi thực hiện tách sóng.

➔ *Tách sóng tỉ số*

Mạch tách sóng tỉ số có sơ đồ dưới đây, nó vừa làm nhiệm vụ tách sóng vừa hạn biên:



Sơ đồ bộ tách sóng tỉ số

Dòng điện qua D nạp điện cho C1, với hằng số thời gian $\tau = RC1$, chọn thông số sao cho $\tau = (0,1-0,2)s$, đây là giá trị khá lớn, nên C1 biên thiên chậm làm cho nhiễu biên độ giảm:

Áp dụng định luật KII cho vòng nét đứt $u_{s1} + u_s - u_R = 0$

$$\Rightarrow u_s = u_R - u_{s1}$$

$$\text{Với } u_R = \frac{U_0}{2} = \frac{u_{s1} + u_{s2}}{2} \Rightarrow u_s = \frac{u_{s1} + u_{s2}}{2} - \frac{2u_{s1}}{2} = \frac{u_{s2}}{2} - \frac{u_{s1}}{2}$$

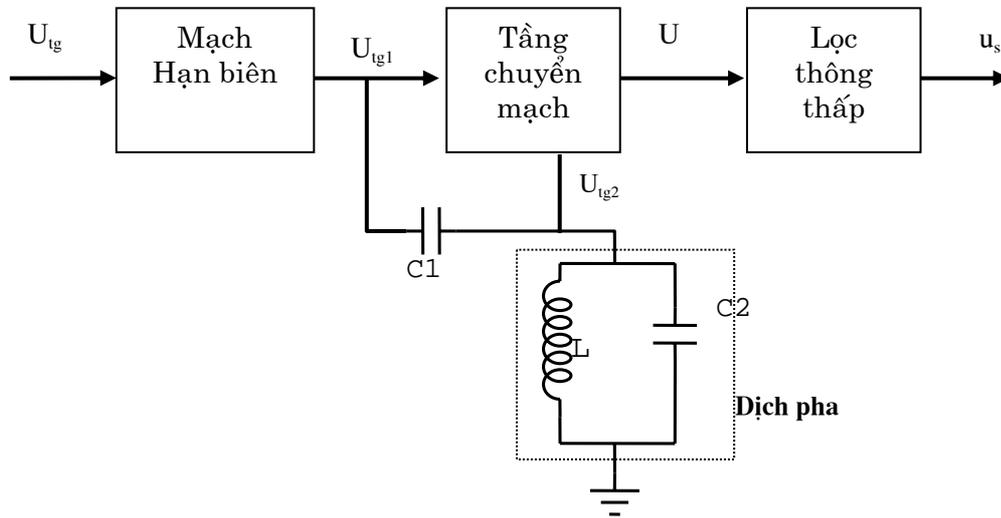
Có thể viết u_s theo dạng khác như sau:

$$u_s = \frac{u_{s2}}{2} - \frac{u_{s1}}{2} = \frac{u_{s2} - u_{s1}}{2} = \frac{u_{s2} - u_{s1}}{2} \cdot \frac{u_{s2} + u_{s1}}{u_{s2} + u_{s1}} = \frac{u_{s2} + u_{s1}}{2} \cdot \frac{u_{s2} - u_{s1}}{u_{s2} + u_{s1}} = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{u_{s2} - u_{s1}}{u_{s2} + u_{s1}}$$

$$u_s = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{u_{s2}/u_{s1} - 1}{u_{s2}/u_{s1} + 1} \quad (41)$$

Từ (41), nếu cố định U_0 , thì tín hiệu ra tách sóng u_s chỉ phụ thuộc vào tỉ số biên độ áp vào u_{s2}/u_{s1} , và bản thân u_{s1} , u_{s2} lại phụ thuộc biến thiên tần số đầu vào, tức là bộ tách sóng loại này không có phản ứng với biến thiên biên độ điện áp đầu vào (vì là tỉ lệ nên các giá trị đó sẽ chia cho nhau), nên có thể tránh được nhiễu.

➔ *Mạch tách sóng Koinridenz*



Nguyên lý mạch tách sóng Koinzidenz

Đầu vào bộ tách sóng là tín hiệu điều tần đã được hạn biên

Giả sử tín hiệu là dãy xung hình chữ nhật, có tần số trung tâm ω_{tg} , và được biểu diễn theo dạng gần đúng:

$$u_{tg1} = \frac{4}{\pi} U_{tg} \left(\cos x - \frac{1}{3} \cos 3x + \frac{1}{5} \cos 5x - \dots + \dots \right) \quad (41)$$

Trong đó: $x = \omega_{tg} t + \frac{\Delta\omega_m}{\omega_s} \sin \omega_s t$

Tín hiệu vào đồng thời được đưa đến bộ chuyển mạch và bộ di pha: trong đó bộ di pha là một khâu RC, trong đó R là trở tương đương, tính cho thời điểm cộng hưởng của mạch LC.

Khi tần số tín hiệu vào $\omega = \omega_{tg}$, thì bộ di pha thực hiện một góc di pha $\Delta\varphi = 90^\circ$, khi tần số tín hiệu vào thay đổi thì $\Delta\varphi = 90^\circ - \varphi$, φ phụ thuộc vào độ lệch tần số $\Delta\omega$. Do vậy tín hiệu ra mạch di pha:

$$u_{tg2} = k U_{tg1} \left[\sin(x - \varphi) + \frac{1}{3} \sin 3(x - \varphi) + \frac{1}{5} \sin 5(x - \varphi) - \dots + \dots \right] \quad (42)$$

k: hệ số tỉ lệ, phụ thuộc vào tham số của mạch di pha. U_{tg2} dùng để điều khiển tầng chuyển mạch.

Tầng chuyển mạch có hàm truyền đạt là dãy xung hình chữ nhật, có biểu thức tính:

$$U_2(t) = -\frac{4A}{\pi} \left[\sin(x - \varphi) + \frac{1}{3} \sin 3(x - \varphi) + \frac{1}{5} \sin 5(x - \varphi) + \dots + \dots \right] \quad (43)$$

Điện áp ra của tầng chuyển mạch: $u = u_{tg2} \cdot S_2(t)$, sau khi tính toán và bỏ thành phần tần số cao (nhờ mạch lọc thông thấp), ta có được được:

$$u_s = \frac{8}{\pi^2} AU_{tg1} [\sin \varphi - \frac{1}{9} \sin 3\varphi + \frac{1}{25} \sin 5\varphi + \dots + \dots]$$

(44)

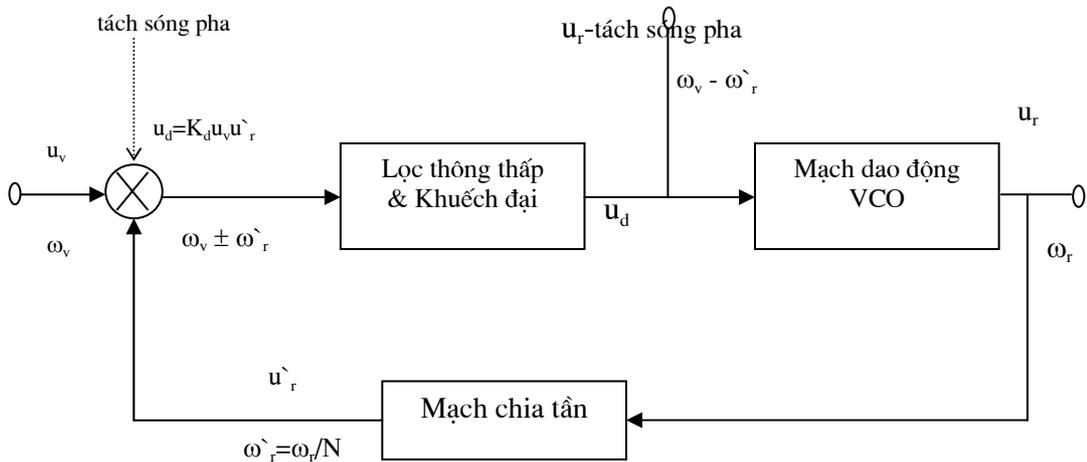
Khi $\varphi = (-\pi/2 \div \pi/2)$ Biểu thức (44) chính là chuỗi Fourier của dãy xung tam giác, điện áp ra tỉ lệ với góc pha φ , do vậy cũng tỉ lệ với biên độ điện áp điều chế.

Loại điều giải điều chế này thường dùng để tách sóng tín hiệu trong phát thanh và truyền hình.

IV. VÒNG KHÓA PHA PLL(PHASE LOCKED LOOP)

1. Cấu tạo

Vòng khóa pha PLL(Phase Locked Loop) có cấu tạo như sau:



Sơ đồ khối PLL

a. Bộ tách sóng pha:

tạo ra tín hiệu phụ thuộc vào hiệu pha của 2 tín hiệu vào, tín hiệu vào thường là hình sin hoặc xung vuông, cho nên có 2 loại chính là tách sóng pha tuyến tính (tín hiệu vào là sin), tách sóng pha số (tín hiệu vào là xung vuông).

- Bộ tách sóng pha tuyến tính: là mạch nhân tương tự (xem mạch nhân tương tự ở các chương trước), tín hiệu ra tỉ lệ với biên độ tín hiệu vào.

- Bộ tách sóng pha số: thực hiện bởi các mạch số, thuộc loại mạch tổ hợp.

b. Bộ lọc thông thấp:

Thực hiện các chức năng:

- Cho qua tín hiệu tần số thấp $\omega_v - \omega_r$, nén tần số cao $\omega_v + \omega_r$

- Đảm bảo cho vòng khóa pha PLL bắt nhanh và bám được tín hiệu vào khi tần số thay đổi, nghĩa là nó phải có tốc độ đáp ứng thoả mãn.

- Dải thông của bộ lọc phải đủ lớn để đảm bảo dải bắt cần thiết.

Thông thường trong PLL dùng bộ lọc thông thấp bậc nhất, vì có tính ổn định cao hơn bộ lọc bậc cao, và dùng lọc tích cực để tăng độ khuếch đại cho hệ thống.

c. Bộ dao động có tần số điều khiển được (xem thêm ở giao trình Kỹ thuật Xung):

Yêu cầu chung là quan hệ giữa điện áp điều khiển và tần số dao động phải tuyến tính, ngoài ra còn phải có độ ổn định cao, dải biến đổi của tần số lớn, dễ điều chỉnh, và dễ chế tạo thành vi mạch.

Về nguyên tắc có thể dùng mọi mạch tạo dao động, mà tần số dao động của nó biến thiên được trong phạm vi: ($\pm 10\% \div \pm 50\%$), xung quanh giá trị dao động tự do ω_0 .

Trong phạm vi tần số : 1Mhz \div 100 Mhz, thường dùng các bộ dao động tạo xung chữ nhật; trong phạm vi tần số : 1Mhz \div 50 Mhz, thường dùng các bộ dao động đa hài (tích thoát, mạch đa hài ghép Emitter...).

Các bộ dao động được điều khiển bởi dòng điện (CCO), ưu việt hơn các bộ dao động bởi điện áp (VCO), vì có phạm vi tuyến tính của đặc tuyến truyền đạt rộng hơn

2. Nguyên tắc hoạt động:

PLL hoạt động theo nguyên tắc vòng điều khiển, đại lượng vào và ra là các tần số, chúng được so sánh với nhau về pha. Vòng điều khiển pha có nhiệm vụ phát hiện và điều chỉnh những sai số nhỏ về tần số giữa tín hiệu vào và tín hiệu ra: làm cho tần số ω_r của tín hiệu so sánh bám theo tần số ω_v của tín hiệu vào, tần số tín hiệu so sánh bằng tần số tín hiệu ra ($\omega_r = \omega_v$), hoặc tỉ lệ với tần số tín hiệu ra ($\omega_r = \omega_v/N$).

Xét trường hợp tín hiệu vào là sin, mạch tách sóng pha là mạch nhân tương tự.

+ Khi không có tín hiệu vào, thì tín hiệu điều chỉnh $u_d = K \cdot u_v \cdot u_r = 0$, mạch VCO dao động với tần số bằng tần số dao động riêng ω_0 (tần số dao động tự do - chế độ chờ)

+ Khi có tín hiệu vào, bộ tách sóng pha sẽ so pha và tần số của tín hiệu vào và tín hiệu so sánh, đầu ra bộ tách sóng pha có $u_d = K \cdot u_v \cdot u_r$ ($\neq 0$), chứa thành phần tổng và hiệu các tần số: $\omega_v \pm \omega_r$, thành phần tổng $\omega_v + \omega_r$ bị loại bỏ nhờ mạch lọc thông thấp, chỉ còn thành phần hiệu: $\omega_v - \omega_r$, sau khi khuếch đại được dùng làm tín hiệu điều khiển bộ dao động VCO, tần số VCO thay đổi sao cho: tạo được tần số hồi tiếp ω_r có giá trị làm cho $(\omega_v - \omega_r) \rightarrow 0$.

Nếu tần số ω_v và ω_r lệch nhau quá lớn làm cho tần số tổng và hiệu nằm ngoài dải thông của mạch lọc, thì sẽ không có tín hiệu điều khiển VCO, VCO dao động với tần số ω_0 , khi ω_r tiến dần đến ω_v sao cho thành phần hiệu rơi vào dải thông của bộ lọc, VCO bắt đầu nhận tín hiệu điều khiển, khi đó ta gọi PLL làm việc trong “dải bắt” tín hiệu, vậy “dải bắt” là dải PLL thiết lập chế độ đồng bộ.

“Dải giữ” là dải PLL có thể giữ được chế độ đồng bộ khi thay đổi tần số tín hiệu vào (phụ thuộc biên độ điện áp điều khiển u_d và khả năng biến đổi tần số của VCO).

Trong dải giữ PLL là một mạch điều khiển tuyến tính, theo các giả thiết trên và chọn hệ số chia tần $N=1$, ta có

$$u_d = K u_v u_r = K U_v U_r \sin \omega_v t \sin(\omega_r t + \varphi_r) \quad (1)$$

$$= \frac{K U_v U_r}{2} [\cos((\omega_v - \omega_r)t - \varphi_r) - \cos((\omega_v + \omega_r)t + \varphi_r)] \quad (2)$$

Nhờ bộ lọc thông thấp, tín hiệu đưa đến VCO còn:

$$u_d = K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2} |G(j(\omega_v - \omega_r'))| \cos((\omega_v - \omega_r')t - \varphi_r) \tag{3}$$

$$= K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2} |G(j(\omega_v - \omega_r'))| \cos \varphi(t)$$

Trong đó K_d ; $|G|$ là hệ số và module truyền đạt của mạch lọc thông thấp
 Tại xung quanh điểm làm việc tĩnh, tần số VCO tỉ lệ với giá trị trung bình của u_d , do vậy có thể viết

$$\Delta\omega_B = \omega_r - \omega_0 = K_0 u_d = K_0 K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2} |G(j(\omega_v - \omega_r'))| \cos \varphi(t)$$

$$\Rightarrow \Delta\omega_{Bmax} = K_0 K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2} |G(j(\omega_v - \omega_r'))| \text{ và dải bắt chính là } 2\Delta\omega_{Bmax}$$

Khi ω_v là hằng số thì PLL đã chuyển sang quá trình giữ, hiệu pha giữa 2 tín hiệu u_r' và u_v không đổi ($\omega_v = \omega_r'$), từ phương trình trên =>

$$u_d = K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2} \cos \varphi_r \text{ là giá trị một chiều.}$$

Do vậy tần số thay đổi một lượng: $\Delta\omega_G = \omega_r - \omega_0 = \omega_v - \omega_0 = K_0 u_d$

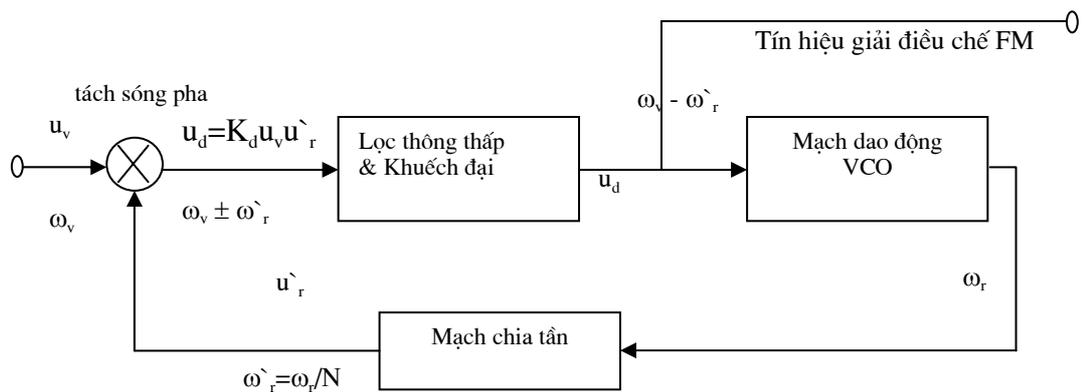
$$\Delta\omega_G = K_0 K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2} \cos \varphi_r \Rightarrow \Delta\omega_{Gmax} = K_0 K_d \cdot K \frac{U_v U_r}{2}$$

$2\Delta\omega_{Gmax}$ chính là dải giữ của PLL.

3. Ứng dụng của PLL

PLL đóng vai trò trong kỹ thuật truyền số liệu, kỹ thuật vô tuyến điện, kỹ thuật đo lường điện tử... nó được dùng nhằm biến đổi tần số, sau đây là các ứng dụng cụ thể:

a. **Tách sóng tín hiệu điều tần:** Khi chọn tần số dao động tự do $\omega_0 = \omega_t$ (tần số tải tần), thì u_d chính là tín hiệu cần tách sóng.



Mạch giải điều chế FM dùng PLL

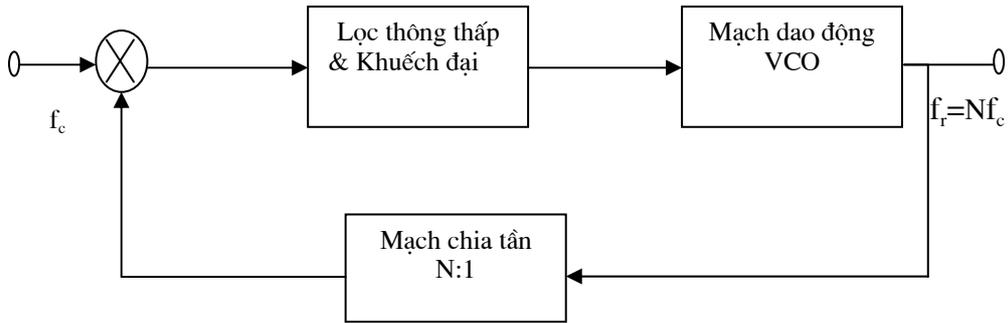
b. **Điều chế tín hiệu số theo kiểu khoá dịch tần (FSK):** dùng MODEM để truyền tín hiệu số trên đường điện thoại (tương tự), có thể dùng phương pháp khoá dịch tần FSK, hai bit 1, và 0 được khoá theo 2 tần số khác nhau, ví dụ 950hz=0;

1050hz=1, PLL được cấu tạo sao cho tần số dao động tự do ω_0 nằm giữa 2 tần số điều chế, để ω_0 bám theo một trong 2 tần số, điện áp ra tỉ lệ với tần số vào, ví dụ với bit 1(1050hz), điện áp u_d lớn, bit 0(950hz), tín hiệu u_d nhỏ ≈ 0 . Như vậy u_d biểu diễn tín hiệu nhị phân, hay PLL điều chế tín hiệu nhị phân, tín hiệu này có thể truyền trên đường tương tự.

c. Tổng hợp tần số:

- Nhân tần: $f_0=N.f_c$; f_c : tần số chuẩn

tách sóng pha



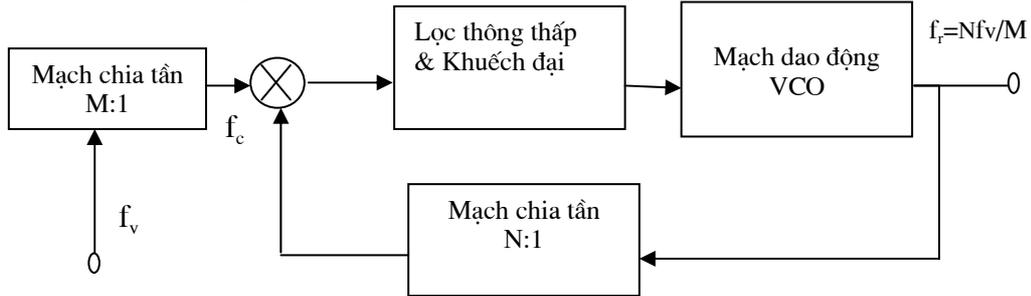
Mạch nhân tần dùng PLL

- Mạch tổng hợp tần số: cấu tạo và nguyên tắc giống mạch nhân tần chỉ khác tần số chuẩn trước khi đưa vào bộ tách sóng pha được chia tần với hệ số chia M, khi đó $f_c=f_v/M$,

Như vậy tần số ra được xác định : $f_r=Nf_c=\frac{N}{M} f_c$ khi chương trình hoá sự

thay đổi các tham số N và M có thể nhận được chuỗi tần số có giá trị khác nhau từ tần số ban đầu f_v

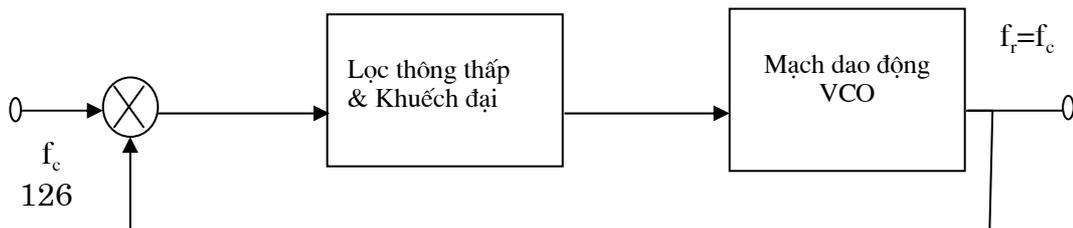
tách sóng pha



Mạch tổng hợp tần số dùng PLL

- Đồng bộ tần số: dùng để đồng bộ tần số ra với một tần số vào:

tách sóng pha



Mạch đồng bộ tần số dùng PLL

CHƯƠNG 9. TRỘN TẦN

I. KHÁI NIỆM

1. Định nghĩa:

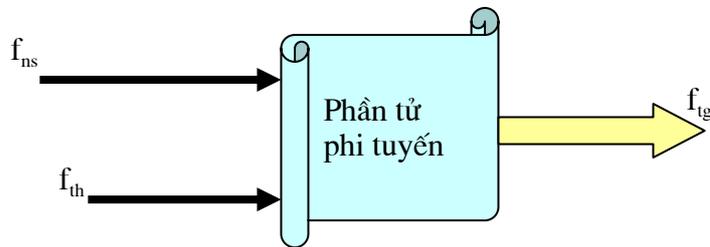
Trộn tần là quá trình tác động lên 2 tín hiệu sao cho trên đầu ra bộ trộn tần ta nhận được các thành phần tần số tổng và hiệu của 2 tín hiệu đó.

Thông thường một trong hai tín hiệu là tín hiệu 1 vạch phổ, gọi là tín hiệu ngoại sai: . Tín hiệu còn lại là tín hiệu hữu ích có tần số cố định hoặc biến thiên trong phạm vi nào đó, ký hiệu f_{th} .

Có nhiều tín hiệu của quá trình trộn tần, nhưng thường chỉ lấy thành phần mong muốn, ký hiệu là f_{tg}

Công cụ thực hiện: thông qua các phần tử tuyến tính và phi tuyến

2. Nguyên lý trộn tần:



Giả sử phần tử phi tuyến, được biểu diễn theo chuỗi Taylor:

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + \dots + a_n u^n + \dots \quad (1)$$

u: điện áp đặt lên phần tử phi tuyến $u = u_{ns} + u_{th}$

$$u = u_{ns} + u_{th} = U_{ns} \cos \omega_{ns} t + U_{th} \cos \omega_{th} t \quad (2)$$

$$\Rightarrow i = a_0 + a_1 (U_{ns} \cos \omega_{ns} t + U_{th} \cos \omega_{th} t) + a_2 (U_{ns} \cos \omega_{ns} t + U_{th} \cos \omega_{th} t)^2 + a_3 (U_{ns} \cos \omega_{ns} t + U_{th} \cos \omega_{th} t)^3 + \dots + a_n (U_{ns} \cos \omega_{ns} t + U_{th} \cos \omega_{th} t)^n + \dots \quad (3)$$

Sau khi khai triển ta có:

$$i = a_0 + a_1 (U_{ns} \cos \omega_{ns} t + U_{th} \cos \omega_{th} t) + a_2/2 (U_{ns}^2 + U_{th}^2) + a_2/2 (U_{ns}^2 \cos 2\omega_{ns} t + U_{th}^2 \cos 2\omega_{th} t) + a_2 U_{ns} U_{th} [\cos(\omega_{ns} + \omega_{th})t + \cos(\omega_{ns} - \omega_{th})t] + \dots \quad (4)$$

→ các tín hiệu ra gồm các thành phần:

+ Thành phần cơ bản: ω_{ns}, ω_{th}

+ Thành phần tổng hiệu: $\omega_{ns} \pm \omega_{th}$

+ Thành phần bậc 2: $2\omega_{ns}, 2\omega_{th}$

$$\Rightarrow \omega = |\pm n\omega_{ns} \pm m\omega_{th}|$$

Căn cứ vào tham số chọn mà có các loại trộn tần khác nhau:

+ Trộn tần đơn giản, $n=m=1, \omega = \omega_{ns} \pm \omega_{th}$

+ Trộn tần tổ hợp: $n, m > 1$.

Thường dùng trộn tần đơn giản

3. Phân loại

- Theo phần tử tích cực dùng trộn tần: Tuyến tính và phi tuyến
- Theo sơ đồ trộn tần: sơ đồ dùng diode, dùng transistor.

4. ứng dụng:

Dùng trong máy thu đổi tần để tạo ra tần số trung tần, trong các hệ thống thông tin định hướng....

II. HỆ PHƯƠNG TRÌNH ĐẶC TRƯNG:

Dòng điện đi vào và ra bộ trộn tần phụ thuộc vào tất cả các điện áp đặt lên nó, tức là:

$$i_r = f(u_{ns}, u_{th}, u_{tg}), \text{ tổng quát: } + u_{ns} = U_{ns} \cos \omega_{ns} t \\ + u_{th} = U_{th} \cos \omega_{th} t \\ + u_{tg} = U_{tg} \cos \omega_{tg} t$$

Thường $U_{th}, U_{tg} \ll U_{ns}$, nên có thể biểu diễn gần đúng dòng điện ra theo chuỗi Taylor, với kết quả bỏ qua các số bậc cao:

$$I_r = f(u_{ns}) + \frac{\partial f(u_{ns})}{\partial u_{ns}} u_{th} + \frac{\partial f(u_{ns})}{\partial u_{ns}} u_{tg} = i_{ns} + s(u_{ns}) u_{th} + g(u_{ns}) u_{tg} \quad (5)$$

Vì u_{ns} là hàm tuần hoàn theo thời gian. Nên $i_{ns}, s(u_{ns}), g(u_{ns})$ cũng tuần hoàn theo thời gian, các giá trị này bao gồm nhiều thành phần.

$$i_{ns}(u_{ns}) = I_0 + I_1 \cos \omega_{ns} t + I_2 \cos 2\omega_{ns} t + I_3 \cos 3\omega_{ns} t + \dots$$

$$s(u_{ns}) = S_0 + S_1 \cos \omega_{ns} t + S_2 \cos 2\omega_{ns} t + S_3 \cos 3\omega_{ns} t + \dots$$

$$g(u_{ns}) = G_0 + G_1 \cos \omega_{ns} t + G_2 \cos 2\omega_{ns} t + G_3 \cos 3\omega_{ns} t + \dots$$

Thay các giá trị này vào (5), ta được:

$$i_r = \sum_0^{\infty} I_n \cos n\omega_{ns} t + \frac{1}{2} U_{th} \sum_0^{\infty} S_n [\cos(n\omega_{ns} + \omega_{th})t + \cos(n\omega_{ns} - \omega_{th})t] \\ + \frac{1}{2} U_{tg} \sum_0^{\infty} G_n [\cos(n\omega_{ns} + \omega_{tg})t + \cos(n\omega_{ns} - \omega_{tg})t] \quad (6)$$

từ (6) => tín hiệu ra có các thành phần: $n\omega_{ns} \pm \omega_{th}$; $n\omega_{ns} \pm \omega_{tg}$; $n\omega_{ns}$; nếu lấy các số hạng cao của chuỗi Taylor thì còn có các thành phần $n\omega_{ns} \pm m\omega_{th}$; $n\omega_{ns} \pm m\omega_{tg}$; $n\omega_{th}$; $m\omega_{tg}$.

$$\text{Đặt } \omega_{tg} = n\omega_{ns} \pm \omega_{th}, \text{ từ (6) có } i_r = \frac{1}{2} U_{th} S_n \cos \omega_{tg} t + U_{tg} G_n \cos \omega_{tg} t \quad (7)$$

$$\Rightarrow I_{tg} = \frac{1}{2} U_{th} S_n + U_{tg} G_n \quad (8)$$

(8) gọi là phương trình biến đổi thuận của bộ trộn tần, trong đó:

$$+ S_n \text{ là biên độ hài bậc } n \text{ của hàm } s = \frac{\partial f(u_{ns})}{\partial u_{ns}}$$

$$+ G_n \text{ là thành phần một chiều của hàm } s = \frac{\partial f(u_{ns})}{\partial u_{ns}}, \text{ đặc trưng cho sự thay đổi điện}$$

dẫn trong của bộ trộn tần với thành phần tần số trung gian..

Giống như dòng ra, dòng vào i_v cũng phụ thuộc các tín hiệu:

$$i_v = f(u_{ns}, u_{th}, u_{tg}) \text{ với } U_{th}, U_{tg} < U_{ns}$$

$$\text{Cũng giống như cách phân trên } I_{th} = \frac{1}{2} U_{tg} S_m + U_{th} G_m \quad (9)$$

+ S_m là biên độ thành phần bậc m ($=n$ trên) của hồ dẫn biến đổi ngược

$$S_{ng} = \frac{\partial f(u_{ns})}{\partial u_{ns}}$$

$$+ G_m \text{ là thành phần một chiều của điện dẫn vào } g_m = \frac{\partial f(u_{ns})}{\partial u_{ns}}$$

Từ (8) và (9) có thể suy ra các tham số của bộ trộn tần :

+ Hồ dẫn trộn tần: $S_{tt} = \frac{I_{tg}}{U_{th}} \Big|_{U_{tg}=0} = \frac{1}{2} S_n$

+ Điện dẫn trộn tần: $G_{tt} = \frac{I_{tg}}{U_{tg}} \Big|_{U_{th}=0} = G_n$

+ Hệ số khuếch đại tĩnh: $\mu_{tt} = \frac{U_{tg}}{U_{th}}$

+ Hồ dẫn trộn tần ngược: $S_{tng} = \frac{I_{th}}{U_{tg}} \Big|_{U_{tg}=0} = \frac{1}{2} S_m$

+ Điện dẫn (trong khi có hiện tượng trộn tần ngược): $G_{ng} = \frac{I_{th}}{U_{th}} \Big|_{U_{tg}=0} = G_m$

+ Hệ số khuếch đại tĩnh (khi đổi tần ngược): $\mu_{ng} = \frac{U_{th}}{U_{tg}}$

=> có thể viết các biểu thức (8) và(9) theo quan điểm mạng 4 cực:

$$\begin{cases} I_{tg} = S_{tt}U_{th} + G_{tt}U_{tg} \\ I_{th} = S_{tng}U_{tg} + G_mU_{th} \end{cases} \quad (10)$$

III. NHIỀU TRONG MẠCH TRỘN TẦN

Như đã phân tích, khi đặt lên đầu vào mạch trộn tần điện áp tín hiệu với tần số $f=f_{th}$, nhờ tính chọn lọc của tải, trên đầu ra có thành phần điện áp với tần số $f_{tg}=|nf_{ns} \pm mf_{th}|$ (11)

Tuy nhiên cũng có những thành phần tần số khác f_{th} thỏa mãn điều kiện(11), nên nó được đưa đến đầu ra bộ trộn tần và gây ra nhiễu trong bộ trộn tần đó.

Giả thiết chọn $m = n = 1 \Rightarrow f_{tg} = f_{ns} - f_{th}$, biểu thức tổng quát của tín hiệu trung gian:

$$f_{tg} = |nf_{ns} \pm mf_v| \quad (12)$$

Tất cả các tín hiệu có tần số f_v thỏa mãn điều kiện (12) đều có thể đến được đầu ra bộ trộn tần, khai triển (12) ta nhận được:

$$\begin{cases} f_{tg} = nf_{ns} \pm mf_v ; f_{tg} = -nf_{ns} - mf_v \\ f_{tg} = nf_{ns} - mf_v ; f_{tg} = -nf_{ns} + mf_v \end{cases} \quad (13)$$

+ $f_{tg} = nf_{ns} \pm mf_v$, nếu $f_{tg} > f_{ns}$ nó không thỏa mãn điều kiện tần số trung gian đã chọn

+ $f_{tg} = -nf_{ns} - mf_v$, nếu $f_{tg} < 0$, không có nghĩa.

+ Vậy chỉ có 2 phương trình $f_{tg} = nf_{ns} - mf_v$; $f_{tg} = -nf_{ns} + mf_v$, là thỏa mãn=>

$$f_v = \frac{n}{m} f_{ns} \pm \frac{1}{m} f_{tg} \quad (14)$$

m, n là những số nguyên dương, chỉ quan tâm đến những tần số m, n nhỏ vì những tần số m, n lớn biên độ không đáng kể. Cụ thể ta có các trường hợp sau:

- $n=0; m=1$, tức là $f_{tg} = f_v$, ta có nhiễu lọt thẳng.
- $n=1; m=1$, $f_v = f_{ns} \pm f_{tg}$: + $f_v = f_{ns} - f_{tg}$, đây chính là tần số tín hiệu vào: f_{th} nên không coi là nhiễu.
+ $f_v = f_{ns} + f_{tg}$, gọi là nhiễu ảnh
- $m=1; n=2$, tức là $f_v = 2f_{ns} \pm f_{tg}$

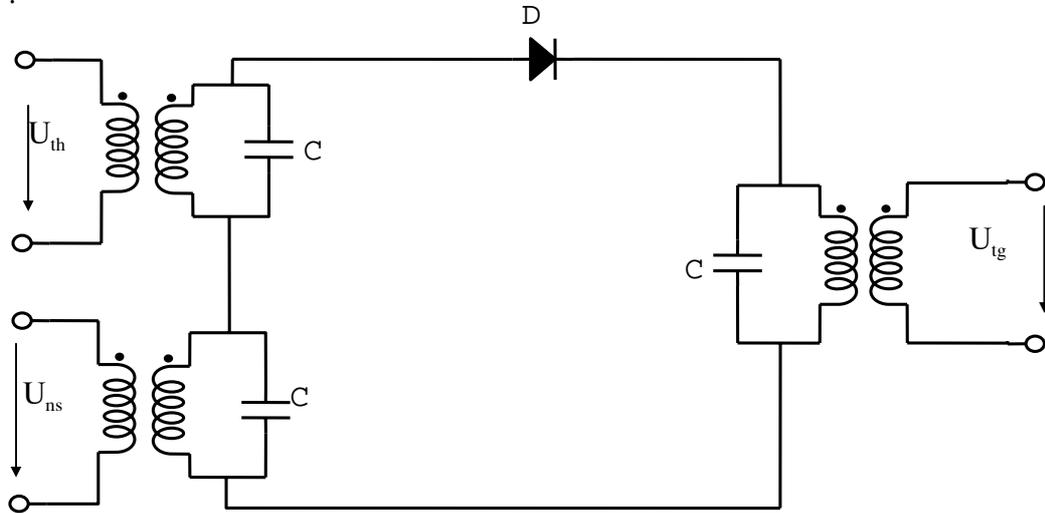
Trong các loại nhiễu này, nhiễu lọt thẳng có thể lọc được nhờ các mạch lọc đầu vào, nhiễu $f_v = 2f_{ns} \pm f_{tg}$ có thể loại bỏ khi chọn phần tử tích cực làm việc ở chế độ A; chỉ có nhiễu tần số ảnh là khó lọc, nhất là khi $f_{tg} \ll f_{th}$

IV. MẠCH TRỘN TẦN

1. Mạch trộn tần dùng Diode

- Mạch trộn tần đơn: mạch tín hiệu và mạch ngoại sai được mắc nối tiếp, mạch ghép tín hiệu ra cũng có dạng giống với hai mạch vào, cho nên có thể đổi vai trò của chúng (khi đó gọi là trộn tần ngược). Với loại sơ đồ này, điểm làm việc thường chọn điểm công tác tĩnh ở gần gốc tọa độ của đặc tuyến V-A, để có độ hỗ dẫn S lớn nhất, khi đó phương trình biểu diễn đặc tuyến V-A được tính gần đúng là:

$i = \frac{1}{4}(e^{au} - 1)$, trong đó a: là hằng số được xác định bằng thực nghiệm, với nhiễu loại D

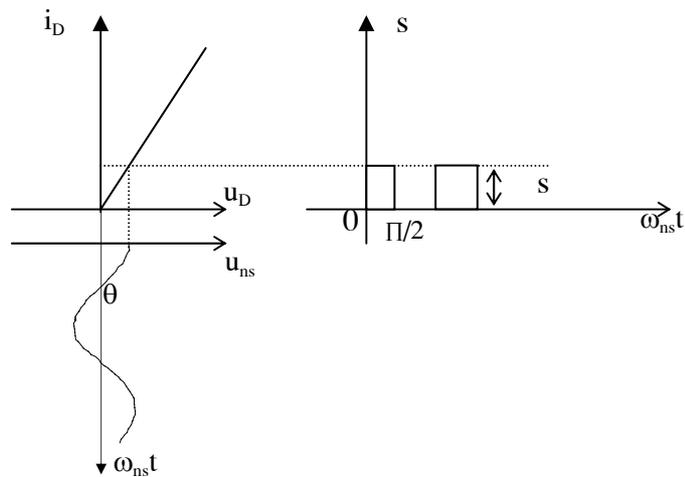


Mạch trộn tần đơn

$$\Rightarrow \text{độ hỗ dẫn } S = \frac{di}{du} = \frac{d\left(\frac{1}{4}(e^{au} - 1)\right)}{du} = \frac{1}{4} a \cdot e^{au}$$

Thực tế chọn D trộn tần loại Silic $U_{ns} < 1V$, và ;loại Gecmani $U_{ns} < (2\div 3)V$; để đảm bảo điện áp ngược không gây hỏng D.

Vì điện áp ngoại sai là hàm tuần hoàn theo thời gian, nên hỗ dẫn S là một dãy xung vuông với độ rộng xung(xem hình vẽ) phụ thuộc góc cắt tín hiệu θ . Với điểm tĩnh chọn tại gốc tọa độ, $\theta = \frac{\varphi}{2}$.



Theo chuỗi Fourier ta tính được biên độ hài bậc n của S :

$$S_n = \frac{2}{n} \int_0^\theta S \cos n \omega_{ns} t d(\omega_{ns} t) = \frac{2 \sin \theta}{n \pi} . S$$

Thay $\theta = \frac{\pi}{2}$, giả thiết $n = 1$ và dựa vào biểu thức tính được hỗn dẫn trộn tần:

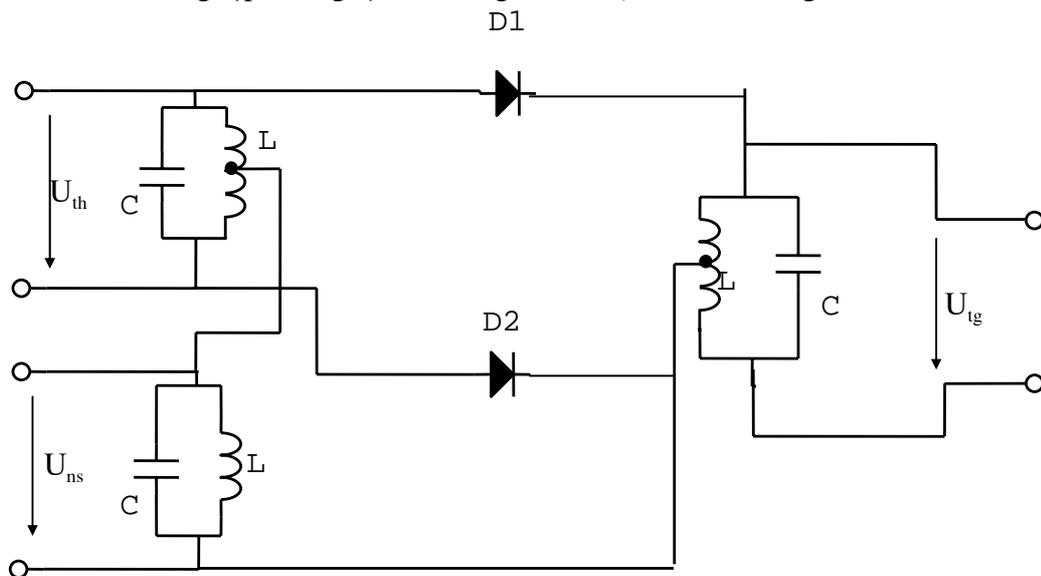
$$S_{it} = \frac{1}{2} S_n = \frac{S}{\pi}$$

Tương tự như vậy, điện dẫn trộn tần được xác định như sau:

$$G_{itt} = G_{io} = \frac{1}{\pi} \int_0^\theta G_i d(\omega_{ns} t) = \frac{S \theta}{\pi}$$

với $\theta = \frac{\pi}{2}$ thì $G_{itt} = \frac{S}{2}$

Để chống tạp âm ngoại sai, dùng sơ đồ trộn tần cân bằng như sau:



Mạch trộn tần cân bằng

Trong bộ trộn tần cân bằng điện áp tín hiệu đặt lên hai điốt ngược pha, còn điện áp ngoại sai đặt lên hai điốt cùng pha; nghĩa là

$$u_{th_{D_1}} = U_{th} \cos \omega_{th} t$$

$$u_{th_{D_2}} = U_{th} \cos(\omega_{th} t + \pi)$$

$$\text{và } u_{ns_{D_1}} = u_{ns_{D_2}} = u_{ns}$$

Do đó dòng điện tần số trung gian qua các điốt (do u_{th} tạo ra):

$$i_{tg1} = I_{tg1} \cos(\omega_{ns} - \omega_{th})t$$

$$i_{tg2} = -I_{tg2} \cos[(\omega_{ns} - \omega_{th})t + \pi] = I_{tg2} \cos(\omega_{ns} - \omega_{th})t$$

Trên mạch cộng hưởng ra, ta nhận được:

$$i_{tg} = i_{th1} + i_{th2} = 2I_{tg} \cos \omega_{tg} t$$

Bên cạnh đó, dòng tạp âm tần số trung gian do nguồn ngoại sai mang đến đặt lên hai điốt đồng pha và ngược pha trên mạch cộng hưởng ra, do đó ta có biểu thức như sau:

$$i_{ta1} = I_{ta1} \cos \omega_{tg} t$$

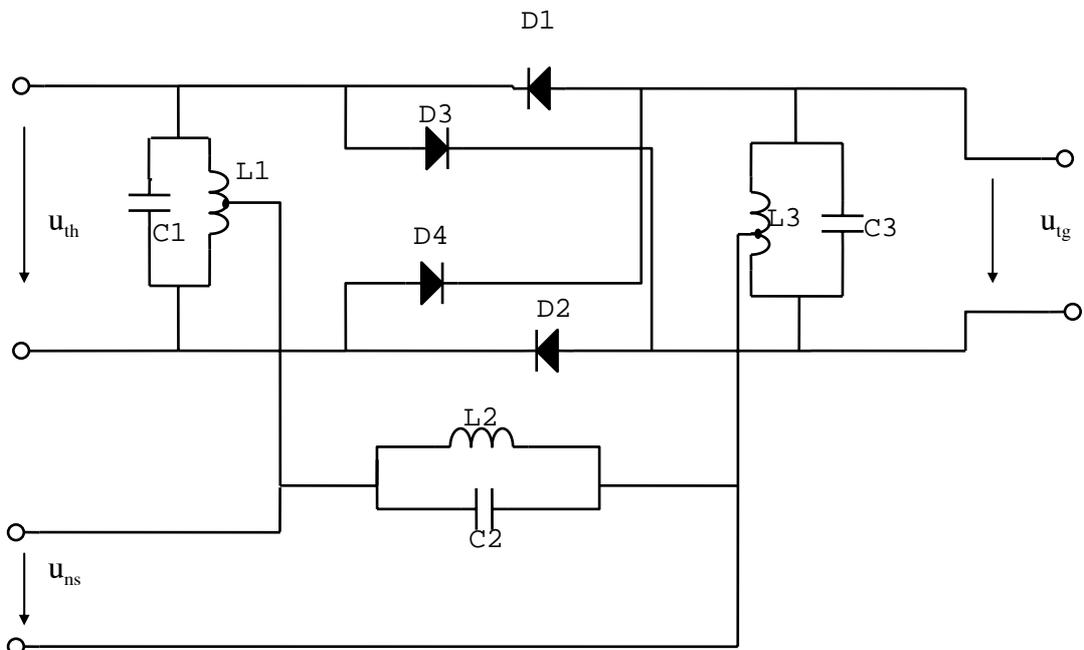
$$i_{ta2} = -I_{ta2} \cos \omega_{tg} t$$

Do đó $i_{ta} = i_{ta1} - i_{ta2} = 0$.

Vậy mạch trộn tần cân bằng làm tăng dòng điện trung gian ở đầu ra và có khả năng khử tạp âm tần số trung gian do nguồn ngoại sai mang đến.

Ngoài ra, cũng giống như trong mạch điều chế cân bằng trên, đầu ra mạch trộn tần cân bằng không có các thành phần tổ hợp ứng với hài bậc chẵn của tín hiệu ($\omega_{ns} \pm 2\omega_{th}$; $\omega_{ns} \pm 4\omega_{th}$, ...)

Cũng giống như ở mạch điều chế tín hiệu, dùng mạch trộn tần vòng gồm hai mạch trộn tần cân bằng mắc nối tiếp, sẽ bỏ được thành phần không mong muốn:



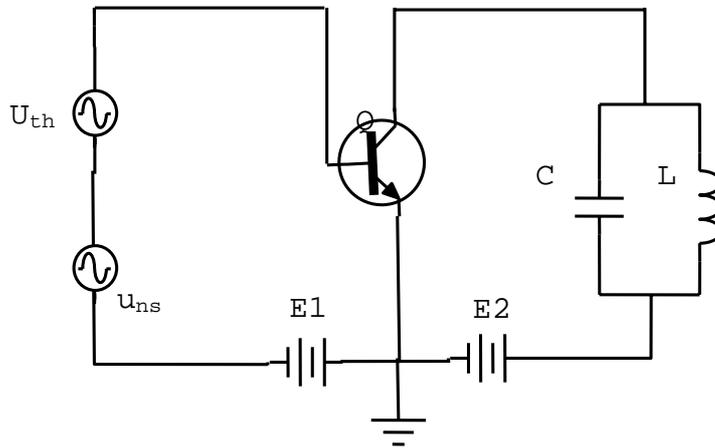
Hình. Mạch trộn tần vòng

Với cách tính toán giống như ở mạch điều chế, ta thu được ở đầu ra sơ đồ này chỉ có các thành phần tần số $\omega_{ns} \pm \omega_{th}$, các thành phần khác bị khử, do đó dễ tách được thành phần có tần số trung gian mong muốn, bằng các mạch lọc

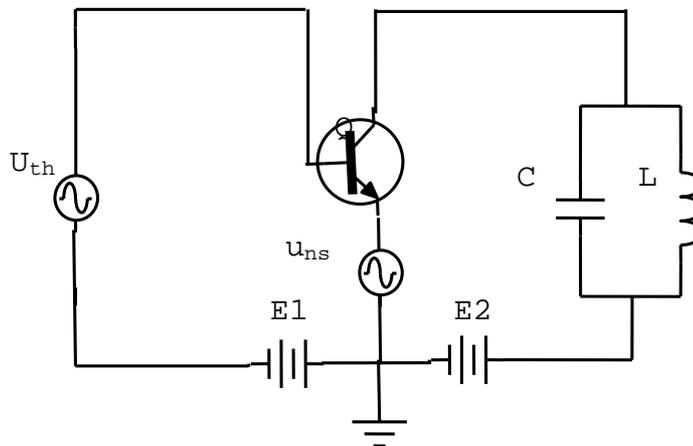
2. Mạch trộn tần dùng phân tử khuếch đại.

a. Mạch trộn tần dùng tranzistor .

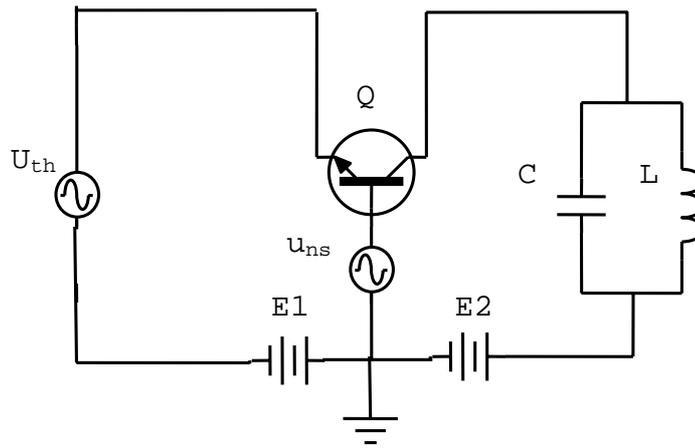
Mạch trộn tần dùng tranzistor có thể mắc theo sơ đồ bozo chung hoặc emito chung. Sơ đồ bazo chung thường được dùng trong phạm vi tần số cao và siêu cao, vì tần giới hạn của nó cao. Tuy nhiên, sơ đồ bazo chung cho hệ số truyền đạt của bộ trộn tần thấp hơn sơ đồ emito chung. Các tham số của sơ đồ trộn tần phụ thuộc vào điểm làm việc, vào độ lớn của điện áp ngoại sai và vào tham số của tranzistor. Về nguyên tắc, có thể phân thành sơ đồ trộn tần dùng tranzistor đơn, đẩy kéo và đẩy kéo kép. Hình vẽ dưới đây là một số cách mắc sơ đồ nguyên lý bộ trộn tần dùng tranzistor đơn. Các sơ đồ đó khác nhau bởi cách đặt điện áp ngoại sai vào tranzistor.



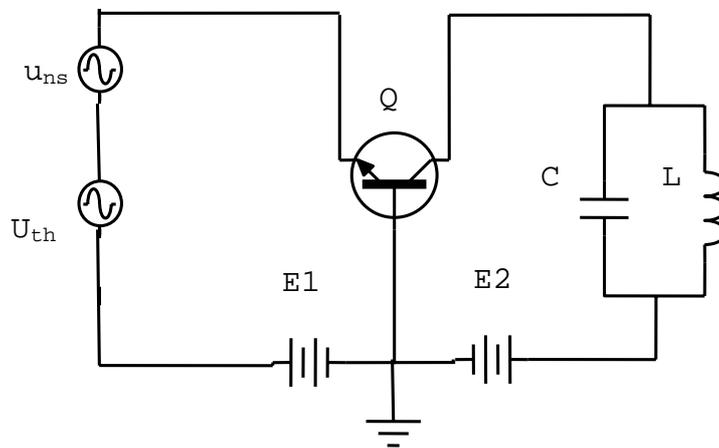
Sơ đồ EC- u_{ns} đưa vào Bazơ



Sơ đồ EC- u_{ns} đưa vào Emitter



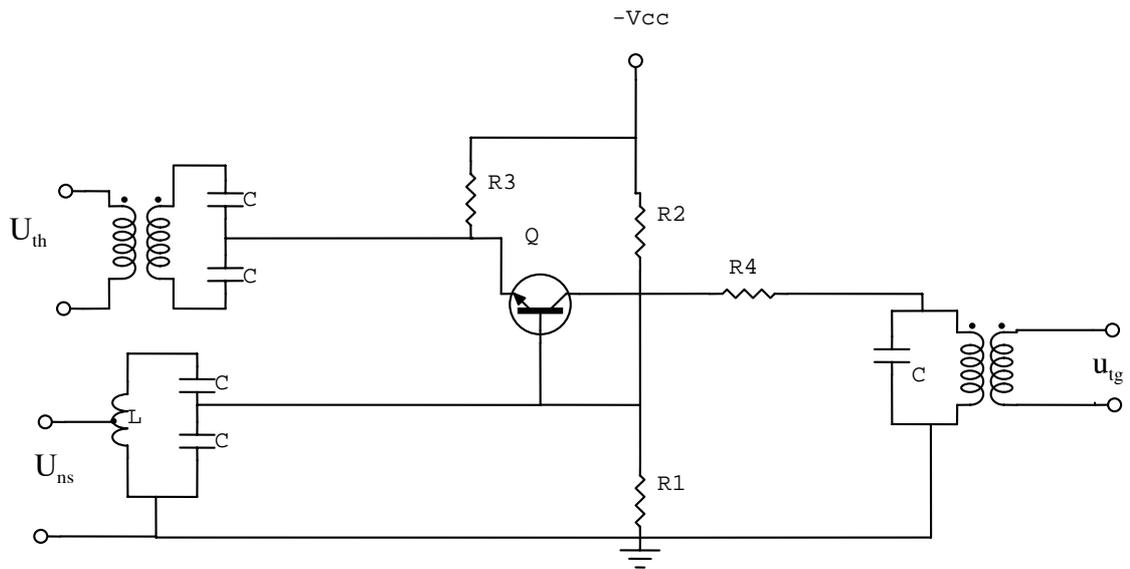
. Sơ đồ BC- u_{ns} đưa vào Bazơ



Sơ đồ BC- u_{ns} đưa vào Emitter

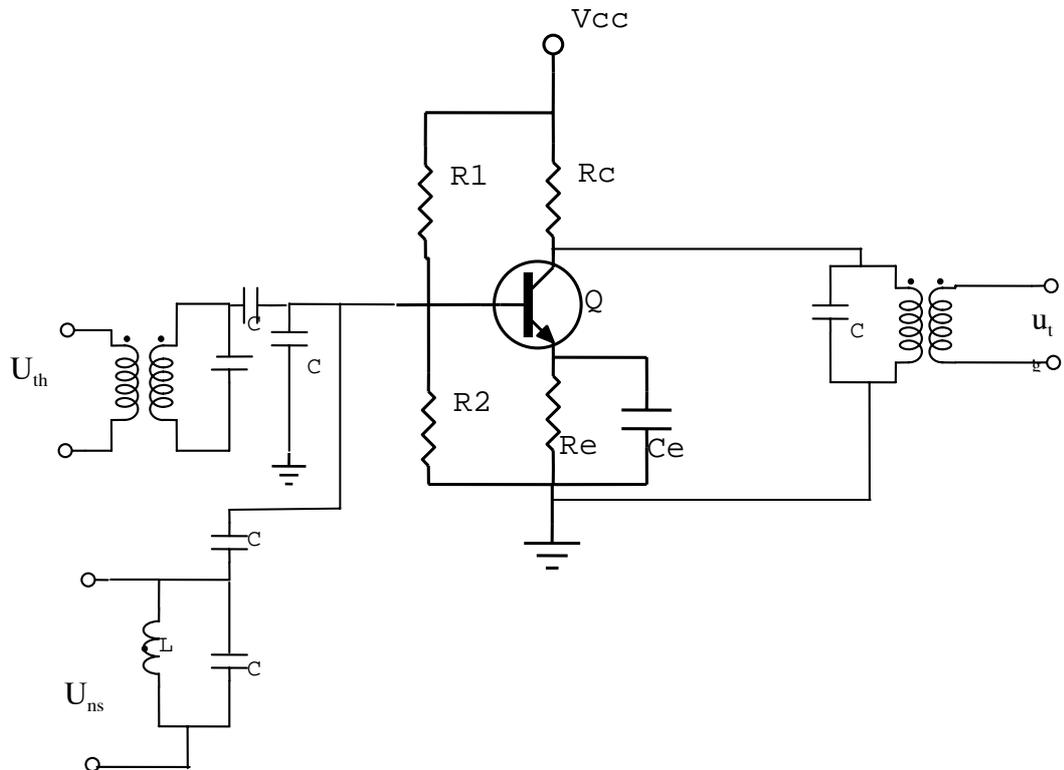
Trên cơ sở các sơ đồ nguyên lý đó, người ta đã thiết kế nhiều loại sơ đồ thực tế khác nhau:

+ Hình dưới đây biểu diễn sơ đồ trộn tần dùng tranzistor đơn, mắc theo kiểu bazo chung với điện áp ngoại sai đặt vào bazo. Điện áp ngoại sai được ghép lỏng với bazo của tranzistor trộn tần để tránh ảnh hưởng tương hỗ giữa mạch tín hiệu và mạch ngoại sai.



Mạch trộn tần, sơ đồ BC- tín hiệu ngoại sai mắc vào Bazo

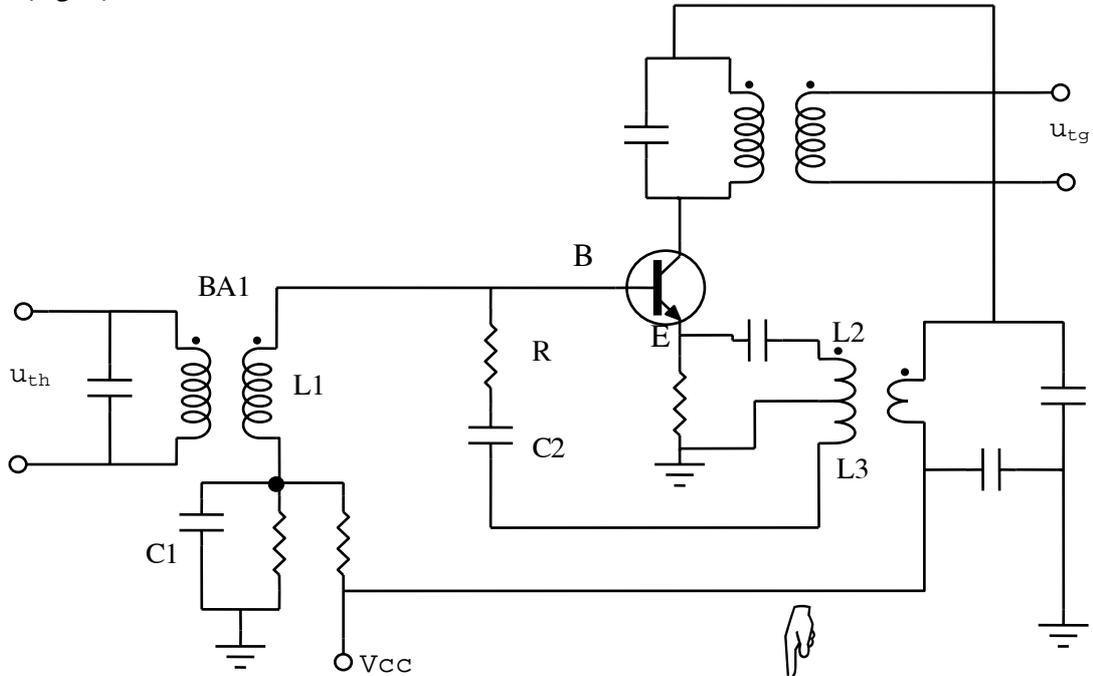
+ Còn hình sau là sơ đồ trộn tần mắc theo kiểu emito chung. Điện áp ngoại sai được đặt vào bazo qua một điện trở nhỏ, có trị số khoảng 10 đến 50Ω. Điện trở này có tác dụng hạn chế hiện tượng điều chế giao thoa⁽¹⁾.



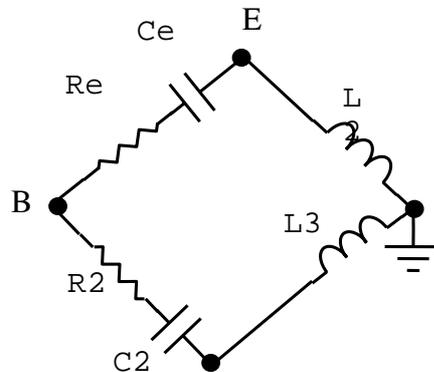
Mạch trộn tần, sơ đồ EC- tín hiệu ngoại sai mắc vào Bazo

Bằng cách mắc thêm điện trở vào bazo, có thể nâng cao được điện trở mặt ghép r_{bb} của tranzistor, do đó nâng cao độ tuyến tính của đặc tuyến tranzistor.

+ Có thể dùng kiểu khác đó là tín hiệu ngoại sai lấy trực tiếp từ mạch dao động nội:



Sơ đồ trộn tần tự dao động



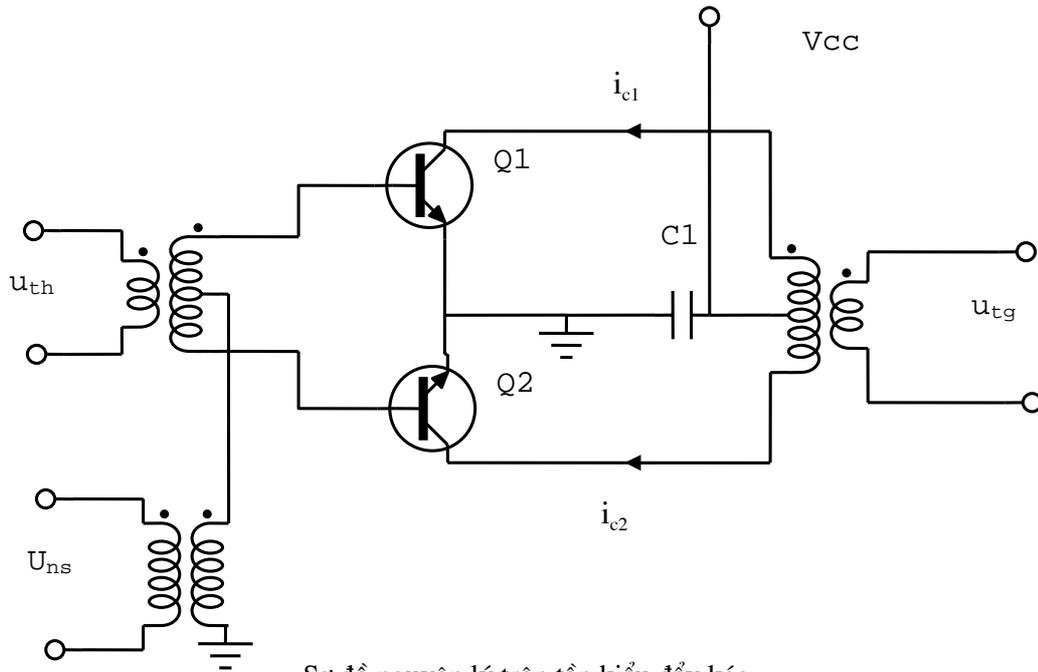
Tranzistor vừa làm nhiệm vụ trộn tần vừa tạo dao động ngoại sai. Điện áp ngoại sai được tạo nên nhờ quá trình hồi tiếp dương về emito qua cuộn L_2 và L_3 . Điện áp tín hiệu được đặt vào bazo qua biến áp vào BA1. C_1 và L_1 tạo thành mạch cộng hưởng nối tiếp đối với tần số trung gian, làm u_{tg} sẽ đi xuống đất của mạch mà không qua biến áp, do đó mạch loại trừ được hiện tượng trộn tần ngược. Để tránh ảnh hưởng tương hỗ giữa điện áp tín hiệu và điện áp ngoại sai, người ta kết cấu mạch dưới dạng một sơ đồ cầu, trong đó R_c và C_c là các phần tử ký sinh mạch vào tranzistor. Khi cầu cân bằng thì không còn tồn tại sự liên hệ giữa mạch tín hiệu và mạch ngoại sai nữa.

+ Loại tiếp theo là mạch trộn tần theo sơ đồ đẩy kéo

Loại này có nhiều ưu điểm so với sơ đồ đơn:

- Méo phi tuyến nhỏ (hài bậc chẵn bị triệt tiêu);
- Phổ tín hiệu ra hẹp;
- Liên hệ giữa mạch tín hiệu và mạch ngoại sai ít;
- Khả năng xuất hiện điều chế giao thoa thấp.

Vì những ưu điểm đó, nên loại mạch này hay được dùng trong bộ trộn tần của máy phát tín hiệu.



Sơ đồ nguyên lý trộn tần kiểu đẩy kéo

Do cách mắc mạch, nên điện áp đặt vào tranzistor Q₁ và Q₂ lần lượt là

$$u_1 = u_{ns} + u_{th} \quad \text{và} \quad u_2 = u_{ns} - u_{th}$$

Do mạch ra được mắc đẩy kéo, nên dòng điện ra

$$i_c = i_{c1} - i_{c2}$$

với
$$i_{c1} = a_0 + a_1(u_{ns} + u_{th}) + a_2(u_{ns} + u_{th})^2 + \dots$$

$$i_{c2} = a_0 + a_1(u_{ns} - u_{th}) + a_2(u_{ns} - u_{th})^2 + \dots$$

Ta có
$$i_c = 2a_1u_{th} + 4a_2u_{ns}u_{th} + 2a_3u_{th}^3 + 6a_3u_{ns}u_{th}^3 + \dots$$

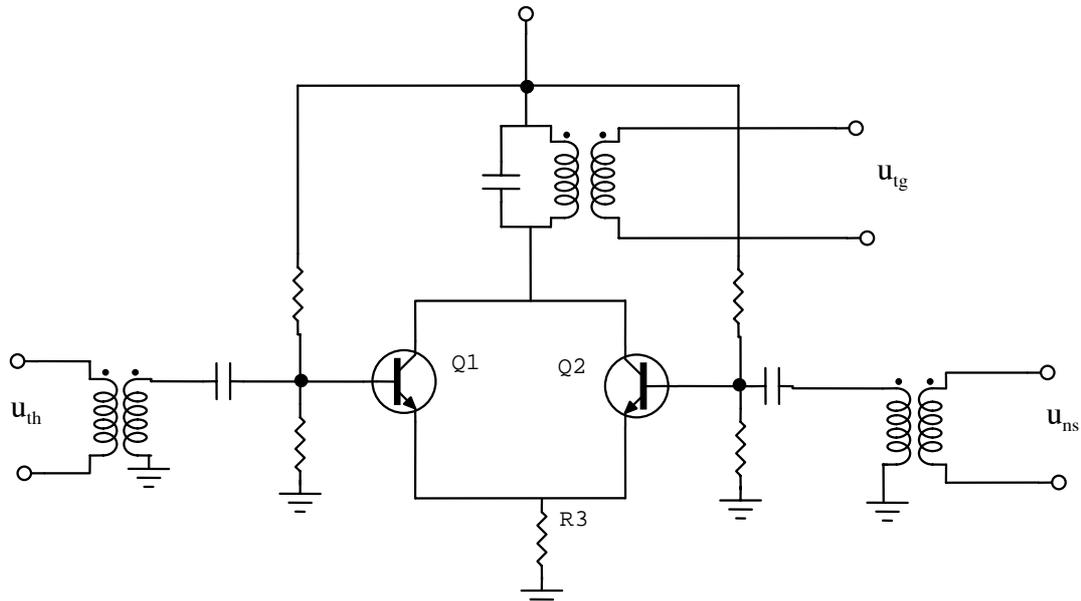
Thay
$$u_{ns} = U_{ns} \cos \omega_{ns}t$$

$$u_{th} = U_{th} \cos \omega_{th}t$$

Và biến đổi ta thấy trong dòng điện ra có các thành phần tần số: ω_{th} , $3\omega_{th}$, $3\omega_{ns} \pm \omega_{th}$ và $2\omega_{ns} \pm \omega_{th}$.

Sau đây là một sơ đồ trộn tần đẩy kéo thực tế. Trong sơ đồ này không cần nối đất điểm giữa mạch vào và mạch ra, nên kết cấu giản đơn hơn. Đặc điểm của sơ đồ là emito và colecto của hai tranzistor nối với nhau. Khi trở kháng tương đương của mạch ra đối với tần số ngoại sai (ω_{ns}) nhỏ hơn trở kháng tương đương đối với tần số trung gian (ω_{tg}) nhiều thì có thể coi tranzistor T₂ là mạch colecto chung đối với thành phần tần số trung gian. Do đó hạ áp trên R_E: $U_{RE} = u_{ns}$. Giả thiết ở thời điểm nào đó u_{ns} tăng, nên i_{c2} tăng và U_{RE} cũng tăng làm cho điện áp bazo - emito của T₁

giảm và i_{c1} giảm theo. Vậy i_{c1} và i_{c2} ngược pha.



Hình .Mạch trộn tần kiểu đẩy kéo thực tế

Phân tích tương tự như vậy đối với u_{th} ta thấy u_{th} cũng tạo ra các dòng điện ngược pha ở đầu ra, do đó trong dòng điện ra chứa tần số $\omega_{ns} \pm \omega_{th}$. Mạch ra lọc lấy thành phần mong muốn $\omega_{ig} = \omega_{ns} - \omega_{th}$.

b.Mạch trộn tần dùng vi mạch.

Dùng vi mạch có thể tạo ra các mạch trộn tần có đặc tính trộn tốt hơn các mạch đã quan sát trên đây, sơ đồ nguyên lý có dạng như hình vẽ dưới đây. Đây là sơ đồ bộ trộn tần đẩy kéo kép. Tranzistor T_1, T_2, T_3, T_4 tạo thành một mạch vòng, trong đó emito của T_1 và T_2 hoặc T_3 và T_4 được điều khiển bởi T_5 và T_6 . Khi không có tín hiệu vào, dòng qua T_5 và T_6 bằng nhau, do đó dòng qua T_1, T_2 và T_3, T_4 cũng bằng nhau, sao cho dòng điện qua các chân ra 12 và 13 như nhau và bằng nửa dòng điện tổng. Khi có điện áp ngoại sai đặt vào chân 6 và 14 và với trị số nào đó của nó T_6 ngắt, chỉ còn dòng chảy qua T_5 và dòng chảy qua T_1 và T_2 cũng bằng một nửa dòng tổng, do đó cũng như trường hợp trên (trường hợp không có điện áp u_{ns}), dòng qua các chân 12 và 13 bằng nhau, tương tự đối với những thời điểm khác nhau của điện áp ngoại sai hoặc điện áp tín hiệu, ta đều có kết quả như vậy. Dòng điện ở các đầu ra chỉ biến đổi khi điện áp ngoại sai và điện áp tín hiệu đồng thời tác động lên các đầu vào.

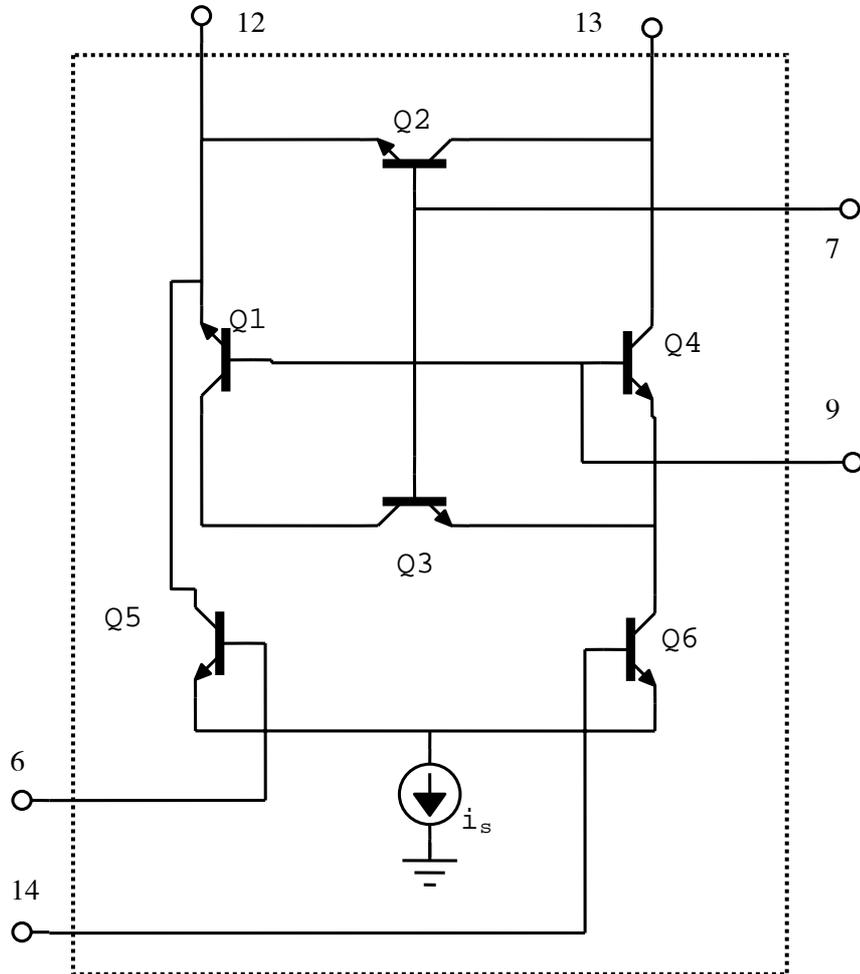
Vậy đây là sơ đồ trộn tần làm việc theo nguyên tắc nhân tín hiệu nhờ phân tử tuyến tính, giả sử coi phần tử tích cực có hàm truyền đạt dạng:

$$i = a_0 + a_1 u, \text{ trong đó } u = u_{ns} \cdot u_{th}$$

$$\Rightarrow i = a_0 + (a_1 U_{ns} U_{th}) / 2 [\cos(\omega_{ns} + \omega_{th})t + \cos(\omega_{ns} - \omega_{th})t]$$

Như vậy i chứa thành phần trung gian $\omega_{ig} = \omega_{ns} - \omega_{th}$
 Ưu điểm so với sơ đồ đơn: + Hỗ dẫn trộn tần lớn.

- gian.
- + Không có hài bậc chẵn và hài tần số trung
 - + Chịu được điện áp cao.

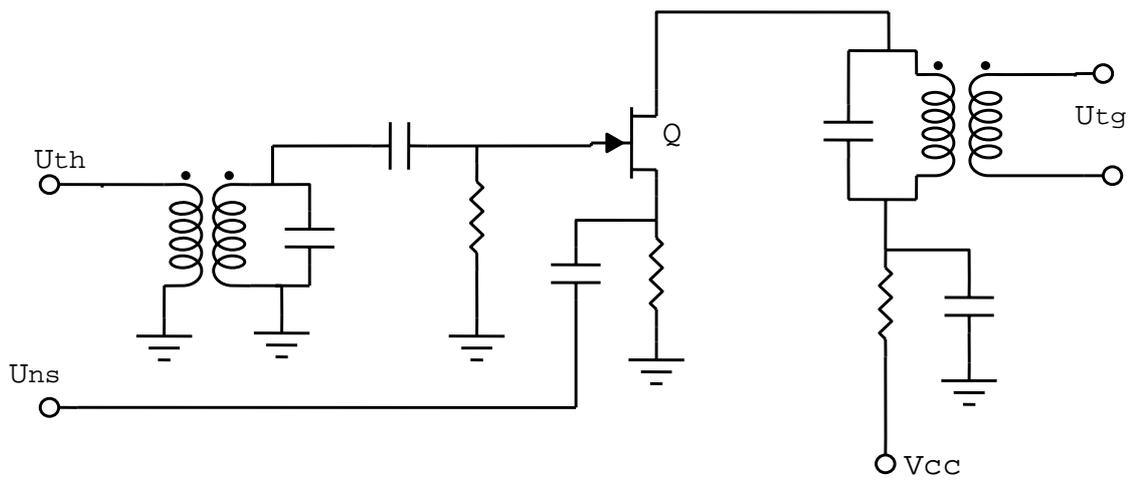


Sơ đồ nguyên lý mạch trộn tần kiểu đẩy kéo, dưới dạng vi mạch

c. Mạch trộn tần dùng FET.

FET có quan hệ dòng i_D và u_{GS} là quan hệ bậc 2, nên khi trộn tần bằng FET có thể giảm được các thành phần bậc cao ở tín hiệu ra và hạn chế được hiện tượng điều chế giao thoa, bên cạnh đó dùng FET cũng tăng được dải động của tín hiệu (có thể với dải UHF) vào và giảm nhiễu.

Sơ đồ dùng FET có các cách mắc (tương ứng là cách lý luận) giống như BJT đã xem xét ở trên (SC, GC, đẩy kéo...), ví dụ sơ đồ SC:



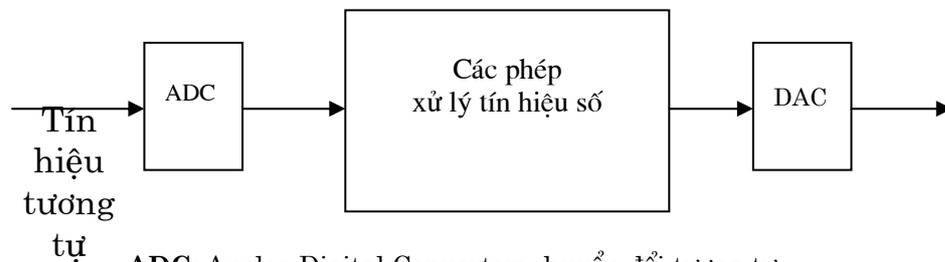
Mạch trộn tần dùng JFET

CHƯƠNG 10. CHUYỂN ĐỔI TƯƠNG TỰ – SỐ VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ – TƯƠNG TỰ

I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1. Khái niệm chung:

Hiện nay trong các hệ thống thông tin, truyền thông, điện tử dân dụng ... sử dụng chủ yếu là phương pháp số, nhưng thực tế các tín hiệu hữu ích: tiếng nói, tín hiệu chuyển đổi đo lường... lại hầu hết là tín hiệu tương tự, cho nên cần phải chuyển đổi sang tín hiệu số, sau đó xử lý để đạt được yêu cầu đề ra, và sau cùng là phải chuyển đổi ngược lại từ tín hiệu số về tín hiệu tương tự, có thể khái quát hệ thống đó bằng sơ đồ khối như sau:



ADC: Analog Digital Converter: chuyển đổi tương tự số

DAC: Digital Analog Converter: chuyển đổi số tương tự

Trong khuôn khổ của môn Kỹ thuật Mạch điện tử, chỉ xem xét phần ADC và DAC, còn các phần khác ta sẽ nghiên cứu trong các môn học: xử lý tín hiệu số, lý thuyết tín hiệu, kỹ thuật số, hệ thống truyền dẫn...

Một cách tổng quát, mọi tín hiệu tương tự $S(t)$, đều có thể biểu diễn dưới dạng các tín hiệu nhị phân (tín hiệu số) theo hàm:

$$S(t) = b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + b_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0$$

Trong đó $S(t)$ là tín hiệu tương tự; b_i là tín hiệu số b_i nhận 2 giá trị 1 hoặc 0. Ví dụ một tín hiệu ở thời điểm t có biên độ là 13V, có thể biểu diễn đơn giản bằng số nhị phân là: $13 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$

Ở công thức trên b_{n-1} được gọi là bit có ý nghĩa lớn nhất, ký hiệu là MSB (Most Significant Bit), và b_0 được gọi là bit có ý nghĩa nhỏ nhất, ký hiệu là LSB (Least Significant Bit).

Huặc có thể mô tả bằng đặc tuyến như hình vẽ 1 trang sau; Với một bộ biến đổi N bit nhị phân, thì

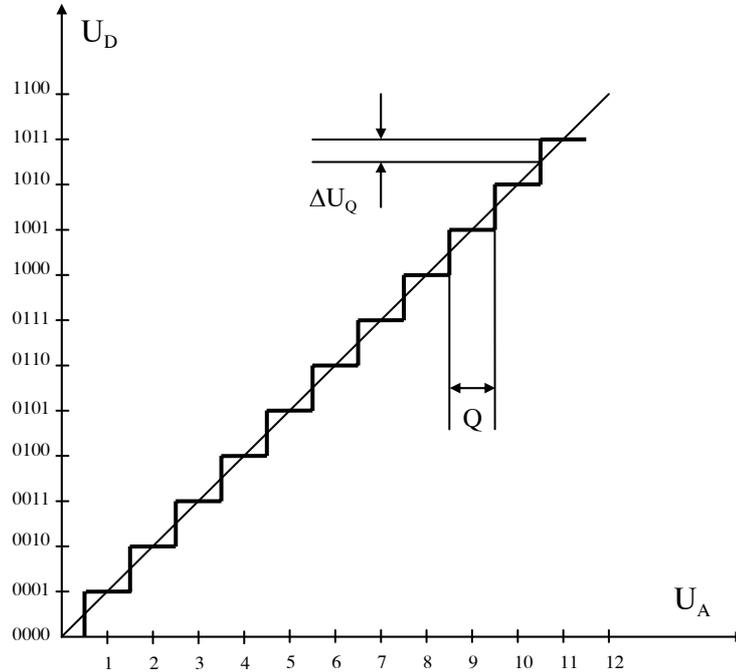
$$Q = U_{\text{LSB}} = \frac{U_{A\text{max}}}{2^N - 1} \quad (1)$$

$U_{A\text{max}}$: trị cực đại cho phép của điện áp tương tự đầu vào

Q : gọi là mức lượng tử.

Do tín hiệu số là tín hiệu rời rạc, nên trong quá trình chuyển đổi AD xuất hiện sai số gọi là sai số lượng tử hoá, được xác định:

$$\Delta U_Q = \frac{1}{2}Q \quad (2)$$



Đặc tuyến truyền đạt của bộ biến đổi ADC

Chuyển đổi AD cần lấy mẫu tín hiệu tương tự, nên để khôi phục lại tín hiệu đạt chất lượng thì phải tuân theo định lý lấy mẫu, tức là tần số tín hiệu lấy mẫu f_m phải thỏa mãn điều kiện lớn hơn hoặc bằng 2 lần tần số lớn nhất của tín hiệu Analogue vào: $f_m \geq 2f_{thmax} = 2B$ (B: băng tần tín hiệu tương tự).

Theo thuyết lượng tử hoá, quá trình lượng tử hoá sinh ra tạp âm, tạp âm này phản ánh khi thực hiện phép biến đổi ngược DA, có thể coi quá trình lượng tử hoá là quá trình cộng tín hiệu X_A và tín hiệu tạp âm X_{ta} , người ta chứng minh được tạp âm lượng tử hoá có thể coi là tạp âm trắng, khi $-Q/2 \leq X_A \leq Q/2$. Và mật độ phổ công suất của tạp âm được xác định:

$$S_{ta}(\omega) = \frac{Q^2}{12} = \overline{U_{ta}^2} \quad (3)$$

Trong đó $\overline{U_{ta}^2}$: giá trị trung bình bình phương của điện áp tạp âm

Nếu nối với một điện trở tải, có thể xác định được công suất tạp âm phản ảnh ở tải là:

$$P_R = \frac{Q^2}{12.R} \quad (4)$$

Tỉ số tín hiệu/ tạp âm S/N được xác định bởi công thức:

$$\frac{S}{N} (dB) = 20 \lg \frac{U_{Amax}}{\sqrt{2}.U_{ta}} = 20 \lg \sqrt{6}(2^N - 1) \quad (5)$$

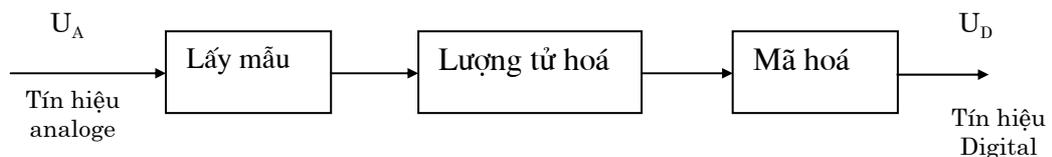
2. Các tham số cơ bản

- Dải biến đổi của điện áp tín hiệu tương tự đầu vào: là khoảng điện áp mà bộ chuyển đổi AD mà bộ chuyển đổi có thể chuyển đổi được, giá trị này có thể âm, dương, hoặc dải từ âm sang dương, thực tế ta cần kết hợp với các mạch như hạn biên, nén, nắn... trước khi đưa đến IC chuyển đổi AD.

- Độ chính xác: thường đặc trưng bởi số bit, số lượng bit lượng tử hoá càng nhiều thì độ chính xác càng cao, thường ta có các IC chuyển đổi AD 8bit, 10 bit, 12bit, 16 bit, 20bit, 32bit... Ngoài ra còn có các thông số khác ảnh hưởng đến độ chính xác như: Sai số lệch không, sai số khuếch đại....

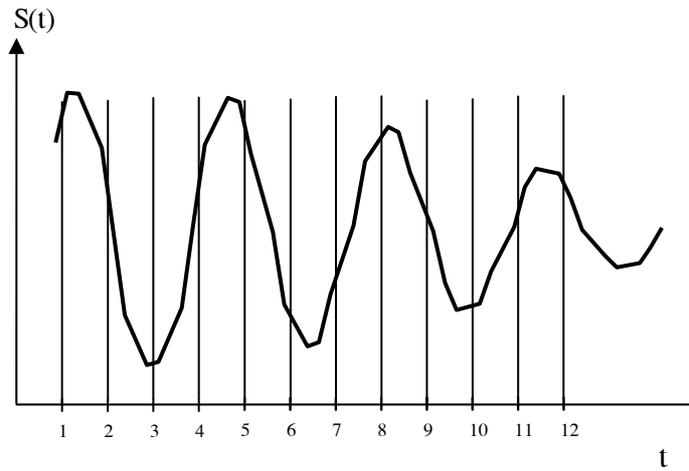
- Tốc độ chuyển đổi: cho biết số kết quả chuyển đổi trong một giây, tức là tần số chuyển đổi f_c , thông số này phản ảnh khả năng làm việc thời gian thực của hệ thống, trong hệ thống viễn thông nó là thông số tích lũy độ trễ của tín hiệu, thông số này (f_c) phải càng lớn càng tốt.

3. Nguyên tắc làm việc của bộ ADC:

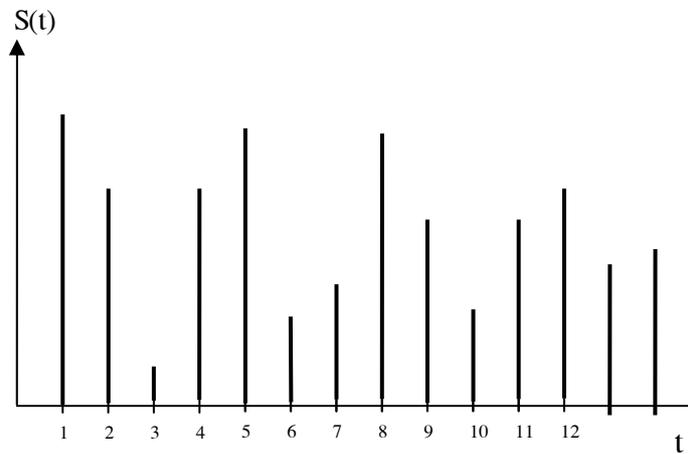


Từ hình vẽ suy ra quá trình chuyển đổi tương tự-> số:

- Đầu tiên: rời rạc hoá tín hiệu, lấy mẫu tín hiệu tương tự tại những điểm khác nhau và cách đều nhau



Rời rạc hoá tín hiệu



Tín hiệu rời rạc

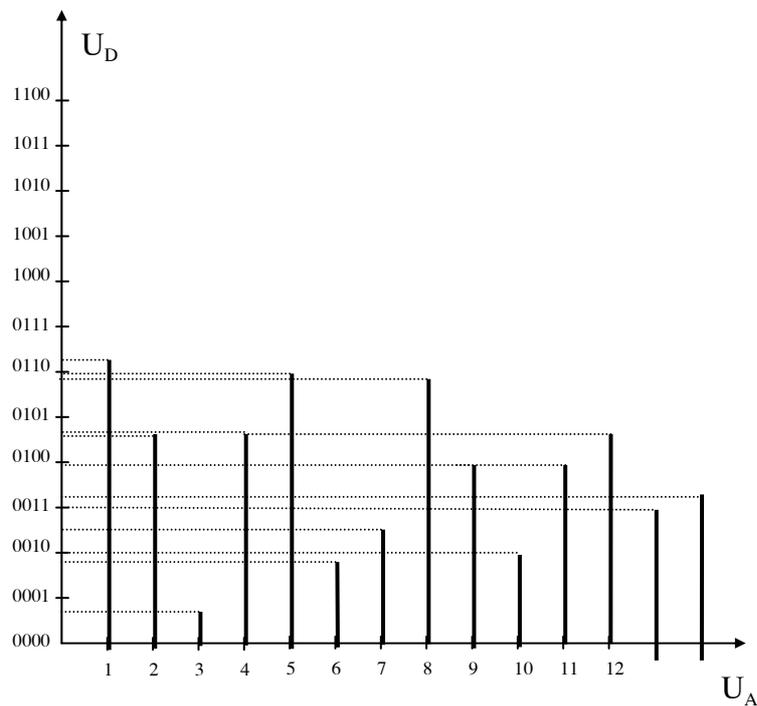
- Tiếp theo: giữ cho biên độ điện áp tại các thời điểm lấy mẫu không đổi trong quá trình lượng tử hoá và mã hoá, tín hiệu rời rạc được làm tròn với độ chính xác là $\pm Q/2$, theo công thức sau:

$$Z_{Di} = \text{int} \frac{X_{Ai}}{Q} = \frac{X_{Ai}}{Q} - \frac{\Delta X_{Ai}}{Q}; \quad (6)$$

Trong đó: X_{Ai} - tín hiệu tương tự ở thời điểm i

Z_{Di} - tín hiệu số thời điểm i

X_{Ai} - Số dư trong phép lượng tử hoá



Lượng tử hoá tín hiệu rời rạc

- Sau mạch lượng tử hoá là mạch mã hoá, thường lượng tử hoá ra mã nhị phân, quá trình mã hoá có thể để nguyên mã này hay biến thành các mã khác như BCD, Gray, Dư 3, Gray dư 3... Quá trình này có thể thực hiện sau lượng tử hoá hoặc thực hiện đồng thời.

II. CÁC PHƯƠNG PHÁP CỤ THỂ:

1. Chuyển đổi tương tự – số:

a. Chuyển đổi tương tự- số theo phương pháp song song:

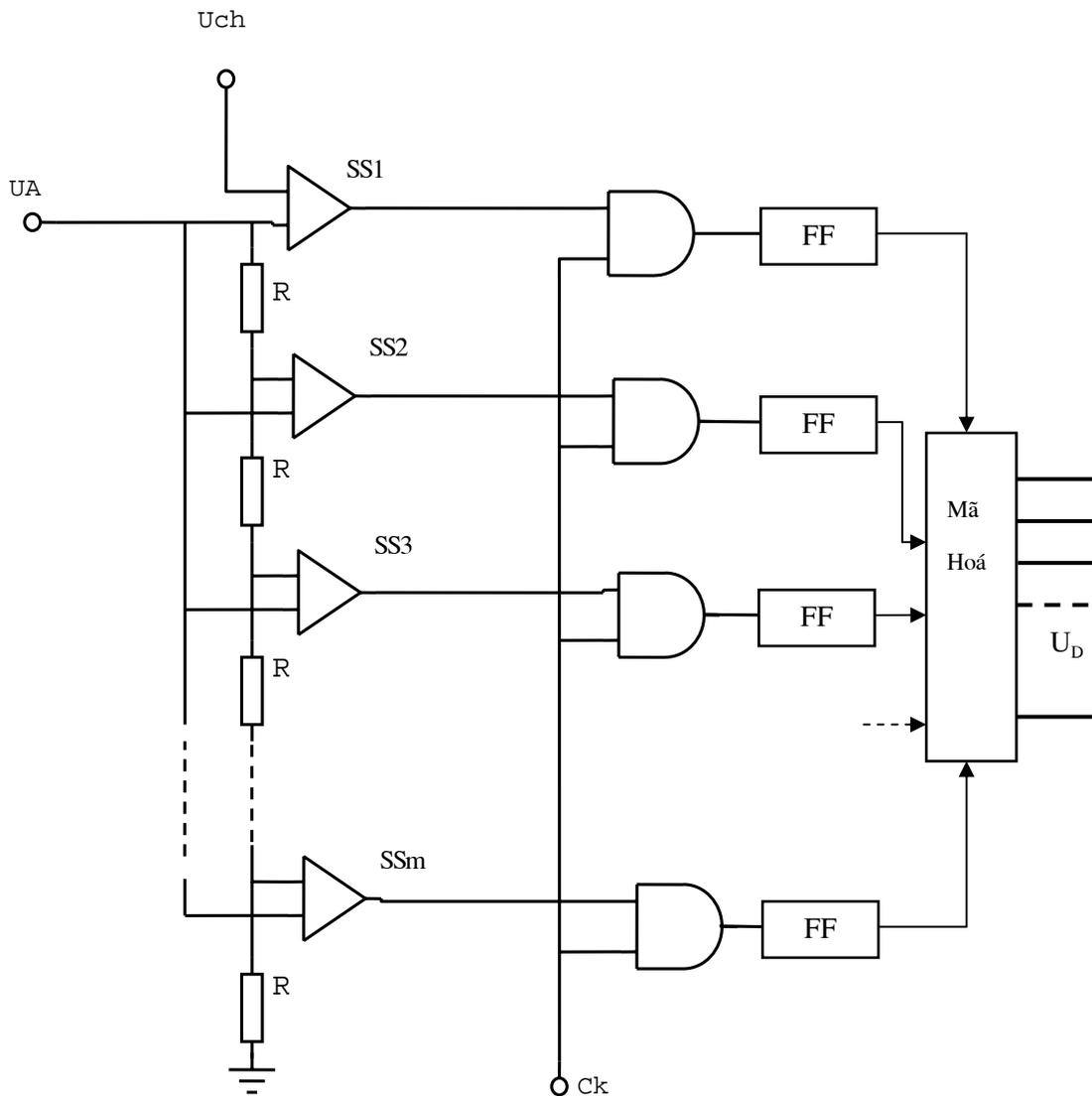
- Điện áp U_A được đưa đồng thời đến đầu vào 1 của các bộ so sánh: SS1, SS2,..., SS_m, điện áp chuẩn U_{ch} được đưa đến đầu vào thứ 2 qua thang điện trở R, do vậy các điện áp chuẩn đặt vào các bộ so sánh lân cận khác nhau một lượng không đổi và giảm dần từ SS1--> SS_m.

- Tại các đầu ra bộ so sánh: nếu điện áp vào > điện áp chuẩn: cho mức logic là 1, và nếu điện áp vào < điện áp chuẩn: cho mức logic là 0.

- Tất cả các tín hiệu ra so sánh nối với mạch Và(And). Chỉ khi có xung nhịp(Ck) đưa đến mạch And, thì đầu ra mạch And mới có tín hiệu đưa đến các Flip-Flop(FF). Như vậy cứ sau khoảng thời gian xung nhịp lại có một tín hiệu biến đổi và đưa đến đầu ra, đảm bảo quá trình so sánh kết thúc mời đưa tín hiệu số vào bộ nhớ.

- Bộ mã hoá biến đổi tín hiệu vào dưới dạng mã đếm thành mã nhị phân.

Mạch biến đổi loại này là mạch song song, có tốc độ chuyển đổi nhanh, nhưng phức tạp hơn mạch nối tiếp, với bộ chuyển đổi N bit, cần $(2^N - 1)$ bộ so sánh, And, FF.

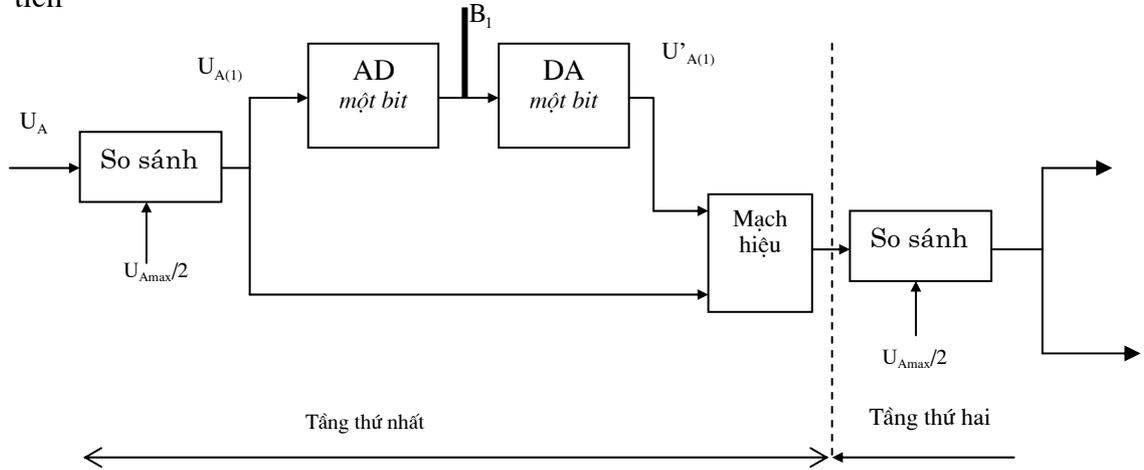


Chuyển đổi AD kiểu song song

b. Chuyển đổi tương tự - số theo phương pháp phân đoạn từng bit.

- Mạch chuyển đổi được chia thành các tầng, số tầng tương ứng với số bit.
- Giả sử tín hiệu vào biến thiên trong khoảng: $0-U_{Amax}$, chia làm 2 phần bằng nhau, khi đó ranh giới giữa 2 phần là $U_{Amax}/2$, lấy chính điện áp này làm điện áp chuẩn. Tín hiệu cần biến đổi, được so sánh với mức điện áp này: khi $U_{A(1)} < U_{Amax}/2$, thì $B_1=0$; và khi $U_{A(1)} \geq U_{Amax}/2$, thì $B_1=1$;
- Tín hiệu số ứng với bit thứ nhất B_1 , một mặt được lưu, một mặt được đưa đến bộ biến đổi ngược DA, trên đầu ra của mạch DA: một bit là tín hiệu tương tự ứng với bit có nghĩa lớn nhất MSB(khi $B_1=1$, $U'_{A(1)}=U_{Amax}/2$; $B_1=0$, $U'_{A(1)}=0$).
- Mạch hiệu cho ra số dư tín hiệu tương tự sau khi đã xác định được bit thứ nhất ($U_A - U'_{A(1)}$). Số dư này được đưa đến tầng thứ 2, tiếp tục xác định bit B_2 theo phương pháp trên... Như vậy tín hiệu chuẩn của bit N sẽ là $U_{chN} = U_{Amax}/2^N$.
- Tuy nhiên: thay cho việc giảm dần trị số của các điện áp chuẩn(như vậy

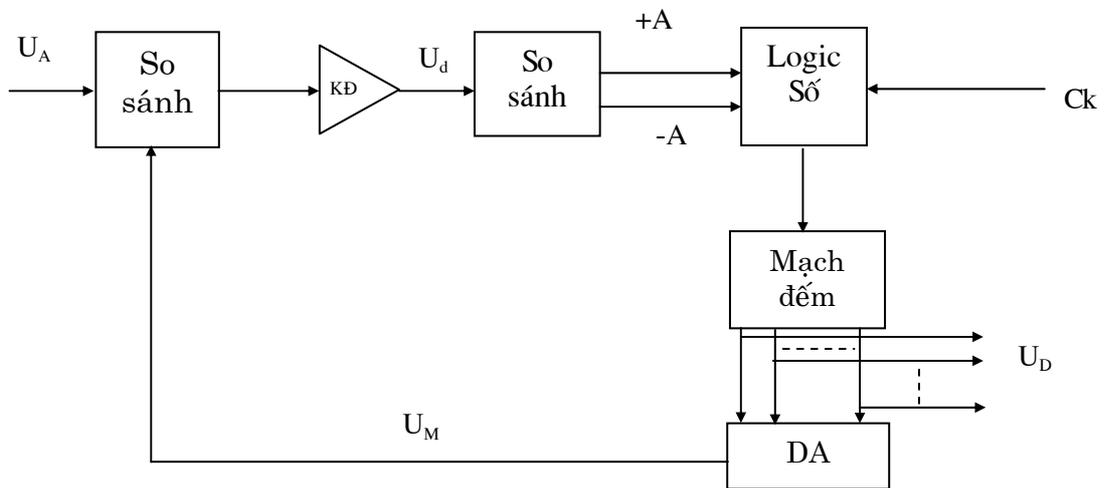
giá trị sẽ rất nhỏ, khó thực hiện so sánh), tiến hành nhân đôi điện áp dư sau mỗi tầng, như vậy điện áp chuẩn cho tất cả các tầng vẫn là $U_{Amax}/2$.
 So với phương pháp chuyển đổi song song, để xác định N bit cần thực hiện N bước so sánh, nhưng ít phức tạp hơn. Phương pháp này thường được làm cơ sở để phân tích



Sơ đồ khối bộ chuyển đổi AD theo phương pháp phân đoạn từng bit

c. Chuyển đổi AD nối tiếp dùng vòng hồi tiếp

- Điện áp tương tự U_A được so sánh với một giá trị ước lượng cho trước U_M , gọi U_d là giá trị sai số của U_A và U_M : nếu $U_A > U_M \Rightarrow U_d > 0$; và $U_A < U_M \Rightarrow U_d < 0$.
- U_d được khuếch đại và đưa đến bộ so sánh số SS: nếu $U_d > 0 \Rightarrow$ đầu ra bộ SS có $+A=1$; và nếu $U_d < 0 \Rightarrow$ đầu ra bộ SS có $-A=1$.



Sơ đồ khối bộ chuyển đổi AD theo phương pháp vòng hồi tiếp

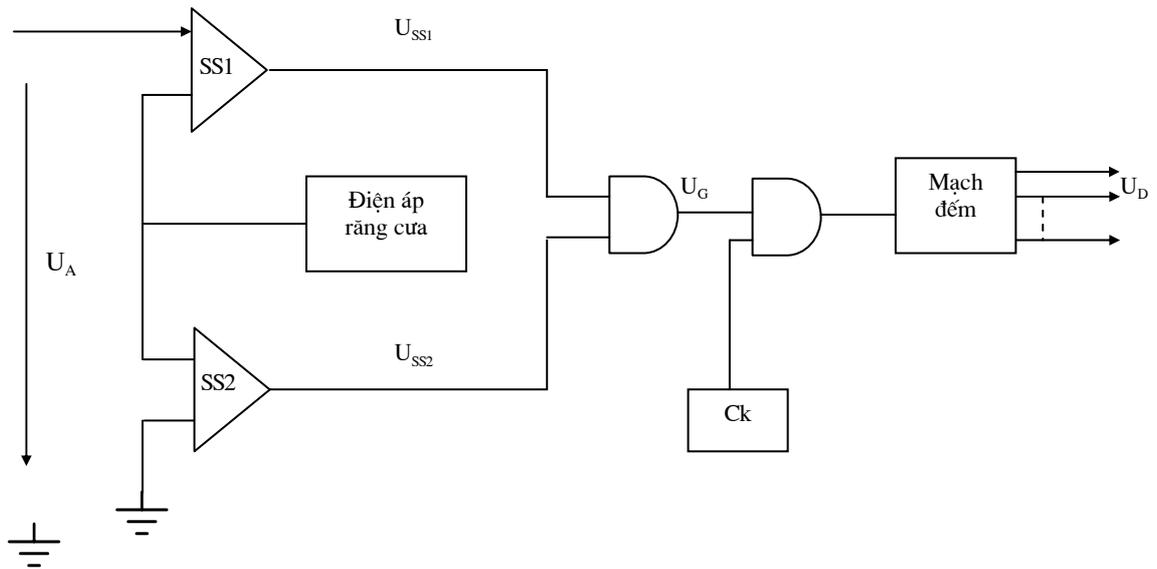
- Kết quả so sánh được đưa đồng thời với tín hiệu xung nhịp Ck và bộ logic số, mạch logic sẽ điều khiển bộ đếm theo nguyên tắc: ứng với +A thì bộ đếm thuận, và -A thì bộ đếm ngược, trên đầu ra bộ chuyển đổi AD sẽ có chuỗi tín hiệu số ứng với mã đếm của bộ đếm, tín hiệu đi được một vòng ứng với chu kỳ xung nhịp.
- Tín hiệu số xác định trong bước so sánh như nhất được biến đổi ngược DA, để tạo một giá trị ước lượng mới để so sánh với U_A trong bước tiếp theo.

- Quá trình này lặp đi lặp lại cho đến khi $|U_n| < Q/2$, lúc đó $+A = -A = 0$, do vậy mạch đếm giữ nguyên trạng thái và đầu ra nhận được kết quả chuyển đổi thành tín hiệu số của U_A .

- Nếu U_M càng tiến gần đến U_A , thì chuyển đổi càng chính xác. Nếu tín hiệu U_A biến đổi càng chậm thì càng chính xác.

So với các phương pháp trên, phương pháp này đơn giản vì có các linh kiện được tái sử dụng, tốc độ chuyển đổi không cao, nhưng có độ chính xác cao

d. Chuyển đổi AD theo phương pháp đếm đơn giản



Sơ đồ khối của chuyển đổi AD theo phương pháp đếm đơn giản

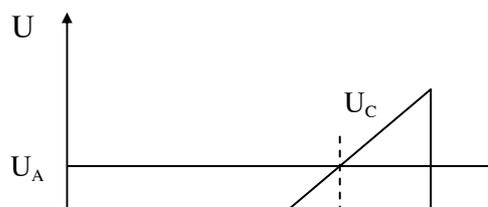
- Bộ so sánh1 SS1 so sánh điện áp chuẩn răng cưa và điện áp U_A , khi $U_A > U_C$ thì $U_{ss1} = 1$, khi $U_A < U_C$ thì $U_{ss1} = 0$.

- Bộ so sánh SS2 so sánh điện áp răng cưa với mức đất của mạch (0V), với tính chất cũng như mạch SS1.

- U_{ss1} và U_{ss2} được đưa đến mạch And, xung ra U_G có độ rộng tỷ lệ với độ lớn của điện áp vào U_A .

- Mạch And thứ 2 chỉ cho ra các xung nhịp trong khoảng thời gian $0 > U_C < U_A$. Mạch đếm đầu ra sẽ đếm số xung đó, số xung này tỉ lệ với độ lớn của U_A .

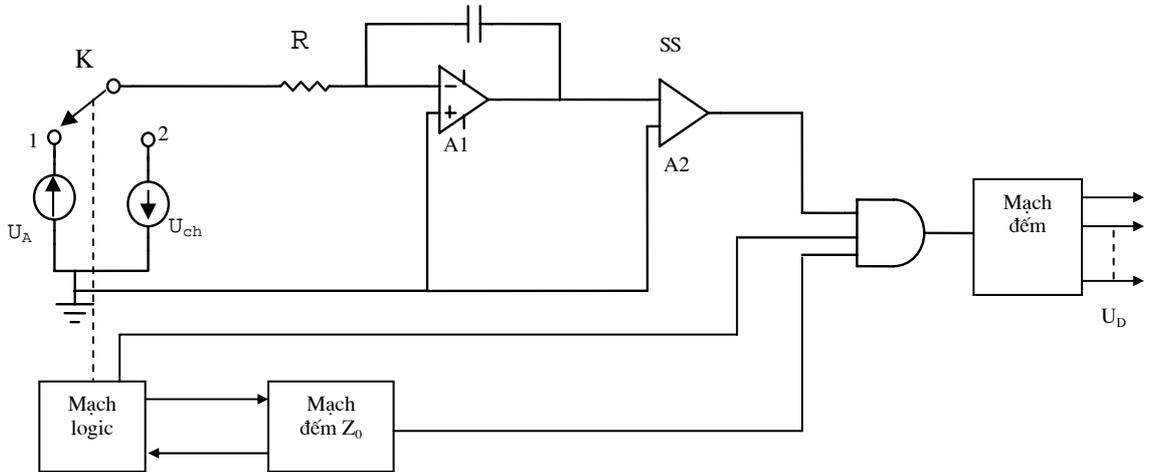
Giản đồ dưới đây mô tả rõ hơn phương pháp này



e. Chuyển đổi AD theo phương pháp tích phân 2 sườn dốc

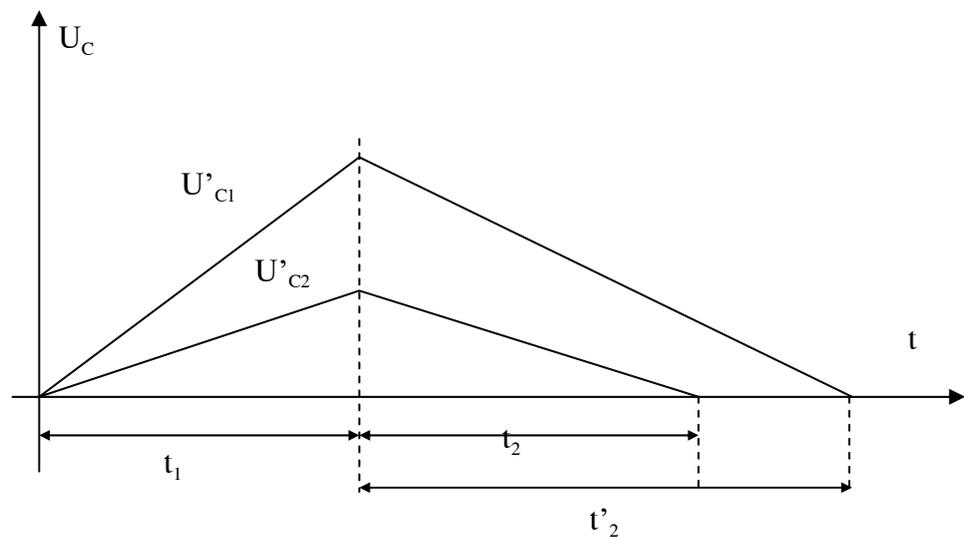
- Mạch logic điều khiển khoá K ở 1 thì U_A nạp cho tụ C qua R, trên đầu ra mạch tích phân xác định được:

$$U'_C = \frac{1}{RC} \int U_A dt = \frac{1}{RC} U_A t; \text{ như vậy sau khoảng } t_1, \text{ ta có: } U'_{C1} = \frac{1}{RC} U_A t_1$$



Sơ đồ nguyên lý chuyển đổi AD theo phương pháp tích phân 2 sườn dốc

U_{C1} tỉ lệ với U_A , tùy theo U_A lớn hay nhỏ mà $U'_C(t)$ có độ dốc khác nhau



Đồ thị thời gian trên mạch tích phân

- Trong khoảng t_1 bộ đếm Z_0 cũng được kích đếm, hết thời gian t_1 khoá K được mạch logic điều khiển sang vị trí 2, đồng thời tín hiệu từ mạch logic cũng được đưa đến mạch And, làm cho mạch này tích cực, thông xung nhịp, và bộ đếm bắt đầu đếm, đồng thời bộ đếm Z_0 được kích ngừng đếm.

- Khi K ở vị trí 2, điện áp chuẩn U_{ch} bắt đầu nạp điện cho tụ C theo chiều ngược lại theo phương trình nạp:

$$U''_c = -\frac{1}{RC}U_{ch}t \text{ sau khoảng } t_2 \text{ ta được } U''_{c2} = -\frac{1}{RC}U_{ch}t_2$$

Giả sử sau khoảng t_2 ta có $|U'| = |U''|$ (điện áp trên tụ bằng 0)

$$\Leftrightarrow \frac{1}{RC}U_{ch}t_2 = \frac{1}{RC}U_A t_1 \Rightarrow t_2 = \frac{U_A}{U_{ch}}t_1 \quad (7)$$

Mặt khác số xung đưa đến mạch đếm Z_0 trong khoảng t_1 :

$$Z_0 = t_1 \cdot f_n \quad (8); \text{ trong đó } f_n \text{ tần số dây xung nhịp}$$

$$\text{Từ (7) và (8)} \Rightarrow t_2 = \frac{U_A}{U_{ch}} \cdot \frac{Z_0}{f_n} \quad (9)$$

Trong đó số xung nhịp đếm được nhờ mạch đếm ở đầu ra trong khoảng t_2 :

$$Z = t_2 f_n = \frac{U_A}{U_{ch}} Z_0 = \frac{Z_0}{U_{ch}} U_A \quad (10)$$

Sau khoảng t_2 mạch đếm ra bị ngắt, vì $U_c=0$

Quá trình trên được lặp đi lặp lại trong chu kỳ chuyển đổi tiếp theo. Từ (10) ta thấy số xung đếm ở đầu ra tỉ lệ với U_A , kết quả đếm độc lập với R, C, f_n , nhưng phương pháp này cần tần số xung nhịp có độ ổn định cao (sao cho trị số là như nhau trong 2 khoảng thời gian t_1 , và t_2).

f. Chuyển đổi AD theo phương pháp song song- nối tiếp

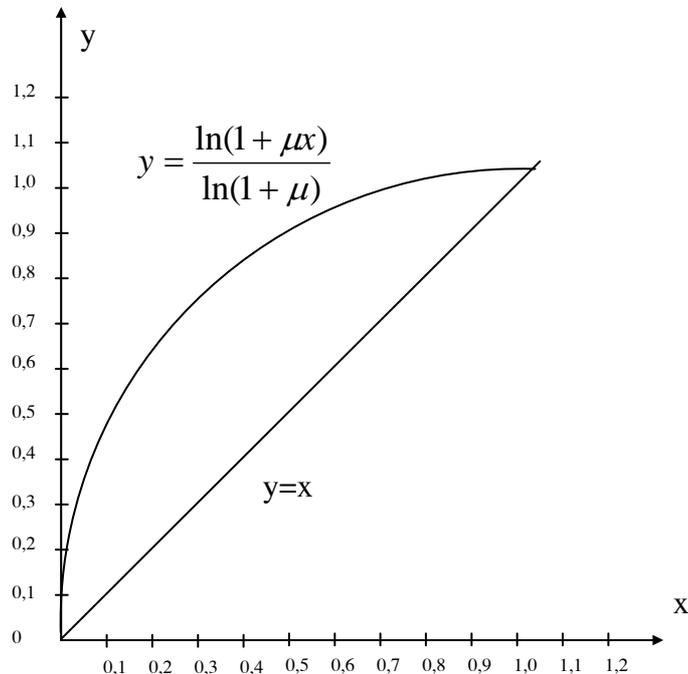
Đây là phương pháp kết hợp của 2 phương pháp song song và phân đoạn đã trình bày ở trên.

h. Chuyển đổi AD phi tuyến:

Quay lại công

thức $\Delta U_Q = \frac{1}{2}Q$, ta

thấy sai số tuyệt đối của chuyển đổi AD không đổi còn sai số tương đối tăng khi biên độ tín hiệu giảm, muốn thông số này không đổi, thì đường đặc tính phải có dạng loga, sao cho tỉ số tín hiệu trên tạp âm S/N không đổi trên toàn dải tương tự vào.



Đường đặc tính loga với $\mu=100$

Hàm đặc trưng của chuyển đổi AD :

$$y = \frac{\ln(1 + \mu x)}{\ln(1 + \mu)} \quad (12)$$

Trong đó $x = U_A / U_{Amax}$;
 $y = U_D / U_{Dmax}$

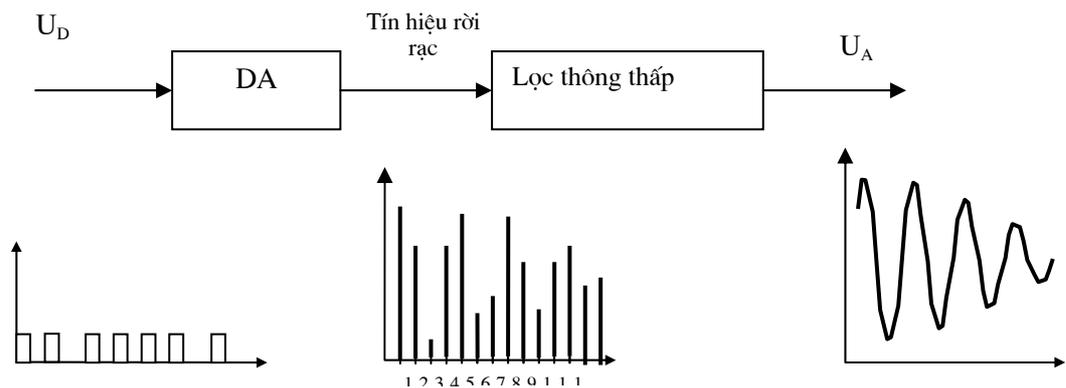
Để chuyển đổi từ tín hiệu số thành tín hiệu tương tự thì đường đặc tính DA phải có dạng ngược với đường AD. Phương pháp chuyển đổi này được dùng trong mạng điện thoại, với tên gọi điều chế xung mã PCM(xem thêm ở môn PDH), tỉ số S/N đều trên toàn dải sẽ làm cho chất lượng đàm thoại tăng, với các tham số μ chọn khác nhau ứng với 2 chuẩn lớn là Châu Âu và Bắc Mỹ

2. Chuyển đổi số – tương tự (DA)

DAC là quá trình chuyển đổi tìm lại tín hiệu tương tự từ N số hạng(N bit) đã biết của tín hiệu số với độ chính xác là một mức lượng tử (1LSB).

Chuyển đổi số – tương tự không phải là phép nghịch đảo của chuyển đổi tương tự- số, vì không thực hiện được phép nghịch đảo trong quá trình lượng tử hoá.

Chuyển đổi loại này đơn giản hơn DA rất nhiều, có sơ đồ khối như sau:



Sơ đồ khối chuyển đổi DA

a, Chuyển đổi DA bằng phương pháp thang điện trở

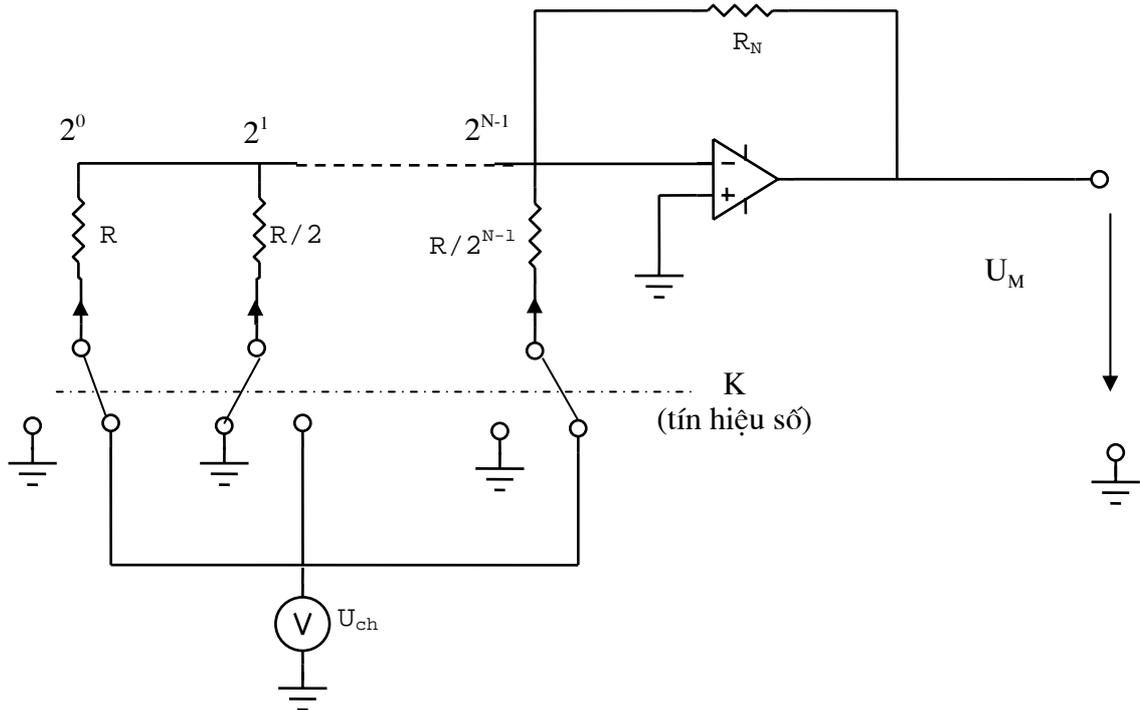
- Trên đầu vào bộ khuếch đại thuật toán là một mạng điện trở có giá trị thay đổi theo cơ số nhị phân, các điện trở lân cận nhau có trị số hơn kém nhau 2 lần.

- Tín hiệu điều khiển chính là tín hiệu số cần chuyển đổi, bit có nghĩa nhỏ nhất LSB được đưa đến điều khiển khoá nối với điện trở lớn nhất(R), bit có nghĩa tiếp theo với R/2....và MSB với R/2^N-1

- Nếu một bit có giá trị 0 thì khoá tương ứng nối đất của mạch, nếu là 1 thì nối với nguồn áp chuẩn: U_{ch}, nhằm tạo nên dòng điện tỉ lệ nghịch với trị số điện trở của nhánh đó, tức là I₀ có trị số nhỏ nhất, tiếp đến là I₁ và lớn nhất là I_{N-1}.

- Dòng điện sinh ra trong các nhánh điện trở được đưa đến đầu vào KĐTT, điện áp ra ở đầu ra :

$$U_M = -R_N \sum_{n=0}^{N-1} I_n \quad (13)$$



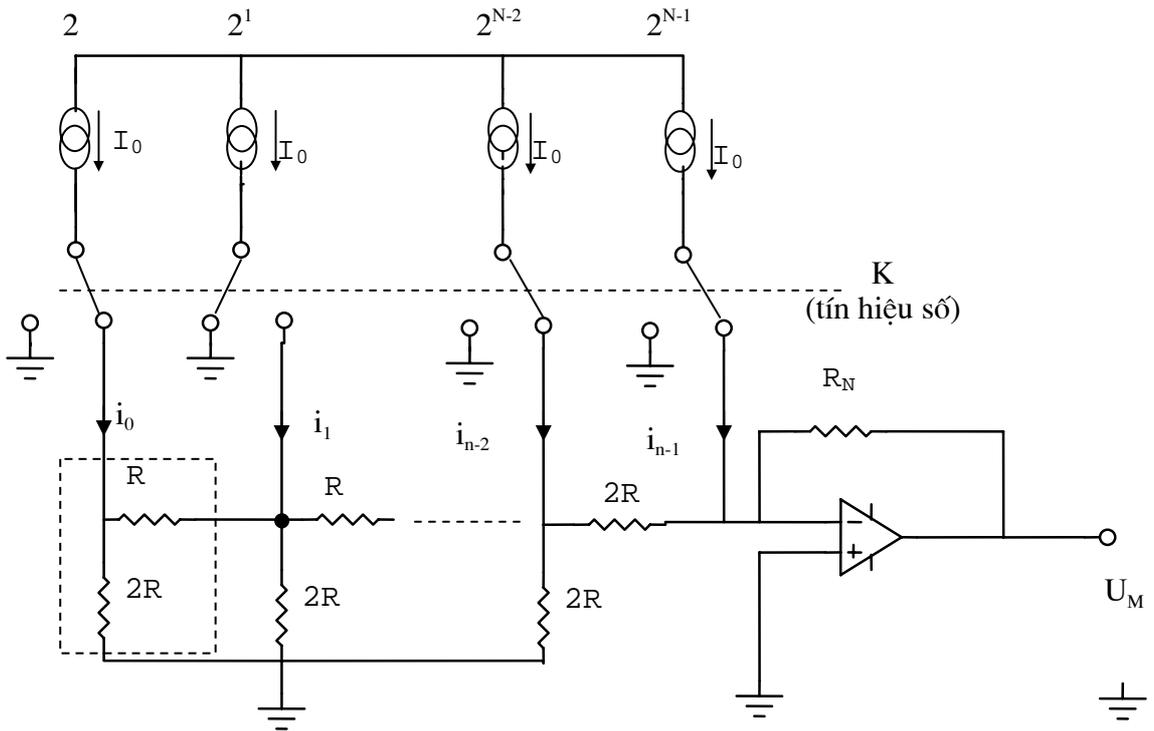
Sơ đồ nguyên lý chuyển đổi DA theo phương pháp thang điện trở

Ta thấy điện áp tương tự U_M có độ chính xác phụ thuộc rất lớn vào nguồn áp và các điện trở chuẩn, cho nên để có độ chính xác cao, yêu cầu về các điện trở và nguồn phải chính xác.

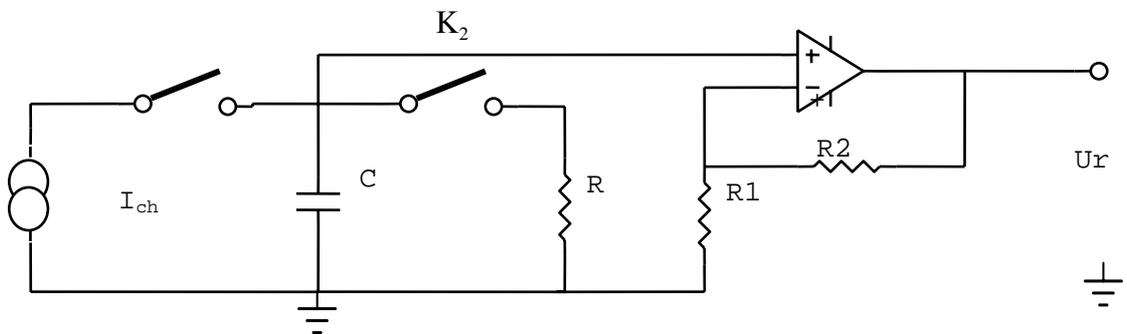
b, Chuyển đổi DA bằng phương pháp mạng điện trở

- Các nguồn dòng có giá trị bằng nhau $=I_0$
- Tín hiệu số được đưa đến khoá K, khi một tín hiệu điều khiển tương ứng của bit nào đó là 0, thì nguồn I_0 được ngắn mạch xuống đất của mạch, tín hiệu điều khiển là 1, khi đó mạng điện trở làm nhiệm vụ phân dòng.
- Điện trở nhánh dọc có giá trị gấp đôi nhánh ngang, nên dòng đi qua mỗi khâu điện trở giảm đi một nửa. Dòng điện ứng với bit LSB đi qua (N-1) khâu, dòng có giá trị kế tiếp đi qua (N-2) khâu..., dòng ứng với bit MSB không qua khâu nào (I_0 đưa trực tiếp vào KĐTT). Như vậy các dòng điện ở cửa vào KĐTT có trị số tương ứng với bit mà nó đại diện, giảm dần theo mã nhị phân từ MSB--> LSB.

Sơ đồ này có nhược điểm là số điện trở dùng nhiều: chuyển đổi DA N bit cần $2(N-1)$ điện trở (Phương pháp thang điện trở chỉ cần dùng N điện trở)



c, Chuyển đổi DA bằng phương pháp mã hoá Shannon-Rack



- Thực hiện quá trình chuyển đổi nối tiếp từng bit, tín hiệu điều khiển số được đưa vào tuần từ : LSB--> MSB đến khoá điều khiển K_1

- Nếu thời gian chuyển đổi 1 bit là T thì trong nửa thời gian đầu $T/2$ K_2 mở, K_1 đóng (tín hiệu là 1) hoặc K_1 mở (tín hiệu là 0). Khi K_1 đóng (bit 1) tụ điện được nạp điện. Sang nửa thời gian thứ 2 $T/2$, K_1 mở và K_2 đóng, tụ C phóng điện qua R và U_C giảm dần.

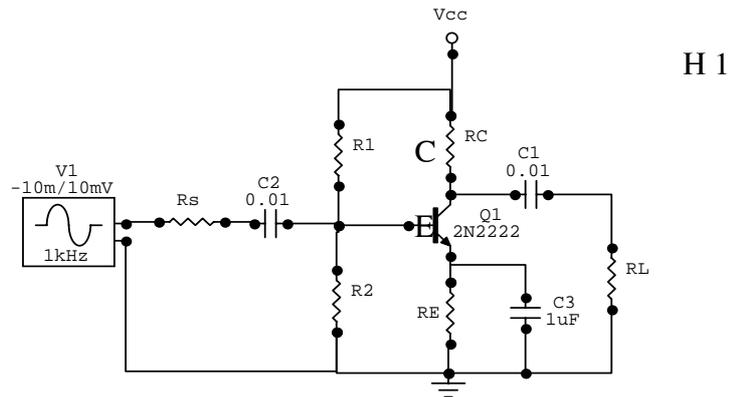
Quá trình đó lặp đi lặp lại khi lần lượt đưa đến các bit điều khiển K_1 , như vậy thời gian chuyển đổi N bit là NT . Sau khoảng thời gian NT này điện áp còn lại trên tụ chính là điện áp tương tự cần chuyển đổi. Với thời gian T theo điều kiện:

$$T = 1,4RC \quad (14)$$

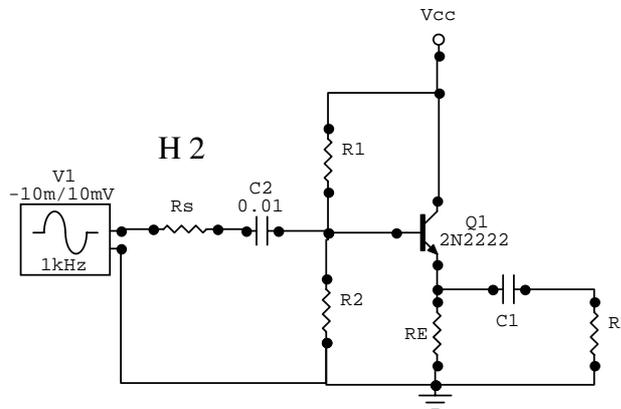
PHẦN BÀI TẬP:

I. BÀI TẬP TRANSISTOR – CHẾ ĐỘ ĐỘNG

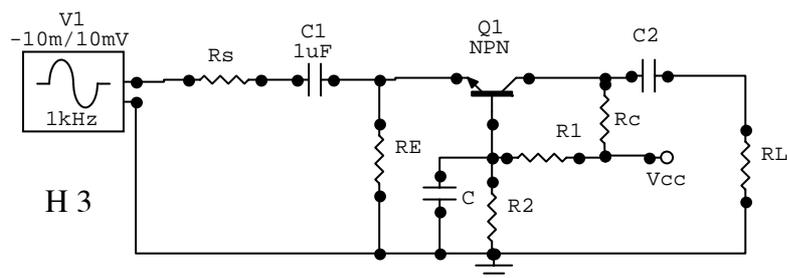
Bài 1 . Cho mạch như hình 1. Biết $R_1 = 20K$; $R_2 = 2K$; $R_c = 10K$; $R_E = 1K$; $R_L = 10K$. Biết $\beta_{dc} = 100$; $R_s = 1K$. Viết biểu thức điện áp ra trên trở tải R_L . $V_{cc}=12V$.



Bài 2. Cho mạch CC như hình 2. Với $R_1 = 30K$; $R_2 = 3K$; $R_E = 12K$; $R_L = 2K$. $R_s=1K$. Tìm biểu thức tính giá trị điện áp ra.

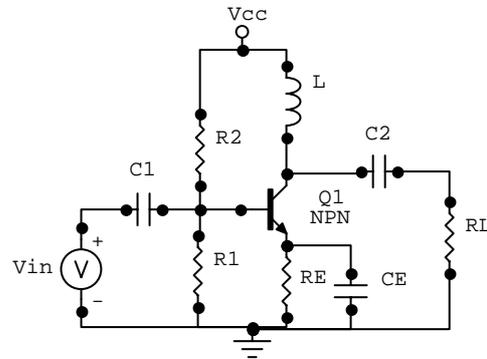


Bài 3. Cho mạch CB như hình H3. Biết $R_s=50$; $R_E = 20K$; $R_1=20K$; $R_2=2K$; $R_c=10K$; $R_E = 1K$. Tìm biểu thức tính giá trị điện áp ra trên R_L . với $R_L = 5,1K$.



II. BÀI TẬP KTĐT - PHẦN KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT

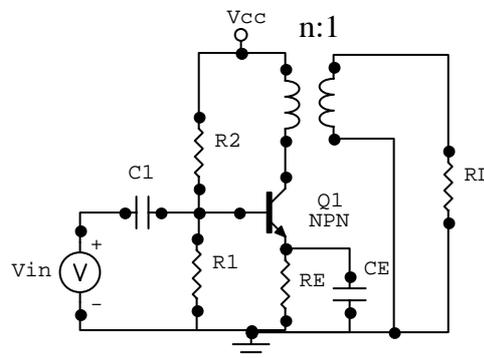
1. Cho mạch khuếch đại chế độ A



Cho R_1, R_2, R_e, R_L , các tham số: U_{BE}, β , câu hỏi:

- Viết phương trình và vẽ đường tải tĩnh, động.
- Tính công suất ra, công suất cung cấp một chiều, hiệu suất.

2. Bộ khuếch đại ghép biến áp:

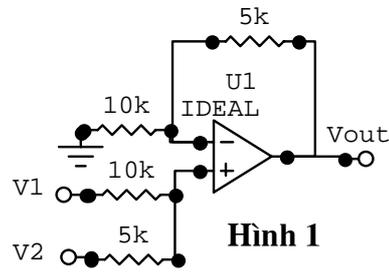


Cho R_1, R_2, R_e, R_L , các tham số: U_{BE}, β , câu hỏi:

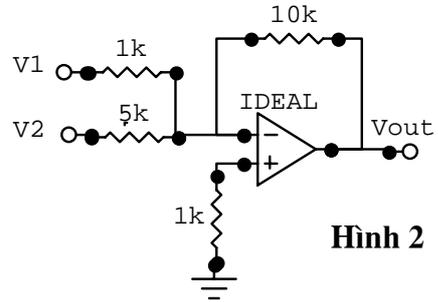
- Viết phương trình và vẽ đường tải tĩnh và động.
- Tính công suất ra, công suất cung cấp một chiều, hiệu suất.

III. PHẦN KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN.

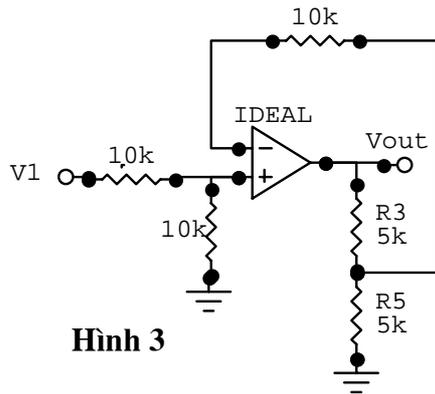
Bài 1 - bài 10: Tìm điện áp ra trên cơ sở điện áp vào đối với các mạch sau:
60



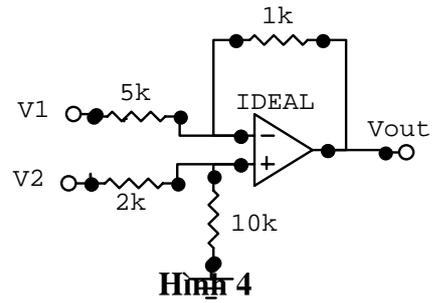
Hình 1



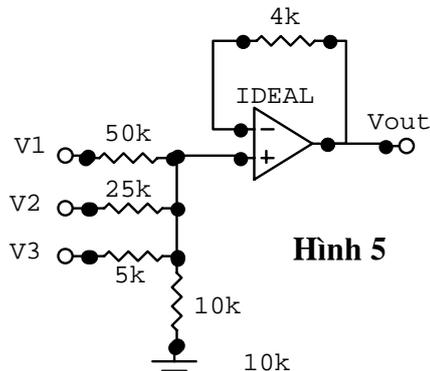
Hình 2



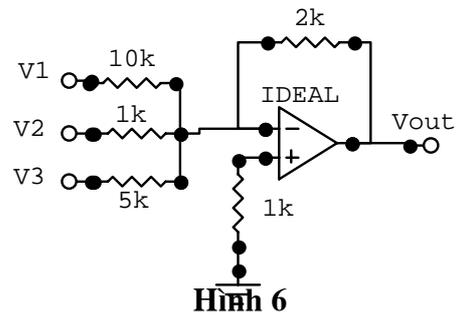
Hình 3



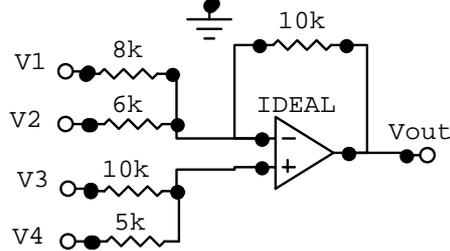
Hình 4



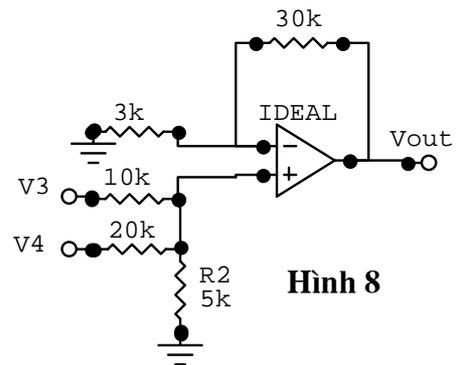
Hình 5



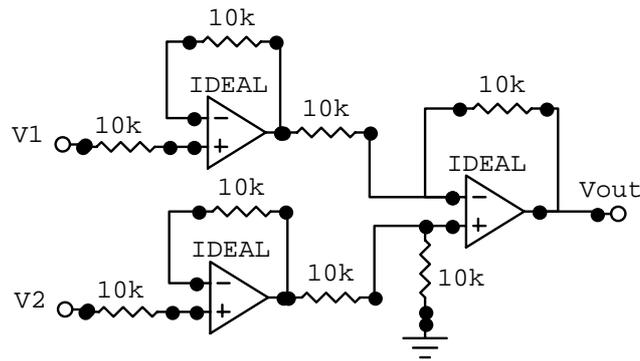
Hình 6



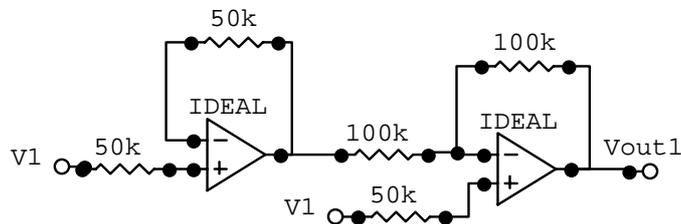
Hình 7



Hình 8



Hình 9



Hình 10

Trong các bài sau (từ 11-15) hãy thiết kế mạch KĐTT để có được mối quan hệ sau:

Bài 11 $v_0 = 3v_1 + 11v_2 - v_3 - 10v_4$

Bài 12 $v_0 = 8v_1 + 81v_2 - 24v_3 - 39v_4$

Bài 13 $v_0 = 60v_1 + 18v_2 - 3v_3 - 11v_4$

Bài 14 $v_0 = 3v_1 + 4v_2 + 63v_3 - 14v_4 - 55v_5$

Bài 15 Thiết kế mạch (sử dụng bộ KĐTT) thực hiện hàm:

$$y = 2.a + 21 \frac{db}{dt} + 31 \int c dt .$$

Bài 16. Thiết kế mạch (sử dụng bộ KĐTT) thực hiện hàm:

$$y = 32. a - 2 \frac{db}{dt} - 52 \int c dt .$$

Bài 17. Thiết kế mạch thực hiện hàm:

$$Y = 37 \ln x + 23 \exp x$$

Bài 18. Thiết kế mạch thực hiện hàm:

$$Y = 37 \ln x + 2x^1 \cdot x^2$$

Bài 19. Thiết kế mạch thực hiện hàm:

$$Y = 31 \ln x + 9x^1 / x^2$$

Bài 20. Thiết kế mạch thực hiện hàm:

$$Y = 7 \exp x - 2x^1 \cdot x^2 + x^1 / x^2$$

(với a, b, c, x1, x2 là điện áp vào; y, Y là các giá trị điện áp ra).

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Electronics circuits, Ghausi, ISBN Editor , 1982
2. Kỹ thuật Mạch điện tử, Phạm Minh Hà, NXB KHKT 1999.
3. Điện tử Công suất, Nguyễn Bính, NXB KHKT 2000.
4. Industrial Electronics and control, SK BHATTACHARYA, ISBN Editor, 1995

MUC LUC:

Chương I. Những khái niệm chung và cơ sở phân tích mạch điện tử 4

 I. MẠCH ĐIỆN TỬ: 4

 II. CÁC KIẾN THỨC CƠ BẢN VỀ TRANSISTOR..... 4

 III. MẠCH CẤP NGUỒN VÀ ỔN ĐỊNH CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC 5

 2. Với BJT. 5

 3. với FET 7

Chương 2. Hồi tiếp..... 9

 I. KHÁI NIỆM:..... 9

 1. Định nghĩa: 9

 3. Các phương trình cơ bản: 11

 III. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH CÓ HỒI TIẾP: 12

 a, Hồi tiếp âm dòng điện, ghép nối tiếp 12

 b, Hồi tiếp âm điện áp, ghép nối tiếp 13

 c, Hồi tiếp âm điện áp, ghép song song 14

 d, Hồi tiếp âm dòng điện, ghép song song 15

 IV. ẢNH HƯỞNG CỦA HỒI TIẾP ĐẾN CÁC THỐNG SỐ CỦA MẠCH. 16

Chương 3. Các sơ đồ cơ bản của tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng Transistor ... 17

 I. KHÁI NIỆM..... 17

 II. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI BẰNG SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG 17

 1. Mạch tương đương của Transistor 17

 2. Mạch tương đương kiểu EC: 18

 3. Mạch tương đương kiểu BC: 18

 4. Mạch tương đương kiểu CC: 19

 5. Phân tích mạch khuếch đại bằng mạch tương đương..... 19

 III. TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ Ở CHẾ ĐỘ ĐỘNG..... 20

 IV. TRANSISTOR TRƯỜNG- FET..... 21

 V. CÁC PHƯƠNG PHÁP GHEP TẦNG GIỮA CÁC BỘ KHUẾCH ĐẠI 23

 1. Ghép RC..... 23

 2. Ghép biến áp 24

 3. Ghép trực tiếp..... 25

 4. Các kiểu ghép transistor khác 25

 5. Mạch khuếch đại vi sai 26

Chương 4 . Khuếch đại công suất 29

 I. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI 29

 II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CHẾ ĐỘ A..... 29

 III. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CHẾ ĐỘ B. 30

 a. Mạch khuếch đại đẩy kéo..... 31

 b. Mạch khuếch đại đẩy kéo, đối xứng bù (ngược)..... 32

 c. Mạch khuếch đại kết cuối đơn với 2 nguồn cung cấp..... 33

 d. Mạch khuếch đại kết cuối đơn với 1 nguồn cung cấp..... 34

 IV. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CHẾ ĐỘ C. 34

Chương 5. Khuếch đại thuật toán 37

 I. CƠ BẢN VỀ BỘ KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN (OPERATIONAL AMPLIFIER)..... 37

 II. CÁC THAM SỐ CƠ BẢN CỦA BỘ KĐT..... 38

1. Hệ số khuếch đại hiệu Kd	38
2. Dòng vào tĩnh và điện áp lệch không	39
3. Tỷ số nén tín hiệu đồng pha	39
III. CÁC SƠ ĐỒ CƠ BẢN CỦA BỘ KĐT	40
1. Bộ khuếch đại đảo	40
2. Mạch khuếch đại không đảo	41
3. Mạch khuếch đại tổng	42
4. Mạch khuếch đại hiệu	42
5. Mạch tích phân	43
6. Mạch vi phân	44
7. Mạch so sánh	45
8. Mạch khuếch đại logarit	45
9. Mạch exp:	46
10. Mạch nhân(chia) tương tự:	47
IV. PHẦN BÀI TẬP	47
1. Bài toán thuận	47
2. Bài toán ngược	49
Chương 5 .Mạch lọc tích cực.	53
I. KHÁI NIỆM VỀ MẠCH LỌC TẦN SỐ	53
II. MẠCH LỌC THỤ ĐỘNG	54
III. MẠCH LỌC TÍCH CỰC	56
1 Thực hiện mạch lọc thông thấp và thông cao bậc 2.	58
2. Thực hiện mạch lọc thông thấp và thông cao bậc cao, $n>2$	61
3. Mạch lọc chọn lọc và mạch lọc thông dải.....	61
4. Mạch nén chọn lọc	64
Chương 6.Các mạch dao động	66
I. KHÁI NIỆM.....	66
1.Điều kiện dao động và đặc điểm của mạch tạo dao động	68
2. Tính toán mạch dao động	68
II. CÁC LOẠI MẠCH DAO ĐỘNG	70
1. Mạch dao động L,C.....	70
2. Mạch dao động R,C	76
3. Mạch dao động dùng thạch anh.	82
Chương7. điều chế biên độ	87
I. ĐỊNH NGHĨA.....	87
II.ĐIỀU BIÊN(AM).....	87
1 Phổ của tín hiệu điều biên.....	87
2 Quan hệ năng lượng trong điều chế biên độ	88
3. Các chỉ tiêu cơ bản của dao động đã điều biên	89
4. Phương pháp tính toán mạch điều biên	91
5. Mạch điều biên cụ thể.....	93
III. ĐIỀU CHẾ ĐƠN BIÊN	96
1. Khái niệm.....	96
2. Các phương pháp điều chế đơn biên	96
IV.ĐIỀU TẦN(FM) VÀ ĐIỀU PHA(PM)	100
1. Các công thức cơ bản và mối quan hệ của hai phương pháp.....	100
2, Phổ của dao động đã điều tần và điều pha	101
3, Mạch điều tần và điều pha	101

4. Một số biện pháp để nâng cao chất lượng tín hiệu điều tần.....	108
Chương 8. Giải điều chế(tách sóng)	109
I. KHÁI NIỆM:.....	109
1. Các tham số cơ bản của tách sóng biên độ:	109
2. Mạch tách sóng biên độ:	110
III. TÁCH SÓNG TÍN HIỆU ĐIỀU TẦN.....	115
Mạch có dạng như hình vẽ dưới đây:	116
IV. VÒNG KHÓA PHA PLL(PHASE LOCKED LOOP)	123
1. Cấu tạo	123
2. Nguyên tắc hoạt động:	124
3. Ứng dụng của PLL	125
Chương 9. Trộn tần	127
I. KHÁI NIỆM.....	127
1. Định nghĩa:	127
2. Nguyên lý trộn tần:	127
II. HỆ PHƯƠNG TRÌNH ĐẶC TRƯNG:.....	128
III. NHIỄU TRONG MẠCH TRỘN TẦN	129
IV. MẠCH TRỘN TẦN	130
1. Mạch trộn tần dùng Diode	130
2. Mạch trộn tần dùng phân tử khuếch đại.....	133
Chương 10. Chuyển đổi tương tự – số	141
và chuyển đổi số – tương tự.....	141
I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	141
1. Khái niệm chung:.....	141
2. Các tham số cơ bản	143
3. Nguyên tắc làm việc của bộ ADC:.....	143
II. CÁC PHƯƠNG PHÁP CỤ THỂ:.....	145
1. Chuyển đổi tương tự – số:	145
2. Chuyển đổi số – tương tự (DA).....	151
Phần bài tập:.....	154
I. BÀI TẬP TRANSISTOR – CHẾ ĐỘ ĐỘNG	154
II. BÀI TẬP KTĐT - PHẦN KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT.....	155
1. Cho mạch khuếch đại chế độ A	155
2. Bộ khuếch đại ghép biến áp:	155
III. PHẦN KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN.....	155
Tài liệu tham khảo:	158

ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Tài liệu tham khảo

- Điện tử công suất – Lê Văn Doanh
- Giáo trình điện tử công suất – Nguyễn Văn Nhờ
- Điện tử công suất – Nguyễn Bính

dqvinh@dng.vnn.vn

0903 586 586

CHƯƠNG 1

MỞ ĐẦU – CÁC LINH KIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

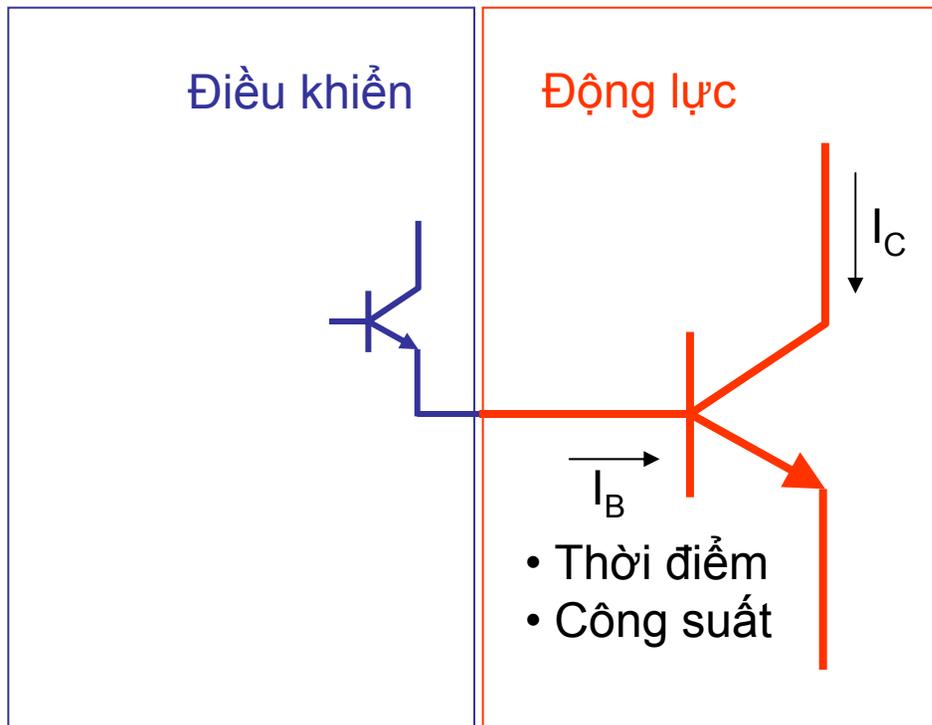
1.1 Khái niệm chung

Điện tử Công suất lớn

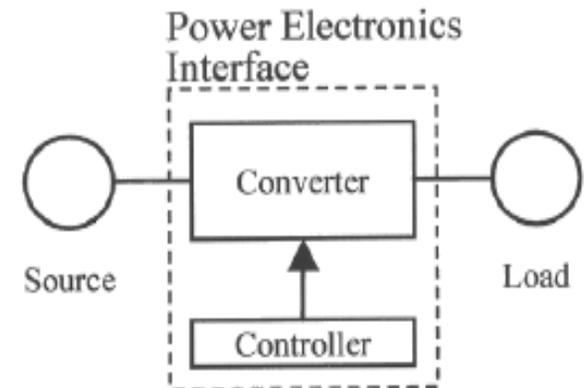
Các linh kiện điện tử công suất được sử dụng
trong các mạch động lực – công suất lớn

Sự khác nhau giữa các linh kiện điện tử ứng dụng (điện tử điều khiển) và điện tử công suất

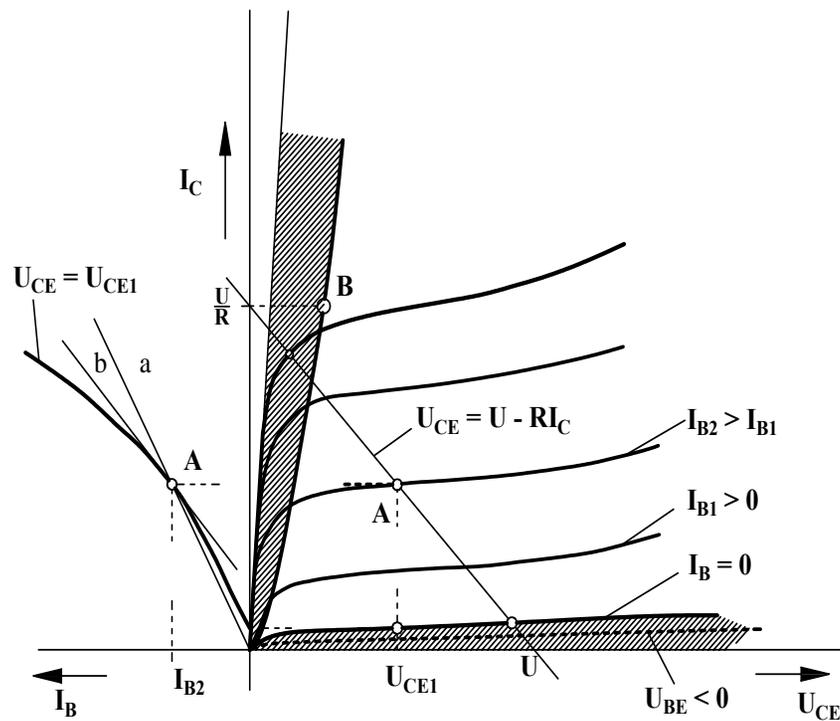
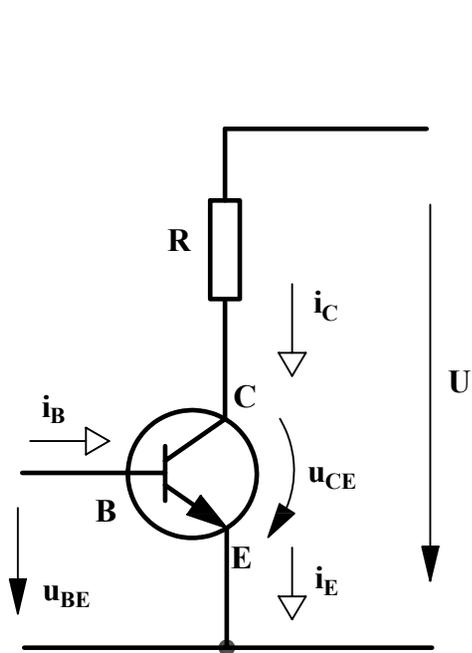
- Công suất: nhỏ – lớn
- Chức năng: điều khiển – đóng cắt dòng điện công suất lớn



Các linh kiện điện tử công suất chỉ làm chức năng đóng cắt dòng điện – các van

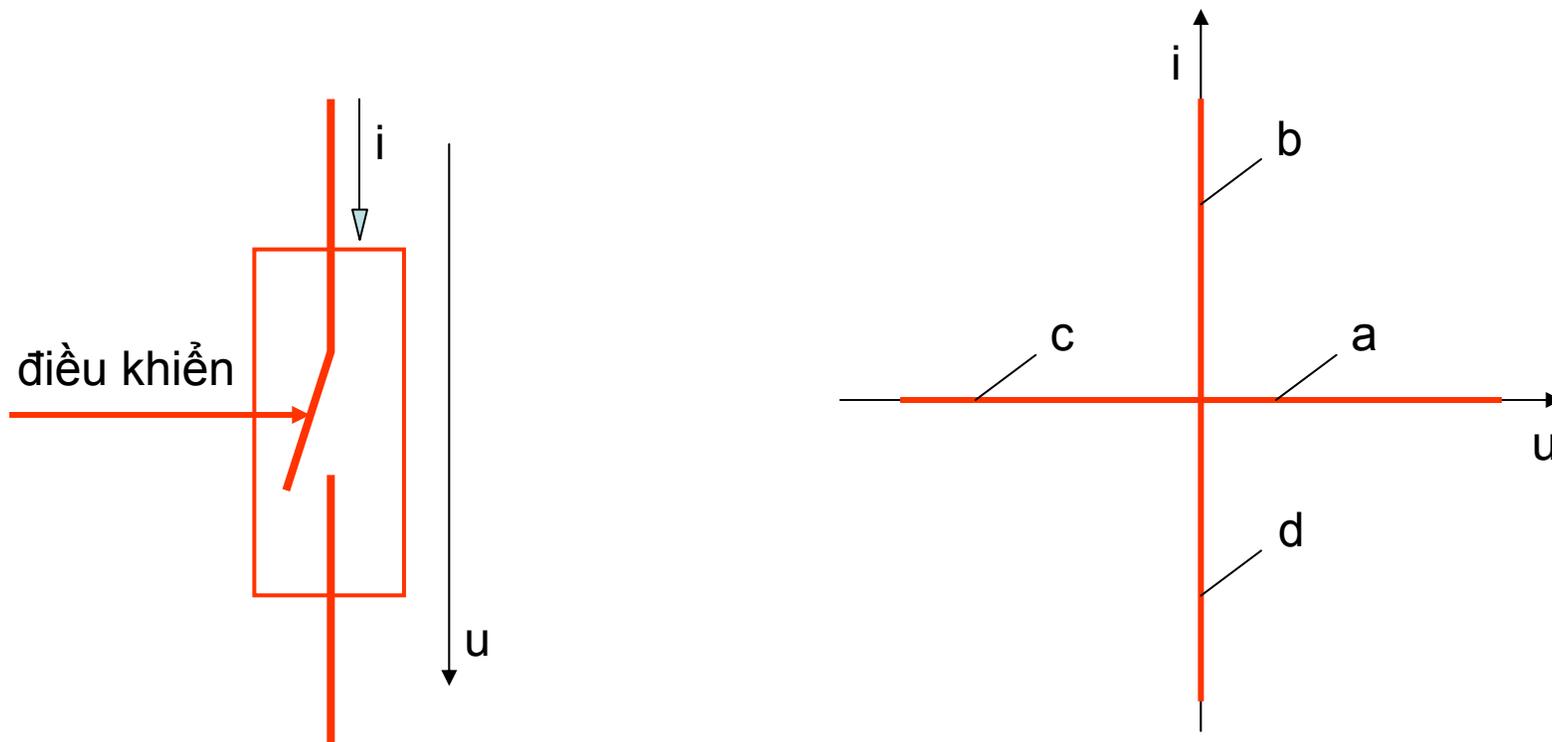


Transistor điều khiển: Khuếch đại



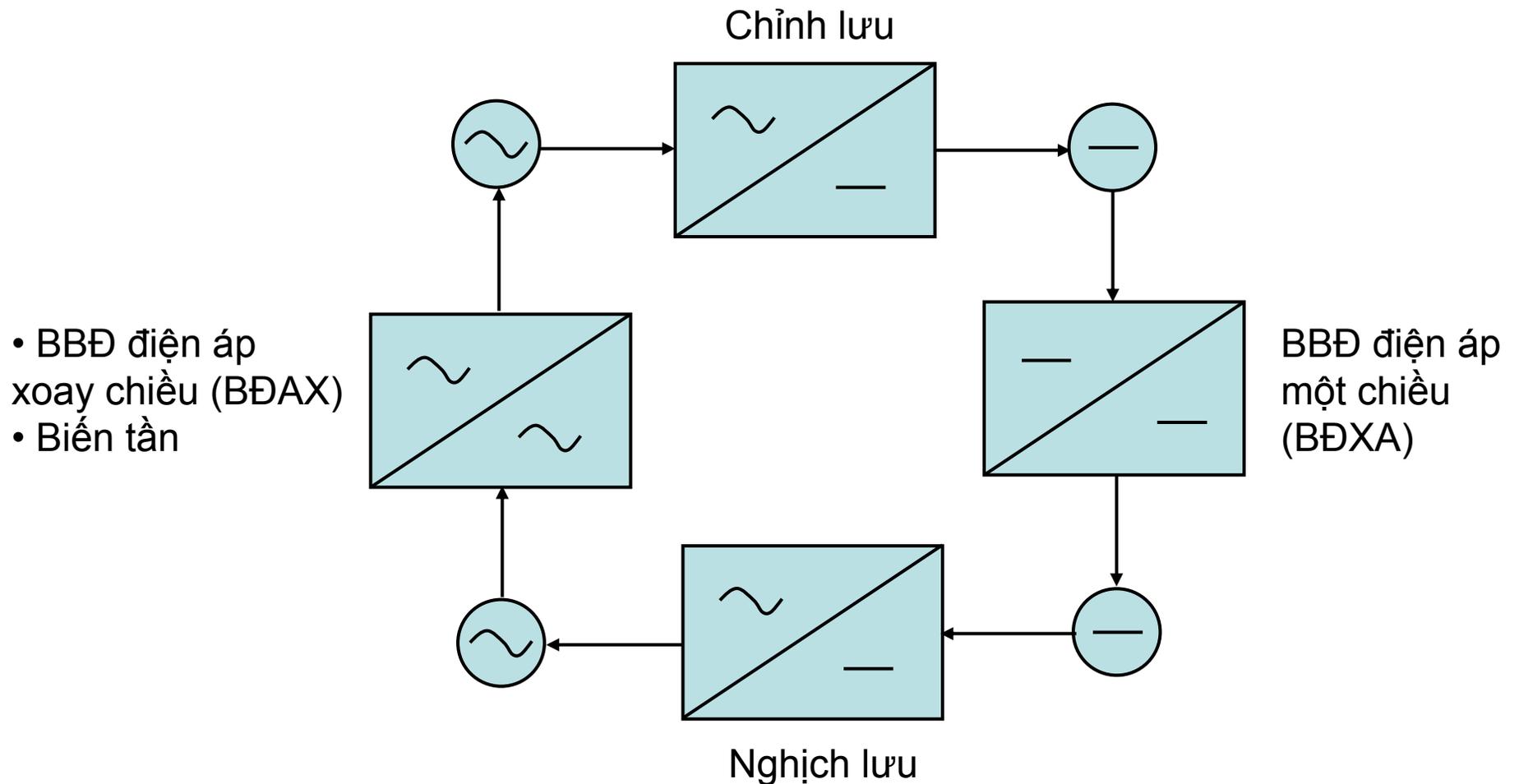
Transistor công suất: đóng cắt dòng điện

Đặc tính Volt – Ampe của van công suất lý tưởng



Đối tượng nghiên cứu của điện tử công suất

- Các bộ biến đổi công suất
- Các bộ khóa điện tử công suất lớn



1. 2. Các linh kiện điện tử công suất

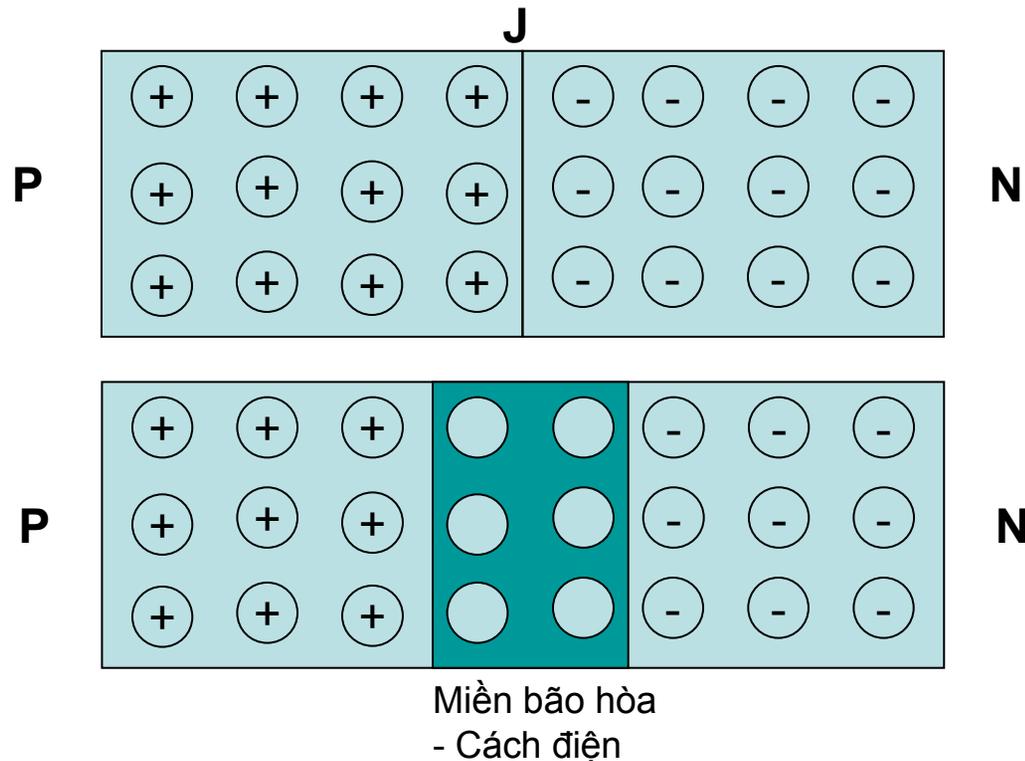
1.2.1 Chất bán dẫn - Lớp tiếp giáp P - N

Chất bán dẫn:

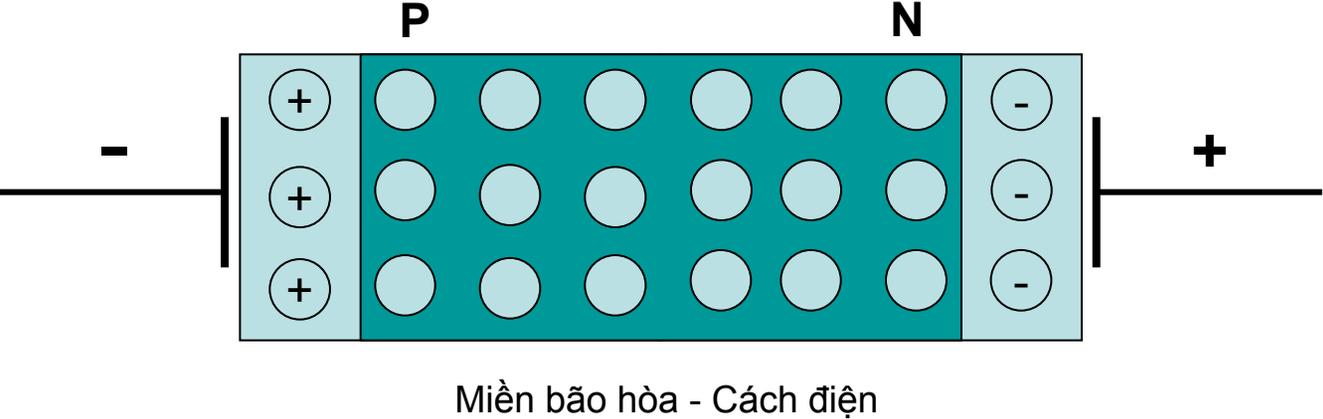
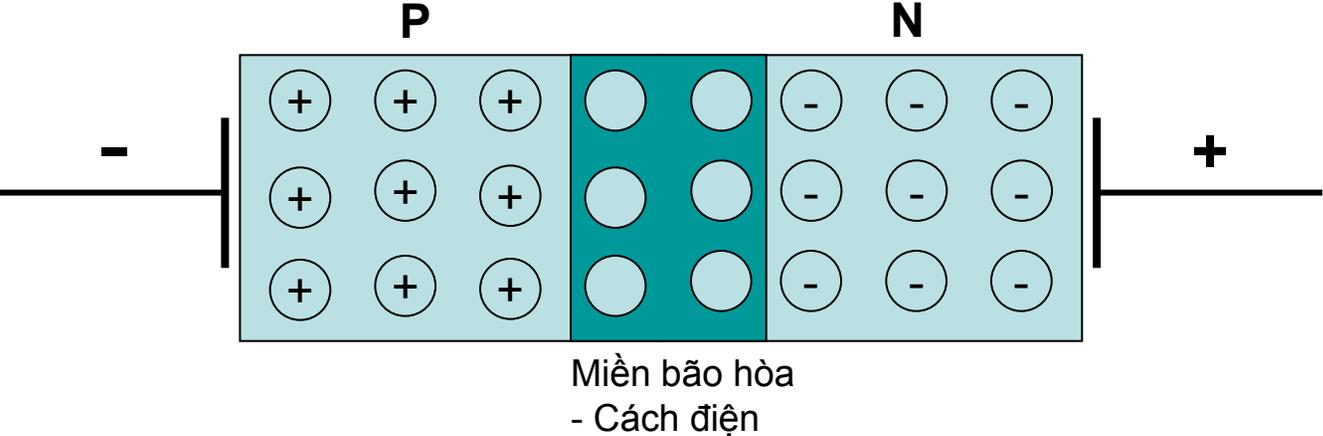
Ở nhiệt độ bình thường có độ dẫn điện nằm giữa chất dẫn điện và chất cách điện

Loại P: phần tử mang điện là lỗ trống – mang điện tích dương

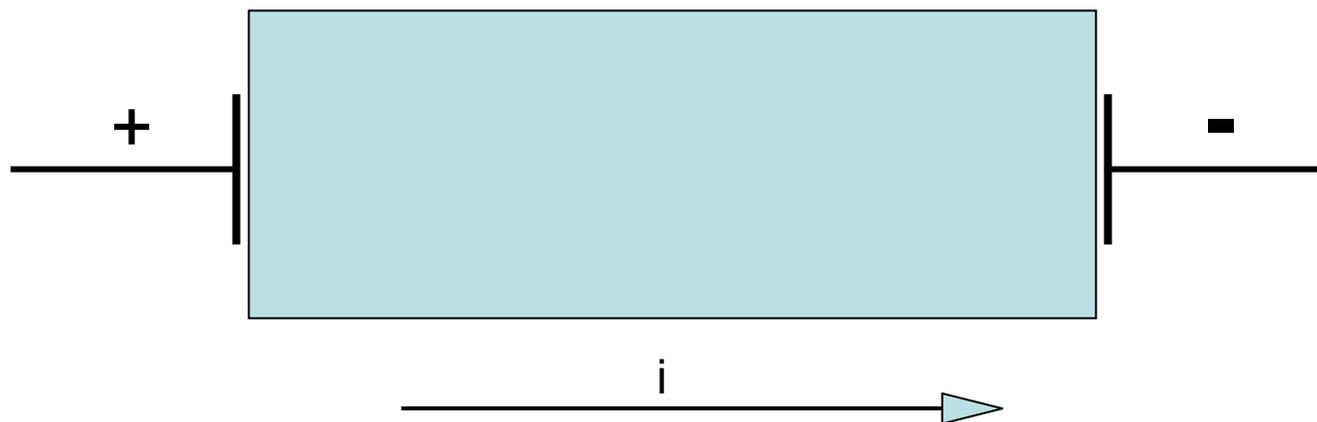
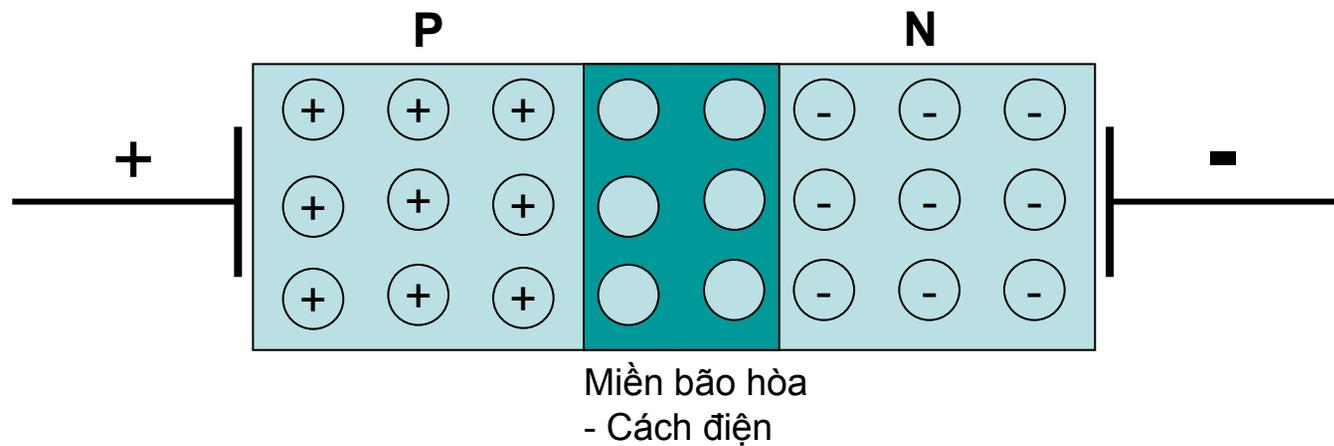
Loại N: phần tử mang điện là các electron – mang điện tích âm



Phân cực ngược

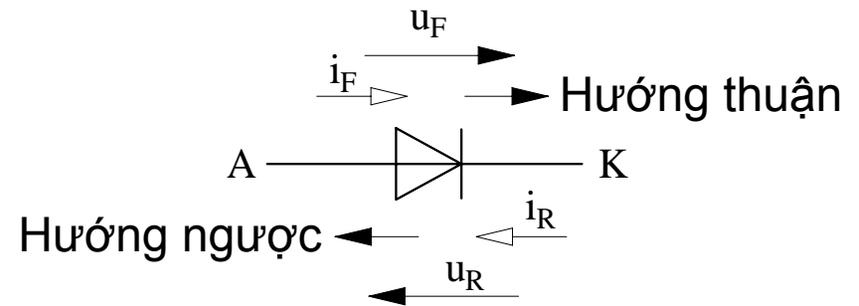
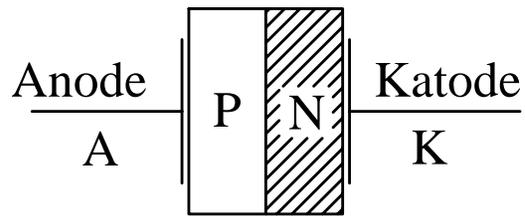


Phân cực thuận



1.2.2 Diode

Cấu tạo, hoạt động



R: reverse – ngược

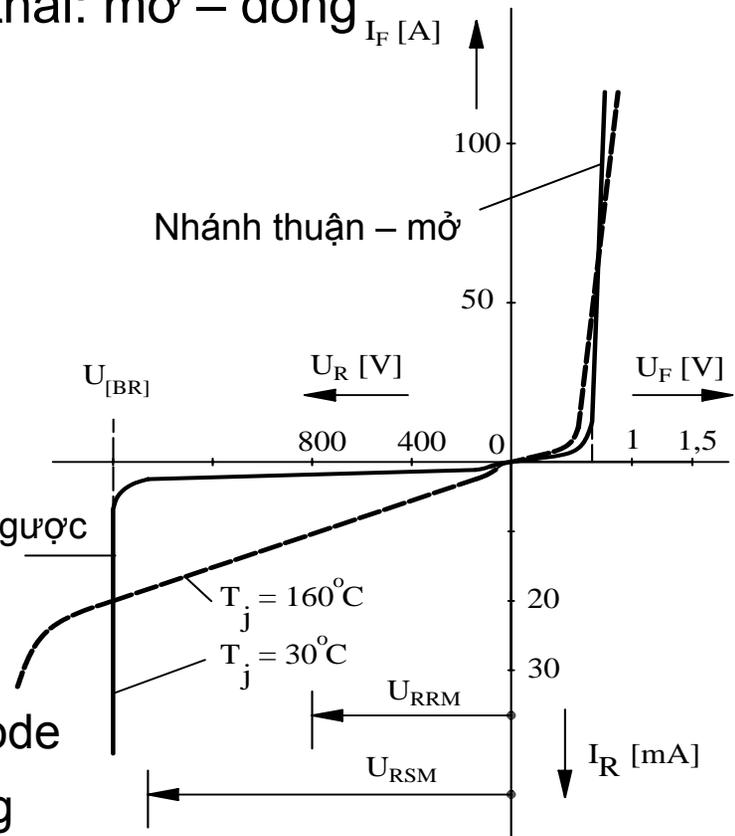
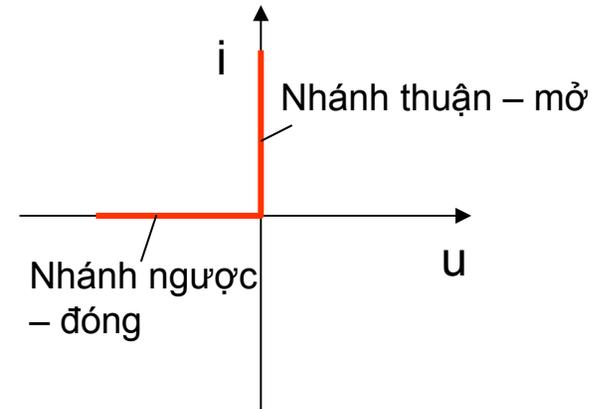
F: forward – thuận

Đặc tính V – A

Diode lý tưởng

Hai trạng thái: mở – đóng

Diode thực tế



$$r_R = \frac{dU_R}{dI_R}$$

điện trở ngược trong diode

U_{BR} : điện áp đánh thủng

U_{TO} : điện áp rơi trên diode

$$r_F = \frac{dU_F}{dI_F}$$

điện trở thuận trong diode

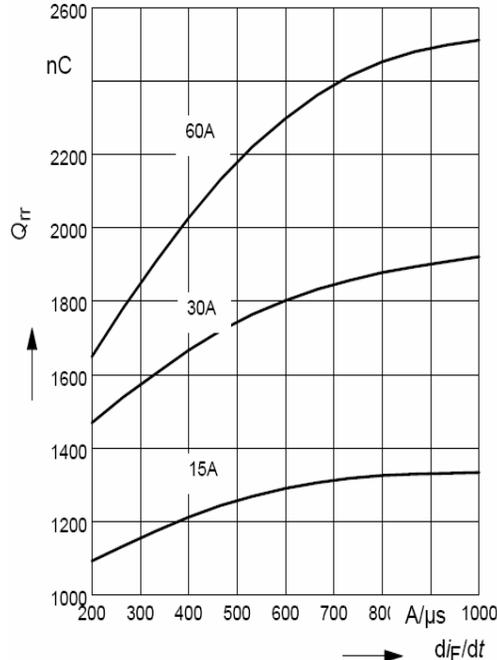
Đặc tính động của diode

- U_K : Điện áp chuyển mạch
- t_{rr} : Thời gian phục hồi khả năng đóng
- i_{rr} : Dòng điện chuyển mạch – phục hồi

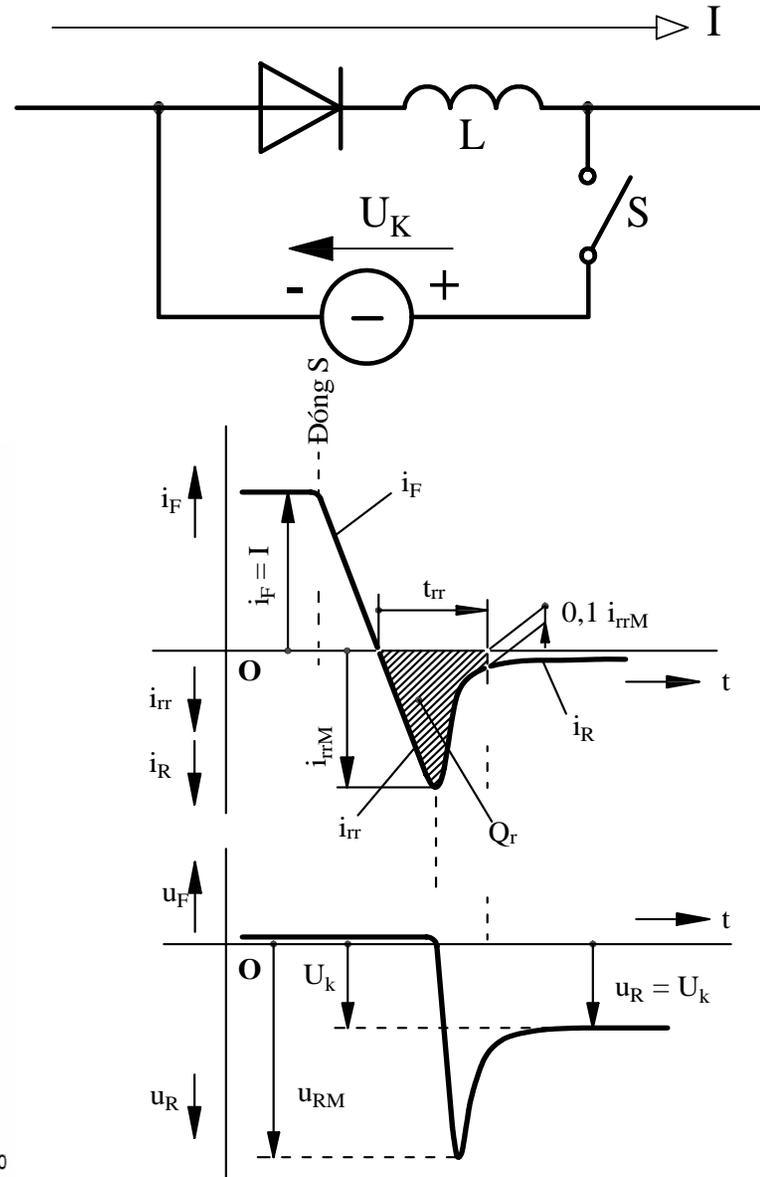
$$Q_r = \int_0^{t_{rr}} i_{rr} dt \quad : \text{điện tích chuyển mạch}$$

$$Q_{rr} = f(di_F/dt)$$

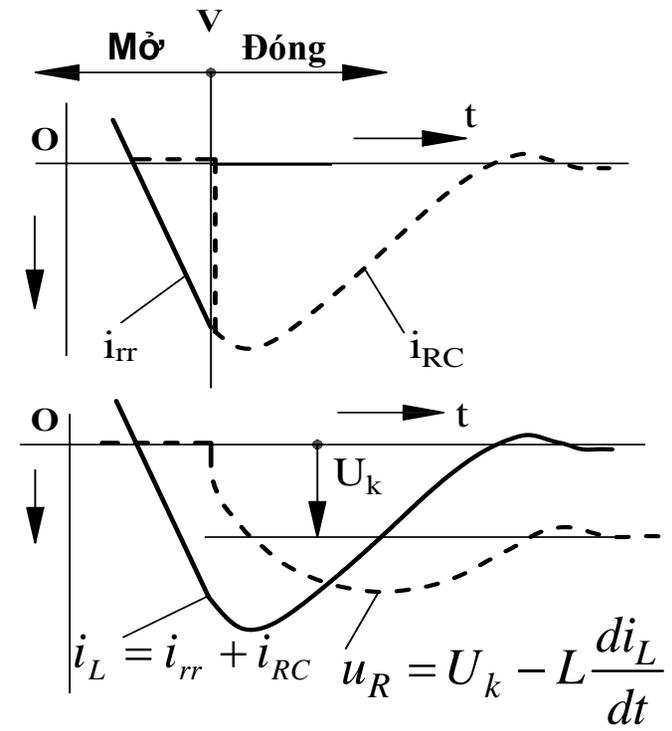
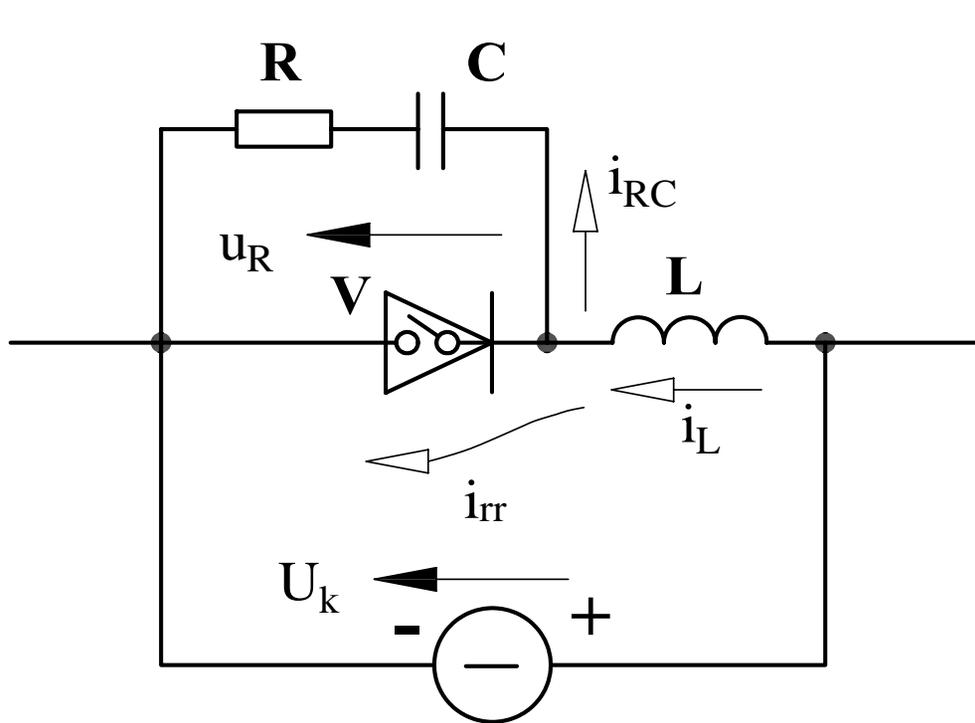
parameter: $V_R = 400V, T_j = 125^\circ C$



Quá áp trong



Bảo vệ chống quá áp trong



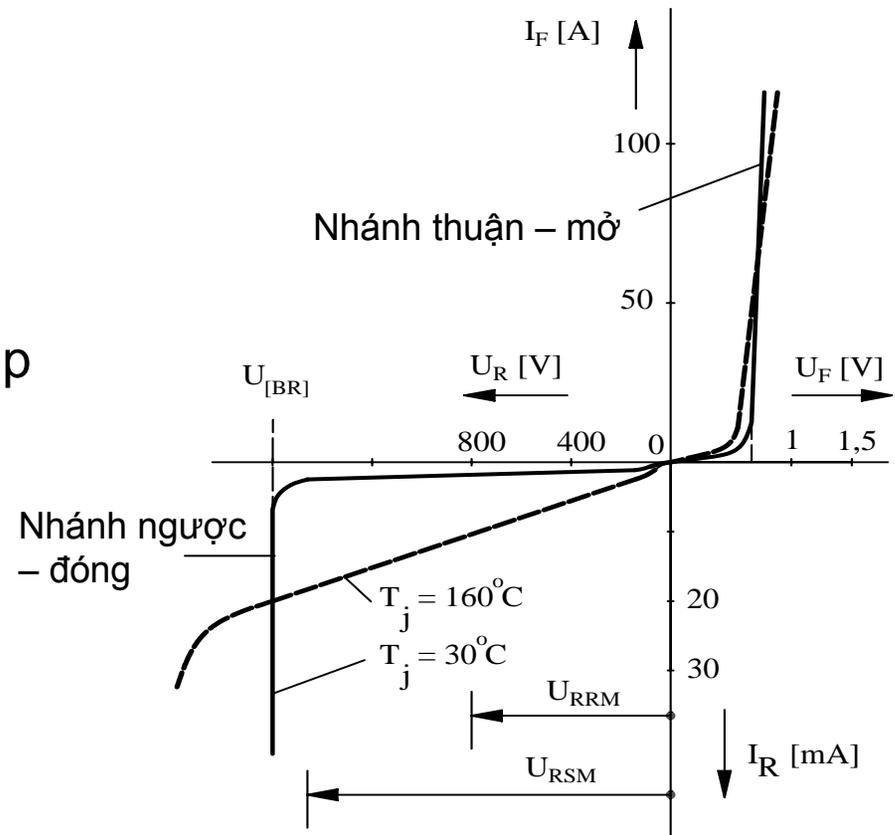
Các thông số chính của diode

Điện áp:

- Giá trị điện áp đánh thủng U_{BR}
- Giá trị cực đại điện áp ngược lặp lại:
 U_{RRM}
- Giá trị cực đại điện áp ngược không lặp lại: U_{RSM}

Dòng điện - nhiệt độ làm việc

- Giá trị trung bình cực đại dòng điện thuận: $I_{F(AV)M}$
- Giá trị cực đại dòng điện thuận không lặp lại: I_{FSM}

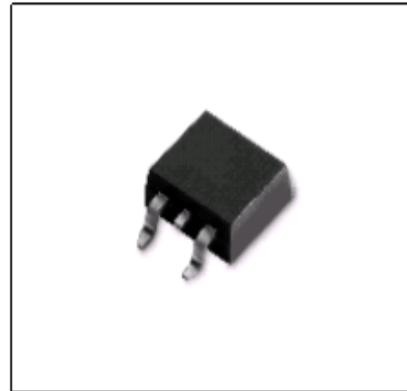


Diode thực tế: IDB30E60 – Infineon Technologies

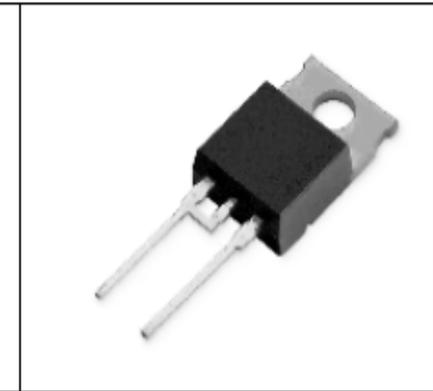
Product Summary

V_{RRM}	600	V
I_F	30	A
V_F	1.5	V
T_{jmax}	175	°C

P-TO220-3.SMD



P-TO220-2-2.

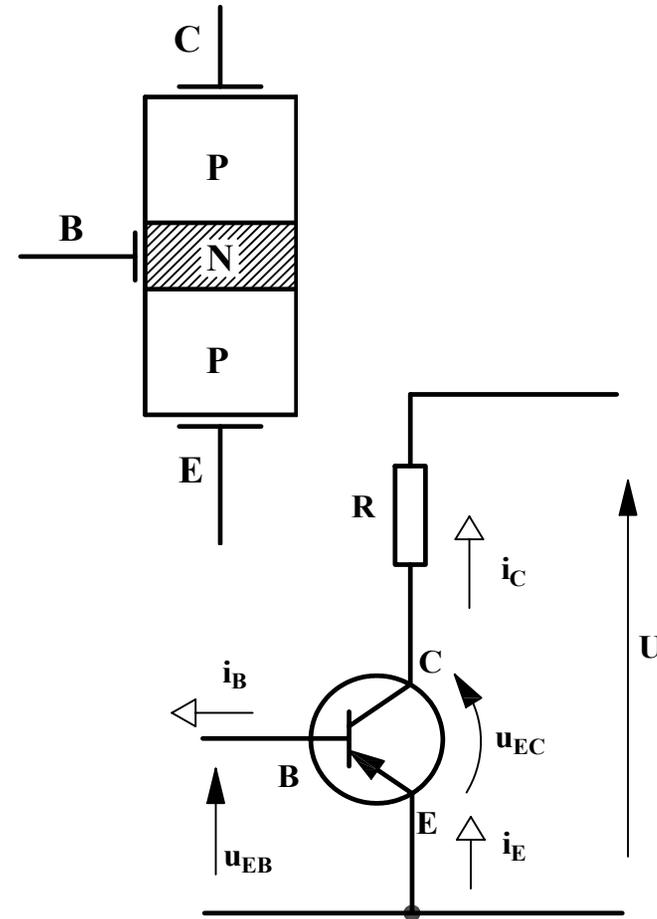
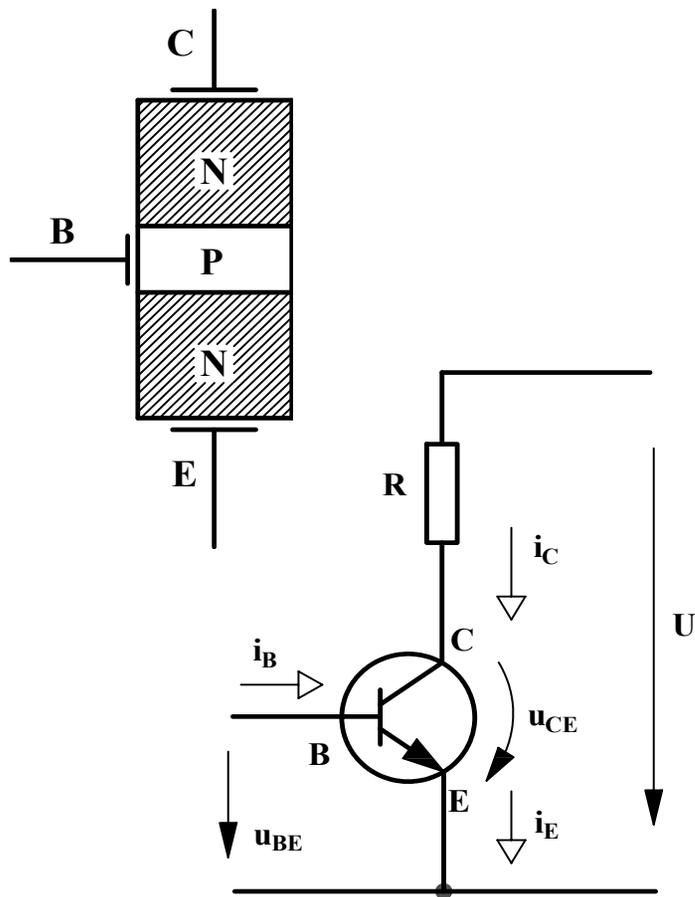


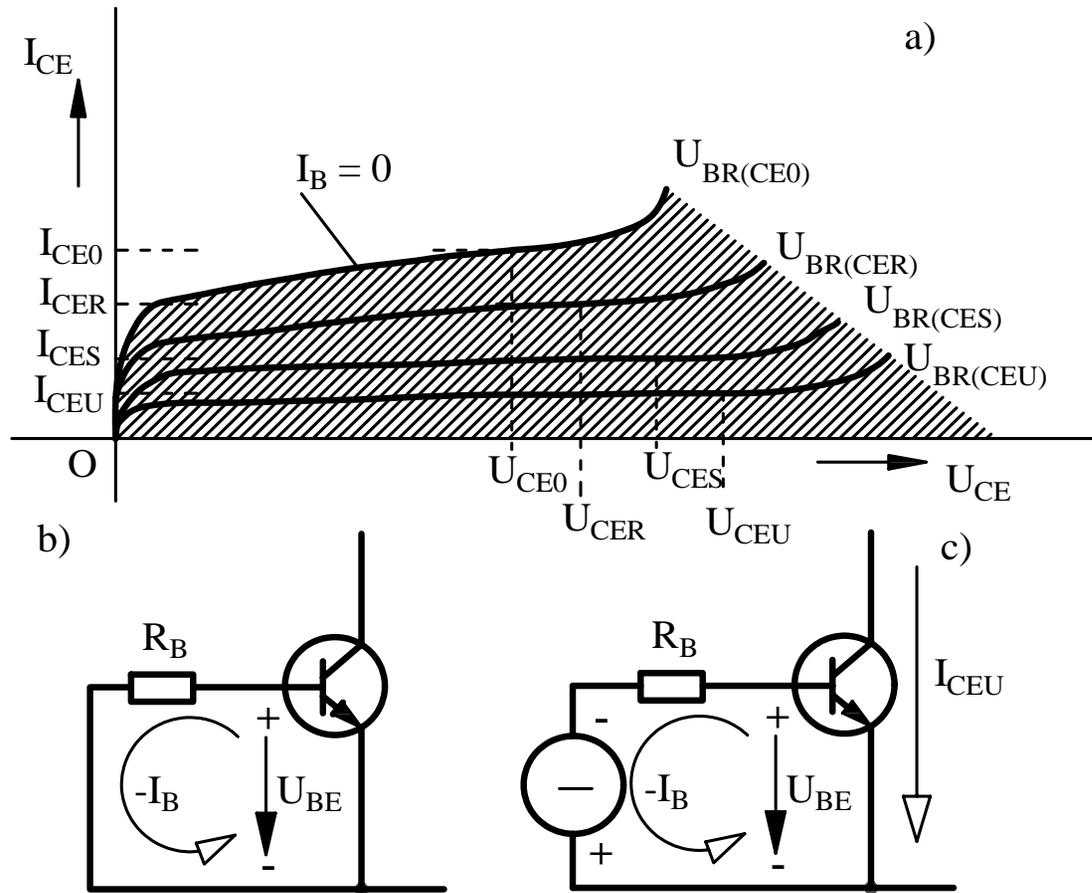
Type	Package	Ordering Code	Marking	Pin 1	PIN 2	PIN 3
IDP30E60	P-TO220-2-2.	Q67040-S4488	D30E60	C	A	-
IDB30E60	P-TO220-3.SMD	Q67040-S4376	D30E60	NC	C	A

1.2.3 Transistor lưỡng cực (BT)

(Bipolar Transistor)

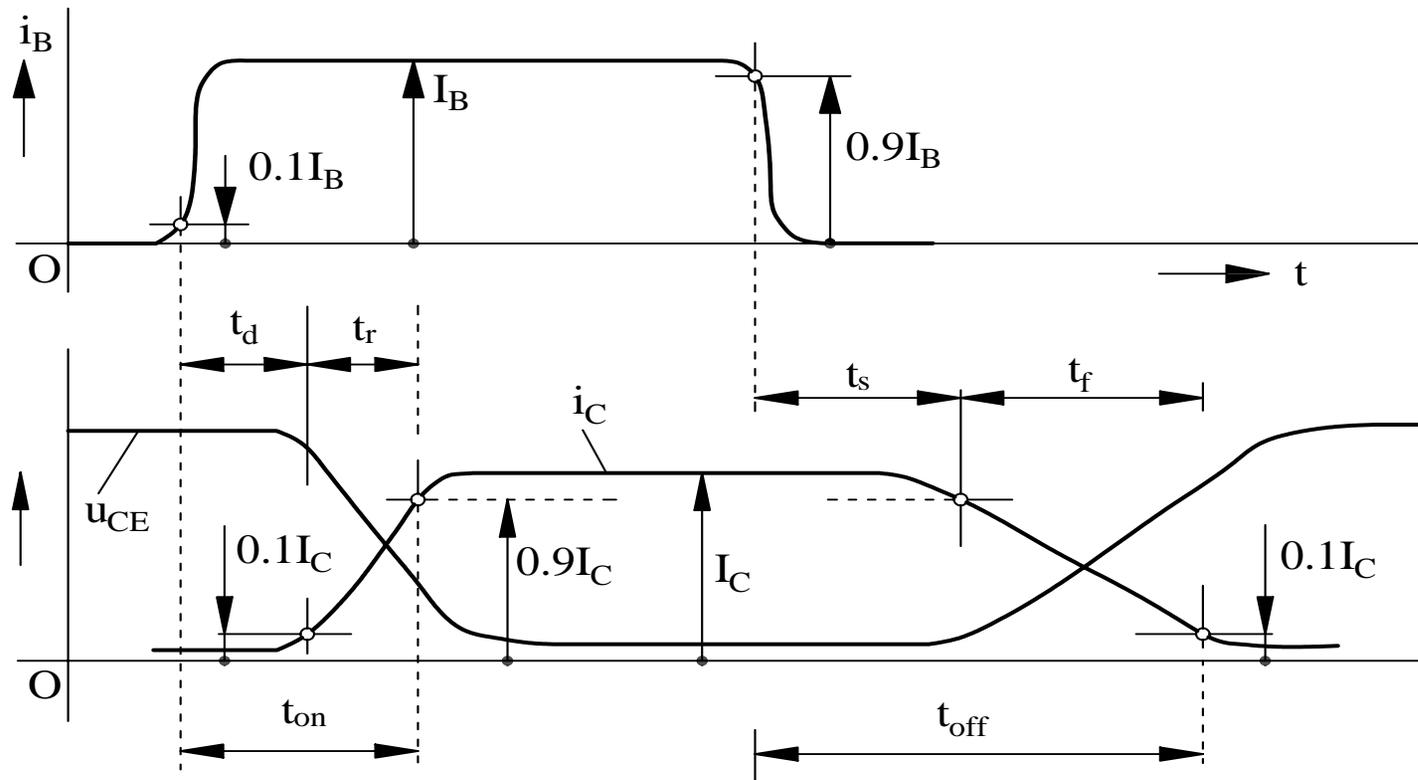
Cấu tạo, hoạt động



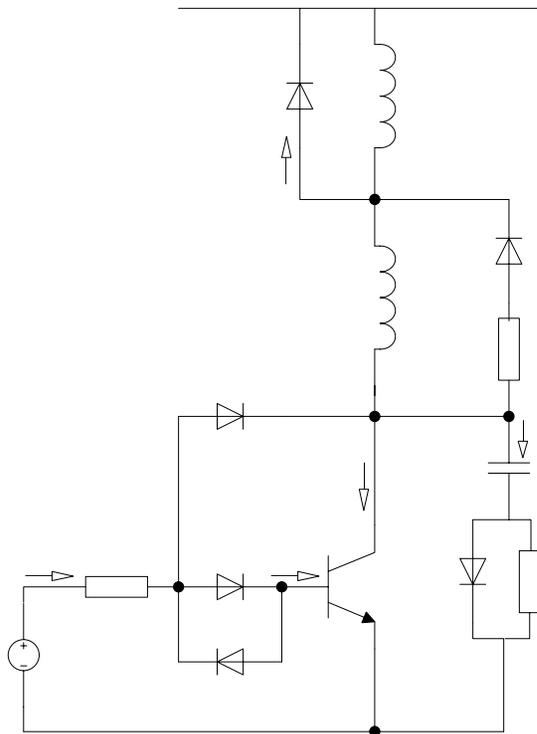


- 0 ... Hở mạch B – E ($I_B = 0$)
- R ... Mạch B – E theo hình b)
- S ... Ngắn mạch B – E ($R_B \rightarrow 0$)
- U ... Mạch B – E theo hình c)

Quá trình quá độ của transistor



Mạch trợ giúp đóng mở



(Điện tử công suất – Nguyễn Bính)

Các thông số chính

Điện áp:

- Giá trị cực đại điện áp collector – emitter U_{CE0M} khi $I_B = 0$
- Giá trị cực đại điện áp emitter – bazơ U_{EB0M} khi $I_C = 0$

Dòng điện: **Z** Giá trị cực đại của các dòng điện I_C, I_B, I_E

L_2

D_2

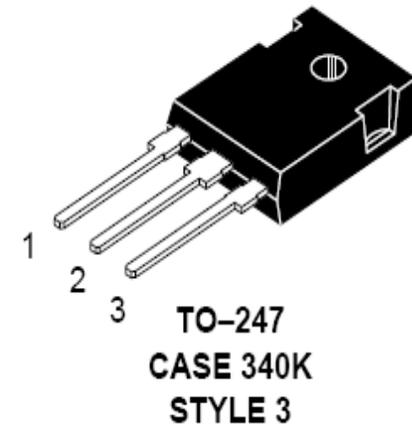
R_2

DAS

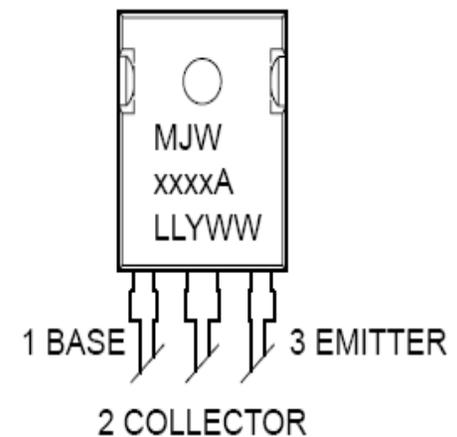
Transistor thực tế - MJW3281A (NPN) – ON Semiconductor

MAXIMUM RATINGS ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	230	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	230	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector–Emitter Voltage – 1.5 V	V_{CEX}	230	Vdc
Collector Current – Continuous – Peak (Note 1)	I_C	15 25	Adc
Base Current – Continuous	I_B	1.5	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate Above 25°C	P_D	200 1.43	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

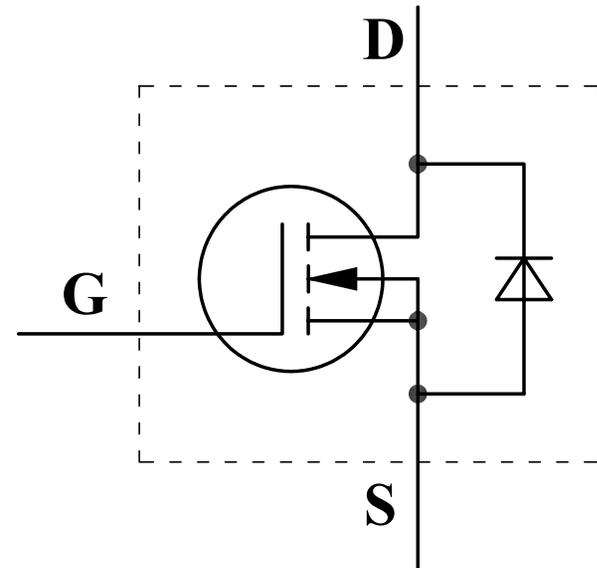
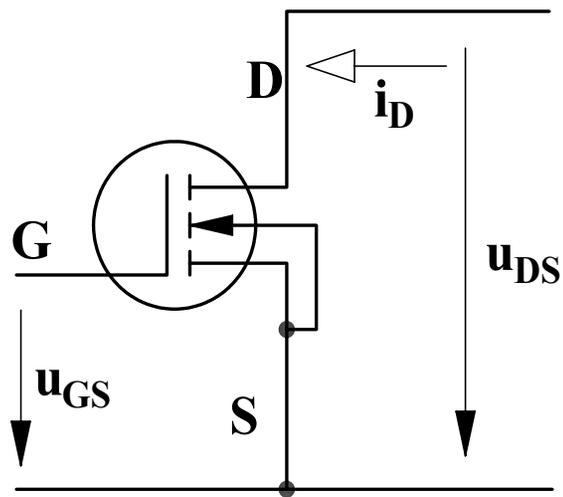
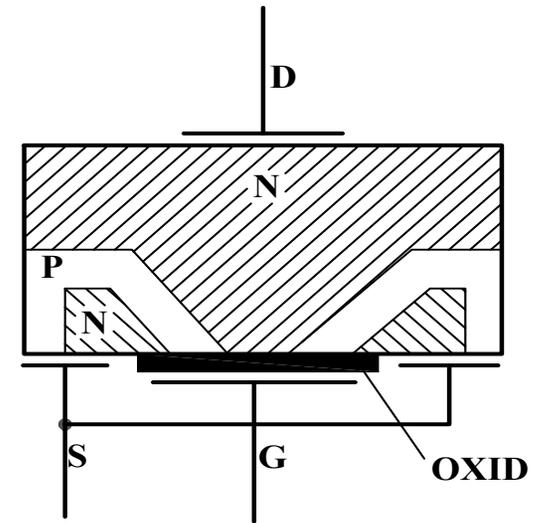
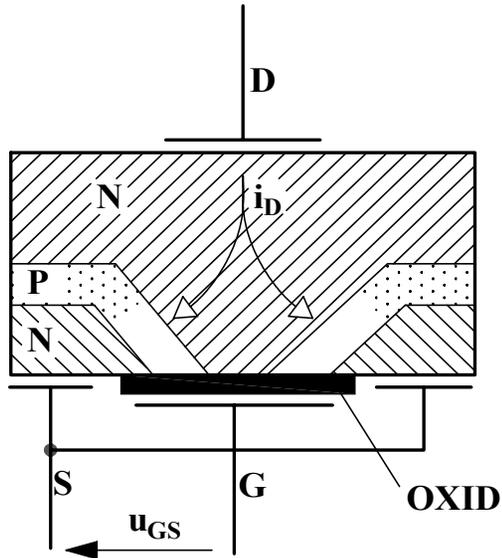


MARKING DIAGRAM

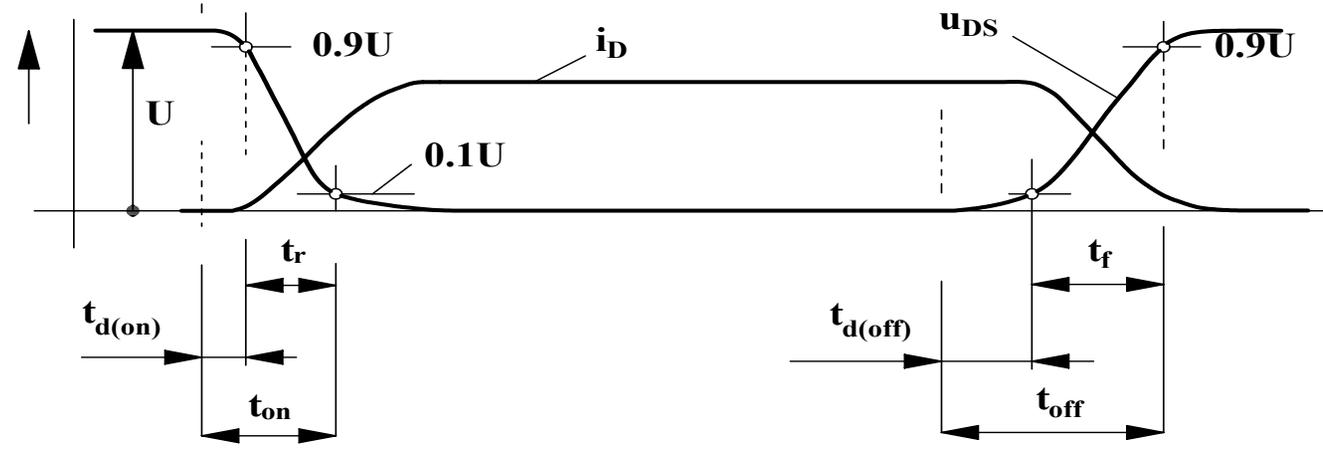
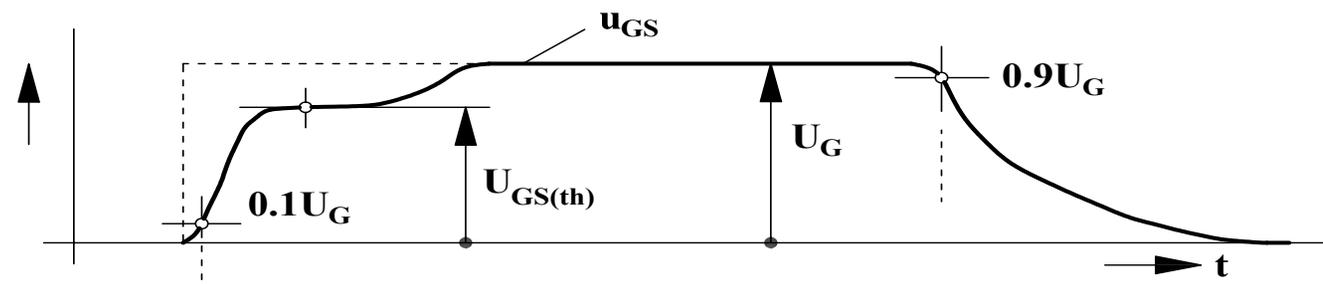
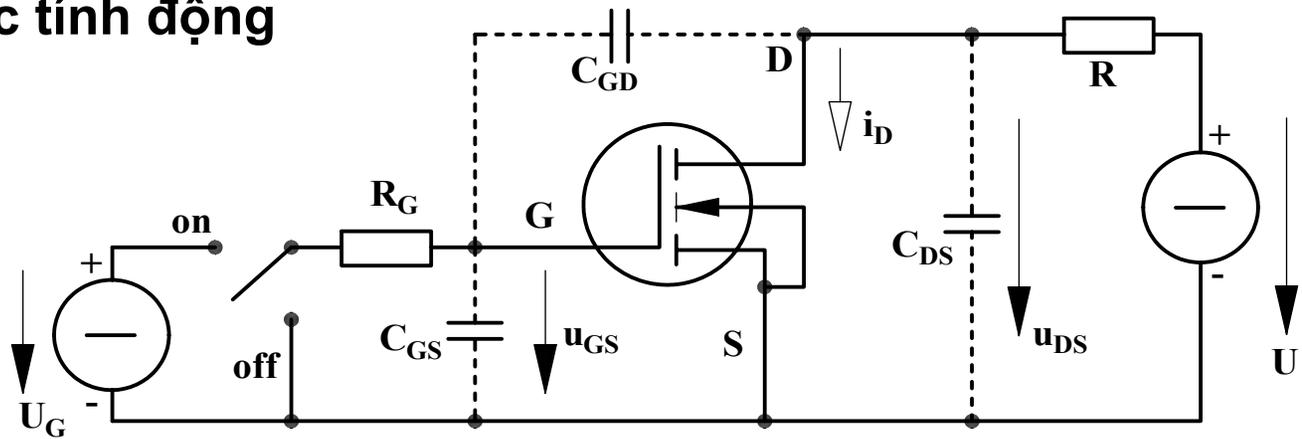


1.2.4 Transistor trường MOSFET

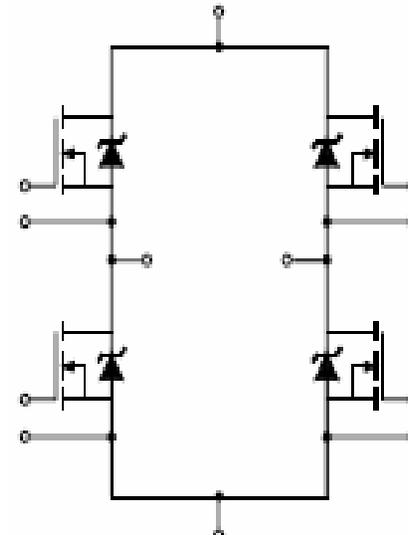
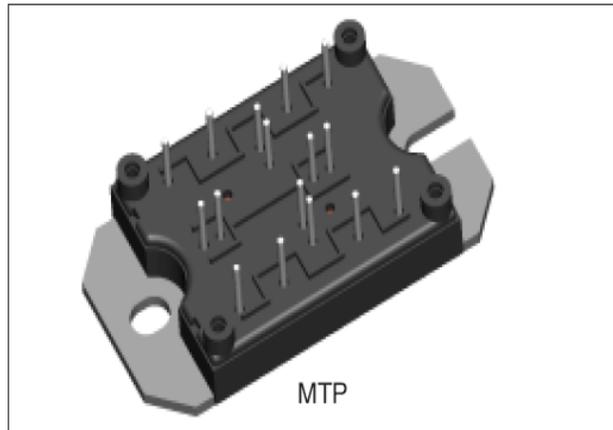
(Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor)



Đặc tính động



MOSFET thực tế - 19MT050XF – International Rectifier

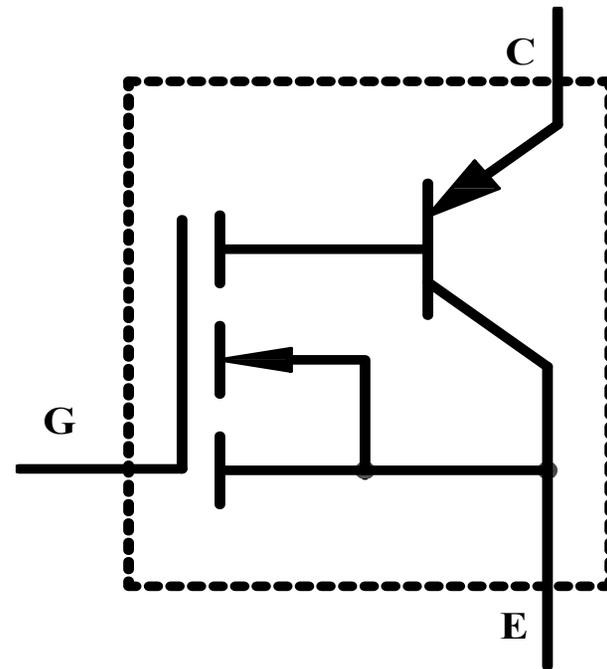
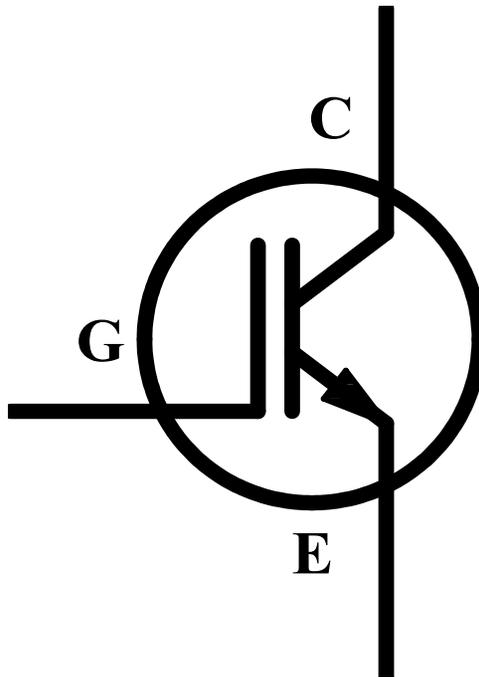


Absolute Maximum Ratings

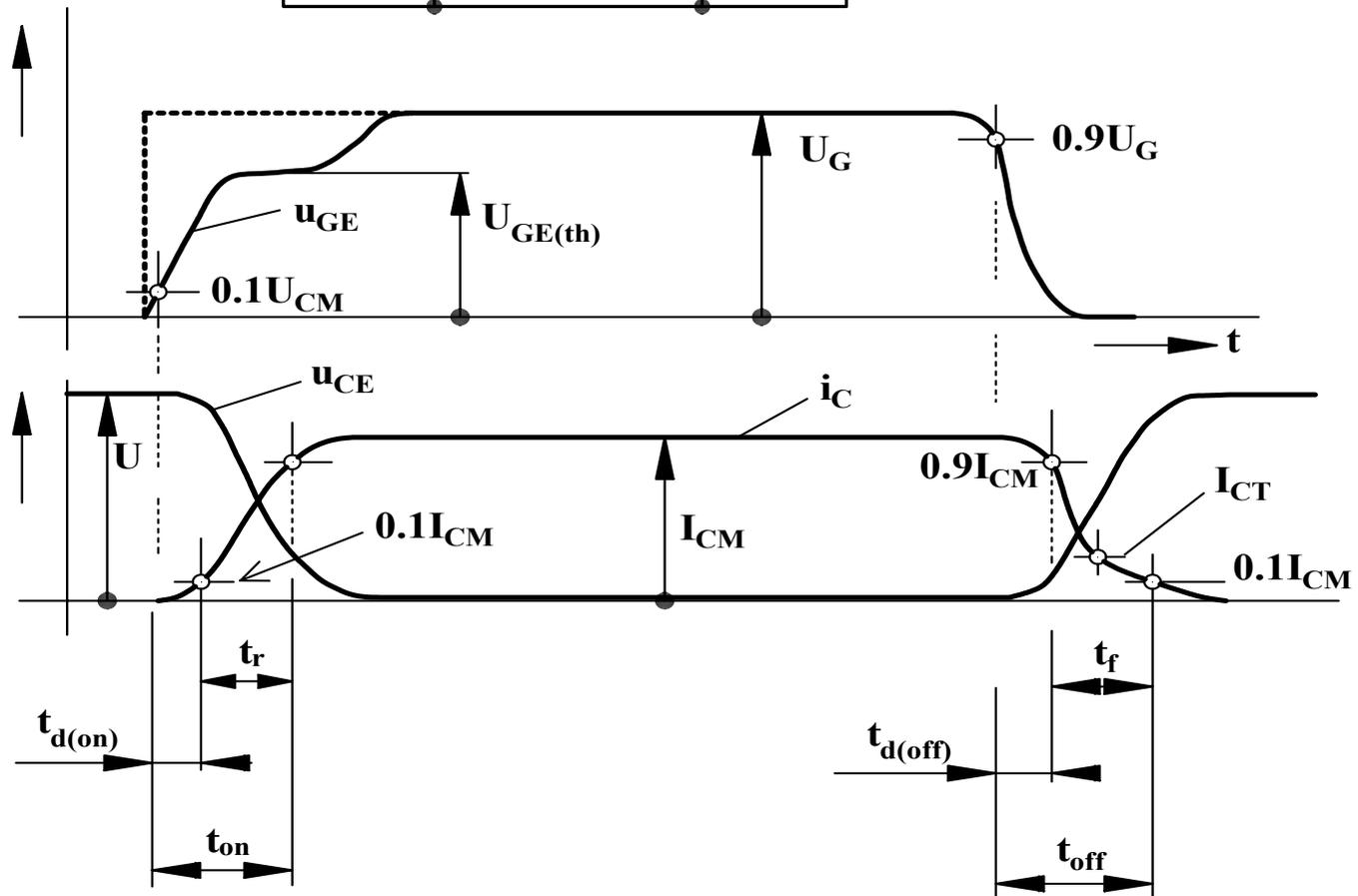
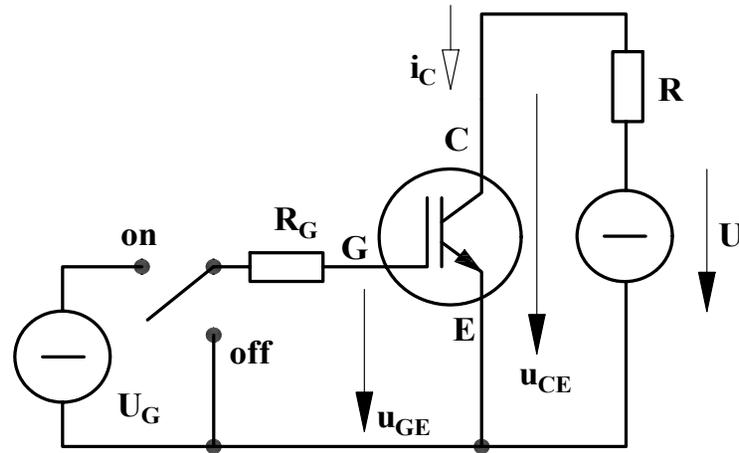
Parameters			Max	Units
I_D	Continuous Drain Current @ $V_{GS} = 10V$	@ $T_C = 25^\circ C$	31	A
		@ $T_C = 100^\circ C$	19	
I_{DM}	Pulsed Drain Current (1)		124	
P_D	Maximum Power Dissipation	@ $T_C = 25^\circ C$	1140	W
		@ $T_C = 100^\circ C$	456	
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage		± 30	V
V_{ISOL}	RMS Isolation Voltage, Any Terminal to Case, $t = 1 \text{ min}$		2500	
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (3)		15	V/ ns

1.2.5 Transistor lưỡng cực cổng cách ly - IGBT

Insulated Gate Bipolar Transistor

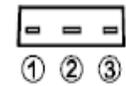
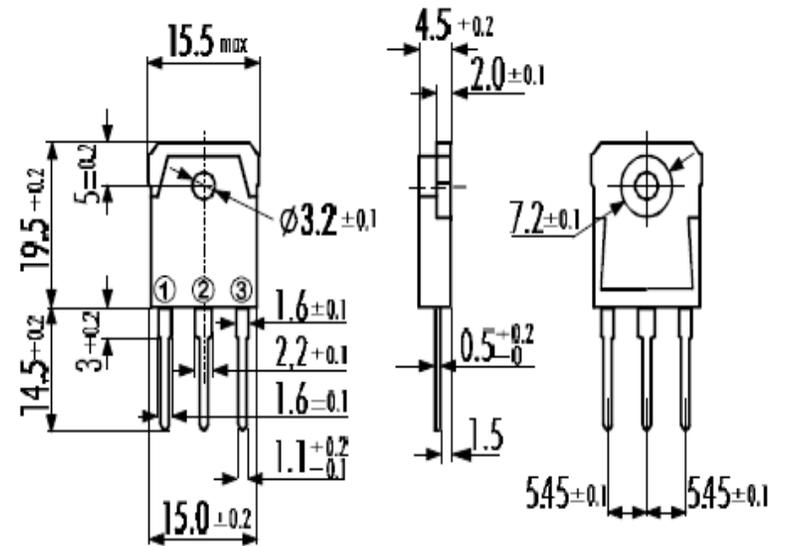


Đặc tính động



IGBT thực tế

1MB-30-060 – Fuji Electric



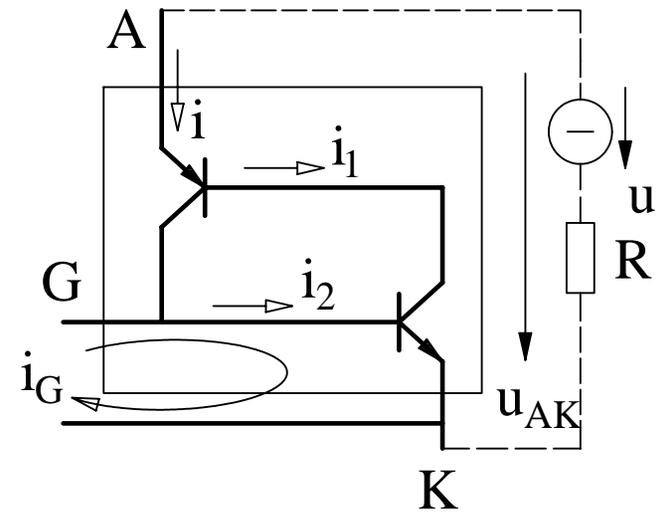
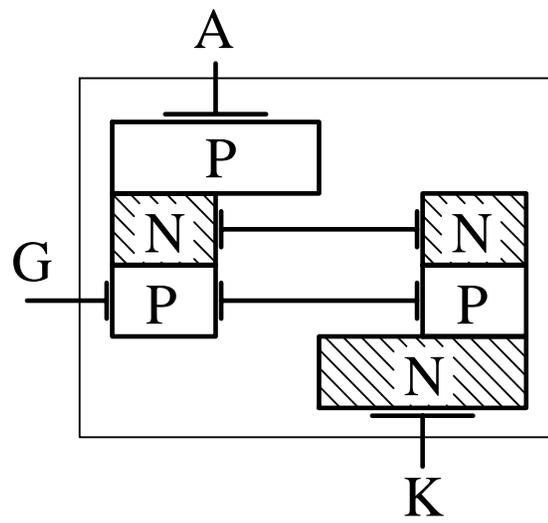
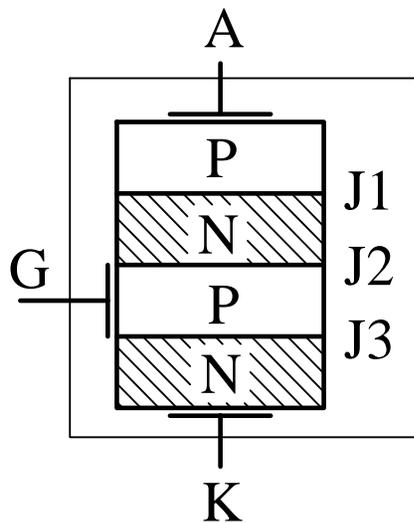
- ① Gate
- ② Collector
- ③ Emitter

• Absolute Maximum Ratings (T_c=25°C)

Items	Symbols	Ratings	Units
Collector-Emitter Voltage	V _{CES}	600	V
Gate -Emitter Voltage	V _{GES}	± 20	V
Collector Current	DC T _c = 25°C	I _{C 25}	48
	DC T _c =80°C	I _{C 80}	30
	1ms T _c = 25°C	I _{C PULSE}	192
IGBT Max. Power Dissipation	P _C	180	W
Operating Temperature	T _i	+150	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-40 ~ +150	°C
Mounting Screw Torque		50	Nm

1.2.6 Thyristor

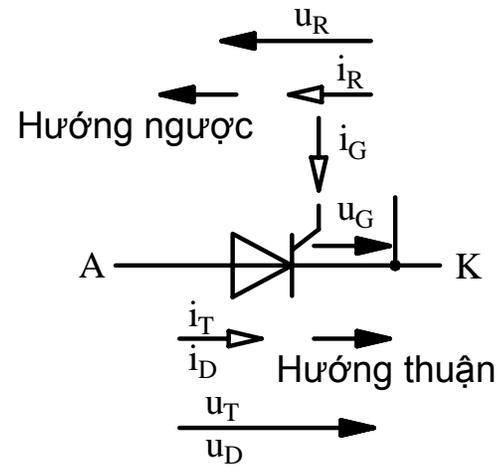
Cấu tạo – Hoạt động



Trạng thái:

- Mở
- Đóng
- Khóa

Ký hiệu



- T: Thuận
- D: Khóa
- R: Ngược

Điều kiện để mở Thyristor

- $U_{AK} > 0$
- Xung điều khiển đưa vào cực điều khiển.

Điều kiện để đóng Thyristor

Đặt điện áp ngược lên A – K

Đặc tính Volt - Ampe

Thyristor lý tưởng

Ba trạng thái: đóng – mở – khóa

Thyristor thực tế

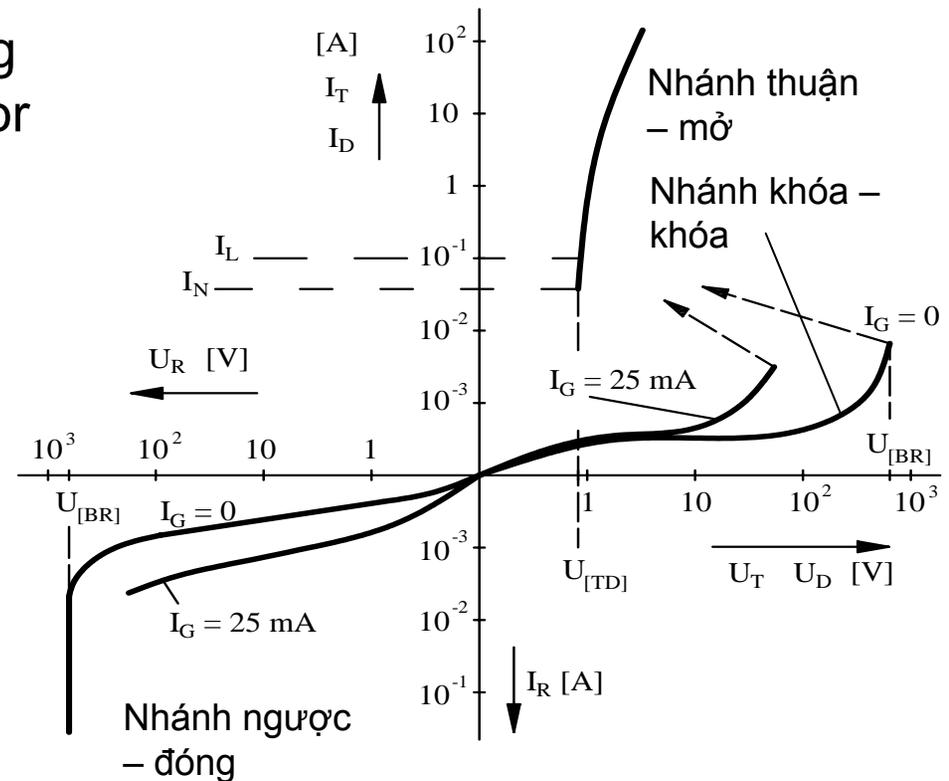
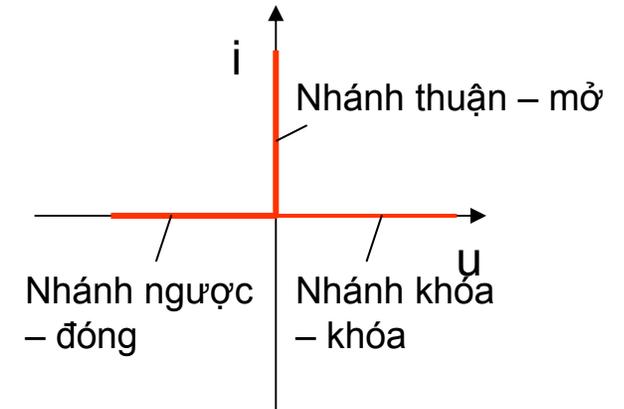
U_{BR} : điện áp ngược đánh thủng
 U_{BO} : điện áp tự mở của thyristor
 U_{TO} : điện áp rơi trên Thyristor

I_H : Dòng duy trì (holding)
 I_L : Latching

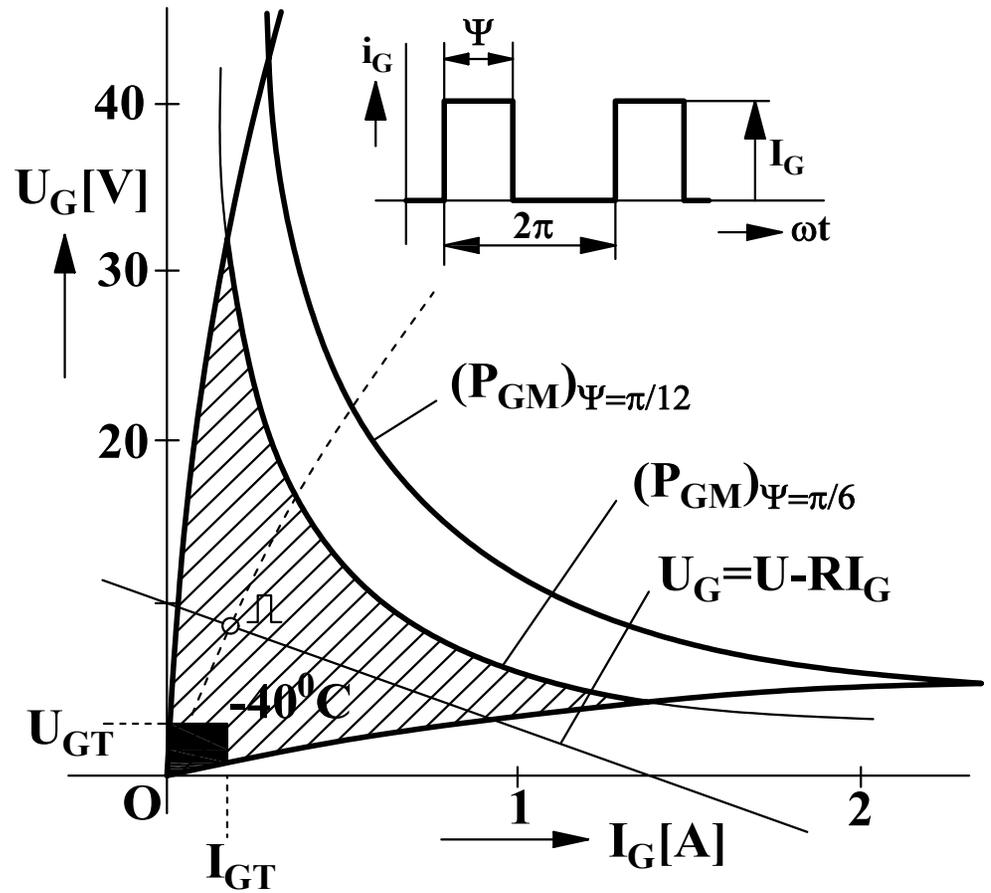
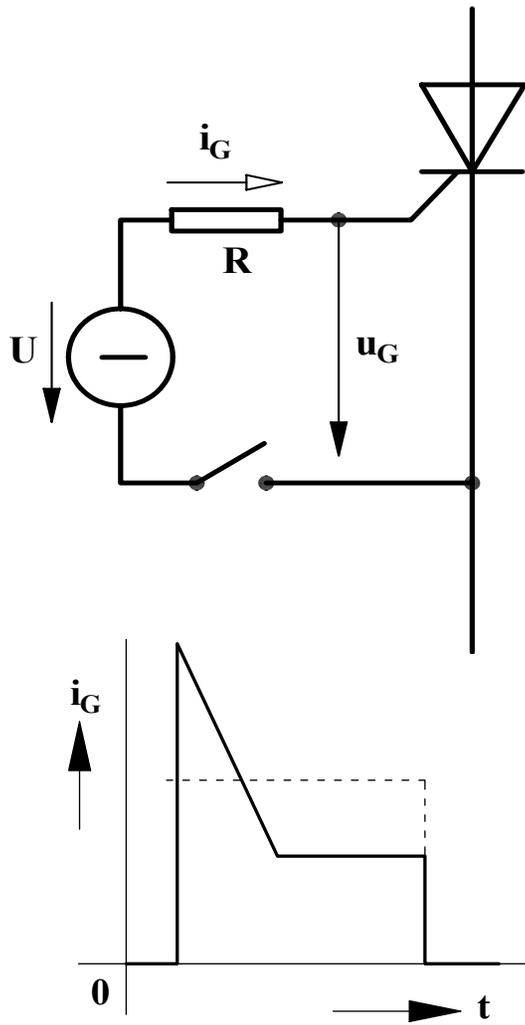
Các thông số chính

Tương tự như diode.

$$U_{RRM} = U_{DRM}$$

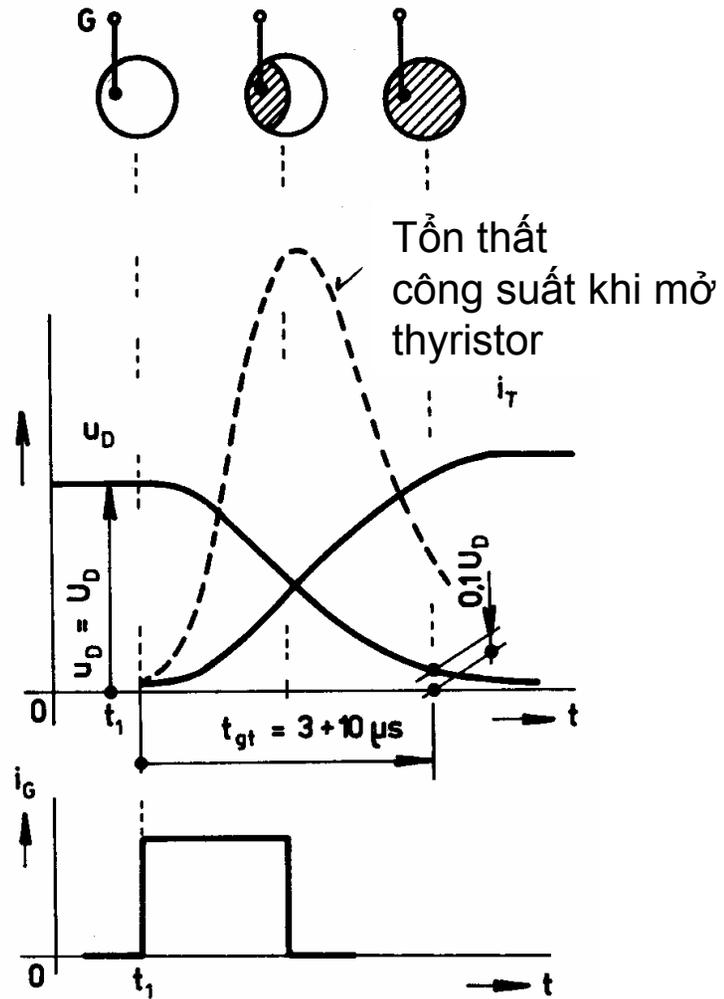


Đặc tính điều khiển của thyristor:

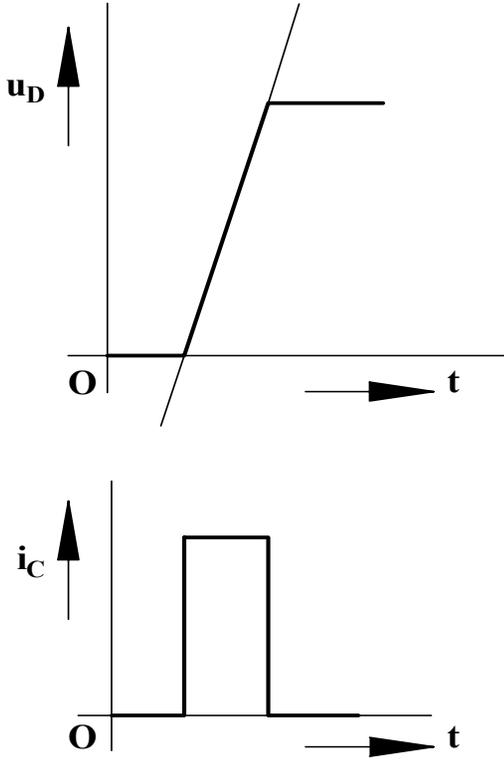
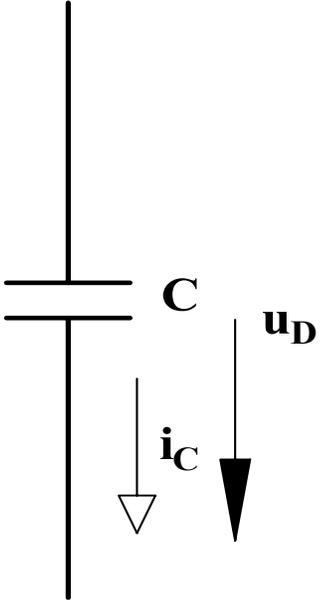
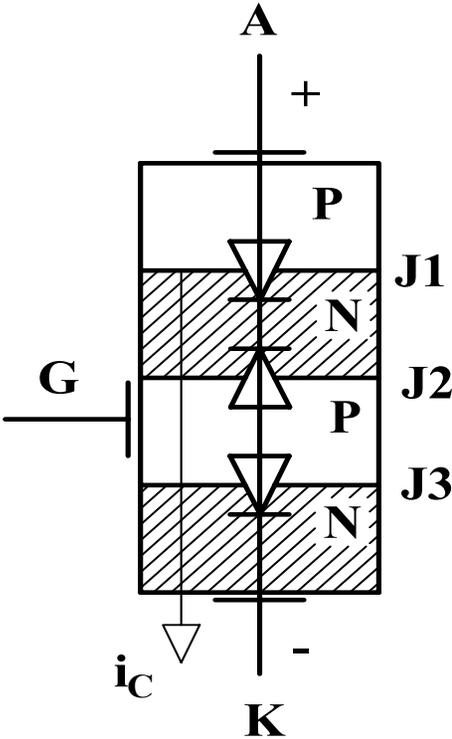


Đặc tính động

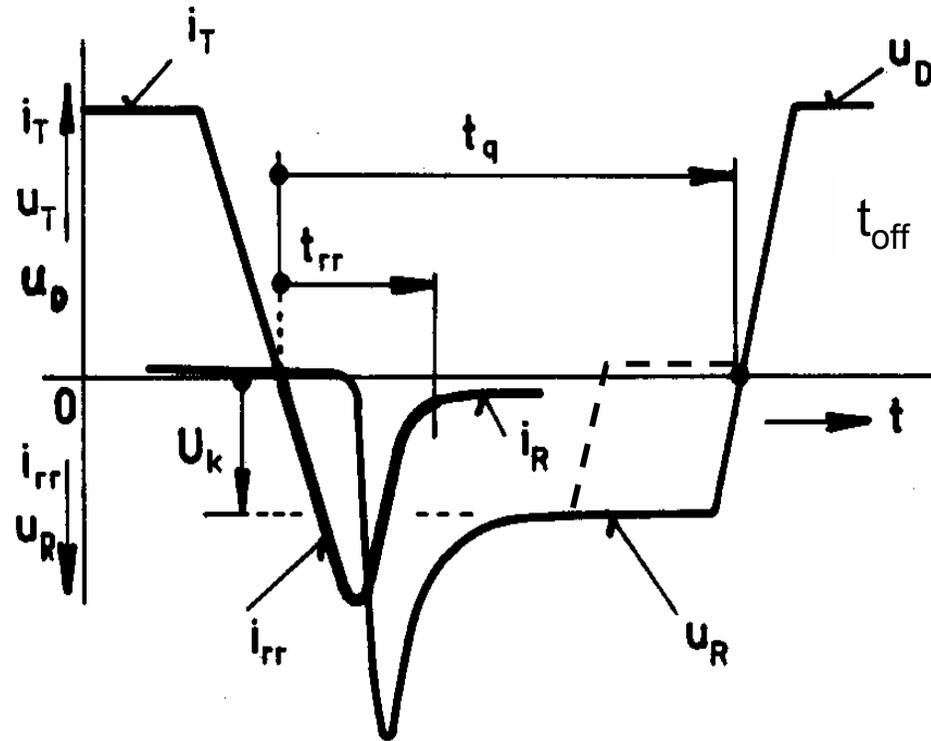
Mở thyristor



Khóa thyristor



Đóng thyristor



- Bảo vệ quá áp trong
- Thời gian đóng thyristor – Góc an toàn

Thyristor thực tế - 22RIA SERIES – International Rectifier

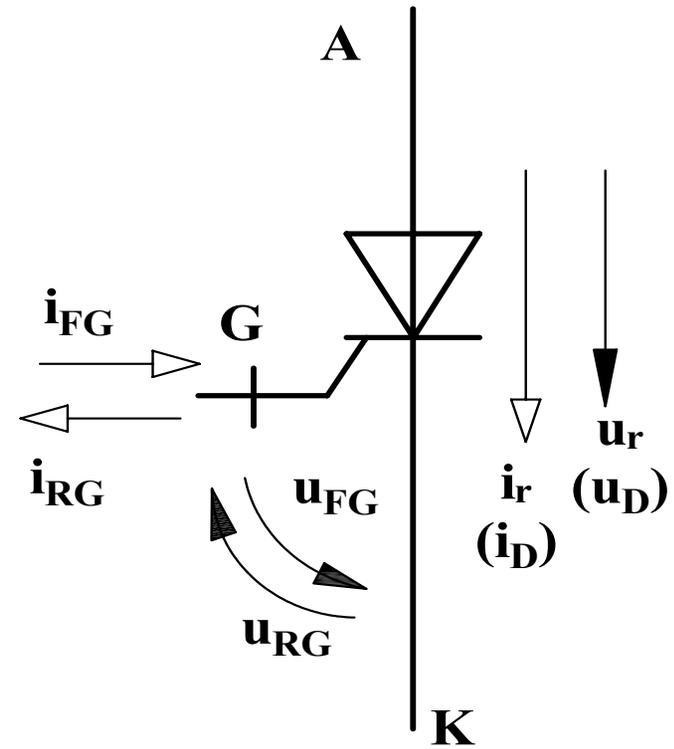
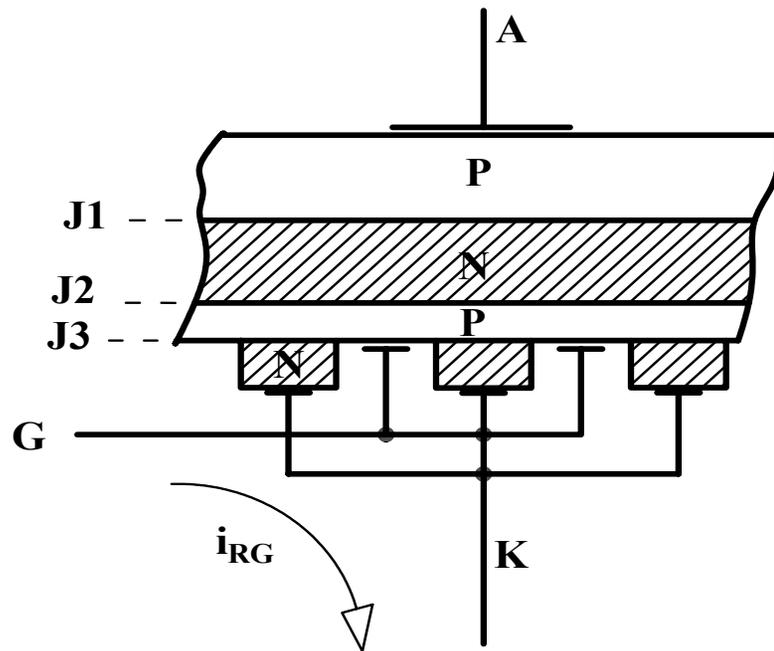
Major Ratings and Characteristics

Parameters	22RIA		Units
	10 to 120	140 to 160	
$I_{T(AV)}$	22	22	A
@ T_C	85	85	°C
$I_{T(RMS)}$	35	35	A
I_{TSM} @ 50Hz	400	340	A
@ 60Hz	420	355	A
I^2t @ 50Hz	793	575	A ² s
@ 60Hz	724	525	A ² s
V_{DRM}/V_{RRM}	100 to 1200	1400 to 1600	V
t_q typical	110		μs
T_J	- 65 to 125		°C



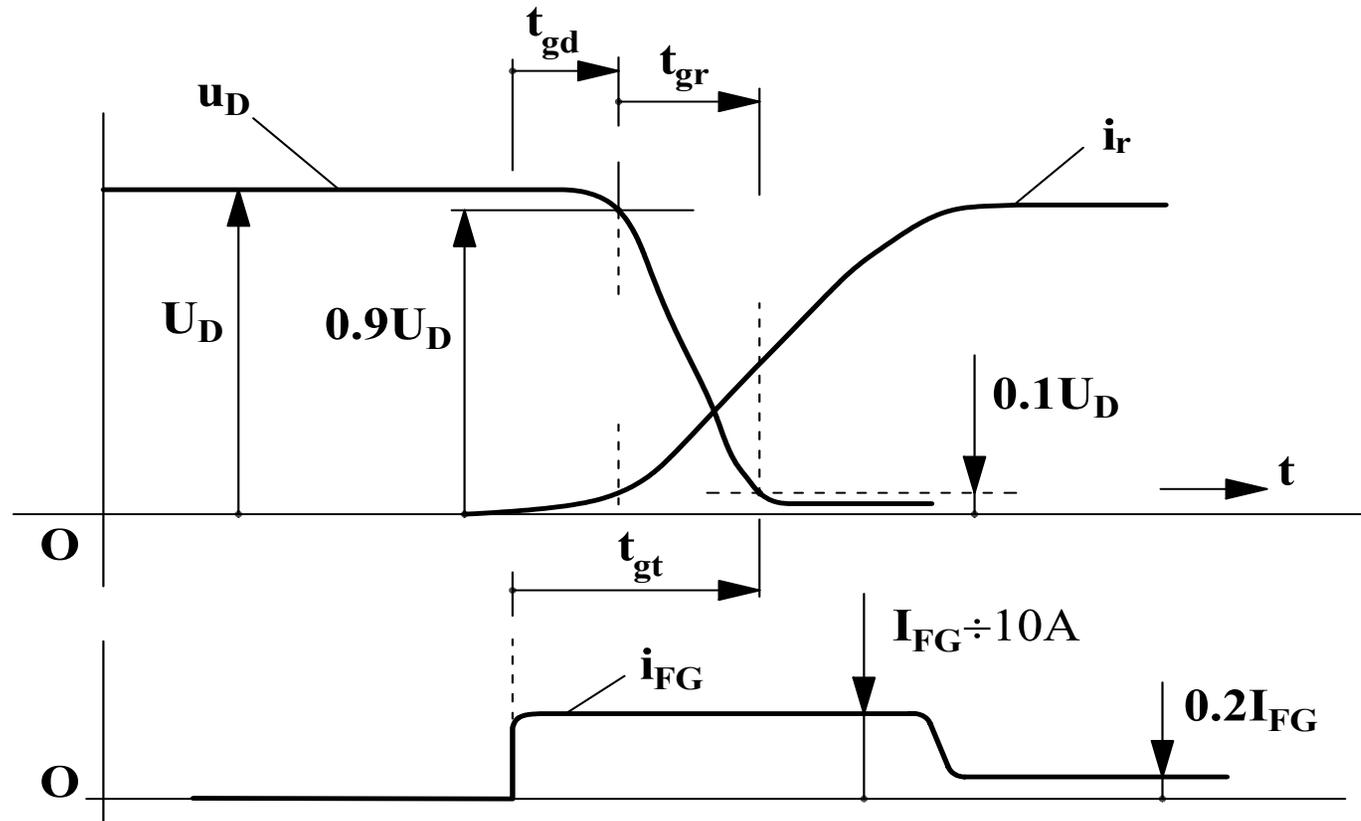
1.2.7 GTO

Gate Turn Off Thyristor

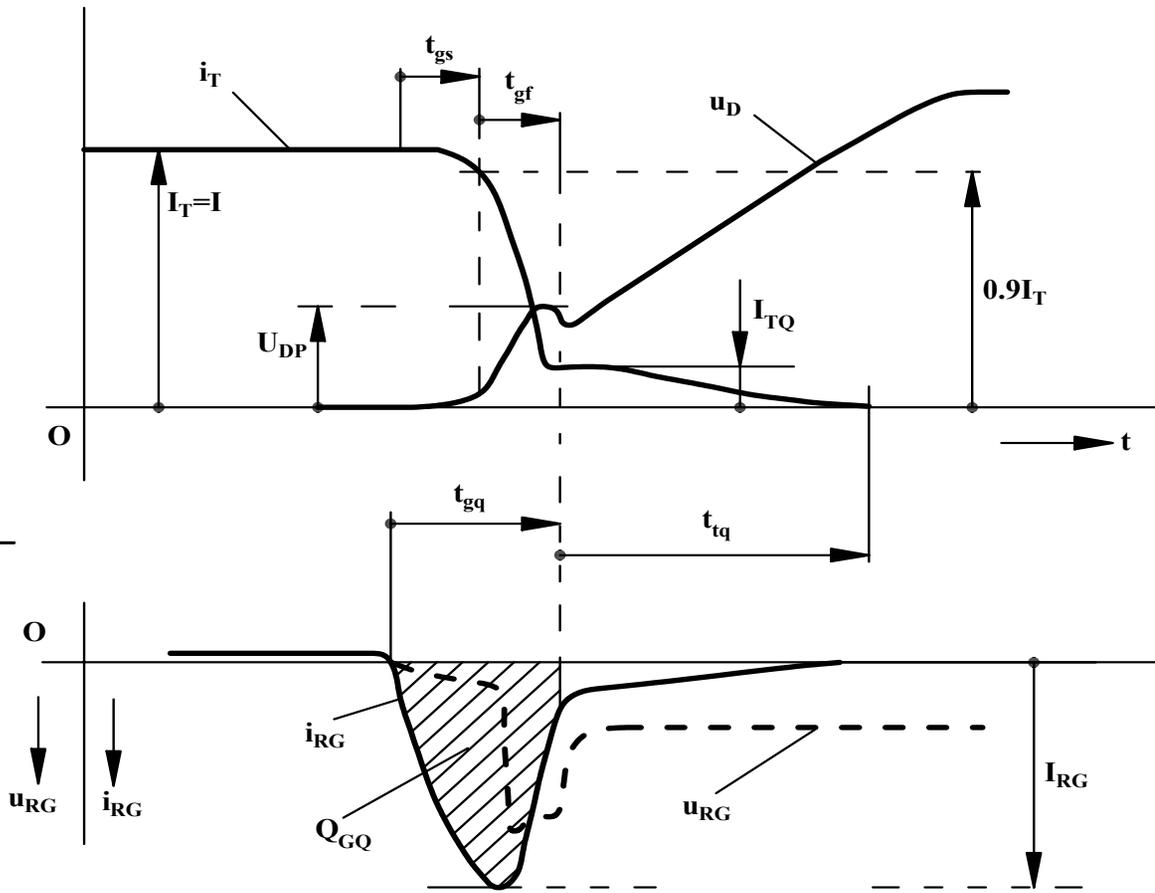
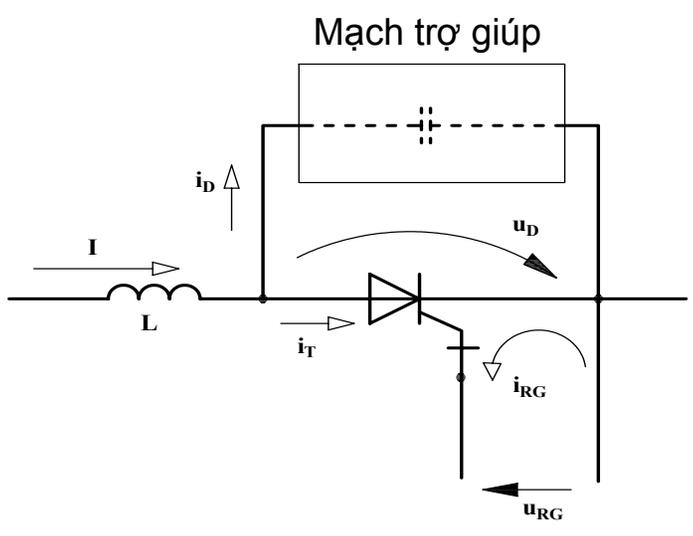


Đặc tính động

Mở GTO



Đóng GTO



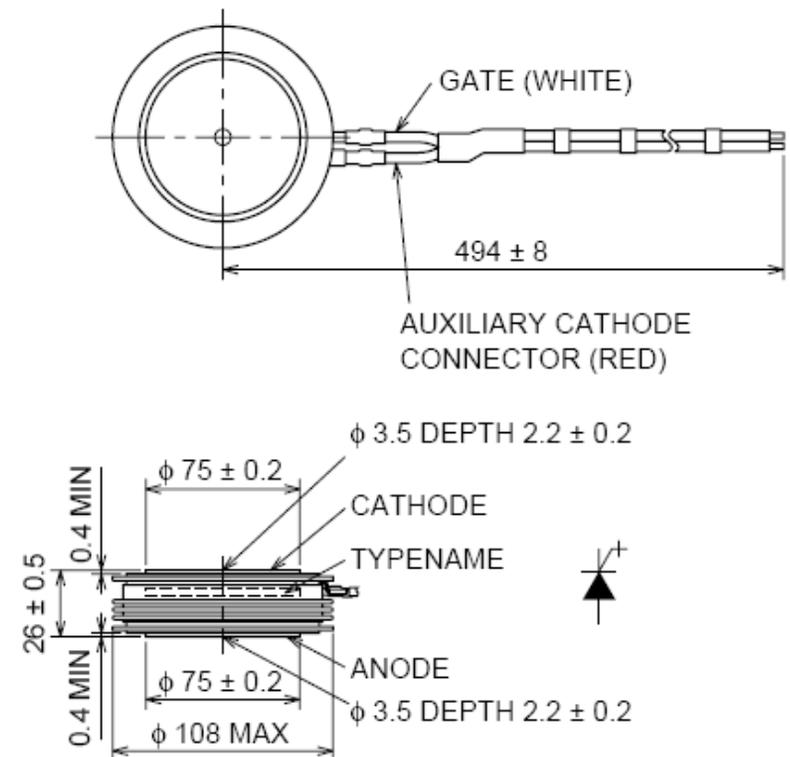
GTO thực tế - FG3000FX-90DA – Mitsubishi Electric

FG3000GX-90DA



OUTLINE DRAWING

Dimensions in mm

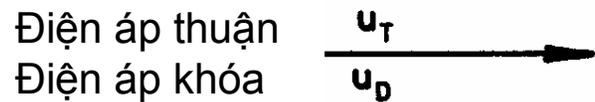
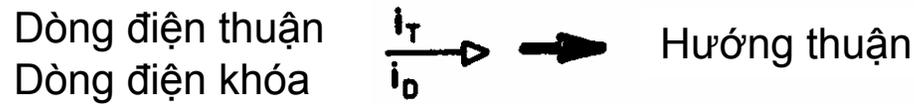
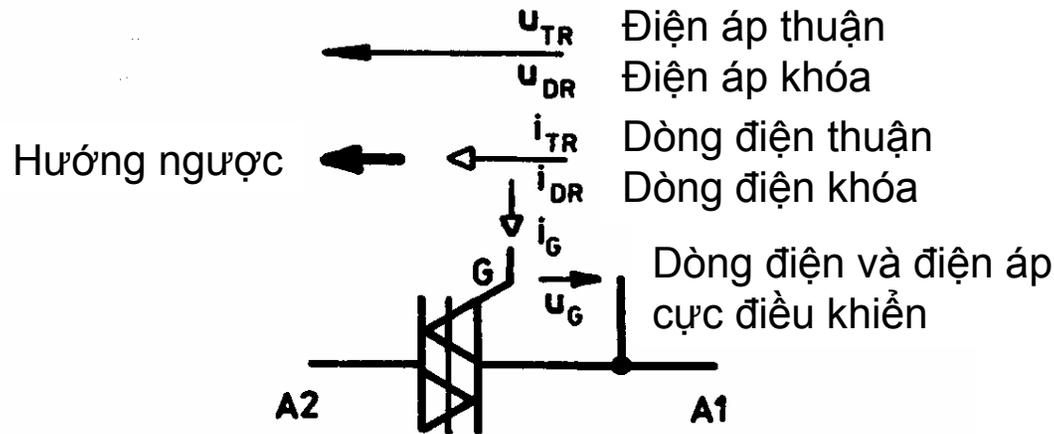
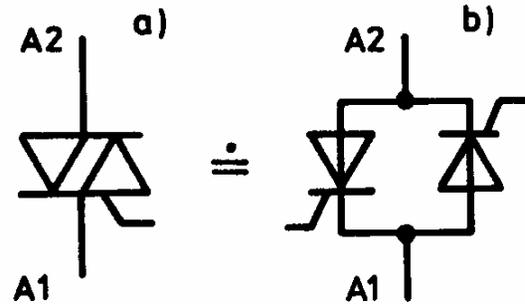


- I_{TQRM} Repetitive controllable on-state current 3000A
- $I_{T(AV)}$ Average on-state current 1000A
- V_{DRM} Repetitive peak off state voltage 4500V
- Anode short type

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Test conditions	Limits			Unit
			Min	Typ	Max	
V _{TM}	On-state voltage	T _j = 125°C, I _{TM} = 3000A, Instantaneous measurement	—	—	4.0	V
I _{RRM}	Repetitive peak reverse current	T _j = 125°C, V _{RRM} Applied	—	—	10	mA
I _{DRM}	Repetitive peak off-state current	T _j = 125°C, V _{DRM} Applied, V _{GK} = -2V	—	—	100	mA
I _{RG}	Reverse gate current	T _j = 125°C, V _{RG} = 17V	—	—	10	mA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	T _j = 125°C, V _D = 2250V, V _{GK} = -2V	1000	—	—	V/μs
t _{gt}	Turn-on time	T _j = 125°C, I _{TM} = 3000A, I _{GM} = 25A, V _D = 3400V	—	—	8	μs
t _{gq}	Turn-off time	T _j = 125°C, I _{TM} = 3000A, V _{DM} = 4500V, diGQ/dt = -40A/μs V _{RG} = 17V, C _S = 3.0μF, L _S = 0.25μH	—	—	30	μs
I _{GQM}	Peak gate turn-off current		—	720	—	A
V _{GT}	Gate trigger voltage	DC METHOD : V _D = 24V, R _L = 0.1Ω, T _j = 25°C	—	—	1.5	V
I _{GT}	Gate trigger current		—	—	2500	mA
R _{th(j-f)}	Thermal resistance	Junction to fin	—	—	0.013	°C/W

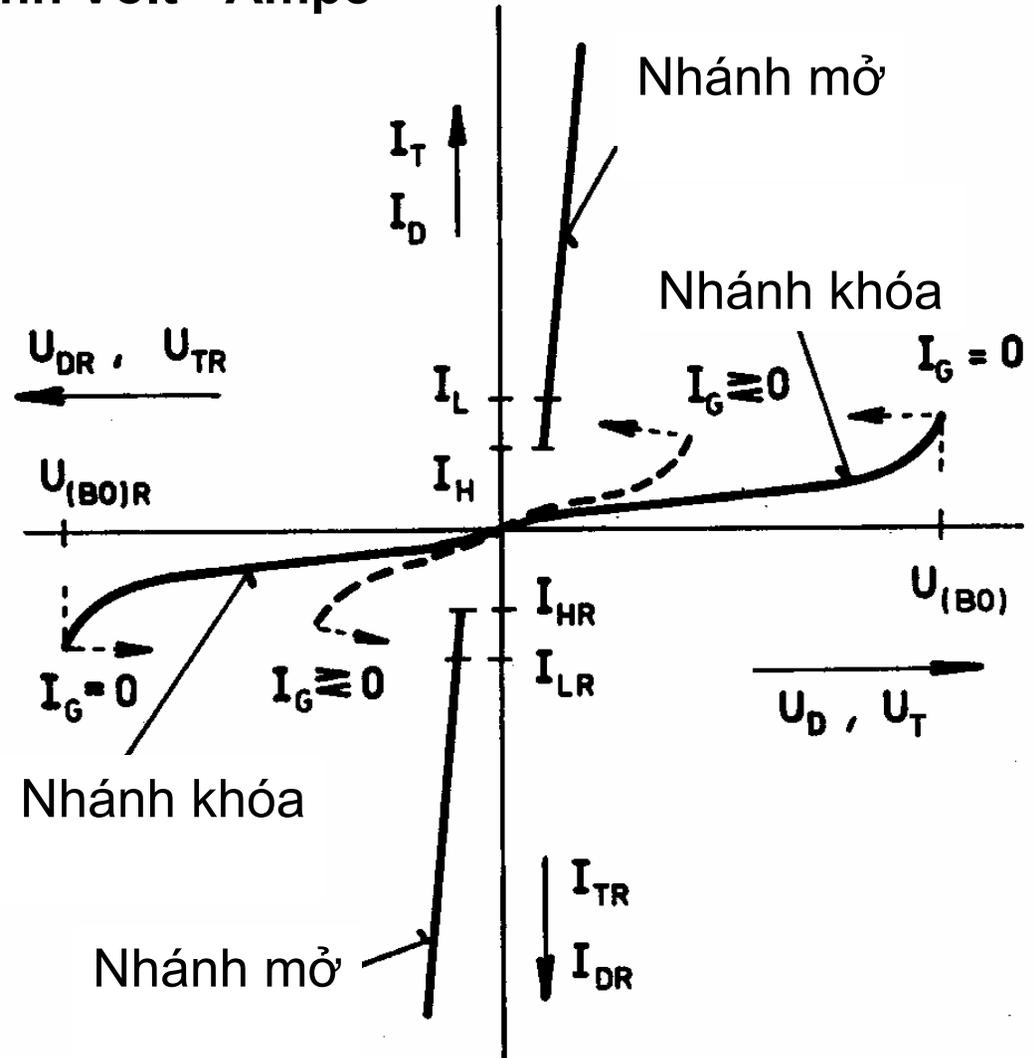
1.2.8 Triac



Đặc tính Volt - Ampe

$$U_D > 0 \begin{cases} U_G > 0; I_G > 0 \\ U_G < 0; I_G < 0 \end{cases}$$

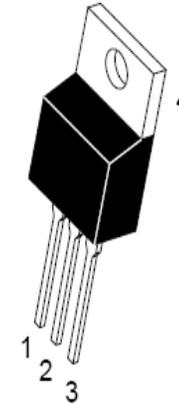
$$U_{DR} > 0 \begin{cases} U_G > 0; I_G > 0 \\ U_G < 0; I_G < 0 \end{cases}$$



Triac thực tế - 2N6344 - ON Semiconductor

MAXIMUM RATINGS ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
*Peak Repetitive Off-State Voltage ⁽¹⁾ ($T_J = -40$ to $+110^\circ\text{C}$, Sine Wave 50 to 60 Hz, Gate Open) 2N6344 2N6349	V_{DRM} , V_{RRM}	600 800	Volts
*On-State RMS Current ($T_C = +80^\circ\text{C}$) Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz ($T_C = +90^\circ\text{C}$)	$I_{\text{T(RMS)}}$	8.0 4.0	Amps
*Peak Non-Repetitive Surge Current (One Full Cycle, Sine Wave 60 Hz, $T_C = +25^\circ\text{C}$) Preceded and followed by rated current	I_{TSM}	100	Amps
Circuit Fusing Consideration ($t = 8.3$ ms)	I^2t	40	A^2s
*Peak Gate Power ($T_C = +80^\circ\text{C}$, Pulse Width = $2 \mu\text{s}$)	P_{GM}	20	Watts
*Average Gate Power ($T_C = +80^\circ\text{C}$, $t = 8.3$ ms)	$P_{\text{G(AV)}}$	0.5	Watt
*Peak Gate Current ($T_C = +80^\circ\text{C}$, Pulse Width = $2.0 \mu\text{s}$)	I_{GM}	2.0	Amps
*Peak Gate Voltage ($T_C = +80^\circ\text{C}$, Pulse Width = $2.0 \mu\text{s}$)	V_{GM}	10	Volts

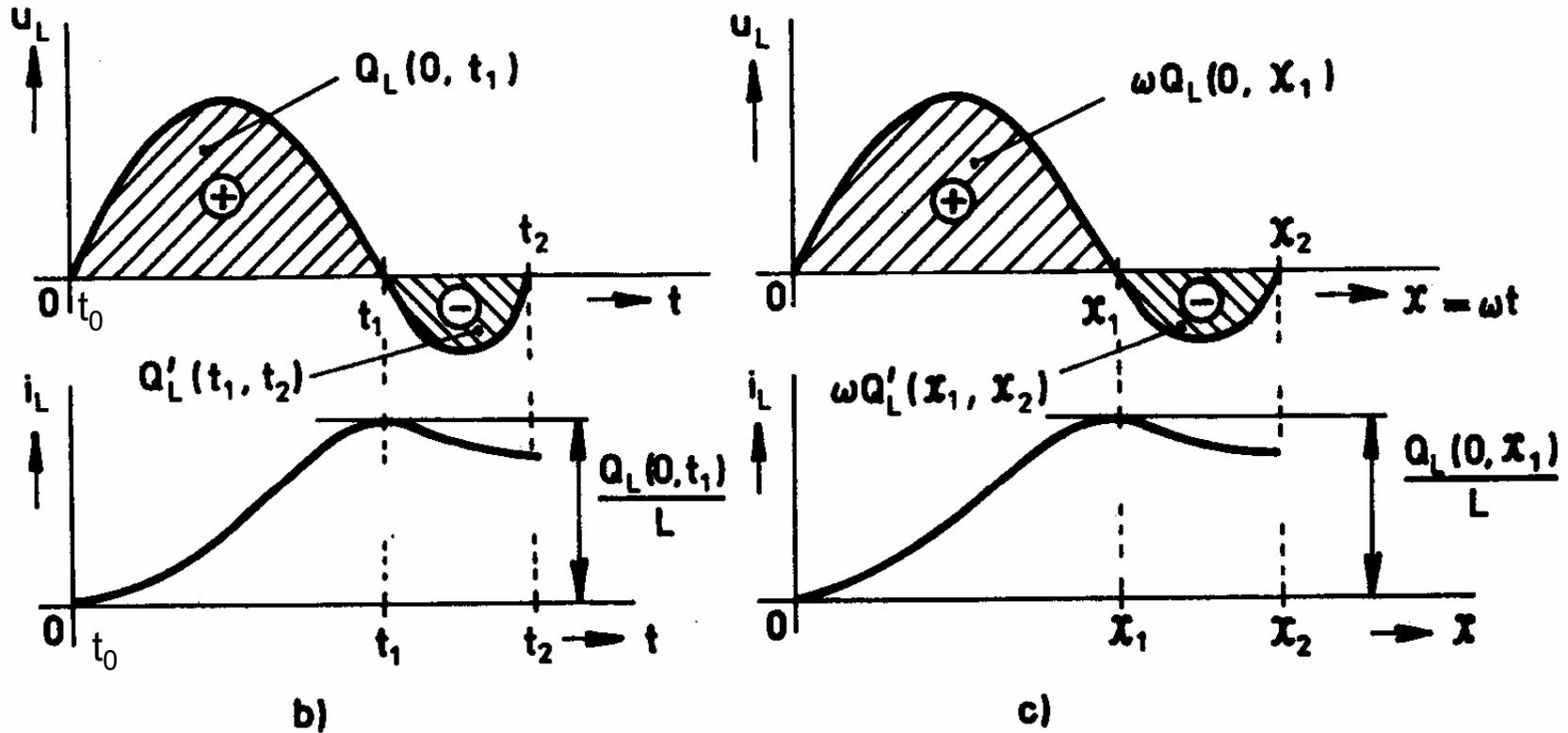


**TO-220AB
CASE 221A
STYLE 4**

PIN ASSIGNMENT	
1	Main Terminal 1
2	Main Terminal 2
3	Gate
4	Main Terminal 2

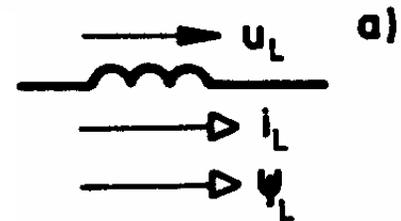
CHƯƠNG 2: MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN TRONG ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

2.1 Năng lượng tích lũy vào cuộn kháng và giải phóng từ cuộn kháng



$$\int_{t_0}^{t_1} u_L dt = Q_L(t_0, t_1); \quad u_L = \frac{d\Psi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt}$$

$$Q_L(t_0, t_1) = \int_{\Psi_L(t_0)}^{\Psi_L(t_1)} d\Psi_L = L \int_{i_L(t_0)}^{i_L(t_1)} di_L = \Psi_L(t_1) - \Psi_L(t_0) = L[i_L(t_1) - i_L(t_0)]$$



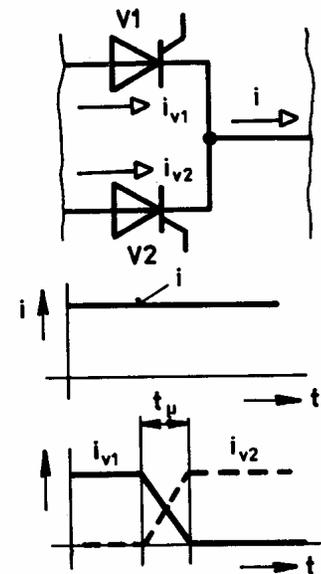
2.2 Nhịp và sự chuyển mạch

Nhánh chính – Nhánh phụ

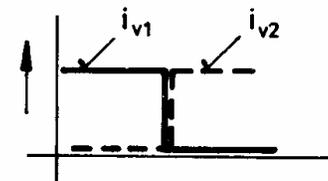
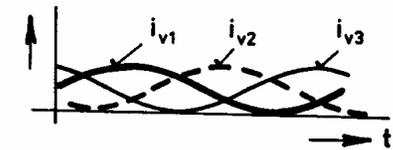
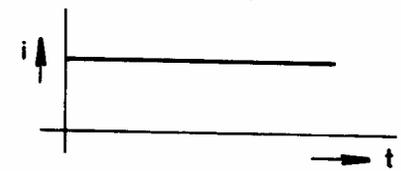
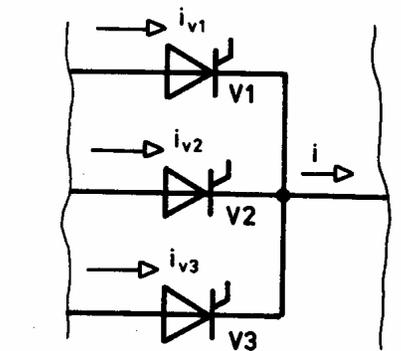
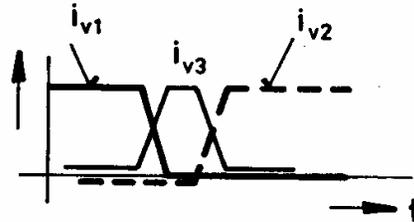
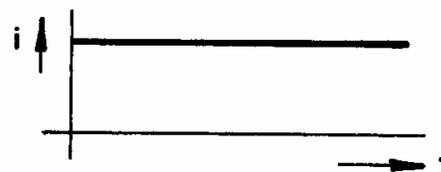
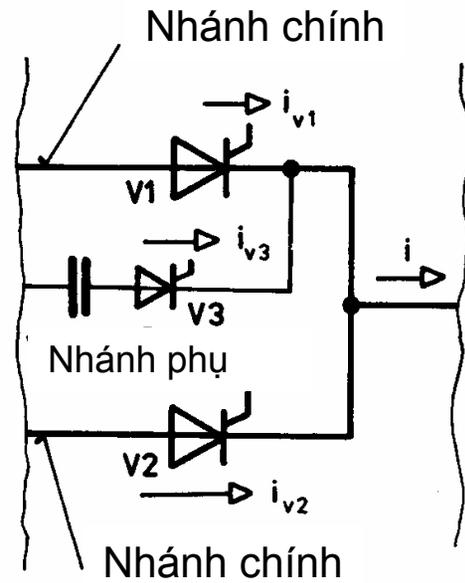
Linh kiện ĐTCS chính – Linh kiện ĐTCS phụ

Nhịp là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp thay đổi trạng thái của linh kiện điện tử công suất trong mạch. Tên của nhịp là tên của linh kiện đang dẫn điện.

Chuyển mạch là trạng thái điện tử xảy ra trong mạch bộ biến đổi, được đặc trưng bằng việc dòng điện trong một nhánh chuyển sang một nhánh khác trong khi dòng điện tổng chảy ra từ nút giữa hai nhánh vẫn không đổi.



- Điện áp chuyển mạch
- Chuyển mạch ngoài –
- Chuyển mạch tự nhiên
- Chuyển mạch trong
- Chuyển mạch trực tiếp
- Chuyển mạch gián tiếp
- Chuyển mạch nhiều tầng
- Thời gian chuyển mạch –
- Góc chuyển mạch
- Chuyển mạch tức thời



2.3 Các đường đặc tính

Đặc tính ngoài (Đặc tính tải): Mối quan hệ giữa điện áp đầu ra và dòng điện đầu ra của bộ biến đổi

Đặc tính điều khiển: Mối quan hệ giữa điện áp đầu ra và đại lượng điều khiển của bộ biến đổi

2.4 Hệ số công suất của bộ biến đổi

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad \dots \text{ Hệ số công suất PF (Power Factor)}$$

P: Công suất hữu công

S: Công suất biểu kiến

$$P = mUI_{(1)}\cos\varphi_{(1)}$$

m: số pha

U: Giá trị hiệu dụng điện áp điều hòa của pha

$I_{(1)}$: Giá trị hiệu dụng của thành phần bậc 1 dòng điện pha

$\varphi_{(1)}$: Góc chậm pha của thành phần bậc 1 dòng điện pha so với điện áp

$$S = mUI$$

I: Giá trị hiệu dụng dòng điện pha $I^2 = \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)}^2$

$$S^2 = m^2U^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)}^2 = m^2U^2 I_{(1)}^2 + m^2U^2 \sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2$$

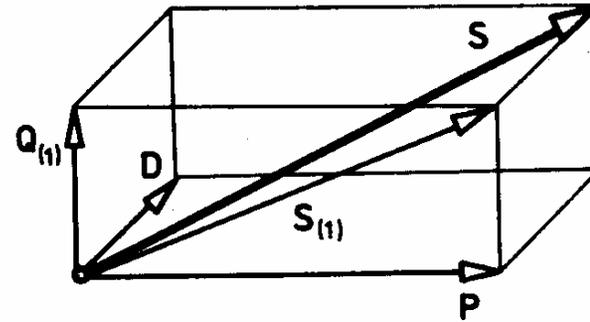
$$S_{(1)}^2 = m^2U^2 I_{(1)}^2 = m^2U^2 I_{(1)}^2 \cos^2 \varphi_{(1)} + m^2U^2 I_{(1)}^2 \sin^2 \varphi_{(1)} = P^2 + Q_{(1)}^2$$

$mUI_{(1)}$: Công suất biểu kiến của thành phần bậc 1

$Q_{(1)}$: Công suất phản kháng của thành phần bậc 1

$$S^2 = P^2 + Q_{(1)}^2 + D^2$$

$$D = mU \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}$$



D: Công suất phản kháng biến dạng

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_{(1)}^2 + D^2}} = \nu \cos \varphi_{(1)} \dots \text{Hệ số công suất PF (Power Factor)}$$

$$\nu = \frac{I_{(1)}}{I} \dots \text{Hệ số méo dạng DF (Distortion Factor)}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} \dots \text{Độ méo dạng tổng THD (Total Harmonic Distortion)}$$