



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

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

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

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

Thông tin liên hệ:

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

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

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

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

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

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

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

## TỰ ĐỘNG HÓA QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT

## NỘI DUNG MÔN HỌC :

Chương 1 : Khái quát hệ thống tự động hóa quá trình sản xuất.

Chương 2 : Các thiết bị cơ bản của hệ thống tự động

Chương 3 : Điều khiển tự động

Chương 4 : Hệ thống sản xuất linh hoạt (FMS).

Chương 5 : Hệ thống sản xuất tích hợp CIM.

Chương 6 : Cấp phôi – cấp liệu tự động .

Chương 7 : Tự động hóa các quá trình công nghệ .

## Các bài tập và bài thi phải thực hiện:

-1 báo cáo về tự động hóa QTSX	20%
-1 bài kiểm tra cuối kỳ	70%
- Chuyên cần	10%

## **TÀI LIỆU HỌC TẬP :**

**[1] TRẦN VĂN ĐỊCH, Hệ thống gia công linh hoạt FMS & CIM. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2001.**

**[2] HỒ VIẾT BÌNH , Tự động hóa sản xuất. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2009.**

**[3] NGUYỄN PHẠM THỤC ANH , Hệ thống sản xuất tự động hoá tích hợp máy tính . Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2006.**

**[4] PHAN QUỐC PHỒ, NGUYỄN ĐỨC CHIẾN, Giáo trình cảm biến . Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2006.**

## Tài liệu tham khảo

- [1] Mikell Groover *Automation, Production Systems and Computer Intergrated Manufacturing*. Prentice-Hall.Editions,1990.
- [2] Geoffrey Boothroyd *Assembly Automation And Product Design*.
- [3] Beno Benhabib , *Manufacturing : design, production, automation and integration, 2003* , Marcel Dekker .
- [4] Richart L.Shell, Ernet L.Hall , *Handbook Industrial Automation, 2000* , Marcel Dekker .

Đề tiểu luận : Dự trên kiến thức tự động hóa quá trình sản xuất, trình bày về tự động hóa cho các loại nhà máy hay dây chuyền sản xuất :

1. Tự động hóa trong nhà máy sản xuất xi măng .
2. Tự động hóa trong nhà máy sản xuất thép .
3. Tự động hóa trong nhà máy sản xuất gạch ceramic
4. Tự động hóa trong nhà máy mạ kẽm mạ màu
5. Tự động hóa trong nhà máy cơ khí FMS



Đề tiểu luận : Dự trên kiến thức tự động hóa quá trình sản xuất, trình bày về tự động hóa cho các loại nhà máy hay dây chuyền sản xuất :

6. Tự động hóa trong nhà máy sản xuất ô tô.

7. Tự động hóa trong nhà máy sản xuất nhựa .

8. Tự động hóa trong nhà máy sản xuất khác

Các em tự chọn đề tài và đăng ký nhóm tiểu luận từ 5-10 người để làm bài .

Nộp trước khi thi kết thúc học kỳ .

## I. Khái quát về tự động hóa quá trình sản xuất

### NỘI DUNG CHƯƠNG 1 :

**1. Lịch sử phát triển của tự động hóa QT sản xuất**

**2. Khái niệm và định nghĩa**

- Cơ khí hóa

- Tự động hóa

- Cơ khí hóa hoặc tự động hóa một phần

- Cơ khí hóa hoặc tự động hóa toàn phần

Mức cơ khí hóa và tự động hóa

**3. Tiêu chuẩn kinh tế - kỹ thuật của tự động hóa**

**4. Nhiệm vụ tự động hóa quá trình sản xuất**

## I. Khái quát về tự động hóa quá trình sản xuất

### 5. Các giai đoạn phát triển của tự động hóa

- Tự động hóa cứng
- Tự động hóa theo chương trình
- Tự động hóa linh hoạt.

### 6. Nguyên tắc ứng dụng tự động hóa quá trình sản xuất

- Nguyên tắc có mục đích và kết quả cụ thể
- Nguyên tắc toàn diện
- Nguyên tắc có nhu cầu
- Nguyên tắc hợp điều kiện

## I. Khái quát về tự động hóa quá trình sản xuất

### 7. Đặc điểm của quá trình tự động hóa sản xuất

- Dấu hiệu liên tục của quá trình công nghệ
- Nguyên công là thành phần của quá trình công nghệ
- Tính đa phương án của quá trình công nghệ

### 8. Nguyên tắc thiết kế quá trình công nghệ tự động hóa

- Nguyên tắc của sự hoàn thiện
- Nguyên tắc ít nguyên công
- Nguyên tắc ít lao động
- Nguyên tắc không điều chỉnh
- Nguyên tắc về tính tối ưu.

## I.1. Lịch sử phát triển của tự động hóa QT sản xuất

- Mặc dù TĐHQTSX là đặc trưng của khoa học kỹ thuật hiện đại, nhưng các thông tin về các cơ cấu tự động đã tồn tại từ xa xưa.
- Các máy tự động cơ học đã được sử dụng ở Ai Cập cổ và Hy Lạp khi thực hiện các màn múa rối đe dọa lôi kéo người theo đạo. Trong thời Trung cổ người ta đã biết đến các máy tự động cơ khí thực hiện chức năng người gác cổng của Albert. Một đặc điểm chung của các máy tự động kể trên là chúng không có ảnh hưởng gì tới các quá trình sản xuất của xã hội thời đó .
- Máy tự động đầu tiên được sử dụng trong công nghiệp do một thợ cơ khí người Nga, Ông Ponzunop chế tạo năm 1765. Nhờ nó mà mức nước trong nồi hơi được giữ cố định không phụ thuộc vào lượng tiêu hao hơi nước.

## I. Khái quát về tự động hóa quá trình sản xuất

- Năm 1712, ông Nartop, thợ cơ khí người Nga đã chế tạo ra máy tiện chép hình để tiện các chi tiết định hình, việc chép hình theo mẫu được thực hiện tự động.
- Năm 1873 Spender đã chế tạo được máy tiện tự động có ổ cấp phôi, trục phân phối mang cam đĩa, cam thùng.
- Năm 1887 Xtoleoôp đã chế tạo ra phần tử cảm quang đầu tiên.
- Đầu thế kỷ 20 các thành tựu đạt được trong TĐH đã cho phép chế tạo nhiều máy tự động nhiều trục chính, máy tổ hợp, dây truyền tự động...
- Nhờ các thành tựu từ CNTT và các ngành khác mà ngành TĐHQTSX đang có những bước phát triển nhanh chóng.

## I.2. Các khái niệm cơ bản

### 2.1. Cơ khí hóa:

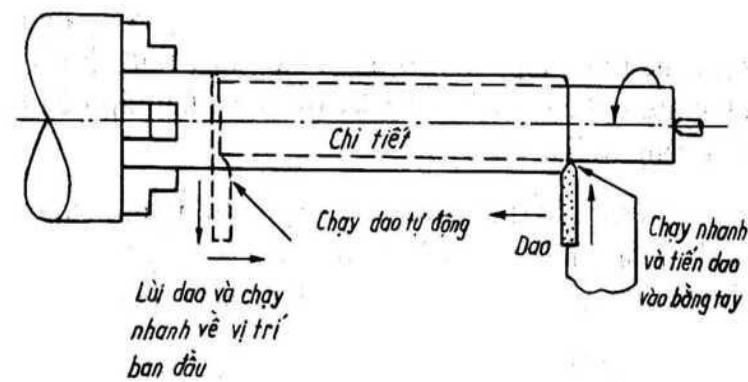
Quá trình biến đổi vật chất bao gồm 2 giai đoạn:

Quá trình chính (chuyển động chính): trực tiếp làm thay đổi tính chất cơ lý hóa, hình học ban đầu của phôi.

Quá trình phụ (chuyển động phụ): Không làm thay đổi trạng thái, tính chất của đối tượng nhưng cần thiết cho quá trình chính thực hiện.

#### • Định nghĩa cơ khí hóa:

Cơ khí hóa là quá trình thay thế tác động cơ bắp của con người khi thực hiện các quá trình công nghệ chính hoặc các chuyển động chính của máy.



Hình 1.2-chu kỳ gia công trên máy tiện.

## I.2. Các khái niệm cơ bản

### • **Nhiệm vụ của người điều khiển:**

- Nghiên cứu các thông tin ban đầu về nhiệm vụ, đặc điểm của quá trình điều khiển.
- Thu thập, lưu trữ thông tin về quá trình công nghệ yêu cầu.
- So sánh sự không tương thích giữa thông số cho trước và thông số thực của quá trình.
- Phân tích, biến đổi thông tin đã có để đưa ra lệnh điều khiển.
- Tác động đến cơ cấu điều khiển.

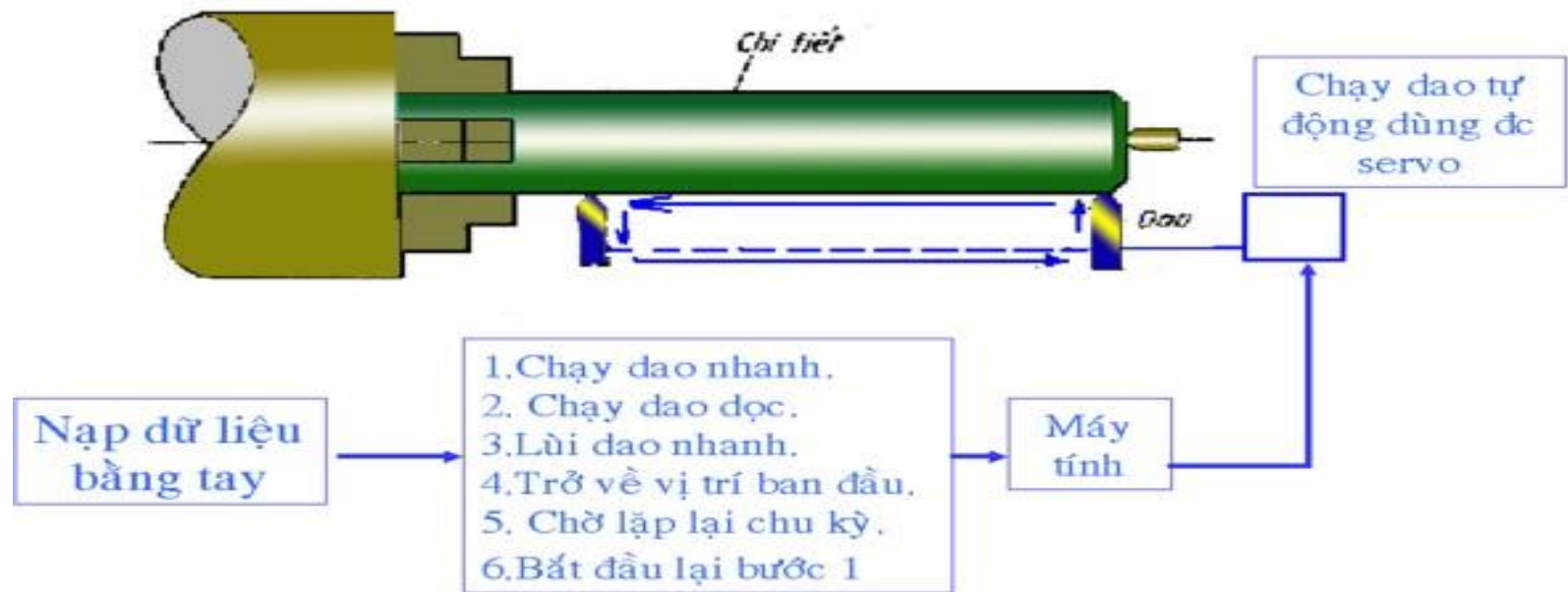
Như vậy **cơ khí hóa** không thay thế được con người trong các chức năng điều khiển, theo dõi diễn biến của quá trình cũng như thực hiện một loạt các chuyển động phụ trợ khác.



## 2.2. Tự động hóa quá trình sản xuất:

• **Tự động hóa quá trình sản xuất** là ứng dụng năng lượng của máy móc để thực hiện và điều khiển sản xuất mà không có sự tham gia trực tiếp của con người.

*VD : Máy tiện có chương trình làm việc theo chương trình tự động hoàn toàn.*



## 2.2. Tự động hóa quá trình sản xuất:

➤ TĐHQTSX được chia thành 2 mức:

- TĐH từng phần :

- Là tự động hóa chỉ một số nguyên công riêng biệt của quá trình, các nguyên công còn lại vẫn thực hiện trên các máy vận năng và bán tự động thông thường.

- TĐH toàn phần :

- Tự động hóa toàn bộ quá trình gia công, kiểm tra, lắp ráp.

- TĐHQTSX chia thành 3 giai đoạn:

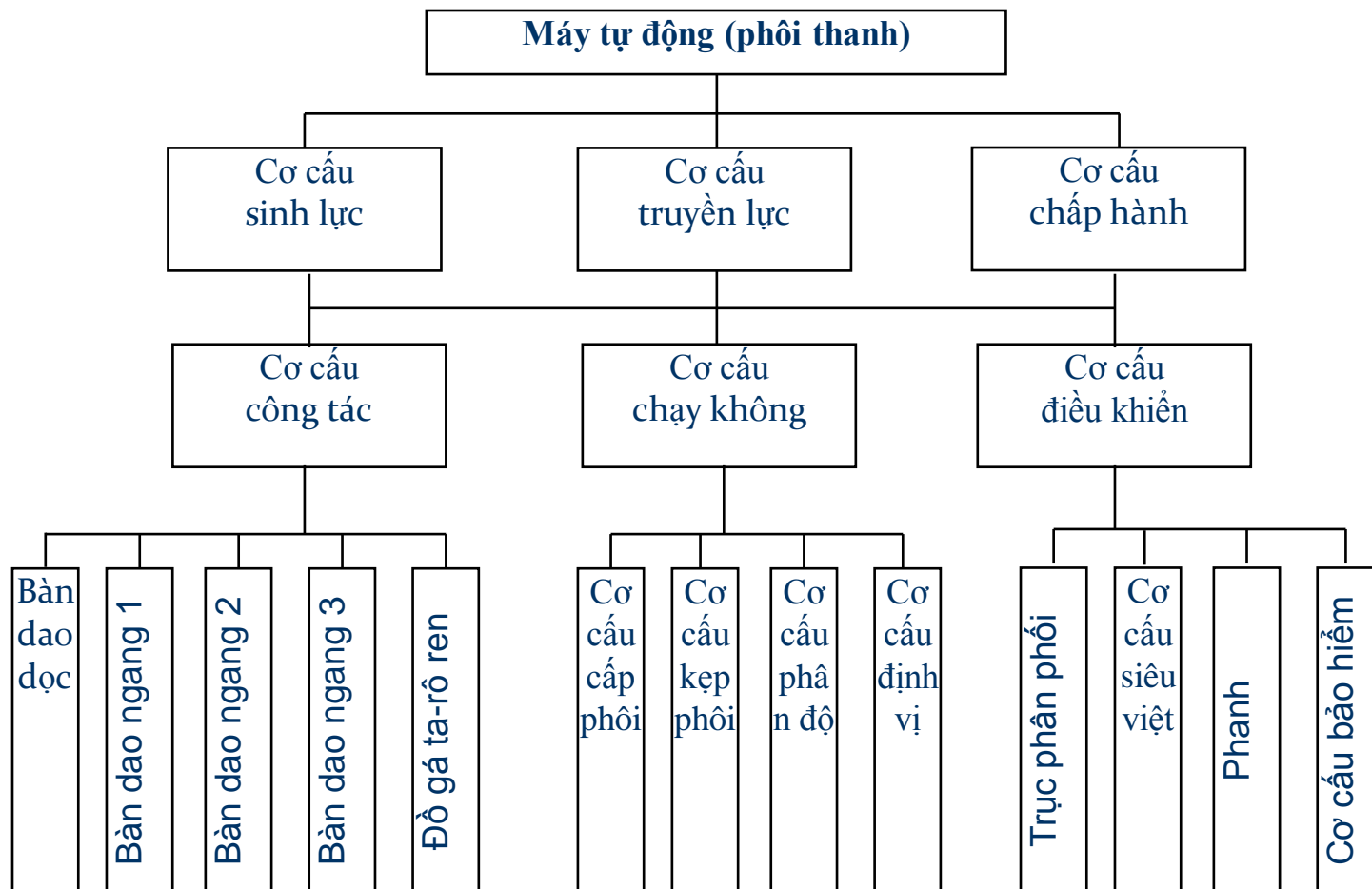
- Máy tự động.

- Đường dây tự động.

- Xưởng tự động

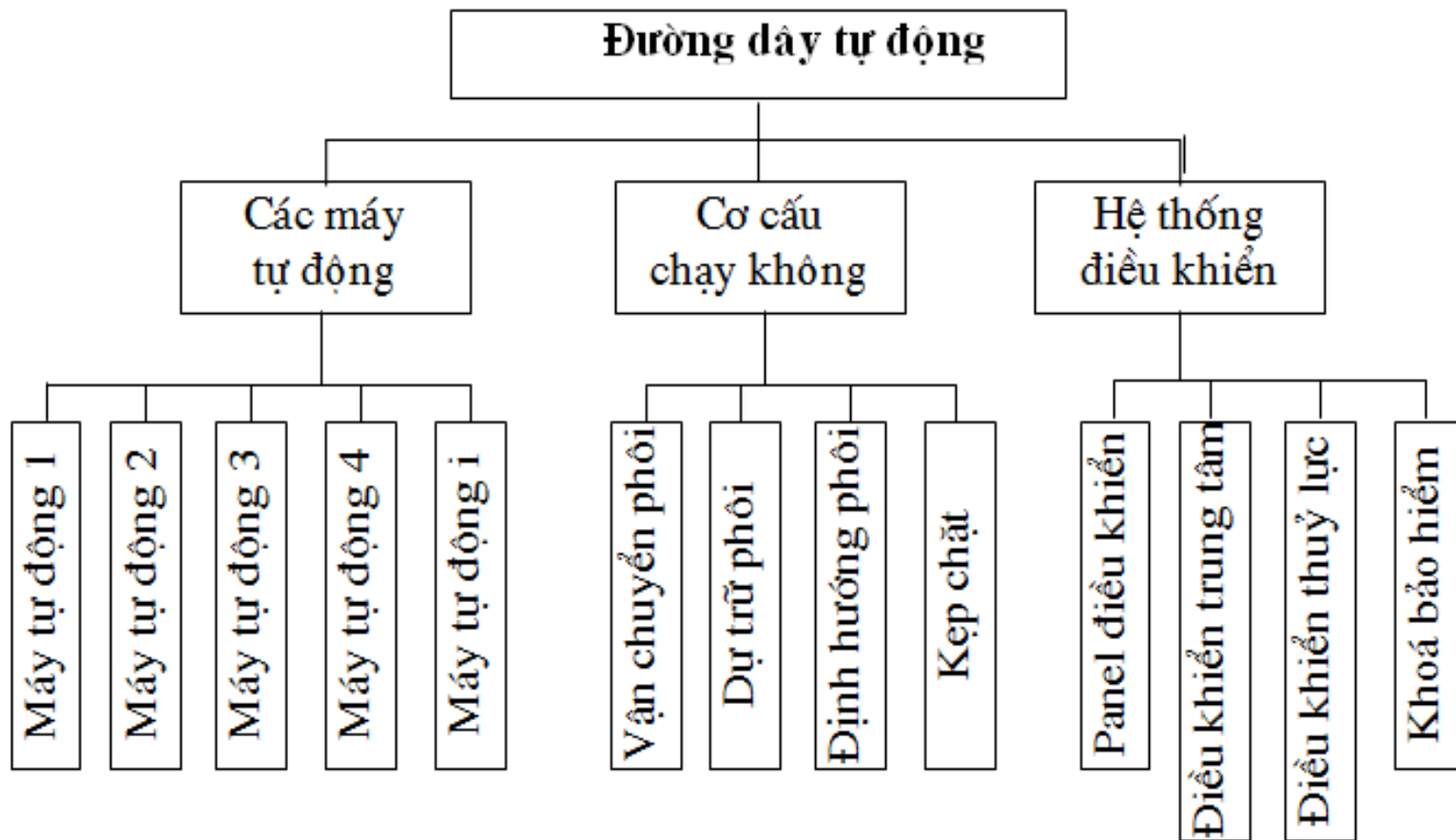
## 2.2. Tự động hóa quá trình sản xuất:

### Sơ đồ cấu trúc máy tự động



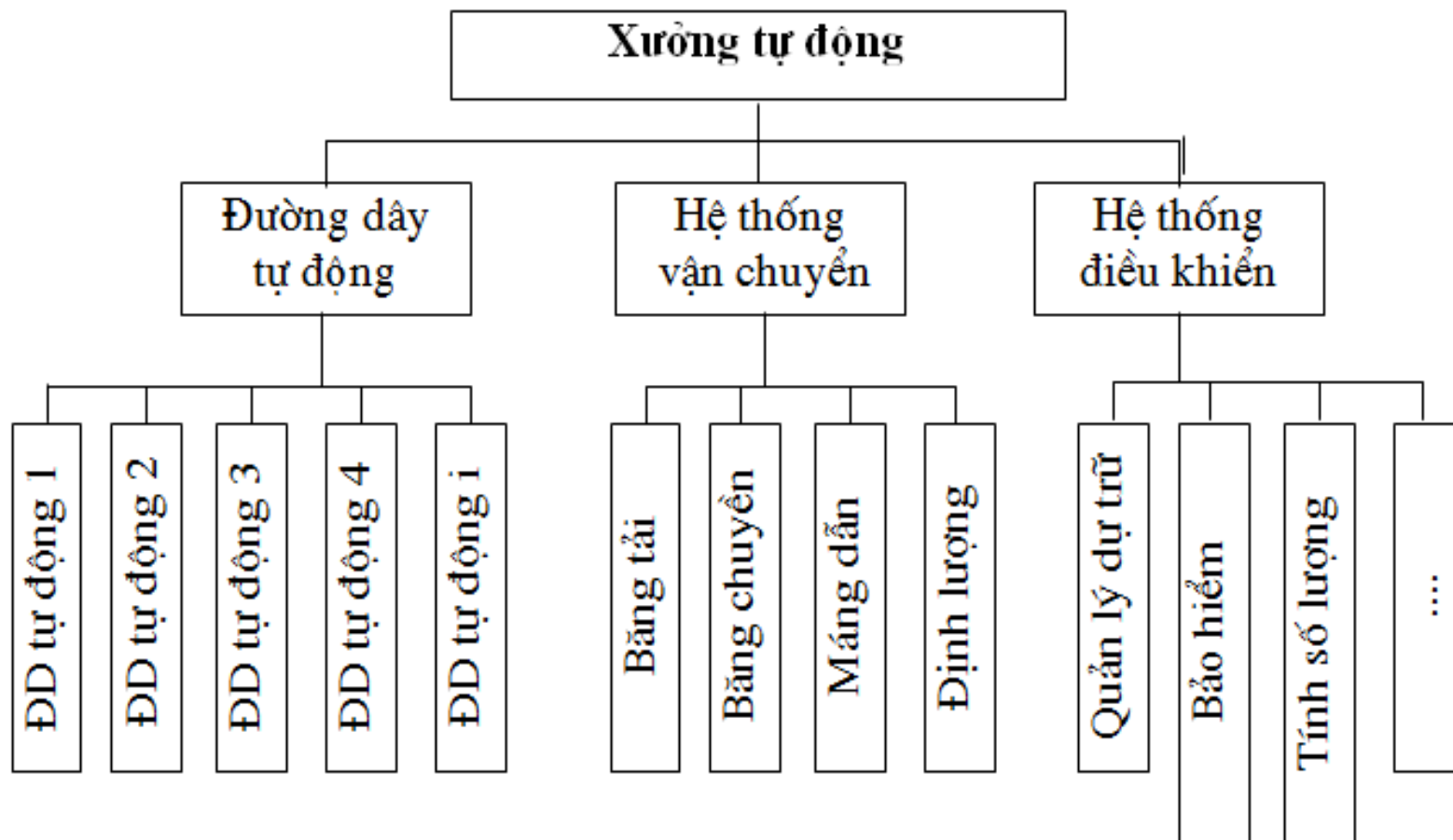
## 2.2. Tự động hóa quá trình sản xuất:

Sơ đồ cấu trúc đường dây tự động



## 2.2. Tự động hóa quá trình sản xuất:

Sơ đồ cấu trúc xưởng tự động



## 3. Vai trò và ý nghĩa của TĐHQTSX:

- Cho phép giảm giá thành, nâng cao năng suất lao động.
- Cải thiện điều kiện sản xuất, đảm bảo ổn định năng suất, chất lượng sản phẩm.
- Cho phép đáp ứng cường độ cao trong sản xuất hiện đại.
- Cho phép thực hiện chuyên môn hóa, hoán đổi sản xuất (tính lặp lần).

## 4. Các nguyên tắc ứng dụng TĐHQTSX:

- Nguyên tắc có mục đích và kết quả cụ thể:
- Nguyên tắc toàn diện:

## 4. Các nguyên tắc ứng dụng TĐHQTSX:

- Nguyên tắc có nhu cầu.
- Nguyên tắc hợp điều kiện.

1. Nguyên tắc có mục đích và kết quả cụ thể:

Ưu tiên hàng đầu cho thông số về năng suất và chất lượng của quá trình gia công.

2. Nguyên tắc toàn diện:

Tất cả các thành phần quan trọng của Quá trình sản xuất (đối tượng, công nghệ, thiết bị chính-phụ, hệ thống điều khiển..) phải được xem xét và giải quyết triệt để.

## 4. Các nguyên tắc ứng dụng TĐHQTSX:

**Để tuân thủ nguyên tắc** Nguyên tắc toàn diện: **cần:**

- TĐH phải được thực hiện trên tất cả các công đoạn.
- Nâng cao chất lượng TĐH bằng cách hiện đại hóa, thay thế các tổ hợp trang thiết bị tự động.
- Giảm chi phí gia công tổng cộng trên nguyên tắc giảm chi phí lao động sống.
- Thiết lập các tổ hợp thiết bị tự động được điều khiển tập trung.





## Đặc tính của quá trình sản xuất

-Chủng loại

-Chất lượng, Năng suất, hiệu quả, ...

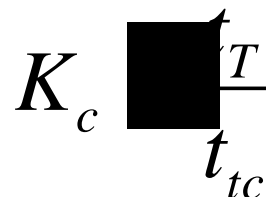
Năng suất:

1. Mức độ chu kỳ của tự động hóa



$$K_c \frac{T}{t_c}$$

2. Mức độ gia công của tự động hóa



$$K_c \frac{T}{t_V}$$

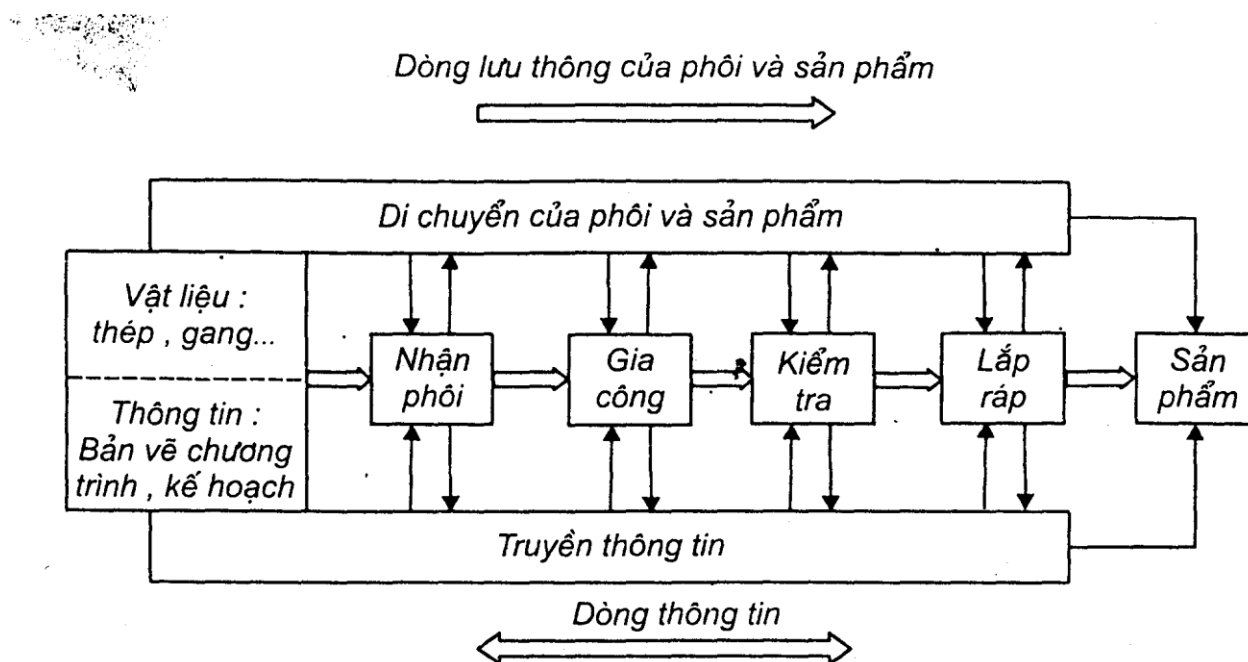
3. Mức độ vận hành của tự động hóa

$t_T$  Thời gian gia công tự động,  $t_c$  thời gian chu kỳ,  $t_{tc}$  Thời gian chu kỳ từng chiếc  
 $t_V$  thời gian vận hành của 1 quý/tháng/năm

## Các mối quan hệ trong sản xuất

Các thông số cần lưu ý:

- Phôi và vật liệu, thời gian gia công, độ chính xác kích thước, Dung cụ cắt, thứ tự gia công, chế độ cắt, ...



## Hệ thống điều khiển tự động

### A. Khái niệm và phân loại

Hệ thống điều khiển tự động: làm việc lặp lại theo một chương trình

Có 3 loại:

1. Hệ thống điều khiển liên tục: Tín hiệu liên tục
2. Hệ thống điều khiển xung: Tín hiệu xung
3. Hệ thống điều khiển tổ hợp

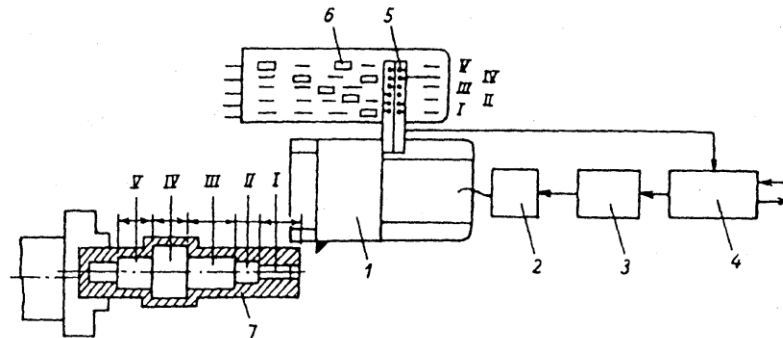
Chia có 2 nhóm:

1. Chương trình không theo số
2. Theo chương trình số

## Hệ thống điều khiển không theo chương trình số

Hệ thống điều khiển hành trình.

→ Dùng cửa chặn để giới hạn hành trình và chuyển sang hành trình khác



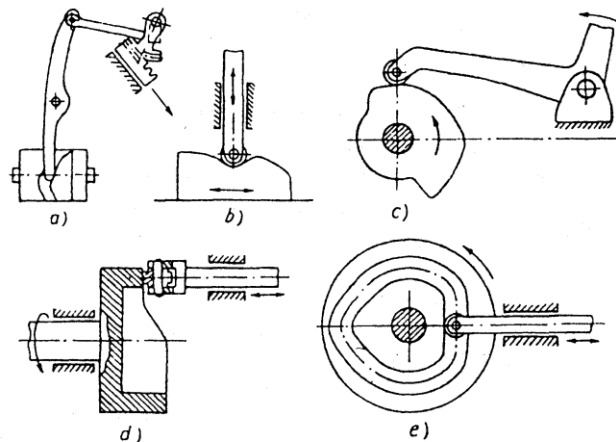
Hình 2.1. Sơ đồ hệ thống điều chỉnh hành trình

1-cơ cấu chấp hành; 2-bộ phận dẫn động; 3 và 4-các khối điều khiển;  
5-các phần tử điều khiển; 6-các cửa chặn; 7-chi tiết gia công; I÷V- các ổ trục cần gia công.

## Hệ thống điều khiển không theo chương trình số (tt)

Hệ thống điều khiển bằng cam

→ Có loại dùng tay đòn, loại không



**Hình 2.2** Các loại cam.  
a - cam hình trụ; b - cam phẳng; c - cam đĩa hở; d - cam mặt đầu;  
e - cam đĩa kín.

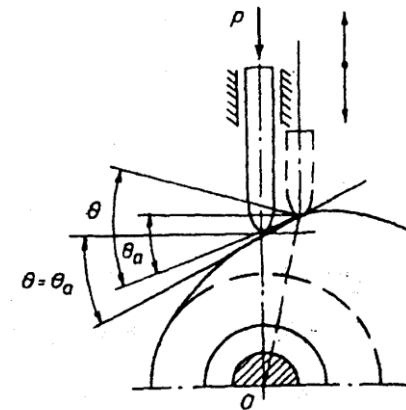
## Hệ thống điều khiển không theo chương trình số (tt)

Thiết kế cam tuân theo trình tự sau:

1. Chọn loại cơ cấu
2. Quy luật chuyển động
3. Kích thước cơ bản
4. Tính profile của cam
5. Kích thước cơ cấu dựa trên điều kiện bền.

## Hệ thống điều khiển không theo chương trình số (tt)

Góc áp lực:



Góc áp lực tối ưu:

$$\theta_a = \arctg \frac{1}{K_0}$$

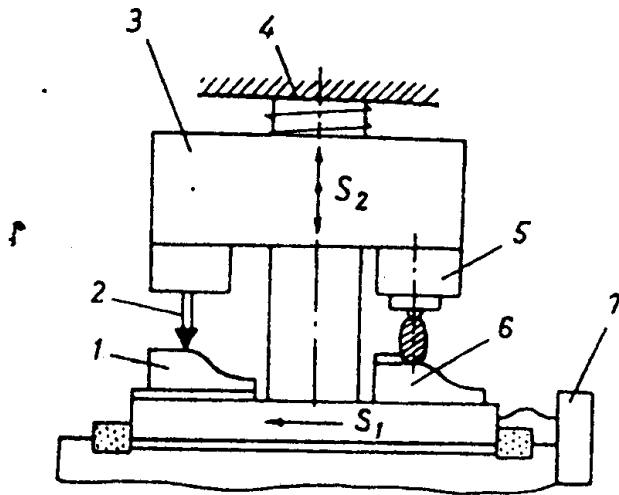
Góc nâng của cam quyết định profile của cam



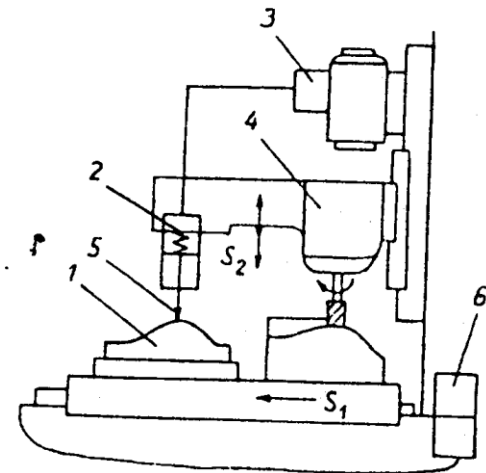
## Hệ thống điều khiển không theo chương trình số (tt)

Hệ thống điều khiển bằng chép hình.

Hệ thống chép hình trực tiếp



Hệ thống chép hình gián tiếp



## Hệ thống điều khiển chương trình số

- Hệ thống điều khiển số là hành trình được điều khiển theo số
  - Linh hoạt
  - Thay đổi đơn giản
  - Điều khiển
  - Lập trình

## Hệ thống điều khiển chương trình số (tt)

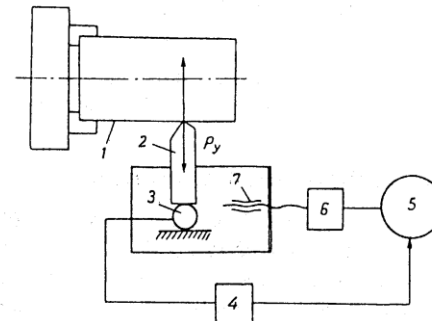
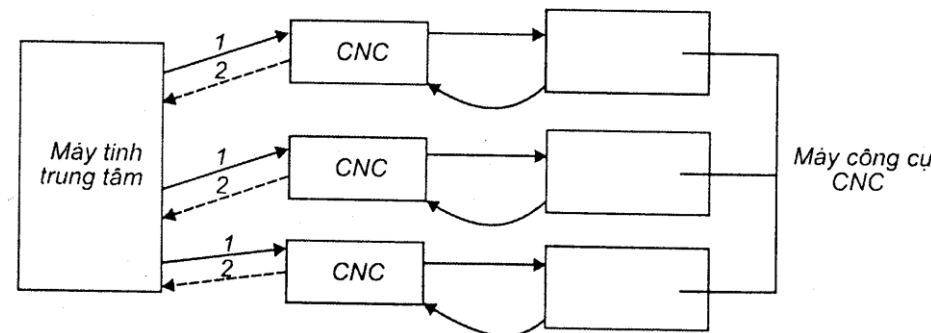
Có các loại:

-Điều khiển NC (Numerical control)

-Điều khiển CNC

-Điều khiển DNC

-Điều khiển thích nghi



Hình 2.12 Sơ đồ điều khiển thích nghi.

1.chiết gia công ; 2.dao ; 3.đattic ; 4.bộ biến đổi; 5,6,7.cơ cấu chạy dao.

## CƠ CẤU TIẾP LIỆU

## Một thí dụ về cấp phôi

File film:

- UBL 452 feeder caps machine, alimentatore orientatore tappi
- Small Product Packaging Feeder

## Khái niệm

→ Cơ cấu cấp phôi tự động cho máy

Các yêu cầu của bộ phận cấp phôi:

- Đơn giản, an toàn
- Cấp phôi chính xác
- Cấp và tháo phôi chính xác

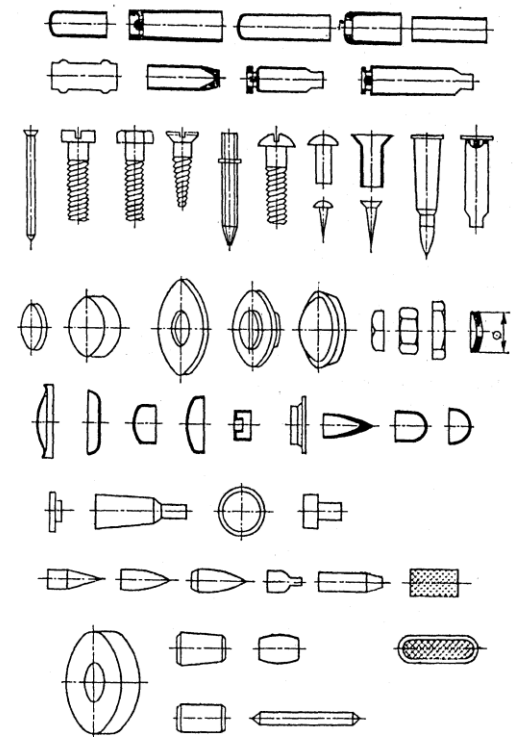
## Cấp phôi từng chiếc

Các ảnh hưởng tới cấp phôi từng chiếc

-Hình dạng, Kích thước, khối lượng, thời gian ...

Phôi được phân thành 3 nhóm chính:

1. Sản xuất hàng khối và phôi có kích thước nhỏ → có thể định hướng tự động
2. Sản xuất hàng khối có kích thước lớn → Định hướng bằng tay có sự trợ giúp
3. Sản xuất hàng khối nhưng phôi kích thước rất to → thiết bị hỗ trợ và đưa từng chiếc.

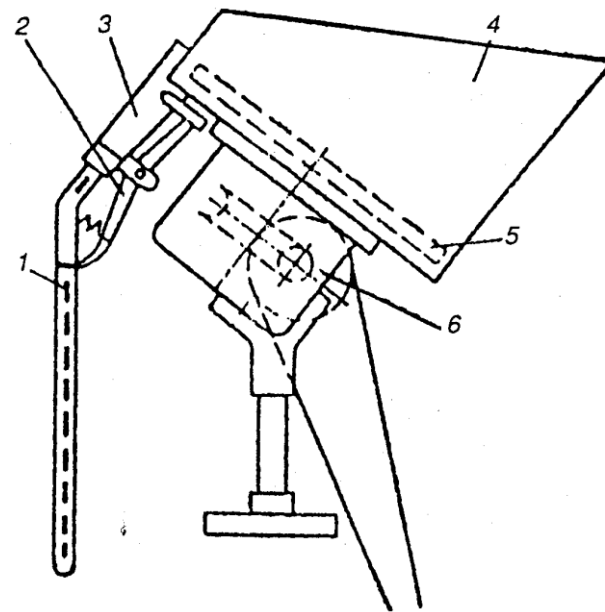


Hình 3.1 Các loại phôi có khả năng định hướng tự động

## Cấu trúc của một cơ cấu tiếp liệu

Gồm các thành phần chính

1. Cơ cấu vận chuyển
2. Định hướng phôi
3. Ổ chứa
4. Cơ cấu đưa phôi lắp trên máy



Hình 4.1 Cơ cấu định hướng phôi dạng phễu.

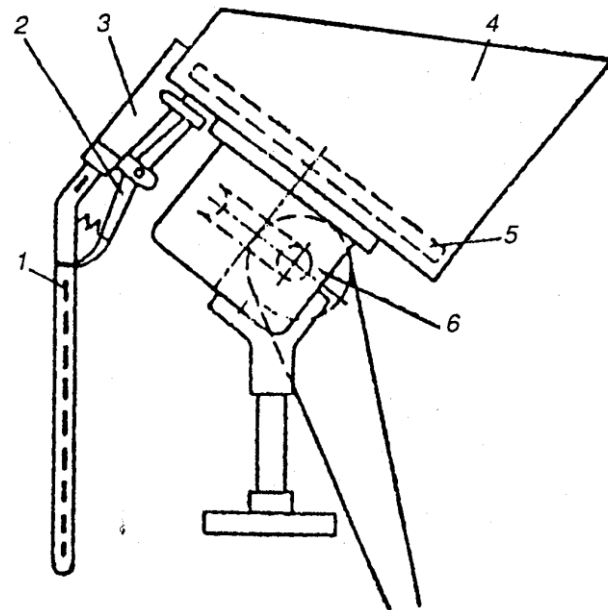


## Cơ cấu định hướng phôi dạng phễu

-Nhiệm vụ:

-Cấu tạo: Phễu chứa, tay tóm, cơ cấu định hướng, Cơ cấu gạt phôi thừa, máng chứa ...

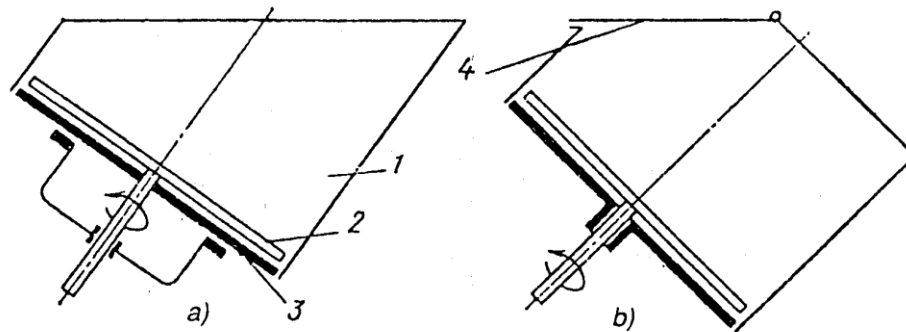
-Yêu cầu: Chứa đủ, ma sát,



Hình 4.1 Cơ cấu định hướng phôi dạng phễu.

## Cơ cấu định hướng phôi dạng phễu (tt)

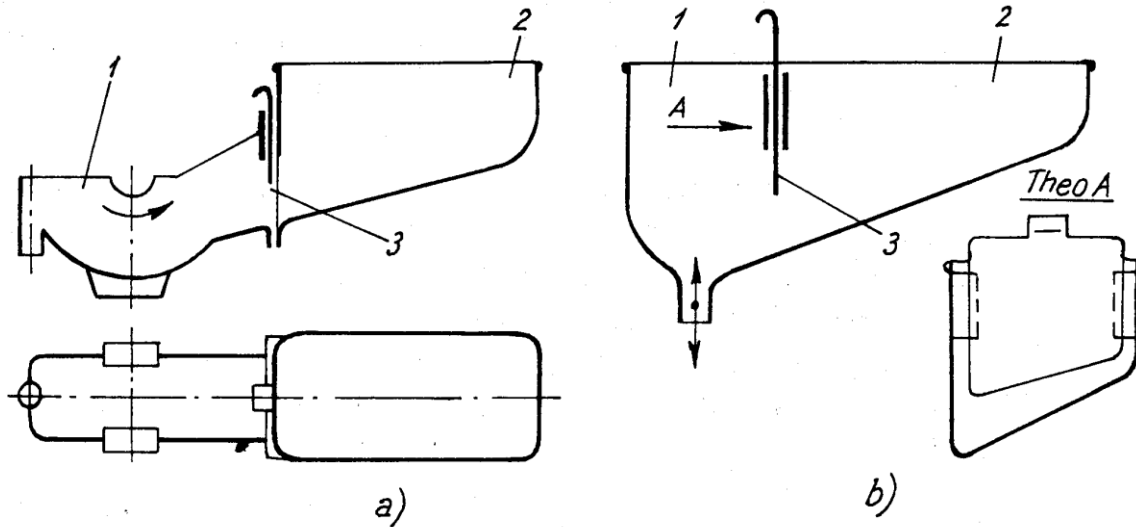
Nhóm 1: Chung tích và chọn phôi.



Hình 4.2 Các phễu hình trụ thuộc nhóm I

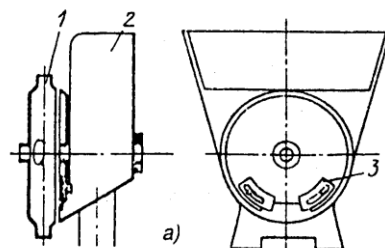
## Cơ cấu định hướng phôi dạng phễu (tt)

Nhóm 2: Tích và chọn phôi riêng

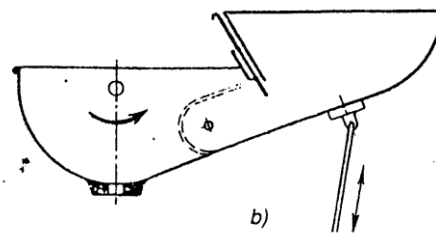


## Cơ cấu định hướng phôi dạng phễu (tt)

Một số lưu ý về dạng phễu:



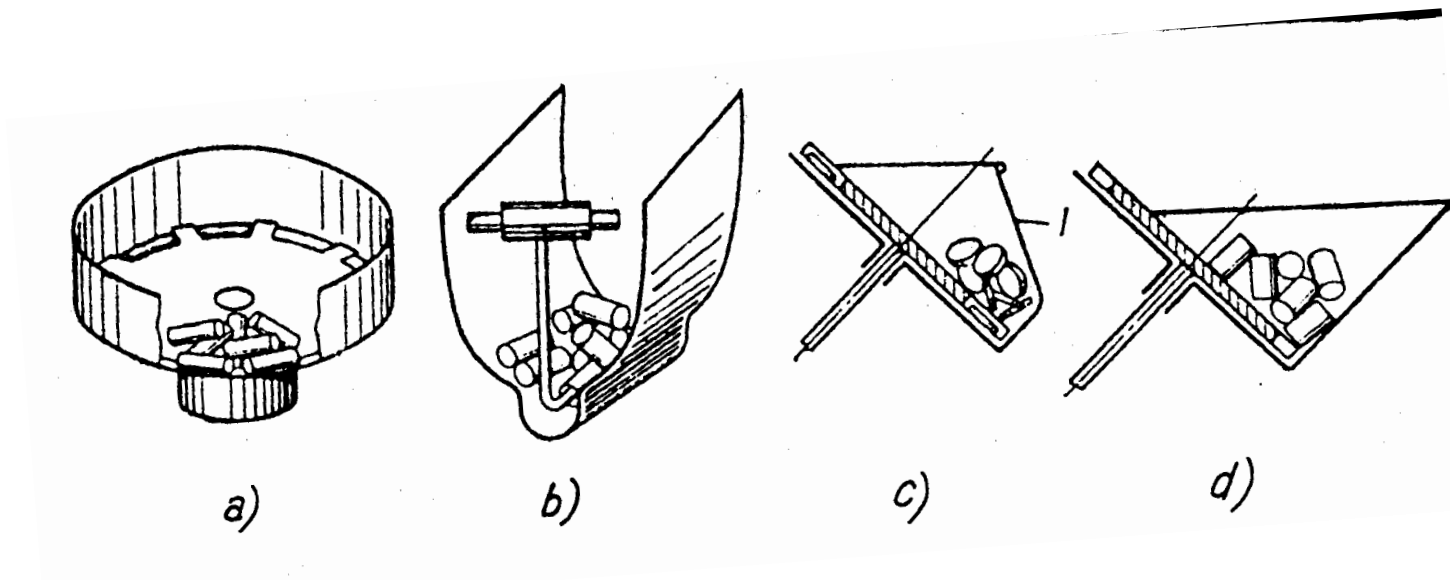
Phễu kết hợp tay bắt phôi



Phễu kết hợp rung lắc

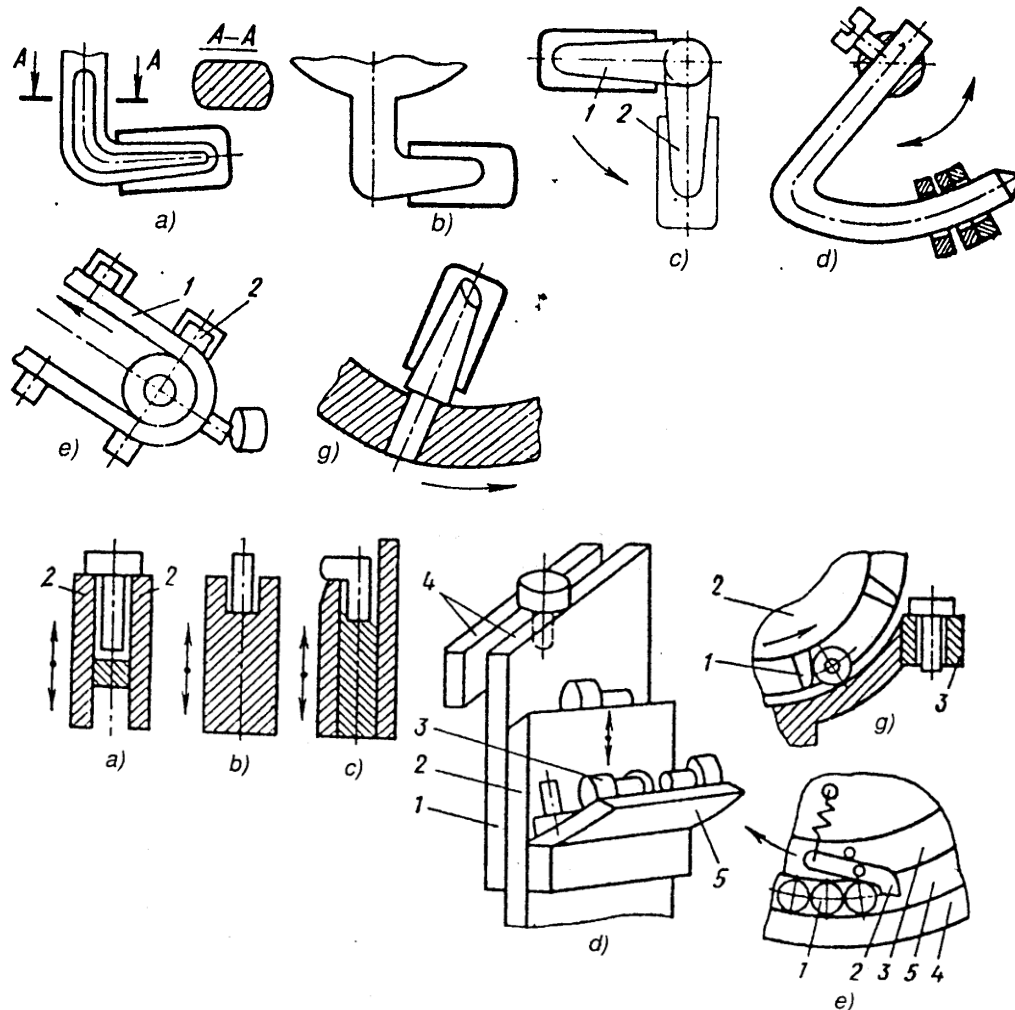
# TỰ ĐỘNG HÓA SẢN XUẤT

Các dạng phễu có khả năng định hướng phôi

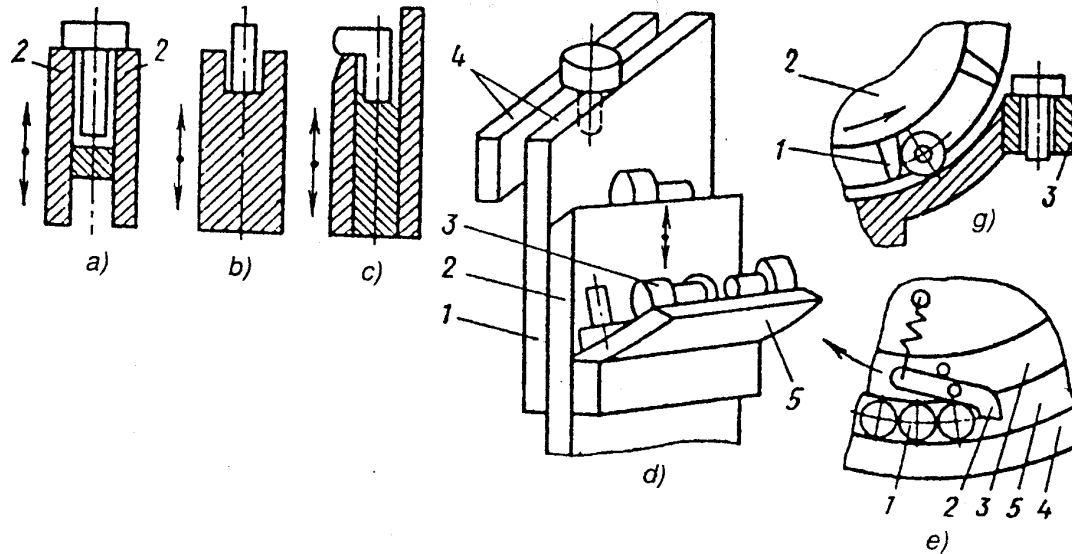


Tùy thuộc tỉ lệ  $l/d$  lớn hay nhỏ

## Các cơ cấu bắt phôi

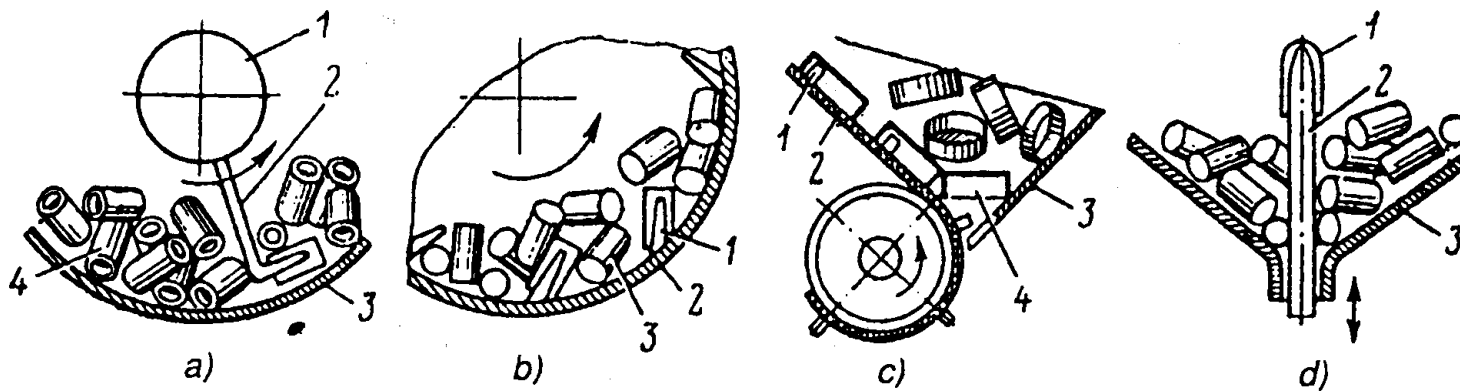


## Để tóm các phôi có dạng trụ đặc



## Cơ cấu định hướng phôi

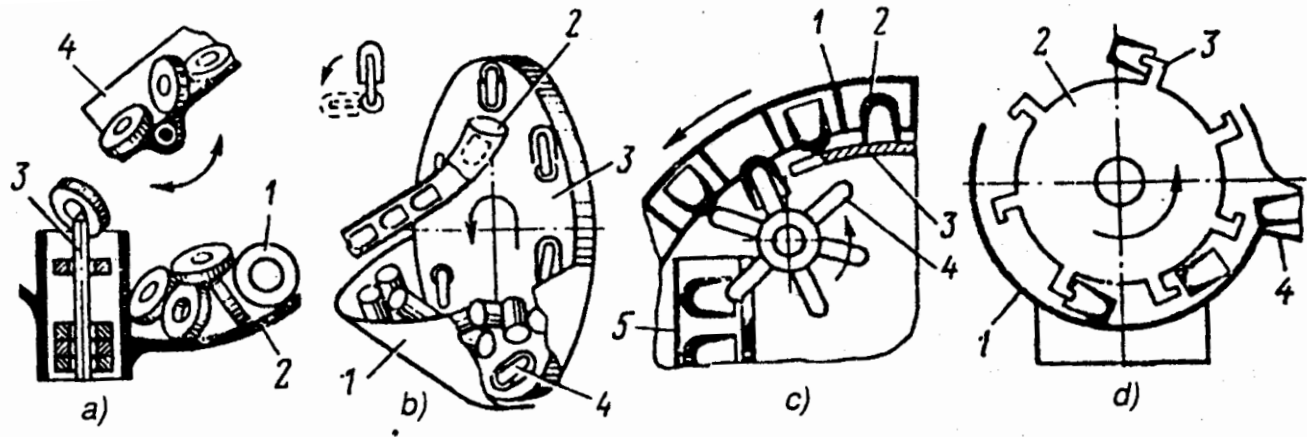
Nhiệm vụ: Xếp đặt, ổn định khi di chuyển, đảm bảo năng suất, an toàn cho phôi....



Hình 4.12 Cơ cấu định hướng phôi một bước.

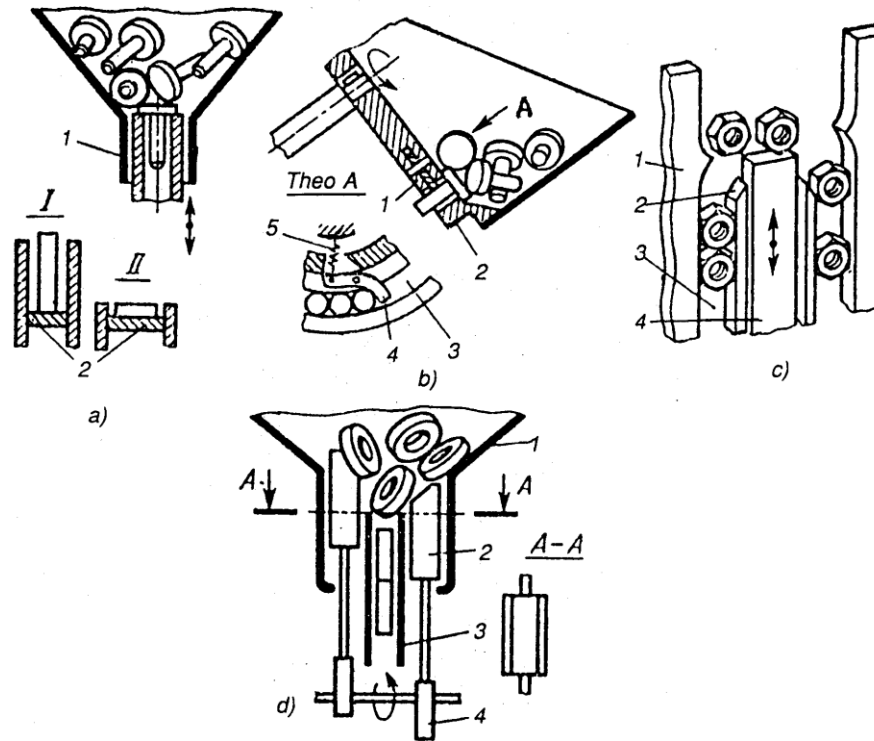


## Cơ cấu định hướng phôi (tt)



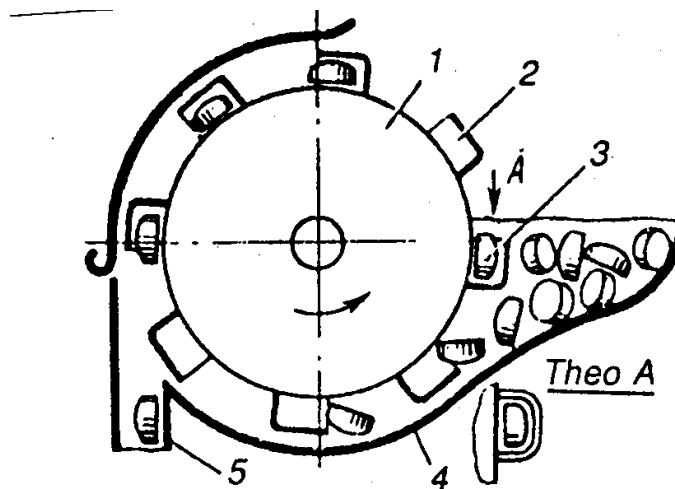
Hình 4.14 Cơ cấu định hướng phôi hai bước.

## Cơ cấu định hướng phôi (tt)



Hình 4.15 Các cơ cấu định hướng phôi bằng rãnh.

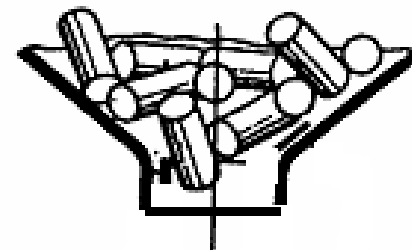
## Cơ cấu định hướng phôi (tt)

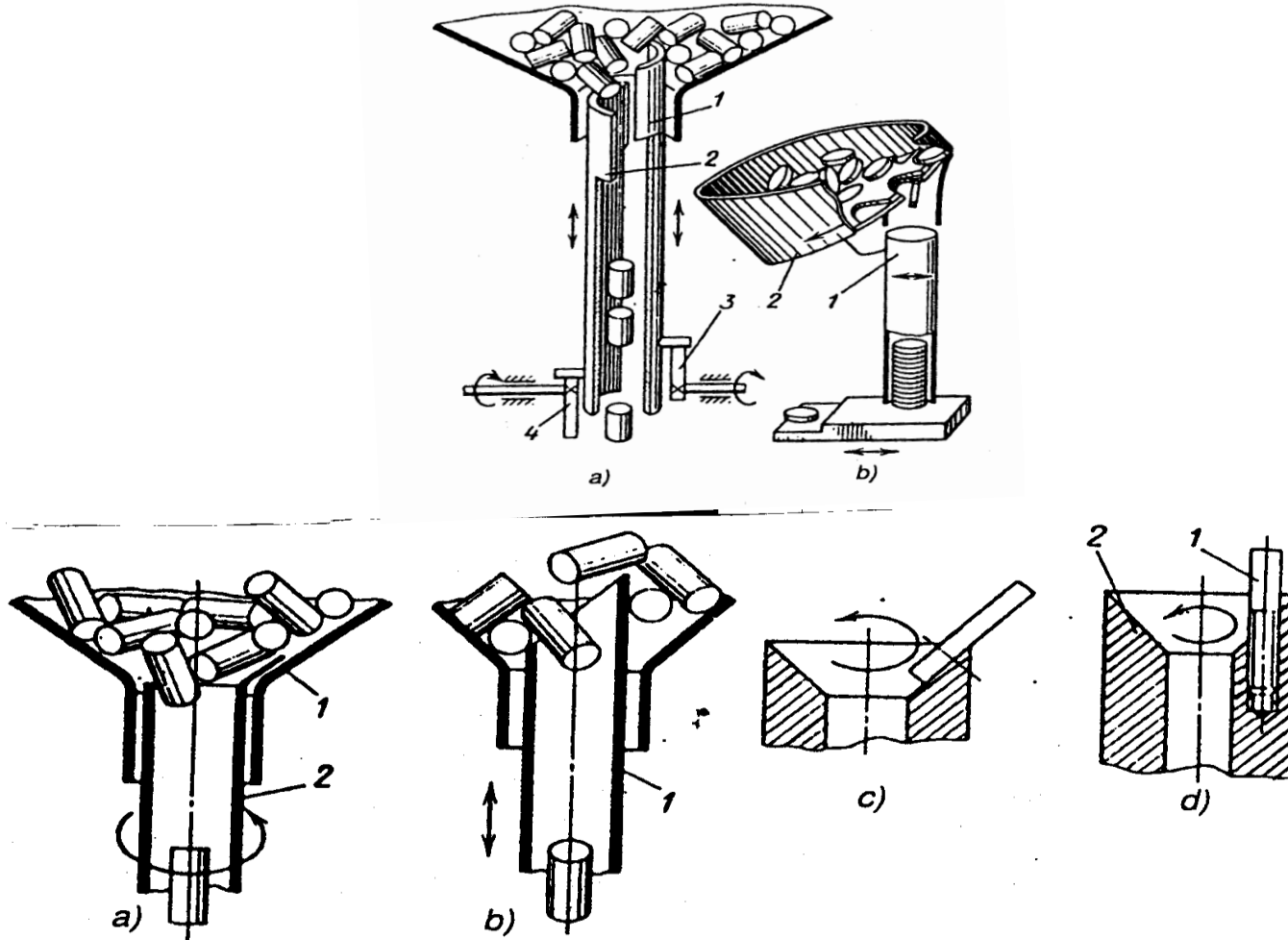


**Hình 4.16** Cơ cấu định hướng phôi bằng túi định hình.

## Cách lấy vật hình trụ từ phễu

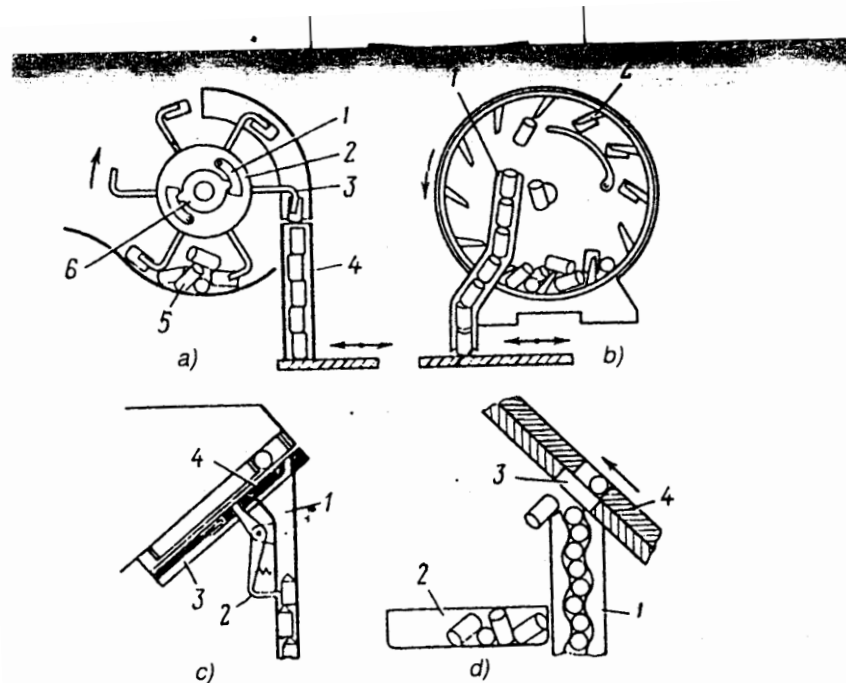
- Muốn gì?
- Muốn như vậy thì làm thế nào
- Giải pháp ra sao





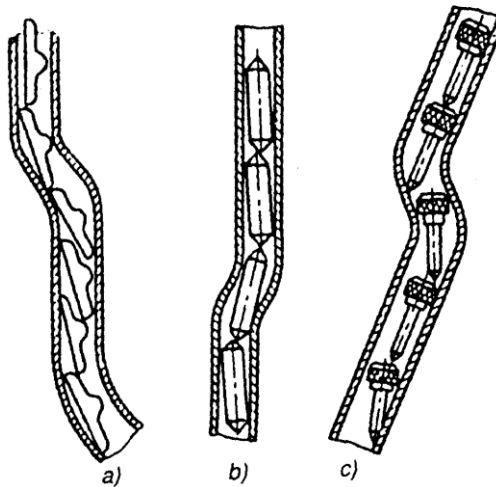
**Hình 4.17** Các cơ cấu định hướng phôi bằng ống di động.

## Một số cách để lấy phôi thừa



Hình 4.19 Các phương pháp tách phôi thừa.

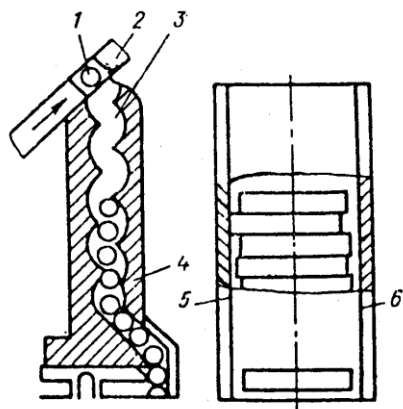
## Một số hình ảnh gây kẹt phôi



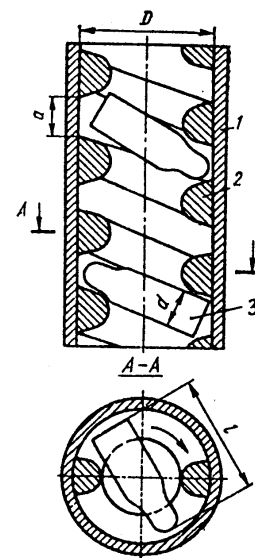
Hình 4.20. Các loại máng chứa mà phôi có thể bị kẹt trong máng

## Một số cách dẫn phôi đặc biệt

### Máng ngăn cách các chi tiết



**Hình 4.22.** Máng chứa hình sóng.  
1. phôi; 2. cơ cấu định hướng;  
3. rãnh hình sóng; 4. thành định hình;  
5, 6. hai tấm chắn.

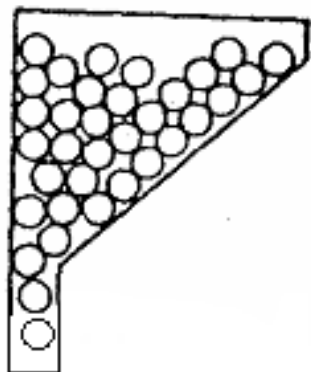




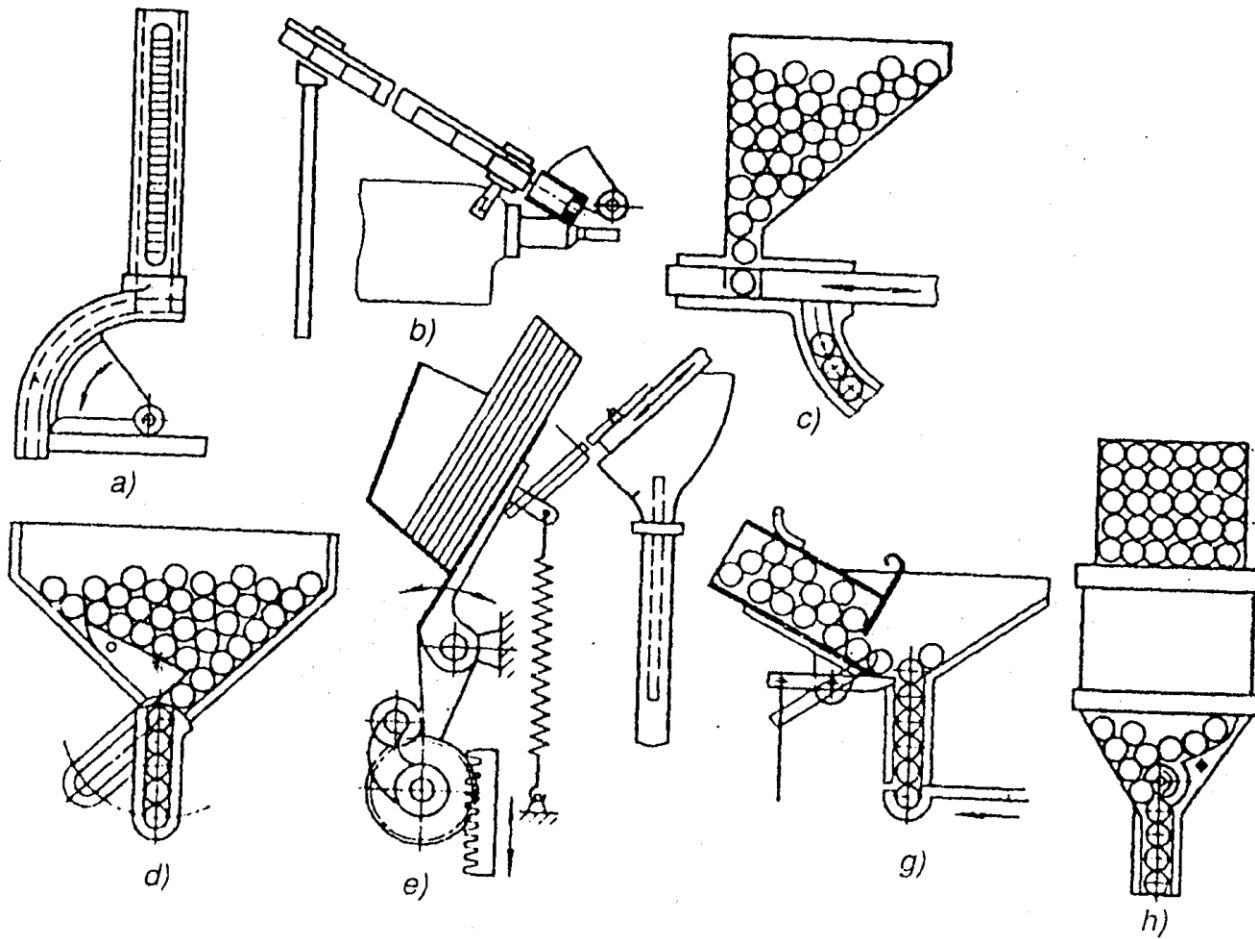
Một số cách lấy từng phôi (dạng ổ tích)

- Muốn gì

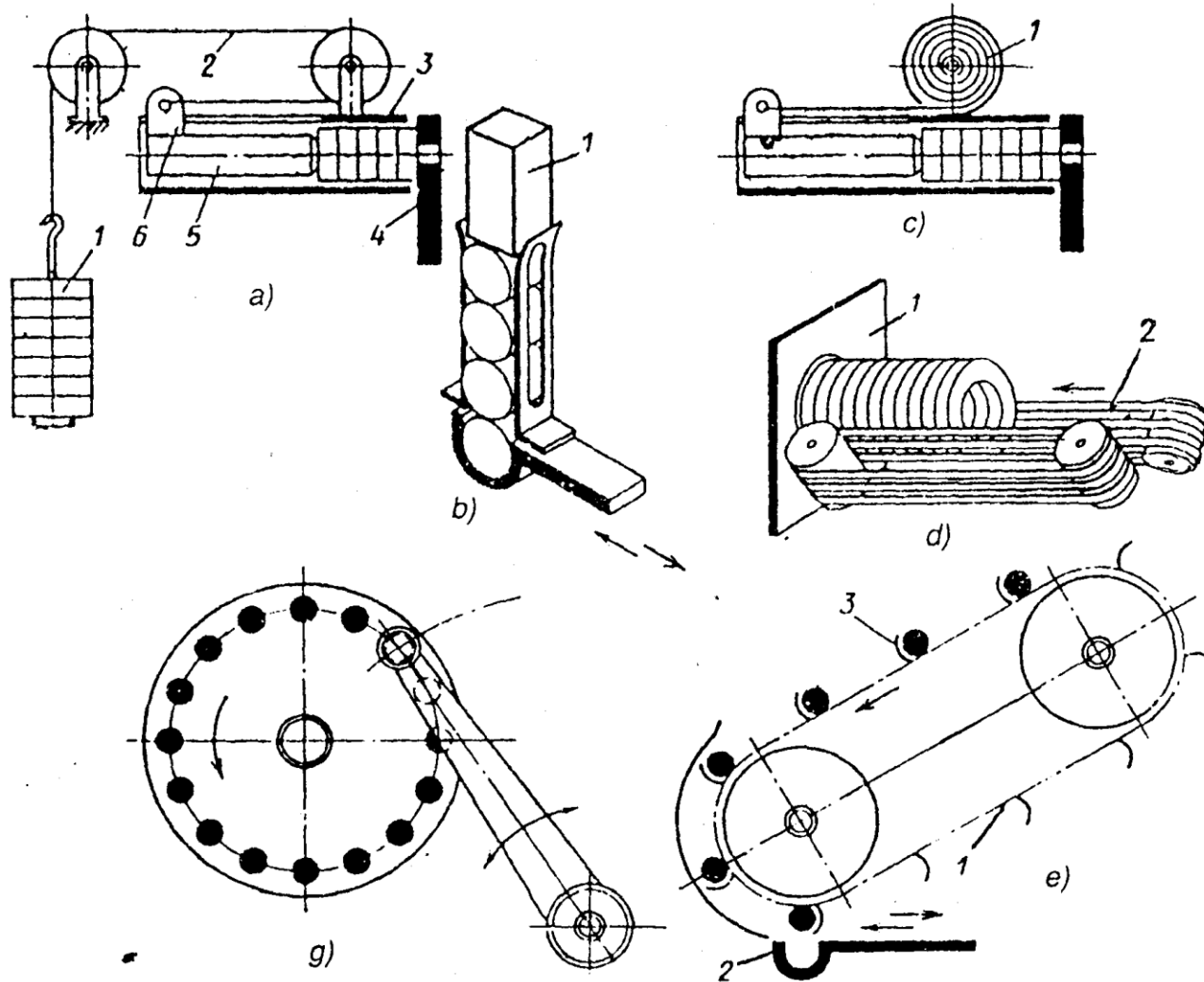
- Đã ai làm điều này chưa, làm như thế nào



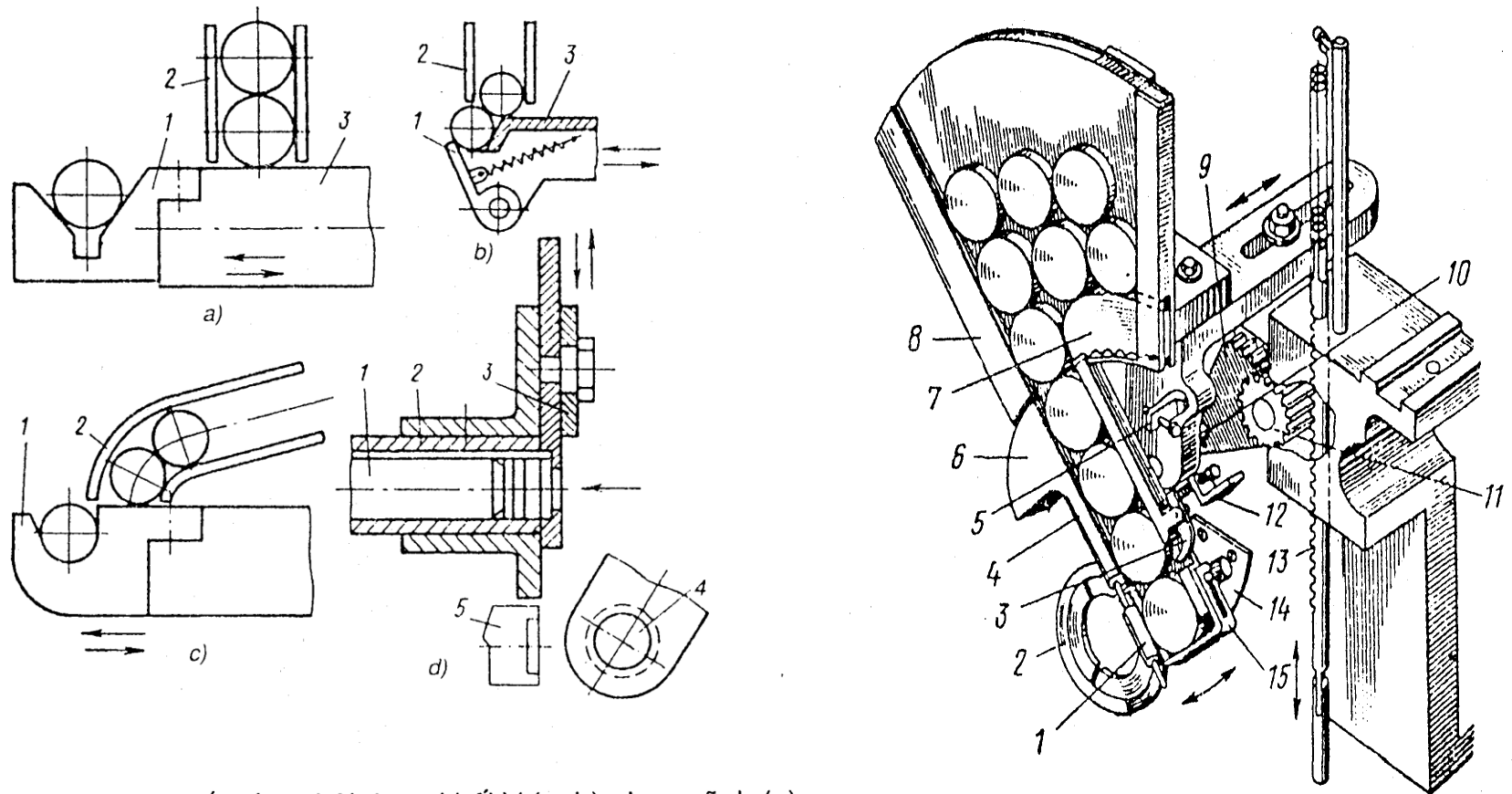
# TỰ ĐỘNG HÓA SẢN XUẤT



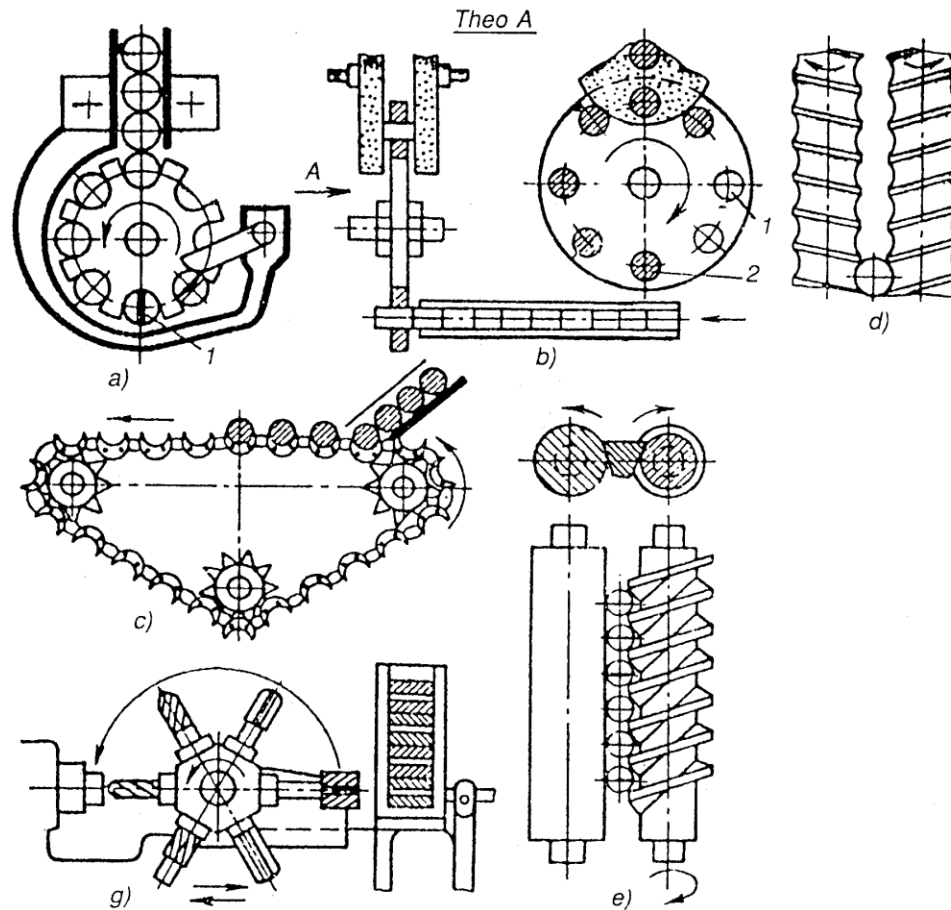
Phương pháp sáng tạo (Dự phòng)



Hình 5.4 Ổ tích sử dụng phương pháp dịch chuyển cưỡng bức.

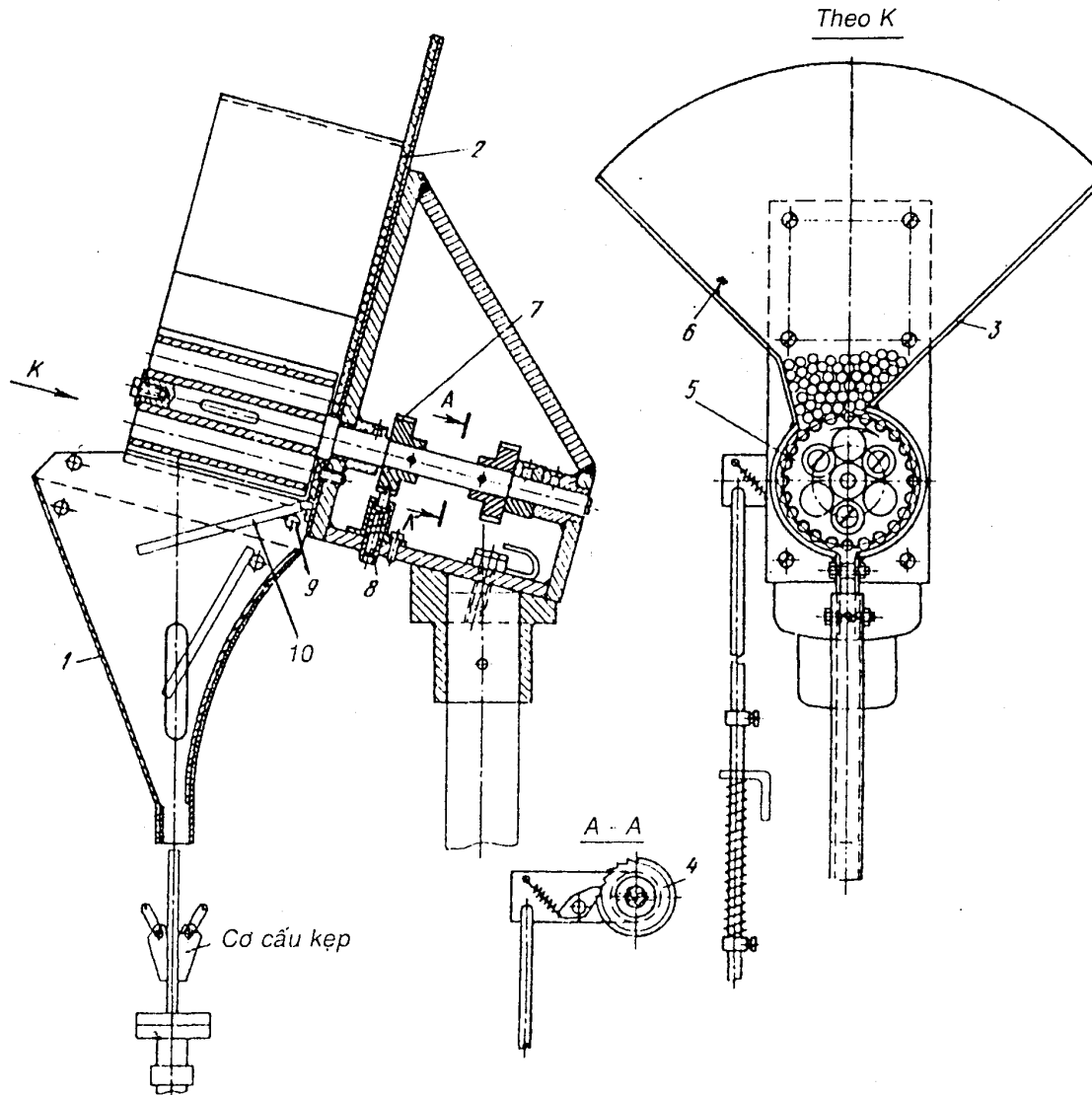


Hình 5.12 Các cơ cấu tóm phôi dạng khối V (a, b), dạng rãnh (c) và dạng lỗ (d).

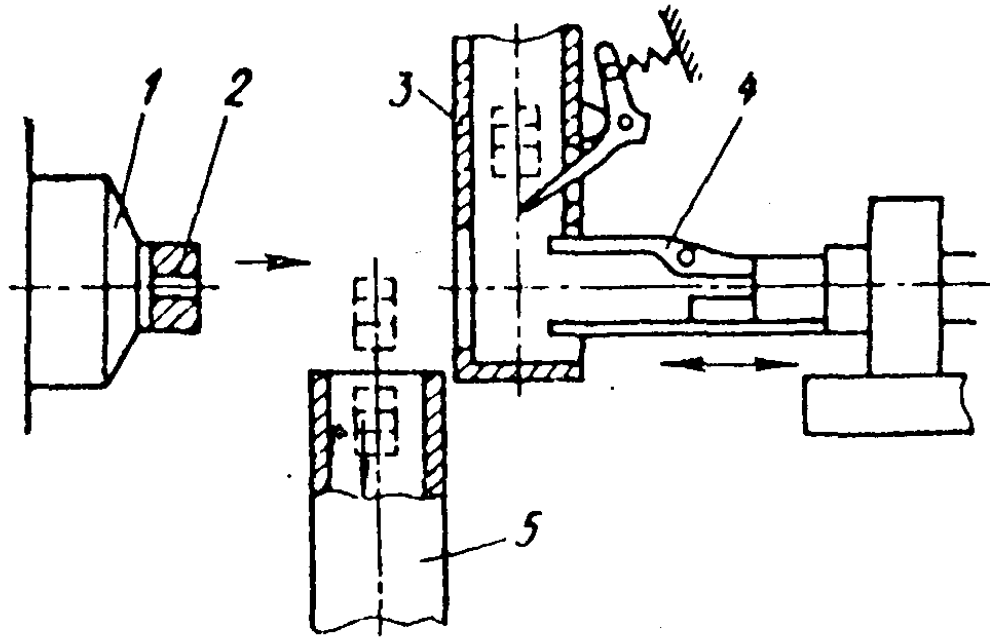


Hình 5.11 Các cơ cấu tiếp liệu dạng đĩa (a, b), dạng xích (c), dạng xoắn vít (d, e) và đầu rơvonve (g).

# TỰ ĐỘNG HÓA SẢN XUẤT

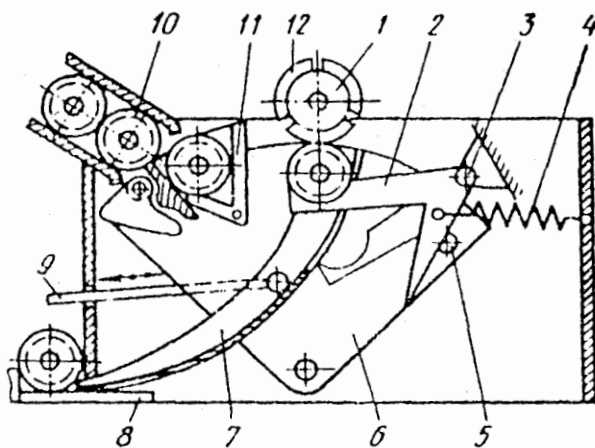


## Cơ cấu tháo phôi

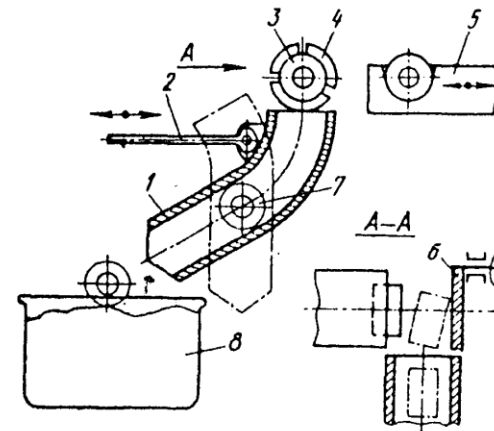


Hình 5.15 Cơ cấu tháo phôi bằng tay  
tóm và máng gạt.

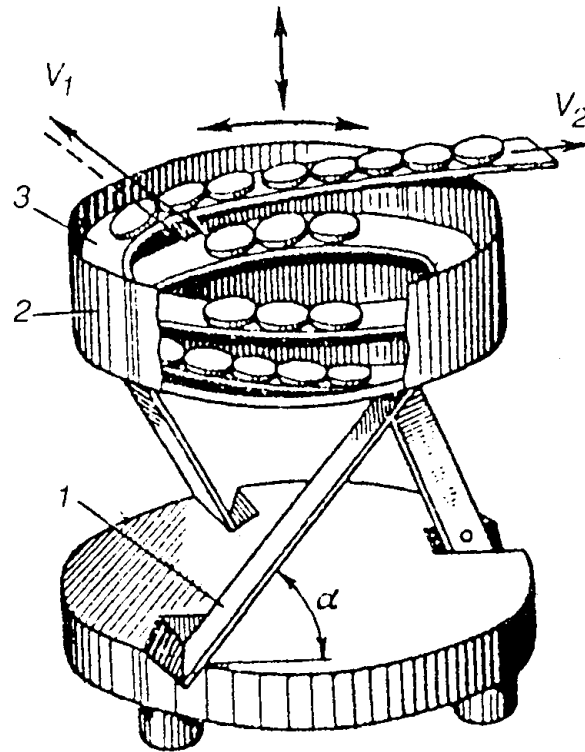




Hình 5.16 Tháo phôi bằng thanh chặn và máng gạt.



Hình 5.17 Tháo phôi bằng thanh đẩy và máng dao động



Hình 6.1 Sơ đồ của cơ cấu cấp phôi rung động

$V_1$  – hướng tác dụng của lực ly tâm  
 $V_2$  – hướng dịch chuyển của phôi.









**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**  
**KHOA ĐIỆN**  
**BỘ MÔN: TỰ ĐỘNG HÓA**

**BÀI GIẢNG**

**Điện tử ứng dụng**

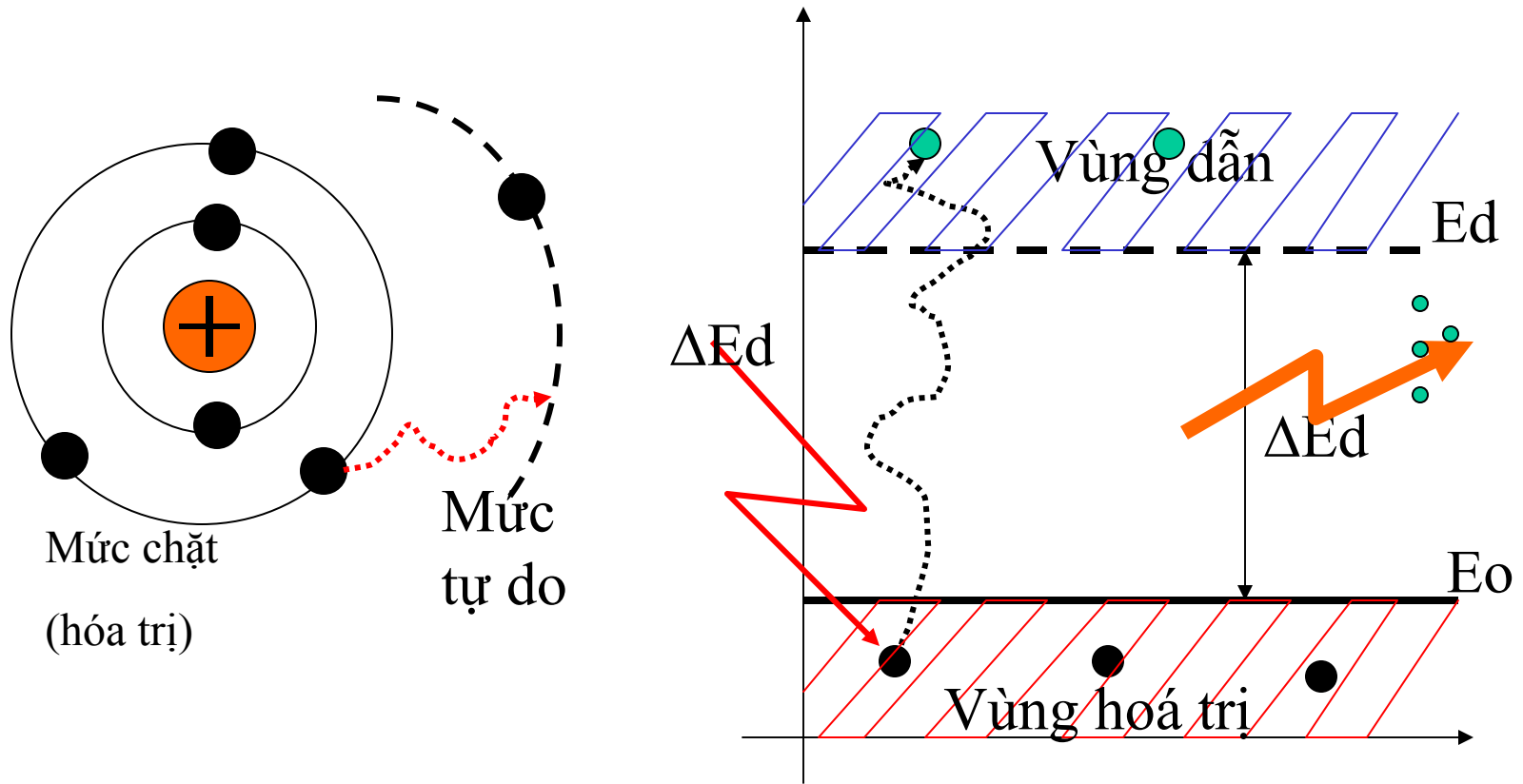
**Trong kỹ thuật điều khiển công nghiệp  
và tự động hóa**

**GVC. Th.s. Nguyễn Hoàng Mai**

**Tel: 0988841568**

# Chương 1: Dụng cụ bán dẫn

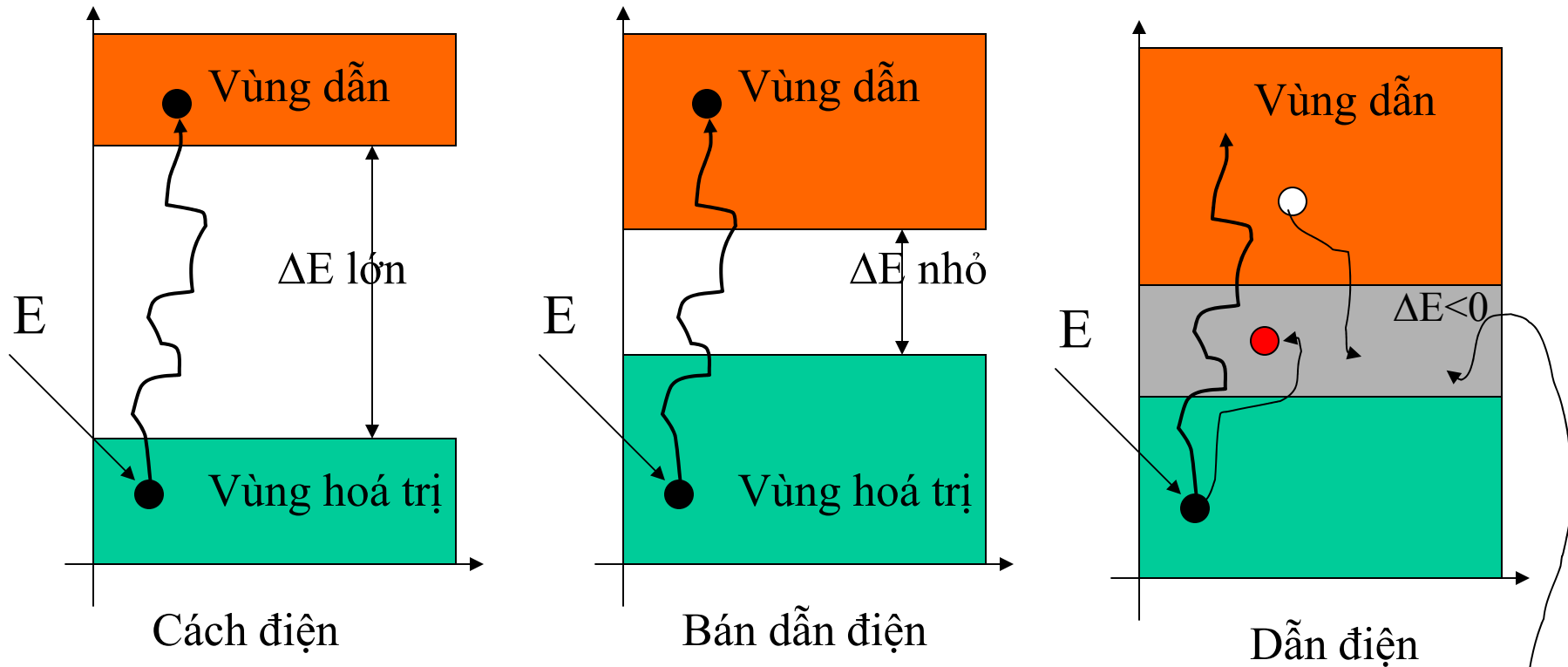
## §1: Khái niệm chất bán dẫn



- Mức chặt còn gọi là mức hoá trị: năng lượng  $E_0$
- Mức tự do còn gọi là mức dẫn: năng lượng  $E_d$
- Năng lượng kích thích tối thiểu:  $\Delta E_d = E_d - E_0$



# Khái niệm chất bán dẫn

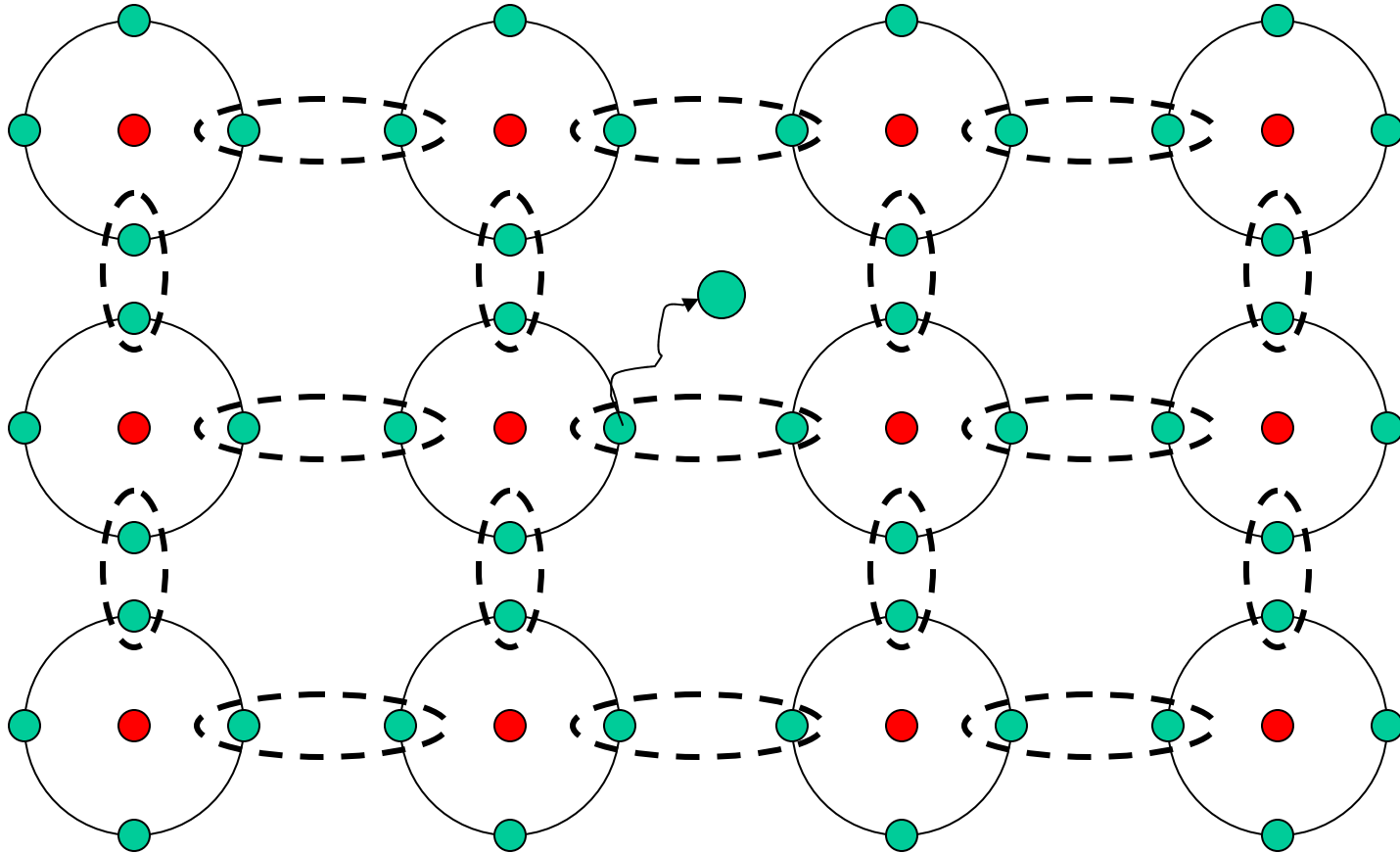


Vùng chung

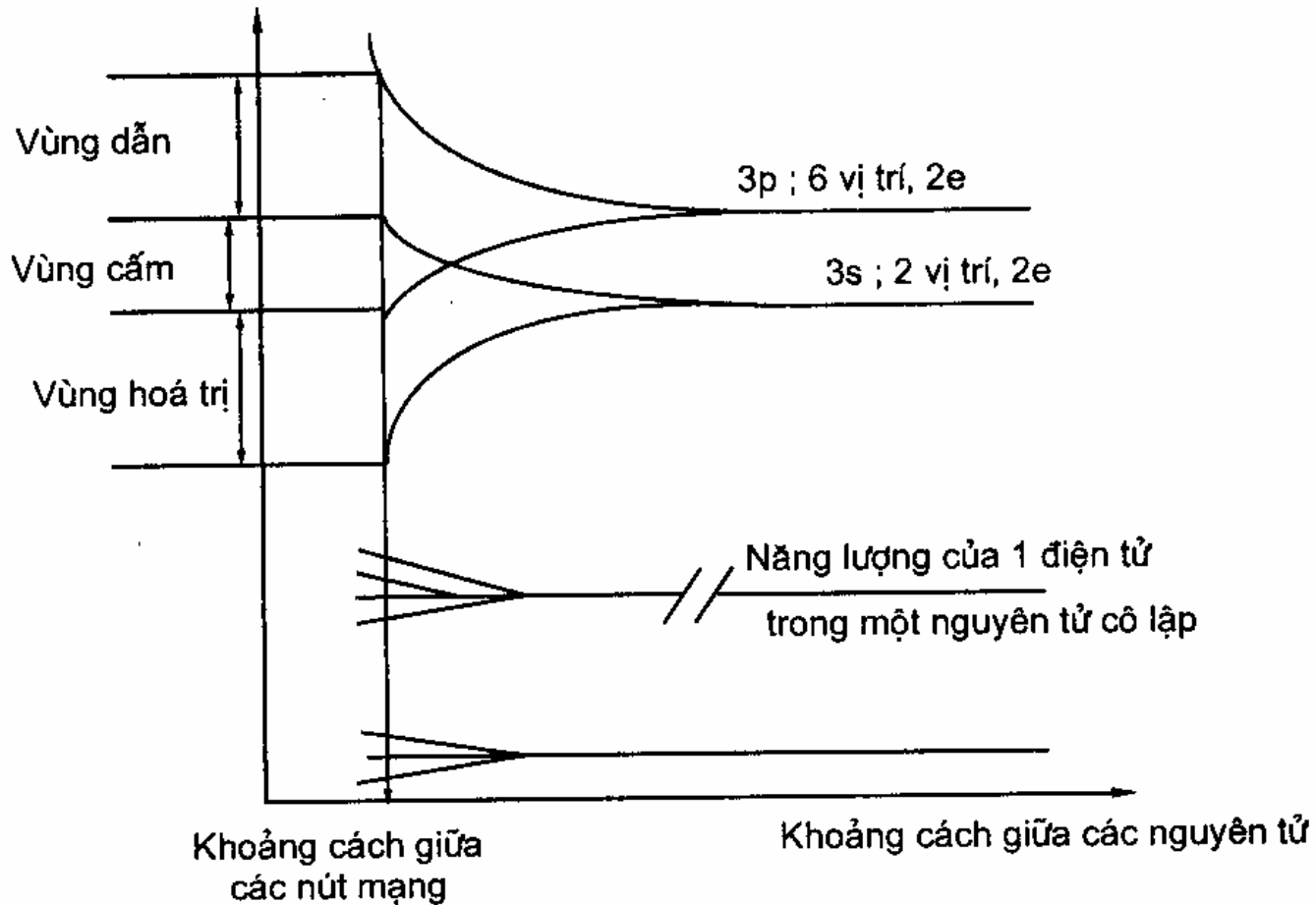
- Độ tinh khiết của chất bán dẫn rất cao  $1e+2$  -:-  $1e+4$  nguyên tử trong một centimet khối Si hoặc Ge (lưu ý là có khoảng  $10^{23}$  nguyên tử Si/centimet khối)

- Đối với các điện tử lớp bên trong, nhiễu loạn do các nguyên tử láng giềng gây ra yếu nên chúng liên kết mạnh với hạt nhân
- Các điện tử lớp ngoài chịu ảnh hưởng lớn của các điện tử láng giềng nên sự tách mức năng lượng xảy ra trên một vùng rộng, gây nên hiện tượng chồng phủ các mức năng lượng lên nhau.
- Với Si, lớp ngoài cùng được tạo thành bởi 2 điện tử p và 2 điện tử s. Khi tinh thể được tạo thành thì các vùng do các mức 3p và 3s tách ra chồng phủ lên nhau, hai điện tử 3s và hai điện tử 3p tạo nên một vùng đầy gọi là vùng hóa trị, bốn vị trí còn lại trên mức 3p nhóm thành một vùng chưa biết gọi là vùng dẫn.

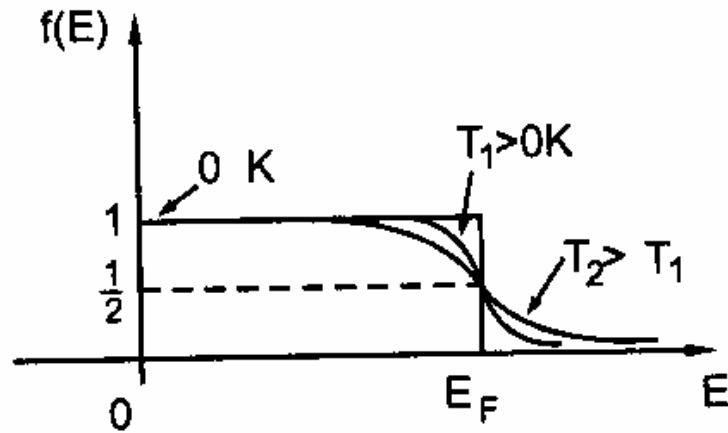
## Liên kết mạng Si



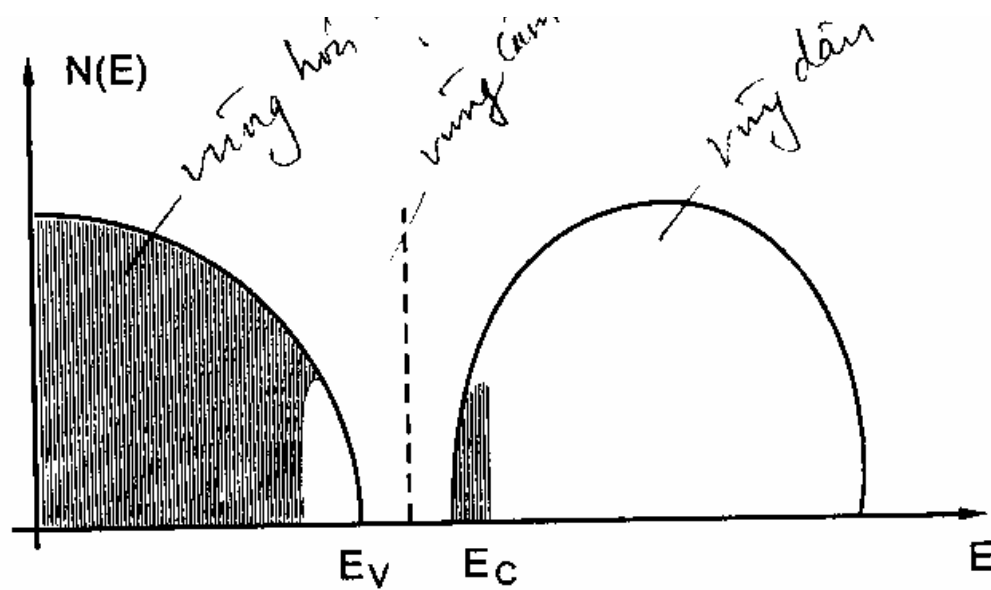
- Liên kết cộng hoá trị được sử dụng trong mạng.
- Nếu có kích thích năng lượng sẽ tạo ra một ion dương và một điện tử tự do
- Số lượng điện tích rất ít nên không ứng dụng được



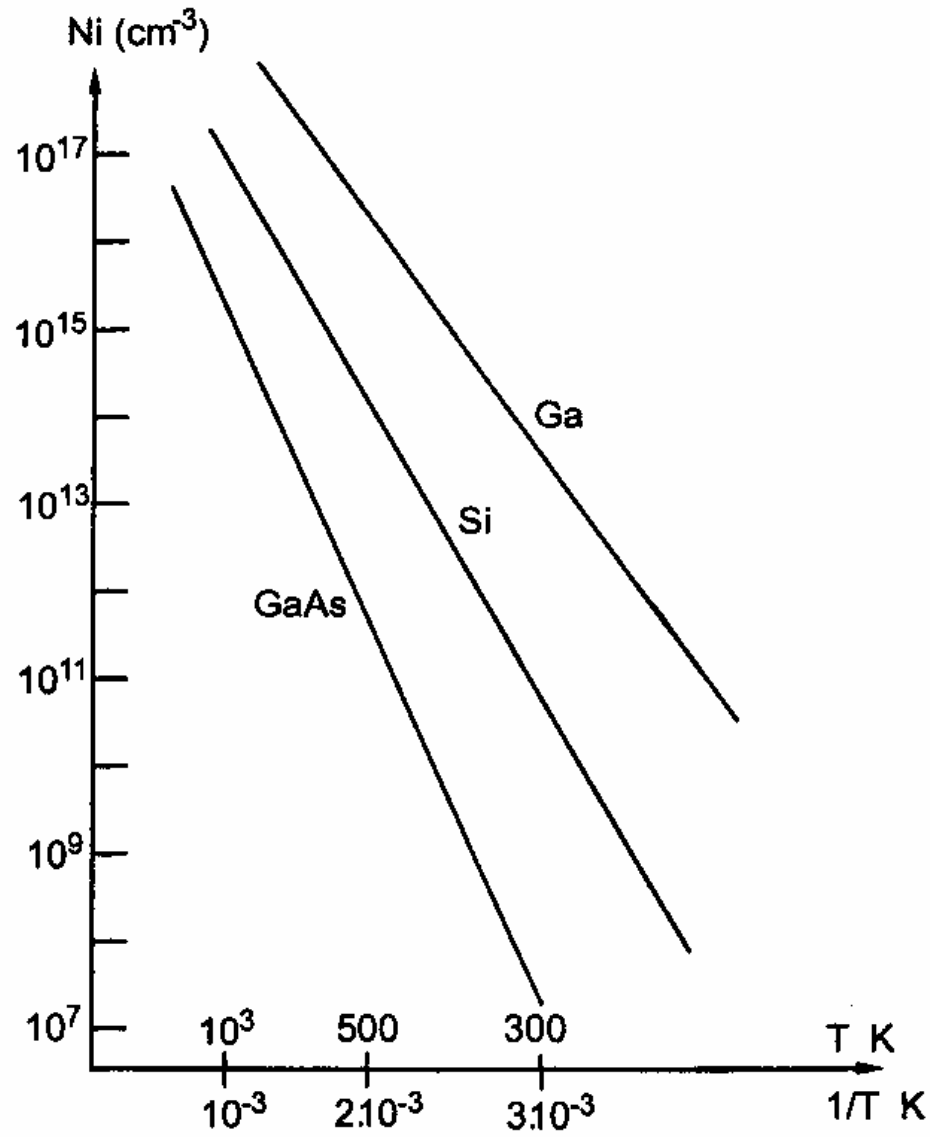
*Hình 1.1. Cấu trúc vùng năng lượng của tinh thể silic ở 0K.*



Hình 1.2. Sự phân bố điện tử theo năng lượng.



Hình 1.3. Mật độ các mức năng lượng trong vùng dẫn và vùng hóa trị.



Hình 1.6. Sự thay đổi của  $n_i$  theo nhiệt độ ở một số bán dẫn chủ yếu.

Điện tử phân bố theo thống kê Fermi-Dirac với xác suất chiếm mức năng lượng:

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right)}$$

Trong đó:

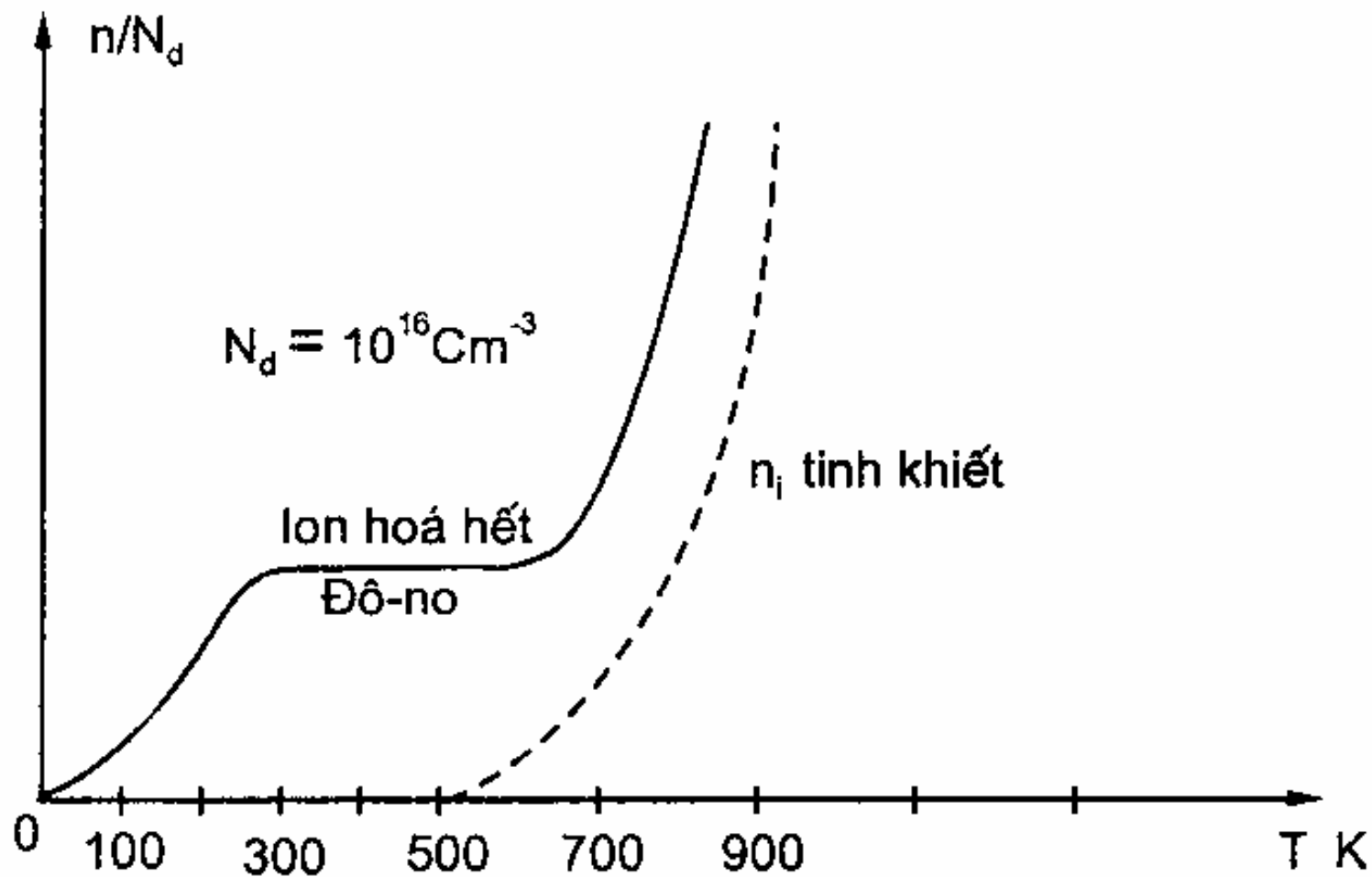
$K = 8,63 \cdot 10^{-5} \text{eV/K}$  là hằng số Boltzman

T: nhiệt độ tuyệt đối

$E_F$  là mức năng lượng Fermi được xác định từ biểu thức:

$$n = \int_0^{\infty} 2N(E)f(E)d(E)$$

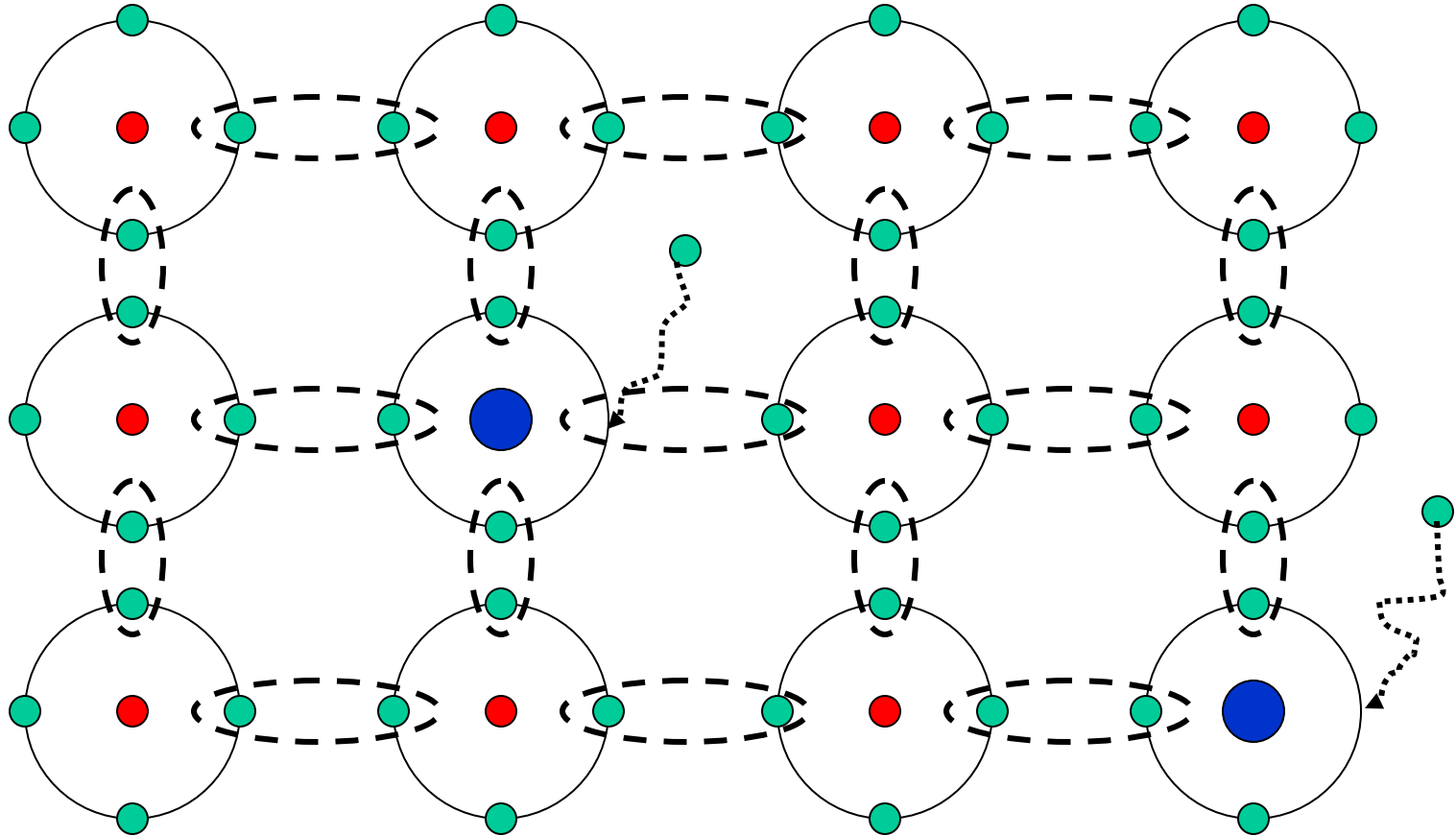
n là nồng độ điện tử,



Hình 1.7. Sự thay đổi mật độ điện tử theo nhiệt độ khi  $N_d = 10^{16}/\text{cm}^3$ .

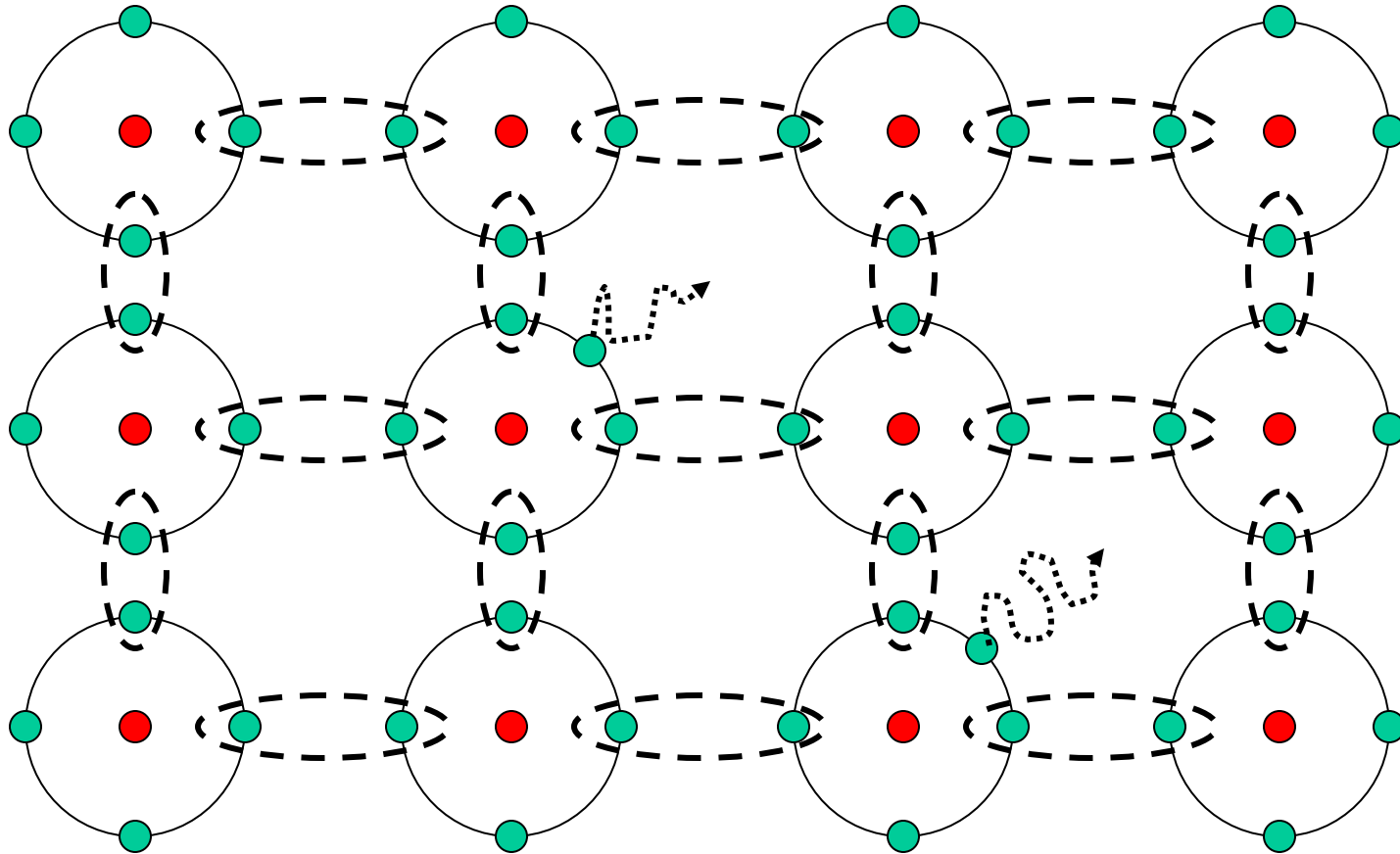


## Bán dẫn pha tạp chất hoá trị 3 - loại p (plus)

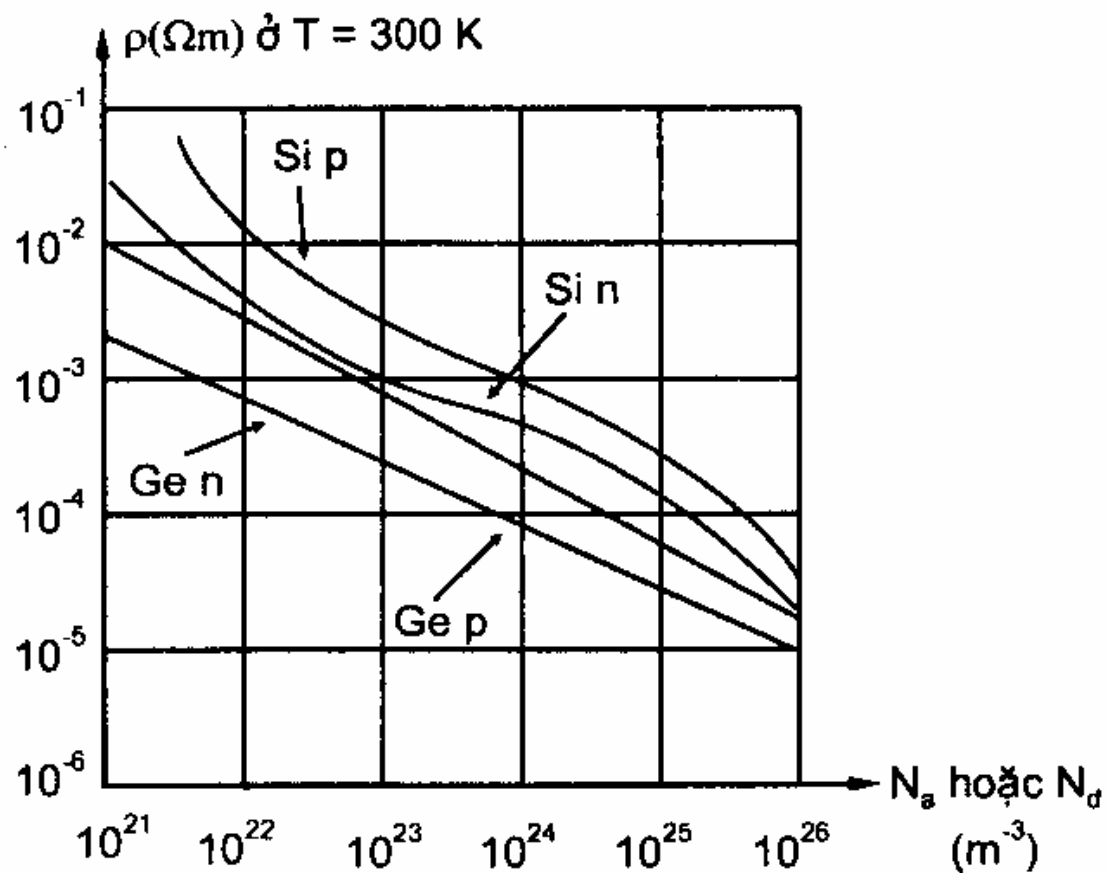


- Pha tạp chất hoá trị 3 (A1, B) để tăng khả năng thu hút điện tử, ta có loại dẫn điện bằng lỗ trống.

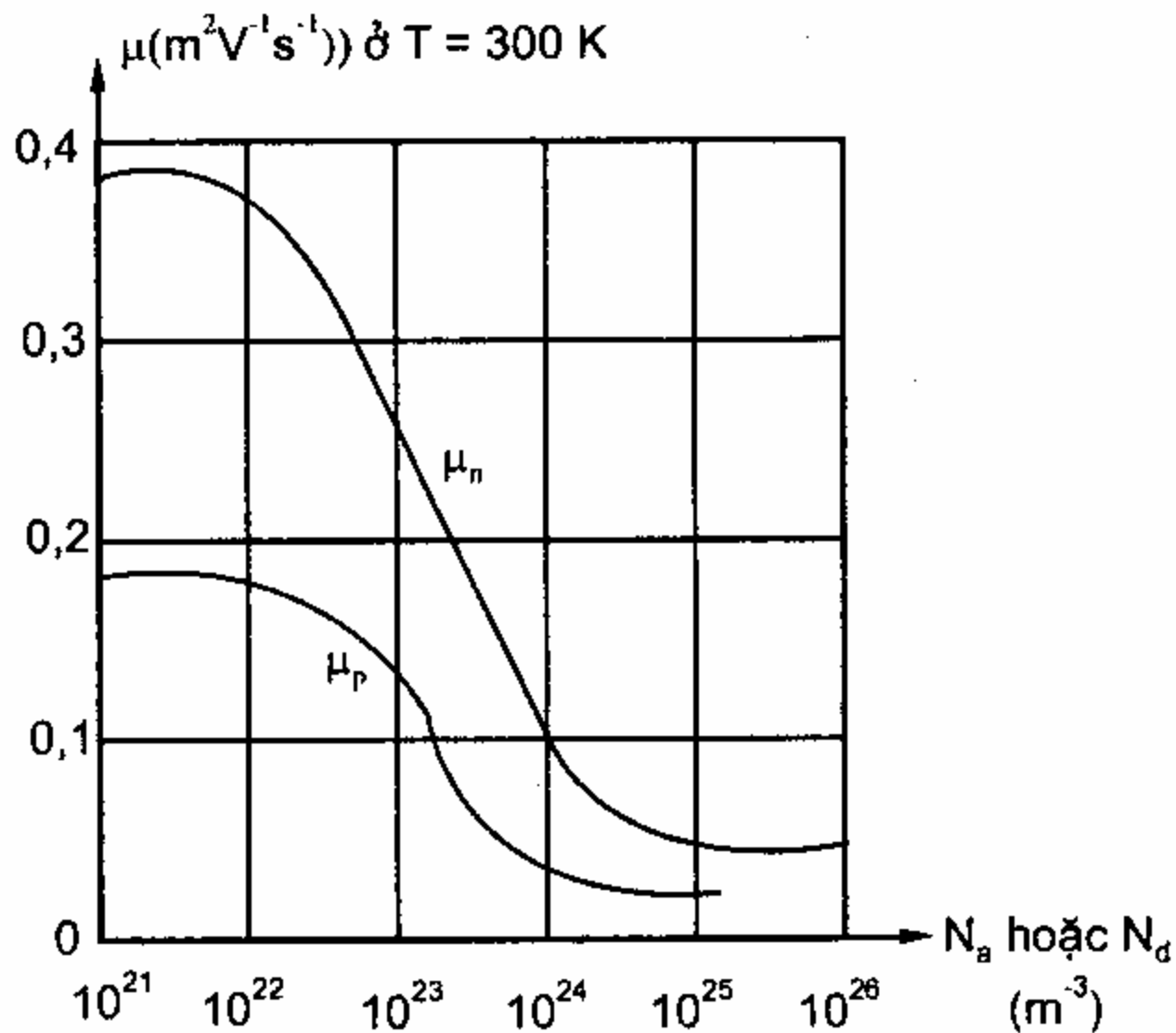
## Bán dẫn pha tạp chất hoá trị 5 - loại n (negative)



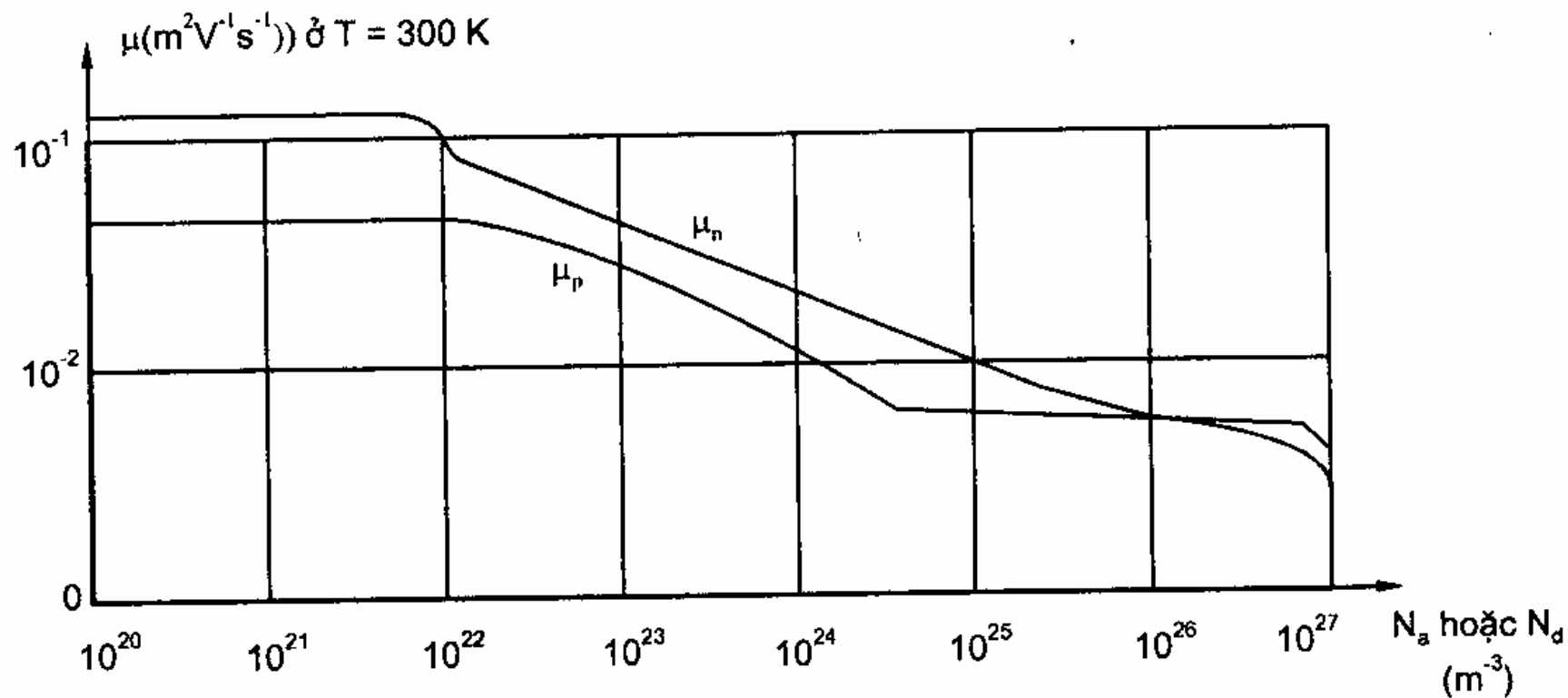
- Pha tạp chất hoá trị 5 (P) sẽ tạo 1 điện tử dư khi liên kết cộng hoá trị nên điện tử này sẽ dễ tự do và chuyển động trong điện trường tạo nên dòng điện tử, loại n được gọi là bán dẫn dẫn điện bằng điện tử.



**Hình 1.10.** Điện trở suất của Ge và của Si thay đổi theo nồng độ tạp chất ở  $T = 300\text{ K}$ .



a) Sự thay đổi của độ linh động của Ge theo nồng độ.

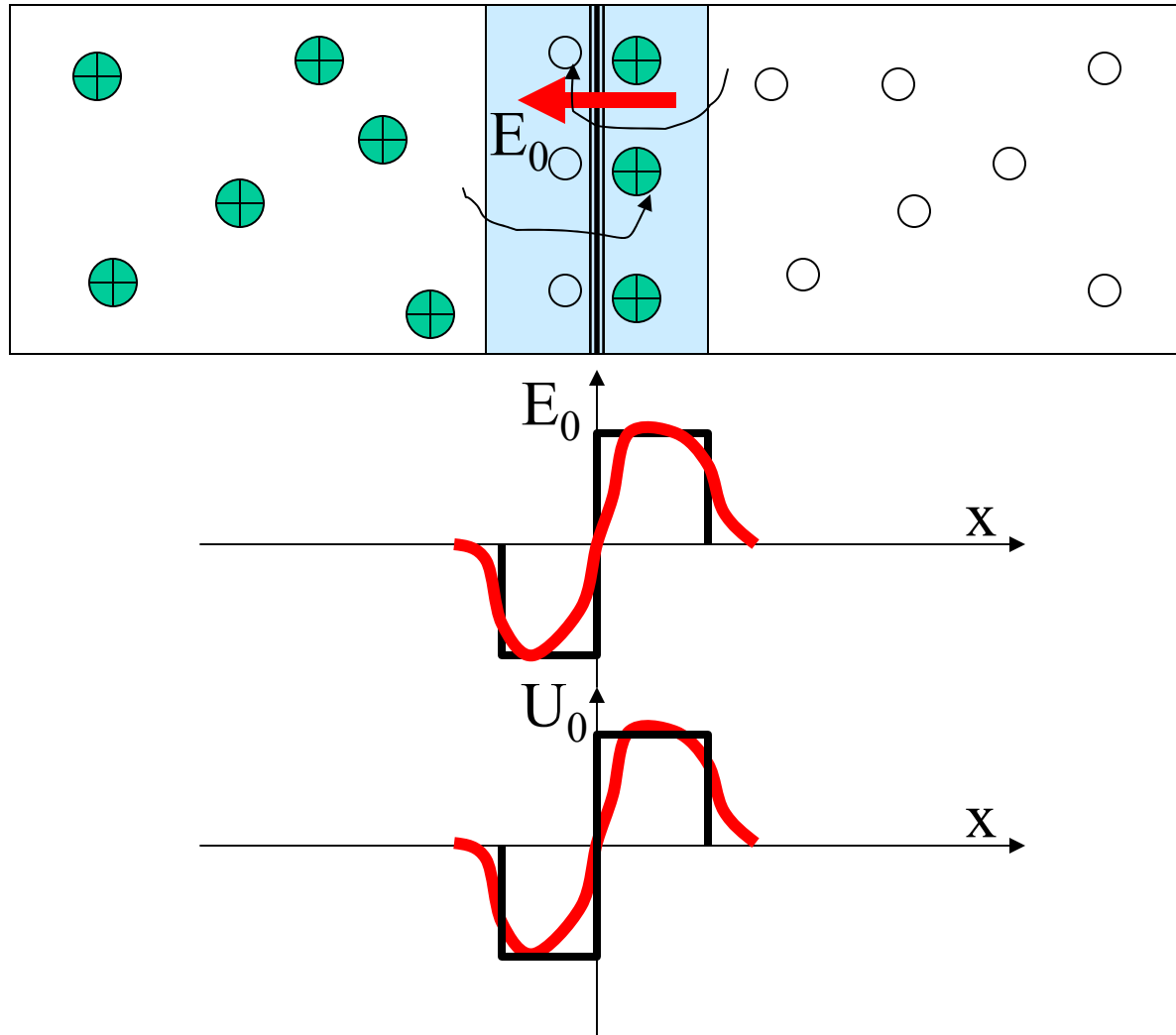


b) Sự thay đổi của độ linh động của Si theo nồng độ tạp chất

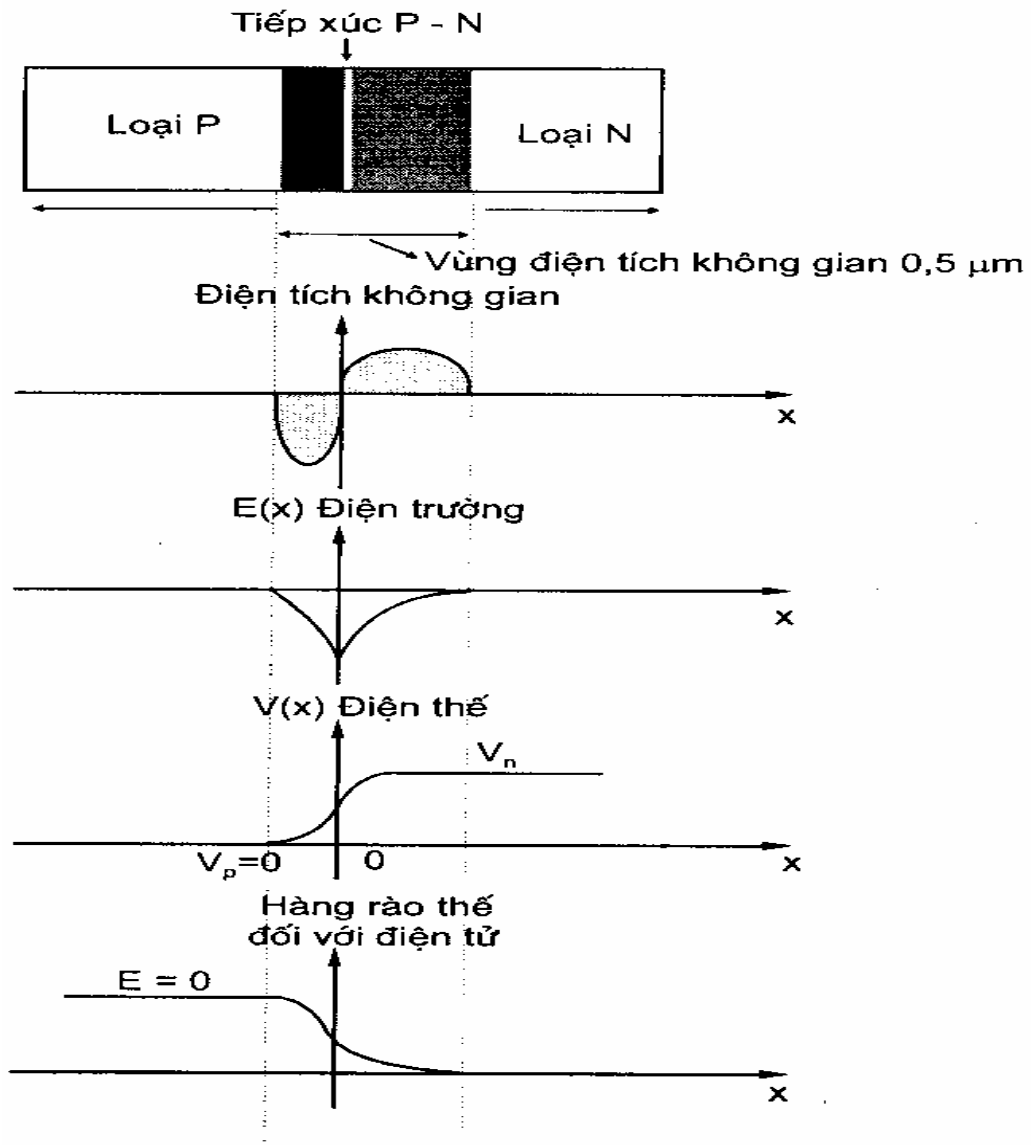
**Hình 1.11.** Độ linh động thay đổi theo nồng độ tạp chất

$N_a$  và  $N_d$  của Ge(a) và của Si(b) ở nhiệt độ phòng.

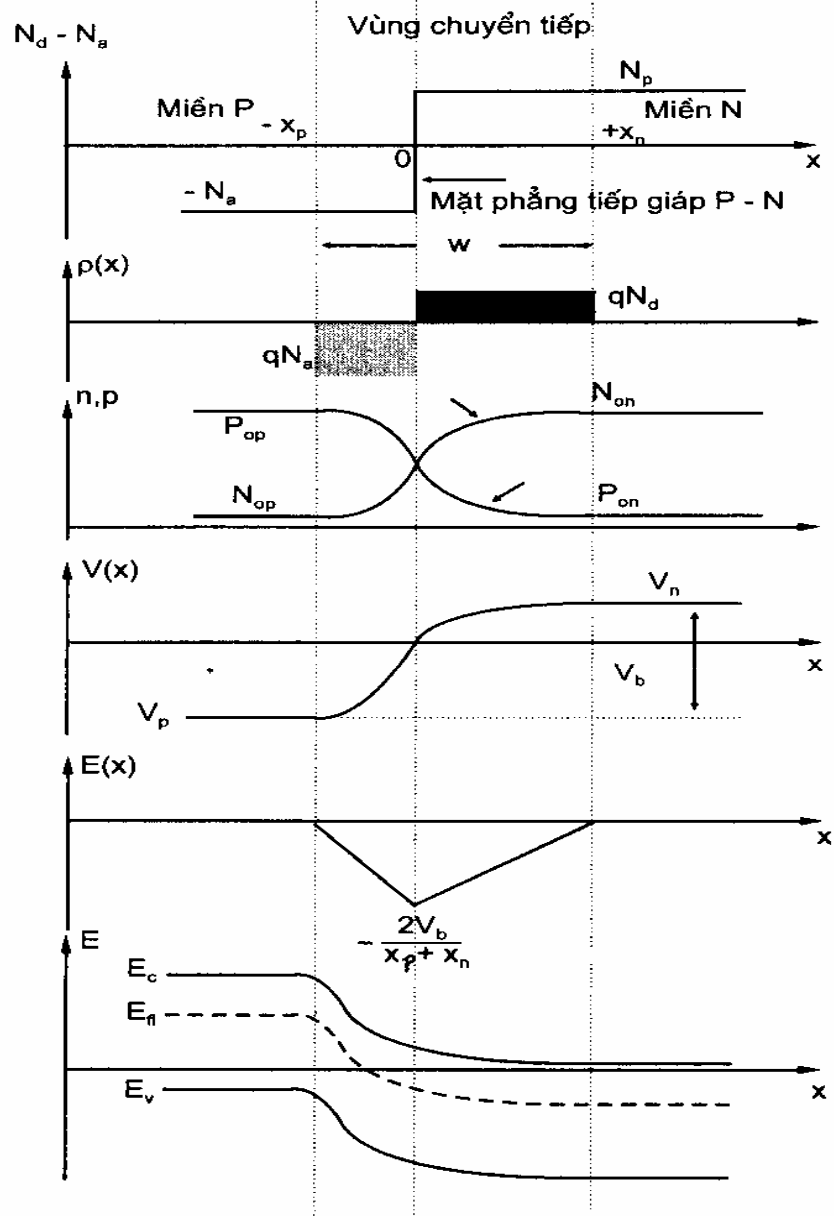
## \$2. Tiếp giáp p-n và đặc tính V-A



- Phân bố hạt dẫn, điện trường nội tại và điện thế tiếp xúc trong hai miền bán dẫn p-n

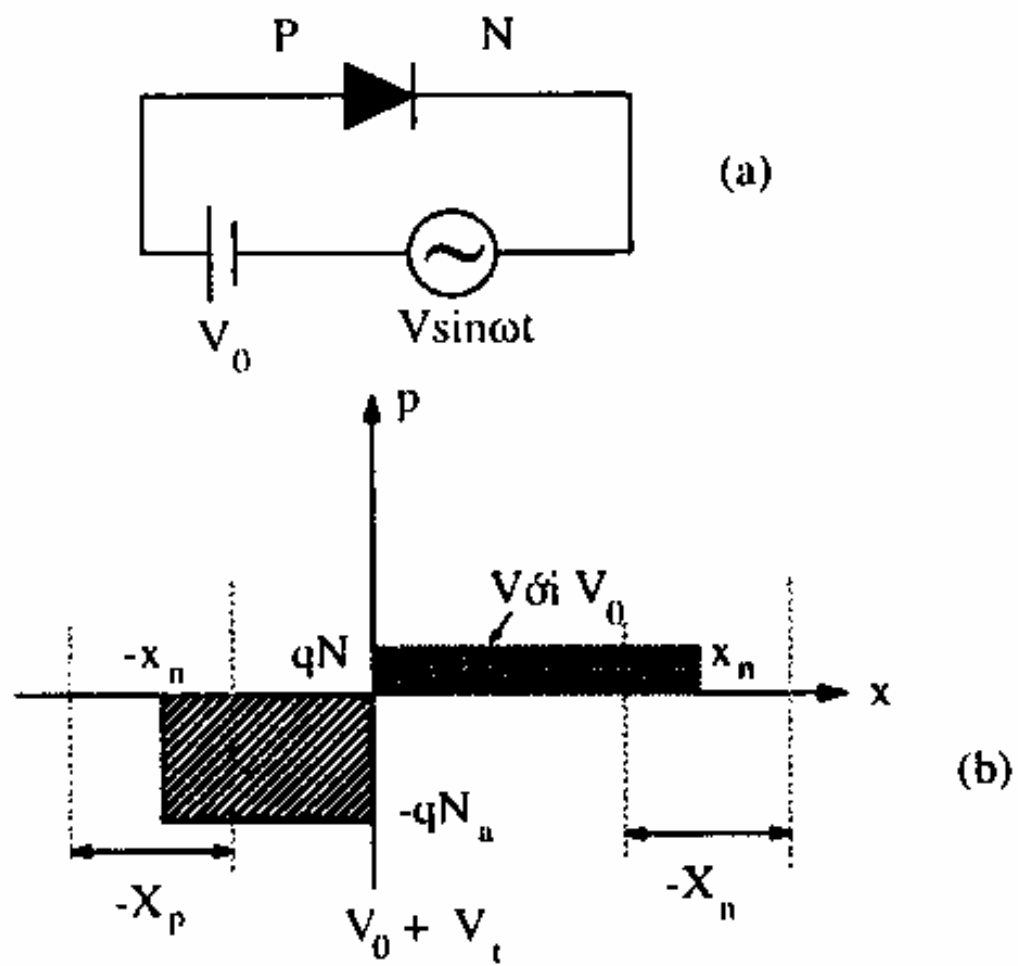


Hình 2.1. Chuyển tiếp P-N chưa phân cực.



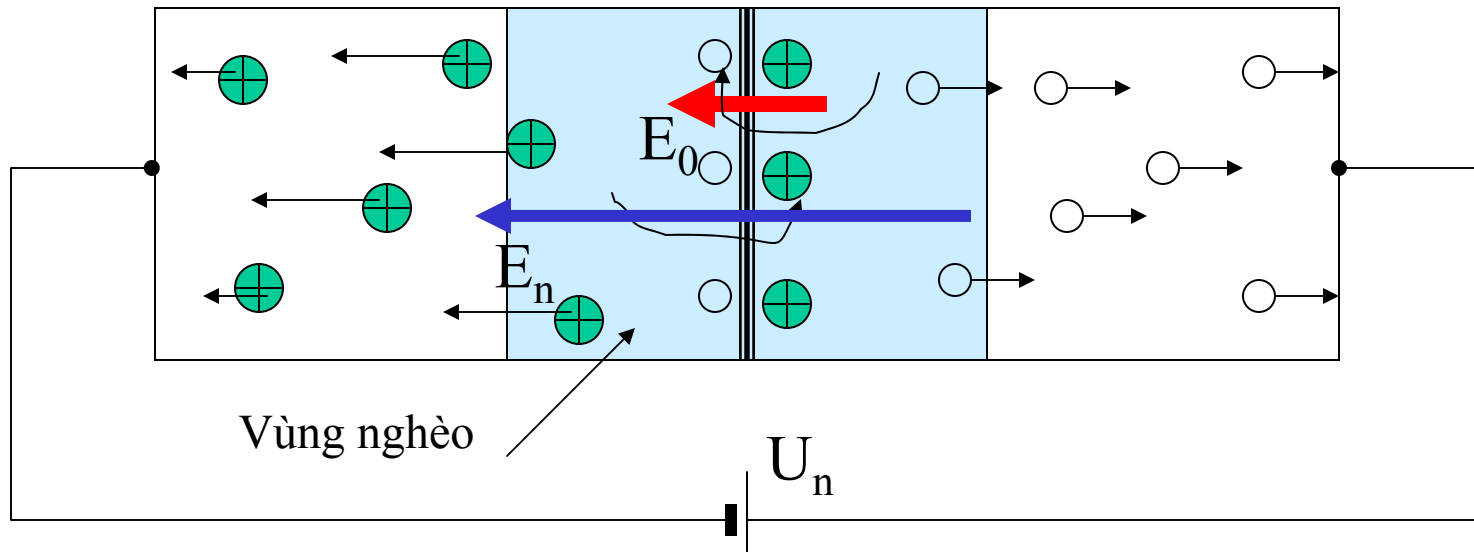
**Hình 2.2.** Sự phân bố hạt tải và điện trường, điện thế trong vùng điện tích không gian.





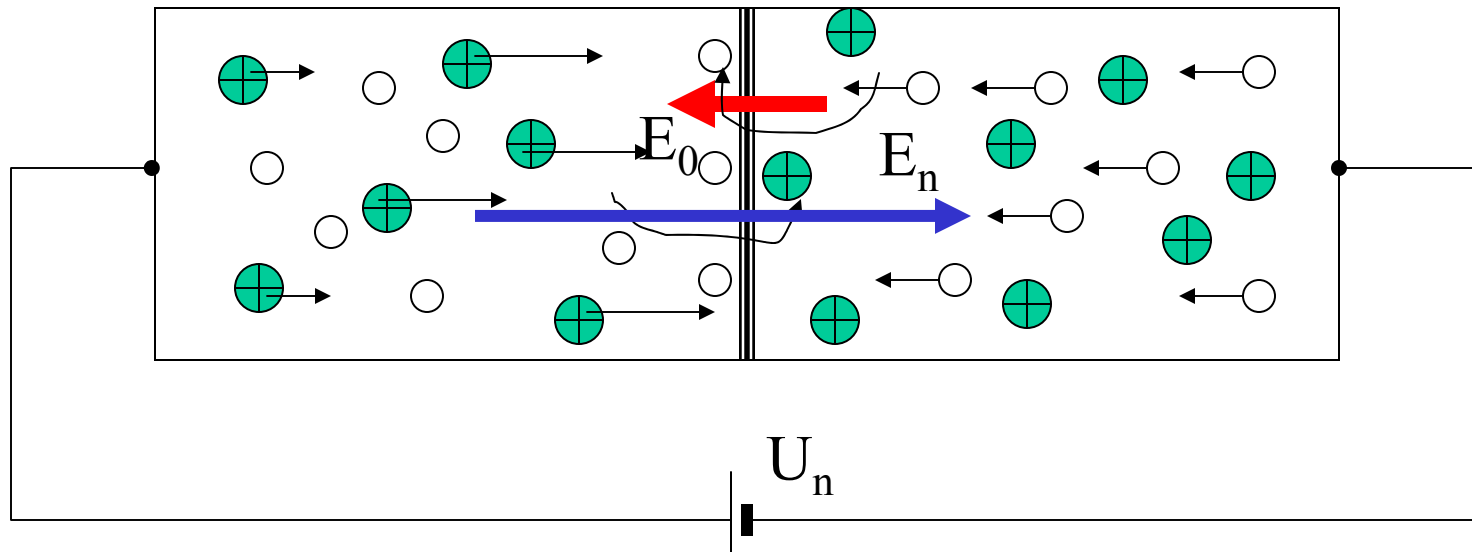
*Hình 2.4. Sự phân bố điện tích trong vùng chuyển tiếp.*

# Tiếp giáp p-n phân cực ngược

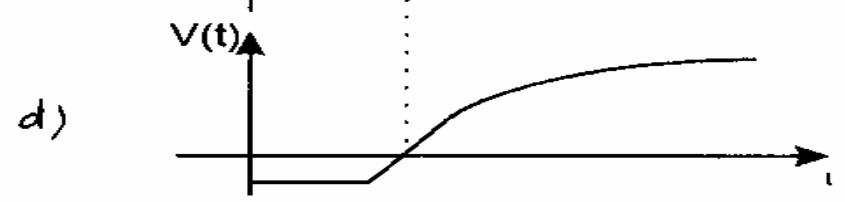
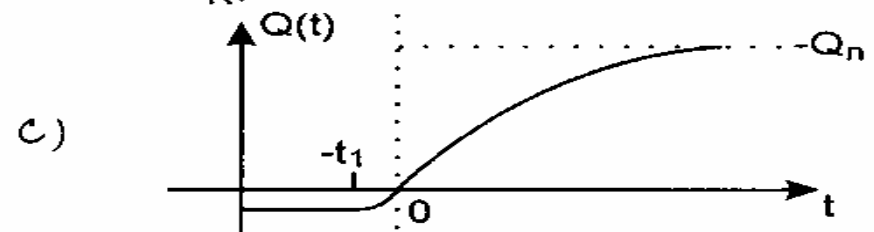
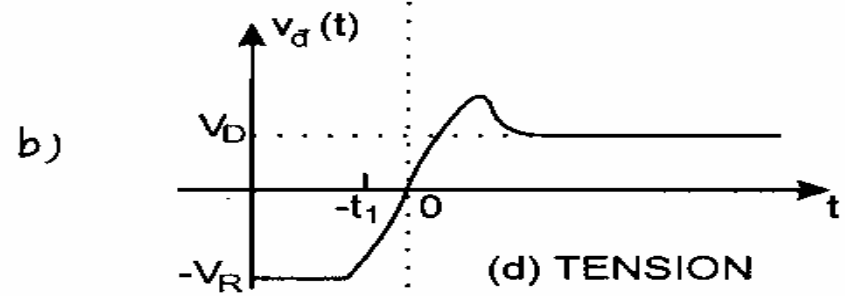
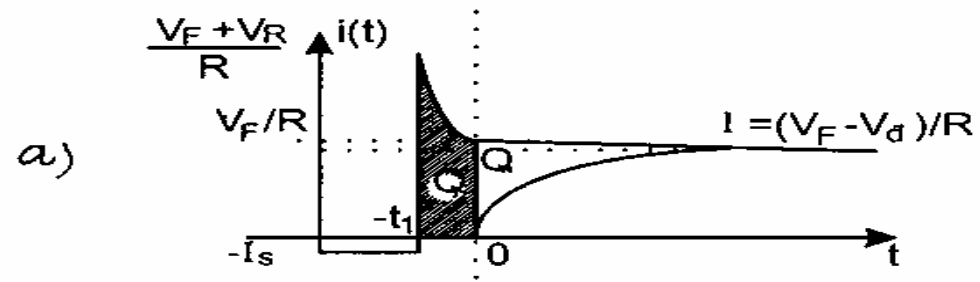
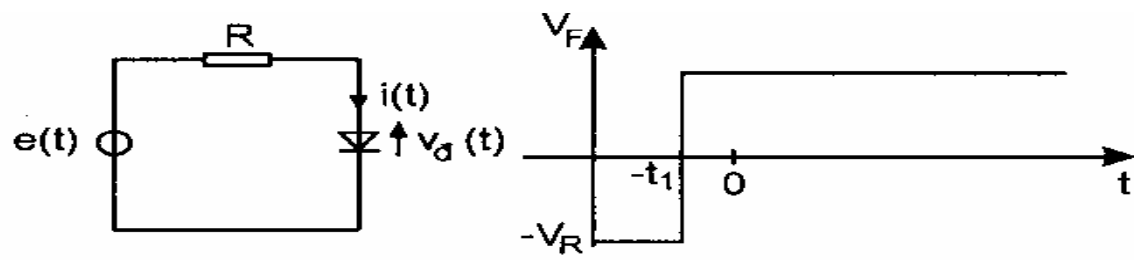


- Khi phân cực ngược, miền cách điện được mở rộng ra do điện trường ngoài cùng chiều  $E_0$ , có tác dụng kéo các hạt dẫn về hai phía của lớp bán dẫn, miền giữa chỉ còn các nguyên tử trung hoà, điện trở cách điện được coi như vô cùng
- Thực tế do kích thích của nhiệt độ, nên một số nguyên tử sẽ tạo thành cặp ion p và điện tử, sẽ gây một dòng rò nhiệt chảy ngược cỡ vài chục nA (nanoAmpe =  $10^{-9}$ A)

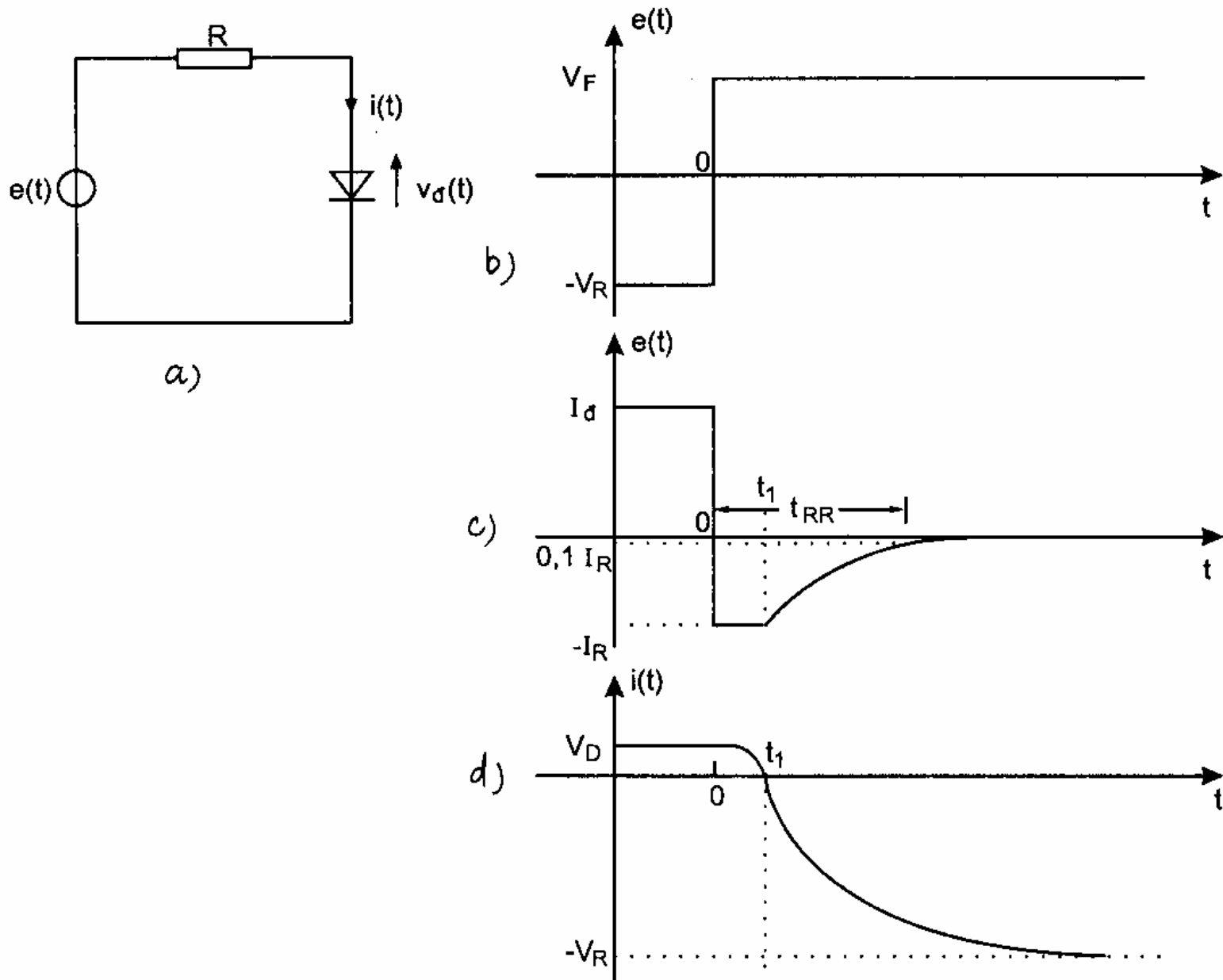
# Tiếp giáp p-n phân cực thuận



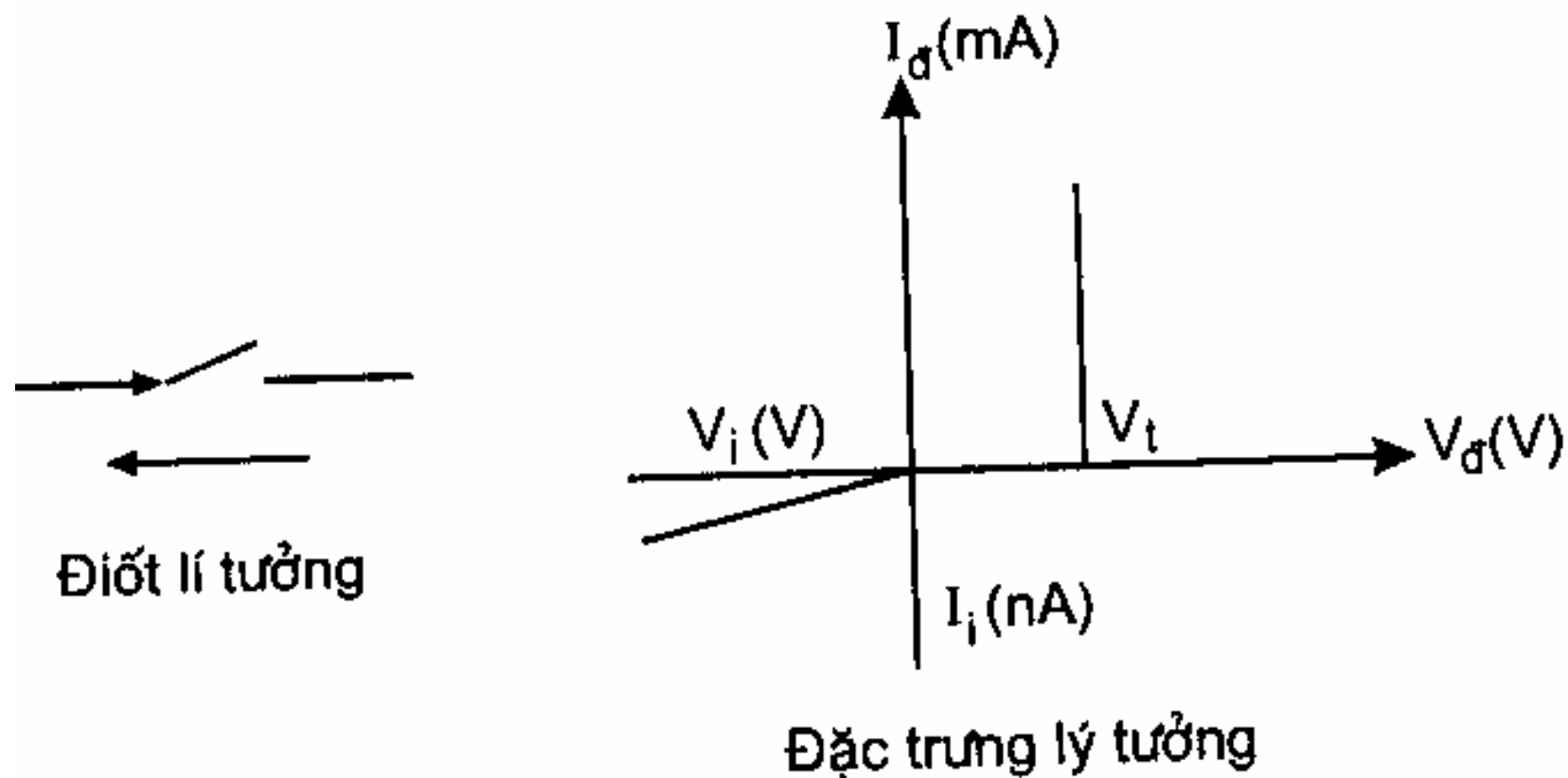
- Khi phân cực thuận, các hạt dẫn sẽ chuyển động qua lại hai lớp và hoà trộn vào nhau, miền phân cách chứa đầy các hạt dẫn do đó mất tính cách điện.
- Điện trở của tiếp giáp p-n lúc này coi như bằng 0, dòng điện chảy qua hoàn toàn.
- **Như vậy, tiếp giáp p-n chỉ cho dòng chảy qua một chiều nhất định.**



Hình 2.8. Các trạng thái của diốt.

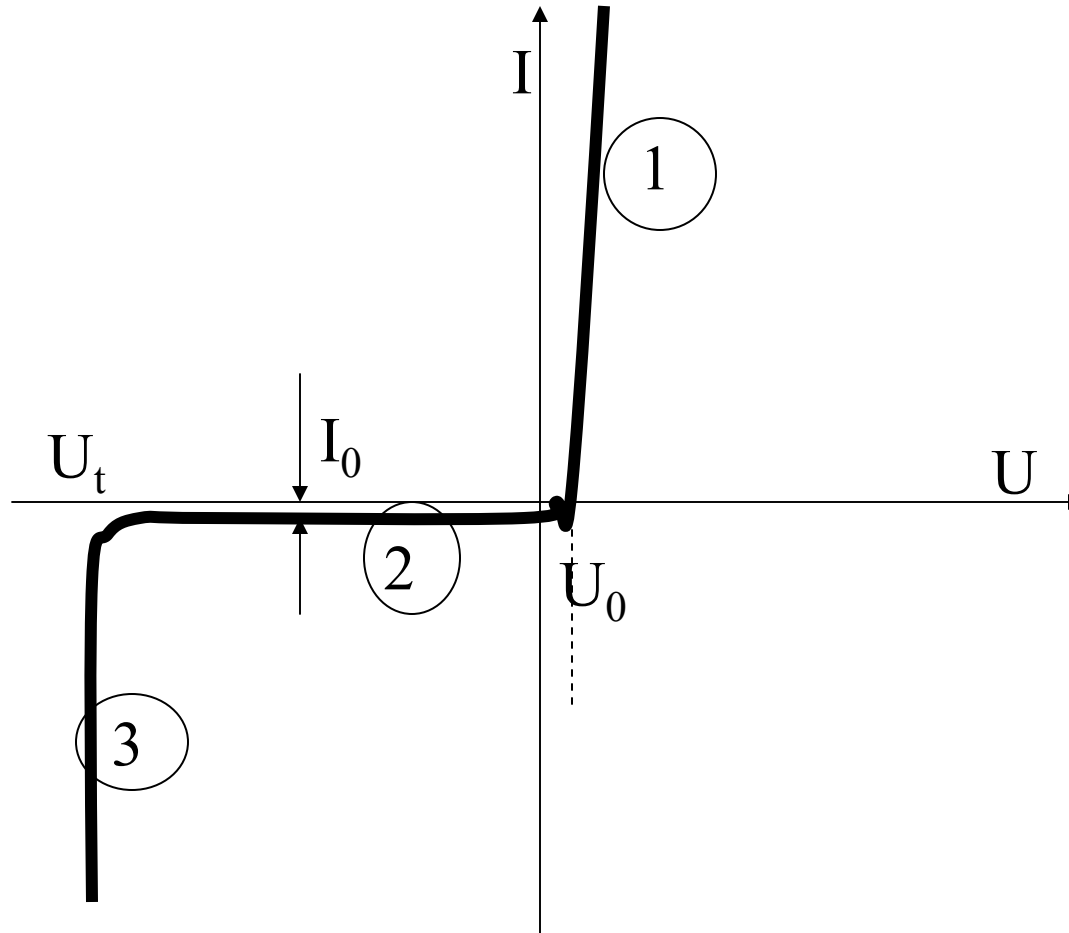


Hình 2.9. Chuyển mạch từ dẫn sang đóng.



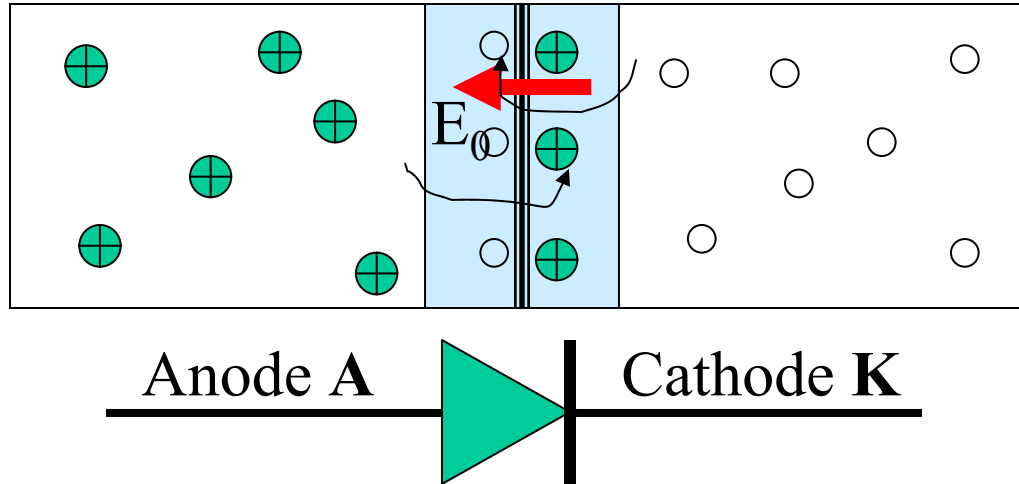
**Hình 2.10.** Mô hình hóa của một điốt lý tưởng.

# Đặc tính V-A của tiếp giáp p-n



- Vùng 1: vùng phân cực thuận
- Vùng 2: vùng phân cực ngược
- Vùng 3: vùng đánh thủng, các nguyên tử bán dẫn bị ion hoá toàn bộ khi điện trường đủ lớn, gây ra hiệu ứng ion hoá dây chuyền do va chạm

# DIODE



- Là một tiếp giáp p-n
- Tùy theo công dụng mà mật độ hạt dẫn trong khối bán dẫn khác nhau
- Một số loại diode thông dụng: chỉnh lưu, tách sóng, zener, tunel, varicap, schotky, gun ... đặc tính các loại diode này được mô tả chi tiết trong các tài liệu kỹ thuật



- **DIODE**

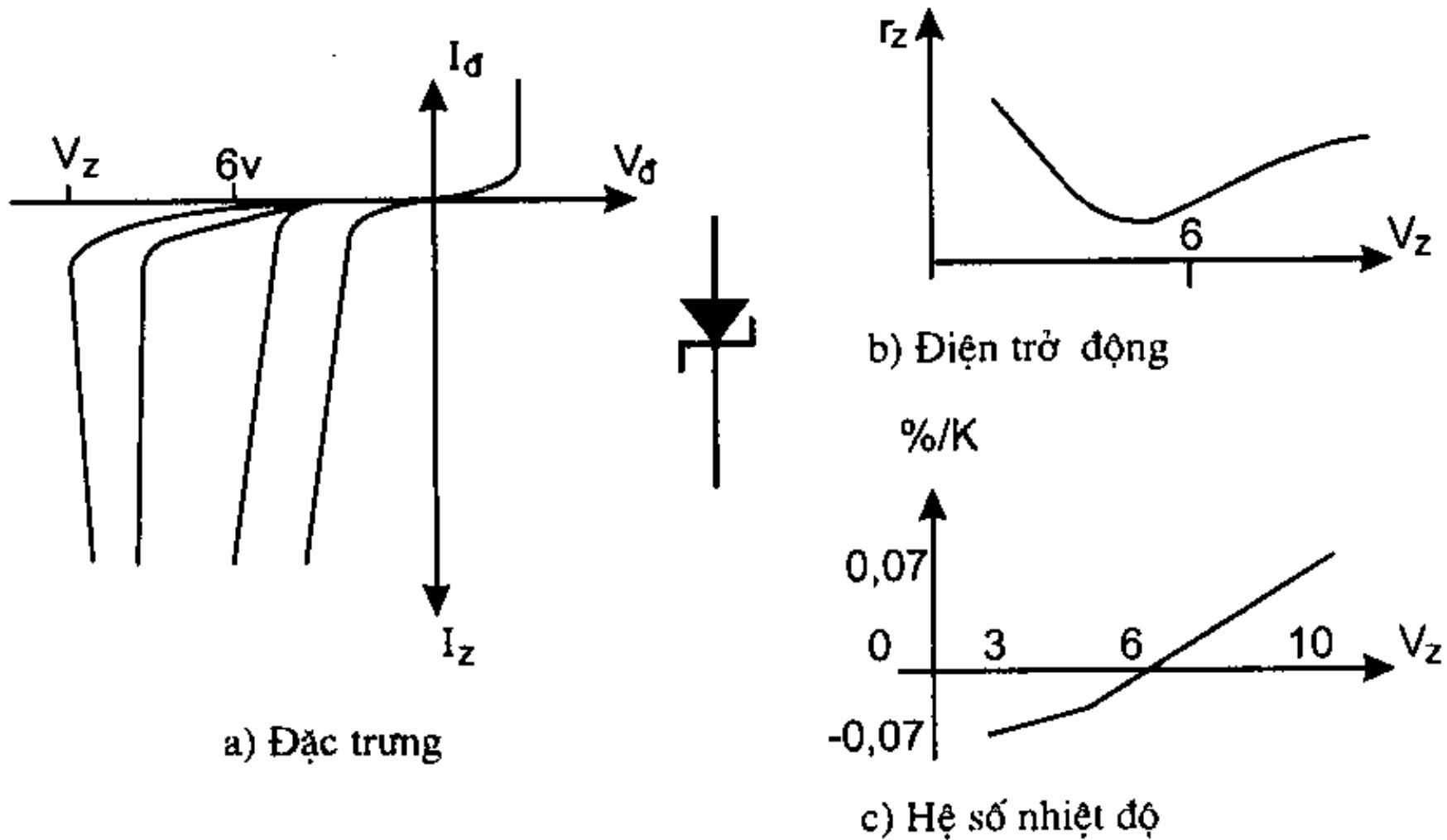
- Diode là một tiếp xúc p-n.
- Có nhiều loại diode với nồng độ hạt dẫn khác nhau để tạo nên những đặc tính khác nhau.
- Diode chỉnh lưu: nồng độ từ  $1e+7$  đến  $1e+10$ , chịu được tần số thấp
- Diode zener dùng để ổn áp, nồng độ  $1e+134$  đến  $1e+19$  (**xem internet**)
- Diode tách sóng: là tiếp xúc kim loại – bán dẫn, dạng chỉnh lưu, chịu được tần số cao và dòng điện bé. (**xem internet**)

- **DIODE**

- Diode đường hầm (tunnel), nồng độ cao hơn  $1e+19$ . trong cả hai lớp, gọi là bán dẫn suy biến. Nên vùng chuyển tiếp có khoảng cách nhỏ ( $10\text{\AA}$ ). Nên diode loại này có vùng điện trở vi phân âm. (**xem internet**)
- Diode Gunn GaAs: khi tác động vào mẫu tinh thể một điện trường mạnh thì trong tinh thể xuất hiện các dao động siêu cao tần, gọi là hiệu ứng Gunn. (**xem internet**)
- Diode PIN: cấu tạo từ 3 lớp bán dẫn, trong đó hai lớp  $p^+$  và  $n^+$  pha tạp mạnh, kẹp giữa một miếng tinh thể I có độ dày lớn hơn. Loại này dùng chế tạo những bộ chỉnh lưu công suất lớn và tần số thấp. (**xem internet**)

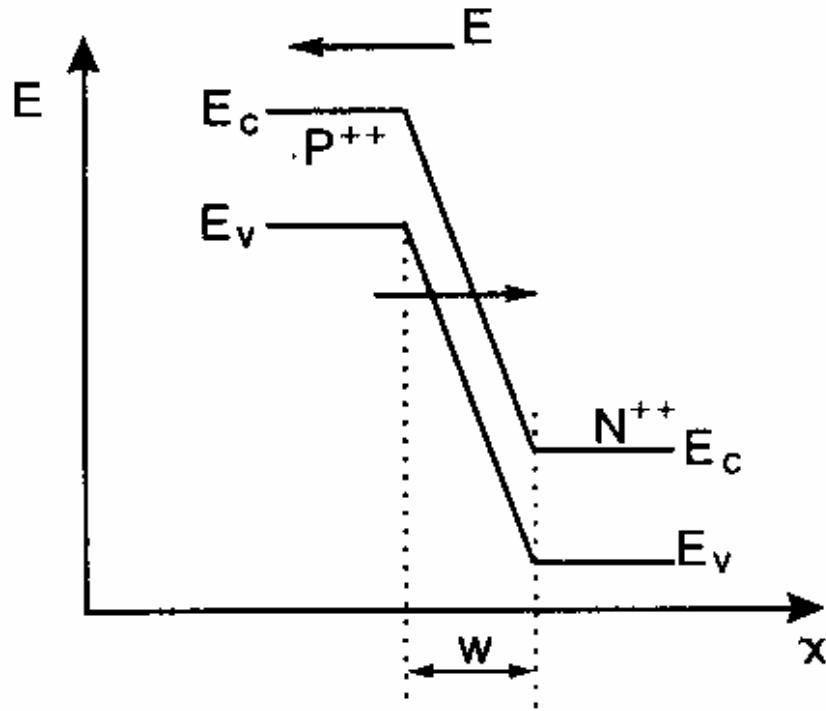
# Các loại diode thông dụng

- Diode Varicap (Variable Capacitor) biến dung, thường dùng trong kỹ thuật dao động để ổn định hay điều chỉnh tần số. ([xem internet](#))
- Diode Schotky: thường dùng trong kỹ thuật xung số để tạo xung dao động. ([xem internet](#))

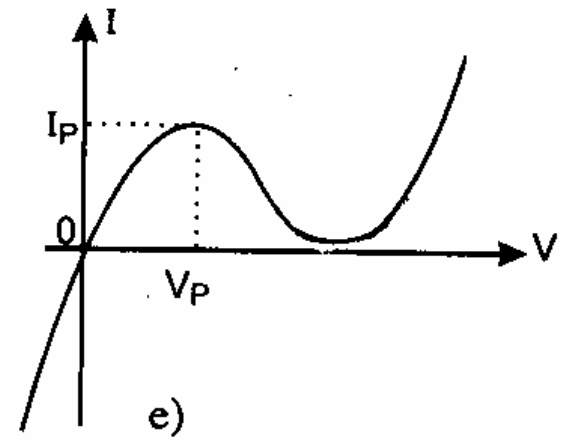
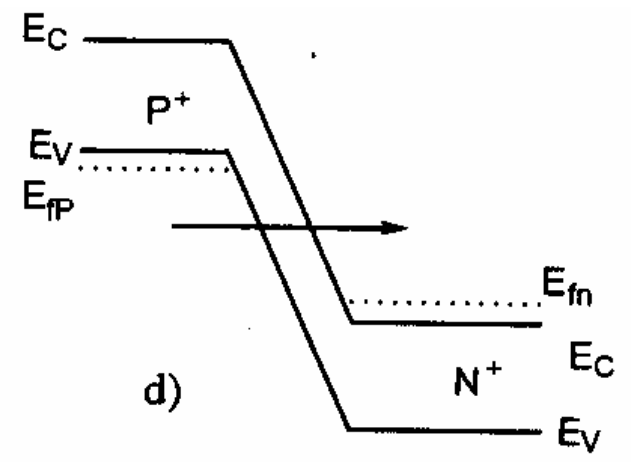
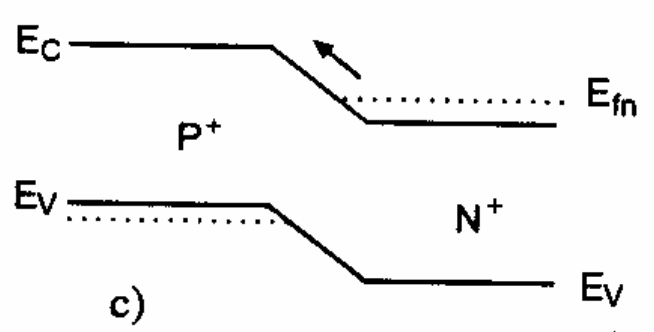
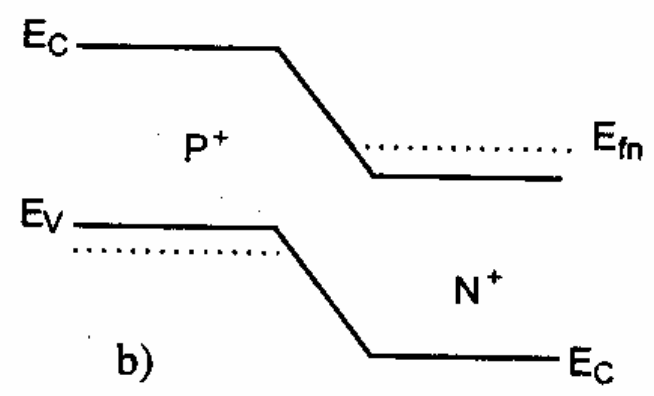
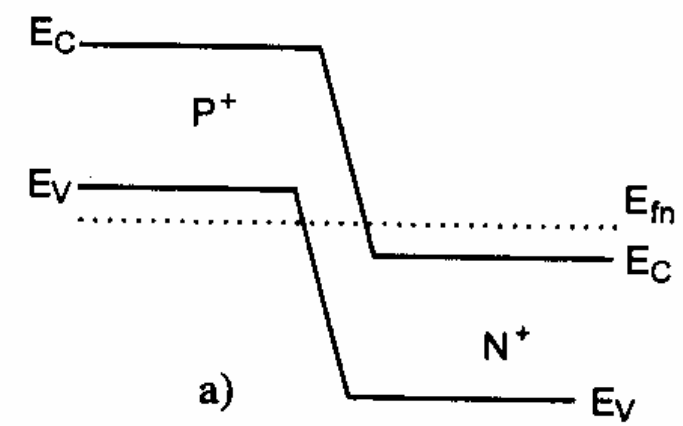


*Hình 2.11. Các đặc trưng của một diốt zener.*

- Trong vùng chuyển tiếp phân cực ngược, xuất hiện một điện trường mạnh
- Các điện tử liên kết có thể chuyển sang dạng tự do
- Các điện tử có năng lượng  $E$  ở phía P có thể chuyển sang vùng dẫn bằng cách chui hàng rào thế (hiệu ứng tunnel)
- Hiệu ứng tunnel xảy ra khi mật độ tạp chất cao, vùng chuyển tiếp hẹp ( $< 500 \text{ \AA}$ )
- Khi đó xuất hiện sự đánh thủng với điện thế dưới 5v hoặc 6v ( $E \approx 10^8 \text{ V/m}$ )



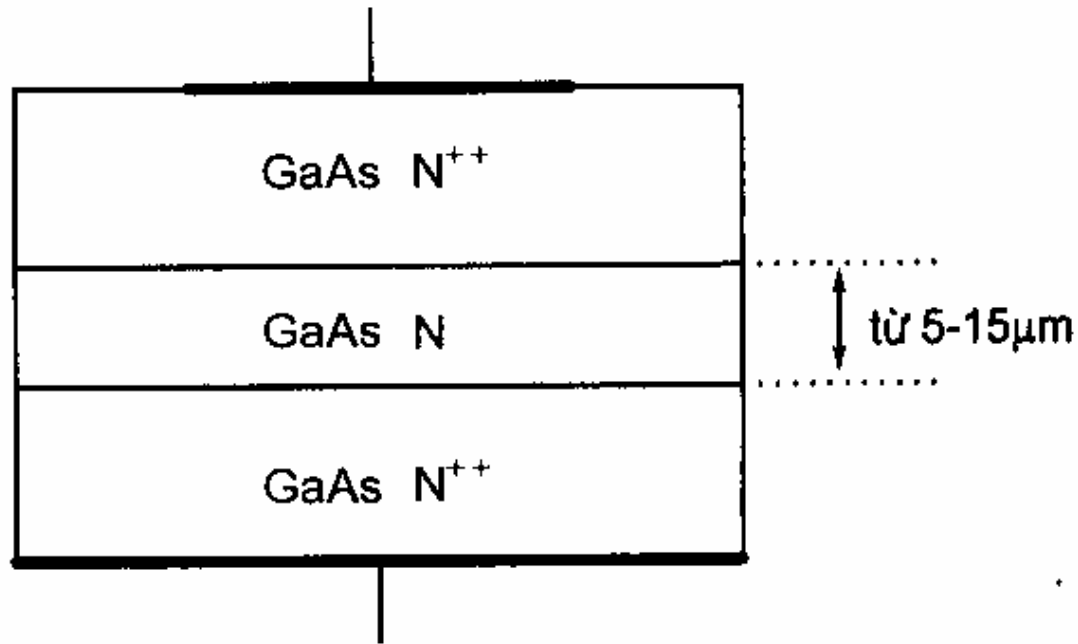
**Hình 2.12.** Cấu trúc vùng năng lượng của diốt zener.



Hình 2.13. Đặc trưng của diốt tunnel.

## Đặc điểm diode tunnel

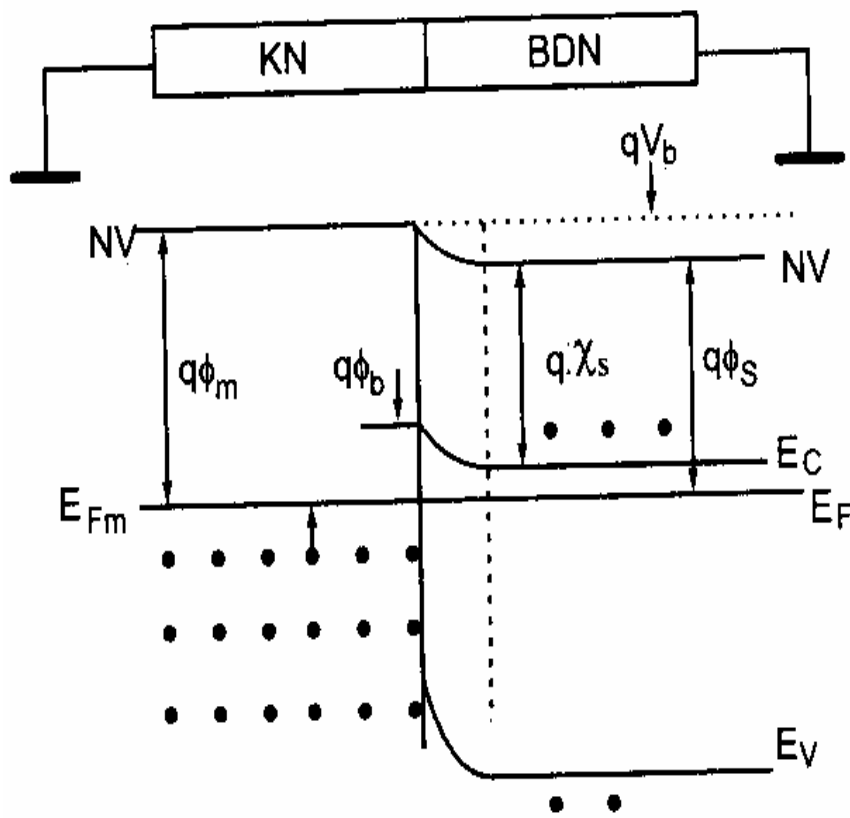
- Nồng độ tạp chất rất cao ( $> 1e+19/cm^3$ ) nên xuất hiện các lớp bán dẫn suy biến
- Có vùng điện trở vi phân âm, giảm đồ năng lượng vùng chuyển tiếp bị biến điệu mạnh
- Khi phân cực còn nhỏ, giảm đồ năng lượng hơi giảm xuống phía P, nên có dòng điện tử lớn xuyên qua vùng cấm bằng hiệu ứng tunnel nên dòng thuận tăng
- Phân cực thuận tiếp tục tăng cao: giảm đồ năng lượng tiếp tục hạ thấp, hiệu ứng tunnel bị giảm xuống
- Thế phân cực thuận tiếp tục tăng cao: chiều cao hàng rào thế giảm đến mức cho phép điện tử từ miền P<sup>+</sup> phun sang N<sup>+</sup> và lỗ trống từ N<sup>+</sup> phun sang P<sup>+</sup> nên dòng điện lại tăng.



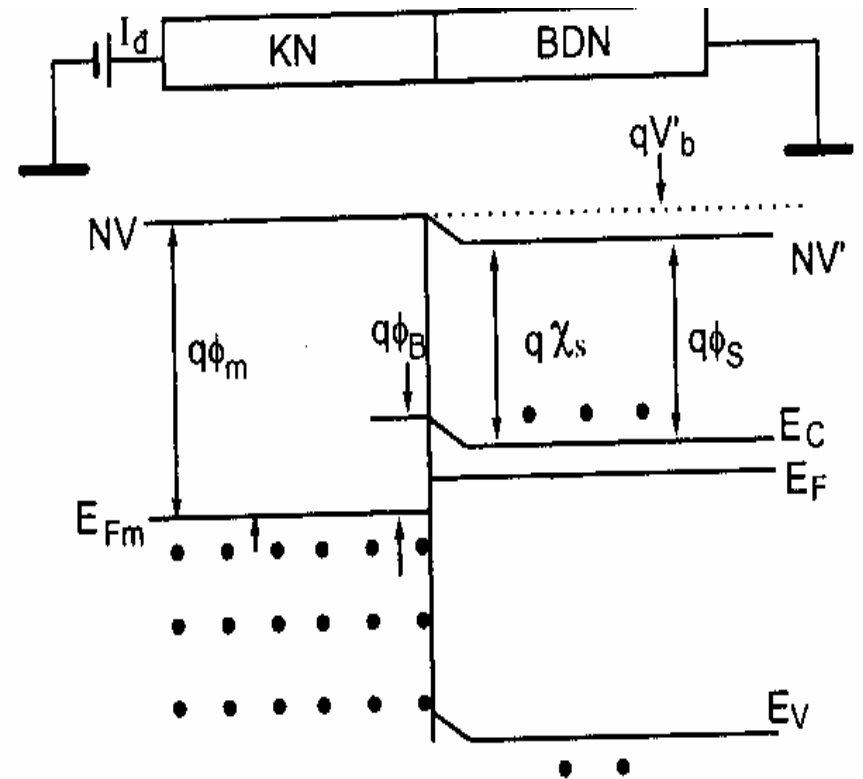
*Hình 2.15. Cấu tạo của một diốt Gunn dùng GaAs.*

- Khi tác động một điện trường mạnh vào tinh thể bán dẫn thì trong tinh thể xuất hiện dao động siêu cao tần, gọi là hiệu ứng Gunn.
- Các diode Gunn được lắp trong các hốc cộng hưởng để tạo ra sóng siêu cao tần, dùng chế tạo những radar công nghiệp.





a) Trạng thái cân bằng

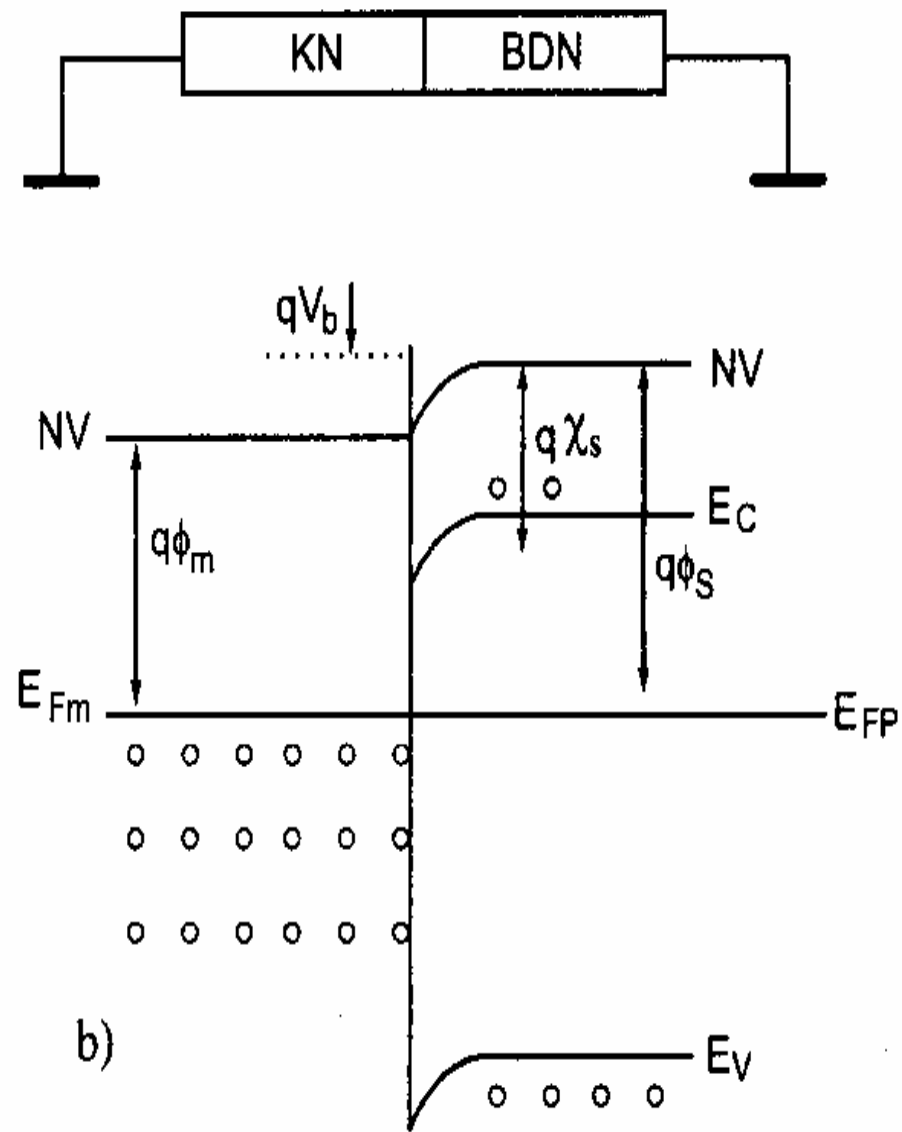
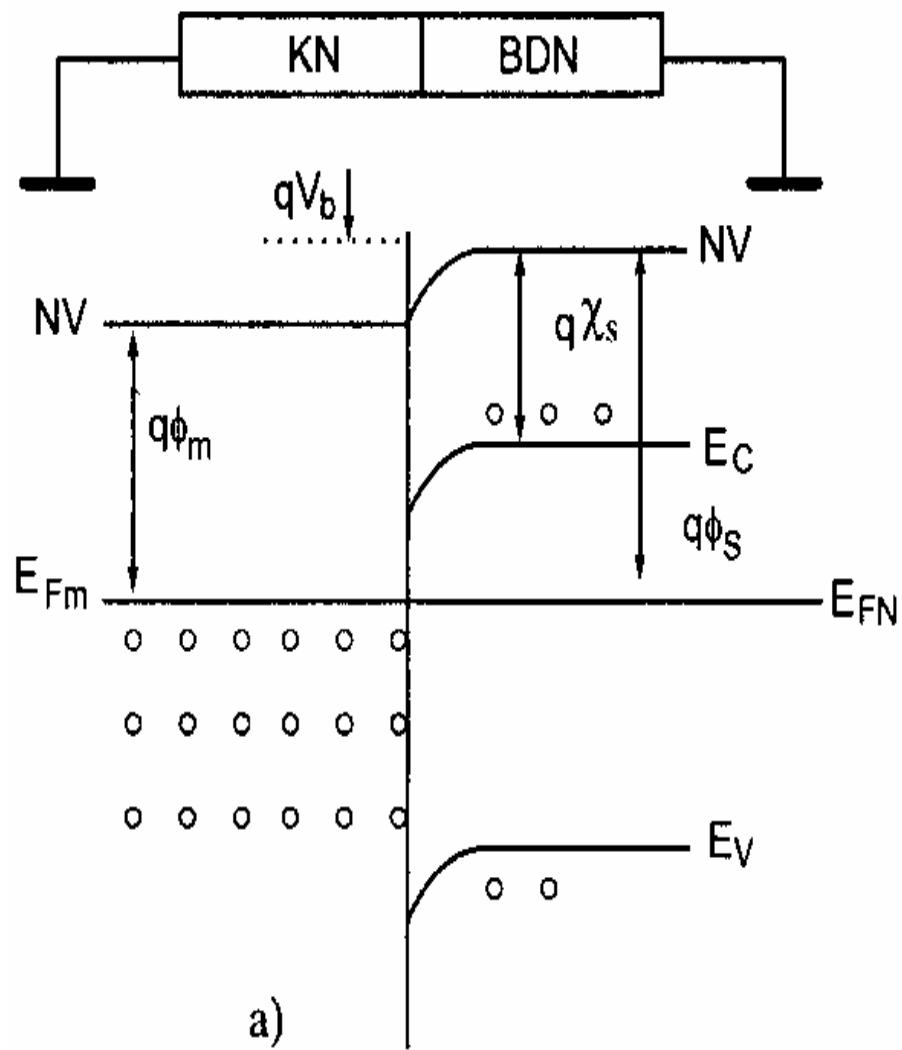


b) Phân cực thuận

Hình 3.5. Tiếp xúc kim loại - bán dẫn loại N.

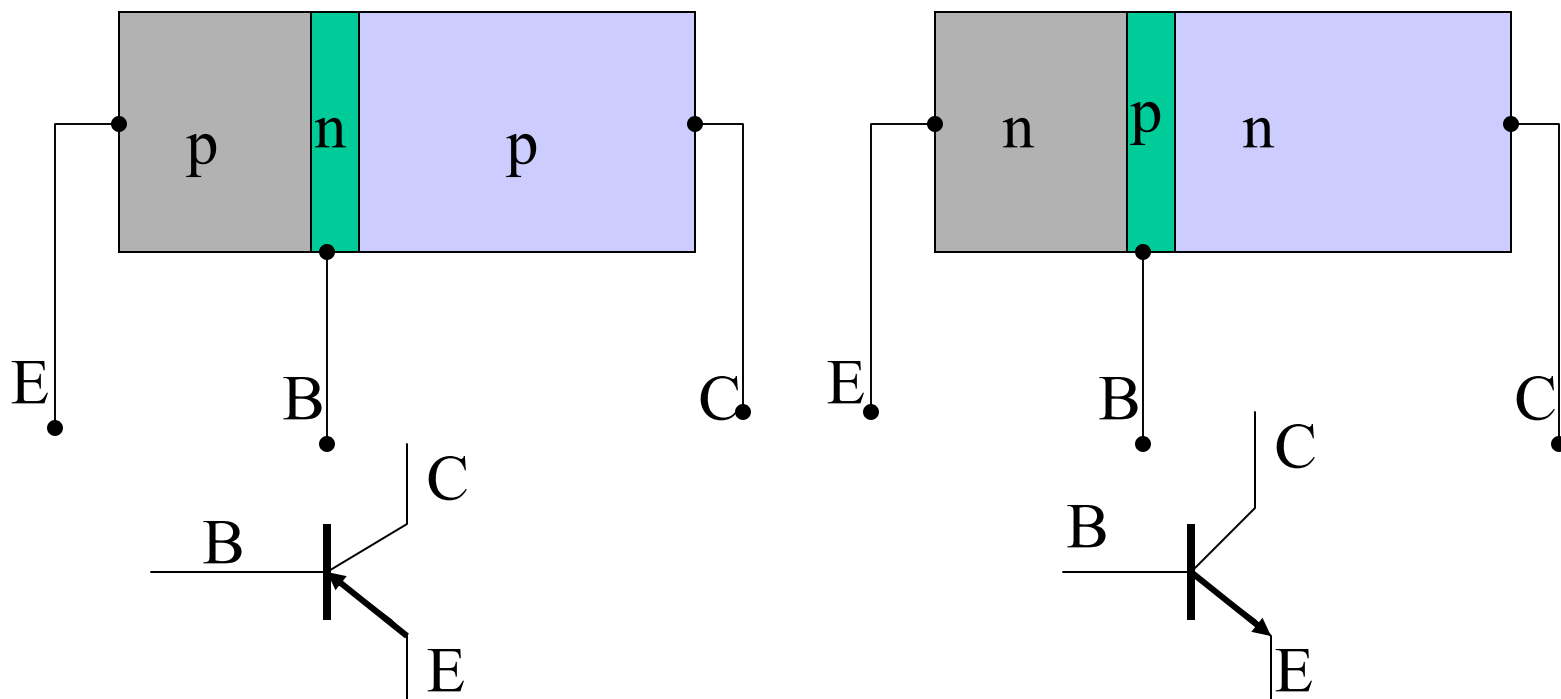
## Tiếp xúc kim loại – bán dẫn

- Khi KL tiếp xúc với bán dẫn thì ở bề mặt tiếp xúc xuất hiện hàng rào thế, cấu trúc các vùng năng lượng phụ thuộc công thoát điện tử của KL và bán dẫn.
- Nếu bán dẫn loại N thì ở bán dẫn sẽ xuất hiện một vùng điện tích không gian dương, còn trong KL tích tụ một lớp mỏng điện tử ở gần bề mặt tiếp xúc.
- Nếu bán dẫn là loại P thì điện tích trong các vùng không gian sẽ ngược dấu với loại N.
- Dựa theo nguyên lý đó người ta chế tạo diode Schottky, nó dùng chỉnh lưu cao tần. (**xem internet**)

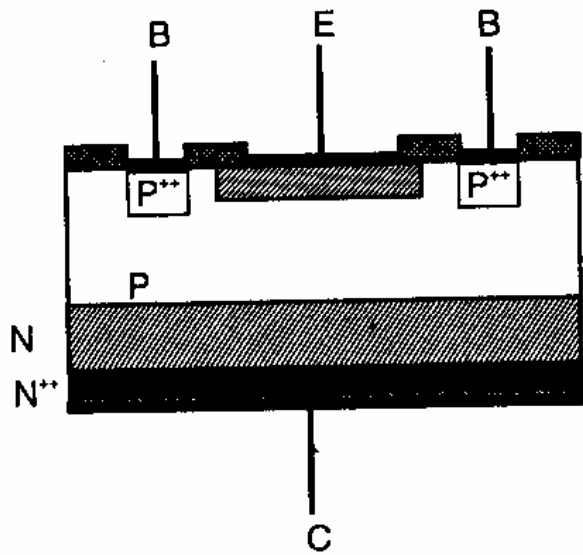


Hình 3.6. Tiếp xúc kim loại - bán dẫn loại P.

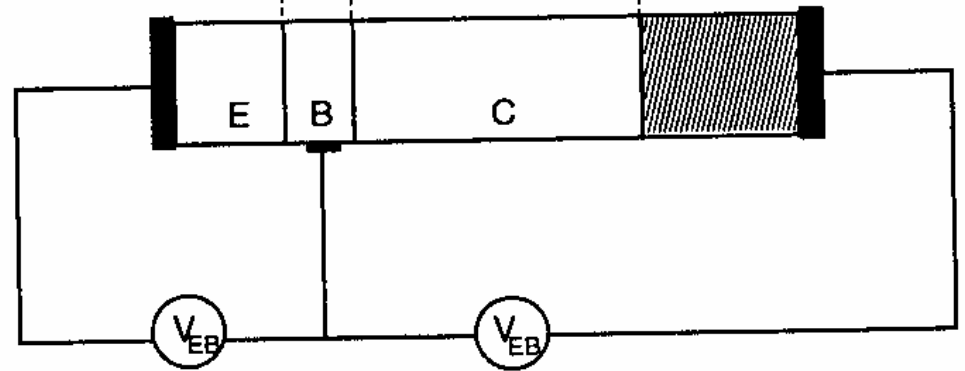
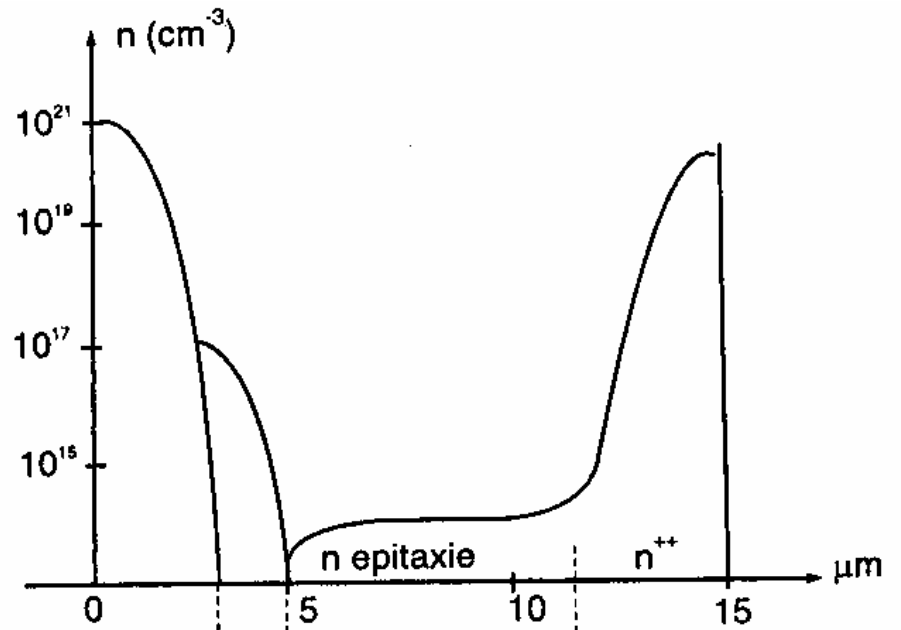
### \$3. Tranzitor lưỡng cực **BJT**-Bipolar Junction Tranzitor



- Cấu tạo: là tiếp giáp p-n-p(thuận) hay n-p-n(ngược)
- E: Emitter: cực phát, có bề dày trung bình và mật độ hạt dẫn lớn nhất
- B: Base: cực gốc, có bề dày mỏng nhất và mật độ hạt dẫn nhỏ nhất
- C: Collector: cực góp, có bề dày lớn nhất và mật độ hạt dẫn trung bình
- BJT được chế tạo bằng phương pháp ăn mòn hoặc khuếch tán, epitaxi..

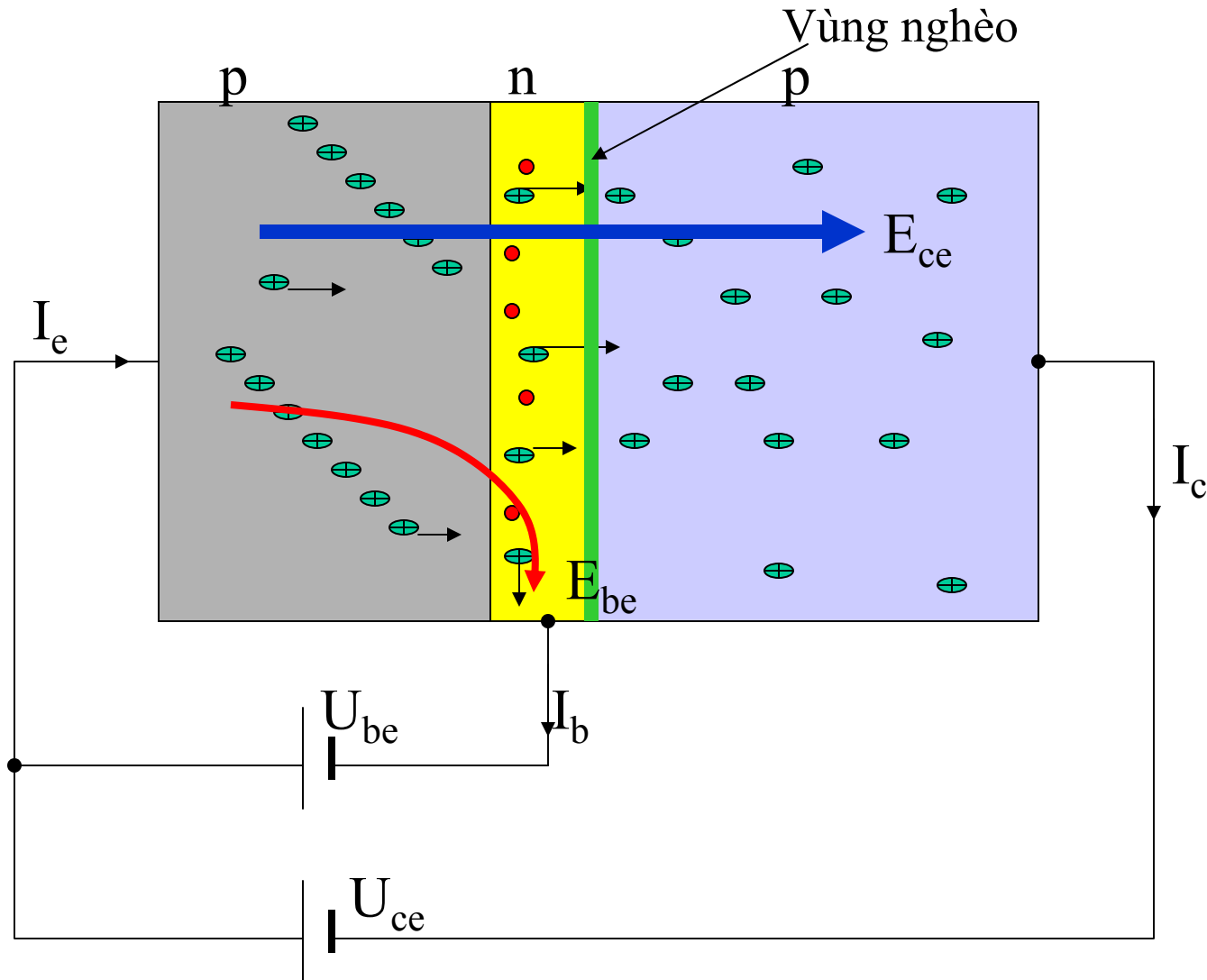


a) Cấu tạo



Hình 4.2. Cấu trúc thực và sự phân bố hạt tải trong tranzito NPN.

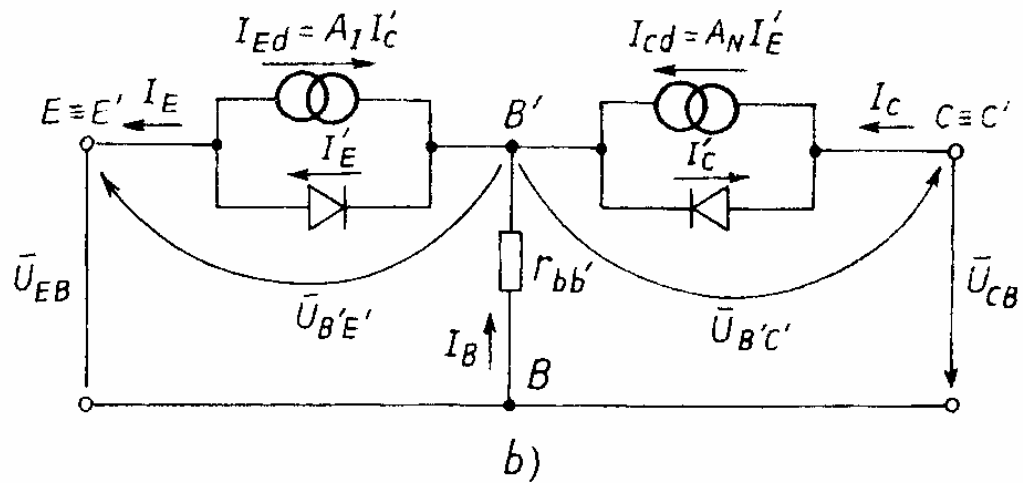
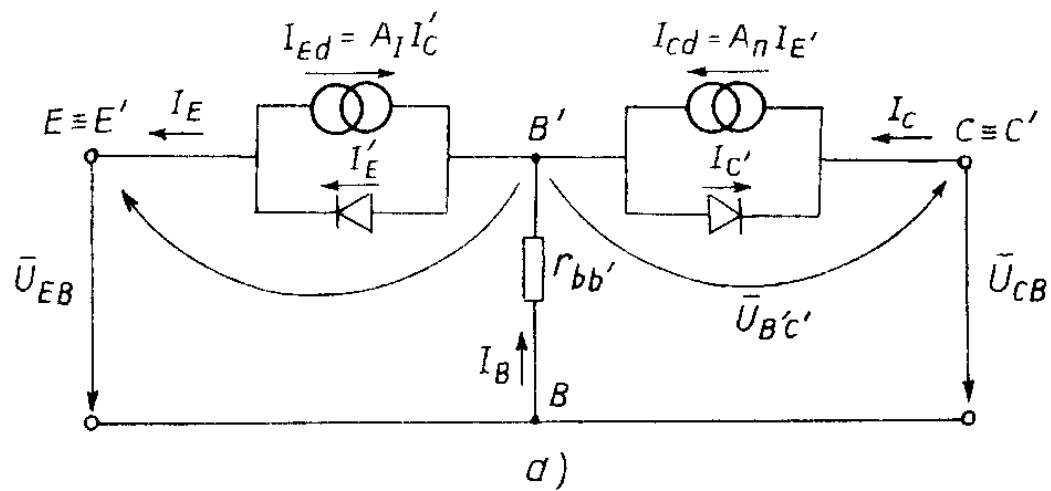
# 1. Nguyên lí hoạt động của BJT



$$I_c = \beta I_b$$

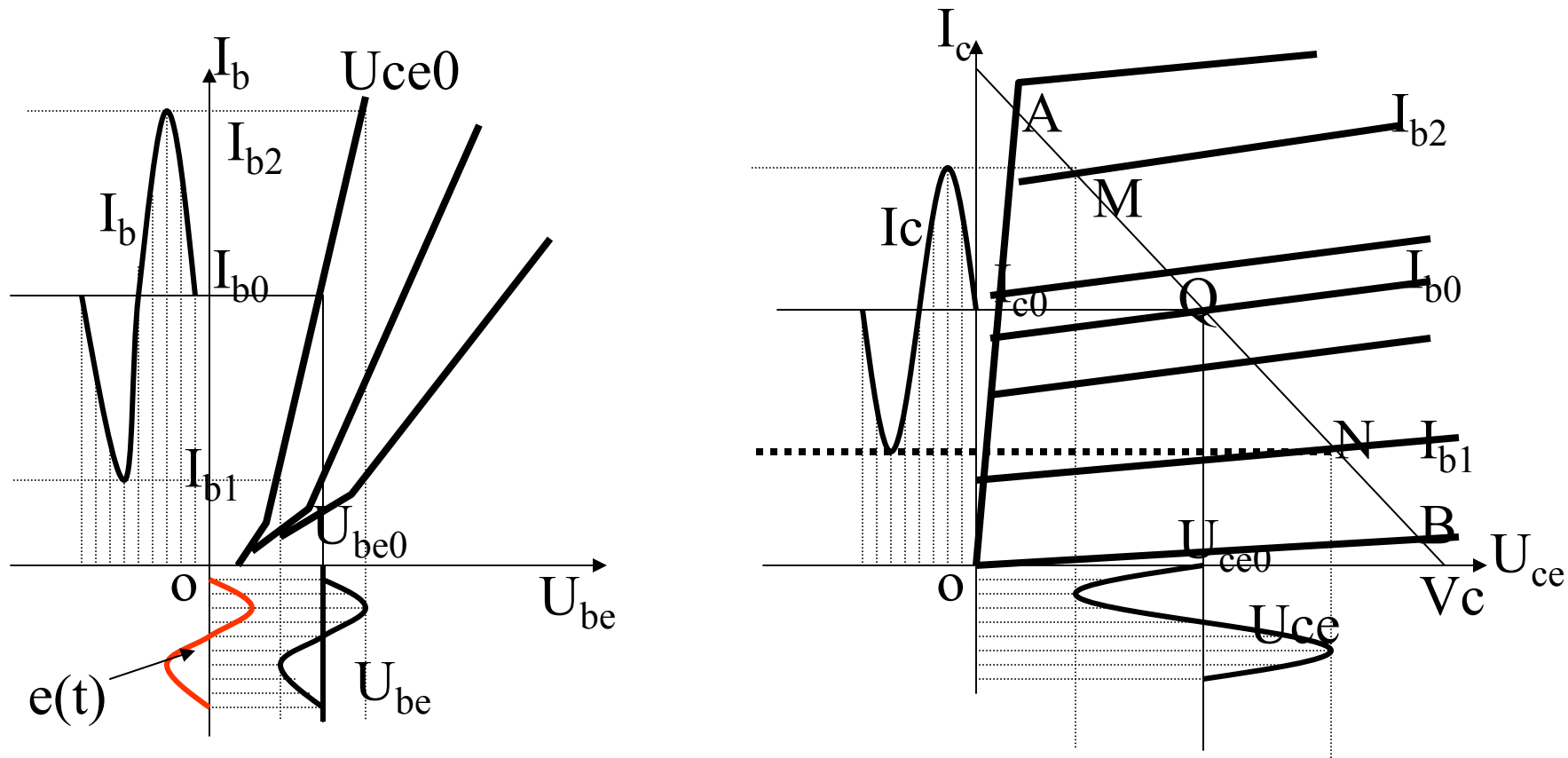
$$U_{be} \ll U_{ce}$$

- Tiếp giáp B-E phải phân cực thuận, tiếp giáp B-C phải phân cực ngược
- BJT hoạt động trên nguyên lí khuếch tán hạt dẫn (quan trọng-phải hiểu)



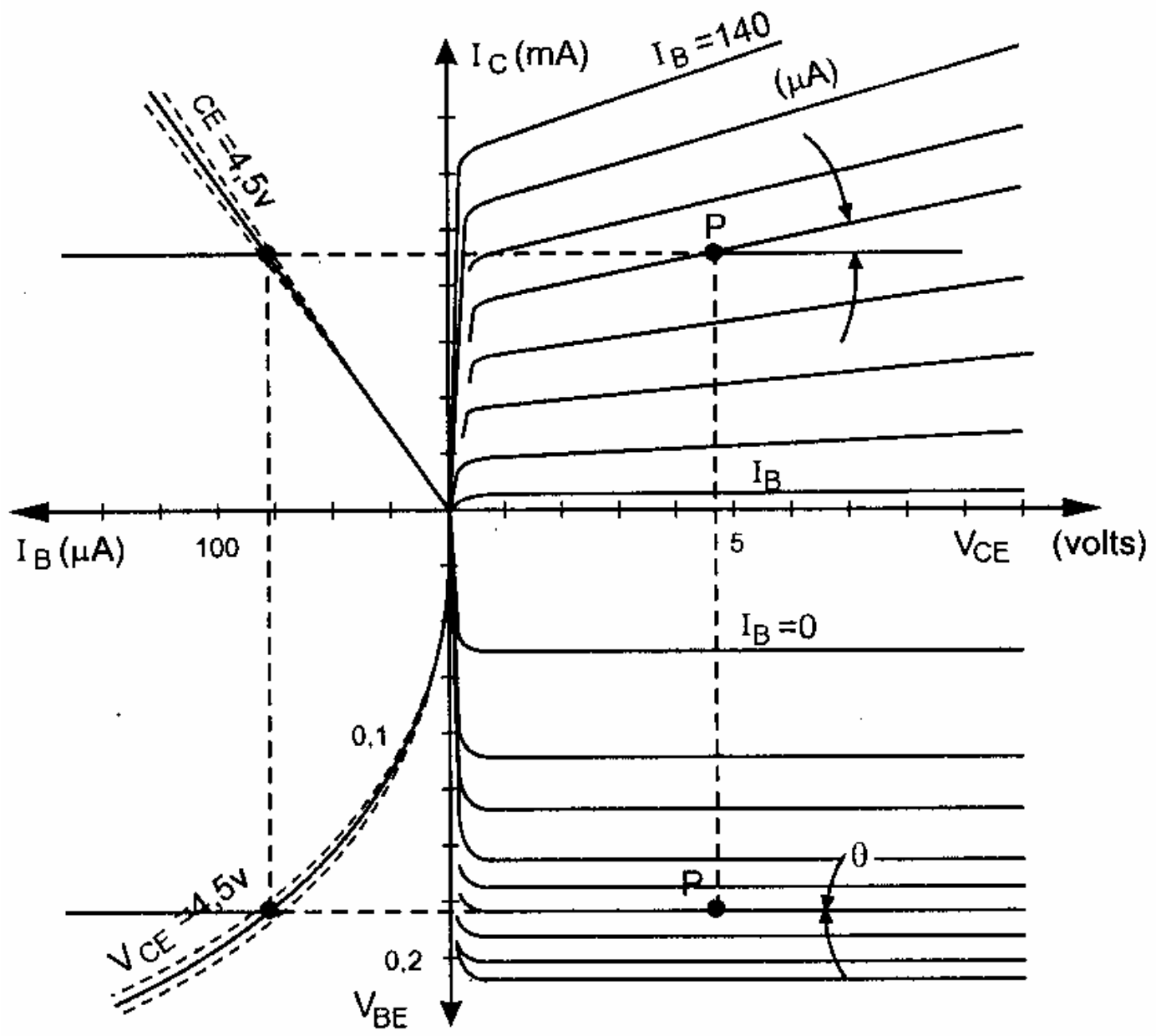
**Hình 1.3.** Sơ đồ tương đương Ebers-Moll của tranzistor *nnp* (a) và *pnp* (b).

## 2. Đặc tính V-A của BJT



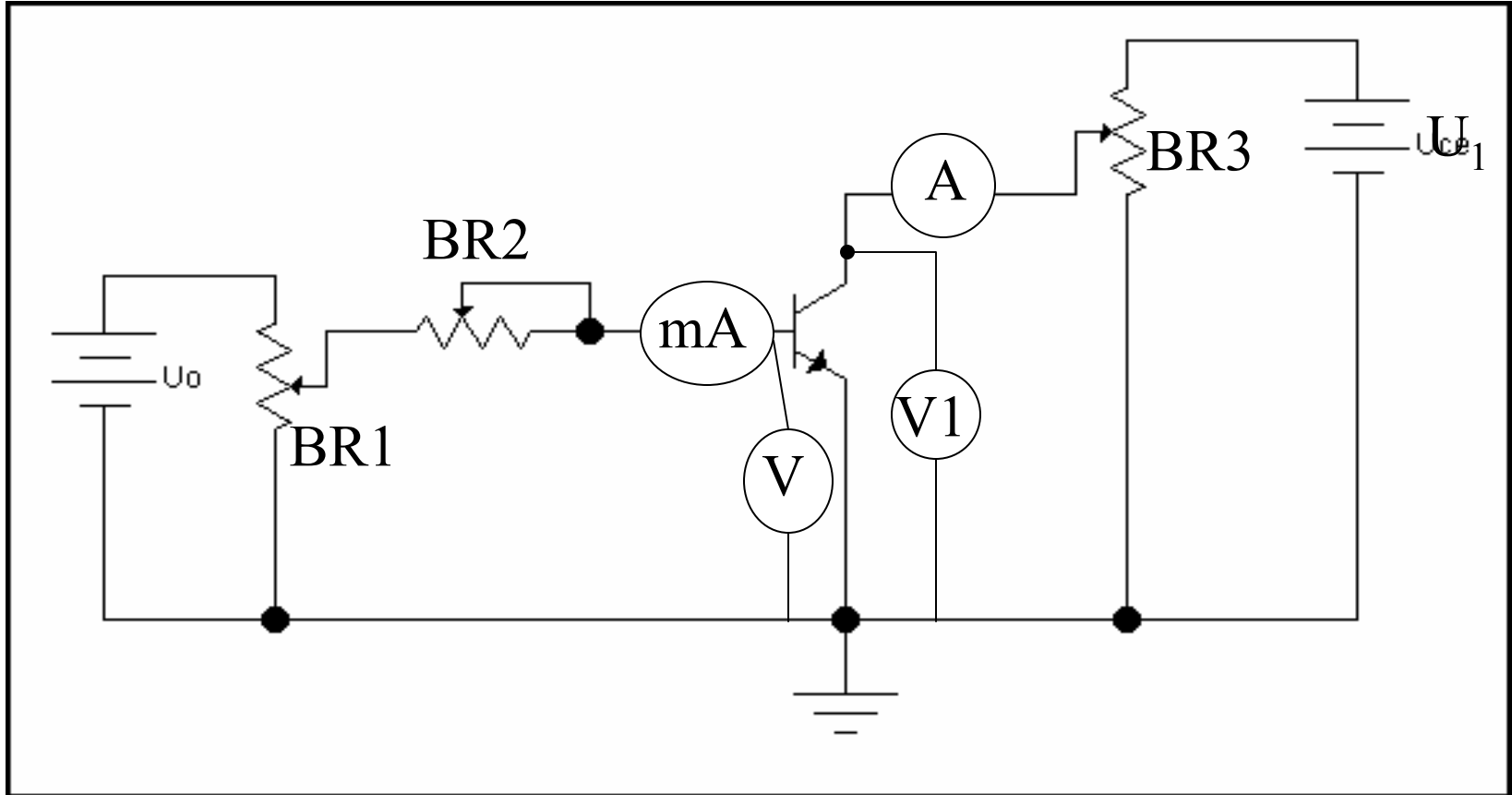
- Đặc tính vào  $I_b = f(U_{be})$  : lấy khi giữ  $U_{ce}$  không đổi
- Đặc tính ra  $I_c = f(U_{ce})$ ; lấy khi giữ  $I_b$  không đổi.





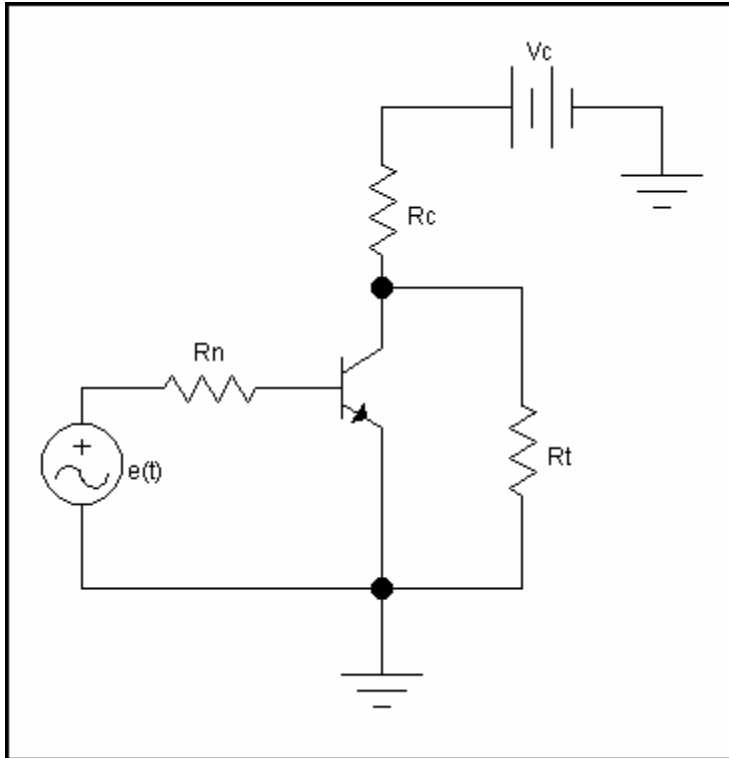
Hình 4.8. Các đặc trưng tĩnh của tranzito cho sơ đồ emitter chung.

# Sơ đồ lấy đặc tính ra-sẽ thí nghiệm



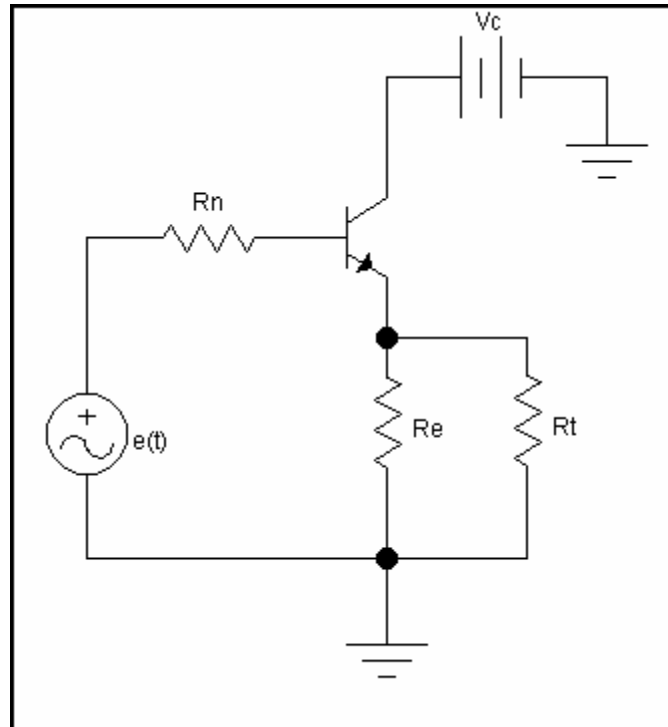
### 3. Các sơ đồ mắc BJT

#### Sơ đồ E-C (E chung)



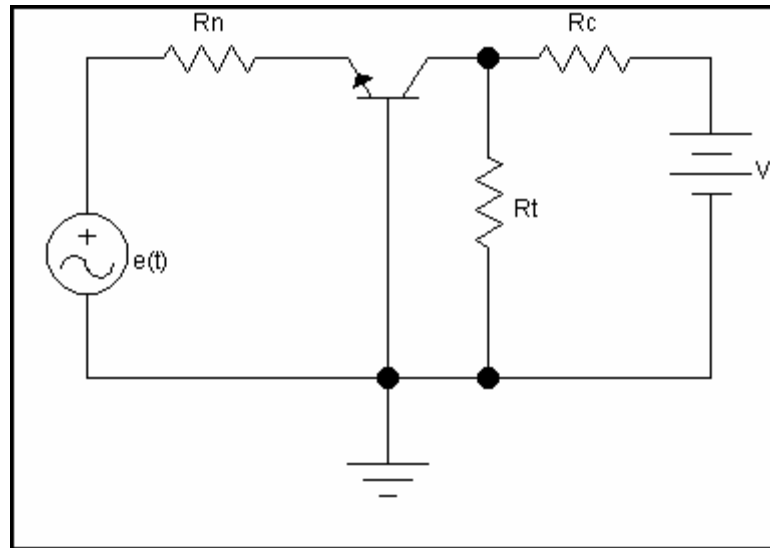
- Sơ đồ mắc E-C (emitter common)
- Sơ đồ B-C (base common)
- Sơ đồ C-C (collector common)

## Sơ đồ C-C (C chung)



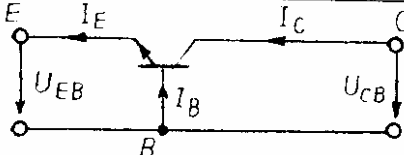
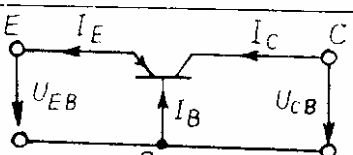
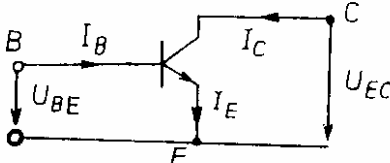
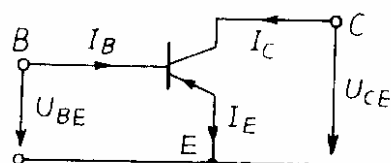
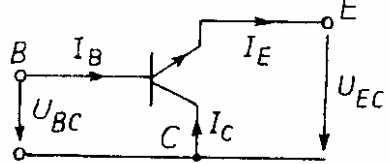
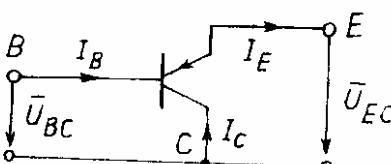
- Tín hiệu ra bị phản hồi âm mạnh nên trở kháng vào lớn và trở kháng ra nhỏ

## Sơ đồ B-C (B chung)



- Mạch này không có tính khuếch đại mà chỉ làm tăng đệm để phối hợp trở kháng

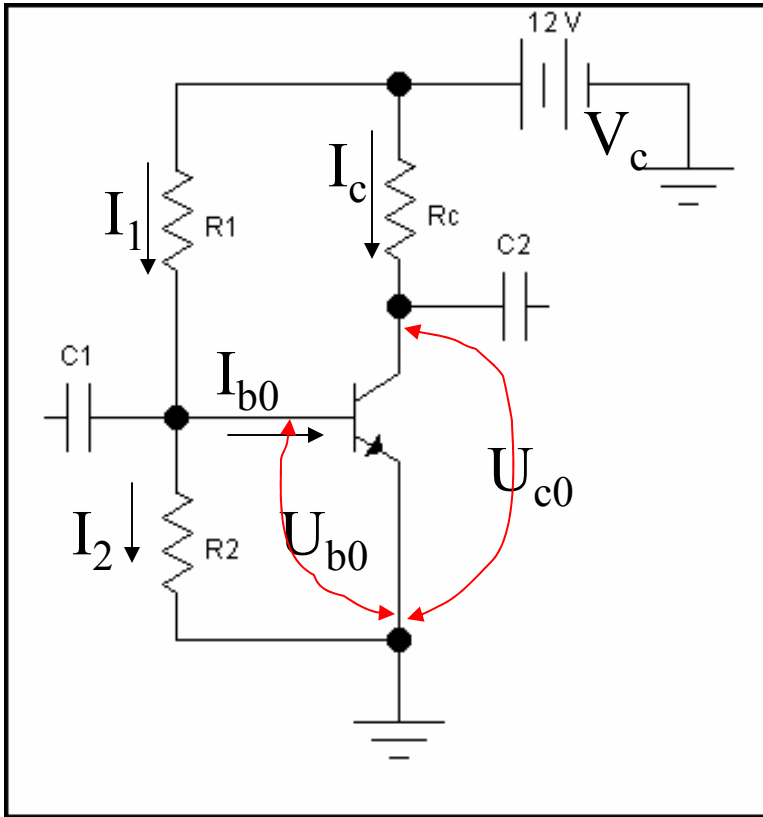
**Bảng 1.1.**

Loại Cách mắc	npn	pnp
Bazơ chung		
Emitơ chung		
Colectơ chung		

## Phân cực cho BJT

- Là tạo một điện áp ban đầu cho cực B của BJT để vượt qua ngưỡng  $U_0$  ban đầu (Si là 0,6 vôn và Ge là 0,2 vôn)
- Phân cực bằng điện áp
- Phân cực bằng dòng điện
- Phân cực bằng phản hồi
- Điện áp tại chân B (mạch E-C) sau khi đã phân cực sẽ là:
- $U_b = U_{be0} + e(t)$
- với  $e(t)$  là nguồn tín hiệu cần khuếch đại. Muốn khuếch đại được thì  $U_{be0}$  phải lớn hơn hoặc bằng biên độ  $e(t) + U_{0+}$ .

# Phân cực bằng điện áp



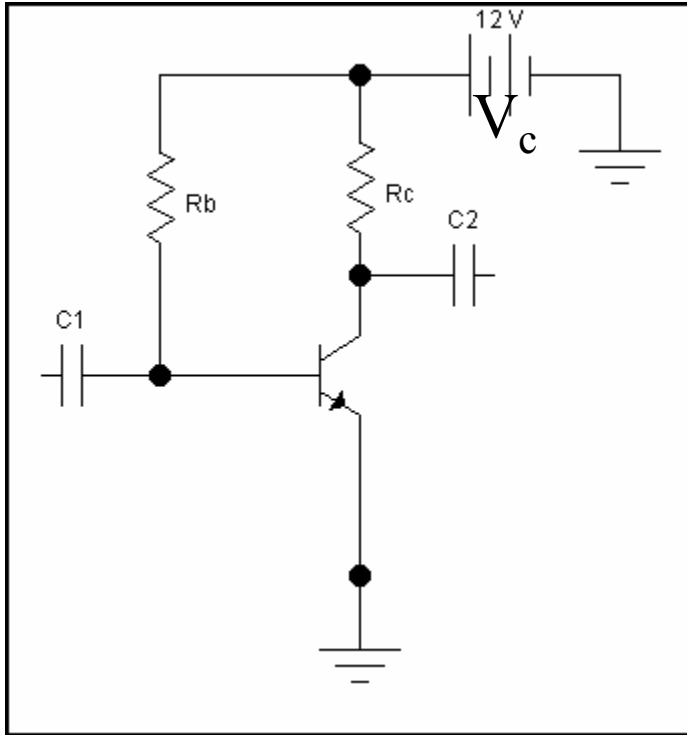
- Chọn dòng  $I_{b0}$  (kí hiệu 0 chỉ đại lượng phân cực)
- Chọn dòng  $I_2 = (5 \text{ :-: } 10)I_{b0}$  (qui ước lấy  $I_2 = 10I_{b0}$ ). Dòng phân cực càng lớn càng tốt nhưng sẽ gây tổn hao công suất nhiều.
- Chọn  $U_{be0}$  (0,6 vôn với Si và 0,2 vôn với Ge) hay  $U_{b0}$

$$R_2 = \frac{U_{b0}}{I_2}; \quad R_1 = \frac{V_c - U_{b0}}{I_2 + I_{b0}}$$

$$R_c = \frac{V_c - U_{c0}}{I_{c0}} = \frac{V_c - U_{c0}}{\beta I_{b0}}$$



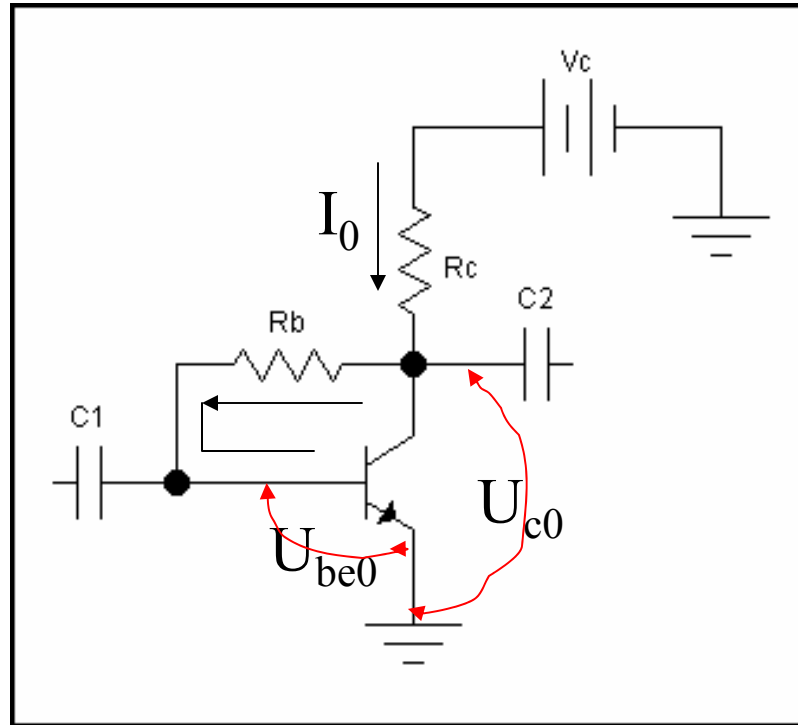
# Phân cực bằng dòng điện



$$R_b = \frac{V_c - U_{b0}}{I_{b0}}$$

- Chọn trước  $U_{be0}$ ,  $I_{b0}$

# Phân cực bằng phản hồi



$$I_0 = I_{c0} + I_{b0} = (\beta + 1)I_{b0}$$

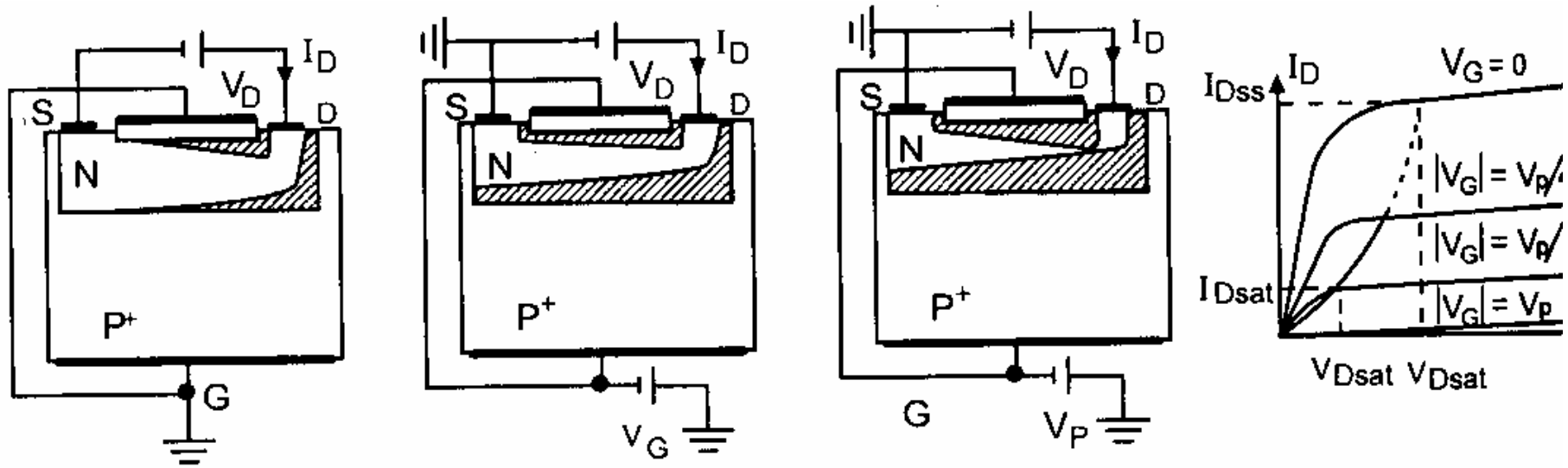
$$U_{c0} = V_c - I_0 R_c$$

$$R_b = \frac{U_{c0} - U_{be0}}{I_{b0}}$$

$$R_c = \frac{V_c - U_{c0}}{I_0}$$

- Chọn trước  $I_{b0}$ ,  $U_{be0}$
- Chọn trước  $U_{c0}$

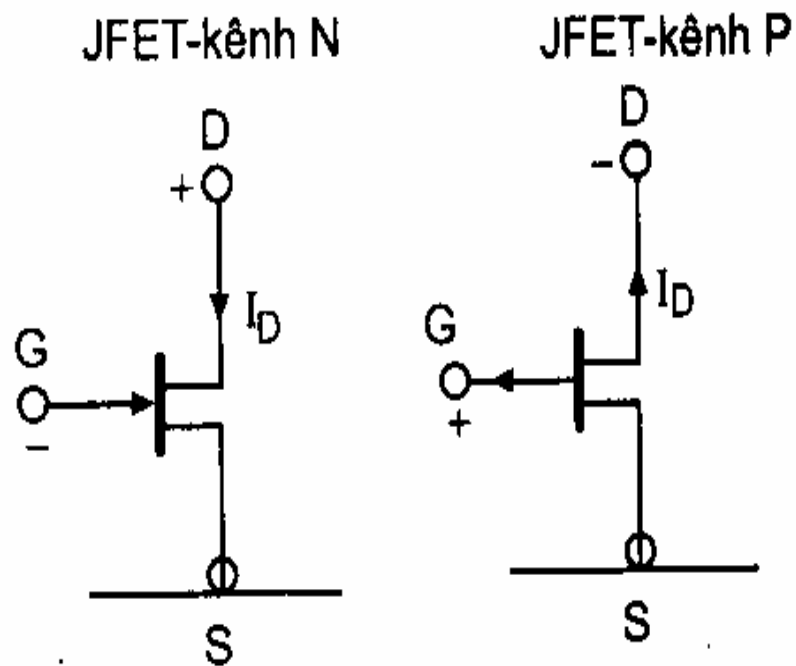
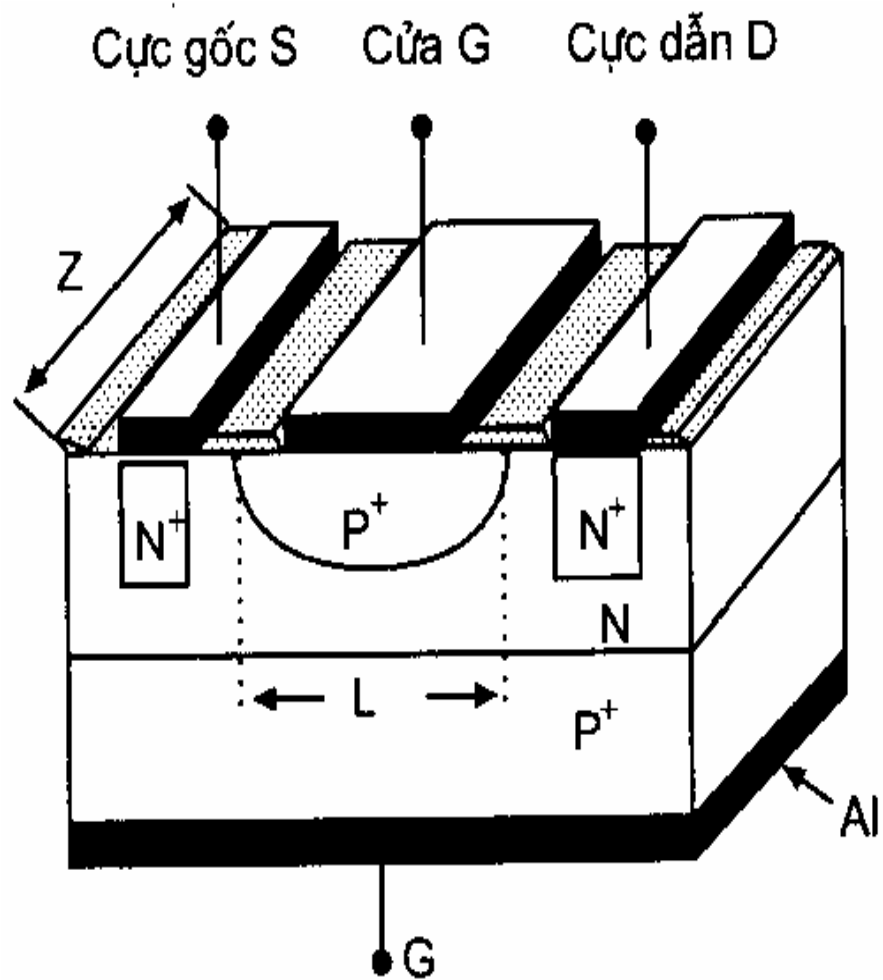
## §4. Transistor trường FET (Field Effect Transistor)



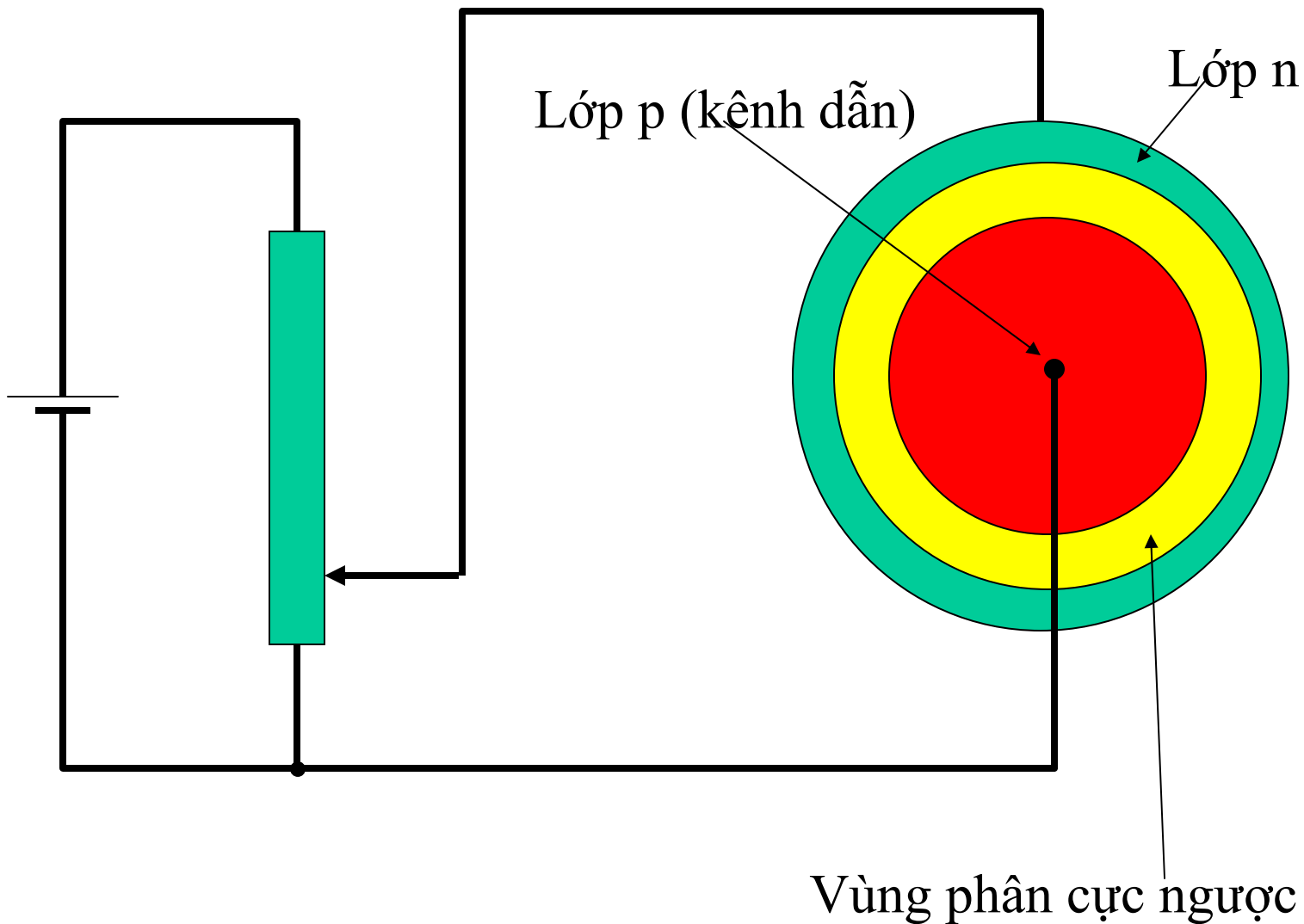
$V_D$ : nhỏ,  $V_G = 0$ ; a)  $V_D > 0$   $V_G < 0$ ; b) Cắt kênh; c) Đặc trưng  $I(V)$ .

Hình 6.2. Thiết diện của kênh thay đổi với thế  $V_D$ .

- JFET – Junction Field Effect Transistor
- MOSFET – Metal Oxide Semiconductor FET
- IGBT – Insulate Gate Bipolar Transistor



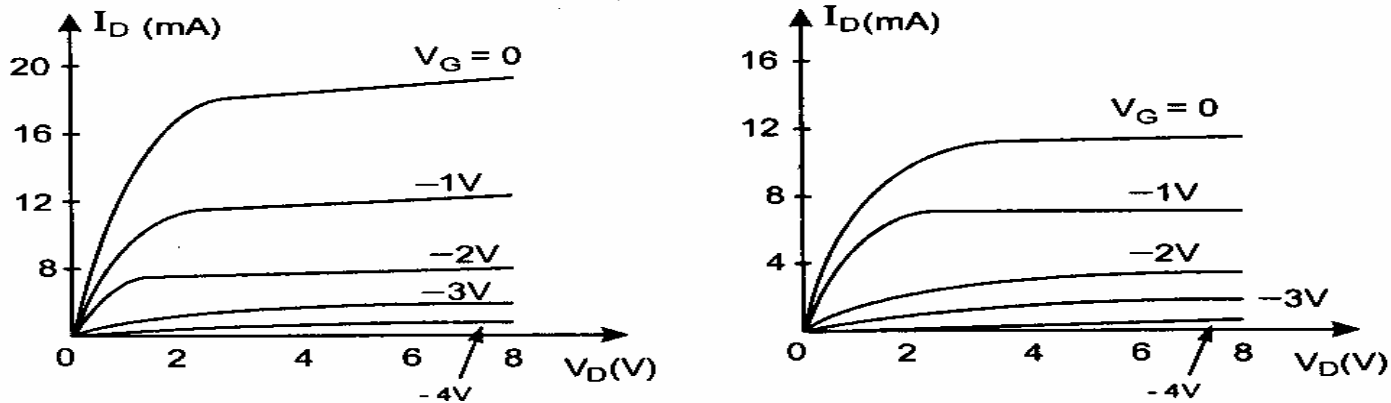
Hình 6.1. Cấu tạo của các loại JFET kênh N: a) JFET-kênh N đối xứng; b) Ký hiệu.



- Cực cửa G: Gate
- Cực nguồn S: Source
- Cực máng D: Drain
- Dòng điện theo qui ước chảy từ cực máng đến cực nguồn trong kênh n và ngược lại trong kênh p.

Nguyên lý: Khi thay đổi điện áp  $U_{GS}$ , sẽ làm thay đổi độ rộng vùng phân cực ngược, nên độ rộng kênh dẫn cũng thay đổi, từ đó sẽ khống chế (điều khiển) được dòng  $I_D$ .

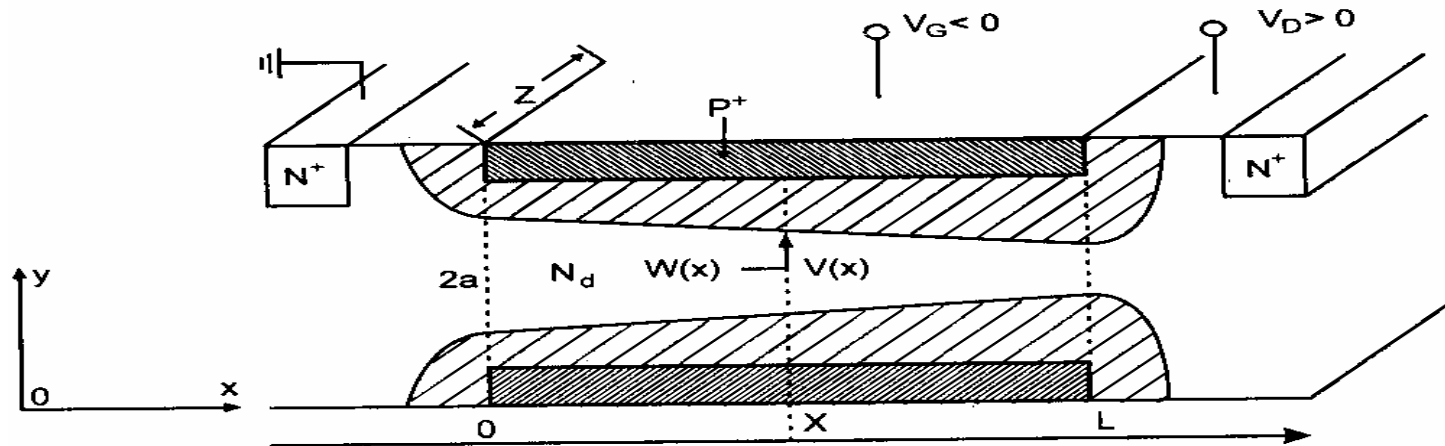
- Đặc trưng cơ bản là FET được điều khiển bằng điện áp nên dòng vào rất nhỏ, công suất đầu vào sẽ rất nhỏ, thích hợp với những tín hiệu vào bé.
- Tổng trở vào của FET có thể đến  $1e+9$  Ohm, MOSFET đến  $1e+14$  Ohm.



Hình 6.3. Họ đặc trưng của JFET kênh N.  
a) lý thuyết; b) thực nghiệm.

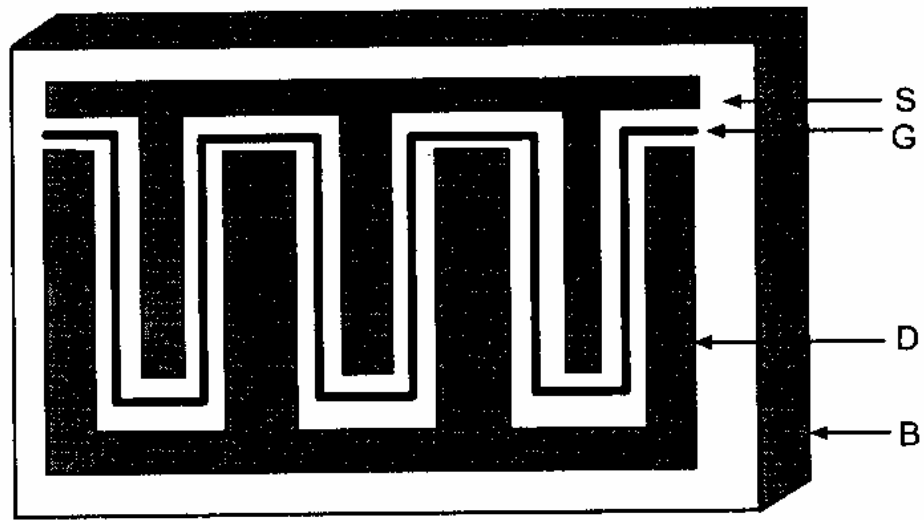
## 2. Nghiên cứu định lượng

Giả sử JFET kênh N đối xứng (hình 6.4). Để đơn giản mô hình, ta giả thiết:

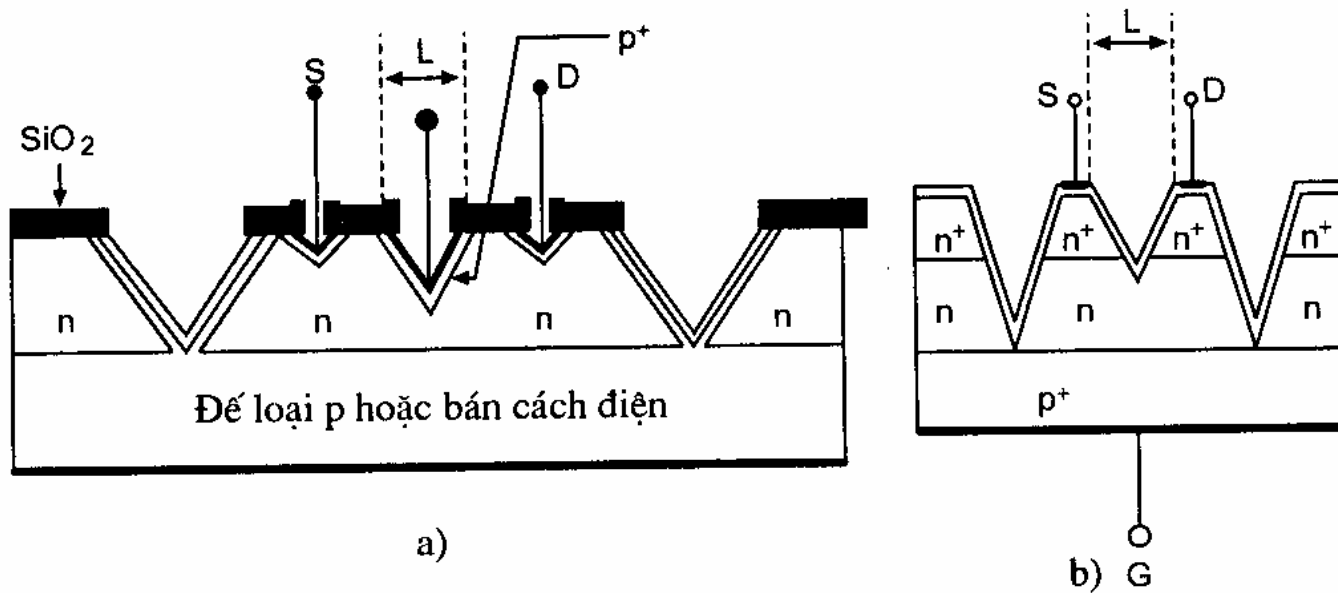


Hình 6.4. Mô hình của vùng DTKG trong JFET.

- \* Chiều dài của kênh ( $L$ ) ít nhất lớn gấp hai lần chiều rộng của nó.
- \* Hai cửa giống hệt nhau, dài  $Z$  và pha tạp mạnh loại P.
- \* Chuyển tiếp cửa/kênh phẳng và nhảy bậc.



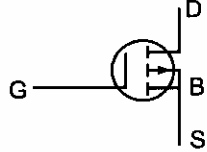
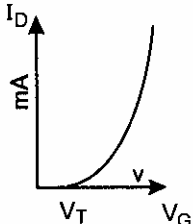
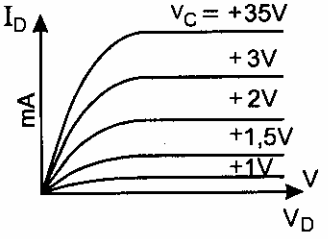
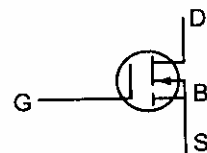
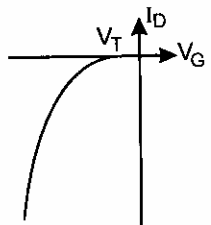
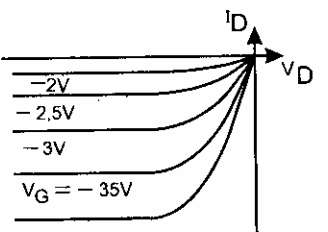
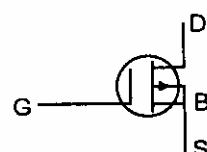
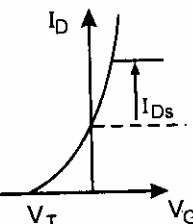
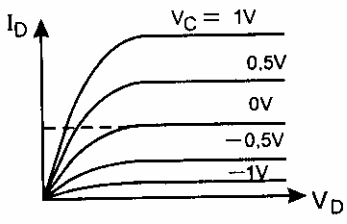
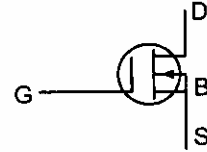
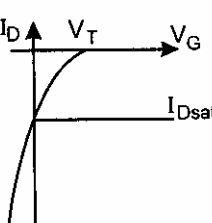
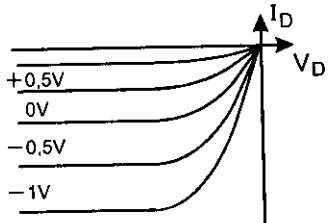
Hình 6.6. Cấu trúc "răng lược" của JFET.



Hình 6.7. Cấu trúc khía chữ V của JFET.

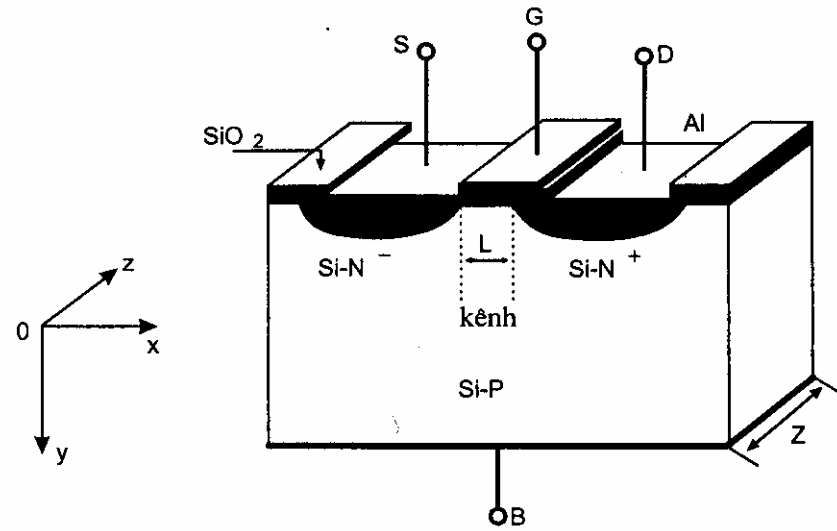


# MOSFET – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

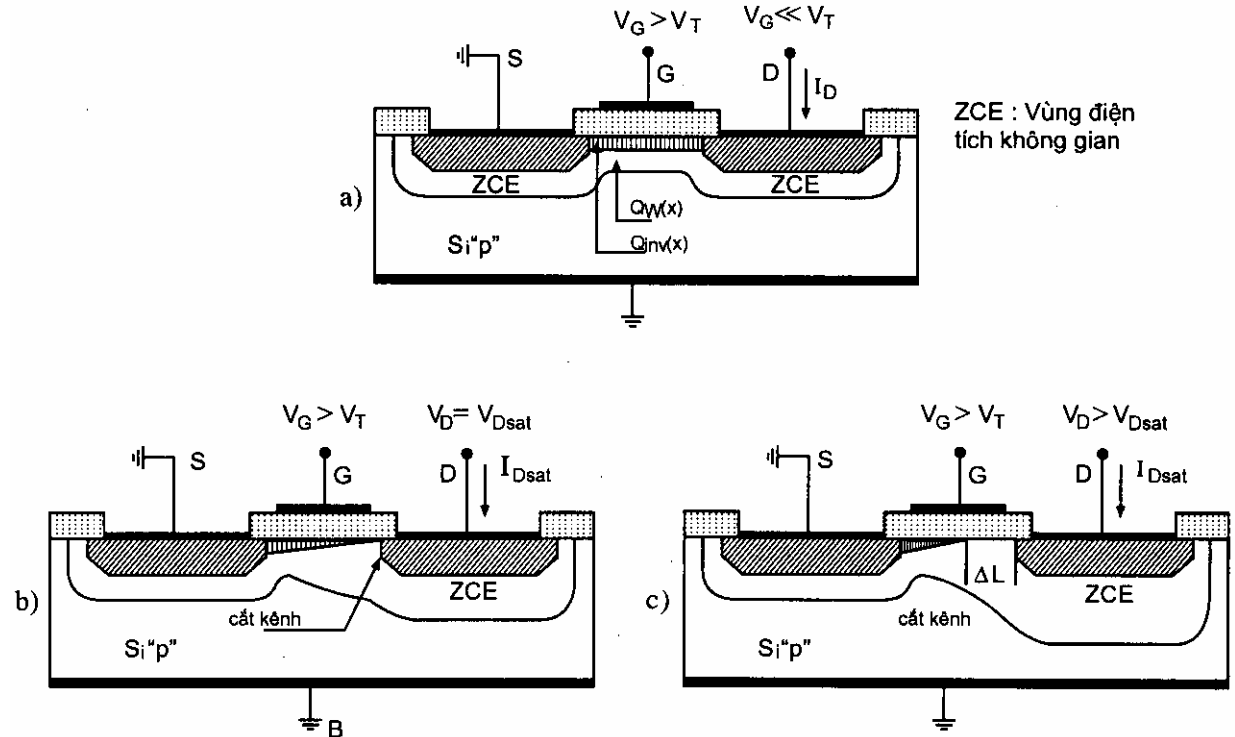
Ký hiệu và phân loại	Đặc trưng $I_D(V_G)$	Đặc trưng $I_D(V_D)$
<p>MOS kênh N làm giàu</p> 		
<p>MOS kênh P làm giàu</p> 		
<p>MOS kênh N làm nghèo</p> 		
<p>MOS kênh P làm nghèo</p> 		

Hình 6.9. Ký hiệu và đặc trưng của các loại MOS.

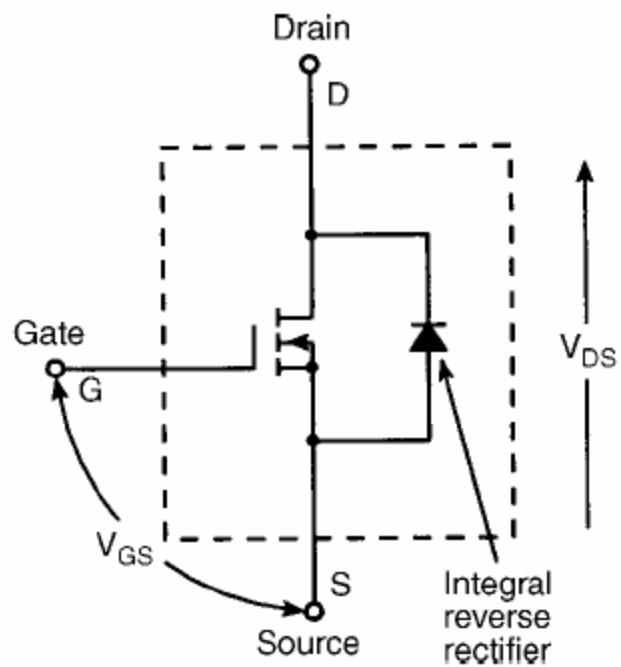
# MOSFET – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



Hình 6.10. Cấu tạo của một MOS kênh N làm giàu.



Hình 6.11. Nguyên tắc hoạt động của MOS kênh N.



**FIGURE 1.5** Power MOSFET circuit symbol. (From Bose, B.K., *Modern Power Electronics: Evaluation, Technology, and Applications*, p. 7. © 1992 IEEE. With permission.)

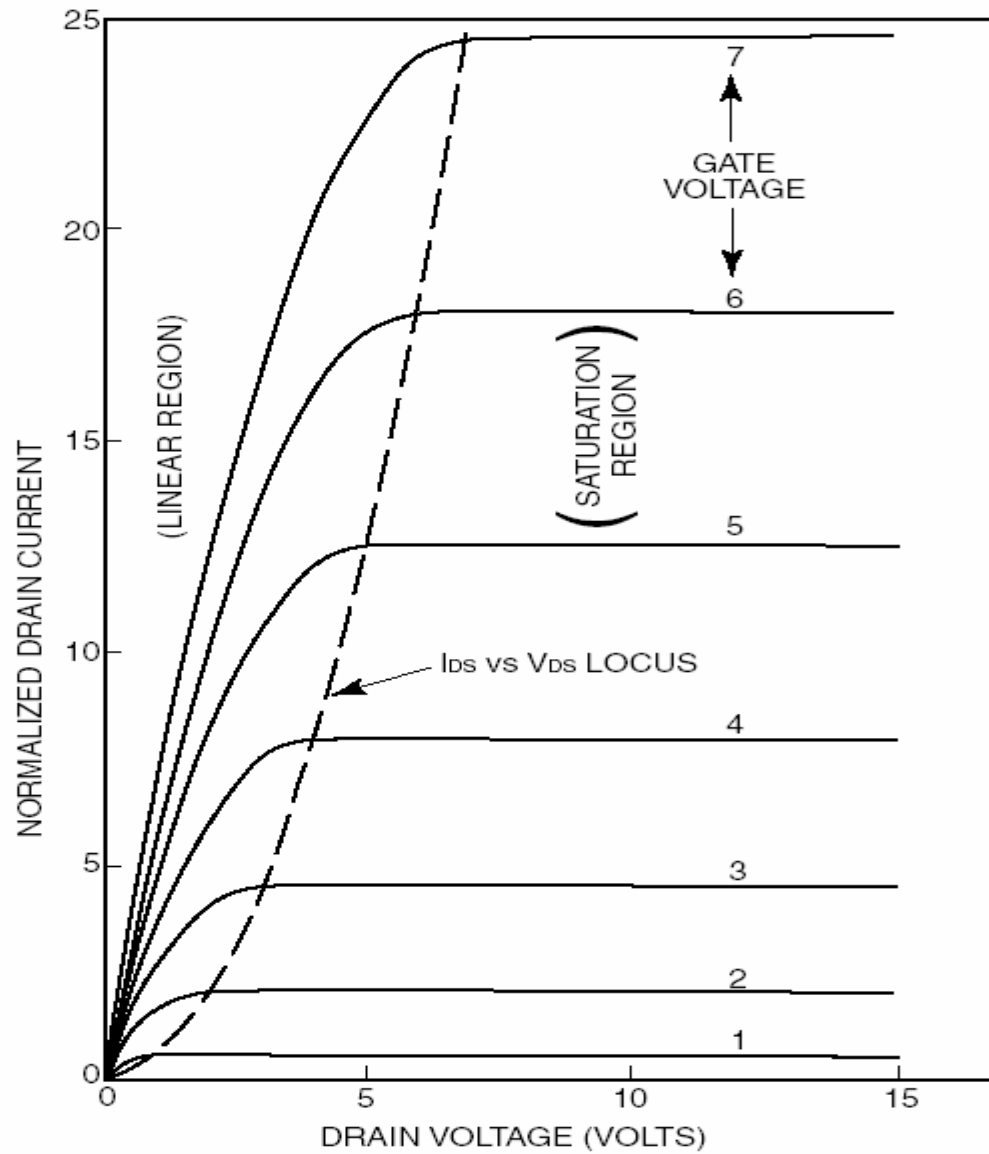
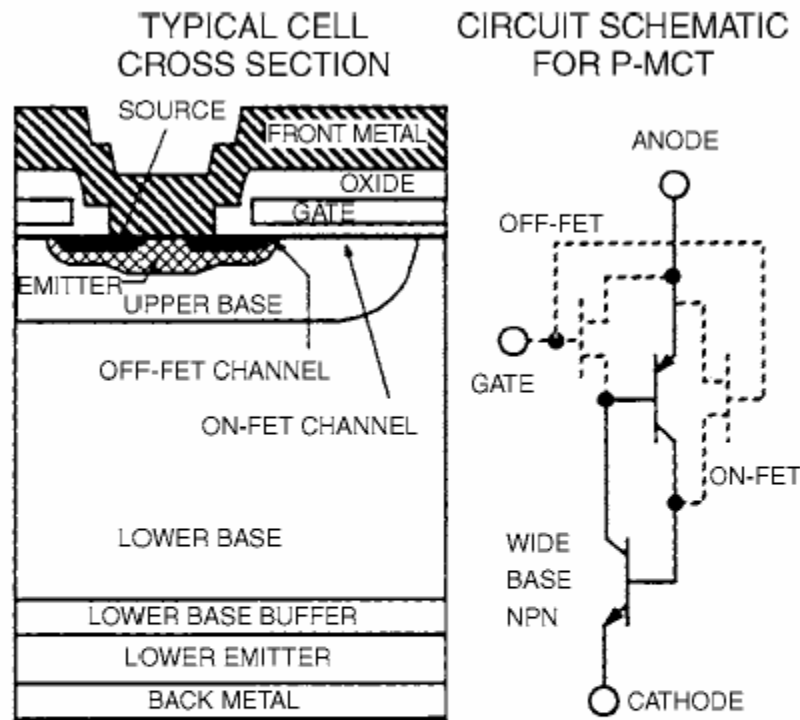


FIGURE 1.59 Current-voltage characteristics of a power MOSFET.

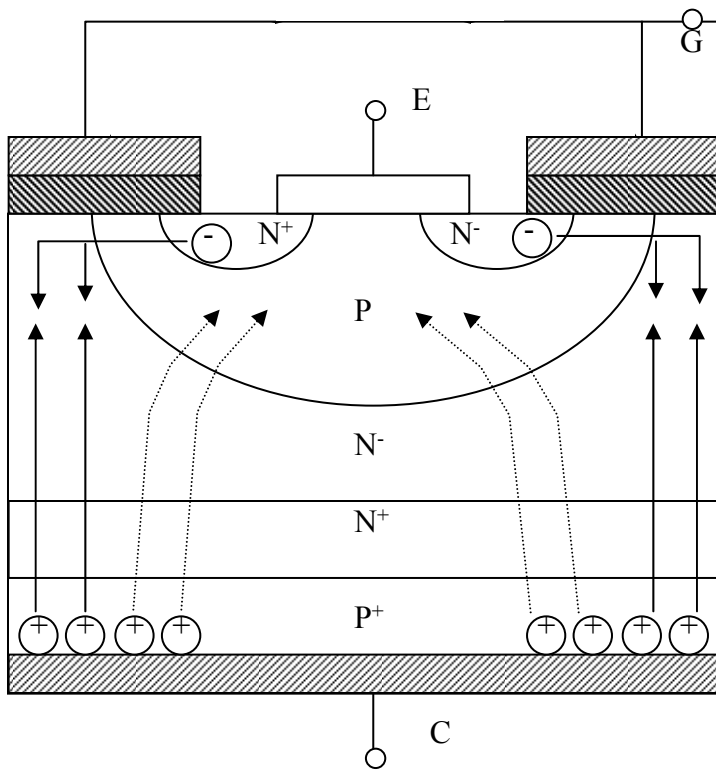


**FIGURE 1.7** Typical cell cross section and circuit schematic for P-MCT. (From Harris Semiconductor, *User's Guide of MOS Controlled Thyristor*. With permission.)

## MOS-Controlled Thyristor (MCT)

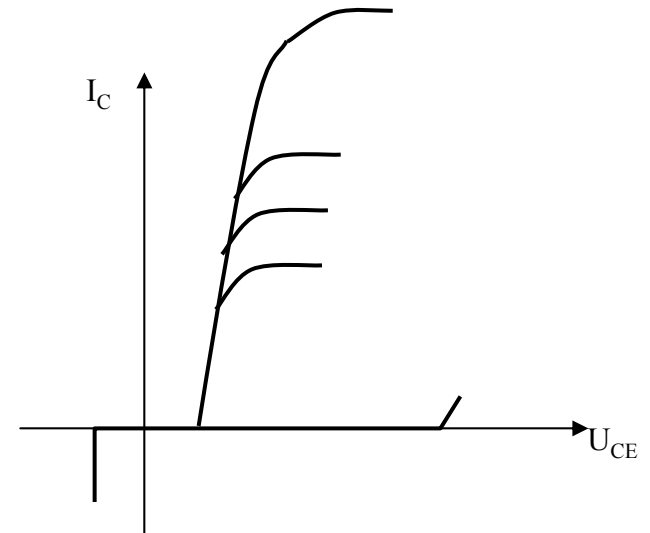
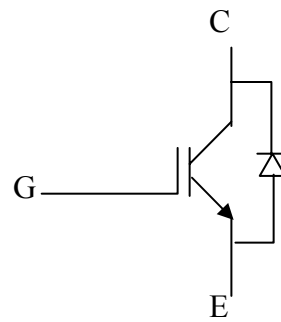
The MCT is a new type of power semiconductor device that combines the capabilities of thyristor voltage and current with MOS gated turn-on and turn-off. It is a high-power, high-frequency, low-conduction drop and a rugged device, which is more likely to be used in the future for medium and high power applications. A cross-sectional structure of a *p*-type MCT with its circuit schematic is shown in Fig. 1.7. The MCT has a thyristor type structure with three junctions and *pnpn* layers between the anode and cathode. In a practical MCT, about 100,000 cells similar to the one shown are paralleled to achieve the desired current rating. MCT is turned on by a negative voltage pulse at the gate with respect to the anode, and is turned off by a positive voltage pulse.

The MCT was announced by the General Electric R&D Center on November 30, 1988. Harris Semiconductor Corporation has developed two generations of *p*-MCTs. Gen-1 *p*-MCTs are available at 65 A/1000 V and 75 A/600 V with peak controllable current of 120 A. Gen-2 *p*-MCTs are being developed at similar current and voltage ratings, with much improved turn-on capability and switching speed. The reason for developing a *p*-MCT is the fact that the current density that can be turned off is two or three times higher than that of an *n*-MCT; but *n*-MCTs are the ones needed for many practical applications.



## VIII. GIỚI THIỆU IGBT: (Insulated gate bipolar tranzitor):

Là loại Tranzitor lưỡng cực có cực điều khiển cách ly. Nó kết hợp hai ưu điểm của Tranzitor bipolar và MOSFET là chịu được dòng lớn và điều khiển bằng điện áp như MOSFET.





**FIGURE 1.89** Photograph of a 1200-A, 3300-V IGBT module in which 24 1-cm<sup>2</sup> IGBT dies are paralleled together by wire bonds.



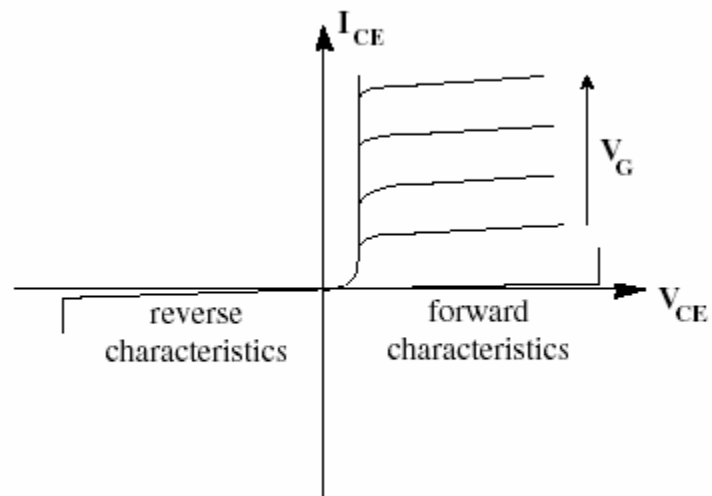
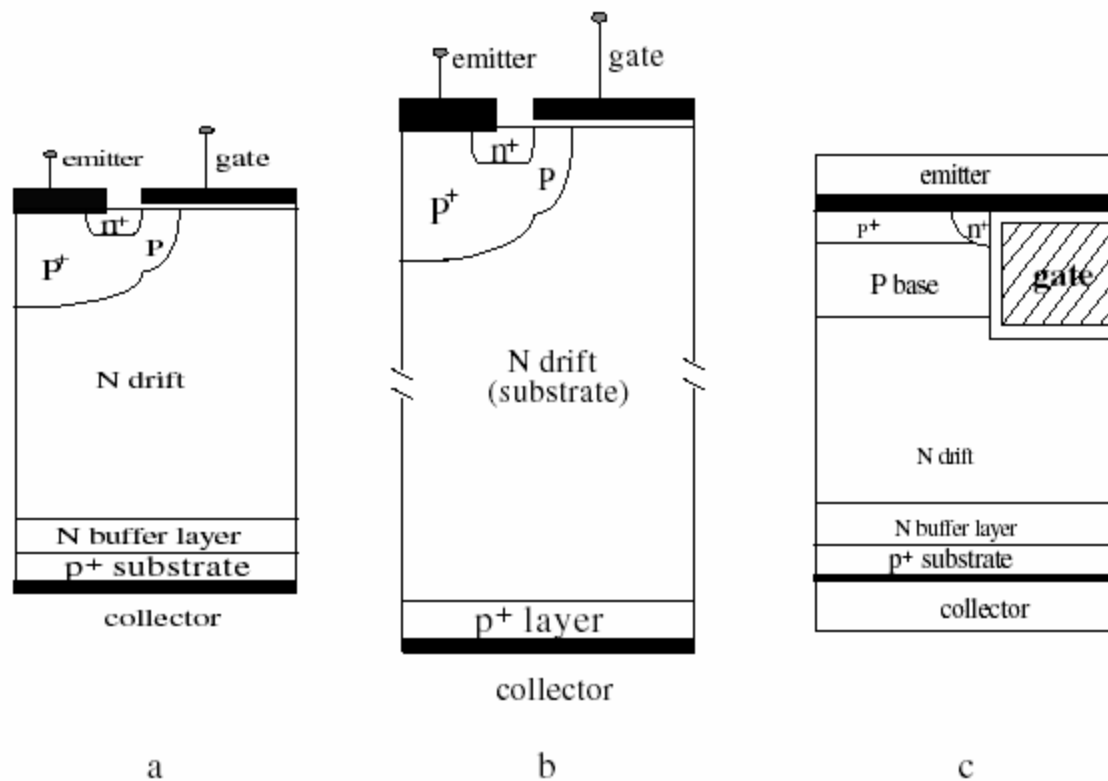


FIGURE 1.90 Output characteristics of the IGBT.



**FIGURE 1.91** (a) PT IGBT structure, (b) NPT IGBT structure, and (c) UMOS gate PT IGBT structure.

- Trên hình vẽ thể hiện loại IGBT kênh N, tất cả những mô tả ở đây, được thể hiện cho kênh N nhưng loại IGBT kênh P cũng được phân tích theo nguyên lý tương tự.
- Cấu tạo của IGBT rất giống với Transistor MOSFET khuếch tán, nó có đặc điểm là có vùng khuếch tán kém, một trong vùng P và một trong vùng N.
- Tiếp giáp phân cực ngược có thể được tạo ra dưới cực cửa bằng cách đưa điện áp tương ứng vào cực cửa giống như đối với MOSFET. Sự khác nhau chính là việc dùng một lớp bán dẫn P<sup>+</sup> cho cực máng kết quả của sự thay đổi này là kiểu transistor lưỡng cực tức là việc phun các lỗ từ vùng bán dẫn P vào vùng bán dẫn N.

□ ***b. Hoạt động chung:***

- IGBT thường được điều khiển ở trạng thái ON/OFF giống như MOSFET bằng cách đặt điện áp lên cực của VG (do vùng tuyến tính nhỏ nên dùng kiểu ON/OFF).
- Nếu điện áp đưa vào cực của so với Emitơ nhỏ hơn điện áp ngưỡng  $V_{th}$  thì không tạo ra được vùng tiếp giáp ngược như MOSFET. Cho nên thiết bị ở trạng thái OFF trong trường hợp này một điện áp phân cực thuận sẽ đặt lên tiếp giáp ngược J2, lúc này chỉ dòng điện rò chảy qua tiếp giáp có trị số rất nhỏ.

- Điện áp đánh thủng theo chiều thuận bằng điện áp đánh thủng của tiếp giáp này, đây là một tham số rất quan trọng. Bởi vì trong thực tế các thiết bị công suất này sử dụng điện áp và dòng điện khá cao, điện áp đánh thủng của tiếp giáp một mặt nó phụ thuộc vào lớp bán dẫn có nồng độ tạp chất nhỏ (N-) gọi là lớp N-.
- Đây là nguyên nhân làm cho lớp tạp chất nồng độ thấp mở rộng ra và do vậy trong vùng nghèo điện tích này sẽ có điện trường cực đại.

□ Trong vùng này mật độ tạp chất của lớp N- phải ít hơn nhiều so với lớp P kế cận, cấu tạo như vậy nó cho phép thiết bị có thể chịu được điện áp đánh thủng lên 600V. Lớp đệm N+ có tác dụng tạo sự khuếch tán dễ dàng qua tiếp giáp J2 cho các hạt dẫn đến collector P của Transitor lưỡng cực. Tạp chất của lớp này sẽ suy giảm rất mạnh hình thành nên điện dung tiếp giáp. Điện dung này phụ thuộc vào điện áp đánh thủng của tiếp giáp J3 là tiếp giáp phân cực ngược khi chịu điện áp ngược, tác dụng của vùng đệm này là để làm mỏng bớt vùng N . Do đó làm cho IGBT khóa (mở) dễ dàng hơn.

- Trạng thái làm việc ON:
- Khi ta đặt lên một điện áp VG lớn hơn điện áp ngưỡng VTH nó sẽ làm cho vùng phân cực ngược ở dưới cực cửa, hình thành lên một kênh liên kết giữa nguồn tới vùng N ( là tiếp giáp J2), các điện tử sẽ được chảy vào từ nguồn vào vùng này ngay thời điểm tiếp xúc J3 được phân cực thuận. Các lỗ trống được chảy vào vùng nghèo điện tích N- ( J2).

□ Sự chảy vào các hạt dẫn này làm thay đổi độ lớn của vùng nghèo điện tích, trong đó cả mật độ điện tử và lỗ trống sẽ lớn hơn mật độ ban đầu trong lớp N<sup>-</sup> , điều này sẽ làm cho IGBT chuyển sang trạng thái ON, bởi vì điện trở của vùng N<sup>-</sup> giảm xuống rất nhanh, một số lỗ trống chảy vào sẽ được kết hợp với điện tử trong vùng N - trở thành những phân tử trung hòa tức thời, rồi tiếp tục khuếch tán đến vùng P (colector).

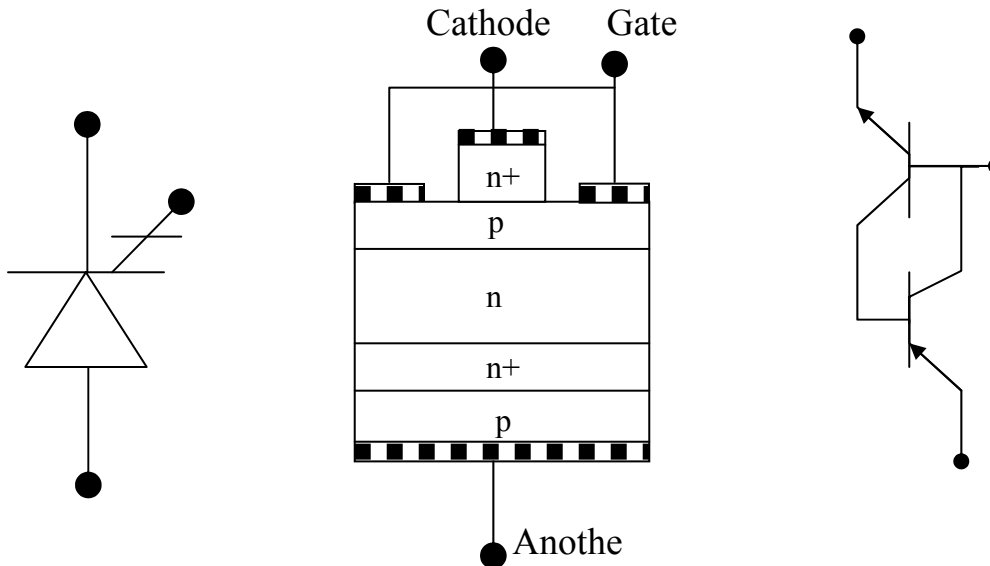


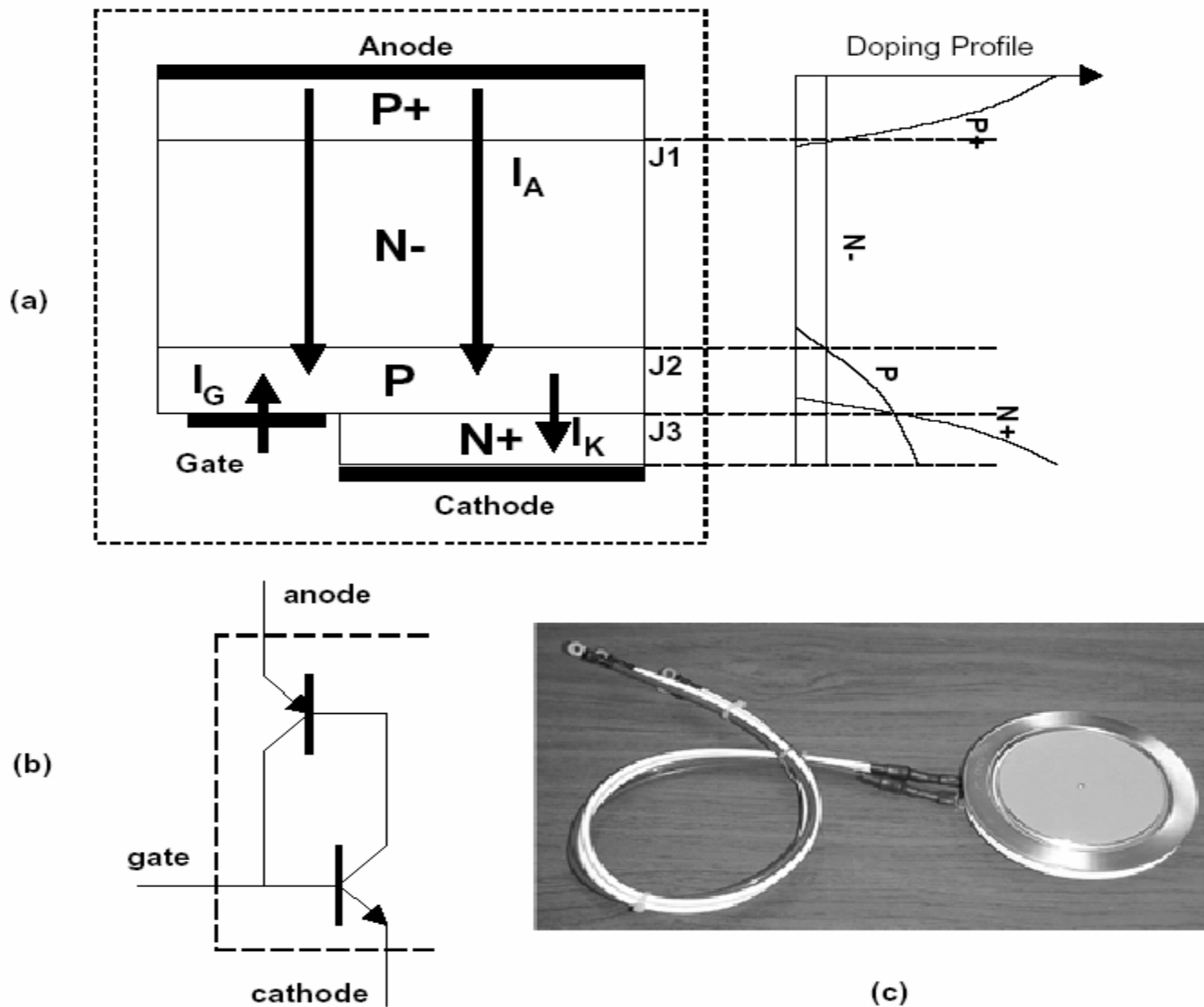
□ Hoạt động của IGBT có thể được mô tả tương tự như Transistor PNP. Trong đó dòng điện bazơ được cung cấp dòng của MOSFET thông qua kênh và mạch tương đương của thiết bị này được mô tả trong hình (a), hình (b) mô tả một mạch tương đương đầy đủ gồm một Transistor NPN nối song song thể hiện được nguồn kiểu MOSFET N+ nguồn P và vùng dẫn N- nó đồng thời thể hiện cả điện trở của lớp P. Nếu dòng điện đi qua điện trở này đủ lớn nó làm giảm điện áp rơi trên tiếp giáp phân cực thuận bởi vùng N+ được kích hoạt, do đó nó có thể được xem như sơ đồ tương đương một Transistor khi cực điều khiển (G) bị mất điện áp, các điện tử trong lớp N+ sẽ không chảy vào lớp P nữa và IGBT chuyển qua trạng thái khóa.

# GTO – Gate Turn-off Thyristor

## Gate Anode

Về cơ bản, GTO cũng giống như Thyristor thông thường, nhưng nó có thêm một bộ phận để khóa (Turn-off) khi đã mở.





**FIGURE 1.75** (a) GTO cell structure and its doping profile; (b) The two-transistor GTO model; (c) a photograph of a 4-in. GTO along with its gate lead.

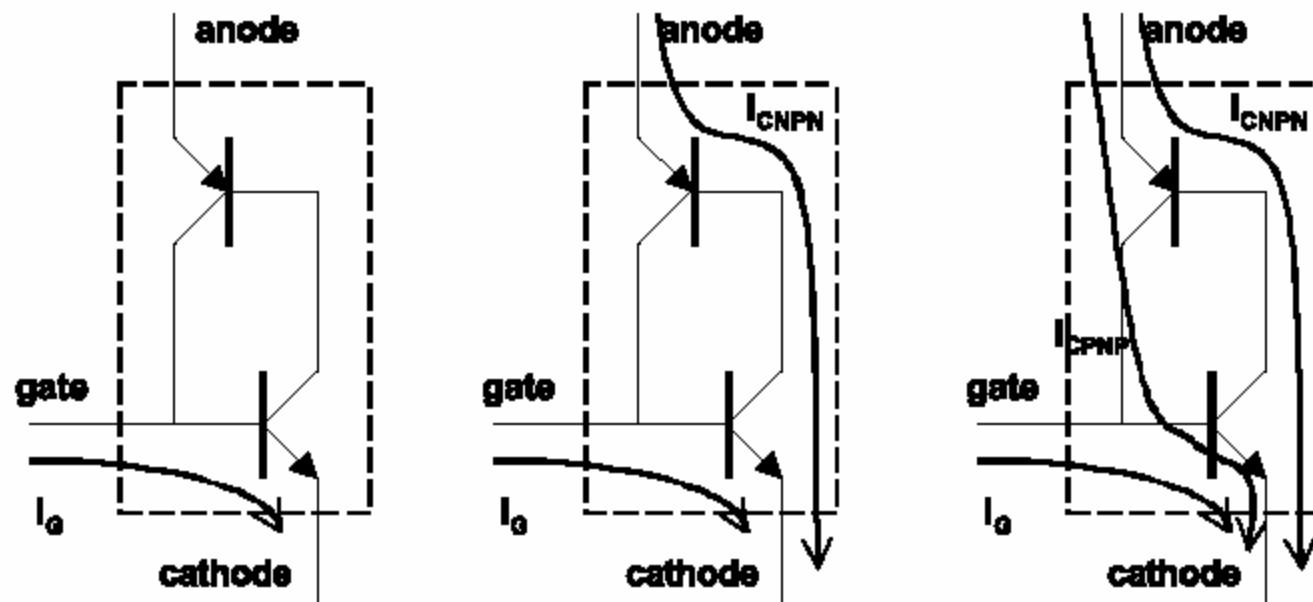


FIGURE 1.76 Turn-on and current-sustaining process in a GTO.

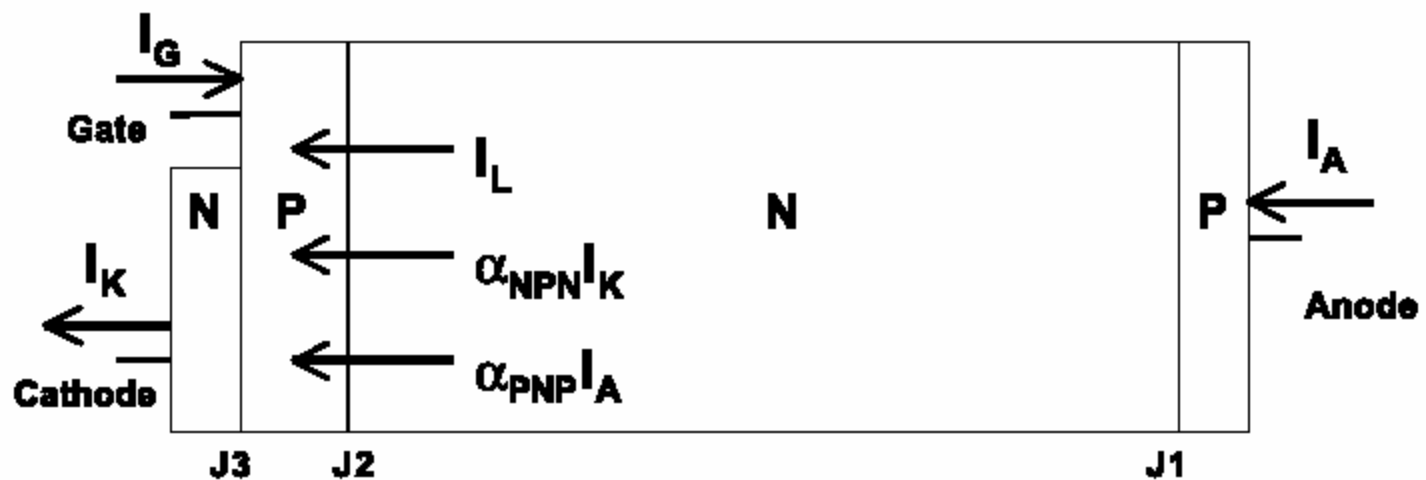
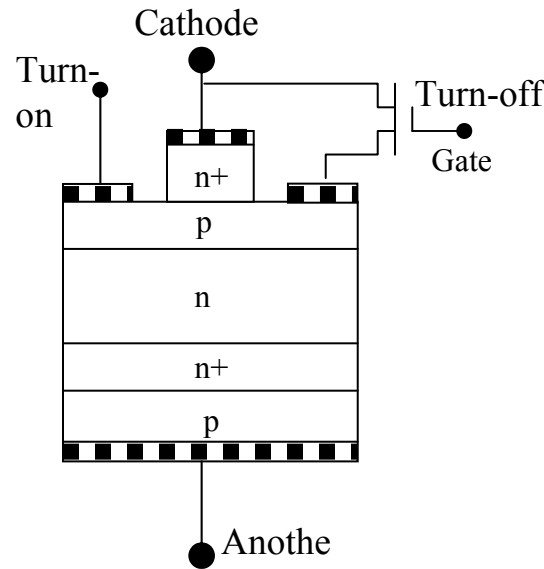


FIGURE 1.77 Current flow in a GTO with gate drive current.

Như sơ đồ cấu tạo và sơ đồ tương đương, để khóa van, người ta cấp một dòng điện ngược vào Transistor npn trên từ cathode, khi đó npn sẽ bị khóa dẫn đến transistor phía dưới cũng bị khóa. Tuy nhiên, đặc điểm loại van này là dòng khóa khá lớn, nếu với van 1000A, cần xung dòng để mở từ 3-5%  $I_{dm}$ , khoảng 30A và kéo dài trong  $10\mu s$ , thì xung dòng khóa phải 30% (300A) và kéo dài 20-50 $\mu s$ , biên độ xung áp khóa từ 10-20V. Mặc dù vậy, năng lượng cần cho quá trình khóa cũng không phải là quá lớn.

## MTO – MOS Turn-off Thyristor

MTO do tập đoàn SPCO chế tạo. Nó kết hợp khéo léo giữa GTO và MOSFET, mục đích là để hạn chế năng lượng phun vào cực điều khiển và hạn chế tốc độ gia tăng dòng điện.

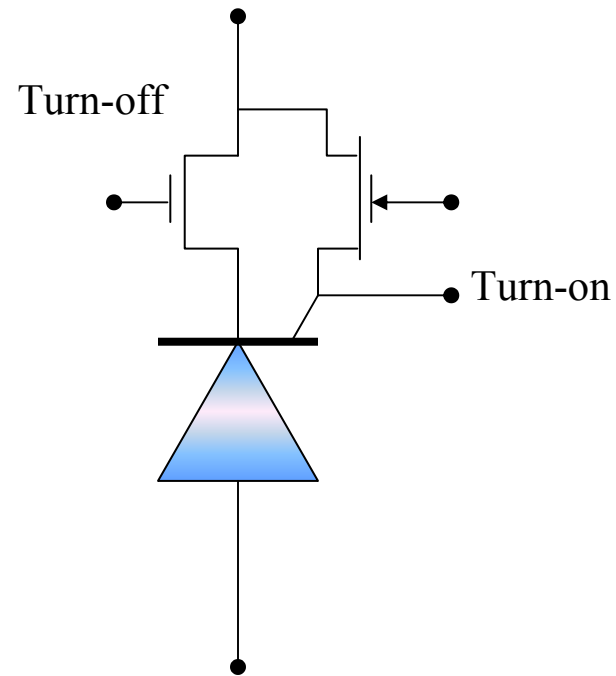
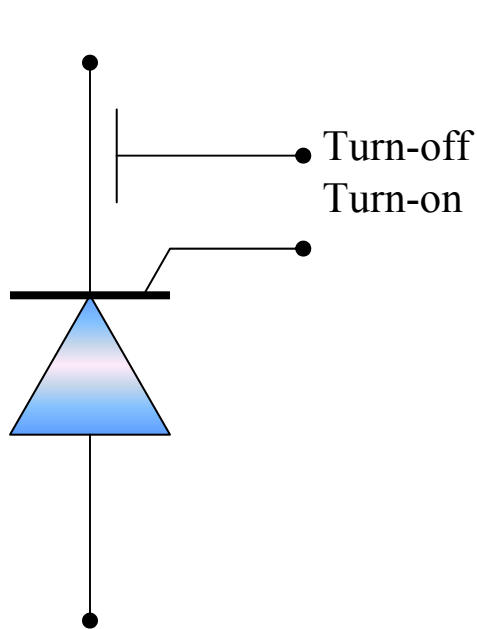


- Nguyên lý cấu tạo như hình vẽ. Cấu trúc MOSFET cho phép tăng dòng điện khóa mà không bị vướng vào cực điều khiển mở. Loại van này có thể chịu đựng điện áp lên đến 10kV và dòng điện đến 4000A.

## ETO – EMITTER TURN-OFF

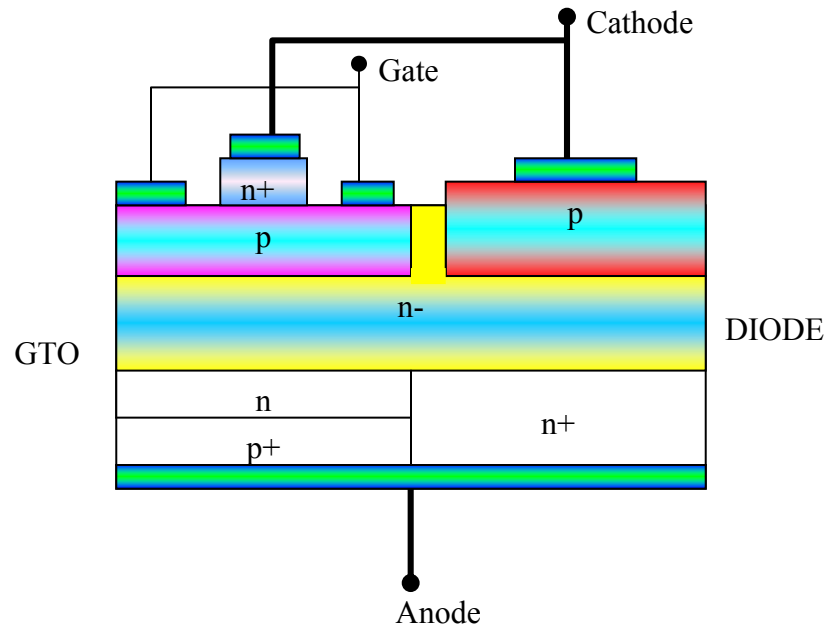
Cũng như MTO, ETO là một dạng biến thể khác của thyristor và transistor, nghĩa là gồm GTO và MOSFET.

**Turn-on Turn-on Turn-off**



# INTERGRATED GATE-COMMUTATED THYRISTOR (GCT VÀ IGCT)

Đây là loại linh kiện có tốc độ chuyển mạch nhanh và dòng xung lớn, như dòng làm việc. linh kiện này có thể đẩy tất cả dòng từ cathode đến cực cửa trong  $1 \mu\text{s}$  để khóa hoàn toàn van. Cấu tạo nguyên lí như hình vẽ. IGCT có khác một chút là có nhiều lớp mạch in của cực cửa hơn. Cả hai loại đều có diode ngược. Cấu trúc này cho phép tốc độ tăng dòng cửa đến  $4\text{kA}/\mu\text{s}$  với điện áp K-G là  $20\text{V}$ . Trong  $1 \mu\text{s}$  transistor phía trên của GTO tắt và pnp phía dưới sẽ tắt vì chân B hở.





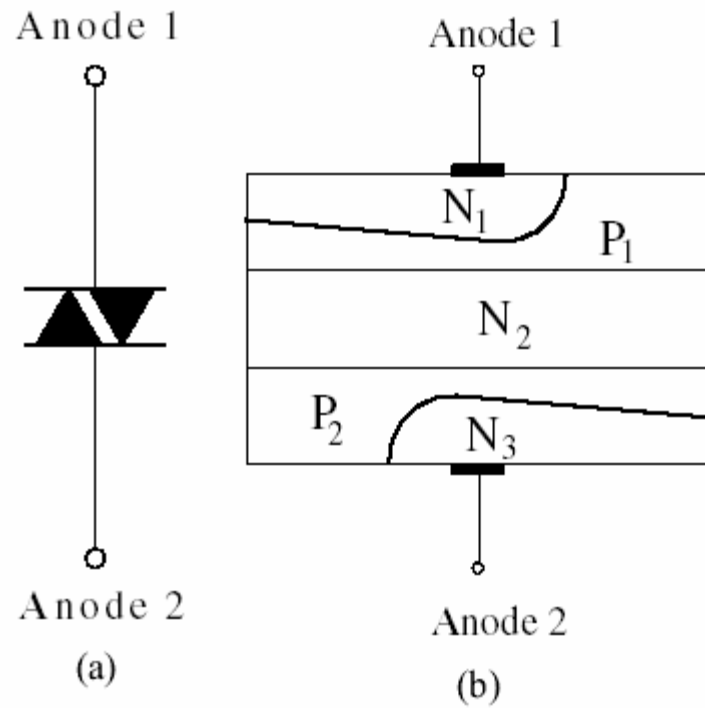
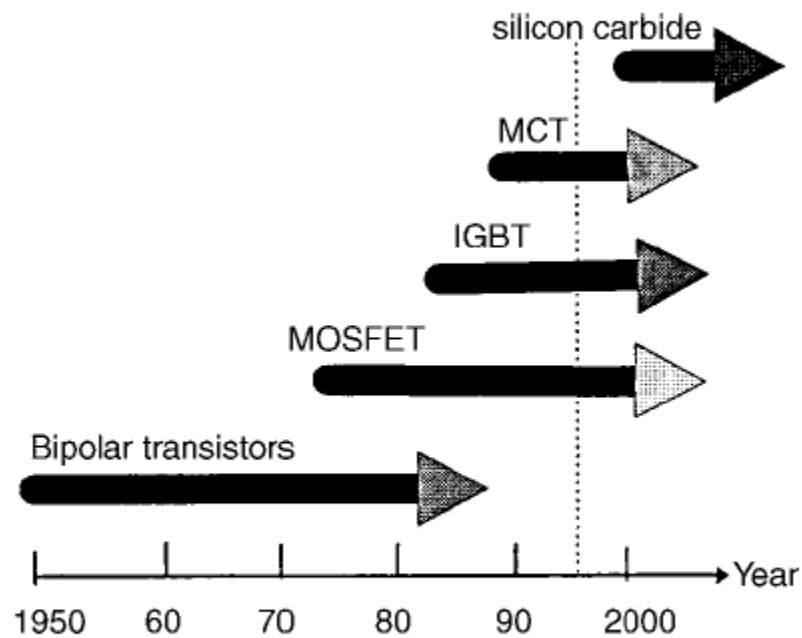


FIGURE 1.24 (a) The DIAC symbol; (b) the DIAC structure.

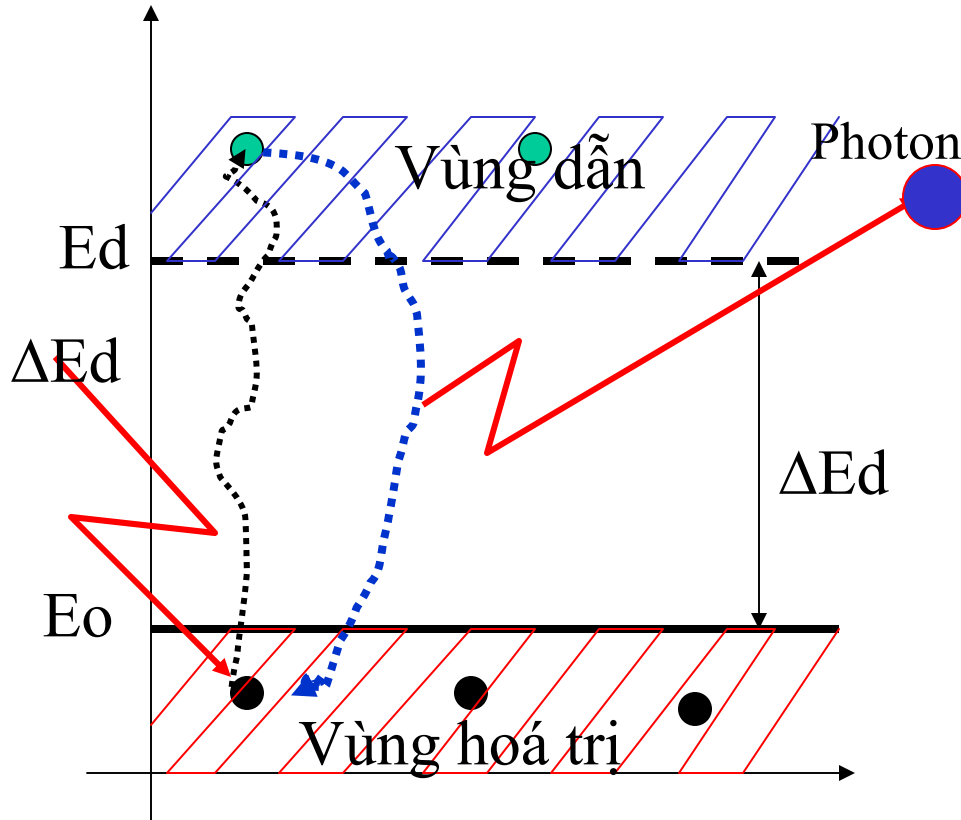


**FIGURE 1.8** Current and future power semiconductor devices development direction. (From Huang, A.Q., Recent developments of power semiconductor devices, *VPEC Seminar Proceedings*, pp. 1–9. With permission.)

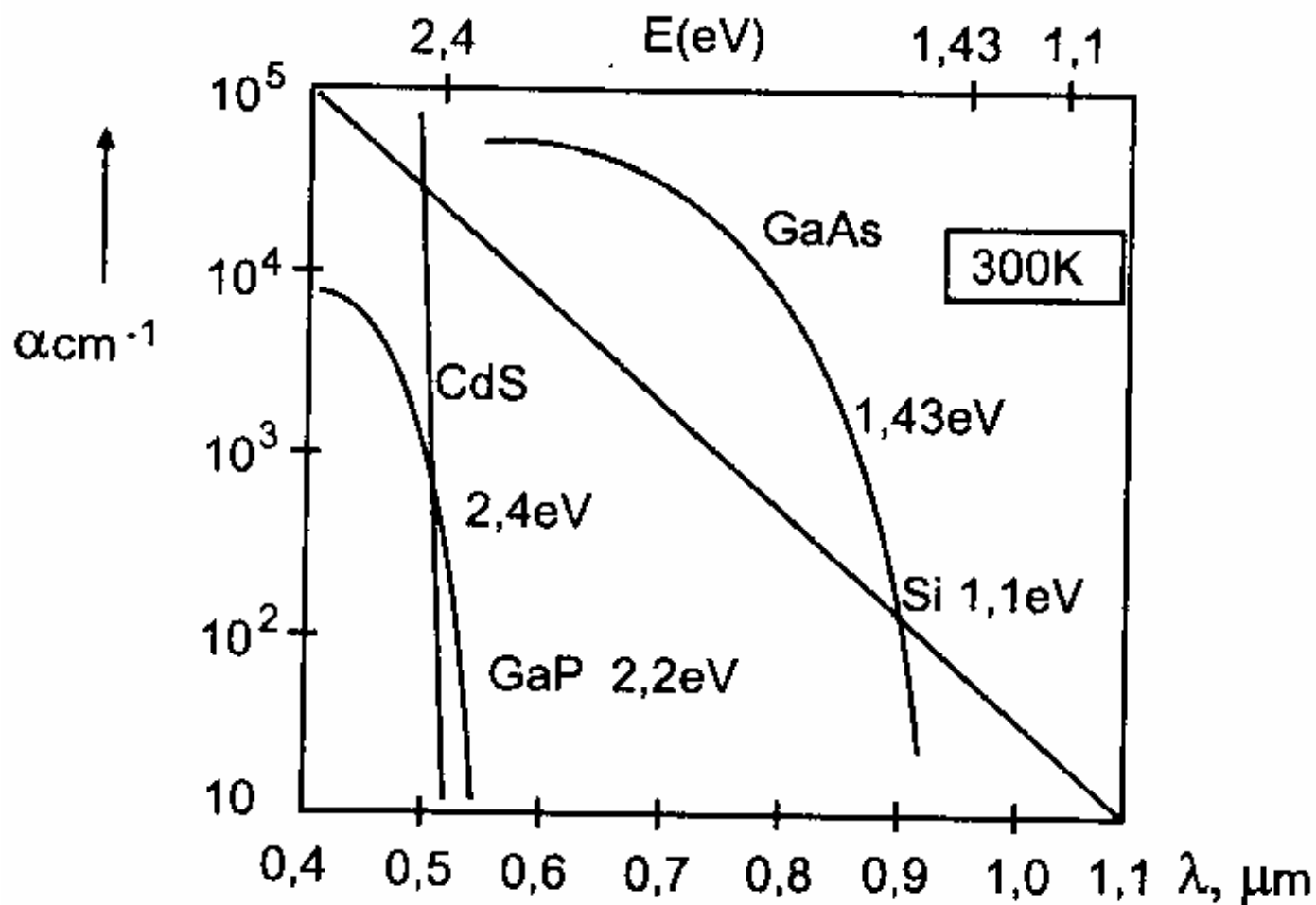
# Linh kiện quang điện tử

- Linh kiện phát quang: dựa trên nguyên lí: hạt dẫn khi có điện trường kích thích sẽ đẩy điện tử lên mức cao với thời gian sống ngắn, khi quay trở về mức cũ, điện tử sẽ trả ra năng lượng đã kích thích dưới dạng photon.
- Linh kiện thu quang: dựa trên nguyên lí: hạt dẫn khi có ánh sáng chiếu vào sẽ tạo ra điện tích khuếch tán, do đó sẽ làm thay đổi điện trở bán dẫn hoặc tạo điện áp hai đầu tiếp giáp p-n.
- Màu sắc phụ thuộc vào bản chất nguyên tử tạp chất
- Các linh kiện phát: LED(Light Emitter Diode). LCD(Liquid Crystal Display)
- Các linh kiện thu: photodiode, phototranzitor
- Linh kiện phối hợp: optocoupler

## Linh kiện phát quang – photoemettor

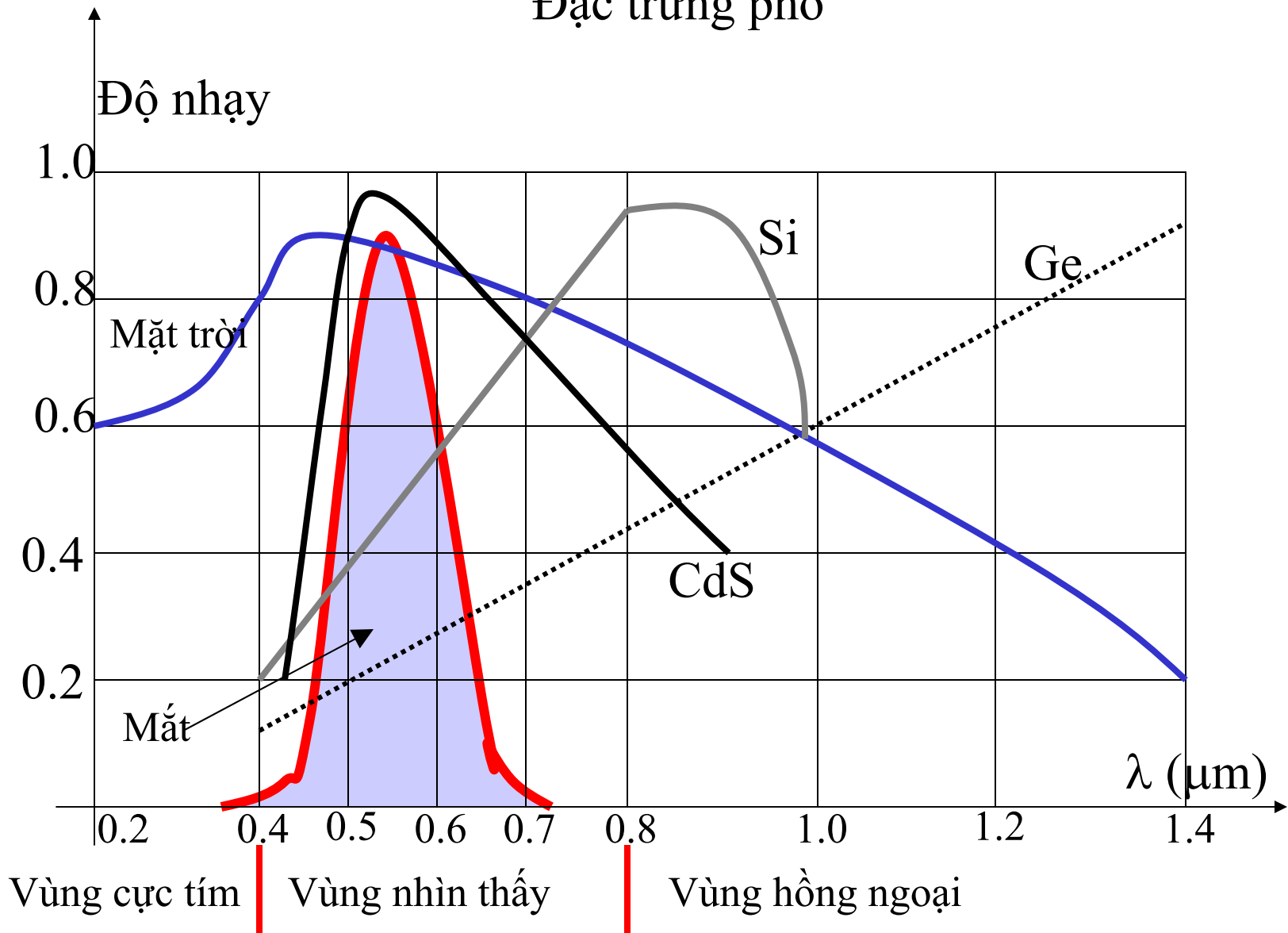


- Hiện tượng này xảy ra với một số loại nguyên tử dễ bị quang kích thích ở điều kiện thường. Nhất là kim loại kiềm. Vật liệu bán dẫn khó hơn nên cần phải dùng liên kết p-n yếu.



**Hình 7.3.** Hệ số hấp thụ tia sáng của một số vật liệu.

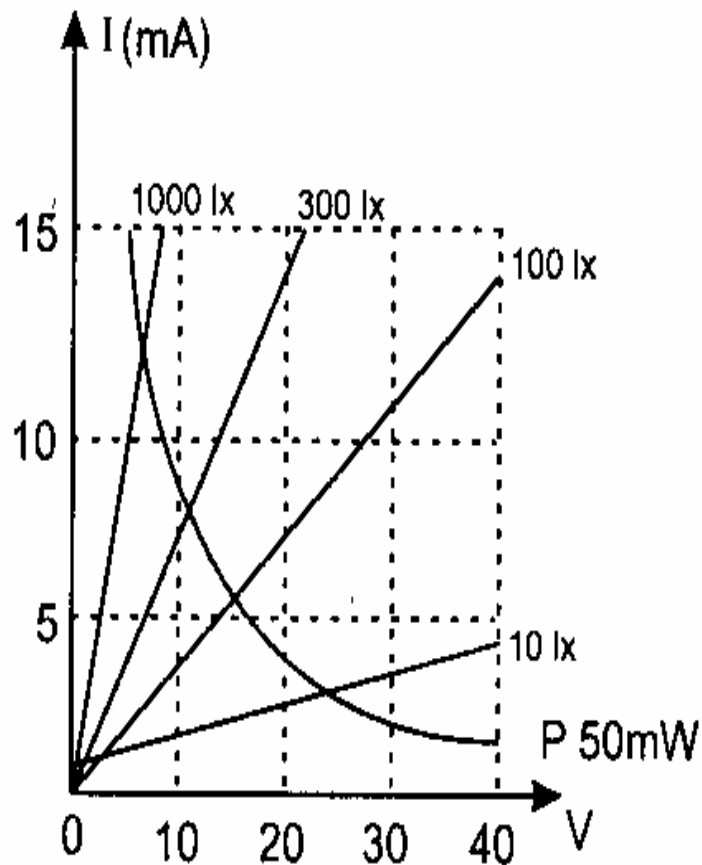
# Đặc trưng phổ



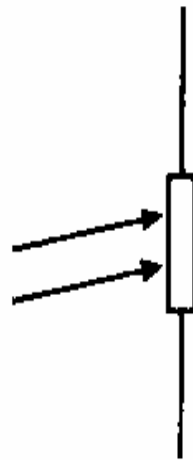
- Một loại vật liệu bán dẫn chỉ có thể hấp thụ hoặc phát xạ một số tia sáng xác định, được gọi là đặc trưng phổ.

# Sự hấp thụ quang học

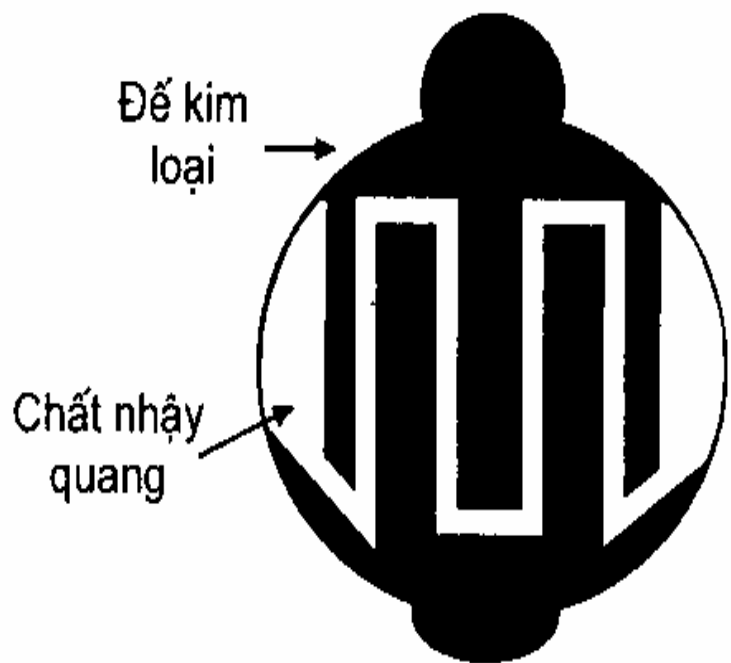
- Gọi thông lượng  $P_i(E)$ , năng lượng  $E$ , hệ số phản xạ  $R(E)$
- $P_t(E) = P_i(E) [1-R(E)]$
- Hệ số hấp thụ  $a$  của vật liệu bán dẫn  $a = (1/dx) [dP(E)/P(E)]$
- Do đó:  $P(E,x) = P_t(E) \exp(-ax)$
- $P(E,x) = P_i(E) [1-R(E)] \exp(-a(E)x)$
- Hệ số phản xạ  $R(E)$  phụ thuộc vào bản chất bán dẫn và điều kiện bề mặt, giá trị của nó chủ yếu phụ thuộc góc đến của tia tới, sự phản xạ nhỏ nhất khi tia tới vuông góc bề mặt bán dẫn.
- $R(E) = [(n-1)^2 + (ga/4\pi)^2] / [(n+1)^2 + (ga/4\pi)^2]$
- với  $n = n_2/n_1$ ;  $n_1$  là chiết suất không khí,  $n_2$  là chiết suất chất bán dẫn.  $a$  là hệ số hấp thụ,  $g$  là bước sóng tia tới.



a) Đặc trưng I(V)



b) Ký hiệu

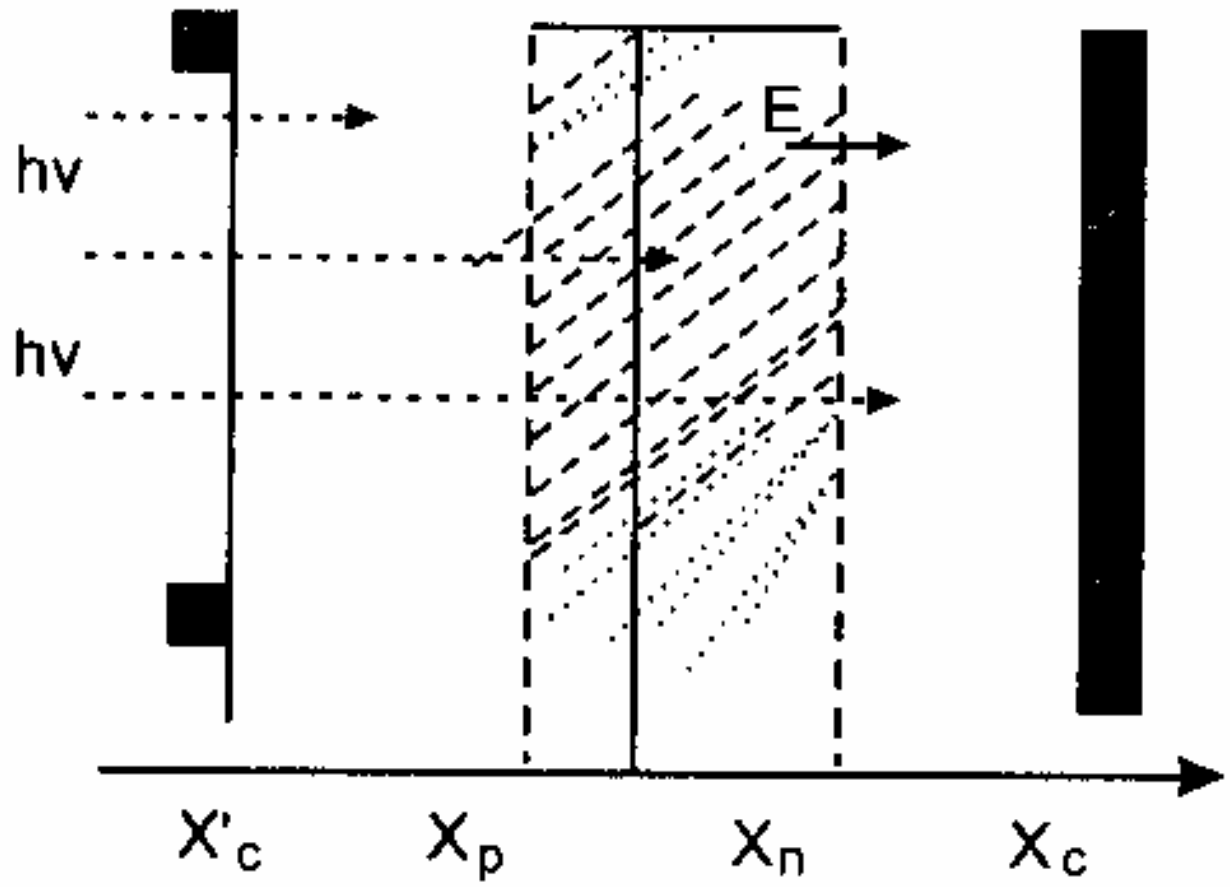


c) Cấu tạo

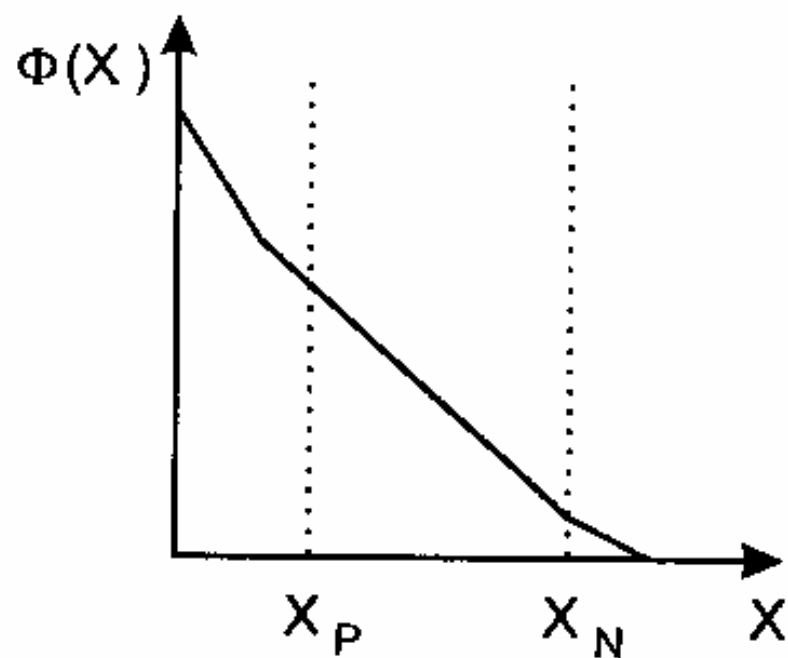
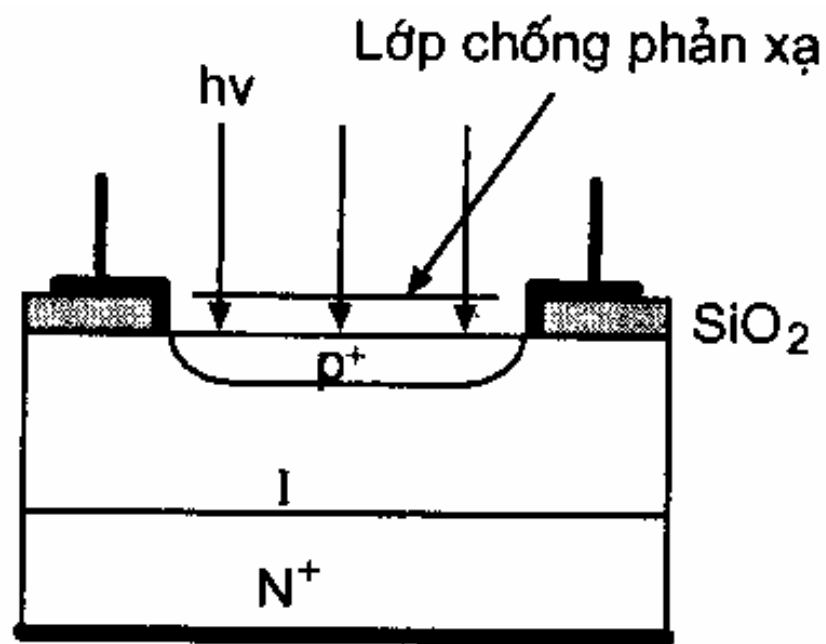
Hình 7.5. Các đặc trưng của một quang dẫn.



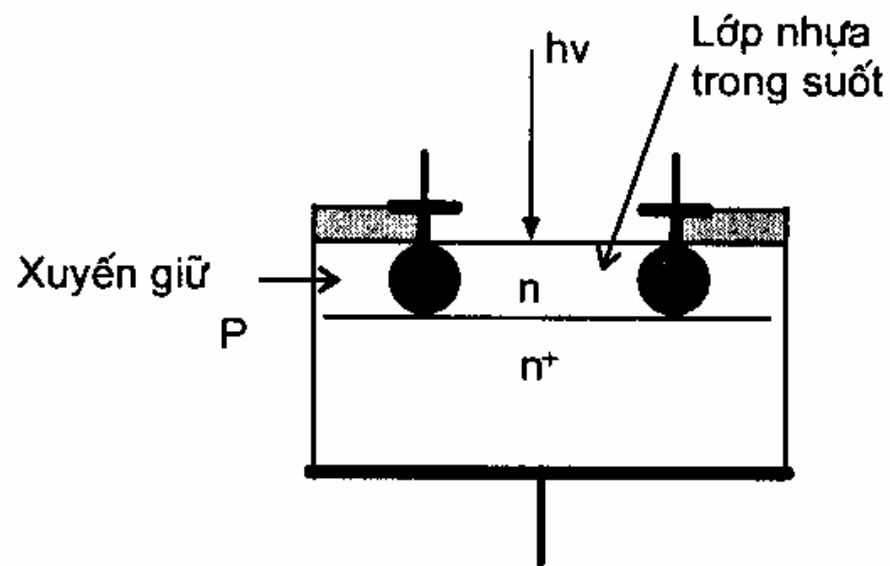
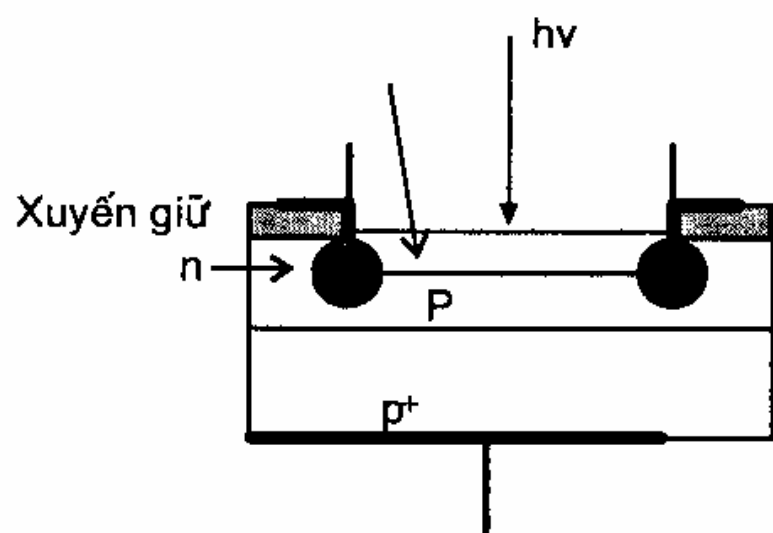
Tiếp xúc ohmic      Vùng DTKG      Tiếp xúc ohmic



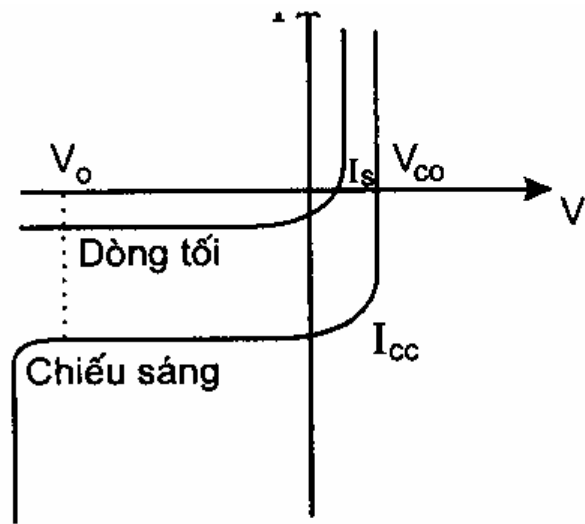
*Hình 7.6. Sự phát sinh hạt tải trong photô - điốt.*



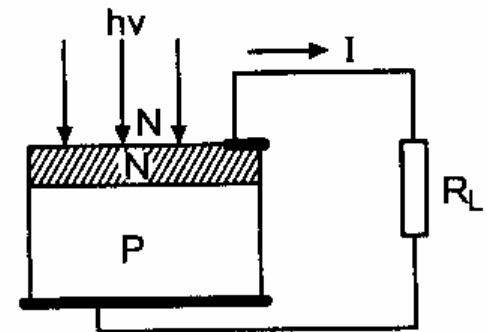
Hình 7.7. Cấu tạo của photodiốt PIN.



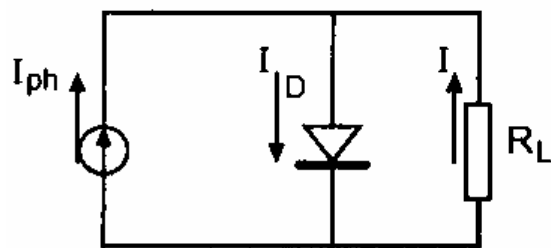
*Hình 7.8. Cấu tạo của photô diốt thác lũ.*



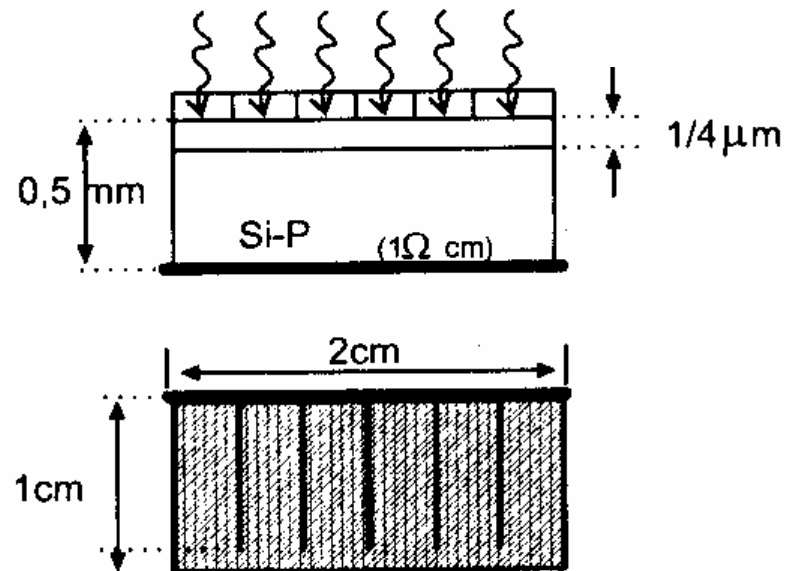
a) Đặc trưng I(V)



b) Cách nối pin mặt trời với tải.

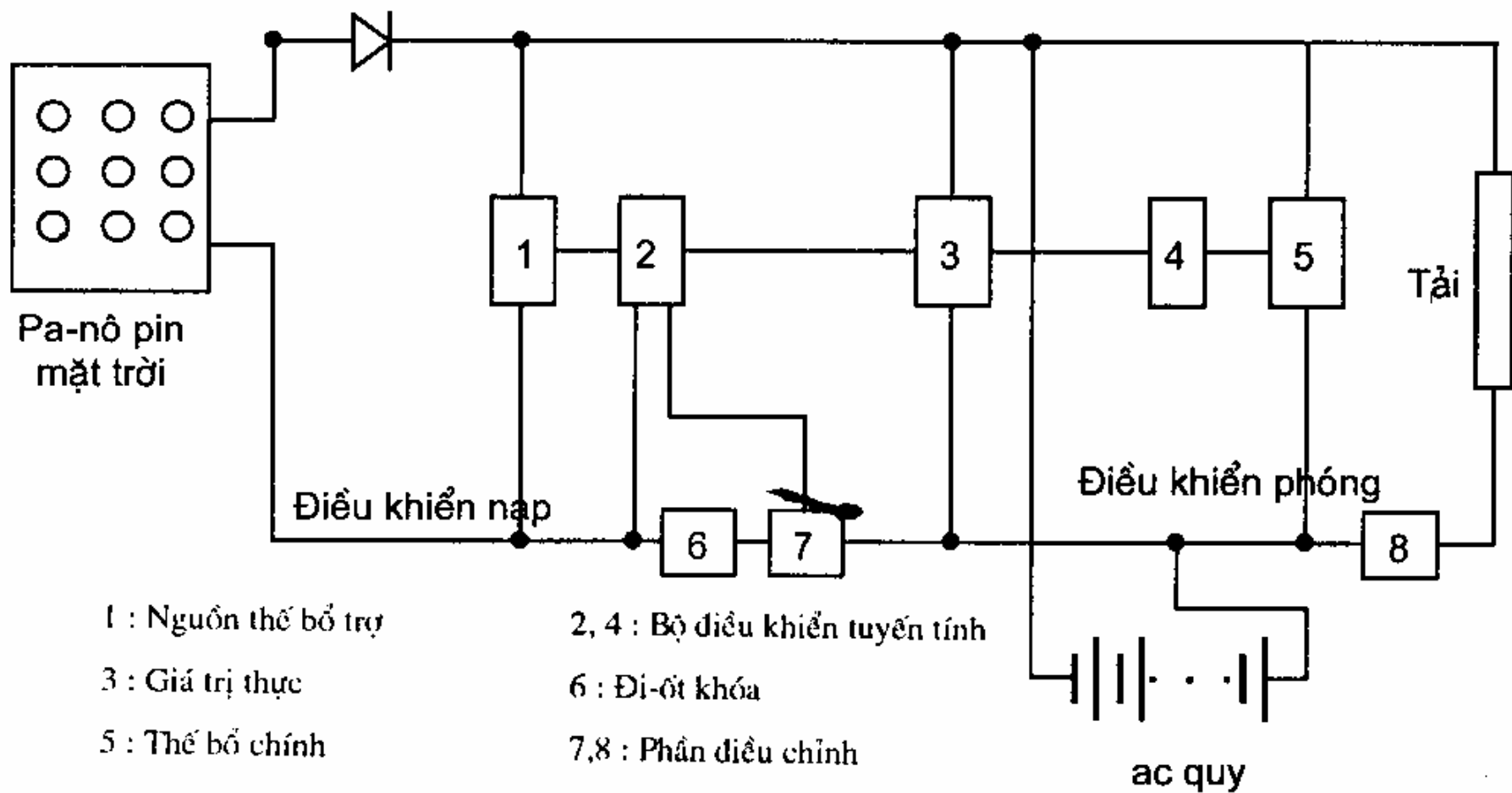


c) Sơ đồ tương đương

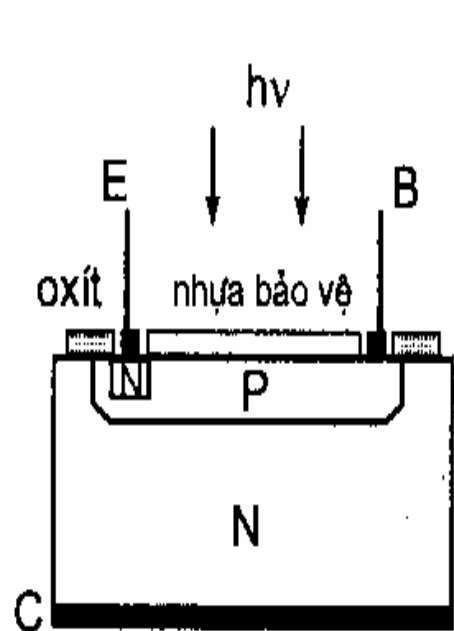


d) Cấu tạo nhìn từ trên xuống

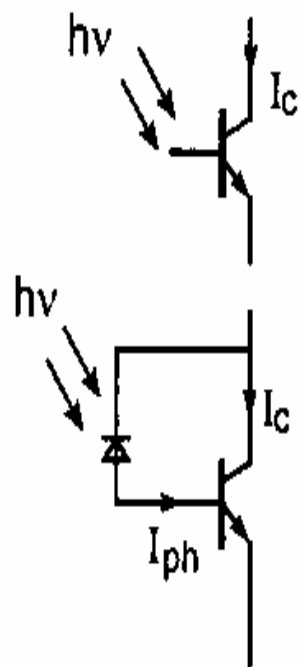
Hình 7.9. Đặc trưng và cấu tạo của pin mặt trời.



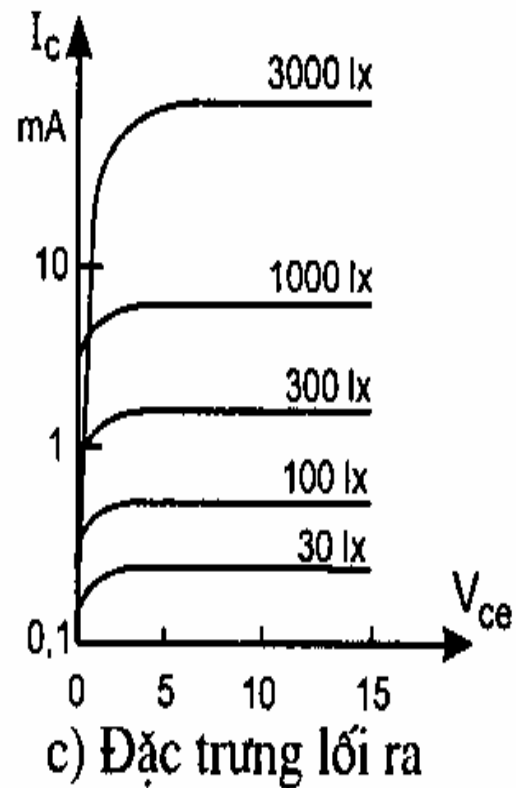
Hình 7.11. Sơ đồ điều khiển nạp và phóng điện của một trạm pin mặt trời.



a) Cấu tạo

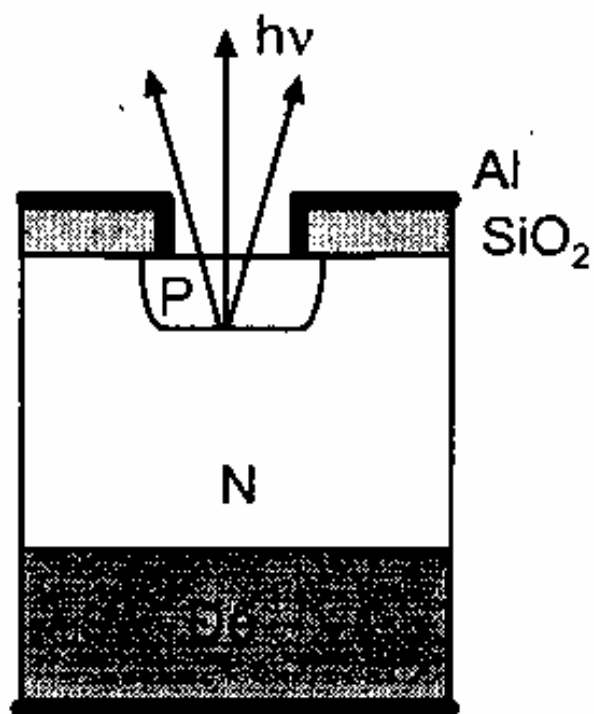


b) Ký hiệu

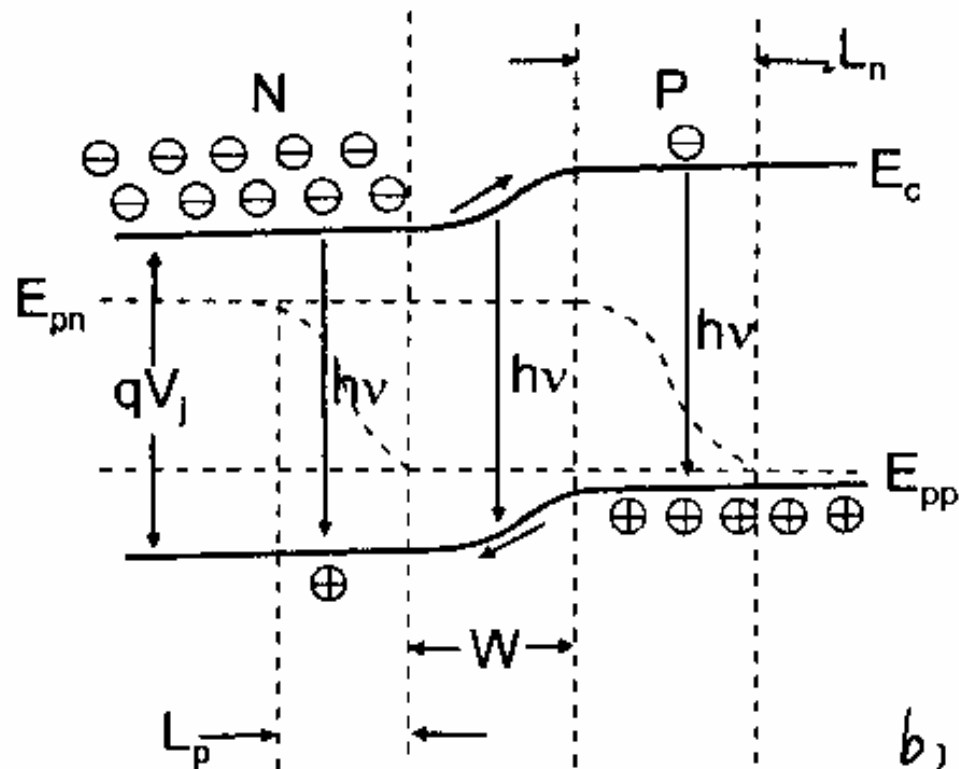


c) Đặc trưng lối ra

Hình 7.12. Cấu tạo và đặc trưng lối ra của phôtô tranzito.

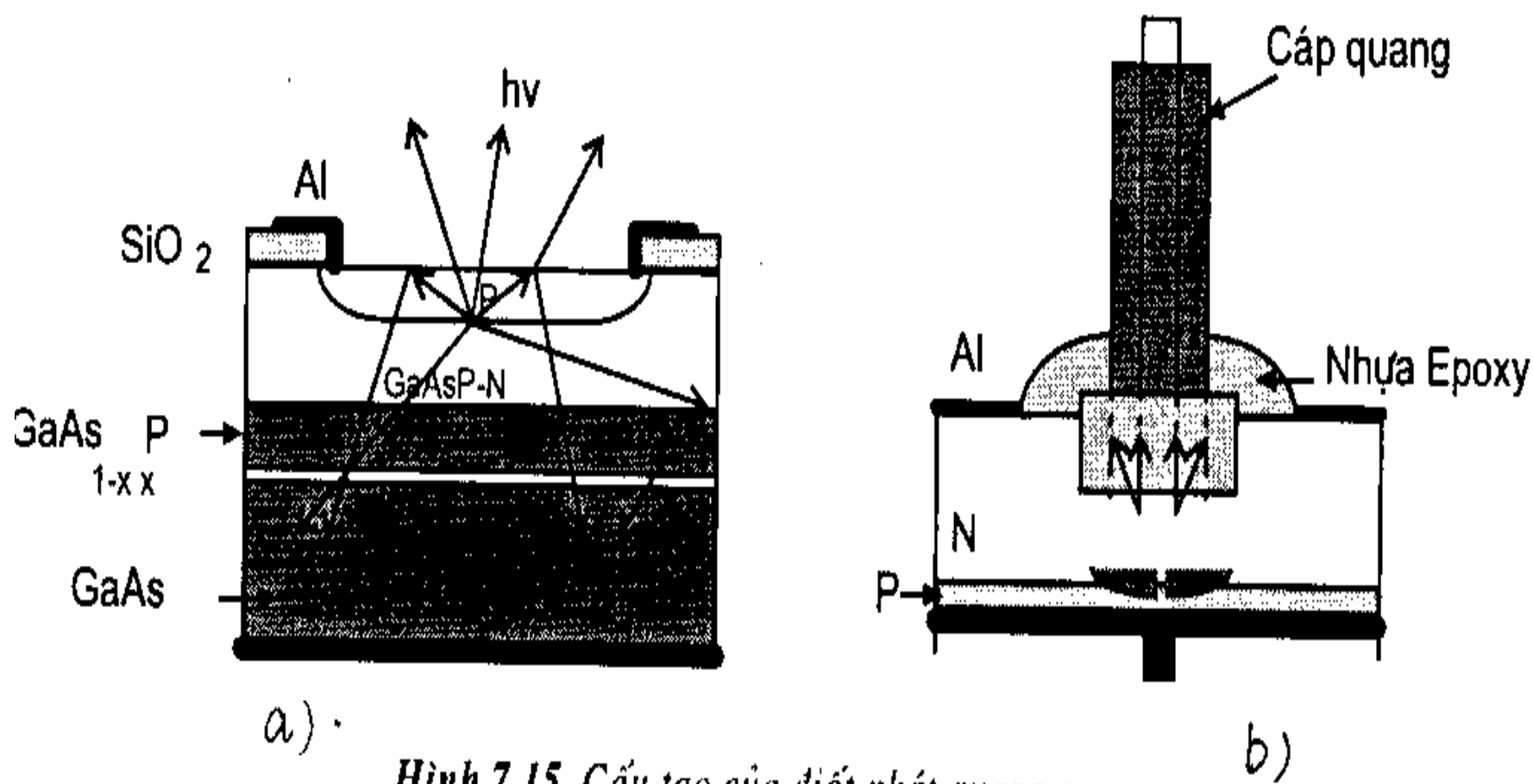


a)



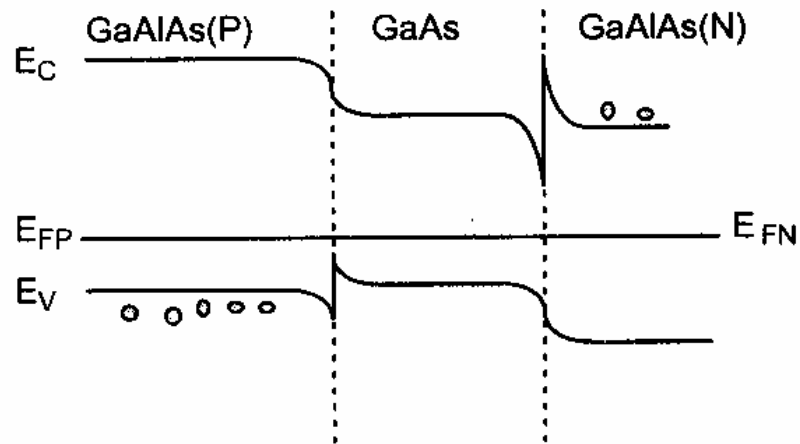
b)

Hình 7.14. Cấu tạo và sự tái hợp trong LED.  
a) cấu tạo; b) sự phát xạ photon

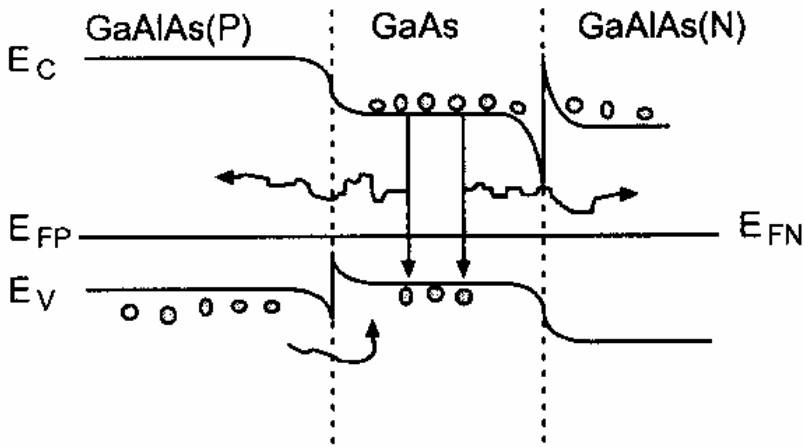


Hình 7.15. Cấu tạo của diốt phát quang :  
 a) Cấu tạo của diốt phát quang ; b) Diốt phát quang ghép nối với sợi quang.

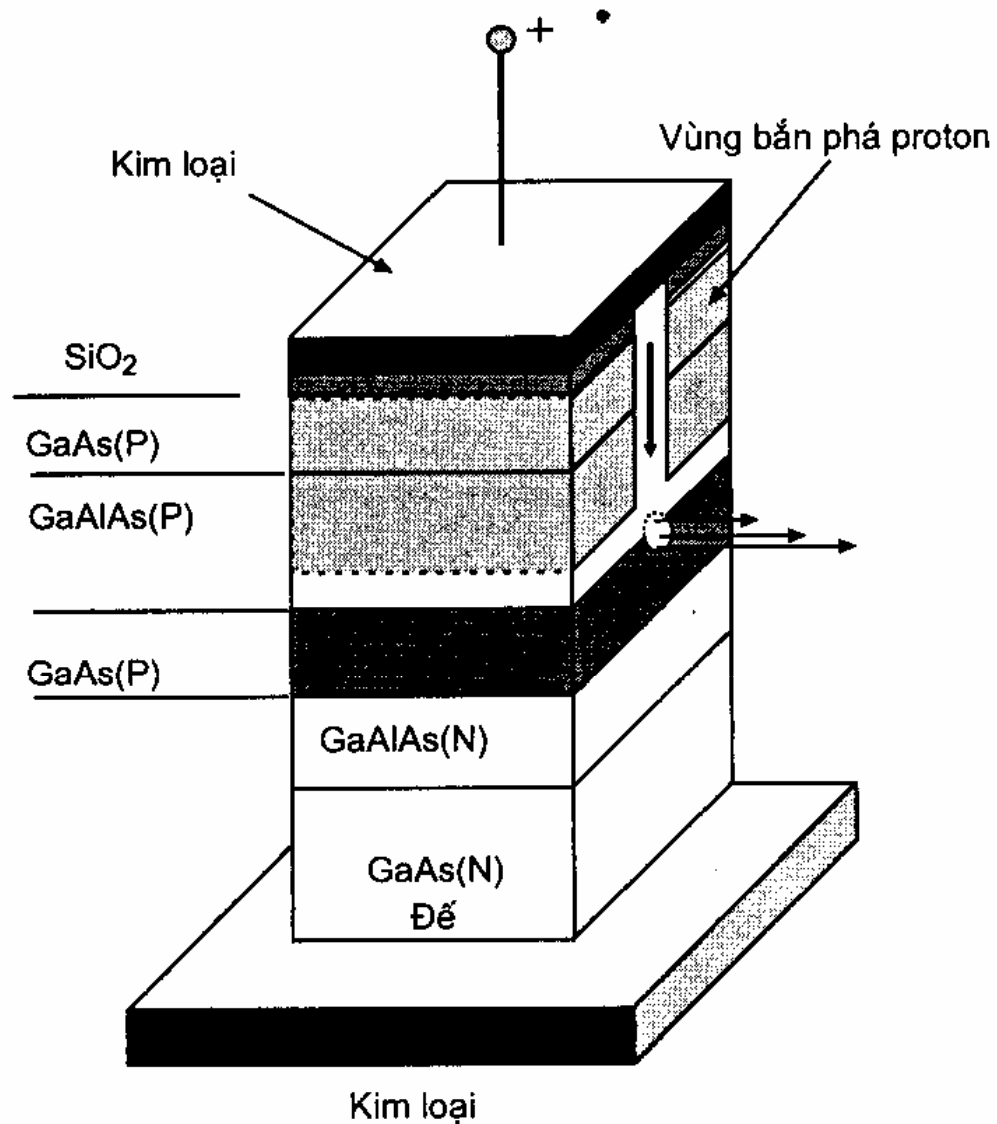




b) Diốt chưa phân cực

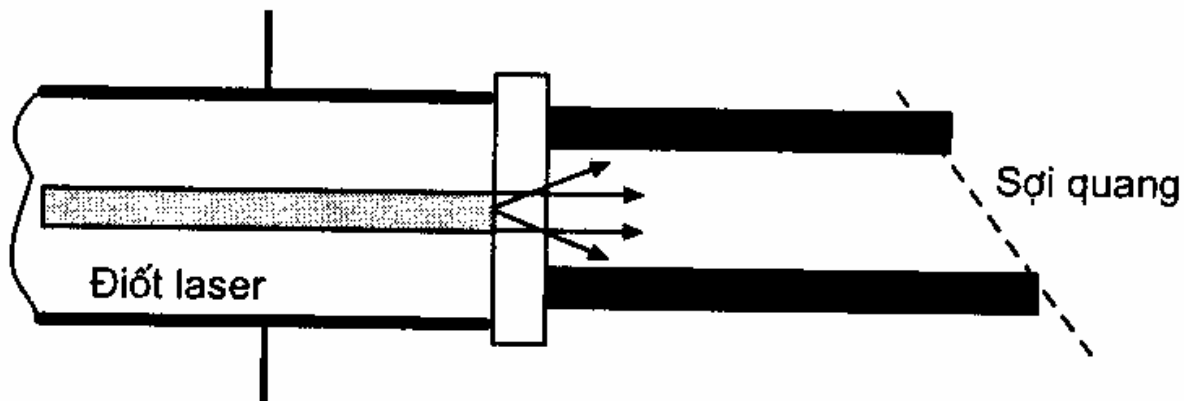


c) Diốt laser phân cực

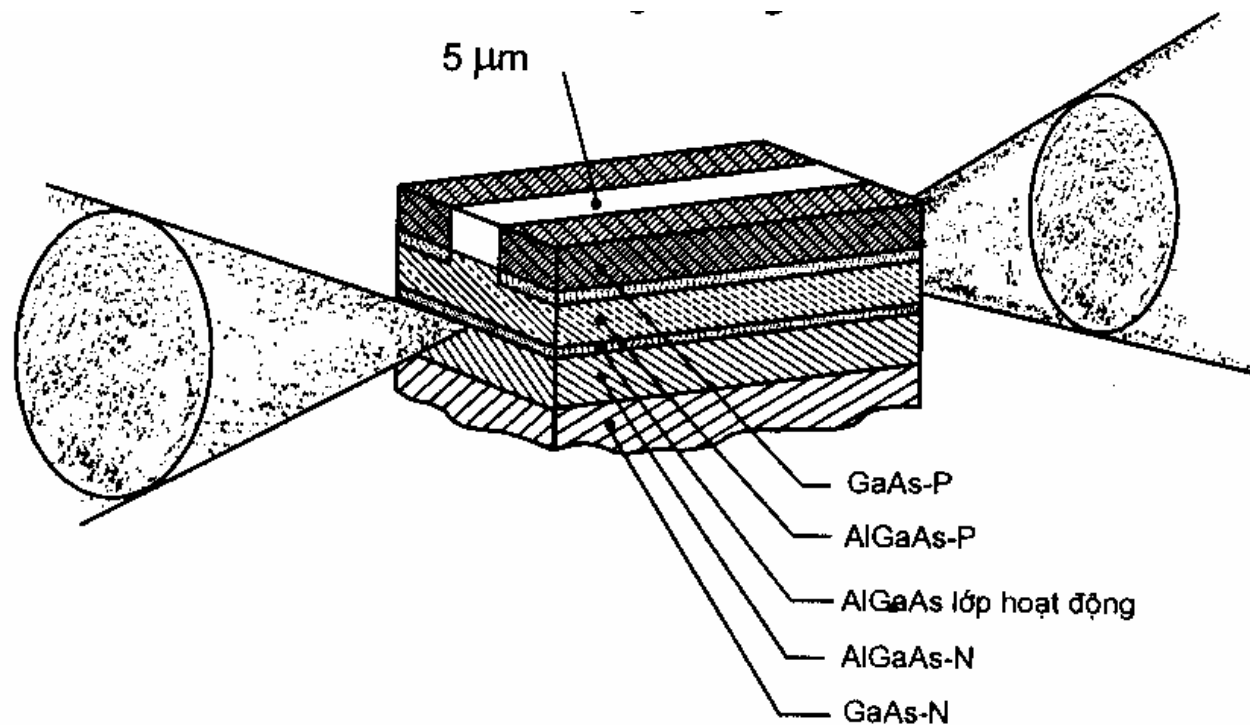


a) Cấu tạo

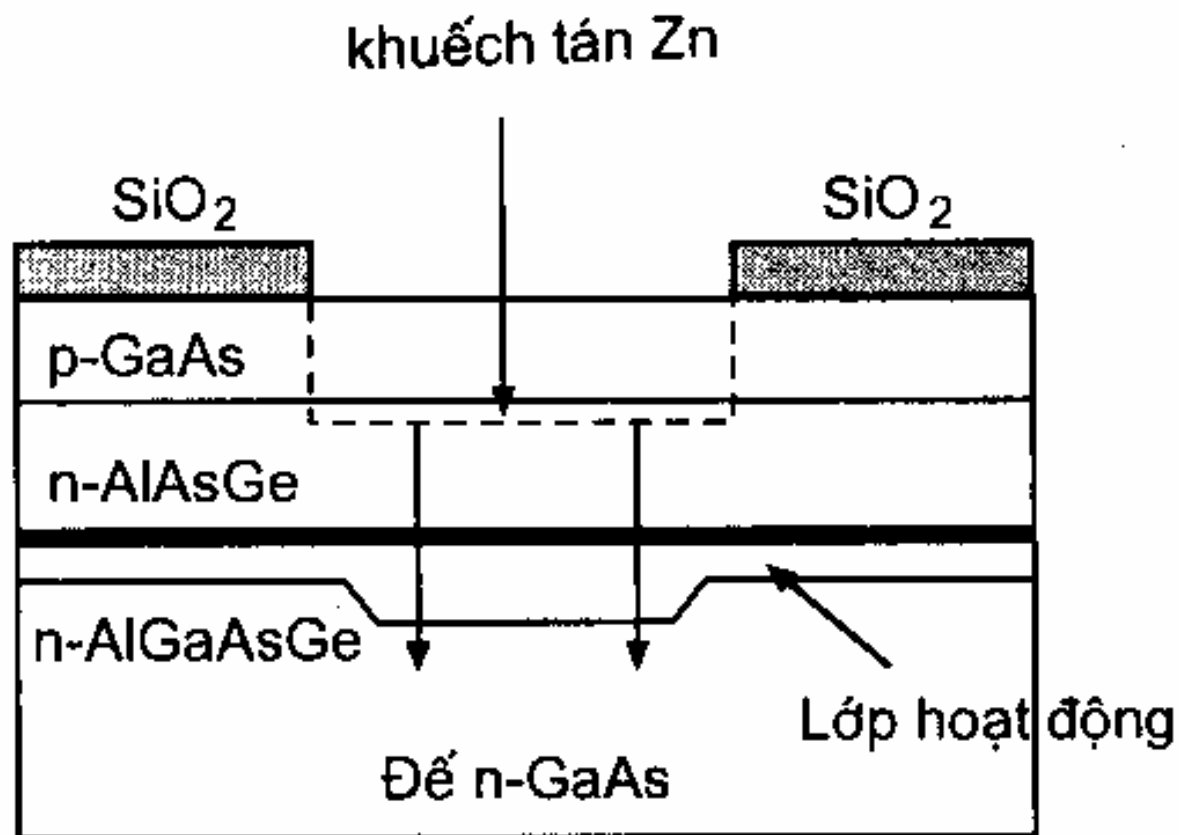
Hình 7.19. Cấu trúc và giản đồ năng lượng của diốt laser DH.



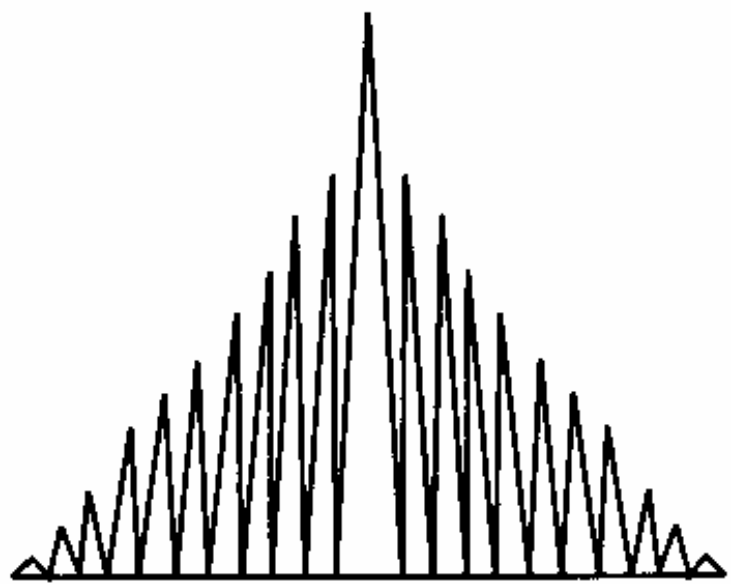
Hình 7.20. Ghép nối điốt laser với sợi quang.



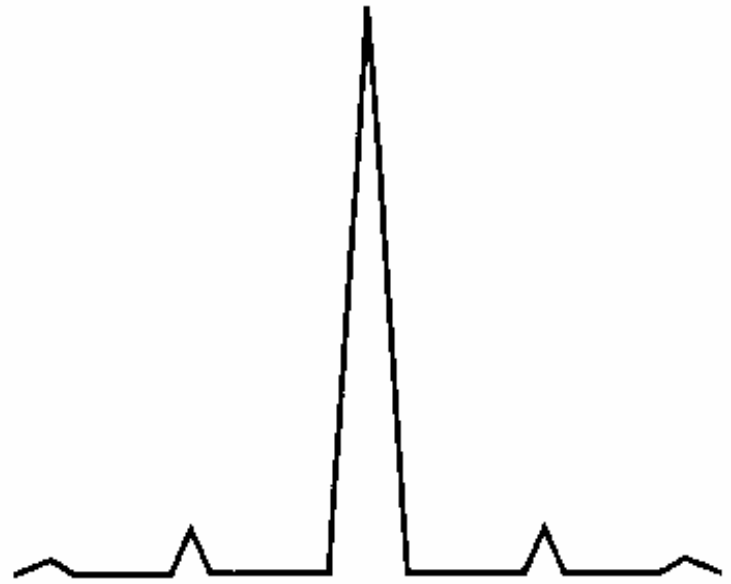
Hình 7.21. Cấu tạo của laser đa một trong các bước sóng từ 820 đến 880nm.



*Hình 7.22. Cấu trúc cắt ngang của laser lưóng sóng nhờ chiết suất với bước sóng 780 nm.*

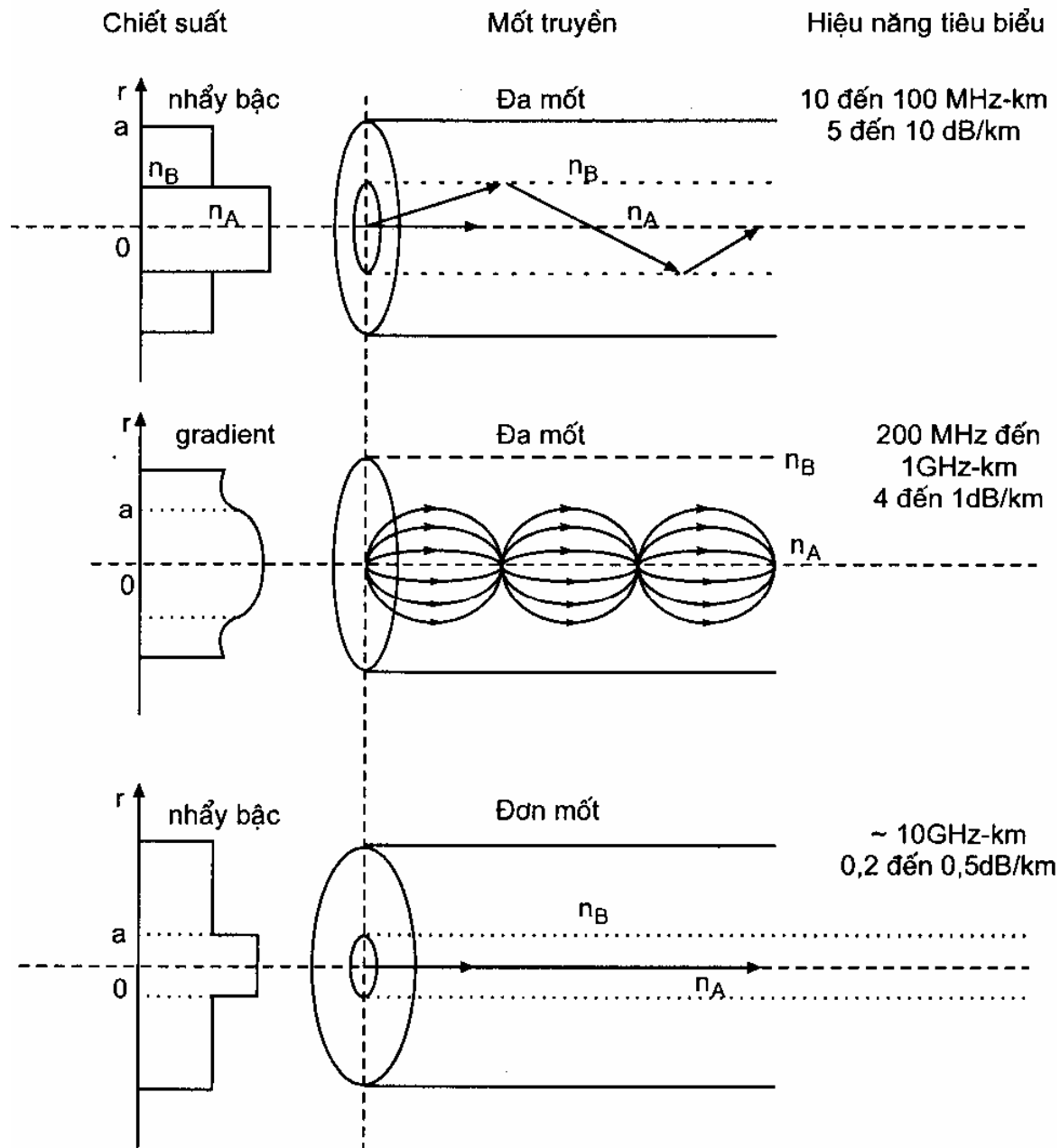


a)

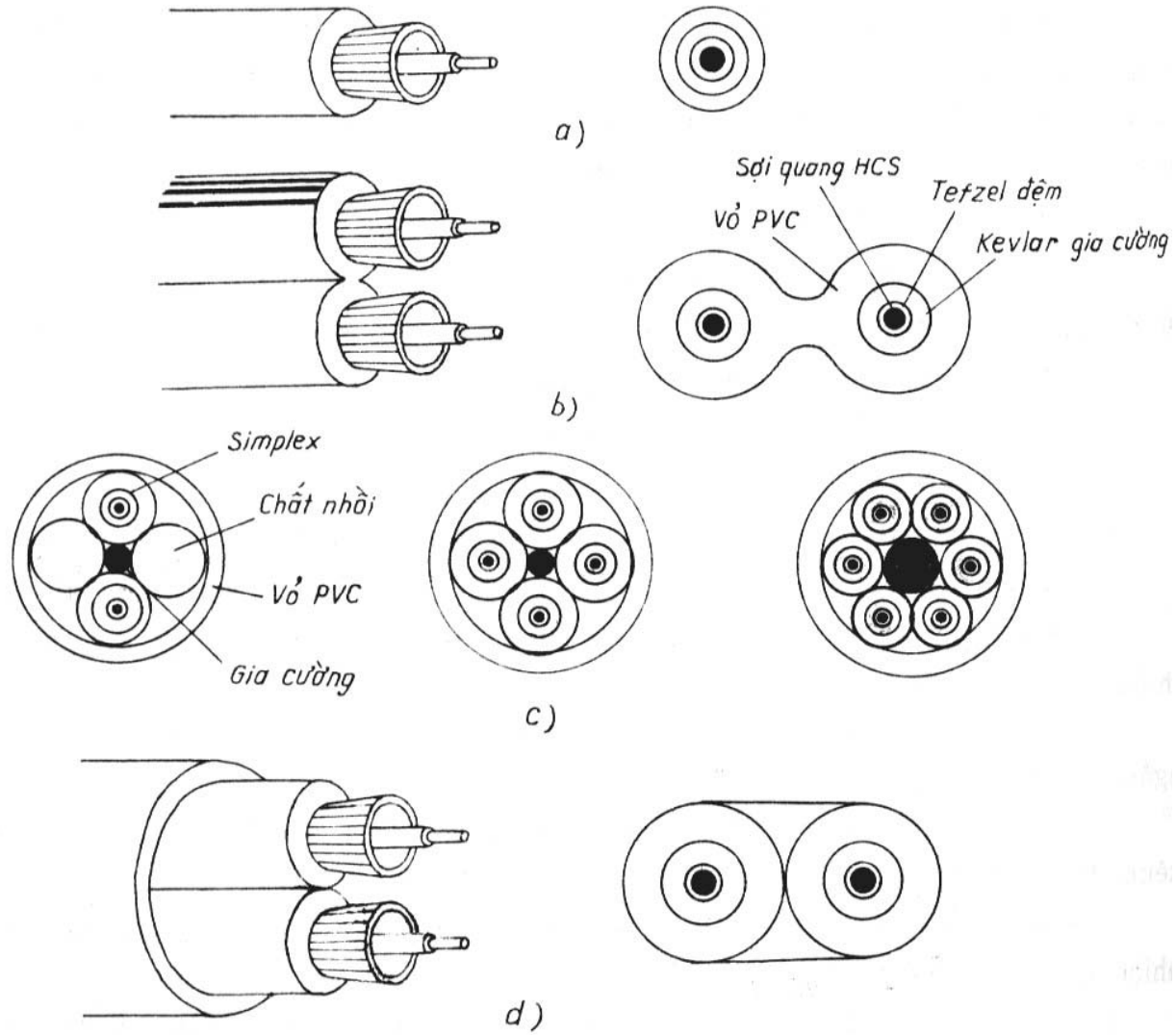


b)

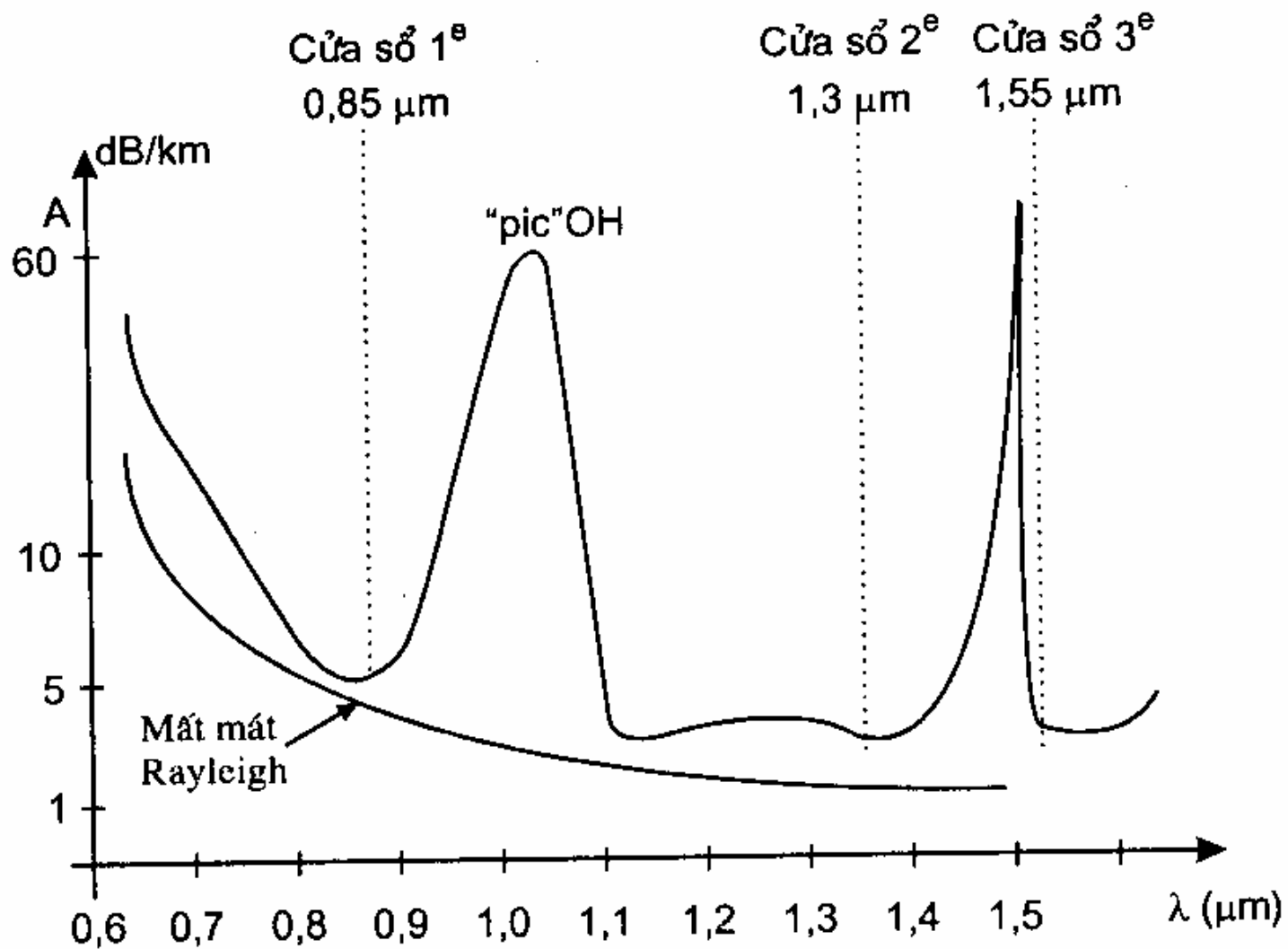
Hình 7.23. Phổ phát xạ của các laser 0,8  $\mu\text{m}$ .  
a) Đa mốt; b) Đơn mốt



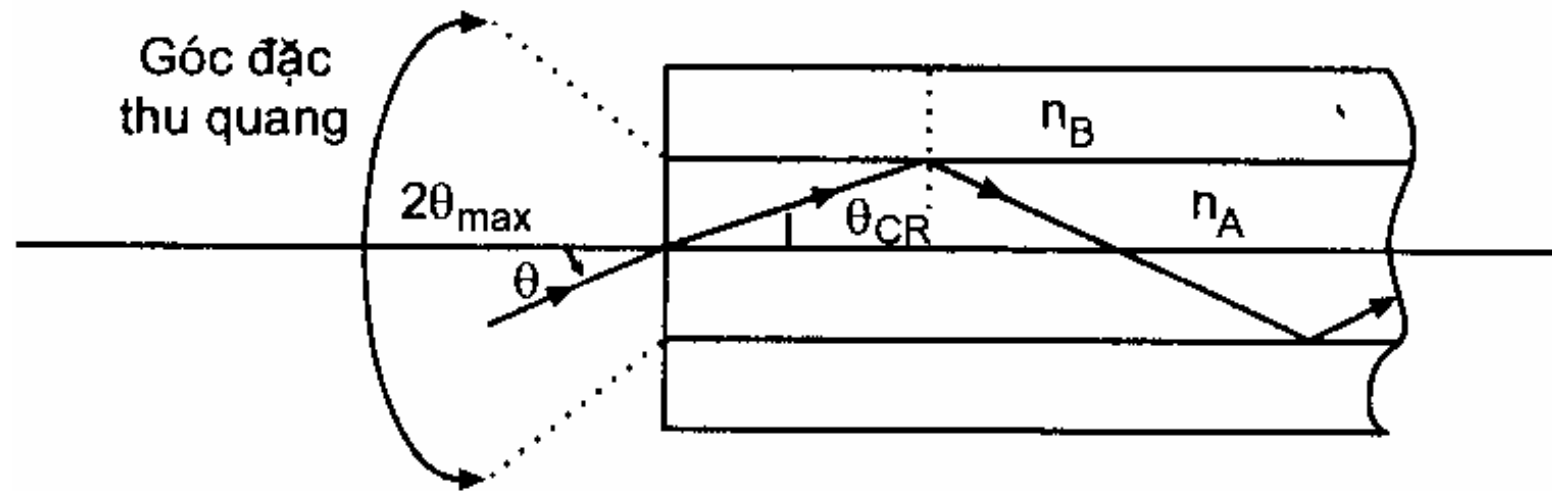
Hình 7.24. Ba loại sợi quang tiêu biểu.



**Hình 3.18.** Một số loại cáp quang thông dụng trong đo lường-điều khiển công nghiệp.

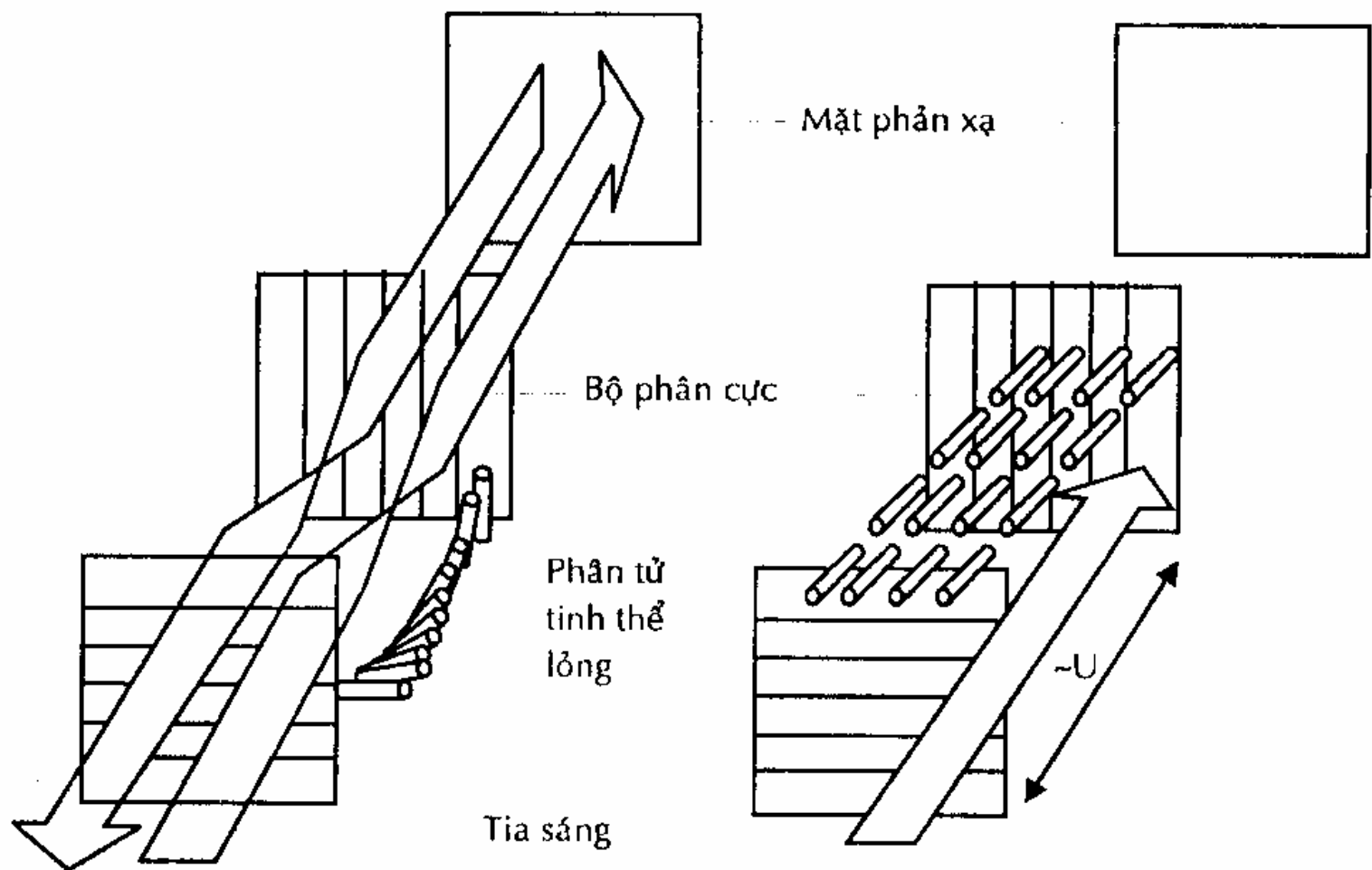


**Hình 7.25.** Sự thay đổi của sự suy giảm theo bước sóng trong sợi quang.



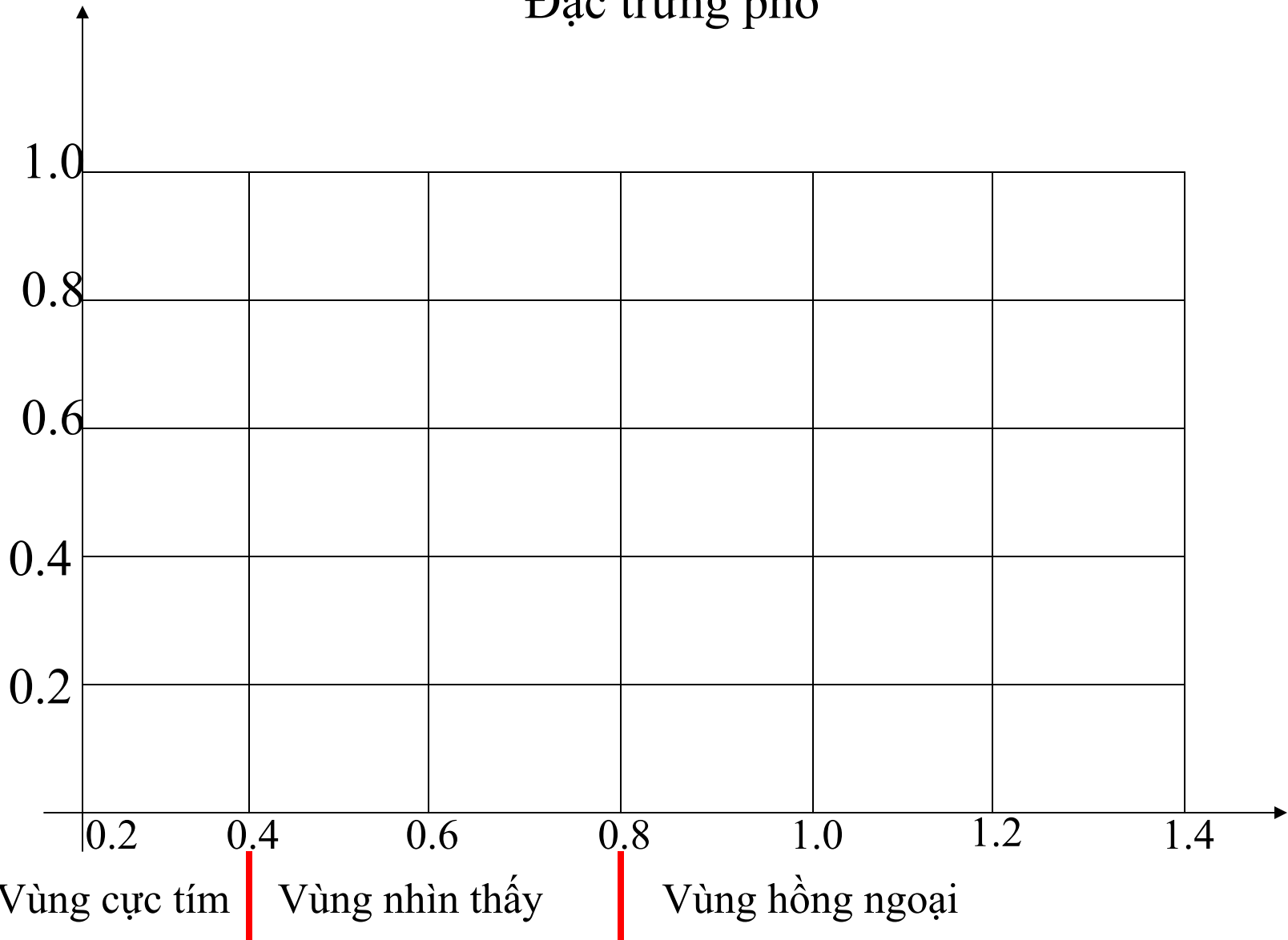
Hình 7.26. Định nghĩa góc tới hạn  $\theta_{CR}$ .





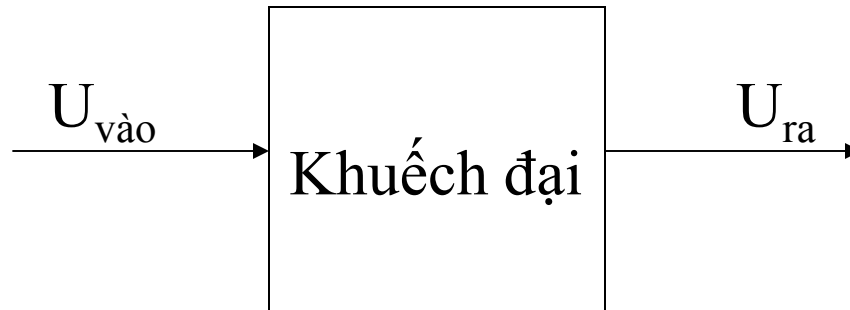
**Hình 6.9:** Nguyên tắc hoạt động của một điểm hình trong màn hình tinh thể lỏng. Trong hình bên trái, điểm hình ở trạng thái tĩnh (không có hiệu điện thế) khiến phân tử tinh thể dẫn tia sáng phân xạ trở lại. Trong hình bên phải, điểm hình ở trạng thái kích hoạt (có hiệu điện thế) khiến tia sáng không phân xạ được trở lại và điểm hình trở nên sẫm màu.

# Đặc trưng phổ

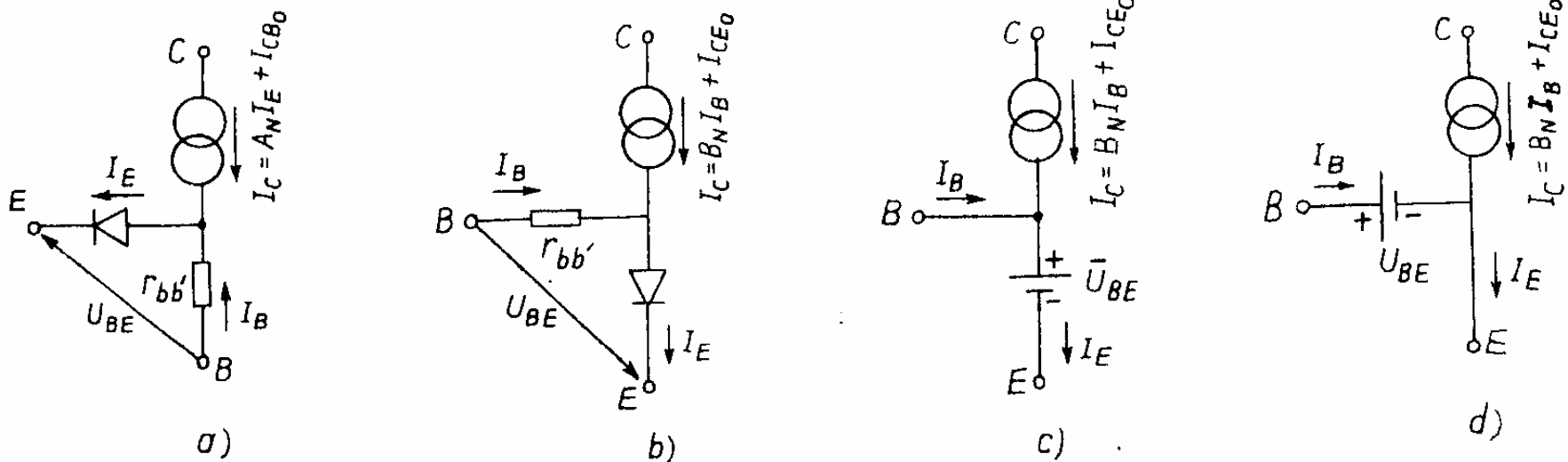


- Một loại vật liệu bán dẫn chỉ có thể hấp thụ hoặc phát xạ một số tia sáng xác định, được gọi là đặc trưng phổ.

## Chương 2- **Khuếch đại dùng BJT** – Khái niệm

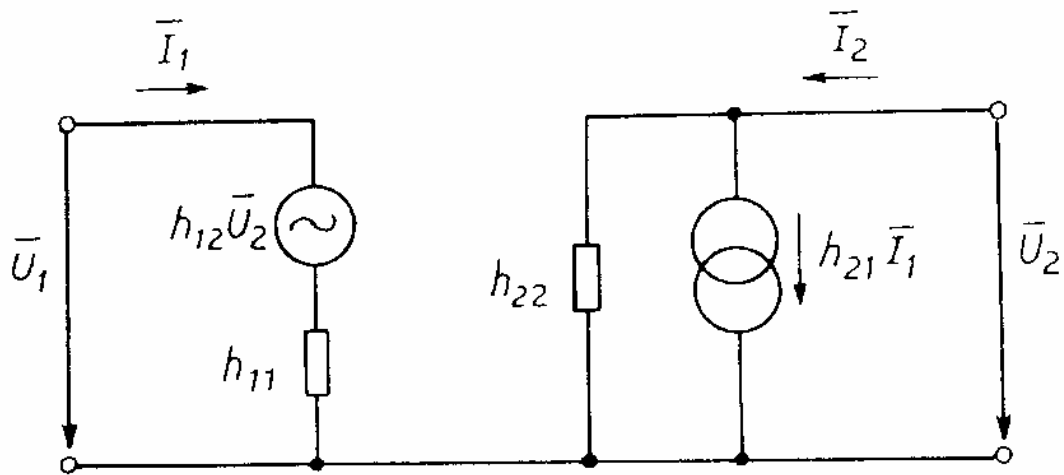


- Khuếch đại là quá trình biến đổi một công suất tín hiệu vào nhỏ thành công suất tín hiệu ra lớn hơn.
- **Yêu cầu:**
  - - Biên độ tín hiệu ra phải lớn hơn tín hiệu vào
  - - Không gây méo tín hiệu
  - - Không tạo phổ đồng loại

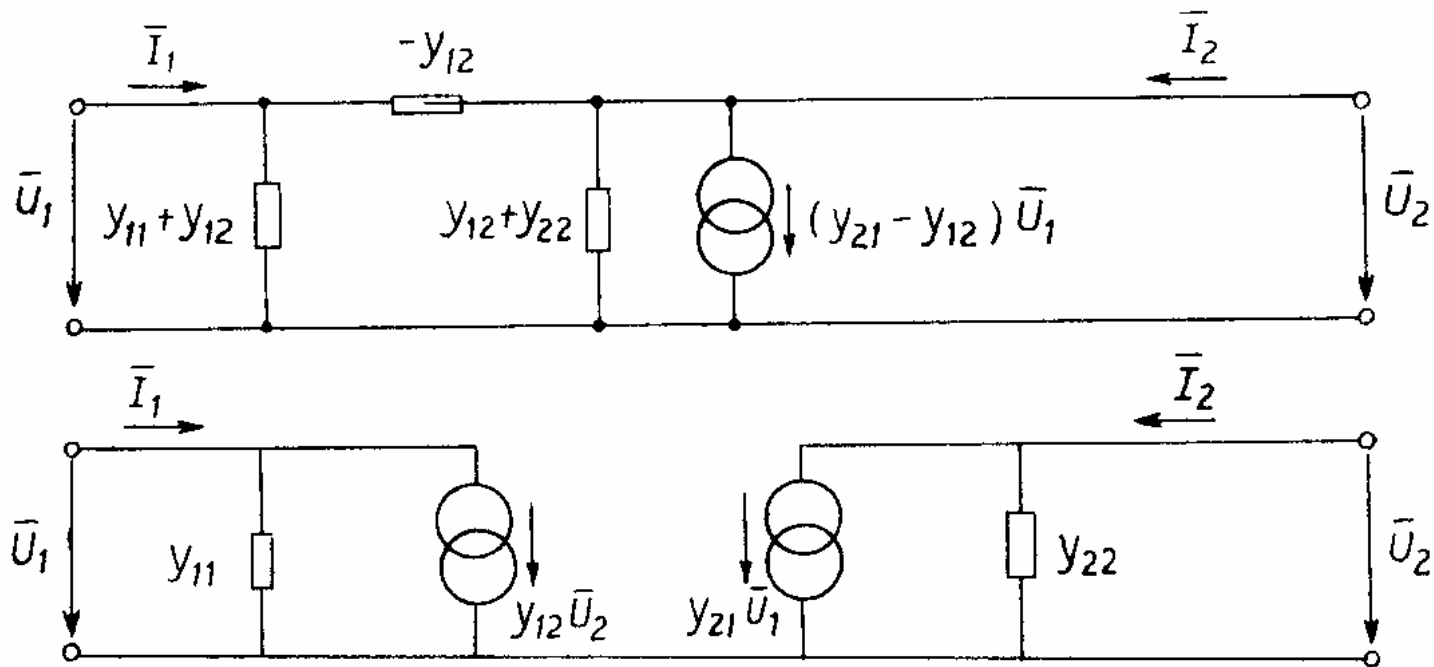


**Hình 1.4.** Sơ đồ tương đương Ebers - Moll của tranzistor *npn* cho trường hợp diot colecto ngắt (tranzistor làm việc trong miền tích cực) :

a) và b) sơ đồ tương đương đầy đủ ; c) và d) bỏ qua hạ áp trên  $r_{bb'}$ , và đưa vào nguồn áp  $U_{BE}$ .  
 Với tranzistor *pnp* thì đổi chiều diot (a),(b) hoặc đổi chiều nguồn áp  $U_{BE}$  (c hoặc d).

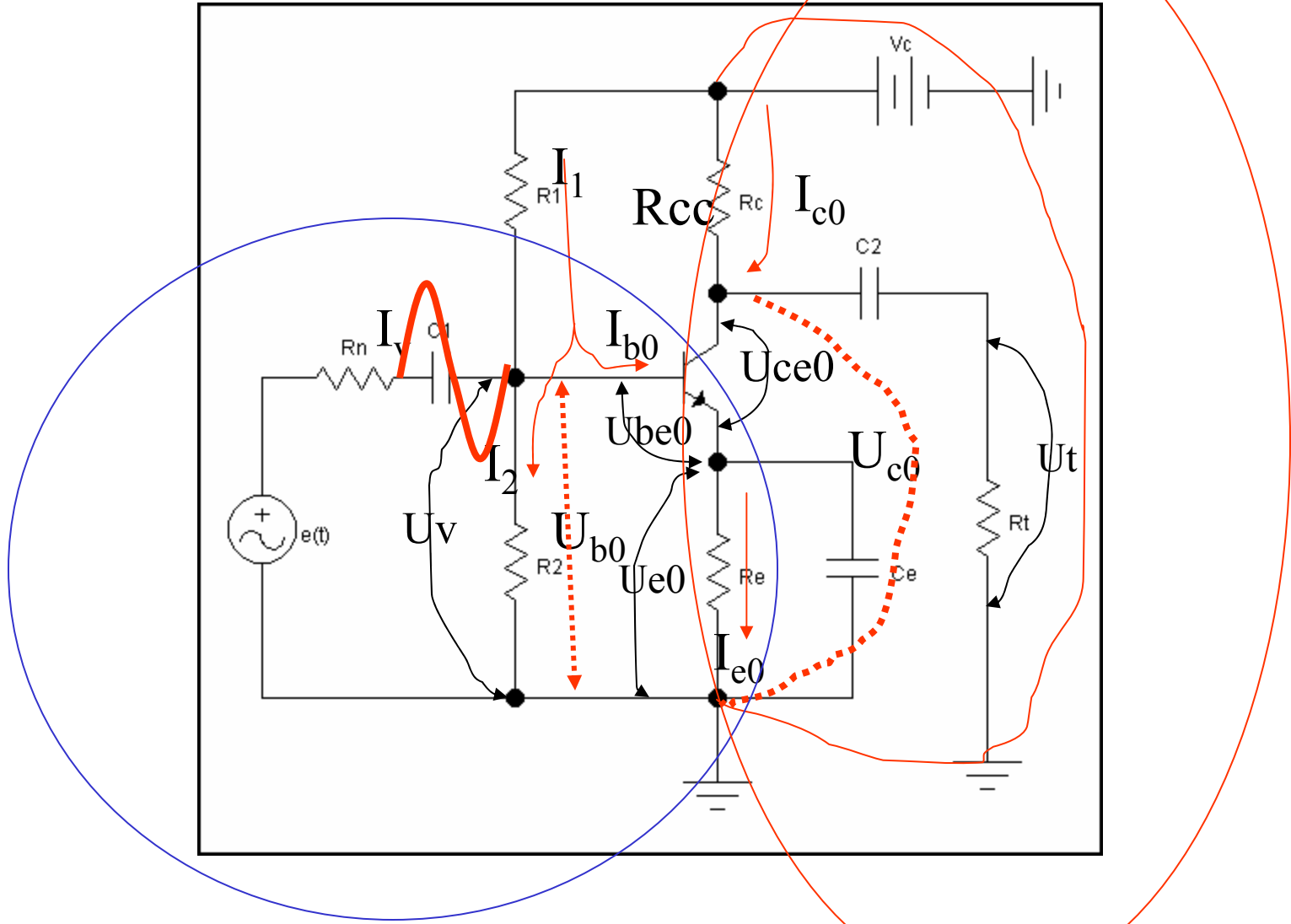


**Hình 1.6.** Sơ đồ tương đương hỗn hợp của một mạng bốn cực.

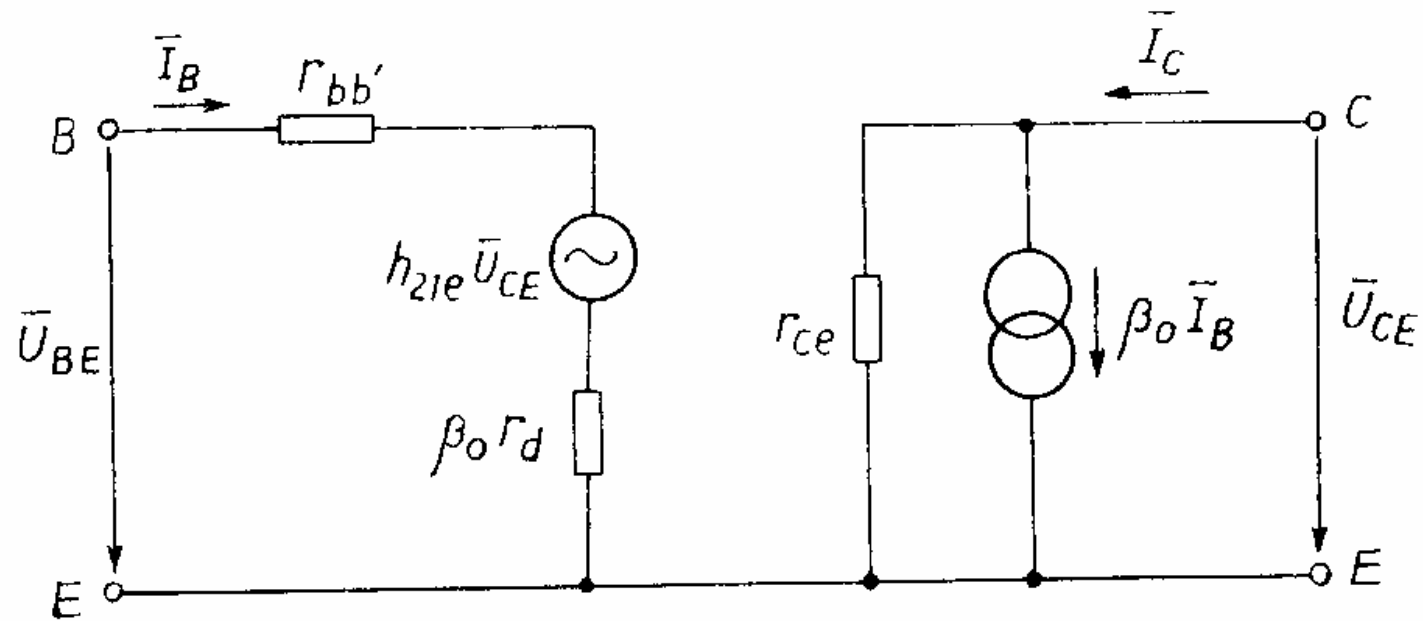


**Hình 1.7.** Hai dạng sơ đồ tương đương dẫn nạp của một mạng bốn cực.

# Khuếch đại dùng sơ đồ EC và sơ đồ tương đương

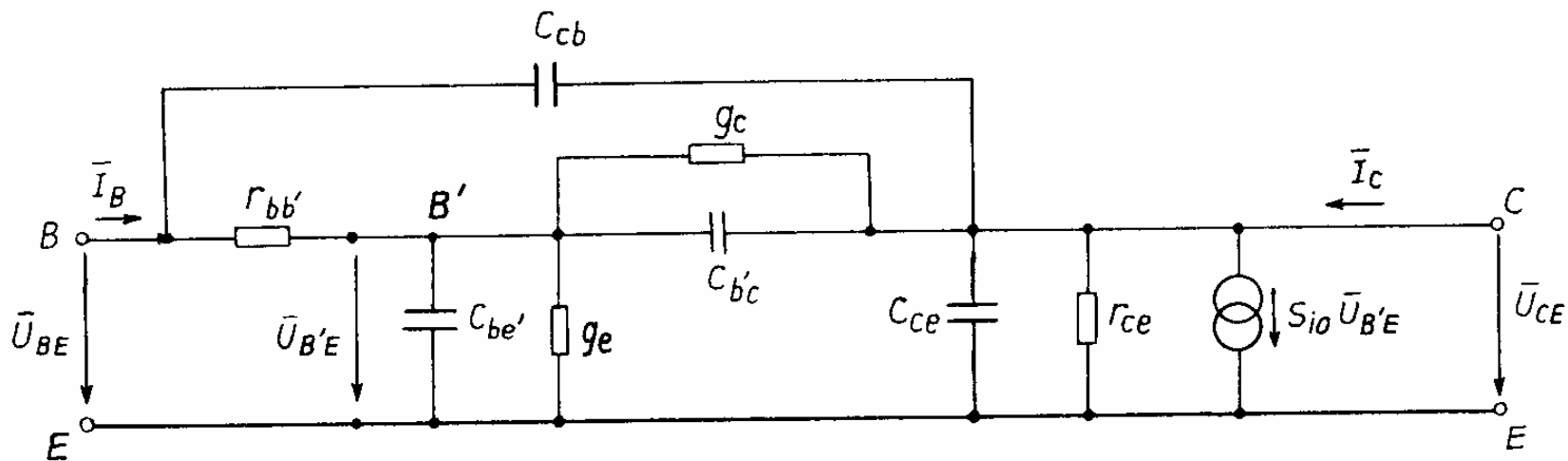


- Sơ đồ nguyên lí mạch khuếch đại EC. Tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào

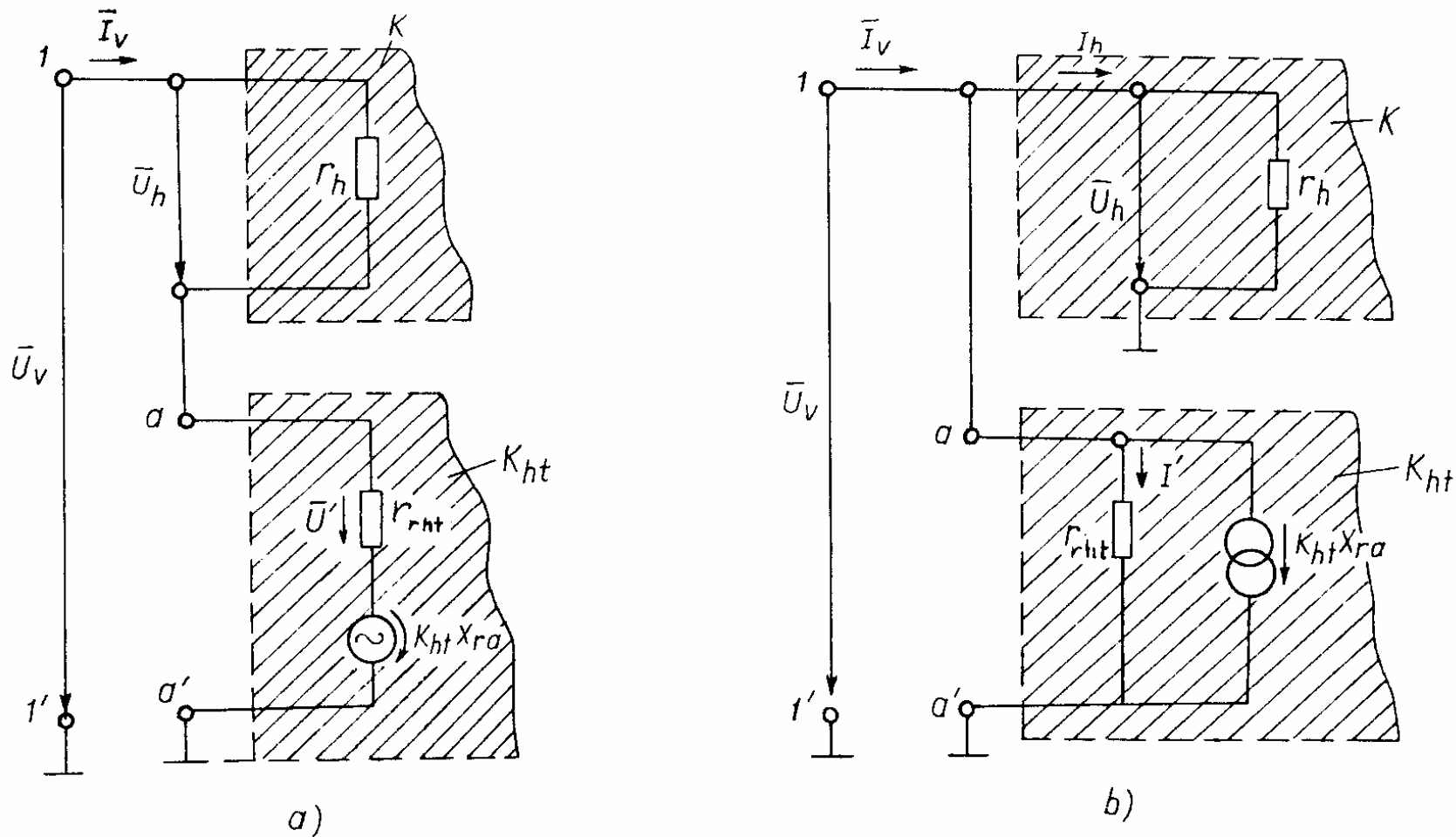


**Hình 1.8.** Sơ đồ tương đương hỗn hợp của tranzistor.

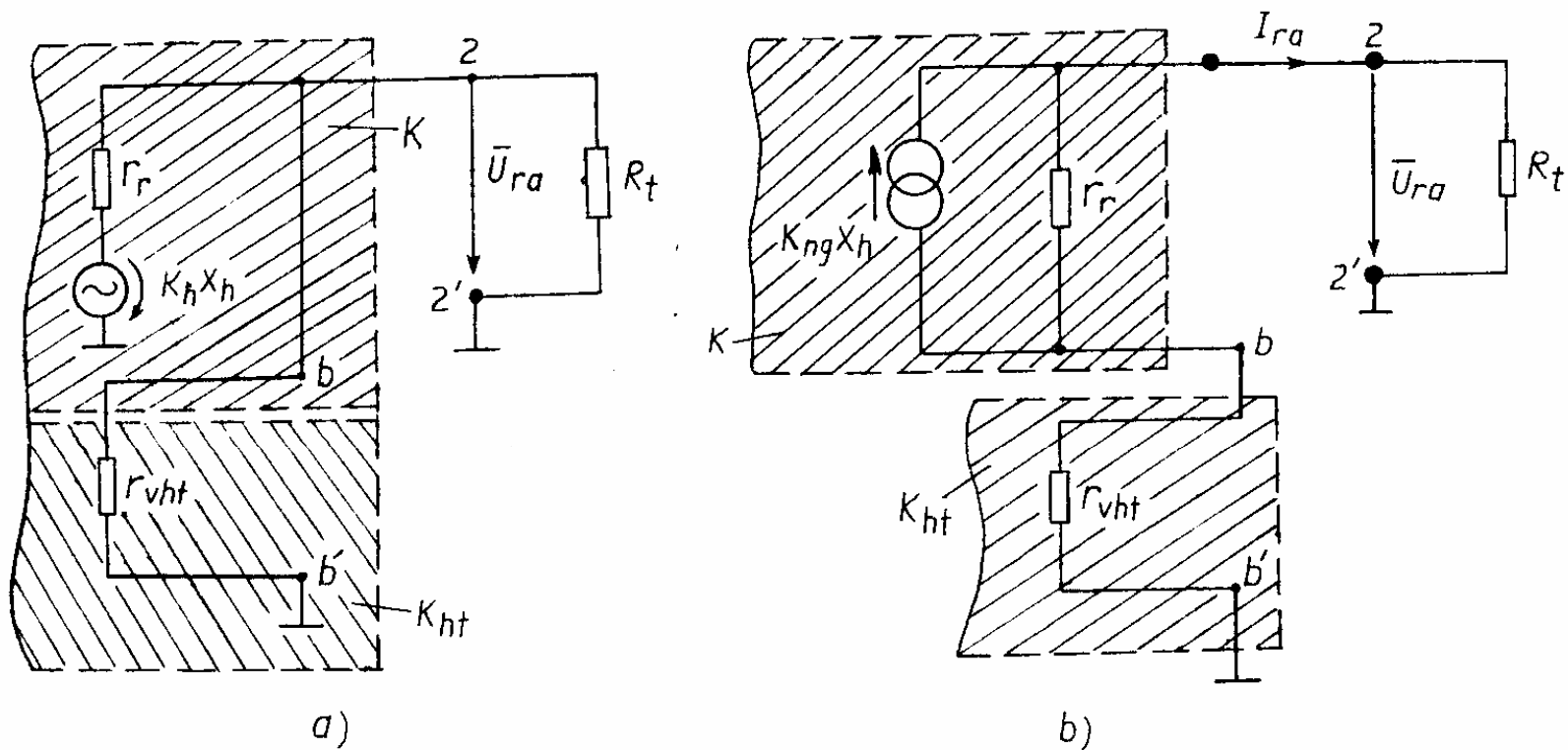




**Hình 1.10.** Sơ đồ tương đương  $\pi$  (sơ đồ tương đương dẫn nạp của tranzistor) của tranzistor.

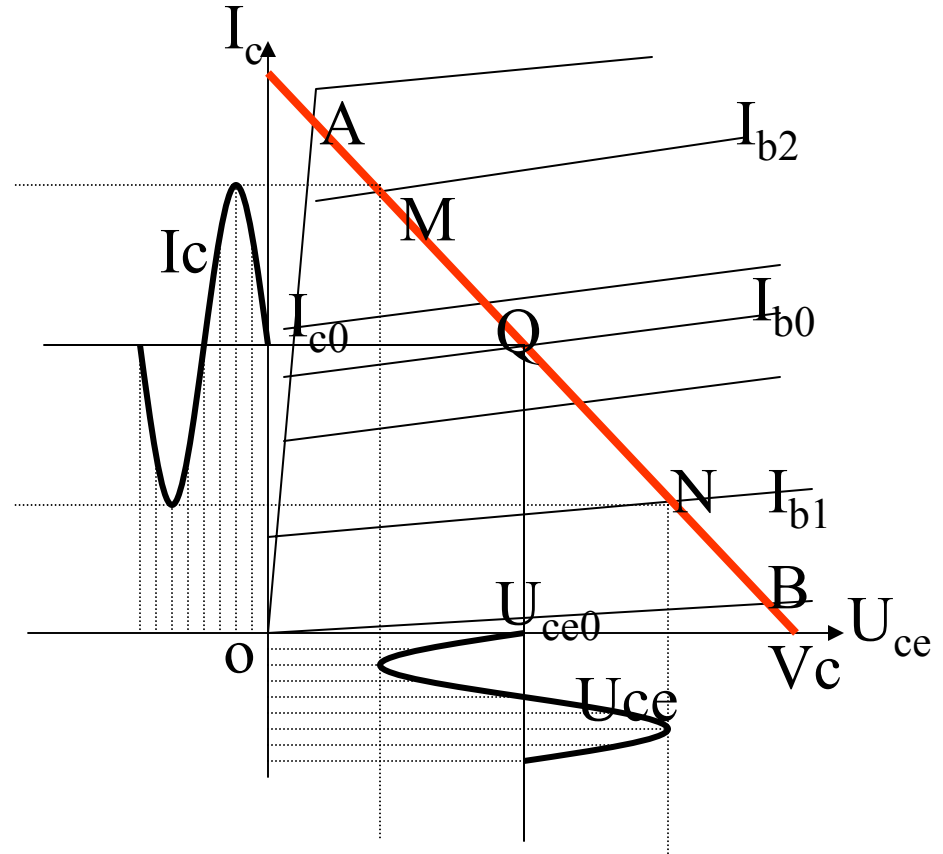
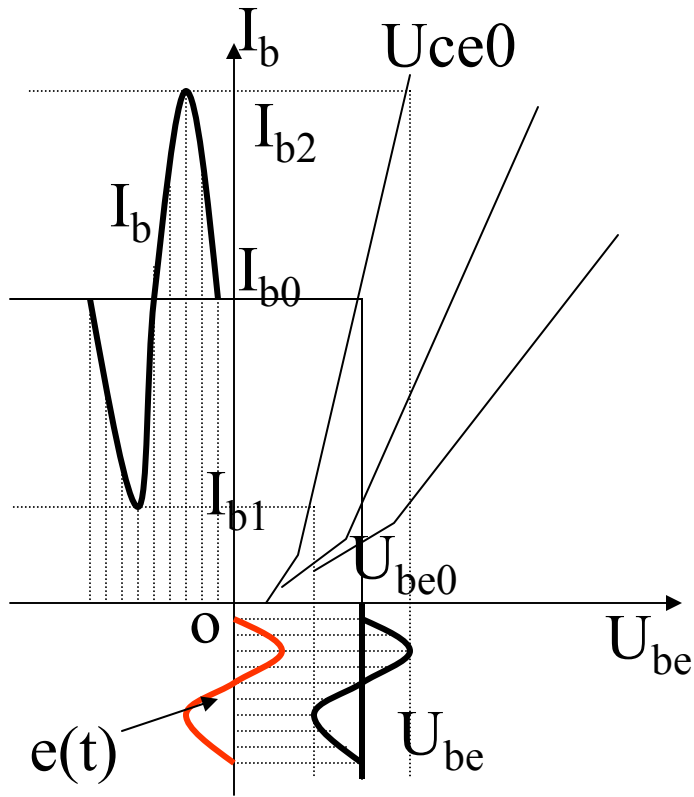


**Hình 2.6.** Sơ đồ tương đương đầu vào của bộ khuếch đại có hồi tiếp (dùng để tính trở kháng vào).  
 a) hồi tiếp nối tiếp ; b) mạch hồi tiếp song song.



**Hình 2.7.** Sơ đồ tương đương đầu ra của bộ khuếch đại có hồi tiếp .  
 a) hồi tiếp điện áp ; b) hồi tiếp dòng điện.

# Khuếch đại dùng sơ đồ EC và sơ đồ tương đương



- Lấy đặc tính vào và ra để xác định phân cực

Q: điểm công tác

## Khuếch đại dùng sơ đồ EC và sơ đồ tương đương

- Tính phân cực một chiều:
- Xác định dòng  $I_{b0}$  ( $U_{be0}$ )(chọn trước).
- Từ đặc tính vào xác định được  $U_{be0}$  ( $I_{b0}$ )
- Xác định  $U_{be0}$  theo biên độ tín hiệu  $e(t)$  của tín hiệu vào, sao cho không bị méo
- Xác định trước nguồn  $V_c$ , từ đó xác định đường tải AB.
- Xác định  $I_{c0}$  theo đặc tính ra
- Xác định  $U_{ce0}$
- *Chọn trước một giá trị của  $R_e$  hoặc  $R_c$ . Thông thường chọn trước  $R_E$  với giá trị từ vài ôm đến vài trăm ôm*

## Tính phân cực một chiều

$$\beta = \frac{I_{c0}}{I_{b0}}$$

$$U_{e0} = (\beta + 1)I_{b0}R_e \rightarrow R_c = \frac{V_c - U_{ce0} - U_{e0}}{I_{c0}}$$

$$I_2 = (5 \div 10)I_{b0} \rightarrow U_{b0} = U_{be0} + U_{e0}$$

$$R_2 = \frac{U_{b0}}{I_2} \rightarrow R_1 = \frac{V_c - U_{b0}}{I_2 + I_{b0}}$$

- Qui ước thống nhất: chọn  $I_2$  bằng 10 lần  $I_{b0}$ .

## Tính phân cực một chiều theo kinh nghiệm

- Nếu không có đặc tính V-A của BJT, việc tính toán được chọn theo kinh nghiệm:
- Với BJT loại Si chọn  $U_{be0}=0,6$ vôn, loại Ge chọn  $U_{be0}=0,2$  vôn
- Dòng  $I_{c0}$  được chọn theo dòng cực đại cho phép của BJT. Chọn bằng một nửa giá trị cực đại.
- Điện áp  $U_{ce0}$  được chọn bằng một nửa đến hai phần ba giá trị nguồn  $V_c$ .
- Dòng  $I_{b0}=I_{c0}/\beta$
- Chọn một trong hai điện trở  $R_c$  hoặc  $R_e$ .

Tính phân cực một chiều theo kinh nghiệm

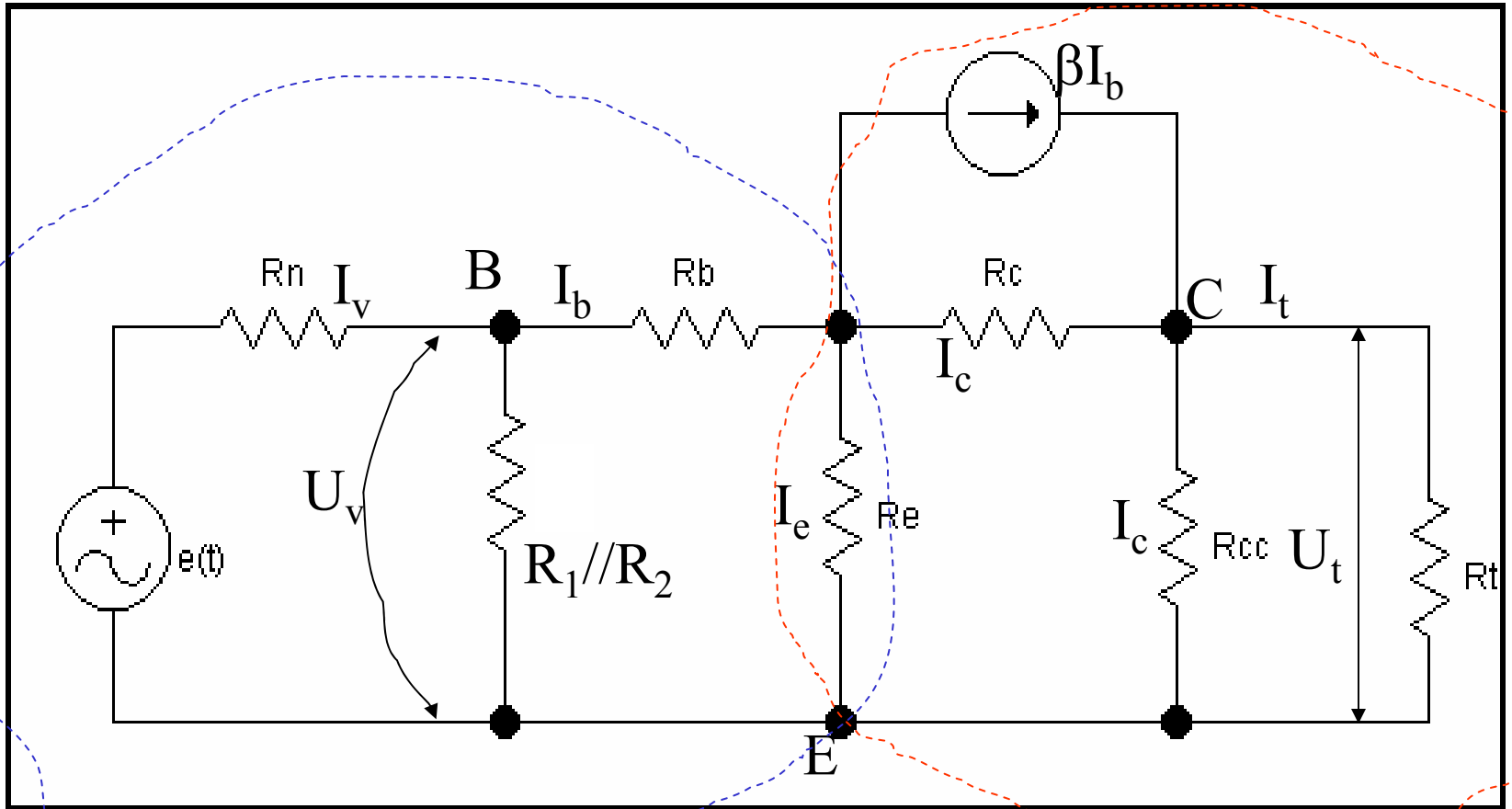
$$U_{e0} = (\beta + 1)I_{b0}R_e$$

$$R_2 = \frac{U_{e0} + U_{be0}}{10I_{b0}}; R_1 = \frac{V_c - U_{b0}}{11I_{b0}}$$

$$R_c = \frac{V_c - U_{ce0} - U_{e0}}{I_{c0}}$$

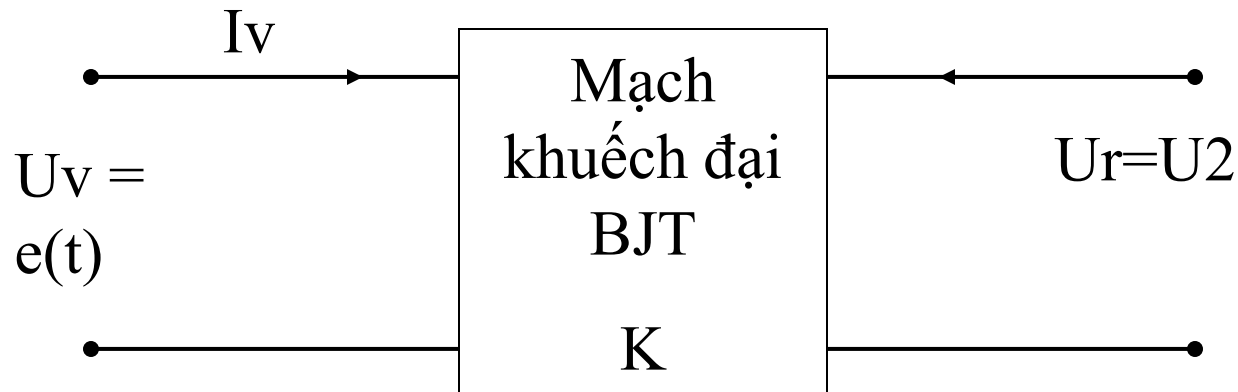


# Sơ đồ xoay chiều tương đương

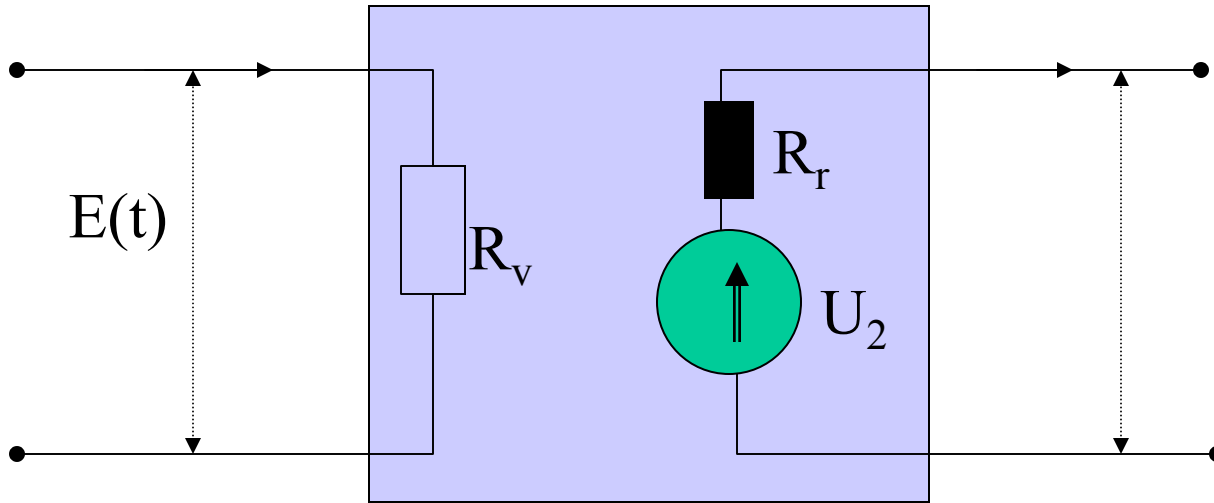


# Tính toán xoay chiều khuếch đại

- **Bộ tham số tính toán:**
- Tổng trở ngõ vào  $R_v$
- Tổng trở ngõ ra  $R_r$
- Hệ số khuếch đại dòng điện  $K_i$
- Hệ số khuếch đại điện áp  $K_u$
- Hệ số khuếch đại công suất  $K_p$



## Mô hình mạch khuếch đại hai cửa



$$U_v = I_b R_b + (\beta + 1) I_b R_e = [R_b + (\beta + 1) R_e] I_b$$

$$\Rightarrow R_v = R_1 // R_2 // [R_b + (\beta + 1) R_e] = R_1 // R_2 // r_v;$$

$$\beta I_b R_c + (\beta + 1) I_b R_e = \beta I_b R_{ce} = U_r = U_t$$

$$\Rightarrow R_r = R_{cc} // R_{ce}$$

## Tính toán các hệ số khuếch đại

$$K_u = \frac{U_t}{e(t)}; \quad e(t) = (R_v + R_n)I_v$$

$$I_v R_v = U_v = I_b r_v \Rightarrow I_v = \frac{r_v}{R_v} I_b$$

$$U_r = U_t = R_t I_t = \beta I_b (R_r // R_t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_u = \frac{\beta I_b (R_r // R_t)}{(R_v + R_n) I_b} \frac{R_v}{r_v} = \beta \frac{R_v}{r_v} \frac{(R_r // R_t)}{(R_v + R_n)}$$

## Tính toán các hệ số khuếch đại

$$K_i = \frac{I_t}{I_v}; \Rightarrow I_t R_t = U_t = \beta I_b (R_r // R_t)$$

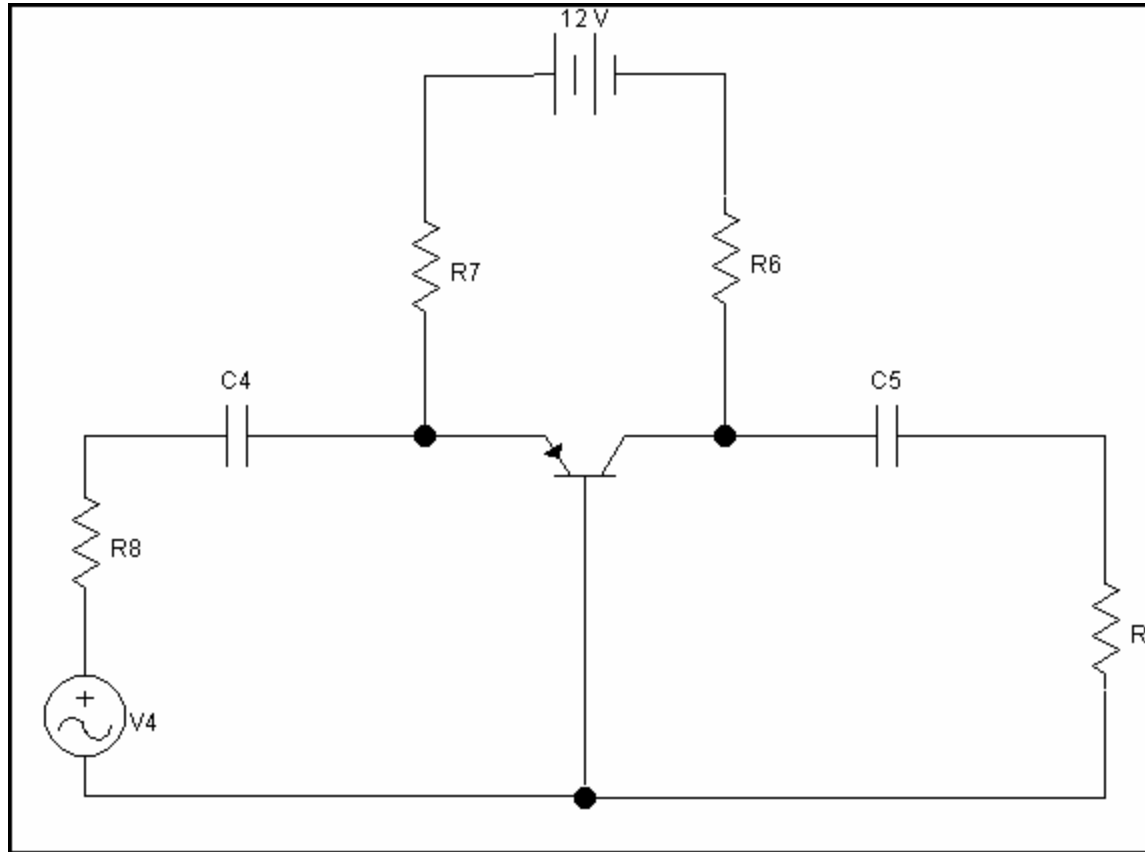
$$I_t = \frac{\beta I_b (R_r // R_t)}{R_t}$$

$$\Rightarrow K_i = \beta \frac{R_v}{r_v} \frac{(R_r // R_t)}{R_t} = \beta \frac{(R_{ce} // R_{cc}) // R_t}{R_t}$$

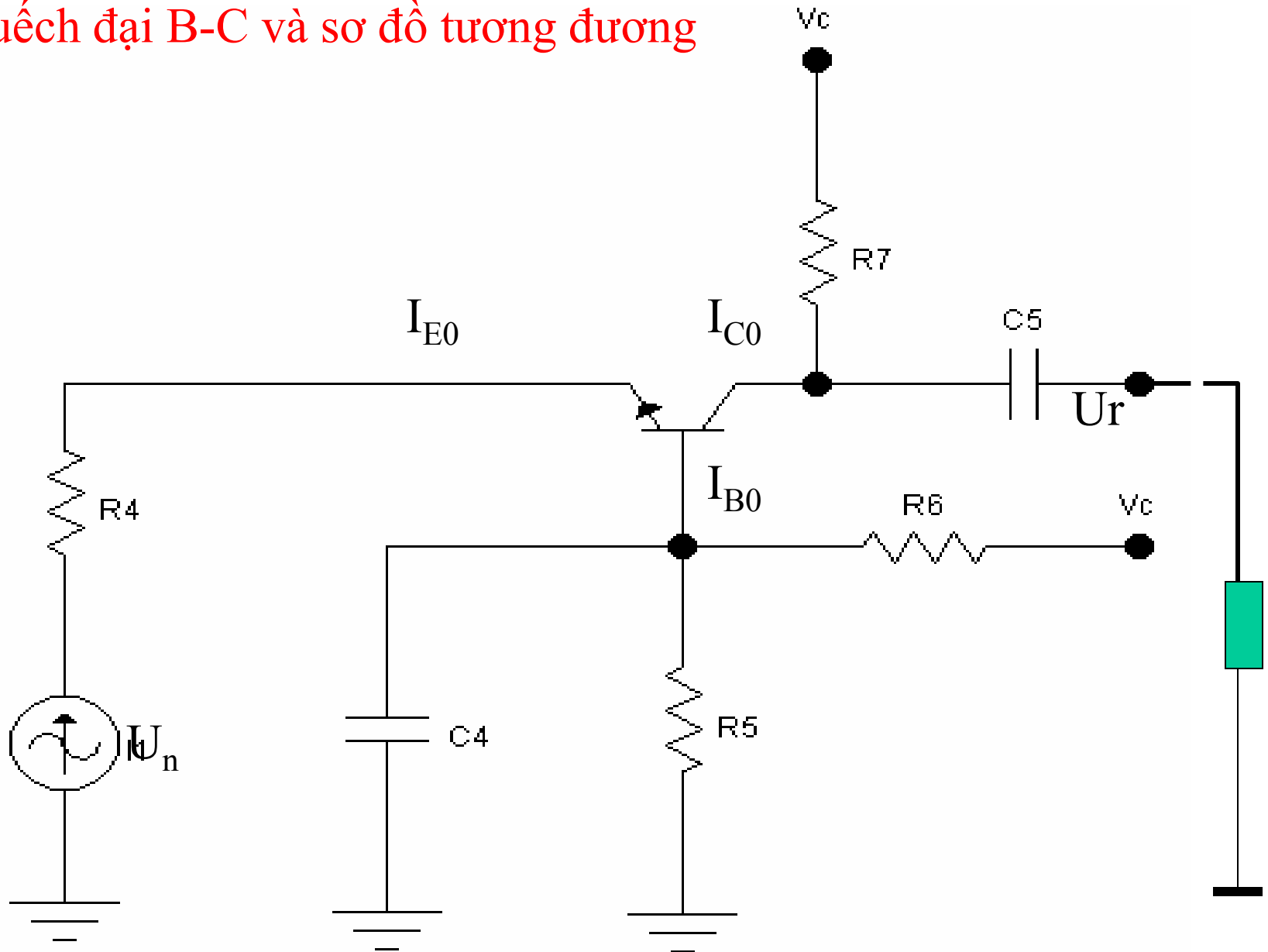
$$\Rightarrow K_p = \frac{P_{ra}}{P_{vao}} = \frac{U_t}{e(t)} \frac{I_t}{I_v} = K_u K_i$$

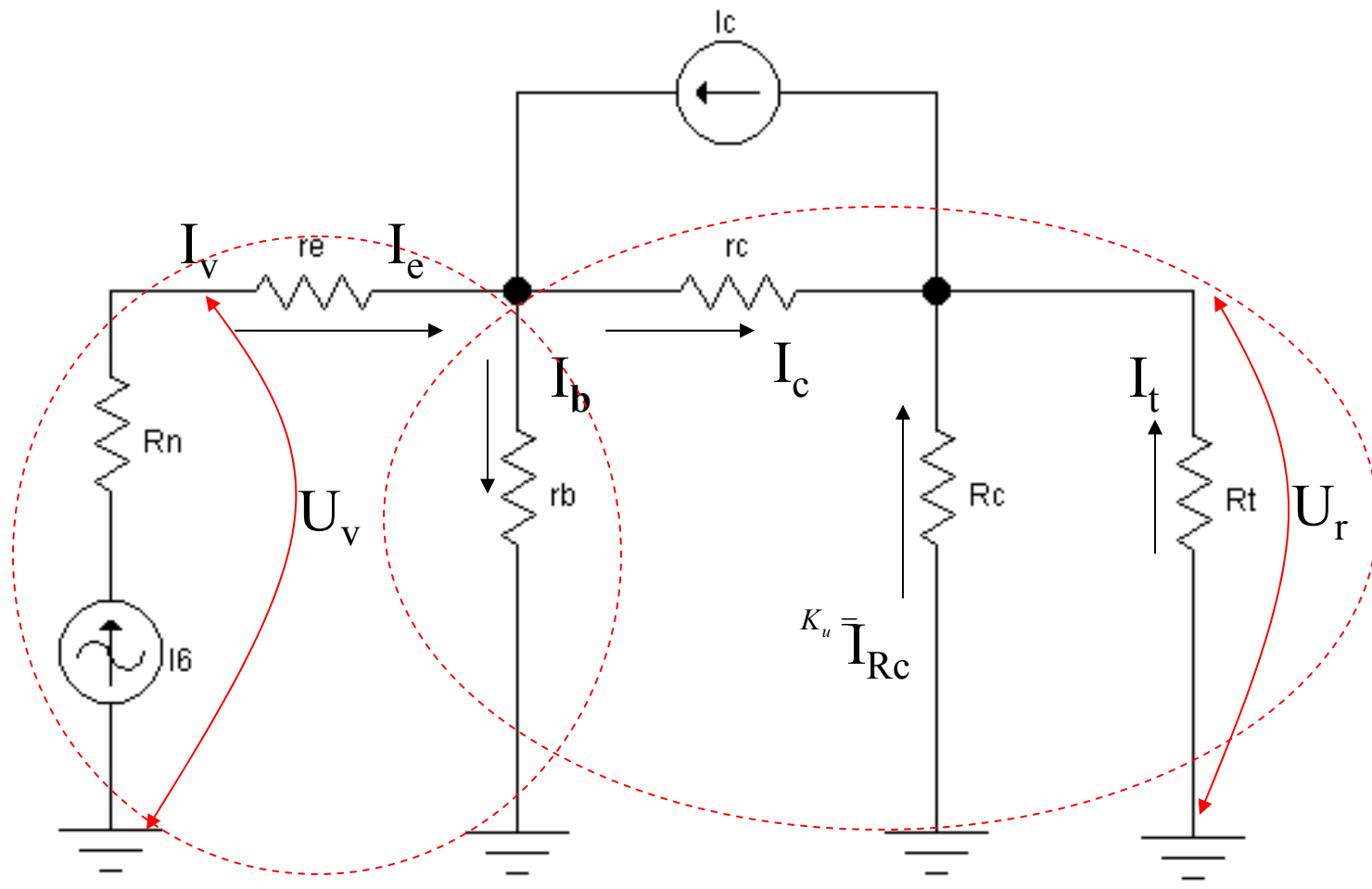
- Sinh viên tự đọc khuếch đại C-C và B-C ở nhà

## Khuếch đại B-C và sơ đồ tương đương



# Khuếch đại B-C và sơ đồ tương đương





Mạch vào

Mạch ra

Sơ đồ tương đương xoay chiều của khuếch đại B-C



## Tính toán tham số mạch xoay chiều mạch B-C

\* Tổng trở vào: tổng trở vào được tính theo mạch vòng E-B. dòng ra  $I_c = \alpha I_e$

$$U_v = R_v I_e = [r_e + (1-\alpha)r_b] I_e; \quad U_c = (R_c // r_{c(B)}) I_c$$

$$R_v = [r_e + (1-\alpha)r_b]$$

$$R_r = R_c // r_{c(B)}$$

\* Hệ số khuếch đại dòng điện

$$K_i = \frac{I_t}{I_v} \cdot \text{mà } I_c (R_c // R_t) = I_t R_t$$

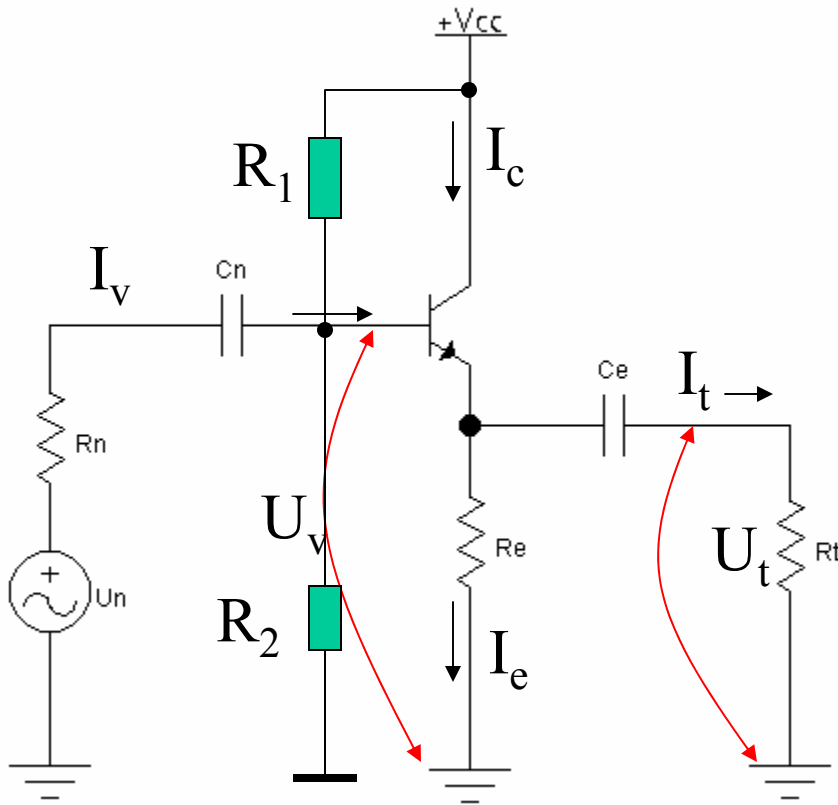
$$I_t = I_c \frac{R_c // R_t}{R_t} = \alpha I_v \frac{R_c // R_t}{R_t}$$

$$K_i = \alpha \left( \frac{R_c // R_t}{R_t} \right)$$

\* Hệ số khuếch đại điện áp

$$K_u = \frac{U_t}{U_n} = \frac{I_t R_t}{I_v (r_n + R_v)} = K_i \frac{R_t}{(r_n + R_v)} \implies K_u = \alpha \frac{R_c // R_t}{r_n + R_v}$$

# Khuếch đại C-C và sơ đồ tương đương



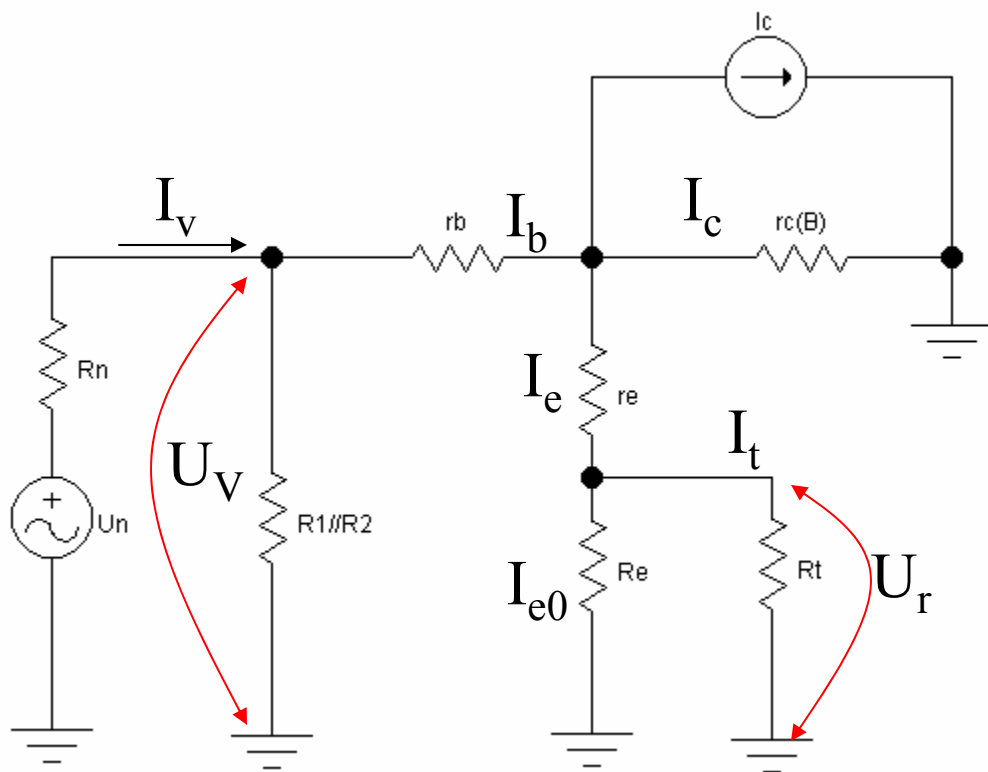
Phân cực DC được tính toán tương tự như mạch E-C và B-C. riêng điện trở định thiên  $R_E$  được xác định theo hệ số phản hồi âm dòng điện cần thiết.

Các tính toán dựa trên đặc tính V-A vào và ra

Độ ổn định của mạch có thể tính toán dựa trên tiêu chuẩn Routh hoặc các tiêu chuẩn tần số

- Mạch khuếch đại C-C có hệ số phản hồi âm lớn nên dải tần công tác rộng.
- Đặc tính tần số biên độ Logarit có độ dốc cao tần là  $-20\text{dB/dec}$

## Sơ đồ tương đương xoay chiều của khuếch đại C-C



Tính tham số xoay chiều:

\* Dòng điện vào được tính là dòng  $I_b$  tại cực B của BJT

$$R_v = [r_b + (1 + \beta)(r_e + R_e // R_t)] // R_1 // R_2$$

Nếu điện trở vào được chọn lớn

$$R_v = [r_b + (1 + \beta)(r_e + R_e // R_t)] // R_1 // R_2 // r_{c(E)}$$

Điện trở ra của tầng C-C

$$R_r = R_e // \left( r_e + \frac{r_{c(E)} // (r_b + R_1 // R_2)}{1 + \beta} \right)$$

Với  $r_{c(E)}$  lớn, ta có thể viết:

$$R_r = R_e // \left( r_e + \frac{(r_b + R_1 // R_2)}{1 + \beta} \right)$$

Hệ số khuếch đại dòng điện

$$I_v R_v = I_b r_v = I_b [r_b + (1 + \beta)(r_e + R_e // R_t)]$$

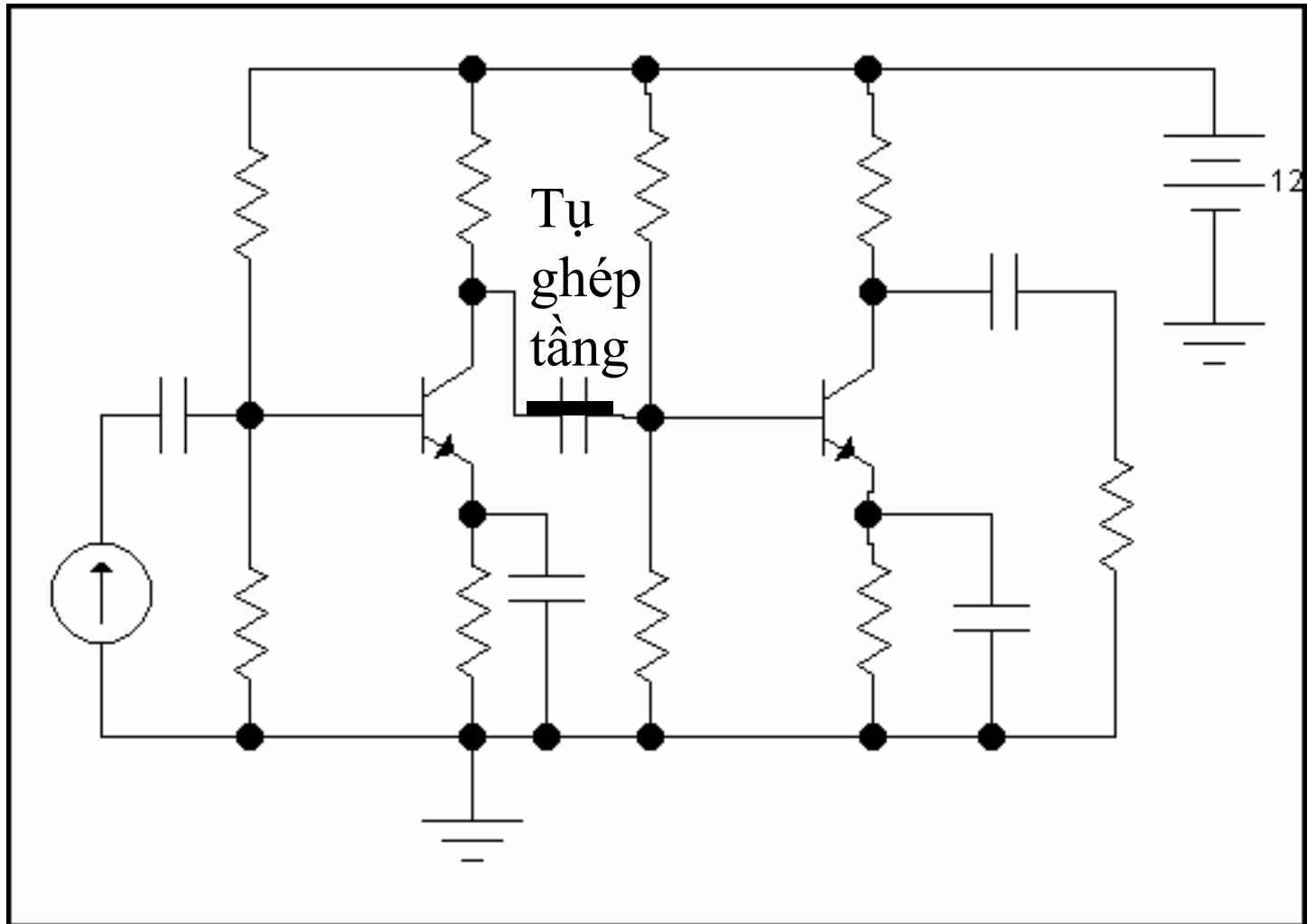
$$I_t R_t = I_e (R_e // R_t) = (1 + \beta) I_b (R_e // R_t)$$

$$K_i = \frac{I_t}{I_v} = (1 + \beta) \frac{R_v}{r_v} \frac{R_e // R_t}{R_t}$$

Hệ số khuếch đại điện áp

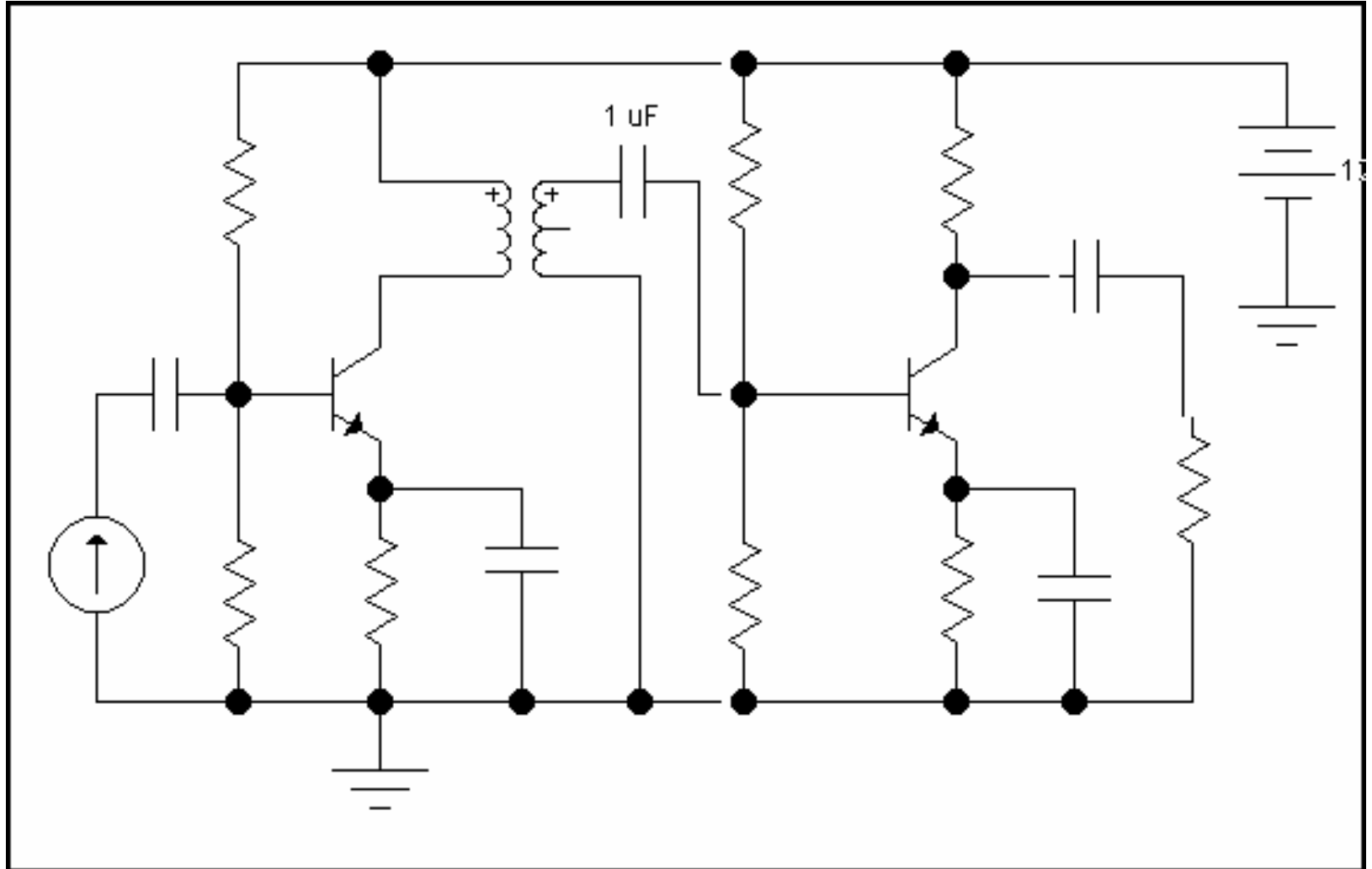
$$K_u = \frac{U_t}{U_n} = \frac{I_t R_t}{I_v (R_v + R_n)} = K_i \frac{R_t}{(R_n + R_v)}$$

# Ghép tầng trong bộ khuếch đại dùng điện dung



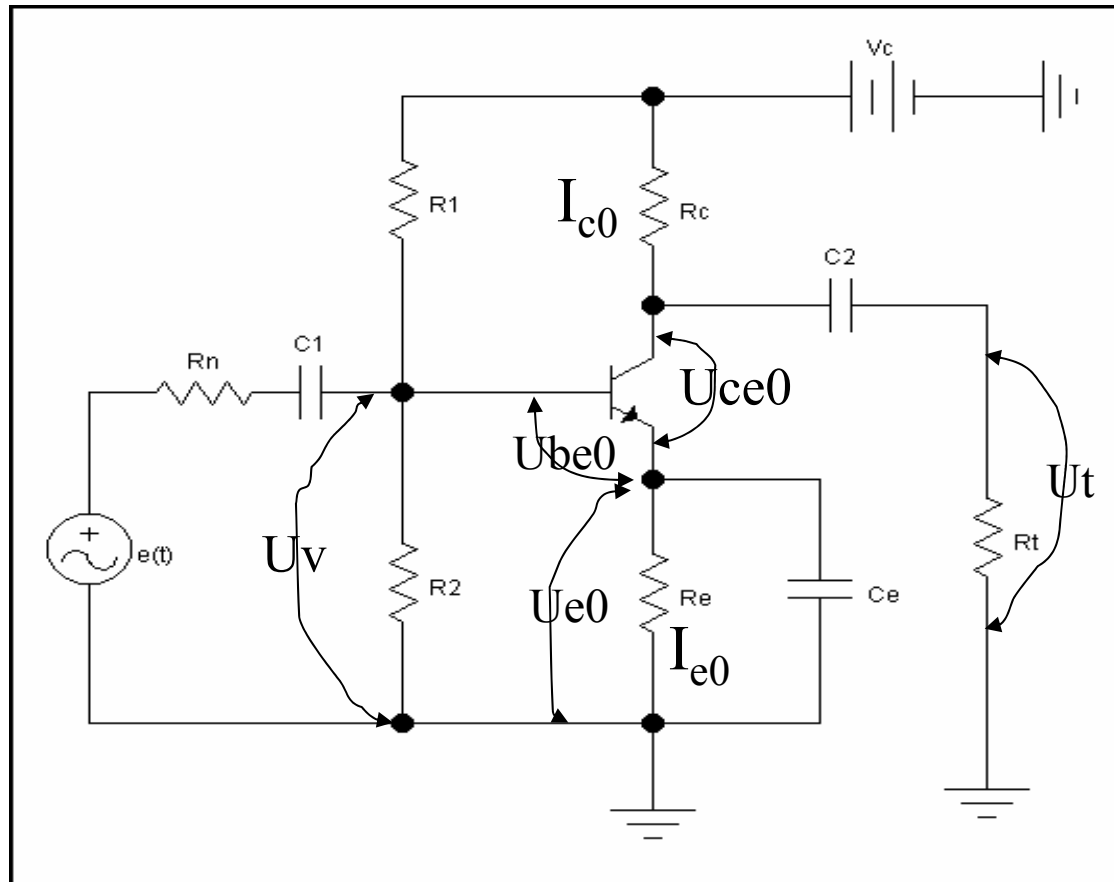
- Thông thường, một mạch khuếch đại chỉ có hệ số khuếch đại cỡ vài chục lần. Muốn có hệ số khuếch đại lớn phải ghép nhiều mạch với nhau, gọi là ghép tầng.

# Ghép tầng trong bộ khuếch đại dùng biến áp



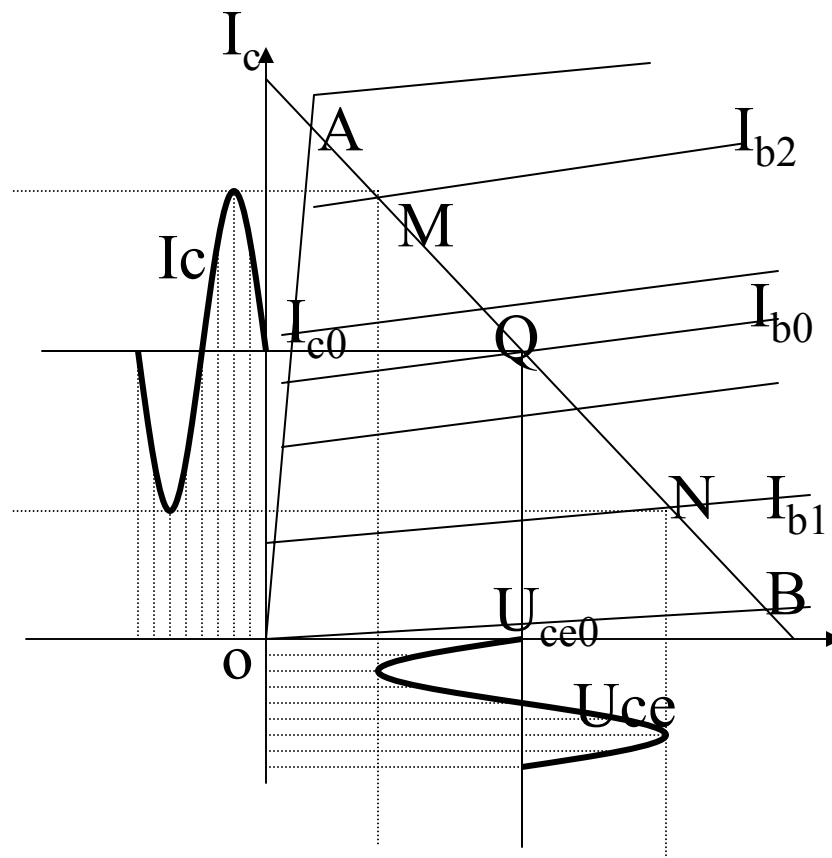
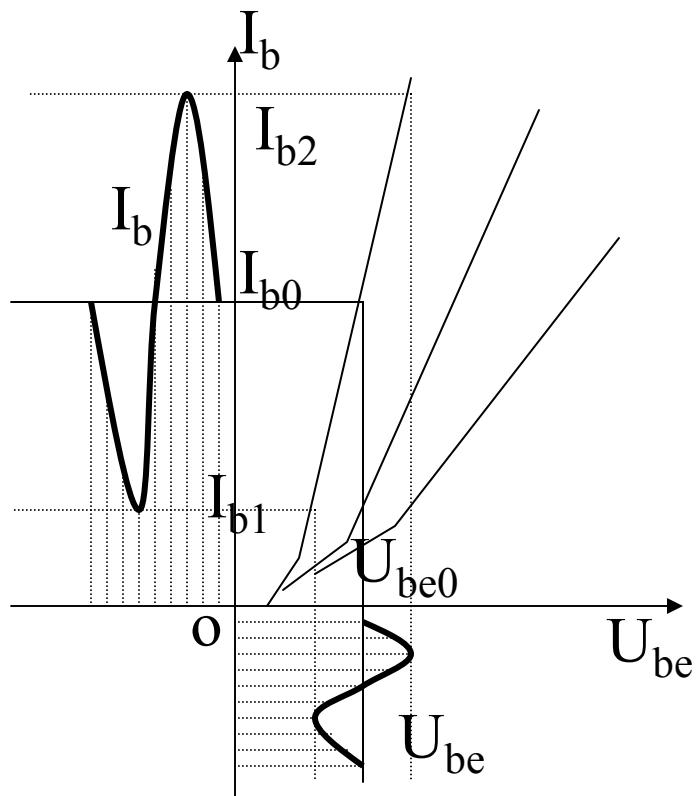
# Khuếch đại công suất

- - Các tầng khuếch đại công suất có dòng điện và điện áp cao
- - Phân cực một chiều sẽ gây tổn thất công suất một chiều trong mạch khuếch đại
- - Cần hạn chế tổn hao này.



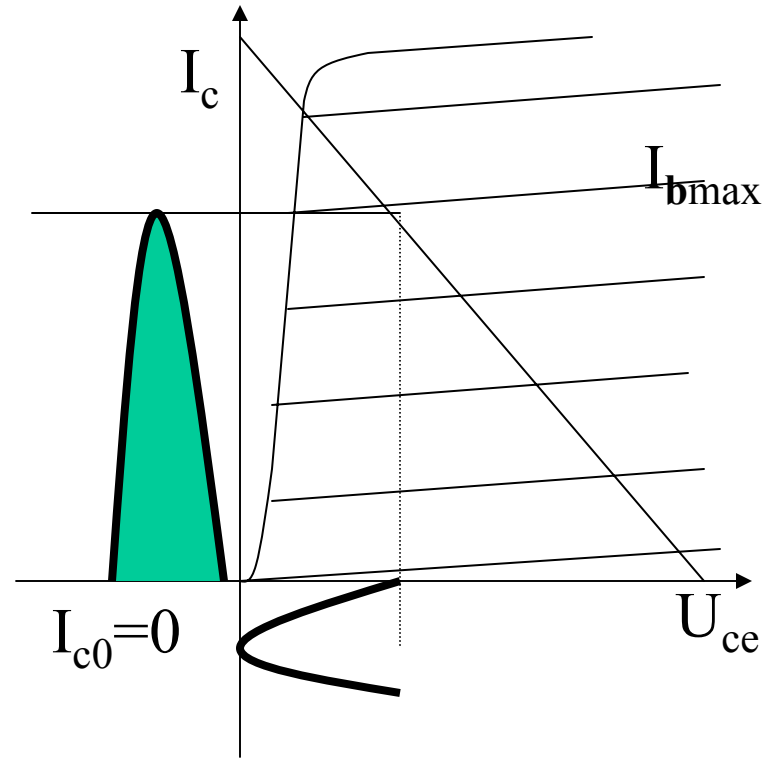
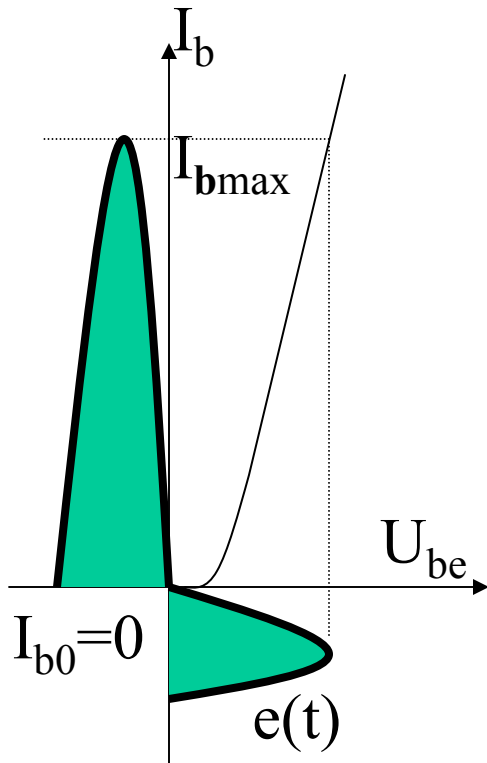
## Tổn hao công suất trong mạch EC

- Tổn hao chính là dòng phân cực  $I_{c0}$  và điện áp  $U_{ce0}$
- $P_0 = U_{ce0}I_{c0}$ . Khi làm việc trong chế độ khuếch đại cả hai nửa chu kì.
- Vấn đề làm mát cho BJT, tăng công suất nguồn cung cấp.
- Chế độ khuếch đại cả hai nửa chu kì gọi là chế độ A



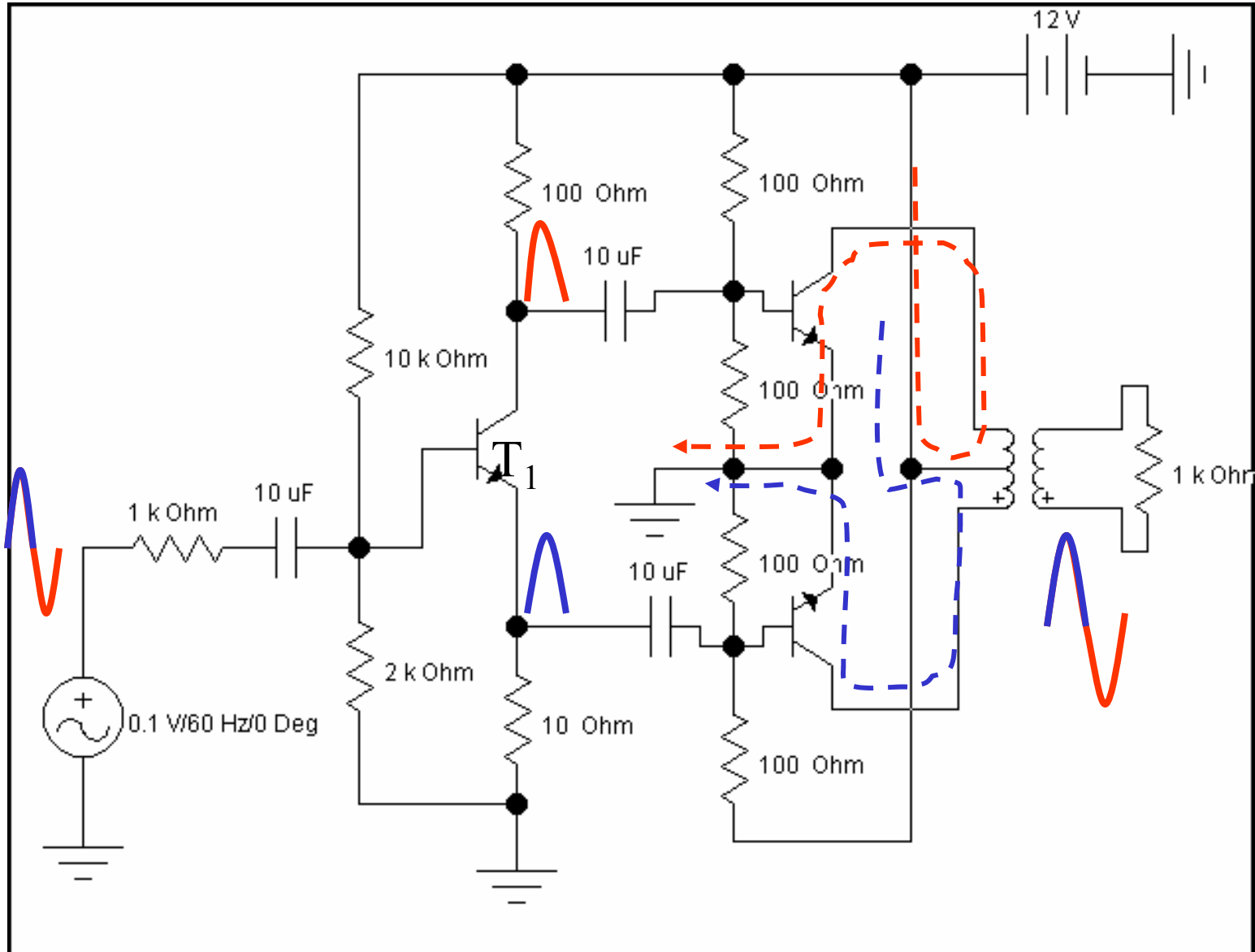


## Khuếch đại công suất chế độ B (một nửa chu kỳ)



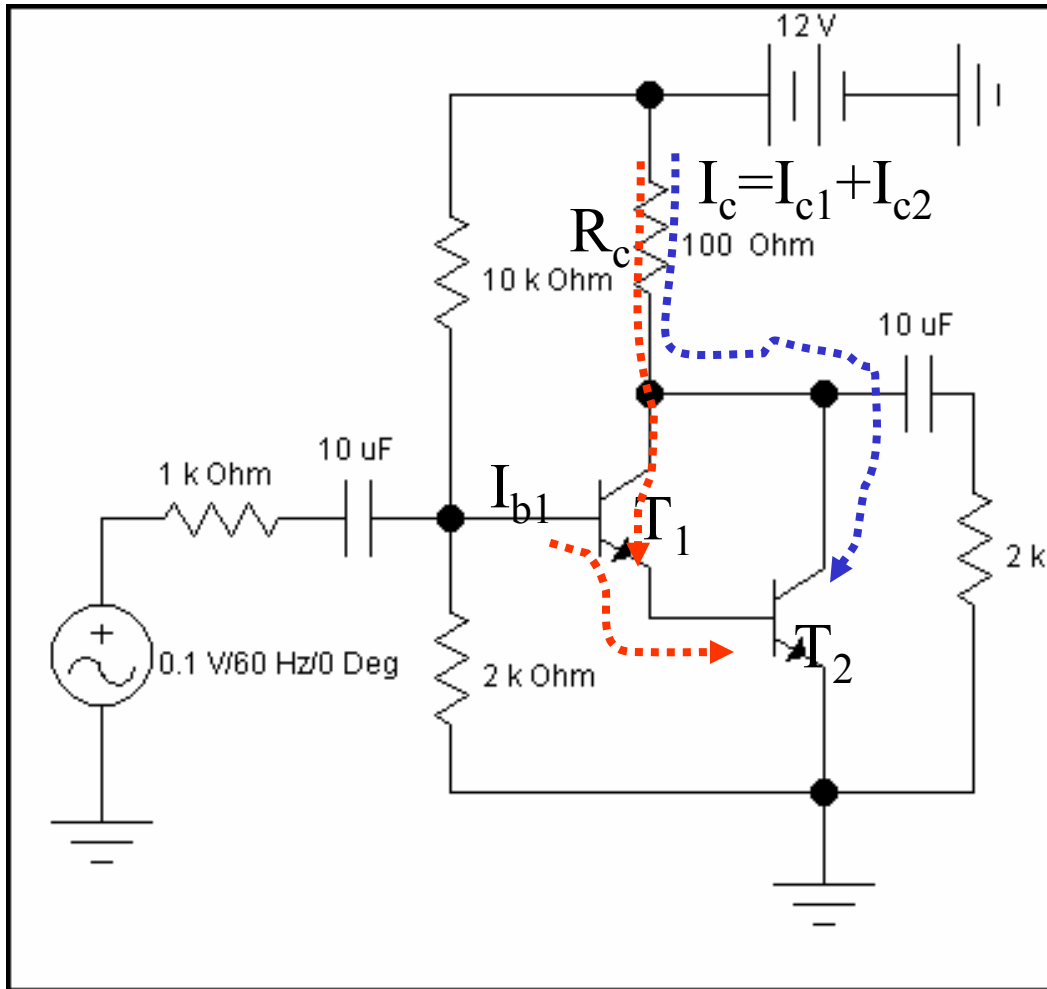
- Để khuếch đại cả hai nửa chu kỳ cần có hai mạch khuếch đại riêng
- Loại chế độ này sẽ không gây tổn hao một chiều

# Nguyên lí mạch khuếch đại ghép dây kéo



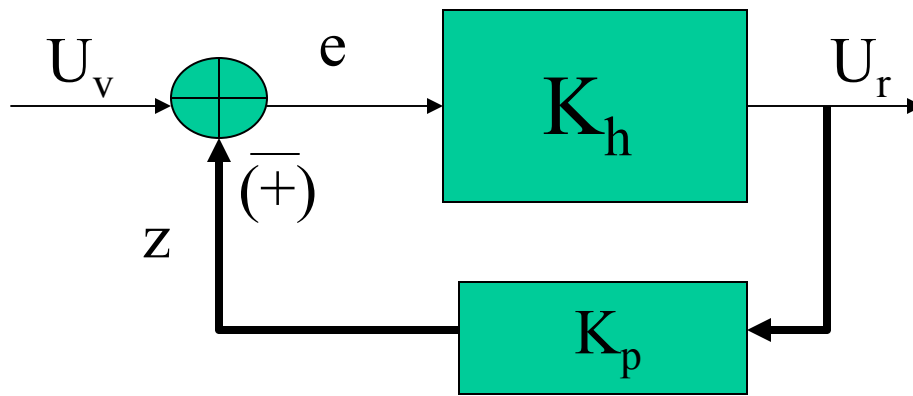
- Điện áp tại chân C và E của T<sub>1</sub> luôn bằng nhau và ngược pha

# Khuếch đại Darlington



- Hệ số khuếch đại bằng tích hai hệ số khuếch đại tương ứng của BJT
- Mạch này thường dùng ở tầng khuếch đại cuối cùng.
- Nhược điểm là hay bị dao động tự kích.

## Phản hồi trong bộ khuếch đại

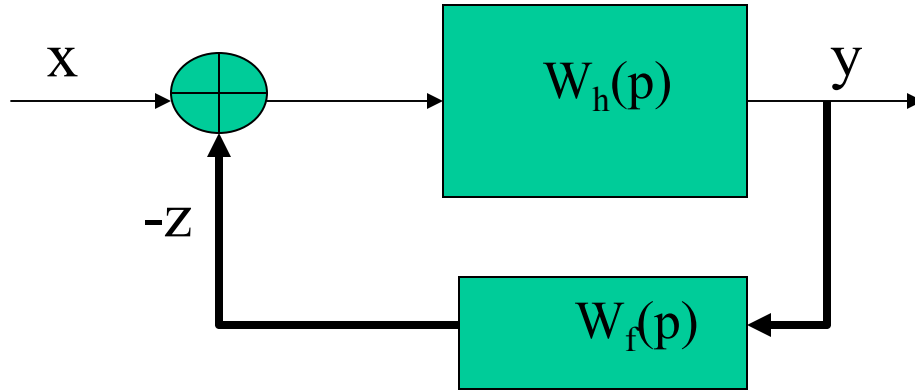


$$K_{ph} = \frac{K_h}{1 \pm K_h K_p}$$

âm (pointing to the minus sign in the denominator)  
dương (pointing to the plus sign in the denominator)

- Phản hồi là lấy một phần tín hiệu ra đem quay trở lại trộn với tín hiệu đầu vào để cải thiện chất lượng bộ khuếch đại.
- Theo tín hiệu có phản hồi điện áp và dòng điện
- Theo hình thức phản hồi có phản hồi âm (ngược pha) và dương (cùng pha)
- Theo cấu trúc có phản hồi song song và phản hồi nối tiếp.
- *Tác dụng làm tăng tổng trở vào và giảm tổng trở ra*
- *Tăng độ rộng dải tần công tác*
- *Ổn định hoá bộ khuếch đại*
- *Nâng cao độ chống nhiễu và giảm khả năng dao động tự kích.*

Trong trường hợp tổng quát, một bộ khuếch đại được coi như một mạch điện với các phần tử tạo nên một quan hệ vào-ra tổng quát:



$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y = b_0 \frac{d^m x}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{dx}{dt} + b_m x$$

Với điều kiện đầu không nguồn

$$W_h(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\sum_{k=0}^m b_k p^{m-k}}{\sum_{i=0}^n a_i p^{n-i}} \qquad W_f(p) = \frac{Z(p)}{Y(p)} = \frac{\sum_{l=0}^{m_f} c_l p^{m_f-l}}{\sum_{h=0}^{n_f} g_h p^{n_f-h}}$$

Hàm truyền của hệ kín

$$W_k(p) = \frac{W_h(p)}{1 + W_h(p)W_f(p)}$$

Trong miền Laplace:  $p = \alpha + j\omega$

Trong miền tần số:  $p = j\omega$

$$W_k(j\omega) = \frac{W_h(j\omega)}{1 + W_h(j\omega)W_f(j\omega)} = P_k(\omega) + jQ_k(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

Với hàm ảnh Furie của  $y(t)$  và  $x(t)$ , ta có

$$Y(j\omega) = Y(\omega)e^{j\varphi(\omega)}; \quad X(j\omega) = X(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

$$A(\omega) = \frac{|Y(\omega)|}{|X(\omega)|}; \quad \varphi(\omega) = \arctan \frac{Q_k(\omega)}{P_k(\omega)}$$

Tùy thuộc góc lệch pha, tín hiệu ra có thể cùng pha hay ngược pha, hay lệch một góc pha bất kì so với tín hiệu vào

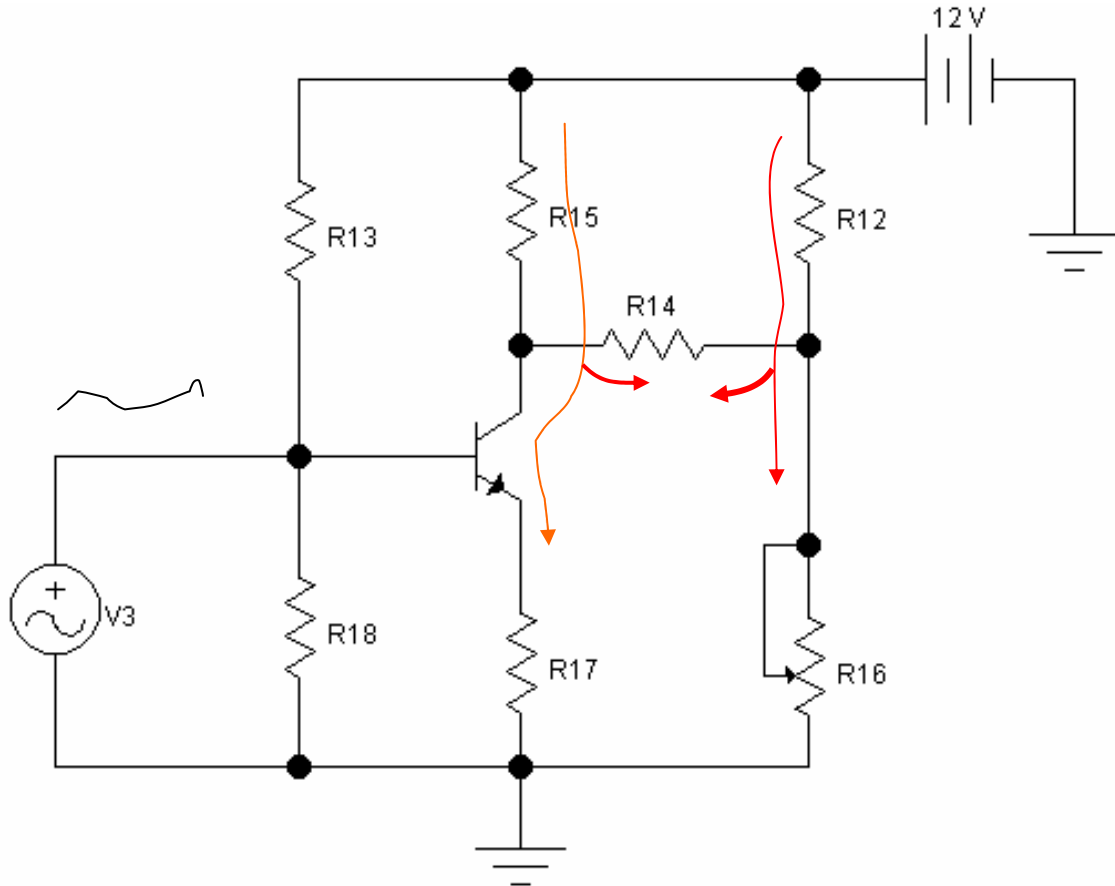
Đặt  $A(\omega)=K$

$$W_k(j\omega) = \frac{K_h e^{j\varphi_h(\omega)}}{1 + K_h e^{j\varphi_h(\omega)} K_f e^{j\varphi_f(\omega)}} = K_k K_h e^{j\varphi_k(\omega)}$$

Nhận xét:

- Hệ số khuếch đại của mạch có phản hồi là một trị phức
- Góc lệch pha phụ thuộc cấu trúc mạch phản hồi
- Hệ số khuếch đại làm việc phụ thuộc tần số tín hiệu
- Mạch phản hồi làm việc ổn định nếu góc lệch pha không làm đảo dấu tín hiệu phản hồi theo qui ước.
- Quá trình quá độ phụ thuộc giá trị  $K_h$ , góc pha  $\varphi$

# KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU BIẾN THIÊN CHẬM



•Đặc điểm:

-Tín hiệu biến thiên rất chậm

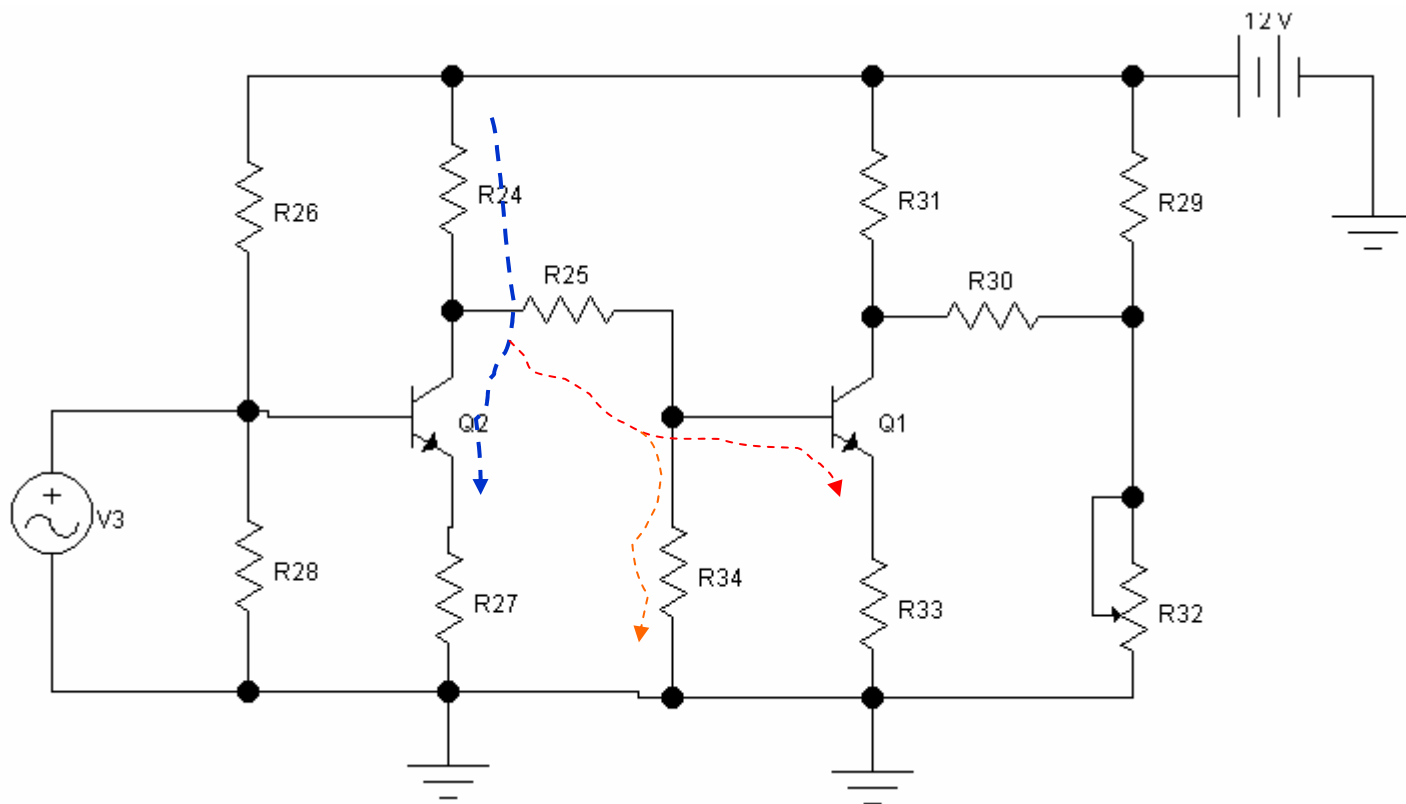
-Không nối tầng bằng tụ hay biến áp

-Dễ bị trôi do nguồn và nhiệt độ

-Dễ mất cân bằng điện áp trên tải



# Ghép tầng trong khuếch đại một chiều

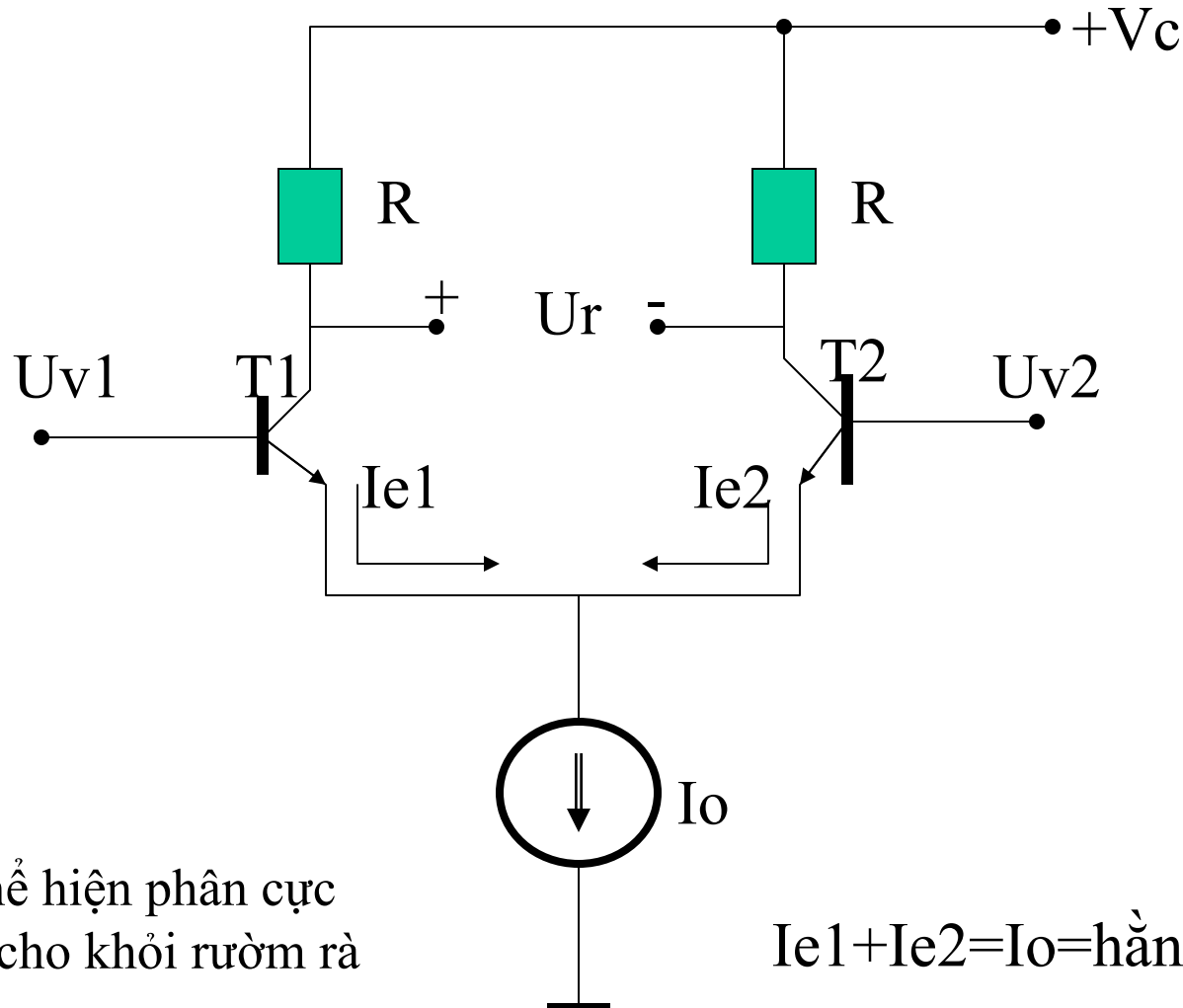


Thường ghép tầng trực tiếp hay ghép quang

Tín hiệu đầu vào bé, tổng trở tín hiệu biến thiên rộng

Tính toán phân cực phức tạp

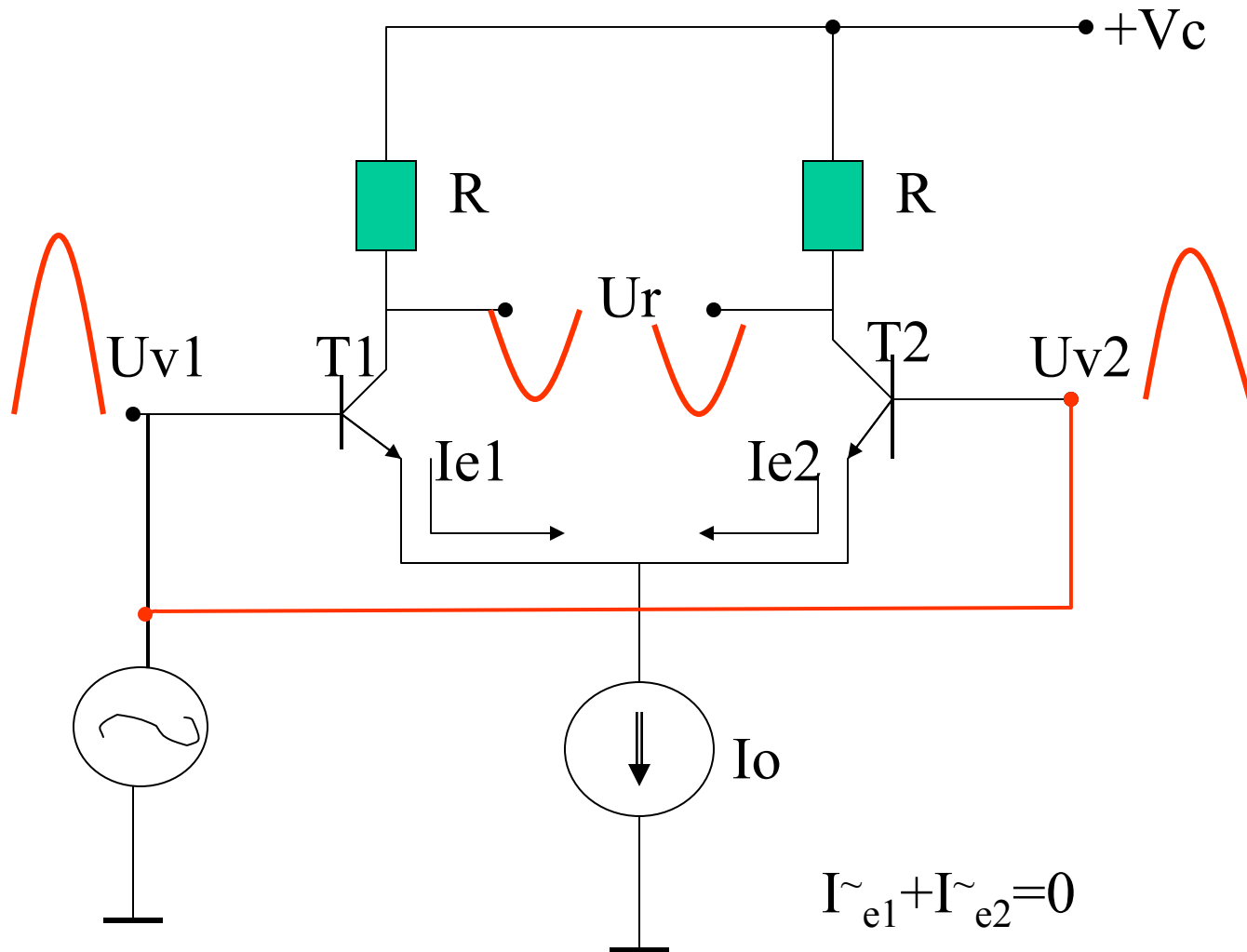
# KHUẾCH ĐẠI VI SAI



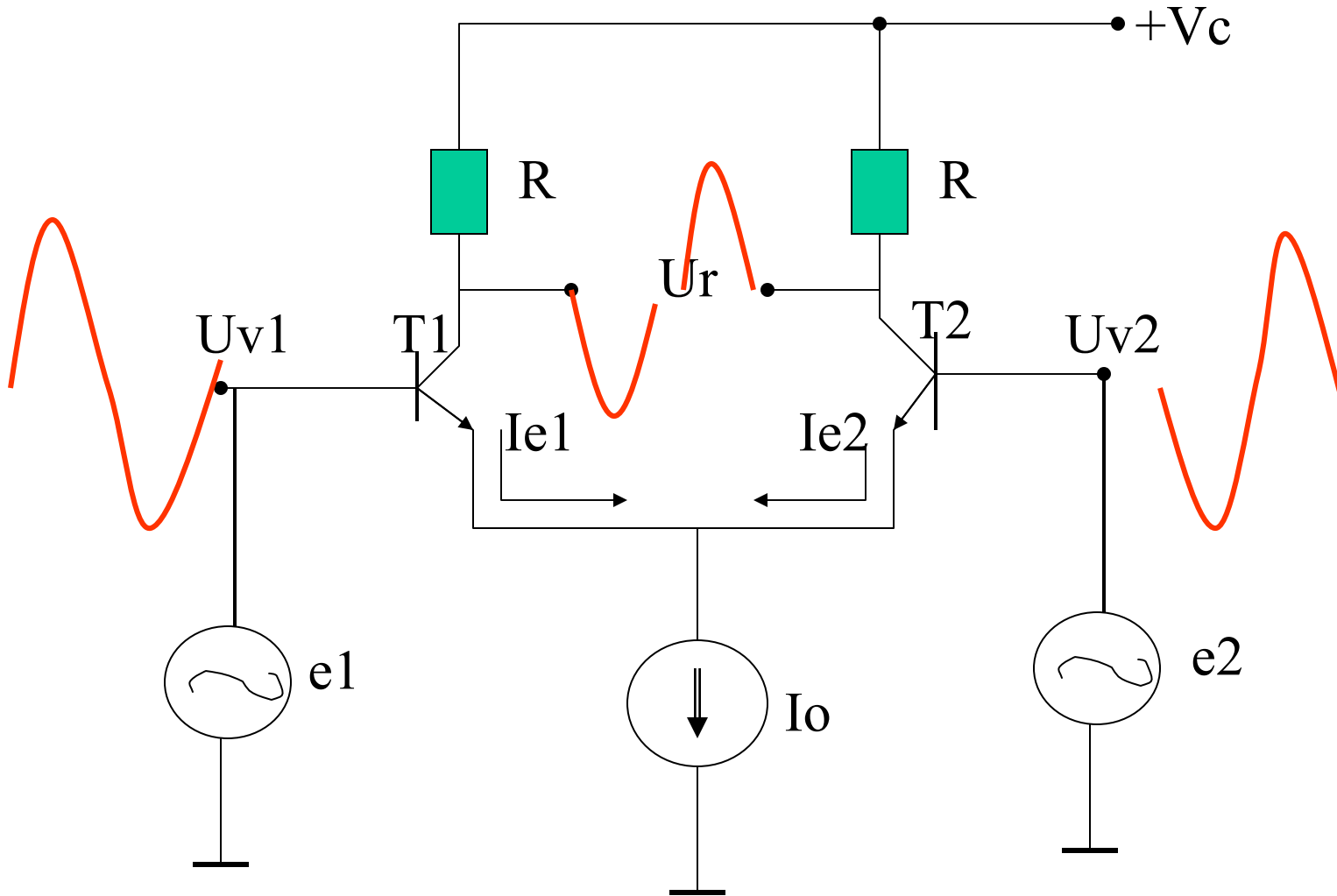
Không thể hiện phân cực  
của BJT cho khởi rườm rà

$$I_{e1} + I_{e2} = I_o = \text{hằng số}$$

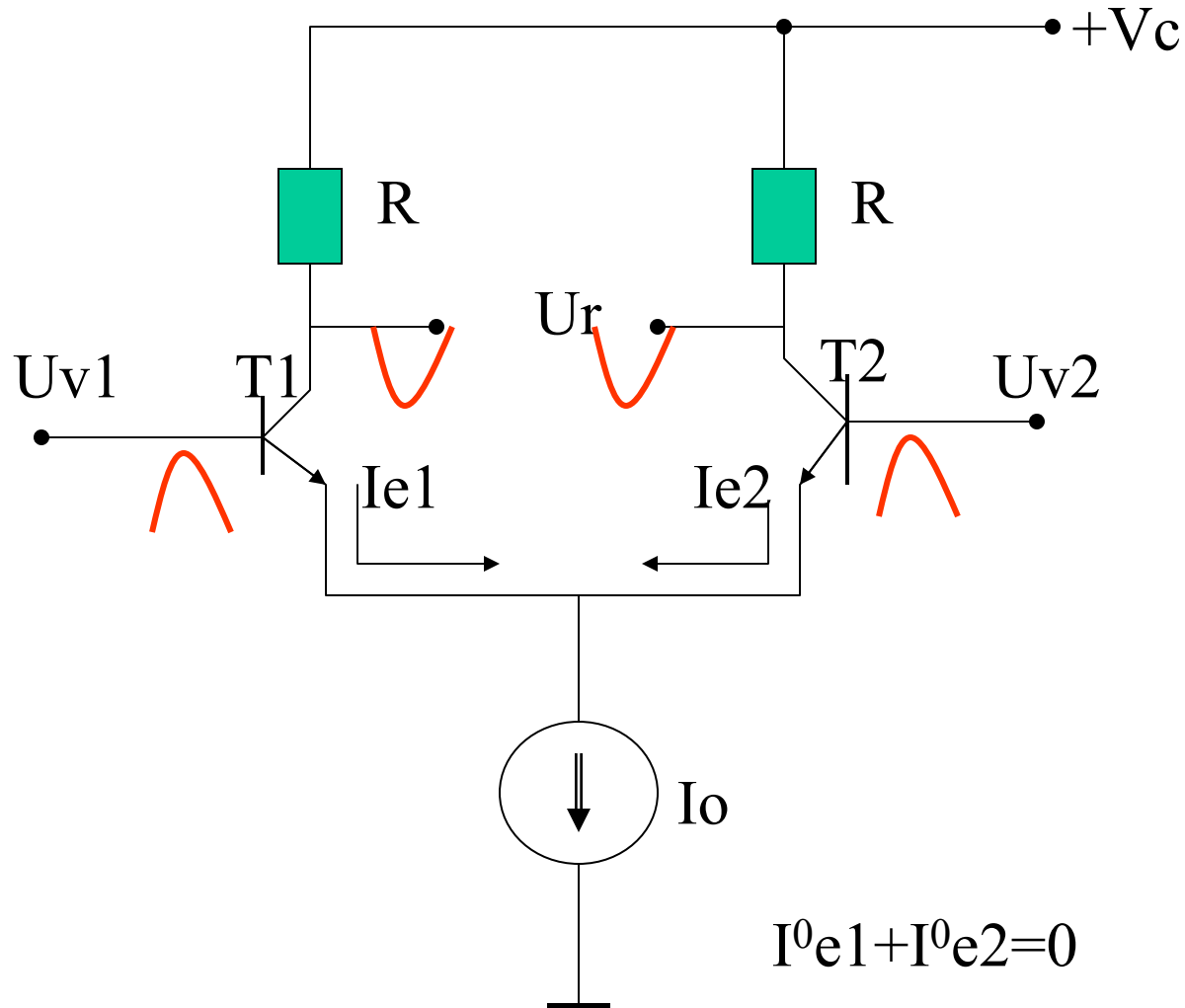
# KHUẾCH ĐẠI VI SAI-cùng pha



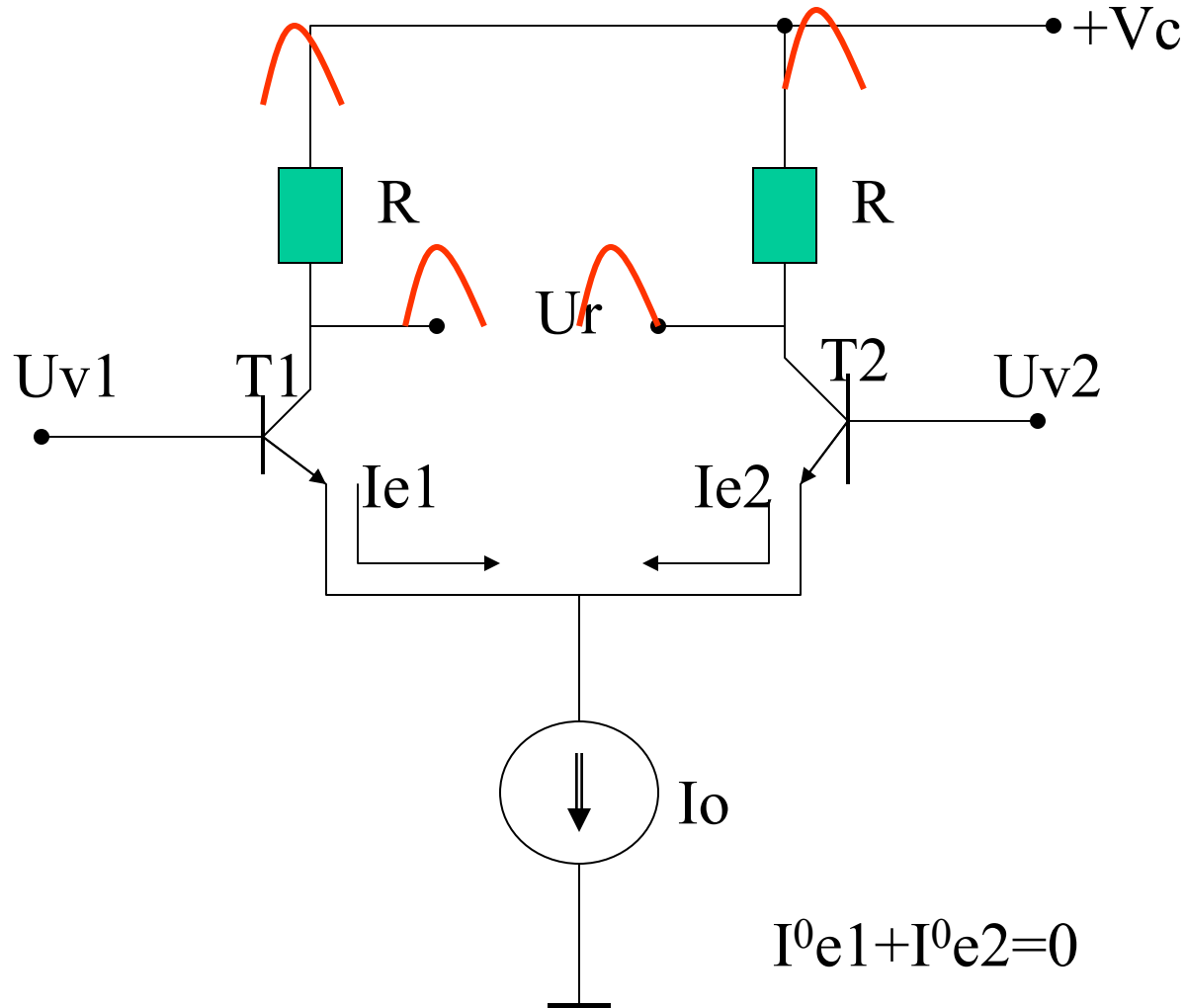
# khuếch đại vi sai - ngược pha



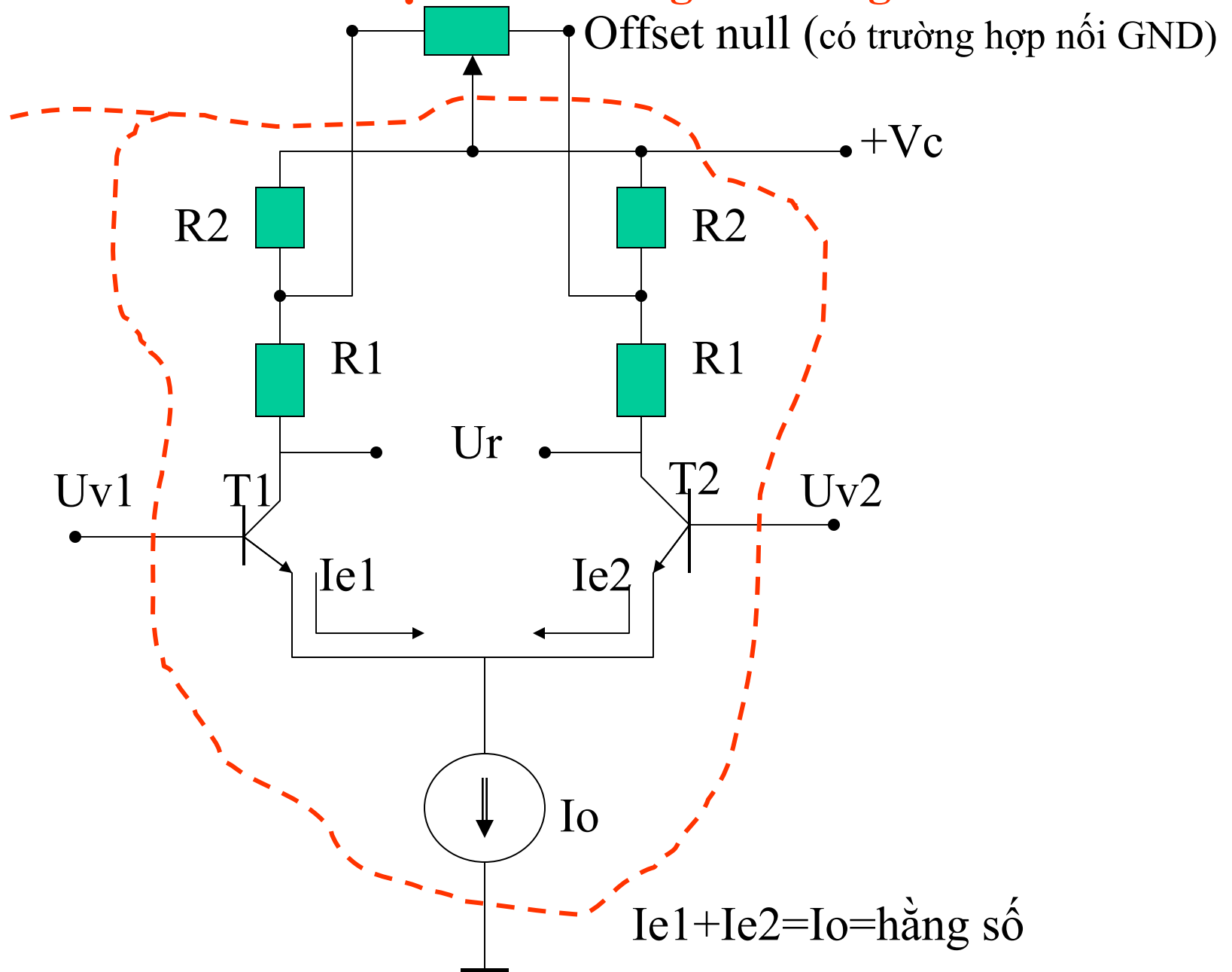
# khuếch đại vi sai – trôi nhiệt



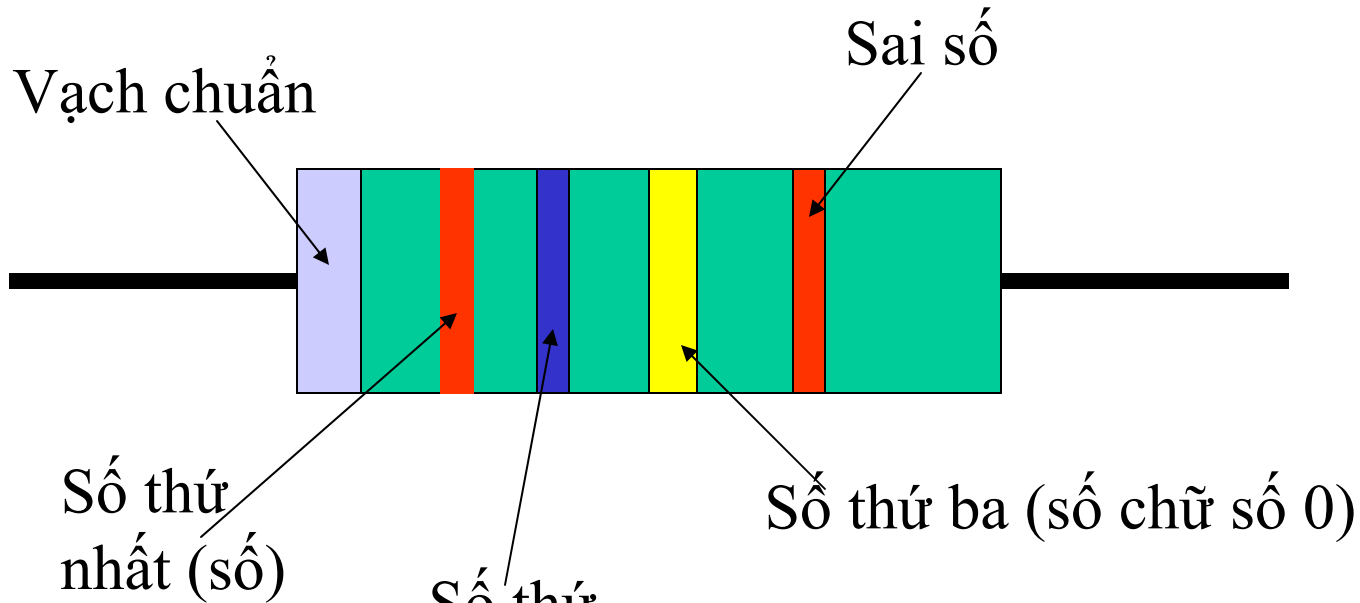
# khuếch đại vi sai – trôi nguồn



# Khuếch đại vi sai không cân bằng



# Đọc giá trị điện trở



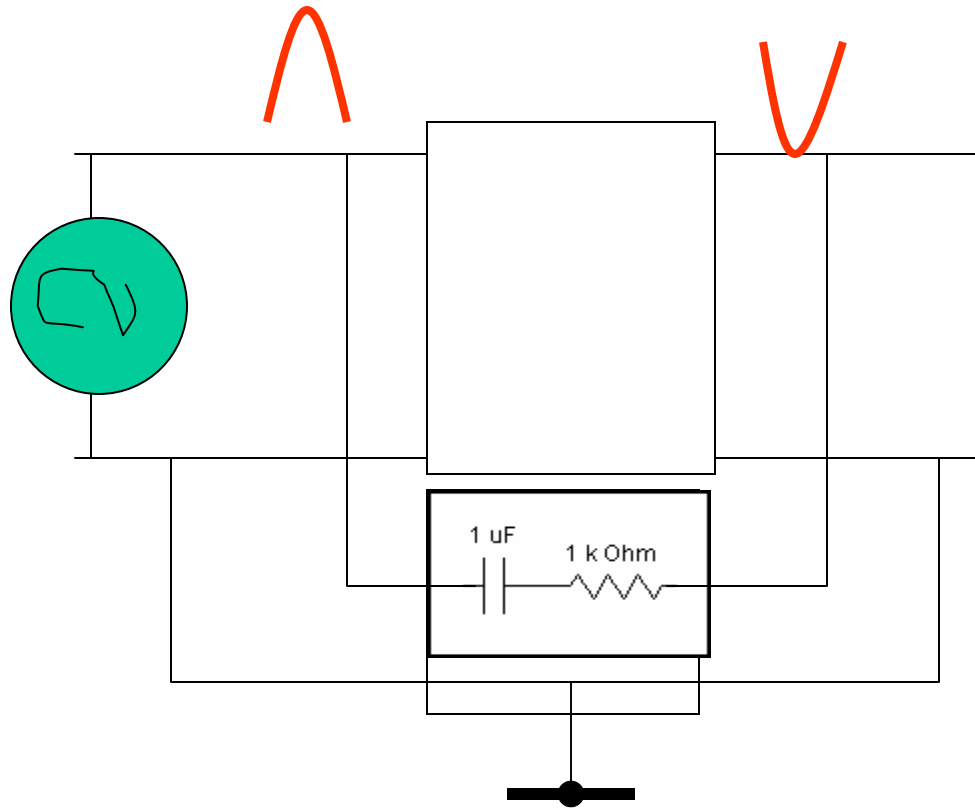
- 0 Đen
- 1 Nâu
- 2 Đỏ
- 3 Cam
- 4 Vàng
- 5 Xanh
- 6 Lơ (blue)

- 7 Tím
- 8 Xám
- 9 Trắng

260000 ±2%

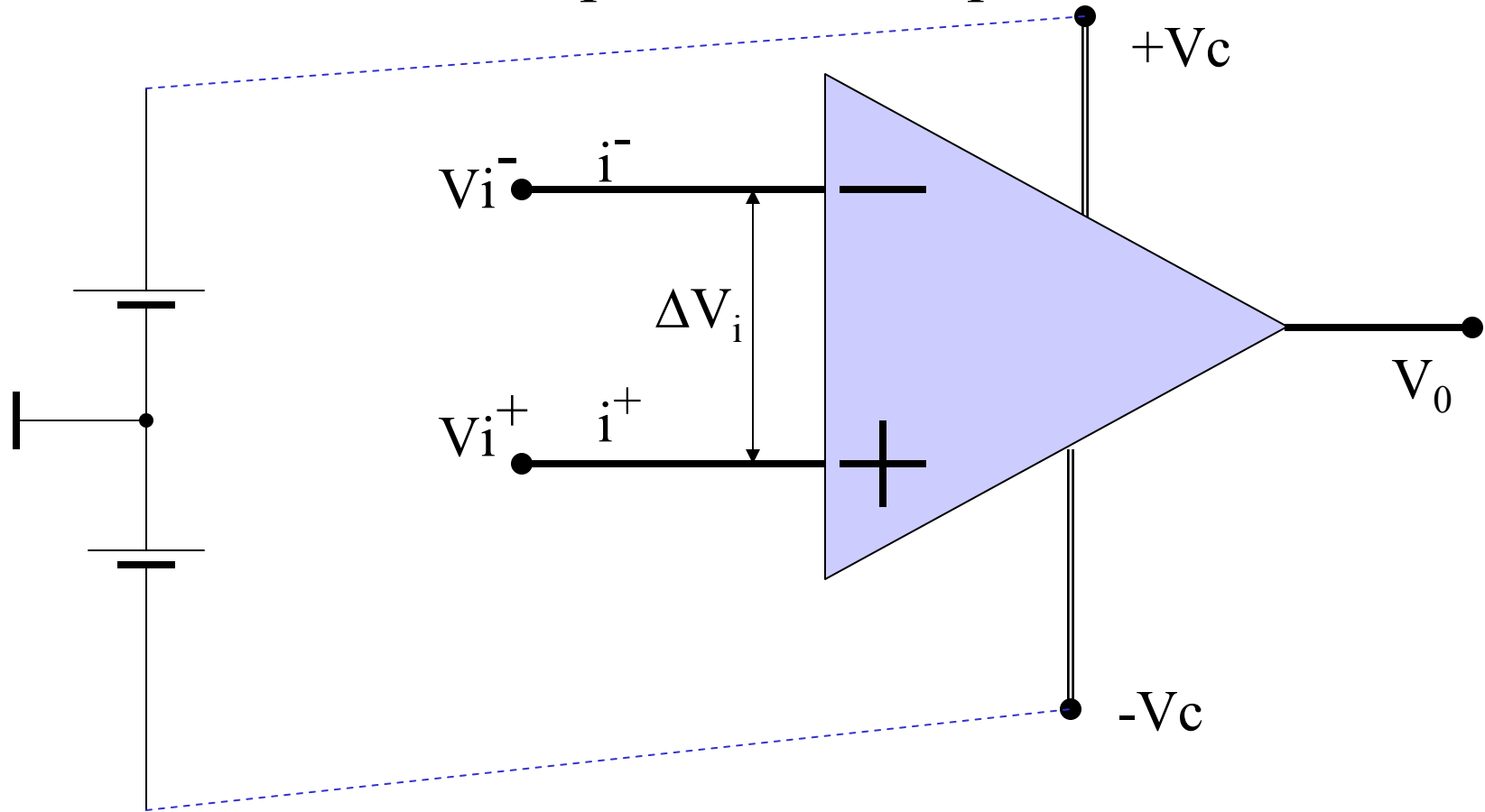


# Phản hồi áp và dòng



# Chương 3- KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN- OA

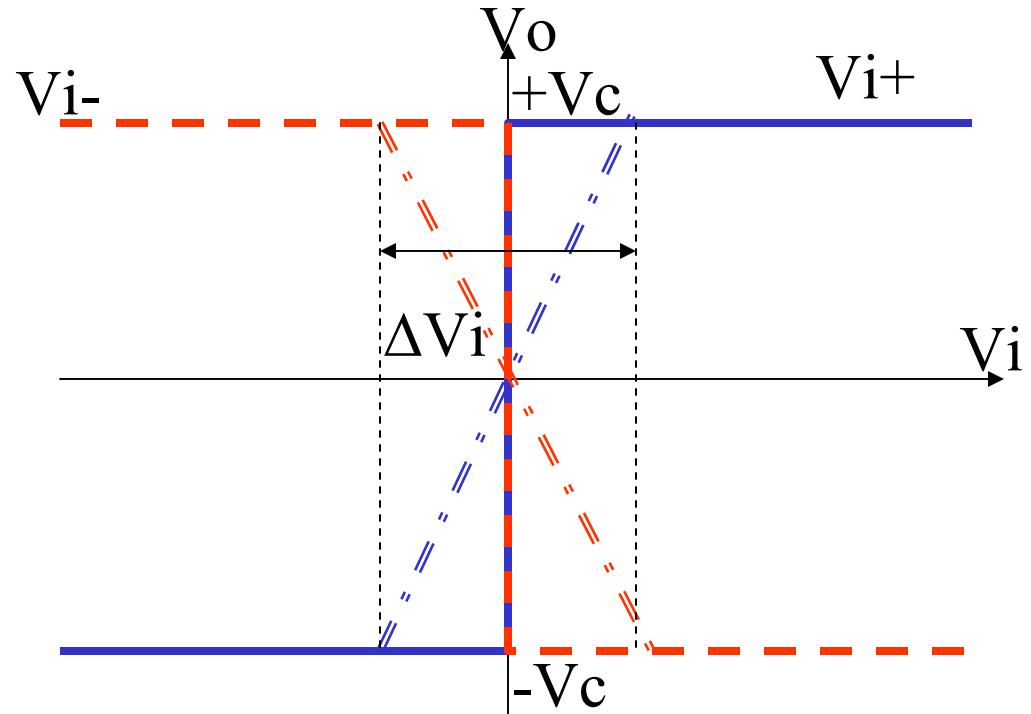
## Operational Amplifier



$$R_v = \infty; R_r = 0; i^- = i^+ = 0; K_h = \infty; \quad \mathbf{V_0 = K_h \Delta V_i}$$

IC – Integrated Circuit

## Đặc tính vào ra của OA



- Khi  $V_i^+ > V_i^- \rightarrow V_o = +V_c$  ( $V_i^- = 0$ )
- Khi  $V_i^+ < V_i^- \rightarrow V_o = -V_c$  ( $V_i^- = 0$ )
- Do OA thực tế không thể có  $K_h = \infty$  mà chỉ  $10^4$  :-  $10^6$  nên tồn tại  $\Delta V_i$  cỡ vài mV được khuếch đại tuyến tính
- Thực tế người ta không dùng vùng khuếch đại này

## Các chế độ làm việc của OA

- A. Chế độ tuyến tính (khuếch đại): cần có phản hồi âm sâu để giảm hệ số khuếch đại. *Nói mạch phản hồi đầu ra về chân đảo*

Luôn có:  $V_i^+ = V_i^-$   
 $i^+ = i^- = 0$

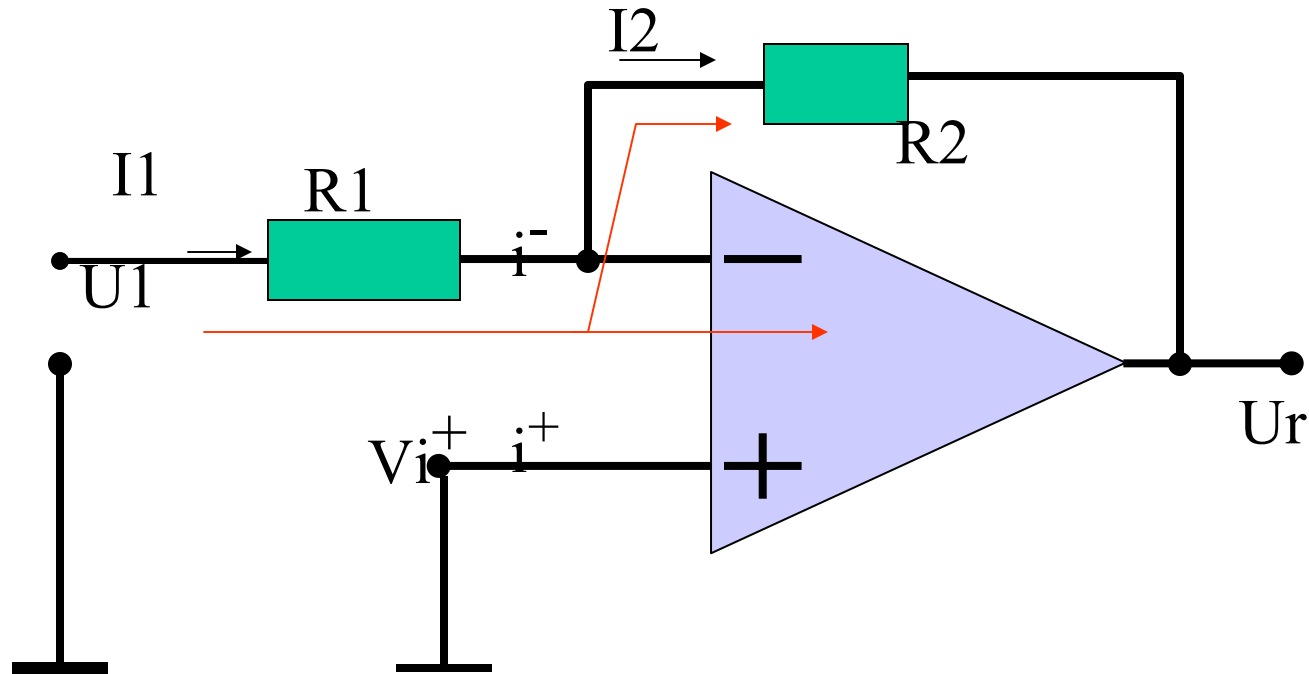
- B. Chế độ xung (**on** – **off**) (Không có phản hồi)

$$V_i^+ > V_i^- \rightarrow V_o = +V_c$$

$$V_i^+ < V_i^- \rightarrow V_o = -V_c$$

- C. Chế độ tự dao động: sóng sin, tam giác, răng cưa, chữ nhật... cần có phản hồi dương. Nói mạch phản hồi từ đầu ra về chân không đảo.

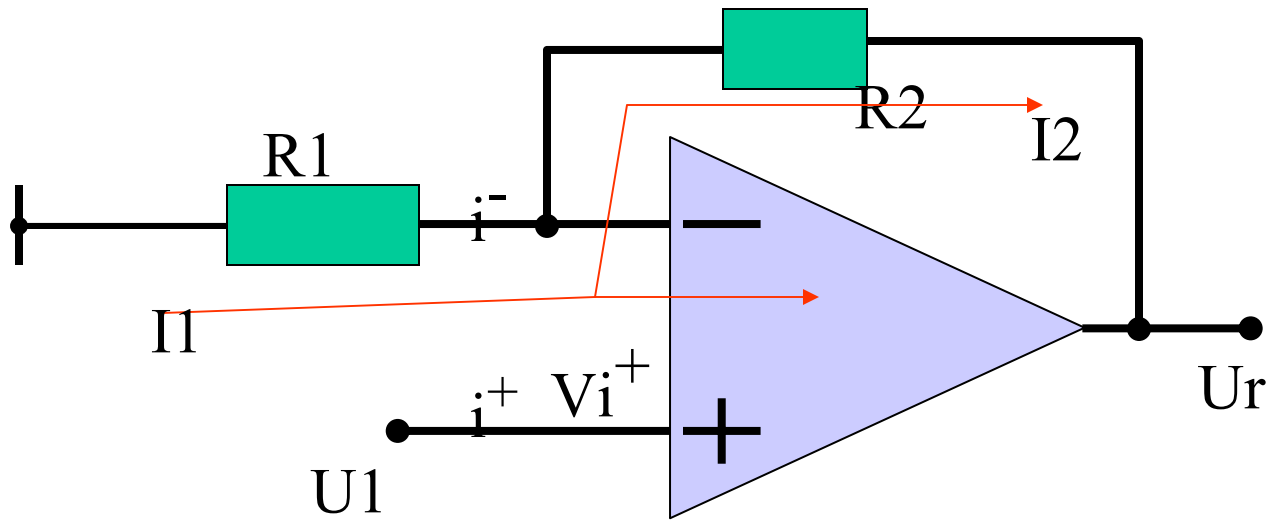
# Các ứng dụng tuyến tính của OA



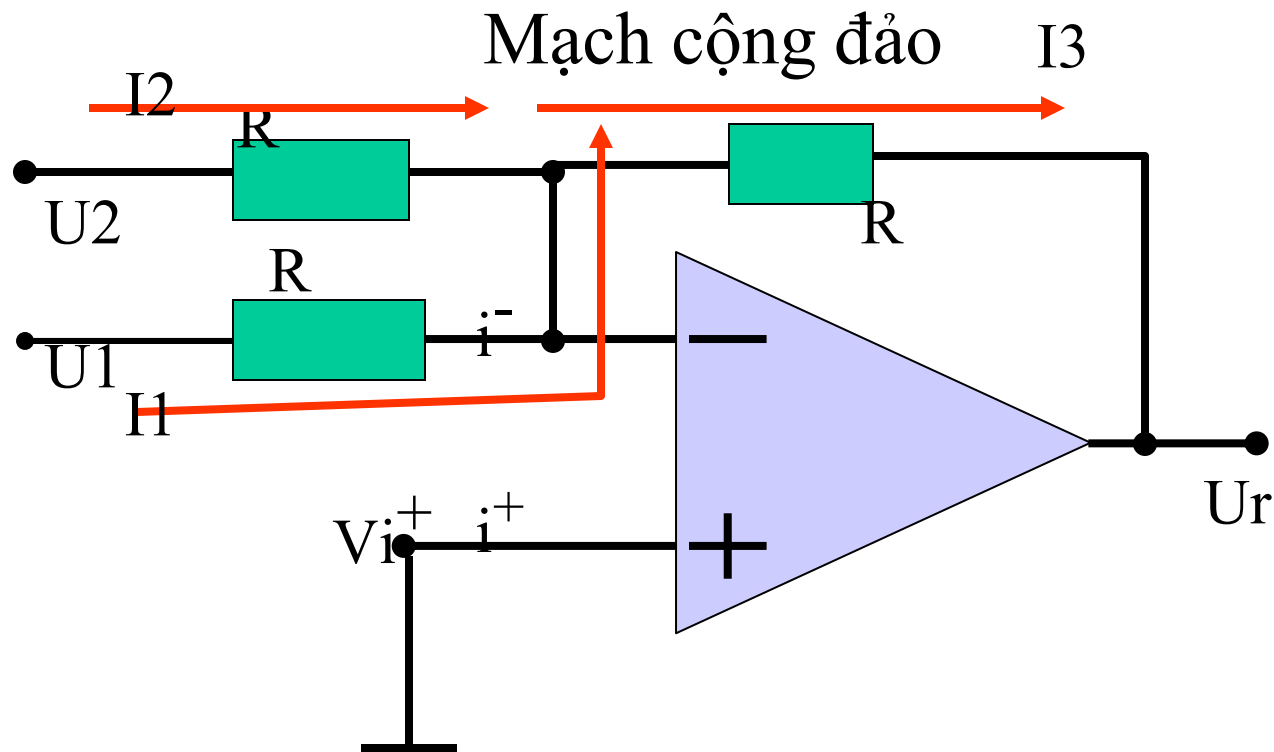
$$V_{i+} = V_{i-} = 0$$

$$\text{Mạch khuếch đại đảo: } U_r = -(R_2/R_1)U_1$$

# Khuếch đại không đảo

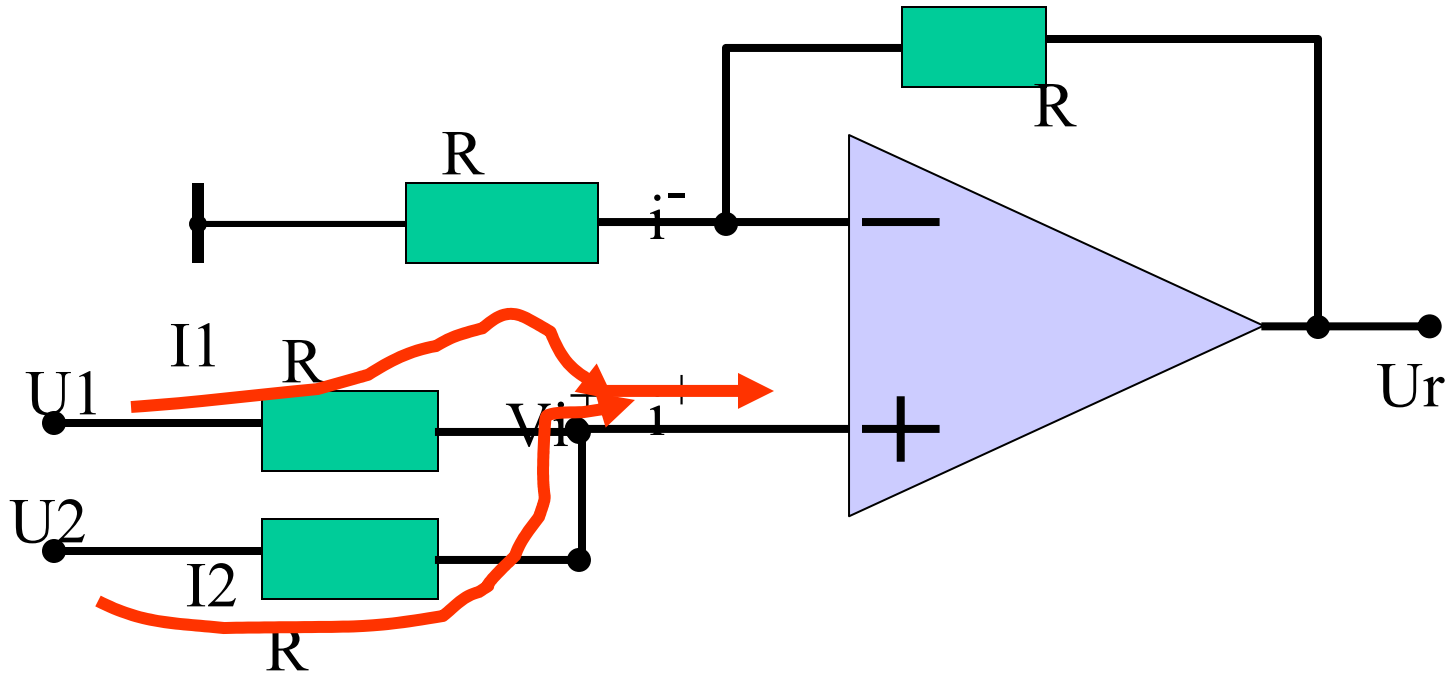


- $V_{i+} = V_{i-} = U_1$
- Điện áp ra:  $U_r = (1 + R_2/R_1)U_1$



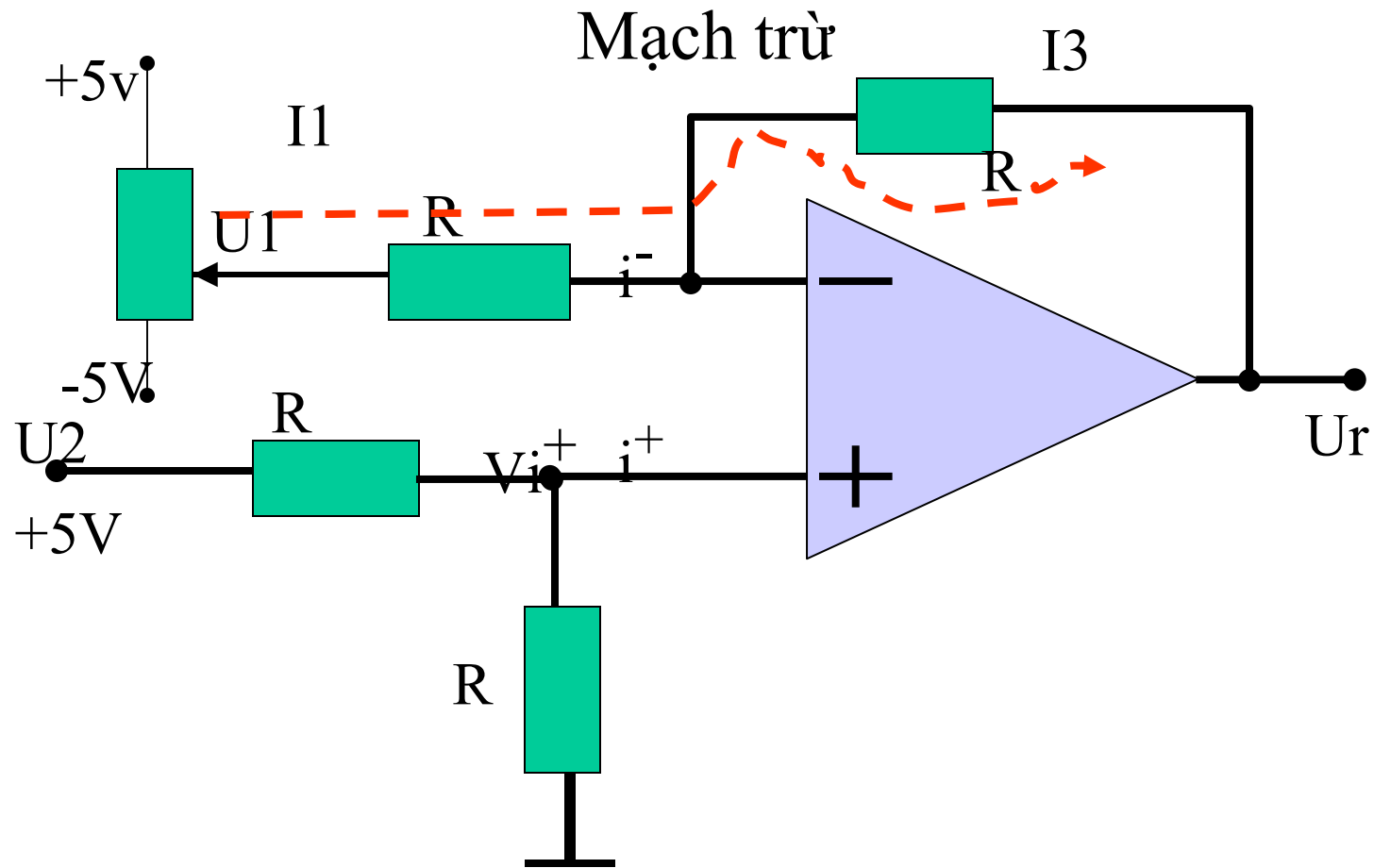
- $V_{i+} = V_{i-} = 0$
- $U_r = -(U_1 + U_2)$

# Mạch cộng không đảo



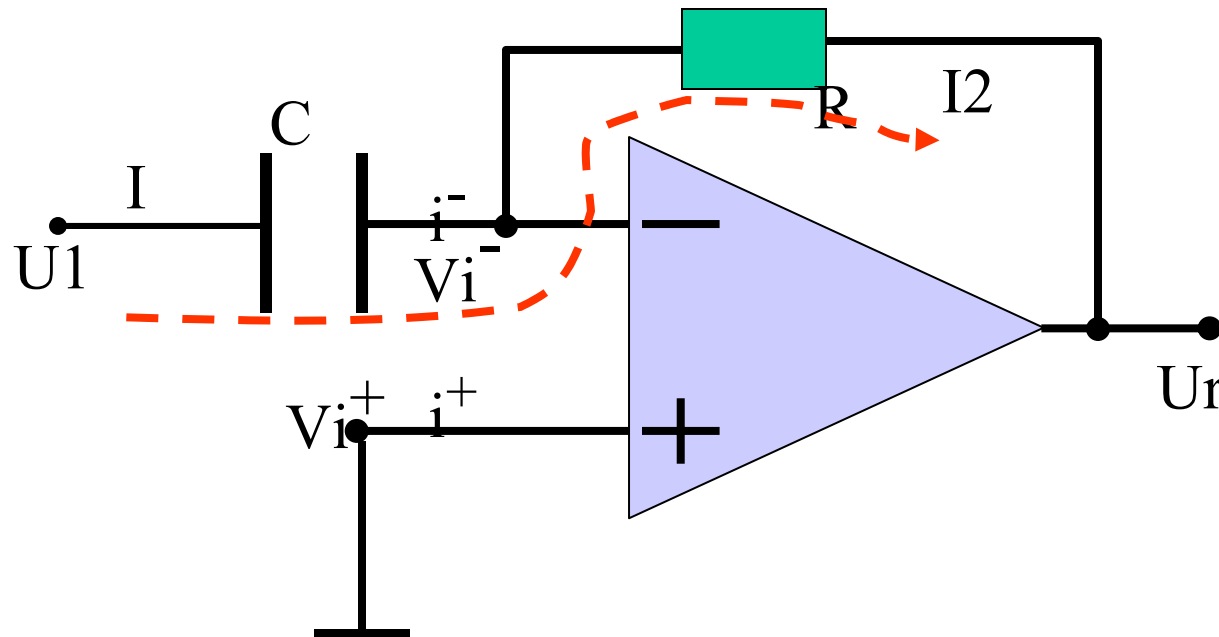
$$V_{i+} = V_{i-} = U_r/2; \quad U_r = U_1 + U_2$$





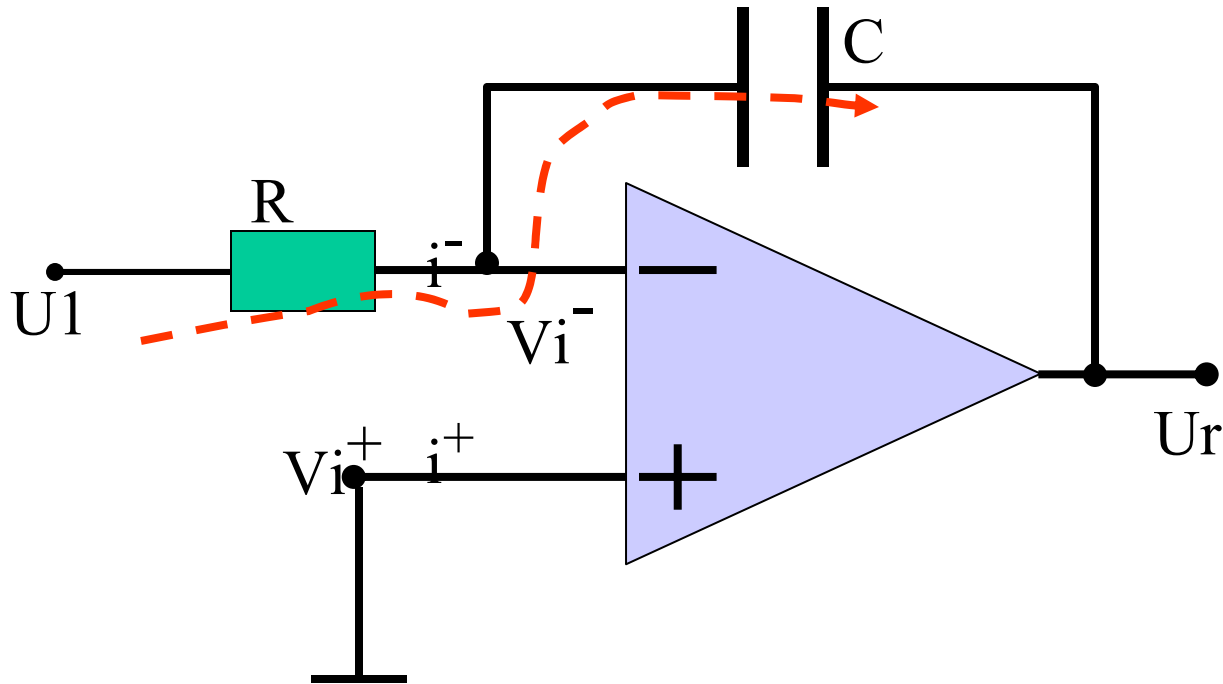
- $V_{i+} = V_{i-} = U_2/2$ ;  $U_r = U_2 - U_1$
- $U_2 = U_r + U_1 \equiv \alpha_2 + \alpha_1 = \alpha = 180 \text{ độ}$

## Mạch vi phân đảo



- $V_{i+} = V_{i-} = 0$
- $U_r = -RC(dU_1/dt) = -T.dU_1/dt$

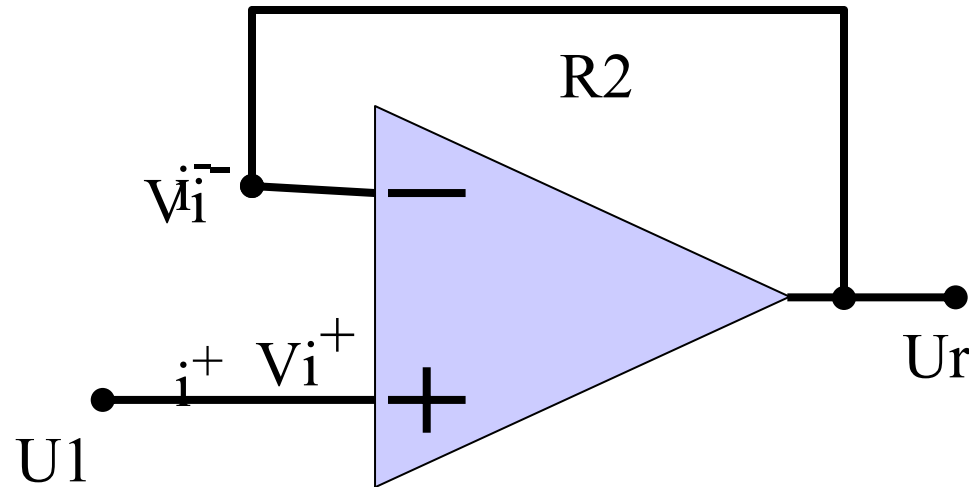
## Mạch tích phân đảo



- $V_{i^+} = V_{i^-} = 0$

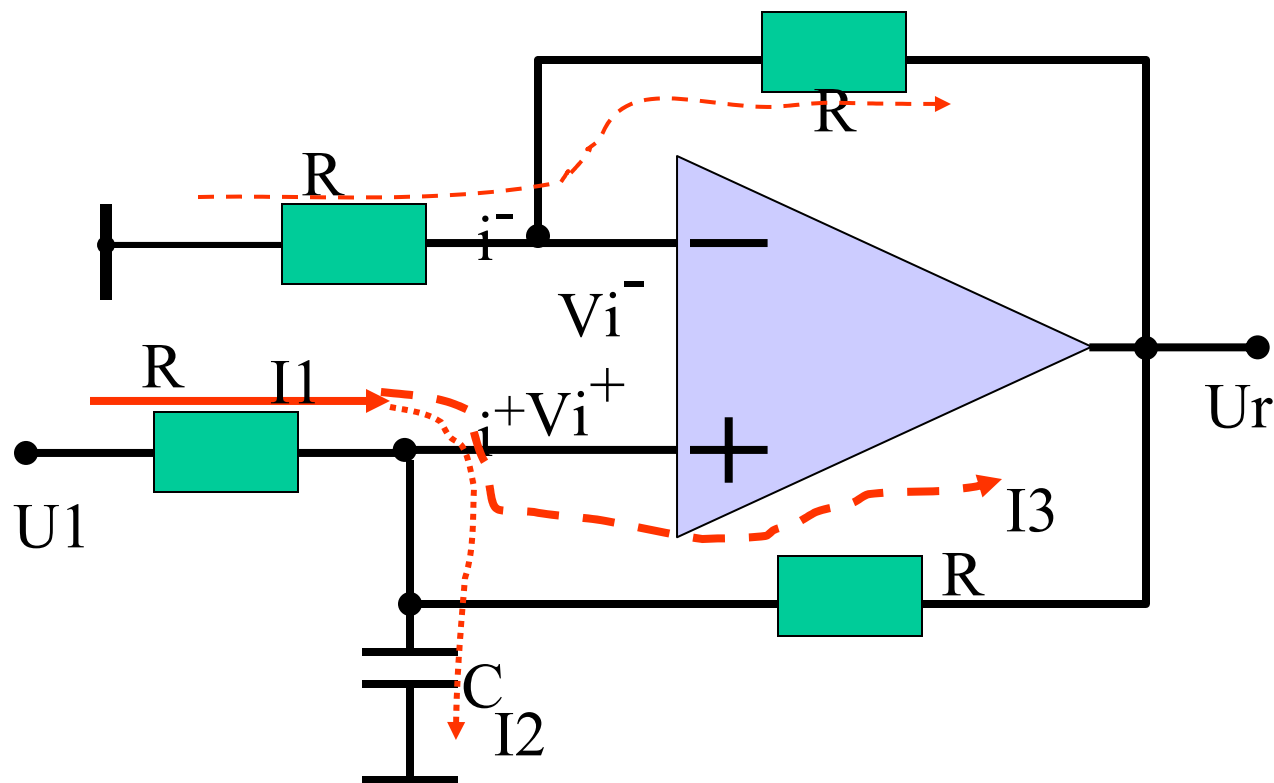
$$U_r = -\frac{1}{RC} \int U_1 dt$$

## Mạch lặp điện áp



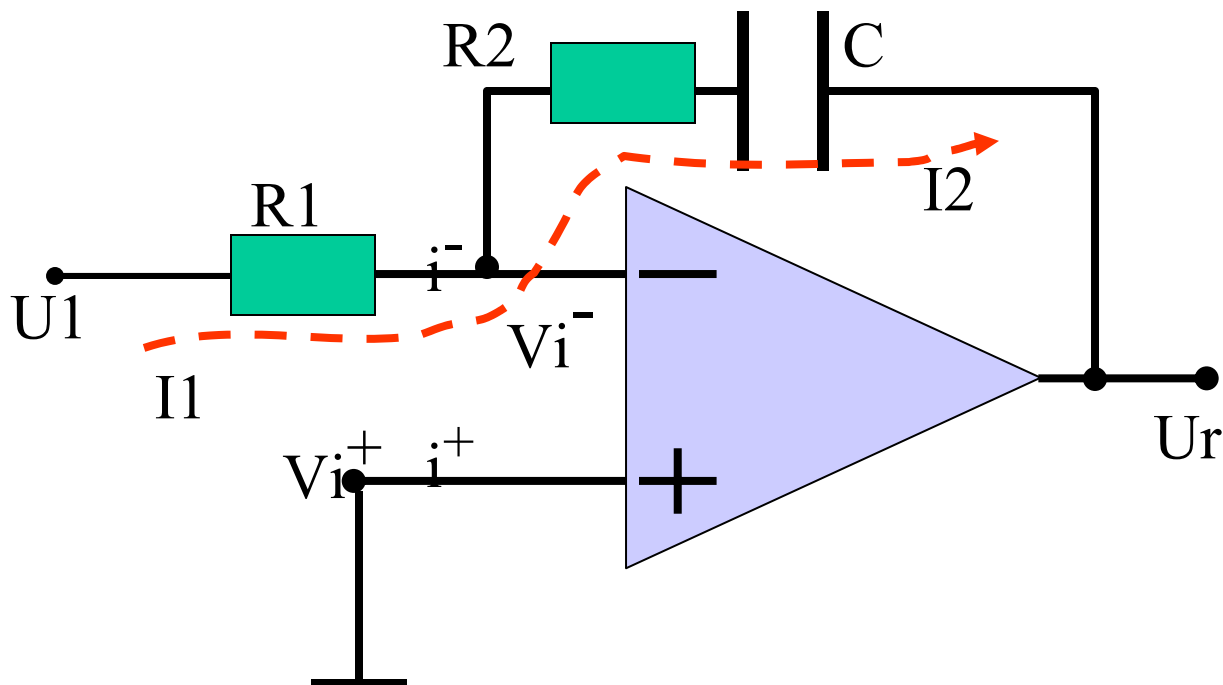
- $U_r = U_1$ ; dùng tạo trở kháng nguồn thấp

# Mạch tích phân không đảo



$$U_r = \frac{2}{RC} \int U_1 dt$$

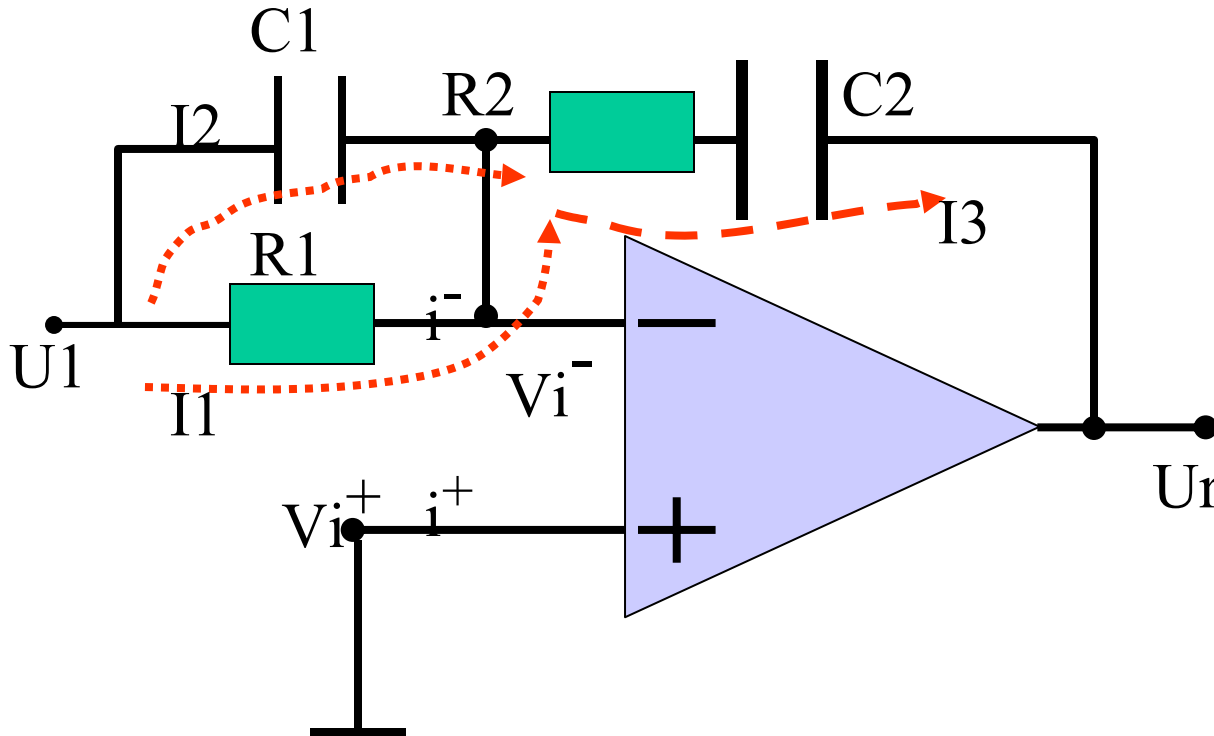
## Mạch PI (Proportional Integrated)



$$U_r = -\frac{R_2}{R_1} U_1 - \frac{1}{CR_1} \int U_1 dt$$

- Tỷ lệ  $\rightarrow$   $\frac{R_2}{R_1}$
- Tích phân  $\rightarrow$   $\int U_1 dt$

# Mạch PID – Proportional Integrated Derivative

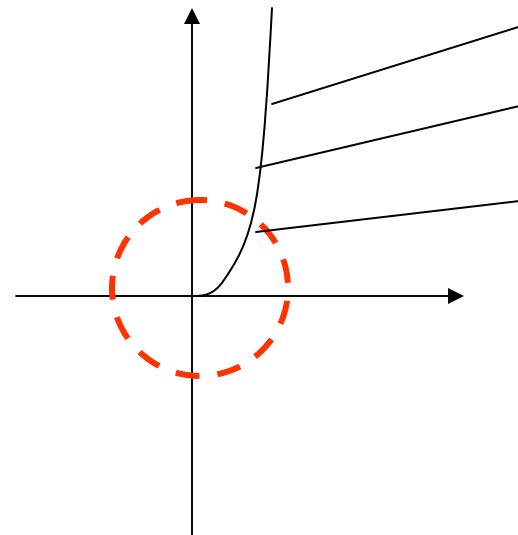


$$kU_1 + \frac{1}{T_i} \int U_1 dt + T_d \frac{dU_1}{dt}$$

- Tỷ lệ
- Tích phân
- Vi phân

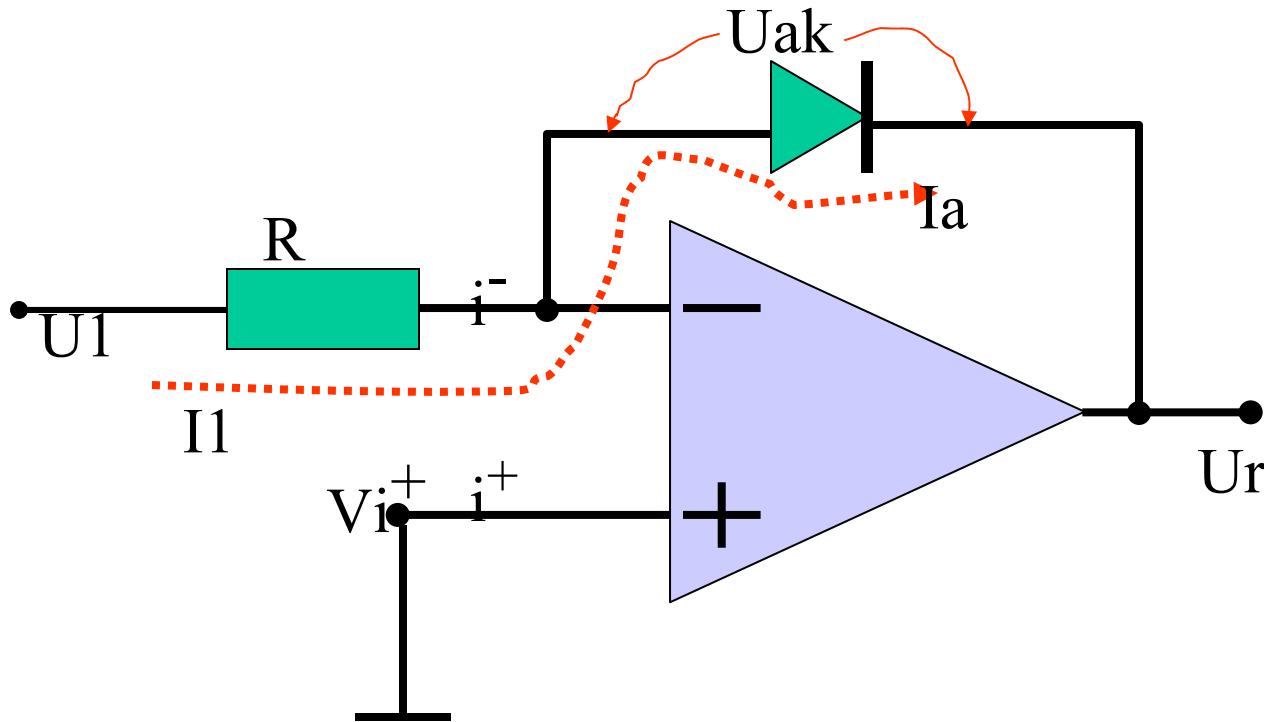
# Quan hệ I và U trong tiếp giáp p-n trong vùng điện áp thấp và dòng nhỏ

- Trong Diode:  $I_A = k \cdot e^{U_{ak}}$
- $U_{ak} = \ln I_A$
- Trong Tranzitor  $I_c = k \cdot e^{U_{ce}}$
- $U_{ce} = \ln I_c$





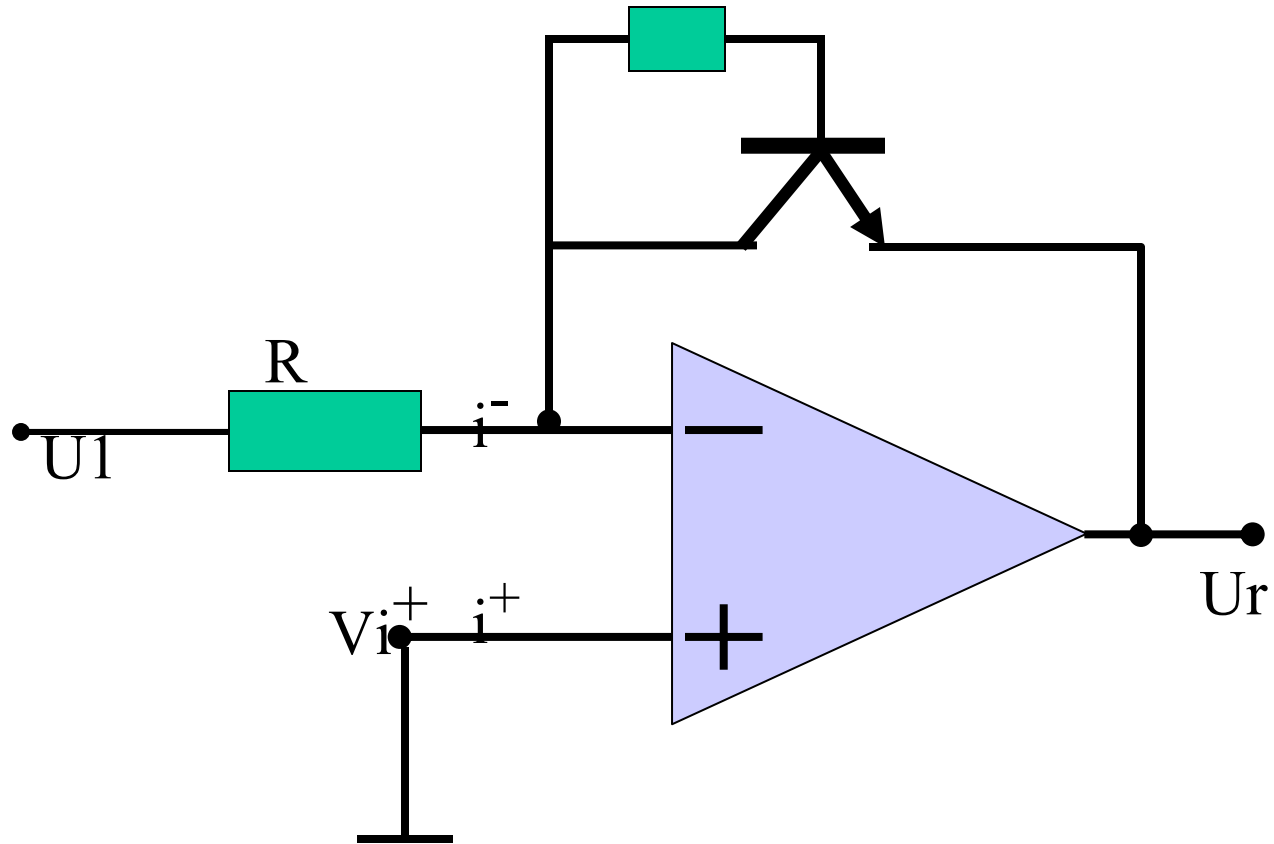
## Mạch lấy logarit



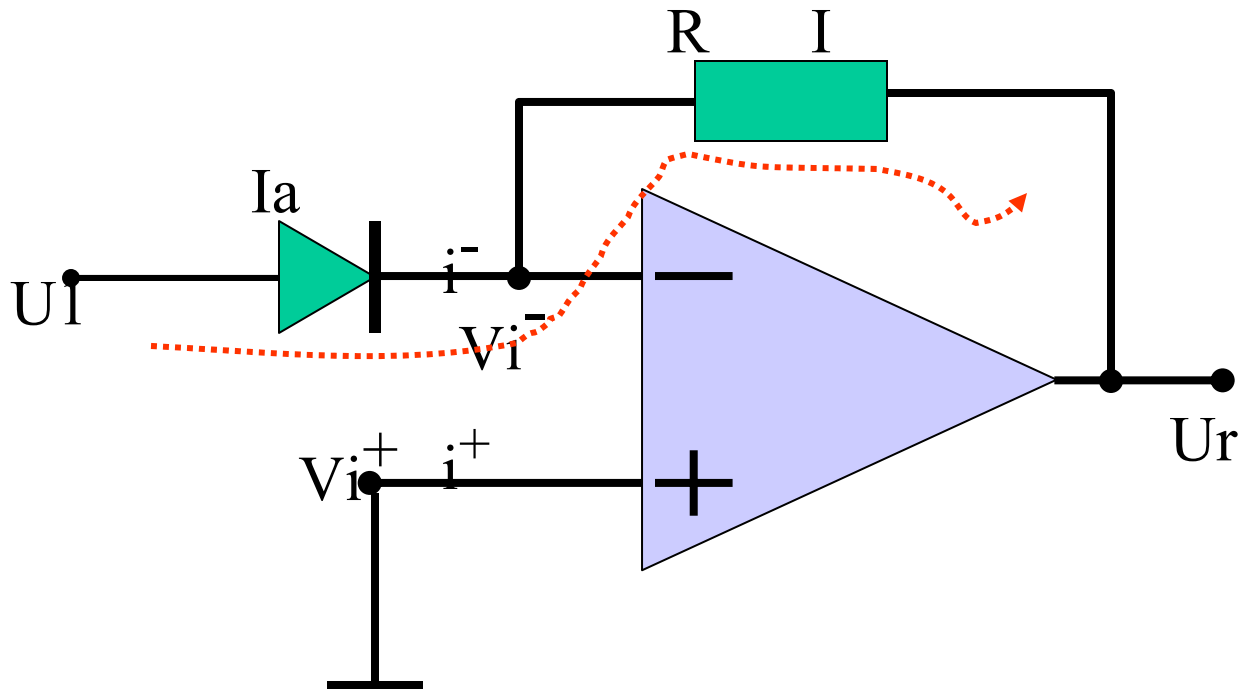
$$I_a = I_1 = U_1/R \rightarrow -U_r = U_{ak} = \ln(U_1/R)$$

*Vậy điện áp ra tỉ lệ với logarit điện áp vào.*

# Mạch lấy logarit bằng BJT



# Mạch lấy hàm mũ

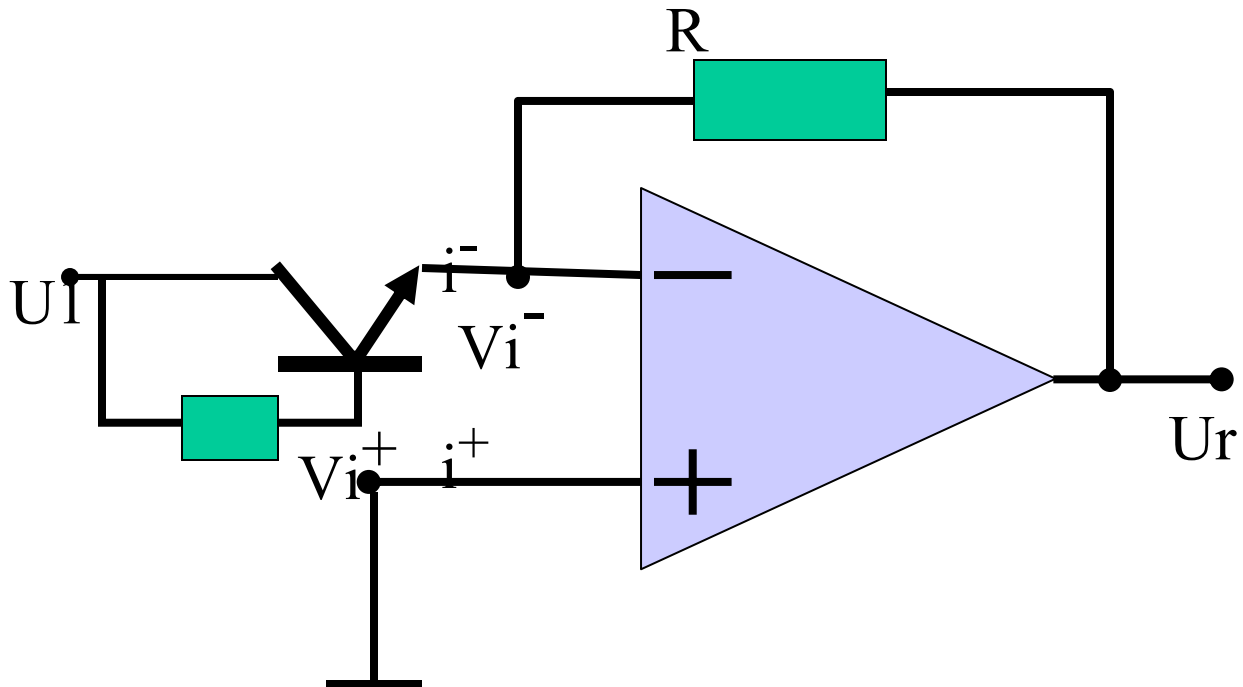


$$I_a = I = -U_r/R = k e^{U_{ak}}$$

$$U_r = -kR \cdot e^{U_1}$$

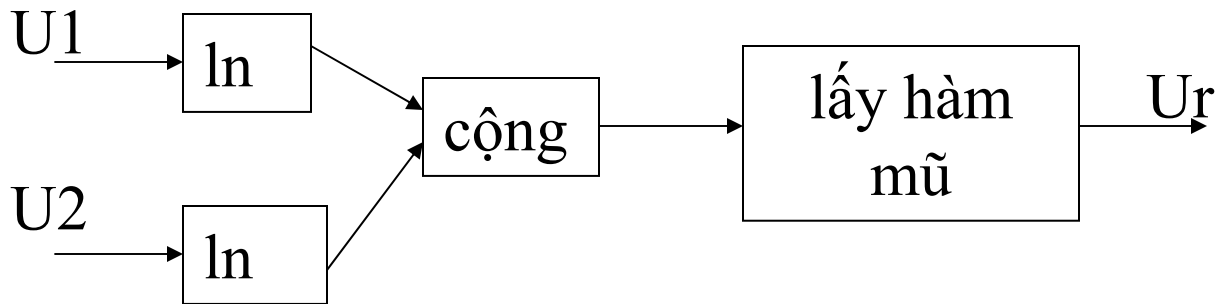
*Vậy điện áp ra tỉ lệ với hàm mũ e của điện áp vào*

# Mạch tạo tín hiệu hàm mũ bằng BJT

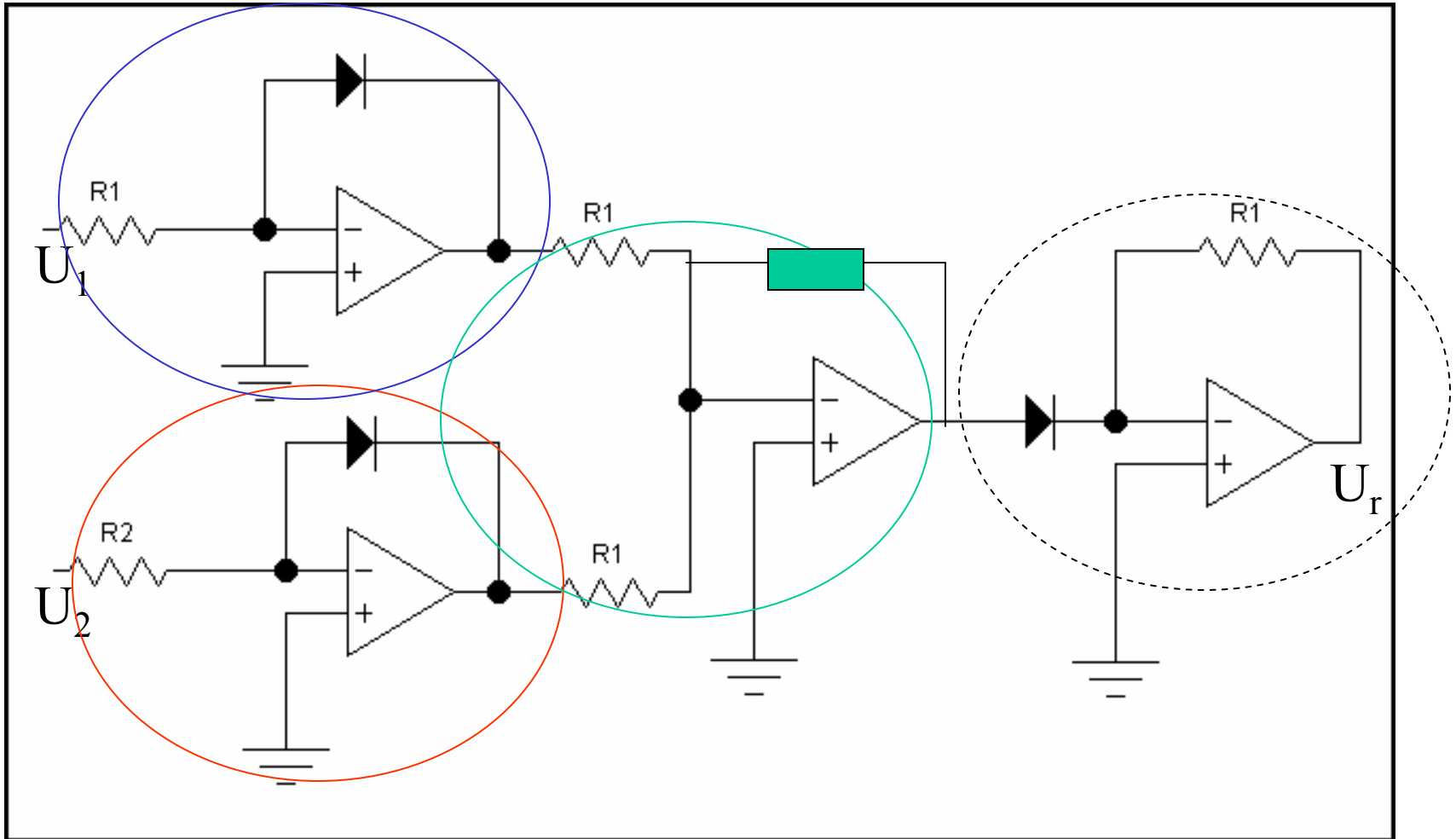


## Mạch nhân hai điện áp

- $U_r = U_1 \times U_2$
- $\ln U_r = \ln(U_1 \cdot U_2) = \ln U_1 + \ln U_2$
- $U_r = e^{(\ln U_1 + \ln U_2)}$

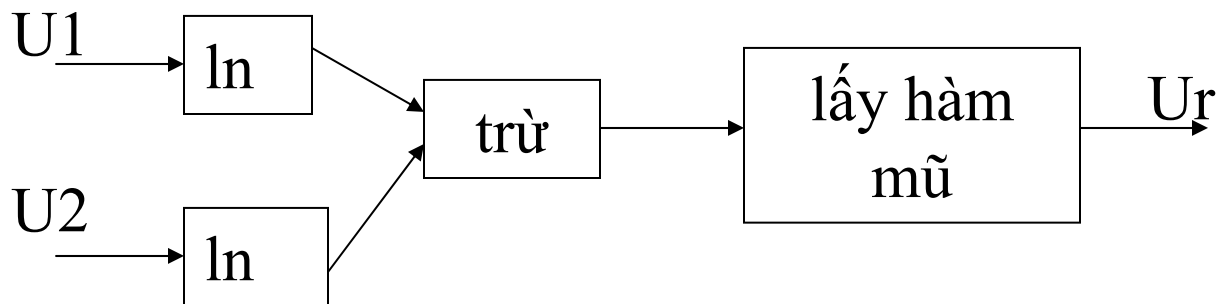


# Mạch nhân dùng OA

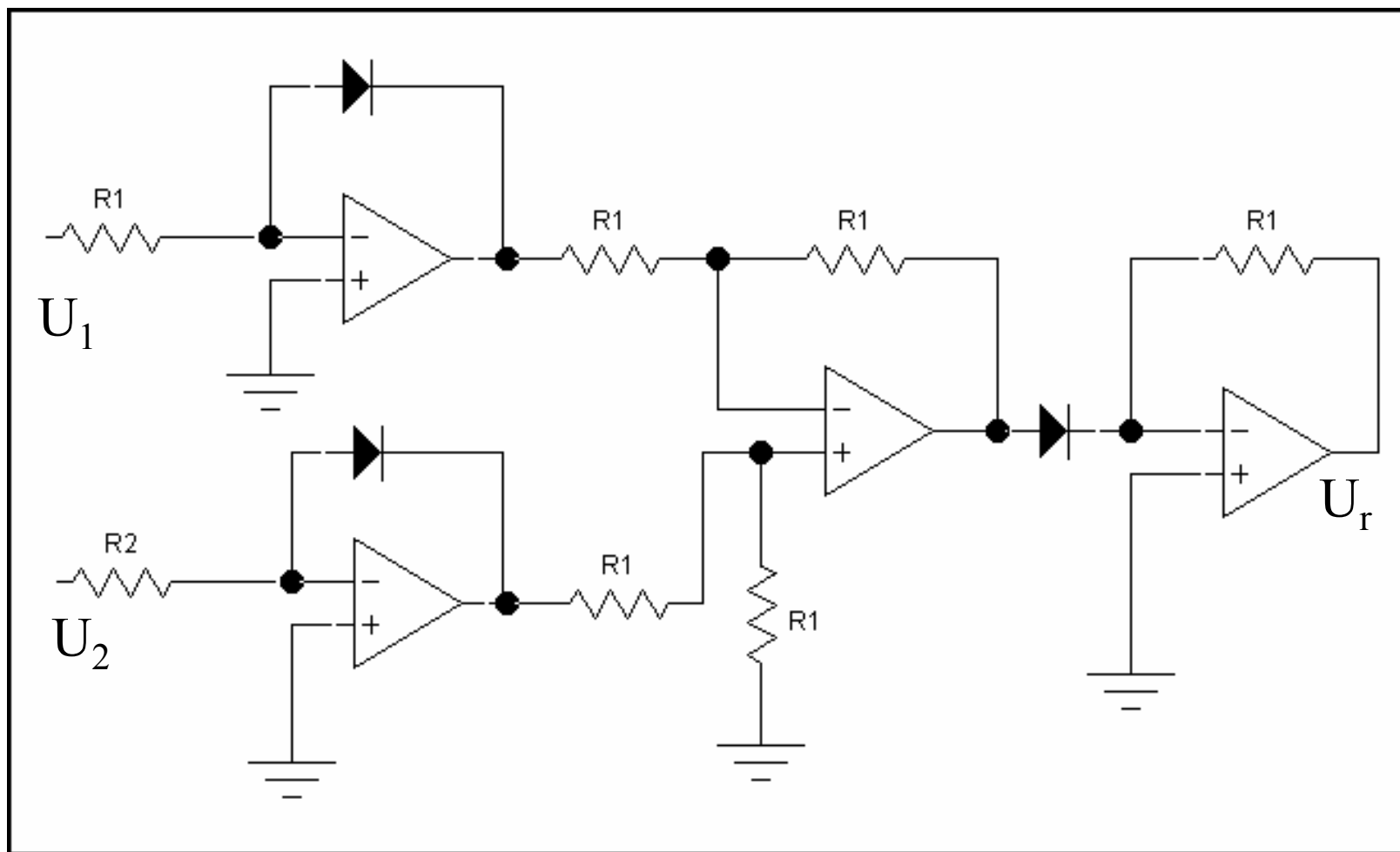


## Mạch chia hai điện áp

- $U_r = U1/U2$
- $\ln U_r = \ln(U1/U2) = \ln U1 - \ln U2$
- $U_r = e^{(\ln U1 - \ln U2)}$



# Mạch chia hai điện áp

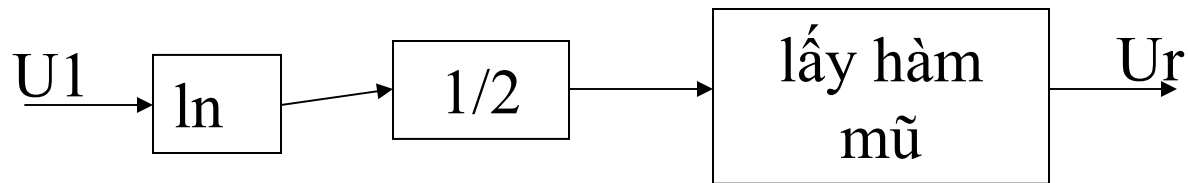




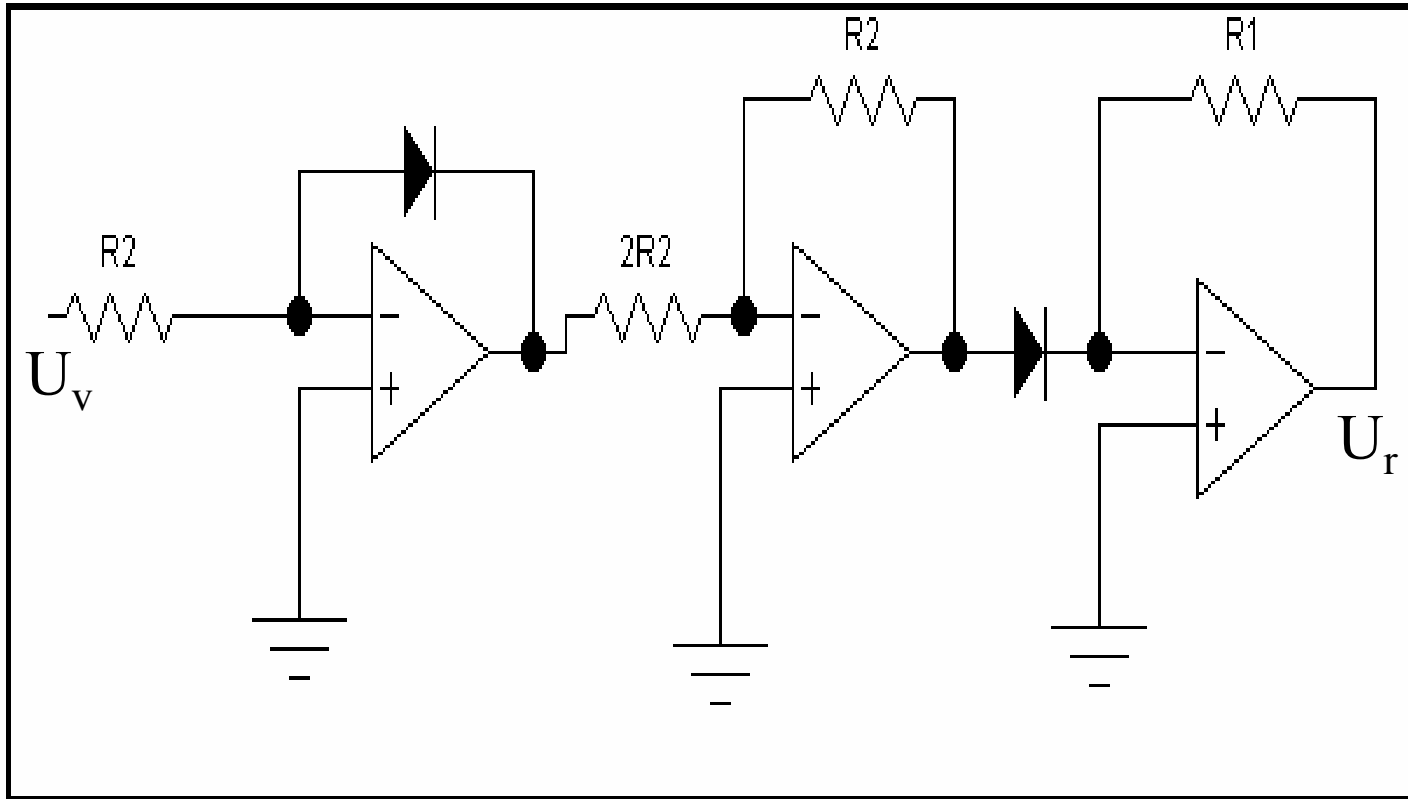
## Mạch khai căn bậc hai

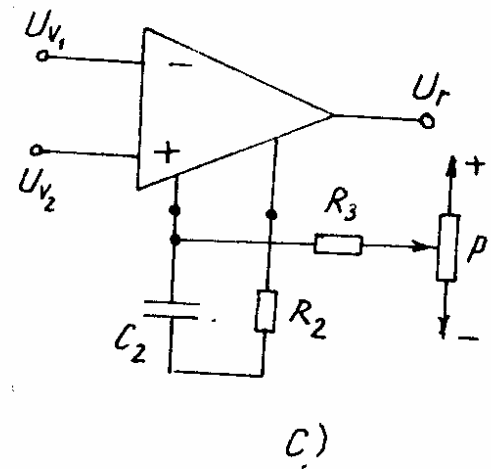
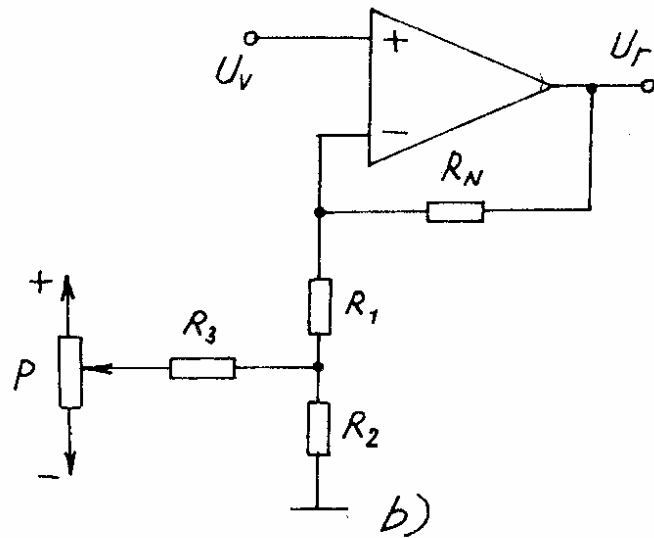
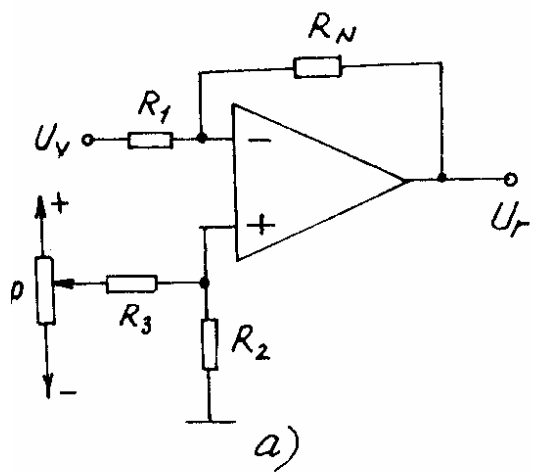
$$U_r = \sqrt{U_1} = U_1^{\frac{1}{2}}$$

$$\implies \ln U_r = \frac{1}{2} \ln U_1 \implies U_r = e^{\frac{1}{2} \ln U_1}$$

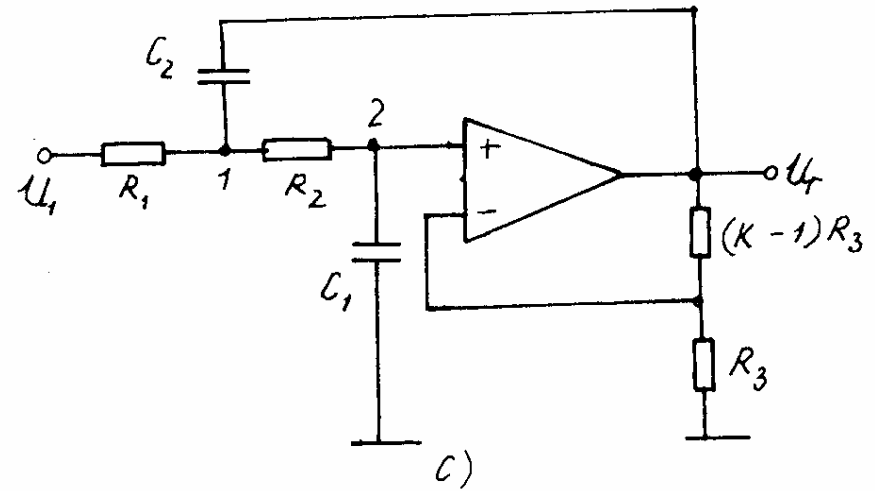
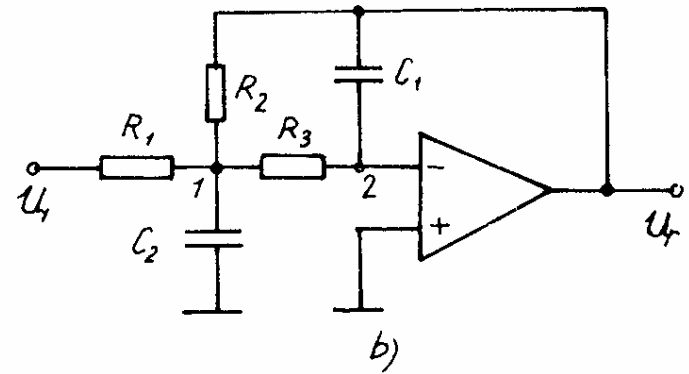
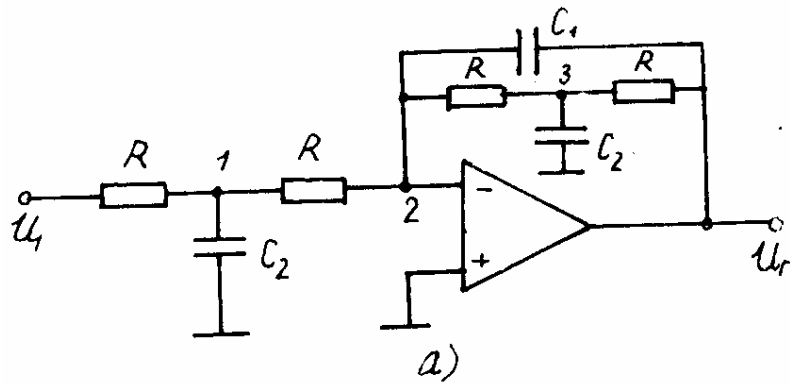


## Mạch khai căn bậc hai





Hình 7.11. Các mạch bù lệch không.



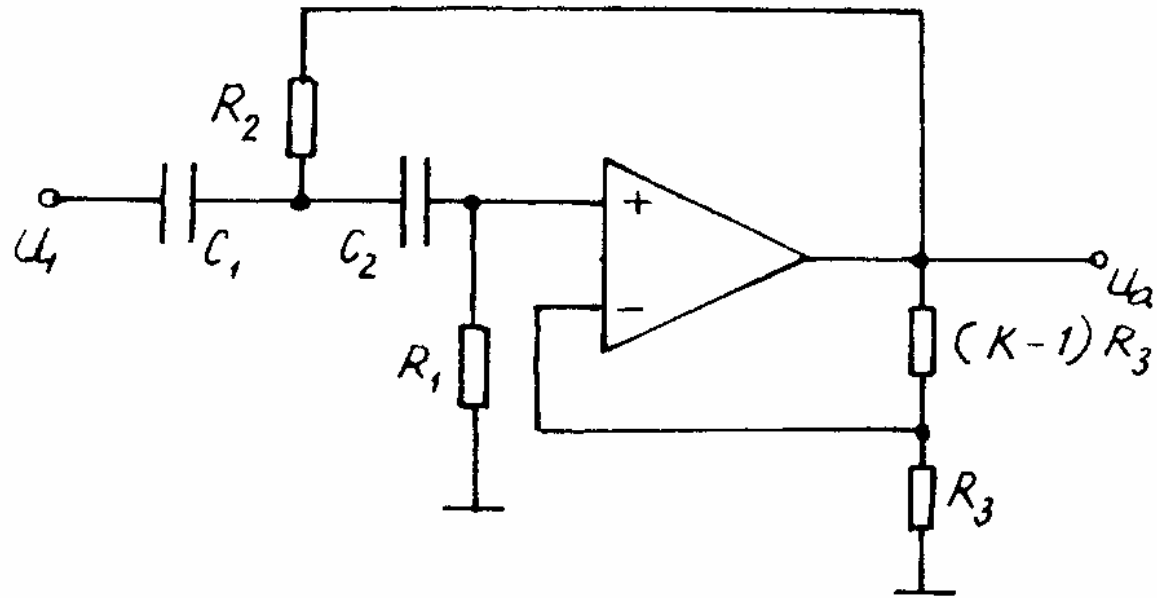
giá trị chuẩn, điện trở và tụ còn lại được xác định như sau:

$$R = \frac{a_1}{4\pi f_g C_1} \quad \text{và} \quad C_2 = \frac{4b_1 C_1}{a_1^2}$$

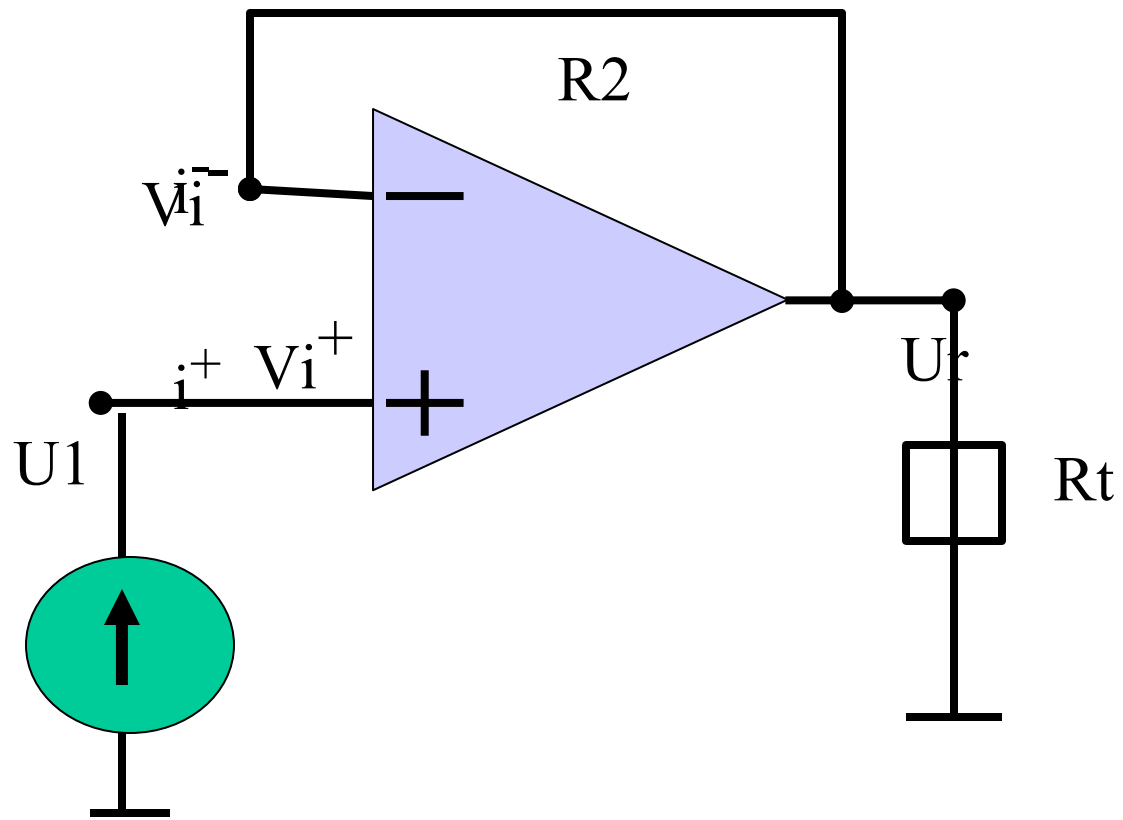
Với mạch lọc thông thấp hồi tiếp âm nhiều vòng trên hình 8.43b cũng lập phương trình dòng điện nút cho các nút 1 và 2 để xác định hàm truyền đạt (8.58).

Hình 43. Mạch lọc thông thấp bậc hai:

- a) hồi tiếp âm một vòng; b) hồi tiếp âm nhiều vòng;
- c) hồi tiếp dương một vòng.

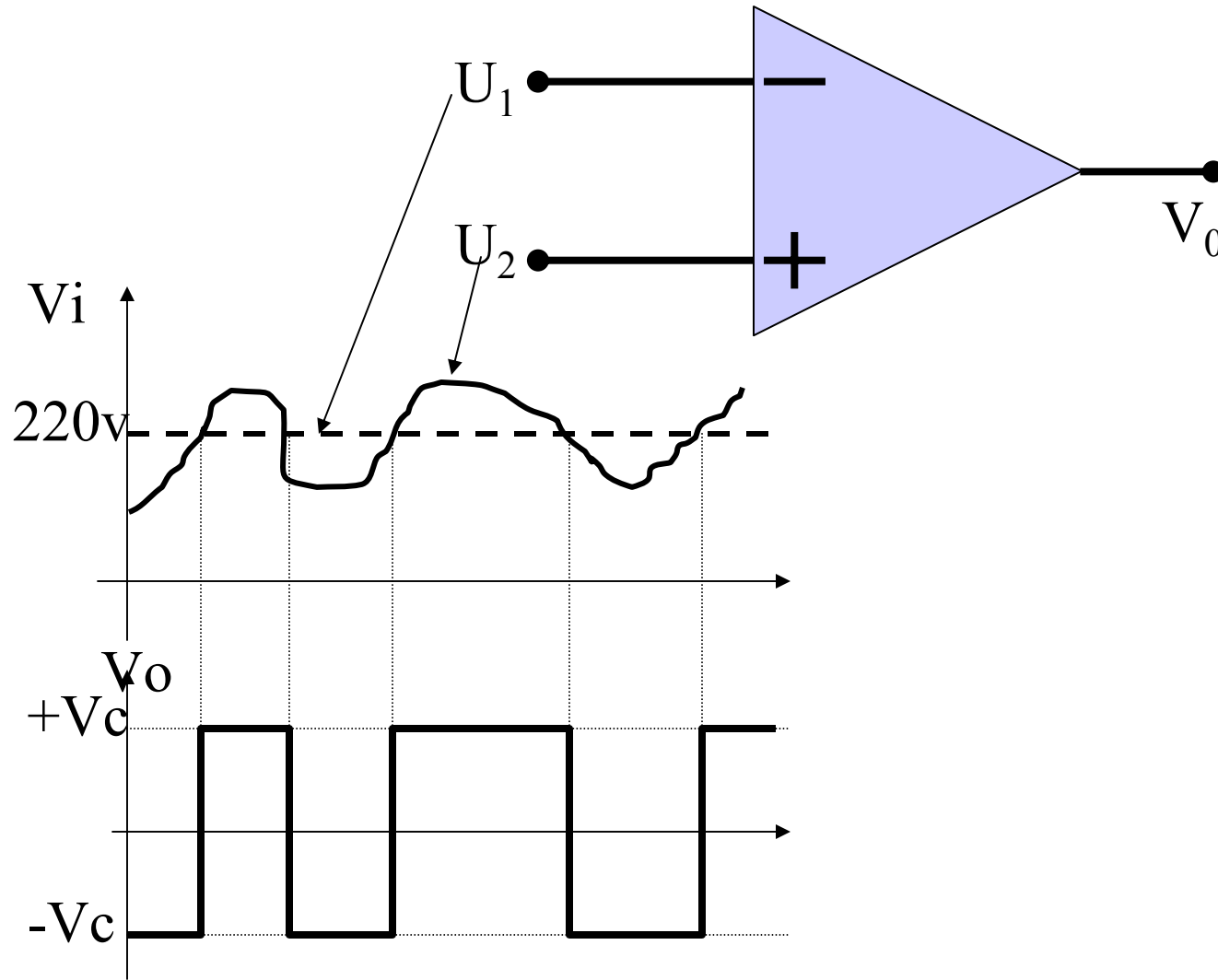


Hình 8.44. Sơ đồ mạch lọc thông cao bậc hai một vòng hồi tiếp dương .



- Nguồn áp:  $r_n = 0$  hoặc  $r_n \ll R_t$

# Ứng dụng OA trong chế độ so sánh



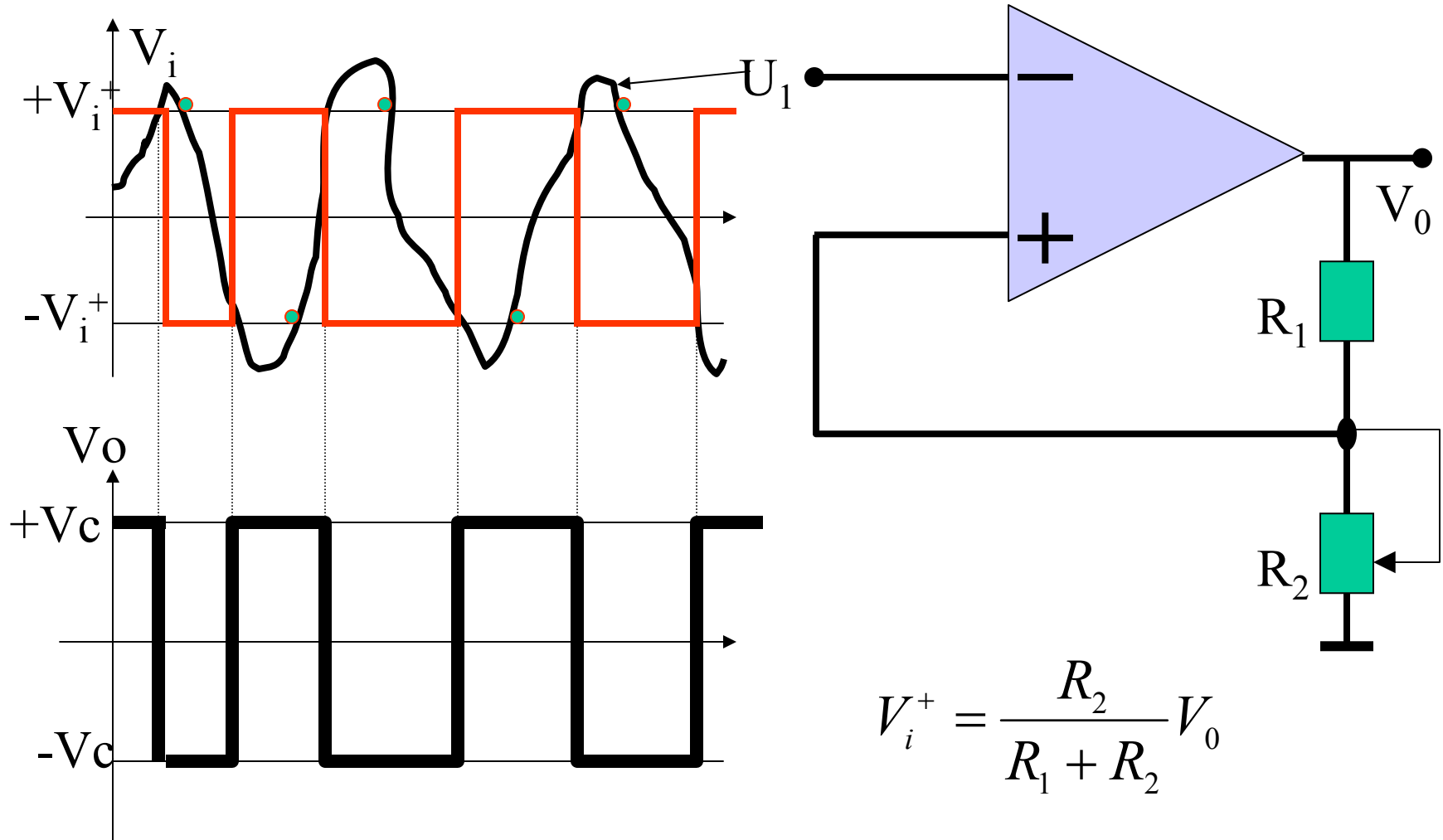
- Mạch so sánh một ngưỡng

## Công dụng mạch so sánh một ngưỡng

- Dùng trong các mạch bảo vệ tín hiệu
- Dùng trong các mạch tạo góc mở điều khiển các bộ điện tử công suất lớn như chỉnh lưu, băm điện áp, biến tần.
- Làm cơ sở để xây dựng các bộ chuyển đổi ADC, DAC trong kỹ thuật số hiện nay.
- Tạo ngưỡng để dùng trong các thiết bị vừa đo lường, vừa điều khiển như bù cos $\phi$ , điều khiển nhiệt độ, cân điện tử... và nhiều ứng dụng mở rộng khác.
- **Nhược điểm:**
- Mạch so sánh kiểu này quá nhạy nên thường sinh ra các xung động trong hệ thống.
- rất khó tạo vùng trễ cũng như vùng chết tổng kỹ thuật bảo vệ.

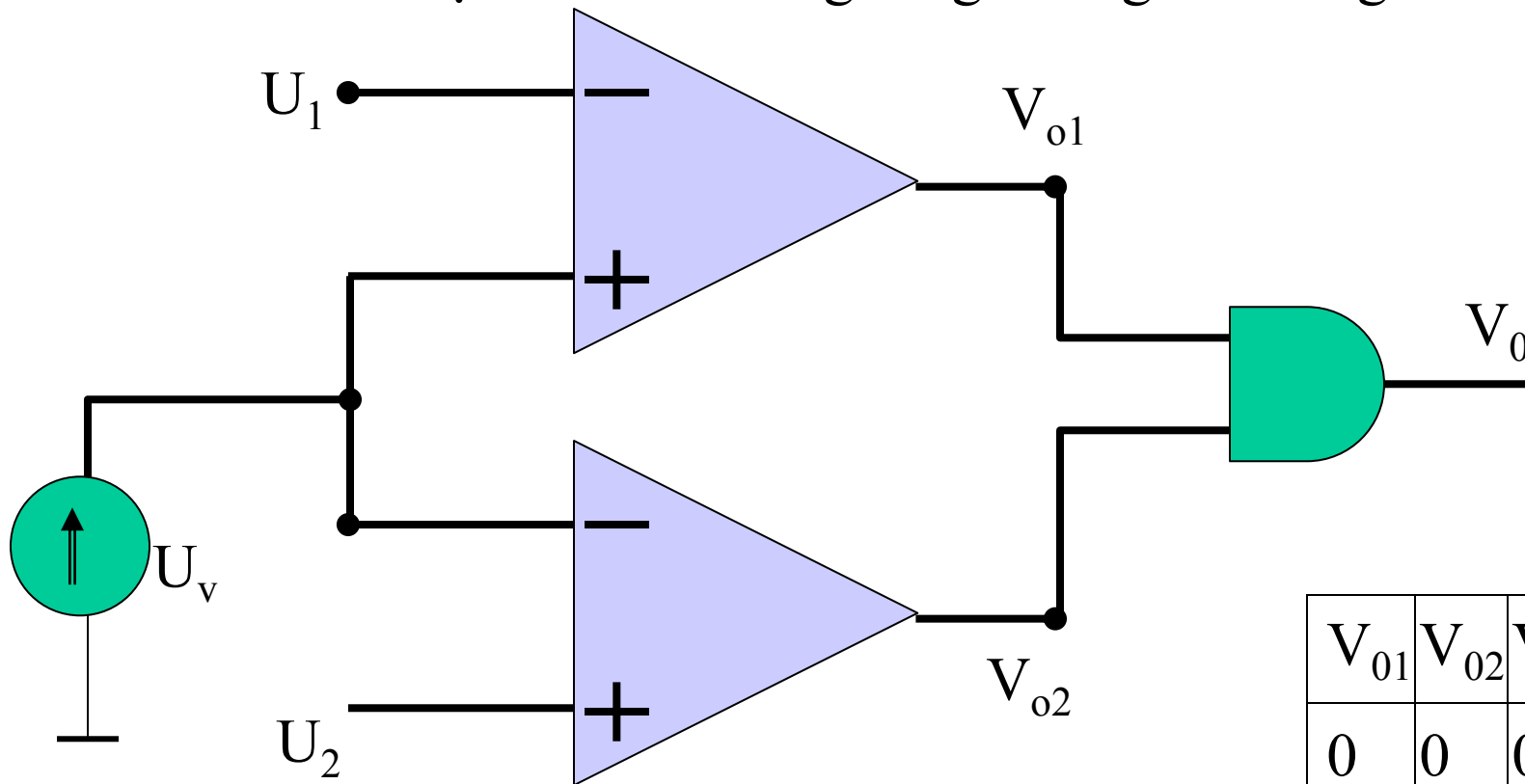


## Mạch so sánh 2 ngưỡng đối xứng



- Thường dùng trong các mạch tạo xung Trige và dao động đa hài

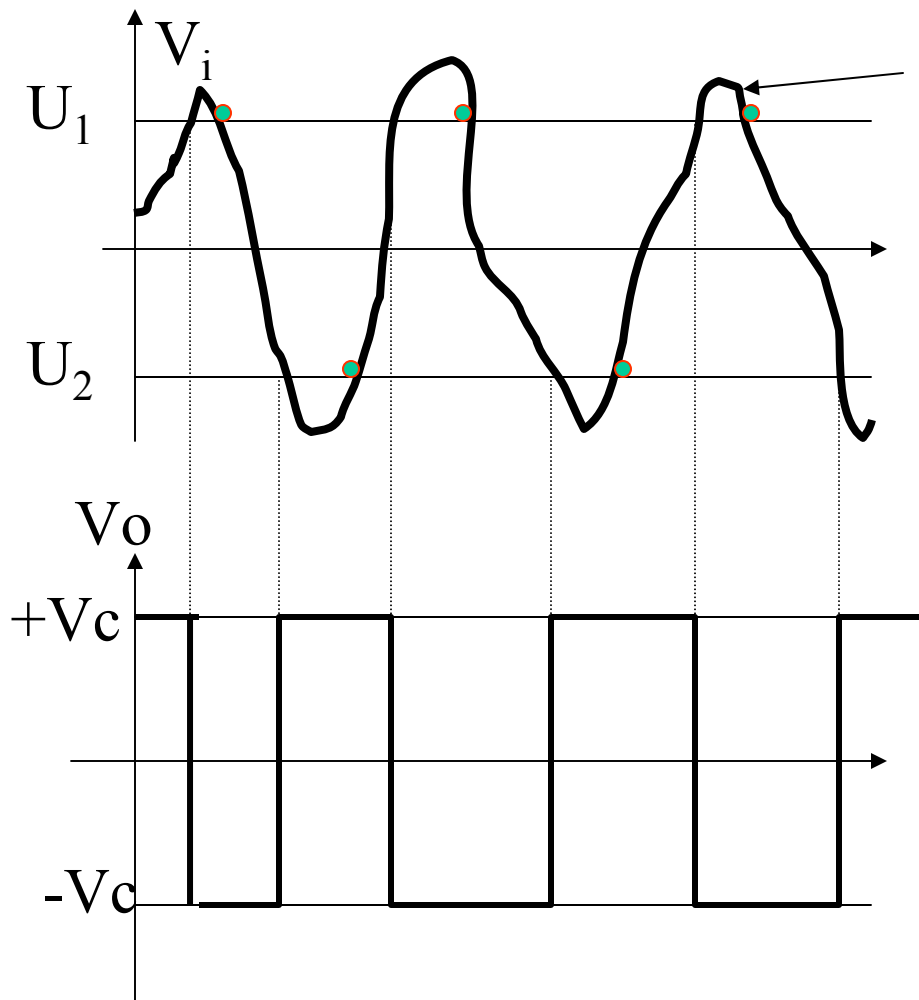
# Mạch so sánh 2 ngưỡng không đối xứng



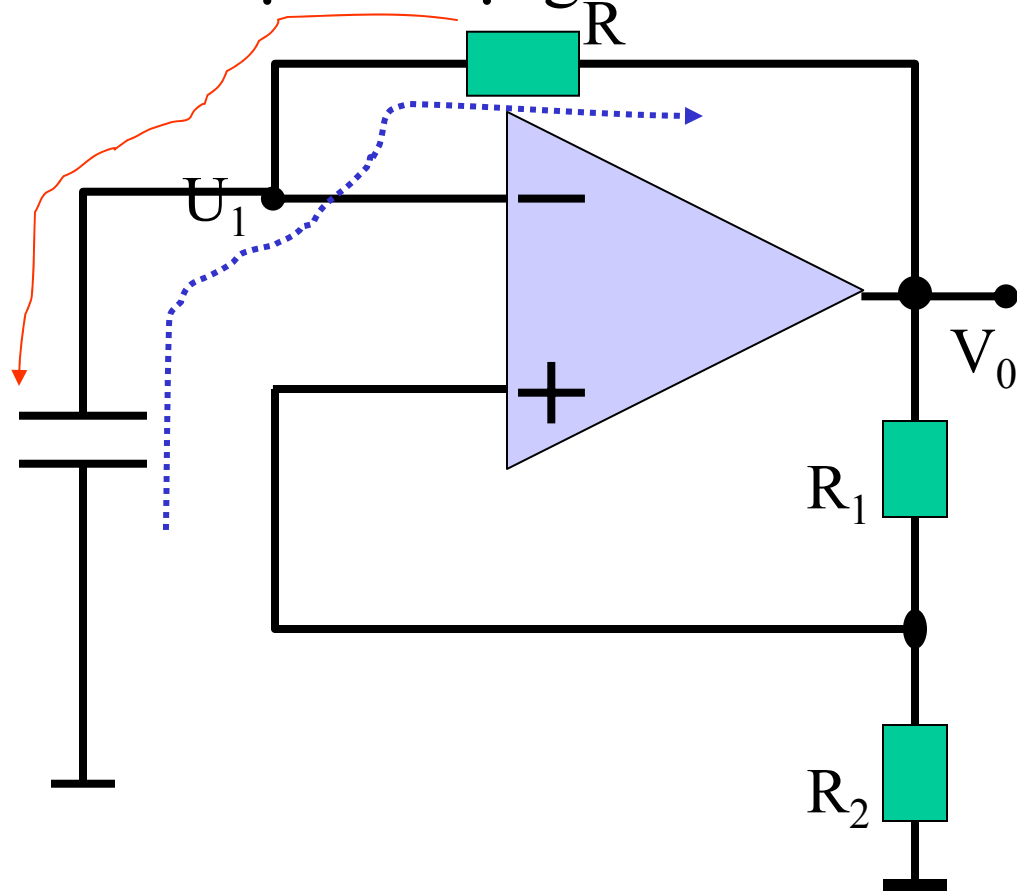
$V_{01}$	$V_{02}$	$V_0$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- $V_0 = V_{01} \text{ AND } V_{02}$

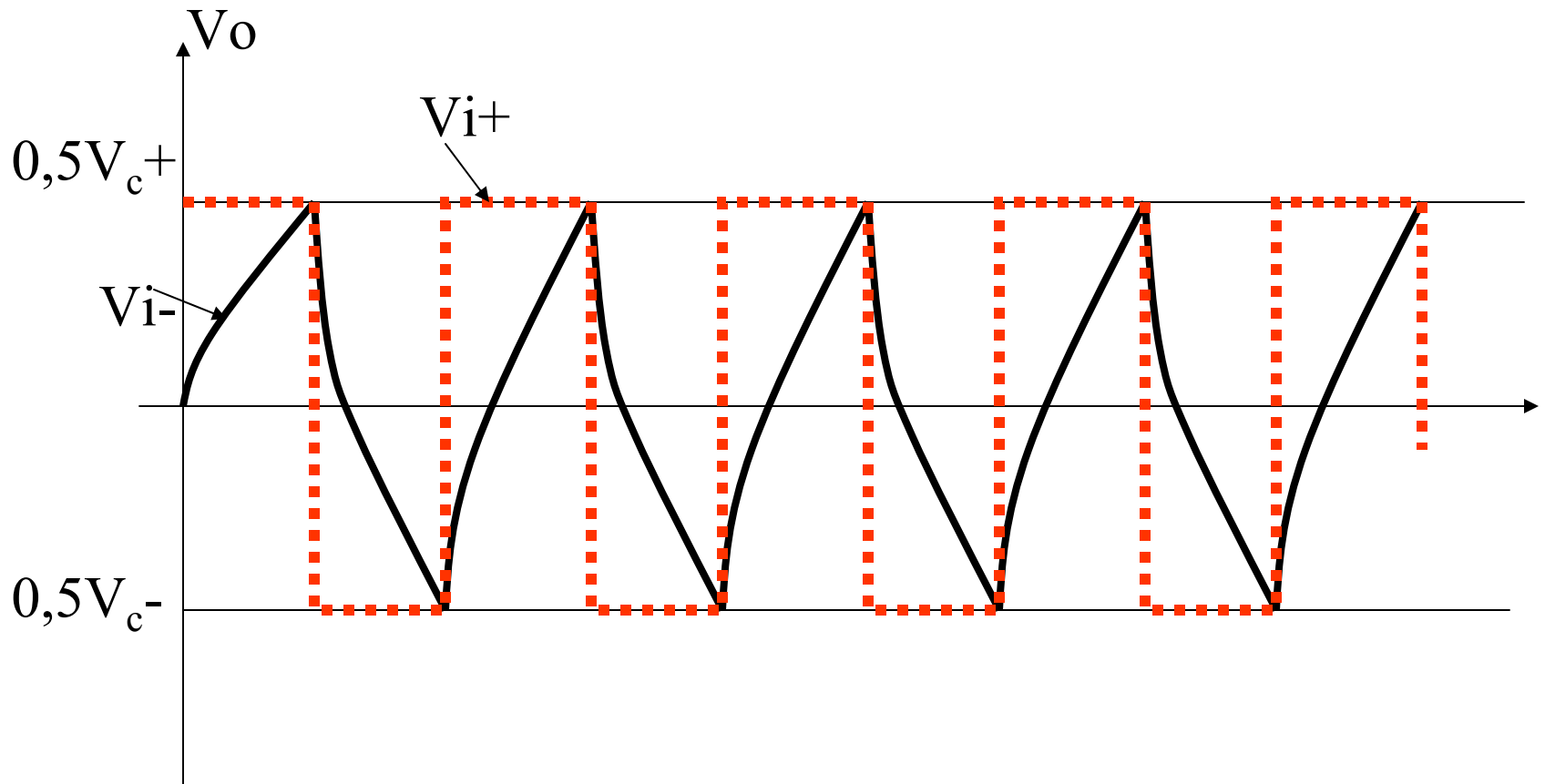
# Đồ thị mạch so sánh hai ngưỡng không đối xứng

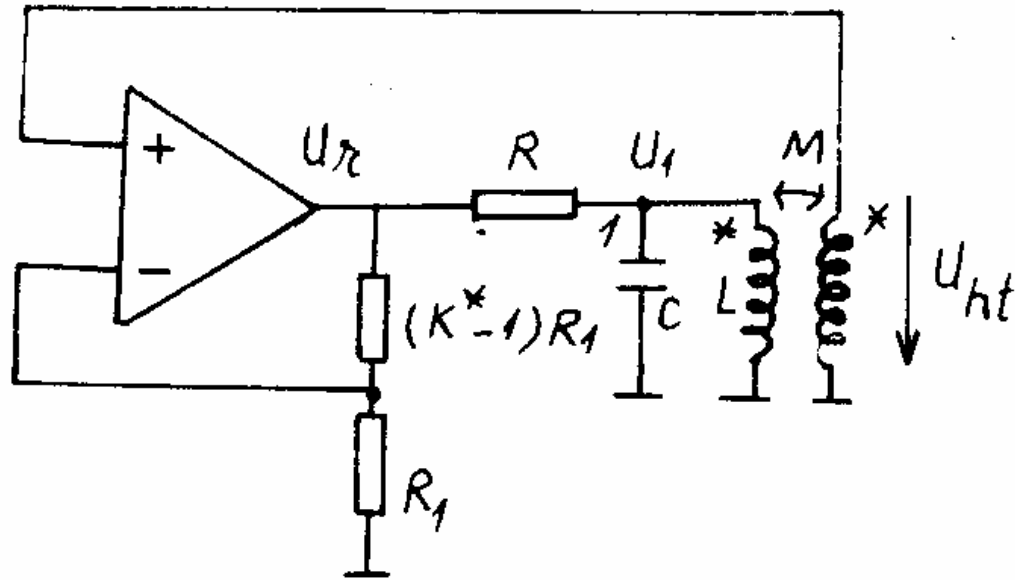


# Chế độ dao động của OA

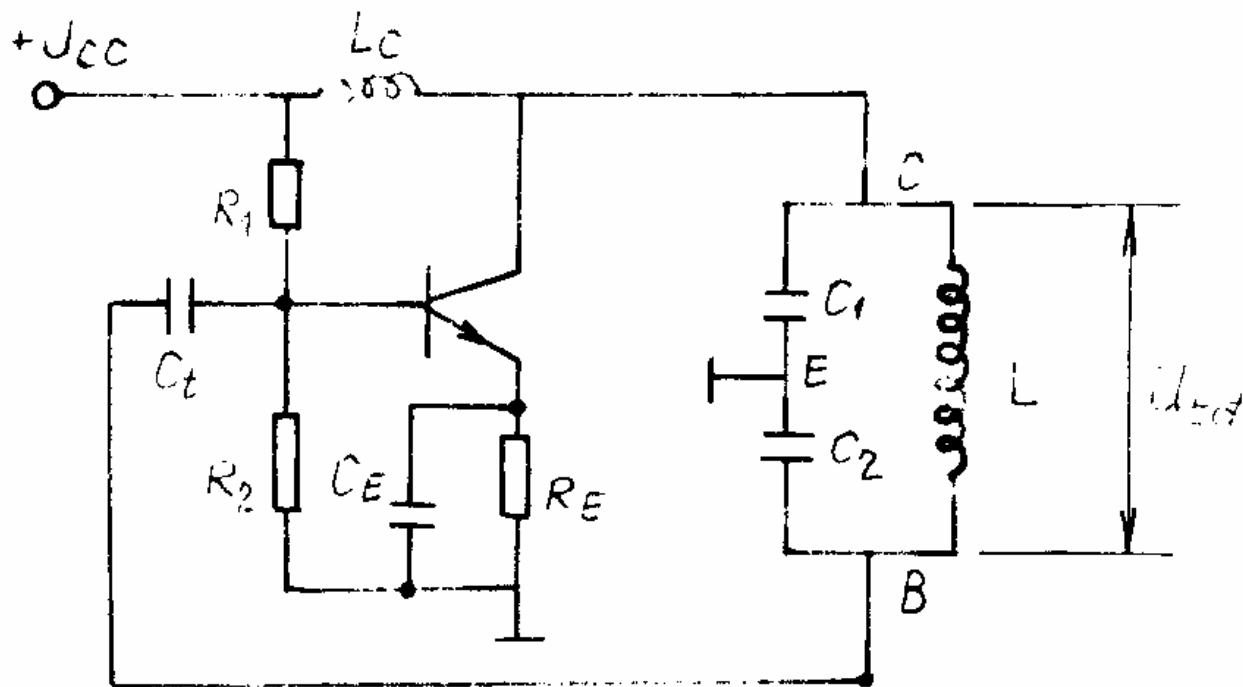


# Biểu đồ thời gian dao động của OA



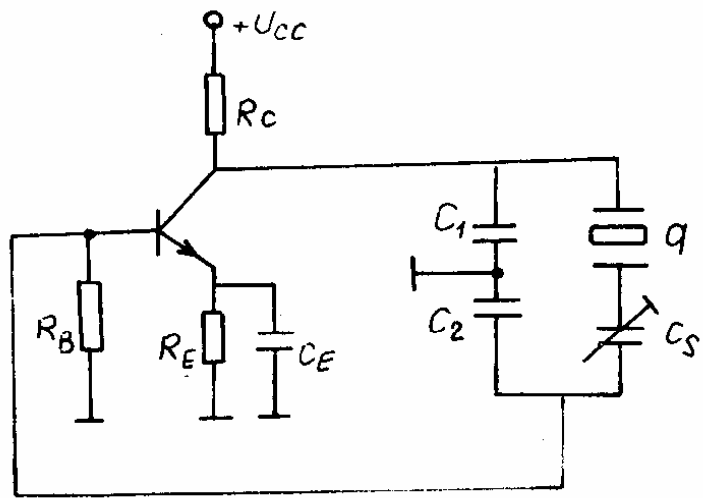


Hình 10.2. Ví dụ về mạch tạo dao động theo nguyên tắc hồi tiếp.

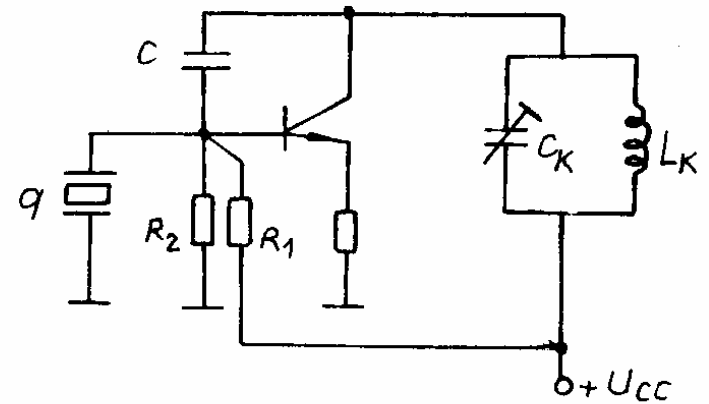


Hình 10.3. Mạch tạo dao động tại điểm điện dung.

Giả thiết:  $R_1 // R_2 \gg h_{11}$ .



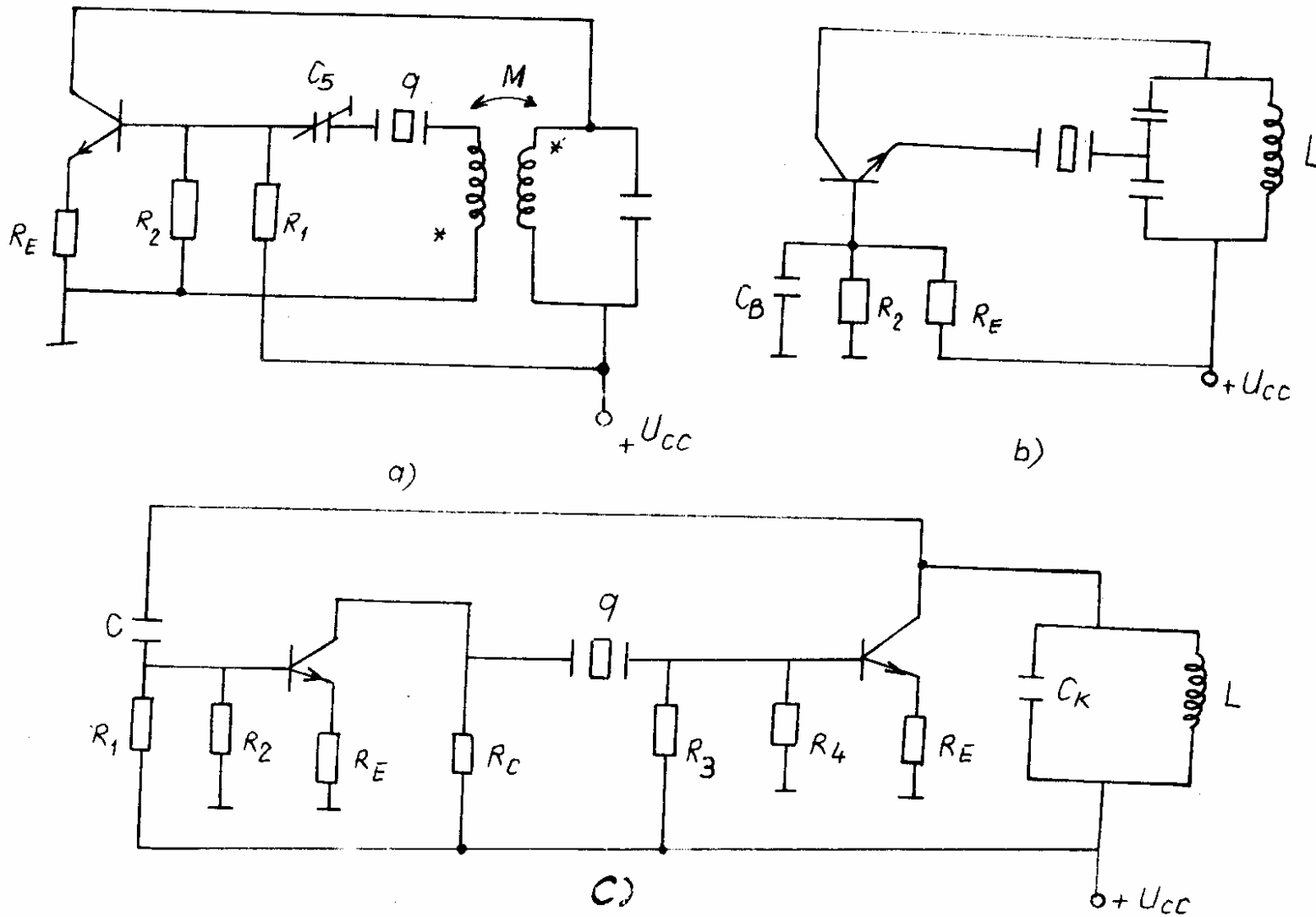
a)



b)

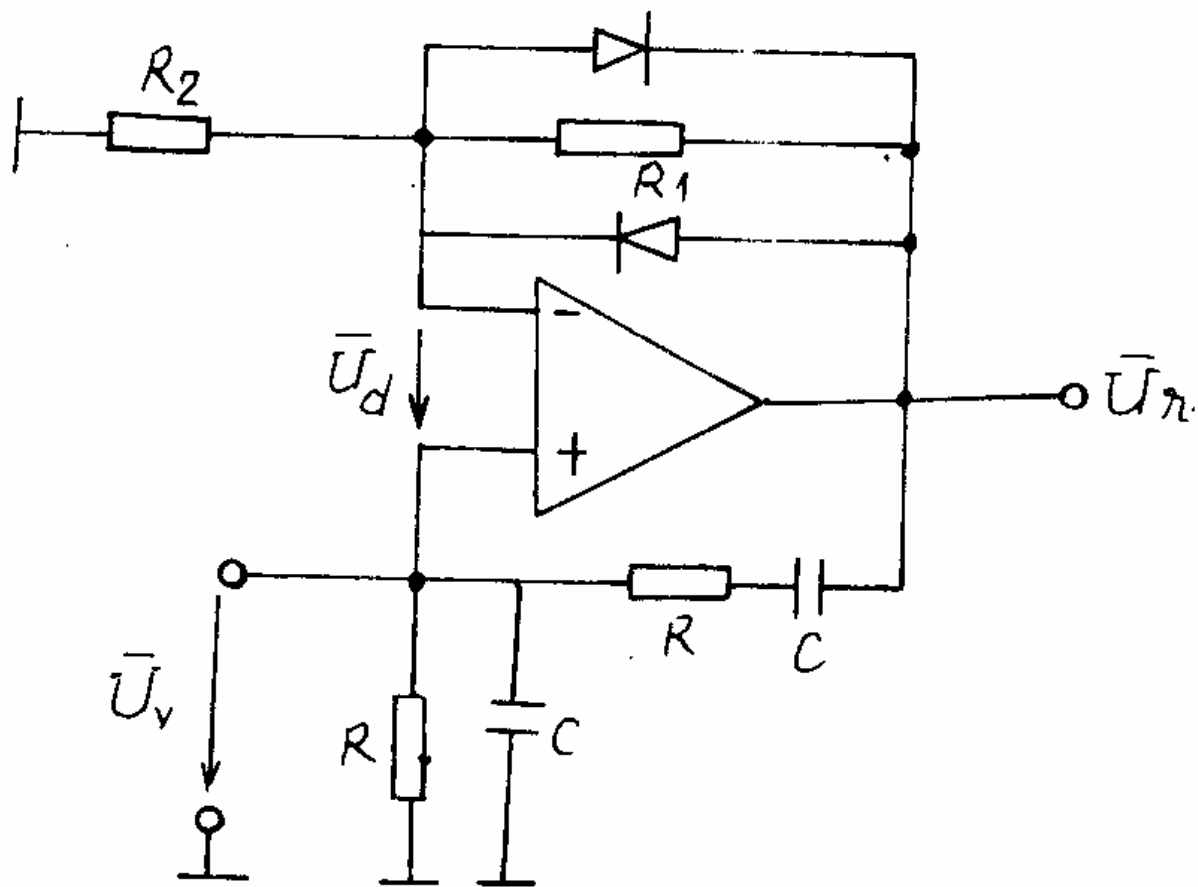
Hình 10.14. Mạch tạo dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng song song.



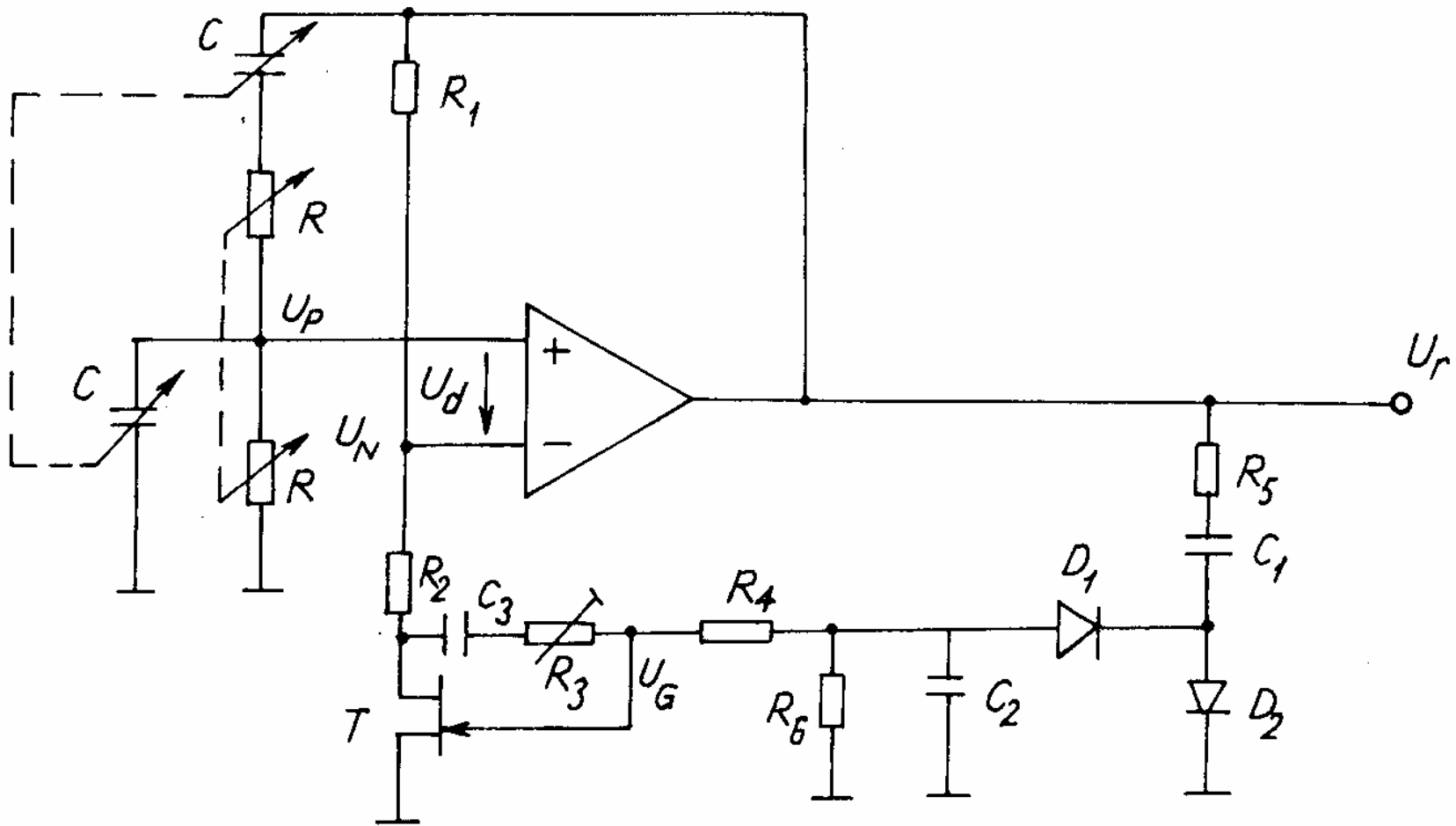


Hình 10.15. Mạch tạo dao động dùng thạch anh với tần số cộng hưởng nối tiếp:

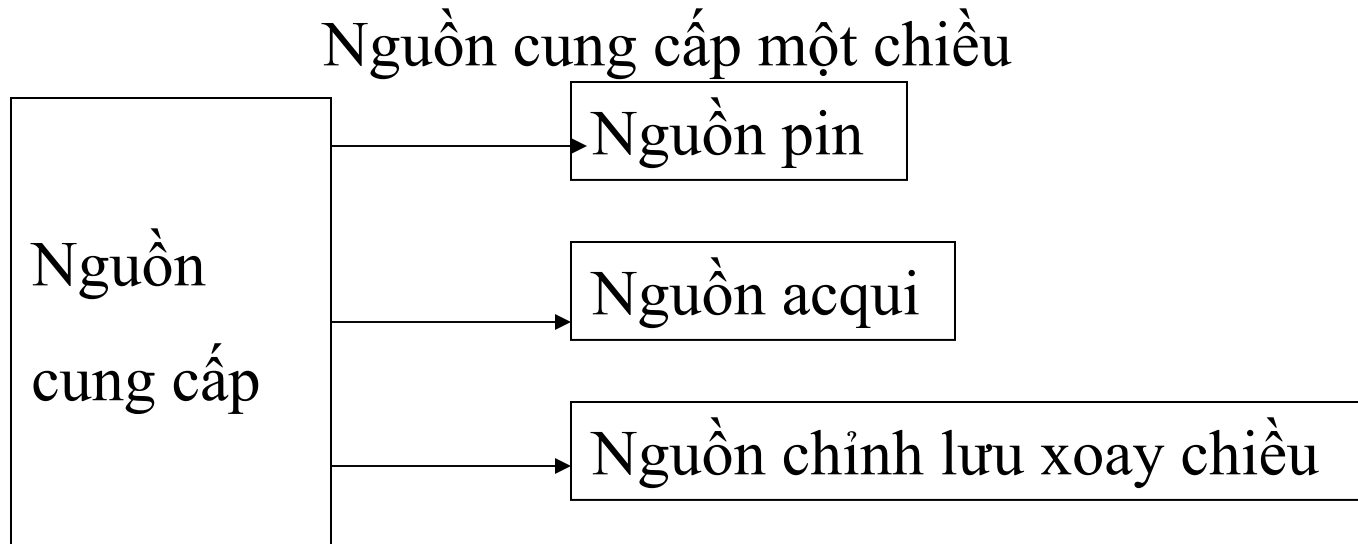
- a) sơ đồ hồi tiếp biến áp;    b) sơ đồ ba điểm điện dung;  
 c) sơ đồ hồi tiếp qua 2 tầng khuếch đại.



Hình 10.22. Bộ tạo dao động dùng mạch cầu Viên trong mạch hồi tiếp.

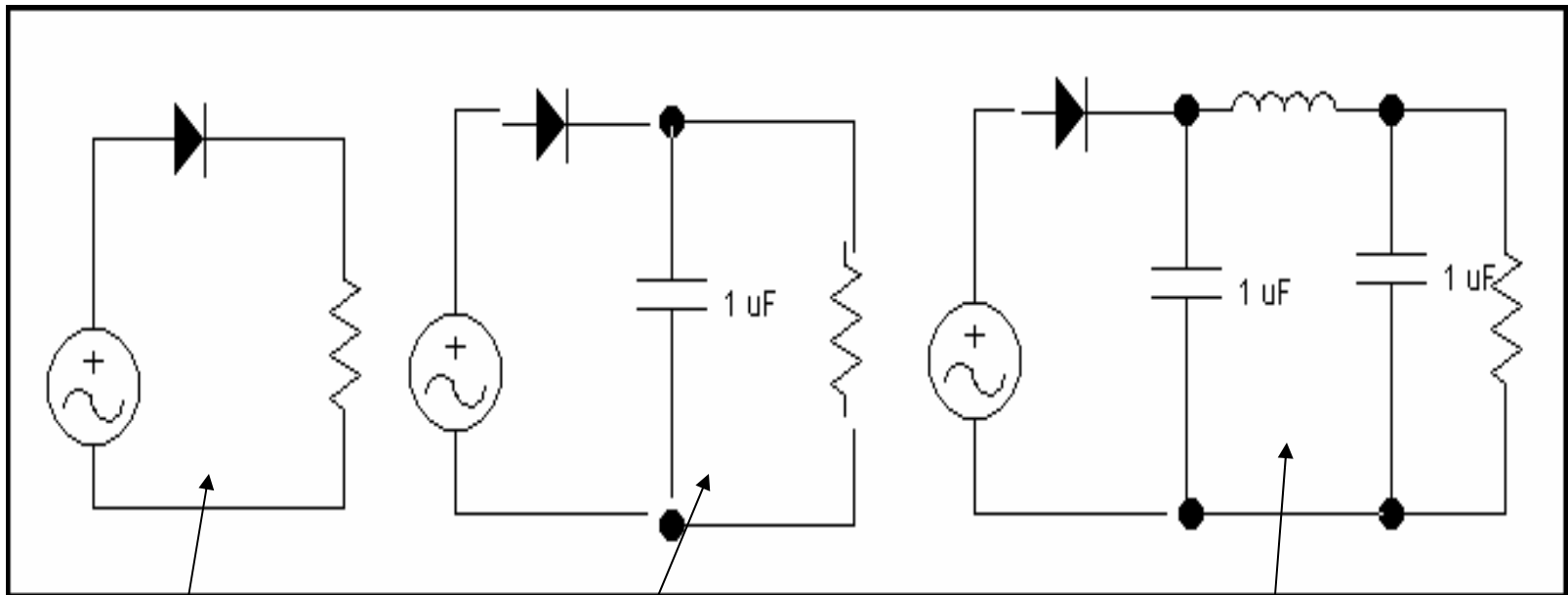


Hình 10.23. Mạch tạo động động cầu Viên.



- Nguồn cung cấp là một thiết bị rất cần thiết trong mạch điện tử
- Nguồn phải cung cấp đủ công suất sử dụng
- nguồn phải có khả năng chống nhiễu tốt
- Điện áp nguồn phải ổn định
- Biên độ điện áp phải đúng yêu cầu.
- Đảm bảo an toàn cho mạch đang sử dụng cũng như người dùng.
- Nguồn được lấy từ acqui, pin hay chỉnh lưu xoay chiều thành một chiều.

## Chỉnh lưu xoay chiều dùng Diode



- Chỉnh lưu

Lọc 1 tụ

Lọc kết hợp

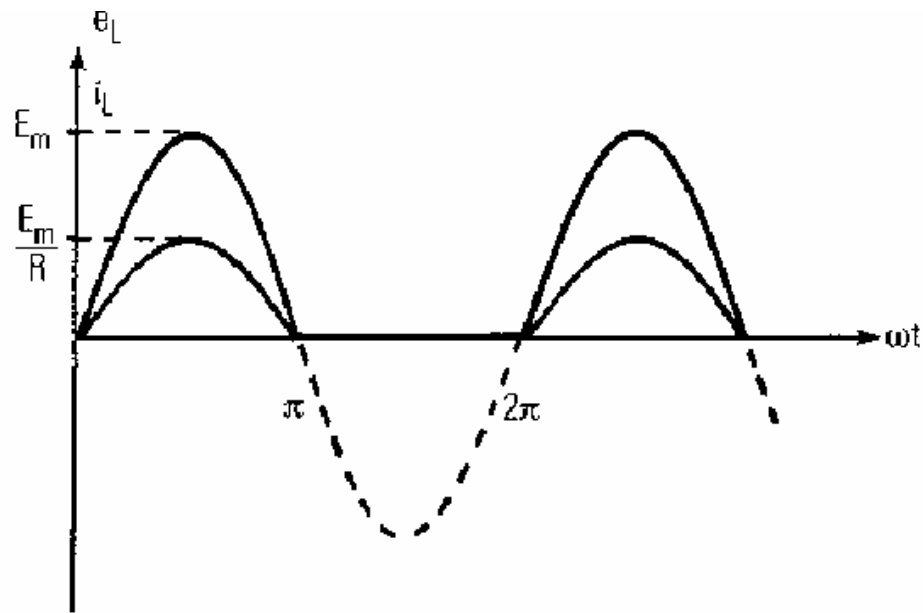
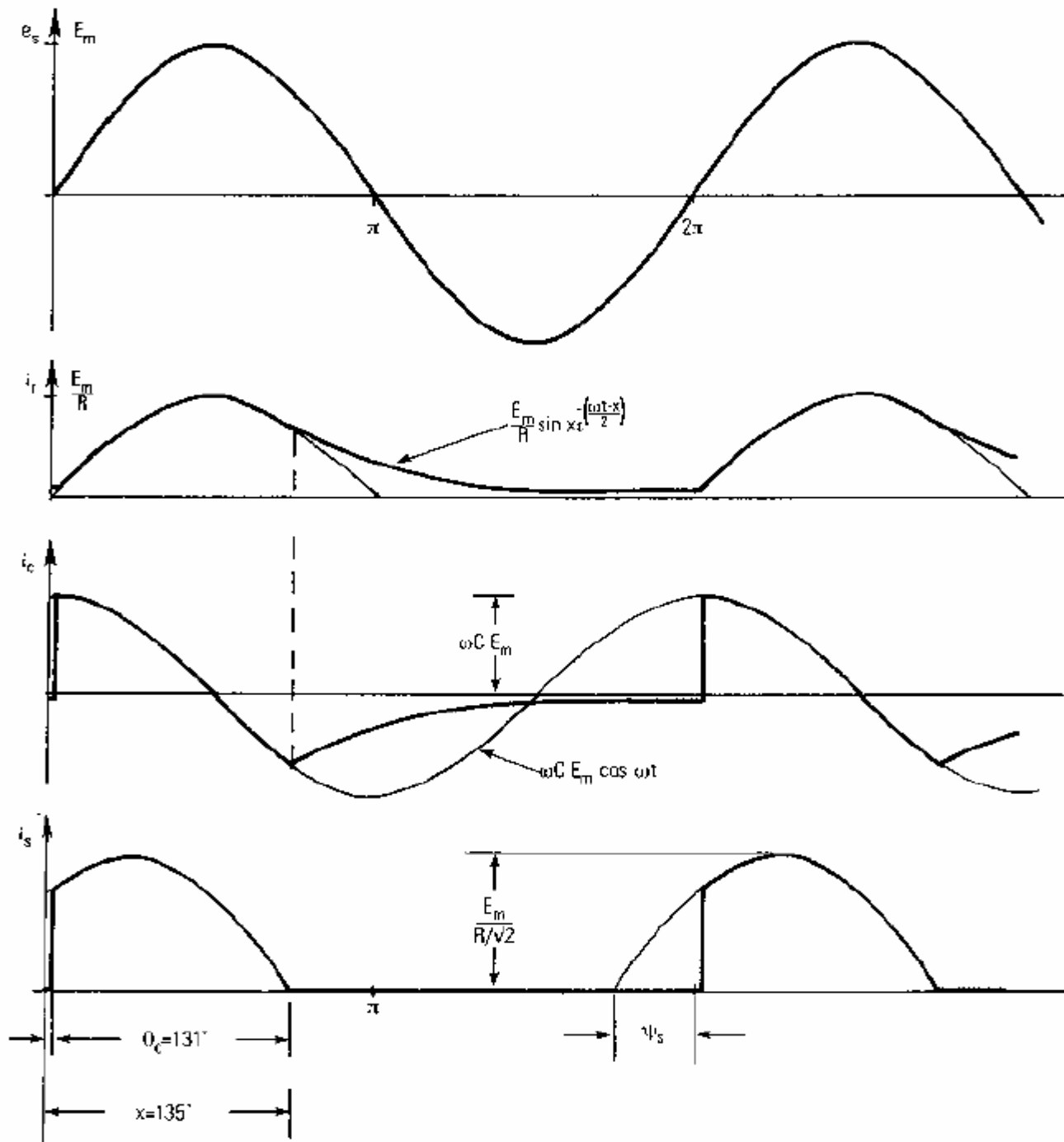


FIG. 3 Waveforms for single-phase, half-wave diode rectifier with  $R$  load.

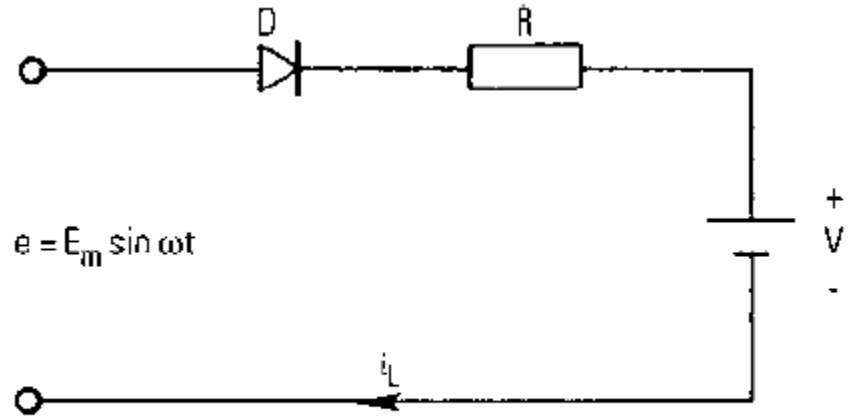
$$I_{av} = \frac{E_m}{\pi R} = 0.318 \frac{E_m}{R}$$

$$I_L = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_L^2(\omega t) d\omega t}$$

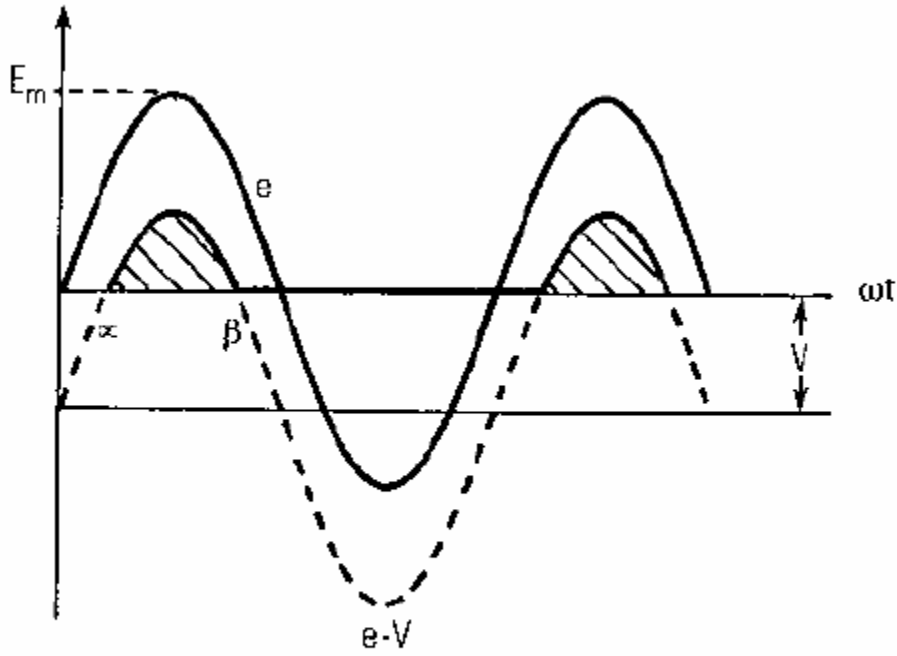
Dạng sóng  
 chỉnh lưu  
 khi có tụ  
 lọc song  
 song với  
 tải



# Khi mạch tải có nguồn một chiều



e diode battery charging circuit.



$$I_{av} = \frac{1}{2\pi R} [2E_m \cos \alpha + V(2\alpha - \pi)]$$

FIG. 7 Voltage and current waveforms for the battery-charger circuit of Fig. 2.6:  $V \cong 0.6E_m$ .



# Khi tải có tính điện cảm

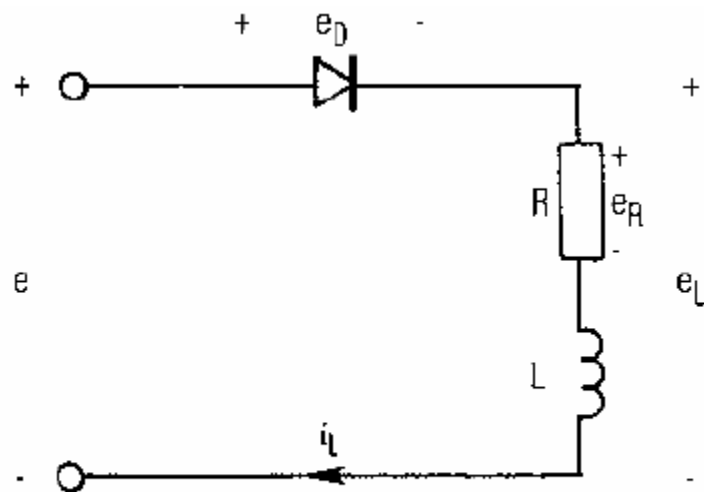


FIG. 9 Single-phase, half-wave diode rectifier with series  $R$ - $L$  load.

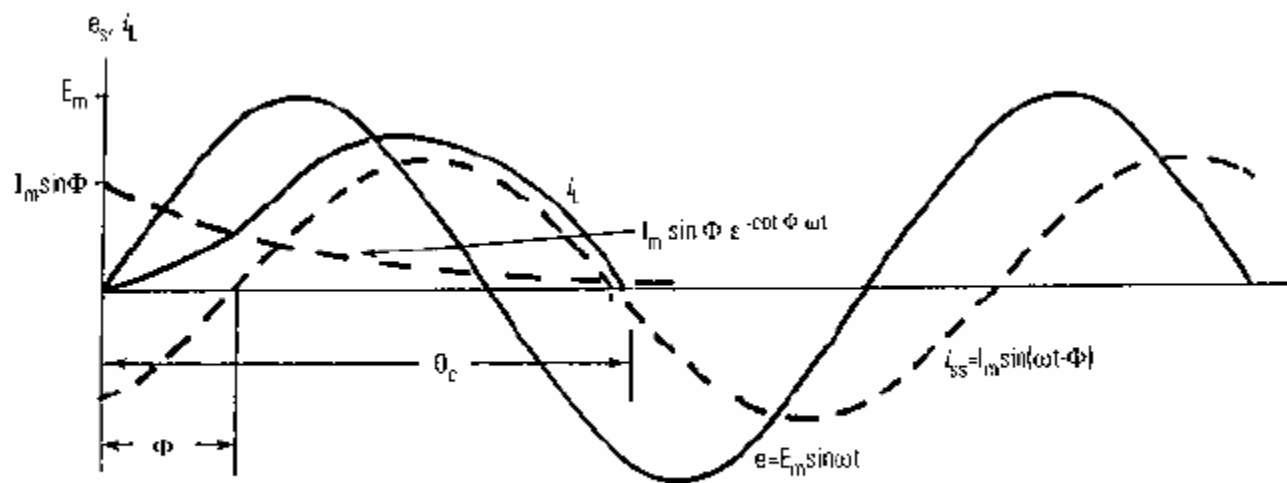
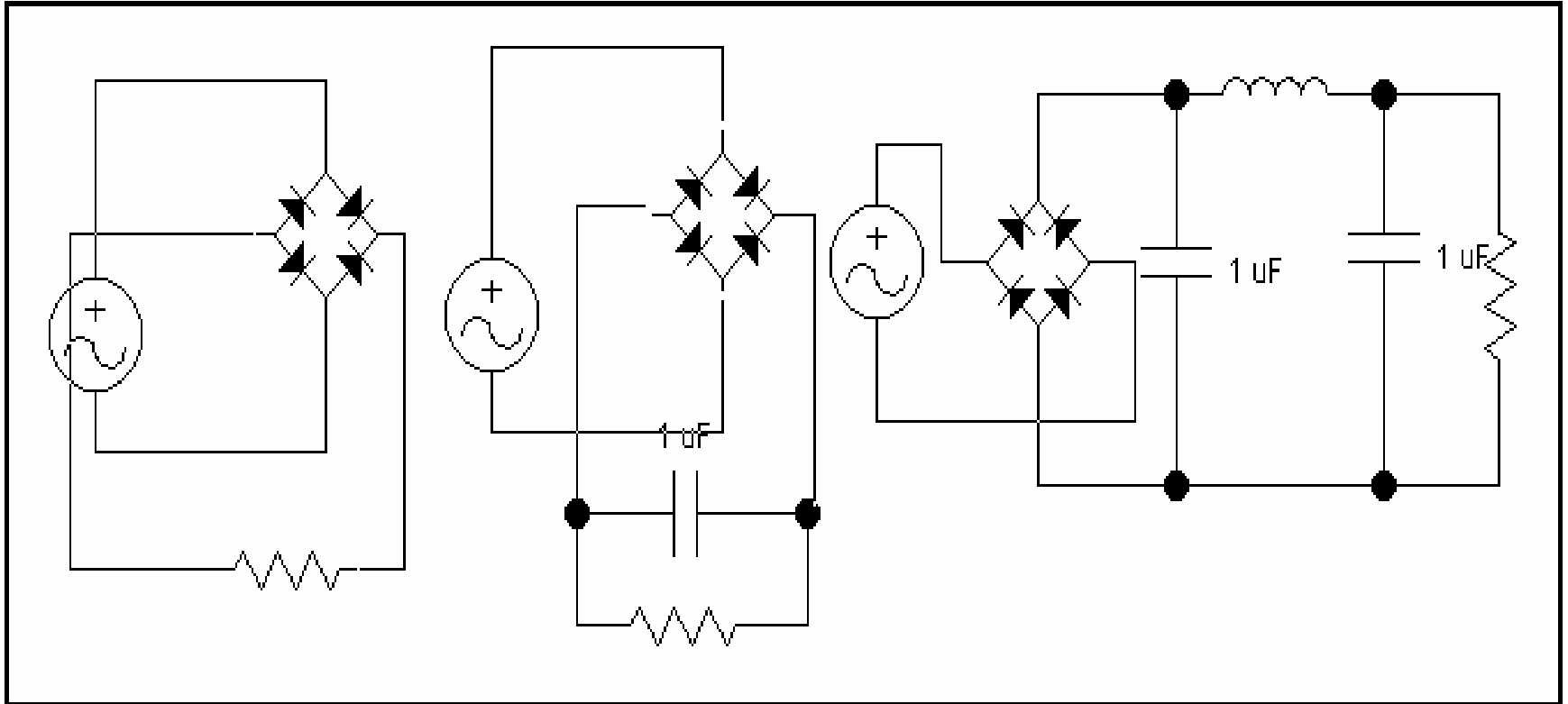


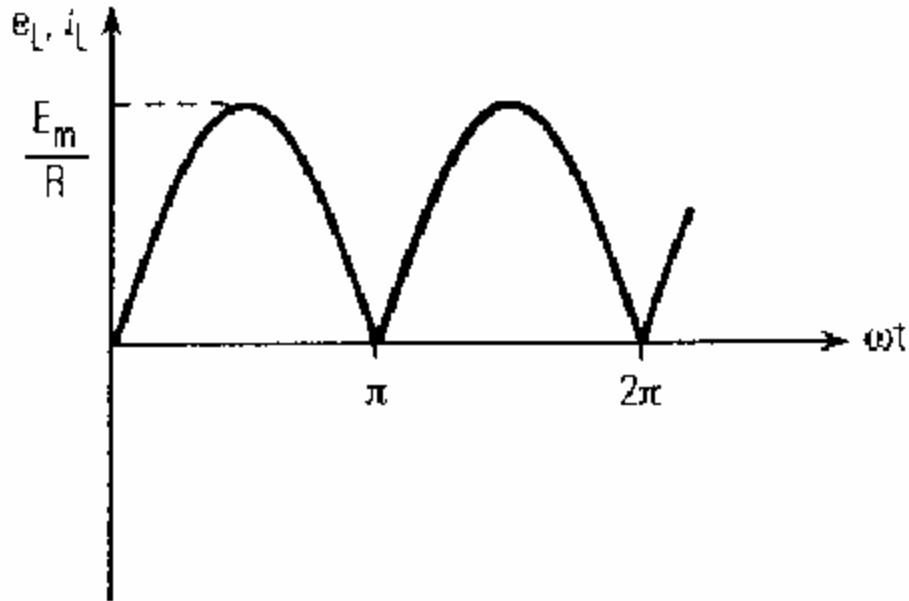
FIG. 10 Current waveform for the single-phase, half-wave circuit of Fig. 2.9;  $\Phi = 60^\circ$ .

# Chỉnh lưu cầu dùng diode



- Chỉnh lưu cầu giảm được độ nhấp nhô điện áp
- Tuy nhiên chưa ổn áp được

# Dạng sóng chỉnh lưu cầu 1 pha không điều khiển



(b)

**FIG. 8** Single-phase, full-wave diode rectifier: (a) circuit diagram and (b) load voltage and current waveforms for  $R$  load.

# Chỉnh lưu trong mạch 3 pha

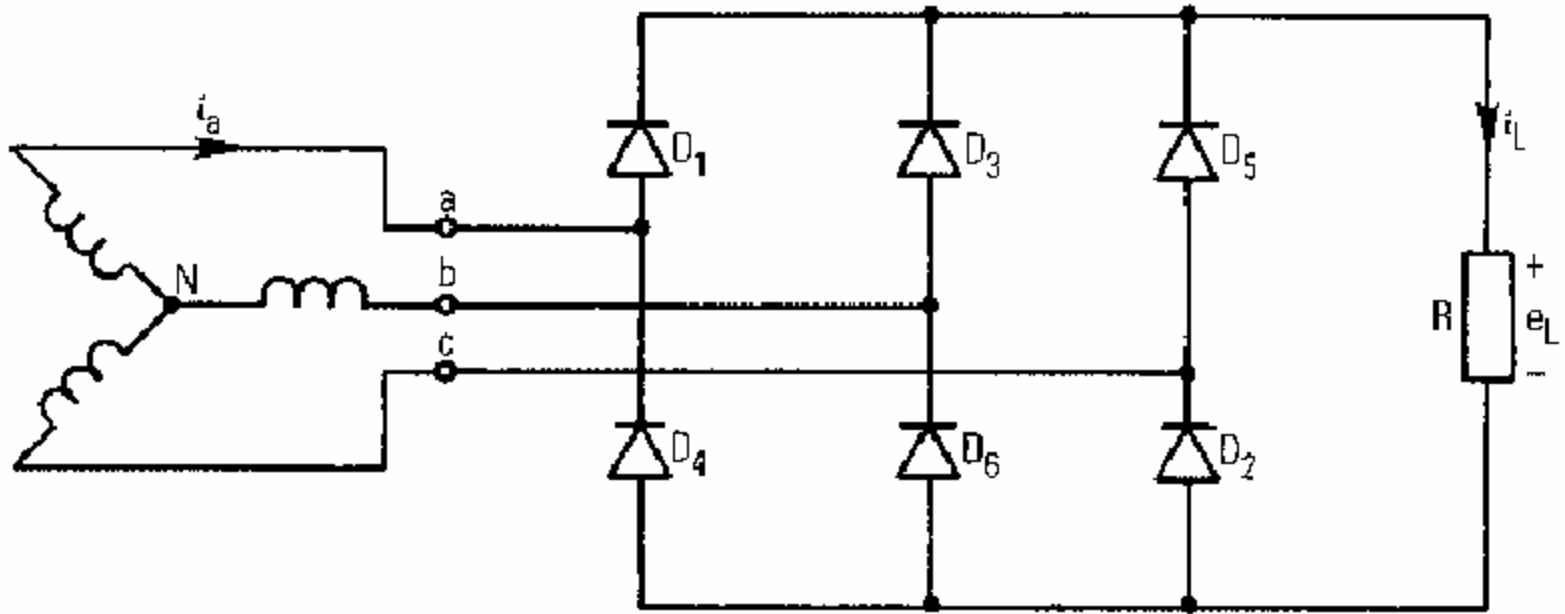
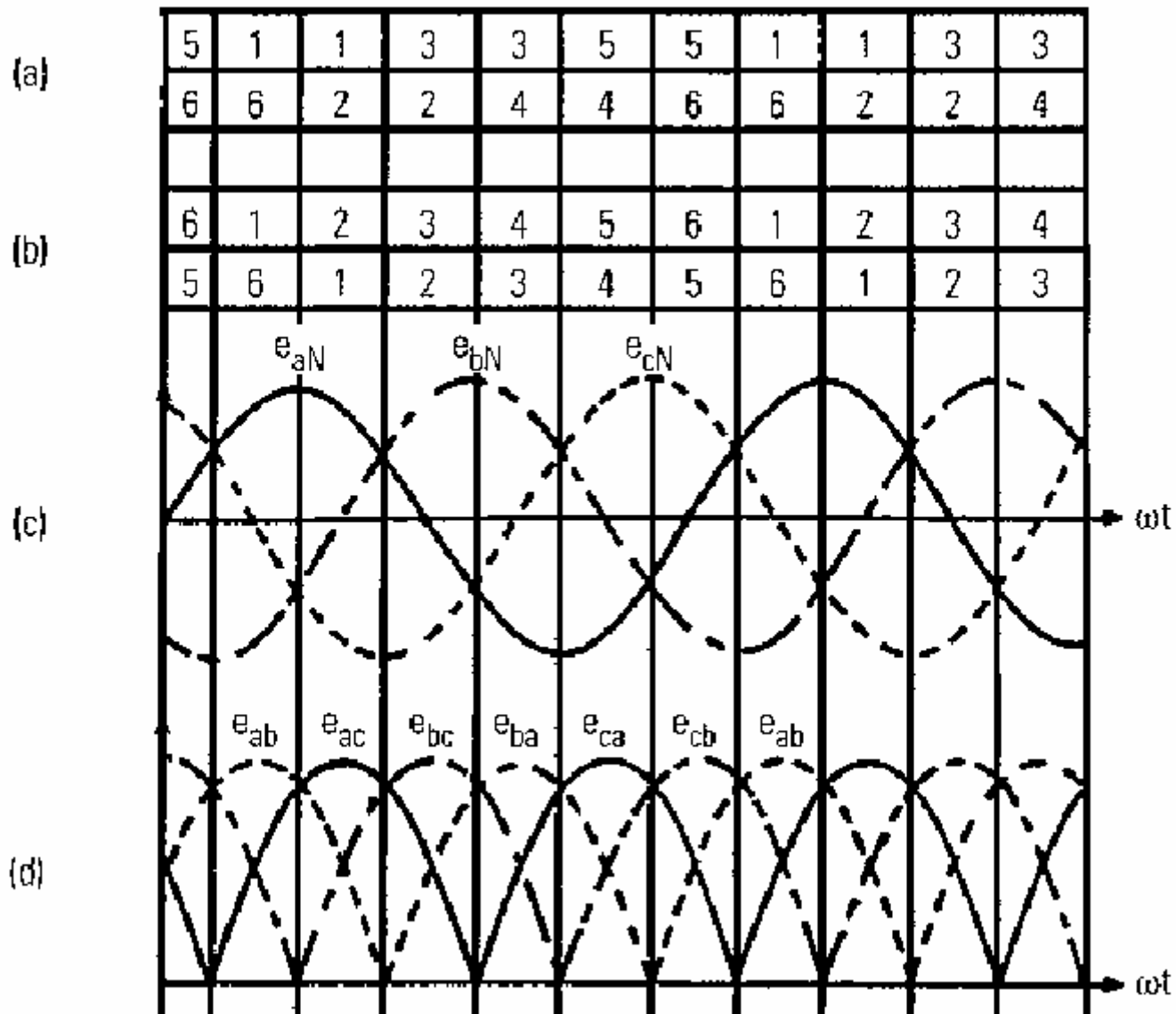
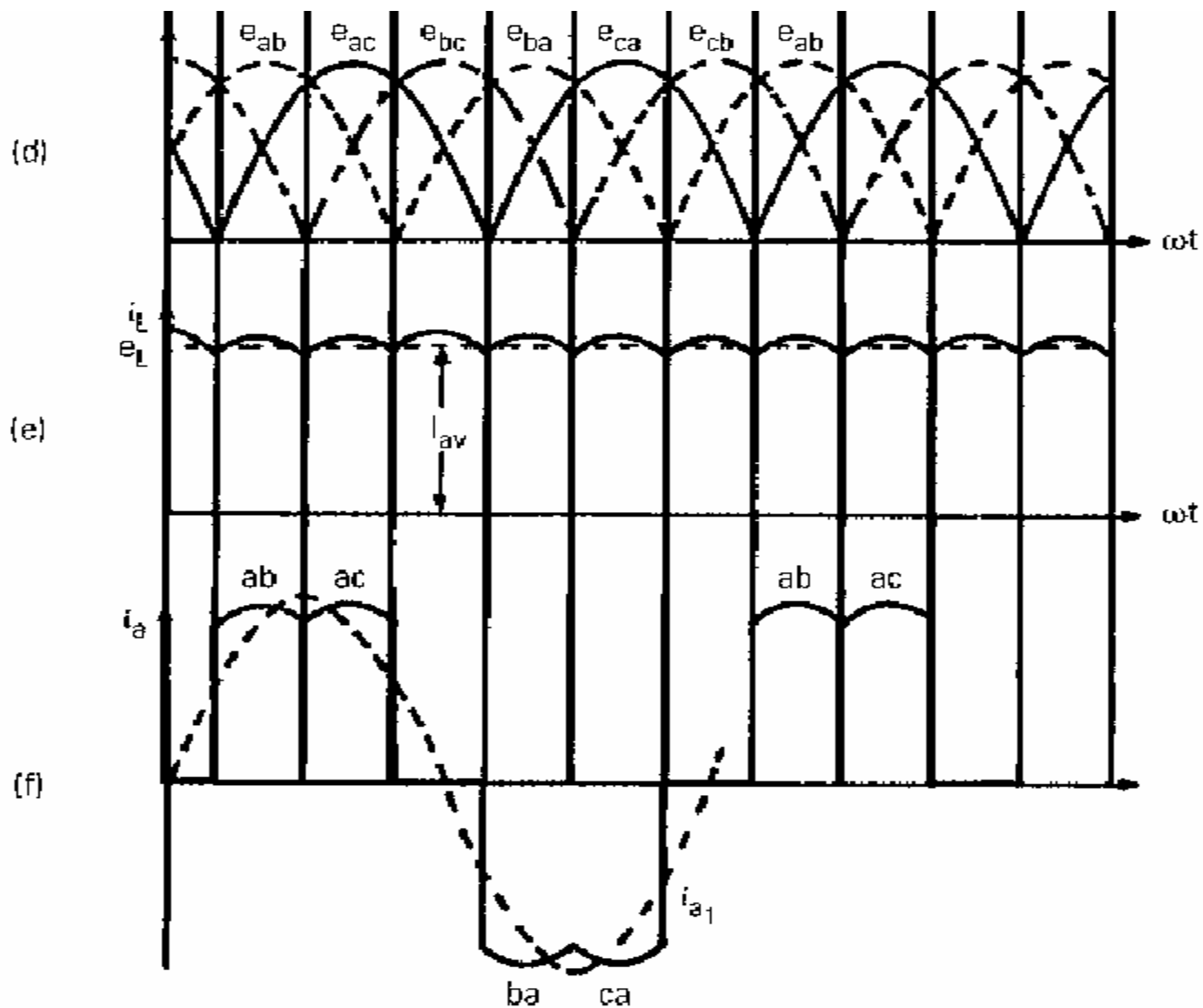


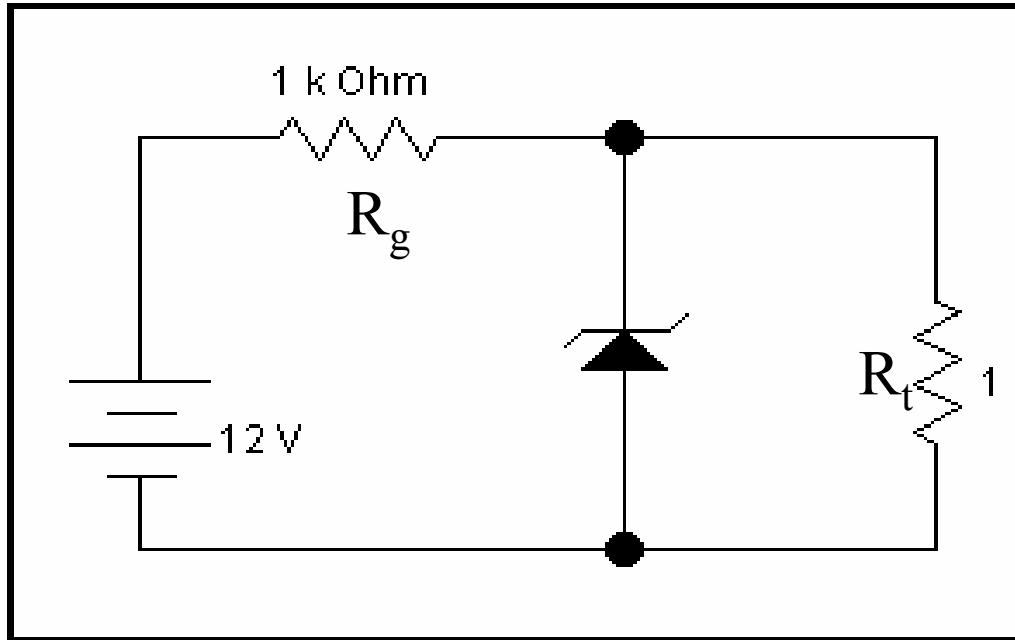
FIG. 1 Three-phase, full-wave diode rectifier circuit with resistive load.





**FIG. 2** Waveforms for three-phase, full-wave diode rectifier circuit with resistive load: (a) and (b) switching sequences, (c) supply phase voltages, (d) supply line voltages, (e) load current and voltage, and (f) line current.

# Ổn áp tham số



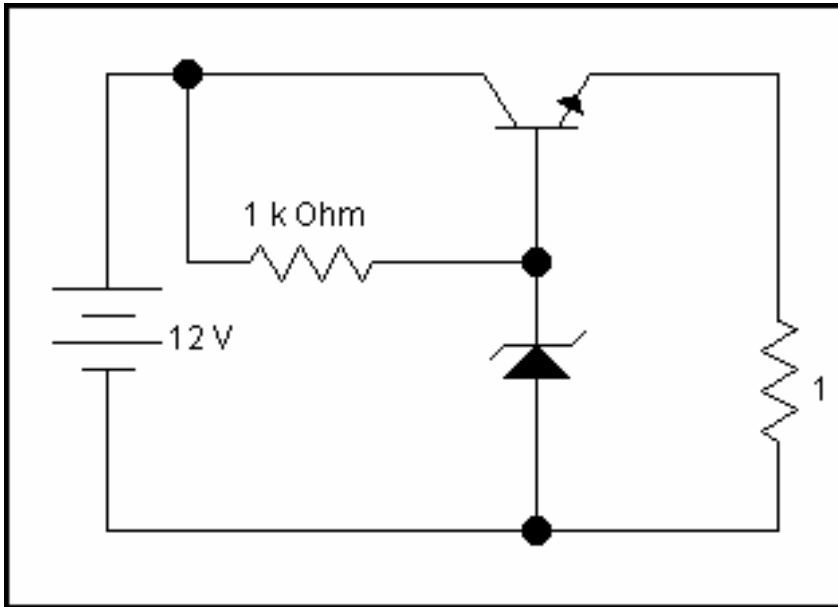
$R_g$  là điện trở gánh điện áp

$R_t$  là tải

Lưu ý Diode Zener mắc phân cực ngược

Khoảng ổn định thấp và công suất nhỏ

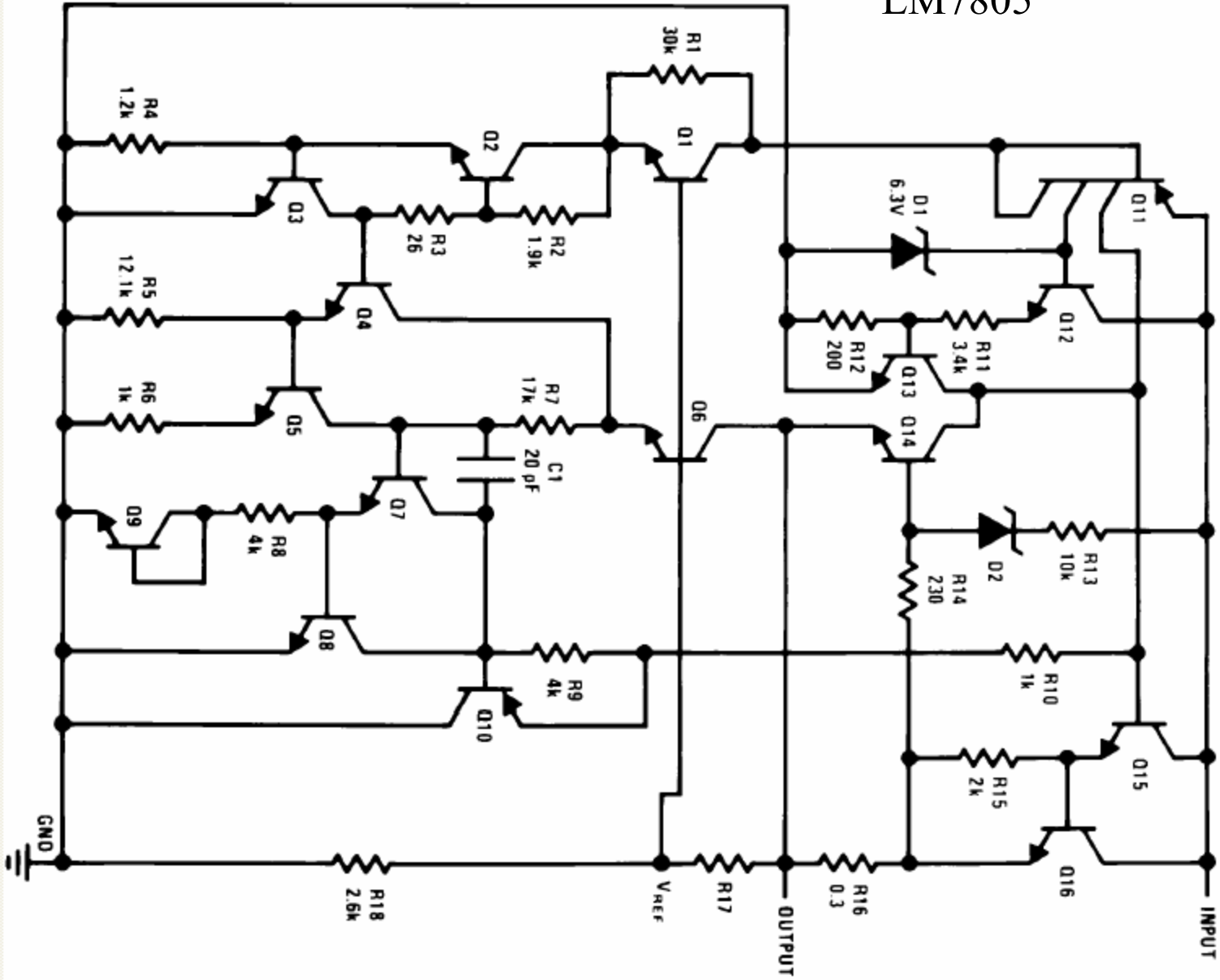
## Ổn áp tham số tăng công suất



- BJT chạy ở chế độ liên tục,
- Điện áp thay đổi sẽ làm thay đổi dòng  $I_c$  của BJT
- Khi có dao động điện áp sẽ làm biến đổi khả năng dẫn của BJT ngược lại, kết quả điện áp trên BJT sẽ thay đổi giữ cho tải được ổn định.

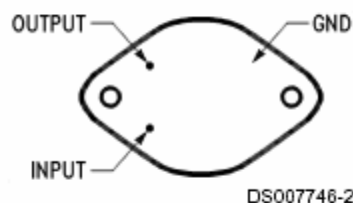


# Cấu tạo vi mạch LM7805



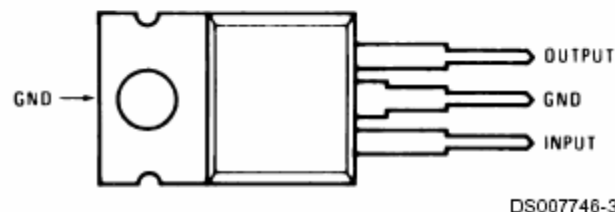
# Connection Diagrams

**Metal Can Package  
TO-3 (K)  
Aluminum**



**Bottom View  
Order Number LM7805CK,  
LM7812CK or LM7815CK  
See NS Package Number KC02A**

**Plastic Package  
TO-220 (T)**



**Top View  
Order Number LM7805CT,  
LM7812CT or LM7815CT  
See NS Package Number T03B**

## Features

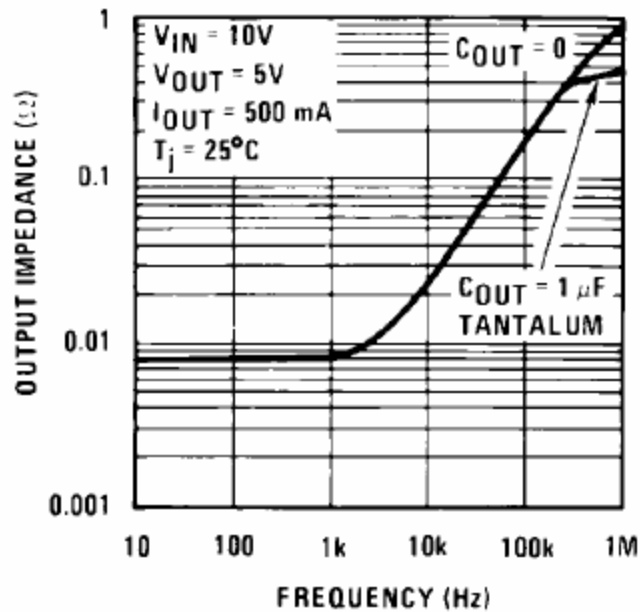
- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

## Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

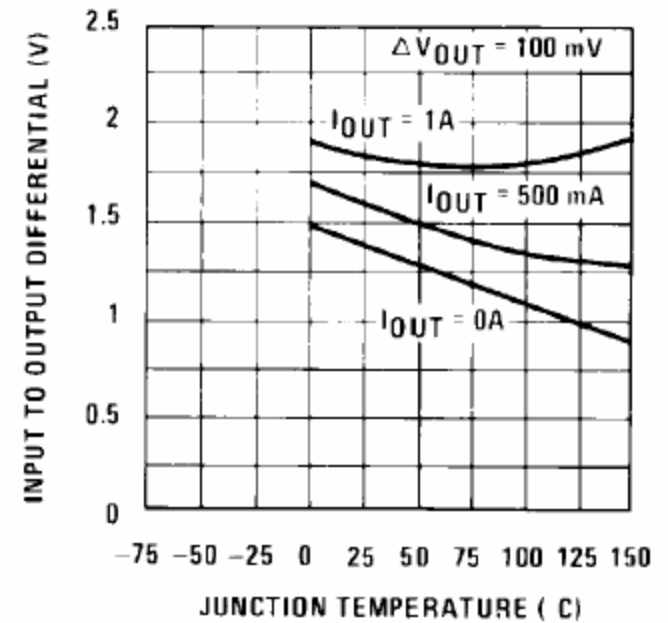
# Typical Performance Characteristics (Continued)

## Output Impedance



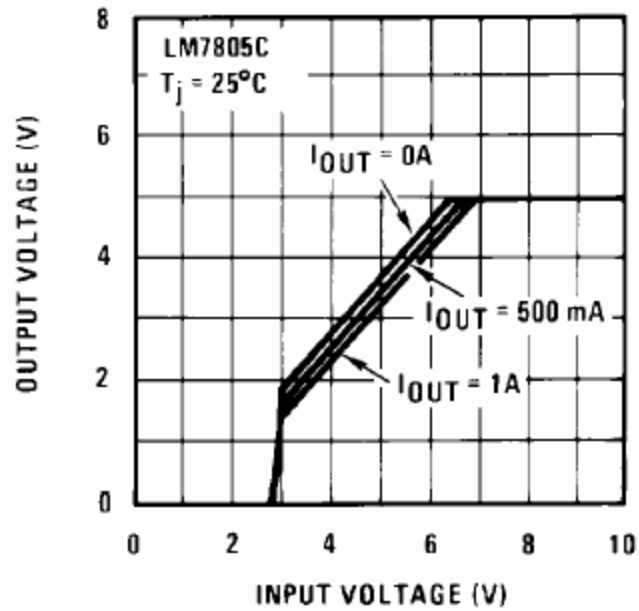
DS007746-11

## Dropout Voltage



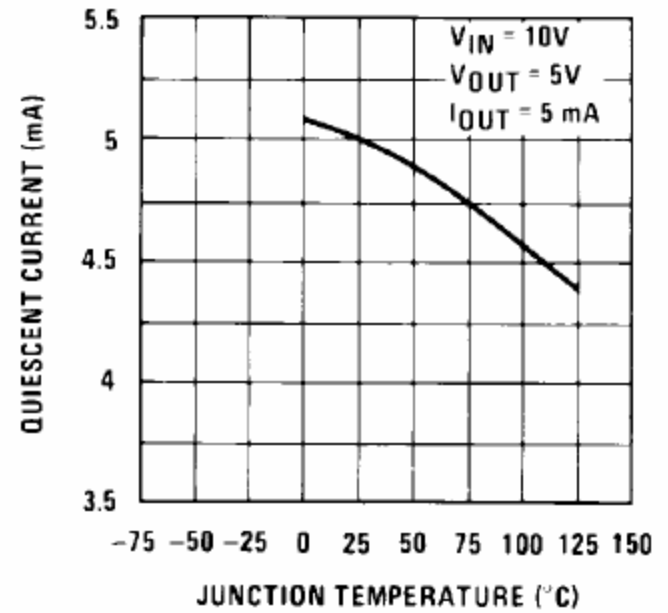
DS007746-12

## Dropout Characteristics



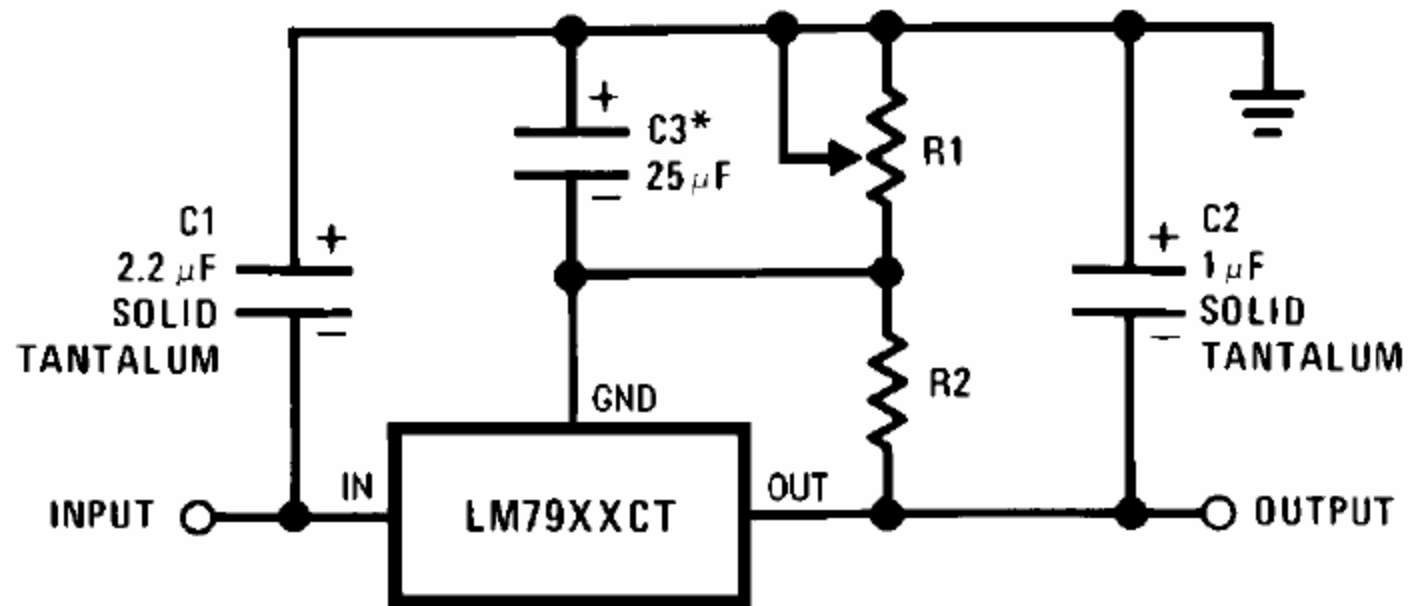
DS007746-13

## Quiescent Current

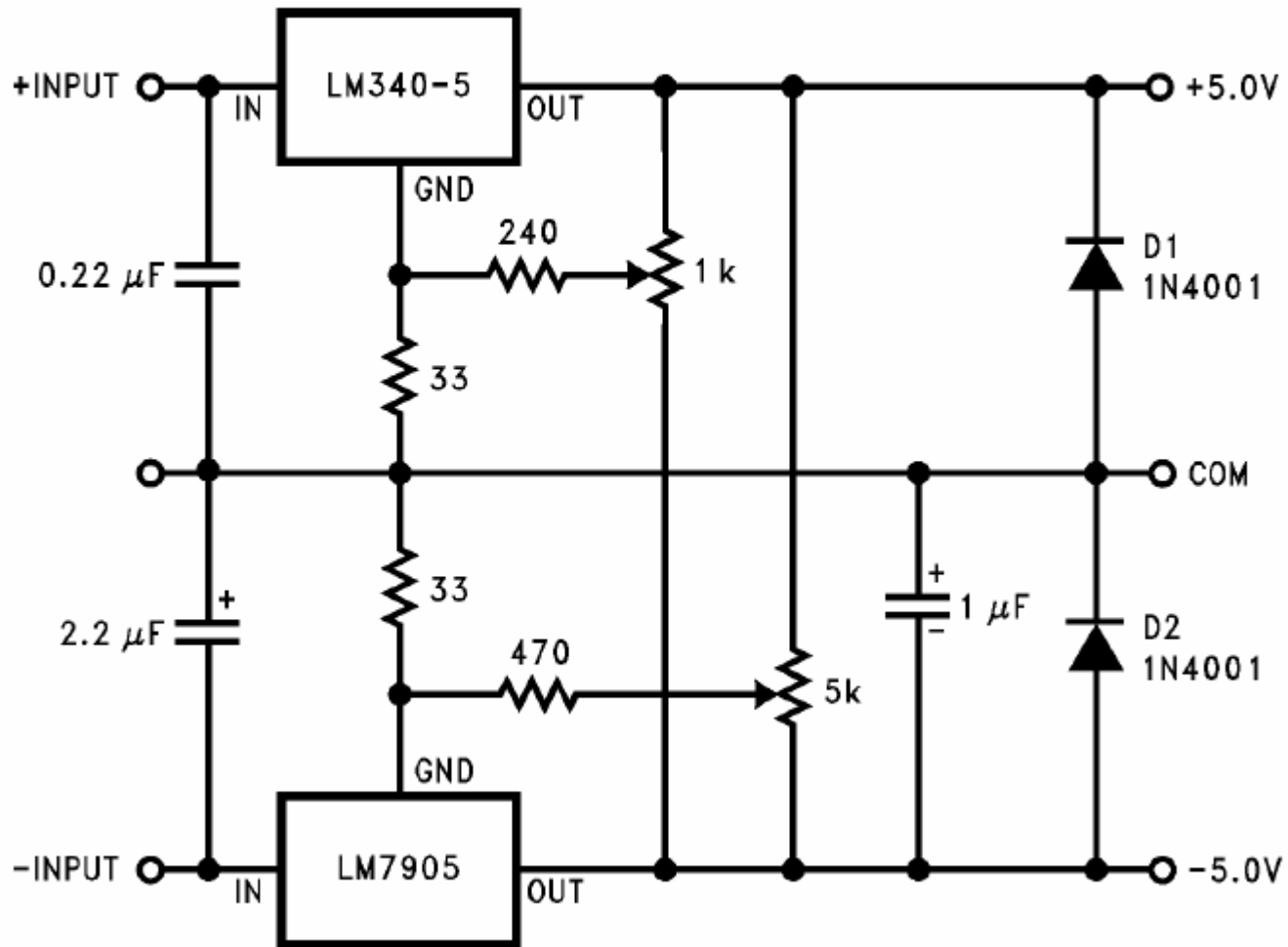


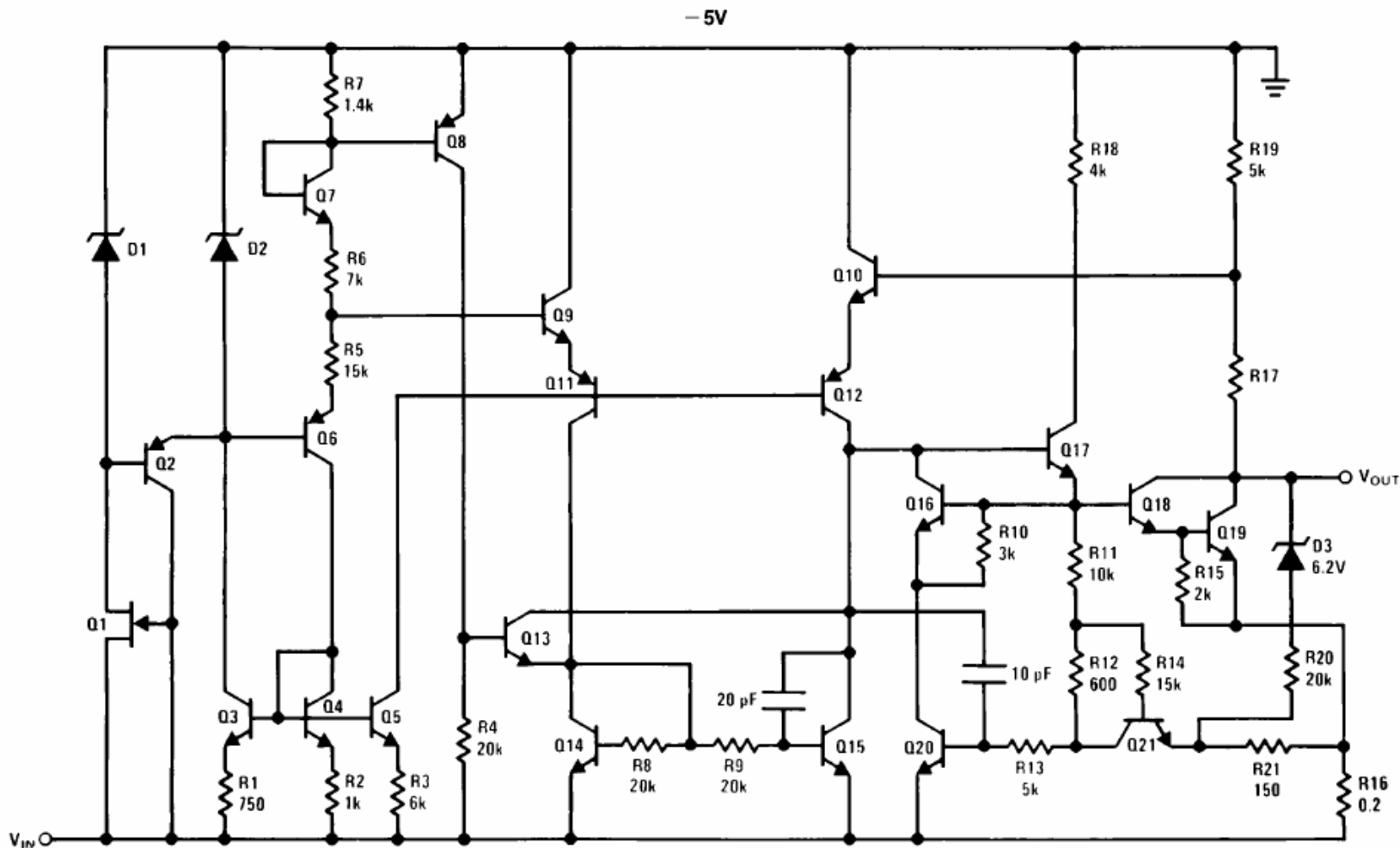
DS007746-14

## Variable Output



### Dual Trimmed Supply





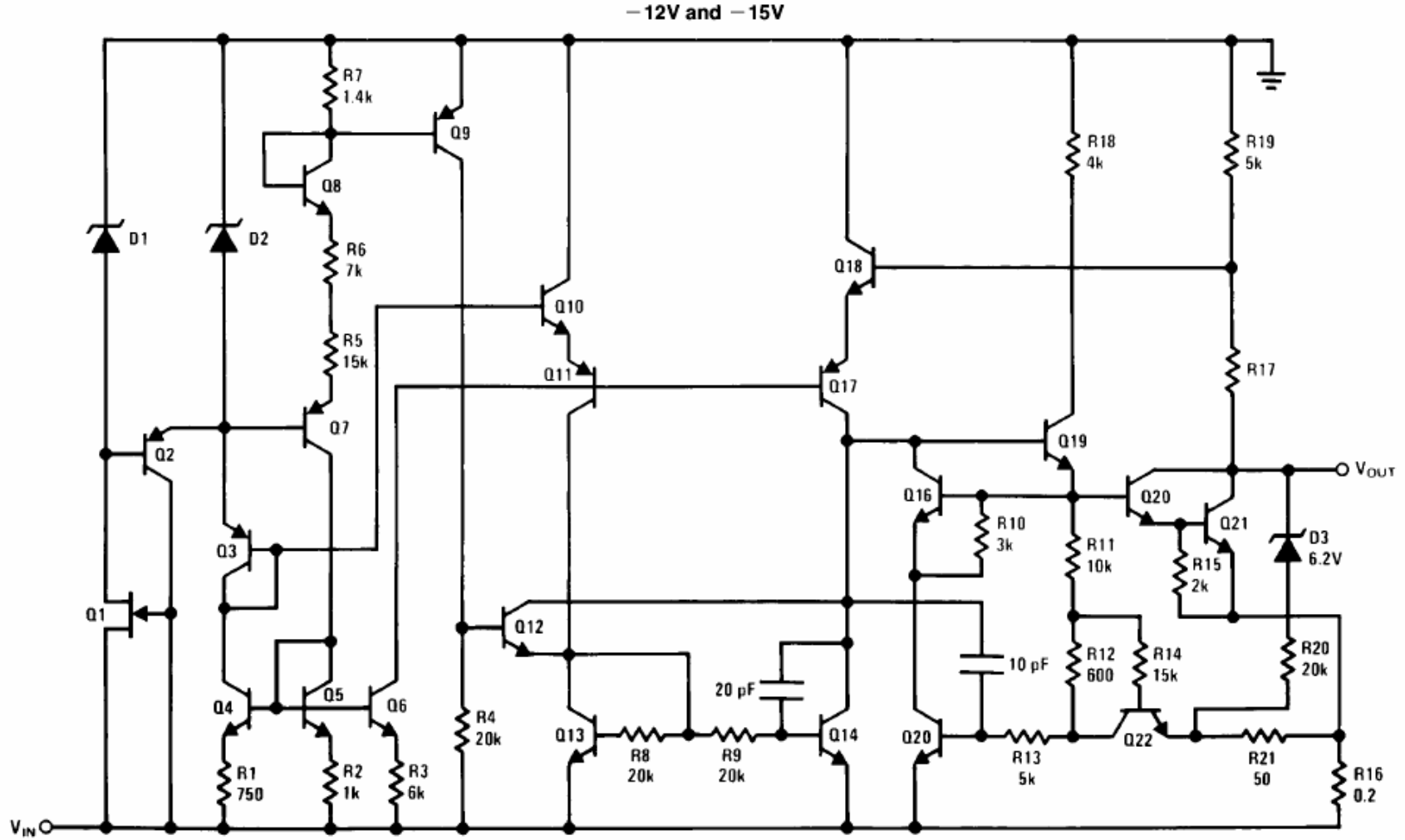
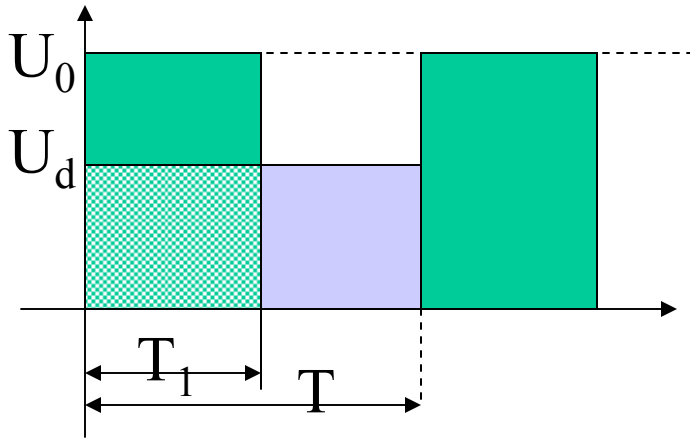


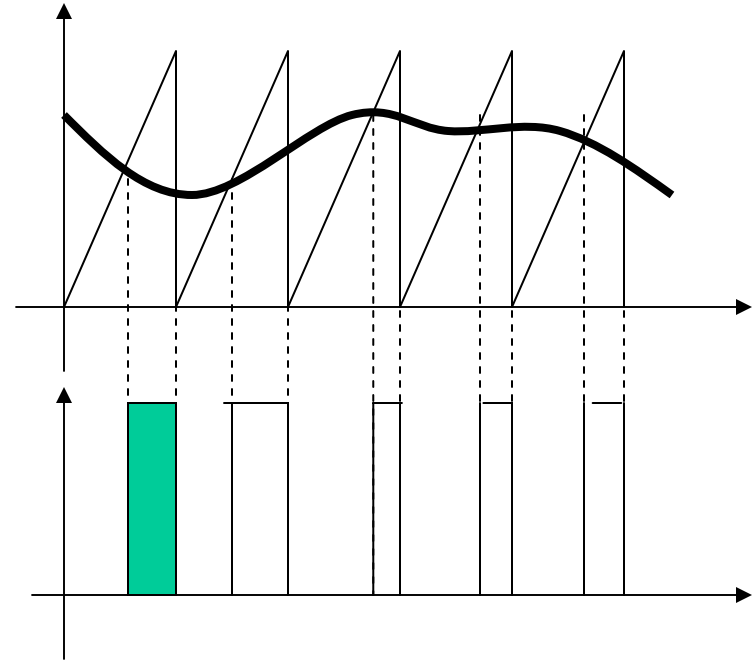
FIGURE 10



## Ổn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator

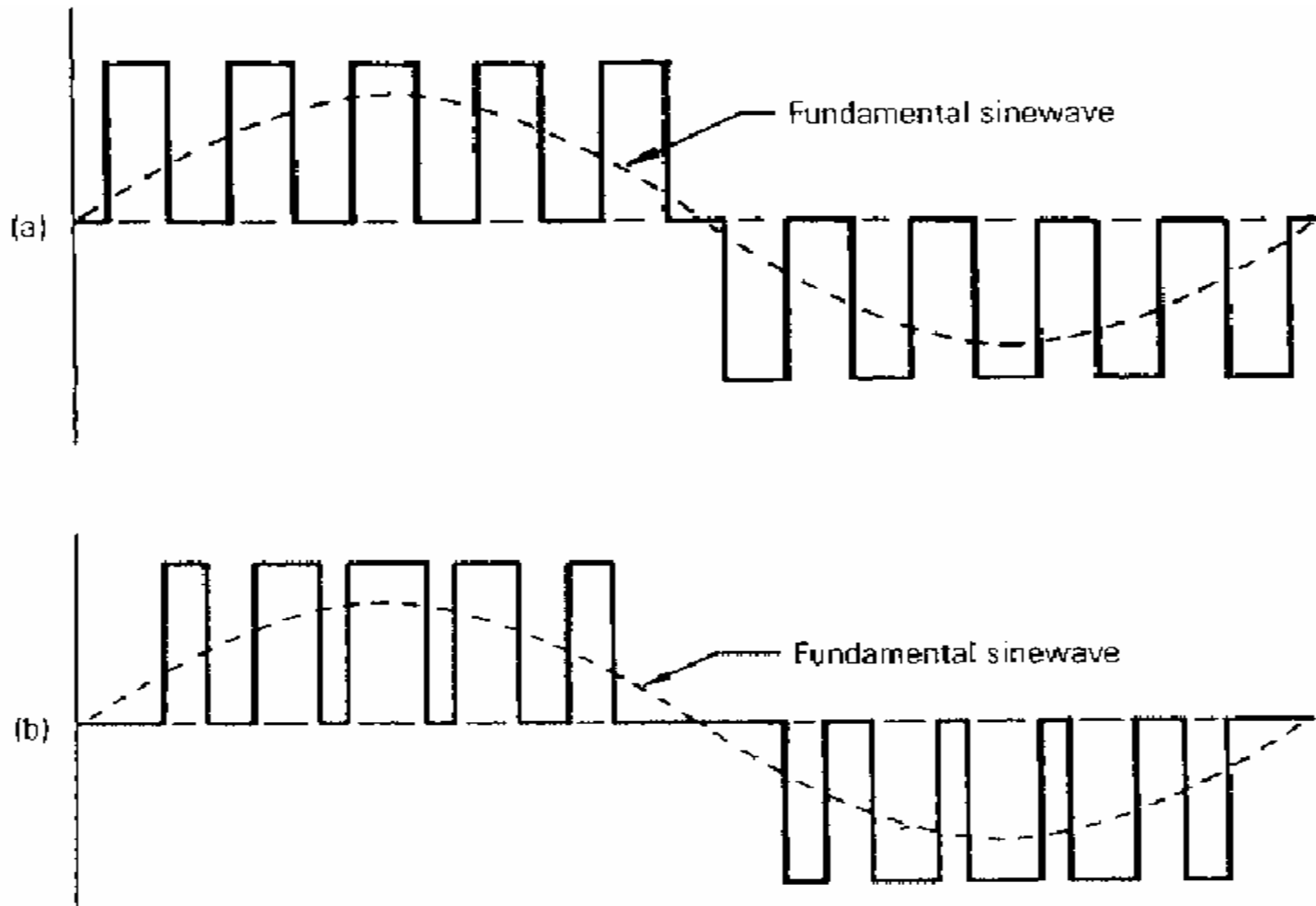


$$U_d = \frac{T_1}{T} U_0$$



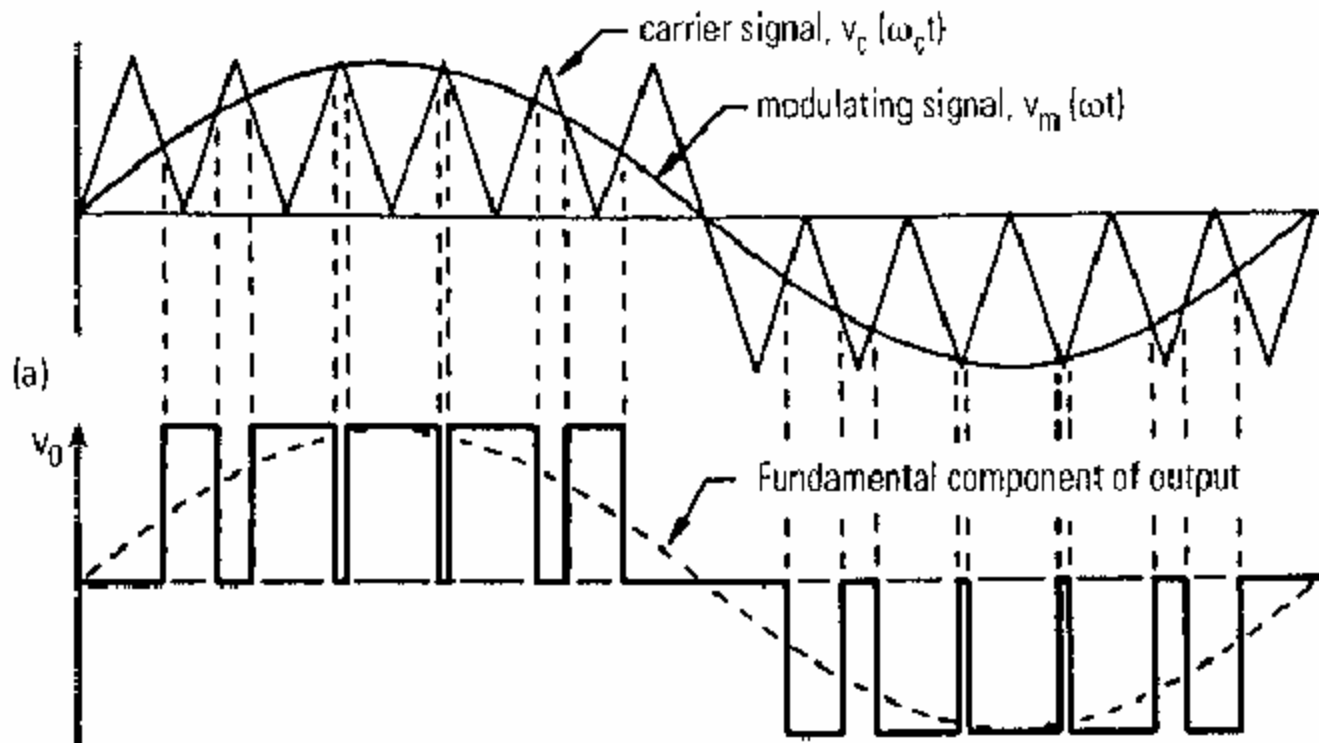
- Loại nguồn này hiện nay được dùng rất rộng rãi trong các thiết bị điện tử để cung cấp nguồn áp hay nguồn dòng ổn định cho tải.
- Mạch thường dùng các chuyển mạch điện tử như BJT, MOSFET để cắt (băm) điện áp một chiều thành các xung có độ rộng thay đổi sao cho giá trị điện áp trung bình không đổi

# Ôn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator



**FIG. 8** Comparison of pulse patterns: (a) uniformly notched pulse train and (b) PWM wave.

# Ôn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator



# Ôn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator

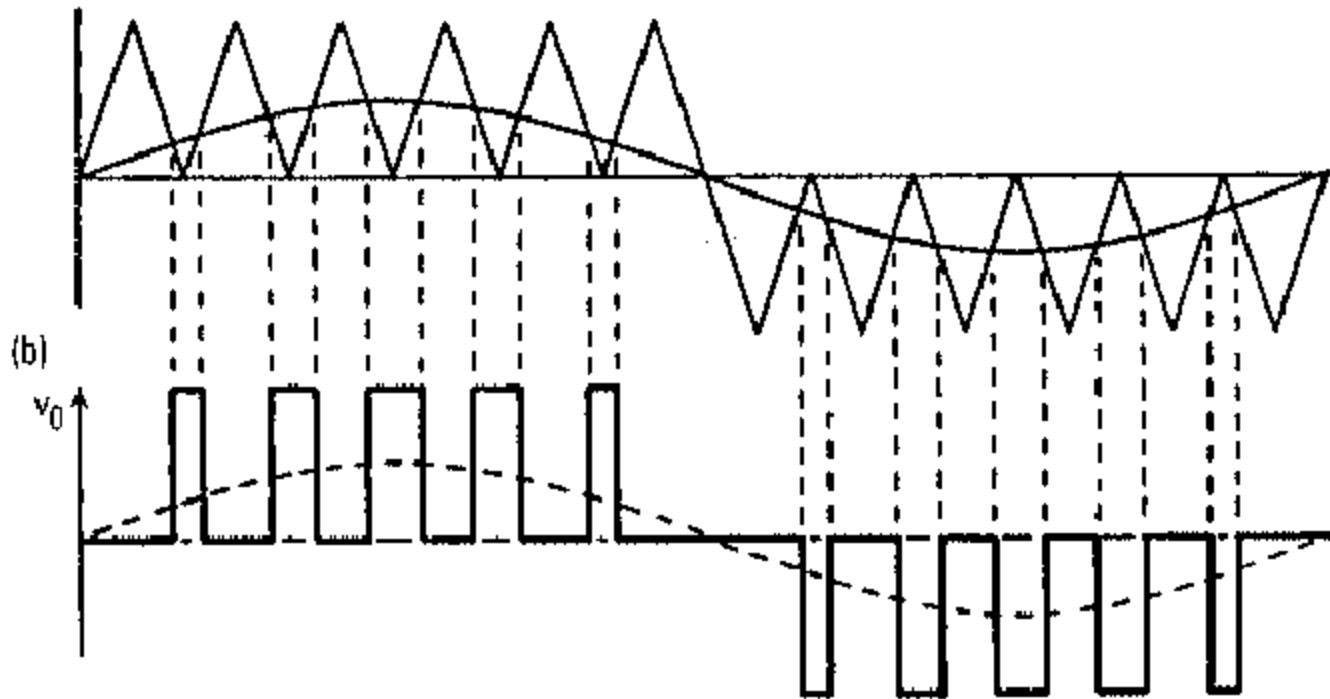
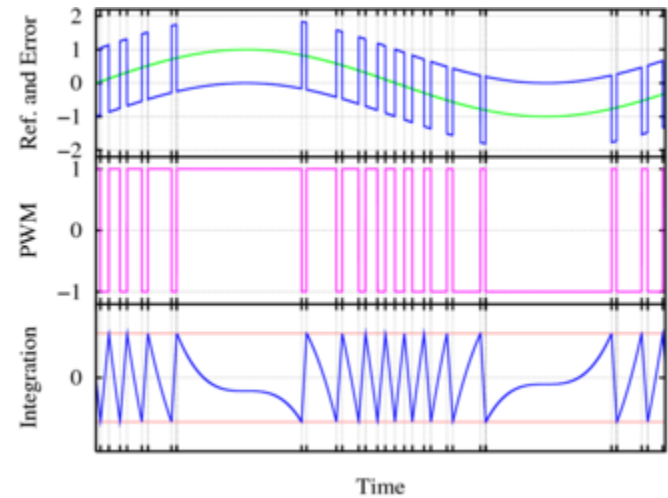
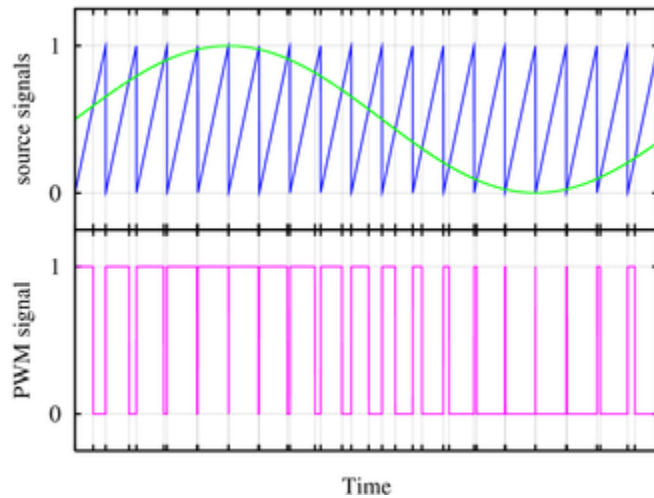
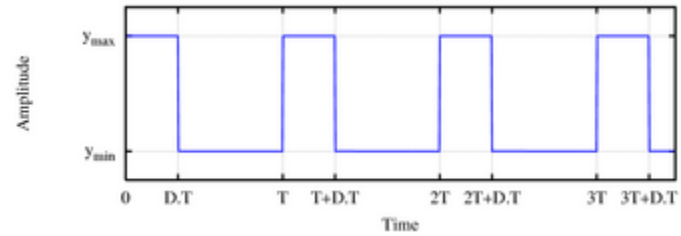
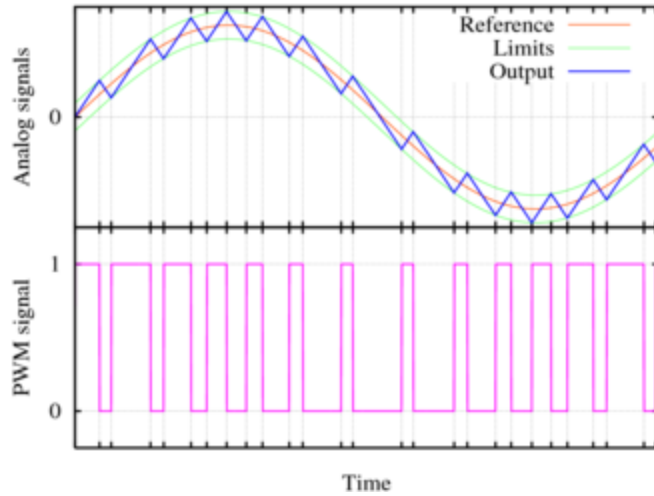


FIG. 9 Principle of sinusoidal modulation: (a)  $M = V/V_c = 1.0$  and (b)  $M = V/V_c = 0.5$ .

# Ổn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator



# Ôn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator

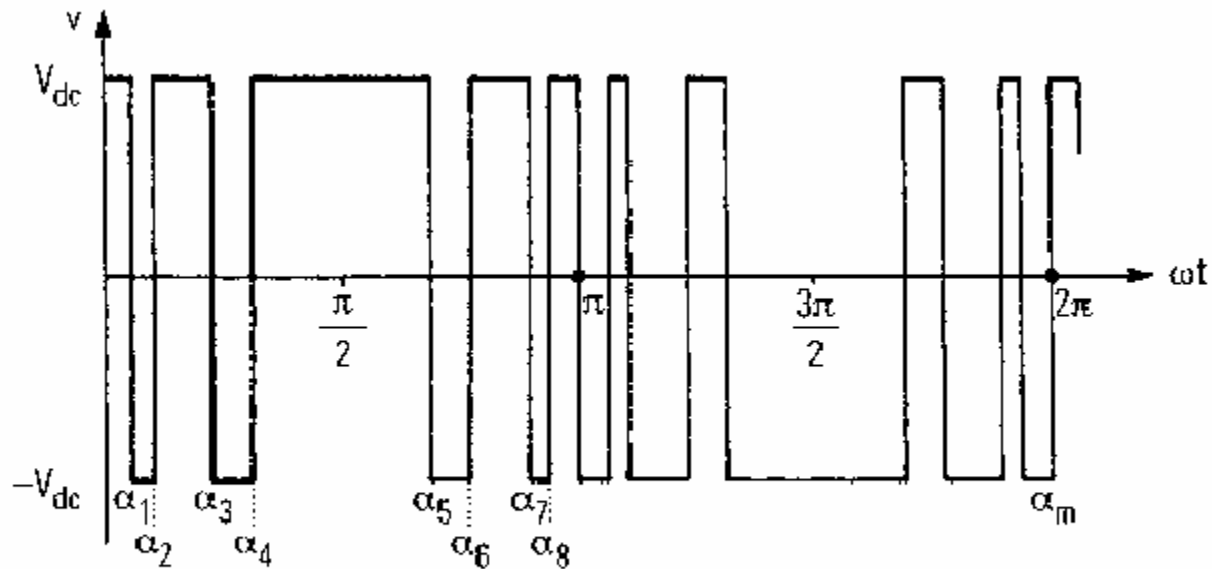


FIG. 10 PWM voltage waveform with eight arbitrary switchings per half cycle.

# Ôn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator

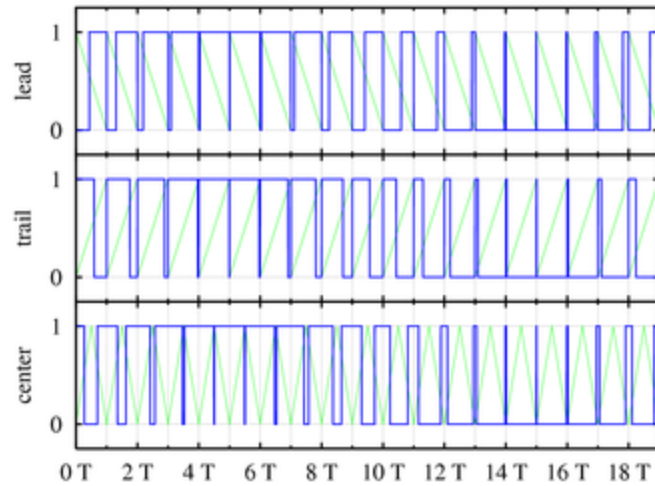


Figure 2. PWM Output with Varying Duty Cycle

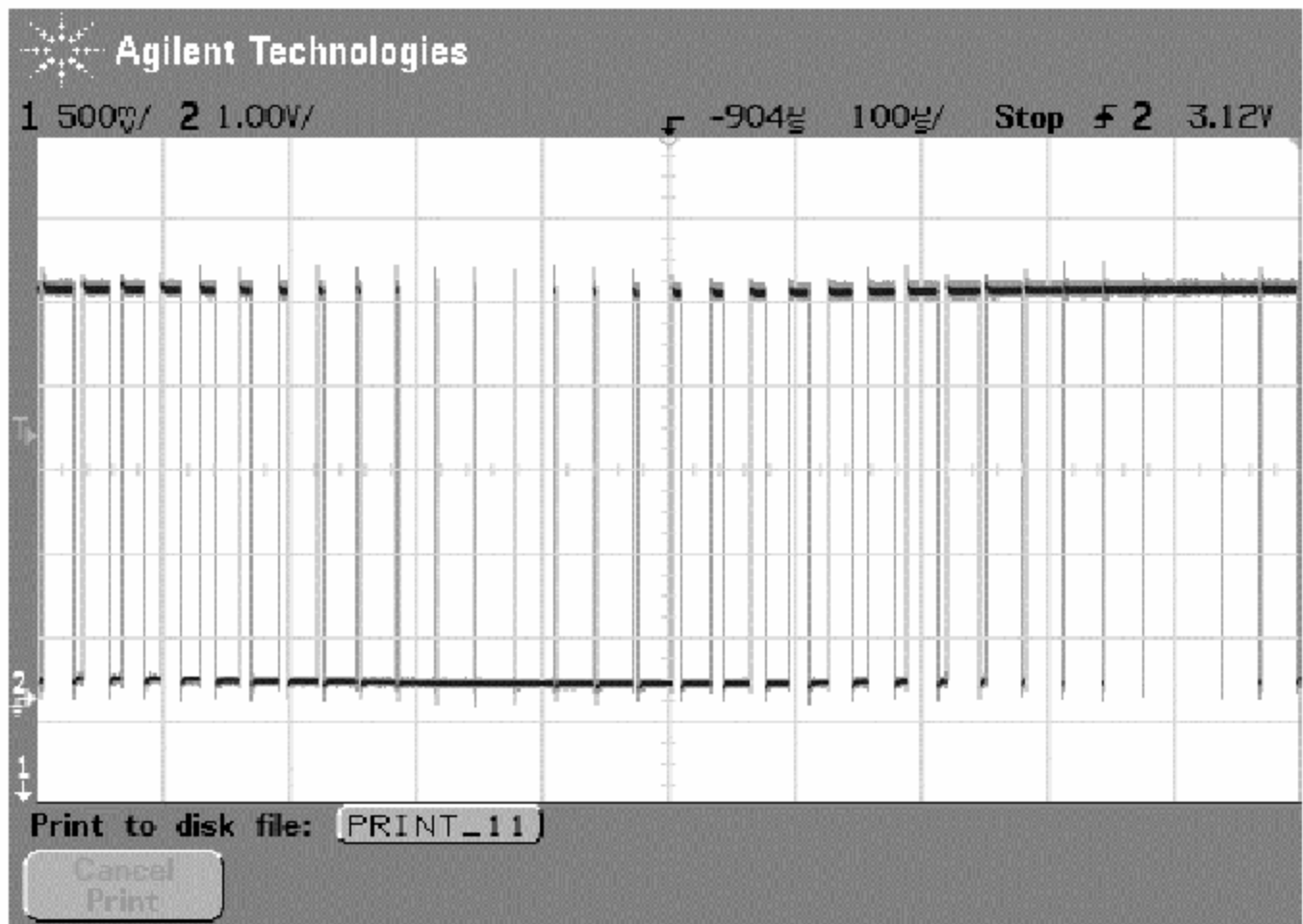




Figure 3. Counter Values and PWM Output

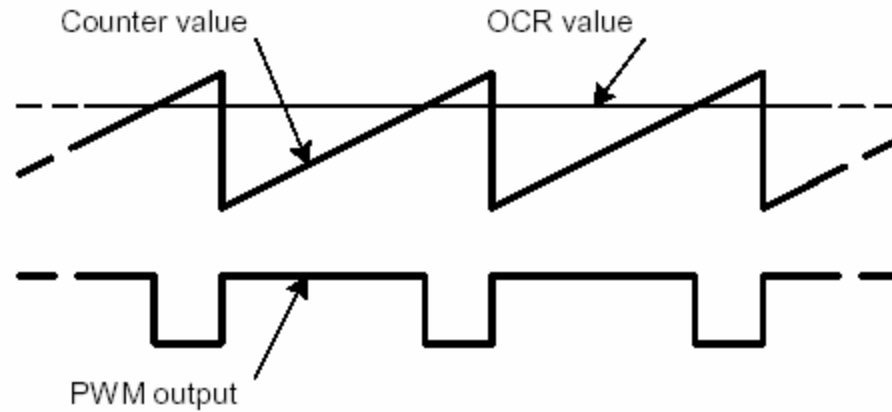


Figure 8. OC1A Output – Filtered and Not Filtered

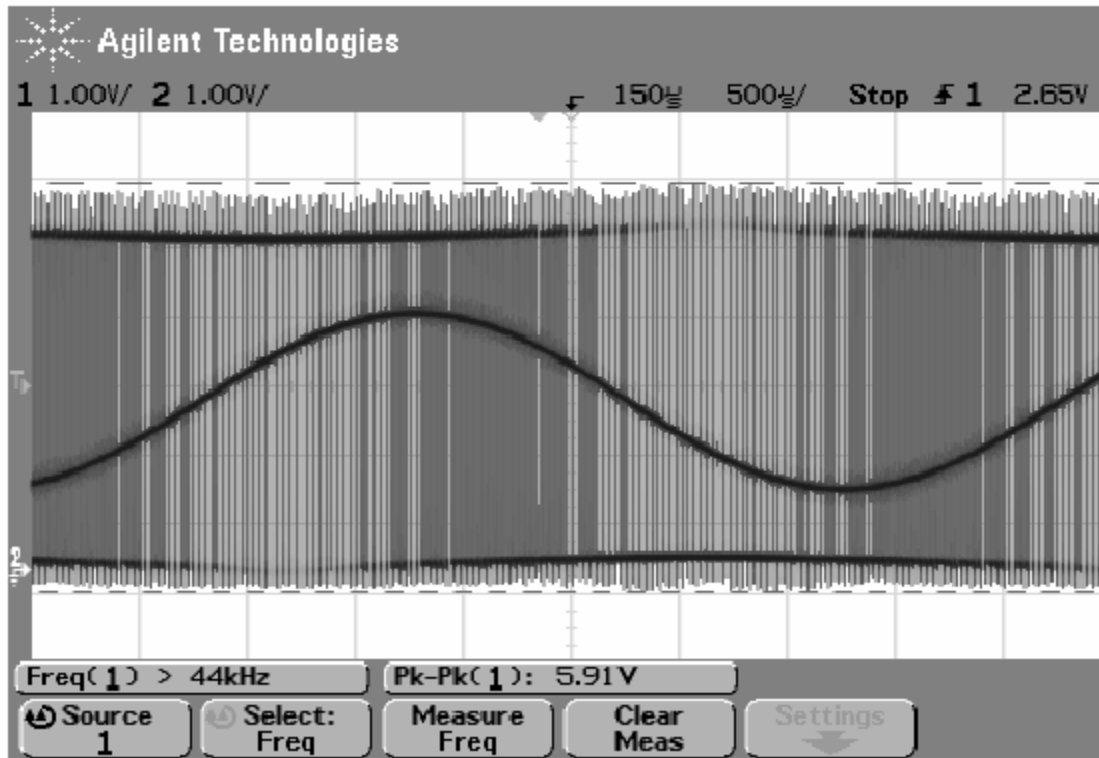
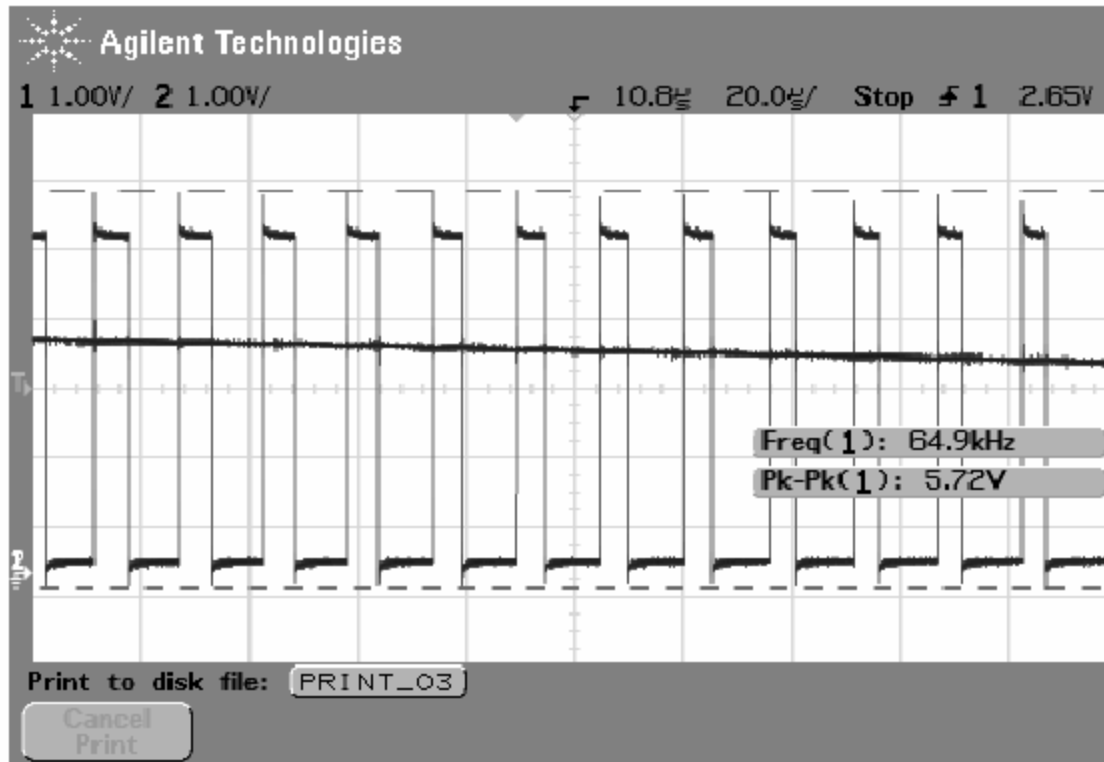


Figure 9. OC1A Output – Filtered and Not Filtered, Details



# Ôn áp kiểu điều rộng xung PWM – Pulse Width Modulator

## Loại 3 pha

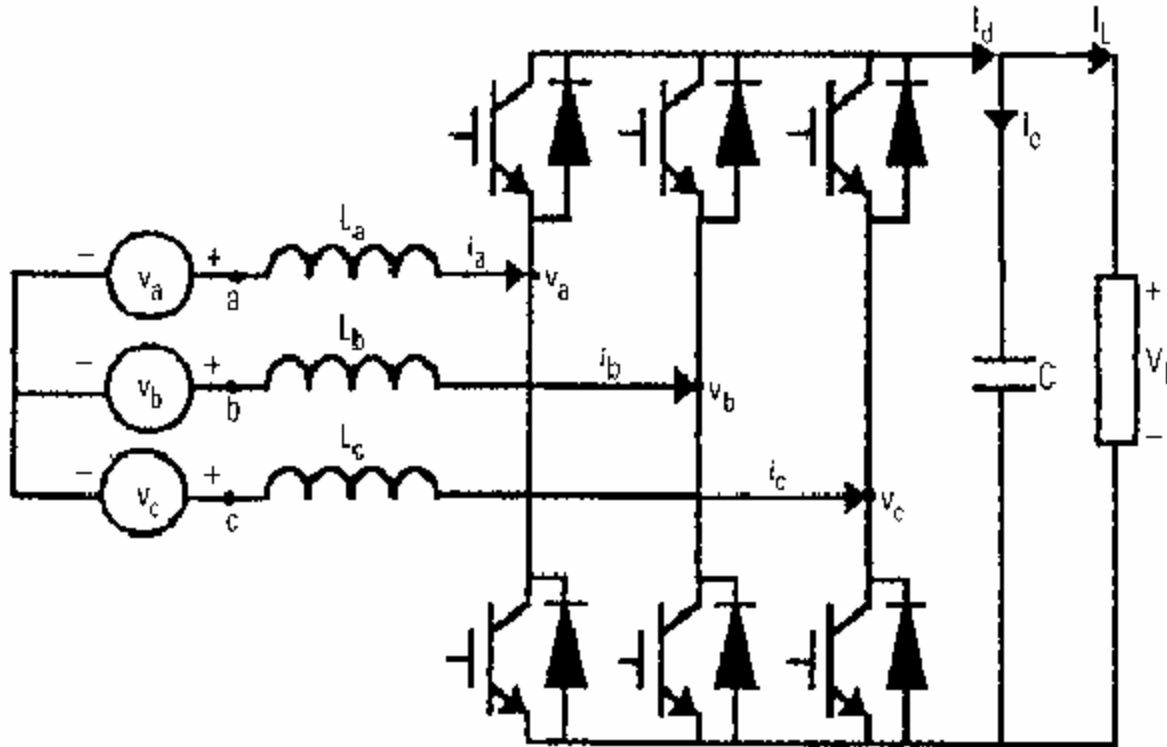
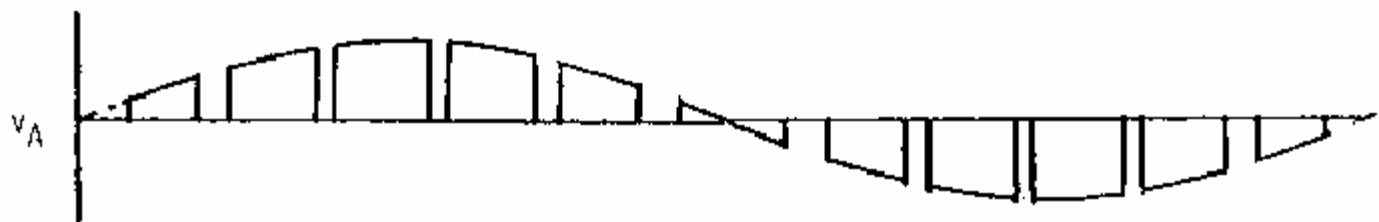
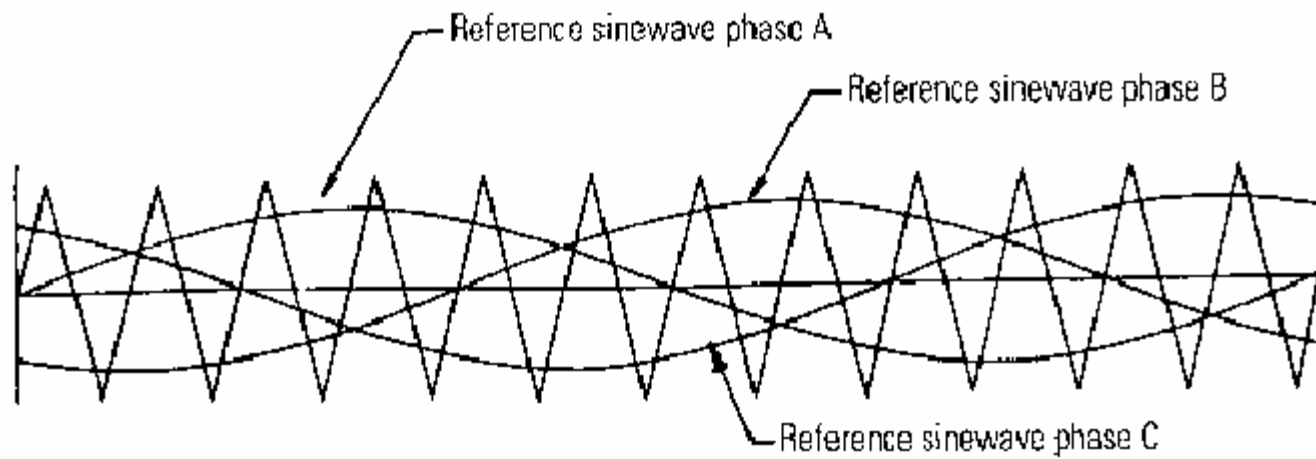
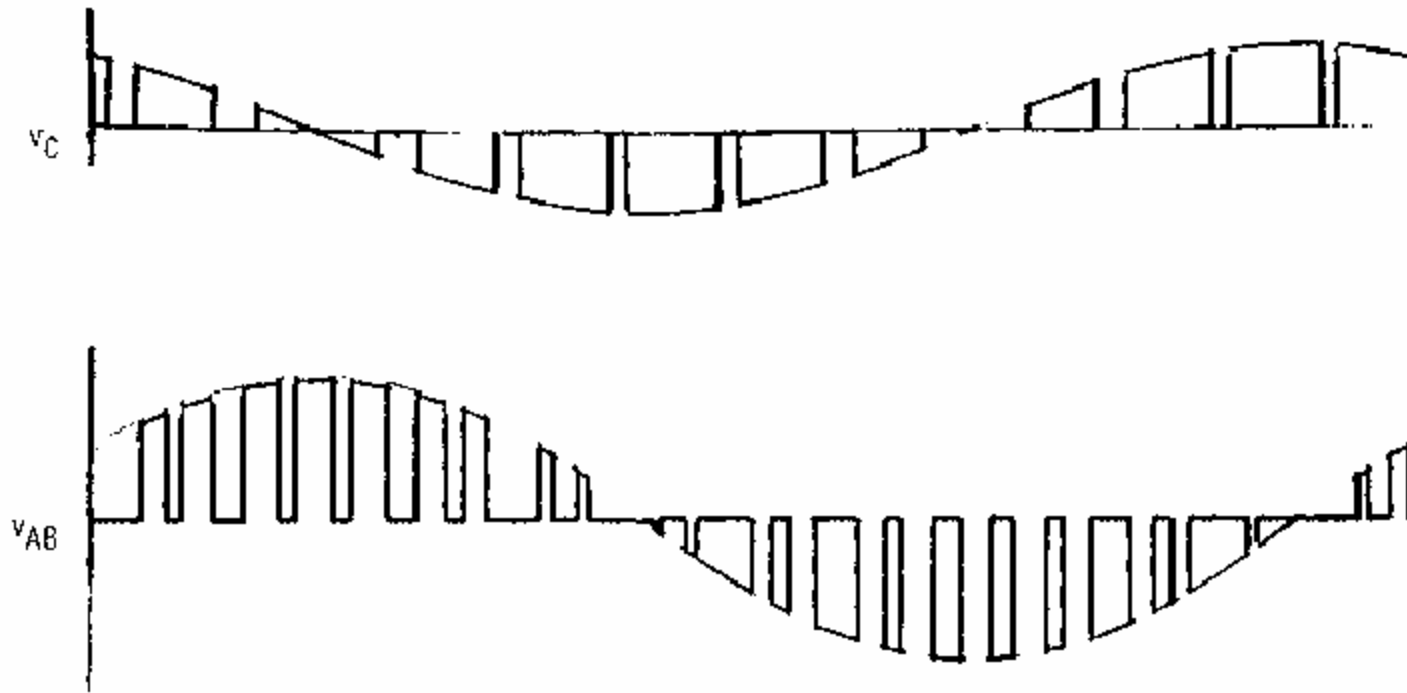
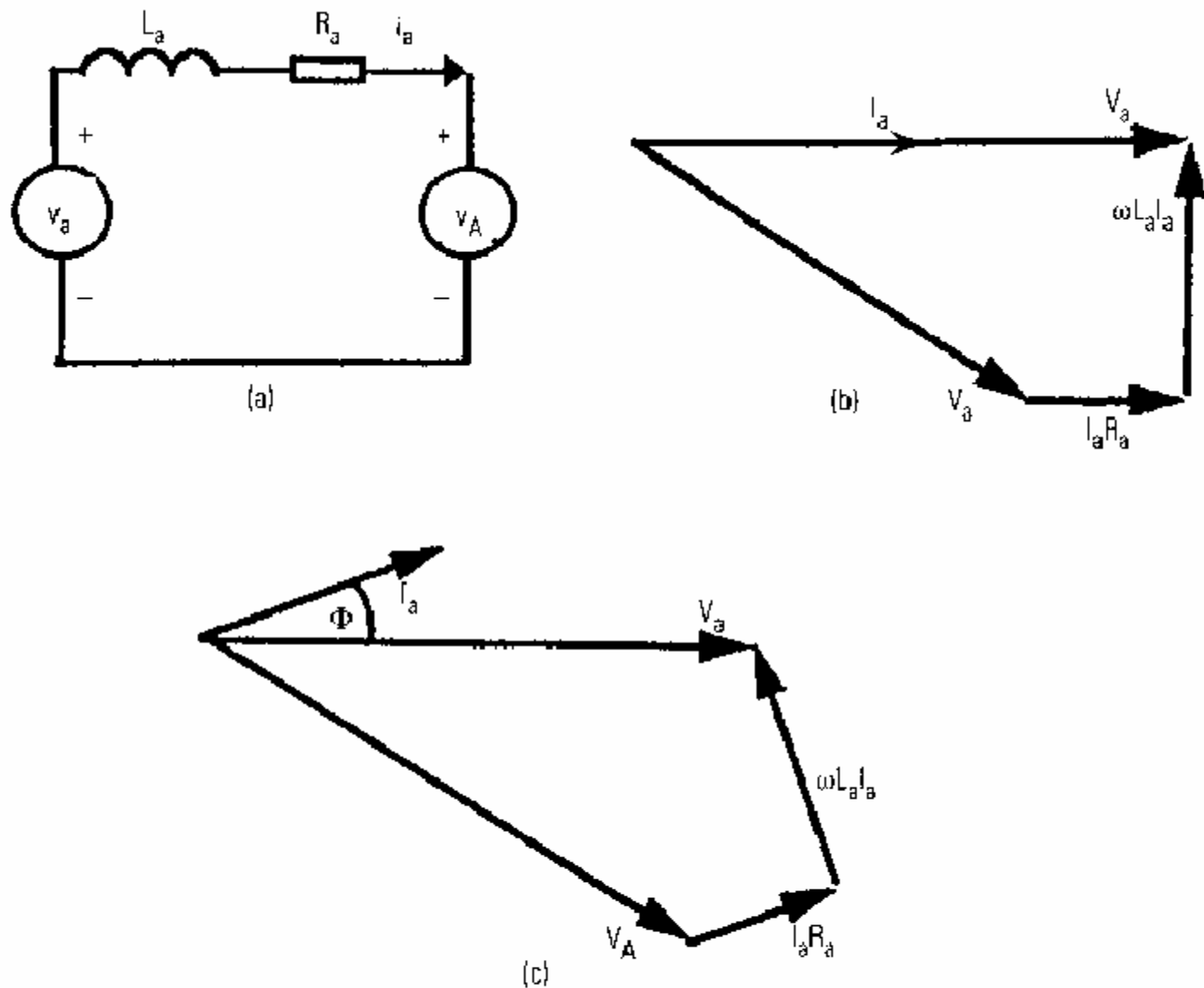


FIG. 11 Power circuit diagram of a three-phase PWM bridge rectifier.



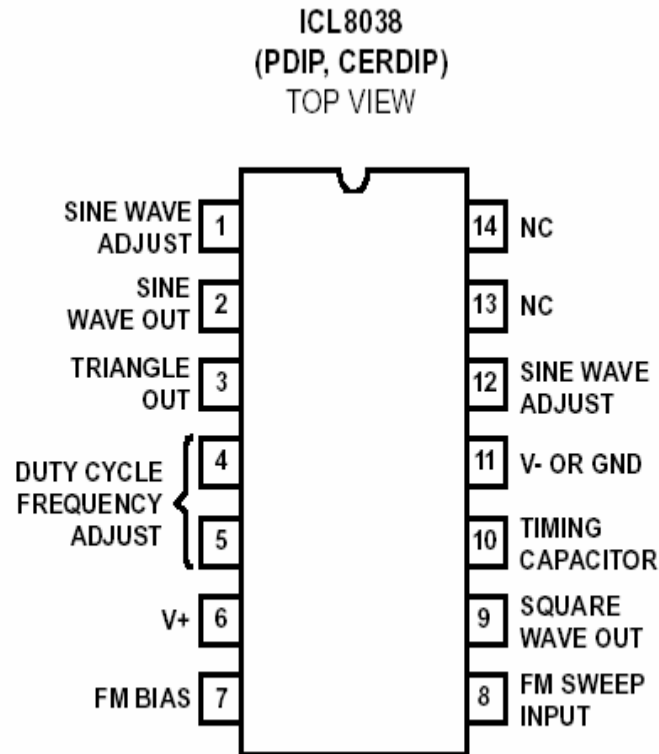


**FIG. 12** PWM waveforms of a three-phase rectifier  $M = 0.65$ ,  $p = 12$ . (Adapted from Ref. 11.)

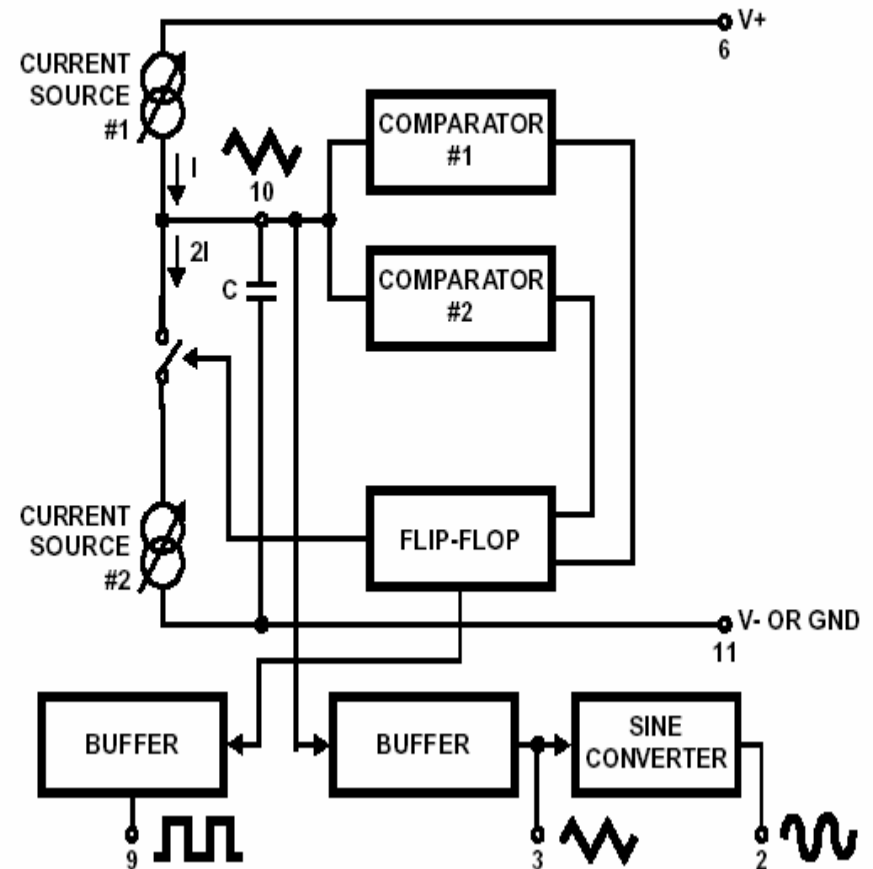


**FIG. 13** Operation of a PWM rectifier: (a) equivalent circuit for fundamental components, (b) phase diagram for unity displacement factor (buck operation), and (c) leading displacement factor (boost operation).

## Pinout



## Functional Diagram



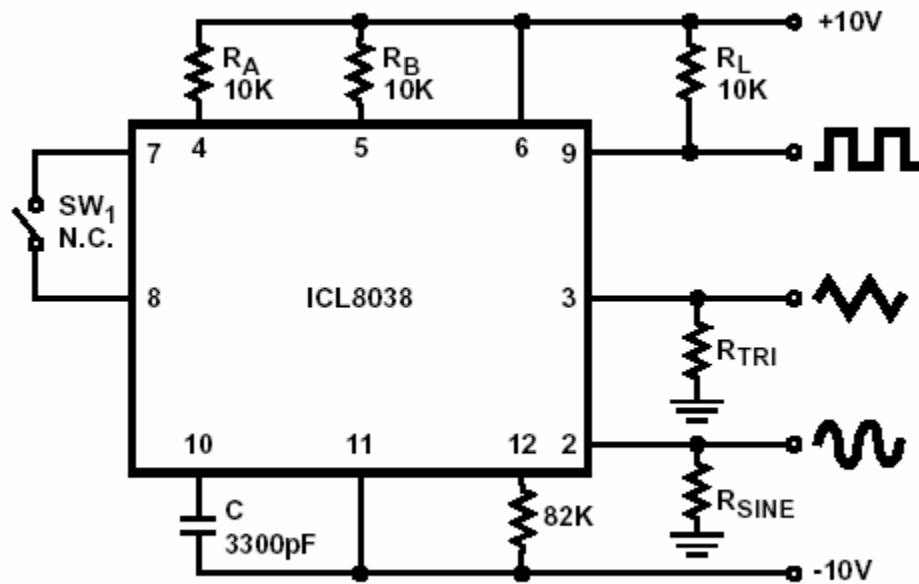
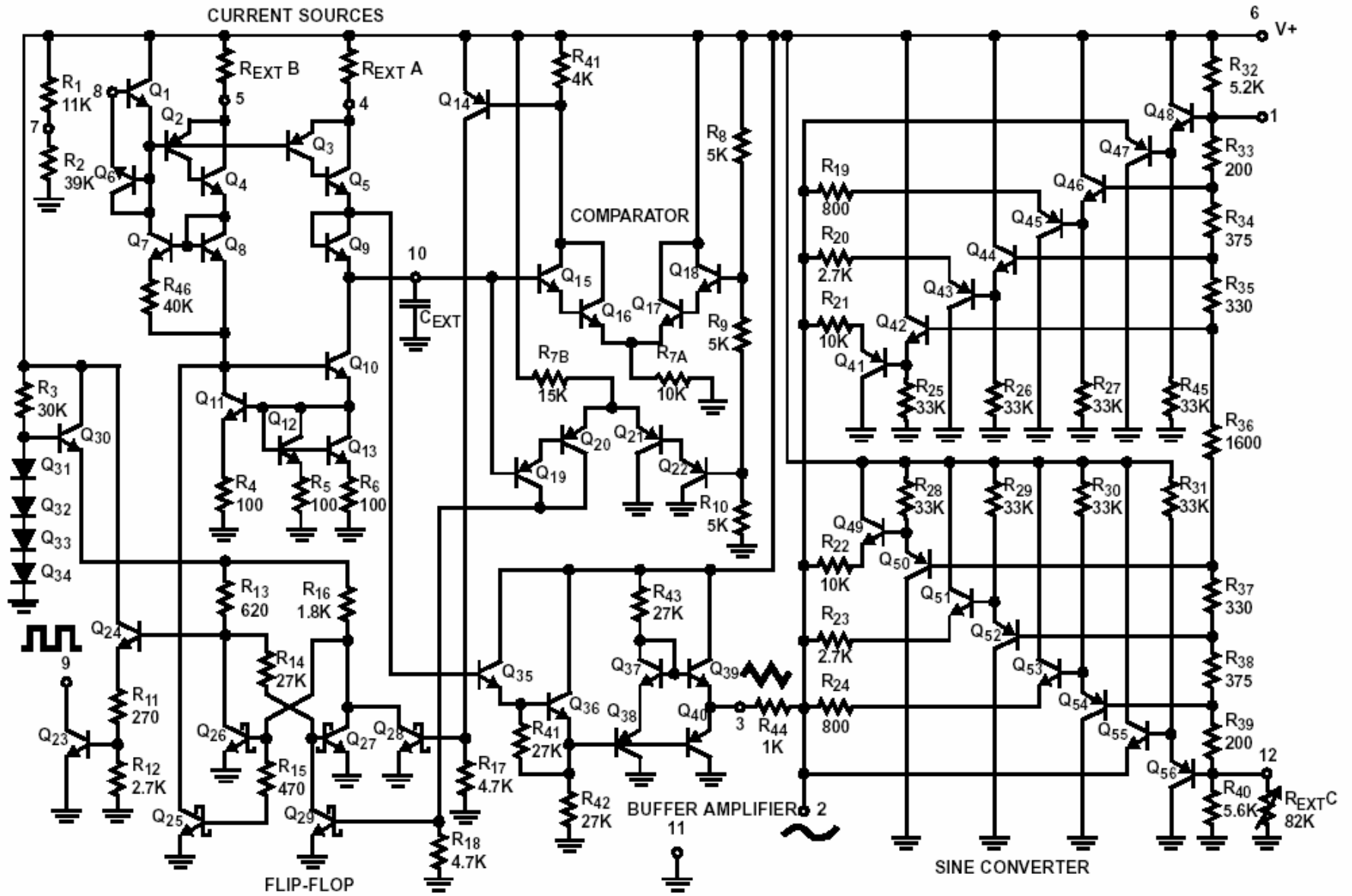


FIGURE 1. TEST CIRCUIT



# Detailed Schematic



# Nguồn xoay chiều nghịch lưu từ một chiều

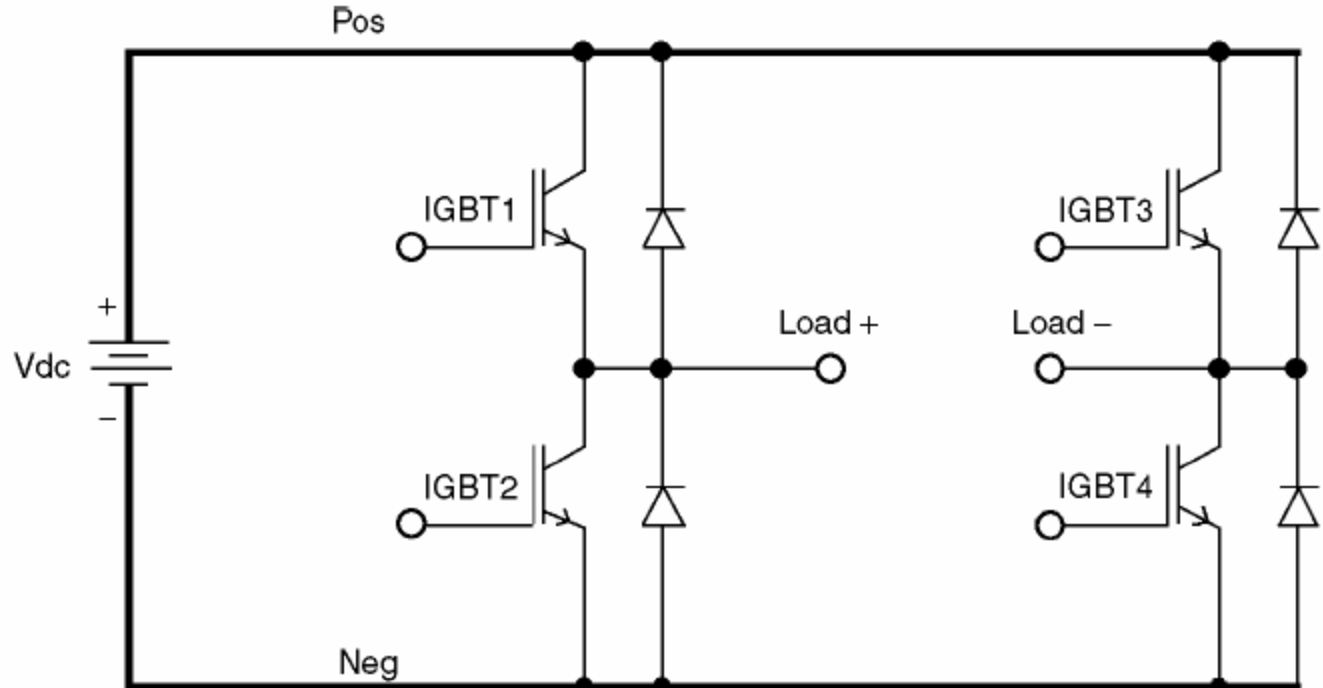


FIGURE 5.1 Topology of a single-phase, full-bridge inverter.

# Nguồn xoay chiều nghịch lưu từ một chiều

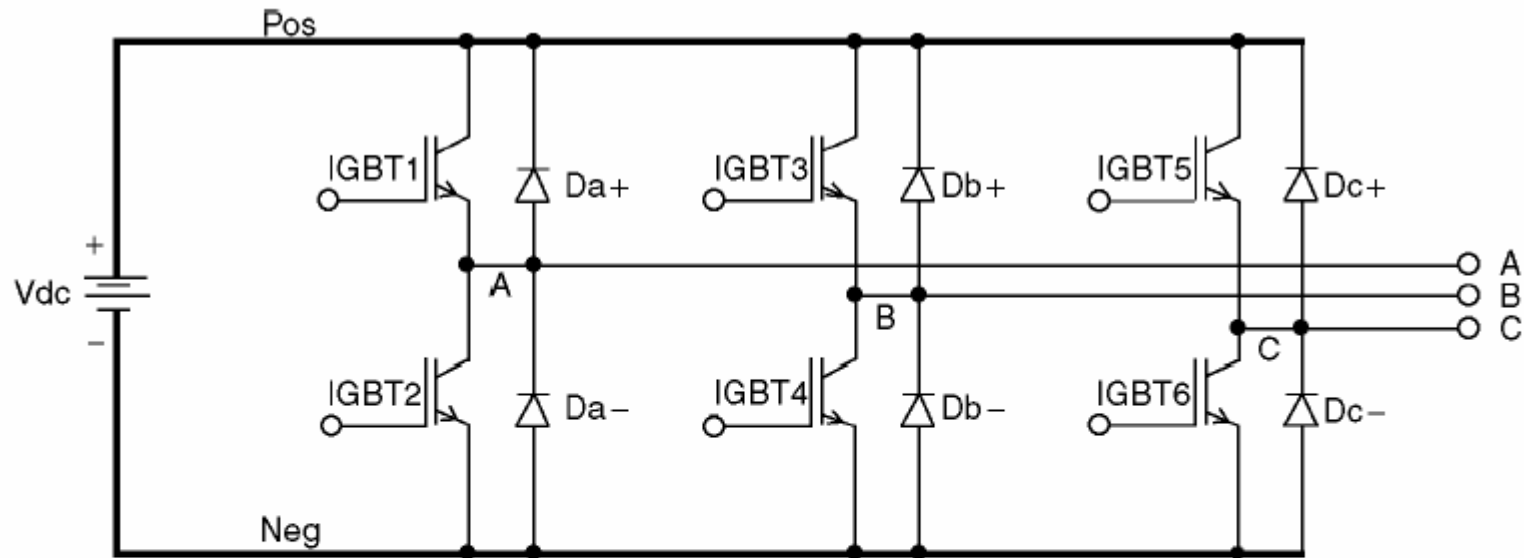


FIGURE 5.2 Topology of a three-phase inverter.

at least 25 to 100 times higher than the fundamental output frequency of the inverter [Holtz, 1992]. The actual generation of the PWM signals is mostly done using microcontrollers and digital signal processors (DSPs) [Bose, 1987].

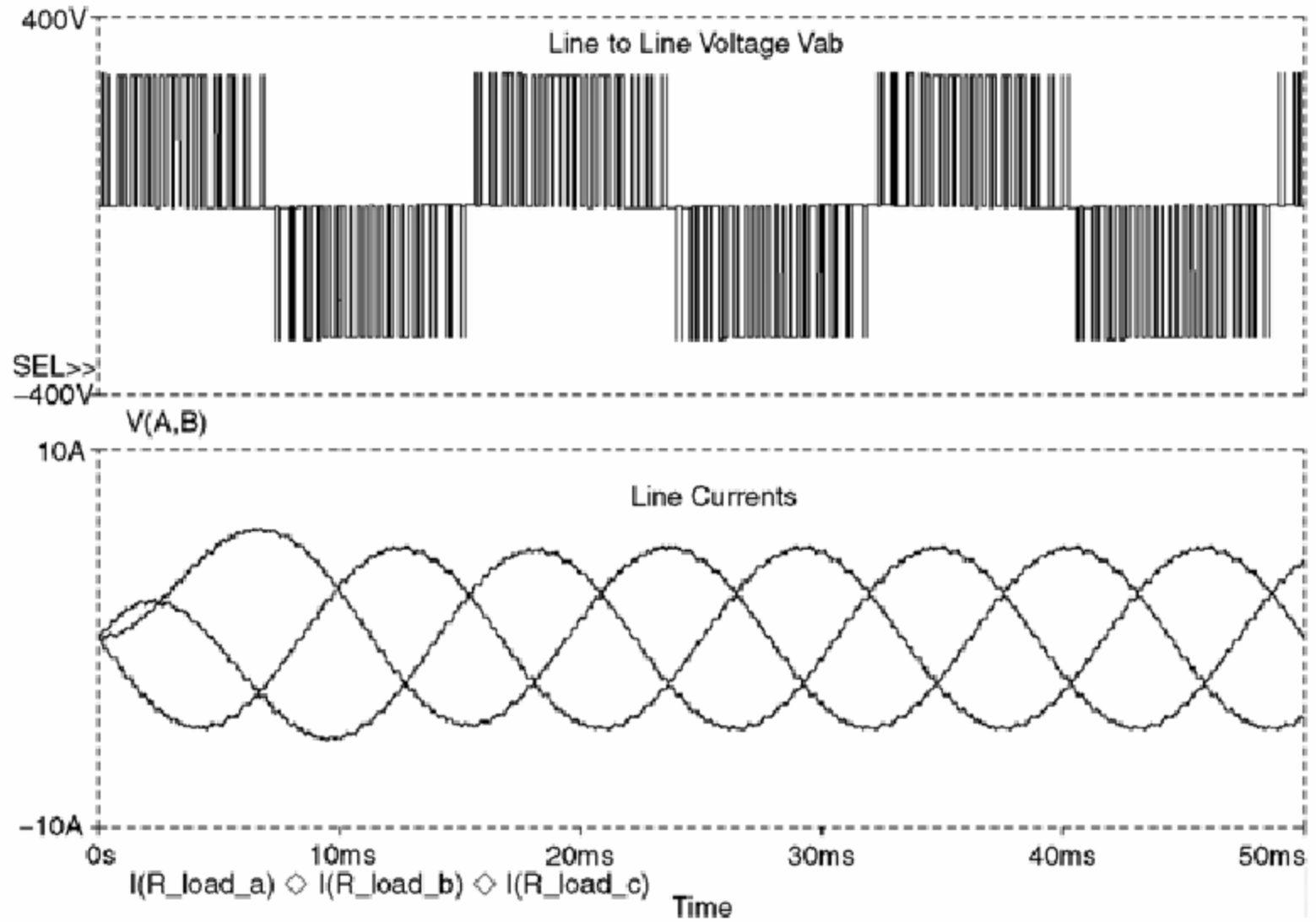


FIGURE 5.3 Typical waveforms of inverter voltages and currents.

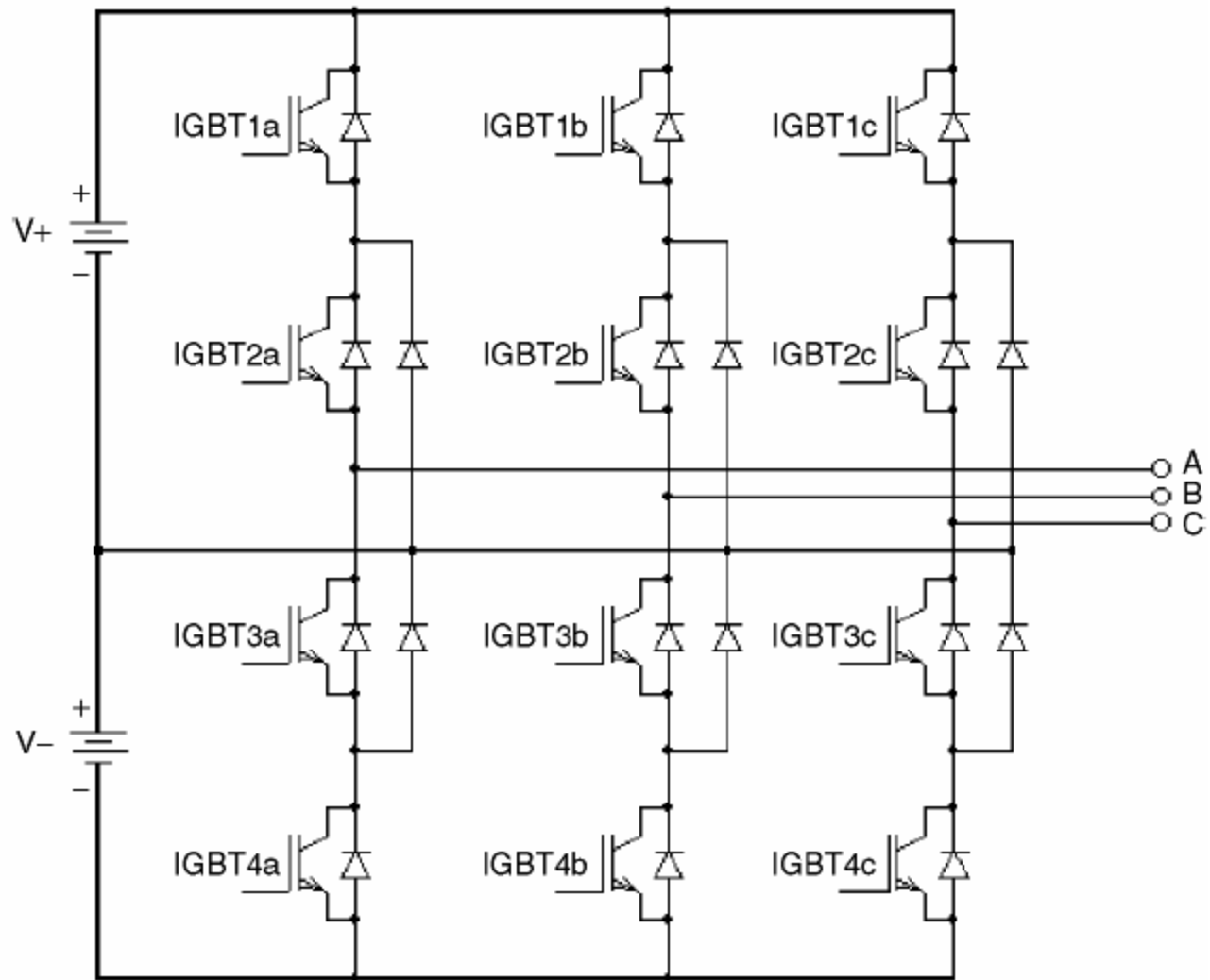


FIGURE 5.6 Topology of a three-level inverter.

# TƯƠNG LAI CỦA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ

## •Chip 80 lõi mở ra kỷ nguyên

### 'siêu máy tính cá nhân'

- Đến nay, chỉ có các nhà khoa học và những ai vận hành các supercomputer mới có cơ hội tiếp cận bộ vi xử lý tốc độ teraflop (nghìn tỷ phép tính mỗi giây).
- Việc Intel đưa 80 lõi vào trong một chip đơn đã tạo cơ hội cho người dùng đầu cuối khám phá thế giới điện toán cấp độ tera.



Nhờ kết hợp 80 lõi trên một chip đơn

Tiếp theo thiết kế [lõi kép và lõi tứ](#) trong năm 2006, Intel đã công bố sản phẩm cỡ 275 mm vuông có khả năng thực hiện 1,01 teraflop, tốc độ 3,16 GHz và xử lý 16 gigaflop/watt. Chip còn có thể thực hiện 1,63 nghìn tỷ phép tính mỗi giây với xung nhịp 5,1 GHz nhưng tốn nhiều năng lượng hơn.



Trong khi đó, ASCI Red, siêu máy tính teraflop của Intel được sản xuất năm 1996 và đặt tại phòng thí nghiệm Sandia ở New Mexico (Mỹ), có thể xử lý lượng điện toán tương tự chip mới nhưng đòi hỏi 500 kilowatt năng lượng và 500 kilowatt làm mát để vận hành 10.000 chip Pentium Pro.



ASCI Red khổng lồ với 10.000 chip Pentium Pro

Intel chưa có kế hoạch đưa chip 80 lõi ra thị trường nhưng đã dùng nó để thử nghiệm các công nghệ mới như kết nối băng rộng, quản lý năng lượng... Người sử dụng trong tương lai sẽ có thể dùng máy tính để bàn teraflop để xử lý hàng nghìn gigabyte dữ liệu, thực hiện tính năng nhận dạng giọng nói theo thời gian thực, khai thác dữ liệu đa phương tiện, chơi game, tìm kiếm, xử lý file dung lượng lớn...

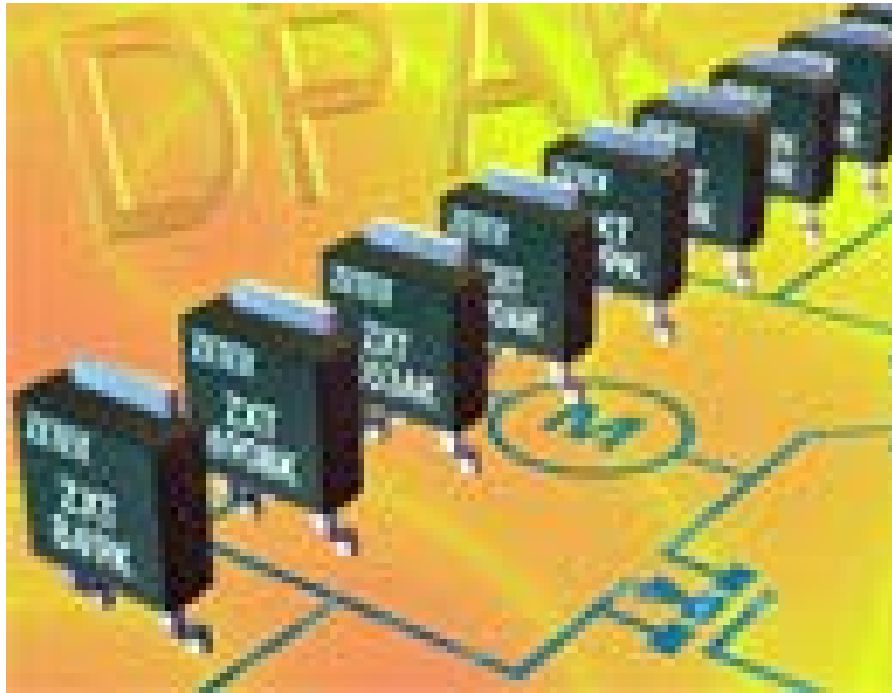
Tuy vậy, các chuyên gia công nghệ nhận thấy hiệu suất tổng thể của hệ thống sẽ bị ảnh hưởng khi chip chứa quá nhiều lõi. Khả năng hoạt động được cải tiến rõ rệt khi số lõi tăng từ 2 lên 4, 8, 19 nhưng lại bắt đầu giảm với chip 32 lõi và 64 lõi. Để khắc phục vấn đề này, Intel dự kiến sẽ đưa thêm lớp bộ nhớ 3D để giảm thời gian và năng lượng trao đổi dữ liệu giữa các lõi.



...điện toán teraflop sẽ được trang bị cho các hệ thống desktop trong tương lai..

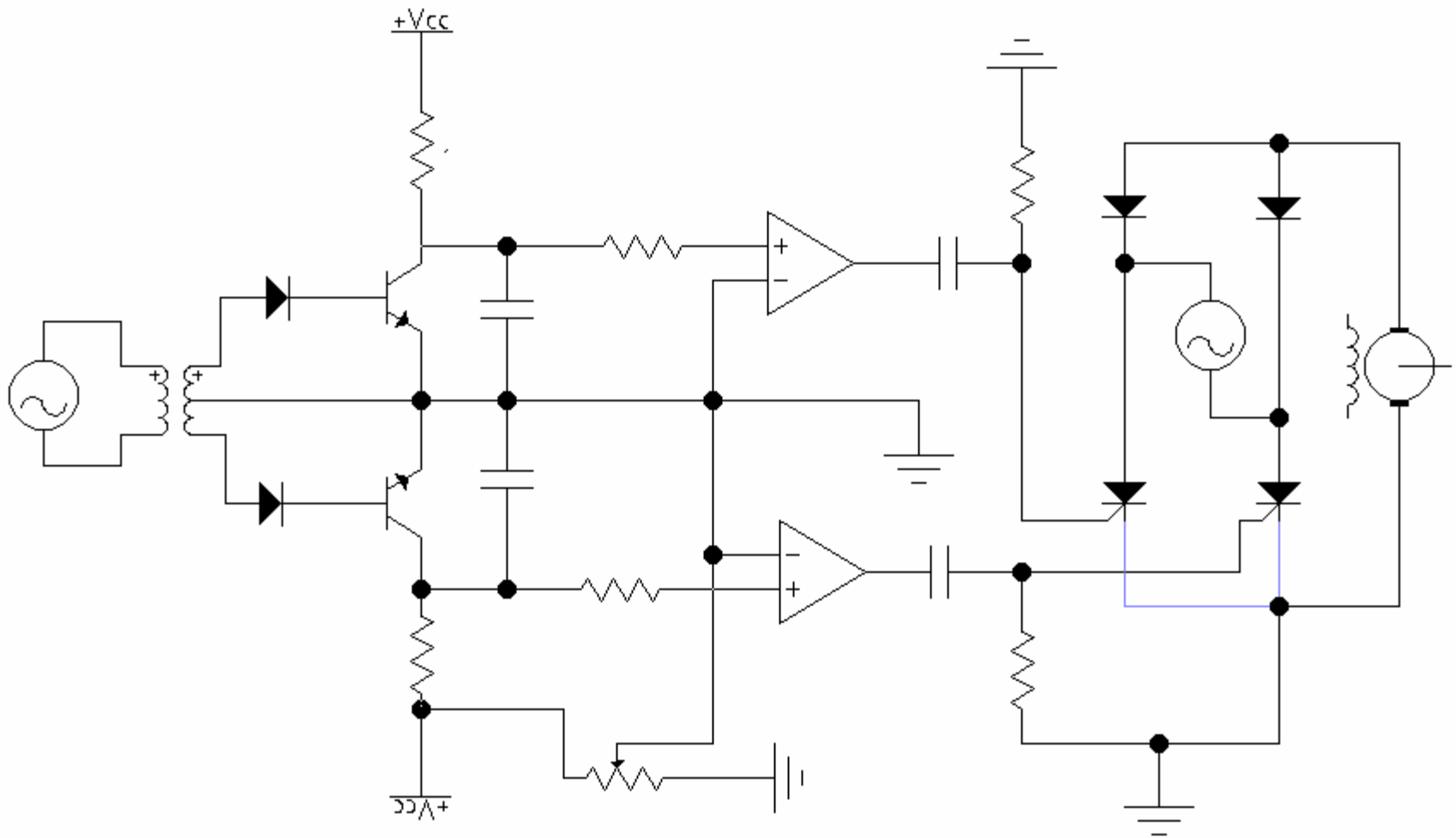
## **Bóng bán dẫn silicon sẽ hết thời trong 10 năm nữa**

Viện công nghệ Massachusetts (Mỹ) ước tính 10-15 năm sau, thế giới sẽ chứng kiến sự lên ngôi của bóng bán dẫn không dùng silicon. Họ đang thử nghiệm thiết bị 60 nanomet với vật liệu composite InGaAs (gồm Indium, Gallim, Arsenide



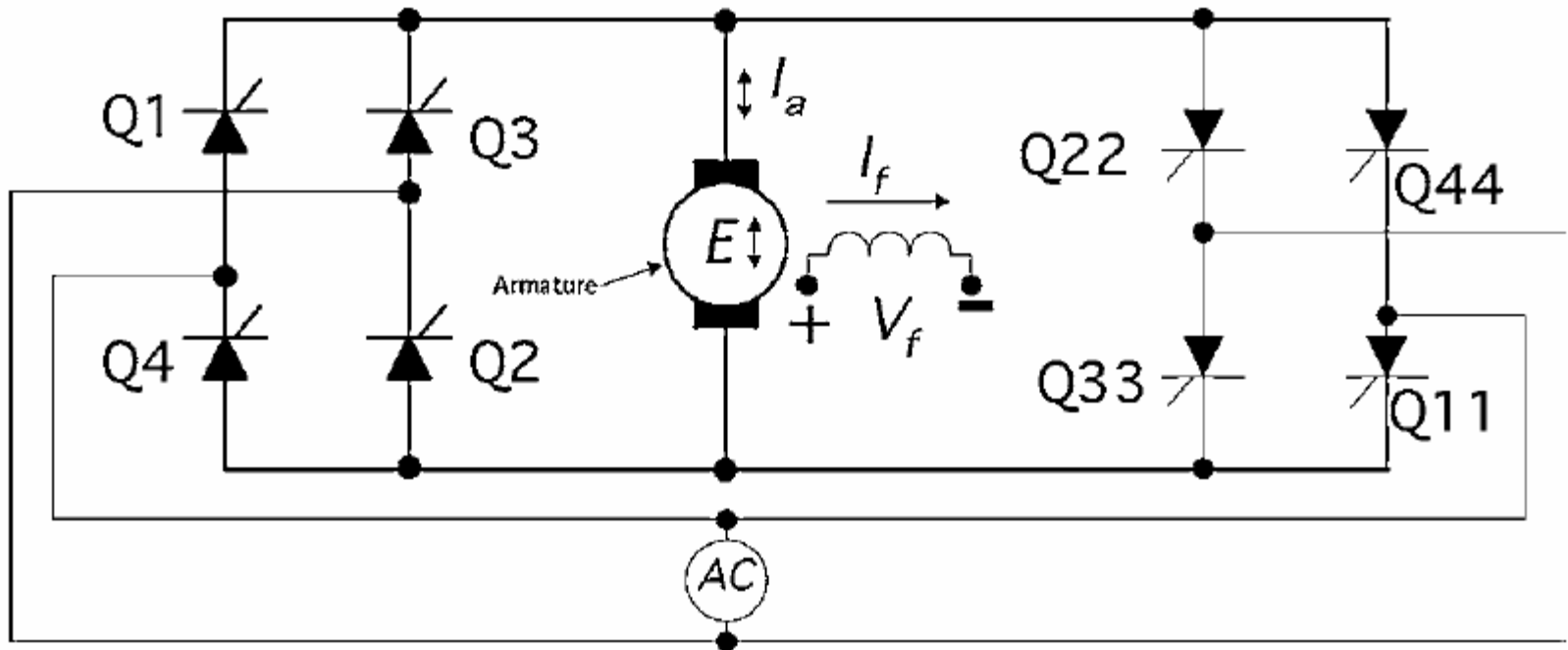
Trong hỗn hợp vật liệu này, các hạt electron di chuyển với tốc độ gấp nhiều lần trong silicon. "Chúng tôi theo đuổi công nghệ mới này vì nó sẽ tăng cường khả năng hoạt động và giảm kích cỡ của các thiết bị số", Jesus del Alamo, giáo sư khoa máy tính của viện Massachusetts, Kỹ thuật mới đã gây chú ý cho Intel, hãng sản xuất chip hàng đầu thế giới. "Bóng bán dẫn InGaAs mang lại kết quả khá tốt với mức điện áp thấp 0,5 volt và đây là bước ngoặt rất quan trọng trong ngành máy tính",

# Ứng dụng trong điều khiển tốc độ động cơ DC





## Điều khiển động cơ DC có đảo chiều



Two rectifier-bridge arrangements for four-quadrant operation of DC motor.

# Điều khiển tốc độ động cơ DC bằng PWM

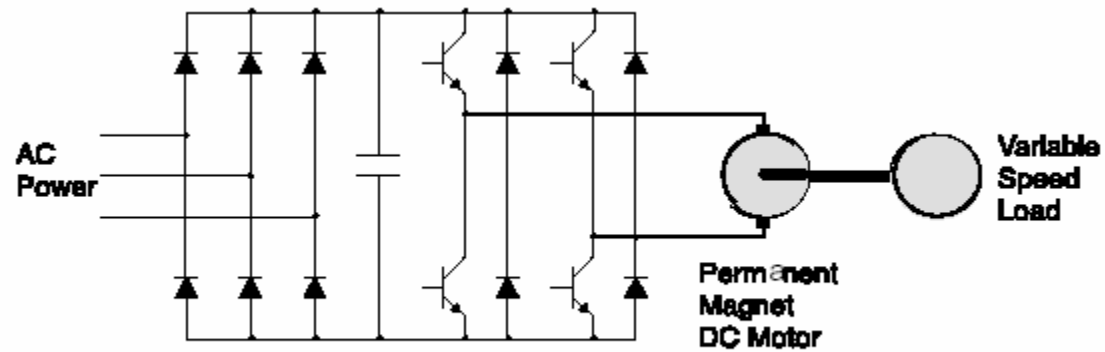


FIGURE 9.2 Transistor PWM system.

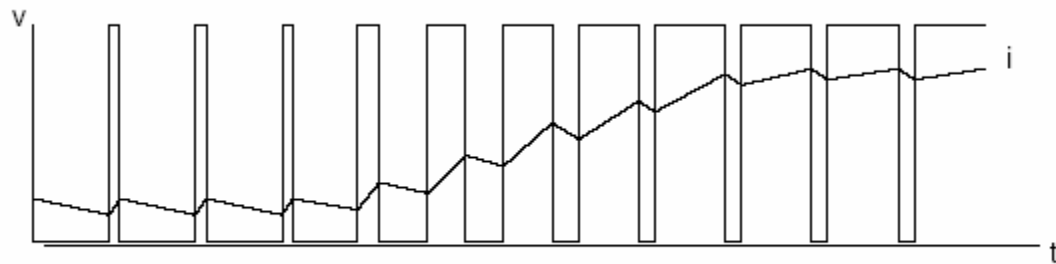


FIGURE 9.3 Transistor PWM output.

# Điều khiển động cơ bước

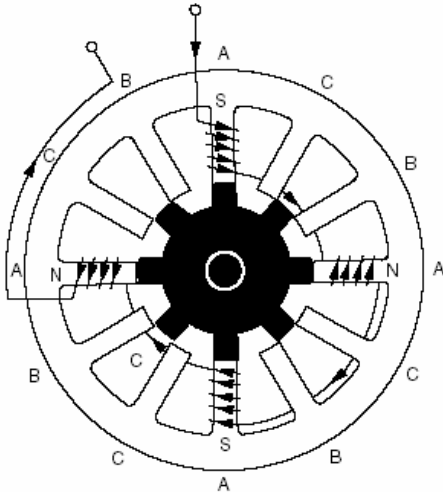


FIGURE 14.1 Cross-sectional view.

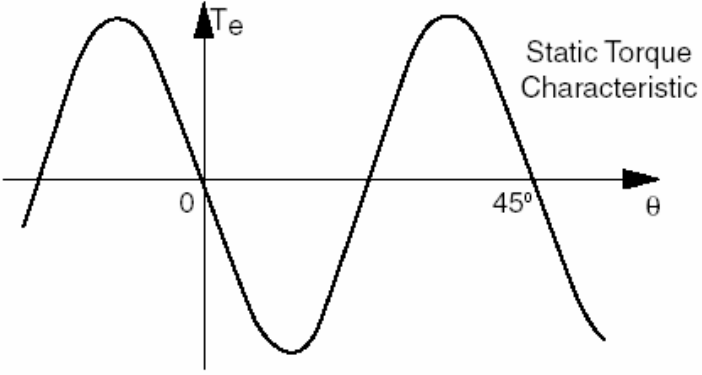


FIGURE 14.2 Static torque characteristic.

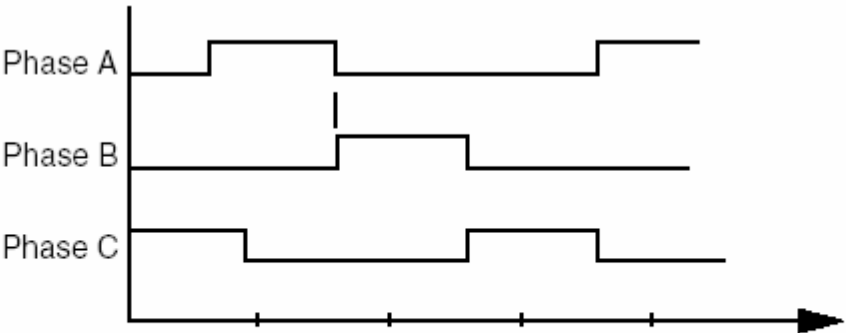
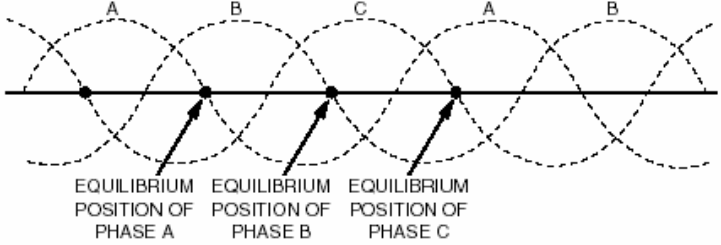


FIGURE 14.4 By exciting the motor windings during the positive portions of their torque curve, the motor can be made to produce nonzero average torque.

# Điều khiển động cơ bước

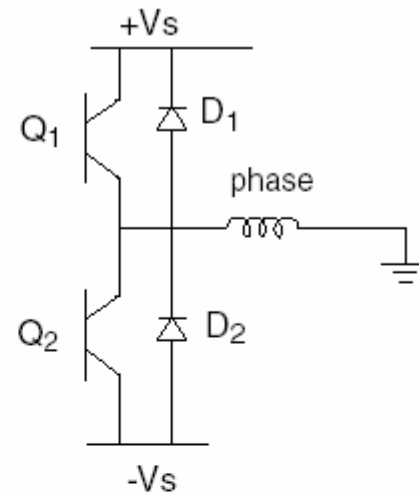


FIGURE 14.7 Half-H-bridge drive circuit.

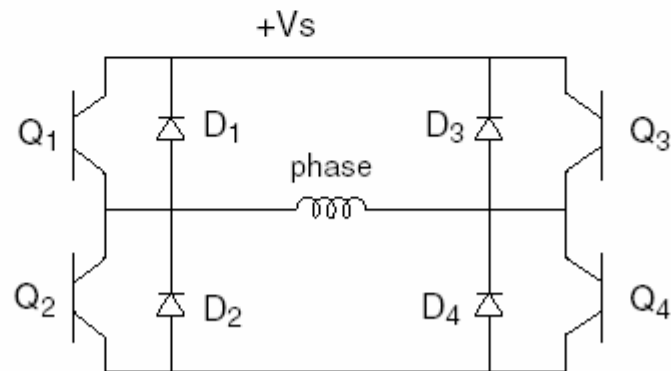


FIGURE 14.8 H-bridge drive circuit.

# Điều khiển động cơ bước

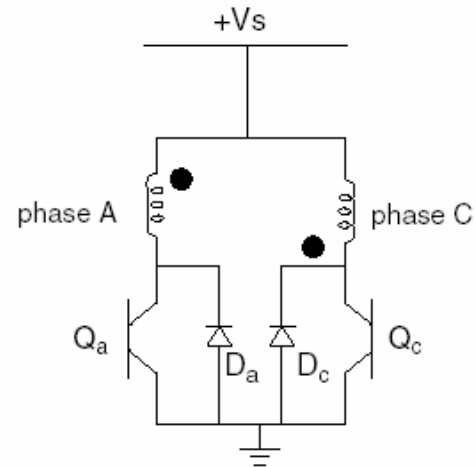


FIGURE 14.9 Inverse diode clamped drive circuit.

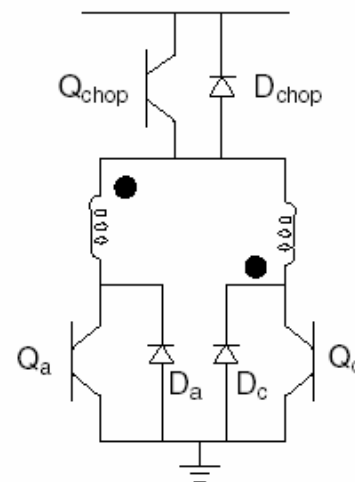


FIGURE 14.10 Drive circuit of Fig. 14.9 as a chopper drive.

# Điều khiển công suất trên mạng điện xoay chiều

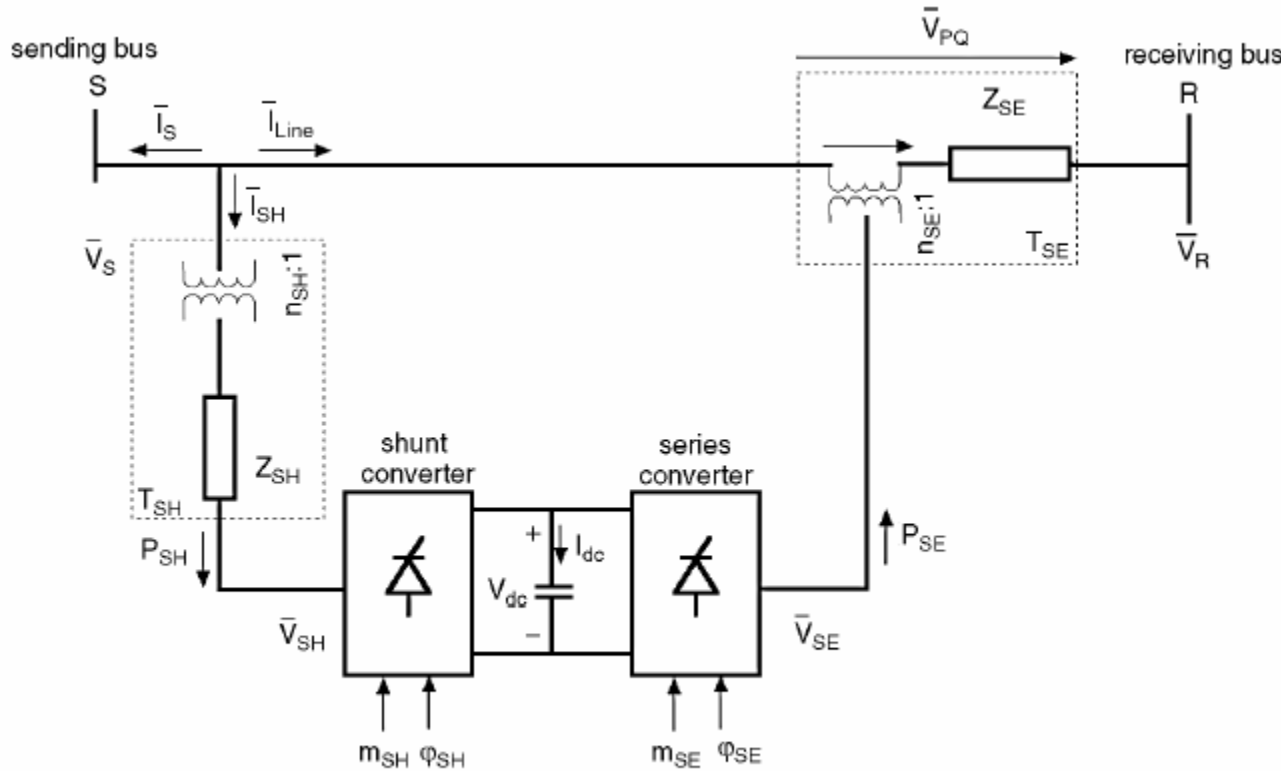


FIGURE 20.3 Fundamental frequency UPFC model.

# Điều khiển công suất trên mạng điện xoay chiều

## Right-of-Way

Typical DC and AC Transmission Line Structures

for approx. 2000 MW

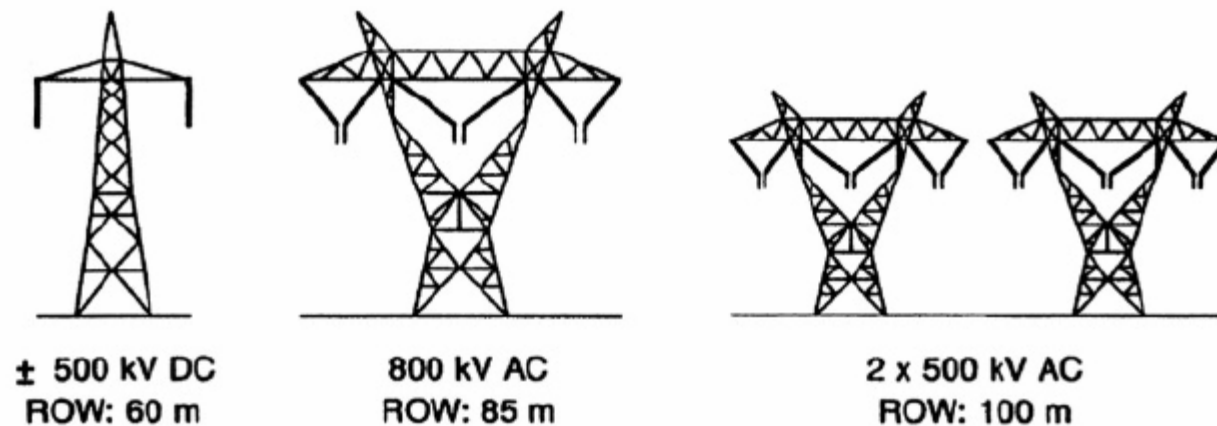
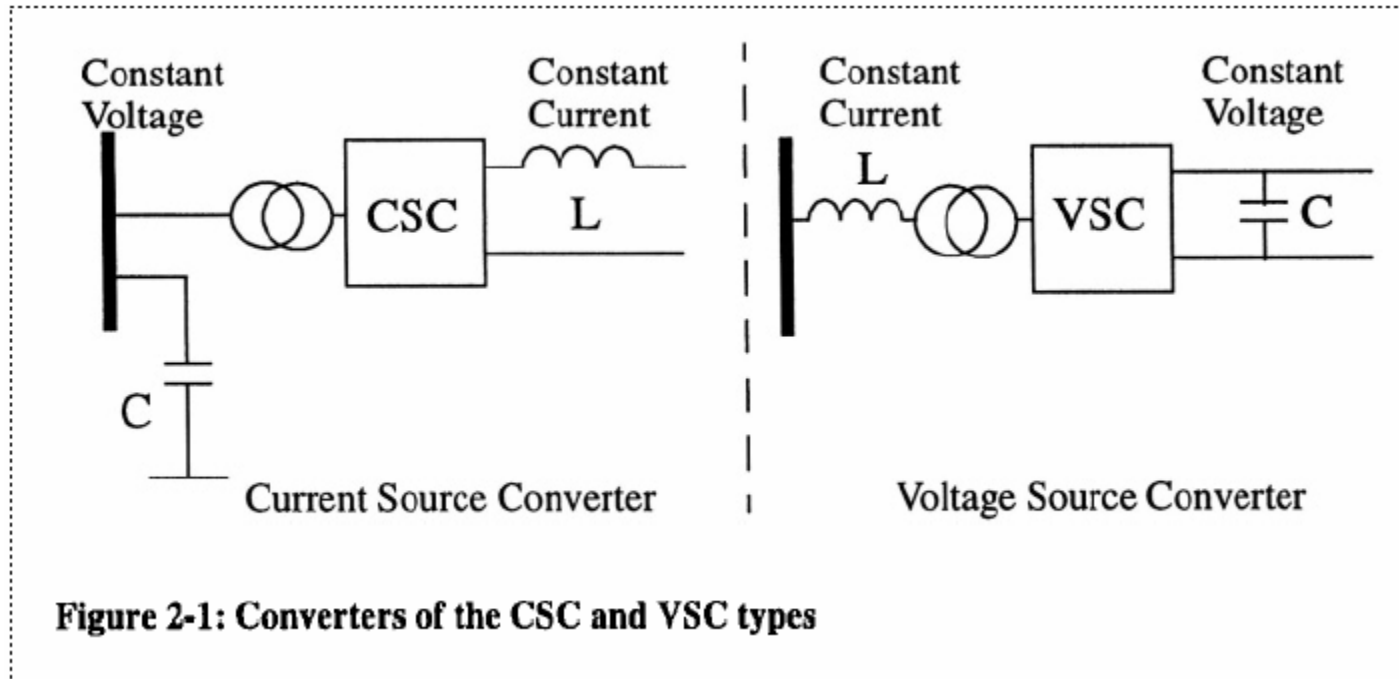


Figure 1-1: Comparison of RoW for ac-dc transmission systems

# Điều khiển công suất trên mạng điện xoay chiều



**Figure 2-1: Converters of the CSC and VSC types**



# Điều khiển công suất trên mạng điện xoay chiều

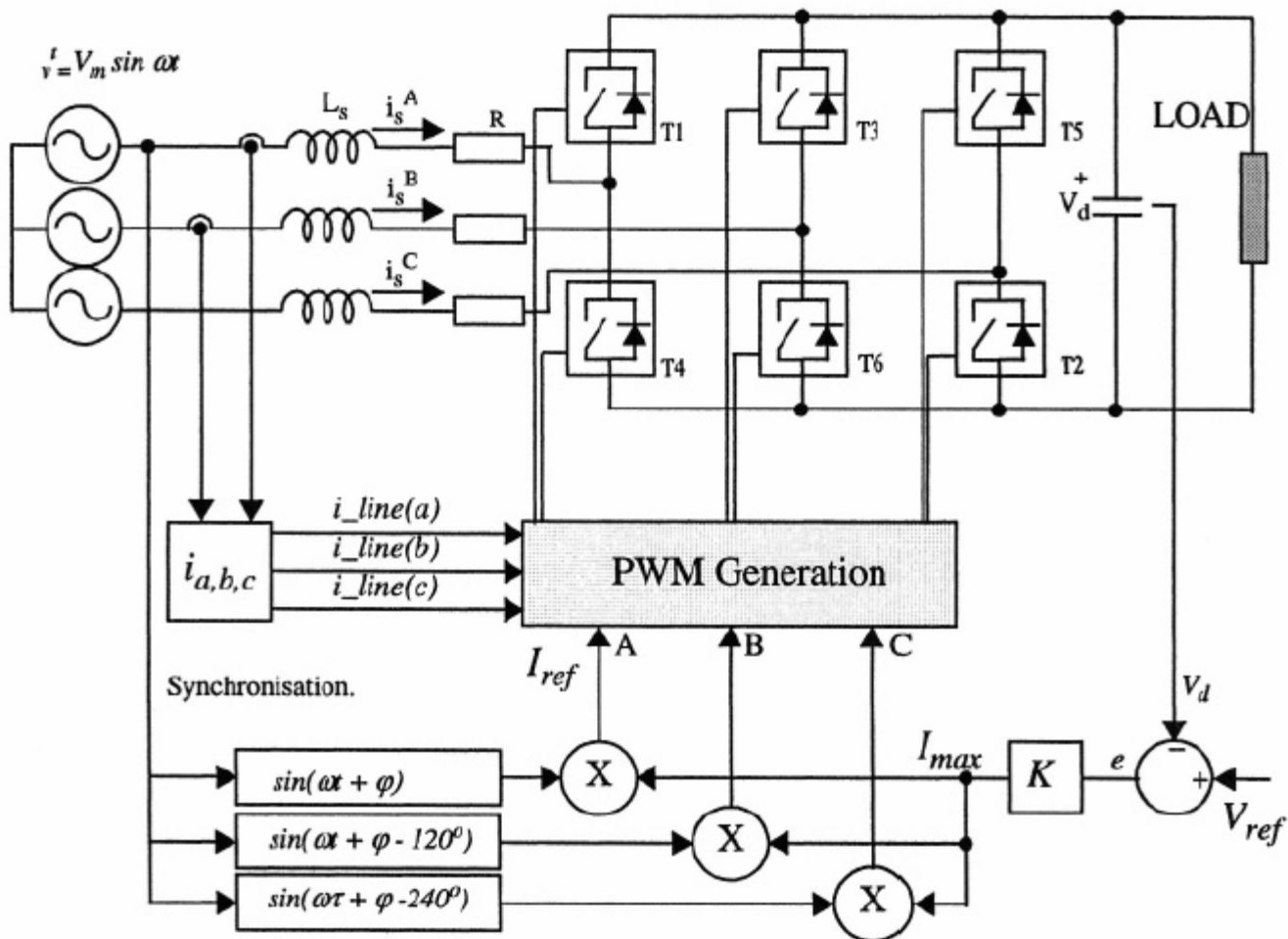
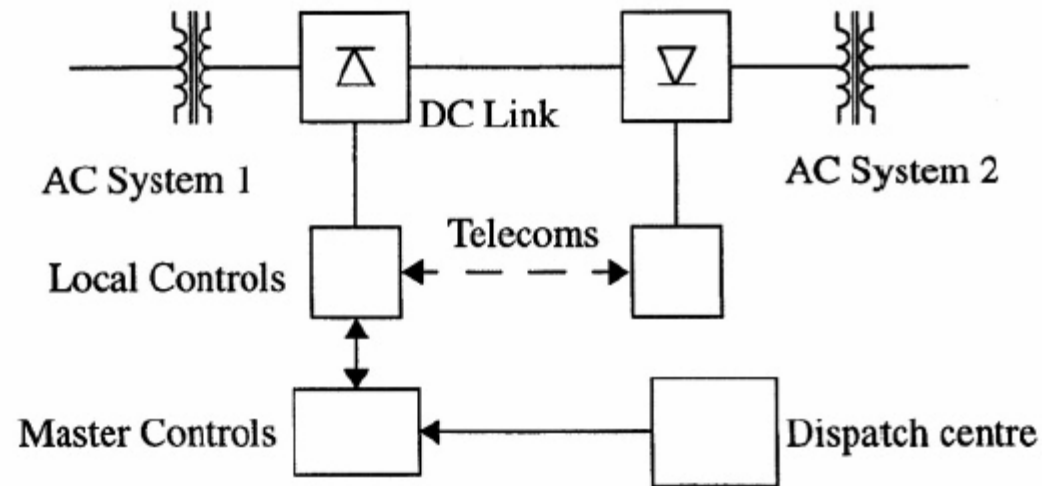


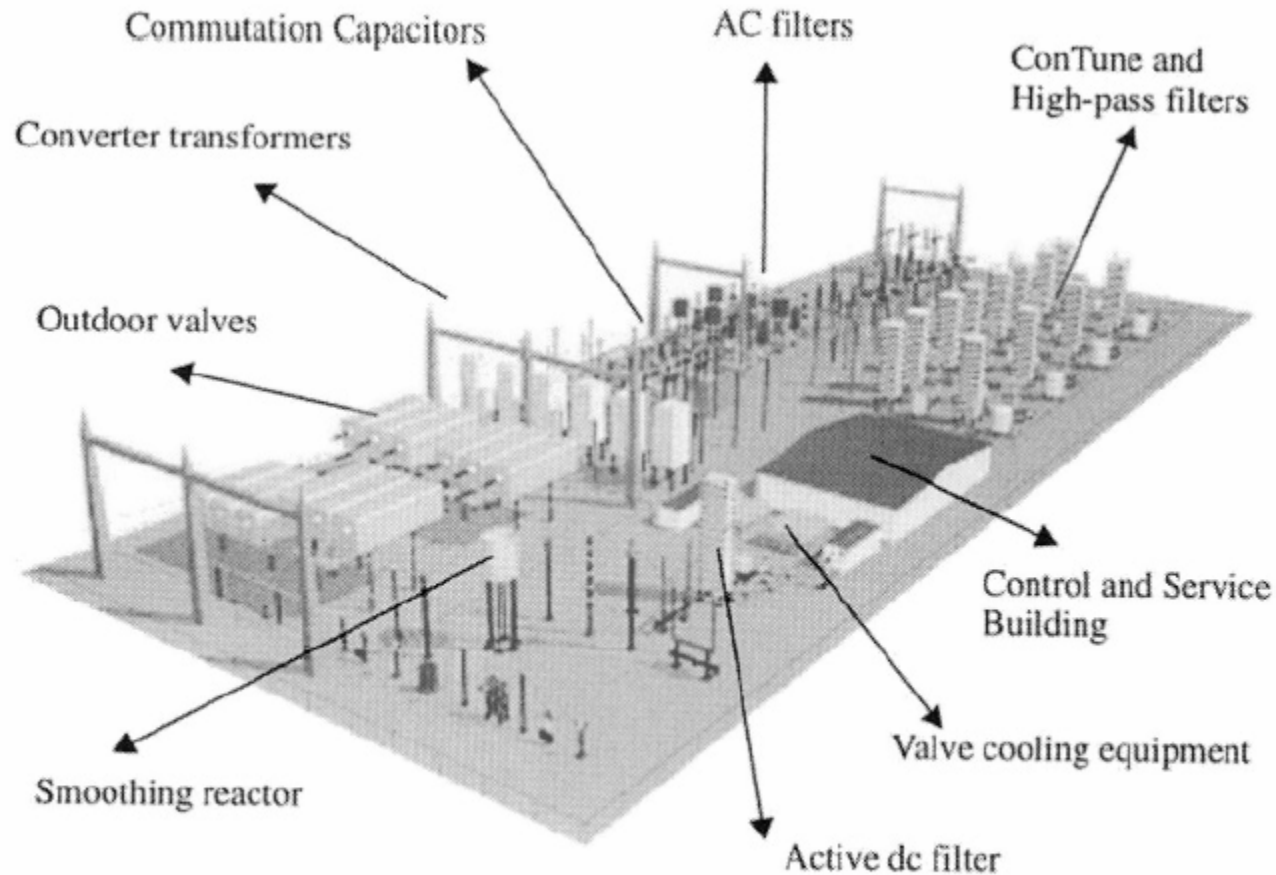
Figure 2-13: Voltage-source current-controlled PWM rectifier [2]

# Điều khiển công suất trên mạng điện xoay chiều



**Figure 4-1: Typical HVDC system linking two ac systems**

# Điều khiển công suất trên mạng điện xoay chiều



**Figure 15-14: Artist's impression of the modern HVDC station layout [ABB]**



# Giáo trình PLC

# Bộ môn điều khiển tự động



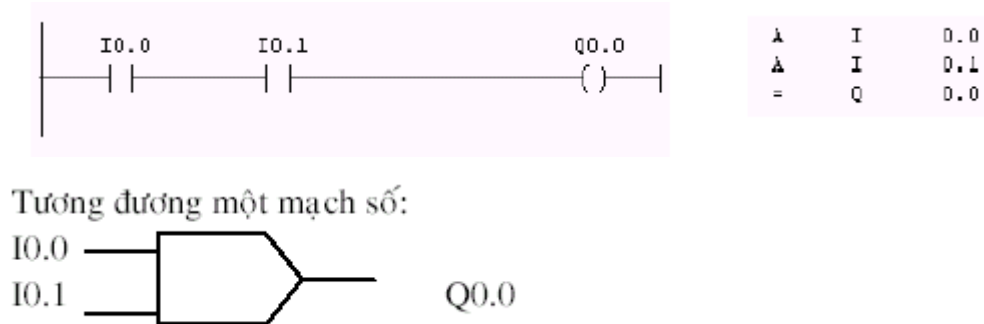
## Chương 1: TỔNG QUAN VỀ PLC

### 1.1 GIỚI THIỆU VỀ PLC (Programmable Logic Control) (Bộ điều khiển logic khả trình)

Hình thành từ nhóm các kỹ sư hãng General Motors năm 1968 với ý tưởng ban đầu là thiết kế một bộ điều khiển thỏa mãn các yêu cầu sau:

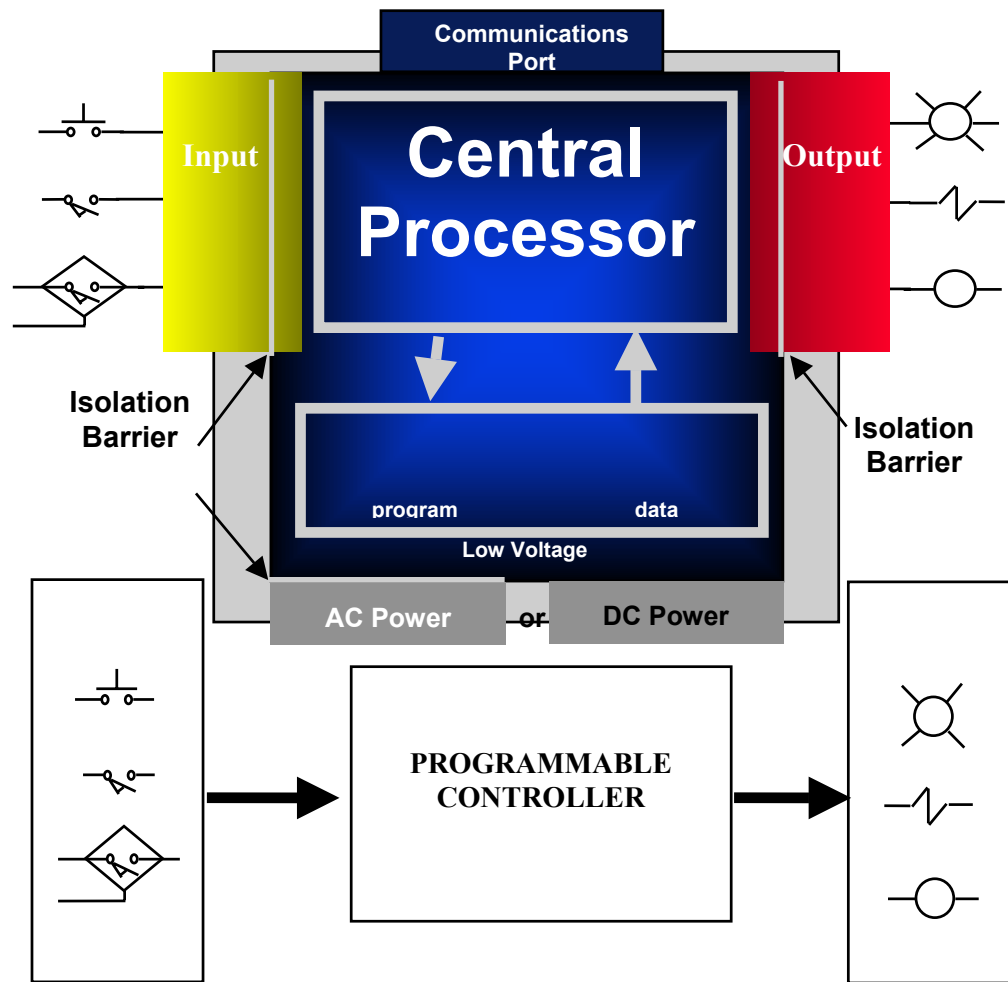
- Lập trình dễ dàng, ngôn ngữ lập trình dễ hiểu.
- Dễ dàng sửa chữa thay thế.
- Ổn định trong môi trường công nghiệp.
- Giá cả cạnh tranh.

Thiết bị điều khiển logic khả trình (PLC: Programmable Logic Control) (hình 1.1) là loại thiết bị cho phép thực hiện linh hoạt các thuật toán điều khiển số thông qua một ngôn ngữ lập trình, thay cho việc thể hiện thuật toán đó bằng mạch số.



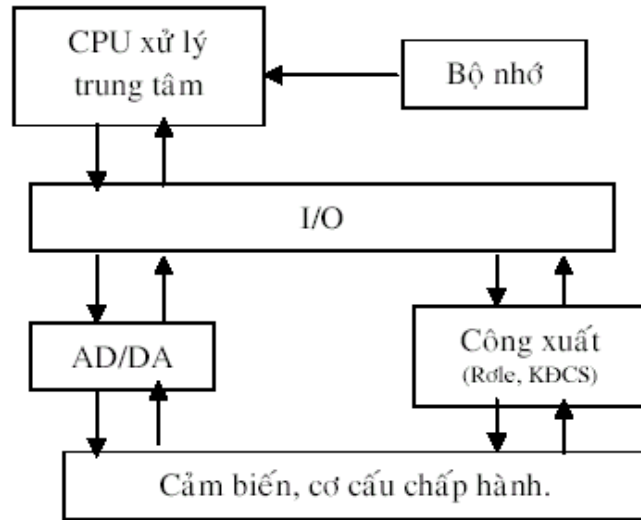
Hình 1.1

Như vậy, với chương trình điều khiển trong mình, PLC trở thành bộ điều khiển số nhỏ gọn, dễ thay đổi thuật toán và đặc biệt dễ trao đổi thông tin với môi trường xung quanh (với các PLC khác hoặc với máy tính). Toàn bộ chương trình điều khiển được lưu nhớ trong bộ nhớ PLC dưới dạng các khối chương trình (khối OB, FC hoặc FB) và thực hiện lặp theo chu kỳ của vòng quét.



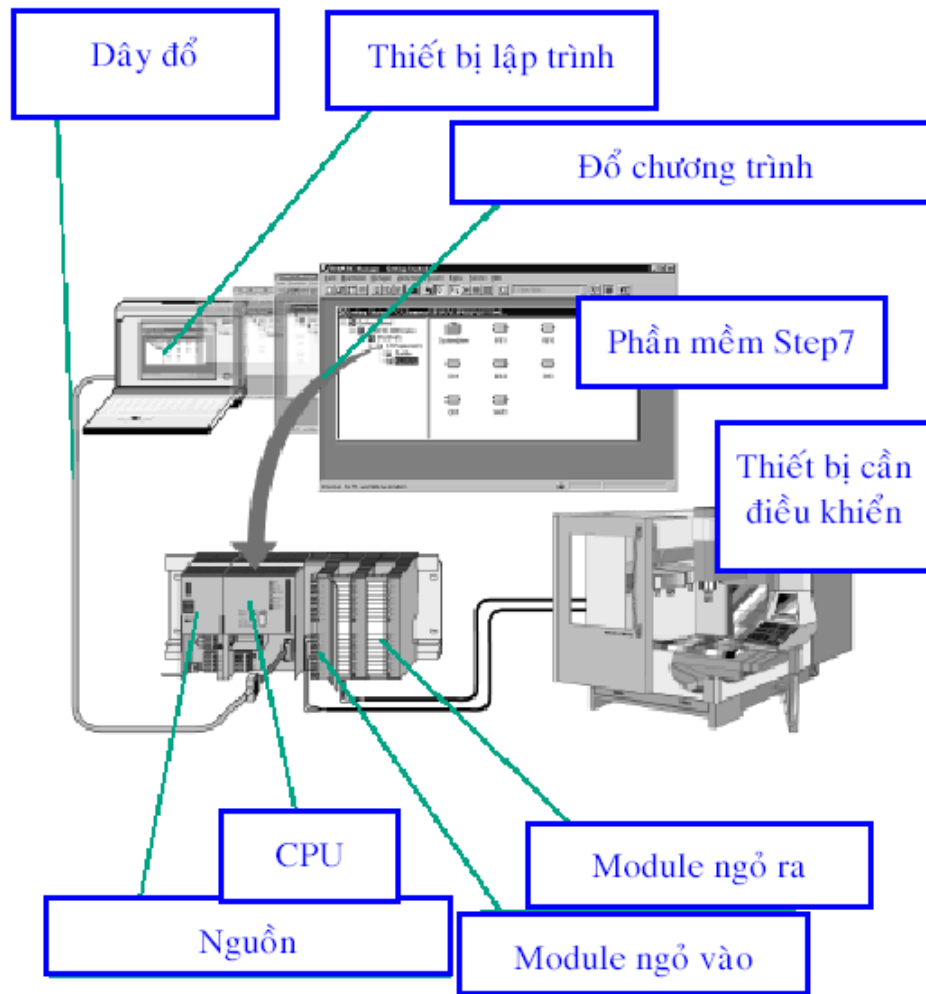
Hình 1.2

Để có thể thực hiện được một chương trình điều khiển, tất nhiên PLC phải có tính năng như một máy tính, nghĩa là phải có một bộ vi xử lý (CPU), một hệ điều hành, bộ nhớ để lưu chương trình điều khiển, dữ liệu và các cổng vào/ra để giao tiếp với đối tượng điều khiển và trao đổi thông tin với môi trường xung quanh. Bên cạnh đó, nhằm phục vụ bài toán điều khiển số, PLC còn cần phải có thêm các khối chức năng đặc biệt khác như bộ đếm (Counter), bộ định thì (Timer) ... và những khối hàm chuyên dụng.



Hình 1.3

**Hệ thống điều khiển sử dụng PLC**



Hình 1.4 Hệ thống điều khiển dùng PLC

## 1.2 PHÂN LOẠI

PLC được phân loại theo 2 cách:

➤ Hãng sản xuất: Gồm các nhãn hiệu như Siemen, Omron, Misubishi, Alenbratlay...

➤ Version:

Ví dụ: PLC Siemen có các họ: S7-200, S7-300, S7-400, Logo.

PLC Misubishi có các họ: Fx, Fx<sub>0</sub>, Fx<sub>ON</sub>

## 1.3 CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN VÀ PHẠM VI ỨNG DỤNG

### 1.3.1 Các bộ điều khiển

Ta có các bộ điều khiển: Vi xử lý, PLC và Máy tính.

### 1.3.2 Phạm vi ứng dụng

#### 1.3.2.1 Máy tính

- Dùng trong những chương trình phức tạp đòi hỏi độ chính xác cao.
- Có giao diện thân thiện
- Tốc độ xử lý cao
- Có thể lưu trữ với dung lượng lớn

#### 1.3.2.2 Vi xử lý

- Dùng trong những chương trình có độ phức tạp không cao (vì chỉ xử lý 8 bit).
- Giao diện không thân thiện với người sử dụng
- Tốc độ tính toán không cao.
- Không lưu trữ hoặc lưu trữ với dung lượng rất ít

#### 1.3.2.3 PLC

- Độ phức tạp và tốc độ xử lý không cao
- Giao diện không thân thiện với người sử dụng
- Không lưu trữ hoặc lưu trữ với dung lượng rất ít
- Môi trường làm việc khắc nghiệt

## 1.4 CÁC LĨNH VỰC ỨNG DỤNG PLC

PLC được sử dụng khá rộng rãi trong các ngành: Công nghiệp, Máy nông nghiệp, Thiết bị y tế, Ô tô (xe hơi, cần cẩu...)

## 1.5 CÁC ƯU ĐIỂM KHI SỬ DỤNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VỚI PLC:

- Không cần đấu dây cho sơ đồ điều khiển logic như kiểu dùng rơ le.
- Có độ mềm dẻo sử dụng rất cao, khi chỉ cần thay đổi chương trình (phần mềm) điều khiển.
- Chiếm vị trí không gian nhỏ trong hệ thống.
- Nhiều chức năng điều khiển.
- Tốc độ cao.
- Công suất tiêu thụ nhỏ.
- Không cần quan tâm nhiều về vấn đề lắp đặt.
- Có khả năng mở rộng số lượng đầu vào/ra khi nối thêm các khối vào/ra chức năng.
- Tạo khả năng mở ra các lĩnh vực áp dụng mới.
- Giá thành không cao.

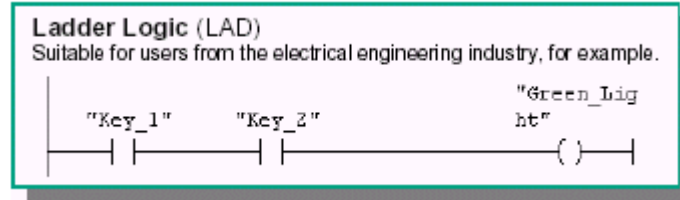


Chính nhờ những ưu thế đó, PLC hiện nay được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển tự động, cho phép nâng cao năng suất sản xuất, chất lượng và sự đồng nhất sản phẩm, tăng hiệu suất, giảm năng lượng tiêu tốn, tăng mức an toàn, tiện nghi và thoải mái trong lao động. Đồng thời cho phép nâng cao tính thị trường của sản phẩm.

## 1.6 GIỚI THIỆU CÁC NGÔN NGỮ LẬP TRÌNH

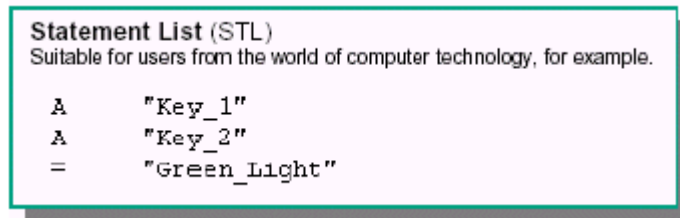
Các loại PLC nói chung thường có nhiều ngôn ngữ lập trình nhằm phục vụ các đối tượng sử dụng khác nhau. PLC S7-300 có 5 ngôn ngữ lập trình cơ bản. Đó là:

- Ngôn ngữ “hình thang”, ký hiệu là LAD (Ladder logic).



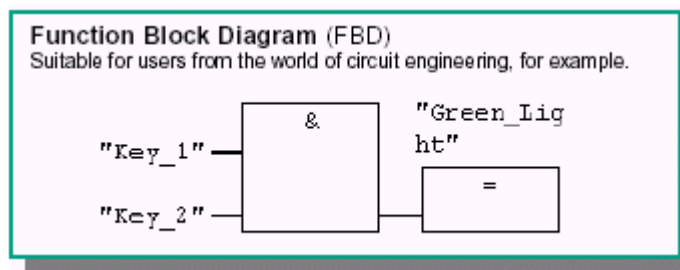
Đây là ngôn ngữ đồ họa thích hợp với những người quen thiết kế mạch logic.

- Ngôn ngữ “liệt kê lệnh”, ký hiệu là STL (Statement list).



Đây là dạng ngôn ngữ lập trình thông thường của máy tính. Một chương trình được ghép gởi nhiều câu lệnh theo một thuật toán nhất định, mỗi lệnh chiếm một hàng và đều có cấu trúc chung là “tên lệnh” + “toán hạng”.

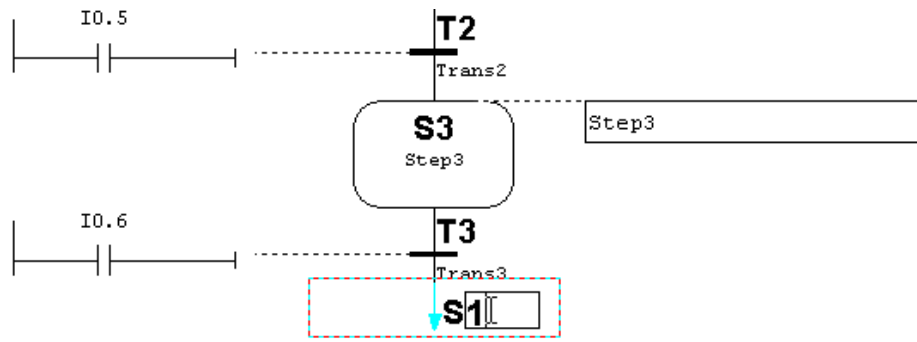
- Ngôn ngữ “hình khối”, ký hiệu là FBD (Function Block Diagram).



Đây cũng là ngôn ngữ đồ họa thích hợp với những người quen thiết kế mạch điều khiển số.

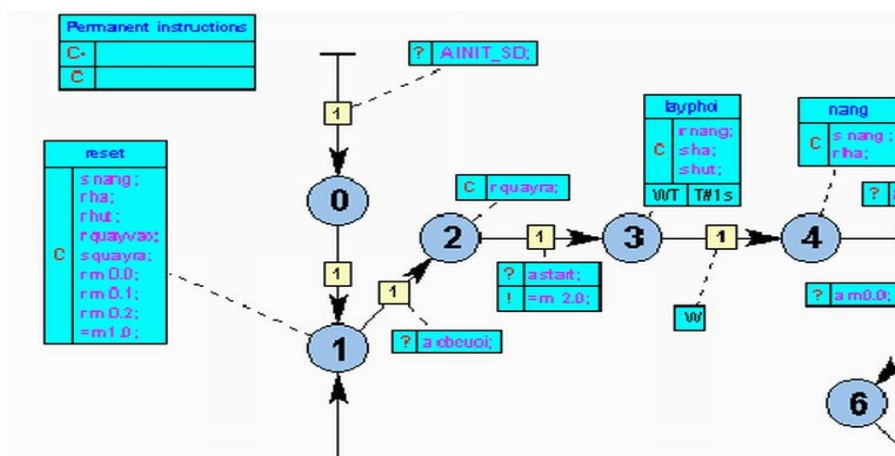
- Ngôn ngữ GRAPH.

Đây là ngôn ngữ lập trình cấp cao dạng đồ họa. Cấu trúc chương trình rõ ràng, chương trình ngắn gọn. Thích hợp cho người trong ngành cơ khí vốn quen với giản đồ Grafacet của khí nén.



Hình 1.5

➤ Ngôn ngữ High GRAPH.



Hình 1.6

Là dạng ngôn ngữ lập trình phát triển từ ngôn ngữ lập trình GRAPH.

## Chương 2: CẤU TRÚC PHẦN CỨNG PLC HỌ S7

### 2.1 CÁC TIÊU CHUẨN VÀ THÔNG SỐ KỸ THUẬT HỌ S7-200, S7-300

Xem phụ lục 1

### 2.2 CÁC TÍNH NĂNG CỦA PLC S7-300, S7-200

#### 2.2.1 S7-300

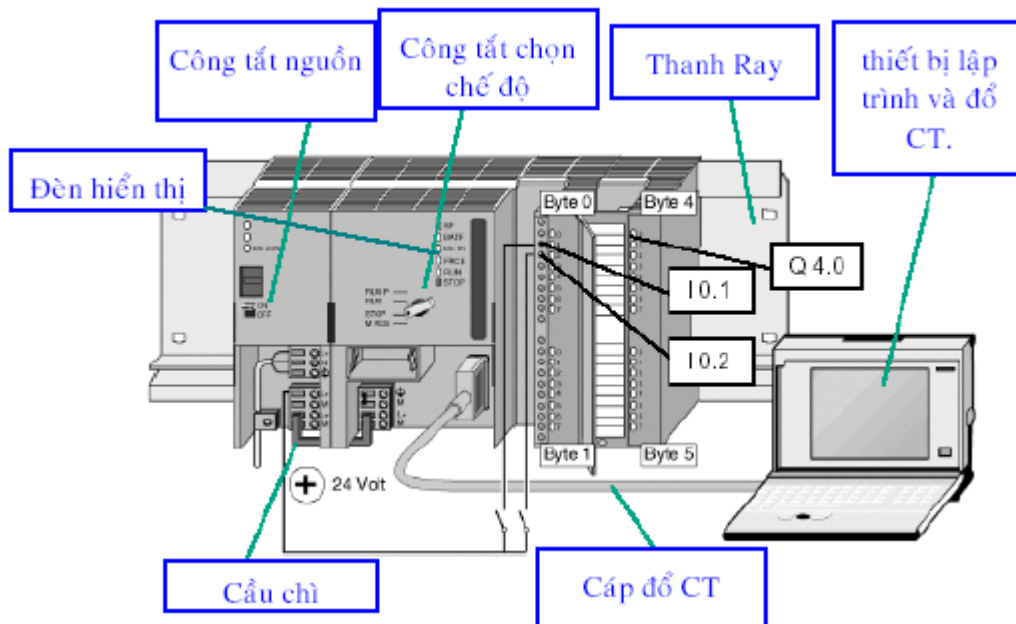
- Hệ thống điều khiển kiểu Module nhỏ gọn cho các ứng dụng trong phạm vi trung bình
- Có nhiều loại CPU
- Có nhiều Module mở rộng
- Có thể mở rộng đến 32 Module
- Các Bus nối tích hợp phía sau các Module
- Có thể nối mạng Multipoint Interface (MPI), Profibus hoặc Industrial Ethernet
- Thiết bị lập trình trung tâm có thể truy cập đến các Module
- Không hạn chế rãnh
- Cài đặt cấu hình và thông số với công cụ trợ giúp “HW-Config.”

#### 2.2.2 S7-200

- Hệ thống điều khiển kiểu Module nhỏ gọn cho các ứng dụng trong phạm vi hẹp
- Có nhiều loại CPU
- Có nhiều Module mở rộng
- Có thể mở rộng đến 7 Module
- Bus nối tích hợp trong Module ở mặt sau
- Có thể nối mạng với cổng giao tiếp RS 485 hay Profibus
- Máy tính trung tâm có thể truy cập đến các Module
- Không qui định rãnh cắm
- Phần mềm điều khiển riêng
- Tích hợp CPU, I/O nguồn cung cấp vào một Module
- “Micro PLC với nhiều chức năng tích hợp.”

## 2.3 CÁC MODULE CỦA PLC S7-300, S7-200

### 2.3.1 S7-300



Hình 2.1






#### ➤ Module CPU

Module CPU là module chứa bộ vi xử lý, hệ điều hành, bộ nhớ, các bộ định thì, bộ đếm, cổng truyền thông (RS 485) ... và có thể còn có một vài cổng vào/ra số. Các cổng vào/ra số có trên module CPU được gọi là cổng vào/ra *onboard* như CPU 314IFM.

Trong họ PLC S7-300 có nhiều loại module CPU khác nhau. Nói chung chúng được đặt tên theo bộ vi xử lý có trong nó như module CPU312, module CPU314, module CPU315...

Những module cùng sử dụng một loại bộ vi xử lý, nhưng khác nhau về cổng vào/ra onboard cũng như các khối hàm đặc biệt được tích hợp sẵn trong thư viện của hệ điều hành phục vụ việc sử dụng các cổng vào/ra onboard này sẽ phân biệt với nhau trong tên gọi bằng cách thêm cụm chữ cái IFM (Intergrated Function Module). Ví dụ module CPU313IFM, module CPU314IFM...

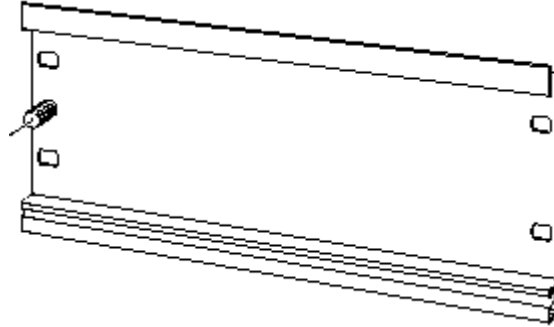
Ngoài ra, còn có các loại module CPU với hai cổng truyền thông, trong đó cổng truyền thông thứ hai có chức năng chính là phục vụ việc nối mạng phân tán như mạng PROFIBUS (PROcess FIEld BUS). Tất nhiên kèm theo cổng truyền thông thứ hai này là những phần mềm tiện dụng thích hợp cũng đã được cài sẵn trong hệ điều hành. Các loại module CPU này được phân biệt với các loại module CPU khác bằng cách thêm cụm từ DP (Distributed Port). Ví dụ như module CPU315-2DP. Tham khảo hình dưới:

CPU 312 IFM CPU 313 CPU 314 IFM CPU 314	CPU 315-2 DP CPU 316-2 DP		CPU 318-2	
MPI interface	MPI interface	PROFIBUS-DP interface	MPI/DP Interface	PROFIBUS-DP interface
				
-	-	-	Reconfiguration as a PROFIBUS-DP interface is possible	-

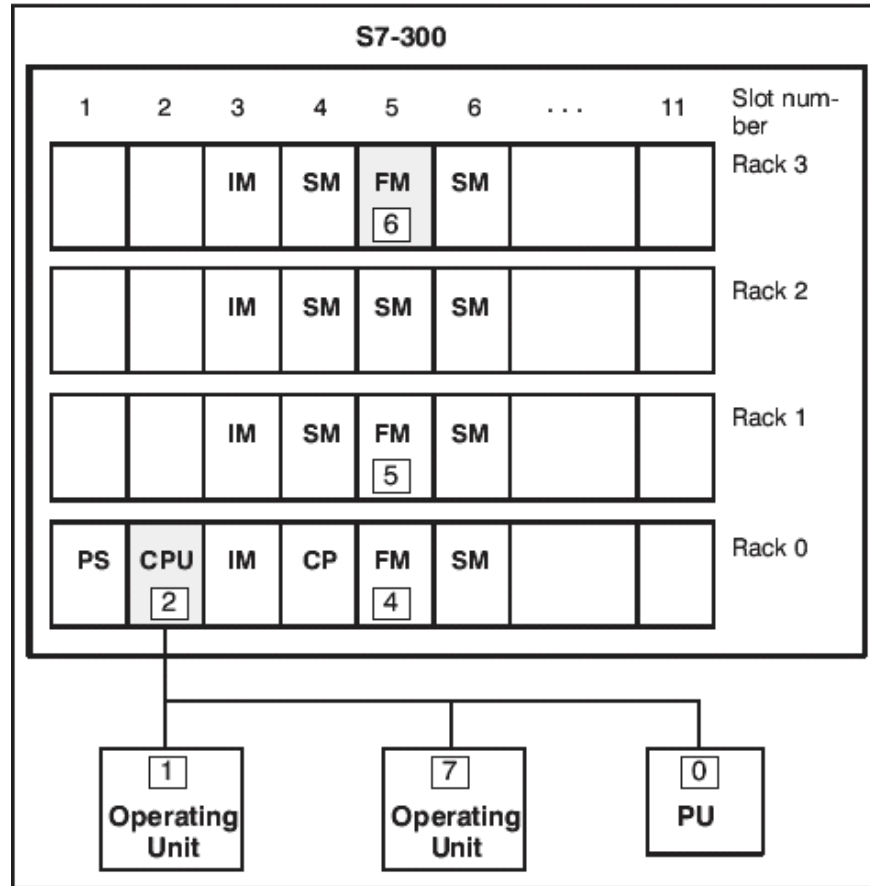
Hình 2.2 Cổng giao tiếp của các PLC

**Các loại module mở rộng:**

- **PS (Power Supply):** Module nguồn nuôi, có 3 loại 2A, 5A và 10A.
- **SM (Signal Module):** Module mở rộng cổng tín hiệu vào/ra, gồm có:
  - **DI (Digital Input):** Module mở rộng các cổng vào số với số lượng cổng có thể là 8, 16 hoặc 32 tùy theo từng loại module. Gồm 24VDC và 120/230V AC.
  - **DO (Digital Output):** Module mở rộng các cổng ra số với số lượng cổng có thể là 8, 16 hoặc 32 tùy theo từng loại module. Gồm 24VDC và ngắt điện từ.
  - **DI/DO (Digital Input/Digital Out):** Module mở rộng các cổng vào/ra số với số lượng cổng có thể là 8 vào/8 ra hoặc 16 vào/16 ra tùy theo từng loại module.
  - **AI (Analog Input):** Module mở rộng các cổng vào tương tự. Về bản chất chúng là những bộ chuyển đổi tương tự số 12 bits (AD), tức là mỗi tín hiệu tương tự được chuyển đổi thành một tín hiệu số (nguyên) có độ dài 12 bits. Số các cổng vào tương tự có thể là 2, 4 hoặc 8 tùy theo loại module. Tín hiệu vào có thể là áp, dòng, điện trở.
  - **AO (Analog Output):** Module mở rộng các cổng ra tương tự. Chúng là những bộ chuyển đổi số tương tự 12 bits (DA). Số các cổng ra tương tự có thể là 2, 4 hoặc 8 tùy theo loại module. Tín hiệu ra có thể là áp hoặc dòng.
  - **AI/AO (Analog Input/Analog Output):** Module mở rộng các cổng vào/ra tương tự. Số các cổng tương tự có thể là 4 vào/2 ra hoặc 4 vào/4 ra tùy theo từng loại module.
- **IM (Interface Module):** Module ghép nối. Đây là loại module chuyên dụng có nhiệm vụ nối từng nhóm các module mở rộng lại với nhau thành một khối và được quản lý chung bởi một module CPU. Thông thường các module mở rộng được gá liền với nhau trên một thanh đỡ gọi là *rack* (hình 2.3). Trên mỗi thanh rack chỉ có thể gá tối đa 8 module mở rộng (không kể module CPU, nguồn nuôi). Một module CPU S7-300 có thể làm việc trực tiếp với nhiều nhất 4 racks và các racks này phải được nối với nhau bằng module IM (xem hình 2.4).



Hình 2.3 Thanh rack



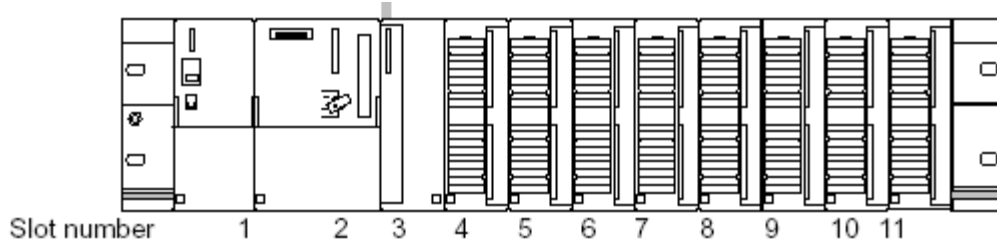
Hình 2.4 Sơ đồ phân bố các racks

➤ **FM (Function Module):** Module có chức năng điều khiển riêng, ví dụ như module điều khiển động cơ servo, module điều khiển động cơ bước, module PID, module điều khiển vòng kín, Module đếm, định vị, điều khiển hồi tiếp ...

➤ **CP (Communication Module):** Module phục vụ truyền thông trong mạng (MPI, PROFIBUS, Industrial Ethernet) giữa các PLC với nhau hoặc giữa PLC với máy tính.

Hình sau là cấu hình đầy đủ của một thanh Rack và sơ đồ kết nối nhiều Rack:

PS CPU SM/FM/CP



Hình 2.5 Cấu hình một thanh rack của PLC S7-300



Hình 2.6 Cấu hình tổng quát của một PLC S7-300 với 4 thanh rack nối với nhau nhờ module IM và cáp nối 368

- Phụ kiện  
Bus nối dữ liệu (Bus connector).
- Kiểm tra phần cứng

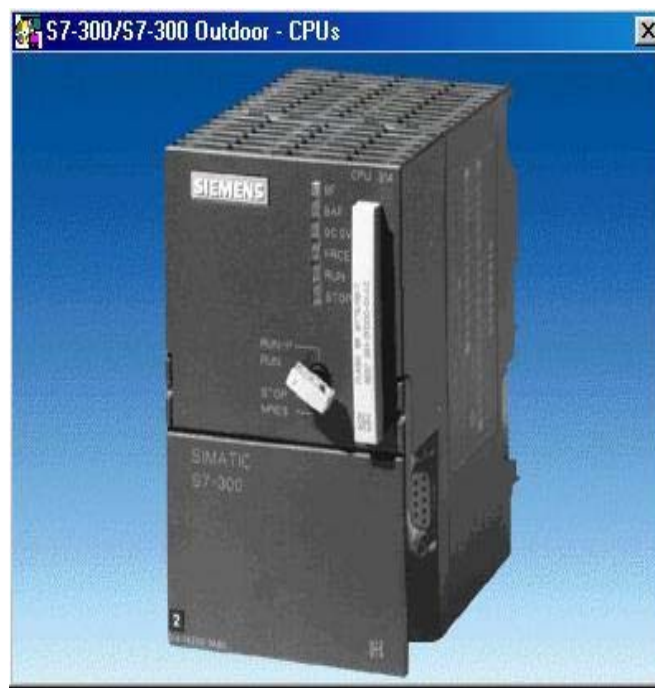
**Kiểm tra bằng cách nhìn LED ở bộ nguồn**

**Bảng 2.1**

LED “DC 24V	TRẠNG THÁI	PHẢN ỨNG CỦA NGUỒN
Sáng liên tục	Có điện áp 24V	Có điện áp 24V
Chớp	Mạch ra quá tải:	

LED “DC 24V	TRẠNG THÁI	PHẢN ỨNG CỦA NGUỒN
	Cao đến 130% (động) Cao đến 130% (tĩnh)	Bị sụt áp Điện áp được hồi phục khi không còn quá tải Cao đến 130% tĩnh Điện áp suy giảm, giảm tuổi thọ
Off	Ngắn mạch lối ra	Mất điện áp, tự động hồi phục khi ngắn mạch được loại bỏ
Off	Quá áp hay thấp áp phần sơ cấp	Quá áp có thể gây thiệt hại. Khi bị thấp áp tự động ngắt

### Kiểm tra bằng cách nhìn LED ở CPU của S7 – 300



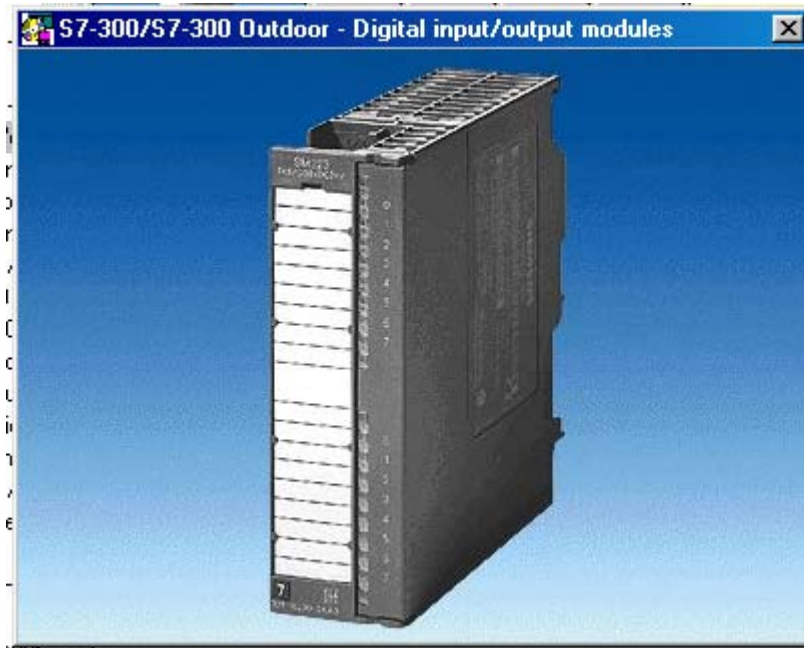
Hình 2.7

- Trạng thái hiển thị LED:
  - SF = Lỗi nhóm, chương trình sai hay lỗi từ khối chuẩn đoán
  - BATF = Lỗi Pin, Pin hết hay không có pin
  - DC5V = Báo có 5 VDC
  - FRCE = Sáng lên khi biến cường bức tác động
  - RUN = Nhấp nháy khi CPU khởi động, ổn định ở chế độ RUN
  - STOP = Ổn định ở chế độ STOP  
Chớp chậm khi có yêu cầu RESET bộ nhớ  
Chớp nhanh khi đang RESET bộ nhớ
- Chìa khóa công tắc: Để đặt bằng tay các trạng thái hoạt động của CPU
  - MRES = Reset bộ nhớ (Reset khối)



- STOP = Trạng thái dừng STOP, chương trình không thực hiện
- RUN-P = Trạng thái chạy RUN, CPU thực hiện chương trình
- RUN = Chương trình được thực hiện, hoặc có thể, tuy nhiên, chỉ đọc thôi không sửa được chương trình.

**Kiểm tra bằng cách nhìn LED ở khối Digital**



Hình 2.8

Mỗi kênh vào/ra của các modul đều được hiển thị bằng LED. Chúng có công dụng có thể cho biết vị trí lỗi của chương trình. Chúng chỉ thị trạng thái quy trình hoặc trạng thái bên trong trước bộ giao tiếp quang điện.

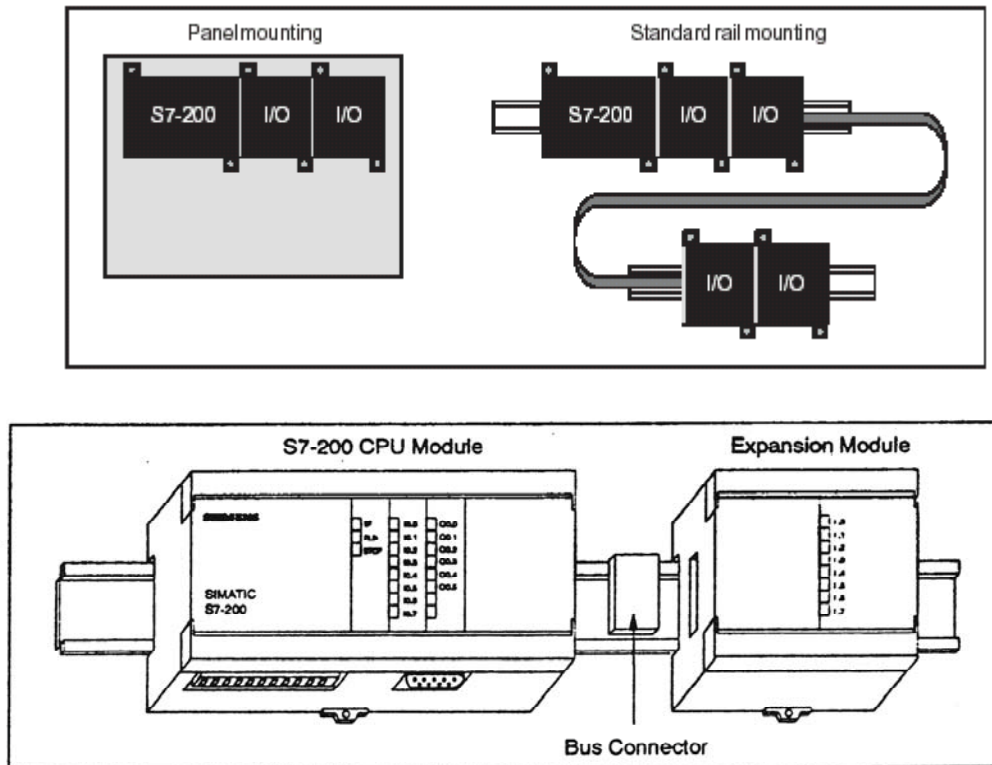
**2.3.1 S7-200**

DC24V OUTPUTS										STOP RUN		VR1	
1M IL+0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 2M2L+0.5 0.6 0.7 1.0 1.1  M L+ DC 24V										TERM			
<b>SIEMENS</b>				<input type="checkbox"/> SF <input type="checkbox"/> RUN <input type="checkbox"/> STOP		<input type="checkbox"/> I0.0 <input type="checkbox"/> I0.1 <input type="checkbox"/> I0.2 <input type="checkbox"/> I0.3 <input type="checkbox"/> I0.4 <input type="checkbox"/> I0.5 <input type="checkbox"/> I0.6 <input type="checkbox"/> I0.7		<input type="checkbox"/> I1.0 <input type="checkbox"/> I1.1 <input type="checkbox"/> I1.2 <input type="checkbox"/> I1.3 <input type="checkbox"/> I1.4 <input type="checkbox"/> I1.5		<input type="checkbox"/> Q0.0 <input type="checkbox"/> Q0.1 <input type="checkbox"/> Q0.2 <input type="checkbox"/> Q0.3 <input type="checkbox"/> Q0.4 <input type="checkbox"/> Q0.5 <input type="checkbox"/> Q0.6 <input type="checkbox"/> Q0.7		<b>CPU-214</b>	
<b>SIMATIC S7-200</b>										<b>6ES7 214-1AC00</b>			
DC 24V INPUTS										M L+ DC SENSOR SUPPLY		Cổng truyền thông	
1M 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 2M 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5  M L+ DC 24V INPUTS													

Hình 2.9

❖ Tích hợp CPU, I/O nguồn cung cấp vào một Module. Có nhiều loại CPU: CPU212, CPU 214, CPU 215, CPU 216... Hình dáng CPU 214 thông dụng nhất được mô tả trên hình 2.1.

- ❖ Các Module mở rộng (EM) (External Modules):
  - ✓ Module ngõ vào Digital: 24V DC, 120/230V AC
  - ✓ Module ngõ ra Digital: 24V DC, ngắt điện từ
  - ✓ Module ngõ vào Analog: Áp, dòng, điện trở, cặp nhiệt
  - ✓ Module ngõ ra Analog: Áp, dòng



Hình 2.10 Ráp nối Module mở rộng

- ❖ Module liên lạc xử lý (CP) (Communication Processor)
 

Module CP 242-2 có thể dùng để nối S7-200 làm chủ module giao tiếp AS. Kết quả là, có đến 248 phần tử nhị phân được điều khiển bằng 31 Module giao tiếp AS. Gia tăng đáng kể số ngõ vào và ngõ ra của S7-200.

- ❖ Phụ kiện
  - Bus nối dữ liệu (Bus connector).

- ❖ Các đèn báo trên CPU

Các đèn báo trên mặt PLC cho phép xác định trạng thái làm việc hiện hành của PLC:

SF (đèn đỏ) : khi sáng sẽ thông báo hệ thống PLC bị hỏng.

RUN (đèn xanh) : khi sáng sẽ thông báo PLC đang làm việc và thực hiện chương trình được nạp vào máy.

STOP (đèn vàng) : khi sáng thông báo PLC đang ở chế độ dừng. Dừng chương trình đang thực hiện lại.

Ix.x (đèn xanh) : Thông báo trạng thái tức thời của cổng vào PLC: Ix.x (x.x = 0.0 ÷ 1.5). Đèn này báo hiệu trạng thái của tín hiệu theo giá trị logic của cổng.

Qy.y (đèn xanh) : Thông báo trạng thái tức thời của cổng ra PLC: Qy.y (y.y = 0.0 ÷ 1.1). Đèn này báo hiệu trạng thái của tín hiệu theo giá trị logic của cổng.

- ❖ Công tắc chọn chế độ làm việc của CPU:

Công tắc này có 3 vị trí : RUN – TERM - STOP, cho phép xác lập chế độ làm việc của PLC.

-**RUN** : Cho phép PLC vận hành theo chương trình trong bộ nhớ. Khi trong PLC đang ở RUN, nếu có sự cố hoặc gặp lệnh STOP, PLC sẽ rời khỏi chế độ RUN và chuyển sang chế độ STOP.

- **STOP:** Cường bức CPU dừng chương trình đang chạy và chuyển sang chế độ STOP. Ở chế độ STOP, PLC cho phép hiệu chỉnh lại chương trình hoặc nạp chương trình mới.

- **TERM :** Cho phép máy lập trình tự quyết định chế độ làm việc của CPU hoặc ở chế độ RUN hoặc STOP.

## 2.4 GIỚI THIỆU CẤU TẠO PHẦN CỨNG CÁC KIT THÍ NGHIỆM S7-300, S7-200

### 2.4.1 S7-300

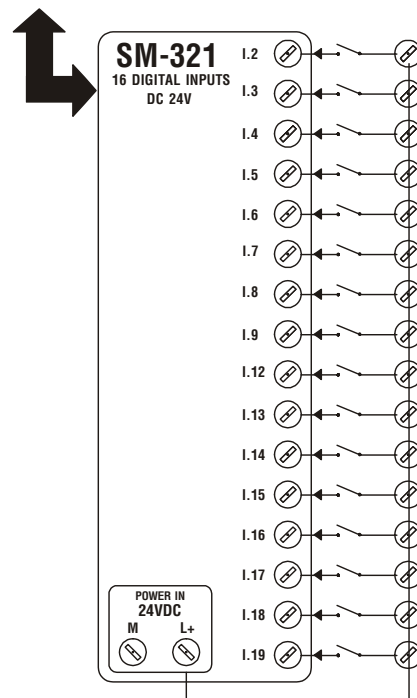
Bộ điều khiển PLC S7-300 Station 1200 bao gồm các module sau:

#### 2.4.1.1 Khối CPU-312 :

CPU-312 IMF sử dụng cho hệ thống thí nghiệm với thế nuôi 24VDC, có bổ sung 10 lối vào số /24VDC, và 6 lối ra /24VDC.

#### 2.4.1.2 Digital Input Module (DI) SM 321 DI 16 x DC24V (hình 2.11)

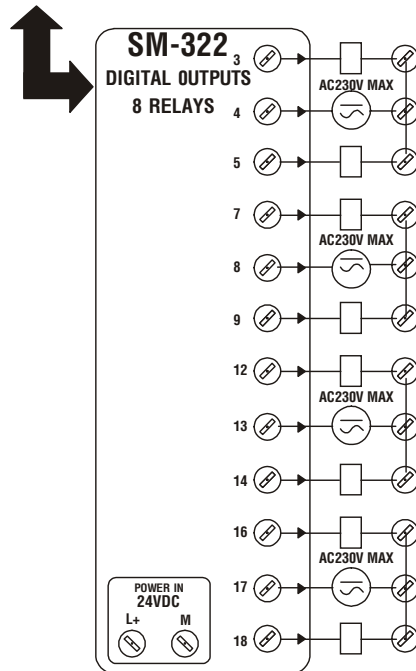
- 16 lối vào số (digital) độc lập và cách ly, điện thế cho lối vào 24V/10mA, chỉ thị LED trạng thái vào
- Điện thế nuôi cho khối (qua chân L+ & M): 24V.
- Chức năng mở rộng lối vào điều khiển cho CPU S7-300.



Hình 2.11: Sơ đồ khối SM 321 DI 16 x DC 24V / 321 – 1BH02-0AA0

#### 2.4.1.3 Digital Output Module (DO) SM 322 (hình 2.12)

- 8 lối ra relay độc lập, dòng giới hạn ở tiếp điểm relay: 2A. Chỉ thị LED trạng thái ra.
- Điện thế nuôi cho khối (qua chân L+ & M): 24V.

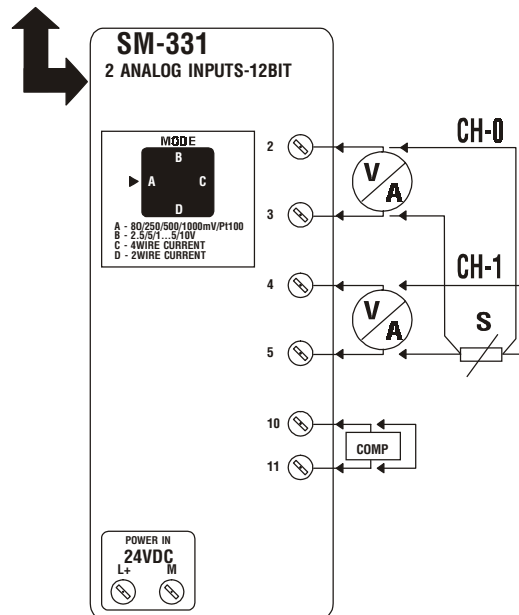


Hình 2.12 Sơ đồ khối SM 322 DO 8 x RELAY AC 230V / 322-1HF01-0AA0

- Chức năng mở rộng lối ra điều khiển cho CPU S7-300.

#### 2.4.1.3 Analog Input Module SM 331 (hình 2.13)

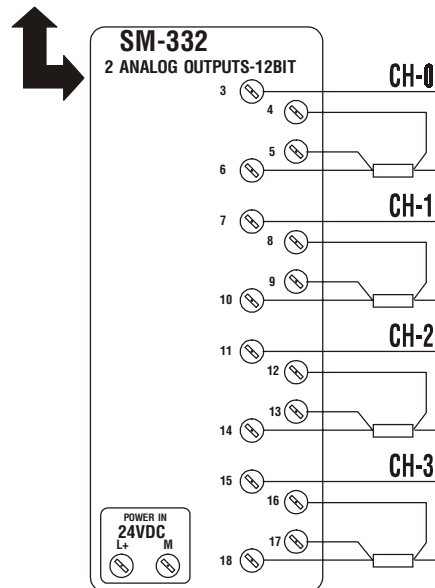
- 2 lối vào analog độc lập, phân giải 12 bit,
- Điện thế nuôi cho khối (qua chân L+ & M): 24V.
- Chức năng mở rộng lối vào điều khiển cho CPU S7-300.



Hình 2.13 Sơ đồ khối SM 331 AI 2 x 12 bit / 331-7KB02-0AB0

#### 2.4.1.4 Analog Output Module SM 332 (Hình 2.14)

- 2 lối ra analog độc lập, phân giải 12 bit,
- Điện thế nuôi cho khối (qua chân L+ & M): 24V.
- Chức năng mở rộng lối ra điều khiển cho CPU S7-300.

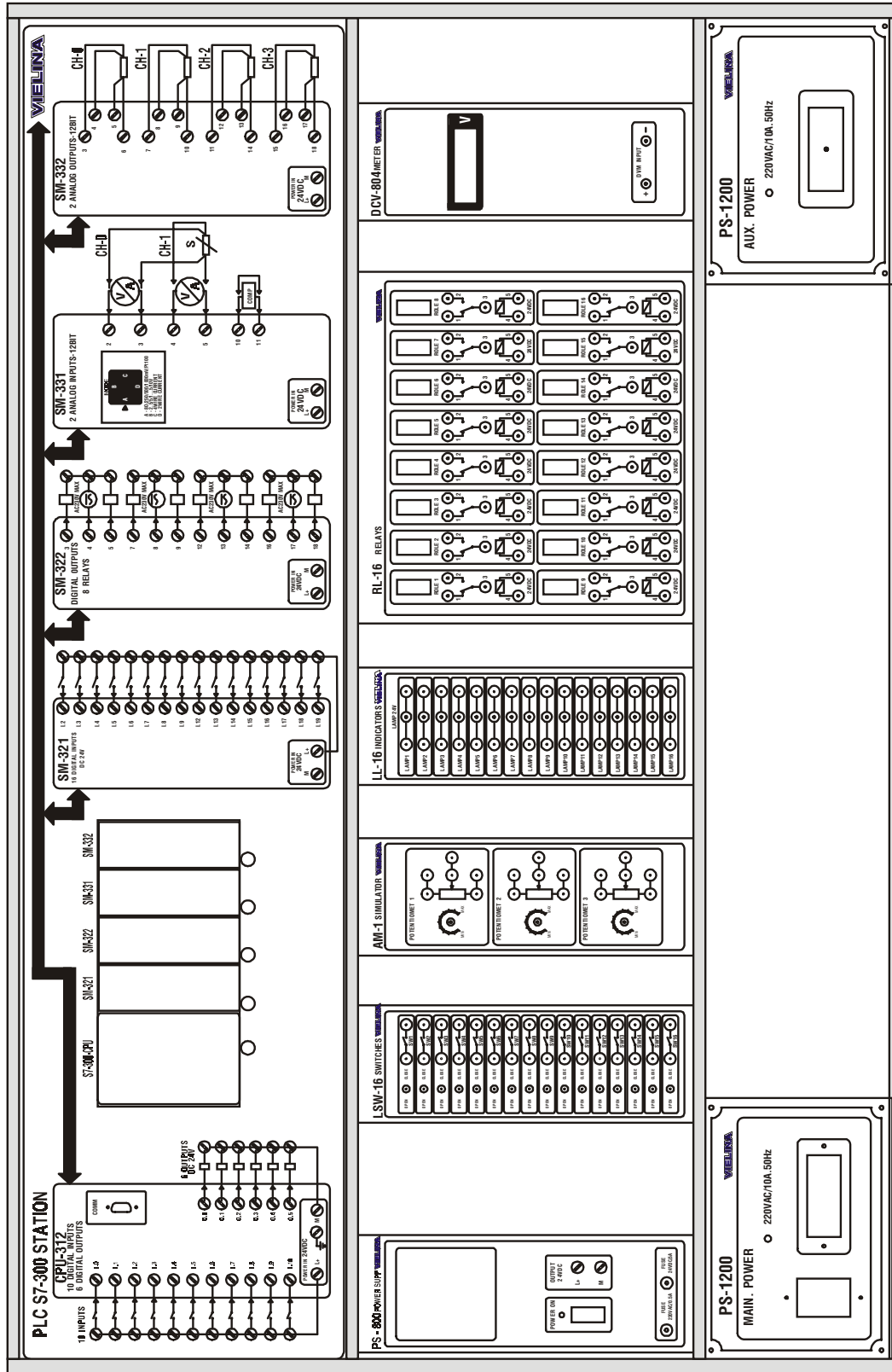


Hình 2.14 Sơ đồ khối SM 332 AO 4 x 12 bit / 332-5HD01-0AB0

#### 2.4.1.5 Các khối phụ trợ cho thí nghiệm

Các khối phụ trợ cho thí nghiệm gồm các module chứa công tắc, relay, đèn báo, có cấu trúc như trên hình 1.9.

- **Khối Contact LSW-16**  
Chứa 16 công tắc đơn, phục vụ cho việc tạo các trạng thái lối vào cho PLC.
- **Khối Relay RL-16**  
Chứa 16 relay 24V, sử dụng với tác động điều khiển từ lối ra PLC.
- **Khối Đèn LL-16**  
Chứa 16 đèn 24V, sử dụng để chỉ thị trạng thái điều khiển.
- **Khối AM-1 Simulator**  
Chứa 3 biến trở 10kΩ, điện thế cấp 24V, cho phép tạo các điện thế DC cho thí nghiệm.
- **Khối DCV-804 Meter**  
Chứa ADC với hiển thị  $4^{1/2}$  digits, cho phép đo điện thế DC tạo ra từ hệ PLC.
- **Khối nguồn 24V / 5A**  
Cung cấp nguồn nuôi cho các modules.



Hình 2.15

**2.4.2 S7-200**

Hệ thống bao gồm các thiết bị :

1. Bộ điều khiển PLC-Station 1200 chứa :
  - CPU-214 : AC Power Supply, 24VDC Input, 24VDC Output
  - Digital Input / Output EM 223 : 4x DC 24V Input, 4x Relay Output
  - Analog Input / Output EM 235 : 3 Analog Input, 1 Analog Output 12bit
2. Khối Contact LSW-16
3. Khối Relay RL-16
4. Khối Đèn LL-16
5. Khối AM-1 Simulator
6. Khối DCV-804 Meter
7. Khối nguồn 24V PS-800
8. Máy tính.
9. Các dây nối với chốt cắm 2 đầu

**Mô tả hoạt động của hệ thống**

1. Các lối vào và lối ra CPU cũng như của các khối Analog và Digital được nối ra các chốt cắm.
2. Các khối PLC STATION – 1200, DVD – 804 và PS – 800 sử dụng nguồn 220VAC
3. Khối RELAY – 16 dùng các RELAY 24VDC
4. Khối đèn LL – 16 dùng các đèn 24V
5. Khối AM – 1 dùng các biến trở 10KΩ

Dùng các dây nối có chốt cắm 2 đầu và tùy từng bài toán cụ thể để đấu nối các lối vào / ra của CPU 214, khối Analog EM235, khối Digital EM222 cùng với các đèn, contact, Relay, biến trở, và khối chỉ thị DCV ta có thể bố trí rất nhiều bài thực tập để làm quen với cách hoạt động của một hệ thống PLC, cũng như cách lập trình cho một hệ PLC.

## Chương 3: KIẾN THỨC CƠ SỞ

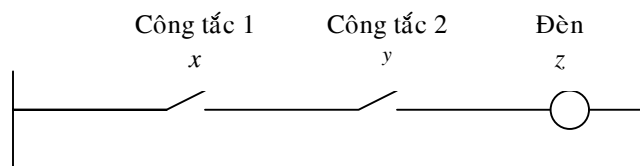
### 3.1 KỸ THUẬT SỐ VÀ LOGIC SỐ CƠ BẢN

#### 3.1.1 Biến và hàm số hai giá trị

Biến hai trị, hay còn gọi biến Boole là loại hàm số mà miền giá trị của nó chỉ có hai phần tử. Ta sẽ ký hiệu chúng bằng những chữ nhỏ in nghiêng như  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $v$ , ... và phần tử của chúng là 0 và 1. Ví dụ

- Công tắc là một biến Boole với 2 giá trị: đóng (ký hiệu là 1) và mở (ký hiệu là 0).
- Đèn hiệu cũng là một biến Boole với hai trạng thái: Sáng (ký hiệu là 1) và tắt (ký hiệu là 0).

Hai biến Boole được gọi là **độc lập nhau** nếu sự thay đổi giá trị của biến số này không ảnh hưởng đến giá trị của biến số kia. Ví dụ 2 công tắc trong hình 3.1 là 2 biến Boole độc lập với nhau.



Hình 3.1

Ngược lại, nếu giá trị của một biến số  $y$  phụ thuộc vào giá trị của biến số  $x$  thì biến  $y$  được gọi là **biến phụ thuộc** của biến  $x$ . Ví dụ trong hình 3.1 thì đèn là 2 biến phụ thuộc vào biến công tắc. Đèn sẽ sáng nếu cả 2 biến công tắc có giá trị 1 và sẽ tắt nếu một trong hai biến có giá trị 0.

Hàm hai trị là mô hình toán học mô tả sự phụ thuộc của một biến Boole vào các biến Boole khác. Chẳng hạn như để biểu diễn sự phụ thuộc của đèn, ký hiệu là  $z$ , vào 2 biến công tắc, ký hiệu là  $x$  và  $y$ , ta viết

$$z = f(x, y)$$



Một cách tổng quát hàm hai trị mô tả sự phụ thuộc của biến số  $y$  vào  $n$  biến  $x_1, x_2, \dots, x_n$  có dạng

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

Việc mô tả sự phụ thuộc của một biến Boole này vào các biến Boole khác thành hàm hai trị dựa vào ba phép tính cơ bản. Đó là phép tính và (ký hiệu là  $\wedge$ ), hoặc (ký hiệu là  $\vee$ ), phủ định (ký hiệu là  $\bar{\phantom{x}}$ ) được định nghĩa như sau:

Bảng 3.1

Phép tính và			Phép tính hoặc			Phép phủ định	
$x$	$y$	$x \wedge y$	$x$	$y$	$x \vee y$	$x$	$\bar{x}$
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		

Ví dụ, hàm  $f(x,y)$  biểu diễn biến đèn  $z$  phụ thuộc vào hai biến công tắc  $x, y$  sẽ là:

$$z = f(x,y) = x \wedge y = x.y$$

### 3.1.2 Tính chất

$x \wedge 1 = 1 \wedge x = x$ , với  $x$  thuộc  $\mathbf{B} \rightarrow 1$  là phần tử đơn vị của phép toán  $\wedge$ .

$x \vee 0 = 0 \vee x = x$ , với  $x$  thuộc  $\mathbf{B} \rightarrow 0$  là phần tử đơn vị của phép toán  $\vee$ .

$x \vee y = y \vee x$  (Tính giao hoán)

$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge z$  (Tính kết hợp)

$(x \wedge y) \vee (x \vee \bar{y}) = x$

$\bar{\bar{x}} = x, \forall x \in B$

$x = x.x = x \vee x, \forall x \in B$

$\bar{x}.x = 0, \forall x \in B$

$1 \vee x = 1, \forall x \in B$

$0 \vee x = x, \forall x \in B$

$\bar{x \vee x} = 1, \forall x \in B$

$\overline{x.y} = \bar{x} \vee \bar{y}, \forall x, y \in B$

$\overline{x \vee y} = \bar{x}. \bar{y}, \forall x, y \in B$

$(x \vee y).z = (x.z) \vee (y.z), \forall x, y, z \in B$

$(x.y) \vee z = (x \vee z).(y \vee z), \forall x, y, z \in B$

### 3.1.3 Xác định công thức hàm hai trị từ bảng chân lý

Ta sẽ xét bài toán ngược là tìm công thức biểu diễn hàm  $f(x)$  từ bảng giá trị chân lý đã biết của hàm đó. Công việc này là cần thiết vì trong thực tế nhiều bài toán tổng hợp bộ điều khiển được bắt đầu từ bảng chân lý.

Trước hết hãy làm quen với hai khái niệm mới là **biểu thức nguyên tố tích** và **biểu thức nguyên tố tổng** nếu trong  $T(x)$ :

- Có mặt tất cả các biến số  $x_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$  và mỗi biến chỉ xuất hiện một lần,
- Chỉ cấu thành bởi hai phép tính  $\wedge, \bar{\phantom{x}}$  hoặc  $\vee, \bar{\phantom{x}}$ .

Ví dụ:

$$T_1(x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (\text{tạo bởi 2 phép toán } \wedge, \bar{\phantom{x}}),$$

$$T_2(x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3 \quad (\text{tạo bởi 2 phép toán } \vee, \bar{\phantom{x}})$$

Là các biểu thức nguyên tố.

Biểu thức nguyên tố với 2 phép tính  $\wedge, \bar{\phantom{x}}$  được gọi là **biểu thức nguyên tố tích** còn biểu thức nguyên tố với 2 phép tính  $\vee, \bar{\phantom{x}}$  gọi là **biểu thức nguyên tố tổng**. Trong ví dụ trên  $T_1$  là biểu thức nguyên tố tích còn  $T_2$  gọi là **biểu thức nguyên tố tổng**.

Để tiện cho việc trình bày ta quy ước:

$$\bar{x}_k = x_k^0 \quad \text{và} \quad x_k = x_k^1$$

vậy một biểu thức nguyên tố tích  $T_N(x)$  với  $n$  biến 2 trị  $x_1, x_2, \dots, x_n$  có dạng

$$T_N(x) = x_1^{q_1} x_2^{q_2} \dots x_n^{q_n} = \prod_{k=1}^n x_k^{q_k}$$

và một biểu thức nguyên tố tổng  $T_C(x)$  với  $n$  biến 2 trị  $x_1, x_2, \dots, x_n$  có dạng

$$T_C(x) = x_1^{q_1} \vee x_2^{q_2} \vee \dots \vee x_n^{q_n} = \sum_{k=1}^n x_k^{q_k}$$

Trong đó

$q_k=0$  nếu biến  $x_k$  xuất hiện dưới dạng phủ định

$q_k=1$  nếu biến  $x_k$  xuất hiện dưới dạng không phủ định

Từ định nghĩa ta thấy các biểu thức nguyên tố có các đặc điểm:

- Biểu thức nguyên tố tích  $T_N(x)$  có giá trị 1 khi và chỉ khi tất cả các thừa số cùng có giá trị 1. Như vậy nếu  $x_k$  xuất hiện trong biểu thức dạng phủ định ( $q_k=0$ ) thì  $x_k$  phải có giá trị 0 và ngược lại nếu  $q_k=1$  thì  $x_k$  phải có giá trị 1.
- Biểu thức nguyên tố tổng  $T_C(x)$  có giá trị 0 khi và chỉ khi tất cả các thương số cùng có giá trị 0. Như vậy nếu  $x_k$  xuất hiện trong biểu thức dạng phủ định ( $q_k=0$ ) thì  $x_k$  phải có giá trị 1 và ngược lại nếu  $q_k=1$  thì  $x_k$  phải có giá trị 0.

Bây giờ ta xác định biểu thức hàm hai trị từ bảng chân lý của nó.

**Xác định nhờ biểu thức nguyên tố tích**

Biểu thức hàm hai trị  $f(x)$  sẽ tương đương với kết quả phép HOẶC của tất cả các biểu thức nguyên tố tích của các hàng có giá trị 1 trong bảng chân lý. Ta sẽ minh họa nguyên tắc bằng một ví dụ.

**Bảng 3.2**

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$f(x)$	$T_N^i(x)$
0	0	0	0	0	$x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4$
0	0	0	1	0	$x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_4$
0	0	1	0	1	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4$
0	0	1	1	0	$x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4$
0	1	0	0	0	$x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4$
0	1	0	1	1	$\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4$
0	1	1	0	0	$x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \vee x_4$
0	1	1	1	0	$x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_4$
1	0	0	0	0	$\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4$
1	0	0	1	1	$x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4$
1	0	1	1	0	$\bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4$
1	1	0	0	0	$\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4$
1	1	0	1	1	$x_1 x_2 \bar{x}_3 x_4$
1	1	1	0	0	$\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \vee x_4$
1	1	1	1	0	$\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_4$

Suy ra:  $f(x) = (\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4) \vee (\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4) \vee (x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4) \vee (x_1 x_2 x_3 x_4)$

### Xác định nhờ biểu thức nguyên tố tổng

Biểu thức hàm hai trị  $f(x)$  sẽ tương đương với kết quả phép AND của tất cả các biểu thức nguyên tố tổng của các hàng có giá trị 0 trong bảng chân lý. Ta sẽ minh họa nguyên tắc bằng ví dụ trên.

Suy ra:  $f(x) = (x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4)(x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_4)(x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4)$

$(x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4)(x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \vee x_4)(x_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_4)(\bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4)$

$(\bar{x}_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4)(\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4)(\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4)$

### 1.1.4 Biểu diễn số nguyên dương

#### ❖ Biểu diễn trong hệ cơ số 10

Một số nguyên dương  $u_k$  bất kỳ, trong hệ cơ số 10 bao giờ cũng được biểu diễn đầy đủ bằng dãy các con số nguyên từ 0 đến 9. Ví dụ  $u_k = 259$  được biểu diễn bằng 3 con số: 2, 5 và 9 và cách biểu diễn đó được hiểu là

$$U_k = 2 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0$$

Một cách tổng quát khi biểu diễn trong hệ cơ số 10  $u_k$  có dạng

$$U_k = a_n \cdot 10^n + a_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 10^1 + a_0 \cdot 10^0 \quad (3.1) \quad \text{với } 0 \leq a_i \leq 9$$

Như vậy việc biểu diễn  $u_k$  trong hệ cơ số 10 là sự biến đổi  $u_k$  thành tập hữu hạn  $n+1$  số nguyên  $a_i, i=0, 1, \dots, n$  thoả  $0 \leq a_i \leq 9$ .

Số các giá trị mà  $a_i$  có được do hệ cơ số biểu diễn  $u_k$  quyết định. Trong trường hợp này  $u_k$  được biểu diễn trong hệ cơ số 10 nên  $a_i$  có 10 giá trị.

### ❖ Biểu diễn trong hệ cơ số 2

Cách biểu diễn  $u_k$  trong hệ cơ số 10 chưa phù hợp với nguyên tắc mạch điện của bộ điều khiển số vì  $u_k$  có các phần tử đa trị  $0 \leq a_i \leq 9$ . Ta biến đổi biểu thức (3.1) về dạng sau

$$U_k = x_n \cdot 2^n + x_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + x_1 \cdot 2^1 + x_0 \cdot 2^0 \quad \text{với } a_i = 0, 1 \quad (3.2)$$

Với việc thay đổi này các tham số  $x_i, i=0, 1, \dots, n$  sẽ trở thành những đại lượng hai trị 0 hoặc 1. Nếu sử dụng vector hàng để biểu diễn ta sẽ có

$$U_k \rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_n & x_{n-1} & \dots & x_1 & x_0 \\ \hline \end{array}$$

ta sẽ đi đến dạng biểu diễn thông dụng bằng mạch điện cho tín hiệu số. Mỗi ô vuông trong cách biểu diễn trên gọi là một bit và mỗi bit là một biến hai trị.

Số các bit của vector  $x$  quyết định miền giá trị cho  $u_k$ . Với  $n+1$  bit trong (3.2) thì miền giá trị của  $u_k$  sẽ là tập các số nguyên dương trong khoảng  $0 \leq u_k \leq 2^{n+1} - 1$

Một dãy 8 bit được gọi là 1 byte. Hai byte gọi là 1 từ (word) và 2 từ gọi là từ kép (double word). Trong kỹ thuật PLC nói riêng và điều khiển số nói chung người ta thường biểu diễn  $u_k$  bằng một byte, 1 từ hoặc 1 từ kép.

Biểu diễn  $u_k=205$  thành một byte:

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Một từ:

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Cách biểu diễn trong hệ cơ số 2 như vậy không ảnh hưởng tới thói quen tính toán của ta trong hệ thập phân như cộng trừ. Tuy nhiên vẫn phải để ý rằng do  $x_i$  chỉ bằng 0 hoặc 1 nên khi cộng có tổng lớn hơn 1 ta phải viết  $x_i = 0$  và nhớ 1 sang hàng sau. Ví dụ khi cộng 53 và 27 trong hệ cơ số 2 sẽ có

$$\begin{array}{r} 53 = \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \\ 27 = \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \\ \text{nhớ} \quad \quad \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \\ \text{tổng} \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \end{array}$$

### Mã hexadecimal của số nguyên dương

Giống như cách biểu diễn  $u_k$  trong hệ cơ số 10 và 2, trong hệ cơ số 16, số nguyên  $u_k$  có dạng

$$U_k = h_n \cdot 16^n + h_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \dots + h_1 \cdot 16^1 + h_0 \cdot 16^0 \quad \text{với } 0 \leq h_i \leq 15 \quad (3.3)$$

và tham số  $h_i$  là những biến 16 trị. Các số của  $h_i$  ký hiệu là

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

trong đó các ký tự khi chuyển sang hệ thập phân sẽ tương đương với

A=10, B=11, C=12, D=13, E=14, F=15

Để bộ điều khiển số hiểu được dạng biểu diễn của  $u_k$ , người ta đã chuyển các tham số  $h_i$  sang hệ cơ số 2. Do mỗi tham số có 16 giá trị nên người ta cũng chỉ cần 4 bit là đủ để biểu diễn chúng.

Một mảng 4 bit có tên gọi là một *Nipple*

Ví dụ, số nguyên dương  $u_k = 7723$  trong hệ cơ số 10, khi chuyển sang cơ số 16 sẽ là 1E2B vì

$$7723 = 1 \cdot 16^3 + 14 \cdot 16^2 + 2 \cdot 16 + 11$$

1      E      2      B

và do đó dạng Hexadecimal của nó sẽ là

0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
			1			E			2					B	

### Mã BCD của số nguyên dương

Ta đã biết mã Hexadecimal là kiểu sử dụng biến hai trị để thể hiện các chữ số  $h_i$ , khi  $u_k$  được biểu diễn trong hệ cơ số 16. Hoàn toàn tương tự, mã BCD là dạng dùng biến hai trị thể hiện những chữ số  $0 < a_i < 9$  khi biểu diễn  $u_k$  trong hệ cơ số 10 theo công thức

$$U_k = a_n 10^n + a_{n-1} 10^{n-1} + \dots + a_1 10^1 + a_0 10^0 \quad \text{với } a_i \text{ thuộc } \{0,9\} \quad (3.3)$$

Ví dụ.  $U_k = 259$  được biểu diễn nhờ 3 con số 2, 5 và 9 và do đó mã BCD của nó có dạng

0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
		2				5					9

### Chuyển đổi số:

#### ➤ Thập phân $\Leftrightarrow$ Nhị phân

VD: Chuyển số nhị phân 11011001 thành số thập phân

$$U_k = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

$$128 + 64 + 0 + 16 + 8 + 0 + 0 + 1 = 217$$

VD: Chuyển số thập phân 217 thành số nhị phân

$$217:2=108 \quad \text{dư } 1$$

$$108:2=54 \quad \text{dư } 0$$

$$54:2=27 \quad \text{dư } 0$$

$$27:2=13 \quad \text{dư } 1$$

$$13:2 = 6 \quad \text{dư } 1$$

$$6:2 = 3 \quad \text{dư } 0$$

$$3:2 = 1 \quad \text{dư } 1$$

1

$$\Rightarrow u_k = 11011001$$

➤ **Thập phân  $\Leftrightarrow$  Hexa**

VD: Chuyển số Hexa 2AC4 thành số thập phân

$$U_k = 2.16^3 + 10.16^2 + 12.16^1 + 4.16^0$$

$$8192 + 2560 + 192 + 4 = 10948$$

VD: Chuyển số thập phân 10948 thành số Hexa

$$10948:16 = 684 \quad \text{dư } 4$$

$$684:16 = 42 \quad \text{dư } 12 = C$$

$$42 :16 = 2 \quad \text{dư } 10 = A$$

2

$$\Rightarrow u_k = 2AC4$$

➤ **Hexa  $\Leftrightarrow$  Nhị phân**

VD: Chuyển số Nhị phân 1100 1011 0011 1001 thành số Hexa

$$1100 = 1.2^3 + 1.2^2 + 0.2^1 + 0.2^0 = 12 = C$$

$$1011 = 1.2^3 + 0.2^2 + 1.2^1 + 1.2^0 = 11 = B$$

$$0011 = 0.2^3 + 0.2^2 + 1.2^1 + 1.2^0 = 3$$

$$1001 = 1.2^3 + 0.2^2 + 0.2^1 + 1.2^0 = 9$$

$$\Rightarrow u_k = CB39$$

VD: Chuyển số Hexa CB39 thành số Nhị phân

Chú ý cách nhớ giá trị thập phân của 4 bit: 8 4 2 1

$$C=12 = 8+4 = 1100$$

$$B=11 = 8+3 = 1011$$

$$3 = 2+1 = 0011$$

$$9 = 8+1 = 1001$$

$$\Rightarrow u_k = 1100 1011 0011 1001$$

➤ **BCD  $\Leftrightarrow$  Nhị phân**

Cách chuyển hoàn toàn tương tự với BCD  $\Leftrightarrow$  Hexa

VD: Chuyển số Nhị phân 0010 0111 0101 thành số BCD

$$0010 = 2$$

$$0111 = 0 + 4 + 2 + 1 = 7$$

$$0101 = 0 + 4 + 0 + 1 = 5$$

$$\Rightarrow u_k = 275$$

VD: Chuyển số BCD 275 thành số Nhị phân

$$2 = 0010$$

$$7 = 4+2+1 = 0111$$

$$5 = 4+1 = 0101$$

$\Rightarrow u_k = 0010\ 0111\ 0101$

## 3.2 CÁC VÙNG DỮ LIỆU, VÙNG NHỚ, CÁC QUY ĐỊNH VỀ DỮ LIỆU VÀ CÁCH TRUY CẬP ĐỊA CHỈ TRÊN PLC

### 3.2.1 S7-300

Kiểu dữ liệu và phân chia bộ nhớ

- Kiểu dữ liệu

**Bảng 3.3**

Dạng	Kích thước	Dạng Format	Tầm và ký hiệu (từ giá trị nhỏ nhất đến giá trị lớn nhất)	Ví dụ
BOOL (bit)	1	Boolean text	TRUE\FALSE	TRUE
BYTE (Byte)	8	Thập lục phân	B#16#0 đến B#16#FF	B#16#10 byte#16#10
WORD (Word)	16	Nhị phân  Thập lục phân  BCD  Thập phân không dấu	2#0 đến 2#1111_1111_1111_1111  W#16#0 đến W#16#FFFF  C#0 đến C#999  B#(0,0) đến B#(255,255)	2#0001_0010_0000_0011  W#16#1CBF Word#16#1CBF  C#998  B#(10,20) Byte#(10,20)
DWORD (Double Word)	32	Nhị phân  Thập lục phân  Thập phân không dấu	2#0 đến 2#1111_1111_1111_1111_1111_1111_1111_1111  DW#16#0000_0000 đến DW#16#FFFF_FFFF  B#(0,0,0,0) đến B#(255,255,255,255)	2#0010_0111_1001_0000_0011_0100_1111_1000  DW#16#00A2_0FAB dword#16#00A2-0FAB  B#(1,14,65,245) byte#(1,14,65,245)
INT (Integer)	16	Thập phân có	-32768 đến 32767	2

r)		dấu		
DINT (Double Integer)	32	Thập phân có dấu	L#-2147483648 đến L#2147483647	L#1
S5TIMER (Simatic Timer)	16	S5 time với đơn vị là 10ms	S5T#0H_0M_0S_10MS đến S5T#2H_46M_30S_0MS	S5T#1M S5TIME#1M
TIME (IEC Time)	32	IEC time với đơn vị là 1ms (số integer có dấu)	T#-24D_20H_31M_23S_648MS đến T#24D_20H_31M_23S_647MS	T#1H_1M TIME#1H_1M
DATE (IEC date)	16	Ngày hệ IEC với đơn vị 1ngày	D#1990-1-1 đến D#2168-12-31	D#1994-3-15 DATE#1994-3-15
TIME_OF_DAY (time of day)	32	Thời gian trong một ngày với đơn vị 1ms	TOD#0:0:0.0 đến TOD#23:59:59.999	TOD#1:10:3.3 TIME_OF_DAY#1:10:3.3
CHAR (character)	8	Ký tự	'A', 'B', 'c', .....	'c'

### Cấu trúc bộ nhớ của CPU

Bộ nhớ của S7-300 được chia thành 3 vùng chính

- Vùng chứa chương trình ứng dụng. Vùng nhớ chương trình được chia thành 3 miền OB (Organisation Block): Miền chứa chương trình tổ chức.

FC (Function): Miền chứa chương trình con được tổ chức thành hàm có biến hình thức để trao đổi dữ liệu với chương trình đã gọi nó.

FB (Function Block): Miền chứa chương trình con, được tổ chức thành hàm và có khả năng trao đổi dữ liệu với bất cứ một khối chương trình nào khác. Các dữ liệu này phải được xây dựng thành một khối dữ liệu riêng (gọi là DB-Data Block).



- Vùng chứa tham số của hệ điều hành và chương trình ứng dụng, được phân chia thành 7 miền khác nhau gồm

**I (Process image Input):** Miền bộ đệm các dữ liệu cổng vào số. Trước khi bắt đầu thực hiện chương trình, PLC sẽ đọc giá trị logic của tất cả các cổng đầu vào và cất giữ chúng trong vùng nhớ I. Thông thường chương trình ứng dụng không đọc trực tiếp trạng thái logic của cổng vào số mà chỉ lấy dữ liệu của cổng vào từ bộ đệm I.

**Q (Process image output):** Miền bộ đệm các dữ liệu cổng ra số. Kết thúc giai đoạn thực hiện chương trình, PLC sẽ chuyển giá trị logic của bộ đệm Q tới các cổng ra số. Thông thường chương trình ứng dụng không trực tiếp gán giá trị tới cổng ra mà chỉ chuyển vào bộ đệm Q.

**M:** Miền các biến cờ. Chương trình ứng dụng sử dụng vùng nhớ này để lưu giữ các tham số cần thiết và có thể truy cập nó theo bit (M), Byte (MB), từ (MW), hay từ kép (MD).

**T:** Miền nhớ phục vụ bộ thời gian (Timer) bao gồm việc lưu trữ giá trị thời gian đặt trước (PV- preset value), giá trị đếm thời gian tức thời (CV-Current value) cũng như giá trị logic đầu ra của bộ timer.

**C:** Miền nhớ phục vụ đếm (counter) bao gồm việc lưu trữ giá trị đặt trước (PV-preset value), giá trị đếm tức thời (CV-Current value) cũng như giá trị logic đầu ra của bộ counter.

**PI:** Miền địa chỉ cổng vào của các module tương tự (I/O external input). Các giá trị tương tự tại cổng vào của module tương tự sẽ được module đọc và chuyển tự động theo những địa chỉ. Chương trình ứng dụng có thể truy cập miền nhớ PI theo từng byte (PIB), từng từ (PIW) hoặc theo từ kép (PID).

**PQ:** Miền địa chỉ cổng ra của các module tương tự (I/O external Output). Các giá trị theo những địa chỉ này sẽ được module đọc và chuyển tới các cổng ra tương tự. Chương trình ứng dụng có thể truy cập miền nhớ PQ theo từng byte (PQB), từng từ (PQW) hoặc theo từ kép (PQD).

- Vùng chứa các khối dữ liệu, được chia làm 2 loại

**DB (Data block):** Miền chứa các dữ liệu được tổ chức thành khối. Kích thước cũng như số lượng khối do người sử dụng quy định, phù hợp với từng bài toán điều khiển. Chương trình có thể truy cập miền này theo từng bit (DBX), byte (DBB), từ (DBW) hoặc từ kép (DBD).

**L (Local data block):** Miền dữ liệu địa phương, được các khối chương trình OB, FC, FB tổ chức và sử dụng cho các biến nhấp tức thời và trao đổi dữ liệu của biến hình thức với những khối chương trình đã gọi nó. Nội dung của một số dữ liệu trong miền nhớ này sẽ bị xoá khi kết thúc chương trình tương ứng OB, FC, FB. Miền này có thể truy nhập từ chương trình theo bit (L), byte (LB), từ (LW) hoặc từ kép (LD).

#### Những khối OB đặt biệt

- OB10: Time of day Interrupt
- OB20: Time delay Interrupt
- Hardware Interrupt

- OB 81: Powersupply fault
- OB 100: Start Up information

### Cách truy cập địa chỉ

Địa chỉ ô nhớ trong Step7-300 gồm hai phần: phần chữ và phần số. Ví dụ



**Phần chữ** chỉ vị trí và kích thước của ô nhớ. Chúng có thể là:

- M: Chỉ ô nhớ trong miền các biến cờ có kích thước 1 bit
- MB: Chỉ ô nhớ trong miền các biến cờ có kích thước 1 byte (8bit)
- MW: Chỉ ô nhớ trong miền các biến cờ có kích thước 2 byte (16bit)
- MD: Chỉ ô nhớ trong miền các biến cờ có kích thước 4 byte (32 bit)
- I: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng vào số có kích thước 1 bit
- IB: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng vào số có kích thước 1 byte
- IW: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng vào số có kích thước 1 từ
- ID: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng vào số có kích thước 1 từ kép
- Q: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng ra số có kích thước 1 bit
- QB: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng ra số có kích thước 1 byte
- QW: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng ra số có kích thước 1 từ
- QD: Chỉ ô nhớ trong miền bộ đếm cổng ra số có kích thước 1 từ kép
- PIB: Chỉ ô nhớ có kích thước 1 byte thuộc vùng peripheral input. Thường là địa chỉ cổng vào của các module tương tự.
- PIW: Chỉ ô nhớ có kích thước 2 byte thuộc vùng peripheral input. Thường là địa chỉ cổng vào của các module tương tự.
- PID: Chỉ ô nhớ có kích thước 2 từ thuộc vùng peripheral input. Thường là địa chỉ cổng vào của các module tương tự.
- PQB: Chỉ ô nhớ có kích thước 1 byte thuộc vùng peripheral output. Thường là địa chỉ cổng ra của các module tương tự.
- PQW: Chỉ ô nhớ có kích thước 2 byte thuộc vùng peripheral output. Thường là địa chỉ cổng ra của các module tương tự.
- PQD: Chỉ ô nhớ có kích thước 2 từ thuộc vùng peripheral output. Thường là địa chỉ cổng ra của các module tương tự.

**Phần số:** Chỉ địa chỉ của byte hoặc bit trong miền nhớ đã xác định. Nếu ô nhớ đã được xác định thông qua phần chữ là có kích thước 1 bit thì phần số sẽ gồm địa chỉ của byte và số thứ tự của bit trong byte đó được tách với nhau bằng dấu chấm. Ví dụ

I 1.3 Chỉ bit thứ 3 trong byte 1 của miền nhớ bộ đếm cổng vào số.

M 101.5 Chỉ bit thứ 5 trong byte 101 của miền các biến cờ M.

Q 4.5 Chỉ bit thứ 5 trong byte 4 của miền nhớ bộ đếm cổng ra số.

Trong trường hợp ô nhớ đã được xác định là byte, từ hoặc từ kép thì phần số sẽ là địa chỉ byte đầu tiên trong mảng byte của ô nhớ đó. Ví dụ

MB15 Chỉ ô nhớ có kích thước 1 byte (byte 15) trong miền các biến cờ M  
 MW 18 Chỉ ô nhớ có kích thước 1 từ gồm 2 byte 18 và 19 trong miền các biến cờ M.

MD105 Chỉ ô nhớ có kích thước 1 từ kép gồm 4 byte 105, 106, 107 và 108 trong miền các biến cờ M.

### 3.2.2 S7-200

#### CẤU TRÚC BỘ NHỚ CỦA PLC S7 – 200

Bộ nhớ của S7 – 200 có tính năng động cao, có thể đọc và ghi được trong toàn vùng, ngoại trừ phần các bit nhớ đặc biệt được ký hiệu SM (Special Memory) chỉ có thể truy cập để đọc.

Bộ nhớ có một tụ nhớ để giữ thế nuôi, duy trì dữ liệu trong một khoảng thời gian khi mất điện.

Bộ nhớ của S7 – 200 được chia thành 4 vùng :

**2.2.2.1 Vùng nhớ chương trình :** Là vùng lưu giữ các lệnh chương trình. Vùng này thuộc kiểu không bị mất dữ liệu (non – volatile), đọc / ghi được.

**2.2.2.2 Vùng nhớ tham số :** Là vùng lưu giữ các thông số như : từ khóa, địa chỉ trạm. Cũng như vùng chương trình vùng tham số thuộc kiểu đọc ghi / được .

**2.2.2.3 Vùng nhớ dữ liệu:**

Được sử dụng để trữ các dữ liệu của chương trình. Đối với CPU 214, 1KByte đầu tiên của vùng nhớ này thuộc kiểu đọc / ghi được. Vùng dữ liệu là một miền nhớ động. Nó có thể được truy cập theo từng bit, từng byte, từng từ đơn (word), hoặc theo từng từ kép (Double word) và được dùng để lưu trữ dữ liệu cho các thuật toán, các hàm truyền thông, lập bảng, các hàm dịch chuyển, xoay vòng thanh ghi, con trỏ địa chỉ ...

Vùng dữ liệu được chia thành những vùng nhớ nhỏ với các công dụng khác nhau. Chúng được ký hiệu bằng chữ cái đầu tiếng Anh, đặc trưng cho công dụng riêng của chúng :

<b>V</b>	Variable memory
<b>I</b>	Input image resister
<b>O</b>	Ouput image resister
<b>M</b>	Internal memory bits
<b>SM</b>	Special memory bits

Tất cả các miền này đều có thể truy cập theo từng bit, từng byte, từng từ đơn, hoặc từng từ kép.

#### Vùng dữ liệu của CPU 214

- **Miền V ( đọc / ghi ) :**

7	6	5	4	3	2	1	0
V0							
...							
V4095							

- **Vùng đệm cổng vào I ( đọc / ghi ):**

7	6	5	4	3	2	1	0
I0.x ( x = 0 ÷ 7 )							
...							
I7.x ( x = 0 ÷ 7 )							

- **Vùng đệm cổng ra Q ( đọc / ghi ):**

7	6	5	4	3	2	1	0
Q0.x ( x = 0 ÷ 7 )							
...							
Q7.x ( x = 0 ÷ 7 )							

- **Vùng nhớ nội M ( đọc / ghi ):**

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

M0.x ( x = 0 ÷ 7 )
...
M31.x ( x = 0 ÷ 7 )

- **Vùng nhớ đặc biệt SM ( chỉ đọc ):**

7      6      5      4      3      2      1      0
SM0.x ( x = 0 ÷ 7 )
...
SM29.x ( x = 0 ÷ 7 )

- **Vùng nhớ đặc biệt ( đọc / ghi ) :**

7      6      5      4      3      2      1      0
SM30.x ( x = 0 ÷ 7 )
...
SM85.x ( x = 0 ÷ 7 )

**Địa chỉ truy nhập được với công thức :**

- **Truy nhập theo bit :** Tên miền (+) địa chỉ byte (+). (+) chỉ số bit.

*Ví dụ :* V150.4 chỉ bit 4 của byte 150.

- **Truy nhập theo byte :** Tên miền (+) B (+) địa chỉ của byte trong miền.

*Ví dụ :* VB150 chỉ byte 150 của miền V.

- **Truy nhập theo từ :** Tên miền (+) W (+) địa chỉ byte cao của từ trong miền.

*Ví dụ :* VW150 chỉ từ đơn gồm 2 byte 150 và 151 thuộc miền V trong đó byte 150 là byte cao trong từ.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4	3	2	1	0
VB150 (byte cao)								VB151 (byte thấp)						

- **Truy nhập theo từ kép :** Tên miền (+) D (+) địa chỉ của byte cao của từ trong miền.

*Ví dụ :* VD150 là từ kép 4 byte 150, 151, 152, 153 thuộc miền V trong đó byte 150 là byte cao và 153 là byte thấp trong từ kép.

63	32	31	16	15	8	7	0
VB150 (byte cao)	VB151			VB152	VB153 (byte thấp)		

Tất cả các byte thuộc vùng dữ liệu đều có thể truy nhập được bằng con trỏ. Con trỏ được định nghĩa trong miền V hoặc các thanh ghi AC1, AC2, AC3. Mỗi con trỏ chỉ địa chỉ gồm 4 byte (từ kép).

Quy ước dùng con trỏ để truy nhập như sau :

- **&địa chỉ byte (cao) :** Là toán hạng lấy địa chỉ của byte, từ hoặc từ kép.

*Ví dụ :*

AC1 = &VB150 : Thanh ghi AC1 chứa địa chỉ byte 150 thuộc miền V

VD100 = &VW150 : Từ kép VD100 chứa địa chỉ byte cao (VB150) của từ đơn VW150 AC2 = &VD150

: Thanh ghi AC2 chứa địa chỉ byte cao (VB150) của từ kép VD150.

- **contrô :** là toán hạng lấy nội dung của byte, từ, từ kép mà con trỏ đang chỉ vào.

*Ví dụ :* như với phép gán địa chỉ trên, thì :

\*AC1 : Lấy nội dung của byte VB150.

\*VD100 : Lấy nội dung của từ đơn VW100.

\*AC2 : Lấy nội dung của từ kép VD150

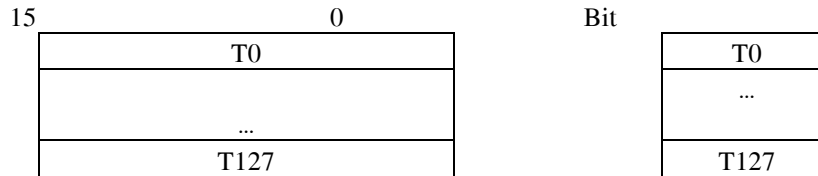
### 2.2.2.4 Vùng nhớ đối tượng

Vùng đối tượng được sử dụng để giữ dữ liệu cho các đối tượng lập trình như các giá trị tức thời, giá trị đặt trước của bộ đếm hay Timer. Dữ liệu kiểu đối tượng bao gồm các thanh ghi của Timer, bộ đếm, các bộ đếm tốc độ cao, bộ đệm vào/ra Analog và các thanh ghi Accumulator ( AC ).

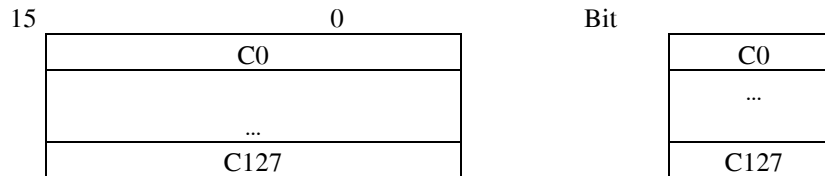
Kiểu dữ liệu đối tượng bị hạn chế rất nhiều vì các dữ liệu đối tượng chỉ được ghi theo mục đích cần sử dụng đối tượng đó.

**Vùng nhớ đối tượng được phân chia như sau :**

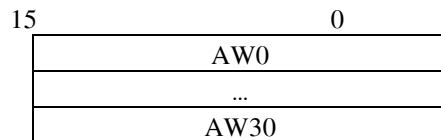
- Timer ( đọc / ghi ) :



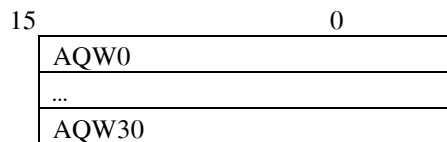
- Bộ đếm ( đọc / ghi ) :



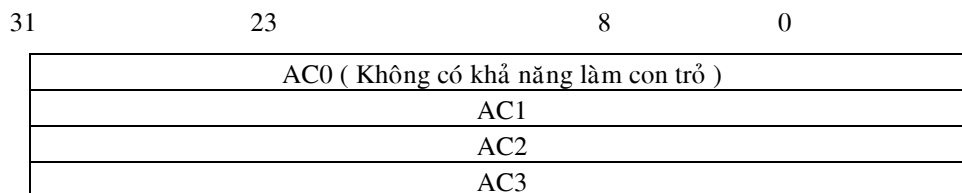
- Bộ đệm cổng vào tương tự ( chỉ đọc ) :



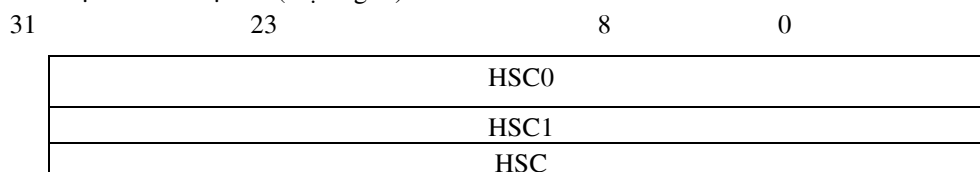
- Bộ đệm cổng ra tương tự ( chỉ ghi ) :



- Thanh ghi Accumulator ( đọc / ghi ) :



- Bộ đếm tốc độ cao ( đọc / ghi ) :



## Chương 4: Tập lệnh

### 4.1 CÁC LỆNH VÀO / RA

LAD	Mô tả	TOÁN HẠNG
n —   —	Tiếp điểm thường mở được đóng nếu n=1	n: I, Q, M, L, D, T, C
n — / —	Tiếp điểm thường đóng sẽ mở khi n=1	n: I, Q, M, L, D, T, C

**OUTPUT:** Sao chép nội dung của bit đầu tiên trong ngăn xếp vào bit được chỉ định trong lệnh. Nội dung của ngăn xếp không thay đổi.

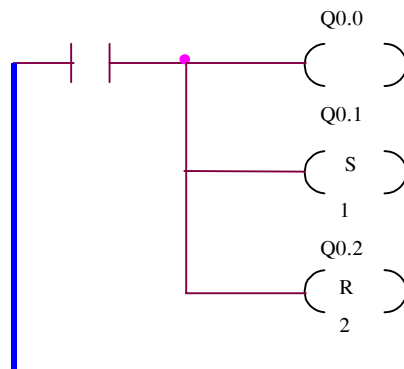
LAD	Mô tả	TOÁN HẠNG
n  —( )	Cuộn dây đầu ra được kích thích khi được cấp dòng điều khiển	n: I, Q, M, L, D, T, C

### 4.2 CÁC LỆNH GHI / XOÁ GIÁ TRỊ CHO TIẾP ĐIỂM

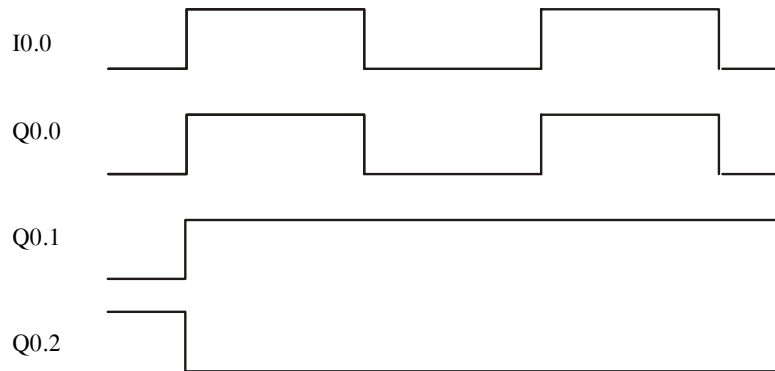
SET ( S )

RESET ( R )

Ví dụ mô tả các lệnh vào ra và S, R :



Giải đồ tín hiệu thu được ở các lối ra theo chương trình trên như sau :



Hình 4.1

### 4.3 CÁC LỆNH LOGIC ĐẠI SỐ BOOLEAN

Các lệnh làm việc với tiếp điểm theo đại số Boolean cho phép tạo sơ đồ điều khiển logic không có nhớ.

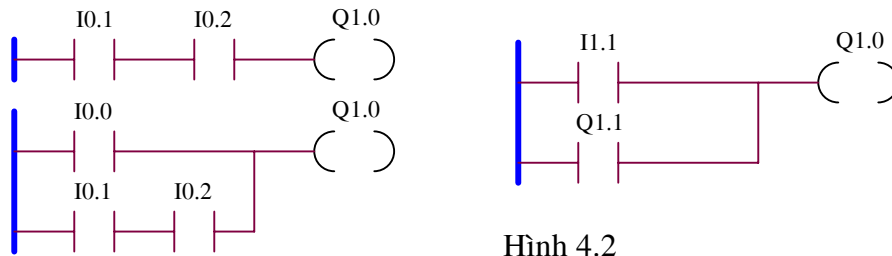
Trong LAD lệnh này được biểu diễn thông qua cấu trúc mạch mắc nối tiếp hoặc song song các tiếp điểm thường đóng hay thường mở.

Trong STL có thể sử dụng các lệnh A (And) và O (Or) cho các hàm hở hoặc các lệnh AN (And Not) và ON (Or Not) cho các hàm kín. Giá trị của ngăn xếp thay đổi phụ thuộc vào từng lệnh.

Các hàm logic boolean làm việc trực tiếp với tiếp điểm bao gồm :

**O** (Or) , **A** (And), **AN** (And Not), **ON** (Or Not)

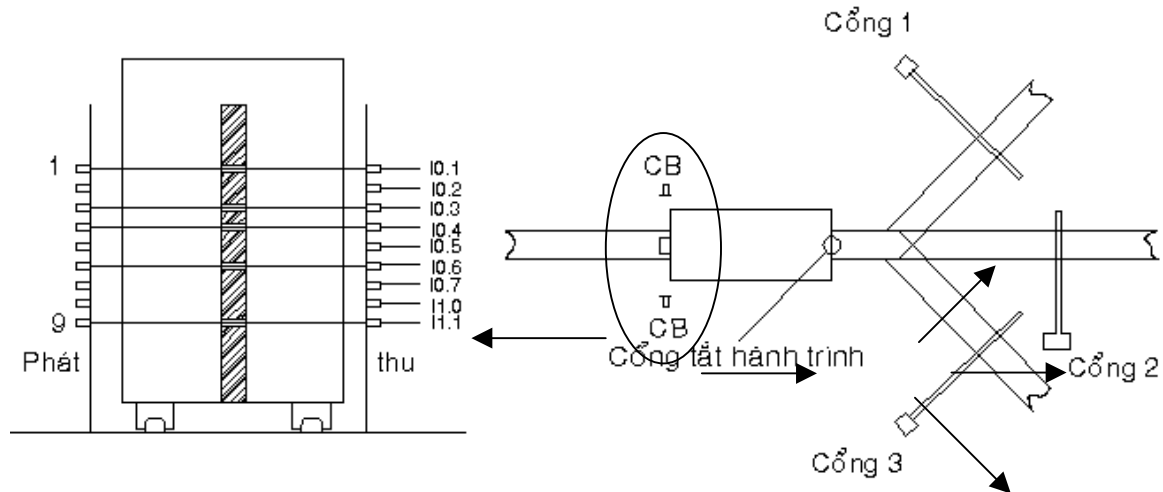
Ví dụ về việc thực hiện lệnh A ( And ), O ( Or ) và OLD theo LAD:



Hình 4.2

**Bài tập ứng dụng:****Bài 1:**

Một hệ thống phân loại xe chở hàng đơn giản trong nhà máy như sau:



I0.0: Công tắt hành trình

Q0.0: Mở cổng 1, Q0.1: Đóng cổng 1, Q0.2: Mở cổng 2, Q0.3: Đóng cổng 2, Q0.4: Mở cổng 3, Q0.5: Đóng cổng 3

Các xe sẽ cùng đi trên một ray chính sau đó tùy loại xe sẽ cho phép rẽ vào các đường khác nhau.

Sau mỗi xe có một thanh dọc có khoét lỗ (tương ứng với số). Khi tia laser (mức thấp) chiếu qua lỗ thì ngõ tương ứng sẽ lên 1. Theo hình vẽ ta sẽ có các ngõ: I0.1, I0.3, I0.4, I0.6, I1.1 sẽ lên 1 (được kích) tức xe có số 13469.

Khi xe chạy đến chạm vào công tắt hành trình (I0.0) thì PLC sẽ bắt đầu đọc mã. Tùy loại mã nhận được sẽ mở cổng tương ứng trong 5s rồi đóng cổng lại.

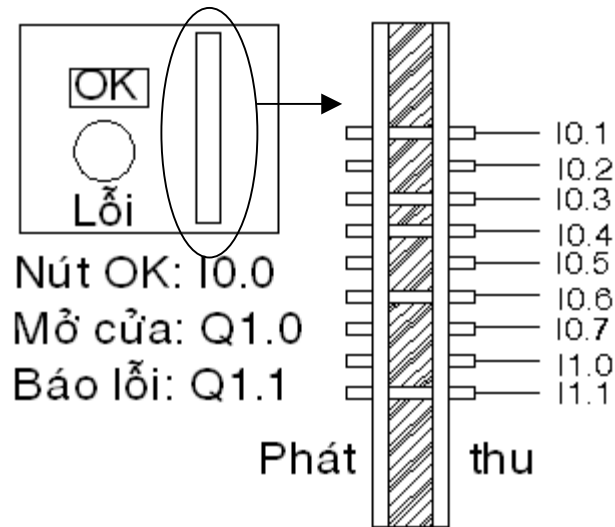
Mã 12579: cổng 1, mã 23679: cổng 2, mã 13689: cổng 3.

Viết chương trình điều khiển hệ thống. (Dùng PLC S7-300)



**Bài 2:**

Một hệ thống đọc mã thẻ đơn giản có cấu tạo như sau:



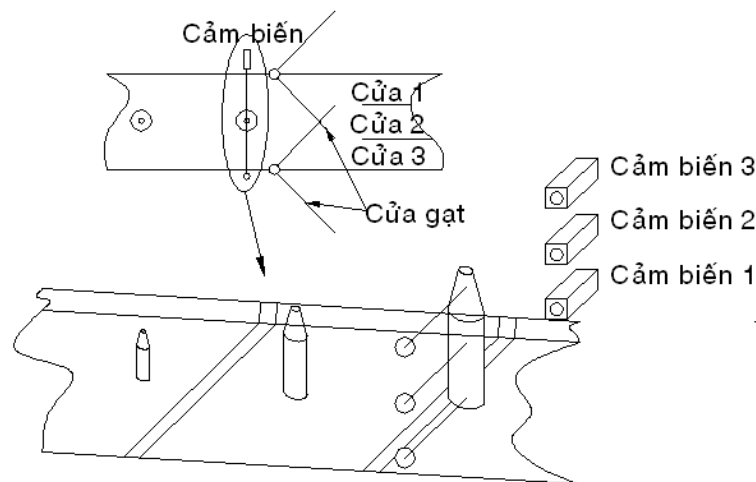
Trên thẻ có khắc lỗ (tương ứng với số). Khi ánh sáng hồng ngoại chiếu qua lỗ thì ngõ tương ứng sẽ lên 1. Theo hình vẽ ta sẽ có các ngõ: I0.1, I0.3, I0.4, I0.6, I1.1 sẽ lên 1 (được kích) tức thẻ có số 13469.

Khi chèn thẻ vào, nhấn nút OK, nếu đúng mã thì mở cửa (Q1.0) 5s rồi đóng lại, nếu sai sẽ bật đèn báo lỗi (Q1.1).

Viết chương trình để hệ thống chỉ nhận dạng 3 loại thẻ sau: 12579, 23679, 13689. (Dùng PLC S7-300)

**Bài 3:**

Một hệ thống phân loại sản phẩm có cấu tạo như sau:



Hệ thống sẽ phân ra 3 loại chày theo 3 chiều cao khác nhau do 3 cảm biến quang xác định.

Loại 1 (Cao nhất, cả 3 cảm biến điều lên mức 1): Sẽ đi theo đường 1.

Loại 2 (Cao thứ 2, cảm biến 1 và 2 sẽ lên mức 1, cảm biến 3 ở mức 0): Sẽ đi theo đường 2.

Loại 3 (Thấp nhất, chỉ có cảm biến 1 lên mức 1, cảm biến 2 và 3 ở mức 0): Sẽ đi theo đường 3.

Việc chọn đường đi do vị trí của cửa gạt quyết định.

Ngõ vào → Start: I0.0, Stop: I0.1, CB 1: I0.2, CB 2: I0.3, CB 3: I0.4.

Ngõ ra → Cửa mở sang 1: Q0.0, Cửa mở sang 3: Q0.1.

*Chú ý: Cảm biến quang khi bị chắn ngang thì sẽ lên mức 1. Khoá lẩn khi điều khiển cửa gạt. Cửa ở vị trí 2 khi Q0.0 và Q0.1 ở mức 0.*

#### 4.4 TIMER

Timer là bộ tạo thời gian trễ giữa tín hiệu vào và tín hiệu ra nên trong điều khiển thường được gọi là khâu trễ. Các công việc điều khiển cần nhiều chức năng Timer khác nhau. Một Word (16bit) trong vùng dữ liệu được gán cho một trong các Timer.

Một Timer có các ngõ vào và ngõ ra tương ứng như sau:

Ngõ vào Start (bắt đầu): Timer được bắt đầu với sự thay đổi tín hiệu từ mức “0” lên mức “1” ở ngõ vào Start của nó. Thời gian (thí dụ L S5T#1S) và hoạt động của Timer (thí dụ SP T1) phải được lập trình ngay sau hoạt động quét điều kiện bắt đầu (thí dụ A I0.0).

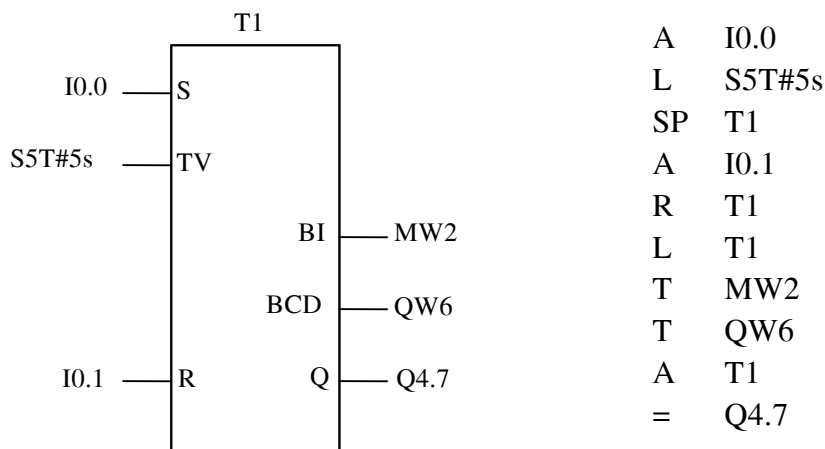
Ngõ vào Reset (xóa): tín hiệu mức “1” ở ngõ vào Reset làm dừng Timer. Lúc này thời gian hiện hành được đặt về 0 và ngõ ra Q của timer được xoá về “0”.

Các ngõ ra số: giá trị thời gian thực sự có thể đọc được từ hai ngõ ra số BI (số nhị phân) và BCD (số thập phân). Ví dụ xuất ra hiển thị dạng số ở ngõ ra.

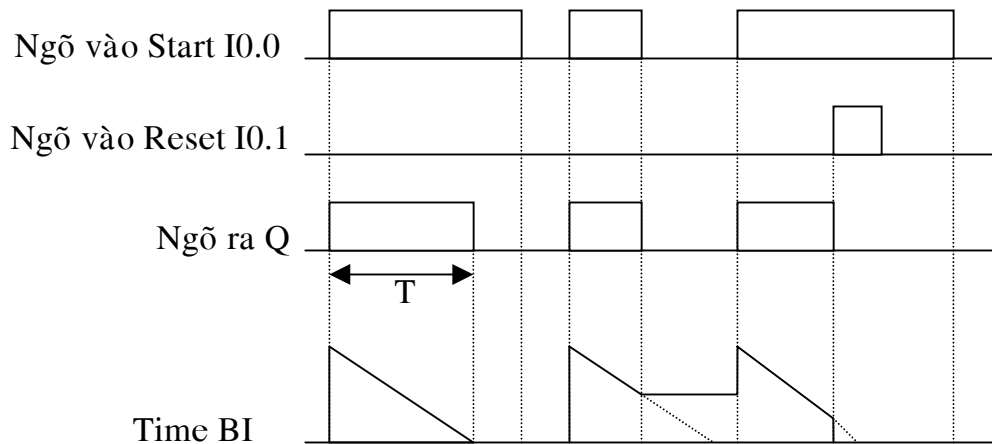
Ngõ ra nhị phân: trạng thái tín hiệu ở ngõ ra nhị phân Q của Timer phụ thuộc vào chức năng Timer được lập trình. Thí dụ khi bắt đầu, ngõ ra Q ở mức “1” khi có tín hiệu Start và Timer đang chạy.

Thí dụ:

Chương trình và giản đồ định thì của bộ định thì xung ( pulse Timer ):



Giải đồ định thì:

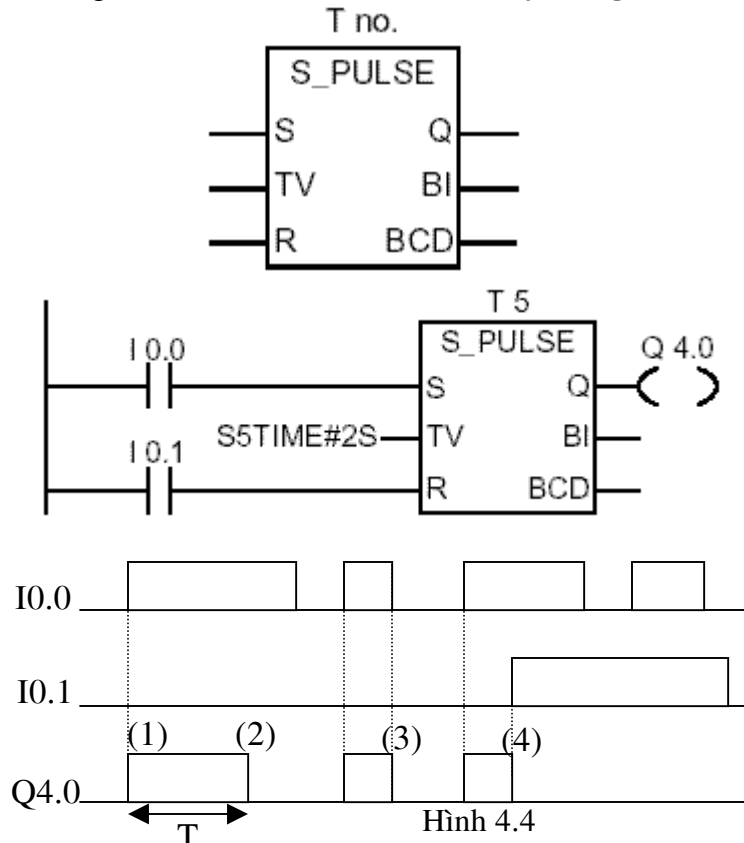


Hình 4.3

S7-300 có từ 128 Timer được chia làm nhiều loại khác nhau: Định thời xung (Pulse Timer), định thời xung mở rộng (extended-pulse Timer), định thời ON trễ (ON delay Timer), định thời gian ON trễ có chốt (latching ON delay Timer) và định thời OFF trễ (OFF delay Timer).

4.4.1 Pulse Timer (SP):

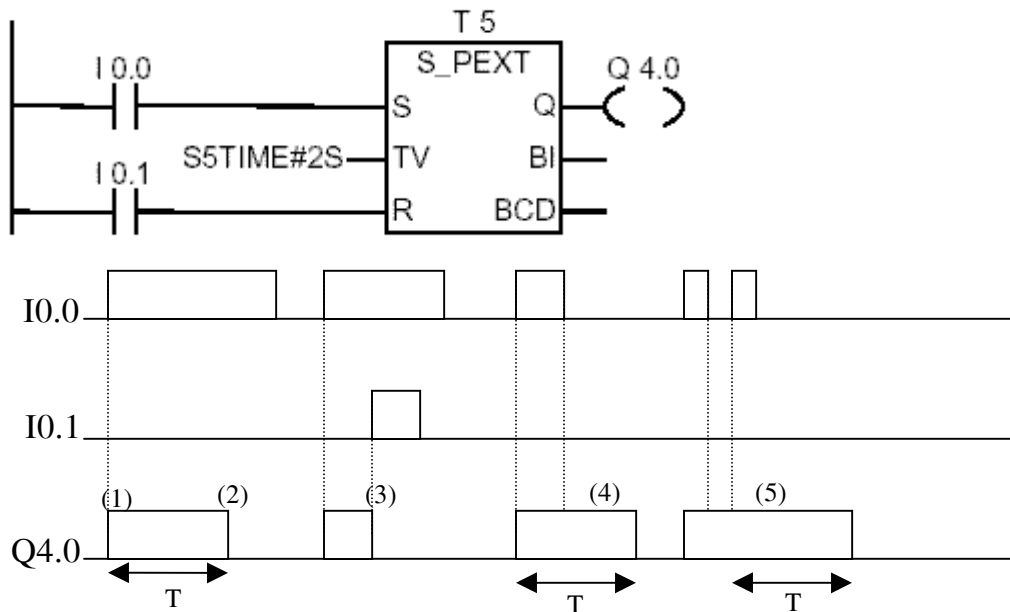
Ngõ ra của “pulse Timer” là “1” sau khi Timer được bắt đầu (1). Ngõ ra bị Reset nếu quá thời gian lập trình (2), nếu tín hiệu Start bị reset về “0” (3) hay nếu có một tín hiệu “1” đưa vào ngõ Reset của Timer (4). **Phải duy trì ngõ S**



Hình 4.4

#### 4.4.2 Extended pulse Timer (SE):

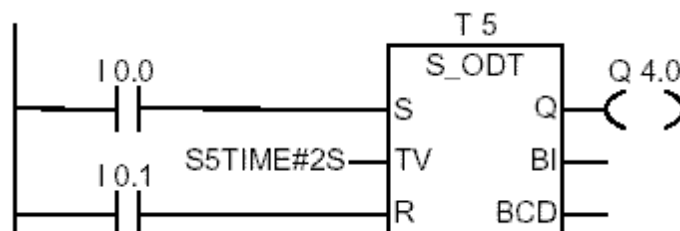
Ngõ ra của Extended Pulse Timer là “1” sau khi Timer được bắt đầu (1). Ngõ ra bị reset nếu quá thời gian được lập trình (2), hoặc ngõ vào Reset bị tác động. Việc reset ngõ vào Start trong quá trình Timer đang chạy (4) không làm cho ngõ ra bị reset. Nếu sự thay đổi tín hiệu “1” được lập lại trong quá trình Timer đang chạy thì Timer được bắt đầu lại, nghĩa là được kích trở lại (5). **Không cần duy trì ngõ S**

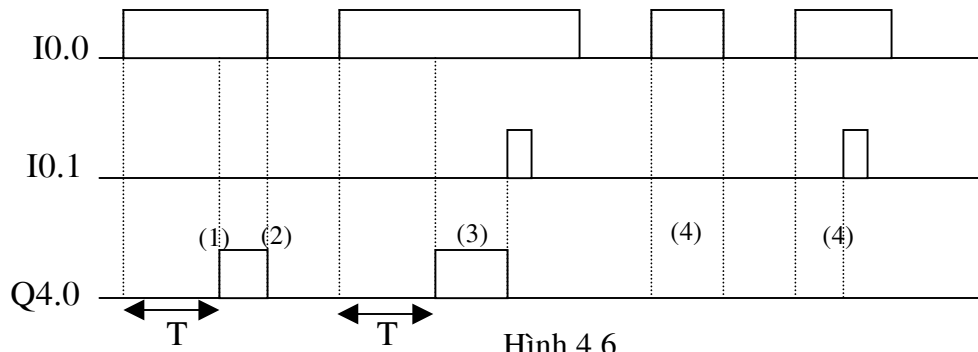


Hình 4.5

#### 4.4.3 On delay Timer (SD):

Ngõ ra On Delay Timer là “1” nếu quá thời gian được lập trình, và ngõ vào Start vẫn còn ở mức “1” (1). Kết quả là việc đặt ngõ vào Start lên “1” làm cho ngõ ra Q sẽ được đặt lên “1” với thời gian trì hoãn tương ứng đã được lập trình. Ngõ ra bị reset nếu ngõ vào Start bị reset(2) hoặc nếu có tín hiệu mức “1” ở ngõ vào Reset của Timer(3). Việc reset ngõ vào Start hoặc đưa “1” vào ngõ vào Reset của Timer trong khi Timer đang chạy (4) không làm cho ngõ ra đặt lên mức “1”. **Phải duy trì ngõ S**

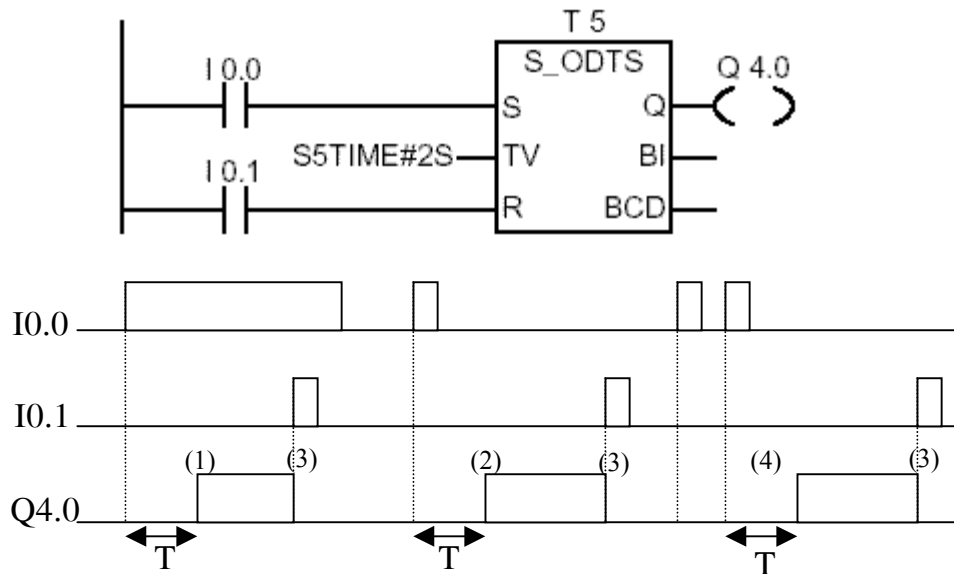




Hình 4.6

**4.4.4 Latching ON delay Timer (SS): (On delay không cần duy trì)**

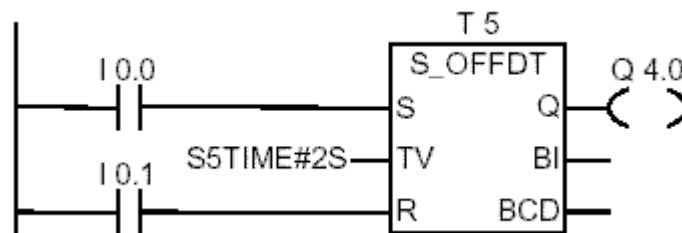
Ngõ ra của SS là “1” nếu vượt quá thời gian được lập trình (1). Ngõ ra Q của Timer vẫn giữ mức “1” (được chốt) ngay cả ngõ vào bị reset trong khi Timer đang chạy (2). Ngõ ra chỉ bị reset khi ngõ vào Reset của Timer bị tác động (3). Việc set và reset tiếp theo của ngõ vào Start trong khi Timer đang chạy chỉ được thực hiện khi nó bắt đầu được kích lại (4).

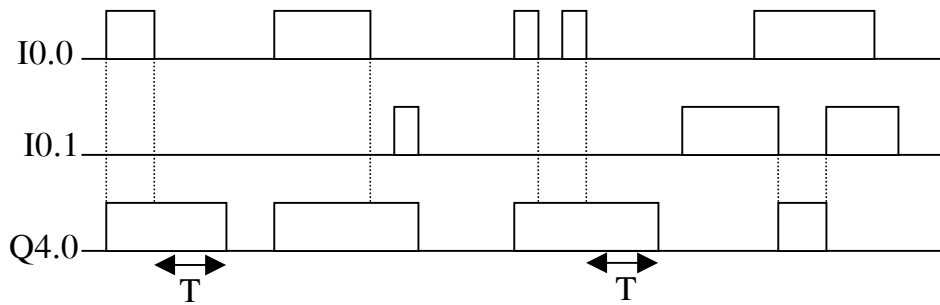


Hình 4.7

**4.4.5 OFF delay Timer (SF):**

Ngõ ra Q của SF được đặt lên mức “1” nếu có sự thay đổi tín hiệu từ “0” lên “1” ở ngõ vào Start. Nếu ngõ vào Start bị reset, ngõ ra vẫn giữ cho đến khi quá thời gian lập trình (2).





Hình 4.8

**Bài tập ứng dụng:**

Đèn 1: Q0.1    Đèn 2: Q0.2    Đèn 3: Q0.3

Start: I0.0, Stop: I0.1

Viết chương trình điều khiển 3 đèn theo trình tự:

Start → Đèn 1 sáng 1s → Đèn 2 sáng 1s → Đèn 3 sáng 1s → Đèn 1 và 3 sáng 2s →  
Đèn 2 sáng 2s → Lặp lại.

Stop → Dừng chương trình.

**4.5 COUNTER**

Trong công nghiệp, bộ đếm rất cần cho các quá trình đếm khác nhau như: đếm số chai, đếm xe hơi, đếm số chi tiết, ...

Một word 16bit (counter word) được lưu trữ trong vùng bộ nhớ dữ liệu hệ thống của PLC dùng cho mỗi counter. Số đếm được chứa trong vùng nhớ dữ liệu hệ thống dưới dạng nhị phân và có giá trị trong khoảng 0 đến 999.

Các phát biểu dùng để lập trình cho bộ đếm có các chức năng như sau:

**Đếm lên (CU = Counting Up):** Tăng counter lên 1. Chức năng này chỉ được thực hiện nếu có một tín hiệu dương ( từ “0” chuyển sang “1” ) xảy ra ở ngõ vào CU. Một khi số đếm đạt đến giới hạn trên là 999 thì nó không được tăng nữa.

**Đếm xuống (CD = Counting Down):** Giảm counter đi 1. Chức năng này chỉ được thực hiện nếu có sự thay đổi tín hiệu dương ( từ “0” sang “1” ) ở ngõ vào CD. Một khi số đếm đạt đến giới hạn dưới 0 thì nó không còn giảm được nữa.

**Đặt counter ( S = Setting the counter):** Counter được đặt với giá trị được lập trình ở ngõ vào PV khi có cạnh lên ( có sự thay đổi từ mức “0” lên mức “1” ) ở ngõ vào S này. Chỉ có sự thay đổi mới từ “0” sang “1” ở ngõ vào S này mới đặt giá trị cho counter một lần nữa.

**Đặt số đếm cho Counter ( PV = Presetting Value ):** Số đếm PV là một word 16 bit ở dạng BCD. Các toán hạng sau có thể được sử dụng ở PV là:

Word IW, QW, MW,...

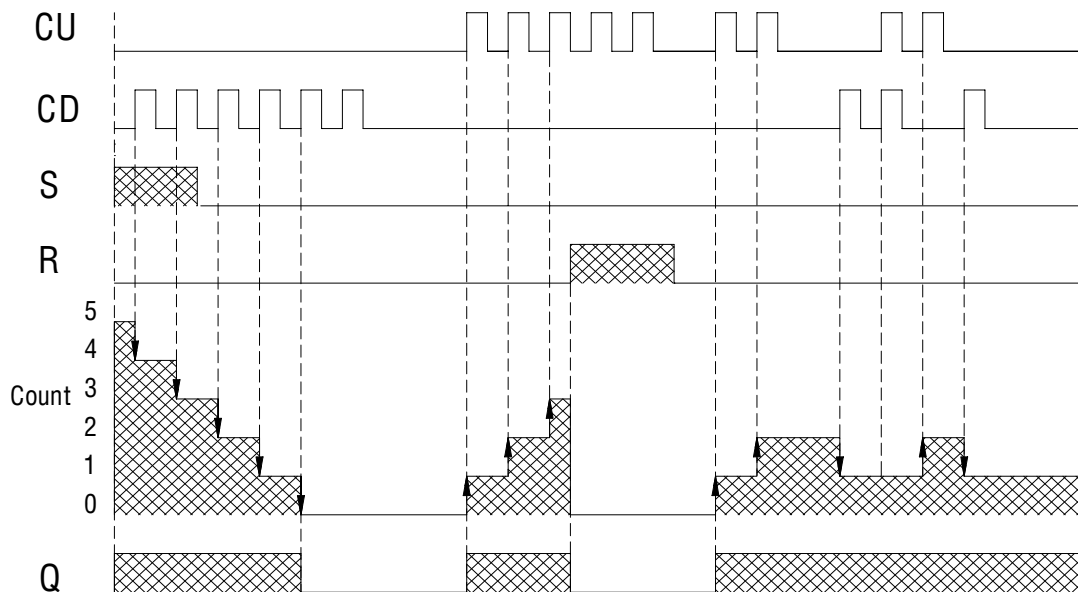
Hằng số: C#0,...,999

Xóa Counter ( R = Resetting the counter ): Counter được đặt về 0 (bị reset) nếu ở ngõ vào R có sự thay đổi tín hiệu từ mức “0” lên mức “1”. Nếu tín hiệu ở ngõ vào R là “0” thì không có gì ảnh hưởng đến bộ đếm.

Quét số của số đếm: (CV, CV\_BCD ): số đếm hiện hành có thể được nạp vào thanh ghi tích lũy ACCU như một số nhị phân (CV = Counter Value) hay số thập phân ( CV\_BCD ). Từ đó có thể chuyển các số đếm đến các vùng toán hạng khác.

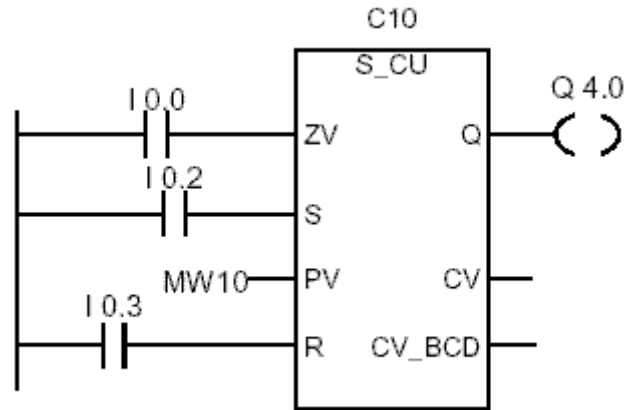
Quét nhị phân trạng thái tín hiệu của Counter (Q): ngõ ra Q của counter có thể được quét để lấy tín hiệu của nó. Nếu Q = “0” thì counter ở zero, nếu Q = “1” thì số đếm ở counter lớn hơn zero.

Biểu đồ chức năng:



Hình 4.9

### 4.5.1 Up counter



Hình 4.10

I0.2: đặt giá trị bắt đầu và cho phép Counter đếm.

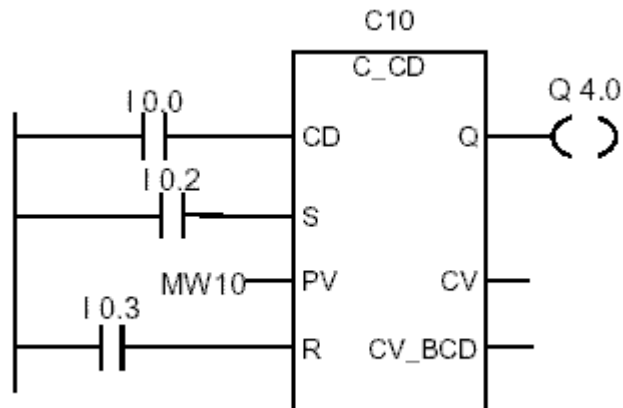
I0.0: Counter đếm lên

I0.3: Reset Counter

Q4.0 = 1 khi giá trị của Counter khác 0.

MW10: chứa giá trị bắt đầu đếm cho Timer.

### 4.5.2 Down counter



Hình 4.11

I0.2: đặt giá trị bắt đầu và cho phép Counter đếm.

I0.0: Counter đếm xuống

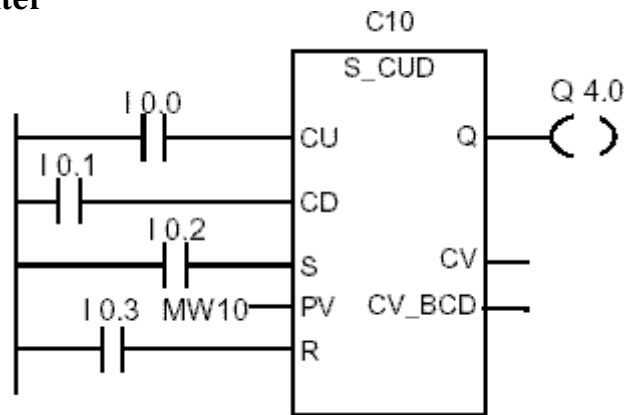
I0.3: Reset Counter

Q4.0 = 1 khi giá trị của Counter khác 0.

MW10: chứa giá trị bắt đầu đếm cho Timer.



### 4.5.3 Up-Down Counter



Hình 4.12

I0.2: đặt giá trị bắt đầu và cho phép Counter đếm.

I0.0: Counter đếm lên

I0.1: Counter đếm xuống

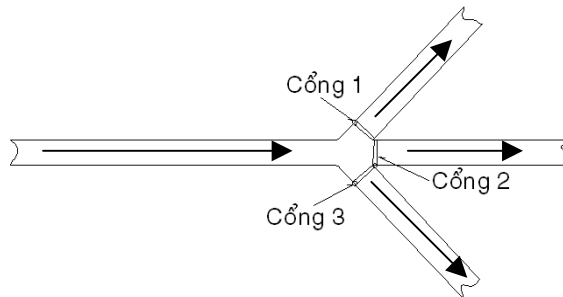
I0.3: Reset Counter

Q4.0 = 1 khi giá trị của Counter khác 0.

MW10: chứa giá trị bắt đầu đếm cho Timer.

#### **Bài tập ứng dụng:**

Một bầy gia súc 300 con, được phân ra 3 chuồng khác nhau, mỗi chuồng 100 con.



Gia súc sẽ đi theo một đường chung sao đó sẽ phân ra mỗi chuồng 100 con.

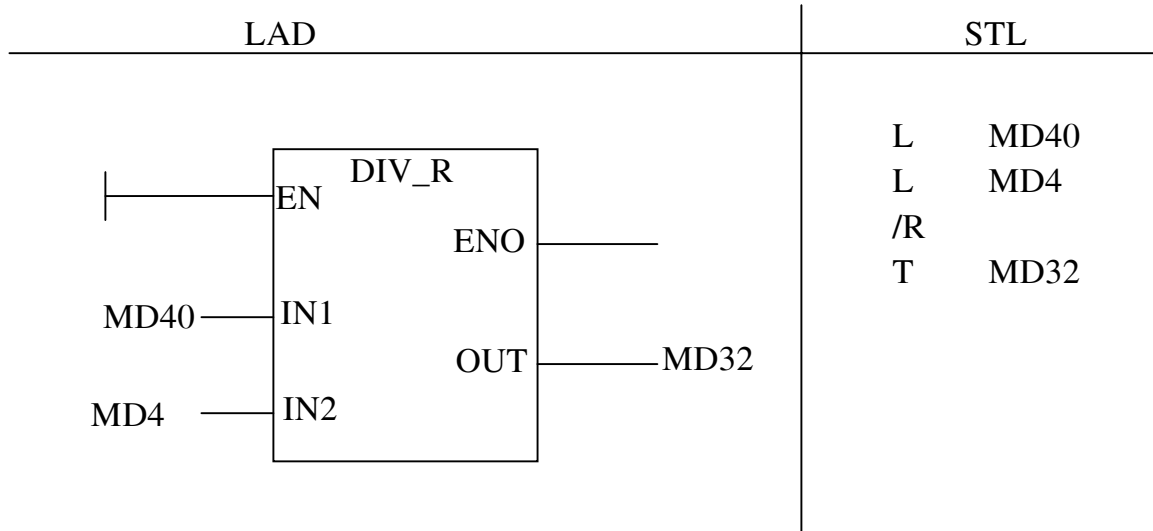
Nhấn Start → Mở cổng 1 cho gia súc vào (100 con) → đóng cổng 1, mở cổng 2 (100 con) → đóng cổng 2, mở cổng 3 (100 con) → đóng cổng 3.

Hãy giúp nông trại:

- Thiết kế phần cứng cho hệ thống điều khiển
- Viết chương trình điều khiển (dùng PLC S7-300)

## 4.6 LỆNH TOÁN HỌC CƠ BẢN

LAD	STL
<p>Diagram showing the LAD implementation of the <b>ADD_I</b> instruction. The EN input is connected to a normally open contact. The IN1 input is connected to MW4, and the IN2 input is connected to MW10. The ENO output is shown as a short line. The OUT output is connected to MW6.</p>	<pre>L   MW4 L   MW10 +I T   MW6</pre>
<p>Diagram showing the LAD implementation of the <b>SUB_I</b> instruction. The EN input is connected to a normally open contact. The IN1 input is connected to MW5, and the IN2 input is connected to MW11. The ENO output is shown as a short line. The OUT output is connected to MW7.</p>	<pre>L   MW5 L   MW11 -I T   MW7</pre>
<p>Diagram showing the LAD implementation of the <b>MUL_R</b> instruction. The EN input is connected to a normally open contact. The IN1 input is connected to MD6, and the IN2 input is connected to MD12. The ENO output is shown as a short line. The OUT output is connected to MD66.</p>	<pre>L   MD6 L   MD12 *R T   MD66</pre>



S7 – 300 có nhiều lệnh cho phép tính toán số học. Tất cả những câu lệnh có cùng một định dạng.

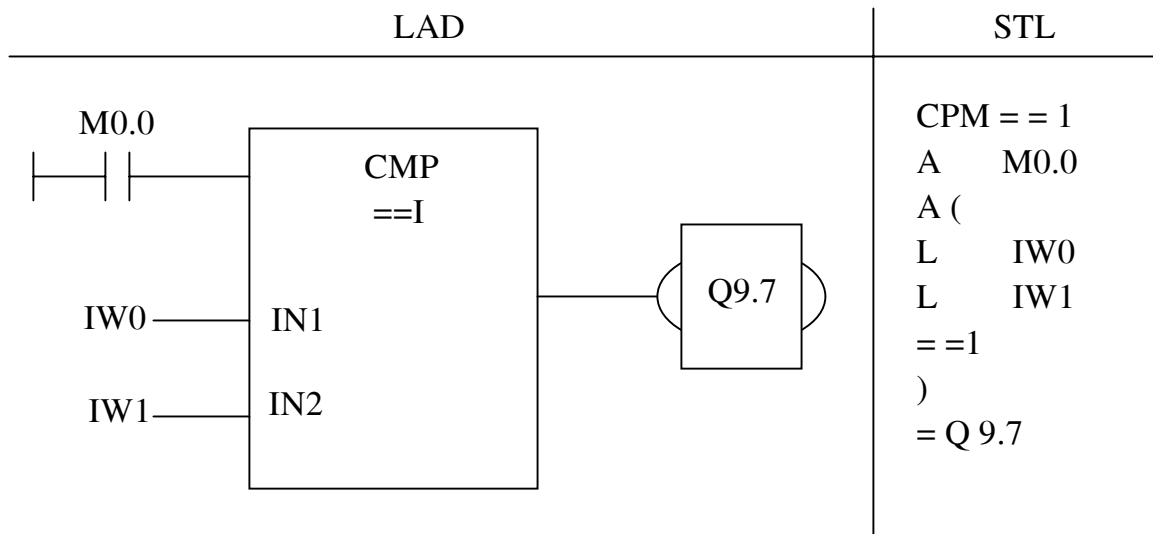
- EN      Lệnh được thực hiện nếu có sự thay đổi tín hiệu từ mức “0” lên mức “1” ở ngõ vào EN
- ENO     Nếu kết quả nằm ngoài phạm vi cho phép của loại dữ liệu tương ứng thì cờ tràn (bit tràn) OV và cờ tràn có nhớ (bit tràn có nhớ) OS sẽ được set lên “1” và ENO = “0”. Qua đó các phép tính tiếp theo qua ENO sẽ không được thực hiện.
- IN1, IN2   Giá trị tại IN1 được đọc vào như toán tử thứ nhất và giá trị tại IN2 được đọc vào như toán tử thứ 2. (Chú ý sự tương thích của kiểu dữ liệu và kích thước ô nhớ)
- OUT      Kết quả của phép tính toán học được lưu tại ngõ ra out. (Chú ý sự tương thích của kiểu dữ liệu và kích thước ô nhớ)

#### Các câu lệnh:

Cộng	ADD_I	Cộng số nguyên
	ADD_DI	Cộng số nguyên kép
	ADD_R	Cộng số nguyên thực
Trừ	SUB_I	Trừ số nguyên
	SUB_DI	Trừ số nguyên kép
	SUB_R	Trừ số thực
Nhân	MUL_I	Nhân số nguyên
	MUL_DI	Nhân số nguyên kép
	MUL_R	Nhân số thực
Chia	DIV_I	Chia số nguyên
	DIV_DI	Chia số nguyên kép
	DIV_R	Chia số thực

## 4.7 LỆNH XỬ LÝ DỮ LIỆU

### 4.7.1 Lệnh So Sánh



Có thể dùng lệnh so sánh để so sánh các cặp giá trị số sau:

I: So sánh những số nguyên ( dựa trên cơ sở số **16bit**)

D: So sánh những số nguyên ( dựa trên cơ sở số **32bit**)

R: So sánh những số thực ( dựa trên cơ sở số thực **32bit**).

Nếu kết quả so sánh là TRUE thì ngõ ra của phép toán là “1” ngược lại ngõ ra của phép toán là “0”.

Sự so sánh ở ngõ ra và ngõ vào tương ứng với các loại sau:

== (I, D, R) IN1 bằng IN2

<> (I, D, R) IN1 không bằng IN2

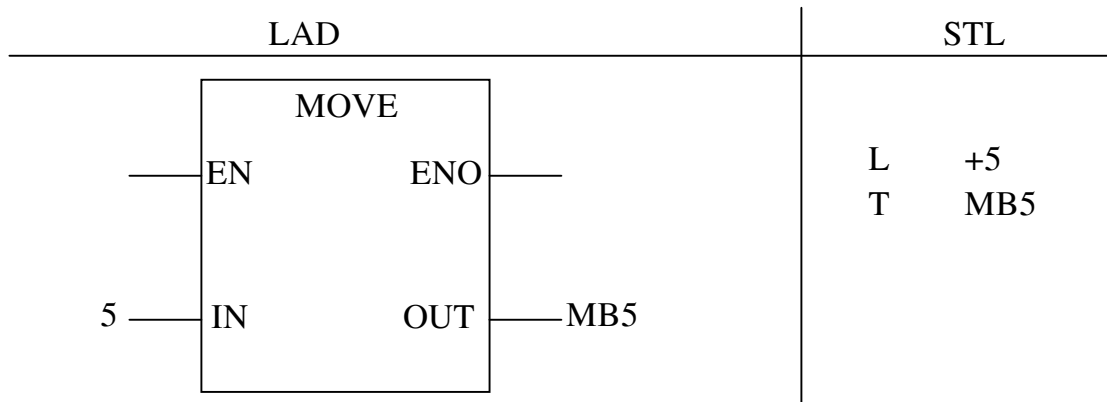
> (I, D, R) IN1 lớn hơn IN2

< (I, D, R) IN1 nhỏ hơn IN2

>= (I, D, R) IN1 lớn hơn hoặc bằng IN2

<= (I, D, R) IN1 nhỏ hơn hoặc bằng IN2.

### 4.7.2 Lệnh nạp và truyền dữ liệu

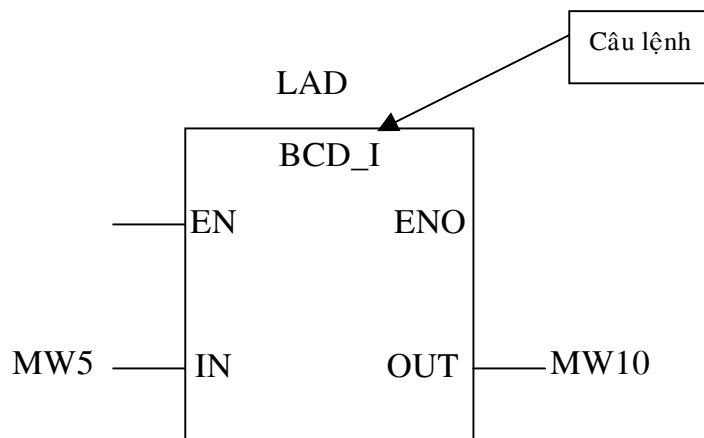


Khi có tín hiệu EN thì lệnh sẽ chuyển giá trị ở ngõ vào IN vào ô nhớ ở ngõ ra OUT. Ngõ vào IN có thể là số hoặc ô nhớ, ngõ ra OUT chỉ có thể là ô nhớ. Kiểu dữ liệu giữa ngõ IN và ngõ OUT phải tương thích nhau. Ví dụ

Nếu ngõ vào là MW thì ngõ ra cũng phải là MW hoặc MD

Nếu ngõ vào là số nguyên thì ngõ ra phải là MW hoặc MD.

### 4.7.3 Các lệnh chuyển đổi dữ liệu



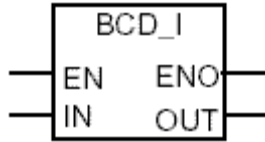
Hình 4.13

S7 – 300 có nhiều lệnh cho phép chuyển đổi các kiểu dữ liệu. Tất cả những câu lệnh có cùng một định dạng.

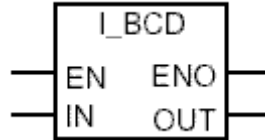
- EN      Lệnh được thực hiện nếu có sự thay đổi tín hiệu từ mức “0” lên mức “1” ở ngõ vào EN
- ENO     Lên 1 nếu phép chuyển đổi được thực hiện.
- IN      Dữ liệu cần chuyển đổi . Có thể là hằng hoặc ô nhớ (phải tương thích kiểu dữ liệu và kích thước ô nhớ) (I, Q, M, Const, D, L...)
- OUT     Kết quả của phép chuyển đổi được lưu tại ngõ ra out. Chỉ có thể là ô nhớ (phải tương thích kiểu dữ liệu và kích thước ô nhớ). (I, Q, M, D, L...)

**Các câu lệnh**

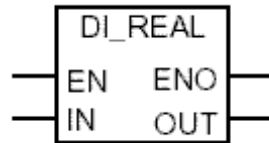
**BCD\_I:** Chuyển đổi số nhị phân thập phân 16 bit thành số nguyên 16 bit và kết quả ghi vào OUT .



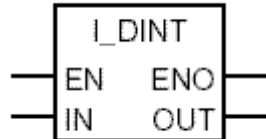
**I\_BCD:** Chuyển đổi số nguyên 16 bit IN thành số nhị phân thập phân 16 bit và kết quả ghi vào OUT.



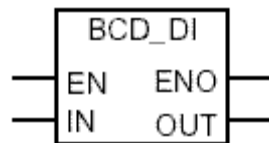
**DI\_REAL:** Chuyển đổi số nguyên 32 bit có dấu IN thành số thực 32 bit và ghi kết quả vào OUT.



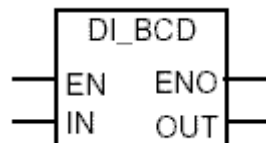
**I\_DINT:** Chuyển đổi số nguyên 16 bit thành số nguyên 32 bit và ghi kết quả vào OUT.



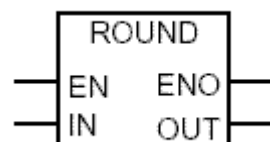
**BCD\_DI:** Chuyển đổi số BCD thành số nguyên 32 bit và ghi kết quả vào OUT.



**DI\_BCD:** Chuyển đổi số nguyên 32 bit thành số BCD và ghi kết quả vào OUT.



Làm tròn giá trị ngõ vào thành số nguyên và ghi kết quả vào OUT.



## Chương 5: Ngôn ngữ lập trình Step7

### 5.1 CÀI ĐẶT STEP 7

Cấu hình phần cứng

Để cài đặt STEP 7 yêu cầu tối thiểu cấu hình như sau:

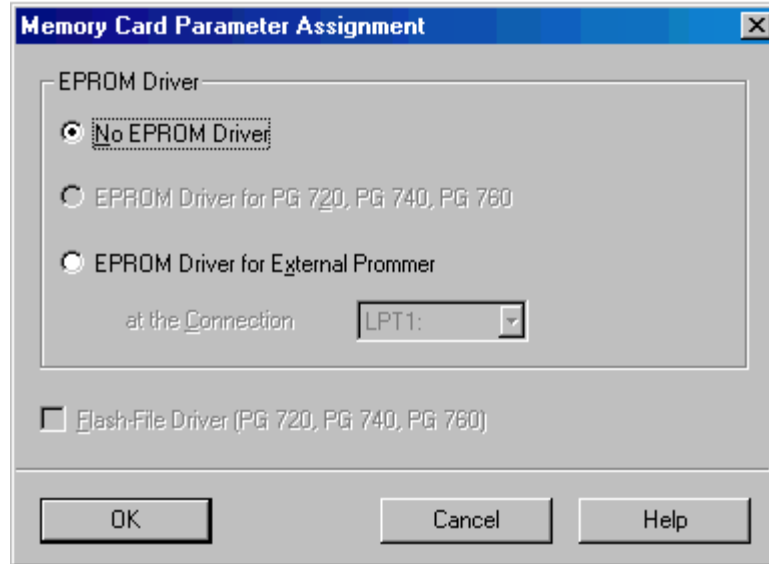
- 80486 hay cao hơn, đề nghị Pentium
- Đĩa cứng trống: Tối thiểu 300MB
- RAM: > 32MB, đề nghị 64MB
- Giao tiếp: CP5611, MPI card hay tiếp hợp PC để lập trình với mạch nhớ
- Mouse: Có
- Hệ điều hành: Windows 95/ 98/ NT

Có nhiều phiên bản của bộ phần mềm gốc của STEP 7 hiện có tại Việt Nam. Đang được sử dụng nhiều nhất là phiên bản 4.2 và 5.0. Trong khi phiên bản 4.2 khá phù hợp với những PC có cấu hình trung bình nhưng lại đòi hỏi phải tuyệt đối có bản quyền thì phiên bản 5.0, đòi hỏi cấu hình PC phải mạnh tốc độ cao, có thể chạy ở chế độ không cài bản quyền (ở mức hạn chế).

Phần lớn các đĩa gốc của STEP 7 đều có khả năng tự thực hiện chương trình cài đặt (autorun). Bởi vậy ta chỉ cần bỏ đĩa vào và thực hiện theo những chỉ dẫn. Ta cũng có thể chủ động thực hiện cài đặt bằng cách gọi chương trình **setup.exe** có trên đĩa. Công việc cài đặt STEP 7 nói chung không khác gì nhiều so với việc cài đặt các phần mềm ứng dụng khác như Windows, Office...

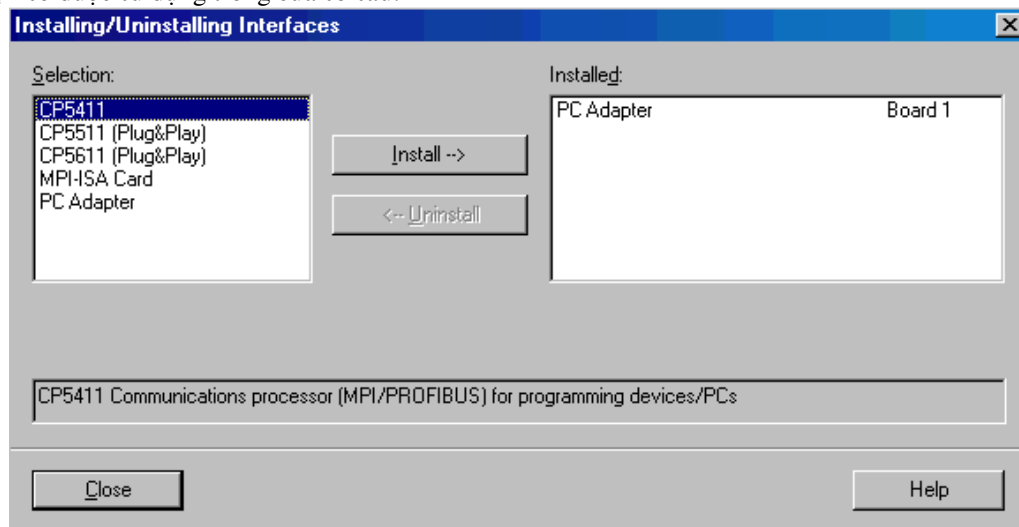
Tuy nhiên, so với các phần mềm khác thì việc cài đặt STEP 7 sẽ có vài điểm khác biệt cần được giải thích rõ thêm:

- **Khai báo mã hiệu sản phẩm:** Mã hiệu sản phẩm luôn đi kèm theo phần mềm STEP 7 và in ngay trên đĩa chứa bộ cài STEP 7. Khi trên màn hình hiện ra cửa sổ yêu cầu cho biết mã hiệu sản phẩm, ta điền đầy đủ vào tất cả các mục trong ô cửa sổ đó thì mới có thể tiếp tục cài đặt phần mềm.
- **Đăng ký bản quyền:** Bản quyền của STEP 7 nằm trên một đĩa mềm riêng (thường có màu vàng hoặc đỏ). Ta có thể cài đặt bản quyền trong quá trình cài đặt hay sau khi cài đặt phần mềm xong thì chạy chương trình đăng ký **AuthorsW.exe** có trên đĩa CD cài đặt.
- **Khai báo thiết bị đốt EPROM:** Chương trình STEP 7 có khả năng đốt chương trình ứng dụng lên thẻ EPROM cho PLC. Nếu máy tính của ta có thiết bị đốt EPROM thì cần thông báo cho STEP 7 biết khi trên màn hình xuất hiện cửa sổ (hình dưới):



Hình 5.1 Cài đặt thiết bị đối EPROM

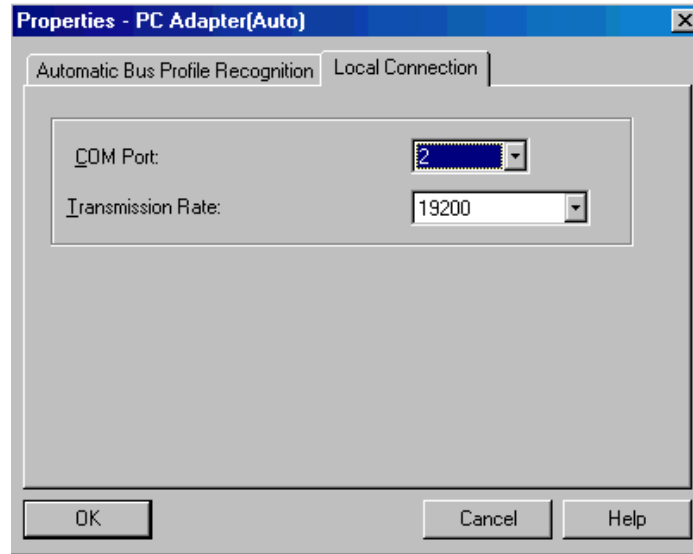
**Chọn giao diện PC/PLC:** Chương trình được cài đặt trên PG/PC để hỗ trợ việc soạn thảo cấu hình phần cứng cũng như chương trình cho PLC. Ngoài ra, STEP 7 còn có khả năng quan sát việc thực hiện chương trình của PLC. Muốn như vậy ta cần tạo bộ giao diện ghép nối giữa PC và PLC để truyền thông tin, dữ liệu. STEP 7 có thể được ghép nối giữa PC và PLC qua nhiều bộ giao diện khác nhau và ta có thể chọn giao diện sẽ được sử dụng trong cửa sổ sau:



Hình 5.2 Các bộ giao diện có thể chọn

Sau khi chọn bộ giao diện ta phải cài đặt tham số làm việc cho nó thông qua cửa sổ màn hình dưới đây khi chọn mục “**Set PG/PC Interface...**”.






Hình 5.3 Cài đặt thông số cho bộ giao diện

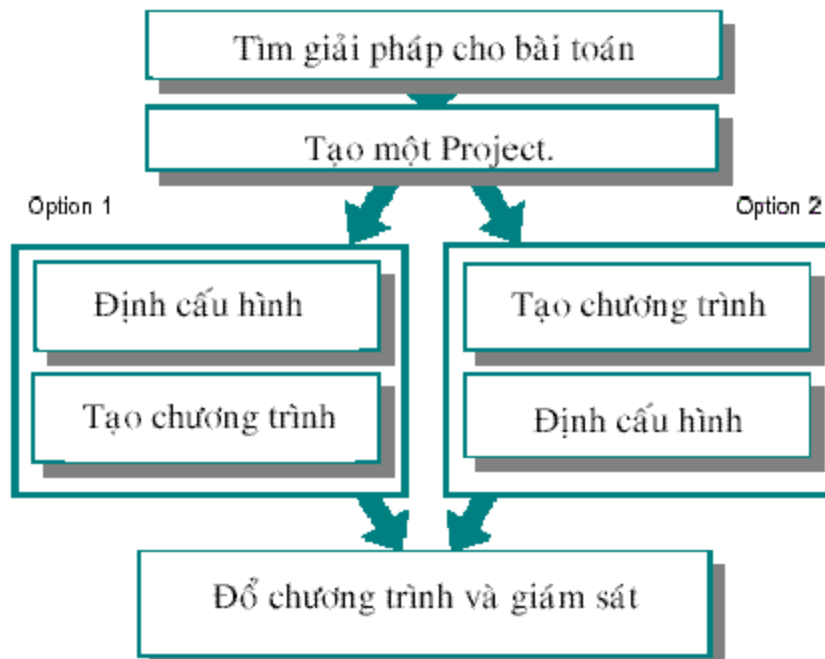
**Đặt tham số làm việc:**

Sau khi cài đặt xong STEP 7, trên màn hình desktop sẽ xuất hiện biểu tượng của phần mềm STEP 7.



Hình 5.4 Biểu tượng của STEP 7

Đồng thời trong menu  của Windows cũng có thư mục Simatic với tất cả các tên của những thành phần liên quan, từ các phần mềm trợ giúp đến các phần mềm cài đặt cấu hình, chế độ làm việc của STEP 7 ....

**5.2 TRÌNH TỰ CÁC BƯỚC THIẾT KẾ CHƯƠNG TRÌNH ĐIỀU KHIỂN**

### 5.3 KHỞI ĐỘNG CHƯƠNG TRÌNH TẠO PROJECT

Chương trình quản lý SIMATIC là giao diện đồ họa với người dùng bằng chương trình soạn thảo trực tuyến/ngoại tuyến đối tượng S7 (đề án, tập tin người dùng, khối, các trạm phần cứng và công cụ)

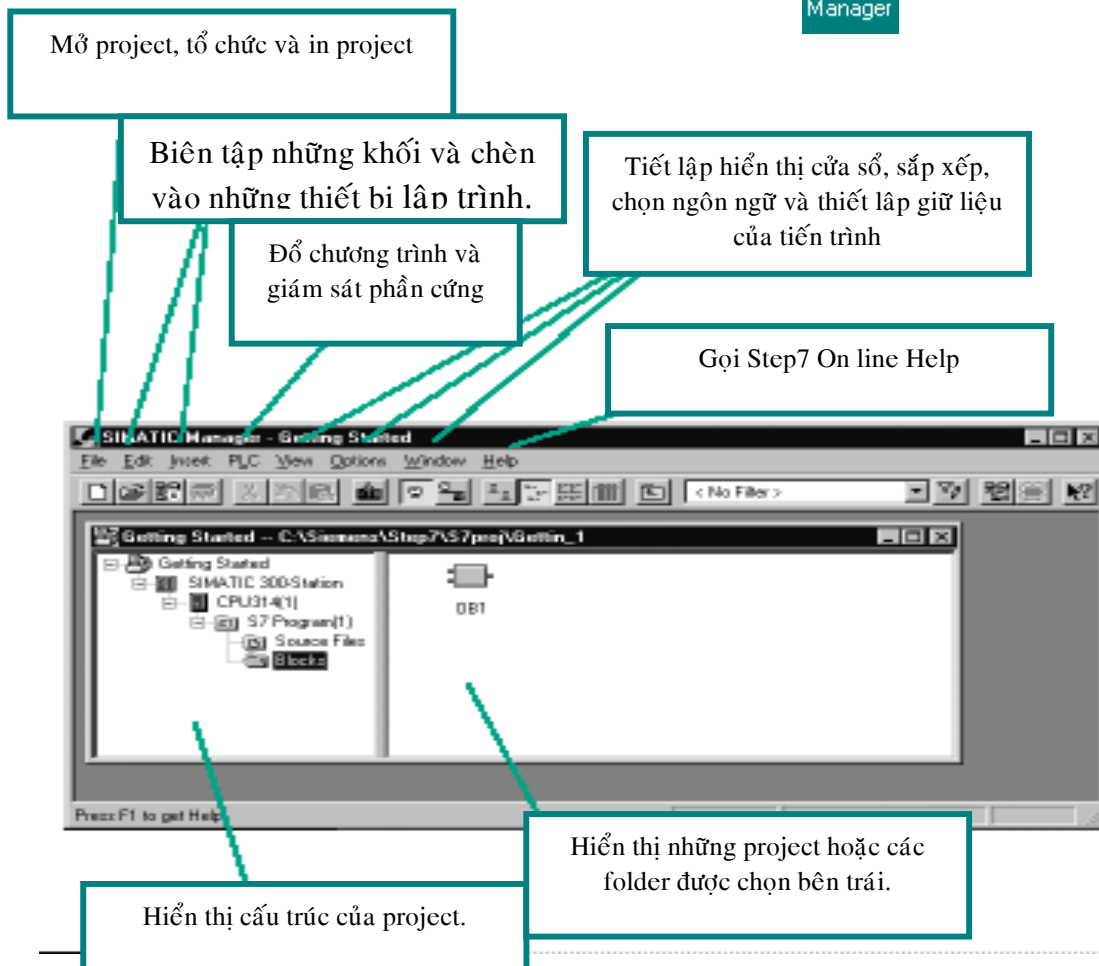
Với chương trình quản lý SIMATIC có thể:

- Quản lý đề án và thư viện
- Tác động công cụ của STEP 7
- Truy cập trực tuyến PLC
- Soạn thảo thẻ nhớ

Các công cụ của STEP 7 có ở trong SIMATIC Manager. Để khởi động có thể làm theo hai cách:

- Bằng *Task bar* → *Start* → *SIMATIC* → *STEP7* → *SIMATIC Manager*

- Nhấn kép vào biểu tượng SIMATIC Manager



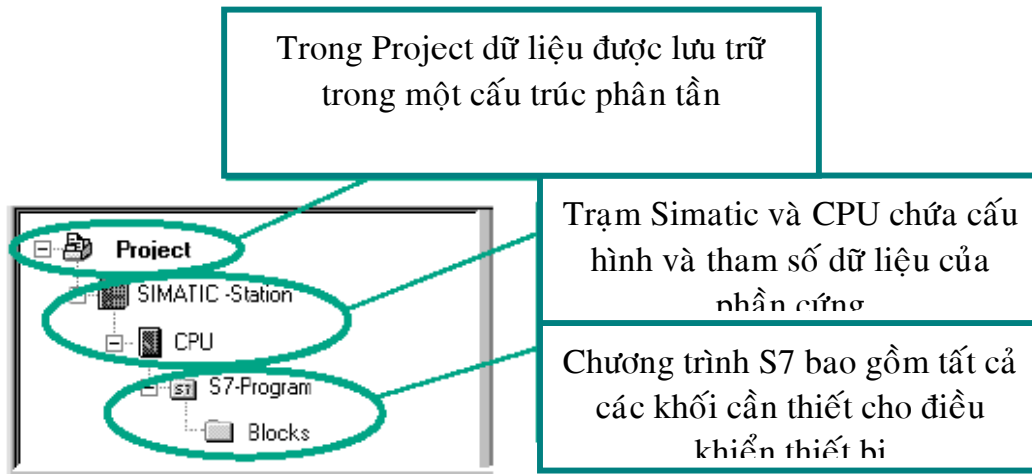
Hình 5.5 Các thành phần cửa sổ Manager

- **Thanh tiêu đề:**  
Thanh tiêu đề gồm cửa sổ và các nút để điều khiển cửa sổ
- **Thanh thực đơn:**  
Gồm các thực đơn cho các cửa sổ đang mở
- **Thanh công cụ**  
Gồm các thao tác thường dùng nhất dưới dạng ký hiệu. Những ký hiệu này có thể tự giải thích
- **Thanh trạng thái:**  
Hiện ra trạng thái hiện tại và nhiều thông tin khác
- **Thanh công tác**  
Chứa các ứng dụng đang mở và cửa sổ dưới dạng các nút. Thanh công tác có thể đặt 2 bên màn hình bằng cách nhấn chuột phải

**Thanh công cụ chương trình quản lý SIMATIC bao gồm:**

- |                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| • New (File Menu)                    | Tạo mới             |
| • Open (File Menu)                   | Mở file             |
| • Display Accesible Nodes (PLC Menu) | Hiển thị các nút    |
| • S7 Memory Card (File Menu)         | Thẻ nhớ S7          |
| • Cut (Edit menu)                    | Cắt                 |
| • Paste (Edit Menu)                  | Dán                 |
| • Copy (Edit Menu)                   | Sao chép            |
| • Download (PLC Menu)                | Tải xuống           |
| • Online (View Menu)                 | Trực tuyến          |
| • Offline (View Menu)                | Ngoại tuyến         |
| • Large Icons (View Menu)            | Biểu tượng lớn      |
| • Small Icons (View Menu)            | Biểu tượng nhỏ      |
| • List (View Menu)                   | Liệt kê             |
| • Details (View Menu)                | Chi tiết            |
| • Up on level (View Menu)            | Lên một cấp         |
| • Simulate Modules (OptionMenu)      | Khởi mô phỏng       |
| • Help Symbol                        | Biểu tượng trợ giúp |

### 5.3 CẤU TRÚC PROJECT STEP7



Hình 5.6 Cấu trúc project step7


### 5.4 VIẾT CHƯƠNG TRÌNH ĐIỀU KHIỂN

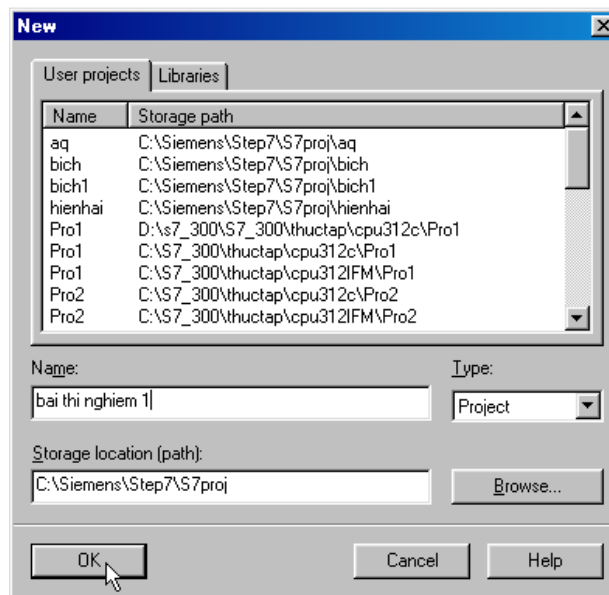
#### 5.4.1 Khai báo phần cứng

Ta phải xây dựng cấu hình phần cứng khi tạo một project. Dữ liệu về cấu hình sẽ được truyền đến PLC sau đó.

Ta sẽ thử khai báo phần cứng cho các Module sau:

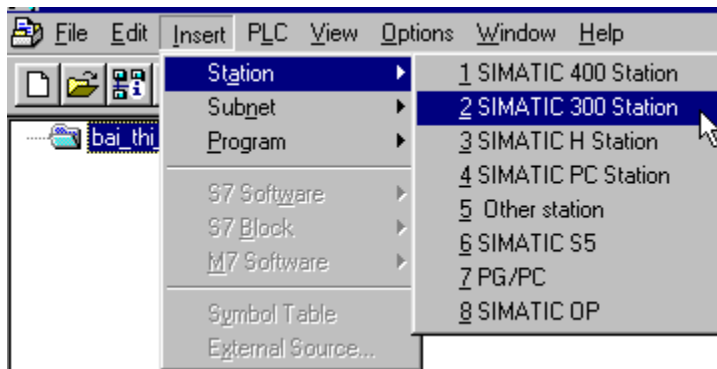
CPU 312C-5BD01-0AB0, DI 321-1BH02-0AA0, DO 322-1HF01-0AA0, AI 331-7KB02-0AB0, AO 332-5H501-0AB0

- Click vào biểu tượng  để mở chương trình mới. Khi cửa sổ New hiện ra, ta nhập tên của chương trình vào và Click OK như hình sau:




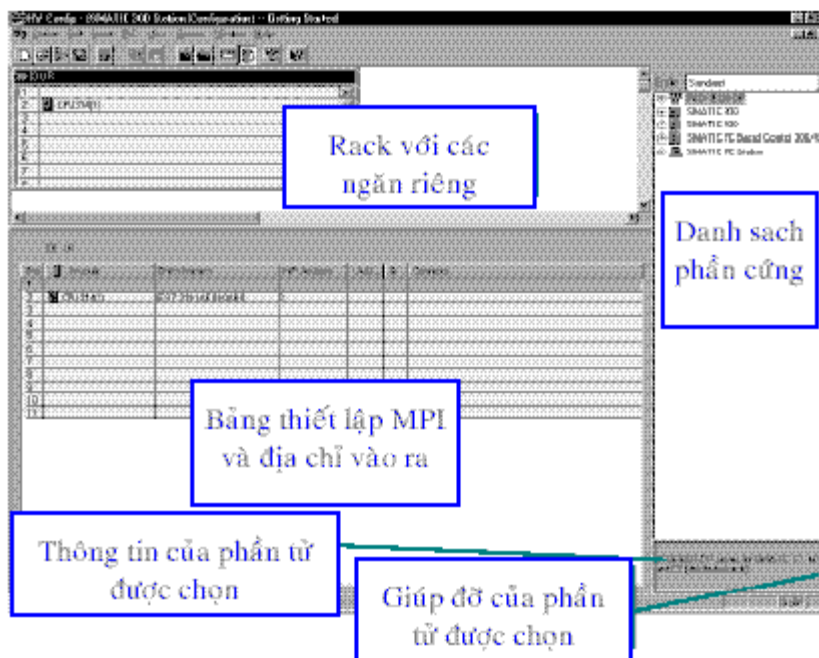
Hình 5.7

◆ Trở vào màn hình chính ta vào *Insert -> Station -> SIMATIC 300 Station* để chèn cấu hình cho chương trình (module CPU, module IM,...). Xem hình sau:




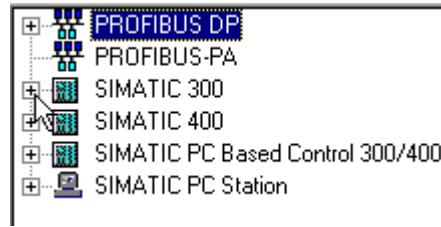
Hình 5.8

◆ Khi Click vào biểu tượng SIMATIC 300 bên phải màn hình xuất hiện biểu tượng  Hardware. Ta D\_Click vào biểu tượng Hardware để khai báo cấu hình cho chương trình. Cửa sổ HW Config được mở (xem hình dưới), ta phải chèn rack cho project.



Hình 5.9 Cửa sổ khai báo Hardware

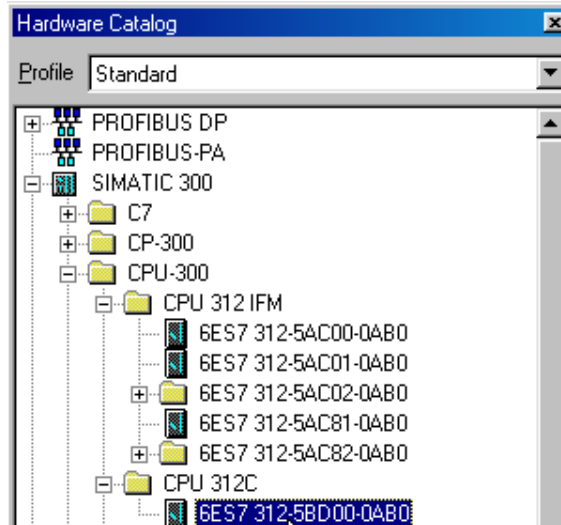
◆ Trong cửa sổ HW\_config ta Click vào biểu tượng  để mở thư viện.  
 ◆ Trong thư viện, ta Click vào SIMATIC 300 (hình 15) để lấy các thành phần cần thiết.



\_Hình 5.10

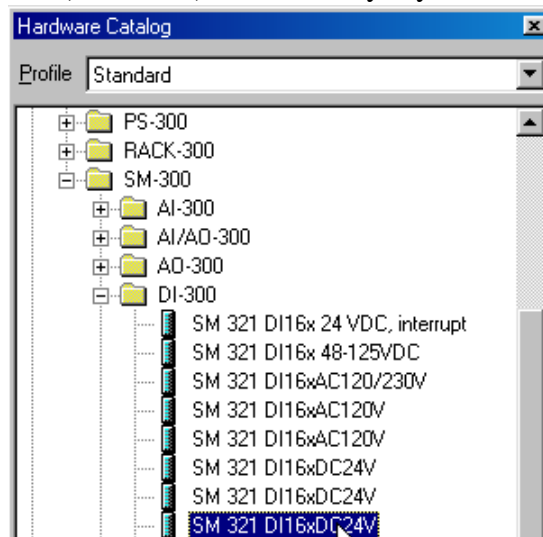
◆ Tiếp theo, ta tìm thư mục RACK 300 và D\_Click vào biểu tượng  để tạo Rail chứa các Module.

◆ Một Rail sẽ hiện ra gồm 11 Slot (xem hình). Ta Click vào Slot 2 (tô đậm Slot 2), sau đó Click vào *CPU\_300* -> *CPU\_312C* -> *6ES7 312-5BD00-0AB0*.



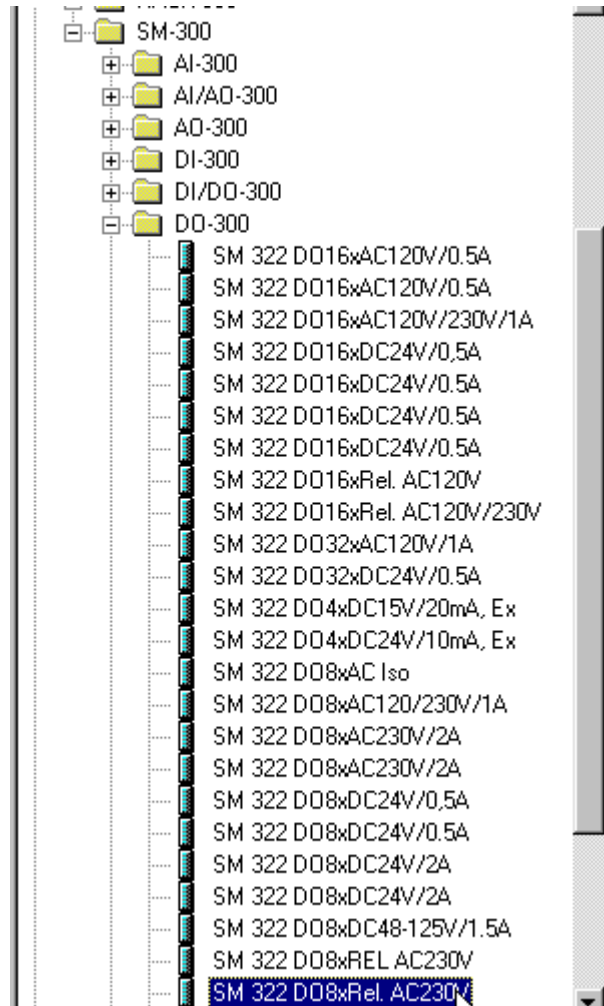
\_Hình 5.11

◆ Tiếp theo, Click vào Slot 4 và Click vào *SM\_300* -> *DI\_300* -> D\_Click vào *SM 321 DI16xDC24V* (hình 5.12). Số hiệu này tùy thuộc loại Module DI mà ta có.



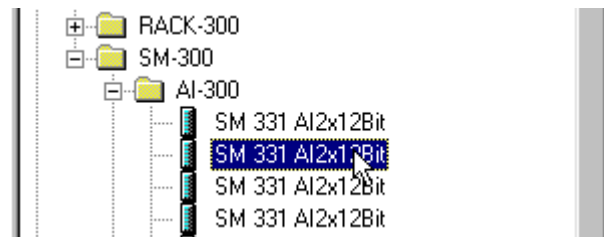
Hình 5.12

- ◆ Tương tự, ta Click vào Slot 5 và Click vào DO\_300 -> D\_Click vào SM 322 DO16xDC24V/0.5A. (Hình 5.13):



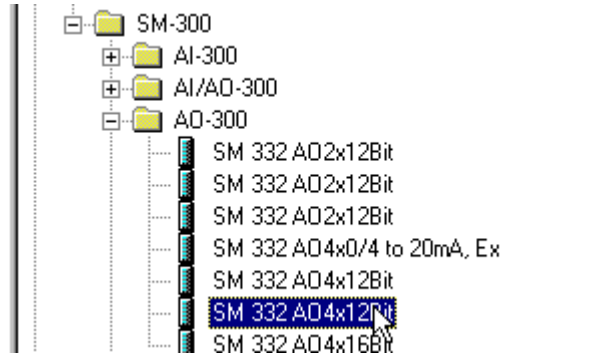
Hình 5.13

- ◆ Tương tự, ta Click vào Slot 6 và Click vào AI\_300 -> D\_Click vào SM 331 AI2x12Bit. (hình 5.14):




Hình 5.14

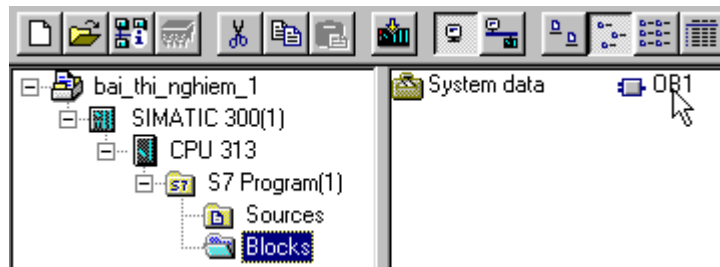
- ◆ Tương tự, ta Click vào Slot 7 và Click vào A0\_300 -> D\_Click vào SM 332 AO4 x 12Bit.(Hình 5.15):



Hình 5.15

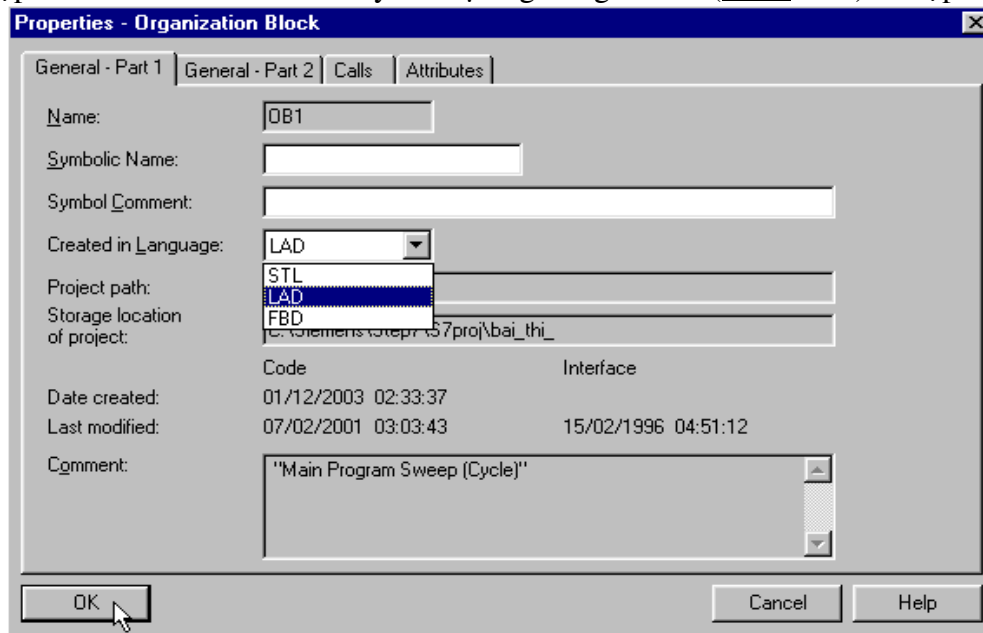
- ◆ Ta Click vào biểu tượng  để Save và Compile cấu hình cứng. Ta đóng cửa sổ HW\_Config để vào màn hình Manager.

Khi trở về màn hình Manager ta D\_Click vào biểu tượng khối OB1 (hình 5.16) để mở khối OB1.



Hình 5.16

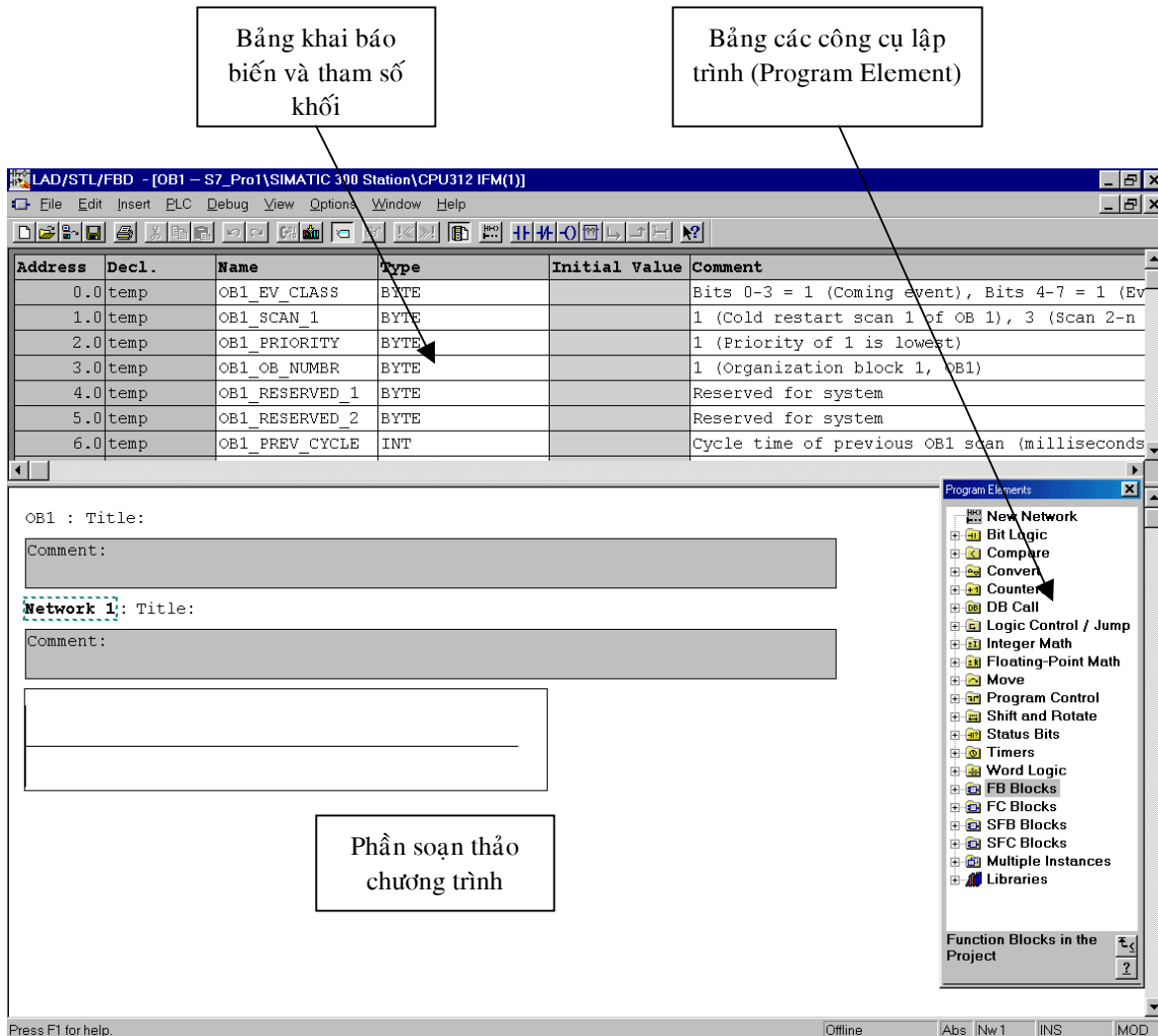
- ◆ Khi cửa sổ Properties\_ Organization Block hiện ra (hình 5.17) ta có thể chọn ngôn ngữ lập trình cho khối OB1. Ở đây ta chọn ngôn ngữ LAD (**L**ADDER) để lập trình.



Hình 5.17



## 5.4.2 Cấu trúc cửa sổ lập trình












Hình 5.18 Các thành phần của cửa sổ lập trình

- Bảng khai báo phụ thuộc khối. Dùng để khai báo biến và tham số khối
- Phần soạn thảo chứa một chương trình, nó chia thành từng Network. Các thông số nhập được kiểm tra lỗi cú pháp

Nội dung cửa sổ “Program Element” tùy thuộc ngôn ngữ lập trình đã lựa chọn. Có thể nhấn đúp vào phần tử lập trình cần thiết trong danh sách để chèn chúng vào danh sách. Cũng có thể chèn các phần tử cần thiết bằng cách nhấn và thả chuột.

Các thanh công cụ thường sử dụng:

-  : Mở chương trình mới
-  : Mở chương trình đã có sẵn
-  : Lưu chương trình
-  : Đổ chương trình xuống PLC

-  : Hiển thị địa chỉ dạng tên gọi nhớ (Symbol representation)
-  : Giám sát hoạt động chương trình của PLC
-  : Mở cửa sổ các phần tử lập trình (Program Element)
-  : Rẽ nhánh chương trình
-  : Tạo network mới.

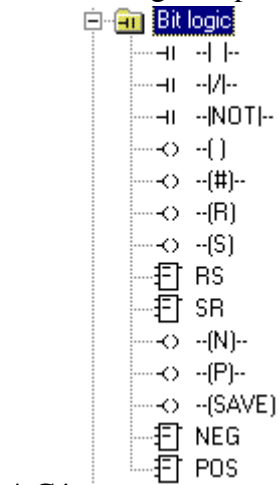
Các Menu công cụ thường dùng:

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| • New (File Menu)           | Tạo mới                              |
| • Open (File Menu)          | Mở file                              |
| • Cut (Edit menu)           | Cắt                                  |
| • Paste (Edit Menu)         | Dán                                  |
| • Copy (Edit Menu)          | Sao chép                             |
| • Download (PLC Menu)       | Tải xuống                            |
| • Network (Insert)          | Chèn network mới                     |
| • Program Elements (Insert) | Mở cửa sổ các phần tử lập trình      |
| • Clear/Reset (PLC)         | Xóa chương trình hiện thời trong PLC |
| • LAD, STL, FBD (View)      | Hiển thị dạng ngôn ngữ yêu cầu       |

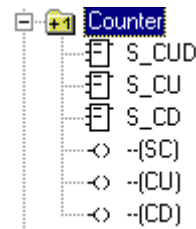
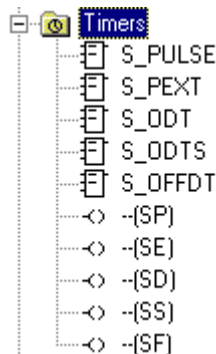
Các phần tử lập trình thường dùng (cửa sổ Program Elements):

\* Các lệnh logic tiếp điểm:

\* Các loại counter.



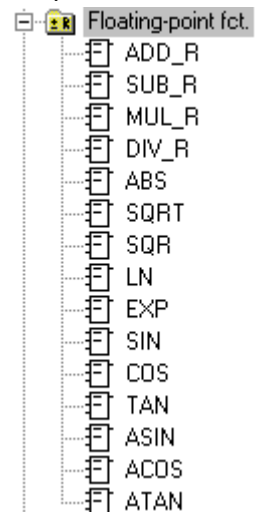
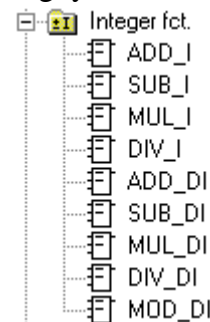
\* Các loại Timer



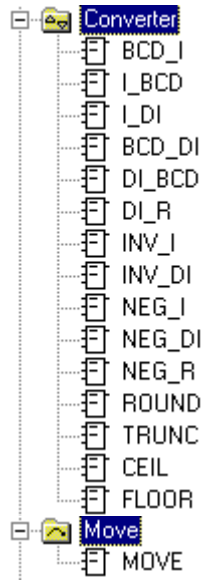
\* Các lệnh toán học

Số nguyên:

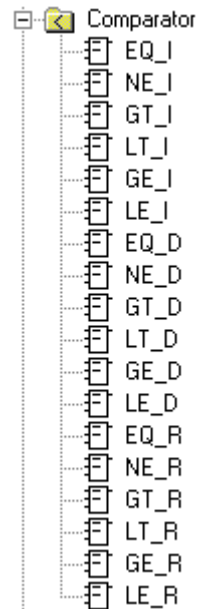
Số thực:



\* Các lệnh chuyển đổi dữ liệu:

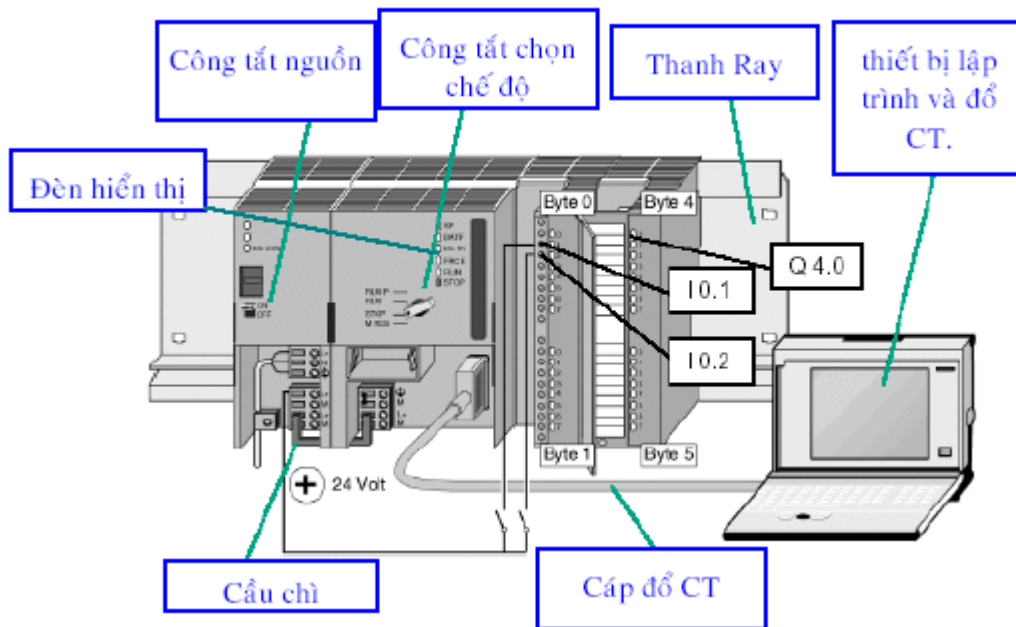


\* Các lệnh so sánh:



**5.4.3 Đổ chương trình**

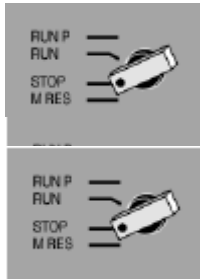
Ta phải thiết lập sẵn sàng sự kết nối đến PLC (hình 5.19) để đổ chương trình.



Hình 5.19



Mở nguồn cho PLC.



Chuyển sang trạng thái stop. Đèn stop hiện lên.

Chuyển cần gạt sang chế độ MRES và giữ khoảng 3s để reset trước khi đổ.  
Chuyển nút gạt trở về vị trí stop và đổ chương trình.




Chọn những khối mà ta sẽ download (từ màn hình Manager), PLC -> Download.

### 5.4.4 Giám sát hoạt động của chương trình

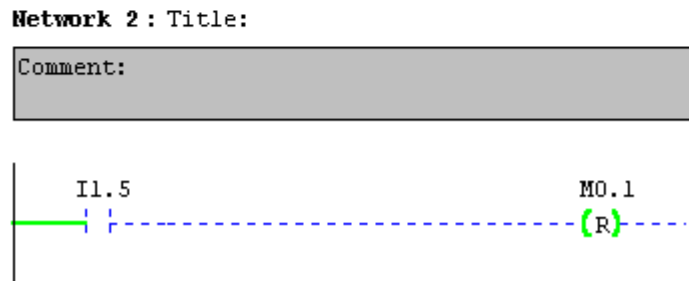
Để quan sát trạng thái hoạt động hiện thời của PLC ta dùng chức năng **Kiểm tra và quan sát**.

Trong chế độ kiểm tra các phần tử trong LAD/FBD được hiển thị ở các màu khác nhau. Có thể định dạng các màu này trong menu *Option -> Customize*.

Để kích hoạt chức năng Kiểm tra và quan sát ta Click vào biểu tượng mắt kính  trên thanh công cụ hoặc vào menu *Debug -> Monitor*

**Khi đó trong chương trình có các đặc điểm:**

- Trạng thái được thực hiện có màu xanh lá và liền nét.
- Trạng thái không thực hiện có dạng đường đứt nét.
- ❖ *Chú ý: Ở chế độ kiểm tra, sự thay đổi trong chương trình là không thể thực hiện được.*



## PHỤ LỤC

PLC SIMATIC S7-200 có các thông số kỹ thuật sau :

Đặc trưng cơ bản của các khối vi xử lý CPU212 và CPU214 được giới thiệu trong bảng :

	CPU212	CPU214
Bộ nhớ chương trình	512 words(1KB) có nhớ	2048 words(4KB) có nhớ
Bộ nhớ dữ liệu	512 words, chứa 100 words có nhớ	2048 words(4KB),chứa 512 words có nhớ
Số cổng logic vào	8	14
Số cổng logic ra	6	10
Số module I/O mở rộng	2	7
Tổng số cổng logic vào	64	64
Tổng số cổng logic ra	64	64
Số bộ tạo thời gian trễ	64/2:1ms,8:10ms,54:100ms	128/4:1ms,16:10ms108:100ms
Số bộ đếm	64	128
Số bộ đếm tốc độ cao	0	3
Số bộ phát xung nhanh	0	2
Số bộ đ. chỉnh tương tự	0	2
Số bit nhớ đặc biệt	368	688
Chế độ ngắt & xử lý tín hiệu	x	X
Thời gian lưu trữ bộ nhớ	50 giờ	190 giờ
Pin kéo dài thời gian nhớ	x	X
Led chỉ thị trạng thái I/O	x	X
Ghép nối máy tính	x	X

• CÁC ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CỦA CPU 312IFM

CPU và Product Version

- Mã hiệu: 6ES7312-5AC02-0A0B
- Phiên bản phần cứng: 01
- Phiên bản của Hãng: V1.1.0
- Phần mềm thích hợp: STEP 7 V5.0 Service Pack 03

Memory

Bộ nhớ làm việc

- Bộ nhớ nội: 6K
- Bộ nhớ mở rộng: Không

Bộ nhớ LOAD

- Bộ nhớ tích phân: 20KB RAM  
20KB EEPROM
- FEPRAM mở rộng: Không
- RAM mở rộng: Không

Backup

- Có Pin: Không
- Không có Pin: Giữ được 72 bytes thông số  
(dữ liệu, cờ, timer)

Thời gian xử lý

- Xử lý với các lệnh bit: Cực tiểu 0.6 μs
- Xử lý với các lệnh từ: Cực tiểu 2 μs
- Phép toán với số nguyên kép: Cực tiểu 3 μs
- Các phép toán với dấu phẩy trôi: Cực tiểu 60 μs

Bộ định thời/dếm và đặc tính lưu giữ

Các bộ đếm S7:

- Điều chỉnh lưu giữ: 32
- Đặt trước (Preset): Từ C 0 tới C 31
- Dải đếm: Từ C 0 tới C 7  
1 tới 999

Các bộ đếm IEC:

- Loại: C6  
SFBs

Bộ định thời S7:

- Điều chỉnh lưu giữ: 64
- Dải định thời gian: Không  
10 ms tới 9990 s

Các bộ định thời IEC:

- Loại: C6  
SPBs

**Miền dữ liệu và các đặc tính lưu giữ**

Toàn bộ miền lưu giữ dữ liệu (các cờ liên hợp, các bộ thời gian, bộ đếm)

Các bộ nhớ Bit:

- Điều chỉnh lưu giữ:
- Đặt trước (Preset)

Các bộ nhớ Clock:

Các khối dữ liệu:

- Kích thước:
- Điều chỉnh lưu giữ:
- Đặt trước (Preset):

Vùng dữ liệu (không thay đổi):

- Lớp quyền ưu tiên

**Các Khối**

Obs

- Kích thước:

Chiều sâu ngăn xếp

- Lớp quyền ưu tiên
- Các mức thêm vào trong vòng 1 lõi OB: Không

FBs

- Kích thước:

FCs

- Kích thước:

**Miền địa chỉ (các lối vào / ra)**

Vùng địa chỉ cho ngoại vi:

- Số / Digital:
- Tích hợp:
- Tương tự / Analog:

Xử lý vẽ hình (không thay đổi được):

Các kênh Digital:

Các kênh Analog:

**Cấu hình**

Khung gắn:

Số module trên giá đỡ:

DB chủ

- Tích hợp
- Qua CP

**Các chức năng thông báo S7**

Kích hoạt ngay lập tức

Báo động - các khối S

**Thời gian**

Đồng hồ thời gian thực:

- Lưu giữ:
- Độ chính xác:

Hoạt động của bộ đếm giờ

Đồng bộ clock

- Trên PLC
- Trên MPI

**Các chức năng kiểm tra và uỷ thác**

Trạng thái /thay đổi các biến

- Các biến

- Số

Các biến màn hình

Các biến thay đổi

Force

- Biến
- Số

Khối monitor

Dây đơn

Điểm gãy

Cực đại 1 DB, 72 byte dữ liệu

1024

MB 0 tới MB 71

MB 0 tới MB 15

8 (1 byte bộ nhớ)

Cực đại 63 (DB 0 để dự trữ)

Cực đại 6KB

Cực đại 1DB, 72 bytes

Không lưu giữ

Cực đại 512 byte

256 bytes

Xem danh sách lệnh

cực đại 6 KB

8

Cực đại 32

Cực đại 6KB

Cực đại 32

Cực đại 6KB

0 tới 31/0 tới 31

124, 125 E/124 A

256 tới 383/256 tới 383

32 byte + 4 byte integral/

32 byte + 4 byte integral

256 + 10 integral /256 + 6 integral

64/32

1

Cực đại 8

Không

Có

Không

Có

Không

Xem phần 8.1.6

Không

Có

Chủ

Chủ/Tớ

Có

Lối vào, lối ra, các cờ,

DBs, thời gian, bộ đếm

Cực đại 30

Cực đại 14

Các lối vào, lối ra

Cực đại 10

Có

Có

2

Bộ đệm chuẩn đoán	Có	
- Số lối vào		100
<b><u>Chức năng truyền thông</u></b>		
Truyền thông PD/OP	Có	
Truyền dữ liệu tổng thể	Có	
- Số gói GD		
Gửi		1
Nhận		1
Kích thước của gói GD	Cực đại 22 byte	
Kích thước thích hợp	8 byte	
Truyền thông S7 cơ bản	Có	
- Dữ liệu Người dùng	Cực đại 76 byte	
Kích thước thích hợp	32 byte với X/I_PUT/_GET 76 Byte với X_SEND/_RCV	
Truyền Thông S7	Có (server)	
- Dữ liệu Người dùng	Cực đại 160 byte	
Kích thước thích hợp	32 byte	
Tương thích truyền thông S5	Không	
Truyền thông chuẩn	Không	
Số tài nguyên kết nối	6 cho PD/OP/S7 cơ bản/S7 truyền thông	
- Đặt trước cho:		
Truyền thông PD	Cực đại 5	
Người dùng có thể định nghĩa	từ 1 tới 5	
Mặc định	1	
Truyền thông OP	Cực đại 5	
Người dùng có thể định nghĩa	từ 1 tới 5	
Mặc định	1	
Truyền thông S7 cơ bản	Cực đại 2	
Người dùng có thể định nghĩa	từ 0 tới 2	
Mặc định	2	
<b><u>Giao diện</u></b>		
<b><u>Giao diện thứ nhất</u></b>		
<b><u>Chức năng</u></b>		
- MPI		Có
- DP chủ	Không	
- DP tớ	Không	
- Cách điện galvanic	Không	
<b><u>MPI</u></b>		
- Các dịch vụ		
PD/OP		Có
Truyền thông toàn bộ dữ liệu	Có	
Truyền thông S7 cơ bản		Có
Truyền thông S7		Có (Server)
- Vận tốc truyền		19,2; 187,5kbps
<b><u>Kích thước</u></b>		
- Kích thước lắp đặt W x H x D (mm)	80 x 125 x 130	
- Trọng lượng		Khoảng 0,45kg
<b><u>Lập trình</u></b>		
- Ngôn ngữ lập trình		STEP 7
- Tập lệnh lưu trữ		Xem danh sách lệnh
- Ngăn xếp		8
- Các lệnh hệ thống (SFCs)		Xem danh sách lệnh
- Các khối lệnh hệ thống (SFBs)		Xem danh sách lệnh
- Bảo mật chương trình người dùng		Mật khẩu bảo vệ
<b><u>Điện thế, Dòng</u></b>		
Nguồn nuôi		24VDC
- Dải nguồn cho phép		20,4 tới 28,8VDC
Công suất tiêu thụ (không tải)	0.7A (điển hình)	
Dòng khởi động	8A	
$I^2 t$		0,4 A <sup>2</sup> s
Cầu chì ngoài cho đường cấp nguồn (khuyến cáo)	Bộ ngắt mạch; 10A, loại B hoặc C	

Nguồn PG cho MPI (15 tới 30VDC)	Cực đại 200mA
Mất mát công suất	9W (điển hình)
Pin	Không
Bộ ắc quy	Không
<b><u>Các lối vào / ra tích hợp</u></b>	
Địa chỉ:	
- Các lối vào Digital	E 124.0 tới E 127.7
- Các lối ra Digital	A 124.0 tới A 124.7
<b><u>Các hàm tích hợp</u></b>	
Đếm	1 (xem Integrated Functions Manual)
Đo tần số	cực đại tới 10 KHz (xem Integrated Functions Manual)

• **ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CÁC LỐI VÀO ĐẶC BIỆT CỦA CPU 312IFM**

**Module – Dữ liệu đặc biệt**

Số các lối vào	4 từ I 124.6 tới I 125.1
Chiều dài cáp	
- Bọc kim	Cực đại 100m (109 yd.)

**Thế, dòng, điện thế**

Số các lối vào có thể xử lý đồng thời	4
- (Cấu hình ngang) tới 60°C	4
- (Cấu hình đứng) tới 40°C	4

**Các trạng thái, các ngắt, các chuẩn đoán**

Hiển thị trạng thái	1 đèn LED xanh cho mỗi kênh
Ngắt	
- Xử lý ngắt	Có thể thông số hoá

Các hàm chuẩn đoán

Không

**Tài liệu lựa chọn cảm biến**

Thế lối vào	
- Giá trị	24VDC
- Cho tín hiệu "1"	
I 125.0 và I 125.1	15 tới 30 V
I 124.6 và I 24.7	15 tới 30 V
- Cho tín hiệu "0"	-3 tới 5V

Dòng lối vào

- Cho tín hiệu "1"	
I 125.0 và I 125.1	Cực tiểu 2 mA
I 124.6 và I 24.7	Cực tiểu 6.5 mA

Thời gian trễ lối vào

- Từ "0" tới "1"	Cực đại 50µs
- Từ "1" tới "0"	Cực đại 50µs

Các đặc trưng lối vào

- E125.0 và E125.1	Theo IEC 1131, loại 1
- E124.6 và E124.7	Theo IEC 1131, loại 1

Connections nối 2 dây

Không

BEROs

Dòng tĩnh cho phép

I 125.0 và I 125.1	Cực đại 0.5 mA
I 124.6 và I 24.7	Cực đại 2 mA

**Thời gian, tần số**

Thời gian điều phối nội cho

- Xử lý ngắt	Cực đại 1.5ms
--------------	---------------

Tần số lối vào

≤ 10 kHz

• **ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CÁC LỐI VÀO DIGITAL CỦA CPU 312 IFM**

**Ghi chú:** Có thể gán các thông số các lối vào I 124.6 và I 24.7 như là các lối vào đặc biệt, Khi đó các đặc tính kỹ thuật liệt kê cho các lối vào đặc biệt áp dụng cho các lối vào I 124.6 và I 24.7.

**Module – Đặc trưng Dữ liệu**

Số các lối vào	8
Chiều dài cáp	
- Cáp không bọc kim	Cực đại 600m
- Cáp bọc kim	Cực đại 1000m

**Thế, dòng, điện thế**



Số lối vào có thể xử lý đồng thời	8	
- (Cấu hình ngang) tới 60°C		8
- (Cấu hình đứng) tới 40°C		8
Cách ly điện galvanic		Không
<b><u>Các trạng thái, các ngắt, các chuẩn đoán</u></b>		
Hiển thị trạng thái		1 đèn LED xanh cho mỗi kênh
Các ngắt		Không
Các hàm chuẩn đoán		Không
<b><u>Tài liệu lựa chọn cảm biến</u></b>		
Thế lối vào		
- Giá trị		24VDC
- Cho tín hiệu "1"		11 tới 30V
- Cho tín hiệu "0"		-3 tới 5V
Dòng lối vào		
- Cho tín hiệu "1"		7 mA
Thời gian trễ lối vào		
- Từ "0" tới "1"		1.2 tới 4.8 ms
- Từ "1" tới "0"		1.2 tới 4.8 ms
Các đặc trưng lối vào1		Theo IEC 1131, loại 2
Connections nối 2 dây		Có thể
BEROs		
Dòng tĩnh cho phép		Cực đại 2 mA
• ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CÁC LỐI RA DIGITAL CỦA CPU 312 IFM		
<b><u>Tài liệu đặc thù - module</u></b>		
Số các lối ra		8
Chiều dài cáp		
- Cáp không bọc kim		Cực đại 600m
- Cáp bọc kim		Cực đại 1000m
<b><u>Thế, dòng, điện thế</u></b>		
Dòng tổng cộng của các lối ra (trên nhóm)		
- (Cấu hình ngang) tới 40°C		Cực đại 3A
- (Cấu hình ngang) tới 60°C		Cực đại 3A
- (Cấu hình đứng) tới 40°C		Cực đại 3A
Cách ly điện galvanic		Không
<b><u>Các trạng thái, các ngắt, các chuẩn đoán</u></b>		
Hiển thị trạng thái		1 đèn LED xanh cho mỗi kênh
Các ngắt		Không
Các hàm chuẩn đoán		Không
<b><u>Tài liệu lựa chọn khởi động</u></b>		
Thế lối ra		
- Cho tín hiệu "1"		Cực tiểu L + (-0.8V)
Dòng lối ra		
- Cho tín hiệu "1" / định mức	0.5 A	
Khoảng cho phép		5 mA đến 0.6 A
- Cho tín hiệu "0"		
Dòng còn dư		cực đại 0.5 mA
Dải tổng trở tải		48Ω tới 4kW
Tải đèn		cực đại 5W
Nối song song của 2 lối ra		
- Cho điều khiển kênh kép tải	Có thể	
- Cho nâng cao chất lượng	Không thể	
Điều khiển của một lối vào số	Có thể	
Tần số chuyển mạch (switching)		
- Đối với tải trở		Cực đại 100Hz
- Đối với tải cảm		
theo IEC 947-5-1, DC13		cực đại 0.5 Hz
- Đối với tải đèn		Cực đại 100Hz
Giới hạn của thế cảm ứng ngắt	30V (điển hình)	
Bảo vệ ngắn mạch lối ra		Có, định thời bằng điện tử
- Ngưỡng nhạy		1A (điển hình)

# **BÀI GIẢNG**

## **TỰ ĐỘNG HÓA QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ**

# CHƯƠNG I

## HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG SẢN XUẤT CỨNG

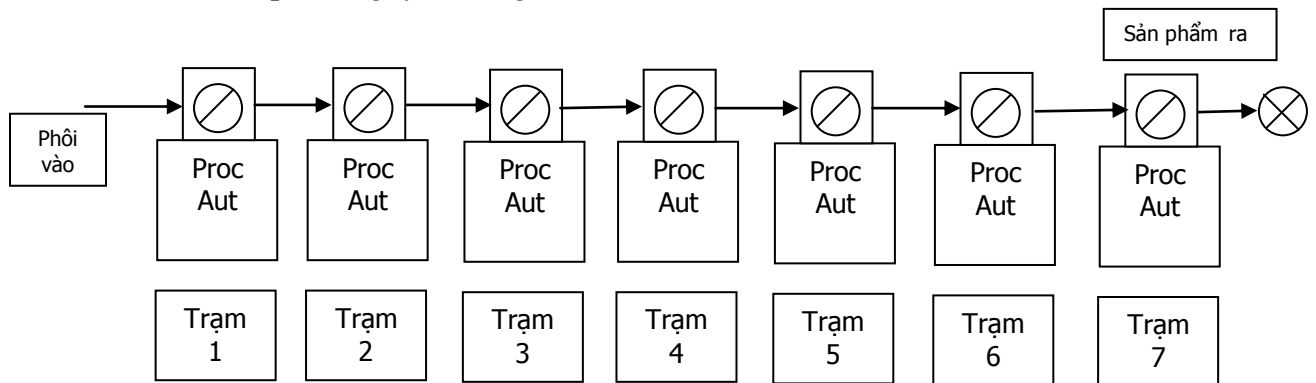
Trong chương này chúng ta xem xét các thiết bị tự động được dùng để gia công các chi tiết rời rạc với sản lượng lớn. Thiết bị trong dây chuyền sản xuất cơ khí thường bao gồm một số máy để thực hiện việc gia công trên dây chuyền. Các dây chuyền này được gọi là máy vận chuyển hay băng chuyền.

### 1.1 CÁC DÂY CHUYỀN GIA CÔNG TỰ ĐỘNG

Dây chuyền tự động bao gồm một số máy được nối với nhau bởi thiết bị vận chuyển phối giữa các nguyên công. Việc vận chuyển phối được thực hiện tự động và các máy gia công thực hiện chức năng chuyên môn của chúng một cách tự động.

Đường dây tự động thường có ý nghĩa thích đáng trong trường hợp đòi hỏi sản phẩm tương đối ổn định, nhu cầu sản phẩm cao đòi hỏi tốc độ sản xuất cao và nếu phương pháp sản xuất khác thì chi phí nhân công rất lớn. Mục đích của việc sử dụng đường dây tự động là:

- Giảm chi phí nhân công.
- Tăng tốc độ sản xuất.
- Giảm phối trong quá trình.
- Giảm khoảng cách di chuyển giữa các nguyên công.
- Tích hợp các nguyên công.



Cấu hình của một dây chuyền tự động

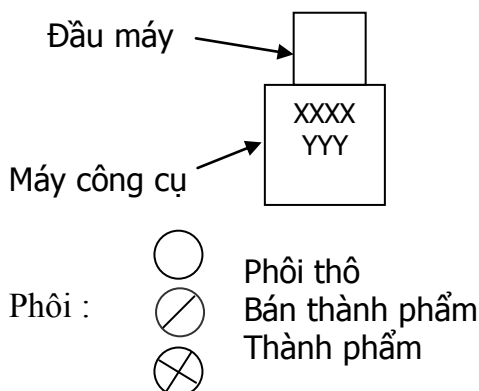
Các kí hiệu thường dùng:

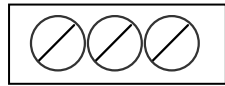
Trạm gia công: XXXX:

- PROC=Vị trí gia công
- ASBY=Vị trí lắp ráp
- INSP=Vị trí kiểm tra
- SORT=Vị trí phân loại

YYY:

- AUT = Automated
- MAN= Manual





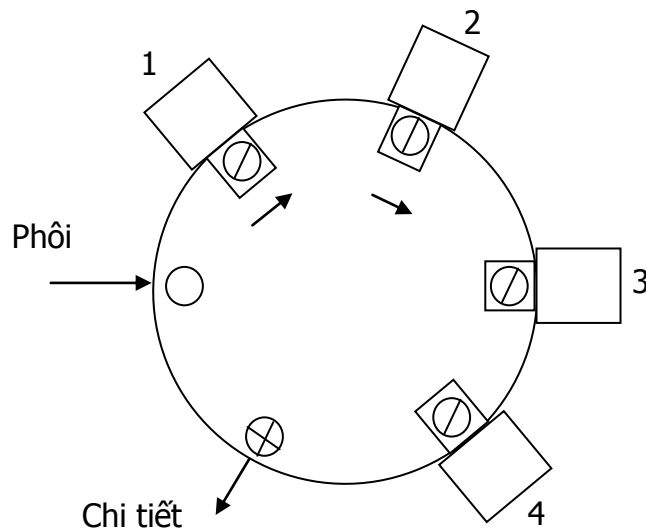
Ổ phôi trung gian

### **Dây chuyền tự động bố trí theo đường thẳng**

Trong cấu hình bố trí theo đường thẳng các máy được bố trí ít nhiều theo đường thẳng. Dòng phôi có thể quay  $90^\circ$ , hoặc là để định hướng lại phôi, do không gian hẹp hoặc những nguyên nhân khác, nhưng đặc tính cấu trúc kiểu đường thẳng thì vẫn giữ nguyên.

### **Dây chuyền tự động bố trí theo đường tròn**

Trong cấu trúc xoay tròn, chi tiết được xoay quanh một bàn tròn. Các vị trí gia công là cố định và thường bố trí xung quanh bàn tròn. Chi tiết di chuyển trên bàn quay và được định vị tại mỗi vị trí để gia công hoặc lắp ráp. Kiểu thiết bị này thường gọi là máy nhiều vị trí theo đường tròn. Cấu hình của máy được vẽ trên hình 4.3



Hệ thống máy bố trí theo đường

### **Cách chọn kiểu bố trí dây chuyền**

Việc chọn lựa giữa hai kiểu máy phụ thuộc vào yêu cầu ứng dụng. Kiểu máy xoay tròn thường bị hạn chế bởi kích thước phôi nhỏ và số vị trí ít. Việc thiết kế cấu trúc xoay vòng thường không được linh hoạt lắm.

## 1.2 CÁC PHƯƠNG PHÁP VẬN CHUYỂN PHÔI

Cơ cấu vận chuyển của đường dây tự động không chỉ vận chuyển bán thành phẩm hoặc đơn vị lắp ráp giữa các vị trí kề cận nhau, mà còn định hướng và đặt chi tiết vào vị trí chính xác để gia công trên mỗi máy. Các phương pháp vận chuyển phôi có thể chia thành 3 loại:

1. Vận chuyển liên tục .
2. Vận chuyển đồng bộ gián đoạn.
3. Vận chuyển theo kiểu đẩy tự do.

Ba loại trên được phân biệt bởi kiểu chuyển động .Cơ cấu vận chuyển đối với một ứng dụng cho trước phụ thuộc vào những yếu tố sau:

- Kiểu nguyên công cần phải được thực hiện,
- Số lượng vị trí trên dây chuyền,
- Trọng lượng và kích thước của phôi,
- Có bố trí vị trí bằng tay trên đường dây hay không ,
- Tốc độ sản xuất yêu cầu,
- Cân đối thời gian gia công khác nhau trên dây chuyền.

Trước khi bàn về 3 loại hệ thống vận chuyển phôi, chúng ta phải giải thích rõ sự nhầm lẫn có thể. Các hệ thống vận chuyển này được dùng cho cả gia công và lắp ráp. Trong trường hợp máy *lắp ráp tự động*, chúng ta nói tới các cơ cấu *vận chuyển bán thành phẩm giữa các vị trí ,chứ không phải cơ cấu nạp* phôi dùng để nạp các chi tiết lắp ráp tại một vị trí cụ thể. Các thiết bị nạp và định hướng các thành phần thường là *một phần tích hợp* của máy gia công.

### Vận chuyển liên tục

Với phương pháp vận chuyển liên tục, phôi được di chuyển liên tục với vận tốc không đổi. Việc này đòi hỏi các đầu công tác phải chuyển động trong quá trình gia công để theo chi tiết gia công. Thí dụ : Khó có thể dùng hệ thống vận chuyển này trên dây chuyền gia công vì vấn đề quán tính do trọng lượng và kích thước của đầu công tác.

Trong những trường hợp khác , việc vận chuyển liên tục thường rất được ưa dùng .

Hệ thống vận chuyển liên tục tương đối dễ thiết kế và chế tạo và có thể đạt tốc độ sản xuất cao.

### Vận chuyển gián đoạn

Như tên gọi, trong phương pháp này chi tiết được vận chuyển một cách gián đoạn hoặc không liên tục. Các trạm gia công được cố định tại các vị trí ,còn chi tiết được vận chuyển giữa các trạm sau đó được gá đặt tại vị trí cần thiết để gia công. Tất cả các chi tiết được vận chuyển *đồng thời* và do đó thuật ngữ *hệ thống vận chuyển đồng bộ* được dùng để mô tả phương pháp vận chuyển phôi này.

### Vận chuyển phôi không đồng bộ

Hệ thống vận chuyển này gọi là hệ thống đẩy - tự do, cho phép phôi di chuyển tới trạm tiếp theo sau khi gia công tại vị trí hiện tại. Mỗi chi tiết *chuyển động độc lập* đối với các chi tiết khác. Vì thế một số chi tiết có thể đang gia công trên dây chuyền trong khi những chi tiết khác lại được vận chuyển giữa các trạm.

Hệ thống vận chuyển không đồng bộ *mềm dẻo hơn* so với hai hệ thống trên và tính mềm dẻo này có thể là một ưu điểm lớn trong một số trường hợp. Trong hệ thống

không đồng bộ tương đối *để bố trí cơ cấu trữ phôi* trong quá trình. Hệ thống đẩy tự do cũng có thể *bù trừ vấn đề cân đối* dây chuyền khi mà thời gian gia công giữa các trạm tương đối khác nhau. Các trạm song song hoặc một số trạm nối tiếp có thể được dùng cho các nguyên công dài và các trạm đơn lẻ có thể được dùng cho các nguyên công ngắn hơn. Nhờ đó, *tốc độ sản xuất trung bình có thể sắp xỉ* như nhau.

Dây chuyền không đồng bộ thường được sử dụng ở nơi có một hoặc nhiều trạm vận hành bằng tay và khi mà sự dao động thời gian chu kỳ thường là một vấn đề trên hệ thống không đồng bộ. Nhược điểm của hệ thống đẩy tự do là *năng suất chu kỳ* thường thấp hơn so với các dạng khác.

#### *Đồ gá vệ tinh*

Đồ gá vệ tinh được thiết kế sao cho nó có thể được di chuyển định vị, kẹp chặt tại vị trí trạm kế tiếp. Nhờ chi tiết được định vị, kẹp chặt chính xác nên nó có vị trí đúng cho mỗi nguyên công. Ưu điểm nữa là có thể dùng cho nhiều chi tiết tương tự nhau.

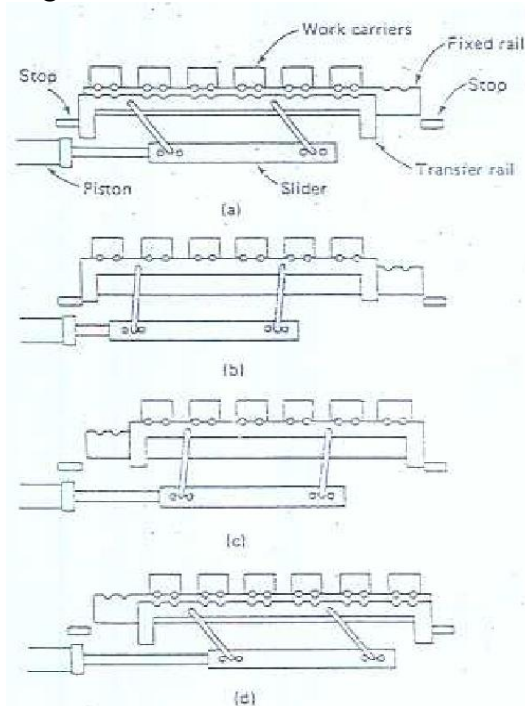
Phương pháp khác không cần dùng đến đồ gá vệ tinh mà bản thân chi tiết được dịch chuyển từ trạm này đến trạm kia. Khi tới một vị trí, chi tiết sẽ được kẹp chặt tự động để gia công.

### 1.3 CÁC CƠ CẤU VẬN CHUYỂN

Chia làm 2 nhóm: dịch chuyển thẳng và xoay tròn.

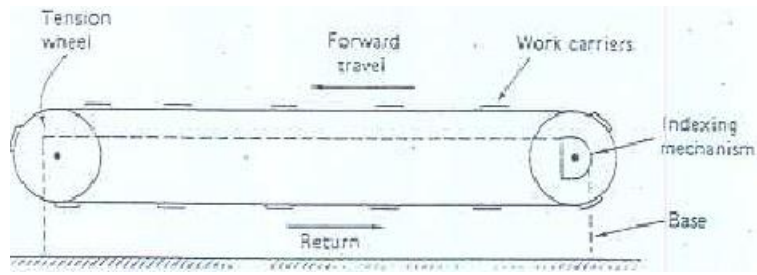
Cơ cấu dịch chuyển thẳng: gồm 3 loại :

- Hệ thống dịch chuyển kiểu thanh gạt: chi tiết gia công được nâng lên khỏi vị trí gia công bởi thanh nâng và dịch chuyển đến vị trí tiếp theo, rồi hạ chi tiết xuống và định vị một cách chính xác để gia công.



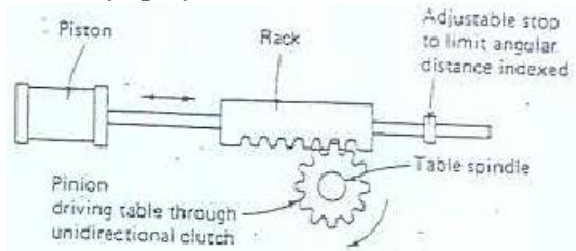
- Hệ thống băng tải có chốt đẩy: dùng trong vận chuyển phôi. Các con lăn được truyền động bởi 1 trong 2 cơ cấu. Thứ nhất là cơ cấu dẫn động bằng dây đai trong đó dây đai dẹt nằm dưới các con lăn chuyển động làm cho các con lăn quay nhờ ma sát. Cơ cấu xích là cơ cấu thông dụng thứ hai dùng để quay con lăn.

- Hệ thống xích tải : dùng vận chuyển các cơ cấu mang phôi. Băng xích được dẫn động bởi puli nằm ngang hoặc đứng.

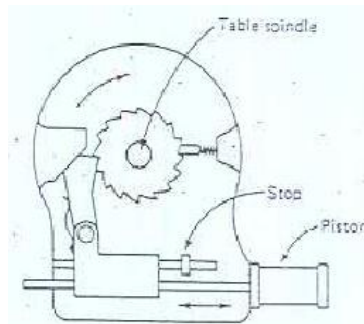


Cơ cấu vận chuyển kiểu xoay tròn:

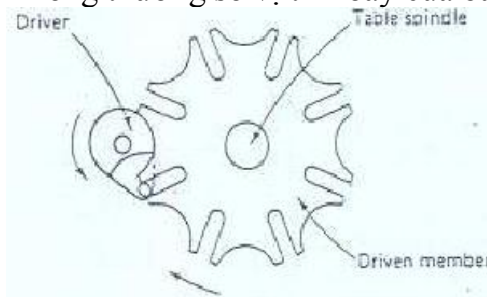
- Phương pháp dùng kiểu thanh răng và bánh răng : piston được dùng để đẩy thanh răng làm cho bánh răng quay và bàn máy quay.



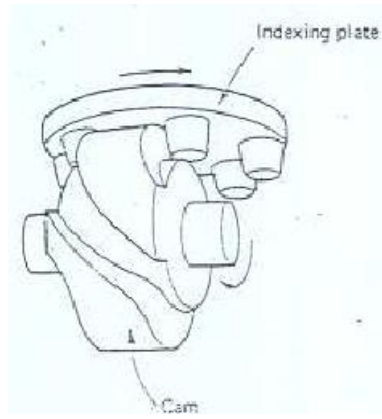
- Cơ cấu xoay bàn kiểu bánh cóc : đơn giản nhưng hoạt động không tin cậy do chóng mòn và liên kết nhiều thành phần.



- Cơ cấu Geneva: dùng chuyển động xoay tròn liên tục để định vị bàn máy. Nếu bàn máy có 6 rãnh cho 6 vị trí định vị thì mỗi khi cơ cấu định vị xoay 1 vòng, bàn máy sẽ quay 1/6 vòng. Cam dẫn động chỉ làm cho bàn quay đi một góc. Đối với cơ cấu bị dẫn có 6 rãnh thì để xoay bàn đi 1 góc  $60^0$  cam dẫn động sẽ xoay đi  $120^0$ ,  $240^0$  còn lại nó chạy không. Lúc này bàn máy đứng yên. Đối với đĩa bị dẫn có 4 rãnh góc xoay sẽ là  $90^0$  để định vị và  $270^0$  còn lại là chạy không. Thông thường số vị trí xoay của bàn là 4,5,6 và 8.



- Cơ cấu cam: có nhiều dạng cơ cấu cam xoay bàn máy đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy cao, được dùng rộng rãi trong công nghiệp dù giá thành tương đối cao.



## 1.4 CƠ CẤU TRỮ PHÔI TRUNG GIAN

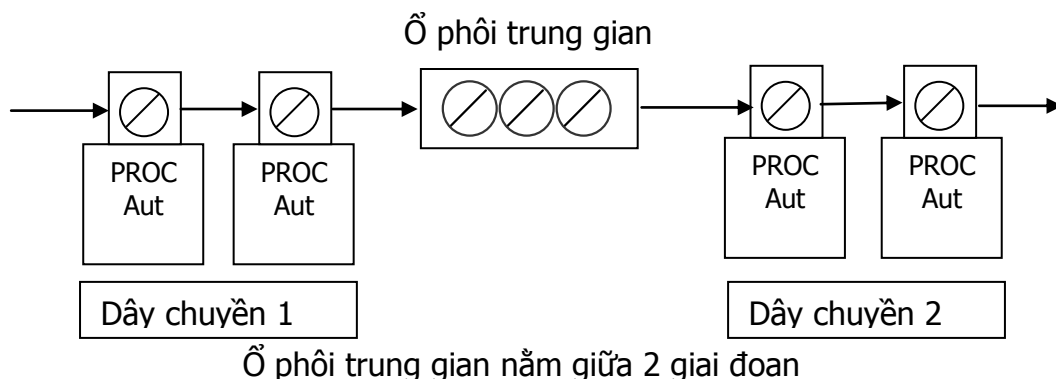
Đường dây tự động thường được trang bị thêm những cơ cấu khác, thí dụ cơ cấu trữ phôi trung gian mà chúng ta đã giới thiệu trong mục 4.1. Đối với dây chuyền tự động, việc bố trí một ổ trữ phôi ở giữa đường dây là chuyện thường. một ví dụ về việc sử dụng ổ trữ phôi là 2 hệ thống vận chuyển gián đoạn nối với nhau bởi một vùng tích trữ các chi tiết gia công. Có thể nối 3,4 hoặc thậm chí nhiều đường dây theo kiểu này. Một ví dụ khác về ổ trữ phôi là dây chuyền không đồng bộ. Với hệ thống này có thể bố trí ổ trữ phôi tại mỗi vị trí gia công. Có 2 lí do chính để sử dụng ổ chứa phôi:

- Lí do thứ nhất: Giảm ảnh hưởng của việc dừng nhà máy nào đó. Hệ thống vận chuyển liên tục hoặc gián đoạn hoạt động như một máy tích hợp khi một vị trí bị hỏng hoặc khi tiến hành bảo trì dự phòng phải ngừng sản xuất.

- + Dụng cụ bị hỏng hoặc điều chỉnh dụng cụ tại vị trí gia công riêng biệt.
- + Đổi dụng cụ định kì.
- + Phôi hoặc thành phần không đạt chất lượng. Yêu cầu phải làm sạch lại cơ cấu nạp phôi.
- + Nạp phôi thêm vào cơ cấu cấp phôi tại vị trí lắp ráp.
- + Công tắc điện bị hỏng.
- + Cơ cấu vận chuyển hoặc trạm gia công bị hỏng.

Mỗi khi bị hỏng trên dây chuyền tự động, cơ cấu trữ phôi trung gian cho phép một phần đường dây tiếp tục hoạt động trong khi phần còn lại dừng hoặc sửa chữa.

Ví dụ: Cho rằng một đường dây có 20 vị trí được chia ra 2 phần và được nối với nhau bằng một ổ chứa phôi trung gian. Ổ này tự động nhận chi tiết từ phần thứ nhất và nạp cho phần thứ hai. Nếu có một vị trí bị tắc, làm cho nửa đầu tiên bị dừng thì nửa thứ hai vẫn tiếp tục cho đến khi hết phôi. Tương tự, nếu phần thứ 2 bị dừng thì phần thứ nhất tiếp tục làm việc cho đến khi ổ chứa phôi bị đầy.





- Lí do thứ hai của việc dùng cơ cấu trữ phôi trung gian là giảm ảnh hưởng sự dao động của chu kì gia công. Những dao động này xảy ra hoặc giữa các trạm gia công, hoặc trong trường hợp đường dây có một hoặc vài nguyên công gia công bằng tay.

Thí dụ :

Cho rằng chúng ta đã thu được thông tin về nguyên công và xác định được sự phân tán thời gian nguyên công đối với tất cả 100 chu kì như sau:

Thời gian s	7	8	9	10	11	12
Khoảng phân tán	2	10	18	38	20	12

Vậy thời gian trung bình của nguyên công này là 10s. Nguyên công bằng tay này đã dùng trên dây chuyền đồng bộ và dây chuyền phải thiết lập một thời gian chu kì là 12s để người vận hành có thời gian hoàn thành toàn bộ công việc lắp ráp. Việc này cho công suất là 300ch/h từ dây chuyền. Nếu thời gian được điều chỉnh xuống 11s thì năng suất sẽ tăng lên được 327ch/h nhưng người thợ lại không có khả năng hoàn thành 12% sản phẩm lắp ráp. Vì vậy năng suất thực tế chỉ là 288ch/h. Nếu thời gian chu kỳ giảm xuống 10s thì năng suất sẽ là 360ch/h. Năng suất thực tế sẽ giảm xuống còn 245ch/h.

Với hệ thống vận chuyển không đồng bộ, dây chuyền có thể sắp xếp để nhận hàng loạt các chi tiết trước và sau nguyên công bằng tay. Như vậy người thợ có thể sắp xếp thời gian để thực hiện việc tùy theo quá trình. Vì thời gian trung bình của người thợ tương ứng với thời gian của chu kỳ làm việc trên dây chuyền cho nên dây chuyền sẽ hoạt động một cách đều đặn. Thời gian chu kỳ có thể thiết lập 10s và năng suất dây chuyền sẽ đạt 360ch/h.

*Nhược điểm* của vùng đệm trữ phôi là tốn không gian xưởng, tốn nhiều phôi hơn, nhiều thiết bị vận chuyển phôi, làm cho hệ thống dây chuyền phức tạp hơn. Nhưng *ưu điểm* của nó thì thường là đủ lớn để có thể bù trừ nhược điểm mà nó có.

## 1.5 CÁC CHỨC NĂNG ĐIỀU KHIỂN

Việc điều khiển dây chuyền là một vấn đề phức tạp, có hàng loạt các bước tuần tự cần phải thực hiện. Có 3 chức năng chính được dùng để điều khiển hoạt động của dây chuyền tự động. Thứ nhất là *đảm bảo hoạt động*, thứ hai là *yêu cầu an toàn*, thứ ba là yêu cầu *chất lượng*.

### 1. Điều khiển trình tự

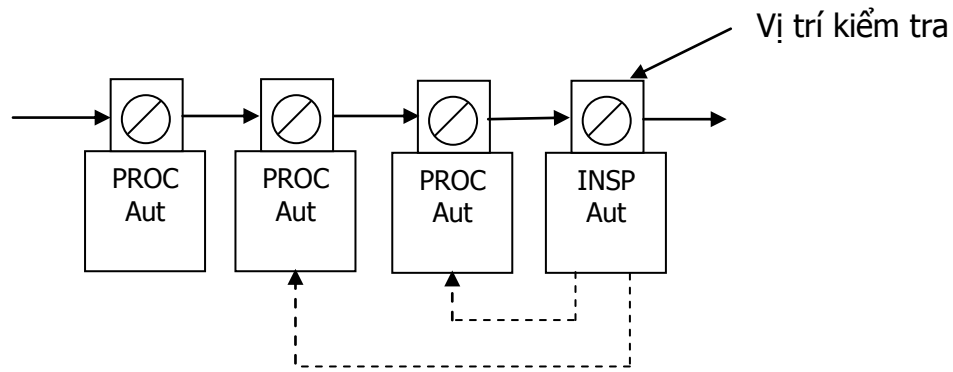
Mục đích của chức năng này là phối hợp hoạt động của băng tải và các trạm gia công. Các hoạt động khác nhau của dây chuyền tự động phải được thực hiện một cách chính xác và trôi chảy.

### 2. Đảm bảo an toàn

Chức năng này đảm bảo là dây chuyền vận chuyển sẽ không hoạt động trong trường hợp không an toàn hoặc điều kiện nguy hiểm. Các cảm biến phải được gắn thêm vào hệ thống để dụng cụ tiến tục gia công trên dây chuyền. Trong chức năng điều khiển tuần tự cũng bao gồm cả việc kiểm tra các bước tới hạn để đảm bảo các bước này được thực hiện theo thứ tự cần thiết.

### 3. Đảm bảo chất lượng

Chức năng thứ ba là giám sát chất lượng của chi tiết gia công. Chức năng này là kiểm tra để loại các chi tiết và bộ phận lắp ráp không đạt chất lượng.



Trạm kiểm tra có liên hệ ngược với các trạm phía trước

**Phương tiện truyền thông** để điều khiển trình tự hoạt động của đường dây tự động là các role điện từ. Các role được dùng để điều khiển hoạt động của đầu công tác, băng tải và các thiết bị ngoại vi khác trên dây chuyền. Nhưng do kích thước lớn và hoạt động không tin cậy role dần bị thay thế bởi các bộ phận điều khiển lập trình được và máy tính.

Suy nghĩ truyền thống trong việc điều khiển đường dây tự động là phải dùng hệ thống khi có sự cố.

Việc quyết định dừng máy hay không còn phải dựa trên cơ sở kinh tế và độ tin cậy. Về điểm này có hai chiến lược điều khiển có thể được chọn: điều khiển tức thì và điều khiển ghi nhớ.

#### 1. Điều khiển tức thì

Kiểu điều khiển này là dừng tức thì dây chuyền khi có sự cố. Việc này tương đối đơn giản, rẻ tiền và không lo lắng gì. Một số đặc tính dự báo có thể được thêm vào hệ thống để xác định vị trí và nguyên nhân để báo cho thợ sửa chữa nhanh chóng.

#### 2. Điều khiển theo kiểu ghi nhớ

Ngược lại với phương pháp điều khiển tức thì, hệ thống điều khiển ghi nhớ được thiết kế để cho máy tiếp tục hoạt động. Nó kiểm tra chất lượng và bảo vệ máy bằng cách ngăn ngừa các trạm gia công kế tiếp khỏi phải gia công các chi tiết không đạt chất lượng.

## 1.6 TỰ ĐỘNG HOÁ CÁC NGUYÊN GIA CÔNG

Các nguyên công điển hình là phay, khoan, khoét, doa và làm ren. Cũng có thể có thêm các nguyên công tiện, mài trên dây chuyền loại này.

#### 1. Máy một vị trí

Máy này thực hiện những nguyên công khác nhau trên một chi tiết duy nhất gá đặt trên một vị trí trong suốt chu kỳ. Các nguyên công được thực hiện trên những bề mặt khác nhau bởi các đầu dao bố trí quanh chi tiết gia công.

Nhược điểm: không gian hạn chế không thể bố trí nhiều dao; năng suất gia công từ thấp đến trung bình.

#### 2. Máy nhiều vị trí xoay vòng

Máy thực hiện việc gia công trên nhiều chi tiết đồng thời, các chi tiết được gá trên bàn tròn nằm ngang và trải ra nhiều vị trí liên tiếp.

#### 3. Máy nhiều trục chính nằm ngang

Máy gồm nhiều trục chính bố trí xung quanh một trục nằm ngang, các chi tiết được gá trên trục chính. Loại máy này dung để gia công các chi tiết nhỏ.

4. Máy tiện đứng nhiều trục chính

Các đầu mang dụng cụ không chỉ bố trí xung quanh bàn máy mà còn xung quanh trục giữa, giúp tăng số lượng nguyên công thực hiện trên máy so với máy nhiều trục chính xoay vòng bình thường. Máy dung trong sản xuất hàng khối và hiệu quả vì không gian chiếm ít.

5. Dây chuyền tự động

Các đầu gia công được bố trí dọc theo dây chuyền vận chuyển chi tiết. Hệ thống vận chuyển có thể là đồng bộ hoặc không đồng bộ. Chi tiết có thể được vận chuyển trực tiếp hay gá trên đồ gá vệ tinh. Dây chuyền có thể bố trí ở trữ phôi trung gian nếu cần và các cơ cấu điều khiển khác nhau để quản lý dây chuyền. Dây chuyền tự động có thể dung để chế tạo các chi tiết có kích thước lớn, số vị trí gia công có thể bố trí nhiều hơn. Gần đây dây chuyền tự động có thể điều chỉnh được để gia công nhiều chi tiết tương tự nhau.

### 1.7 NHỮNG ĐIỀU CẦN LƯU Ý KHI THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO

Khi quyết định rằng đường dây tự động là cách tốt nhất để thực hiện sản xuất, thì cần lưu ý những điều sau:

- Ai chế tạo đường dây tự động? Tự làm hay đặt 1 hãng chế tạo?
- Hình dạng, kích thước và trọng lượng vật liệu.
- Độ chính xác yêu cầu.
- Trình tự công nghệ.
- Năng suất.
- Dạng hệ thống vận chuyển
- Phương pháp gá đặt chi tiết gia công
- Phương pháp định hướng và nạp phôi khi lắp ráp
- Độ tin cậy của dây chuyền, của máy móc riêng biệt và của băng tải vận chuyển phôi.
- Khả năng trữ phôi trung gian.
- Dễ bảo trì.
- Đặc điểm điều khiển.
- Không gian xưởng hiện có.
- Mức độ linh hoạt cần thiết khi gia công sản phẩm khác.
- Giá cả ban đầu của dây chuyền.
- Chi phí vận hành và dụng cụ.

Có hai xu hướng xây dựng đường dây tự động:

■ Sử dụng các máy công cụ tiêu chuẩn sẵn có : dùng máy công cụ và thiết bị liên quan vốn có được tiêu chuẩn hoá để dựng nên dây chuyền phục vụ mục đích cụ thể cho xí nghiệp.

Ưu điểm: tái sử dụng các máy sẵn có, dễ bảo trì, sửa chữa.

Nhược điểm: chi tiết gia công phải đơn giản và kích thước nhỏ.

■ Đặt hàng cho nhà chế tạo theo yêu cầu: thông thường nhà máy được yêu cầu đưa ra một số phương án. Các phương án thiết kế là dựa trên sản phẩm nhà máy đã có hay dựa trên những kinh nghiệm của họ.

Khi phương án thiết kế được chấp thuận, nhà máy sẽ thực hiện việc thiết kế chi tiết. Kết quả máy phải được xây dựng theo nguyên tắc “block xây dựng”, nghĩa là đây

chuyên chuyên môn hoá được chế tạo để sản xuất một sản phẩm nhất định của khách hàng. Khi dây chuyền được xây dựng theo nguyên tắc “block xây dựng” chúng được gọi là dây chuyền hợp nhất (Unitized).

Những dây chuyền này có năng suất cao hơn so với dây chuyền kết nối (line link), chiếm ít diện tích hơn. Tuy nhiên chúng có giá thành cao, do vậy chỉ nên dùng khi biết chắc là sản phẩm tồn tại lâu dài và bản thiết kế không đổi hoặc ít thay đổi.

## BÀI TẬP

Một dây chuyền thực hiện một chuỗi các nguyên công gia công và lắp ráp. Nguyên công sát cuối là nguyên công lắp ghép thực hiện bằng tay. Độ phân tán thời gian của nguyên công như sau:

Thời gian nguyên công	Tần suất xuất hiện
15	2.7
16	6.1
17	12.1
18	25.9
19	32.1
20	10.9
21	6.9
22	3.3
Tổng	100

Vị trí chậm nhất là tự động, có thời gian chu kỳ là 18s.

- Nếu dây chuyền sử dụng hệ thống vận chuyển đồng bộ, hãy tính nhịp sản xuất và năng suất thực tế cho mỗi giờ nếu hệ thống vận chuyển được thiết kế để vận chuyển chi tiết tại mỗi khoảng thời gian sau: cứ 22s, 21s, 20s, 19s, 18s một lần. Thời gian vận chuyển phôi coi như không đáng kể.
- Nếu hệ thống vận chuyển không đồng bộ được dùng trên dây chuyền để đưa các chi tiết đến vị trí lắp ráp bằng tay, vậy hệ thống phải hoạt động với chu kỳ thời gian như thế nào? Hãy xác định năng suất tương ứng của dây chuyền.

## GIẢI

- Dây chuyền sử dụng hệ thống vận chuyển đồng bộ, nhịp sản xuất và năng suất thực tế cho mỗi giờ nếu hệ thống vận chuyển được thiết kế để vận chuyển chi tiết tại mỗi khoảng thời gian : cứ 22s, 21s, 20s, 19s, 18s một lần là :

22s:

$$\text{Nhịp sản xuất} = 3600/22 = 163,6 \text{ chu kì/h}$$

21s:

$$\text{Nhịp sản xuất} = 3600/21 = 171,4 \text{ chu kì/h}$$

20s:

$$\text{Nhịp sản xuất} = 3600/20 = 180 \text{ chu kì/h}$$

19s:

$$\text{Nhịp sản xuất} = 3600/19 = 189,5 \text{ chu kì/h}$$

18s:

$$\text{Nhịp sản xuất} = 3600/18 = 200 \text{ chu kì/h}$$

- b) Khi hệ thống vận chuyển không đồng bộ được dùng trên dây chuyền, thì thời gian trung bình của nguyên công bằng tay tương ứng với thời gian của chu kì làm việc trên dây chuyền :

$$\begin{aligned} \text{Chu kì thời gian} &= (15 + 16 + 17 + 18 + 19 + 20 + 21 + 22)/8 \\ &= \mathbf{18,5 \text{ s}} \end{aligned}$$

Năng suất tương ứng của dây chuyền:

$$\text{Năng suất} = 3600/ 18,5 = \mathbf{194,5 \text{ ch/h}}$$

# CHƯƠNG II

## HOẠT ĐỘNG SẢN XUẤT VÀ CHIẾN LƯỢC TỰ ĐỘNG HOÁ

### 2.1 CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP:

Có 5 ngành công nghiệp:

1) **Các ngành công nghiệp cơ sở:**

Khai thác và chế biến thô (dầu hỏa, khoáng chất...) những bán thành phẩm cần thiết bởi các ngành công nghiệp như: Luyện kim đen, công nghiệp chế biến sắt và kim loại, hóa chất, giấy, ciment.

2) **Công nghiệp chế tạo máy:**

Các ngành công nghiệp này chế tạo sản phẩm cuối cùng cần thiết bởi các xí nghiệp để chế tạo các máy móc bán cho khách hàng

3) **Công nghiệp sản xuất hàng tiêu dùng:**

Là các ngành công nghiệp chế tạo sản phẩm dùng hàng ngày như ô tô, thực phẩm, may mặc... Chúng chịu ảnh hưởng lớn của sự phát triển kinh tế và môt.

4) **Các công nghiệp dịch vụ:**

Tất cả những hoạt động liên quan đến sản xuất và phân phối sản phẩm: thương mại, các nghề tự do....

5) **Các công nghiệp mũi nhọn:**

Là các ngành công nghiệp sử dụng tất cả những sáng chế gần nhất như thông tin, công nghệ sinh học, người máy, vật liệu mới, laser...

### 2.2 CÁC DẠNG SẢN XUẤT:

**Định nghĩa:** Quá trình sản xuất là trật tự các hoạt động làm *tăng giá trị cho vật chất*. Một quá trình được đặt trưng bởi trình tự các nguyên công, bởi chế độ công nghệ và dòng ra của sản phẩm.

Quá trình có thể là liên tục, không liên tục và hỗn hợp.

**Quá trình được gọi là liên tục** nếu đường di chuyển của vật liệu là không đổi.

**Quá trình được gọi là không liên tục** nếu vật liệu chính được biến đổi một cách tuần tự và thời gian giữa hai nguyên công không ảnh hưởng đến kết quả. Thứ tự nguyên công là *đồng bộ* (các chi tiết cơ khí, ô tô).

## 2.2 CÁC DẠNG SẢN XUẤT:

**Định nghĩa:** Quá trình sản xuất là trật tự các hoạt động làm *tăng giá trị cho vật chất*. Một quá trình được đặt trưng bởi trình tự các nguyên công, bởi chế độ công nghệ và dòng ra của sản phẩm.

Quá trình có thể là liên tục, không liên tục và hỗn hợp.

**Quá trình được gọi là liên tục** nếu đường di chuyển của vật liệu là không đổi.

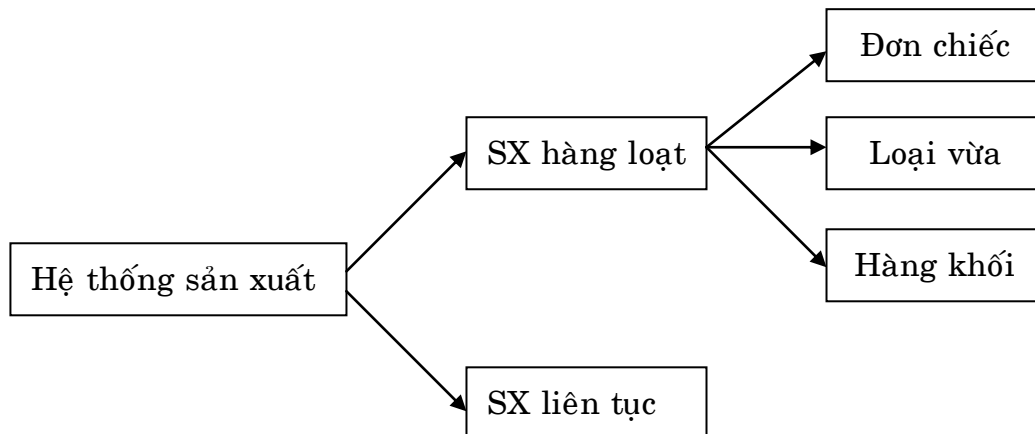
**Quá trình được gọi là không liên tục** nếu vật liệu chính được biến đổi một cách tuần tự và thời gian giữa hai nguyên công không ảnh hưởng đến kết quả. Thứ tự nguyên công là *đồng bộ* (các chi tiết cơ khí, ô tô).

**Quá trình được gọi là hỗn hợp** là sự kết hợp của hai quá trình trên. Vật liệu chính có thể xảy ra sự biến đổi liên tục ở một số giai đoạn và biến đổi tuần tự ở một số giai đoạn khác. Thí dụ như sản xuất ống, xi măng, đường.

Trong quá trình sản xuất không liên tục, có ba dạng sản xuất:

1. Sản xuất đơn chiếc.
2. Sản xuất hàng loạt.
3. Sản xuất hàng khối.

Ba loại hình sản xuất liên quan với sản lượng được thể hiện trên hình sau:



### Các dạng sản xuất

**SẢN XUẤT ĐƠN CHIẾC:** Đặc trưng phân biệt của sản xuất đơn chiếc là sản lượng thấp, thường chỉ là một. Sản xuất đơn chiếc thường để đáp ứng các đơn đặt hàng đặc biệt và các loại công việc mà nhà máy phải làm rất đa dạng. Vì vậy, thiết bị sản xuất phải linh động và có tính vạn năng, trình độ chuyên môn của công nhân phải tương đối cao.

**SẢN XUẤT HÀNG LOẠT:** Dạng sản xuất này liên quan đến việc sản xuất các *lô hàng với số lượng vừa phải*. Các lô hàng có thể chỉ được sản xuất một lần hoặc được sản xuất cách quãng thường xuyên. Mục đích của sản xuất hàng loạt thường là để đáp ứng đòi hỏi thường xuyên của khách hàng. Tuy nhiên khả năng sản xuất của nhà máy vượt quá mức độ yêu cầu. Thiết bị sản xuất sử dụng trong sản xuất hàng loạt *có mục đích chung* nhưng được thiết kế với mức độ cao hơn nhu cầu sản xuất.

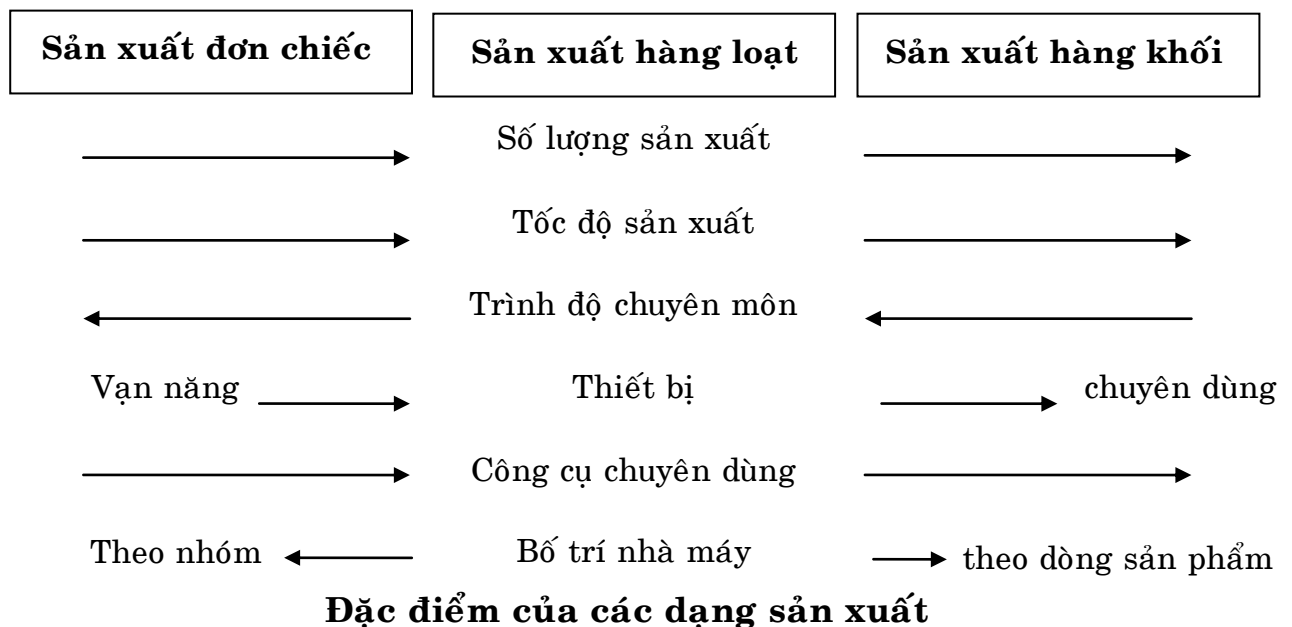
**SẢN XUẤT HÀNG KHỐI:** loại hình sản xuất liên tục chuyên về sản xuất *một loại sản phẩm*. Sản xuất hàng khối *đặc trưng bởi năng xuất rất cao*, thiết bị hoàn toàn dành cho sản xuất các sản phẩm đặt biệt và mức độ yêu cầu về sản phẩm rất cao. Thiết bị có tính rất chuyên dùng hơn là vạn năng. Vốn đầu tư cao, trình độ chuyên môn của công nhân thấp hơn trong các nhà máy thuộc hai loại hình trên.

Có thể phân biệt hai loại sản xuất hàng khối:

1. Sản xuất theo số lượng.
2. Sản xuất kiểu dòng chảy liên tục.

*Sản xuất theo số lượng* liên quan đến sản xuất hàng khối chỉ một loại chi tiết bằng máy công cụ đúng tiêu chuẩn như máy đục lỗ, máy đúc, máy tiện ren...

*Sản xuất kiểu dòng chảy liên tục* là nhóm khác của sản xuất *hàng khối*. Điển hình của kiểu sản xuất này là dây chuyền máy tự động trong sản xuất các bộ phận rời phức tạp và các dây chuyền lắp ráp thủ công các sản phẩm phức tạp.

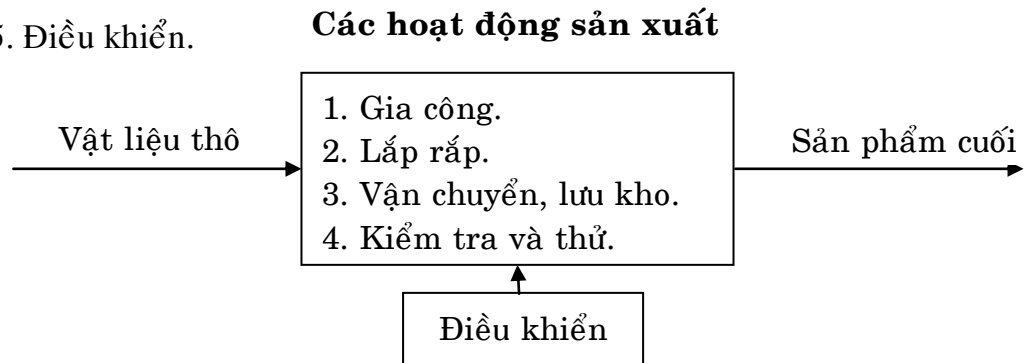




## 2.3 CÁC CHỨC NĂNG CỦA SẢN XUẤT:

Các công ty sản xuất các sản phẩm có các chức năng sau:

1. Gia công.
2. Lắp ráp.
3. Vận chuyển và bảo quản nguyên liệu.
4. Kiểm tra và thử.
5. Điều khiển.



Mô hình sản xuất cho thấy 5 chức năng của sản xuất

### **Hoạt động gia công:**

Các hoạt động gia công nâng cao chất lượng sản phẩm. Hoạt động này không phải là lắp ráp hoặc tập hợp các vật liệu hay các bộ phận để hoàn chỉnh quá trình chuyển đổi mà là sử dụng năng lượng (như cơ năng, nhiệt năng, điện năng, hóa năng,...) để thay đổi hình dáng các bộ phận, loại bỏ nguyên liệu trên chúng, thay đổi đặc tính vật lý hoặc hoàn thành các loại công việc khác để sửa đổi chúng. Các hoạt động gia công có thể chia thành bốn nhóm sau:

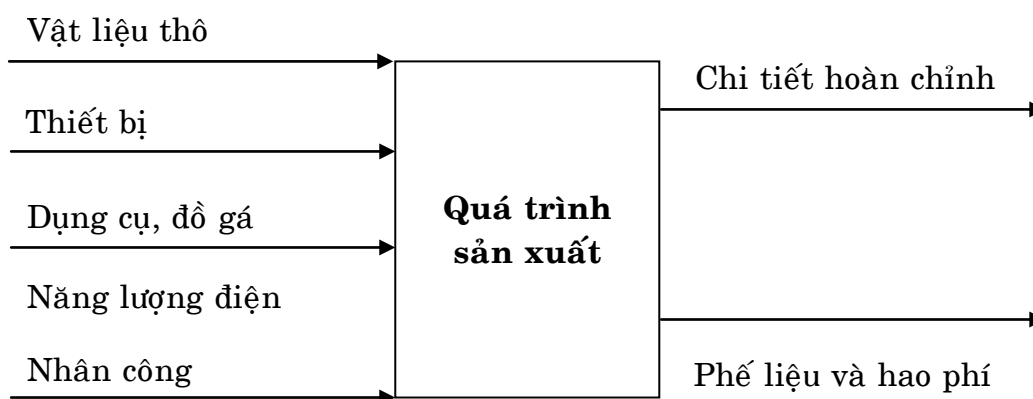
1. Hoạt động xử lý sơ cấp (Tạo phôi).
2. Hoạt động xử lý thứ cấp (Gia công trước nhiệt luyện).
3. Các hoạt động nâng cao đặc tính (Nhiệt luyện).
4. Hoạt động hoàn chỉnh (Gia công tinh).

Hoạt động xử lý sơ cấp tạo hình dáng ban đầu, như đúc kim loại và đúc nhựa. Cả hai hoạt động đều biến đổi nguyên liệu thành hình dáng cơ bản của sản phẩm mong muốn.

Xử lý phụ tiếp sau xử lý cơ bản và được thực hiện để tạo hình dáng mong muốn cuối cùng. Điển hình của nhóm này bao gồm hoạt động cơ khí (tiên, khoan, phay,...) và các hoạt động dùng áp lực (dập, uốn, kéo,...).

Các hoạt động nâng cao đặc tính không làm thay đổi hình dáng, chỉ cải tiến đặc tính của nguyên liệu

Các hoạt động hoàn chỉnh là tác động cuối cùng đối với vật liệu, với mục đích cải tiến mẫu mã hoặc tạo lớp bảo vệ cho sản phẩm.



### Mô hình quá trình sản xuất

Hình trên trình bày đầu vào/ đầu ra của hoạt động xử lý điển hình trong sản xuất. Hầu hết các quy trình sản xuất đòi hỏi năm đầu vào:

1. Nguyên liệu.
2. Thiết bị (máy công cụ).
3. Dụng cụ và cơ cấu cố định.
4. Năng lượng (năng lượng điện).
5. Công nhân.

Quá trình sản xuất có hai đầu ra:

1. Sản phẩm hoàn chỉnh.
2. Phế liệu và hao phí.

Sản phẩm hoàn chỉnh nói đến sản phẩm mong muốn của quá trình.

Sản xuất nguyên liệu được chuyển qua rất nhiều hoạt động, chỉ có hoạt động cuối cùng mới tạo ra sản phẩm hoàn chỉnh. Các hoạt động khác tạo tiến trình công việc để hoàn thiện quá trình.

#### ***Hoạt động lắp ráp:***

Quá trình lắp ráp và nối kết tạo thành hoạt động sản xuất chính thứ hai. Đặc trưng của việc lắp ráp là kết hợp hai hoặc nhiều bộ phận với nhau. Trong chế tạo sản phẩm, hoạt động lắp ráp tiếp sau hoạt động gia công.

#### ***Vận chuyển và tích trữ phiê liệu:***

Cần phải cung cấp các phương tiện cho việc vận chuyển và tích trữ phiê liệu giữa các hoạt động gia công và lắp ráp. Thời gian vận chuyển và tích trữ nguyên liệu chiếm nhiều hơn thời gian xử lý.

#### ***Kiểm tra và thử:***

Kiểm tra và thử được xem chung là một phần của điều khiển chất lượng. Mục đích của việc kiểm tra là để khẳng định sản phẩm có đạt các tiêu chuẩn thiết kế và đặc tính kỹ thuật hay không. Việc thử quan tâm đến tính năng của sản phẩm cuối hơn là các bộ phận độc lập thuộc sản phẩm.

**Điều khiển:**

Chức năng điều khiển bao gồm cả việc điều khiển việc xử lý độc lập và các hoạt động lắp ráp và việc quản lý các hoạt động của nhà máy.

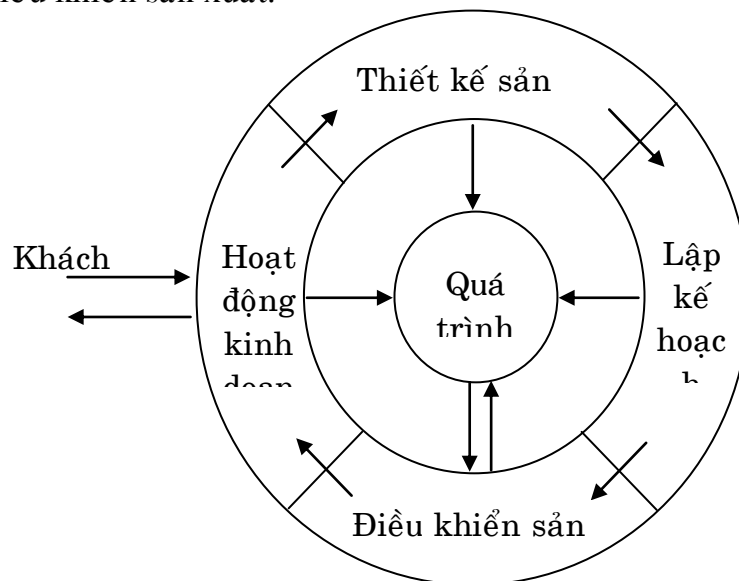
**Điều khiển ở cấp xử lý** quá trình nhằm đạt mục đích thực hiện quá trình nhờ thay đổi bởi các nhân tố đầu vào một cách thích hợp.

**Điều khiển cấp nhà máy** bao gồm việc sử dụng có hiệu quả các lao động, bảo quản thiết bị, vận chuyển nguyên liệu trong nhà máy, chuyên chở sản phẩm chất lượng cao theo đúng kế hoạch với chi phí hoạt động là thấp nhất.

**2.4 TỔ CHỨC VÀ XỬ LÝ THÔNG TIN TRONG SẢN XUẤT:**

Các công ty sản xuất phải tự tổ chức để hoàn thành năm chức năng đã nêu ở trên. Chu trình xử lý thông tin điển hình trong công ty sản xuất các bộ phận rời và lắp ráp thành sản phẩm cuối cùng để bán cho khách hàng. Hoạt động của nhà máy mà ta đã mô tả trong phần trước được vẽ ở trung tâm. Chu trình xử lý thông tin được thể hiện ở vòng ngoài, có thể được mô tả gồm bốn chức năng:

1. Chức năng kinh doanh.
2. Thiết kế sản phẩm.
3. Lập kế hoạch sản xuất.
4. Điều khiển sản xuất.



**Chu trình xử lý thông tin trong công ty sản**

### *Chức năng kinh doanh:*

Các chức năng kinh doanh là phương tiện chính để thông tin đến khách hàng. Vì vậy, chúng bắt đầu và kết thúc chu trình xử lý thông tin. Nhóm này bao gồm tiếp thị, dự đoán lượng hàng bán, tính chi phí, gửi hóa đơn đến khách hàng và các hoạt động khác.

### *Thiết kế sản phẩm:*

Nếu sản xuất theo yêu cầu kỹ thuật của khách hàng, bản thiết kế sẽ do khách hàng cung cấp. Bộ phận thiết kế sản phẩm không liên quan đến.

Bản thiết kế sản phẩm là tài liệu bao gồm các bản vẽ kỹ thuật, các đặt tính kỹ thuật và danh sách vật liệu. Việc chế tạo và thiết kế sản phẩm mẫu hoàn tất, ban quản trị công ty được mời đến với vai trò chỉ đạo. Kỹ sư thiết kế có nhiệm vụ trình bày và biện chứng về sản phẩm để ban quản trị quyết định việc sản xuất.

### *Lập kế hoạch sản xuất:*

Thông tin và tư liệu hình thành mẫu thiết kế sản phẩm được chuyển tới chức năng lập kế hoạch sản xuất. Các hoạt động xử lý thông tin trong việc lập kế hoạch sản xuất bao gồm: kế hoạch quy trình, lập lịch trình chủ đạo, kế hoạch cung ứng, kế hoạch khả năng.

**Lập kế hoạch quy trình** khẳng định các bước gia công và hoạt động lắp ráp cần thiết để sản xuất. Tư liệu được sử dụng để định rõ trình tự các nguyên công gọi là phiếu tiến trình công nghệ (route sheet). Phiếu tiến trình liệt kê các nguyên công sản xuất và các máy công cụ cho mỗi bộ phận (và linh kiện) của sản phẩm. Các ban kỹ thuật sản xuất và ban kỹ thuật công nghệ chịu trách nhiệm về việc lập quy trình công nghệ và các vấn đề liên quan đến sản xuất.

### *Điều khiển sản xuất:*

Điều khiển sản xuất liên quan đến việc quản lý và điều chỉnh các hoạt động vật chất trong nhà máy để thực hiện đầy đủ các kế hoạch sản xuất. Chức năng điều khiển bao gồm điều khiển khu vực sản xuất, điều khiển tồn trữ, điều khiển chất lượng và các hoạt động điều khiển khác. Điều khiển quá trình cũng thuộc chức năng này nếu nhà máy sử dụng việc điều khiển quá trình tự động tại các nguyên công.

**Điều khiển khu vực sản xuất** liên quan đến việc giám sát tiến trình gia công, lắp ráp, vận chuyển và kiểm tra sản phẩm trong nhà máy. Bao gồm việc: *lên lịch trình chính*, phân công và xúc tiến. Người quản đốc so sánh tiến trình sản xuất với lịch trình, nếu bị chậm, quản đốc cố gắng để có những điều chỉnh cần thiết để hoàn thành kịp thời gian.

### ***Điều khiển tồn trữ phôi giữa các nguyên công:***

Điều khiển tồn trữ phải cố gắng giữ cân bằng giữa nguy cơ tồn trữ quá ít và chi phí cho việc tồn trữ quá nhiều.

Nhiệm vụ của việc *điều khiển chất lượng* là để bảo đảm rằng chất lượng của sản phẩm và các bộ phận của chúng đạt tiêu chuẩn của người thiết kế.

## **2.5 BỐ TRÍ MẶT BẰNG SẢN XUẤT:**

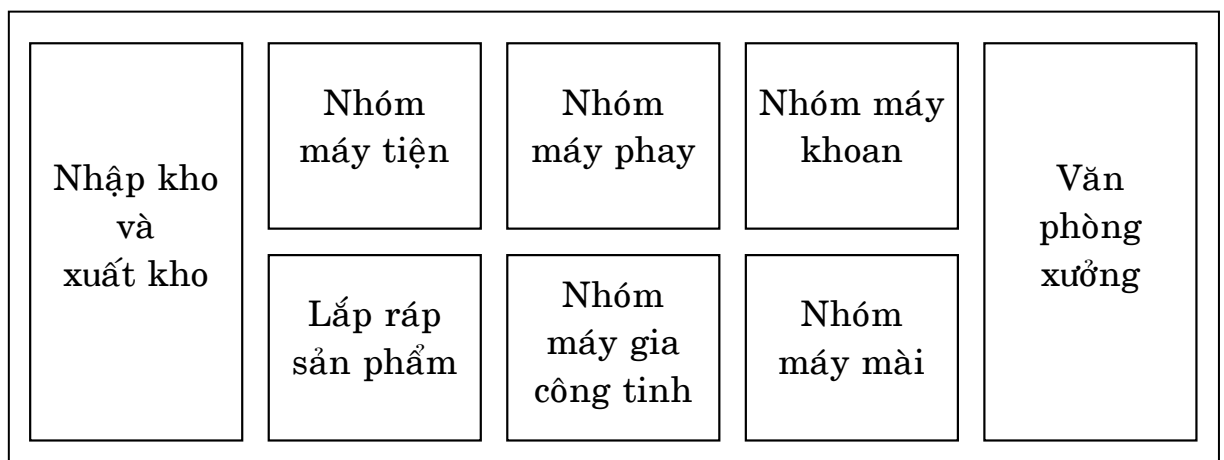
Bố trí nhà máy là việc sắp xếp cơ sở vật chất trong nhà máy sản xuất. Bố trí cho sản xuất hàng loạt thì không phù hợp với sản xuất chuyên biệt và ngược lại. Có 3 cách thức bố trí nhà máy liên quan đến phân xưởng sản xuất truyền thống:

1. Bố trí tại vị trí cố định.
2. Bố trí theo nhóm máy.
3. Bố trí máy theo dòng sản phẩm.

*Bố trí tại vị trí cố định:* “vị trí cố định” ám chỉ sản phẩm, bởi vì chúng có kích thước và khối lượng lớn, nên được giữ tại một vị trí và các thiết bị cần cho việc chế tạo được mang theo chúng.

Trong bố trí vị trí cố định cuối cùng sản phẩm được chuyển khỏi nhà máy, để nhà máy tiến hành công việc kế tiếp. Cách thức bố trí này được dùng cho phân xưởng sản xuất chuyên biệt, chế tạo các sản phẩm phức tạp với số lượng nhỏ.

*Bố trí theo nhóm máy:* máy móc sản xuất được sắp xếp thành từng nhóm theo quy trình sản xuất chung. Thuận lợi là tính linh động. Bố trí theo nhóm máy là điển hình của sản xuất đơn chiếc và sản xuất từng đợt. Cách thức này cũng được dùng trong sản xuất hàng loạt theo số lượng, được minh họa ở hình sau:



**Bố trí nhà máy theo nhóm máy gia công**

*Bố trí theo dòng sản phẩm:* nếu nhà máy chuyên sản xuất một hoặc một loại sản phẩm với số lượng lớn, cơ sở sản xuất phải được bố trí để sản xuất với hiệu quả cao nhất.

Ba cách thức bố trí này (vị trí cố định, theo phương pháp gia công, theo dòng sản phẩm) là cái cách thức thường thấy trong các nhà máy sản xuất ngày nay. Như chúng ta sẽ nhận thấy sau này, cách thức thứ tự được gọi là công nghệ nhóm, thể hiện sự nỗ lực kết hợp hiệu quả bố trí theo dòng với tính linh động của bố trí theo phương pháp công nghệ.

## 2.6 NHỮNG THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG CỦA SẢN XUẤT:

Một số khái niệm sản xuất thuộc số lượng hoặc đòi hỏi phải dùng các cách định lượng để xác định chúng.

### 1) Thời trình sản xuất sản phẩm:

Chúng ta chia các hoạt động sản xuất thành hai nhóm chính: các hoạt động sản xuất và hoạt động phi sản xuất.

Hoạt động sản xuất phi sản phẩm (hay vật liệu) ở trong máy móc sản xuất.

Các hoạt động phi sản xuất là vận chuyển phôi, dự trữ. Kiểm tra và các tác nhân trì hoãn khác. Gọi  $T_o$  là thời gian chu kỳ gia công trên một nguyên công (gồm thời gian gia công, vận chuyển, gá đặt phôi và thay đổi dụng cụ trong quá trình gia công),  $T_{no}$  là thời gian tổn thất không thuộc về chu kỳ gia công trên nguyên công đó (nonoperation). Và, nếu ta giả sử rằng có  $n_m$  máy hoạt động. Cho rằng sản xuất là hàng loạt và  $Q$  là số đơn vị sản phẩm trong mỗi loạt. Thời gian chuẩn bị kết thúc (setup) là  $T_{su}$ .

Thời trình sản xuất (manufacturing lead time - MLT) là thời gian toàn bộ cần thiết cho việc gia công một loạt sản phẩm (hoặc vật liệu).

$$MTL = T_{su} + \sum_{i=1}^{n_m} Q T_{oi} \quad (2.1)$$

Trong đó:  $i$  là số nguyên công gia công,  $i = 1, 2, \dots, n_m$ .

Phương trình này không kể đến thời gian dự trữ vật liệu thô trước khi đưa vào sản xuất.

Giả sử thời gian chu kỳ gia công  $T_o$ , thời gian chuẩn bị kết thúc (setup)  $T_{su}$  và thời gian phi sản xuất  $T_{no}$  (tổn thất ngoài chu kỳ) là bằng nhau một cách tương ứng cho từng nguyên công, chúng ta có thể viết lại phương trình 2.1 như sau:

$$MTL = T_{su} + \sum_{i=1}^{n_m} Q T_{oi} \quad (2.2)$$

Giả sử rằng Q và  $n_m$  là bằng nhau với mọi sản phẩm. Trong nhà máy sản xuất từng đợt những thông số này khác nhau với các sản phẩm khác nhau. Trong sản xuất đơn chiếc, số lượng mỗi loạt là 1. Phương trình (2.2) sau khi thay giá trị  $Q = 1$  có dạng:

$$MLT = t_m + t_{su} + t_o + t_{no} \quad (2.3)$$

Với sản xuất hàng khối Q trong công thức (2.1) có giá trị rất lớn, nên các thông số khác trở nên rất nhỏ. Khi đó, MLT trở nên đơn giản chỉ là thời gian làm việc của máy sau khi đã thực hiện việc chuẩn bị và hoạt động sản xuất bắt đầu.

Đối với sản xuất hàng khối liên tục, toàn bộ dây chuyền sản xuất được chuẩn bị trước. Đồng thời, thời gian phi sản xuất giữa các nguyên công chỉ đơn giản là thời gian vận chuyển sản phẩm từ một máy hoặc khâu sản xuất đến máy hoặc khâu kế tiếp. Nếu các khâu sản xuất là thống nhất để các bộ phận được xử lý cùng một lúc thì khâu nào có thời gian hoạt động dài nhất sẽ quyết định giá trị MLT. Từ đó:

$$MLT = n_m (\text{thời gian vận chuyển} + \text{thời gian chu kỳ gia công dài nhất } T_o) \quad (2.4)$$

$n_m$  là số lượng các khâu sản xuất riêng biệt trong dây chuyền sản xuất

## 2) Năng suất máy:

Năng suất máy của quá trình sản xuất đơn chiếc hoặc hoạt động lắp ráp thường được tính theo giờ (Số lượng đơn vị sản phẩm mỗi giờ). Năng suất được ký hiệu là  $R_p$ . Cho rằng các thông số trong phương trình (2.2) diễn tả thời gian setup và thời gian nguyên công của *bất cứ máy nào*. Ta được thời gian tổng cộng để sản xuất lô hàng hay *thời gian lô* trên máy, đó là:

$$\frac{\text{Thời gian lô}}{\text{máy}} = t_{su} + QT_o$$

Nếu có tính đến phần trăm phế phẩm  $q$  thì công thức trên được viết là:

$$\frac{\text{Thời gian lô}}{\text{máy}} = t_{su} + \frac{QT_o}{1 - q}$$

Vậy *thời gian sản xuất mỗi chi tiết trên một máy cho trước* hay ngắn gọn là *thời gian chiếc* (không kể phần trăm phế phẩm) sẽ là:

$$T_p = \frac{t_{su}}{Q} + \frac{QT_o}{Q(1 - q)} = \frac{t_{su}}{Q} + \frac{t_o}{1 - q} \quad (2.5)$$

Q là số lượng sản xuất mong muốn.

Năng suất máy trung bình là nghịch đảo của *thời gian chiếc*.

$$R_p = \frac{1}{T_p} \quad (2.6)$$

Với sản xuất đơn chiếc, khi Q = 1, thời gian sản xuất một chi tiết bằng:

$$T_p = T_{su} + T_o \quad (2.7)$$

Với sản xuất hàng khối, thời gian chiếc xấp xỉ chu kỳ hoạt động của dây chuyền (thời gian vận chuyển + thời gian nguyên công dài nhất  $T_o$ ), cũng không tính đến thời gian setup  $T_{su}$ . Vấn đề trong dây chuyền sản xuất là sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các khâu sản xuất trong dây chuyền. Nếu một khâu bị hư hay trục trặc, toàn bộ dây chuyền đều ngưng hoạt động.

### 3) Các thành phần của thời gian nguyên công:

Thời gian sản xuất  $T_o$  là thời gian cần tác động đến vật liệu bằng máy móc, nhưng không phải toàn bộ thời gian này là để sản xuất. Hoạt động này thường sản xuất các sản phẩm rời. Thời gian hoạt động này gồm 3 phần: thời gian sử dụng máy thực sự  $T_m$ , thời gian vận chuyển phôi  $T_h$  và thời gian sử lý dụng cụ  $T_{th}$ . Vậy:

$$T_o = T_m + T_h + T_{th} \quad (2.8)$$

*Thời gian liên quan đến dụng cụ*  $T_{th}$  là tất cả các thời gian cần thay đổi dụng cụ khi chúng mòn, chuyển từ khâu này đến khâu kế để hoàn chỉnh các hoạt động,  $T_{th}$  là thời gian trung bình tính trên một chi tiết gia công đối với bất kỳ hay tất cả các hoạt động liên quan tới dụng cụ.

Mỗi thành phần  $T_m$ ,  $T_h$ ,  $T_{th}$  có phần giống nhau tương ứng trong các hoạt động sản xuất mỗi sản phẩm.

### 4) Khả năng sản xuất (production capacity - PC) của nhà máy:

Khả năng nhà máy được dùng để xác định số lượng sản phẩm lớn nhất mà nhà máy (hoặc cơ sở sản xuất khác) có khả năng sản xuất với một điều kiện sản xuất nhất định, nó liên quan đến mức độ sản xuất. *Điều kiện sản xuất* là số ca mỗi



ngày (1, 2 hay 3), số ngày trong một tuần (hoặc tháng) mà nhà máy hoạt động, trình độ công nhân, có làm việc ngoài giờ hay không,... Coi khả năng sản xuất PC là khả năng sản xuất của một khâu hoặc một nhóm các khâu sản xuất với điều kiện nào đó. Khả năng được xác định là số lượng đơn vị hàng hóa được sản xuất mỗi tuần. Gọi W là số lượng các khâu sản xuất. Năng suất là  $R_p$  đơn vị mỗi giờ. Mỗi khâu hoạt động H giờ mỗi ca. H là thời gian trung bình không tính thời gian máy móc hư hỏng, và sửa chữa, thay thế, trì hoãn hoạt động,... thời gian chuẩn bị kết thúc được bao hàm trong  $R_p$ , theo phương trình (2.5). Gọi  $S_w$  là số ca mỗi tuần (hoặc khoảng thời gian thích hợp cho nhà máy). Khả năng sản xuất của một nhóm các khâu sản xuất như sau:

$$PC = WS_w HR_p \quad (2.9)$$

Giả thuyết rằng giá trị của  $R_p$  là bằng nhau với mọi chi tiết được sản xuất.

Nếu nhà máy sản xuất từng đợt, mỗi sản phẩm được chuyển qua  $n_m$  máy, phương trình năng suất được viết lại:

$$PC = \frac{WS_w HR_p}{n_m} \quad (2.10)$$

Một ứng dụng khác của phương trình khả năng sản xuất là dùng để xác định quỹ thời gian cần thiết để đáp ứng nhu cầu hàng tuần. Gọi  $D_w$  là mức yêu cầu hàng tuần (demand rate per week) được tính bằng số lượng đơn vị. Thay PC trong (2.10) bởi  $D_w$  và sắp xếp lại, ta được số giờ cần thiết trong mỗi tuần là:

$$WS_w H = \frac{D_w n_m}{R_p} \quad (2.11)$$

Phương trình (2.11) cho thấy 3 cách khác nhau để điều chỉnh năng suất lên hoặc xuống cho thích hợp với sự thay đổi của nhu cầu hàng tuần.

1. Thay đổi số lượng các khâu sản xuất W trong phân xưởng.  
Thực hiện điều này bằng cách sử dụng thiết bị chưa sử dụng và tuyển thêm công nhân, có thể phải trang bị thêm máy mới.
2. Thay đổi số ca sản xuất  $S_w$ . Ví dụ: có thể cho phép làm vào thứ bảy.
3. Thay đổi thời gian mỗi ca H. Ví dụ: cho phép làm thêm giờ.

Trong các trường hợp năng suất máy khác nhau, các phương trình khả năng sản xuất có thể được sửa lại tùy theo yêu cầu đối với các sản phẩm khác nhau. Phương trình (2.10) được viết lại như sau:

$$WS_w H \frac{n_m}{R_p} \quad (2.12)$$

**5) Hệ thống sử dụng có ích (utilization) và độ sẵn sàng (availability) của thiết bị:**

Hệ số sử dụng có ích là tỉ số giữa số lượng sản phẩm làm ra (output) và khả năng sản xuất (capacity) của cơ sở sản xuất.

$$U = \frac{\text{output}}{\text{capacity}} \quad (2.13)$$

Công thức này có thể áp dụng cho toàn bộ nhà máy, máy riêng lẻ trong nhà máy hoặc bất cứ nguồn sản xuất nào (ví dụ: nhân lực). Hệ số sử dụng được biểu diễn bằng phần trăm.

Độ sẵn sàng thường được dùng để tính khả năng tin cậy của thiết. Độ sẵn sàng có thể được xác định bằng công thức:

$$\text{Độ tin cậy} = \frac{MTBF \cdot MTTR}{MTBF} \quad (2.14)$$

Trong đó: MTBF – thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng (mean time between failures).

MTTR – thời gian sửa chữa trung bình (mean time to repair).

Độ tin cậy cũng thường được diễn tả bằng phần trăm.

**6) Phôi liệu trong tiến trình (WIP – work-in-process):**

Là lượng phôi và bán thành phẩm hiện đang được hoặc được xử lý WIP được coi là trạng thái trung gian của quá trình biến đổi nguyên liệu thành sản phẩm hoàn chỉnh.

$$WIP = \frac{PC \cdot U}{S_w \cdot H} \cdot MLT$$

Trong đó WIP là số lượng phôi và bán thành phẩm nằm trong tiến trình. Phương trình này cho thấy WIP bằng tốc độ lưu thông của phôi trong nhà máy (gọi là

mô hình đường cống trong nhà máy) nhân với khoảng thời gian mà các chi tiết nằm trong nhà máy. Đơn vị của  $(PC).U/(S_wH)$  (số chi tiết trong một tuần) phải thích ứng với đơn vị của MLT (tuần).

Hai phương pháp có thể được dùng để định lượng vật liệu trong tiến trình là dùng tỷ lệ WIP và tỷ lệ TIP. Tỷ lệ WIP cho thấy lượng tồn trữ trong tiến trình liên quan đến vật liệu thật sự được xử lý. Đó là tỷ lệ giữa số lượng tổng cộng cổ phần trong nhà máy với số lượng của phần đang được xử lý (hoặc lắp ráp). Tỷ lệ WIP có thể được tính bằng cách chia lượng WIP tính được theo phương trình (2.15) với số lượng máy hiện có liên quan đến việc xử lý vật liệu – sử dụng các thông số đã được định nghĩa, ta tính được số lượng máy gia công  $n_{gc}$ .

$$n_{gc} = \frac{WU}{T_{su}} \frac{QT_o}{QT_o}$$

Trong đó:

W: số lượng máy sản xuất có thể có trong nhà máy.

U: hệ số sử dụng.

Q: số lượng trung bình của lô hàng.

$T_o, T_{su}$ : thời gian nguyên công và thời gian chuẩn kết.

Vì vậy tỷ lệ WIP được xác định bằng công thức:

$$tisoWIP = \frac{WIP}{n_{gc}}$$

Tỷ lệ WIP tối ưu là 1:1, nghĩa là tất cả các vật liệu trong nhà máy đều đang được xử lý. .

Tỷ lệ TIP xác định tỉ số thời gian sản phẩm nằm trong nhà máy so với thời gian gia công thật sự.

$$tisoTIP = \frac{MLT}{n_m T_o}$$

Tỷ lệ TIP tối ưu cũng là 1:1 và rất khó có thể đạt được tỷ lệ thấp như vậy trong thực tế. Theo kết quả của Merchart trên hình 2.8, tỷ lệ TIP = 20:1.

## Vài nhận định về các thông số đặc trưng của quá trình sản xuất.

Các khái niệm nói trên rất quan trọng trong sản xuất và thích hợp với việc bàn thảo về kỹ thuật tự động.

*Chu kỳ sản xuất* một sản phẩm xác định thời gian cần thiết để có thể giao hàng cho khách, thời gian ngắn nhất thường sẽ nhận được đơn đặt hàng hơn.

Ngày nay, hệ thống sản xuất tự động hình thành được thiết kế để sản xuất các sản phẩm khác nhau với MLT thấp nhất có thể.

*Năng suất* cao và *hiệu xuất* cao là các chủ đích quan trọng của kỹ thuật tự động. Các chủ đích này được hoàn chỉnh bằng cách giảm thời gian gia công ( $T_o$ ), thời gian cấp phôi ( $T_h$ ), thời gian thay đổi dụng cụ ( $T_{th}$ ) và thời gian chuẩn kết ( $T_{su}$ ). Chủ đích khác của tự động hóa là làm tăng năng suất sản xuất hoặc làm thay đổi năng xuất không cần đến sự thay đổi lớn về trình độ sản xuất.

*Hệ số sử dụng có ích* và *độ tin cậy* có thể đều hữu ích cho việc tính toán thành quả của nhà máy sản xuất. Độ tin cậy có thể cho thấy việc bảo trì như thế nào là tốt, bảo trì là bảo quản và sửa chữa các thiết bị trong nhà máy. Nếu giá trị này đạt đến gần 100% tức là thiết bị đáng tin cậy và công việc bảo trì được thực hiện tốt. Khi bộ phận của thiết bị là loại mới và sau này sẽ cũ đi, độ tin cậy có thể của nó sẽ giảm. Việc bảo trì đặc biệt quan trọng đối với thiết bị tự động, bởi vì thành công của hoạt động sản xuất tùy thuộc theo hệ số sử dụng có thể và độ tin cậy của máy móc.

*Vật liệu trong tiến trình* là vấn đề quan trọng trong sản xuất. Nhiều công ty đang cố gắng để giảm chi phí của WIP và biện pháp để đạt được điều đó là tự động hoá các hoạt động.

### **2.7 CÁC CHIẾN LƯỢC TỰ ĐỘNG HÓA:**

Có vài phương án cơ bản có thể được ứng dụng để nâng cao hiệu quả của hoạt động sản xuất. Vì vậy các phương án này thường được thực hiện bởi kỹ thuật tự động. Chúng ta gọi chúng như là chiến lược tự động hóa. Bảng sau liệt kê mười phương án.

Chiến lược	Hiệu quả
1. Chuyên môn hóa các nguyên công.	Giảm $T_o$
2. Phối hợp các nguyên công.	Giảm $n_m$ , $T_h$ , $T_{no}$
3. Gia công song song.	Giảm $n_m$ , $T_n$ , $T_h$ , $T_{no}$

4. Gia công nối tiếp.	Giảm $n_m$ , $T_h$ , $T_{no}$
5. Tăng tính linh hoạt.	Giảm $T_{su}$ , $MLT$ , $WIP$ ; Tăng $U$
6. Cải tiến việc cấp phôi và bảo quản vật liệu.	Giảm $T_{no}$ , $MLT$ , $WIP$
7. Kiểm tra trong quá trình gia công.	Giảm $T_{no}$ , $q$
8. Tối ưu hóa và điều khiển quá trình.	Giảm $T_o$ , $q$
9. Điều khiển hoạt động nhà máy.	Giảm $T_{no}$ , $MLT$ ; Tăng $U$
10. Sản xuất tích hợp máy tính.	Giảm $MLT$ , thời gian thiết kế, thời gian lập trình gia công, tăng $U$

### 10 chiến lược tự động hóa

#### Chú giải:

$T_n$ : Thời gian nguyên công (xử lý hoặc lắp ráp).

$T_{no}$ : Thời gian phi sản xuất.

$T_h$ : Thời gian cấp phôi liệu.

$n_m$ : Số lượng máy móc mà sản phẩm phải được trải qua.

$MLT$ : Thời gian sản xuất.

$WIP$ : Vật liệu tồn đọng trong tiến trình.

$q$ : Tốc độ phế phẩm.

$U$ : Hệ thống sử dụng.

## ***BÀI TẬP CHƯƠNG II***

**Bài 1:** Một số sản phẩm gia công qua 6 máy trong nhà máy sản xuất hàng loạt.

Thời gian chuẩn bị nguyên công của mỗi máy được cho như sau:

Máy	thời gian chuẩn bị, giờ	Thời gian nguyên công, phút
1	4	5
2	2	3.5
3	8	10
4	3	1.9
5	3	4.1
6	4	2.5

Số lượng mỗi loại là 100 và thời gian sản xuất trung bình mỗi máy là 12h.

- Xác định thời trình sản xuất.
- Xác định năng suất cho nguyên công 3

**Giải**

$$n_m = 6 \text{ máy}; Q = 100 \text{ ch}; T_{o2} = 12 \text{ giờ}$$

- Thời gian nguyên công trung bình của nhà máy:

$$T_o = (5 + 3.5 + 10 + 1.9 + 4.1 + 2.5) / 6 = 4.5 \text{ phút}$$

Thời gian chuẩn bị trung bình của nhà máy:

$$T_{su} = (4 + 2 + 8 + 3 + 3 + 4) / 6 = 4 \text{ h}$$

Thời trình sản xuất của nhà máy:

$$\begin{aligned} MLT &= n_m(T_{su} + Q.T_o + T_{no}) = 6 \cdot (4 + 100 \cdot 4.5 / 60 + 12) \\ &= 141 \text{ h} \end{aligned}$$

- Năng suất cho nguyên công 3:

$$\begin{aligned} R_p &= 1 / T_p = Q / (T_{su} + Q.T_o) = 100 / (8 + 100 \cdot 10 / 60) \\ &= 4,05 \text{ ch/h} \end{aligned}$$

$$\text{ĐS: a) } 141 \text{ h} \quad \text{b) } 4,05 \text{ ch/h}$$

### **Bài 2 :**

Thời gian giữa các lần hư hỏng của máy là 280 h và thời gian sửa chữa là 6h. Xác định khả năng có thể của máy.

**Giải:**

Khả năng có thể của máy:

$$\begin{aligned}\text{Độ tin cậy} &= (\text{MTBF} - \text{MTTR}) / \text{MTBF} \\ &= (280 - 6) / 280 \\ &= 97,8\%\end{aligned}$$

ĐS : 97,8%

### **Bài 3 :**

Trung bình có 20 đơn đặt hàng được sản xuất ở 1 phân xưởng mỗi tháng. Trung bình mỗi đợt hàng gồm 50 sản phẩm xử lý qua 10 máy. Mỗi máy có  $T_0=15$  phút,  $T_{no}=8$  giờ,  $T_{su}=4$  giờ. Phân xưởng có 25 máy, 80% đang hoạt động, 20% đang sửa chữa hoặc bảo trì. Nhà máy hoạt động 160 h/tháng. Nhưng giám đốc công ty cần có thời gian làm thêm là 100 giờ mỗi tháng để giữ tiến trình sản xuất đúng kế hoạch.

- Tính thời trình sản xuất mỗi đợt hàng.
- Tính khả năng nhà máy trong mỗi tháng và tại sao phải làm thêm giờ?
- Tính hệ số sử dụng nhà máy.
- Tính số lượng phôi liệu trong tiến trình của nhà máy.
- Tính các tỉ số WIP, TIP.

### **Giải:**

Tóm tắt:

$$\begin{aligned}Q &= 50 \text{ ch;} \\ T_0 &= 15 \text{ phút, } T_{no} = 8 \text{ giờ, } T_{su} = 4 \text{ giờ} \\ n_m &= 10 \text{ máy} \\ Sw.H &= 160 \text{ h/tháng.} \\ W &= 20 \text{ máy}\end{aligned}$$

- a) Thời trình sản xuất mỗi đợt hàng:

$$\begin{aligned}\text{MLT} &= n_m(T_{su} + Q.T_0 + T_{no}) = 10 \cdot (4 + 50 \cdot 15/60 + 8) \\ &= 245 \text{ h}\end{aligned}$$

- b) Năng suất của máy:

$$\begin{aligned}R_p &= 1/T_p = Q/(T_{su} + Q.T_0) = 50/(4 + 50 \cdot 15/60) \\ &= 3,03 \text{ ch/h}\end{aligned}$$

Khả năng sản xuất của nhà máy:

$$\begin{aligned}\text{PC} &= W \cdot Sw.H \cdot R_p / n_m = 20 \cdot 160 \cdot 3,03 / 10 \\ &= 969,6 \text{ ch/tuần}\end{aligned}$$

- c) Hệ số sử dụng của nhà máy:

$$U = \text{output} / \text{PC} = 50 \times 20 / 969,6 = 1,0313 = 103,13\%$$

- d) Số lượng phôi liệu trong tiến trình của nhà máy:

$$WIP = (PC.U/Sw.H) .(MLT) = (969,6 .1,03/160)(245) =1529,24 \text{ ch}$$

c) Tỷ số WIP, TIP :

Số lượng máy gia công :

$$n_{gc} = WU \frac{QT_o}{T_{su}QT_o}$$

$$= 20. 1,03.(50.15/60)/ (4 + 50 .15/60)$$

$$= 15,6$$

$$\text{Tỷ số WIP} = WIP/ n_{gc} = 1529,24/ 15,8 = 98$$

$$\text{Tỷ số TIP} = MLT / n_m.T_o = 245/ (10 . 15/60) = 98$$

- ĐS : a) 245 h                      b) 969,6 ch/tuần      c) 103,13%  
d) 1529,24 ch                    e) 98; 98

### **Bài 4 :**

Sản phẩm trung bình được sản xuất trong nhà máy sản xuất hàng loạt phải qua 6 máy. Có 20 đợt hàng mới được xuất xưởng mỗi tuần. các dữ liệu liên quan:

$$T_o = 6 \text{ phút}, T_{su} = 5 \text{ giờ};$$

$$Q = 25 \text{ ch/đợt}; T_{no} = 10 \text{ giờ}$$

W = 18 máy; Nhà máy hoạt động trung bình Sw. H = 70 giờ/tuần. Phế phẩm không đáng kể.

- Xác định thời trình sản xuất trung bình cho 1 sản phẩm.
- Tính khả năng sản xuất của nhà máy.
- Tính hệ số sử dụng của nhà máy.
- Thời gian phi sản xuất ảnh hưởng thế nào đến hệ số sử dụng nhà máy?

### **Giải:**

Tóm tắt:

$$n_m = 6 \text{ máy}; T_o = 6 \text{ phút}, T_{su} = 5 \text{ giờ};$$

$$Q = 25 \text{ ch/đợt}; T_{no} = 10 \text{ giờ}$$

$$W = 18 \text{ máy}; Sw. H = 70 \text{ giờ/tuần}$$

- Thời trình sản xuất trung bình cho 1 sản phẩm :

$$MLT = n_m(T_{su} + Q.T_o + T_{no}) = 6 .(5 + 25.6/60 + 10)$$

$$= 105 \text{ h}$$

- Năng suất của máy:



$$R_p = 1/T_p = Q/(T_{su} + Q.T_o) = 25/(5 + 25.6/60) \\ = 3,3333 \text{ ch/h}$$

Khả năng sản xuất của nhà máy:

$$PC = W.Sw.H.R_p/n_m = 18.70.3.333/6 \\ = 700 \text{ ch/tuần}$$

d) Hệ số sử dụng của nhà máy:

$$U = \text{output} / PC = 25 \times 20 / 700 = 0,7142 = 71,42\%$$

e) Thời gian phi sản xuất tăng thì MLT tăng dẫn đến số đợt sản phẩm hàng tuần giảm. Do đó số lượng sản phẩm làm ra (output) giảm làm cho hệ số sử dụng nhà máy giảm theo.

ĐS : a) 105h; b) 700 ch/tuần; c) 71,42%

## CHƯƠNG III

### PHÂN TÍCH DÂY CHUYỀN TỰ ĐỘNG

Để thiết kế và đưa vào sử dụng một dây chuyền tự động trong sản xuất, người ta cần giải quyết những vấn đề sau:

Xác định số vị trí bao nhiêu là thích hợp.

Đặt ổ trữ phôi trung gian thì có lợi như thế nào?

Ảnh hưởng của chất lượng thành phần đến hoạt động của dây chuyền tự động.

Ảnh hưởng của nguyên công sản xuất bằng tay đến năng suất của dây chuyền.

Phương pháp hệ thống có thể phân tích được vấn đề trên.

Dây chuyền tự động có thể được phân tích, đánh giá bằng 3 cách:

Tốc độ sản xuất trung bình

Hiệu quả của đường dây tự động

Giá thành sản xuất 1 sản phẩm trên dây chuyền

#### 3.1. CÁC KHÁI NIỆM

**Chu kỳ sản xuất  $T_c$ :** là thời gian cần thiết để thực hiện một nguyên công trong dây chuyền sản xuất, bao gồm:

Thời gian gia công,

Thời gian đợi chờ những nguyên công có thời gian gia công dài hơn,

Thời gian vận chuyển

**Thời gian sản xuất trung bình thực tế  $T_p$ :**

Giá trị  $T_c$  chỉ là lý tưởng, trong dây chuyền sản xuất bao giờ cũng có các lý do khác nhau phải dừng máy ( chuẩn đoán hỏng hóc, sửa chữa...), do vậy thời gian sản xuất trung bình thực tế  $T_p$  bao giờ cũng lớn hơn  $T_c$

Gọi thời gian dừng máy để sửa chữa, hiệu chỉnh trung bình là  $T_d$ , ta có thời gian sản xuất trung bình thực tế là:

$$T_p = T_c + F \cdot T_d$$

Trong đó:

$T_d$ : là thời gian dừng

F: tần suất dừng

Nếu dừng vì nhiều lý do thì:

$$T_p = T_c + \sum_j T_{dj}$$

Chỉ số j là chỉ số thứ tự lý do dừng máy.

**Năng suất lý thuyết, ứng với chu kỳ sản xuất lý tưởng  $T_c$  như sau:**

$$R_p = \frac{1}{T_c}$$

**Năng suất thực tế của đường dây tự động, ứng với thời gian SX thực tế trung bình  $T_p$ :**

$$R_p = \frac{1}{T_p}$$

**Hiệu quả của đường dây tự động như sau:**

$$E = \frac{T_c}{T_p} = \frac{T_c}{T_c + F.Td}$$

**Phần không hiệu quả do dừng máy là:**

$$D = \frac{F.Td}{T_p} = \frac{F.Td}{T_c + F.Td}$$

Đương nhiên ta luôn có:  $D + E = 1$

**Giá thành sản phẩm:**

Được tính bằng công thức:  $C_{pc} = C_m + C_L.T_p + C_t$

Trong đó:

$C_m$ : Chi phí vật tư

$C_L$ : Chi phí cho một phút hoạt động của dây chuyền

$C_t$ : Chi phí cho dụng cụ tính trên một đơn vị sản phẩm.

*Chú ý rằng công thức trên không tính đến tốc độ hư hỏng, chi phí kiểm tra, chi phí sửa chữa liên quan đến những sản phẩm hư hỏng.*

### 3.2. PHÂN TÍCH DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT KHÔNG CÓ Ồ TRỮ PHÔI TRUNG GIAN

Để xem xét việc đặt ồ trữ phôi trung gian có lợi như thế nào trước hết ta nghiên cứu phân tích dây chuyền không có ồ trữ phôi trung gian.

Đối với dây chuyền sản xuất không có ồ trữ phôi trung gian, có hai phương pháp tiếp cận:

Phương pháp giới hạn trên

Phương pháp giới hạn dưới

1/ Phương pháp giới hạn trên

*Áp dụng cho trường hợp khi có sự cố trong lúc gia công không lấy chi tiết ra khỏi máy, trường hợp này tần suất dừng máy trên một chu kỳ có giới hạn là cao nhất:*

$$F = \sum_{i=1}^n p_i$$

Trong đó:  $p_i$  là xác suất dừng tại vị trí thứ  $i$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ : là số vị trí

Nếu  $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n$  thì

$$F = n \cdot p$$

2/ Phương pháp giới hạn dưới:

*Áp dụng cho trường hợp lấy chi tiết ra khỏi máy khi có sự cố phải dừng máy.*

Trường hợp này cho phép chúng ta xác định giới hạn dưới của số lần dừng máy trong một chu kỳ. theo cách này giả sử rằng một vị trí nào đó bị dừng là do chi tiết gia công, dụng cụ bị hư hỏng, khi đó phải thay dụng cụ tại vị trí gia công và chi tiết gia công phải được lấy ra khỏi máy. Như vậy chi tiết không thể gia công ở vị trí tiếp theo.

Tần suất dừng dây chuyền trong một chu kỳ tính bằng công thức:

$$F = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

Nếu cho rằng  $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = p$ , ta có:

$$F = 1 - (1 - p)^n$$

*Năng suất của dây chuyền:*

Trong phương pháp giới hạn dưới ( lấy chi tiết ra khi dừng máy ), số lượng chi tiết thành phẩm ra khỏi dây chuyền bao giờ cũng nhỏ hơn số lượng chi tiết đưa vào dây chuyền. Năng suất trong trường hợp này bằng:

$$R_p = \frac{1 - F}{T_p}$$

Trong đó F không chỉ là tần suất dừng dây chuyền mà còn là tần suất lấy phôi ra khỏi máy khi có sự cố. Nếu không có phôi nào được đưa trở lại, F là tốc độ phế phẩm. Do vậy ( 1 - F ) là hiệu suất của dây chuyền,  $T_p$  là chu kỳ sản xuất trung bình của máy hoặc dây chuyền.

Việc xác định dùng phương pháp này hay phương pháp kia là thích hợp hơn đối với một dây chuyền sản xuất cụ thể phụ thuộc vào sự hiểu biết về các nguyên công được dùng trên dây chuyền. Người vận hành máy phải biết khi dừng máy thì có nên gỡ chi ra hay không. Nếu đôi khi chi tiết để lại, đôi khi tiết được tháo ra thì xác suất thực tế dừng máy là nằm vào khoảng giữa của phương pháp giới hạn trên và phương pháp giới hạn dưới. Trong hai trường hợp thì phương pháp giới hạn trên được ưa dùng hơn vì một phần do dễ tính toán một phần do độ chính xác cao hơn.

Có nhiều lý do khác trong việc dừng máy mà không liên quan trực tiếp đến các vị trí gia công ( ví dụ: thiết bị vận chuyển hư hỏng, thay dụng cụ định kỳ tại mỗi vị trí, bảo trì dự phòng, thay đổi sản phẩm, ... ), những yếu tố này cần phải được tính đến khi xác định đặc điểm của dây chuyền.

Trên đây là ta giả sử cho rằng xác suất dừng p, tại các vị trí là như nhau, khó khăn lớn nhất là xác định giá trị p chính xác cho mỗi vị trí khác nhau. Có thể tốt nhất là dựa trên các giá trị đã được ghi nhận tổng hợp từ trước làm cơ sở tính toán.

Từ các công thức tính toán trên chúng ta có thể rút ra nhận xét: Giả sử với cùng một giá trị xác suất dừng máy p thì hiệu quả của dây chuyền sẽ giảm khi số vị trí n tăng. Như vậy việc xác định số vị trí trong một dây chuyền tự động là một bài toán tổng hợp phụ thuộc vào nhiều yếu tố: chất lượng của dây chuyền, xác suất dừng tại các vị trí, chất lượng của các dụng cụ trong dây chuyền và yêu cầu thực tế khi gia công sản phẩm để đưa ra số vị trí phù hợp không ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả của dây chuyền.

## TỰ ĐỘNG HÓA MỘT PHẦN

Có những dây chuyền tự động bao gồm cả những nguyên công thực hiện bằng máy tự động và những nguyên công thực hiện bằng tay.

Những dây chuyền được tự động hóa một phần là do các nguyên nhân sau:

1/ Việc cơ khí hóa những dây chuyền gia công bằng tay thường được thực hiện từ từ. Trước tiên những nguyên công đơn giản sẽ được tự động hóa và việc biến đổi thành tự động hóa hoàn toàn được thực hiện từng bước, và quá trình này xảy ra trong một thời gian dài. Trong quá trình chuyển tiếp, dây chuyền hoạt động như hệ thống tự động hóa một phần.

2/ Nguyên nhân thứ hai là lý do kinh tế. Một số nguyên công bằng tay rất khó tự động hóa hoặc nếu tự động hóa thì không kinh tế, ví dụ nhiều nguyên công kiểm tra thường gây ra vấn đề khi chuyển sang thực hiện tự động hoá.

Ở đây chúng ta sẽ phân tích đặc điểm của các dây chuyền tự động hóa một phần *không có ổ trữ phôi trung gian*. Chu kỳ gia công lý tưởng  $T_c$  sẽ được xác định bởi nguyên công

chậm nhất trong dây chuyền mà thông thường đó là vị trí gia công bằng tay. Chúng ta giả sử rằng sự dừng máy là chỉ trên những nguyên công tự động hóa và nguyên nhân là khác nhau: dụng cụ hỏng, các thành phần bị hỏng... và cũng giả sử rằng sự dừng máy là không có trên những nguyên công bằng tay. Cho rằng  $p$  là xác suất dừng máy tại một vị trí và giá trị  $p$  có thể là khác nhau trên những vị trí khác nhau, chúng ta giả sử một trường hợp đặc biệt là giá trị  $p$  bằng nhau cho mọi vị trí để nghiên cứu;

Tổng số vị trí trong một dây chuyền là:

$$n = n_a + n_o$$

trong đó:  $n_a$ : số vị trí gia công tự động

$n_o$ : số vị trí gia công bằng tay

Gọi  $C_o$  là chi phí gia công bằng tay

Gọi  $C_L$  là chi phí vận hành dây chuyền, giá đầu tư và chi phí gián tiếp

$$C_L = n_o C_o + n_a C_{as} + C_{at}$$

Trong đó:

$C_{as}$ : Giá của trạm gia công tự động tính trên một đơn vị sản phẩm

$C_{at}$ : Giá của trạm vận chuyển tự động tính trên một đơn vị sản phẩm,

Chu kỳ gia công thực tế: ( tính theo phương pháp giới hạn trên )

$$T_p = T_c + F * T_d = T_c + n_a * p * T_d$$

Từ đây ta có thể tính được giá thành một đơn vị sản phẩm:

$$C_{pc} = C_m + (n_o C_o + n_a C_{as} + C_{at})(T_c + n_a p T_d) + C_{at}$$

Như vậy trong một dây chuyền tự động có cả nguyên công thực hiện bằng tay so với một dây chuyền tự động hoàn toàn thì giá thành cho một sản phẩm phụ thuộc vào độ tin cậy của máy tự động. Nếu máy tự động có tin cậy không cao, hay có sự cố phải dừng máy để bảo dưỡng sửa chữa thì việc tự động hóa hoàn toàn không hẳn là có lợi về kinh tế. Ngược lại nếu máy tự động có độ tin cậy cao, chất lượng tốt giảm được xác suất dừng máy  $p$  cho tất cả các vị trí thì việc tự động hóa hoàn toàn có thể giảm giá thành cho một sản phẩm và việc tự động hóa là mang lại hiệu quả hơn.

## Ồ TRỮ PHÔI

Việc phân tích ở trên được thực hiện với giả thiết là không có các ổ trữ phôi tại các vị trí dây chuyền, vì vậy khi một vị trí bị dừng thì các nguyên công bằng tay cũng phải dừng theo vì không có phôi liệu. Sẽ hiệu quả hơn nếu giữa các vị trí sản xuất bằng tay có ổ trữ phôi trung gian. Với cách này thì một khi máy tự động dừng thì các nguyên công bằng tay sẽ vẫn tiếp tục, việc này góp phần cho việc cân đối dây chuyền tốt hơn.

Xét trường hợp dây chuyền không có ổ trữ phôi: Trong trường hợp này cả dây chuyền được xem như một máy, khi một vị trí có sự cố cả dây chuyền sẽ bị dừng, hiệu quả của dây chuyền như đã được tính ở các phần trên như sau:

$$E_o = \frac{T_c}{T_c + n_a * T_d}$$

Bây giờ ta xét trường hợp dây chuyền có ổ trữ phôi, có hai trường hợp về tính hiệu quả của ổ trữ phôi trung gian

### 1/ Ổ trữ phôi có sức chứa vô tận :

Trái ngược với vấn đề trên là bố trí những ổ trữ phôi trung gian có sức chứa vô tận trong dây chuyền. Nếu ta cho rằng mỗi ổ trữ phôi một nửa đã đầy ( nói cách khác ổ trữ phôi có

khả năng cung cấp liên tục và nhận liên tục phôi), thì các công đoạn hoạt động sẽ không phụ thuộc lẫn nhau.

Tất nhiên là một ổ trữ phôi trung gian có sức chứa vô hạn là không có trong thực tế. Tuy nhiên nếu điều đó là có thực thì hiệu quả của dây chuyền sẽ được xác định phụ thuộc vào khâu yếu nhất. Chúng ta phải giới hạn việc sản xuất để nó thích ứng với khâu yếu nhất, nếu không lượng phôi ở trước khâu yếu nhất sẽ dâng lên vô hạn, và lượng phôi ở sau khâu yếu nhất sẽ hoàn toàn rỗng. Vì vậy trong thực tế giới hạn hiệu quả cao nhất được xác định bởi khâu yếu nhất.

Nếu ta giả sử chu kỳ  $T_c$  là bằng nhau cho tất cả các nguyên công, hiệu quả của bất cứ vị trí nào trên dây chuyền được xác định bằng công thức:

$$E_k = \frac{T_c}{T_c + T_{dk}}$$

Trong đó chỉ số  $k$  chỉ số thứ tự vị trí trong dây chuyền

Hiệu quả của toàn bộ dây chuyền được xác định bằng công thức:

$$E_{\blacksquare} = \min E_k$$

trong đó ký hiệu  $\blacksquare$  chỉ ổ trữ phôi trung gian có sức chứa vô tận.

## **2/ Hiệu quả của ổ trữ phôi trung gian trong thực tế :**

Bằng cách sử dụng ổ trữ phôi trung gian chúng ta hy vọng nâng cao hiệu quả của dây chuyền lên cao hơn  $E_0$  song không thể vượt quá  $E_{\blacksquare}$ . Như vậy hiệu quả sẽ nằm trong khoảng:

$$E_0 < E < E_{\blacksquare}$$

Để đánh giá hiệu quả  $E$  cho việc sử dụng ổ trữ phôi trung gian với sức chứa khác nhau, chúng ta phải nêu ra một số đề nghị ứng dụng trong thực tế như sau:

1. Công thức  $E_0 < E < E_{\blacksquare}$  cho thấy là nếu  $E_0$  và  $E$  có giá trị gần bằng nhau thì không nên dùng ổ trữ phôi trung gian. Nếu  $E_0$  và  $E$  khác xa nhau thì nên ứng dụng ổ trữ phôi trung gian

2. Dây chuyền cần phải được chia ra thành các công đoạn sao cho hiệu quả xâu tất cả các công đoạn là như nhau. Trong trường hợp này sự khác nhau giữa  $E_0$  và  $E$  là lớn nhất và không có vị trí nào thuộc khâu yếu nhất

3. Hiệu quả của đường dây tự động có ổ trữ phôi trung gian có thể đạt được lớn nhất trong các trường hợp sau:

a/ Cho số công đoạn bằng số vị trí, nghĩa là giữa hai vị trí kế cận có một ổ trữ phôi

b/ Bằng cách đảm bảo cho tất cả các vị trí có cùng xác suất dừng máy

c/ Bằng cách thiết kế các ổ trữ phôi có sức chứa lớn. Sức chứa thực tế có thể xác định được bằng thời gian dừng máy trung bình. Nếu thời gian dừng máy lớn, khả năng chứa của ổ trữ phôi phải lớn để đảm bảo tính độc lập một cách thích đáng giữa các vị trí

4. Hiệu quả giảm dần khi số công đoạn tăng, hiệu quả đạt được lớn nhất khi thêm ổ trữ phôi đầu tiên vào dây chuyền. Khi tăng số ổ trữ phôi trung gian, hiệu quả tăng nhưng với tốc độ thấp hơn.

## **3/ Phân tích dây chuyền hai công đoạn :**

Giả sử ta có dây chuyền gồm hai công đoạn, giữa hai công đoạn có ổ trữ phôi trung gian với sức chứa  $b$  (sức chứa được xác định bởi số lượng phôi mà ổ trữ phôi có thể chứa). Cho rằng  $F_1$  và  $F_2$  là tần suất dừng của công đoạn 1 và 2. Chúng ta sử dụng hệ số  $r$  xác định tỷ số tốc độ dừng dây chuyền như sau:

$$r = \frac{F_2}{F_1}$$

Thời gian chu kỳ lý tưởng  $T_c$  bằng nhau cho cả hai công đoạn. Cho rằng sự phân bố thời gian chết của tất cả các vị trí trong mỗi công đoạn là như nhau và thời gian chết trung bình của công đoạn 1 và 2 là  $T_{d1}$  và  $T_{d2}$ .

Theo thời gian, hoạt động hiệu quả của mỗi công đoạn rồi phải bằng nhau, vì nếu không bằng nhau thì hoặc sẽ gây ra ùn tắc ( nếu công đoạn 2 kém hiệu quả hơn công đoạn 1 ) hoặc sẽ gây ra trống rỗng ( nếu công đoạn 2 hiệu quả hơn công đoạn 1 ).

Hiệu quả của cả dây chuyền hai công đoạn tính bằng công thức:

$$E = E_o + D_t * h(b)$$

Trong đó  $E_o$  là hiệu quả của dây chuyền không có ổ trữ phôi trung gian. Giá trị  $E_o$  được tính cho trường hợp dây chuyền hai công đoạn như sau:

$$E_o = \frac{T_c}{T_c + F_1 T_{d1} + F_2 T_{d2}}$$

Đại lượng  $D_t * h(b)$  thể hiện sự cải thiện hiệu quả khi có ổ trữ phôi trung gian (  $b > 0$  )

$D_t$  là tỷ lệ thời gian dừng của công đoạn 1 so với tổng thời gian và có thể được xác định như sau ( theo Buzacott )

$$D_t = \frac{F T_{d1}}{T_c + F_1 T_{d1} + F_2 T_{d2}}$$

Đại lượng  $h(b)$  là tỷ lệ thời gian chết lý tưởng  $D_t$  ( khi công đoạn 1 chết ) mà công đoạn 2 có thể tiếp tục làm việc trong phạm vi sức chứa  $b$  của ổ trữ phôi.

Kết quả tính toán theo công thức  $E = E_o + D_t * h(b)$  là được giả thiết cho trường hợp cho rằng cả hai công đoạn không khi nào cùng chết có nghĩa là khi công đoạn 1 hư hỏng, công đoạn 2 vẫn luôn hoạt động. Trong thực tế khi công đoạn 1 hư hỏng, công đoạn 2 vẫn có thể bị hư hỏng, do vậy hiệu quả của hệ thống thực tế có thể giảm và được tính:

$$E = E_o + D_t h(b) E_2$$

Trong đó  $E_2$  là hiệu quả của công đoạn 2 xác định bởi công thức:  $E_k = \frac{T_c}{T_c + F_k T_{dk}}$

## GIẢI CÁC BÀI TẬP CHƯƠNG 3

### BÀI TẬP 3.1

Một máy xoay vòng 8 vị trí hoạt động với chu kỳ lý tưởng là 20s, tần suất dừng máy là 0,06 lần dừng trên một chu kỳ. Mỗi khi máy dừng cần 3 phút để sửa chữa.

a/ Thời gian sản xuất trung bình  $T_p$  :

$$T_p = T_c + F * T_d = 20 + 0,06 * 180 = 30,8(\text{gy}) = 0,513(\text{ph})$$

b/ Tốc độ sản xuất trung bình  $R_p$  :

$$R_p = 1/T_p = 1/0,513 = 1,949\text{ch/ph} = 117\text{ch/giờ}$$

c/ Hiệu quả của máy  $E$  :

$$E = T_c/T_p = 20/30,8 = 0,649$$

d/ Phần không hiệu quả do dừng máy  $D$  :

$$D = 1 - E = 1 - 0,649 = 0,351$$

### BÀI TẬP 3.2

Cho rằng tần suất dừng máy trong bài 5.1 là ngẫu nhiên do phần điện và cơ. Giả sử rằng ngoài nguyên nhân dừng máy trên còn có thêm sự dừng máy do để thay và điều chỉnh dụng cụ. Thời gian dừng máy để thay hoặc điều chỉnh dụng cụ là hết 4 phút cho tất cả các vị trí. Thủ tục này cứ 200 chu kỳ gia công thì lặp lại một lần. Tính lại

a/ Thời gian SX trung bình  $T_p$ :

- Tần suất dừng máy để thay hoặc điều chỉnh dụng cụ là:

$$F_t = 1/200 = 0,005$$

- Thời gian dừng máy cho thay hoặc điều chỉnh dụng cụ là:

$$T_{dt} = 4ph = 4*60 = 240(gy)$$

- Thời gian SX trung bình  $T_p$  là:

$$T_p = T_c + F*T_d + F_t*T_{dt} = 20 + 0,06*180 + 0,005*240 = 32(gy) = 0,533(ph)$$

b/ Tốc độ SX trung bình:

$$R_p = 1/T_p = 1/0,533 = 1,876ch/ph = 113ch/giờ$$

c/ Hiệu quả của máy E :

$$E = T_c/T_p = 20/32 = 0,625$$

d/ Phần không hiệu quả do dừng máy:

$$D = 1 - E = 1 - 0,625 = 0,375$$

### BÀI TẬP 3.3

Các chi phí thành phần liên quan đến việc vận hành máy ở bài tập 5.2 là:

- Chi phí cho phi liệu: 0,35USD/ch =  $C_m$

- Chi phí cho vận hành máy: 0,50USD/ph =  $C_L$

- Chi phí dụng cụ hư mòn: 0,02USD/ch =  $C_t$

Giá thành chi tiết được sản xuất ra trên máy xoay vòng trên được tính bằng công thức:

$$C_{pc} = C_m + C_L T_p + C_t$$

Thay các giá trị đã cho ta có:

$$C_{pc} = 0,35 + 0,50*0,533 + 0,02 = 0,637USD/ch$$

### BÀI TẬP 3.4

Một đường dây tự động 15 vị trí có chu kỳ làm việc lý tưởng là 0,58 ph. Cứ 15 chu kỳ thì có một lần dừng máy. Thời gian mỗi lần dừng máy vào khoảng từ 2 đến 9 phút, trung bình là 4,2 phút. Nhà máy có dây chuyền này làm việc mỗi ngày 8 giờ, 5 ngày một tuần. Mỗi tuần dây chuyền có khả năng sản xuất số lượng chi tiết là bao nhiêu ?

Tần suất dừng máy của dây chuyền là:

$$F = 1/15 = 0,067$$

- Thời gian SX trung bình  $T_p$ :

$$T_p = T_c + F*T_d = 0,58 + 0,067*4,2 = 0,86 (ph)$$

Tốc độ SX trung bình  $R_p$ :

$$R_p = 1/T_p = 1/0,86 = 1,163ch/ph$$

Nhà máy làm việc 8 giờ/ngày và 5 ngày/tuần, như vậy trong một tuần dây chuyền làm việc tổng thời gian  $T_R$

$$T_R = 8*60*5 = 2400 (ph)$$

Vậy trong một tuần dây chuyền có khả năng sản xuất số lượng chi tiết là:

$$S = R_p*T_R = 1,163*2400 = 2790 (ch)$$

### BÀI TẬP 3.5



Các dữ liệu sau đây áp dụng cho một đường dây 12 vị trí:

$p = 0,01$  ( tất cả các vị trí đều có cùng xác suất hư hỏng )

$T_c = 0,3$  ph

$T_d = 3,0$  ph

Sử dụng phương pháp giới hạn trên để tính các đại lượng:

a/ Tần suất dừng dây chuyền:

$$F = n \cdot p = 12 \cdot 0,01 = 0,120$$

b/ Năng suất trung bình :

$$R_p = 1/T_p = \frac{1}{T_c + F \cdot T_d} = 1/(0,3 + 0,12 \cdot 3) = 1,515 \text{ ch/ph}$$
$$= 1,515 \cdot 60 = 90,9 \text{ (ch/giờ)}$$

c/ Hiệu quả của dây chuyền:

$$E = T_c/T_p = 0,3/(0,3 + 0,12 \cdot 3) = 0,455$$

# CHƯƠNG IV

## HỆ THỐNG VẬN CHUYỂN, BỐC XẾP VÀ LƯU KHO

### **4.1 VẬN CHUYỂN PHÔI TỰ ĐỘNG :**

#### **1. Chức năng:**

*Di chuyển vật liệu* thô phôi trong quá trình, chi tiết, dụng cụ, đồ gá... từ vị trí này tới vị trí kia.  
*Yêu cầu của việc vận chuyển:* an toàn, kịp thời, chính xác, không làm hư vật liệu, giá thành hạ.

#### **2. Các dạng thiết bị vận chuyển:**

Xe đẩy tay.

Xe đẩy có mô tơ.

Cần trục.

Băng chuyền.

Hệ thống vận chuyển tự động.

Các thiết bị khác: robot, bàn xoay, thang máy, cơ cấu cấp phôi tự động, gá vệ tinh, xe gòng, máy bay vận tải, tàu bè.

#### **3. Nguyên tắc thiết kế hệ thống vận chuyển:**

Nguyên tắc nạp chỉ một kiện.

Tránh nạp phôi làm nhiều đợt.

Nguyên tắc khoảng cách ngắn nhất.

Nguyên tắc chảy theo đường thẳng.

Nguyên tắc thời gian ngắn nhất.

Nguyên tắc dùng lực trọng trường để di chuyển.

Nguyên tắc nạp cả hai chiều đi về.

Nguyên tắc cơ khí hoá vận chuyển.

Nguyên tắc hệ thống.

Nguyên tắc tổng hợp thông tin, dòng vật liệu tổng hợp thông tin về nhận diện điểm nguồn và điểm đích.

Nguyên tắc định hướng chi tiết.

#### **4. Hệ thống băng tải:**

*Các dạng băng tải:* con lăn, bánh xe trượt, băng tải phẳng, băng tải xích, băng tải xích có tấm đế, xích treo, xe ray, xe kéo, ngoài ra còn có các loại khác như dốc trượt, ống vít xoắn, máng rung, xe nâng.

*Hướng di chuyển:* một chiều và hai chiều.

#### **5. Hệ thống xe được dẫn tự động:**

Loại này có pin sạc đủ chạy 8-16h. Việc xác định hướng đi được thực hiện bằng cách dùng dây dẫn chôn trên nền nhà hoặc sơn phản xạ trên nền nhà. Có những loại sau đây:

*Xe không người lái:* xe này có thể kéo một vài thùng hàng, được dùng khá rộng rãi để di chuyển các chi tiết nặng và xa trong phạm vi nhà máy. Nó có thể lấy lên và bỏ xuống các chi tiết ngay trên đường đi.

**Xe xúc tự động:** Dùng để vận chuyển các ngăn hàng (pallet). Thường loại này lúc đầu do người điều khiển dùng để lấy ngăn hàng, sau đó dẫn tới đường ray. Lập chương trình di chuyển cho nó rồi nó tự di chuyển.

**Xe mang bộ chi tiết tự động:** Dùng để vận chuyển các chi tiết từ chỗ này tới chỗ kia. Chúng thường được trang bị các thiết bị nạp và tháo phôi nhờ các con lăn có động cơ, đai chuyển.

**Ứng dụng:**

Vận chuyển phôi trong xưởng.

Lưu trữ và phân phối.

Lắp ráp.

Hệ thống sản xuất linh hoạt.

Các nguyên công phụ khác: Vận chuyển thứ từ, vật tư trong bệnh viện.

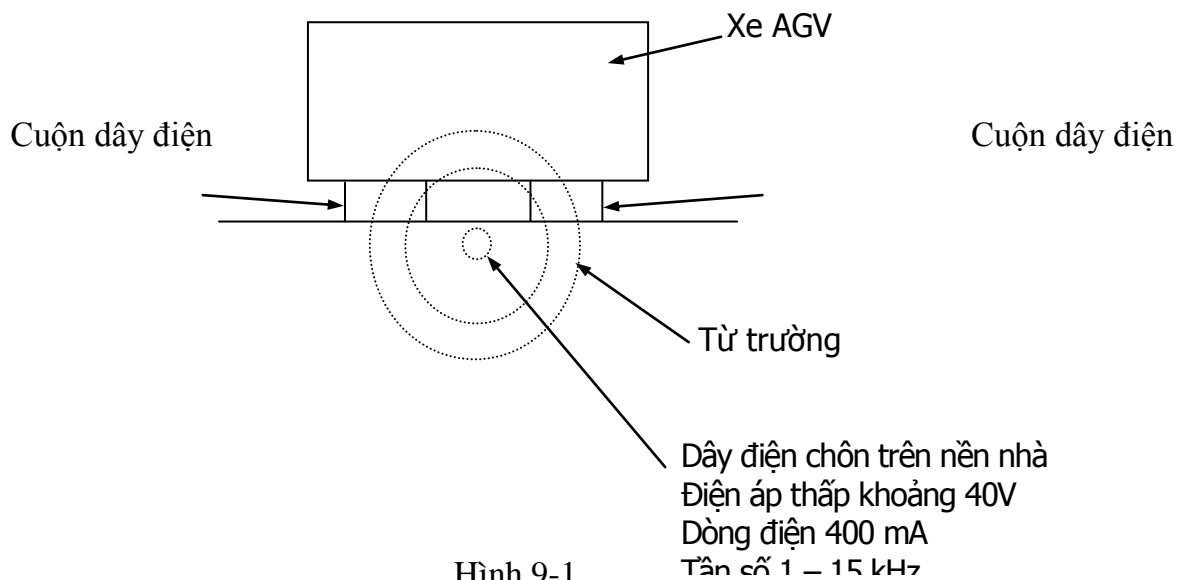
**6. Dẫn đường cho xe, điều khiển giao thông và quản lý hệ thống:**

Dẫn đường có hai cách:

Theo dây điện chôn dưới nền nhà.

Theo sơn phản xạ từ dưới nền nhà.

**Cách 1: Theo dây điện chôn dưới nền nhà**



Sơ đồ dẫn xe theo dây dẫn điện đặt trên nền nhà được vẽ trên hình 9.1. Khi có dòng điện chạy qua dây điện, xung quanh nó sinh ra một từ trường. Hai cuộn dây điện trên xe chính là các cảm biến. Khi dòng cảm ứng trong hai cuộn dây bằng nhau, xe đi đúng đường. Nếu có sai lệch, cơ cấu điều khiển trên xe sẽ điều khiển để xe thay đổi hướng đi sao cho giảm sai lệch đó.

**Cách 2: Theo sơn phản xạ từ dưới nền nhà**

Theo cách này trên xe có hệ thống chiếu tia cực tím xuống lớp sơn rộng cỡ 1 inch trên nền nhà và có hệ thống cảm biến thu nhận phản xạ từ dưới nền nhà và điều khiển sự di chuyển của xe. Loại này dùng khi kiểu dẫn bằng dây dẫn bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện và

khó thực hiện. Một trong những khó khăn đối với phương pháp dẫn xe bằng sơn là phải bảo trì lớp sơn thường xuyên.

Để chọn đường đi khi đến ngã 3 dùng phương pháp chọn tần số phù hợp hay ngắt điện ở những dây dẫn không cần thiết.

### **7. Điều khiển giao thông (di chuyển và tránh va chạm):**

Người ta dùng 2 cách: Đặt cảm biến trên xe và Khoá vùng để điều khiển.

Cả hai cách thường được dùng phối hợp nhau để tạo nên hệ thống khoá lần thông minh. Cảm biến trên xe là những cảm biến quang học hay siêu âm dùng để phát hiện đối tượng ở trước đường đi. Khi phát hiện có vật trước đường đi nó dừng lại. Khi không có chướng ngại vật nữa nó tiếp tục di chuyển.

Việc phân vùng hoạt động (khoá vùng) được thực hiện bằng cách chia mặt bằng thành các vùng khác nhau. Và nguyên tắc hoạt động là không xe nào được phép vào vùng hoạt động của xe khác.

Nhờ kiểm soát sự di chuyển của xe mà tránh được sự va chạm.

Ngoài ra còn dùng cách khác để tránh xe va chạm như khi va chạm thì dừng lại hay còn cách một khoảng thì dừng lại. Cũng có cách dùng đèn báo hiệu, đèn xoay, chuông reo... để báo hiệu sự có mặt của xe.

Cuối cùng một cách đảm bảo an toàn nữa là khi xe vượt ra ngoài đường đi một khoảng nhỏ cỡ vài inch là nó dừng lại.

### **8. Quản lý hệ thống:**

Quản lý nghĩa là phân phối xe đến điểm yêu cầu kịp thời và chính xác. Có 3 phương pháp:

**Panel điều khiển trên máy:** Dùng panel điều khiển để lập trình bằng tay cho máy di chuyển. Đây là mức điều khiển thấp nhất.

**Trạm điều khiển từ xa:** Cho phép thay đổi mẫu yêu cầu trong hệ thống. Dạng đơn giản nhất là nút nhấn gắn gần vị trí nạp phôi vào và lấy phôi ra. Nó đảm bảo tín hiệu để dừng bất cứ xe nào đi qua trạm để thực hiện việc cấp phôi. Có thể dừng xe một cách thông minh hơn bằng cách cho trạm làm việc giao diện với xe khi nó di chuyển. Xe sẽ tự động dừng lại để nạp liệu.

**Điều khiển nhờ máy tính trung tâm:** Máy tính sẽ điều khiển từng xe riêng biệt theo chương trình đã lập trước. Để điều khiển máy tính phải có thông tin tức thời về hoạt động của mỗi xe.

## 4.2. HÊ THỐNG LƯU TRỮ PHÔI TỰ ĐỘNG

**1. Mục đích của trữ phôi:** Lưu trữ vật liệu trong một thời gian nhất định.

Các loại vật liệu:

Vật liệu thô.

Các chi tiết mua ngoài.

Phôi trong quá trình.

Sản phẩm hoàn chỉnh.

Sản phẩm sửa chữa lại và hư hỏng.

Dụng cụ.

Các chi tiết phụ tùng.

Đồ gá.

Hồ sơ về sản phẩm, bảo dưỡng.

Việc lưu trữ phôi có thể thực hiện bằng tay hay hệ thống lưu trữ tự động.

**2. Mục tiêu có thể đạt được khi cài đặt hệ thống tự động:**

Tăng khả năng lưu trữ.

Tăng khả năng sử dụng không gian xưởng một cách có ích.

Thu hồi mặt bằng cho mục đích sử dụng khác.

Tăng tính an toàn và giảm sự mất vật.

Giảm nhân công.

Tăng năng suất lao động trong công tác lưu trữ.

Kiểm soát được sự tồn kho.

Tăng khả năng trao đổi phôi.

Cải thiện được phục vụ khách hàng.

**3. Các chỉ tiêu đối với hệ thống lưu trữ tự động:**

*Khả năng lưu trữ:* lượng vật liệu lớn nhất có thể lưu trữ.

*Lượng vật liệu đưa vào quá trình:* lượng vật tư hàng giờ mà hệ thống có thể nhập xuất.

*Hệ số sử dụng:* phần trăm thời gian mà hệ thống được dùng so với khoảng thời gian có thể.

*Độ sẵn sàng hay độ tin cậy:* phần trăm thời gian mà hệ thống có khả năng hoạt động so với thời gian dự tính theo lịch trình.

**4. Các hệ thống xuất nhập tự động (Automated Storage/Retrieval Systems):**

*Hệ thống xuất nhập tự động:* là tập hợp các thiết bị chấp hành và điều khiển dùng để vận chuyển, lưu trữ và xuất ra vật liệu một cách chính xác và năng suất theo mức độ tự động hoá nhất định. Có các hệ thống điển hình như sau:

*Unit load AS/RS:* dùng vận chuyển từng món hàng chứa trên kệ hay trong các thùng tiêu chuẩn khác. Các biến thể của loại này là:

*Mini loads AS/RS:* dùng để xuất nhập toàn bộ sản phẩm và món hàng chứa trong ngăn kéo của tủ chứa hàng. Loại này nhỏ hơn Unit load AS/RS.

*Man-On Board AS/RS:* Không xuất tất cả các chi tiết chứa trong hộp như Mini load AS/RS mà lấy từng chi tiết từ chỗ lưu trữ ra.

*Hệ thống lấy từng món tự động:* Vật liệu đặt trên hành lang chứ không phải trong ngăn kéo hay hộp của hệ thống như hai hệ thống trên. Khi lấy vật liệu nó được giải phóng khỏi hành lang và đặt trên băng tải để phân phối tới trạm nạp phôi cần thiết. Vật liệu được bổ sung vào hành lang từ phía sau hệ thống xuất, nên cái nào đến trước sẽ được lấy đi trước.

*Deep-lane AS/RS*: là hệ thống lưu trữ vật liệu với mật độ cao, dùng khi lượng vật liệu nhiều nhưng chủng loại thì ít. Vật liệu không phải chứa mỗi ngăn mỗi thùng (unit load) như trong các hệ thống AS/RS truyền thống ở trên mà mỗi ngăn có thể chứa 10 thùng hoặc hơn. Các thùng được đưa vào một đầu bởi một *máy nạp* và lấy ra ở đầu khác bởi một *máy xuất*.

### **5. Các thành phần cơ bản của một AS/RS:**

Tủ lưu trữ: giàn khung sắt có các ngăn chứa các thùng hàng hay chi tiết.

Máy đưa vật liệu vào và lấy vật liệu ra: xe nâng hạ, cần trục.

Module lưu trữ: thùng chứa hàng.

Trạm lấy lên, đặt xuống: dùng đưa vật liệu đến và đi khỏi hệ thống.

### **6. Điều khiển các AS/RS:**

Bài toán điều khiển cơ bản là định vị chính xác máy nâng hạ tại ngăn lưu trữ để đưa hàng vào và lấy ra.

Giàn khung đưa được chia ra thành hàng và cột, được đánh số theo thứ tự. Mỗi ngăn có một mã số. Xe nâng hàng dựa theo mã này mà định vị. Trạng thái của ngăn hàng (có hàng và không có hàng) được hệ thống ghi nhận thường xuyên. Để nhận biết ngăn hàng có nhiều cách:

Đếm hàng và cột khi di chuyển.

Dùng cảm biến quang học và hệ thống phản xạ. Mỗi ngăn có đặt một biển số nhận diện được đánh số theo mã nhị phân. Cảm biến quang học đặt trên xe nâng sẽ nhận diện ra ngăn trong quá trình tìm kiếm để đưa vật liệu vào và lấy hàng ra.

Máy tính và các bộ điều khiển lập trình được dùng để xác định vị trí cần thiết và đưa máy nâng hạ tới vị trí cần thiết. Máy tính cho phép hoạt động của hệ thống AS/RS tích hợp với các hệ thống hỗ trợ thông tin để ghi nhận tình trạng hiện thời của hệ thống. Hệ thống tự động này có thể can thiệp bởi con người trong trường hợp nguy cấp hoặc trong hoạt động của hệ thống theo cách Main-on-board (lấy từng chi tiết riêng biệt từ ngăn hàng ra).

### **Những đặc tính chuyên dụng khác:**

Ngoài những thành phần cơ bản trên, trong các hệ thống AS/RS còn có các phần tử chuyên dùng khác như:

Xe vận chuyển máy nâng hạ qua các hành lang.

Thiết bị phát hiện khoang rỗng và đầy: là những cảm biến quang học đặt trên xe nâng hàng cho phép phát ra ánh sáng hoặc âm thanh về sự hiện diện hay vắng hàng trong ngăn hàng. Nếu không có hàng cảm biến sẽ không nhận được ánh sáng phản xạ. Việc này là cần thiết để không đưa nhầm hàng vào khoang đã đầy hay lấy hàng ra từ khoang rỗng.

Trạm đo kích thước hàng: dùng để phát hiện các loại hàng hoá vượt quá kích cỡ yêu cầu để không đưa vào hệ thống lưu trữ tránh cho việc đưa hàng vào khoang không đủ lớn, sự ùn tắc và đánh rơi hàng

Trạm phát hiện có hàng: dùng phát hiện loại hàng hóa và phân phối đến ngăn hàng cần thiết. Phương tiện phát hiện có thể là bằng tay (nhận ra hàng hóa nhờ mã số ghi trên hàng hóa), bán tự động (người dùng thiết bị đọc mã hàng hoá) hay tự động (dùng máy đọc mã hàng hoá trên đường đi).

### **Nơi dùng:**

Dùng xuất nhập hàng hoá theo đơn vị trong các kho hàng với sản phẩm hoàn chỉnh.

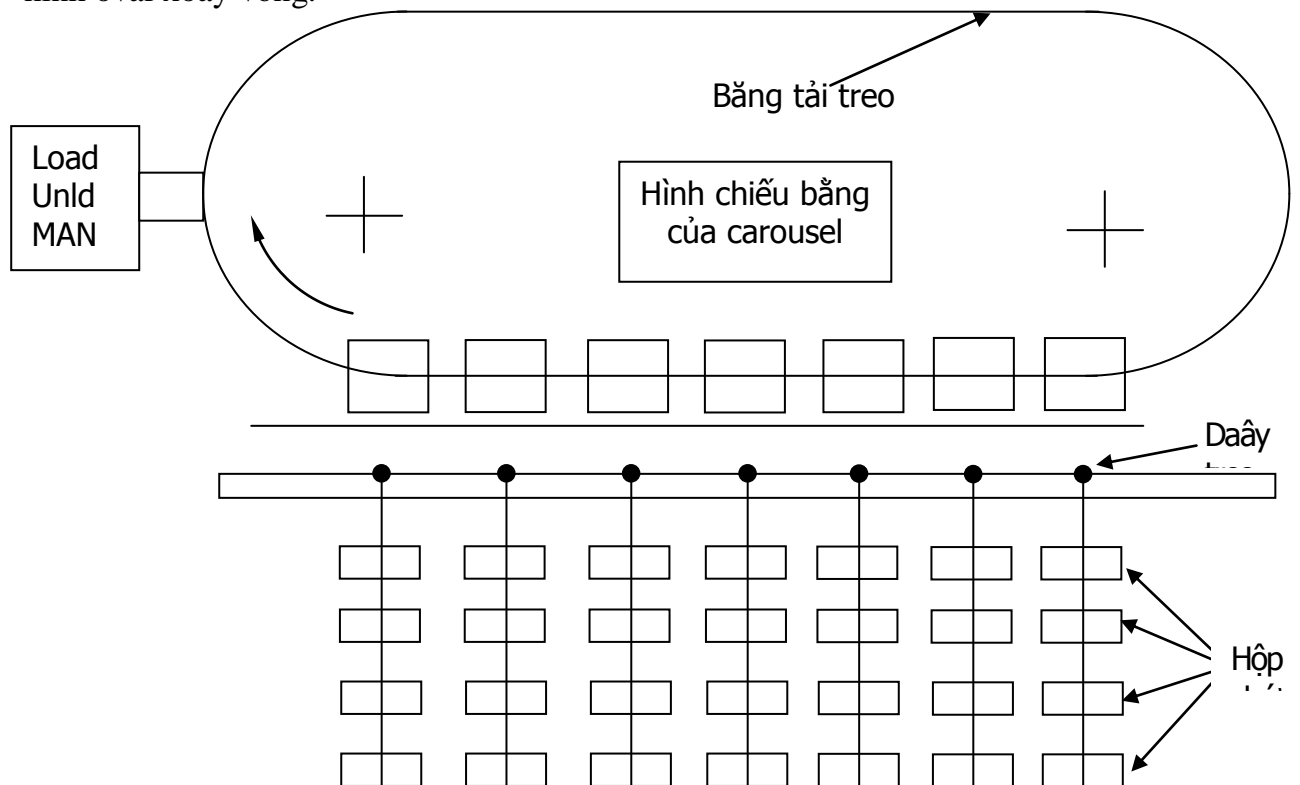
Xuất nhập theo đơn đặt hàng: xuất nhập hàng ở mức thấp hơn đơn vị (lô). Hệ thống này gồm Miniload, Man-on-board và hệ thống xuất hàng từng món tự động. Hệ thống lưu trữ trung gian trong quá trình.

**7. Các hệ thống lưu trữ xoay vòng kiểu carousel:**

Là những hệ thống lưu trữ được cơ khí hoá hơn là tự động hoá. Đó là những thiết bị có khả năng xoay vòng theo hình oval giống như băng tải, trên đó mang các kiện hàng. Việc đưa hàng vào và lấy hàng ra thường được thực hiện bằng tay. Nhưng trong một số trường hợp cũng có thể được tự động hoá.

**Đặc điểm cấu hình và vận hành:**

**Cấu hình:** gồm một khung treo hoặc khung nâng các giá đỡ kiện hàng di chuyển theo hình oval xoay vòng.



Hình 4-2.

**Điều khiển:** bằng tay hoặc tự động hoá

*Bằng tay:*

Dùng bàn đạp di chuyển kiện hàng tới lui đến vị trí mong muốn.

Dùng bảng nút nhấn cầm tay để di chuyển kiện hàng.

Dùng bàn phím gõ vào vị trí mong muốn, thiết bị trữ phôi sẽ tự động xác định con đường ngắn nhất để đưa kiện hàng tới để lấy ra.

*Nơi dùng:*

Các nguyên công lưu trữ và xuất hàng theo từng món riêng biệt. Dùng trong việc chọn dụng cụ cắt vật liệu thô, lưu trữ phôi trong quá trình, trong các nguyên công lắp ráp, thí dụ các linh kiện điện tử.

Vận chuyển và tích trữ. Các nguyên công lắp ráp được bố trí xung quanh carousel. Khi lắp ráp công nhân lấy chi tiết ra khỏi carousel.

Dùng trong các ứng dụng độc đáo khác: thí dụ như dùng trong các dây chuyền thử các thành phần của thiết bị điện, trong đó carousel dùng để chứa các linh kiện trong một thời gian nhất định hoặc để chứa các hộp thử...

Cơ cấu lưu trữ xoay vòng được ứng dụng rộng rãi trong sản xuất. Ưu điểm của nó là giá thành tương đối hạ, có tính vận năng và tin cậy.

**Lưu trữ phôi trong quá trình tự động:**

Lý do để dùng hệ thống lưu trữ phôi trong quá trình tự động:

*Thu thập các chi tiết dùng cho lắp ráp từ các ngăn.*

*Tích trữ các chi tiết cho hệ thống lắp ráp.*

*Hỗ trợ sản xuất kịp thời hạn.*

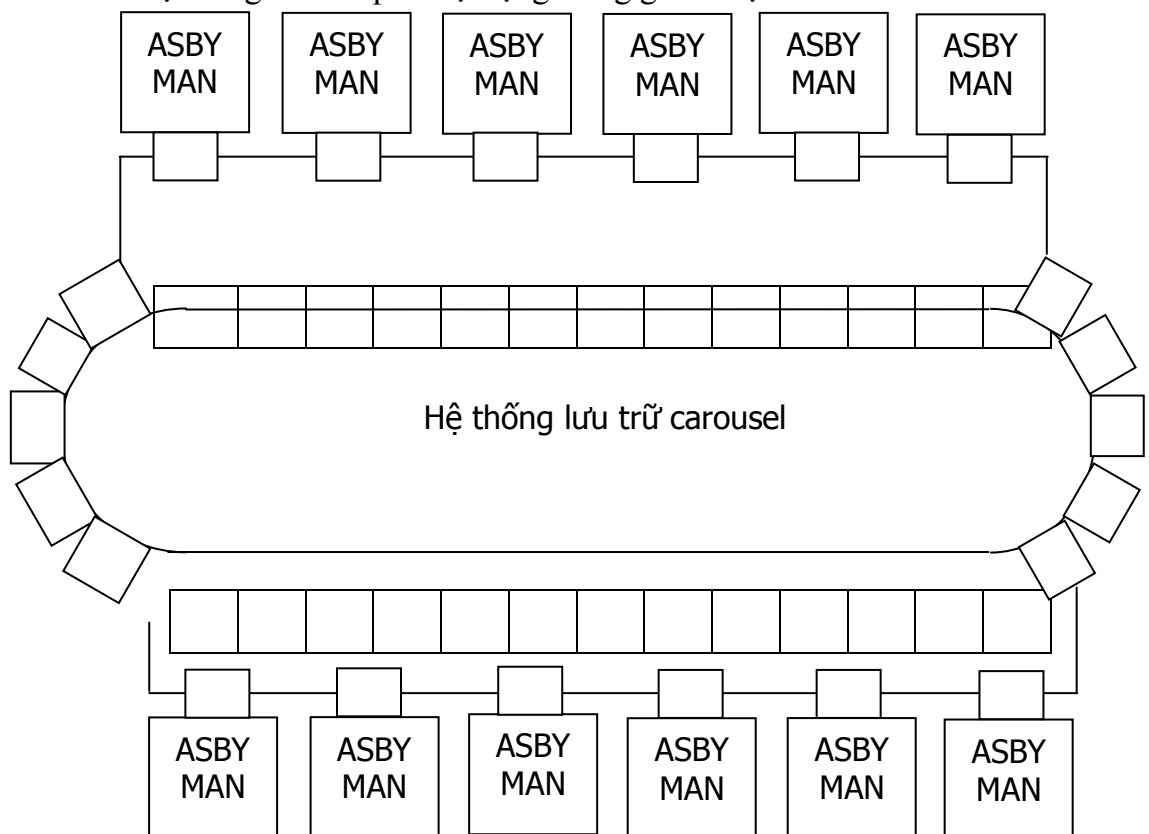
*Lưu trữ tại các vùng đệm.*

*Thích ứng với hệ thống nhận diện chi tiết tự động (thí dụ dùng bar code).*

*Kiểm soát và theo dõi vật liệu tốt hơn:* khi phối hợp với hệ thống nhận diện tự động, hệ thống lưu trữ phôi tự động cho phép xác định được vị trí của tất cả các loại vật liệu trong tương lai.

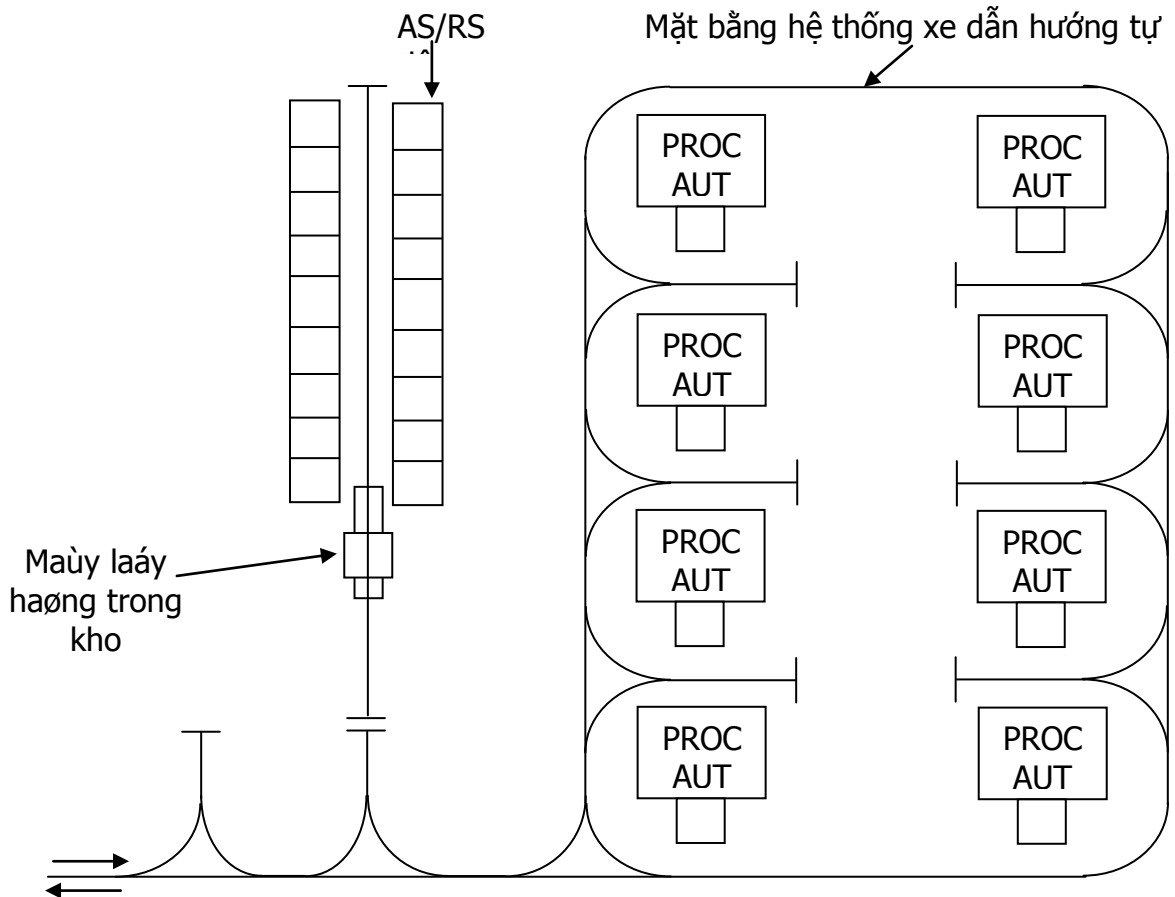
*Hỗ trợ tự động hóa rộng rãi trong nhà máy:* hệ thống lưu trữ phôi trong quá trình tự động được coi là thành phần cơ bản trong việc tự động hoá sản xuất hàng loạt. Hệ thống lưu trữ có thể là trung tâm hay cục bộ trong nhà máy và liên kết với một hoặc nhiều vận chuyển phôi để phân phối tới các vị trí khác nhau trong nhà máy.

Vài cấu hình của hệ thống lưu trữ phôi tự động trung gian được vẽ trên hình 5-3 và 5-4



Hình 4-3. Carousel trữ phôi trong quá trình dùng cho các nguyên công lắp ráp.





Hình 4-4. Hệ thống vận chuyển và phân phối trung gian tự động được dùng để phân phối đến các máy công nghệ.

**Giao diện giữa hệ thống vận chuyển và lưu trữ phôi với quá trình sản xuất :**

Có 2 cách thức giao diện với sản xuất.

*Cách 1: Giao diện về thông tin:* dòng thông tin phải theo sát việc vận chuyển phôi và vật liệu lưu trữ trong nhà máy: nhận diện, theo dõi, điều khiển tồn kho, lên lịch trình sản xuất, truyền thông dữ liệu cần thiết cho việc định hướng và điều khiển những hệ thống khác nhau trong nhà máy. Vấn đề này liên quan mật thiết với việc sản xuất tích hợp nhờ máy tính.

*Cách 2: Giao diện về cơ khí:* liên quan đến vấn đề bốc dỡ vật liệu giữa các hệ thống lưu trữ, vận chuyển và hệ thống sản xuất. Giao diện cơ khí gồm 2 vấn đề: định vị chính xác hệ thống vận chuyển và phương pháp bốc dỡ vật liệu.

*Độ chính xác định vị* thiết bị vận chuyển tại chỗ bốc dỡ tùy theo các phương pháp giao diện có các yêu cầu khác nhau như sau:

Phương pháp bốc dỡ	Độ chính xác yêu cầu
Bốc dỡ bằng tay	$\pm 76$ mm
Giao diện với băng tải tự động	$\pm 25,4$ mm
Giao diện với hệ thống vận chuyển và lưu kho tự động	$\pm 62,5$ mm
Giao diện với máy công cụ	$\pm 0,254$ mm

*Việc định vị chính xác thiết bị vận chuyển tại vị trí gia công được thực hiện bằng các chốt côn và các lỗ trụ định vị, đảm bảo độ chính xác đến  $\pm 0,254$  mm.*

*Việc nạp phôi lên máy và tháo phôi từ trên máy ra sau khi gia công được thực hiện như sau:*

*Trên các hệ thống sản xuất dùng băng tải: do người thực hiện.*

*Trên các hệ thống lưu trữ tự động: thường phải do người thực hiện.*

*Trên các hệ thống vận chuyển dùng xe tải: dùng xe nâng (xúc) hàng để nâng hạ kiện hàng và do người thực hiện.*

*Đối với việc vận chuyển hàng bằng xe không người lái: việc bốc dỡ có thể được thực hiện tự động hoặc bằng tay tại các trạm bốc dỡ. Phương pháp tự động thường xuyên được ưu tiên hơn để loại trừ yếu tố con người trong các hệ thống tự động. Kỹ thuật tự động đã phát triển đến mức có thể thực hiện tốt việc cho ăn khớp giữa xe tải hàng và thiết bị bốc dỡ. Việc bốc dỡ phải được trang bị các thiết bị kéo-đẩy hàng từ trên xe xuống. Các thiết bị này thường là băng tải con lăn hoặc băng tải tấm để giảm ma sát khi di chuyển có kèm theo thiết bị kéo hoặc đẩy hàng từ trên xe xuống băng tải.*

#### BÀI TẬP 4.1

Một máy xoay vòng thực hiện 8 công việc lắp ráp trên 10 vị trí riêng biệt. Tổng thời gian chu kỳ kể cả thời gian vận chuyển giữa các vị trí là 10gy. Xác suất dừng vị trí là 0,007 và coi như bằng nhau cho cả 10 vị trí. Mỗi khi dừng cần 2 phút để sửa chữa, không lấy phôi ra khỏi vị trí khi dừng máy.

a/ Hệ số hiệu quả:

- Tần suất dừng của dây chuyền:  $F = n \cdot p = 10 \cdot 0,007 = 0,07$

- Thời gian SX trung bình:  $T_p = T_c + F \cdot T_d = 10 + 0,07 \cdot 120 = 18,4$  (gy)

Hệ số hiệu quả E:

$$E = T_c / T_p = 10 / 18,4 = 0,544$$

b/ Hệ số dừng máy D:

$$D = 1 - E = 1 - 0,544 = 0,456$$

c/ năng suất của máy  $R_p$ :

$$\begin{aligned} R_p &= 1 / T_p = 1 / 18,4 = 0,054 \text{ (ch/gy)} \\ &= 0,054 \cdot 3600 = 195,6 \text{ (ch/giờ)} \end{aligned}$$

## CHƯƠNG 5

# HỆ THỐNG SẢN XUẤT TÍCH HỢP NHỜ MÁY TÍNH - CIMS (COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING SYSTEMS)

### 5.1/ Giới thiệu:

Trong các ngành công nghiệp sản xuất sản phẩm cụ thể, nhiều dạng sản xuất tự động là hệ thống sản xuất tích hợp nhờ máy tính (CIM). Những tên khác của hệ thống này là:

- Flexible Manufacturing System (Hệ thống sản xuất linh hoạt): FMS
- Variable Mission Manufacturing (VMM)
- Computerized Manufacturing System (CMS)

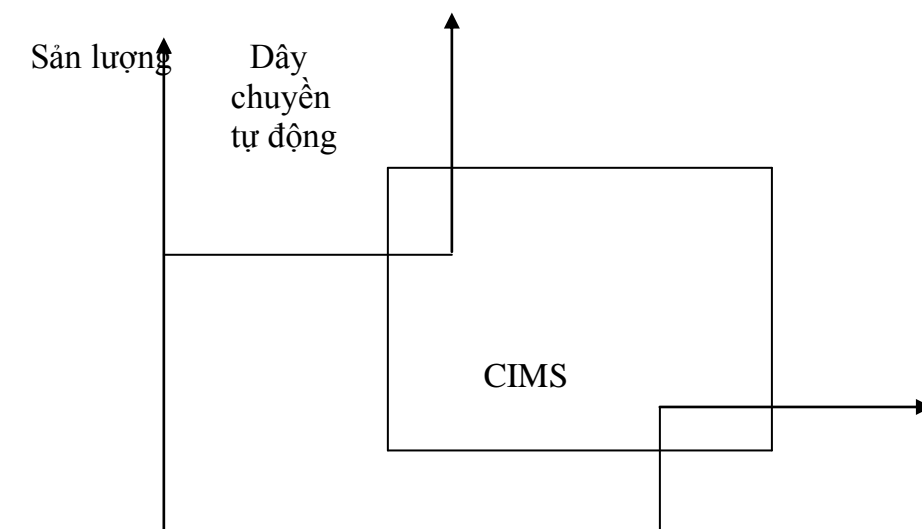
Tất cả những tên gọi khác nhau trên đều là những hệ thống sản xuất trong đó một nhóm máy NC được nối với nhau bởi một hệ thống vận chuyển phôi và hoạt động dưới sự điều khiển của máy tính.

CIMS chứa đựng nhiều công nghệ CAD/CAM riêng biệt và những hệ sau:

- Điều khiển số nhờ máy tính: CNC
- Điều khiển số trực tiếp: DNC
- Điều khiển quá trình bằng máy tính
- Quản lý sản xuất tích hợp nhờ máy tính
- Các phương pháp kiểm tra tự động
- Robot công nghiệp

Mỗi CIMS được thiết kế để đáp ứng nhu cầu sản xuất cụ thể, vì thế những hệ thống này rất khác nhau.

CIMS được thiết kế để điền vào khoảng trống giữa những dây chuyền sản xuất lớn và những máy NC trong sản xuất nhỏ. Vị trí tương đối của CIMS được minh họa trên hình dưới đây:



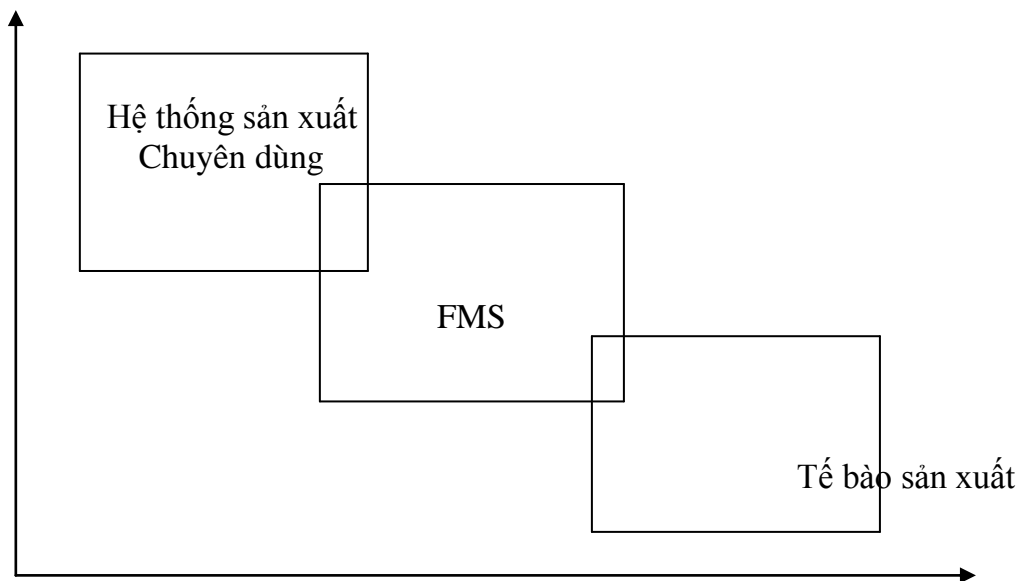
Dây chuyền tự động rất hiệu quả khi sản xuất hàng loạt, nhược điểm của loại sản xuất này là chi tiết phải giống nhau. Những dây chuyền này không linh hoạt, không thay đổi được sản phẩm. Ngược lại, các máy NC độc lập lại thích ứng với sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ vì nó dễ được lập trình lại khi sản phẩm thay đổi. Xét theo tính hiệu quả và năng suất ta thấy tồn tại khoảng trống giữa sản xuất dây chuyền và máy NC. Khoảng trống này bao gồm những chi tiết sản xuất với số lượng trung bình, những chi tiết này có hình dáng tương đối phức tạp và thiết bị sản xuất phải đủ linh hoạt để đáp ứng tính đa dạng của sản phẩm. Cả sản xuất dây chuyền và NC đều không đáp ứng được, vì vậy chỉ có CIMS mới có thể giải quyết được vấn đề này.

### 5.2 Các dạng hệ thống sản xuất trong CIMS

CIMS có thể được chia nhỏ thành 3 loại:

- Hệ thống sản xuất chuyên dùng
- Tế bào sản xuất
- Hệ thống sản xuất linh hoạt

Minh họa quan hệ giữa ba dạng trên bằng hình sau:



#### 1/ Hệ thống sản xuất chuyên dùng

Là hệ thống CIM ít linh hoạt nhất, nó được thiết kế để sản xuất chi tiết với số chủng loại hạn chế trong cùng một họ sản xuất. Sản lượng hàng năm của mỗi chi tiết thường vào khoảng 1500- 15000ch/năm. Cấu hình của hệ thống chuyên dùng giống như sản xuất dây chuyền. Tính đa dạng của quy trình thường hạn chế và máy công cụ chuyên dùng thường được sử dụng.

## 2/ Tế bào sản xuất

Loại này là linh hoạt nhất. Trong số 3 dạng hệ thống sản xuất CIMS thì đây là loại có sản lượng thấp nhất. Số lượng chủng loại chi tiết được sản xuất trong tế bào vào khoảng từ 40 đến 800 và sản lượng hàng năm của mỗi chi tiết vào khoảng 15 – 500.

## 3/ Hệ thống sản xuất linh hoạt FMS

Bao gồm một lãnh thổ rộng ở giữa hai hệ thống trên. FMS được dùng để sản xuất một số họ chi tiết với số chủng loại từ 4 đến 100 và sản lượng của mỗi chủng loại từ 40 đến 2000ch/năm. Hệ máy tính được dùng để điều khiển máy công cụ và hệ thống vận chuyển phôi, theo dõi hoạt động của hệ thống và lên kế hoạch sản xuất.

Những chức năng do con người thực hiện là gá đặt và tháo phôi ( chi tiết ), thay dụng cụ, gá đặt dụng cụ, lập trình hệ máy tính.

### **Một CIMS gồm những thành phần cơ bản sau:**

- Máy công cụ và thiết bị liên quan
- Hệ thống vận chuyển phôi
- Hệ thống máy tính
- Nhân lực

### **MÁY CÔNG CỤ VÀ THIẾT BỊ LIÊN QUAN**

Bao gồm:

- Máy công cụ CNC tiêu chuẩn
- Máy công cụ chuyên dùng
- Dụng cụ cắt
- Trạm kiểm tra hoặc thiết bị kiểm tra chuyên dùng cho máy công cụ

Việc lựa chọn máy riêng biệt để xây dựng CIMS phụ thuộc vào những yêu cầu cần thực hiện bởi máy tính. Những nhu cầu gia công cũng ảnh hưởng đến việc thiết kế hệ thống vận chuyển chi tiết, những yếu tố này gồm:

- Kích thước chi tiết
- Hình dạng chi tiết
- Tính đa dạng của chi tiết
- Chu kỳ sống của sản xuất
- Xác định các chi tiết tương lai
- Những nguyên công không phải gia công

### **HỆ THỐNG VẬN CHUYỂN VẬT LIỆU**

Phải được thiết kế để phục vụ hai chức năng:

- Di chuyển chi tiết giữa các máy
- Định hướng và đặt phôi lên máy để gia công

Việc di chuyển thường là dùng băng tải

Việc định hướng và gá đặt phôi có thể được thực hiện bởi cơ cấu phối hợp hoạt động của băng tải, Robot và máy công cụ được thực hiện nhờ máy tính.

### **HỆ THỐNG MÁY TÍNH**

Các chức năng của hệ thống máy tính trong CIMS như sau:

- 1/ Điều khiển máy
- 2/ DNC
- 3/ Điều khiển sản xuất
- 4/ Điều khiển vận chuyển phôi
- 5/ Điều khiển gá đặt phôi
- 6/ Theo dõi hệ thống di chuyển vật liệu
- 7/ Điều khiển dụng cụ ( vị trí và chu kỳ bền)

8/ Theo dõi và báo cáo về tình hình của hệ thống  
Các chức năng trên có thể được thực hiện bởi bất kỳ cấu hình máy tính nào. Một máy tính có thể dùng cho tất cả các thành phần của CIMS. Trong một hệ thống sản xuất đã cho thực tế có thể dùng đến cả ba mức: CNC, DNC và điều khiển sản xuất, hoạt động của hệ thống với các phôi, điều khiển dụng cụ và tạo ra báo cáo cho quản lý.

### **Các file dữ liệu CIMS**

Để điều khiển hoạt động của hệ thống sản xuất, máy tính dựa trên dữ liệu chứa trong các hồ sơ ( files). Có 6 loại file dữ liệu cơ bản cần cho việc này:

- 1/ Hồ sơ về chung trình gia công NC (Part program file)
- 2/ Hồ sơ tiến trình công nghệ (Routing file)
- 3/ Hồ sơ chế tạo chi tiết: Các thông số NC, năng suất, các nguyên công kiểm tra cần thiết

...

- 4/ Hồ sơ tham chiếu mặt bằng (Pallet reference file)
- 5/ Hồ sơ về dụng cụ tại mỗi vị trí gia công (Station tool file)
- 6/ Hồ sơ về chu kỳ bền của dụng cụ (Tool- life file). Thời gian gia công tại máy của mỗi dụng cụ sẽ được so sánh với giá trị chu kỳ của nó để thay thế trước khi bị mòn quá giá trị cho phép.

### **Báo cáo hệ thống**

Các dữ liệu thu được trong quá trình theo dõi có thể được tổng hợp lại để tạo ra những báo cáo. Những báo cáo này có thể được cắt gọt cho những nhu cầu riêng hoặc theo yêu cầu của người quản lý. Có 4 loại báo cáo sau:

- 1/ Utilization reports: những báo cáo tình hình sử dụng máy
- 2/ Production reports: những báo cáo tình hình sản xuất hàng ngày, hàng tuần
- 3/ Status reports: báo cáo tình trạng hệ thống máy móc tại bất cứ lúc nào
- 4/ Tool reports: những báo cáo về dụng cụ. Báo cáo này liên quan đến nhiều khía cạnh điều khiển dụng cụ. Dữ liệu báo cáo có thể bao gồm danh sách những dụng cụ thiếu tại mỗi trạm làm việc (máy). Báo cáo tình trạng Tool – life (chu kỳ bền) có thể được chuẩn bị khi bắt đầu gia công.

### **NHÂN LỰC TRONG CIMS**

CIMS là những hệ thống sản xuất được tự động hóa cao tuy vậy vẫn cần nhân lực để điều hành hệ thống. Trong phần lớn các hệ thống CIM những máy riêng biệt được hoạt động dưới sự điều khiển của CNC hay DNC hoặc phối hợp cả hai. Máy không vận hành bằng tay trừ những trường hợp đặc biệt, thí dụ lắp ráp. Nhân lực cần để quản lý, bảo trì và phục vụ CIMS. Những nhân lực sau đây cần cho hệ thống CIM:

- 1/ Người quản lý hệ thống
- 2/ Kỹ thuật viên về điện
- 3/ Kỹ thuật viên về cơ khí, thủy lực
- 4/ Người gá lắp dụng cụ cắt: kiểm kê dụng cụ và chuẩn bị sẵn dụng cụ cho sản xuất
- 5/ Người điều chỉnh đồ gá
- 6/ Người nạp phôi vào, lấy phôi ra

7/ Người trực ca: chức năng của người trực ca là phản ứng với những sự cố bất thường, tìm nguyên nhân, thay thế và điều chỉnh các linh kiện hư hỏng... Người trực ca cũng có thể thực hiện các nguyên công sản xuất bằng tay khác hoặc nguyên công kiểm tra.

Số lượng nhân lực phụ thuộc vào kích thước, số máy công nghệ và mức độ thông minh và tự động của hệ thống. Ngoài ra, hệ thống còn cần có người lập trình NC, lập trình Computer, và đội ngũ hỗ trợ liên quan cần thiết để chuẩn bị chương trình cho máy tính điều khiển quá trình sản xuất và theo dõi tình hình hệ thống.

### **LỢI ÍCH CỦA CIMS**

- 1/ Tăng thời gian sử dụng máy: hệ thống CIM có thể đạt 80% thời gian sử dụng máy
- 2/ Giảm được nhân công trực tiếp và gián tiếp
- 3/ Giảm chu kỳ sản xuất
- 4/ Giảm lượng trữ phôi trong quá trình gia công
- 5/ Linh hoạt trong việc lên kế hoạch sản xuất



## CHƯƠNG 6

# HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG SẢN XUẤT LINH HOẠT

### ĐỊNH NGHĨA:

Hệ thống tự động sản xuất linh hoạt là một hệ thống tự động thực hiện những nguyên công khác nhau theo một trình tự khác nhau trên cùng một công cụ như nhau ( phần chấp hành ). Điều này có nghĩa là với cùng một hệ chấp hành ( các phần tử thực hiện ) ta có thể thay đổi phần điều khiển ( các chương trình ) để thực hiện các nguyên công khác nhau theo trình tự khác nhau cho các mục đích khác nhau.

Sự ra đời của hệ thống tự động sản xuất linh hoạt là nhờ những tiến bộ đạt được trong ngành tin học, bởi vì hạt nhân của một hệ tự động linh hoạt là các chương trình ứng dụng của ngành tin học.

Ngày nay để nâng cao hiệu quả kinh tế của một dây chuyền sản xuất, hệ thống tự động linh hoạt được nghiên cứu một cách đặc biệt vì chi phí đầu tư thấp cho mỗi lần cần thay đổi nguyên công, lợi nhuận cao nhờ giảm tồn kho và thời gian sản xuất sản phẩm.

Nhu cầu về hệ thống sản xuất linh hoạt nhạy bén nhất là trong lĩnh vực gia công cơ khí, ngoài ra nó cũng tồn tại trong các lĩnh vực khác như: Lắp ráp, bao gói và sản xuất đồ hộp, đúc, thực phẩm.

Điều kiện để đánh giá sự linh hoạt của một hệ thống tự động linh hoạt chính là sự thích nghi của hệ thống điều khiển tự động ( phần điều khiển ), nhưng cũng là của các thiết bị chấp hành ( phần chấp hành ). Hiện nay, với sự phát triển của ngành công nghệ thông tin cho phép điều khiển hết sức linh hoạt, và chỉ hạn chế bởi sự đáp ứng của các cơ cấu chấp hành.

Tính linh hoạt cũng bị hạn chế bởi các hệ thống con tạo nên hệ thống mẹ. Các hệ thống con bao gồm:

- Điều khiển ( điều khiển dòng vật liệu )
- Vận tải
- Cấp phôi, định hướng, cố định
- Biến đổi vật chất ( gia công, rửa, kiểm tra )

Số lượng sản phẩm khác nhau được sản xuất trong xưởng này thường bị hạn chế bởi hệ thống con thứ 3 ( Cấp phôi cho máy )

*Những ưu điểm của các hệ thống sản xuất linh hoạt:*

- Khả năng thay đổi nhịp sản xuất mà không làm ảnh hưởng đáng kể tới hiệu quả của dòng vật chất
- Có thể tự động sản xuất nhiều loại sản phẩm mà không cần phải thay đổi công cụ sản xuất, do vậy giảm được chi phí đầu tư khi muốn thay đổi loại sản phẩm.
- Nâng cao được chất lượng sản phẩm nhờ thực hiện những thay đổi cần thiết trong thiết kế sản phẩm
- Giảm giá thành nghiên cứu và chế tạo dụng cụ
- Nhịp sản xuất nhanh hơn
- Điều khiển cả Xí nghiệp tốt hơn, giảm được thời gian chết, lưu kho, ứ đọng trong sản xuất
- Giảm chi phí nhân công
- Có thể thay đổi cấu hình sản xuất một cách nhanh chóng trong trường hợp xảy ra sự cố tại một số vị trí nào đó

## ĐẶC ĐIỂM CỦA HỆ THỐNG SẢN XUẤT LINH HOẠT

Các hệ thống sản xuất linh hoạt được đặc trưng bởi:

Thích nghi nhanh chóng với tính đa dạng của sản xuất với sản lượng trung bình

Điều khiển tức thì ( trong thời gian thực ) cho phép tối ưu hóa thời gian chạy máy

Sử dụng người máy ở trình độ cao để cấp phôi cho máy

Những đặc tính trên cũng có trong các hệ thống con. Hệ thống điều khiển phải có khả năng chọn lựa xử lý cái gì và trình tự công nghệ nào khi gia công loạt sản phẩm

## PHÂN LOẠI CÁC HỆ THỐNG SẢN XUẤT LINH HOẠT

Có thể phân loại các hệ thống sản xuất linh hoạt như sau:

-Tế bào sản xuất linh hoạt: chỉ gồm một hoặc hai máy điều khiển chương trình số có Robot phục vụ, dùng gia công một loại chi tiết với trình tự có thể khác nhau.

-Dây chuyền hoặc đơn vị sản xuất linh hoạt: là tập hợp các máy được bố trí một cách tuần tự và được phục vụ bởi hệ thống vận tải và hệ thống điều khiển được nối mạng. Hệ thống này dùng để thực hiện toàn bộ những nguyên công sản xuất một sản phẩm bằng cách điều khiển trật tự gia công, chương trình gia công, các máy công nghệ.

-Các xưởng sản xuất linh hoạt: Là một tổ chức sản xuất phức tạp bao gồm các tế bào linh hoạt và các dây chuyền linh hoạt được nối mạng và liên kết với nhau bởi hệ thống vận tải và cấp phôi bằng người máy. Xưởng sản xuất linh hoạt thực hiện toàn bộ những nguyên công cần thiết để chế tạo một loại sản phẩm ( các chi tiết của một họ, các hệ thống con và những thứ cùng loại,... )

## CÁC PHƯƠNG TIỆN TỰ ĐỘNG HÓA SẢN XUẤT LINH HOẠT

### 1/ Đồ gá vệ tinh

Trên các máy gia công trong sản xuất linh hoạt thường có trang bị đồ gá vệ tinh ( bàn gá vạn năng ) trên đó gá đặt chi tiết gia công. Trên các đồ gá này có bố trí những phần tử gá đặt dùng để đỡ và kẹp chi tiết chuyên dùng hay tiêu chuẩn, đặc điểm của chúng là tháo lắp rất nhanh, thời gian thay chi tiết khi gá đặt rất ngắn.

### 2/ Robots

Định nghĩa theo ISO & AFROR

Là một thiết bị lập trình được có nhiều bậc tự do dùng để di chuyển vật liệu, chi tiết, dụng cụ và các vật chuyên biệt khác theo những quỹ đạo khác nhau và có thể lập trình để thực hiện những công việc khác nhau. Robots có các cấu hình cơ bản như sau:

tọa độ trụ, tọa độ vuông góc, tọa độ cầu, khớp tay.

Các dạng Robot: Phân loại theo JIRA

-Tay máy: thiết bị được điều khiển trực tiếp bởi người vận hành

-Robot tuần tự: Tay máy hoạt động theo trình tự và điều kiện định trước

-Robot dạy học: lập trình bằng cách dạy học bởi người vận hành

-Robot điều khiển số: hoạt động theo trình tự và điều kiện làm việc theo chương trình số

-Robot thông minh: có thể tự mình thực hiện nhiều chức năng nhờ khả năng hành động và các giác quan

Đặc điểm của Robot:

Là một cấu trúc cơ khí có khả năng di chuyển vật thể trong không gian và định hướng tại vị trí gá đặt, tốc độ và gia tốc của Robot bị hạn chế bởi lực quán tính của các cơ cấu

Độ chính xác của Robot là khoảng cách ngắn nhất giữa hai điểm mà nó di chuyển tới khi lặp lại việc mang dụng cụ với cùng một lệnh

Hai đặc điểm trên phụ thuộc vào chất lượng của các cơ cấu chấp hành và sự hoàn thiện của các cơ cấu điều khiển

## Lập trình điều khiển Robot

Có thể lập trình bằng cách:

- Manual: bật tắt công tắc – dùng cho Robot đơn giản
- Dạy học cho Robot: trong trường hợp này các chuyển động được thực hiện bằng cách điều khiển bằng tay thông qua bảng nút nhấn hay bộ celsin cho Robot di chuyển từ điểm này tới điểm kia sau đó được tối ưu hóa.
- Dạy học bằng cách dặt mũi: người vận hành cầm tay Robot cho di chuyển và nó sẽ copy toàn bộ các chuyển động vào trong bộ nhớ. Như vậy việc lập trình có thể hoàn toàn được tin học hóa. Logic điều khiển cho phép tính toán các chuyển động, tối ưu hóa các quỹ đạo từ các thông số đơn giản như tọa độ của các điểm cần đạt tới và tốc độ mong muốn.
- Lập trình ngoài máy: Giống như lập trình NC bằng ngôn ngữ lập trình riêng.

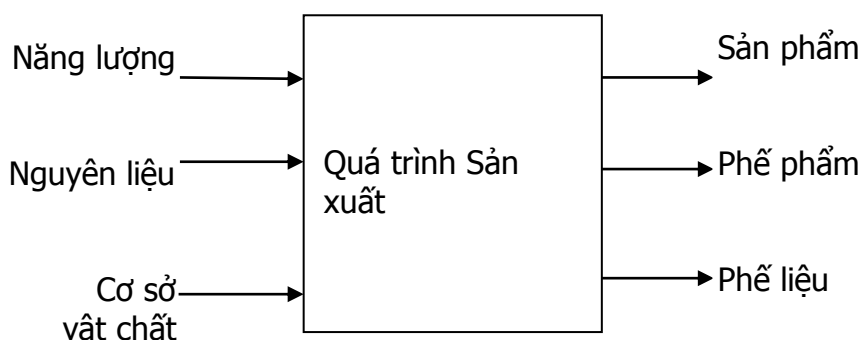
# CHƯƠNG 7

## ĐIỀU KHIỂN CÁC QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ

### 7.1 CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT:

Quá trình SX là QT sử dụng năng lượng (điện, hóa, cơ, sinh ) kết hợp với CSVC( máy móc, TB, nhà xưởng) tác động lên nguyên liệu để nâng cao CLSP.



QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ

Bao gồm các giai đoạn và các phương thức tác động lên QTSX trong các giai đoạn đó để hình thành nên SP.

QTCN chính là cách thức sản xuất.

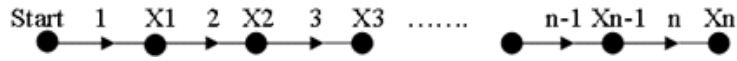
Quá trình công nghệ được hiểu đó là các phương thức sản xuất và các giai đoạn hình thành nên quá trình sản xuất.

Các quá trình điều khiển gồm có: quá trình tuần tự và quá trình ngẫu nhiên.

## 7.2 QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ:

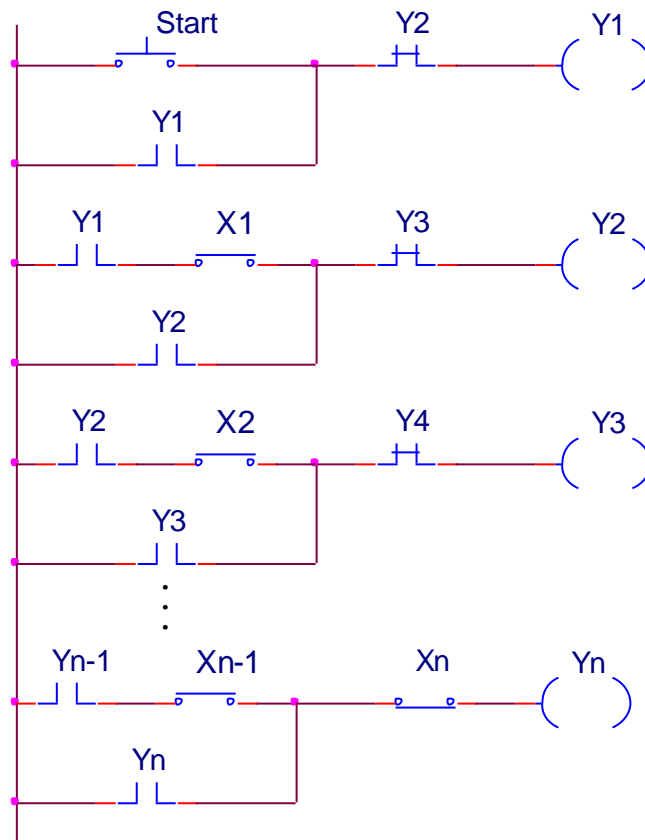
### 7.2.1 QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ NỐI TIẾP:

Quá trình tuần tự nối tiếp đó là quá trình nhiều giai đoạn xảy ra liên tiếp nhau, không đè lên nhau và kết hợp với các phương thức tác động ta có một quá trình công nghệ hoàn chỉnh. (Hình 8.1a)



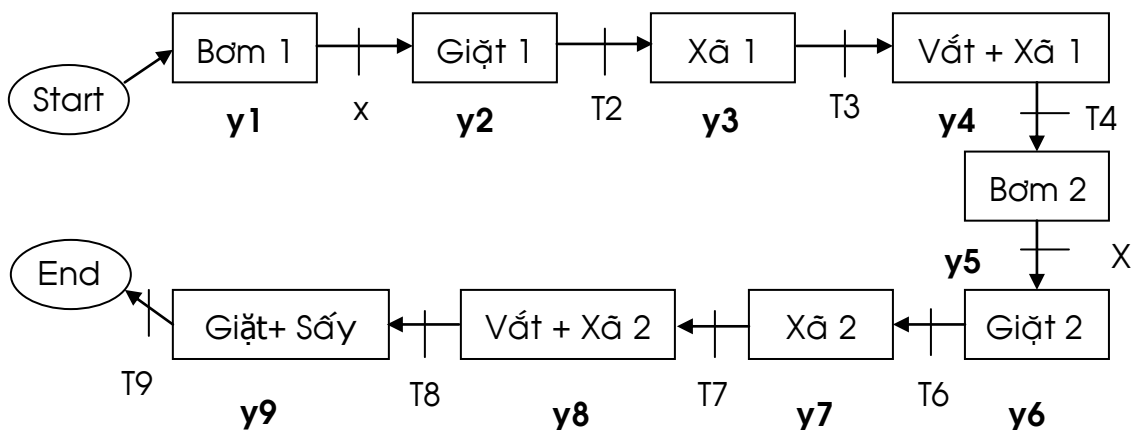
Hình 8.1a

Thuật toán giải quyết bài toán điều khiển quá trình tuần tự nối tiếp. Hình 8.1b:

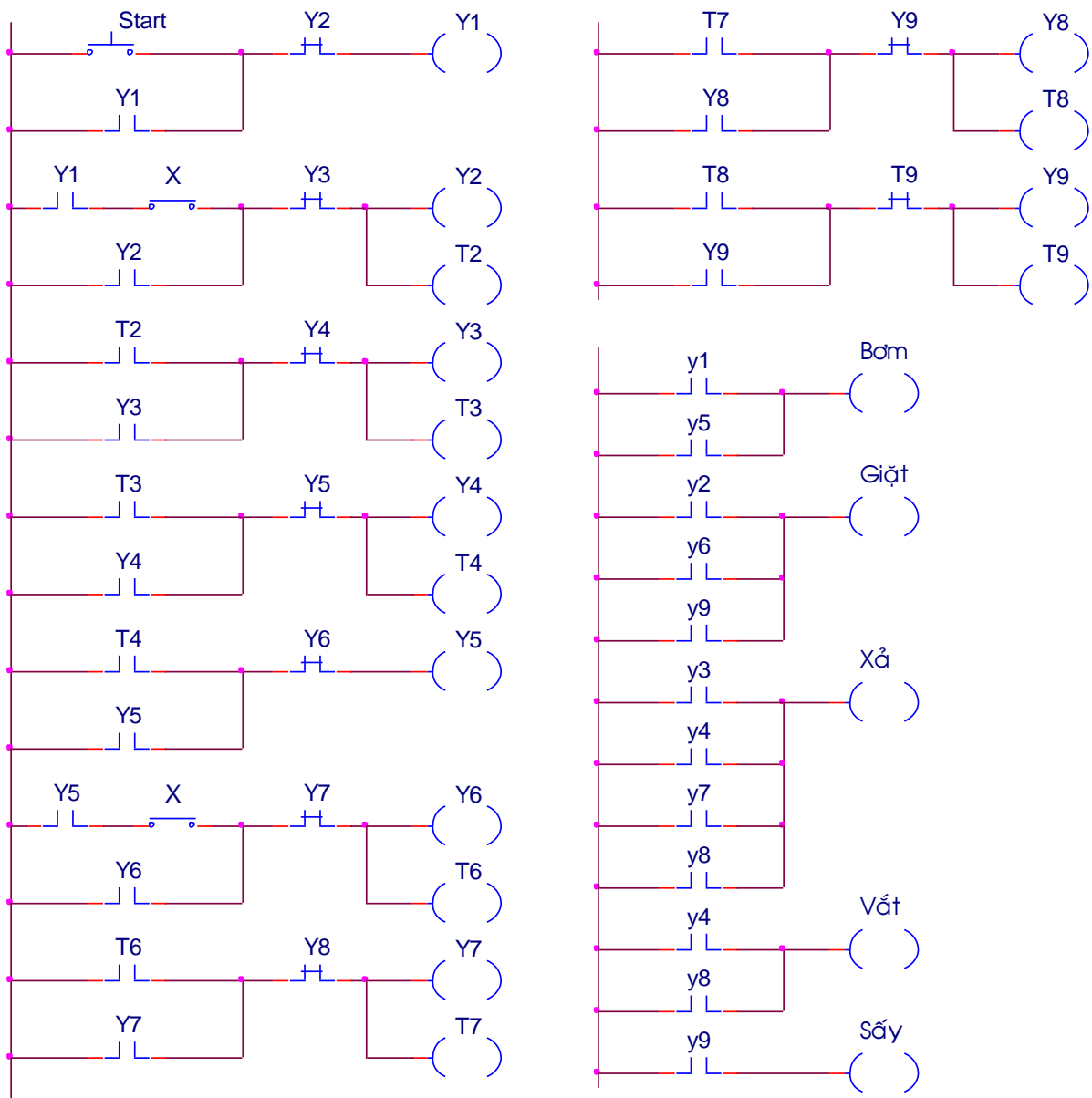


Hình 8.1b

Thí dụ thực hiện một chu trình làm việc của máy giặt như sau:



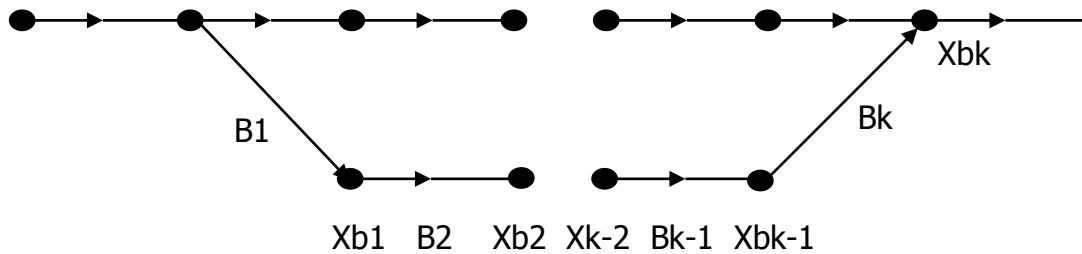
X: Cảm biến phát hiện mực nước đầy. T1 thời gian delay cho mỗi khâu làm việc. Ta phân chia các giai đoạn làm việc Y1. Chương trình được viết như sau:



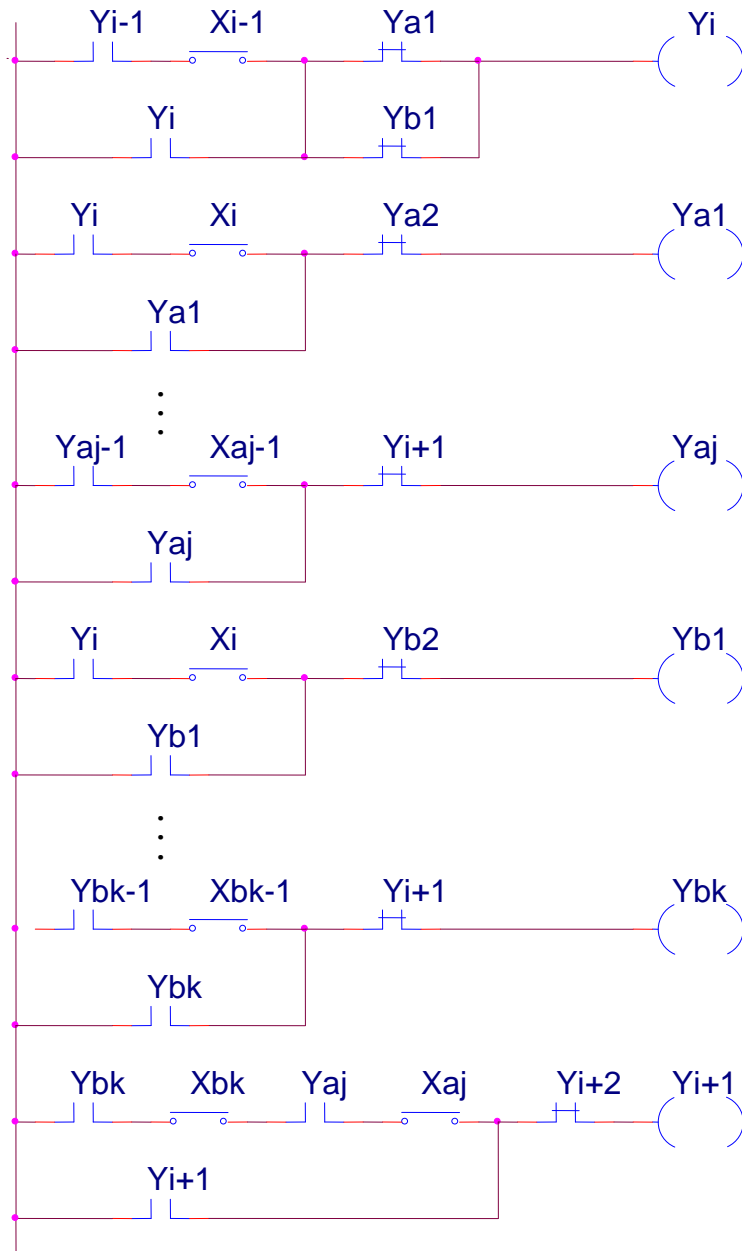
### 7.2.2 QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ SONG SONG:

Quá trình tuần tự song song đó là quá trình nhiều giai đoạn xảy ra đồng thời cùng nhau bắt đầu và chờ đợi nhau kết thúc. Kết hợp với các phương thức tác động ta có một quá trình công nghệ hoàn chỉnh.

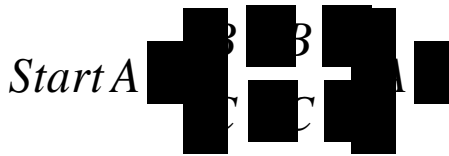
$X_{i-1}$   $Y_i$   $X_i$   $A_1$   $X_{a1}$   $A_2$   $X_{a2}$   $X_{j-2}$   $A_{j-1}$   $X_{aj-1}$   $A_j$   $X_{aj}$   $Y_{i+1}$   $X_{i+1}$



Thuật toán giải quyết bài toán điều khiển quá trình tuần tự song song



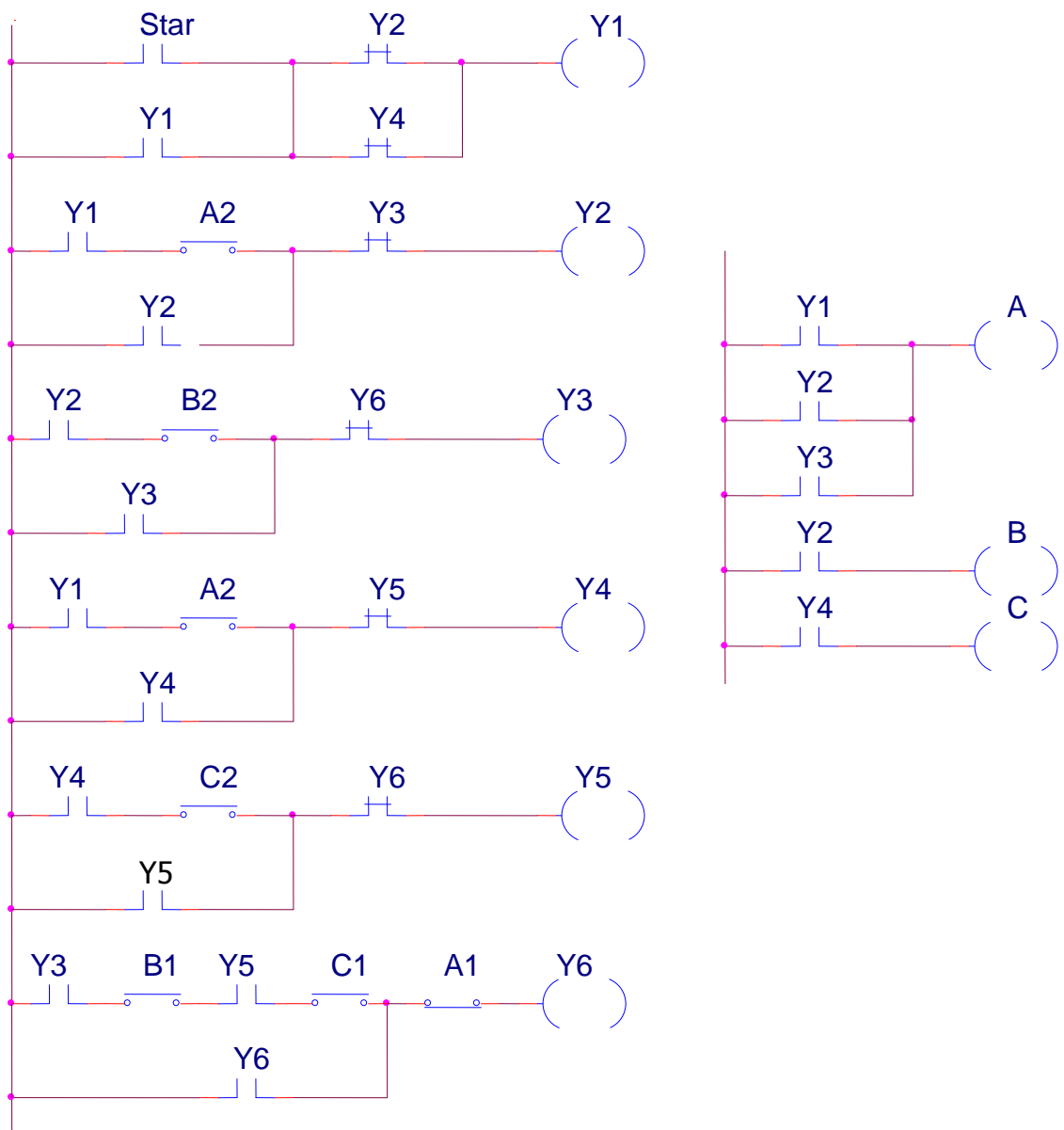
Thí dụ thực hiện chương trình sau:



Phân chia giai đoạn



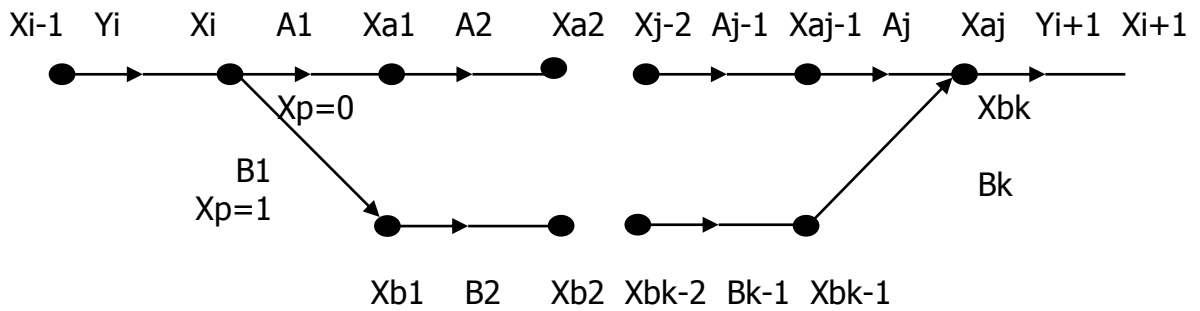
Chương trình thực hiện yêu cầu trên:



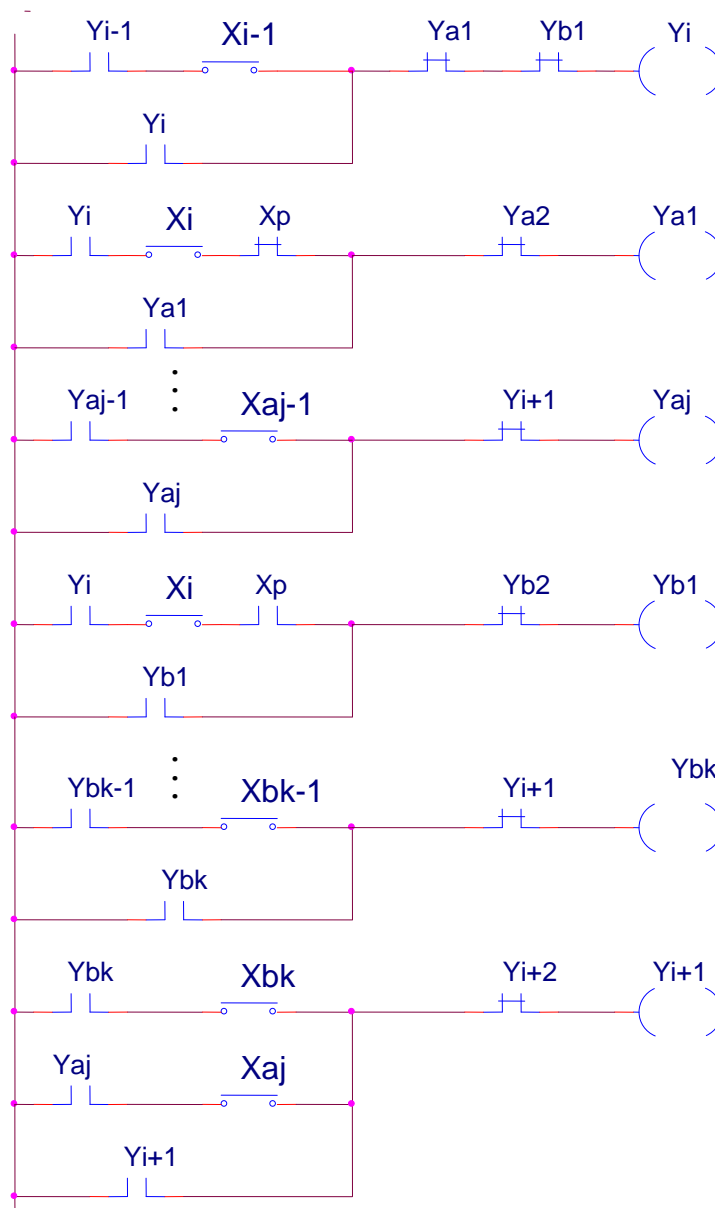


### 7.2.3 QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ CÓ CHỌN LỰA:

Quá trình tuần tự có chọn lựa là quá trình có rẽ nhánh gồm nhiều giai đoạn xảy ra không đồng thời nhau, kết hợp với phương thức tác động ta có 1 QTCN.

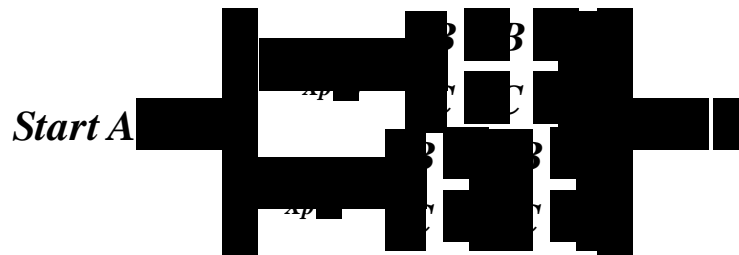


Thuật toán cho quá trình tuần tự có chọn lựa

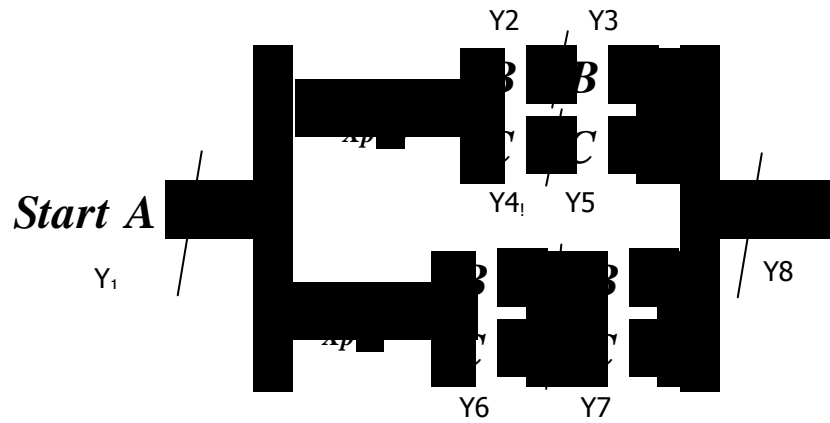


Thí dụ về thực hiện quá trình tuần tự có chọn lựa:

Ví dụ 1:

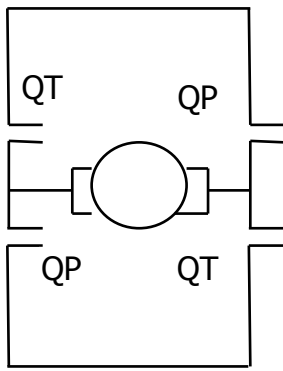
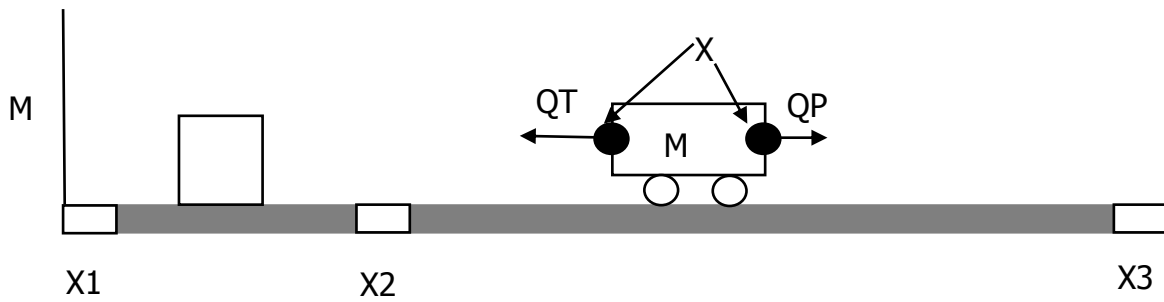


Phân chia giai đoạn:



Sinh viên tự viết chương trình theo giải thuật trên

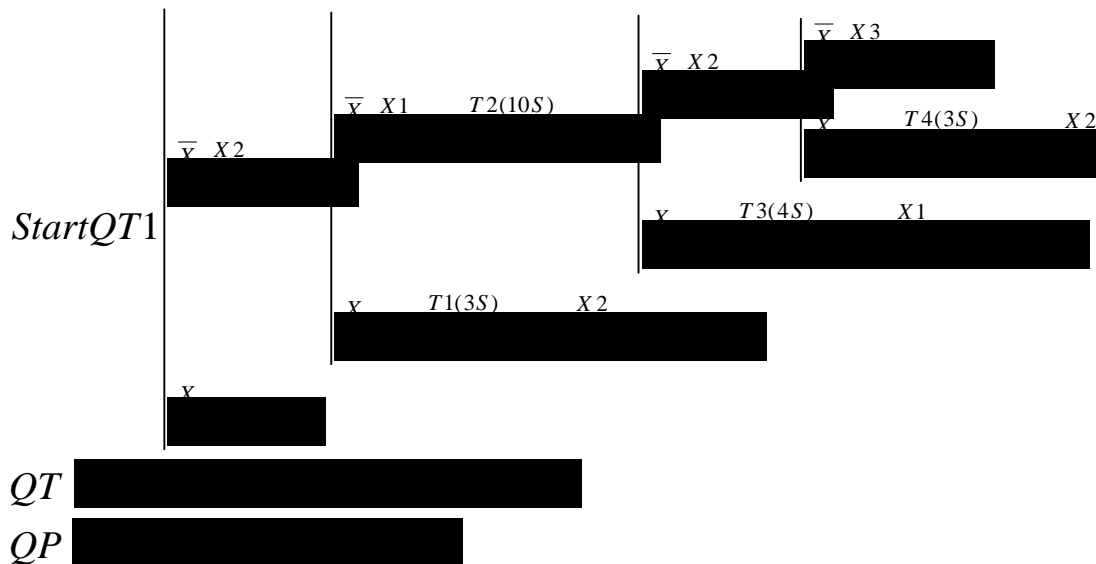
Ví dụ 2:



Xe có thể qua trái hoặc qua phải (QT, QP)

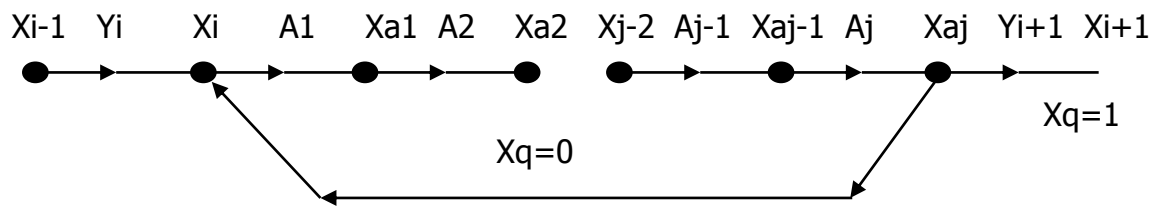
Giả sử ban đầu xe ở vị trí như hình

Khi nhấn Start xe sẽ QT, nếu gặp vật cản trước khi gặp X2 thì xe dừng luôn, nếu gặp vật cản sau khi gặp X2 thì xe dừng lại 3s rồi QP để dừng lại ở X2, nếu không gặp vật cản thì xe sẽ gặp X1 10s rồi QP, nếu gặp vật cản trước khi gặp X2 thì xe dừng lại 4s rồi QT để dừng lại ở X1, nếu gặp vật cản sau khi gặp X2 thì xe dừng 3s rồi qua trái để dừng lại ở X2, nếu không gặp vật cản xe sẽ dừng luôn ở X3

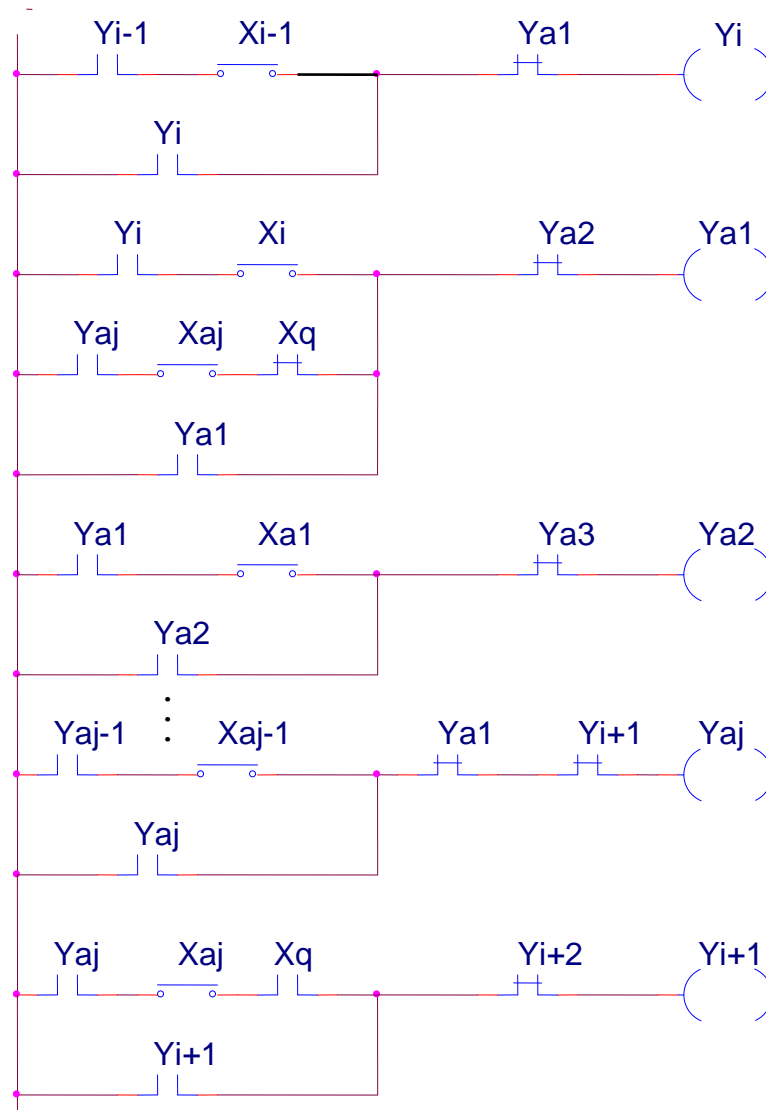


### 7.2.4 QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ CÓ LẶP VÒNG:

Quá trình tuần tự có lặp vòng là quá trình thực hiện lặp lại một chu trình khi một điều kiện nào đó thỏa mãn. Quá trình lặp vòng kết thúc khi điều kiện đó hết thỏa mãn vòng lặp.

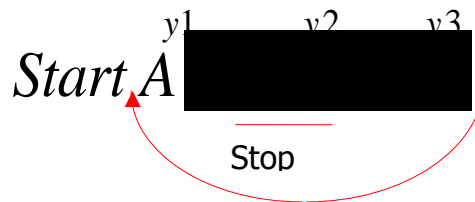
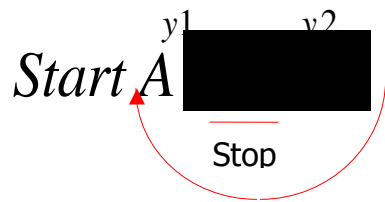
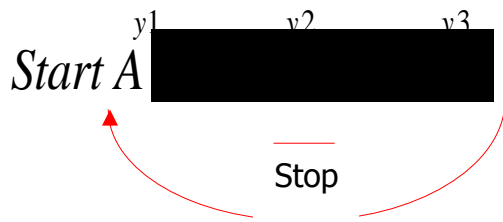


Lưu đồ thuật giải cho quá trình tuần tự có lặp vòng như hình:

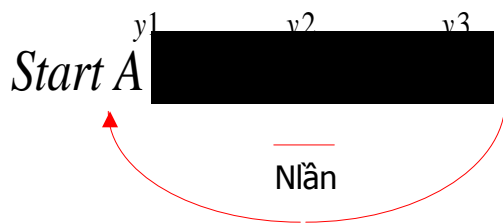


Thí dụ cho quá trình tuần tự có lặp vòng:

Thí dụ 1: Thực hiện quá trình sau:

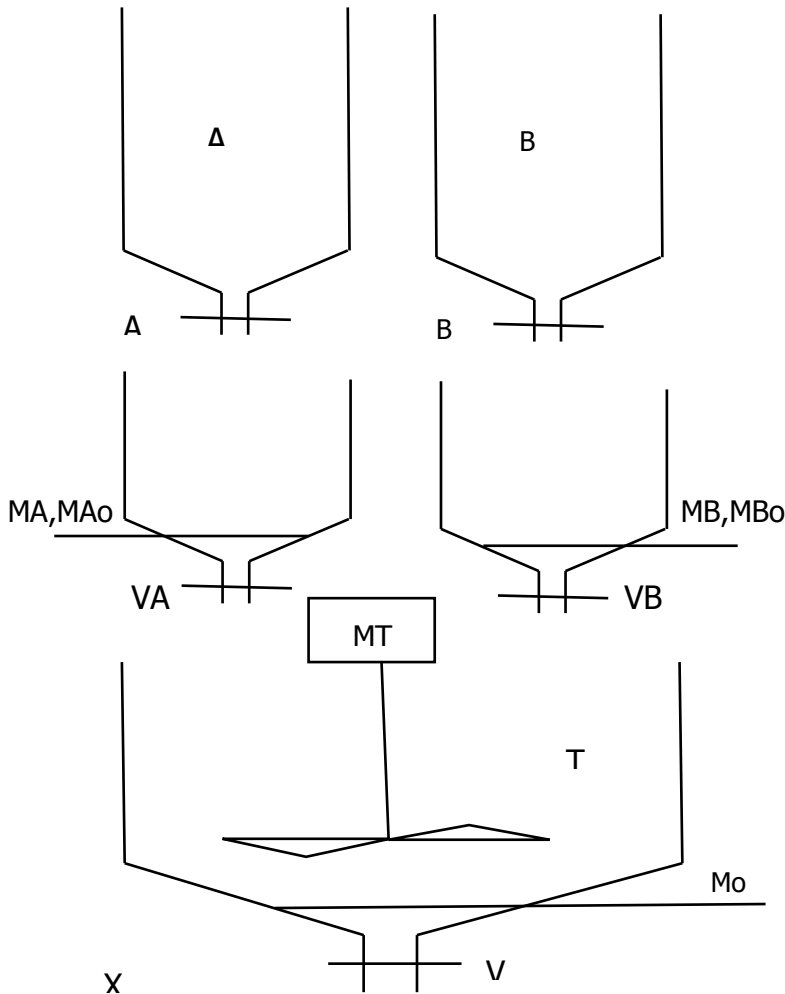


Thí dụ 2: Thực hiện quá trình sau:



**Bài tập:**

**Bài 1:**



Cho hệ thống cân định lượng như hình bên.

A,B,VA,VB,V là các van điện từ.

MA,MA0,MB,MB0,Mo là các mức cân khi đủ hoặc hết khối lượng.

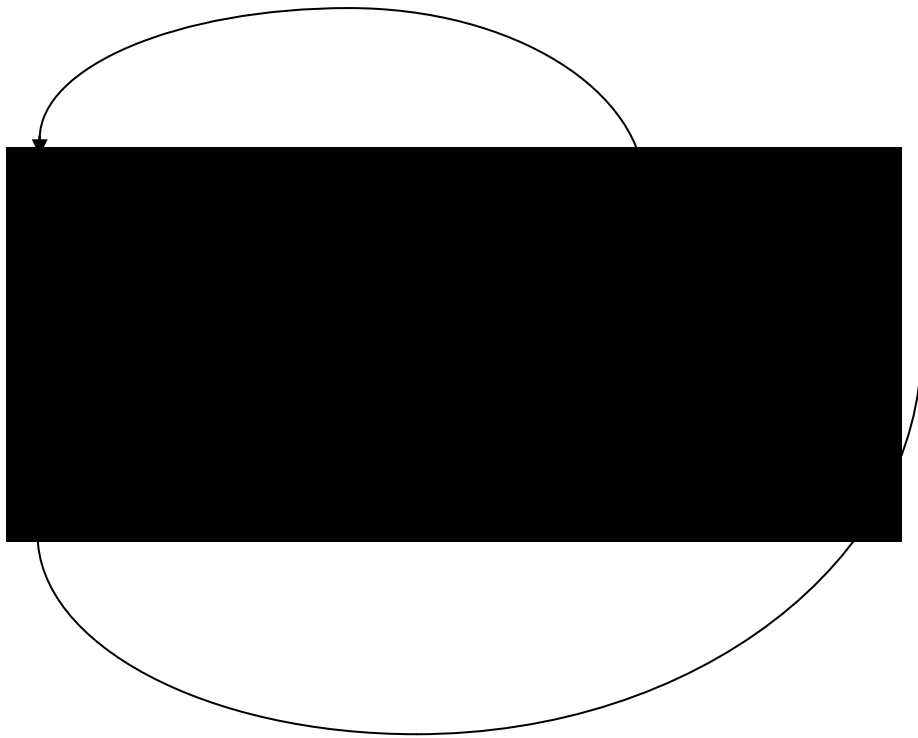
MT là máy trộn, phải trộn thêm ít nhất một thời gian T sau khi nguyên liệu xả xuống hết hỗn trộn.

Van V chỉ được mở ra khi nguyên liệu đã được trộn xong và có thùng bên dưới.

Hãy thiết lập giản đồ quá trình cho hệ thống.

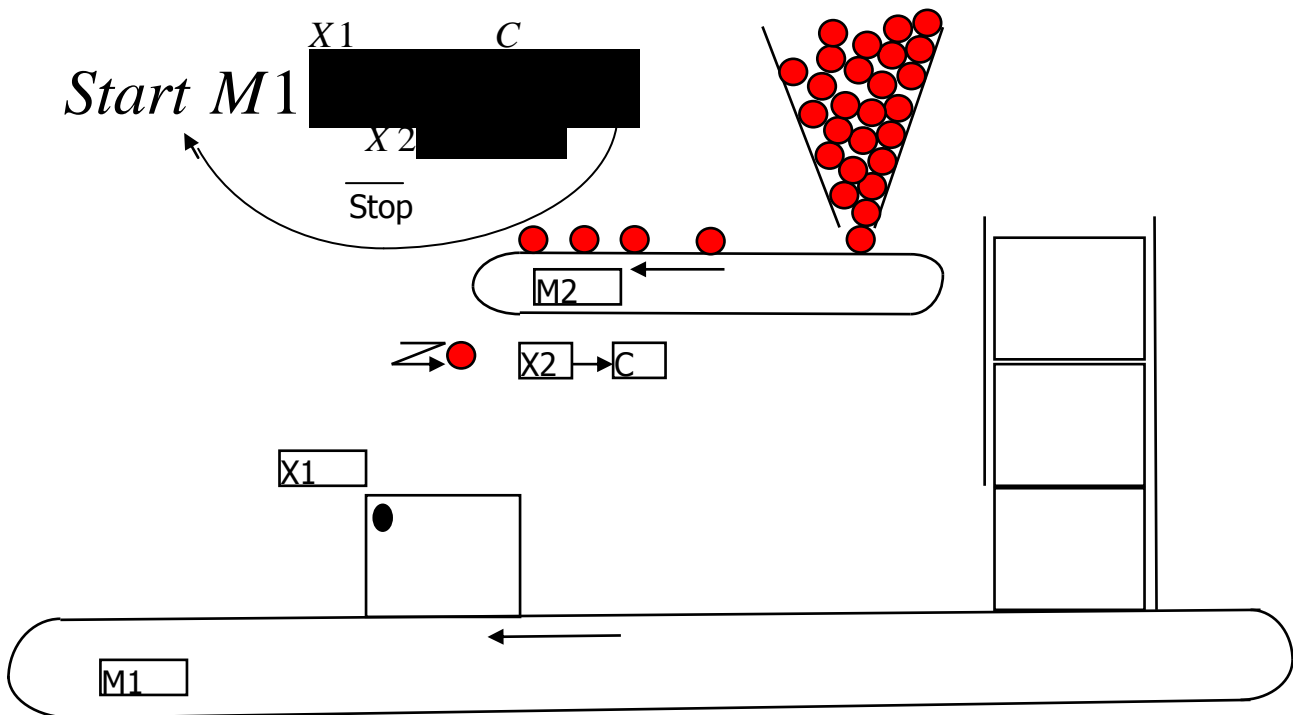
3+2.5+2+2

*Start*

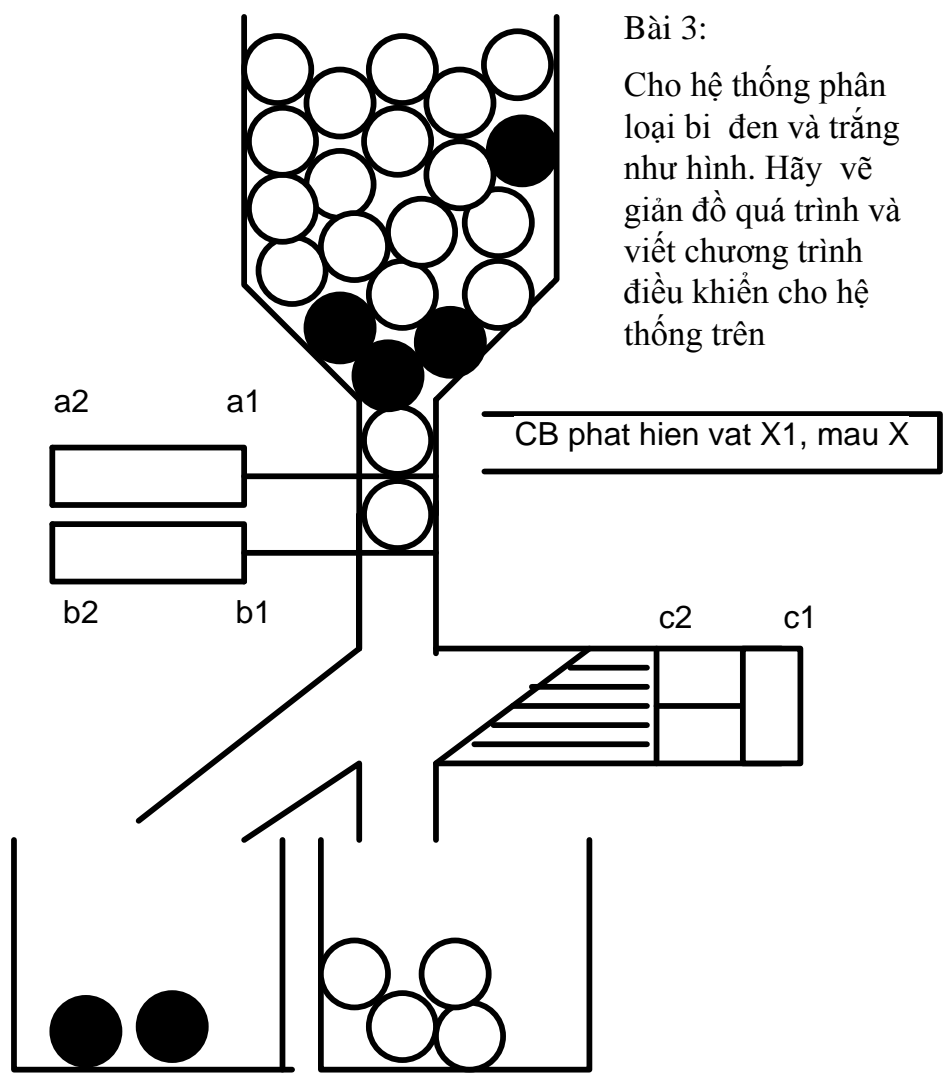


Bài 2:

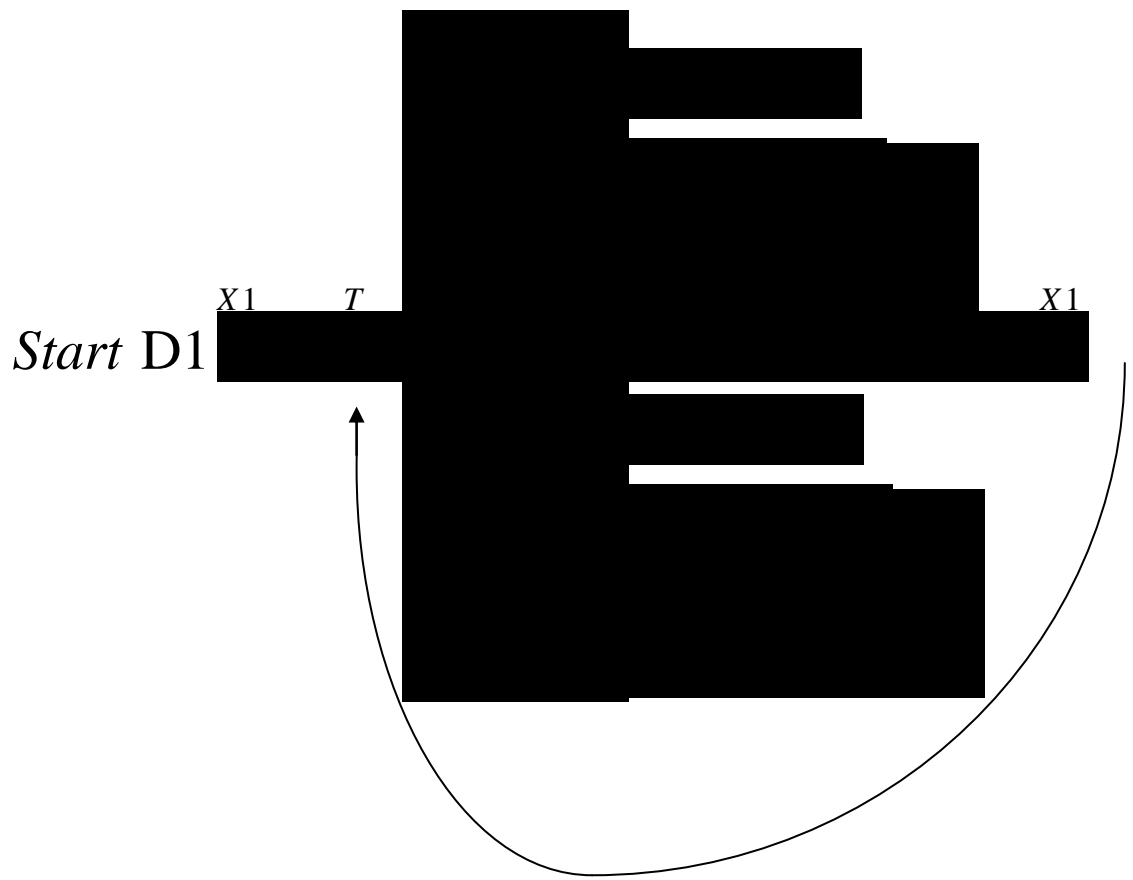
Cho băng chuyền hình sau: Khi nhận Start Băng chuyền thùng M1 chạy, khi thùng tới X1 tác động M1 dừng lại, M2 chạy, tảo rơi xuống, cảm biến X2 tác động vào bộ đếm C khi đủ số quả C tác động, M2 dừng lại, M1 chạy tiếp.





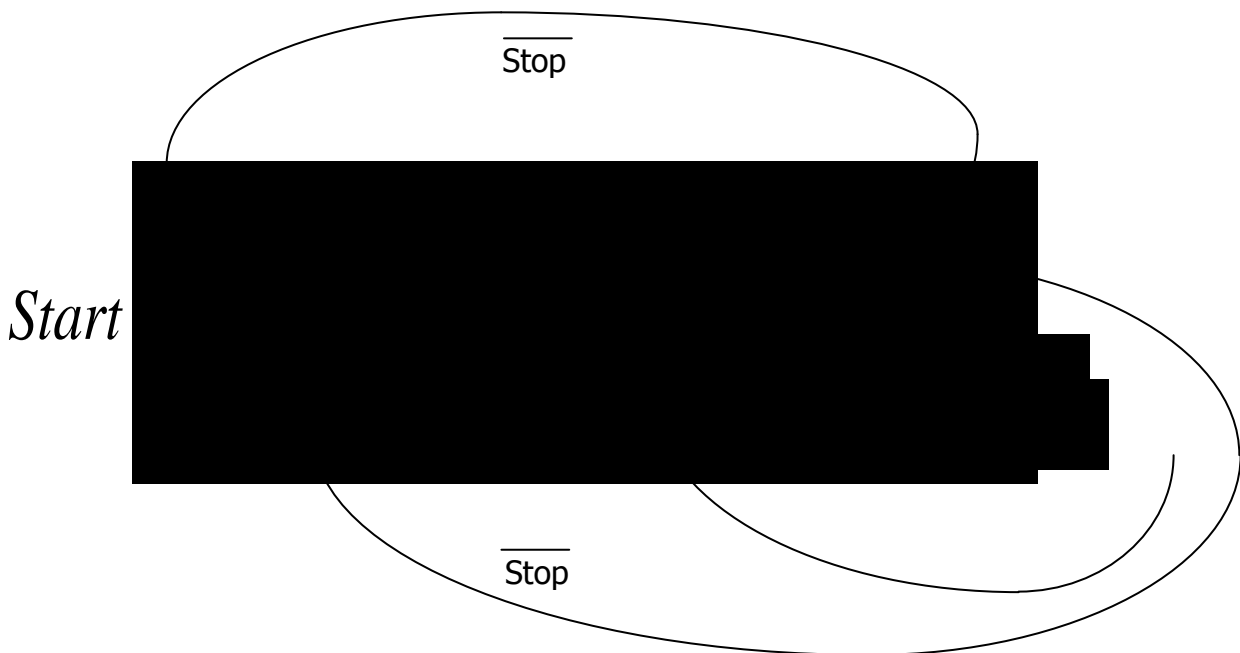
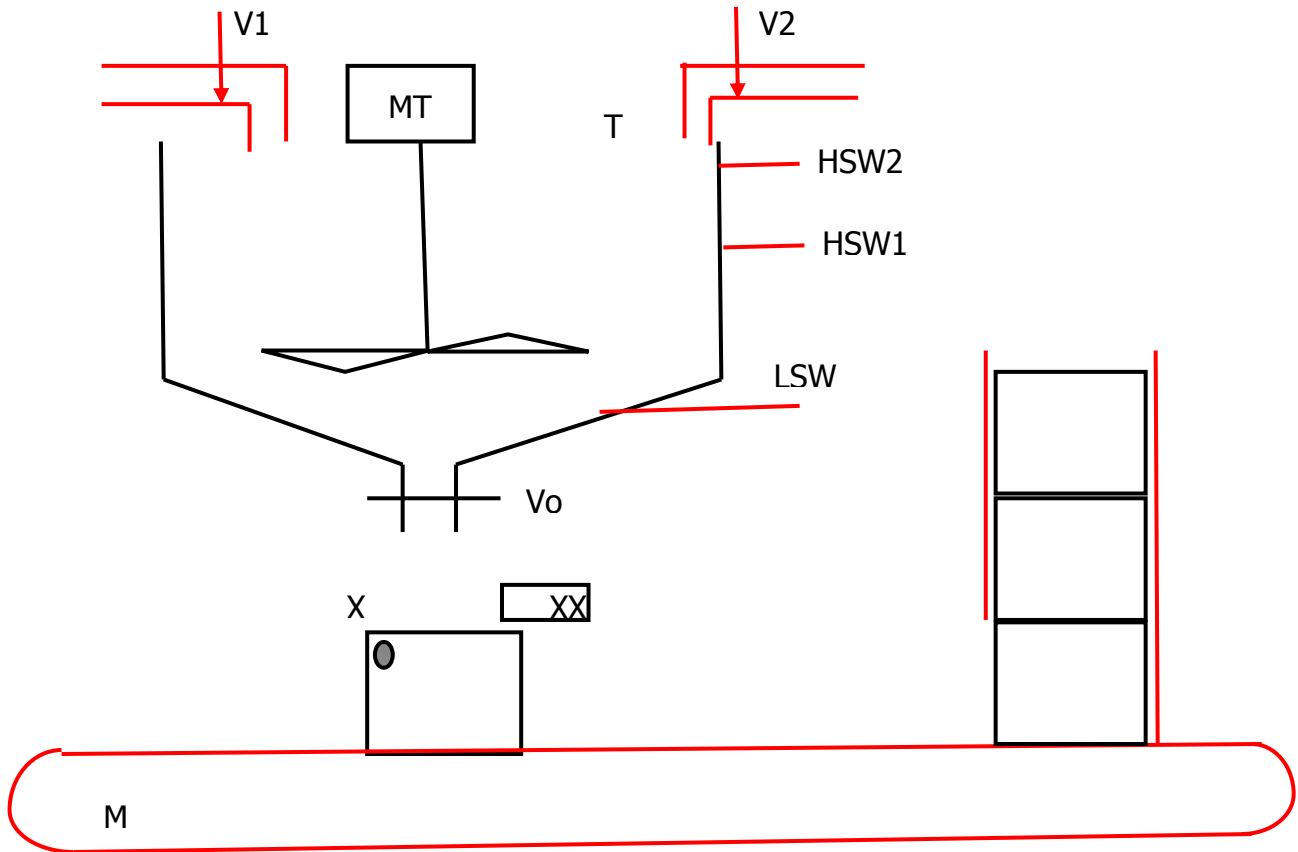


Bài 3:  
 Cho hệ thống phân loại bi đen và trắng như hình. Hãy vẽ giản đồ quá trình và viết chương trình điều khiển cho hệ thống trên



Bài tập 4:

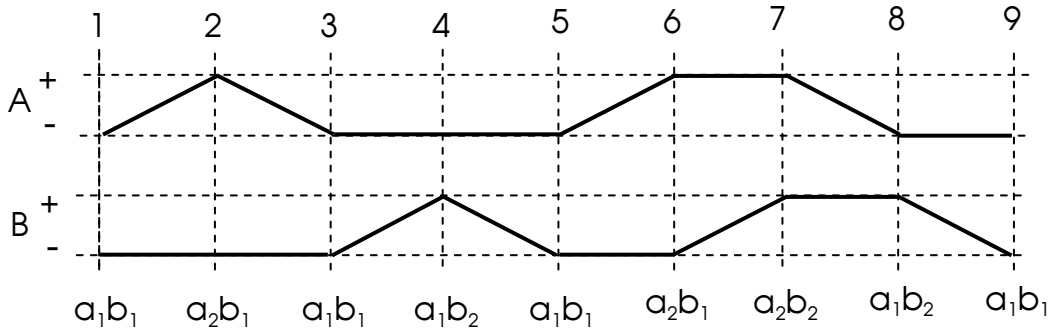
Cho hệ thống như hình, khi nhấn start V1 mở ra, nguyên liệu 1 được chiết vào bồn trộn, đến khi HSW1 tác động thì V1 đóng lại, V2 mở ra nguyên liệu 2 được đưa vào bồn trộn khi bồn trộn đầy HSW2 tác động, máy trộn MT trộn thêm tối thiểu thời gian T, M sẽ kéo băng chuyền thùng, nếu ở dưới có thùng thì X tác động, Vo mở ra cho đến khi XX tác động, quá trình chiết này được lặp lại cho tới khi LSW tác động, mở nguyên liệu mới sẽ được trộn lại nếu không nhấn stop.



### 7.3 QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ NGẪU NHIÊN

#### 7.3.1 PHƯƠNG PHÁP HUFFMAN TRONG ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH TUẦN TỰ

Ví dụ: Xét giản đồ trạng thái sau:

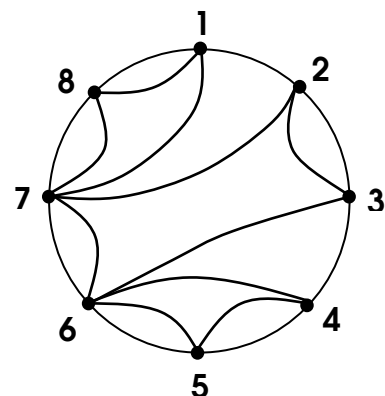


Lập bảng chuyển đổi trạng thái, khoanh tròn các trạng thái từ nó chuyển đến các trạng thái khác.

$\Pi$	$a_1b_1$	$a_2b_1$	$a_2b_2$	$a_1b_2$	A+	A-	B+	B-
1	①	2			1	0	0	X
2	3	②			0	1	0	X
3	③			4	0	X	1	0
4	5			④	0	X	0	1
5	⑤	6			1	0	0	X
6		⑥	7		X	0	1	0
7			⑦	8	0	1	X	0
8	1			⑧	0	X	0	1

Để giảm bớt các trạng thái, ta kết hợp các trạng thái mà ở đó trên một cột có cùng trạng thái hay trạng thái X (Don't care)

$y_1y_2$	$\Pi$	$a_1b_1$	$a_2b_1$	$a_2b_2$	$a_1b_2$
10	1,7,8	①	2	⑦	⑧
11	2,3	③	②	$7^A$	4
01	4,5,6	⑤	⑥	7	④
00				$7^B$	

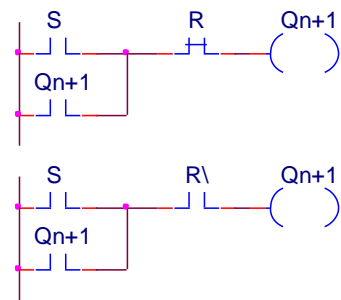


Lập bảng chuyển đổi trạng thái. Dựa trên nguyên lý hoạt động của RS-FF ta xây dựng bảng trạng thái. ( $y_1$  cho  $R_1S_1$ ,  $y_2$  cho  $R_2S_2$ )

Nhắc lại nguyên lý hoạt động RS-FF:

R	S	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	0
1	0	1
1	1	0*

$Q_n$	$Q_{n+1}$	$R_n$	$S_n$
0	0	X	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	X



Ví dụ: Hàng  $y_1y_2=10$  có  $a_1b_1$  ở trạng thái 1 bền do đó  $R_1S_1$  là 0X, tương tự cho  $a_2b_1$  từ trạng thái 2 không bền sẽ chuyển sang trạng thái 2 bền tương ứng  $y_1$  chuyển từ 1→1 do đó  $R_1S_1$  là 0X; Hàng  $y_1y_2=11$  ta có  $a_1b_1$  ở trạng thái 3 bền do đó  $R_1S_1$  là 0X, tương tự cho  $a_1b_2$  từ trạng thái 4 không bền sẽ chuyển sang trạng thái 4 bền tương ứng  $y_1$  chuyển từ 1→0 do đó  $R_1S_1$  là 10; (Lưu ý Từ 7→7<sup>A</sup>→7).

R	$y_1y_2$	$a_1b_1$	$a_2b_1$	$a_2b_2$	$a_1b_2$	$a_1b_1$	$a_2b_1$	$a_2b_2$	$a_1b_2$	S
R1	10	0	0	0	0	x	x	x	x	S1
	11	0	0	0	1	x	x	x	0	
	01	x	x	0	X	0	0	1	0	
	00									
R2	10	x	0	X	X	0	1	0	0	S2
	11	0	0	1	0	x	x	0	x	
	01	0	0	0	0	x	x	x	x	
	00									

Rút gọn  $R_1S_1$  và  $R_2S_2$  ta được:

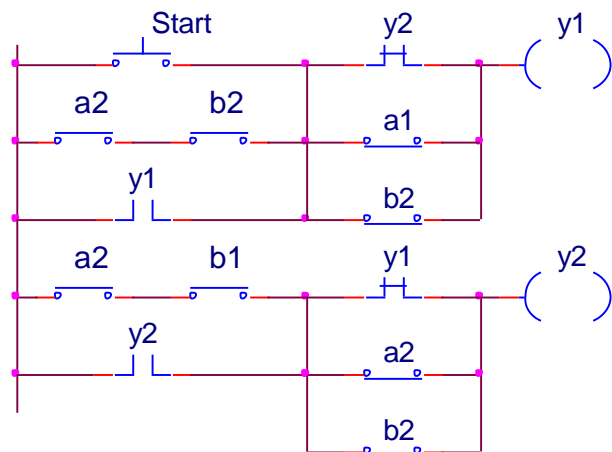
$$R1=y_2a_1b_2$$

$$S1=a_2b_2$$

$$R_2=y_1a_2b_2$$

$$S_2=a_2b_1$$

Chương trình như hình bên.



R	$y_1y_2$	$a_1b_1$	$a_2b_1$	$a_2b_2$	$a_1b_2$	$a_1b_1$	$a_2b_1$	$a_2b_2$	$a_1b_2$	S
R1	00	X	0	X	X	0	1	0	0	S1
	10	0	0	1	0	X	X	0	X	
	11	0	0	0	0	X	X	X	X	
	01									
R2	00	X	X	X	X	0	0	0	0	S2
	10	X	X	X	0	0	0	0	1	
	11	0	0	1	0	X	X	X	X	
	01									
A+	00	1	X	0	0	0	X	1	X	A-
	10	0	0	X	0	X	1	X	X	
	11	1	X	X	0	0	0	X	X	
	01									
B+	00	0	0	X	0	X	X	0	1	B-
	10	1	0	X	X	0	X	0	X	
	11	0	1	X	0	X	0	0	1	
	01									

Rút gọn ta được:

$$R_1 = y_2 \setminus a_2 b_2$$

$$S_1 = a_2 b_1$$

$$R_2 = a_2 b_2$$

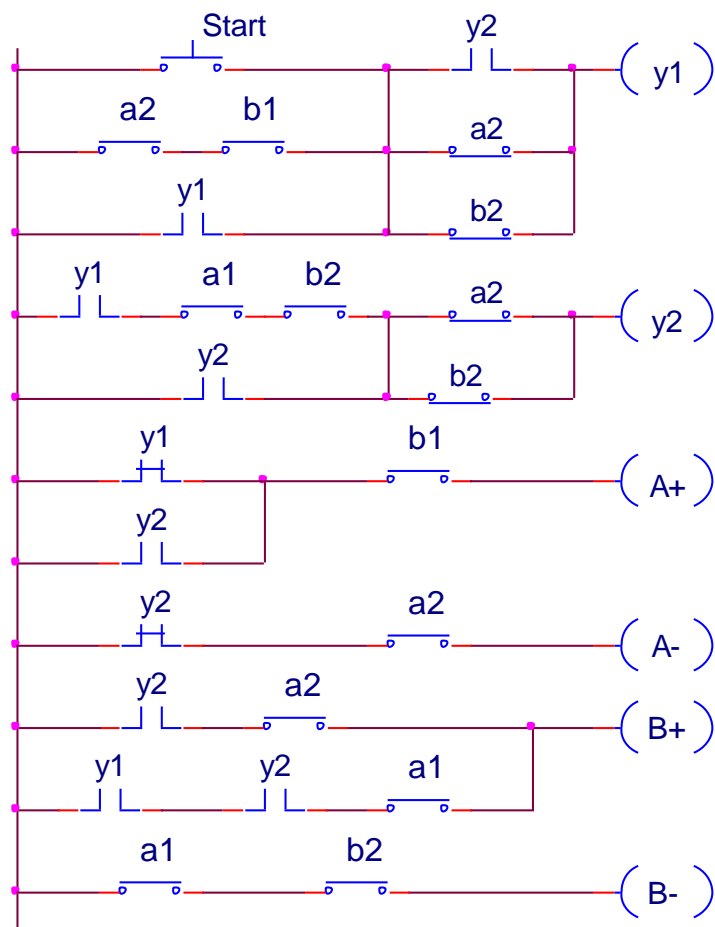
$$S_2 = y_1 a_1 b_2$$

$$A+ = y_1 \setminus b_1 + y_2 b_1$$

$$A- = y_2 \setminus a_2$$

$$B+ = y_2 a_2 + y_1 y_2 \setminus a_1$$

$$B- = a_1 b_2$$



Rút gọn  $R_1S_1$  v  $R_2S_2$  ta được:

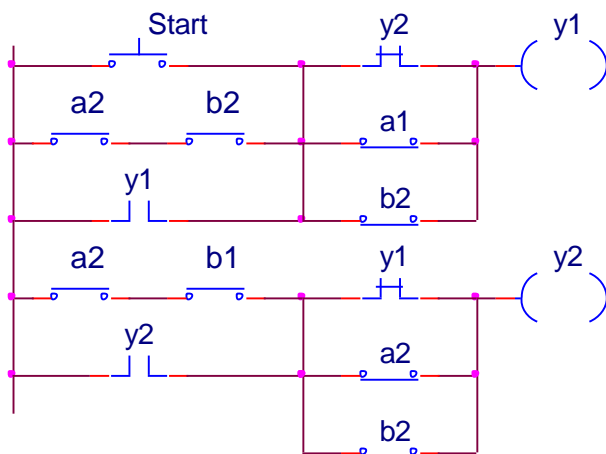
$$R1=y_2a_1b_2$$

$$S1=a_2b_2$$

$$R_2=y_1a_2b_2$$

$$^2S_2=a_2b_1$$

Chương trình như hình sau.



### 7.3.2 ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ CÓ NGỎ VÀO NGẪU NHIÊN:

Quá trình công nghệ có ngõ vào ngẫu nhiên là quá trình mà có đầu vào thay đổi ngẫu nhiên bất kỳ thời điểm nào nên không thể chia thành các giai đoạn được.

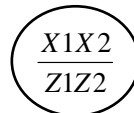
Để KS QTNN người ta khảo sát hệ thống thông qua các trạng thái. Trạng thái là một tổ hợp của các ngõ vào với các ngõ ra của hệ thống vào một thời điểm nào đó. Hai trạng thái có ngõ vào giống hệt nhau, ngõ ra giống hệt nhau vẫn có thể là hai trạng thái khác nhau vì tình huống dẫn đến chúng là khác nhau hoặc đơn giản là vì chúng ở những thời điểm khác nhau. Hệ thống sẽ được diễn tả bằng giản đồ trạng thái là tập các trạng thái và các cung có hướng liên kết các trạng thái đó với nhau.

**Thí dụ khảo sát hệ thống báo động:**



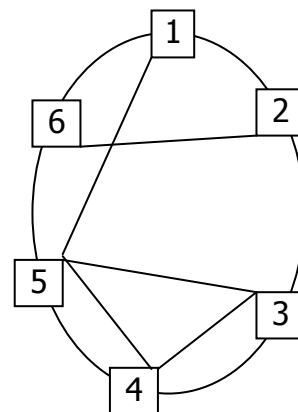
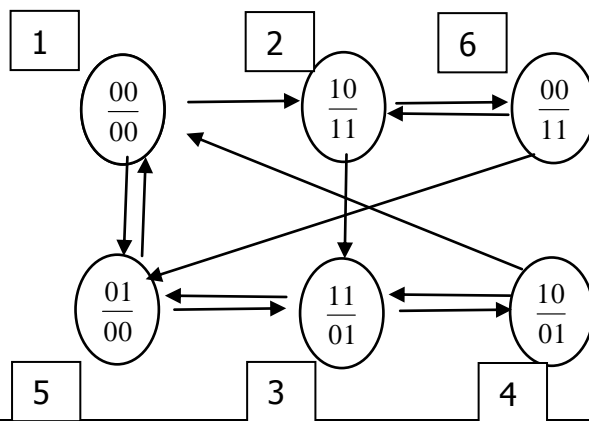
1. Khi có sự cố xảy ra: Còi kêu, đèn sáng.
2. Nếu có xác nhận sự cố: Còi sẽ hết kêu nhưng đèn vẫn sáng nếu sự cố còn và đèn tắt khi hết sự cố.
3. Nếu không nhận xác nhận sự cố thì Còi vẫn kêu , đèn vẫn sáng cho dù sự cố đã hết.

Trạng thái





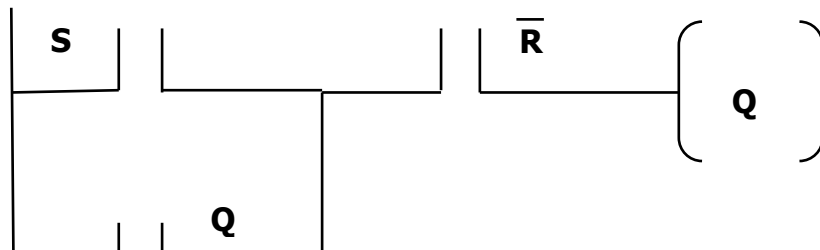
Z1 XXXXXXXXXX  
 Z2 XXXXXXXXXX



TT\X1X2	00	10	11	01	Z1	Z2
1	1	2		5	0	0
2	6	2	3		1	1
3		4	3	5	0	1
4	1	4	3		0	1
5	1		3	5	0	0
6	6	2		5	1	1
1,5	1	2	3	5	y1	1
2,6	6	2	3	5	y2	2,6
3,4	1	4	3	5	y3	3,4,5

$Z1$  ██████████  
 $Z2$  ██████████████████  
 $S1$  ██████████████████  
 $R1$  ██████████████████  
 $S2$  ██████████  
 $R2$  ██████████████████  
 $S3$  ██████████  
 $R3$  ██████████████████

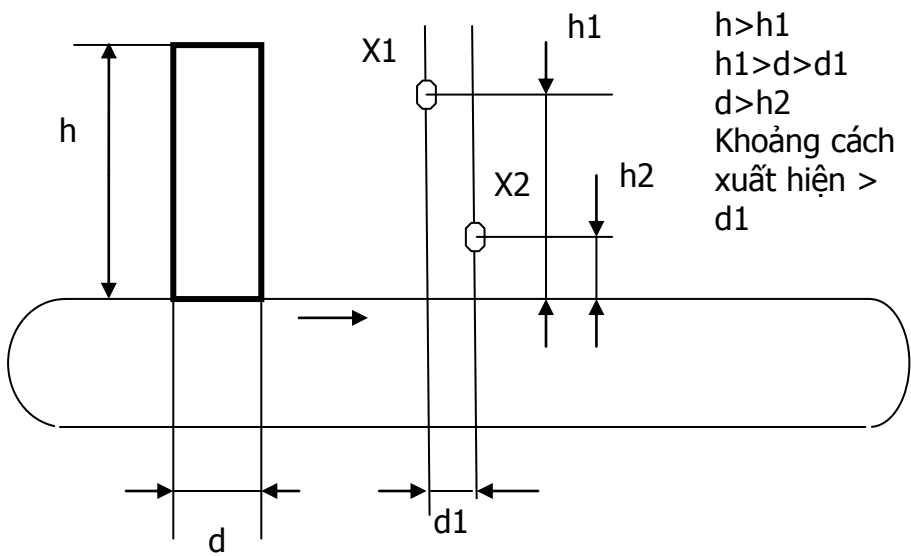
$Q_n$	$Q_{n+1}$	$R_n$	$S_n$
0	0	*	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	*



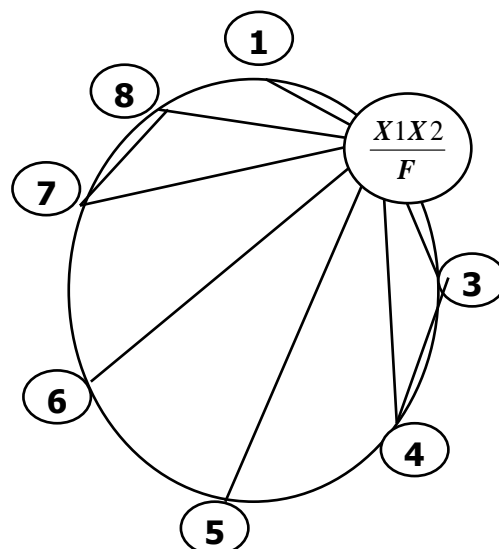
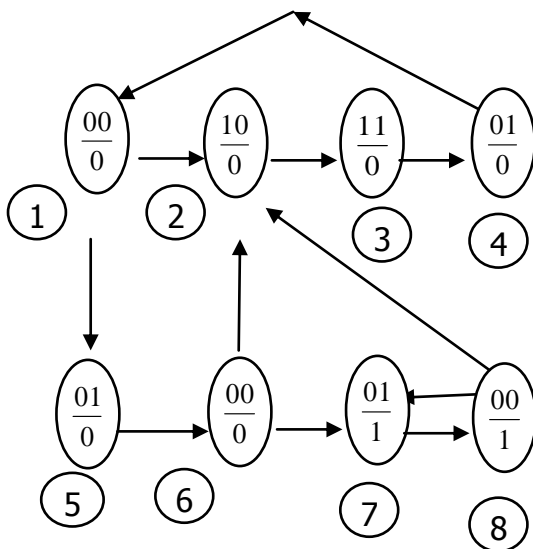
Y \ X	00	10	11	01	00	10	11	01	00	10	11	01
00	0	*	0	0	0	*	*	0		2	3	
10	1	1	*	*	1	1	1	*			3	5
11												
01	0	0	0	0	*	1	1	*	1			5
00	*	0	*	*	0	1	0	0				
10	0	0	1	1	*	*	0	0				
11												
01	*	*	*	*	0	0	0	0				

00	*	*	0	*	0	0	1	0
10	*	*	*	*	0	0	0	0
11								
01	1	0	0	1	0	*	*	0

Thí dụ khảo sát hệ thống báo động khi phát hiện 2 vật ngã liên tiếp:



$h > h_1$   
 $h_1 > d > d_1$   
 $d > h_2$   
 Khoảng cách  
 xuất hiện >  
 $d_1$



TT \ X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	00	10	11	01	F
------------------------------------	----	----	----	----	---

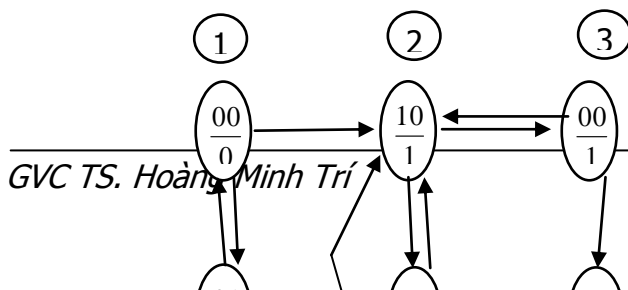
1	1	2		5	0
2		2	3		0
3			3	4	0
4	1			4	0
5	6			5	0
6	6	2		7	0
7	8			7	1
8	8	2		7	1
1	1	2		5	Y1
2,3,4	1	2	3	4	Y2
5	6			5	Y3
6	6	2		7	Y4
7,8	8	2		7	Y5

- F [redacted]
- S1 [redacted]  $y_5$
- R1 [redacted]
- S2 [redacted]
- R2 [redacted]
- S3 [redacted]
- R3 [redacted]
- S4 [redacted]
- R4 [redacted]
- S5 [redacted]
- R5 [redacted]

**Thí dụ khảo sát hệ thống bảo vệ máy khi có sự cố:**

Khi nhấn R nếu không có lỗi F và không có sự cố x thì M sẽ chạy

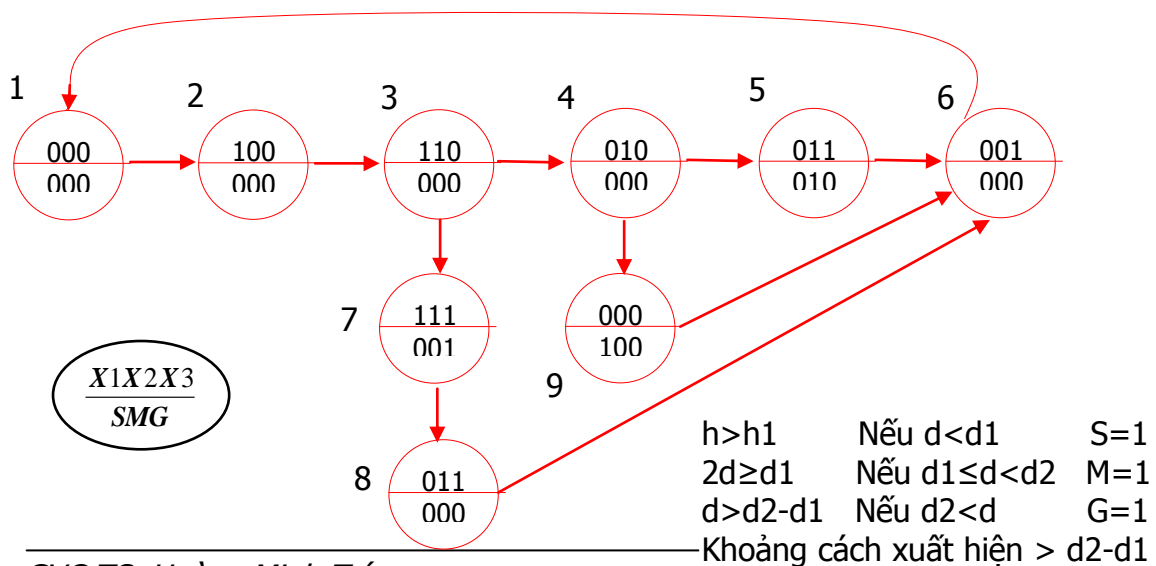
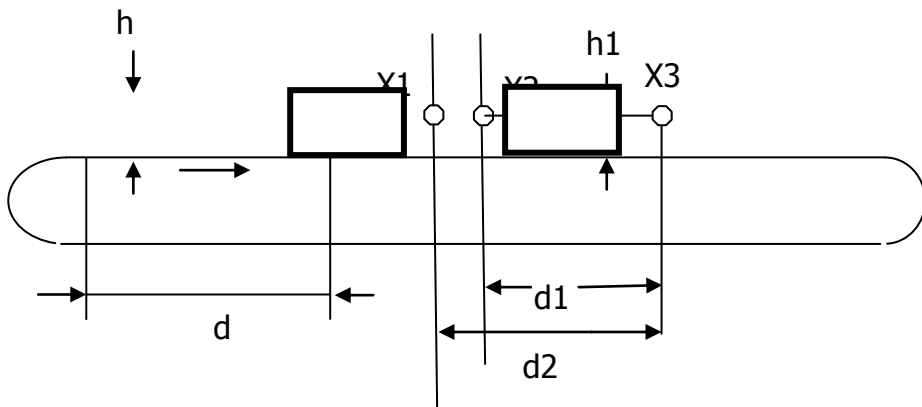
Nếu sự cố xảy ra M tắt và F=1, nút R mất tác dụng. F chỉ trở về bằng không khi sự cố đã hết và nhấn S 2 lần ( trong lúc nhấn không được có sự cố).



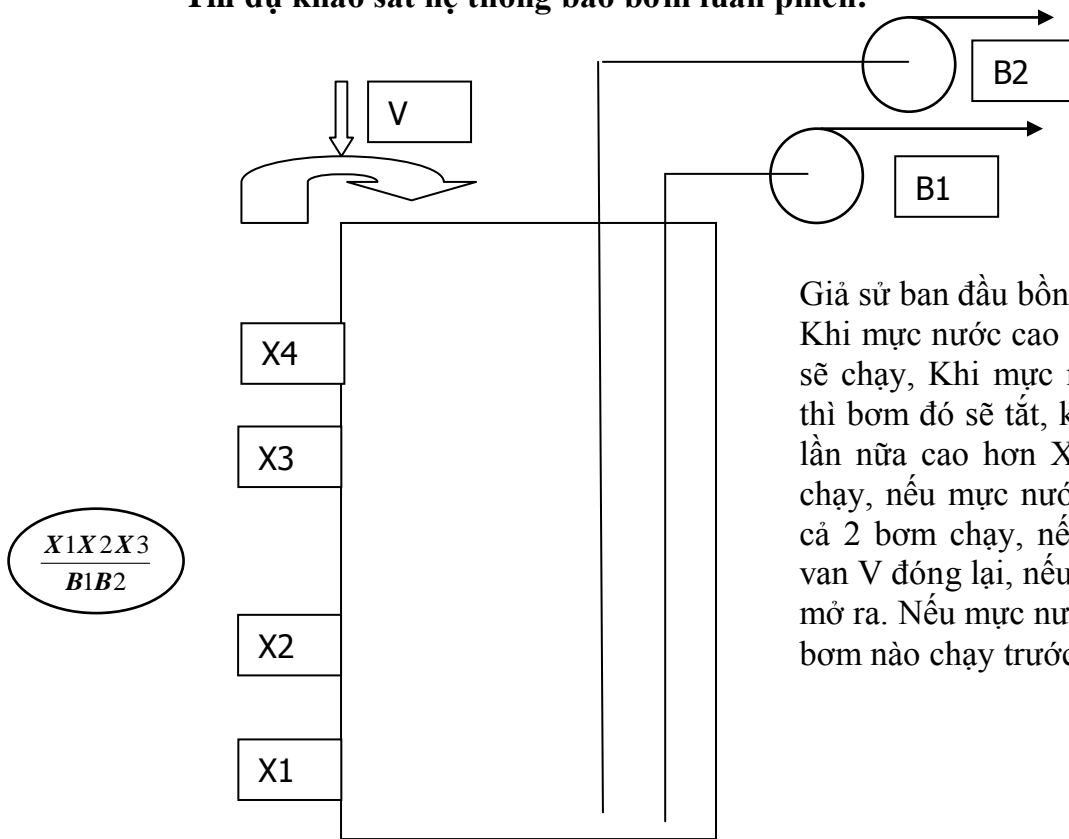
TT\xS	00	10	11	01	F
1	1	2		6	0
2	3	2	7		1
3	3	2		4	1
4	5		7	4	1
5	5	2		6	1
6	1		7	6	0
7		2	7	4	1
1,6	1	2	7	6	Y1
2,3,7	3	2	7	4	Y2
4	5		7	4	Y3
5	5	2		6	Y4
1,6	1	2	7	6	Y1
2,3	3	2	7	4	Y2
4,7	5	2	7	4	Y3
5	5	2		6	Y4



**Thí dụ khảo sát hệ thống phân loại vật ngắn, dài, trung bình**

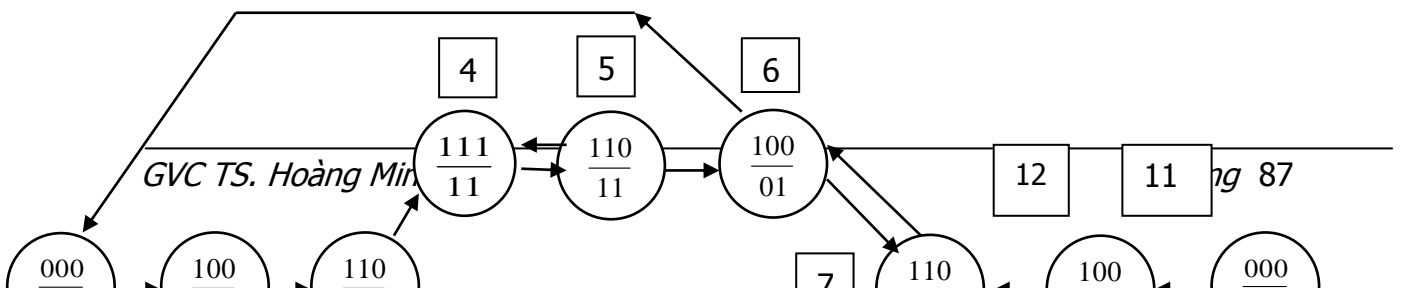


**Thí dụ khảo sát hệ thống báo bơm luân phiên:**



Giả sử ban đầu bồn cạn dưới X1  
 Khi mực nước cao hơn X2 thì 1 bơm sẽ chạy, Khi mực nước rút dưới X1 thì bơm đó sẽ tắt, khi mực nước một lần nữa cao hơn X2 thì bơm kia sẽ chạy, nếu mực nước cao hơn X3 thì cả 2 bơm chạy, nếu cao hơn X4 thì van V đóng lại, nếu dưới X4 thì V lại mở ra. Nếu mực nước rút dưới X2 thì bơm nào chạy trước sẽ tắt trước.

$\frac{X1X2X3}{B1B2}$





Tf\X1X2X3	000	100	110	111	B1	B2
1	1	2			0	0
2		2	3		0	0
3		10	3	4	1	0
4			5	4	1	1
5		6	5	4	1	1
6	1	6	7		0	1
7		6	7	8	0	1
8			9	8	1	1
9		10	9	8	1	1
10	11	10	3		1	0
11	11	12			0	0
12		12	7		0	0

Tf\X1X2X3	000	100	110	111	
-----------	-----	-----	-----	-----	--

1,2	1	2	3		Y1
3,10	11	10	3	4	Y2
4,5		6	5	4	Y3
6,7	1	6	7	8	Y4
8,9		10	9	8	Y5
11,12	11	12	7		Y6



Bảng trạng thái hệ thống phân loại xe ngắn, dài, trung bình khi khoảng cách xuất hiện 2 xe lớn hơn  $d_2 - d_1$  và  $d > 2d_1$  như sau:

$\mathbb{T} \setminus x_1 x_2 x_3$	000	100	110	010	011	111	101	001	S	M	G
1	<u>1</u>	2							0	0	0
2		<u>2</u>	3						0	0	0
3			<u>3</u>	4		7			0	0	0
4	9			<u>4</u>	5				0	0	0
5					<u>5</u>			6	0	1	0
6	1						10	<u>6</u>	0	0	0
7					8	<u>7</u>			0	0	1
8					<u>8</u>			6	0	0	0
9	<u>9</u>	17						6	1	0	0
10		2				11	<u>10</u>		0	0	0
11			3		12	<u>11</u>			0	0	0
12				4	<u>12</u>			13	0	0	0
13	16						14	<u>13</u>	1	0	0
14		17			15		<u>14</u>		0	0	0
15				19	<u>15</u>				0	0	0
16	<u>16</u>	17						6	0	0	0
17		<u>17</u>	18				10		0	0	0
18			<u>18</u>	19		11			0	0	0
19				<u>19</u>	12				0	0	0



*Giáo trình sản xuất tự động*

*GIÁO TRÌNH*  
**SẢN XUẤT TỰ ĐỘNG**

*( 45tiết )*

**DÙNG CHO SINH VIÊN NGÀNH CHẾ TẠO MÁY**

*Châu Mạnh Lực*

# I. KHÁI NIỆM VỀ SẢN XUẤT TỰ ĐỘNG

## 1.1. Khái niệm

Ngày nay, để nâng cao năng suất lao động, nâng cao chất lượng và ổn định chất lượng sản phẩm, người ta đã đưa vào các dây chuyền thiết bị sản xuất trong công nghiệp các hệ thống điều khiển tự động từng phần hoặc toàn bộ quá trình sản xuất.

Cùng với việc sử dụng ngày càng nhiều các hệ thống sản xuất tự động, con người đã được cải thiện đáng kể điều kiện lao động như giảm nhẹ được sức lao động, tránh được sự nhàm chán trong công việc, tạo điều kiện cho họ được tiếp cận với các lĩnh vực tiến bộ khoa học kỹ thuật và được làm việc trong môi trường ngày càng văn minh hơn.

Trong nền kinh tế thị trường và điều kiện hội nhập sâu rộng vào nền kinh tế thế giới, vấn đề cạnh tranh càng ngày càng khốc liệt hơn trên nhiều lĩnh vực như chất lượng, mẫu mã và giá thành sản phẩm. Có thể thấy rằng chỉ có thể áp dụng tự động vào quá trình sản xuất mới có thể có cơ hội nâng cao năng suất, tạo tiền đề cho việc giảm giá thành sản phẩm, đồng thời đảm bảo chất lượng ổn định của sản phẩm cũng như có thể thay đổi mẫu mã sản phẩm một cách nhanh chóng.

Ngày nay, hầu hết các dây chuyền sản xuất sử dụng các hệ thống tự động đã cho phép các doanh nghiệp có thể thay đổi công nghệ một cách dễ dàng và thuận lợi với các bộ điều khiển khả trình như trên các máy công cụ điều khiển theo chương trình số CNC, trên các bộ điều khiển logic khả trình PLC. Hơn thế nữa, với sự phát triển nhanh chóng của lĩnh vực công nghệ truyền thông đã cho phép ứng dụng các lĩnh vực tổ chức và điều hành toàn bộ các quá trình sản xuất một cách tối ưu nhất bằng việc sử dụng các công nghệ điều khiển như sử dụng mạng Petri, GRAFCET... trong quá trình sản xuất linh hoạt FSM và trong sản xuất tích hợp CIM.

## 1.2. Mục tiêu của tự động hoá quá trình sản xuất.

Về cơ bản có thể nhận thấy rằng, tự động hoá quá trình sản xuất bên cạnh những mặt tích cực của nó như đã nêu trên thì vẫn có những vấn đề cũng phải cần quan tâm và phải có sự phân tích một cách kỹ lưỡng để có những giải pháp ứng dụng hợp lý, đó là vấn đề xã hội. Vì sự áp dụng tự động hoá nhanh vào các hệ thống thiết bị công nghiệp sẽ kéo theo một lực lượng lớn công nhân thất nghiệp, mặt khác

quá trình chuẩn bị nhân lực có trình độ nghề nghiệp thích ứng chưa đáp ứng được một cách đồng bộ, đặc biệt là trong quá trình đào tạo. Hầu hết các doanh nghiệp có mức độ tự động hoá cao đều sử dụng các công nhân cũ được đào tạo lại để kịp thời phục vụ trước mắt, bởi vậy họ cũng chỉ được nắm bắt những kỹ năng và thao tác hết sức cơ bản mà chưa đạt đến trình độ theo yêu cầu. Do vậy cần phải nhìn nhận vấn đề một cách có khoa học để xác lập được mục tiêu của tự động hoá.

Có thể thấy rằng, tự động hoá quá trình sản xuất là nhằm đạt đến các mục tiêu chủ yếu sau đây:

Giảm giá thành sản phẩm do việc tăng năng suất, giảm các chi phí về vật tư tiêu hao, giảm tỷ lệ phế phẩm.

Loại bỏ hoàn toàn những công việc nặng nhọc, độc hại và nguy hiểm đến tính mạng con người, ví dụ như trong các lò phản ứng hạt nhân, trong công tác thám hiểm vũ trụ và thăm dò đáy biển....

Thay thế hoàn toàn cho con người trong quá trình kiểm tra, giám sát chất lượng sản phẩm, nhờ vậy loại trừ được các yếu tố chủ quan mà làm cho chất lượng sản phẩm ổn định hơn.

Thực hiện các động tác hết sức chính xác và khéo léo mà con người không thể làm được như chế tạo và lắp ráp các chi tiết và linh kiện cực nhỏ như các vi mạch, chip xử lý, trong công nghệ nano cũng như trong công tác tìm kiếm và sửa chữa các hư hỏng và sự cố trong quá trình vận hành và khai thác các thiết bị...

### **1.3. Khả năng thích ứng nhanh và tạo nhanh các sản phẩm**

Bằng các kỹ thuật hiện đại, ngày nay các nhà sản xuất công nghiệp có thể rút ngắn đến mức tối đa thời gian kể từ khi hình thành ý tưởng đến khi cho ra đời các sản phẩm như sử dụng các công nghệ tích hợp, các phần mềm thiết kế, quản lý và chế tạo như công nghệ CAD/CAM.

### **1.4. Cấu trúc chung của một hệ thống sản xuất tự động**

Mỗi một hệ thống sản xuất tự động phải bao hàm trong đó các khối điều khiển và khối chấp hành. Chức năng công nghệ cùng với các chương trình hoạt động được chuyển đến cho khối điều khiển dưới dạng các chương trình cứng hay mềm thông qua các thao tác trực tiếp của con người thông qua bàn phím lập chương trình hay từ các vật mang tin như các loại băng đột lỗ, đĩa mềm, băng từ hoặc cáp truyền số liệu. Khối điều khiển sẽ nhận và xử lý các thông tin thông qua các hệ thống tính toán số học, logic và nội suy sẽ phát ra các lệnh tương thích tại từng thời điểm thích hợp cho khối chấp hành nhằm thực hiện các chức năng công tác của quá

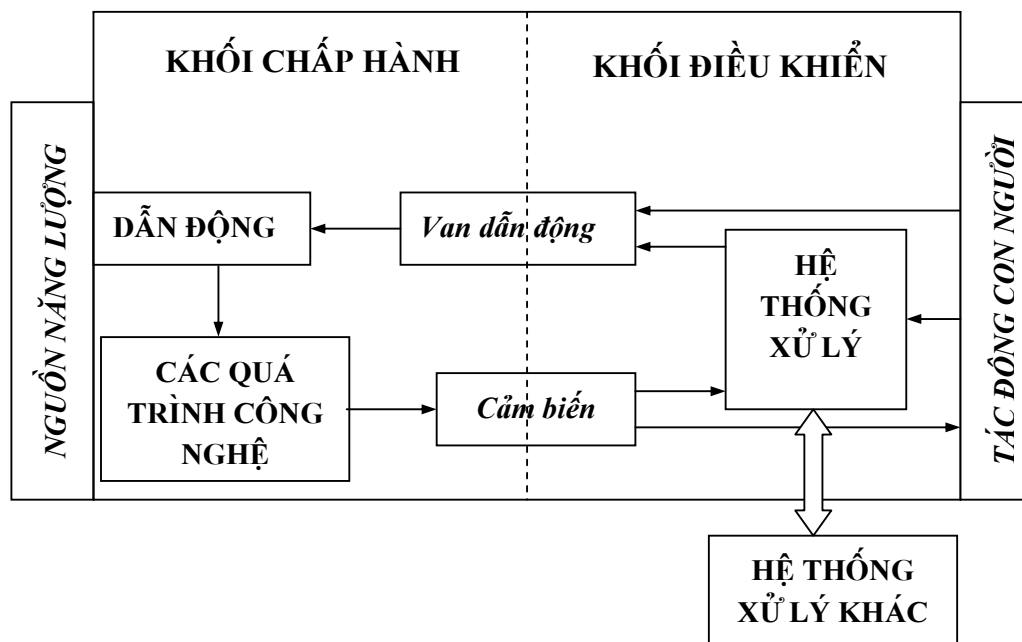
trình công nghệ như dịch chuyển bàn máy, thực hiện công việc ép, cung cấp phối liệu, nguyên liệu, trộn hoặc tháo sản phẩm, quay bàn máy đến vị trí tiếp theo...

Để khối chấp hành có thể hoạt động được cũng như để giám sát sự hoạt động của các cơ cấu chấp hành, người ta còn bố trí thêm trong hệ thống các cơ cấu trung gian như các van đóng mở các thiết bị dẫn động và các cảm biến để giám sát, theo dõi sự hoạt động của hệ thống nhằm điều chỉnh sự hoạt động một cách nhanh chóng, kịp thời và chuẩn xác.

Để đảm bảo cho sự hoạt động ổn định của hệ thống, cần phải cung cấp nguồn năng lượng như điện, dầu ép hoặc khí nén có chất lượng và cần phải có sự tham gia của con người như lập chương trình, thay đổi chương trình hoạt động, khởi động chu trình cũng như can thiệp trực tiếp một cách kịp thời khi cần thiết như hệ thống có sự cố hoặc có thông báo lỗi...

Ngày nay, với kỹ thuật truyền số liệu đã phát triển ở mức độ cao, các hệ thống sản xuất tự động còn thực hiện được sự giao tiếp với các máy tính và các mạng truyền thông cục bộ trong từng phân xưởng, trong nhà máy (LAN) hoặc cả đối với các hệ thống sản xuất tự động khác ở các địa điểm khác nhau (NET).

Có thể tóm tắt sơ đồ cấu trúc của một hệ tự động nói chung :



Hình 1.1 : Sơ đồ hệ thống sản xuất tự động



## 1.5. Khối chấp hành

### 1.5.1. Các hệ thống dẫn động

Mục đích của hệ thống dẫn động trong hệ thống sản xuất tự động là nhằm thực hiện các chức năng công tác của quá trình sản xuất. Yêu cầu cơ bản đối với các hệ thống dẫn động này là có thể điều khiển tốc độ vô cấp để nhằm thoã mãn với nhiều chế độ công nghệ khác nhau cũng như đảm bảo sự hoạt động của hệ thống một cách ổn định nhằm chống lại các ảnh hưởng do nhiễu tác động. Đối với hệ thống dẫn động, ngoài yêu cầu trên, còn phải đảm bảo có hệ số cứng vững động lực học cao, đáp ứng nhanh và nhạy đối với các tín hiệu điều khiển. Có độ bền cơ học cao và ổn định với sự hoạt động trong thời gian dài và liên tục. Tùy theo yêu cầu về chế độ công nghệ của từng hệ thống và các quá trình công nghệ mà có sự phân tích và lựa chọn các hệ thống này một cách thích hợp.

Có thể phân hệ dẫn động theo 2 dạng cơ bản trên cơ sở nguồn năng lượng : điện và thủy khí.

#### a. Dẫn động điện

Dẫn động điện được sử dụng phổ biến nhất hiện nay do nguồn cung cấp năng lượng điện thông dụng và phổ biến nhất. Sử dụng năng lượng điện rất thuận tiện và đơn giản vì hầu hết các doanh nghiệp đều có nguồn năng lượng điện, có thể nguồn năng lượng từ hệ thống điện quốc gia, nguồn năng lượng điện từ các máy phát điện cục bộ hoặc các nguồn năng lượng điện khác như phong điện, thủy điện hoặc năng lượng mặt trời. Hơn nữa các tín hiệu điều khiển và các tín hiệu giám sát cùng chung một đại lượng vật lý nên việc điều khiển tự động là thuận lợi nhất. Tuy nhiên, dẫn động điện chỉ có thể tạo ra các chuyển động quay, vì thế muốn tạo ra các chuyển động khác theo yêu cầu như chuyển động tịnh tiến, chuyển động lắc theo chu kỳ hoặc các chuyển động quay trong góc quay giới hạn cần phải có thêm các cơ cấu cơ khí tham gia. Đối với các động cơ chạy điện, người ta thường sử dụng các loại sau đây:

#### \* Động cơ 1 chiều kích từ độc lập.

Loại động cơ điện 1 chiều đã được sử dụng từ rất sớm. Ưu điểm của loại động cơ này là có dải công suất rất rộng, có thể từ vài w đến hàng trăm kw. Khoảng điều chỉnh tốc độ cũng rất lớn, mạch điều chỉnh tốc độ đã rất ổn định và có hệ số động lực học cao. Tuy nhiên do sử dụng cổ góp nên có thể gây ra hiện tượng nhiễu hoặc bị mài mòn, đặc biệt khi làm việc trong các môi trường có độ ẩm cao hoặc có

nhieu thành phần ăn mòn như các vùng ven biển, do vậy cần phải thường xuyên bảo dưỡng để đảm bảo chế độ làm việc của động cơ.

*\* Động cơ bước.*

Động cơ bước là một loại máy điện hoạt động dưới tác dụng của các xung rời rạc và kế tiếp. Nó có thể quay theo cả 2 chiều tùy thuộc vào thứ tự cung cấp điện cho các cực của *stator*. Mỗi lần quay do tác động của 1 xung được 1 bước tương ứng với một góc của trục động cơ và dừng lại chính xác dưới tác dụng của điện - từ trường. Bước là lượng dịch chuyển về góc quay nhỏ nhất được xác định bởi 2 vị trí ổn định kế tiếp nhau. Trị số này thường được xác định theo số bước trong một vòng quay của động cơ. Thông thường là từ 6 ÷ 200 bước / vòng. Đối với loại động cơ bước hỗn hợp làm việc theo nguyên tắc từ trở nhỏ nhất có thể tăng số bước của động cơ một cách đáng kể nhằm tăng khả năng độ dịch chuyển tinh nhằm thỏa mãn theo yêu cầu của quá trình công nghệ.

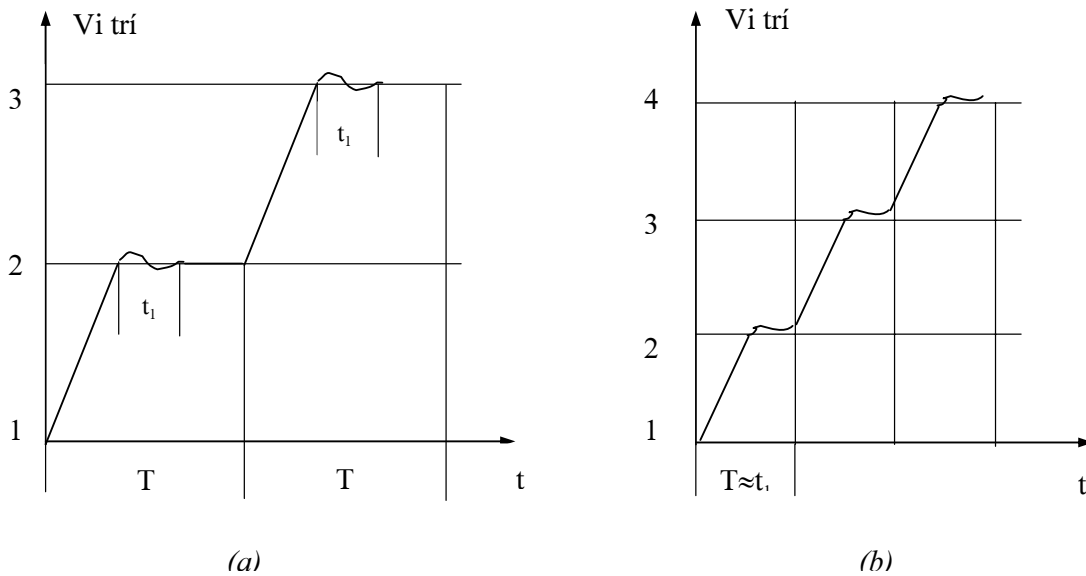
Nguyên lý làm việc của động cơ bước tương tự như nguyên lý làm việc của động cơ không đồng bộ : phần cố định (vỏ động cơ) là *stator* có các cuộn dây lắp đều trên chu vi có dạng vòng nhẫn đặt vào các rãnh *stator* có dạng chữ U để tạo nên từ lực đẩy nam châm. Phần quay của động cơ là *rotor* được gắn với trục thường được chế tạo từ nam châm vĩnh cửu hay sắt non. Tại mỗi thời điểm, vị trí của chúng được xác định theo giá trị của bước mà tại đó từ trở của chúng là nhỏ nhất trong trường hợp thao tác đầy bước và có thể nằm ở một vị trí thích hợp với từ trở nhỏ nhất trong trường hợp điều khiển vi bước. Như vậy, có thể thấy là quá trình hoạt động của động cơ bước là gián đoạn theo từng bước hay vi bước, trong đó xảy ra liên tục quá trình khởi động và dừng theo từng xung cung cấp. Tại vị trí dừng, mô men điện từ tác dụng giữ roto ở vị trí chính xác và người ta còn gọi là mô men hãm.

Tần số xung sẽ quyết định tốc độ quay của động cơ bước, tần số xung càng lớn thì tốc độ quay càng cao và ngược lại. Tuy nhiên không thể tăng tần số lên quá lớn vì khi đó hằng số thời gian điện từ sẽ giảm xuống và thời gian dừng của động cơ bước (để dập tắt các dao động) có thể vượt quá hằng số thời gian điện từ và như vậy sẽ tạo nên sự hoạt động liên tục và không thỏa mãn yêu cầu của động cơ bước. Hơn nữa, khi đó động cơ cũng không thể đảo chiều được. Đây gọi là hiện tượng bội tốc hay vùng tần số làm việc quá giới hạn.

Sự hoạt động của động cơ bước được biểu diễn qua đặc tính động lực của chúng như hình 1.2. Trong đó hình (a) biểu diễn sự hoạt động bình thường của động cơ bước với quá trình khởi động - dừng và lại khởi động tiếp tục bước thứ 2, 3

... theo cùng chiều hoặc ngược chiều mà không có sự sai lệch bước. Thời gian giữa 2 xung đủ đảm bảo làm tắt hết dao động và rôto sẽ dừng để thực hiện tiếp tục xung kế tiếp.

Hình (b) biểu diễn vùng bội tốc, tại vùng này, động cơ không đáp ứng tức thời các lệnh khởi động - dừng đúng vị trí và bước bị sai lệch hoặc không thể đảo chiều được. Trong trường hợp này, hằng số thời gian điện từ có giá trị xấp xỉ với thời gian cần thiết để mô men hãm của động cơ gây ra để dừng *rotor* đúng vị trí bước.



Hình 1.2: Sự dịch chuyển của động cơ bước

Mối quan hệ giữa mô men và tần số bước hay tốc độ quay của động cơ bước tương tự như động cơ không đồng bộ 3 pha và được biểu diễn qua đặc tính cơ của chúng. Mỗi hãng sản xuất động cơ bước đều có các đặc tính cơ khác nhau và thường được cung cấp theo khi bán hàng.

Từ đồ thị đặc tính cơ, ta có một số nhận xét liên quan đến điều kiện làm việc và chế độ sử dụng của động cơ bước như sau:

Tần số tối hạn  $f_t$  : là tần số bước lớn nhất mà động cơ có thể làm việc mà không bị sai lệch bước quay khi có tải trọng. Tần số bước tối hạn lớn nhất  $f_{t_{max}}$  là tần số mà động cơ bước có thể đạt được khi quay không tải.

Tần số khởi động  $f_k$  là tần số bước lớn nhất mà động cơ có thể khởi động khi có tải. Tần số khởi động lớn nhất  $f_{kmax}$  là tần số bước lớn nhất mà tại đó động cơ có thể khởi động không tải.

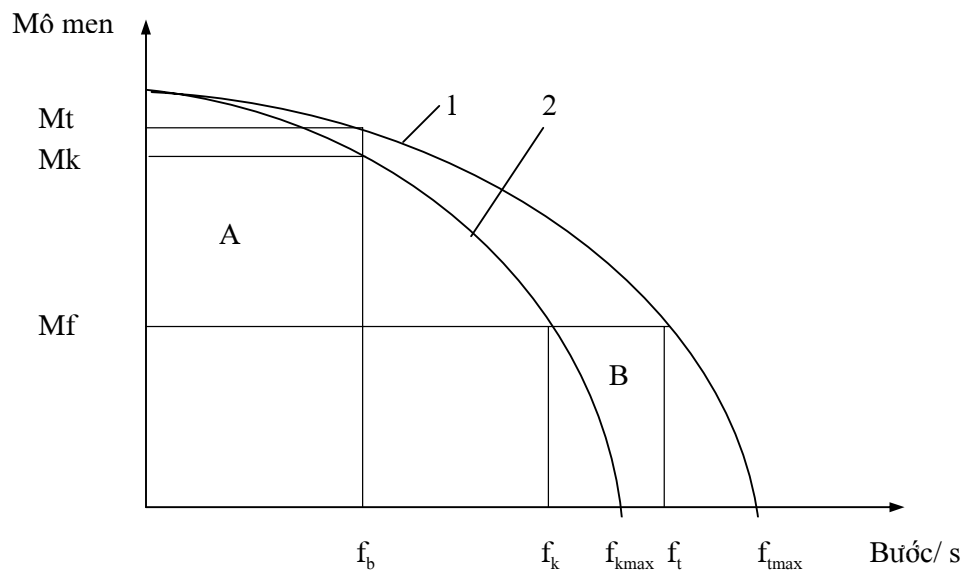
Mômen tối hạn  $M_t$  : là mô men lớn nhất tác động lên trục mà động cơ có thể quay tương ứng với tần số tối hạn. Đường (1) trên hình vẽ đặc trưng cho mô men tối hạn theo sự thay đổi của tần số bước.

Mô men khởi động  $M_k$  : là mô men lớn nhất mà động cơ có thể quay với tần số khởi động. Sự thay đổi của  $M_k$  theo tần số được biểu thị bằng đường (2).

Từ hai đường đặc tính đã tạo nên hai vùng làm việc của động cơ bước. Vùng A là vùng khởi động - dừng ; vùng B là vùng bội tốc và không nên dừng.

$M_f$  và  $f_b$  là mô men tải và tần số bước.

Ngoài ra, như đã nói trên, động cơ bước còn có mô men duy trì (mô men tĩnh) do từ trường của cuộn dây *stator* tạo ra để giữ động cơ đứng yên (dừng đúng tại vị trí bước).

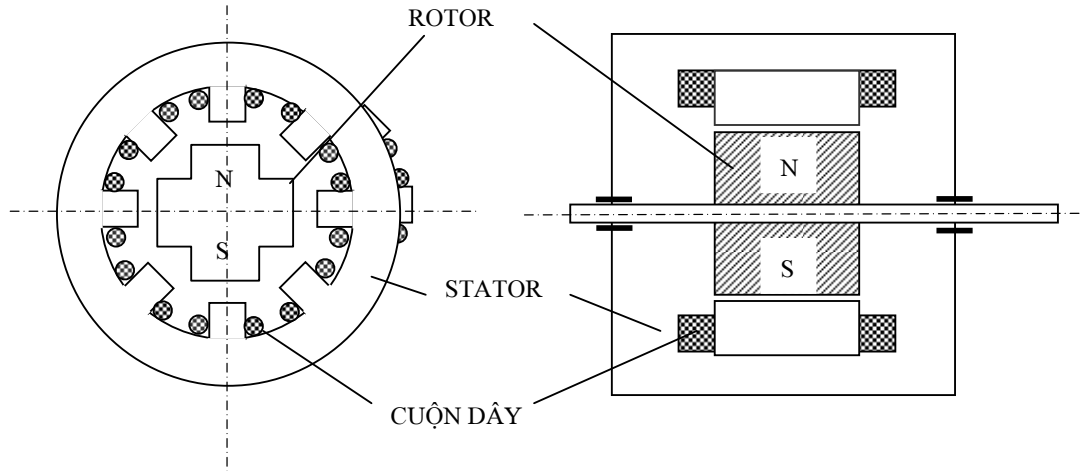


Hình 1.3: Đặc tính cơ động cơ

Cấu trúc của động cơ bước như đã mô tả ở trên có thể được biểu diễn như hình 1.4.

Tuy nhiên, để nâng cao công suất của động cơ bước cũng như để tăng số bước của động cơ, người ta ghép đồng trục nhiều động cơ bước được biểu diễn như

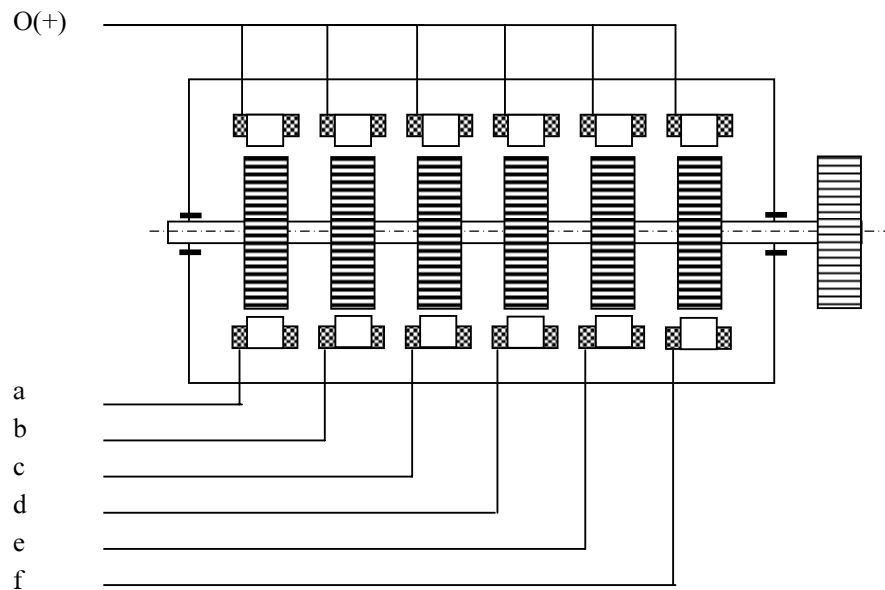
trên để tăng mô men và khi đó các cực (răng) của *stato* được bố trí lệch đi một góc nào đó sao cho phân bố góc răng chia đều cho số *stato* được ghép.



Hình 1.4 : cấu tạo của động cơ bước

Ví dụ có 6 *stato* ghép lại và số răng (bước *stato*) của *stato* là 20, ta sẽ có các cực của *stato* xếp lệch trên đường sinh 1 góc là :

$$\varphi_l = \frac{360^\circ}{20 \times 6} = 3^\circ$$



Hình 1.5: biểu diễn động cơ bước và sự bố trí bước Stato.

Việc điều khiển động cơ bước được thực hiện do một thiết bị điện tử thực hiện được gọi là bộ chuyển phát. Tuy vậy trước khi đi đến việc nghiên cứu cấu trúc bộ điều khiển này, ta thiết lập công thức xác định số bước của động cơ để từ đó xây dựng quá trình điều khiển cho thích hợp.

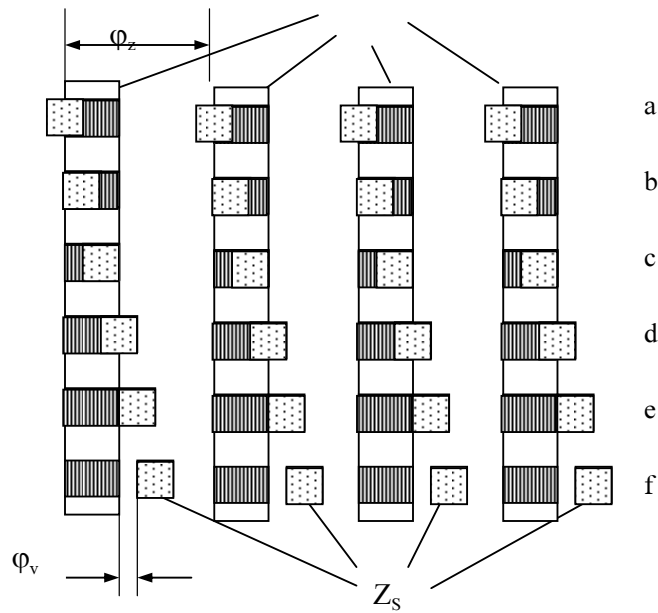
Nếu gọi số răng của *stato* là  $Z_s$  và số răng của *rotor* là  $Z_r$  thì số bước  $n_b$  của động cơ bước được tính :

$$n_b = \frac{Z_s \times Z_r}{Z_s - Z_r}$$

Nếu được ghép đồng trục nhiều *rotor* và *stato* theo hình 8 thì số bước của động cơ bước được tính.

$$n_b = \frac{Z_s \times Z_r}{Z_s - Z_r} \times k$$

Trong đó,  $k$  là số lượng *rotor* và *stato* được ghép.



Hình 1.6. Sơ đồ bố trí các cực của động cơ bước

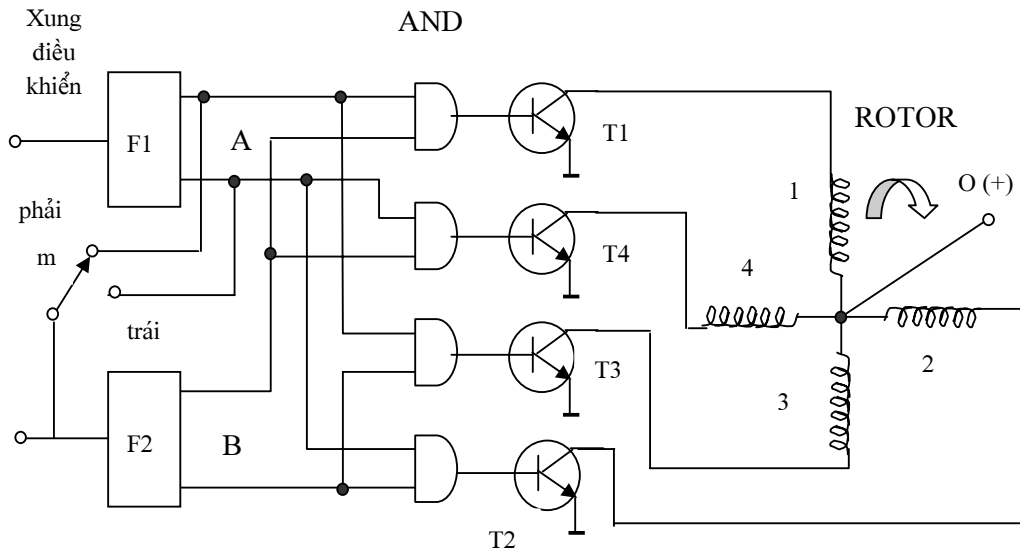
Hệ điều khiển động cơ bước phải đảm bảo được các chức năng sau đây:

Cung cấp đủ số lượng xung cần thiết vào cuộn dây *stato* theo yêu cầu công nghệ. Tạo các xung với các tần số khác nhau và tần số này có thể thay đổi được theo quy luật mong muốn.

- Chuyển các xung điện áp vào các cuộn dây *stator* theo yêu cầu về chiều quay một cách chính xác.

- Làm giảm được các dao động cơ học.

Hệ thống này được thực hiện bằng một sơ đồ *logic* mạch điện tử số được bố trí như trên hình 1.7.



CHIỀU QUAY 1234

	m	A	B	T1	T2	T3	T4
PHẢI							

CHIỀU QUAY 1432

	m	A	B	T1	T2	T3	T4
TRÁI							

Hình 1.7. Mạch điều khiển động cơ bước

Ví dụ trên hình 1.7 là biểu diễn sơ đồ bộ chuyển phát sử dụng mạch *logic* điện tử số thực hiện điều khiển 1 động cơ bước có 4 cuộn *stator* tương ứng với các cuộn dây được đánh số 1,2,3,4.

Đầu vào được cung cấp bằng các xung do máy phát xung hoặc bộ tạo xung phát ra. Thành phần của mạch là các linh kiện bán dẫn và vi mạch. Việc kích thích các cực của động cơ bước thực hiện theo thứ tự 1 - 2 - 3 - 4 do các *Transistor* công suất thực hiện. (T1, T2, T3, T4) thông qua các cổng *logic* thực hiện. Nhờ sự thay đổi trình tự bộ chuyển phát cung cấp cho *Transistor* qua các cổng *logic AND* mà chiều quay của động cơ có thể thay đổi được. Hai bộ ổn định P1 và P2 tạo các tín hiệu đóng mở cho các cổng điều khiển. Trạng thái của chúng có thể điều khiển động cơ quay theo chiều kim đồng hồ hoặc ngược lại.

*\*Động cơ không đồng bộ 3 pha điều khiển bằng biến tần.*

Động cơ 3 pha sử dụng biến tần để điều khiển tốc độ mới được nghiên cứu và ứng dụng gần đây, tuy nhiên nó đã được phát triển một cách nhanh chóng do có nhiều ưu điểm nổi trội hơn các loại động cơ trên như mô men mở máy lớn, mô men quá tải lớn, công suất lớn cũng như chất lượng đặc tính cơ tốt. Không cần phải có ổ góp và vì thế có độ bền về cơ học tốt hơn và không cần thiết phải bảo dưỡng định kỳ như động cơ điện 1 chiều.

#### *b. Dẫn động bằng thủy lực và khí nén*

Đối với các loại động cơ thủy - khí và xi lanh - piston thủy - khí, ưu điểm của hệ dẫn động này là có thể tạo ra chuyển động quay và chuyển động thẳng tùy theo mục đích và yêu cầu sử dụng. Vì thế chúng có thể sử dụng một cách trực tiếp mà không cần thiết phải qua các bộ chuyển đổi trung gian bằng các cơ cấu cơ khí khác. Tuy nhiên do khác nhau về các đại lượng vật lý của thông số điều khiển với hệ điều khiển nên cần có các bộ chuyển đổi và vì thế có thể gây ra các sai số.

*\* Dẫn động thủy lực.*

Dẫn động thủy lực được sử dụng trong trường hợp khi có yêu cầu tải trọng tác dụng lớn, chuyển động chậm và cần thiết phải được điều khiển chính xác. Ưu điểm đáng kể nhất của loại dẫn động này là có thể tạo được một công suất rất lớn trong khi kích thước khuôn khổ và kết cấu là nhỏ gọn nhất. Tuy nhiên nó có nhược điểm là các phần tử trong hệ thống cần phải có độ chính xác khi chế tạo và lắp ráp



rất cao, giá thành đắt. Nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ, cần phải bố trí hệ thống dầu hồi nên chỉ sử dụng độc lập trong từng máy riêng rẽ.

Ngày nay, có thể kết hợp giữa dẫn động thuỷ lực với các dẫn động điện như các loại động cơ bước - điện thuỷ lực để khắc phục các nhược điểm trên.

*\* Dẫn động khí nén.*

Dẫn động khí nén thường được dùng trong các trường hợp đóng mở các van, các dẫn động không yêu cầu về độ chính xác điều khiển tốc độ và vị trí. Thường hay sử dụng trong các hệ thống điều khiển logic như gá lắp, kẹp chặt, lắp ghép các chi tiết, dịch chuyển phôi liệu, nâng hạ hoặc quay bàn...

Ưu điểm của loại dẫn động này là tận dụng các nguồn khí nén có sẵn trong các nhà máy, phân xưởng và khí thải sau khi sử dụng xong có thể thải ra môi trường mà không cần hệ thống ống dẫn phức tạp.

Nhược điểm: Do đàn tính của khí nén và sự nhạy cảm với nhiệt độ nên chỉ dùng với trường hợp tác động 2 vị trí như đóng, mở.

## **1.6. Khối điều khiển**

Khối điều khiển là nơi thực hiện các nhiệm vụ như nhận thông tin từ các vật mang tin và chuyển nó thành các lệnh để điều khiển khối chấp hành, đồng thời giám sát sự hoạt động của khối chấp hành thông qua các cảm biến để điều chỉnh hệ thống hoạt động ổn định một cách kịp thời và chuẩn xác.

### *1.6.1. Hệ điều khiển cứng*

Với hệ điều khiển này, việc điều khiển quá trình hoạt động tự động được thực hiện theo công nghệ lập tuyến. Ví dụ như trong các mạch điều khiển logic bằng điện và khí nén hay trong các hệ điều khiển cứng như với các câm lắp trên trục phân phối trong các máy tự động điều khiển bằng cam.

Đặc điểm của hệ điều khiển cứng này là chỉ hoạt động theo các chương trình mà người thiết kế đã lắp đặt. Khi cần thay đổi một số hoạt động của hệ thống thì phải điều chỉnh hoặc thay thế một số phần tử, thậm chí có thể phải thay thế toàn bộ hệ thống khác.

Phạm vi ứng dụng của phương pháp điều khiển này trong những trường hợp hoạt động theo từng chức năng mà tính chất hoạt động của nó là đã tối ưu, ổn định như các trường hợp gắp phôi, kẹp và tháo chi tiết, các chương trình hoạt động của các máy dập, máy cắt đột, các hệ thống vận chuyển nguyên liệu, sản phẩm, đóng gói, đo kiểm và phân loại sản phẩm...

### 1.6.3. Hệ điều khiển lập trình được

Ngày nay, với sự phát triển của các lĩnh vực vi điện tử và tin học đã cho phép người ta đưa vào các bộ vi xử lý, các bộ tính toán số học, logic và nội suy vào trong các khối điều khiển nhằm mục đích điều khiển quá trình hoạt động của các thiết bị một cách linh hoạt bằng việc thay đổi các chương trình hoạt động của các máy móc, thiết bị theo công nghệ yêu cầu nhờ sự thay đổi chương trình trên cơ sở các vật chất đã có.

Ngày nay, các hệ điều khiển khả lập trình đã được đưa vào và sử dụng khá rộng rãi như các bộ điều khiển khả trình PLC sử dụng trong công nghiệp, các hệ thống điều khiển số trên các máy công cụ CNC, các trung tâm gia công, Robot và các hệ thống DNC, CIM.

## 1.7. Van dẫn động

Mục đích của các van là sử dụng tín hiệu điều khiển từ khối điều khiển có công suất rất nhỏ để thực hiện các chức năng đóng mở các dẫn động có công suất lớn. Đặc điểm của các van này có nhiều kiểu khác nhau nhưng yêu cầu cơ bản là phải có tác động nhanh và nhạy với các tín hiệu điều khiển. Tùy theo hệ dẫn động mà sử dụng các loại van tương ứng.

Đối với dẫn động điện, nó thường là Role, Công tắc tơ hoặc khởi động từ.

Đối với dẫn động thủy khí thì thường sử dụng các loại van Solenoid, van trượt hoặc van quay điều khiển.

## 1.8. Cảm biến

Mục đích của cảm biến là giám sát các hoạt động của các dẫn động hoặc các cơ cấu chấp hành để nhận các đại lượng vật lý thực của quá trình hoạt động và biến đổi nó thành các đại lượng điều khiển (đại lượng điện) để cung cấp cho khối điều khiển nhằm điều khiển hệ thống một cách ổn định và chính xác nhất.

Tùy thuộc vào các quá trình công nghệ mà lựa chọn các loại cảm biến cho thích hợp với các đại lượng cần xác định. Cảm biến có rất nhiều loại như cảm biến áp suất; cảm biến tốc độ; cảm biến lực và khối lượng; cảm biến vị trí, vận tốc và gia tốc; cảm biến hồng ngoại; cảm biến từ; cảm biến lưu lượng; cảm biến nhiệt độ.... Tuy nhiên trong kỹ thuật, thông thường người ta sử dụng các loại cảm biến số và tương tự. Trong trường hợp sử dụng cảm biến tương tự thì cần thiết phải có thêm bộ chuyển đổi AD (tương tự sang số).

## II: CÁC HỆ THỐNG SỐ ĐẾM VÀ MÃ

Hệ thống số đếm (*Number system*) là một tập hợp có thứ tự các chữ số để biểu diễn một số bất kỳ. Trong thực tế ta thường gặp hệ thống đếm thập phân với cơ số của hệ thống đếm này là 10, ngoài ra ta còn gặp các hệ thống số đếm khác như hệ đếm nhị phân (*Binary*) với cơ số đếm là 2, hệ đếm cơ số 8 (*Octal*) và hệ đếm cơ số 16 (*Hexadecimal*). Các hệ đếm này rất có ý nghĩa trong các hệ thống số như máy tính, các bộ vi xử lý...

Cá hệ thống số hoạt động với hệ đếm nhị phân với 2 chữ số 0 và 1 và mỗi một chữ số là 1 bit (*binary digital*). Một nhóm 8 bit tạo thành 1 byte và nhóm 4 bit tạo nên 1 nibble. Vì rằng hầu hết hệ thống số hiện nay (*Digital system*) chỉ hiểu các con số 0 và 1 nên bất kỳ thông tin nào, mà thường là dưới dạng chữ số, chữ cái hay các ký hiệu đặc biệt ... phải được biến đổi thành dạng số nhị phân trước khi nó có thể được xử lý bằng các mạch số.

Thí dụ: Một số 11011101 là một *byte*

Trong đó, 1101 là một *nibble*.

Nói chung, trong bất kỳ một hệ thống số đếm nào, thì một tập có thứ tự các ký hiệu - gọi là *chữ số* - cùng với các luật được định nghĩa đều được dùng để thực hiện các phép toán như cộng, trừ, nhân, chia... Một tập hợp các số đó tạo ra một số gồm 2 phần là **phần nguyên** và phần **thập phân** và chúng được ngăn cách nhau bằng dấu phẩy.

$$(N)_b = d_{n-1} d_{n-2} \dots d_1 d_0, d_{-1} d_{-2} \dots d_{-m}$$

Trong đó:

N là một số.

b là cơ số của hệ thống số đếm

n là số chữ số có trong phần nguyên

m là số chữ số có trong phần thập phân

$d_{n-1}$  là chữ số có nghĩa nhất MSB (*Most significant bit*)

$d_{-m}$  là chữ số ít nghĩa nhất LSB (*Least significant bit*)

Thí dụ:  $(1101,10101)_2$  là hệ đếm cơ số 2, số 1 phía cuối cùng bên trái là tương ứng với  $d_{n-1}$  ( $n=4$ ) là MSB và số 1 phía cuối cùng bên phải là ứng với  $d_{-m}$  là LSB ( $m=5$ ).

Các hệ thống số đếm thông thường được sử dụng biểu diễn ở bảng 1-1:

Bảng 2-1

Hệ đếm	Ký hiệu	Cơ số	Những chữ số và ký tự được sử dụng	Trọng lượng được gán cho vị trí thứ i	Ví dụ
Nhị phân	%	2	0 1	$2^i$	10101,00
Cơ số 8 (octal)	@	8	0 1 2 3 4 5 6 7	$8^i$	4235,37
Thập phân	#	10	0123456789	$10^i$	3987,352
Cơ số 16 (hexa)	\$	16	0123456789ABCDEF	$16^i$	3FB9,C6

Như đã nói ở trên, để có thể xử lý được các thông tin bằng các mạch số điện tử cần phải biến đổi các ký tự bằng các chữ, các dấu, các ký hiệu đặc biệt và các số thành các ký tự ở dạng số nhị phân. Đây thực chất là một quá trình **mã hóa** (*encoder*). Như vậy, mã hóa thông tin là xác định các chữ cái và chữ số, các dấu bằng cách sử dụng các ký hiệu khác.

Trong một hệ thống số, các mã khác nhau có thể được dùng cho các hoạt động khác nhau và vì lý do cần thiết, người ta phải chuyển đổi từ mã này sang mã khác bằng các mạch *chuyển mã* để thực hiện mục đích đó.

Mã trong thực tế còn được sử dụng vì lý do an toàn, có nghĩa là các thông tin mà người ta chuyển đi cần thiết người khác không thể đọc được. Cũng vì lý do này mà có rất nhiều mã ra đời mà người ta còn gọi là "*mật mã*". Trong phạm vi nghiên cứu về điều khiển số, chúng ta chỉ quan tâm đến một số mã chủ yếu đã nêu trên.

## 2.1. Hệ đếm nhị phân

Hệ thống đếm số với cơ số 2 gọi là hệ đếm nhị phân. Chỉ có 2 loại ký hiệu được dùng để biểu diễn tất cả các số ở trong hệ thống đếm là 0 và 1. Mỗi giá trị của chúng trong số được gọi là *1 bit*. Đây là hệ thống đếm có cơ số nhỏ nhất và nó là hệ thống số đếm vị trí, tức là tất cả các vị trí được gán một trọng lượng xác định. Thí dụ:  $(11010,101)_2$  có thể được viết lại trong hệ thập phân là:  $1.2^4 + 1.2^3 + 0.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0 + 1.2^{-1} + 0.2^{-2} + 1.2^{-3} = 26,625$

Từ cơ sở trên, ta có thể chuyển đổi 1 số *nhị phân* thành một số *thập phân* tương đương và ngược lại.

Thí dụ: Hãy chuyển một số sau đây  $(25,675)_{10}$  ở hệ thập phân sang hệ nhị phân

Để tiến hành thủ tục chuyển số thập phân trên sang số nhị phân, ta phân chúng làm thành 2 phần - *phần nguyên (PN)* và *phần thập phân (PL)*- . Đối với phần nguyên, ta chia liên tiếp cho 2 và giữ lại các số dư. PN của số nhị phân là dãy số dư được đọc từ dưới lên:

Ví dụ:

	<b>Thương</b>	<b>Dư</b>
25:2	12	1
12:2	6	0
6:2	3	0
3:2	1	1
1:2	0	1

Vậy PN của số nhị phân là: 11001

Đối với phần thập phân, ta nhân liên tiếp với 2 và giữ lại các số nguyên được sinh ra, kết quả của PL là các số nguyên được đọc từ trái sang phải:

0,675	0,35	0,70	0,40	0,80	0,60
$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$
1,35	0,70	1,40	0,80	1,60	1,20
1	0	1	0	1	1

Vậy PL của số nhị phân là: 101011

Kết quả cuối cùng:  $(25,675)_{10} = (11001,101011)_2$

*Chú ý: Việc chuyển đổi từ số thập phân sang số nhị phân không phải là luôn luôn đúng, ta có thể chấp nhận một giá trị gần đúng bằng cách kết thúc quá trình nhân 2 ở một giá trị mong muốn sao cho sai số do chuyển đổi mã có thể chấp nhận được.*

Cũng như các phép toán trong hệ thập phân, số nhị phân cũng có các phép toán số học cơ bản như cộng, trừ, nhân, chia. Việc thực hiện tính toán nó được thực hiện theo các nguyên tắc sau:

### 2.1.1. Phép cộng nhị phân:

Có thể biểu diễn luật cộng nhị phân theo bảng 2-2

Kết quả trong bảng 2.2 là biểu diễn phép cộng 2 số nhị phân sau:

$$\begin{array}{r} 1100 \\ + 1010 \\ \hline 10110 \end{array}$$

Ví dụ: Hãy cộng các số nhị phân sau:

$$\begin{array}{r}
 1010011 \\
 +1101101 \\
 \hline
 11000000
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 100101,101 \\
 +110001,001 \\
 \hline
 1010110,110
 \end{array}$$

Bảng 2-2

Số hạng 1	Số hạng 2	Tổng	Nhớ	Kết quả
0	0	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
				1

### 2.1.2. Phép trừ nhị phân

Luật trừ nhị phân được trình bày ở bảng 2-3

Bảng 2-3

Số bị trừ	Số trừ	Hiệu số	Mượn	Kết quả
0	0	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	1	0	0	0

Kết quả trên là của phép trừ sau:

$$\begin{array}{r}
 1100 \\
 -1010 \\
 \hline
 0010
 \end{array}$$

Ví dụ: Hãy trừ một số số nhị phân sau:

$$\begin{array}{r}
 11011 \\
 -10110 \\
 \hline
 00101
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 1101001,101 \\
 -110010,001 \\
 \hline
 0110111,100
 \end{array}$$

Tuy nhiên, trong phép trừ không phải là luôn luôn thực hiện được, ví dụ khi phép trừ với số bị trừ nhỏ hơn số trừ thì kết quả sẽ khác đi do nó phải mang dấu âm.

Vì thế, để đơn giản trong khi thực hiện phép trừ, người ta xem phép trừ là kết quả của một phép cộng của số bị trừ với số trừ mang dấu âm, khi đó người ta chỉ thực hiện việc cộng bình thường và xác định kết quả của nó dựa vào các nhận xét trên cơ sở của kết quả của phép cộng đó. Điều này trong thực tế lại càng thuận lợi hơn vì các mạch số được thiết kế chỉ thực hiện các phép cộng nhị phân mà không cần phải thiết kế mạch trừ. Để thuận tiện cho việc sử dụng, người ta đưa ra các định nghĩa bù một và bù hai.

*a. Bù một*

Trong số nhị phân, nếu thế bit 1 bằng bit 0 và ngược lại, ta sẽ có một số nhị phân khác được gọi là *bù một* của số nhị phân thứ nhất.

Ví dụ: 01100110 là *bù một* của số nhị phân 10011001.

*b. Bù hai*

Nếu cộng thêm 1 vào *bù một* của một số nhị phân thì ta nhận được một số nhị phân khác được gọi là *bù hai* của nó.

Ví dụ: 01100110 là *bù một* của số nhị phân 10011001 thì *bù hai* của nó chính là 01100111.

Đối với 01001110 thì *bù một* là : 10110001 và *bù hai* là : 10110010

Đối với 00110101 thì *bù một* là : 11001010 và *bù hai* là : 11001011

Từ đó, ta có kết luận :

- Nếu bit có giá trị nhỏ nhất LBS là số 0 thì *bù hai* nhận được bằng cách đổi mỗi bit 0 thành 1 và mỗi bit 1 thành 0 ngoại trừ LBS và bit sát với LBS.

- Nếu LBS là số 1 thì *bù hai* nhận được bằng cách đổi mỗi bit 0 thành 1 và bit 1 thành 0 ngoại trừ LBS (không thay đổi).

Trên cơ sở đó, ta có thể sử dụng quy tắc sau đây để tìm *bù hai* của số nhị phân: *Kiểm tra các bit từ LBS đến MBS (từ phải sang trái), viết các bit như nguyên dạng của chúng nếu là bit 0 cho đến khi gặp bit 1 đầu tiên thì lấy bù một của tất cả các bit còn lại trừ bit 1 đó.*

Áp dụng : Tìm *bù hai* của các số sau :

←-----

01100100 → bù 2 : 10011100

←-----

10010010 → bù 2 : 01101110

←-----

11011000 → bù 2 : 00101000

←-----

01100111 → bù 2 : 10011001

Từ đó, ta cũng có kết luận : *Bù hai* của một số chính là chính số đó.

### c. Phép trừ sử dụng bù hai

Như trên đã nói, phép trừ nhị phân có thể được thực hiện bằng cách cộng số bị trừ với *bù hai* của số trừ. Nếu có *1 nhớ* cuối cùng là *bit 1* được sinh ra thì hủy bỏ giá trị nhớ đó và kết quả là những *bit* còn lại và đó là số dương (số bị trừ lớn hơn số trừ). Nếu như *1 nhớ* cuối cùng là *bit 0* (không có nhớ) thì kết quả là số âm (số bị trừ nhỏ hơn số trừ) và hiệu của nó là *bù hai* của kết quả phép cộng ở trên.

Ví dụ : Thực hiện phép trừ nhị phân sử dụng phương pháp cộng với *bù hai* của số trừ:

Ví dụ:  $7-5=2$  được biểu diễn theo phương pháp trên

$0111 + 1011 = 10010$  là số dương và có giá trị là 0010 (2 trong hệ thập phân), trong đó -5 được biểu diễn bằng *bù hai* của 0101 là 1011 (bỏ nhớ cuối cùng là bit 1 và kết quả :  $0010 = +2$  trong hệ thập phân).

Ví dụ:  $5-7=-2$  được biểu diễn theo phương pháp trên

$0101 + 1001 = 1110$  là một số âm và hiệu của nó là 0010 (*bù hai* của 1110) chính là 2 trong hệ thập phân, trong đó -7 được biểu diễn bằng *bù hai* của 0111 là 1001. Ở đây, nhớ cuối cùng là *bit 0* hay không có nhớ nên kết quả là số âm và ở dưới dạng *bù hai* tức là *bù hai* của 1110 là 0010 tức là (-2).

### 2.1.3. Phép nhân nhị phân :

Tương tự như phép nhân thập phân. Ví dụ : nhân 1101 với 1010.

Số bị nhân	1101	( <i>multiplicand</i> )
Số nhân	1010	( <i>multiplier</i> )
	0000	hàng thứ nhất
	1101	hàng thứ hai
	0000	hàng thứ ba
	1101	
	<b>1000010</b>	

### 2.1.4. Phép chia nhị phân :

Tương tự như phép chia số thập phân :

Ví dụ : chia 110110 cho 1101



$$\begin{array}{r}
\text{Số bị chia : } 110110 \quad \left| \begin{array}{l} 1101 \text{ (số chia)} \\ \hline 100,0101 \text{ (kết quả)} \end{array} \right. \\
- 1101 \\
\hline
00001 \\
\phantom{0}10 \\
\phantom{0}100 \text{ (thêm bit 0 và phía kết quả là dấu phẩy)} \\
\phantom{0}1000 \\
\phantom{0}10000 \\
\phantom{0}\underline{-1101} \\
\phantom{0}00110 \text{ tiếp tục thêm bit 0 và lại tục hiện tiếp...}
\end{array}$$

Ví dụ : Chia 110110 cho 1001 có kết quả 110. Kết quả của phép chia có thể là chia hết hoặc không chia hết, tuy nhiên theo mức độ chính xác yêu cầu mà ta kết thúc việc thực hiện.

## 2.2. Hệ đếm cơ số 8 (OCTAL)

Nó được sử dụng rộng rãi trong các máy tính và máy vi tính để nhập dữ liệu. Mỗi chữ số cơ số 8 là tổ hợp của 3 chữ số nhị phân. Do vậy, tập các số nhị phân 3 bit có thể được biểu diễn bằng các chữ số cơ số 8 rất thuận lợi khi nhập dữ liệu vào máy tính. Do vì các mạch số chỉ có thể xử lý các tín hiệu *nhị phân 0 và 1* nên cơ số 8 phải được tái tạo lại thành dạng *nhị phân* bằng các mạch chuyển đổi mã.

Các ký hiệu được dùng trong hệ đếm cơ số 8 là : 01234567. Nó cũng bao gồm 2 phần là **phần nguyên** và **phần thập phân** và được ngăn cách nhau bằng dấu phẩy.

Ví dụ :  $(6327,4051)_8$  hoặc @ 6327,4051.

Cũng như hệ *nhị phân*, hệ đếm *Octal* cũng có thể chuyển đổi sang hệ đếm *thập phân* và ngược lại, nhưng chỉ khác là thay vì số 2 trong hệ nhị phân bằng số 8 trong hệ *Octal*.

$$(6327,4051)_8 = 6.8^3 + 3.8^2 + 2.8^1 + 7.8^0 + 4.8^{-1} + 0.8^{-2} + 5.8^{-3} + 1.8^{-4} = (3287,5100098)_{10}$$

Thí dụ : chuyển đổi  $(658,56)_{10}$  sang hệ cơ số 8.

Phần nguyên :

	Thương	Dư
658 : 8	82	2
82 : 8	41	0
41 : 8	5	1
5 : 8	0	5

Kết quả phân nguyên: 5102

Phần thập phân :

$$\begin{array}{ccccccc} 0,56 & & 0,48 & & 0,84 & & 0,72 \\ \times 8 & \nearrow & \times 8 & \nearrow & \times 8 & \nearrow & \times 8 \\ \hline 4,48 & & 3,84 & & 6,72 & & 5,76 \\ 4 & & 3 & & 6 & & 5 \end{array}$$

Phần thập phân : 0,4365

Kết quả cuối cùng :  $(5102,4365)_8$ .

Cũng như trong hệ nhị phân, việc chuyển đổi cho phần thập phân có thể là không luôn luôn chính xác mà có thể xác định giới hạn kết thúc theo một yêu cầu cho phép về sai số.

### 2.2.1. Chuyển đổi hệ đếm cơ số 8 sang hệ nhị phân và ngược lại

Như đã phân tích ở trên, hệ đếm cơ số 8 có thể chuyển sang hệ nhị phân tương đương bằng việc thay thế mỗi chữ số trong hệ cơ số 8 bằng 3 bit hệ nhị phân.

Thí dụ :

$$(475)_8 = (100\ 111\ 101)_2 \text{ và cũng có thể viết } @475 = \%100\ 111\ 101$$

$$@574,321 = \%101\ 111\ 100,011\ 010\ 001$$

Và ngược lại, chuyển từ hệ nhị phân sang hệ đếm Octal được thực hiện như sau: gộp các nhóm 3 bit bắt đầu từ LSB (ít ý nghĩa nhất) hay sát ngay với bên trái dấu phẩy và chuyển dần về phía MSB (bit nhiều ý nghĩa nhất). Với phần thập phân, bắt đầu từ bit sát ngay với bên phải dấu phẩy và chuyển dần sang phải.

Thí dụ :

$$\%10011101 = @235$$

$$\%10110,10010 = @26,44$$

### 2.2.2. Các phép tính số học :

Các luật số học cơ số 8 cũng tương tự như luật số học nhị phân và thập phân. Tuy nhiên, các phép tính số học trong hệ cơ số 8 ít mang ý nghĩa thực tế sử dụng nên ta không cần phải xem xét kỹ chúng.

## 2.3. Hệ đếm cơ số 16 (HEXADECIMAL)

Hệ đếm này được sử dụng rất nhiều trong máy tính và các bộ vi xử lý. Có 16 tổ hợp của số nhị phân 4 bit và tập hợp các số nhị phân 4 bit có thể nhập vào máy tính dưới dạng các chữ số Hexa. Số Hexa được biến đổi thành dạng nhị phân trước

khi chúng được xử lý bởi các mạch số. Cơ số của hệ đếm này là 16 bao gồm **0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F**. Hệ đếm này còn gọi là hệ đếm ký tự. Bảng 2-4 chỉ ra sự tương đương giữa các số *thập phân - Hexa và Binary*.

Các ký hiệu được dùng trong hệ đếm cơ số 16 là : **0123456789ABCDEF**. Nó cũng bao gồm 2 phần là **phần nguyên** và phần **thập phân** và được ngăn cách nhau bằng dấu phẩy.

Ví dụ :  $(3C8,F1)_{16}$  hoặc \$ 3C8,F1

Cũng như hệ *nhị phân*, hệ đếm *Hexa* cũng có thể chuyển đổi sang hệ đếm *thập phân* và ngược lại, nhưng chỉ khác là thay vì số 2 trong hệ nhị phân bằng số 16 trong hệ *Hexa*.

Ví dụ:  $(3A,2F)_{16} = 3.16^1 + 10.16^0 + 2.16^{-1} + 15.16^{-2} = (58,1836)_{10}$ .

*Bảng 2-4*

Hệ thập phân #	Hệ Hexa \$	Hệ Nhị phân %
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

Ví dụ chuyển đổi số #675,625  $(675,625)_{10}$  thành hệ *Hexa*.

Phân nguyên:

	<b>Thương</b>	<b>Dư</b>
675 : 16	42	3
42 : 16	2	10
2 : 16	0	2

Phân nguyên là: 2A3

Phân thập phân:

0,625

x 16

10,00

10

Phân thập phân là: 0,A

Kết quả cuối cùng là:  $(675,625)_{10} = \$ 2A3,A$

2.3.1. Phép chuyển đổi từ Hexa sang Binary và ngược lại :

Như đã nói ở trên, các số Hexa có thể chuyển đổi thành dạng Binary bằng việc thay thế mỗi chữ số Hexa bằng 4 bit Binary tương đương.

Ví dụ :  $(2F9A)_{16} = (00101111010)_{2}$  hoặc  $\$2F9A = \% 0010 1111 1001 1010$

Ví dụ :  $\% 1010101110110110 = \$ 33DB$

$(0,01101101001110)_{2} = \% 0, 0110 1101 0011 1000 = (0,6D38)_{16}$ .

2.3.2. Các phép tính số học :

Cũng tương tự như hệ Octal, các phép tính số học hệ đếm Hexa cũng ít được sử dụng trong thực tế vì thế chúng ta không khảo sát kỹ về nó.

## 2.4. Các số có dấu

Đối với mạch số chỉ có 2 ký hiệu 1 và 0 thì việc biểu thị giá trị dương và âm cần phải được giải quyết bằng việc thêm 1 bit vào bên trái nhất và được xem như 1 bit có giá trị lớn nhất (MSB), với bit 0 ký hiệu số dương và bit 1 biểu diễn số âm.

Thí dụ: 01000100 là 1 số dương có giá trị 68 (bit 0)

11000100 là 1 số âm có giá trị 68 (bit 1)

Có 3 loại số nhị phân có dấu được biểu diễn như bảng 2.5.

Bảng 2.5 :

Phương pháp	Dương nhất	Âm nhất
Mã thuận	$+(2^{n-1}-1)$	$-(2^{n-1}-1)$
Bù một	$+(2^{n-1}-1)$	$-(2^{n-1}-1)$

Bù hai  $+ (2^{n-1}-1)$   $- (2^{n-1}-1)$

Trong *mã thuận* : *Bit* cao nhất được dùng để biểu diễn **dấu** và các *bit* còn lại để biểu diễn giá trị của số.

Đối với phương pháp *bù một*, *bù hai* : *Bit* cao nhất được dùng để biểu diễn **dấu** (*0 là số dương và 1 là số âm*). Đối với số dương, việc biểu diễn tương tự như *mã thuận*. Riêng số *âm* thì trước hết cần phải xét *độ lớn* rồi xem xét là chúng là *bù một* hay *bù hai*.

Ví dụ : 0101 biểu diễn + 5 ; còn 1010 và 1011 biểu diễn - 5 tương ứng trong phương pháp *bù một* và *bù hai*.

Thông thường, phương pháp *bù hai* được sử dụng rộng rãi hơn vì sự tiện lợi khi thiết kế mạch số để thay thế phép trừ nhị phân bằng phép cộng với *bù hai* (ở phần trên đã nói).

## 2.5. Mã

Máy tính, các mạch số được sử dụng làm việc ở dạng *nhị phân*. Vì thế việc thao tác với các con số, các chữ cái và các ký tự đặc biệt khác phải được tái tạo thành khuôn dạng *nhị phân*. Đây gọi là quá trình **mã hóa**. Hiện nay có nhiều mã số và chúng được sử dụng để phục vụ các mục đích khác nhau. Bảng 2-6 biểu diễn 1 số mã thường được sử dụng nhất :

Bảng 2-6

Thập phân #	Nhị phân %	BCD	Excess-3	Gray	Hexa \$	Octal @
	$B_1B_2B_3B_4$	DCBA	$E_3E_2E_1E_0$	$G_3G_2G_1G_0$		
0	0000	0000	0011	0000	0	0
1	0001	0001	0100	0001	1	1
2	0010	0010	0101	0011	2	2
3	0011	0011	0110	0010	3	3
4	0100	0100	0111	0110	4	4
5	0101	0101	1000	0111	5	5
6	0110	0110	1001	0101	6	6
7	0111	0111	1010	0100	7	7
8	1000	1000	1011	1100	8	
9	1001	1001	1100	1101	9	
10	1010			1111	A	

11	1011			1110	B	
12	1100			1010	C	
13	1101			1011	D	
14	1110			1001	E	
15	1111			1000	F	

### 2.5.1. Mã BCD: (Binary Codel Decimal)

Đây là mã nhị phân *tự nhiên* để biểu diễn các số thập phân 0 đến 9 và mỗi số thập phân tương đương 4 bit. Nó còn được gọi là mã **8 - 4 - 2 - 1** hay là mã **nhị thập phân**. Mã BCD không phải là một hệ đếm số riêng mà là 1 mã quy định (quy ước) để viết cho đơn giản. Ở hệ này chỉ dùng 9 tổ hợp từ 0000 đến 1001, còn các tổ hợp 1010 đến 1111 thì không dùng (với 4 bit ta có 16 tổ hợp số nhị phân nhưng ta chỉ dùng 10 tổ hợp mà thôi).

Mã BCD phải dùng nhiều bit hơn mã nhị phân trực tiếp. Tuy vậy ưu điểm của BCD là dễ chuyển đổi sang hệ thập phân vì với mỗi tổ hợp nhị phân 4 bit vẫn đúng đúng hàng đơn vị, hàng chục, hàng trăm ... Vì thế ta thấy rất thuận lợi là vừa mang tính rõ ràng của hệ *thập phân*, vừa mang tính mật độ cao của hệ *nhị phân*. Ta gọi là hệ **nhị - thập phân**.

### 2.5.2. Mã Excess - 3

Mã này nhận được bằng cách cộng thêm 3 vào mỗi số mã của mã nhị phân tự nhiên. Thí dụ 1000 của mã *Excess-3* biểu diễn số 5 của thập phân trong khi mã nhị phân tự nhiên biểu diễn số 8 của hệ thập phân.

### 2.5.3. Mã Gray

Chỉ cần thay đổi 1 bit trong khi biểu diễn các số là sẽ thay đổi giữa 2 số liên tiếp. Thí dụ 0111 biểu diễn số 5 và 0101 là số 6 trong mã *Gray*. Chính nhờ tính chất này mà người ta sử dụng mã *Gray* vào trong bộ mã đo lường hay kiểm tra các sự chuyển động hoặc vị trí khi dịch chuyển, đặc biệt là trên các máy điều khiển theo chương trình số.

### 2.5.4 Mã ký tự

Trong nhiều trường hợp, hệ thống số được dùng để thao tác dữ liệu có thể ở dạng số, chữ cái hay các ký hiệu đặc biệt. Do vậy, một mã *nhị phân* cho các chữ cái là rất cần thiết. Nếu ta sử dụng một mã *nhị phân*  $n$  bit thì sẽ có  $2^n$  tổ hợp khác nhau có thể biểu diễn được. Ta có số ký tự cần biểu diễn là bao gồm số chữ số từ 0 đến 9

là 10 ký tự; 26 chữ cái từ A đến Z bao gồm cả chữ hoa, chữ thường; các ký hiệu khác như @, #, \$, %... và các dấu của các phép tính như  $\int$ , +, -, / .... Tổng số ký tự cần thiết được biểu diễn là lớn hơn 70. Như vậy ta cần phải sử dụng mã nhị phân có số bit  $\geq 6$  (vì  $2^6 = 64$  tổ hợp) mới đủ để biểu diễn. Hiện nay người ta chọn mã nhị phân 8 bit để biểu diễn ( $n = 8$ ) mà trong đó có 7 bit (có 128 tổ hợp khác nhau) dùng để biểu diễn các ký tự và một bit dùng để kiểm tra.

Thông thường hiện nay người ta sử dụng các mã sau đây:

- Mã trao đổi thông tin BDC mở rộng : EBCDIC
- Mã ASCII (Mã trao đổi thông tin của hội tiêu chuẩn Mỹ - *American Standard Code for Information Interchange*)

#### 2.5.5. Các mã lỗi

Khi thông tin số dưới dạng nhị phân được truyền từ mạch hay hệ thống này sang hệ thống khác thì có thể có lỗi phát sinh (tức là có 1 tín hiệu 0 nào đó trở thành 1 hay ngược lại). Với hệ thống số phức tạp thì có hàng triệu bit được xử lý trong giây với yêu cầu tính toán vẹn dữ liệu cao và nếu có sai phạm thì cần phải được phát hiện để xử lý. Người ta dùng phương pháp cộng thêm 1 bit vào bit dữ liệu gọi là bit parity. Nó cho phép phát hiện 1 lỗi đơn trong sự truyền dữ liệu, thông thường nó được dùng để kiểm tra tính **chẵn lẻ** của các bit 1 hay bit 0. Thí dụ trong mã ASCII có 7 bit ký tự và thêm vào 1 bit để làm cho số bit 1 là số chẵn hay số lẻ theo từng hàng nhằm đảm bảo rằng khi máy đọc sẽ đảm bảo tính đúng đắn và chính xác của các thông tin đưa vào.

Thí dụ : 1000011 là biểu diễn ký tự C trong mã ASCII có 3 bit 1 (số lẻ). Để đảm bảo yêu cầu chính xác, người ta thêm vào 1 bit 1 là bit thứ 8 để cho số bit 1 là 4 (chẵn). Như vậy khi đọc máy sẽ xác định tính đúng đắn của dữ liệu là 11000011, chú ý rằng bit 1 thêm vào này là chỉ dùng để kiểm tra tính đúng đắn của nó mà không tham gia vào mã ký tự.

Thí dụ ký tự G trong mã ASCII là 1000111 có số bit 1 là 4 (chẵn) nên bit kiểm tra là bit thứ 8 có giá trị bit 0. Vậy khi máy đọc là 01000111.

### III. TOÁN TỬ LOGIC VÀ MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA ĐIỆN TỬ SỐ

#### 3.1. Toán tử Logic

Các biến số *Boole* có thể được xử lý bằng các phép *toán tử logic* cơ bản KHÔNG ; VÀ ; HOẶC ; KHÔNG HOẶC; KHÔNG VÀ; HOẶC CÓ LOẠI TRỪ . 3 toán tử đầu làm thành 1 hệ thống *logic* độc lập và hoàn chỉnh. Còn các toán tử *không hoặc, không và và hoặc có loại trừ* là các hàm phụ thuộc.

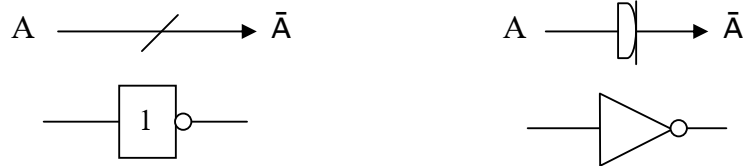
3.1.1. *Toán tử KHÔNG (NOT) : Phủ định.*

A = 1 thì không A :  $\bar{A} = 0$

A = 0 thì không A :  $\bar{A} = 1$

$$A = \overline{\bar{A}}$$

Ký hiệu : theo tiêu chuẩn của Châu Âu và của Mỹ



Nếu gọi đầu vào A và đầu ra Y, ta có :

A	Y
0	1
1	0

3.1.2. *Toán tử VÀ (AND)*

A AND B AND C = A . B . C = Y.

Y = 1 nếu và chỉ nếu đồng thời A = 1, B = 1 và C = 1

Y = 0 nếu hoặc chỉ A = 0 hoặc B = 0 hoặc C = 0; hoặc A = B = C = 0.

Ta có bảng trạng thái sau:

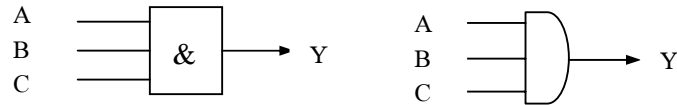
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0



0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Toán tử VÀ còn có thể viết theo cách toán tập hợp:  $A \wedge B \wedge C$ .

Ký hiệu:



### 3.1.3. Toán tử HOẶC (OR)

$$A \text{ OR } B \text{ OR } C = A+B+C = Y$$

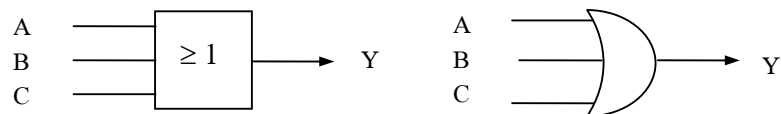
$Y = 0$  nếu khi và chỉ khi đồng thời cả  $A = 0$ ,  $B = 0$  và  $C = 0$ .

Ta có bảng trạng thái sau:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

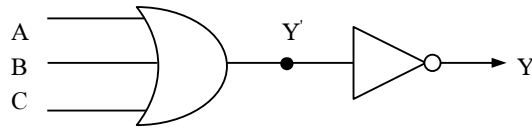
Có thể biểu diễn theo cách toán tập hợp  $A \vee B \vee C = Y$

Ký hiệu:



### 3.1.4. Toán tử KHÔNG HOẶC (NOR)

Phép toán NOT - OR được gọi là phép toán KHÔNG HOẶC. Nó được xem là kết hợp của 2 toán tử : OR và NOT.



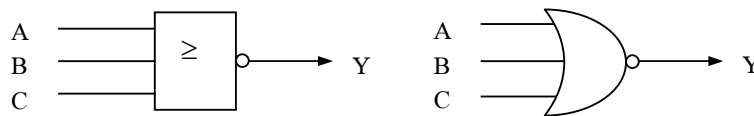
Ta có:  $A + B + C = Y'$   
 $Y' = \bar{Y}$  hay  $Y = \overline{Y'}$

Vậy ta có:  $Y = \overline{A+B+C}$

Ta có bảng trạng thái sau:

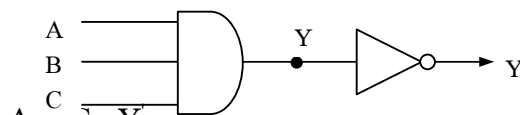
A	B	C	$Y' = A+B+C$	$Y = \overline{A+B+C}$
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	0

Ký hiệu:



### 3.1.5. Toán tử KHÔNG VÀ (NAND) :

Phép toán NOT - AND được gọi là phép toán không và. Nó là sự kết hợp giữa hai toán tử NOT và AND.



Ta có:  $A \cdot B \cdot C = Y'$   
 $Y' = \bar{Y}$  hay  $Y = \overline{Y'}$

Vậy:  $Y = \overline{A.B.C}$

Ta có bảng trạng thái:

A	B	C	$Y' = A.B.C$	$Y = \overline{A.B.C}$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	0

Ký hiệu:



### 3.1.6. Toán tử HOẶC HẠN CHẾ (EXCLUSIVE - OR) :

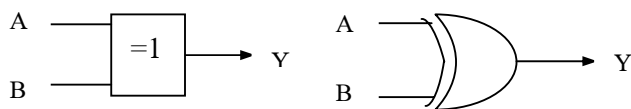
Toán tử này còn gọi là cộng loại trừ (*Exclusive - Or*) = XOR. Đây không phải là 1 phép toán cơ bản và có thể biểu diễn qua các cổng cơ bản AND, OR, NOT hay NAND, NOR.

Mạch này được dùng ở những nơi mà 2 tín hiệu số cần được *so sánh* (Nếu là 2 tín hiệu vào giống nhau đầu ra là 0 còn nếu tín hiệu vào là khác nhau thì tín hiệu ra = 1).

Ta có bảng trạng thái:

A	B	$Y = A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Ký hiệu:



### 3.2. Biểu diễn hình học các toán tử logic

Nguyên tắc: Tập hợp mọi trạng thái của một mệnh đề  $X$  có thể biểu diễn được bằng hình học. Ta quy định khi biểu diễn trên mặt phẳng, những trường hợp mệnh đề  $X$  là đúng (*ứng với trạng thái 1*) là diện tích nằm trong vòng tròn. Còn ngoài vòng tròn là diễn tả trạng thái  $X = 0$ .

- Vùng I là vùng giao của A và B

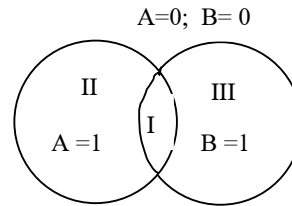
$$I = A \wedge B$$

Nó tương đương với toán tử VÀ

- Vùng I + II + III là vùng hợp của A và B

$$I + II + III = A \vee B$$

Nó tương đương với toán tử HOẶC



#### 3.2.1. Các tính chất cơ bản của toán tử NOT, AND, OR

a) Tính hoán vị :

$$A \cdot B = B \cdot A \quad (A \wedge B = B \wedge A) \quad (2.1)$$

$$A + B = B + A \quad (A \vee B = B \vee A) \quad (2.2)$$

b) Tính liên hợp :

$$(A \cdot B) \cdot C = A \wedge (B \wedge C) = A \wedge B \wedge C \quad (2.3)$$

$$(A + B) + C = A \vee (B \vee C) = A \vee B \vee C \quad (2.4)$$

c) Tính phân phối :

$$A \cdot (B + C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \quad (2.5)$$

$$A + (B \cdot C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C) \quad (2.6)$$

d) Tính bù :

$$A + \bar{A} = 1 \quad (2-7)$$

$$A \cdot \bar{A} = 0 \quad (2-8)$$

$$A \cdot 0 = 0 \quad (2-9)$$

$$A + 0 = A \quad (2-10)$$

$$A \cdot 1 = A \quad (2-11)$$

$$A + 1 = 1 \quad (2-12)$$

#### 3.2.2 Các định lý của đại số Boole

Bảng tổng hợp các định lý của đại số Boole :

Số thứ tự	ĐỊNH LÝ	Số thứ tự	ĐỊNH LÝ
1	$A+0 = A$	12	$A.(A+B) = A$
2	$A.1 = A$	13	$A+\bar{A}.B = A+B$
3	$A+1 = 1$	14	$A.(\bar{A}+B) = A.B$
4	$A.0 = 0$	15	$A.B + A.\bar{B} = A$
5	$A+A = A$	16	$(A+B).(A+\bar{B}) = A$
6	$A.A = A$	17	$A.B + \bar{A}.C = (A+C).(\bar{A}+B)$
7	$A+\bar{A} = 1$	18	$(A+B).(\bar{A}+C) = A.C + \bar{A}.B$
8	$A.\bar{A} = 0$	19	$A.B + \bar{A}.C + B.C = A.B + \bar{A}.C$
9	$A.(B+C) = A.B + A.C$	20	$(A+B).(\bar{A}+C).(B+C) = (A+B).(\bar{A}+C)$
10	$A+B.C = (A+B).(A+C)$	21	$\overline{A.B.C\dots} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \dots$
11	$A+A.B = A$	22	$\overline{A+B+C+\dots} = \bar{A}.\bar{B}.\bar{C}.\dots$

Định lý 21 và 22 gọi là định lý *De Morgan*.

Ta có thể chứng minh một số định lý sau đây:

*Định lý 10:*  $A+B.C = (A+B).(A+C)$

Từ vế phải, ta khai triển và biến đổi, ta có:

$$\begin{aligned} (A+B).(A+C) &= A.A + A.C + B.A + B.C = A+A.C + A.B + B.C \\ &= A.(1+C+B) + B.C = A + B.C \end{aligned}$$

Vậy định lý đã chứng minh xong.

*Định lý 12:*  $A.(A+B) = A$

Khai triển vế trái và biến đổi, ta có:  $A.A + A.B = A+A.B = A.(1+B) = A$

Định lý đã được chứng minh xong.

*Định lý 13:*  $A + \bar{A}.B = A+B$

Sử dụng luật phân phối (định lý 10), ta có:

$$A + \bar{A}.B = (A + \bar{A}).(A+B) = 1.(A+B) = A+B$$

*Định lý 19:*  $A.B + \bar{A}.C + B.C = A.B + \bar{A}.C$

Ta nhân B.C với  $(A+\bar{A} = 1)$ , ta có biểu thức sau:

$$A.B + \bar{A}.C + A.B.C + B.C.\bar{A} = A.B.(1+C) + \bar{A}.C.(1+B) = A.B + \bar{A}.C$$

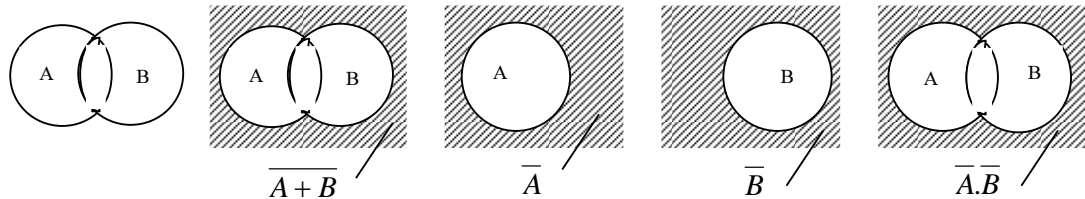
Định lý 21 và 22 (De Morgan).

Lập bảng

A	B	A+B	$\overline{A+B}$	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A.B}$
0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0

Ta có kết quả ở bảng trên:  $\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$

Cũng có thể chứng minh theo phương pháp toán tập hợp:



### 3.3. Mạch logic

Có thể biểu diễn các đại lượng vật lý khác nhau trong thực tế như dòng điện, áp suất chất lỏng hoặc chất khí, tốc độ dịch chuyển, vị trí ... bằng các đại lượng nhị phân. *Mạch logic* là 1 phần tử có nhiều đầu vào và một số đầu ra. Đầu ra là sự tổ hợp kết quả của các đầu vào. Tùy theo tính chất của phần tử mà có 2 dạng cơ bản:

- Mạch tổ hợp.
- Mạch tuần tự (*sequential circuits- dãy, chuỗi*).

#### 3.3.1. Các phương pháp biểu diễn hàm logic

##### a. Phương pháp biểu diễn bằng bảng trạng thái:

Các giá trị của hàm phụ thuộc vào các trạng thái của các biến được trình bày trong một bảng bao gồm  $n+1$  cột và  $2^n$  hàng, trong đó số biến là  $n$ . Nó thường được gọi là bảng chân lý hoặc bảng trạng thái. Ưu điểm của phương pháp biểu diễn này là ít nhầm lẫn, dễ nhìn và có tính rõ ràng và sáng sủa vì từ bảng đó nhìn thấy được giá trị của *hàm logic* ứng với từng tổ hợp. Tuy vậy nó công kênh và đặc biệt khi mà số biến là khá lớn.

Thí dụ : Một hàm có 3 đầu vào và có 1 đầu ra có giá trị bằng 1 khi và chỉ khi chỉ có 1 đầu vào kích thích ( $= 1$ ).

*Bảng 3.1*

A	B	C	S
0	0	0	0
0	0	1	<b>1</b>
0	1	0	<b>1</b>
0	1	1	0
1	0	0	<b>1</b>
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Nhìn vào bảng chúng ta thấy hàm  $S = 1$  khi trạng thái các biến vào  $A=0, B=0$  và  $C=1$ ;  $A=0, B=1$  và  $C=0$ ;  $A=1, B=0$  và  $C=0$ .

*b. Biểu diễn bằng phương trình logic*

*Phương trình logic* được viết xuất phát từ các vấn đề của bài toán đặt ra. Nhưng với bài toán phức tạp, cách viết này dễ dẫn đến sai lầm. Người ta đã chứng minh được rằng, một hàm logic có  $n$  biến nhị phân độc lập bao giờ cũng có thể biểu diễn thành các *hàm tổng của các tích* và *tích của các tổng*. Đây chính là các dạng chính tắc của *phương trình logic*.

\* *Dạng tổng của các tích (hay là phương trình chính tắc thứ nhất)*

Có thể lấy một ví dụ để minh họa cách biểu diễn *phương trình logic*.

Cho một *hàm logic* được biểu diễn bằng bảng trạng thái 3-2:

*Bảng 3-2*

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	x
0	1	1	x
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	x

1	1	1	1
---	---	---	---

Từ bảng 3-2, giá trị của hàm Y phụ thuộc vào trạng thái của các biến vào mà có thể có giá trị 1, 0 hoặc không xác định (*don't care- x*), nhưng ta chỉ quan tâm đến các hàng mà giá trị của hàm  $Y=1$ . Số lần mà hàm  $Y=1$  chính là số tích của các tổ hợp biến.

Trong mỗi tích đó, các biến có giá trị bằng 1 thì được giữ nguyên, còn các biến có giá trị bằng 0 thì lấy giá trị đảo, có nghĩa là nếu biến  $X_i$  có giá trị là 1 thì được viết là  $X_i$ , còn nếu  $X_i$  có giá trị 0 thì được viết là  $\bar{X}_i$ .

Cách biểu diễn dạng *tổng của các tích* được hình thành bằng cách viết tổng của các tích trên (*chú ý mỗi tích phải có mặt đầy đủ số biến của hàm*).

Từ bảng 3-2, ta có:

$$Y = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}C + A.B.C$$

Hoặc có thể biểu diễn ở dạng rút gọn:

$$Y = \Sigma 0,5,7 \text{ với } N = 2,3,6$$

Trong đó 0,5,7 là thứ tự của tổ hợp biến tương ứng với các giá trị của hàm  $Y=1$ ;  $N = 2,3,6$  là thứ tự các tổ hợp biến mà hàm không xác định.

\* *Dạng tích của các tổng (hay là phương trình chính tắc thứ hai)*

Từ bảng 3-2, ta chỉ quan tâm đến các hàng mà giá trị của hàm  $Y=0$ . Số lần mà hàm  $Y=0$  chính là số tổng của các tổ hợp biến.

Trong mỗi tổng đó, các biến có giá trị bằng 0 thì được giữ nguyên, còn các biến có giá trị bằng 1 thì lấy giá trị đảo, có nghĩa là nếu biến  $X_i$  có giá trị là 0 thì được viết là  $X_i$ , còn nếu  $X_i$  có giá trị 1 thì được viết là  $\bar{X}_i$ .

Cách biểu diễn dạng tích của các tổng được hình thành bằng cách viết tích của các tổng trên.

Từ bảng 3-2, ta có:

$$Y = (A + B + \bar{C})(\bar{A} + B + C)$$

Hay có thể biểu diễn bằng cách viết rút gọn:

$$Y = \Pi 1,4 \text{ với } N = 2,3,6$$

Các chỉ số như đã nói ở phần trên.

### c. Biểu diễn hàm logic bằng ma trận Cácno (Karnaugh)

Cách biểu diễn hàm logic bằng ma trận *Cácno* (hay người ta còn gọi là bảng *Cácno*, bìa *Cácno* hay bìa *K*) là một phương pháp diễn tả tổ hợp của các biến nhị phân cô đọng hơn, đồng thời giúp cho chúng ta một phương pháp hệ thống để đơn



giản hóa và thao tác các biểu thức *Boole*. Kỹ thuật này có lẽ là công cụ sử dụng rộng rãi nhất để tối thiểu các hàm *Boole*. Mặc dù kỹ thuật này có thể sử dụng cho số lượng biến bất kỳ, nhưng thường thì chúng chỉ nên dùng cho số biến tối đa là 6 vì nếu nhiều hơn sẽ gặp nhiều phức tạp, rắc rối và kết quả dễ bị nhầm lẫn.

Để biểu diễn một hàm có  $n$  biến, ta thiết lập một ma trận bao gồm  $2^p$  hàng và  $2^q$  cột với mỗi ô tương ứng với mỗi tổ hợp trạng thái các biến

Nếu số biến là chẵn ( $n$  chẵn) thì  $p$  và  $q$  có giá trị như nhau và bằng  $\frac{n}{2}$ .

Trường hợp số biến là lẻ thì:  $q = p+1$  và đồng thời  $p+q = n$ .

Sau khi đã thiết lập được bảng ma trận *Cácno*, ta lần lượt ghi các giá trị nhị phân tương ứng của hàm vào trong từng ô.

Ví dụ có hàm 3 biến A,B,C được biểu diễn như trên bảng 3-1, ta biểu diễn hàm dưới dạng ma trận *Cácno* như sau:

A,B C		00	01	11	10
		0	1	0	1
C	0	<sup>0</sup> 0	<sup>2</sup> 1	<sup>6</sup> 0	<sup>4</sup> 1
	1	<sup>1</sup> 1	<sup>3</sup> 0	<sup>7</sup> 0	<sup>5</sup> 0

Trên ma trận, các cột của nó được biểu diễn tương ứng trạng thái các biến A và B, còn hàng được biểu diễn theo trạng thái của biến C. Mỗi ô là tương ứng với tổ hợp trạng thái của các biến. Ví dụ ở ô số 2 tương ứng với  $\bar{A}.B.\bar{C}$  và có giá trị hàm bằng 1, còn ở ô thứ 7 tương ứng với A.B.C và giá trị hàm bằng 0. Các chỉ số nhỏ biểu diễn ở góc của các ô là số thứ tự các tổ hợp hàm tương ứng.

Ví dụ thiết lập ma trận K cho hàm 4 biến:

C,D A,B		00	01	11	10
		00	01	11	10
C,D	00	<sup>0</sup>	<sup>4</sup>	<sup>12</sup>	<sup>8</sup>
	01	<sup>1</sup>	<sup>5</sup>	<sup>13</sup>	<sup>9</sup>
	11	<sup>3</sup>	<sup>7</sup>	<sup>15</sup>	<sup>11</sup>
	10	<sup>2</sup>	<sup>6</sup>	<sup>14</sup>	<sup>10</sup>

--	--	--	--

Mã nhị phân được sử dụng trong ma trận *Cácno* là mã nhị phân đối xứng, do vậy ma trận có tính chu kỳ, khi chuyển từ một ô sang một ô kế tiếp, chỉ có duy nhất một biến thay đổi, chính nhờ tính chất này mà ma trận *Cácno* được sử dụng rất thuận lợi để giải quyết các bài toán mà đặc biệt là trong các mạch *logic tuần tự*.

Ta chú ý rằng, do tính chất của mã nhị phân được sử dụng là đối xứng nên các ô nằm cùng một hàng ( một cột ) ở ngoài cùng bên trái và bên phải ( ở trên cùng hay dưới cùng) cũng là các ô kề nhau và cũng chỉ có khác nhau một biến.

Một hàm 6 biến được biểu diễn như sau:

A,B,C		000	001	011	010	110	111	101	100
D,E,F	\	000	001	011	010	110	111	101	100
	000								
	001	0	1	3	2	6	7	5	4
	011	8	9	11	10	14	15	13	12
	010	24	25	27	26	30	31	29	28
	110	16	17	19	18	22	23	21	20
	111	48	49	51	50	54	55	53	52
	101	56	57	59	58	62	63	61	60
	100	40	41	43	42	46	47	45	44
		32	33	35	34	38	39	37	36

### 3.3.2. Các hàm không xác định (don't care)

Có những trường hợp mà giá trị của *đầu ra* không được thiết lập theo sự tổ hợp của các trạng thái đầu vào ví dụ như khi mã hóa số thập phân từ 0 đến 9 bằng mã BCD gồm 4 bit thì tương ứng phải có 16 tổ hợp trong khi ta chỉ có 10 tổ hợp được sử dụng, như vậy các tổ hợp 1001, 1010, 1011, 1100, 1110 và 1111 là không được sử dụng và những giá trị này người ta định nghĩa là những hàm không xác định.

Có những trường hợp mà tại đó, tổ hợp của các trạng thái các biến là không có ý nghĩa hoặc không thể xảy ra ví dụ như khi cửa thang máy đóng mà tiếp điểm sàn thang máy chưa đóng xác định là không có người trong thang máy chẳng hạn thì trạng thái nút bấm gọi tầng trong buồng của thang máy có thể sẽ không có ý nghĩa

mà cũng có thể có ý nghĩa tùy theo nhà thiết kế. Chính vì thế mà trạng thái của các đầu ra của hàm cũng sẽ rơi vào trạng thái không xác định.

### 3.3.3. Phương pháp tối thiểu hóa các hàm logic

Các hàm logic cũng tương tự như các hàm số toán học khác, có nghĩa là trong quá trình phân tích và tổng hợp chúng ta cần phải thực hiện một việc làm thường xuyên là tối thiểu hóa các hàm sao cho biểu thức được biểu diễn dưới dạng đơn giản nhất có thể mà vẫn đảm bảo được các chức năng yêu cầu, điều đó sẽ làm cho hàm đơn giản và tường minh hơn, song đối với hàm logic thì điều này còn mang một ý nghĩa hơn là sẽ làm giảm đáng kể số cổng cũng như các dây nối cần thiết và kích thước khuôn khổ của chúng cũng vì thế sẽ được giảm đi. Thực chất của việc tối thiểu hóa là tìm dạng biểu diễn đại số đơn giản nhất và thường có hai phương pháp:

- Phương pháp biến đổi trực tiếp sử dụng các định lý của đại số Boole.
- Phương pháp sử dụng thuật toán.

#### a. Phương pháp biến đổi trực tiếp sử dụng các định lý của đại số Boole

Căn cứ vào các định lý của đại số Boole để rút gọn hàm logic, tuy nhiên phương pháp này sẽ gặp rất nhiều khó khăn vì bị hạn chế bởi tính trực quan nên nhiều khi các kết quả đã được rút gọn nhưng vẫn chưa thể khẳng định được nó đã tối thiểu hay chưa. Chính vì thế mà phương pháp này ít được sử dụng, đặc biệt là trong việc tối thiểu hóa các hàm phức tạp.

Ví dụ, ta có một hàm mà có thể được biểu diễn chúng ở dưới dạng phương trình chính tắc thứ nhất - Tổng của các tích -.

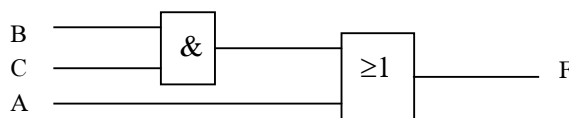
$$F = \bar{A}.B.C + A.\bar{B}.\bar{C} + A.\bar{B}.C + A.B.\bar{C} + A.B.C$$

Sử dụng các định lý của hàm Boole, ta có:

$$F = A.B.(\bar{C} + C) + A.B(\bar{C} + C) + \bar{A}.B.C = A.\bar{B} + A.B + \bar{A}.B.C =$$

$$A.(B + \bar{B}) + \bar{A}.B.C = A(1 + B.C) = A + B.C$$

Hàm logic trên có thể biểu diễn bằng mạch logic số sau:



#### b. Phương pháp sử dụng thuật toán

*\* Phương pháp sử dụng ma trận Cácno*

Theo nguyên tắc chung của phương pháp tối thiểu sử dụng ma trận Cácno thì trước hết, ta lập ma trận như đã trình bày ở trên, sau đó ghi các giá trị của hàm tương ứng với các tổ hợp các trạng thái của các biến vào.

Tiếp theo, ta tiến hành xác định **cách tối thiểu hàm** theo kiểu *tích cực tiểu* hay *tổng cực tiểu*. Nếu xác định *tổng cực tiểu* thì ta đánh dấu các ô có giá trị **1** và nếu xác định *tích cực tiểu* thì chọn các ô có giá trị **0**.

Chọn hai ô kề nhau có cùng giá trị *1* (hoặc *0*), theo tính chất của ma trận Cácno thì chúng chỉ khác nhau một biến, do vậy mà tổng hoặc tích của *hàm logic* có thể được giảm đi một biến.

Ví dụ ta có *hàm logic* có *n* biến, nếu ta viết theo dạng *tổng của các tích* của 2 ô kề nhau có cùng giá trị **1**, ta có:

$$\begin{aligned} (X_1.X_2....X_j....X_n) + (X_1.X_2....\overline{X_j}....X_n) &= (X_1.X_2....X_{j-1}....X_n).(X_j + \overline{X_j}) \\ &= (X_1.X_2....X_{j-1}....X_n) \quad \{ \text{do } (X_j + \overline{X_j}) = 1 \} \end{aligned}$$

Như vậy biến  $X_j$  sẽ không có mặt trong biểu thức trên mà *hàm logic* vẫn không thay đổi, hay nói cách khác tổng của chúng đã giảm đi được một biến.

Tương tự với trường hợp có 4 ô kề nhau có cùng một giá trị của hàm, bằng cách chứng minh như vậy, ta sẽ giảm được 2 biến.

Tổng quát với  $2^k$  cặp ô kề nhau có cùng giá trị thì ta sẽ giảm được *k* biến.

Do tính chất của hàm số *Boole* mà giá trị *1* có thể tham gia vào một số nhóm, điều đó cho phép chúng ta có thể lựa chọn các ô kề nhau đến mức tối đa nhằm làm cho hàm càng đơn giản có nghĩa là hàm được tối thiểu. Tính chất đó là  $X+X=X$ .

Ví dụ: Cho hàm 4 biến được biểu diễn bằng ma trận Cácno sau

C, D \ A, B		I		II		III		IV	
		00	01	11	10	00	01	11	10
00	0	1		0		0		0	
01	0	1		1		1		1	
11	X	1		X				0	
10	0	0		1				0	

Nhận xét: Ma trận được biểu diễn như trên gồm có  $2^n$  tổ hợp hàm tức là 16 tổ hợp ( $n=4$ ), tuy nhiên, chỉ có 6 tổ hợp hàm có giá trị **1** và 8 tổ hợp hàm có giá trị **0**, ngoài ra có 2 tổ hợp hàm không xác định được ký hiệu bằng chữ "x".

Về nguyên tắc chung thì người ta có thể tối thiểu hàm theo **dạng tổng của các tích** hay là **tích của các tổng**, có nghĩa là sự hoạt động của *hàm logic* sẽ không thay đổi nhưng *mạch logic* sẽ khác nhau và chắc chắn là khi lựa chọn mạch, người ta sẽ chọn mạch nào có số cổng ít nhất và tổng số lần các biến xuất hiện trong mạch là ít nhất (*số literal là ít nhất*).

Đối với các tổ hợp có giá trị không xác định, về mặt nguyên tắc người ta coi là các hàm đó lấy các giá trị tùy ý, có nghĩa là hoặc giá trị **1** hoặc giá trị **0**. Tuy nhiên khi áp dụng thực tế thì nên chọn giá trị thích hợp sao cho việc tối thiểu là thuận lợi nhất và đạt được kết quả tối giản nhất có thể.

Trở lại với ví dụ trên, ta có:

Xác định theo *tích cực tiểu*, ta có các nhóm liên kết các ô kề nhau có giá trị **1** như được biểu diễn trên ma trận gồm có 4 nhóm (I, II, III, IV) trong đó có 1 nhóm 4 ô và 3 nhóm 2 ô. Theo tính chất đã nêu trên, ta có *hàm logic* tối thiểu là:

$$F = \bar{A}.B.\bar{C} + B.D + A.\bar{C}.D + A.B.C$$

Xác định theo *tổng cực tiểu*, ta có các nhóm liên kết các ô kề nhau có giá trị **0** như được biểu diễn dưới đây, nó gồm có 4 nhóm và theo tính chất của các nhóm có các ô kề nhau, ta có thể tìm thấy được hàm tối thiểu của tích các tổng.

A, B C, D		I		II	
		00	01	11	10
00	0	1	0	0	
01	0	1	1	1	
11	X	1	X	0	
10	0	0	1	0	
		III		IV	

$$F = I.II.III.IV = (A+B).(\bar{A} + C + D)(A + \bar{C} + D)(B + \bar{C})$$

\*. Phương pháp Quin Mc.Cluskey

- Một số định nghĩa:

- *Đỉnh* : Là một tích chứa đầy đủ các biến của hàm xuất phát, nếu hàm có *n* biến thì đỉnh là tích của *n* biến.

Đỉnh 1 là đỉnh mà hàm có giá trị bằng 1 và đỉnh 0 là đỉnh có giá trị bằng 0. Đỉnh không xác định là đỉnh mà tại đó hàm có thể lấy giá trị 1 hay 0.

- *Tích cực tiểu*: Là một tích có số biến là cực tiểu để hàm có giá trị bằng 1 hay không xác định.

- *Tích quan trọng*: Là tích cực tiểu mà giá trị hàm chỉ duy nhất bằng 1.

**- Phương pháp tiến hành:**

- Bước 1:

+ Tìm các tích cực tiểu bằng cách lập bảng biểu diễn các giá trị hàm bằng 1 và các giá trị không xác định rồi ghi vào bảng a.

+ Sắp xếp các tổ hợp biến theo mã nhị phân theo thứ tự số các chữ số 1 trong tổ hợp tăng dần từ 0, 1, 2, 3... ghi vào bảng b.

+ So sánh mỗi tổ hợp thứ  $i$  với tổ hợp  $i+1$ , nếu 2 tổ hợp khác nhau chỉ ở một cột thì kết hợp chúng thành 1 tổ hợp mới không có mặt giá trị cột đó (chú ý là thứ tự các biến là phải được sắp xếp như nhau). Tiếp theo, thay chỗ cột không có mặt giá trị của nó bằng một dấu gạch "-" và đánh dấu V vào 2 tổ hợp cũ và ghi vào bảng c.

+ Tiếp tục như trên bằng cách chọn tiếp các tổ hợp khác nhau chỉ 1 chữ số 1 và có cùng một vị trí dấu gạch "-" ( tức là có cùng một biến vừa bị giản ước ở bước trước đây) và ghi vào bảng d.

Lại tiếp tục cho đến khi các tổ hợp không còn khả năng liên kết nữa thì đó chính là tích cực tiểu của hàm đã cho.

Ví dụ: Tối thiểu hóa hàm  $f(X_1, X_2, X_3, X_4)$  với các đỉnh bằng 1 là  $L=2,3,7,12,14,15$ ; Các đỉnh không xác định  $N = 6,13$

Bảng a		Bảng b			Bảng c		Bảng d	
Số thập phân	Số nhị phân $X_1, X_2, X_3, X_4$	Số chữ số 1	Số thập phân	Số cơ số 2 $X_1, X_2, X_3, X_4$	Liên kết	$X_1, X_2, X_3, X_4$	Liên kết	$X_1, X_2, X_3, X_4$
2	0010	1	2	0010V	2,3	001-V	2,3,6,7 2,6,3,7	0-10
3	0011	2	3	0011V	2,6	0-10V	6,7,14, 15 6,14,7, 15	-11-

6	0110		6	0110V	3,7	0-11V	12,13, 14,15	11--
12	1100		12	1100V	6,7	011-V		
7	0111	3	7	0111V	6,14	-110V		
13	1101		13	1101V	13,13	110-V		
14	1110		14	1110V	12,14	11-0V		
15	1111	4	15	1111V	7,15	-111V		
					13,15	11-1V		
					14,15	111-V		

- Bước 2:

Việc tìm các tích quan trọng cũng được thực hiện theo nhiều giai đoạn. Gọi  $L_i$  là tập các đỉnh  $l$  và không có các đỉnh có chứa giá trị không xác định,  $Z_i$  là tập các tích cực tiểu và  $E_i$  là tập các tích quan trọng của bước thứ  $i$ .

+ Với  $i = 0$  ta có giả sử ta có  $L_0 = L = (2,3,7,14,15)$  và  $Z_0 = Z = (X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2)$ .

Xác định các tích quan trọng  $E_0$  từ  $L_0$  và  $Z_0$  như sau:

Lập bảng có mỗi hàng ứng với một tích cực tiểu thuộc  $Z_0$ , mỗi cột ứng với một đỉnh thuộc  $L_0$ . Đánh dấu "x" vào các ô trong bảng ứng với tích cực tiểu bằng 1.

Xét trên từng cột nếu có chỉ 1 dấu "x" thì tích cực tiểu ứng với nó là tích quan trọng.

+ Với  $i=1$ , Tìm  $L_1$  từ  $L_0$  bằng cách loại khỏi  $L_0$  các đỉnh  $l$  của  $E_0$ ; Tìm  $Z_1$  từ  $Z_0$  bằng cách loại khỏi  $Z_0$  các tích trong  $E_0$  và các tích đã nằm trong hàng đã được chọn từ  $E_0$  (các tích không cần thiết).

Lập bảng và bằng cách tương tự như trên ta sẽ tìm tích quan trọng  $E_1$

Tiếp tục công việc cho đến khi xét hết các cực tiểu.

$$L_{i+1} = L_i - E_i \text{ và } Z_{i+1} = Z_i - E_i$$

Lập bảng  $L_{i+1}$ ,  $Z_{i+1}$  để tìm  $E_{i+1}$  ... cho đến khi  $L_k = 0$

Trở lại với ví dụ, ta lập bảng:

$L_0$	2	3	7	12	14	15
$Z_0$						
$\overline{X_1X_3}$	(x)	(x)	x			

$X_2X_3$			x		x	x
$X_1X_2$				(x)	x	x

Kết quả cuối cùng ta có hàm tối thiểu là  $f = \overline{X_1}.X_3 + X_1.X_2$

### 3.3.4. Mạch tổ hợp

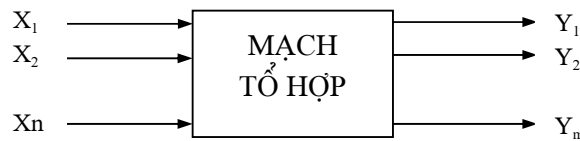
Nếu *đầu ra* tại bất kỳ một thời điểm nào chỉ phụ thuộc vào trạng thái của *đầu vào* ở tại thời điểm đó, nghĩa là không có phần tử nhớ ở trong mạch thì gọi là mạch *logic tổ hợp*. Theo quan điểm của điều khiển thì *mạch tổ hợp* là mạch hở hay nói cách khác là hệ *không có phản hồi*, tức là trạng thái hoạt động của các phần tử không bị ảnh hưởng của trạng thái tín hiệu *đầu ra*.

#### a. Mô hình toán của mạch tổ hợp

Về mặt toán học, giả thiết một mạch tổ hợp có  $n$  *đầu vào* và  $m$  *đầu ra* ta có thể biểu diễn nó bằng  $m$  phương trình đại số *Boole* như sau:

$$Y_j = f_j(X_1, X_2, \dots, X_n) \text{ với } j = 1 \div m$$

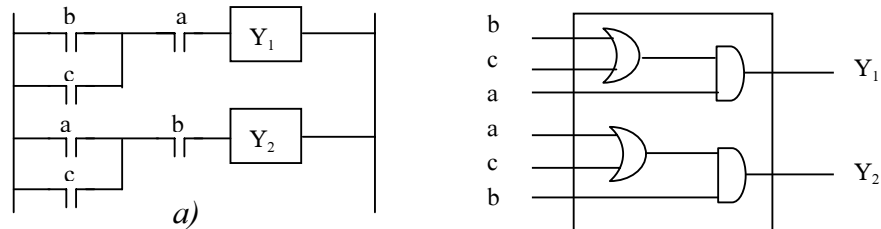
Và mô hình toán có thể được biểu diễn bằng sơ đồ khối như sau:



#### b. Phân tích mạch tổ hợp

Nhiệm vụ của việc phân tích mạch tổ hợp là từ mạch đã có, mô tả hoạt động và viết các *hàm logic* của các đầu ra theo các biến đầu vào và tối thiểu hóa các mạch có thể.

Ví dụ có mạch tổ hợp được biểu diễn bằng mạch rơ le và bằng mạch số như sau:



Hình 3-1: Mạch tổ hợp rơ le (a) và mạch số (b)



Từ sơ đồ mạch tổ hợp, chúng ta có thể biểu diễn mạch theo cách lập bảng trạng thái, phương trình logic hay ma trận *Cácno*. Sau đó tối thiểu nó theo một trong những cách mà chúng ta đã biết và cuối cùng là thiết lập được một mạch tổ hợp tối giản có thể.

Theo các phương pháp biểu diễn hàm logic, ta có thể biểu diễn nó bằng ma trận *Cácno* hay phương trình logic như sau:

Phương trình logic

$$Y_1 = a(b+c)$$

$$Y_2 = b(a+c)$$

Ma trận *Cácno*

	a,b				
c		00	01	11	10
0	0	0	1	0	
1	0	0	1	1	

Y

	a,b				
c		00	01	11	10
0	0	0	1	0	
1	0	1	1	0	

Y<sub>2</sub>

Để tối thiểu hàm logic này, ta có thể tiến hành như sau:

$$Y_1 = a.b + a.c$$

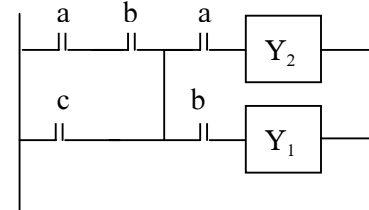
$$Y_2 = b.a + b.c$$

Từ đây ta có thể rút ra:

$$a.b = b.a = a.c - Y_1 = b.c - Y_2$$

$$\text{Vậy ta có: } a.c + Y_2 = b.c + Y_1$$

Từ đó ta có thể biểu diễn lại sơ đồ như sau:



So với sơ đồ ban đầu ta đã giảm đi được 1 biến (*literal*)

### c. Tổng hợp mạch logic tổ hợp

Tổng hợp mạch logic tổ hợp thực chất là thiết kế mạch tổ hợp, nhiệm vụ chính ở đây là từ yêu cầu của bài toán đặt ra chúng ta cần phải xây dựng được một mạch logic có tính chất vừa thỏa mãn các yêu cầu làm việc của hệ thống vừa phải đơn giản nhất có thể cũng như việc lựa chọn các phần tử của hệ thống là phù hợp với các yêu cầu thực tế.

Thông thường người ta thực hiện tổng hợp mạch logic tổ hợp theo kiểu mạch rơ le và mạch số. Mỗi một phương pháp thường mang tính đặc trưng riêng nhưng chức năng hoạt động là không có gì khác nhau.

Ví dụ: Thiết kế một hệ thống đèn cầu thang thỏa mãn các yêu cầu đặt ra là nếu khi tác động lên công tắc  $a$  hay  $b$  thì đèn sáng và nếu không một tác động nào lên cả  $a$  và  $b$  hay đồng thời tác động cả  $a$  và  $b$  thì đèn sẽ tắt.

Đây thực chất là một bài toán hoặc hạn chế (XOR) vì khi có 2 biến vào khác nhau thì đèn sáng hay nói cách khác là giá trị hàm bằng 1. (ở đây ta coi là khi đèn sáng tương ứng với giá trị hàm  $L=1$  và khi đèn tắt thì  $L=0$ )

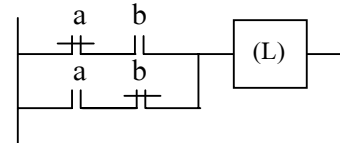
Có thể biểu diễn hàm logic bằng ma trận Cácno có 2 biến vào như sau:

a \ b	0	1
0	0	1
1	1	0

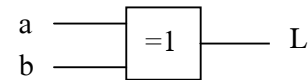
Ta có từ ma trận Cácno:

$$L = a.b + \bar{a}.\bar{b} = a \oplus b$$

Sơ đồ mạch rơ le:



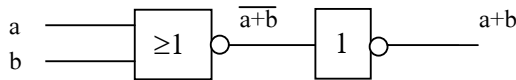
Và sơ đồ mạch số:



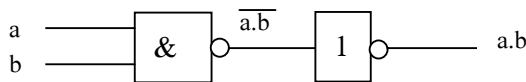
*d. Một số tính chất đặc biệt của mạch logic*

\* Một số phép biến đổi thường gặp

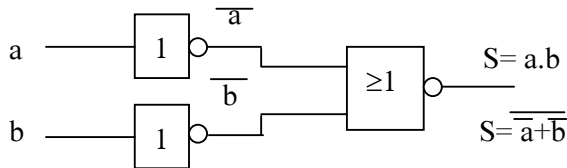
+ Biến đổi NOR thành OR



+ Biến đổi NAND thành AND

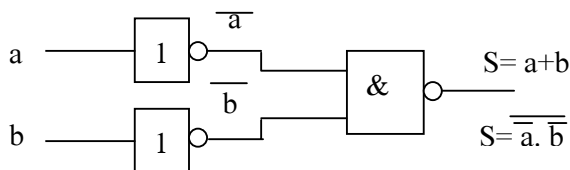


+ Biến đổi NOR thành AND



Theo định lý De Morgan thì  $\overline{\overline{a+b}} = \overline{\overline{a} \cdot \overline{b}}$ . Do vậy khi đầu vào là phần bù của  $a$  và  $b$  ( $\overline{a}, \overline{b}$ ) thì ta có  $S = \overline{\overline{a} \cdot \overline{b}} = a.b$ .

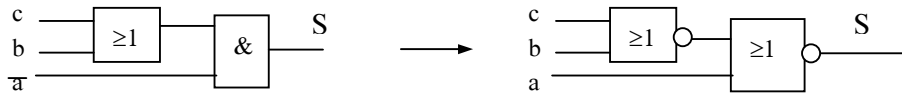
+ Biến đổi NAND thành OR



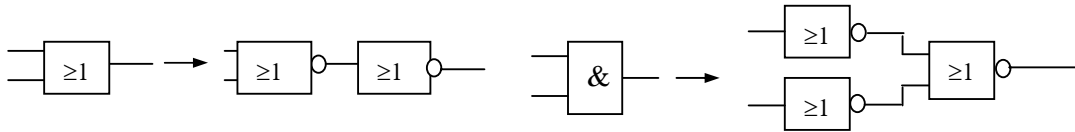
\* Phương pháp biến đổi chỉ dùng một loại toán tử logic

+ Biến đổi bằng sơ đồ TTL

Ví dụ hàm  $S = \bar{a} \cdot (b + c)$ , ta cần biến đổi hàm trên về chỉ hoặc AND hoặc OR



Trong phép biến đổi này, người ta sử dụng phương pháp biến đổi AND thành NOR và  $\overline{\overline{a}} = a$ .



+ Biến đổi bằng cách sử dụng các định lý đại số Boole

Ví dụ hàm  $S = \bar{a} \cdot (b + c)$

Ta bù 2 lần để không làm thay đổi giá trị của S:  $S = \overline{\overline{\bar{a} \cdot (b + c)}}$

Áp dụng định lý De Morgan, ta có:  $S = a + \overline{(b + c)}$  chỉ còn 1 loại TTL OR.

Ví dụ chỉ dùng TTL AND:  $S = c \cdot b + \bar{a} \cdot x$

Ta bù 2 lần để không làm thay đổi giá trị của S:  $S = \overline{\overline{c \cdot b + \bar{a} \cdot x}}$

Áp dụng định lý De Morgan, ta có:  $S = \overline{c \cdot b} \cdot \overline{\bar{a} \cdot x}$  chỉ còn một loại TTL NAND

### 3.3.5. Mạch tuần tự

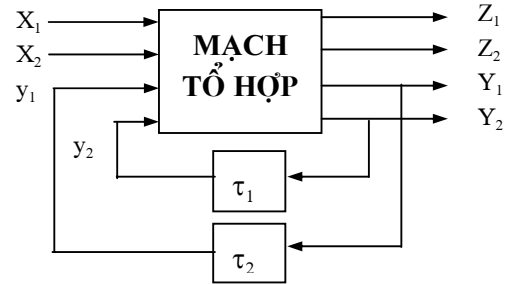
Đối với mạch mà đầu ra tại một thời điểm không những chỉ phụ thuộc vào trạng thái hiện tại của đầu vào mà còn phụ thuộc vào cả trình tự tác động của trạng thái đầu vào ở trong quá khứ, nghĩa là tồn tại các phần tử nhớ các trạng thái trong mạch, mạch đó gọi là mạch logic tuần tự. Như vậy, về mặt thiết bị thì ở mạch tuần tự không những chỉ có các phần tử đóng mở mà còn có cả phần tử nhớ. Một hệ thống logic tuần tự có thể chứa một số hệ thống logic tổ hợp con.

Sơ đồ cấu trúc của mạch tuần tự là mạch có phản hồi.

a. Mô hình toán học của hàm tuần tự

Sự hoạt động của mạch được thể hiện trên sơ đồ với các biến vào  $X$  và đầu ra  $Z$  cùng với các thay đổi của biến nội bộ  $Y$  và  $y$ . Do sự thay đổi của các biến vào  $x$  sẽ làm cho các tín hiệu ra  $Z$  thay đổi và cả tín hiệu  $Y$  cũng thay đổi. Mọi sự thay đổi của biến nội bộ  $Y$  sẽ được phản hồi vào biến vào  $y$  sau thời gian  $\tau$  và nó lại tác động vào hệ làm thay đổi đầu ra  $Z$  ...

Nhiệm vụ của hệ là làm sao để mạch hoạt động ổn định có nghĩa là khi có sự thay đổi trạng thái tín hiệu đầu vào thì hệ thống phải chuyển từ một trạng thái ổn định này sang một trạng thái ổn định khác qua trạng thái quá độ.



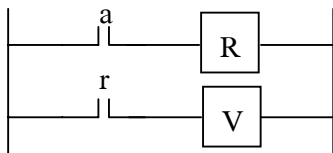
*b. Các trạng thái ổn định và quá độ*

Với logic tuần tự, các phép toán thực hiện theo dãy và trong mỗi một lệnh tiếp theo chỉ có thể được thực hiện khi trạng thái trước đó đã kết thúc.

Vậy vấn đề cơ bản ở đây là ngoài các biến vào đã biết còn có một số các biến thứ cấp mà ở trạng thái ban đầu chúng ta chưa biết.

*\* Trạng thái ổn định và quá độ trong logic tuần tự*

Ví dụ 1: Có sơ đồ rõ le sau:



a	R	r	V	Trạng thái
0	0	0	0	Ổn định
1	1	0	0	Quá độ
1	1	1	1	Ổn định
0	0	1	1	Quá độ
0	0	0	0	Ổn định

Các mạch logic tuần tự đều có sử dụng rơle. Trên sơ đồ biểu diễn rõ le  $R$  có tiếp điểm thường mở  $r$ ,  $a$  là nút bấm và chính là biến vào. Khi tác động  $a$  ( $a=1$ ) có dòng điện qua  $R$  ( $R=1$ ), tuy nhiên không phải ngay lập tức  $R$  đạt đến giá trị định mức nên phải sau một thời gian  $\Delta t$  ( $\Delta t$  bằng khoảng một vài phần trăm sec) thì tác động hút của cuộn dây mới có thể bắt đầu và tương ứng với trạng thái đó là  $r$  mới đóng lại ( $r=1$ ). Khi  $r$  tác động thì  $V$  tác động ( $V=1$ ).

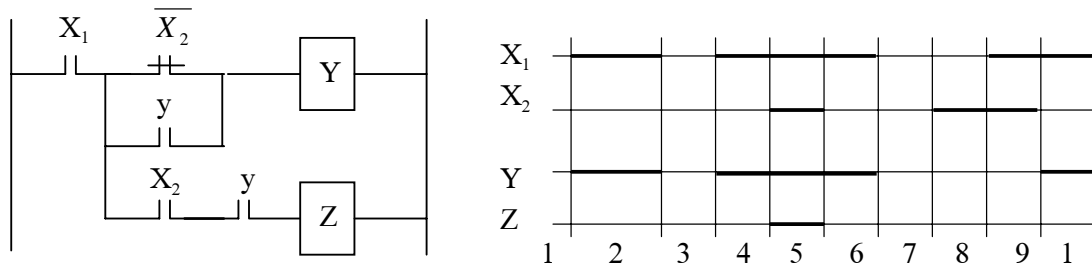
Khi cắt  $a$  ( $a=0$ ) thì  $R$  mất điện ( $R=0$ ), cuộn dây bị mất điện và lò xo sẽ đẩy tiếp điểm  $r$  trở về trạng thái ban đầu và sau một khoảng thời gian  $\Delta t_1$  nào đó ( $\Delta t_1$  bằng khoảng vài phần trăm sec) thì  $r$  sẽ mở ( $r=0$ ). Khi đó  $V$  sẽ hết tác động ( $V=0$ ).

Trạng thái của các biến vào và giá trị đầu ra được biểu diễn như ở bảng trên. Từ bảng chúng ta có nhận xét sau:

- Ở trạng thái *ổn định*,  $\mathbf{R}$  và  $\mathbf{r}$  lấy cùng một giá trị
- Ở trạng thái *quá độ*,  $R$  sẽ lấy giá trị *ổn định tiếp theo* của  $r$ .

Ví dụ 2: Có một mạch tuần tự được biểu diễn bằng mạch rơle, ta có thể biểu diễn trạng thái hoạt động của của mạch khi thay đổi các trạng thái biến vào như sau

Ta xây biểu đồ biểu thị sự hoạt động của mạch bằng cách sử dụng trục tung biểu thị các đại lượng vào, ra và trục hoành biểu thị thời gian.



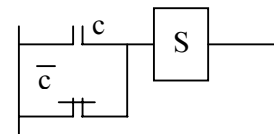
Các vạch đậm biểu diễn trạng thái tác động (giá trị 1) và các vạch nhạt biểu diễn trạng thái 0 của hệ. Từ sơ đồ ta có trạng thái  $Z = 1$  khi  $Y = 1$ ,  $X_1$  và  $X_2$  bằng 1 (cột số 5) tức là trình tự các biến vào là  $X_1 = 1$  rồi đến  $X_2 = 1$ . Còn nếu cho  $X_2 = 1$  trước rồi đến  $X_1 = 1$  sau thì rõ ràng là  $Y=0$  và  $Z=0$  (cột thứ 9).

*\*. Các ngẫu nhiên về công nghệ*

Ngẫu nhiên công nghệ có nghĩa là có 1 sự rắc rối trong hoạt động của hệ thống - nói cách khác là hệ thống hoạt động không tin cậy.

Ví dụ: Có một mạch logic như hình vẽ, sự hoạt động của hàm S không có gì thay đổi khi ta thay đổi biến vào  $c$  vì từ sơ đồ này ta có thể biểu diễn nó bằng phương trình đại số Boole sau:

$$S = c + \bar{c} = 1$$



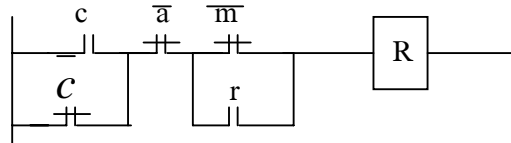
Tuy nhiên ta chú ý rằng, khi trạng thái biến  $c$  thay đổi từ 0 đến 1 thì  $\bar{c}$  sẽ thay đổi từ 1 đến 0 và do sự thay đổi này của  $\bar{c}$  nên có thể có một khoảng thời gian vài phần trăm sec nào đó hàm S có giá trị bằng 0 (khi mà  $c$  chưa đạt đến giá trị 1 mà  $\bar{c}$  đã đạt giá trị 0). Thời gian mà  $S = 0$  là hoàn toàn phụ thuộc vào phần cứng của thiết bị (các phần tử thiết lập nên hệ thống).

Với trường hợp này thì không ảnh hưởng gì đến sự hoạt động của hệ thống mạch logic tổ hợp vì sự thay đổi trạng thái này nói chung là rất ngắn và khoảng thời gian đó không đủ để gây ra các tác động khác.

Đối với mạch logic tuần tự thì điều này gây ra một sự rối loạn đáng kể vì trong mạch có chứa phần tử nhớ và khi trạng thái của hệ chuyển từ trạng thái 1 đến 1 qua trạng thái 0 rất ngắn thì phần tử nhớ ngay lúc đó cũng chuyển trạng thái từ 1 đến 0 và dẫn đến kết quả là có thể làm rối loạn chu kỳ hoạt động bình thường.

Để thấy rõ điều này, ta khảo sát sơ đồ mạch rơle sau:

Khi tác động vào  $c$  và  $c$  đạt được giá trị  $c=1$  sau khi  $\bar{c}$  qua giá trị 0 và dòng điện sẽ không qua R ( $R=0$ ) trong khoảng thời gian tương ứng với khoảng từ khi mà  $\bar{c} = 0$  đến khi  $c=1$ . Khi đó tiếp điểm thường mở của R là  $r = 0$  và nếu  $m = 0$  lúc đó thì  $R=0$ . Nếu sau khoảng thời gian trên và R sẽ bằng 1 và sau đó tiếp điểm thường mở  $r=1$ , lúc này nếu  $m = 0$  thì R vẫn bằng 1.

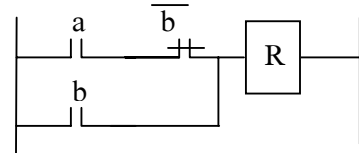


Để tránh các sự rắc rối trong hoạt động của hệ thống, người ta tìm biện pháp loại bỏ các ngẫu nhiên về công nghệ mà một trong những biện pháp đó là phải được giải quyết bằng phần cứng của nó. Khi thiết kế và chế tạo cần phải được chú ý và kiểm tra chính xác trước khi đưa vào hệ thống.

Ví dụ có một sơ đồ hoạt động được biểu diễn dưới đây:

Ta có thể biểu diễn phương trình logic bằng:

$$R = a.b + \bar{b}$$



Theo định lý về tính phân phối thì:

$$R = a.b + \bar{b} = (a+\bar{b}).(b+\bar{b}) = a+\bar{b} \quad (\text{vì } b+\bar{b}=1)$$

Tuy nhiên vì lý do công nghệ mà không phải chắc chắn là  $b+\bar{b}=1$  mà có thể có một khoảng thời gian rất ngắn mà tổng đó bằng không. Điều này tương ứng với sơ đồ được biểu diễn trên ma trận dưới đây(\*)

$$R = a.b + \bar{b}$$

	b	0	1	
a				
0		0	1	(*)
1		1	1	

	b	0	1	
a				
0		0	1	(**)
1		1	1	

Trên sơ đồ (\*\*) biểu diễn khi hệ thống có 1 ô được phủ 2 lần nên không có trường hợp nào mà  $R = 0$ .

$$R = a + b$$

### c. Giải bài toán logic tuần tự

Bài toán mạch logic tuần tự là bài toán khó, hơn nữa từ một yêu cầu được đặt ra lại có nhiều cách giải quyết khác nhau, do vậy vấn đề chính ở đây là cần dựa vào một chỉ tiêu tối ưu nào đó, đồng thời để tìm được lời giải tối ưu thì ngoài các suy luận toán học logic người thiết kế còn phải tận dụng các kinh nghiệm thực tế rất phong phú và đa dạng. Sau đây chỉ giới thiệu hai phương pháp cơ bản là phương pháp *bảng chuyển trạng thái* (hay còn gọi là ma trận) và phương pháp *trực tiếp từ ma trận Cáono*.

#### \* Phương pháp dùng bảng trạng thái

Các bước tiến hành:

- Thiết lập ma trận sơ khai theo đó ghi tất cả trạng thái đã biết của các biến, ma trận này được thiết lập từ số cột bằng  $2^n$  trong đó  $n$  là số biến vào.
- Việc chuyển từ một giai đoạn hoạt động này sang giai đoạn khác chỉ có thể được tiến hành bằng cách thay đổi trạng thái của chỉ một biến.
- Các trạng thái ổn định và trạng thái quá độ phát sinh luôn luôn cùng nằm trong cùng một cột.
- Mỗi hàng ngang chỉ dành cho một trạng thái ổn định, nhưng cũng có thể có một hay nhiều trạng thái quá độ.
- Ma trận chấp nhận được bằng cách ghép các hàng ngang. Người ta cũng chỉ có thể ghép các hàng sao cho không có trạng thái ổn định thuộc cùng một cột. Các hàng có cùng số (là các trạng thái ổn định hay quá độ và cùng các ô trống) thì ưu tiên cho các trạng thái ổn định.
- Nếu với bài toán chỉ có một biến phụ thì ta có thể tiến hành như sau:
  - \* Với các trạng thái ổn định,  $X$  và tiếp điểm của nó  $x$  có cùng giá trị. Với các trạng thái quá độ  $X$  lấy giá trị của trạng thái ổn định ở tiếp ngay sau đó.
  - Với bài toán nhiều biến phụ thì ta thu được các phương trình của các Role này như sau:
    - \* Với các trạng thái ổn định, một role như  $X$  có cùng với giá trị tiếp điểm  $x$  của nó.

\* Với các trạng thái quá độ kề sát trạng thái ổn định mà nó hướng đến thì  $X$  lấy giá trị sát giá trị của trạng thái ổn định tiếp theo.

\* Với các trạng thái ổn định riêng rẽ, các trạng thái ổn định mà nó hướng tới người ta định các đường hoạt động chỉ bằng mũi tên. Các trạng thái quá độ kề bên

các đường thay đổi trạng thái của rơle lấy giá trị sát giá trị trạng thái ổn định tiếp theo.

–Đối với hàm sơ cấp thì trong các bảng, các đầu ra của các trạng thái ổn định thì lấy đúng giá trị của nó quá độ liên hệ giữa 2 trạng thái ổn định có các giá trị khác nhau có thể lấy giá trị 1 hay 0, nếu 2 trạng thái ổn định có cùng giá trị thì nó lấy ngay chính giá trị đó

Ví dụ:

Có một thiết bị hoạt động theo nguyên tắc sau: khi tác động lên nút ấn  $m$  cho phép chạy và một tác động lên  $a$  cho phép dừng.

Ta có thể biểu diễn quá trình hoạt động của thiết bị theo bảng trạng thái sau:

Từ bảng trạng thái, ta thấy rõ sự hoạt động của thiết bị  $F$  như sau:

Khi  $m=0, a=0$  thì  $F=0$  (Trạng thái ổn định)

Khi  $m=1, a=0$  thì  $F=1$  (Trạng thái ổn định)

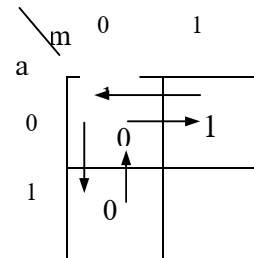
Khi  $m=0$  (hết tác động),  $a=0$  thì  $F=1$

Khi  $m=0, a=1$  (tác động  $a$ ) thì  $F=0$

m	a	F
0	0	0
1	0	1
0	0	1
0	1	0

Ta có thể biểu diễn nó bằng ma trận Cáono:

Tại ô  $\bar{a}\bar{m}$ : Ta thấy rằng có 2 giá trị trong cùng một ô là  $F=0$  và  $F=1$ . Điều này là không thể có được trong sự hoạt động của một thiết bị. Điều này chứng tỏ rằng thiết bị này không thể hoạt động theo nguyên tắc của mạch logic được. Vì vậy cần phải có thêm một biến phụ mà trong thực tế đó chính là 1 rơle.



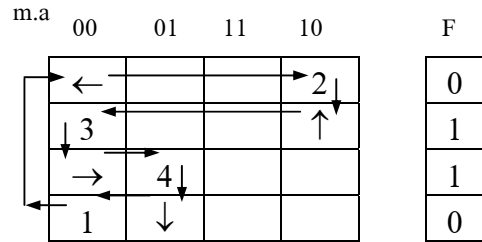
Để giải bài toán này, ta sẽ tiến hành theo từng bước sau đây:

+ Thiết lập ma trận sơ khai:

Đây là bài toán có 2 biến vào là  $m$  và  $a$ . Vậy ta thiết lập ma trận có 4 cột và tương ứng với các cột là biểu diễn các trạng thái của biến vào tương ứng với mã nhị phân đối xứng, nghĩa là khi chuyển từ ô này sang một ô kế tiếp chỉ có một biến thay đổi.



Mỗi giai đoạn hoạt động được biểu thị trong 1 cột ứng với trạng thái của các biến vào. Các giai đoạn ổn định của hàm được ghi vào trong 1 vòng tròn và khi chuyển từ 1 trạng thái ổn định này sang 1 trạng thái ổn định khác thì phải qua một trạng thái quá độ được đánh số bình thường.



Số hàng của ma trận được xác định theo số các trạng thái ổn định của hàm. Giá trị của hàm F được ghi vào một bảng tương ứng với giá trị của các hàng.

*Nhận xét:*

Từ ma trận trên chúng ta thấy rằng:

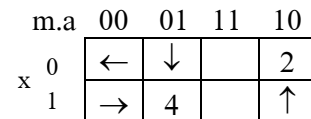
- Khi không có một tác động nào lên  $a$  và  $m$  thì  $F = 0$  và tương ứng ta có trạng thái ổn định ←.
- Khi có một tác động lên  $m$  (ấn lên  $m$ ) tức  $m = 1$  thì  $F = 1$  sau khi qua trạng thái quá độ 2 để đến trạng thái ổn định ↑ ( $a$  vẫn bằng 0).
- Nhả nút ấn  $m$  ( $m = 0$ ) thì giá trị của hàm không thay đổi (thiết bị vẫn hoạt động)  $F = 1$  và sau khi chuyển qua trạng thái quá độ 3 để đến trạng thái ổn định →.
- Tác động lên  $a$  ( $a = 1$ ) thì thiết bị dừng và  $F = 0$  sau khi qua trạng thái quá độ 4 để đạt đến trạng thái ổn định ↓.
- Cuối cùng là trở về trạng thái ổn định ← sau khi qua trạng thái quá độ 1.

+ Thiết lập ma trận chập: (ma trận xếp chồng)

Theo nguyên tắc nhóm nhiều nhất các hàng bằng cách xếp chồng các ô có cùng một số (có thể ổn định hay quá độ) hoặc 1 ô có số với một ô trống. Khi các ô có cùng một số thì ưu tiên xếp cho ô có trạng thái ổn định.

Từ ma trận trên, ta có ma trận xếp chồng sau:

Đây là một ma trận có 8 ô tương ứng với một hàm 3 biến là  $m, a$  và một biến phụ là tiếp điểm  $x$  của rơ le X, biến này người ta còn gọi là biến thứ cấp và ở hàng trên tương ứng với  $x = 0$  và hàng thứ 2 tương ứng với  $x = 1$ .



Ở hàng trên có 2 trạng thái ổn định  $\leftarrow$  và  $\downarrow$ .

Ở hàng thứ 2 có 2 trạng thái ổn định  $\rightarrow$  và  $\uparrow$ .

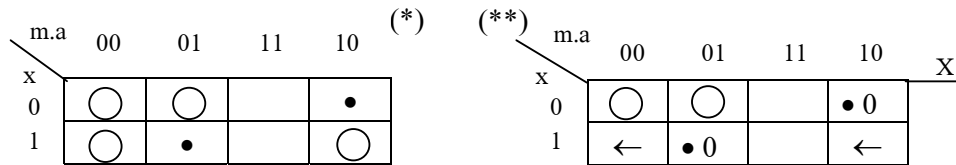
Các ô quá độ biểu diễn bằng các con số, còn các ô trống biểu diễn các trạng thái không xác định.

+ Xác định phương trình của rơ le X:

Chúng ta sẽ thể hiện trên 1 ma trận chấp bằng cách đặt vào các ô có trạng thái ổn định 1 vòng tròn và 1 dấu chấm ở ô có trạng thái quá độ (\*).

Đặt các giá trị của hàm X theo nguyên tắc sau (\*\*):

- Với trạng thái ổn định thì giá trị của rơ le X và tiếp điểm x lấy cùng giá trị. Nếu  $x = 0$  thì  $X = 0$  và  $x = 1$  thì  $X = 1$
- Với trạng thái quá độ X lấy giá trị của trạng thái ổn định ngay tiếp theo



+ Tối thiểu hóa mạch logic:

Từ ma trận trên ta có:  $X = m\bar{a} + x\bar{a} = \bar{a}(m + x)$

+ Xác định phương trình của đầu ra F:

Tương tự như trên, chúng ta thiết lập một ma trận gồm 8 ô và đặt các vòng tròn vào các ô tương ứng với trạng thái ổn định của hàm và 1 dấu chấm đặc trưng cho trạng thái quá độ. Ma trận được thiết lập từ các giá trị của ma trận sơ khai mà trong đó, các giá trị ổn định được lấy theo giá trị tương ứng của hàm F (ở ma trận sơ khai) và các giá trị quá độ sẽ lấy theo ma trận sơ khai hay có thể theo nguyên tắc là nếu nằm giữa 2 trạng thái ổn định có cùng 1 giá trị thì nó lấy chính giá trị đó. Còn nếu nằm giữa 2 trạng thái ổn định có giá trị khác nhau thì có thể lấy theo giá trị ổn định ngay trước đó hay sát ngay sau đó (tức là có thể lấy giá trị 0 hay 1 tùy ý mà kết quả mạch sẽ không thay đổi).



+ Tối thiểu hàm logic, ta có:  $F = x$

*\* Phương pháp trực tiếp sử dụng ma trận Cáono*

Phương pháp này thích hợp với các mạch điện tử và thường được sử dụng trong công nghiệp để nghiên cứu các mạch khí nén.

Các bước tiến hành giải bài toán logic tuần tự bằng phương pháp trực tiếp sử dụng ma trận Cáono:

- Thiết lập ma trận Cáono với các biến đã biết bằng việc biểu diễn chu trình hoạt động bằng các đường có mũi tên.
- Ghi các giá trị đầu ra vào các ô. Việc biểu thị được thực hiện từ 1 ô sang một ô kế tiếp.
- Nếu sự hoạt động dẫn chúng ta một lần nữa đến 1 ô đã bị chiếm bằng một biến ra khác với biến mà chúng ta đã đặt vào đó, người ta sẽ tăng gấp đôi bảng ban đầu và tiếp tục biểu thị trong 1 ô đối xứng.
- Bằng cách tăng gấp đôi bảng ban đầu, người ta làm xuất hiện một rơ le phụ như rơ le X và các biến thứ cấp của đầu vào mà ta thêm vào sẽ là  $x$  và  $\bar{x}$ .
- Phương trình của X:

+  $X = 1$  đối với các ô ứng với  $x (x = 1)$  kể cả cá ô điều khiển sự chuyển trạng thái của rơ le từ 0 đến 1 và một số ô điều khiển sự chuyển trạng thái của rơ le từ 1 đến 0.

+ Các ô điều khiển sự chuyển trạng thái và các ô nằm kề sát đường đối xứng của giản đồ đầy đủ được đánh dấu bằng nét đậm hay nét màu.

+ Tất cả các ô có giá trị  $X = 1$  được gạch chéo.

+ Để có phương trình của X người ta hợp nhóm các ô gạch chéo không quan tâm đến nội dung của nó.

- Phương trình của đầu ra:

Nhận xét về các giá trị đầu ra trong các ô điều khiển sự chuyển trạng thái của rơ le ( các ô có nét đậm và các ô ứng với các trạng thái quá độ).

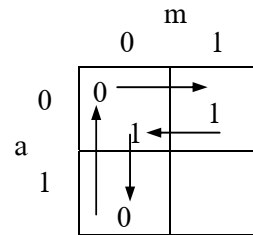
+ Khi các ô này nằm giữa 2 giá trị khác nhau của đầu ra người ta có thể biểu thị bên trong ô bằng 0 hay bằng 1, người ta đánh dấu bằng 1 dấu chấm "•".

+ Phương trình của đầu ra nhận được bằng cách ghép các ô có đánh dấu 1 và nếu điều đó cho phép ghép nhóm dễ dàng thì ghép các ô có dấu chấm "•" và các ô trống.

Ví dụ :

Có một thiết bị hoạt động theo nguyên tắc sau: khi tác động lên nút ấn  $m$  cho phép chạy và một tác động lên  $a$  cho phép dừng.

Ta biểu diễn các giá trị của  $F$  trong ma trận Cáono. Sự có mặt của 1 ô mang 2 giá trị 1 và 0 tương ứng với các biến  $a=0$  và  $m=0$  có nghĩa rằng đây không phải là một bài toán logic tổ hợp vì thế cần thiết phải thêm 1 rơ le.



Ta xây dựng một ma trận thứ hai bằng cách nhân đôi ma trận thứ nhất để thêm biến  $x$  của rơ le  $X$ .

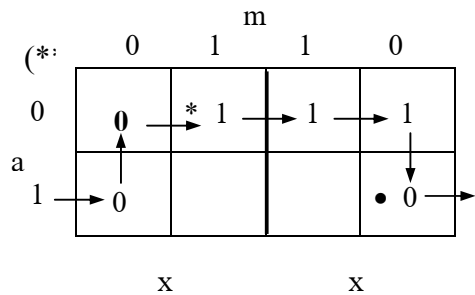
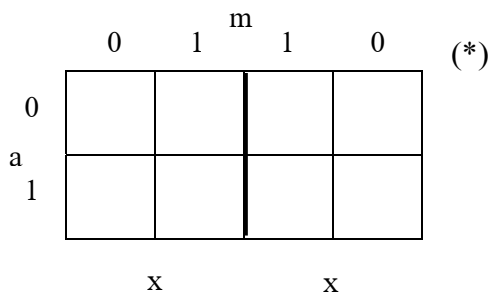
Hai phần của ma trận mới được ngăn cách nhau bằng nét kẻ đậm và ứng với hai trạng thái có thể của rơ le  $X$  mà chúng ta vừa mới thêm vào. Các tiếp điểm của rơ le này có thể được biểu diễn như hình dưới đây (\*).

Sự hoạt động tương ứng với bài toán được đặt ra sẽ được biểu thị bằng cách chuyển trạng thái từ một ô sang một ô kế tiếp. Ta thấy rằng, khi tác động 1 xung lên  $m$  ( $m=1$ ) thì chu trình hoạt động của thiết bị sẽ bắt đầu chuyển từ ô có trạng thái 0 ( $m=0$  và  $a=0$ ) sang ô đánh dấu "\*", rơ le sẽ thay đổi trạng thái và chuyển từ giá trị 0 sang giá trị 1. Do vậy ô này tương ứng với một trạng thái quá độ rất ngắn (vài phần sec). Ta sẽ đặt giá trị  $F=1$  trong ô này hoặc  $F$  có thể sau vài phần sec có thể lấy giá trị 1. Sự hoạt động vẫn thỏa mãn nếu ta lấy giá trị của ô này bằng 0.

Khi tác động vào biến  $a$  sẽ dẫn chúng ta đến ô đánh dấu "•", rơ le thay đổi trạng thái và chuyển từ giá trị 1 sang giá trị 0. Đó cũng là một trạng thái quá độ và cũng tương tự như trên, ô này có thể lấy giá trị 0 hoặc 1 (\*\*).

Tuy vậy chúng ta cần chú ý là khi một trạng thái quá độ nằm giữa 2 trạng thái ổn định có giá trị khác nhau thì có thể lấy các giá trị 0 hoặc 1, còn nếu giữa 2 trạng thái ổn định có cùng giá trị thì nó lấy chính giá trị ổn định đó.

Chú ý: Một ô có trạng thái quá độ là ô nằm kề với đường biên hoặc đường kẻ đậm và có mũi tên chỉ chu trình cắt ngang chúng.



- Xác định phương trình của X:

+ Rơ le X chuyển sang trạng thái 1 khi chu trình làm việc chuyển tới ô có đánh dấu "\*". Do vậy ô này và tất cả các ô khác ở phía bên phải phải bằng 1 trừ ô có đánh dấu "•".

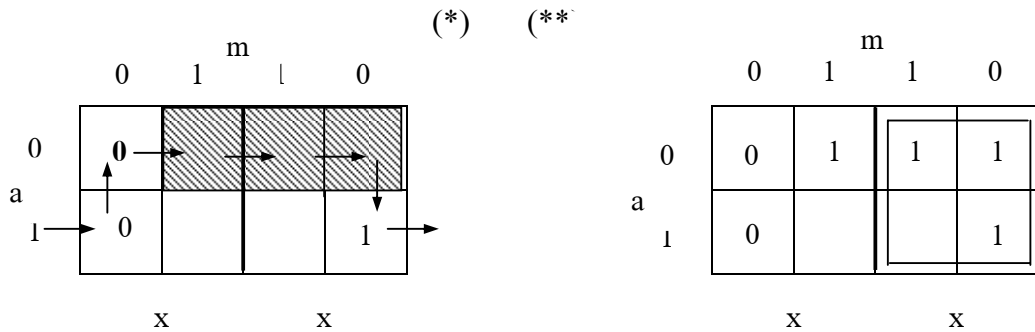
+ Gạch chéo các ô có X=1 và nhóm các ô gạch chéo này cho dù nội dung của nó là bao nhiêu. Ta có (\*).

$$X = a.m + a.x = a(m+x).$$

- Xác định phương trình của F:

Với F, ta lấy các ô có giá trị 1 bằng cách nhóm hoặc không nhóm các ô có giá trị 0 hay các ô trống. Ta có (\*\*).

$$F = x$$

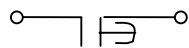
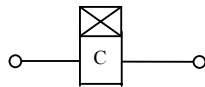


#### d. Phần tử nhớ

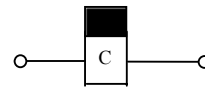
\* Rơ le thời gian

Đây là một phần tử nhớ kiểu 2 trạng thái 0 và 1, tuy nhiên sẽ tồn tại một trạng thái khá dài quá độ - gồm có loại đóng chậm và ngắt chậm.

Ký hiệu:



Rơ le đóng chậm



Rơ le ngắt chậm

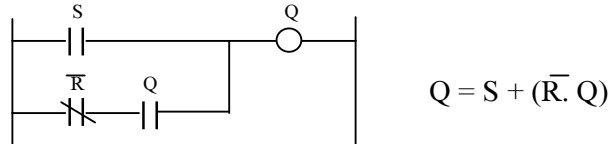
\* Các mạch lật (Flip-Flop) Trật

Mạch lật là các phần tử có khả năng nhớ 1 trong 2 trạng thái 0 hoặc 1. Nó gồm có một hoặc một số đầu vào điều khiển và hai đầu ra ở trạng thái ổn định Q và /Q.

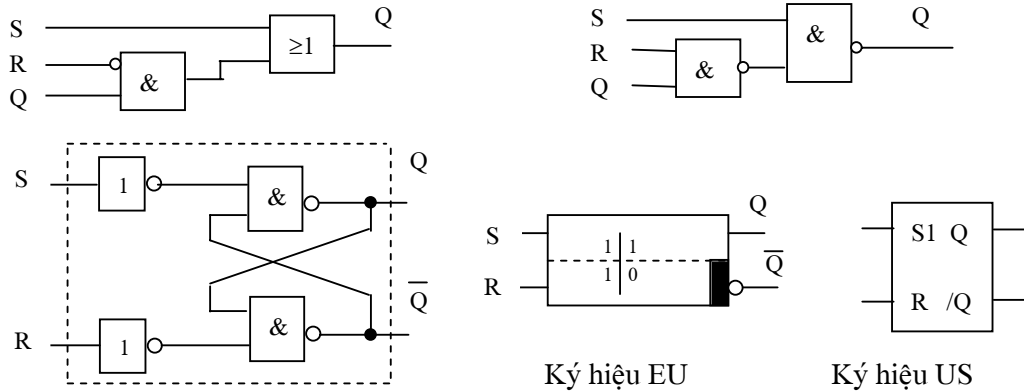
- Mạch lật SR

Mạch SR Flip-Flop có thể được thực hiện theo kiểu cổng NAND với phần tử trật là cổng SET hoặc kiểu NOR với phần tử trật là cổng RESET.

Từ sơ đồ mạch điều khiển, ta có:



Biểu diễn theo mạch số và biến đổi, ta có:

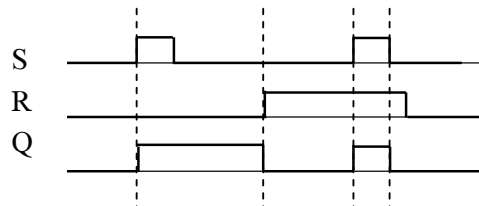


S = SET Đặt giá trị 1 (ON)

R = RESET Trở về 0 (OFF)

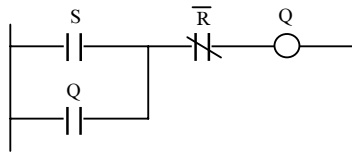
Ta có bảng trạng thái và biểu đồ xung của loại Flip-Flop SR có SET trật:

S	R	$Q_n$
0	0	$Q_{n-1}$
1	0	1
0	1	0
1	1	1



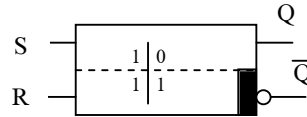
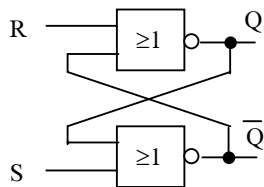
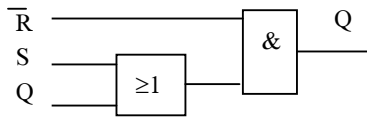
Mạch lật SR theo kiểu cổng NOR với RESET trật

Ta có sơ đồ điều khiển như sau:

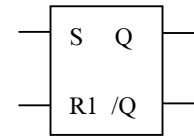


$$Q = (S+Q).\bar{R}$$

Biểu diễn bằng mạch số và biến đổi, ta có



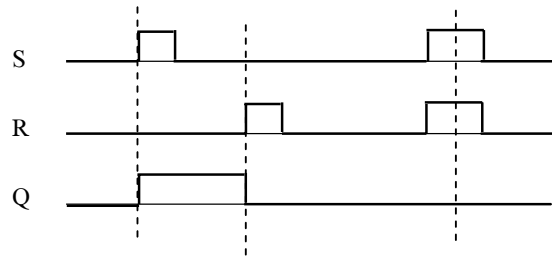
Ký hiệu EU



Ký hiệu US

Ta có bảng trạng thái và biểu đồ xung SR Flip-Flop RESET trội như sau:

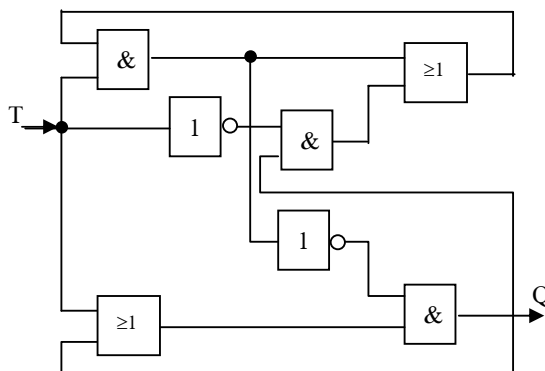
S	R	$Q_n$
0	0	$Q_{n-1}$
1	0	1
0	1	0
1	1	0



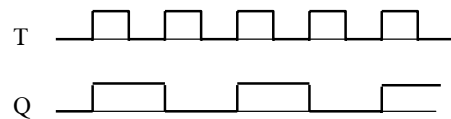
- Mạch lật kiểu T:

Tín hiệu vào là tín hiệu xung, nó được sử dụng trong các bộ đếm và bộ ghi.

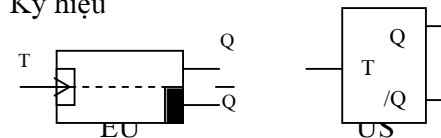
Mạch logic của nó được biểu diễn như sau:



Biểu đồ xung:



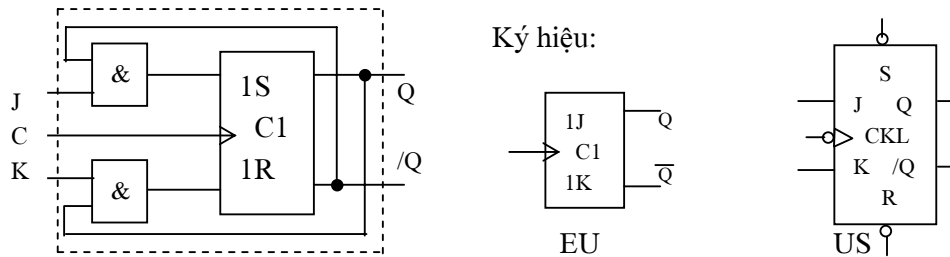
Ký hiệu



*- Mạch lật JK*

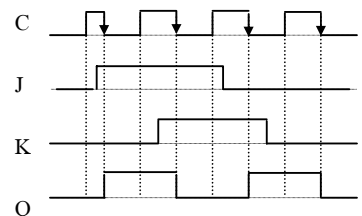
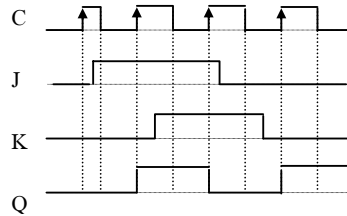
Flip -Flop kiểu JK gồm có 2 cổng vào J,K tương ứng với SET, RESET và 1 xung C, 2 cổng ra Q và /Q. Điều khác nhau giữa JK và SR là ở chỗ có thể kết hợp với mọi tín hiệu ở cổng vào đều cho phép.

Sơ đồ mạch logic của JK:



Bảng trạng thái và biểu đồ xung của JK:

C	J	K	$Q_n$
↓	0	0	$Q_{n-1}$
↓	0	1	0
↓	1	0	1
↓	1	1	⊗

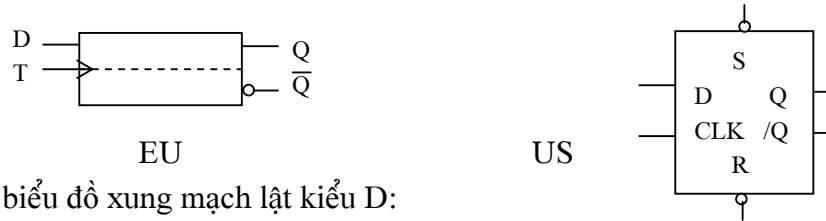


Chú ý: ⊗ Thay đổi trạng thái      Thay đổi TT ở sườn tăng  
 Thay đổi TT ở sườn giảm

*- Mạch lật D*

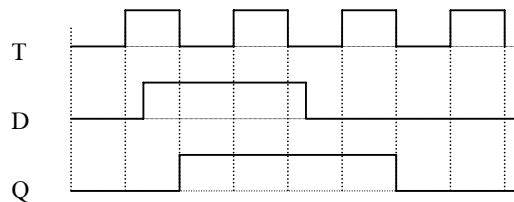
Mạch lật kiểu D có 1 tín hiệu điều khiển là D, tín hiệu T và 2 đầu ra Q và /Q. Nó được sử dụng trong các thanh ghi dịch trong kỹ thuật điều khiển.

Ký hiệu:



Bảng trạng thái và biểu đồ xung mạch lật kiểu D:

T	D	$Q_n$
↓	1	1
↓	0	0
		$Q_{n-1}$





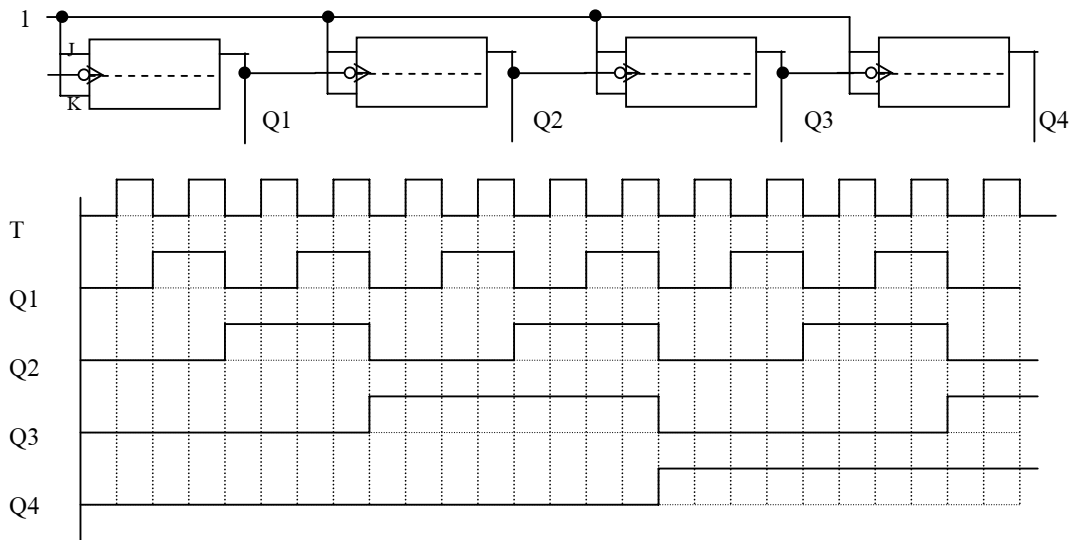
e. Các toán tử logic ứng dụng vào bộ đếm và bộ ghi

- Nguyên tắc đếm:

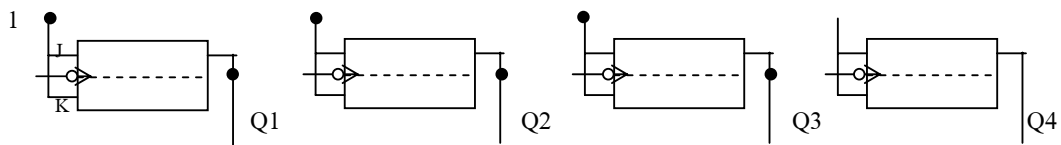
Sử dụng một mạch lật JK trong trường hợp cho  $J.K = 1$ , Khi đó trạng thái đầu ra sẽ thay đổi theo giá trị của xung T. Như vậy có thể coi mỗi mạch JK là một bộ chia đôi.



- Bộ đếm không đồng bộ



- Bộ đếm đồng bộ



- Thanh ghi dịch (Shift Register)

Thanh ghi dịch là 1 bộ nhớ rất quan trọng trong các hệ chuỗi kế tiếp đồng bộ, bao gồm 1 loạt các bộ nhớ cơ sở nối tiếp nhau. Nội dung tin chứa trong thanh ghi sẽ được dịch chuyển từng bước 1 sang trái hay phải theo chu trình khi có 1 xung ra lệnh dịch chuyển. Có thể biểu diễn sự làm việc của thanh ghi dịch như sau :

Ta gọi :  $b_i$  là bộ nhớ thứ  $i$  và  $b_{i+1}$  là bộ nhớ kế tiếp.

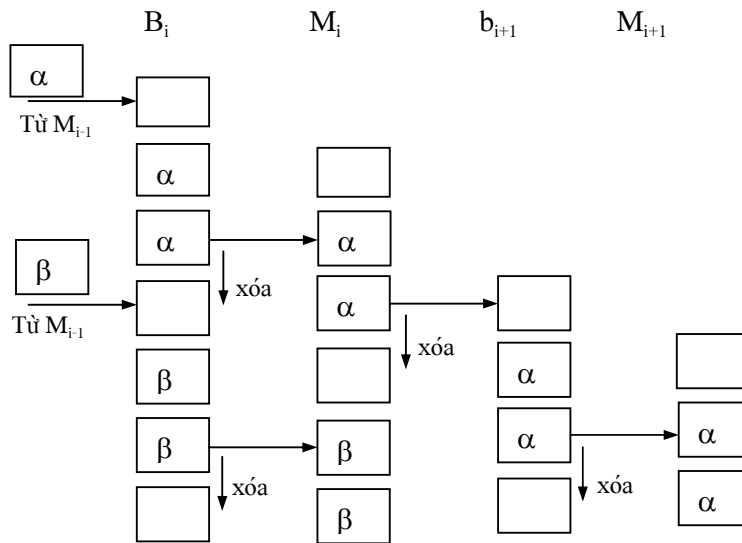
$M_i$  là bộ nhớ phụ giữa 2 bộ nhớ  $b_i$  và  $b_{i+1}$ .

$\alpha; \beta$  : thông tin nhị phân cần dịch chuyển.

Quá trình xảy ra sau 4 bước :

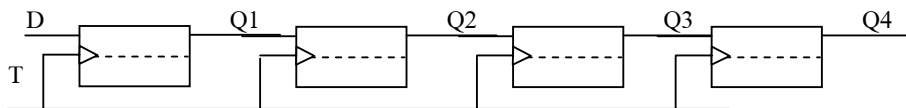
1. Chuyển tin  $\alpha$  trong bộ nhớ thứ  $b_i$  sang  $M_i$ .
2. Xóa nội dung tin chứa trong  $b_i$
3. Xóa nội dung tin  $\alpha$  từ  $M_i$  sang  $M_{i+1}$ .
4. Xóa nội dung tin chứa trong  $M_i$ .

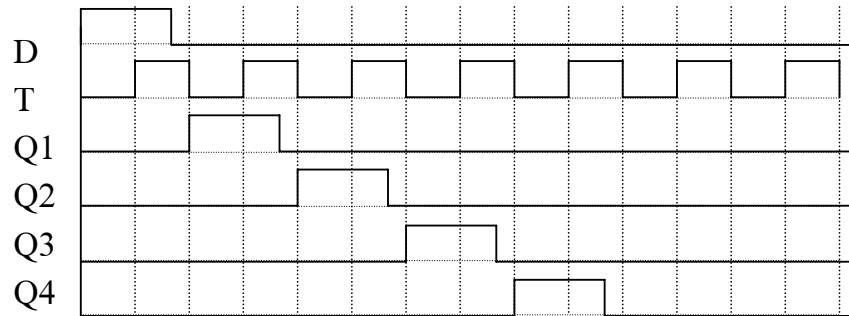
Các chu kỳ trên lại được tiếp tục. Nhờ bộ nhớ phụ  $M_i$  mà các thông tin nhị phân thực hiện được việc dịch chuyển đồng thời và không dẫm lên nhau :



Hình 3.1 : Sơ đồ hoạt động của thanh ghi dịch

Ví dụ về bộ ghi sử dụng 4 mạch lật kiểu D với 2 trạng thái 4 bit



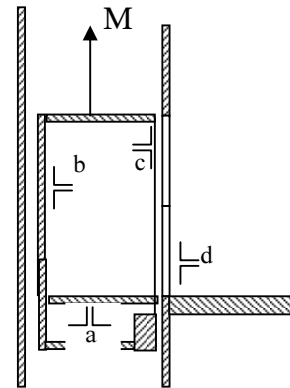


### 3.3.6. Một số ví dụ ứng dụng

#### a. Các bài toán logic tổ hợp

Bài toán 1. Thiết lập phương trình logic điều khiển thang máy theo nguyên tắc hoạt động như sau:

Khi cửa thang máy đóng kín ( $c=1$ ) và không có người trong thang máy ( $a=0$ ) thì tác động lên nút gọi thang máy ở bên ngoài ( $d$ ) mới có tác dụng. Khi có người vào bên trong thang máy thì tiếp điểm ( $a$ ) mới đóng ( $a=1$ ) và khi đó nếu tác động vào nút gọi tầng cần đến ( $b$ ) và cửa đã đóng kín ( $c=1$ ) thì mới có tác dụng. Mọi tác động lên các nút ấn bên ngoài hay bên trong thang máy sẽ không có tác dụng khi cửa chưa được đóng kín.



Xác định phương trình logic trong trường hợp khi chưa có người ở trong thang máy mà nút ấn gọi tầng ( $b$ ) vẫn có tác dụng và cả trong trường hợp không có tác dụng.

Ta lập ma trận Cácno

Từ ma trận ta thấy, đây là bài toán logic tổ hợp và việc giải bài toán được tiến hành theo các nguyên tắc tối thiểu hàm.

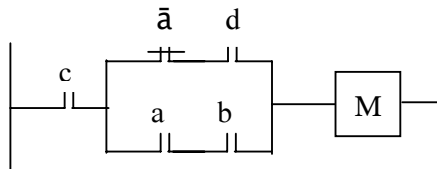
Trường hợp khi không có người trong thang máy thì nút ấn gọi tầng  $b$  không có tác dụng:

$$M = a.b.c.d + a.b.c.\bar{d} + a.b.c.d + a.b.c.d$$

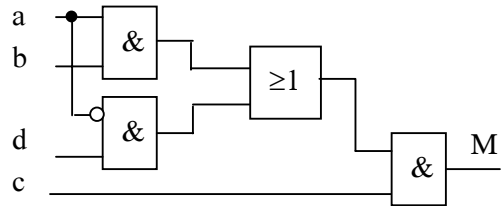
Tối thiểu mạch logic, ta có:

$$M = c(\bar{a}.d + a.b)$$

Ta có sơ đồ tiếp điểm và mạch số:



		ac			
		00	01	11	10
bd	00	0	0	0	0
	01	0	1	0	0
	11	0	1	1	0
	10	0	x	1	0



Trường hợp thứ 2 khi không có người trong thang máy ta ấn nút gọi tầng vẫn có tác dụng.

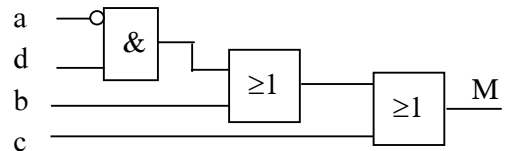
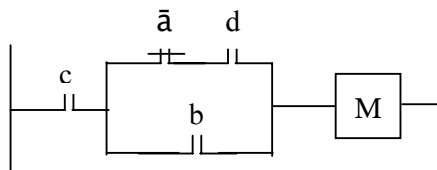
Tác phương trình logic:

$$M = a.b.c.d + a.b.c.\bar{d} + a.b.c.d + a.b.c.d + a.b.c.d$$

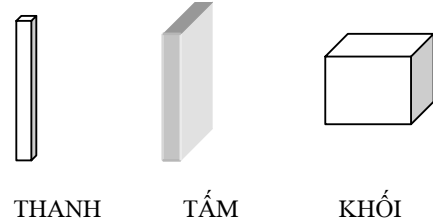
Sử dụng các phương pháp tối thiểu, ta có:

$$M = c(\bar{a}.d + b)$$

Sơ đồ tiếp điểm và sơ đồ mạch số được biểu diễn như sau:

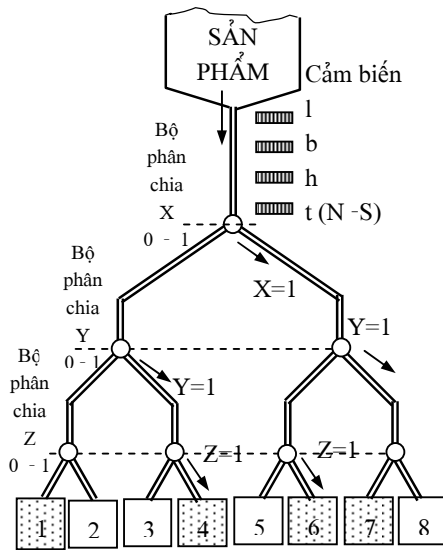


Bài toán 2. Dây chuyền phân loại tự động các sản phẩm có dạng thanh (có 1 cạnh dài và 2 cạnh ngắn), dạng tấm (có 2 cạnh dài và 1 cạnh ngắn) và dạng khối (có 3 cạnh dài). Các cạnh được bố trí các cảm biến để theo dõi và đồng thời phát hiện các chi tiết dạng tấm có bị từ tính hoặc không.



Hãy thiết lập các TT logic cho hệ thống.

Ta có thể bố trí hệ thống phân loại theo nguyên tắc sau đây:



l	b	h	t	Thùng chứa	X	Y	Z
0	0	0	0	7	1	1	0
0	0	0	1	7	1	1	0
0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	6	1	0	1
0	1	1	1	7	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	6	1	0	1
1	0	1	1	7	1	1	0
1	1	0	0	6	1	0	1
1	1	0	1	7	1	1	0
1	1	1	0	4	0	1	1
1	1	1	1	4	0	1	1

Ta có các ký hiệu sau:

- Chiều dài l:      l = 1 cạnh dài      l = 0 cạnh ngắn
- Chiều rộng b:      b = 1 cạnh dài      b = 0 cạnh ngắn
- Chiều cao h:      h = 1 cạnh dài      h = 0 cạnh ngắn
- Từ tính t(N-S):      t = 1 có từ tính      t = 0 không có từ tính

Các chi tiết sau khi qua bộ cảm biến theo dõi sẽ đi qua bộ phân chia X, Y, Z và đi vào các thùng chứa tương ứng.

Giả sử các chi tiết dạng thanh (có một cạnh dài và 2 cạnh ngắn) được chứa vào thùng chứa số 1.

Các chi tiết dạng khối (có 3 cạnh dài) chứa vào thùng chứa số 4.

Các chi tiết dạng thanh (có 2 cạnh dài) và không có từ tính chứa vào thùng 6.

Các chi tiết còn lại sẽ chứa vào thùng số 7

Các thùng 2,3,5,8 để trống

Lập ma trận Karnaugh cho hàm X, Y, Z:

	lb	00	01	11	10
ht	00	1	0	1	0
	01	1	0	1	0
	11	0	1	0	1
	10	0	1	0	1

X

	lb	00	01	11	10
ht	00	1	0	0	0
	01	1	0	1	0
	11	0	1	1	1
	10	0	0	1	0

Y

	lb	00	01	11	10
ht	00	0	0	1	0
	01	0	0	0	0
	11	0	0	1	0
	10	0	1	1	1

Z

Tối thiểu hàm logic của X, Y, Z ta có:

$$X = \bar{l}\bar{b}\bar{h} + \bar{l}b\bar{h} + l\bar{b}\bar{h} + l\bar{b}h$$

$$= \bar{b}(\bar{l}\bar{h} + l\bar{h}) + b(\bar{l}\bar{h} + l\bar{h}) = \bar{b}(l\oplus h) + b(l\oplus h) = b\oplus(l\oplus h)$$

$$Y = l.b.h + b.h.t + l.b.t + \bar{l}\bar{b}.h + l.b.t$$

$$= l.b(t+h) + h.t(b+l) + l.b.h$$

$$Z = l.b.\bar{t} + l.b.h + l.h.\bar{t} + b.h.\bar{t} = l.b(\bar{t}+h) + h.\bar{t}(l+b)$$

Biểu diễn mạch tiếp điểm hay mạch số các hàm X, Y, Z.

### b. Các bài toán logic tuần tự

Bài toán 1: Có một máy cắt tole điều khiển tự động theo nguyên tắc sau:

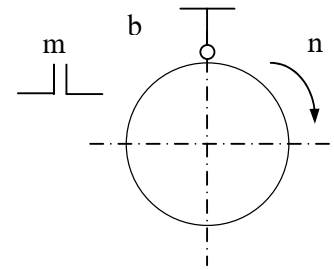
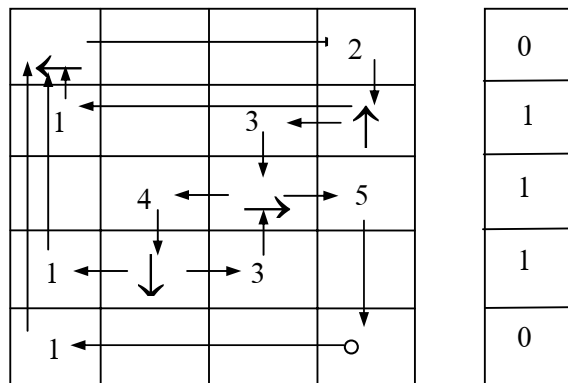
Ở trạng thái ban đầu thì đầu cắt ở trạng thái treo (ở vị trí trên cùng). Khi tác động vào nút ấn m thì ly hợp điện từ E sẽ đóng và truyền chuyển động quay sang trục khuỷu và làm cho đầu mang dao cắt chuyển động đi xuống. Trên trục khuỷu, người ta gắn một cam và nó quay đồng thời với trục. Khi trục mang cam quay được hơn một nửa vòng thì cam trên trục tác động lên công tắc b và trục tiếp tục quay để nâng đầu dao lên trên mặc cho lúc đó m đã trở về 0 (m=0). Khi cam quay đến vị trí ban đầu thì công tắc b trở về 0 (b=0) và trục dừng lại ở điểm trên cùng.

Nếu trong khi trục quay mà cam chưa tác động vào công tắc b và m đã trở về 0 (m=0) thì trục sẽ dừng lại. Để cho trục tiếp tục quay thì cần tác dụng vào m.

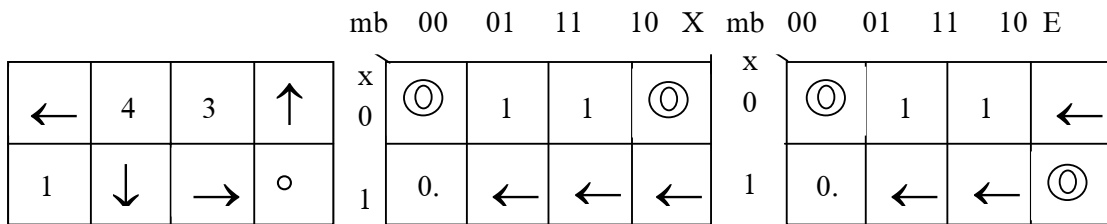
Trục vẫn dừng lại tại vị trí trên cùng khi b chuyển từ 1 sang 0 mặc cho m khi đó vẫn bằng 1.

*Giải theo phương pháp biến trạng thái*

mb 00 01 11 10 E



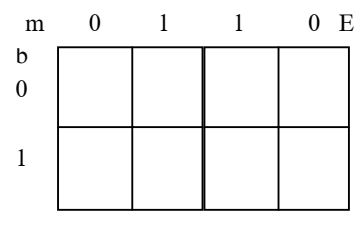
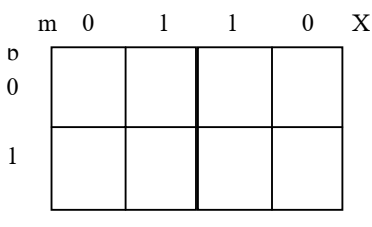
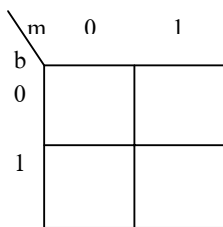
Ma trận rút gọn:



Tối thiểu, ta có :  $X = b + m.x$

$E = b + m.x^{-}$

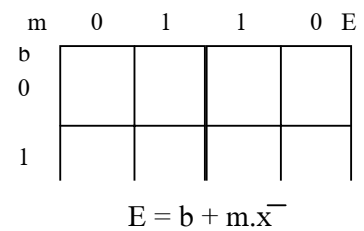
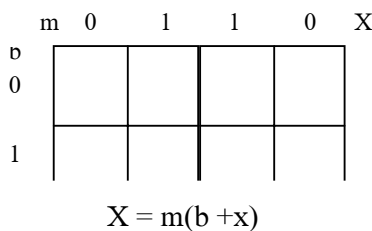
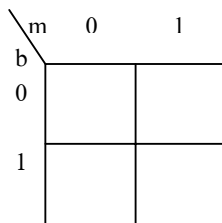
*Giải theo phương pháp trực tiếp sử dụng trực tiếp ma trận Karnaugh:*



$X = b + m.x$

$E = b + m.x^{-}$

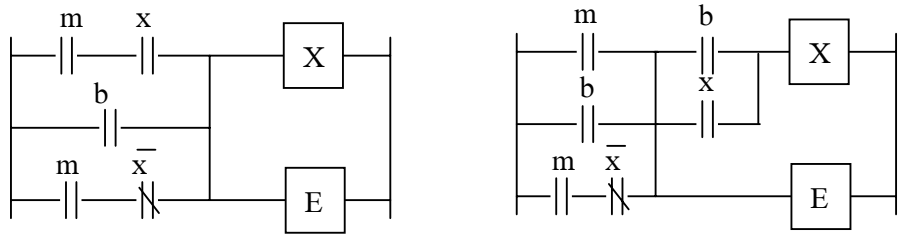
Trường hợp thứ 2:



$X = m(b + x)$

$E = b + m.x^{-}$

Sơ đồ tiếp điểm



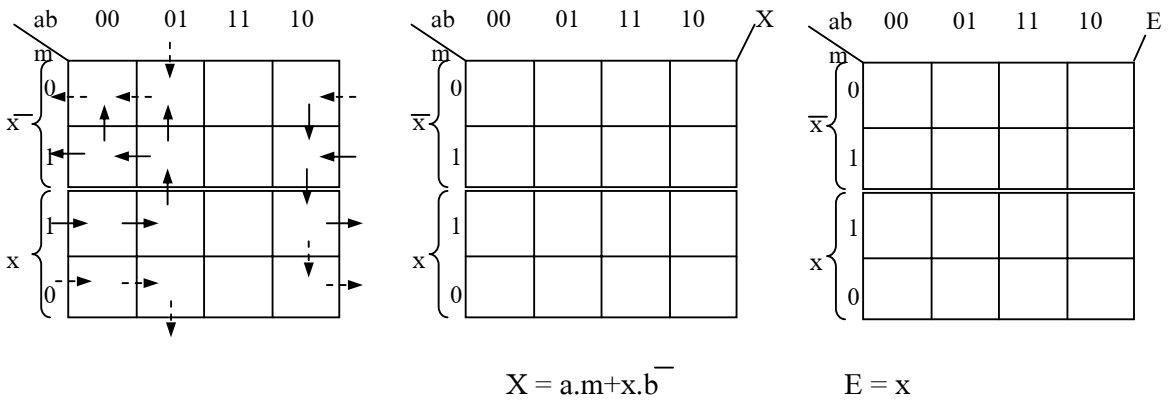
Bài toán 2: Có một xi lanh thủy lực được điều khiển bằng van điện E. Ở trạng thái nghỉ, ta có  $a = 1$ ;  $b = 0$ ;  $m = 0$  và  $E = 0$ .

Đóng tiếp điểm  $m$  thì  $E = 1$  và làm cho Piston chuyển động sang phải ( $a = 0$ ) và cuối cùng sẽ tác động lên  $b$  ( $b = 1$ ), khi  $b = 1$  thì sẽ tác động đến  $E$  và  $E = 0$  sẽ làm cho Piston chuyển động về bên trái và cuối hành trình tác động vào  $a$  ( $a = 1$ ). Nếu khi đó  $m$  vẫn đang đóng ( $m = 1$ ) thì quá trình chuyển động của Piston lại tiếp tục.

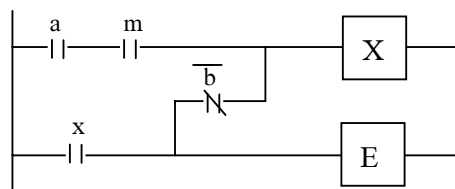
Nếu tiếp điểm  $m$  đã mở ( $m = 0$ ) trước khi Piston chuyển động sang trái và tác động lên  $a$  thì Piston sẽ dừng lại và kết thúc chu trình.

Chú ý: Tiếp điểm  $m$  có thể mở ( $m = 0$ ) trước khi Piston chuyển động sang phải và tác động vào  $b$ .

Giải:



Sơ đồ tiếp điểm





## IV. GRAFCET- CÔNG CỤ MÔ TẢ MẠCH LOGIC TUẦN TỰ

### 4.1. Khái niệm về GRAFCET:

*GRAFCET* viết tắt của các dòng chữ bằng tiếng Pháp : *Grphe Fonctionel de Commande Etapes - Transition* (chuỗi chức năng điều khiển các giai đoạn - chuyển tiếp) do 2 cơ quan AFCET (liên hiệp Pháp về tin học kinh tế và kỹ thuật) và ADEPA (tổ chức nhà nước về sự phát triển nền sản xuất tự động hóa) hợp tác soạn thảo ra vào tháng 11/1982 và đã đăng ký ở tổ chức tiêu chuẩn hóa Pháp dưới mã hiệu NFCO 3190.

Trên cơ sở này, một tiêu chuẩn CEI đã được soạn thảo.

#### 4.1.1. Hoạt động theo trình tự logic của thiết bị công nghiệp

Khi thiết kế một hệ thống sản xuất tự động hay khi vận hành, khai thác hoặc bảo trì, sửa chữa thì điều quan trọng nhất là cần phải nắm được chức năng hoạt động chung của hệ thống và hiểu kỹ được tính năng của từng phần tử trong hệ thống cũng như một số vấn đề liên quan đến trình tự hoạt động của các phần tử đó.

Có thể có một cách mô tả chúng bằng lời, nói cách khác là người ta sẽ liệt kê sự hoạt động của hệ thống và chú dẫn về sự hoạt động của các phần tử theo trình tự của thời gian. Nếu người viết diễn đạt được một cách rõ ràng và súc tích thì người vận hành, bảo trì ... có thể nắm bắt được một cách dễ dàng đối với những hệ thống không có quá nhiều giai đoạn hay quá nhiều phần tử. Còn nếu hệ thống phức tạp thì rõ ràng điều này sẽ rất khó có thể hình dung được.

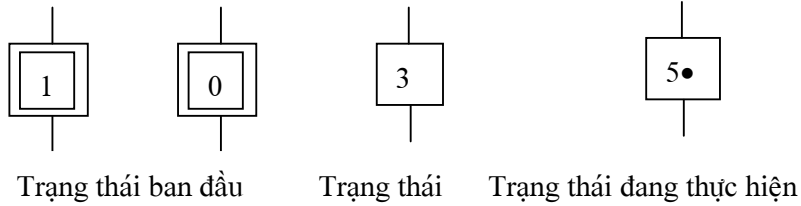
Ngôn ngữ *GRAFCET* đã hỗ trợ cho chúng ta rất nhiều trong việc mô tả sự hoạt động của các thiết bị và các phần tử của hệ thống một cách rõ ràng và chặt chẽ.

#### 4.1.2. Một số ký hiệu được sử dụng trong GRAFCET:

*a. Trạng thái* : là biểu thị một sự hoạt động nào đó của phần tử điều khiển và trong 1 trạng thái, các hành vi điều khiển là không thay đổi. Một trạng thái có thể là hoạt động hay không hoạt động và điều khiển là thực hiện các mệnh đề logic chứa các biến vào và các biến ra để hệ thống có được 1 trạng thái ổn định trong hệ.

Trạng thái ban đầu : 2 ô vuông lồng vào nhau và có đánh số 0 hay 1.

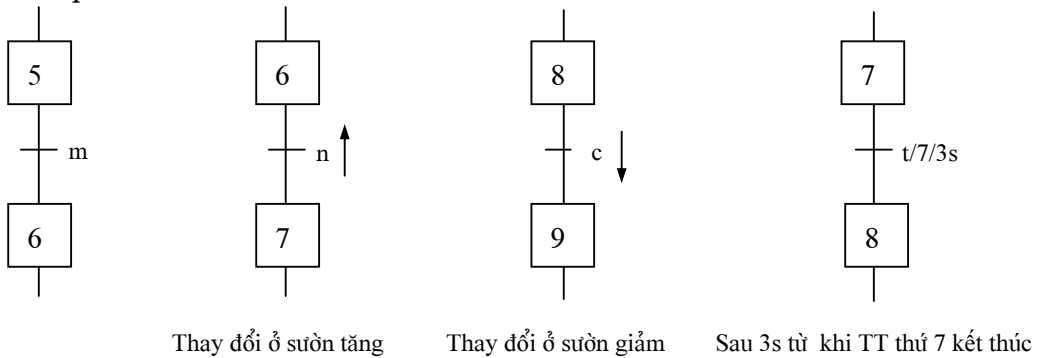
Trạng thái : 1 ô vuông và có đánh số. Nếu là trạng thái đang hoạt động có thêm dấu "." bên cạnh.



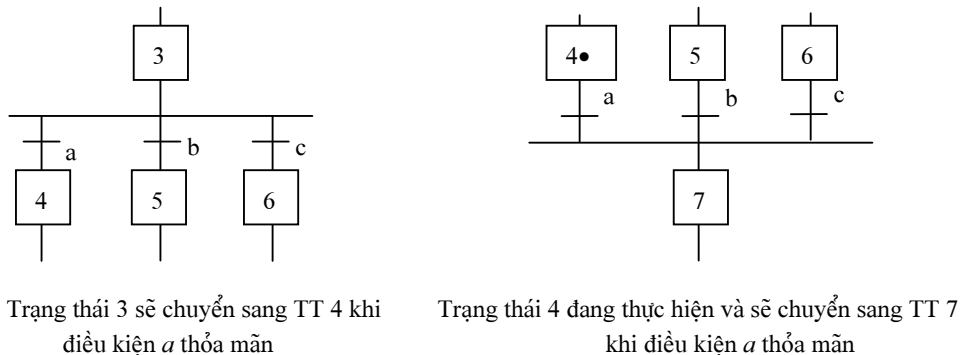
*b. Chuyển tiếp:*

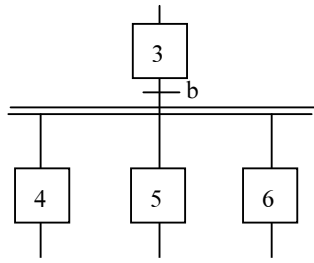
Việc chuyển tiếp từ trạng thái này sang trạng thái khác được thực hiện khi các điều kiện được thỏa mãn. Nó được biểu diễn bằng tuyến thực hiện và 1 biến hay một số biến được biểu diễn bằng nét ngang ở giữa 2 trạng thái.

Bình thường việc chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác được thực hiện theo trình tự từ trên xuống qua các trạng thái khi các chuyển tiếp giữa chúng được thỏa mãn. Tuy nhiên việc chuyển trạng thái này chỉ được thực hiện khi trạng thái trước đó đã kết thúc và nó sẽ được thực hiện ở phía sườn tăng hay giảm của biến chuyển tiếp hay sau 1 số giây kể từ khi tác động cuối cùng của trạng thái trước đó được thực hiện. Việc lựa chọn chu trình hoạt động trong nhiều chu trình được thực hiện bằng các chuyển tiếp khi phân nhánh. Có thể có loại phân nhánh đơn và phân nhánh kép.

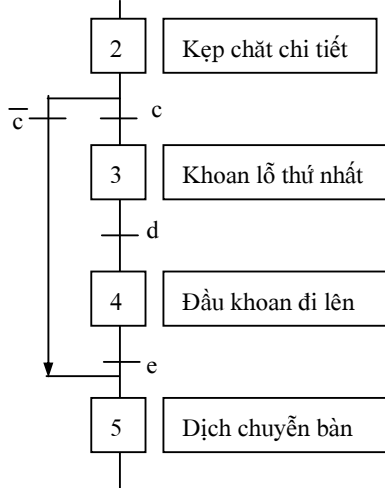


*c. Điều kiện phân nhánh.*

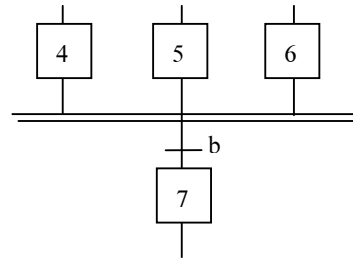




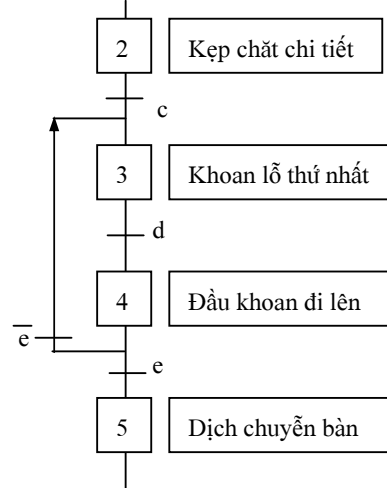
Trạng thái 3 sẽ chuyển sang TT 4,5,6 đồng thời khi điều kiện  $b$  thỏa mãn



Nếu  $\bar{c}$  thỏa mãn thì chu trình sẽ được thực hiện theo 2-5 (bỏ qua các giai đoạn 3,4). Ngược lại nếu  $c$  thỏa mãn thì chu trình sẽ thực hiện theo 2,3,4,5



Trạng thái 4,5,6 sẽ chuyển sang TT 7 khi điều kiện  $b$  thỏa mãn



Nếu  $\bar{e}$  thỏa mãn thì chu trình sẽ được thực hiện theo 2,3,4,3,4 (trở lại giai đoạn 3,4.) Ngược lại nếu  $e$  thỏa mãn thì chu trình sẽ thực hiện theo 2,3,4,5

#### 4.1.3. Ví dụ về ứng dụng Grafset.

Bài toán 1: Khoan 2 lỗ trên chi tiết.

Chi tiết gia công được gá lên đồ gá. Nếu tác động lên "m" ( $m=1$ ) thì piston N sẽ tiến hành kẹp chặt chi tiết. Sự kẹp chặt sẽ được kết thúc cho đến khi cảm biến "a" tác động :  $a=1$ .

Khi  $a=1$ ,  $M_1$  sẽ quay và đầu khoan đi xuống (piston D đi xuống). Khi đạt được chiều sâu khoan sẽ tác động lên d và  $d=1$ . Sau 1 thời gian dừng D để làm bóng lỗ ( $t=2s$ ) đầu khoan đi lên và kết thúc hành trình khi tác động vào e ( $e=1$ ).

Khi  $e=1$ , P đẩy đồ gá về phía trước cho đến khi chạm b ( $b=1$ ). Khi  $b=1$ , D lại đi xuống và chu trình lại được tiếp tục để khoan lỗ 2 cho đến khi  $e=1$ .

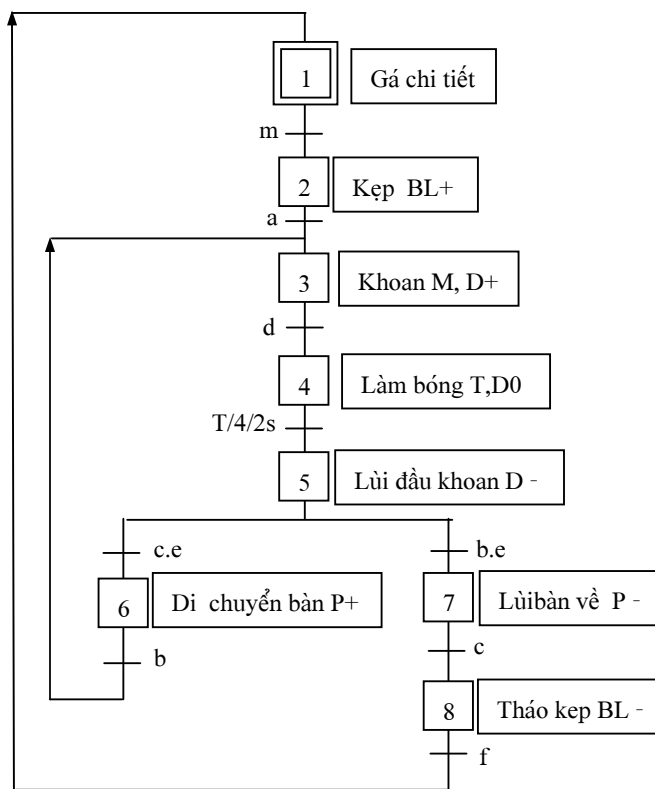
Khi  $e=1$ , P lại đẩy đồ gá lùi về cho đến khi chạm c ( $c=1$ ). Khi  $c=1$ , N lùi về để tháo chi tiết cho đến khi tác động f ( $f=1$ ) thì kết thúc chu trình.  $M_1$  sẽ dừng và để tháo lắp chi tiết gia công.

Và chu trình sẽ lại được tiếp tục nếu ta lại tác động vào "m".

Chú ý : Sau giai đoạn 5, chương trình có thể sẽ chuyển sang giai đoạn 6 hay giai đoạn 7 tùy thuộc vào điều kiện chuyển tiếp b, c, e được thỏa mãn.

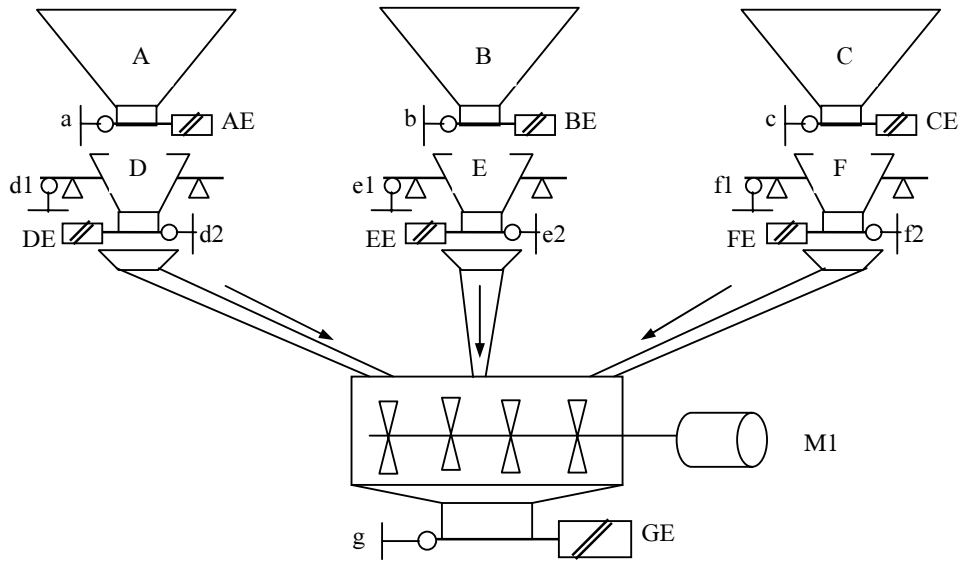
Nếu  $b.e=1$ , có nghĩa là  $b=1$  và  $e=1$ . Điều đó tương ứng với quá trình khoan xong lỗ thứ 2 và trạng thái 5 sẽ chuyển sang 7 và 8 rồi kết thúc chu trình.

Nếu  $c.e=1$  thì có nghĩa nó vừa khoan xong lỗ 1 và cần phải dịch chuyển bàn đến vị trí số 2, tức là cho đến khi  $b=1$ .



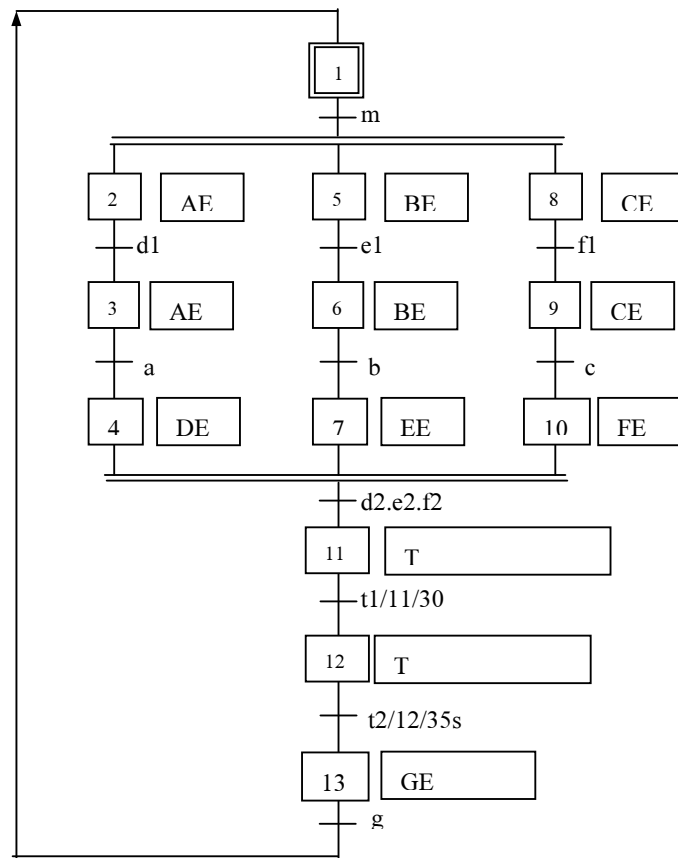
Bài toán 2: Hệ thống định lượng, phối liệu và trộn tự động:

Có 3 phễu chứa 3 loại bột khác nhau A, B, C. Các phễu định lượng tương ứng với 3 loại bột đó. Khi đủ khối lượng theo yêu cầu nó sẽ tác động lên các cảm biến  $d_1, e_1, f_1$



Khi các cảm biến này tác động (=1), tương ứng có các van điện AE, BE, CE đóng cửa phễu chứa tương ứng A, B, C.

Khi van phễu chứa đóng sẽ tác động lên các cảm biến tương ứng a, b, c và các cảm biến này sẽ tác động đến van điện DE, EE và FE tương ứng để mở cửa phễu định lượng D, E, F cho liệu xuống thùng khuấy G. Khi mở cửa các phễu định lượng sẽ tác động đến  $d_2$ ,  $e_2$ ,  $d_2$  và sẽ đóng điện động cơ khuấy M (khi cả 3 cảm biến đều tác động). Động cơ M sẽ quay và sau khoảng thời gian  $t_1$  để trộn bột đều, sẽ chuyển sang trạng thái ra liệu bằng cách tác động vào van điện GE để mở cửa ra



liệu. Động cơ M tiếp tục quay tiếp trong khoảng thời gian  $t_2$  để đẩy hết liệu ra ngoài rồi sau đó van GE sẽ đóng lại và đóng cửa thùng trộn. Khi đóng, nó tác động lên g và chu trình trộn kết thúc.

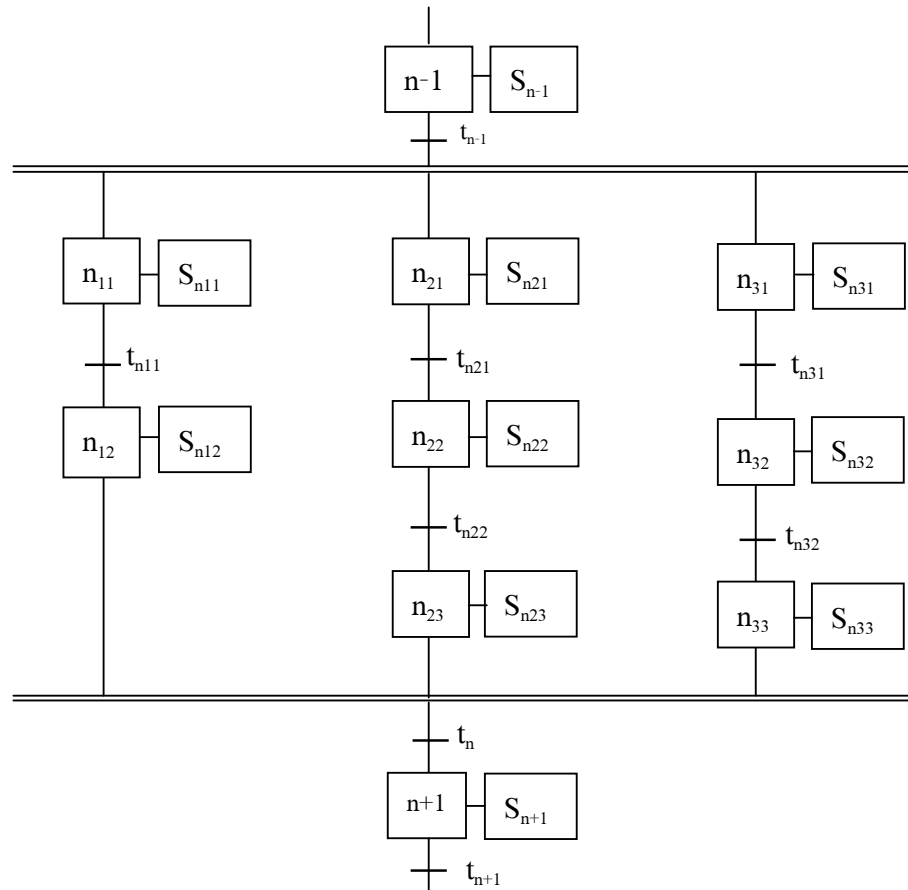
Muốn tiếp tục, ta khởi động lại chu trình bằng cách bấm "m".

#### 4.1.4. Điều kiện phân nhánh

##### a. Phân nhánh đồng thời (vô điều kiện)

Cho một đoạn GRAFCET biểu diễn quá trình hoạt động của một hệ thống công nghiệp theo nguyên tắc sau: Trong quá trình hệ thống đang thực hiện trạng thái hoạt động  $n-1$  với lệnh thực hiện là  $S_{n-1}$  và nếu có chuyển tiếp  $t_{n-1}$  khả tiếp sẽ chuyển sang thực hiện trạng thái  $n_{11}, n_{21}, n_{31}$  đồng thời.

Trên mỗi nhánh độc lập sẽ thực hiện lần lượt các trạng thái trong nhánh đó cho đến trạng thái cuối cùng của từng nhánh. Sau đó nhập về làm một nhò chuyển tiếp  $t_n$  để tới trạng thái chung  $n+1$ .



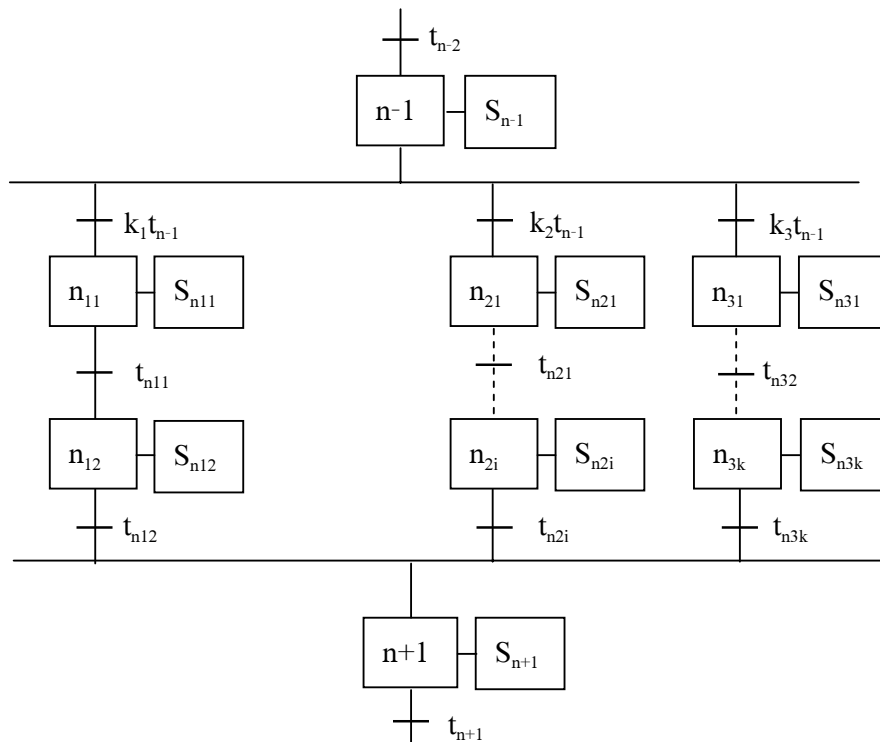
Để mô tả trường hợp trên, chúng ta có sơ đồ GRAFCET trên. Trong sơ đồ này cần chú ý là khi rẽ thành các nhánh đều từ một chuyển tiếp chung là  $t_{n-1}$ .

Khi nhập về làm một phải có điều kiện là tất cả nhánh đã thực hiện xong trạng thái cuối của mình, cho dù trạng thái cuối của từng nhánh có thể tới không cùng lúc (tùy thuộc vào số lượng các trạng thái của mỗi nhánh) rồi mới qua chuyển tiếp  $t_n$  để về chung trạng thái kế là  $n+1$ .

Như vậy,  $t_{n-1}$  là chuyển tiếp để rẽ các nhánh và  $t_n$  là chuyển tiếp để các nhánh nhập về làm một, và đều nằm ở ngoài phạm vi các nhánh (trên sơ đồ, chúng ở ngoài miền giới hạn bởi các đường gạch kép).

*b. Trường hợp rẽ nhánh lựa chọn (có điều kiện)*

Khác với trên, các nhánh được rẽ đồng thời với cùng một chuyển tiếp  $t_{n-1}$ , còn ở đây việc rẽ vào nhánh nào được chọn lựa theo điều kiện tương ứng bằng các chuyển tiếp riêng rẽ cho từng nhánh.



Sơ đồ cho thấy muốn rẽ vào nhánh nào thì phải có điều kiện tương ứng, thể hiện bằng các chuyển tiếp ở đầu mỗi nhánh. Chúng điều khiển việc rẽ vào nhánh mong muốn. Từ một nhánh, khi trở về dòng chính sau khi đã thực hiện xong trạng thái cuối cùng của mình thì dùng chuyển tiếp ở cuối mỗi nhánh. Như vậy, chuyển tiếp để rẽ vào từng nhánh và trở về dòng chính đều ở trong phạm vi của nhánh. Trên sơ đồ, chúng đều ở trong miền giới hạn bởi các đường gạch đơn. Ở đây, dùng vạch đơn với ý không rẽ song song đồng thời vào các nhánh mà chỉ rẽ vào một trong các nhánh tùy điều kiện chọn lựa, đó là các  $k_i$ .

#### 4.1.5. Điều khiển hệ thống

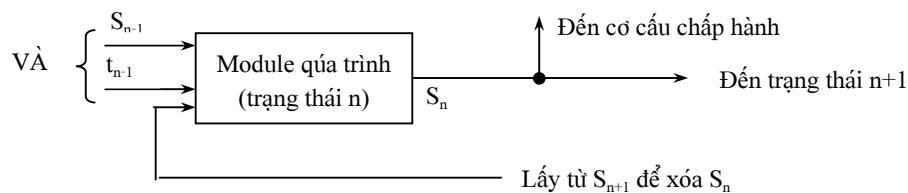
Sau khi mô tả hoạt động của hệ thống bằng sơ đồ GRAFCET, ta thấy rõ việc điều khiển hệ thống là thực hiện lần lượt các trạng thái, mà thực chất là tạo ra các lệnh điều hành si ở từng trạng thái, lần lượt từ trạng thái này đến trạng thái kế tiếp.

Sơ đồ GRAFCET còn cho thấy rõ một trạng thái  $n$  muốn thực hiện, xuất ra lệnh điều hành  $s_n$ , thì phải có 2 điều kiện bắt buộc là :

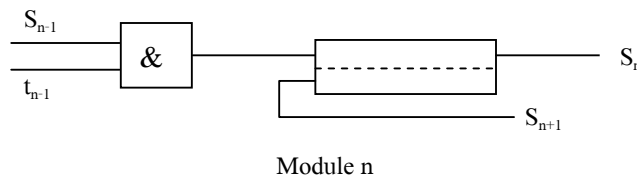
- Có trạng thái  $n-1$  với lệnh  $s_{n-1}$ .
- Có chuyển tiếp  $t_{n-1}$  từ trạng thái  $n-1$  sang trạng thái  $n$ .

Khi có  $s_n$ , điều khiển thực hiện trạng thái  $n$ , thì tới phiên mình  $s_n$  sẽ cùng với chuyển tiếp  $t_n$ , tạo ra  $s_{n+1}$  để thực hiện trạng thái  $n+1$ . Lệnh điều hành  $s_{n+1}$  đồng thời còn dùng để xóa lệnh điều hành  $s_n$  của trạng thái  $n$  kế trước.

Hình dưới mô tả cách thức điều khiển đó cho trạng thái  $n$ , gọi là một modun quá trình.

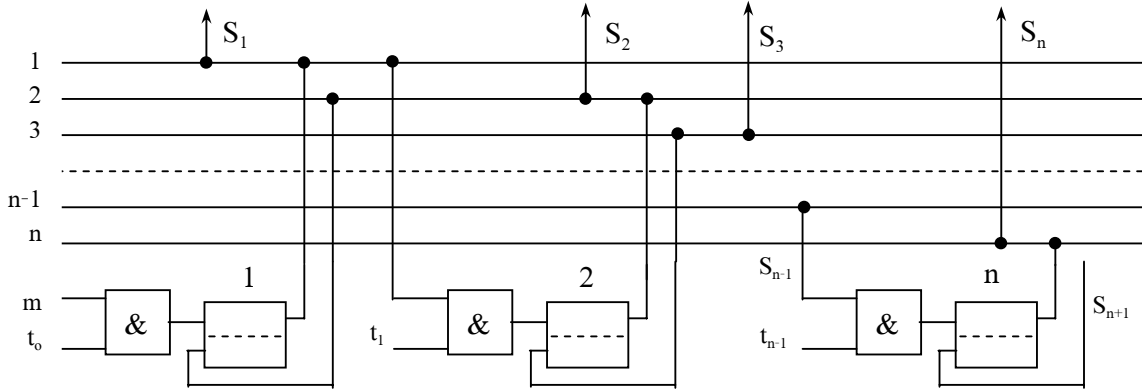


Ứng dụng các phần tử logic cơ bản ta dễ dàng thực hiện một modun như thế.





Một hệ thống gồm nhiều trạng thái sẽ được điều khiển bởi một dãy nối tiếp các modun quá trình. Dưới đây là một cách mô tả mạch điều khiển hệ thống n trạng thái theo phương pháp GRAFCET bởi một dãy nối tiếp của các modun.



Một hệ thống các đường nằm ngang, đánh số từ 1 đến n, mô tả đường tín hiệu các đầu ra tương ứng S1 đến Sn của các trạng thái 1 đến n. Phía trên các đường này là các lệnh Si hướng về bộ phận chấp hành để thực hiện các trạng thái, còn phía dưới mô tả các modun quá trình, được đánh số từ 1 đến n, ứng với các trạng thái 1 đến n.

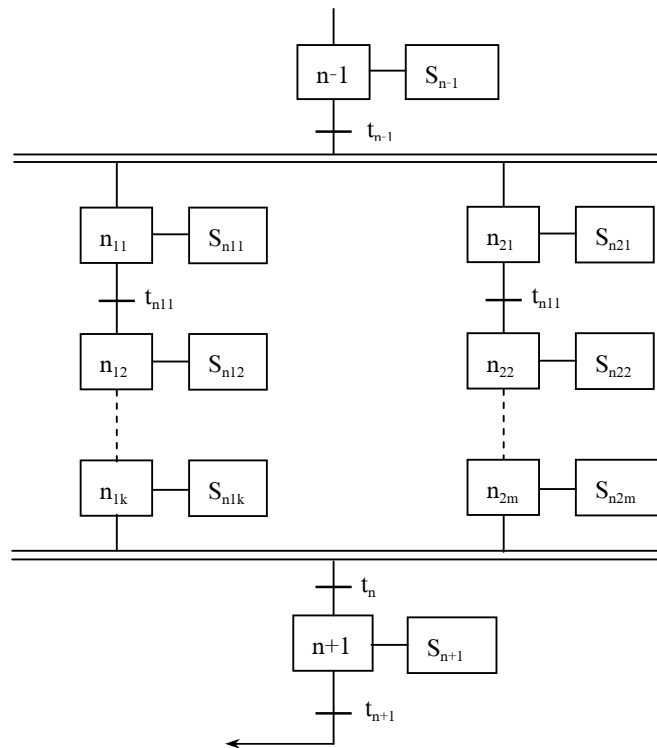
Hoạt động của các modun như sau :

Tín hiệu khởi động m sẽ cùng với chuyển tiếp to là chuyển tiếp từ trạng thái nghỉ sang trạng thái 1, đi qua phần tử VÀ, kích thích bộ nhớ xuất ra tín hiệu gửi về đường tín hiệu 1 để đưa ra lệnh chấp hành S1.

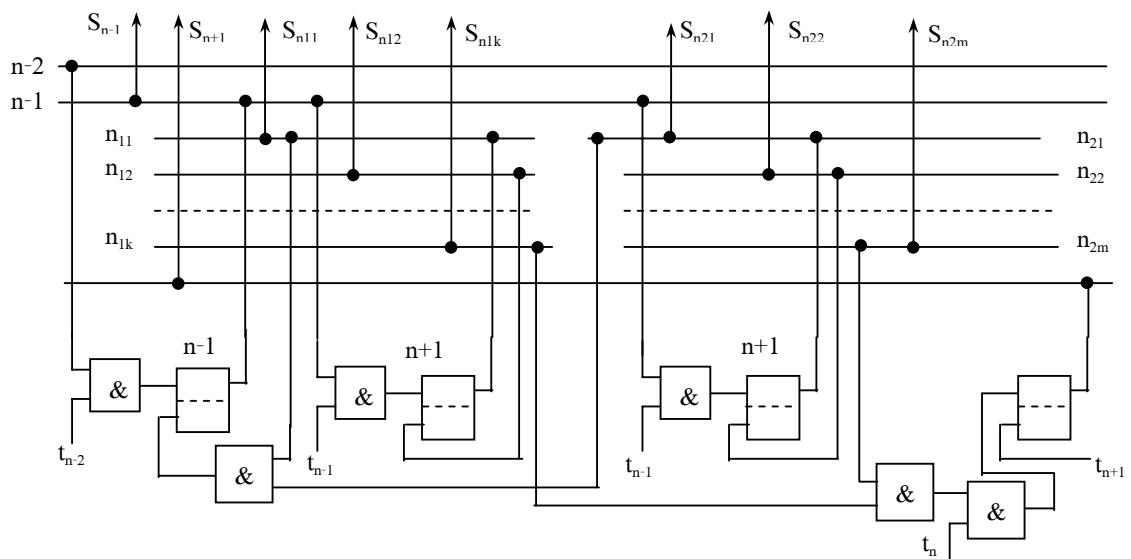
Khi đã có S1, nó sẽ cùng với chuyển tiếp t1 (từ trạng thái 1 --> 2) đi qua phần tử VÀ ở modun thứ 2, xuất ra tín hiệu gửi về đường tín hiệu 2. Từ đó, một mặt đưa ra lệnh chấp hành S2, mặt khác quay lại modun 1 để xóa tín hiệu S1 ở bộ nhớ 1. Tương tự S2 sẽ được xóa bởi S3 đẩy từ đường tín hiệu 3.

Tại modun cuối cùng, Sn-1 cùng với tn-1 qua phần tử VÀ kích thích bộ nhớ, xuất ra tín hiệu về đường tín hiệu n để đưa ra lệnh chấp hành Sn. Trạng thái n là trạng thái cuối, do đó không có lệnh Sn+1 để xóa Sn mà dùng trực tiếp tn - là chuyển tiếp từ trạng thái n trở về trạng thái nghỉ.

a. Trường hợp rẽ nhánh song song



Từ trạng thái  $n-1$  qua chuyển tiếp  $t_{n-1}$  rẽ thành 2 nhánh hoạt động riêng rẽ. Nhánh thứ nhất có  $k$  trạng thái từ  $n(11)$  đến  $n(1k)$ , nhánh thứ 2 có  $m$  trạng thái từ  $n(21)$  đến  $n(2m)$ . Sau khi mỗi nhánh thực hiện xong trạng thái cuối của mình thì qua chuyển tiếp  $t_n$  để nhập lại về trạng thái  $n+1$  rồi trở về trạng thái nghỉ qua chuyển



tiếp  $t_{n+1}$ . Với trường hợp này ta có mạch điều khiển sau : Điều cần quan tâm ở đây là việc điều khiển khi rẽ nhánh và khi nhập về.

Tại chỗ rẽ nhánh, ta dùng tín hiệu  $s_{n-1}$  cùng với chuyển tiếp  $t_{n-1}$  để rẽ nhánh, qua phần tử VÀ của hai môđun  $n(11)$ ,  $n(21)$  rồi vào bộ nhớ tạo ra  $S_{n(11)}$  và  $S_{n(21)}$ . Tiếp ngay sau đó ta dùng chúng qua phần tử VÀ về xóa  $S_{n-1}$  tại bộ nhớ thuộc môđun  $n-1$ . Có nghĩa là sau khi xuất hiện trạng thái đầu của cả hai nhánh mới xóa lệnh  $S_{n-1}$  của trạng thái kế trước.

Tại chỗ nhập từ các nhánh  $n+1$ , ta cùng đồng thời cả hai trạng thái cuối  $S_{n(1K)}$ ,  $S_{n(2m)}$  của hai nhánh, qua phần tử VÀ rồi cùng với chuyển tiếp  $t_n$  qua một phần tử VÀ khác, kích thích bộ nhớ xuất ra  $S_{n+1}$  ở trạng thái  $n+1$ . Nghĩa là chỉ sau khi cả 2 nhánh đã thực hiện xong trạng thái cuối thì mới chuyển tiếp đến  $n+1$  thông qua chuyển tiếp  $t_n$ .

Để xóa  $S_{n+1}$  nhằm trở về trạng thái nghỉ, ta dùng trực tiếp chuyển tiếp  $t_{n+1}$ .

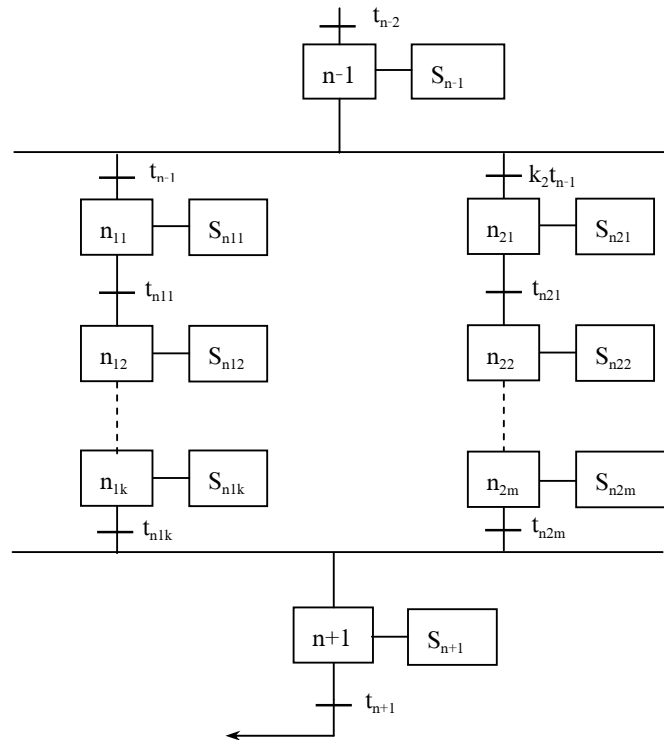
*b. Trường hợp rẽ nhánh lựa chọn*

Chẳng hạn bắt đầu từ trạng thái  $n-1$  rẽ nhánh : - khi có  $k_1 t_{n-1}$  : sang nhánh 1 : - khi có  $k_2 t_{n-1}$  sang nhánh 2 : rồi về trạng thái  $n+1$  ở dòng chính và trở lại trạng thái nghỉ qua chuyển tiếp  $t_{n+1}$ . Mạch điều khiển hệ thống này được trình bày dưới đây, chỉ khác trường hợp trước ở chỗ rẽ nhánh và nhập về. Muốn rẽ sang nhánh nào thì dùng chuyển tiếp  $k_i t_{n-1}$  của nhánh đó bằng cách dùng tín hiệu chọn là  $k_1.t_{n-1}$  hoặc  $k_2.t_{n-1}$  (logic VÀ) cùng với lệnh  $S_{n-1}$  thông qua phần tử VÀ ở từng nhánh để vào bộ nhớ và xuất ra  $S_{n(11)}$  hoặc  $S_{n(21)}$  tùy theo điều kiện chọn.

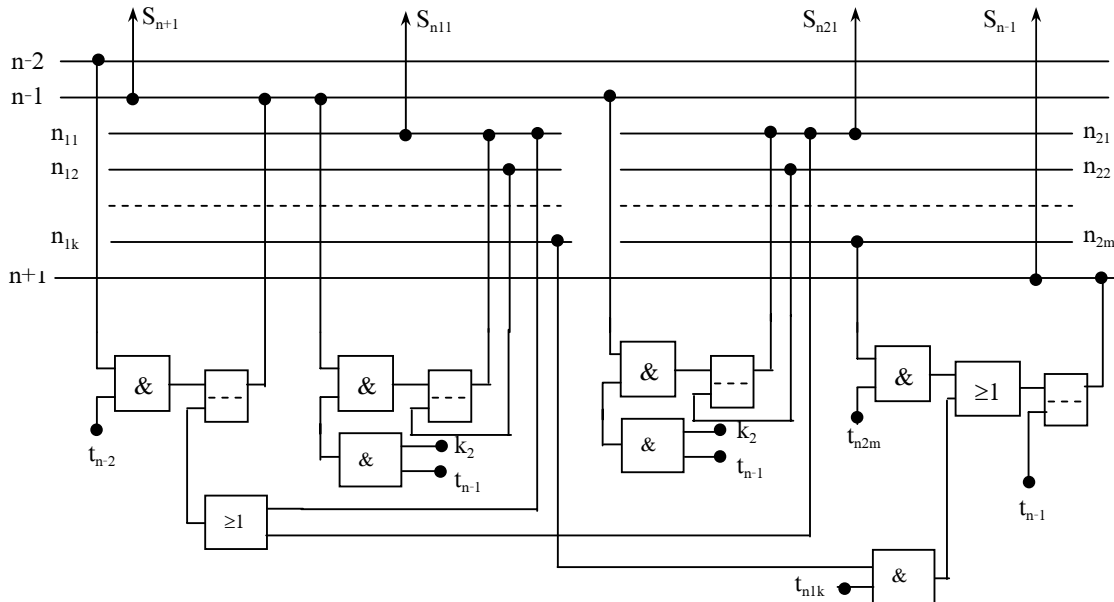
Để xóa lệnh  $S_{n-1}$  sau khi rẽ nhánh, mà ở đây có thể là nhánh 1 hoặc nhánh 2, cho nên phải dùng cách đưa  $S_{n(11)}$ ,  $S_{n(21)}$  thông qua phần tử HOẶC để đưa về xóa  $S_{n-1}$ .

Khi từ nhánh nhập về dòng chính, tức là về trạng thái  $n+1$  phải tính đến khả năng có thể là từ nhánh 1 hoặc từ nhánh 2.

Nếu từ nhánh 1, thì phải



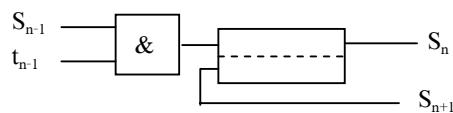
dùng lệnh điều hành  $S_{n(1k)}$  của trạng thái cuối nhánh 1, cùng với chuyển tiếp  $t_{n(1k)}$  thông qua phần tử VÀ. Nếu từ nhánh 2 nhập về thì dùng  $S_{n(2m)}$  và  $t_{n(2m)}$  thông qua phần tử VÀ thứ 2. Đầu ra của 2 phần tử VÀ này đi vào phần tử HOẶC để kích thích bộ nhớ, xuất ra lệnh  $S_{n+1}$  trở về dòng chính.



#### 4.1.6. Điều khiển hệ thống bằng số ghi tuần tự

Theo phương pháp GRAFCET, một hệ thống tự động tuần tự được mô tả bằng một dãy nối tiếp của các trạng thái. Mỗi trạng thái được mô tả bằng một moduyn và có thể dùng các phần tử logic có bản để điều khiển.

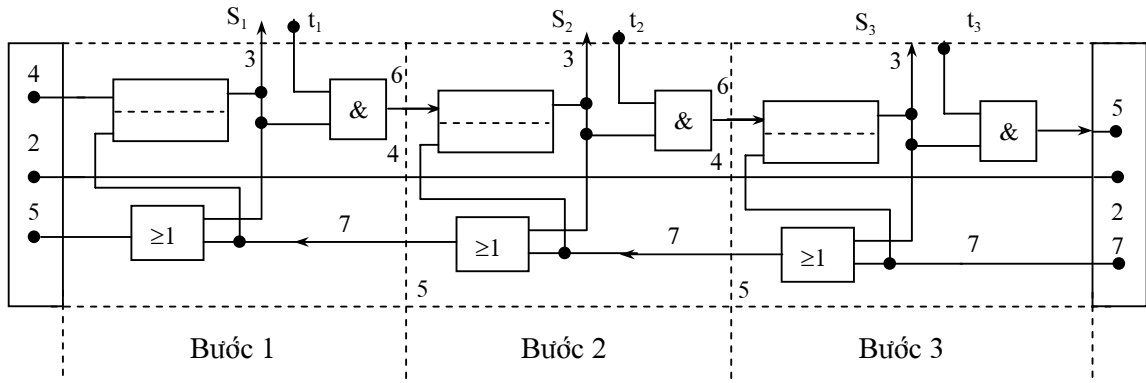
Chẳng hạn để điều khiển một trạng thái n ta dùng một moduyn có sơ đồ sau :



Tạo ra lệnh điều khiển  $S_n$  của trạng thái n bằng logic VÀ của  $S_{n+1}$  và  $t_{n-1}$ . Sau đó, khi bước sang trạng thái sau là n+1, thì dùng lệnh  $S_{n+1}$  trở về xóa  $S_n$ . Bằng cách đó, nhiều hăng trên thế giới đã chế tạo số ghi tuần tự thực hiện việc điều khiển các trạng thái của hệ thống.

Dưới đây là ví dụ sơ đồ logic của số ghi :

Ở đây trình bày 3 số ghi nối tiếp để điều khiển 3 trạng thái theo các bước 1, 2, 3. Ở đầu và cuối của cụm 3 số ghi có chỗ nối vào ra giao tiếp với bên ngoài. Mỗi số ghi có các phần tử VÀ, HOẶC, NHỚ, (ưu tiên xóa, dù ở cửa 4 có tín hiệu), hoạt động như sau :



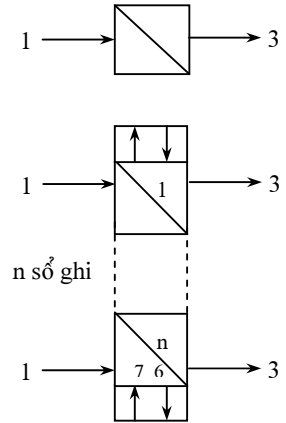
- Lệnh khởi động quá trình đi vào cửa 4, kích thích bộ nhớ của số ghi đầu tiên cho ra lệnh điều khiển  $S_1$ , ở cửa 3 để thực hiện trạng thái 1, đồng thời dẫn đến một trong hai đầu vào của phần tử VÀ rồi chờ ở đó.

- Khi có tín hiệu chuyển tiếp  $t_1$  đi vào cửa 1, phần tử VÀ, do đã có  $S_1$  chờ sẵn sẽ xuất tín hiệu ra cửa 6, đi vào cửa 4 của số ghi kế sau và kích thích bộ nhớ cho ra lệnh điều khiển  $S_2$  và nó được dẫn tới phần tử VÀ để chờ khi có chuyển tiếp  $t_2$  sẽ xuất từ hiệu vào cửa 4 của số ghi tiếp theo.

- Tín hiệu  $S_2$  còn quay về phần tử HOẶC, xuất ra ở cửa 5, đi vào cửa 7 của số ghi kế trước rồi về xóa  $S_1$ . Để xóa  $S_2$  thì dùng  $S_3$  theo cách tương tự.

- Để xóa  $S_3$  ở số ghi cuối cùng, ta dùng chuyển tiếp  $t_3$  đi vào phần tử VÀ, xuất ra cửa 6 rồi nối mạch về cửa 7.

- Cửa số 2 dùng để nối với nguồn mới cho các bộ nhớ.



Thời gian đáp ứng của sổ ghi khoảng 6 ở áp làm việc 4 bar. Sổ ghi tuần tự được chế tạo thành từng khối và có thể ghép với nhau thành một dãy kế tiếp mà không cần có đường nối ngoài. Sổ ghi tuần tự được lý hiệu đơn giản như hình sau :

Trường hợp chỉ có 1 sổ ghi thì 1 là ký hiệu cửa vào số 1 của chuyển tiếp, và 3 là cửa ra số 3 của lệnh điều khiển si ở từng sổ ghi.

Trường hợp một dãy sổ ghi thì có thêm số thứ tự cho các sổ ghi 1,2 ... n và hai đầu giao tiếp. Cửa 2 nối nguồn còn cửa 4 là để khởi động quá trình. Khi sử dụng sổ ghi, có 2 cửa quan trọng nhất là cửa số 1 nối với chuyển tiếp ti, và cửa số 3 dẫn lệnh điều khiển si tới bộ chấp hành.

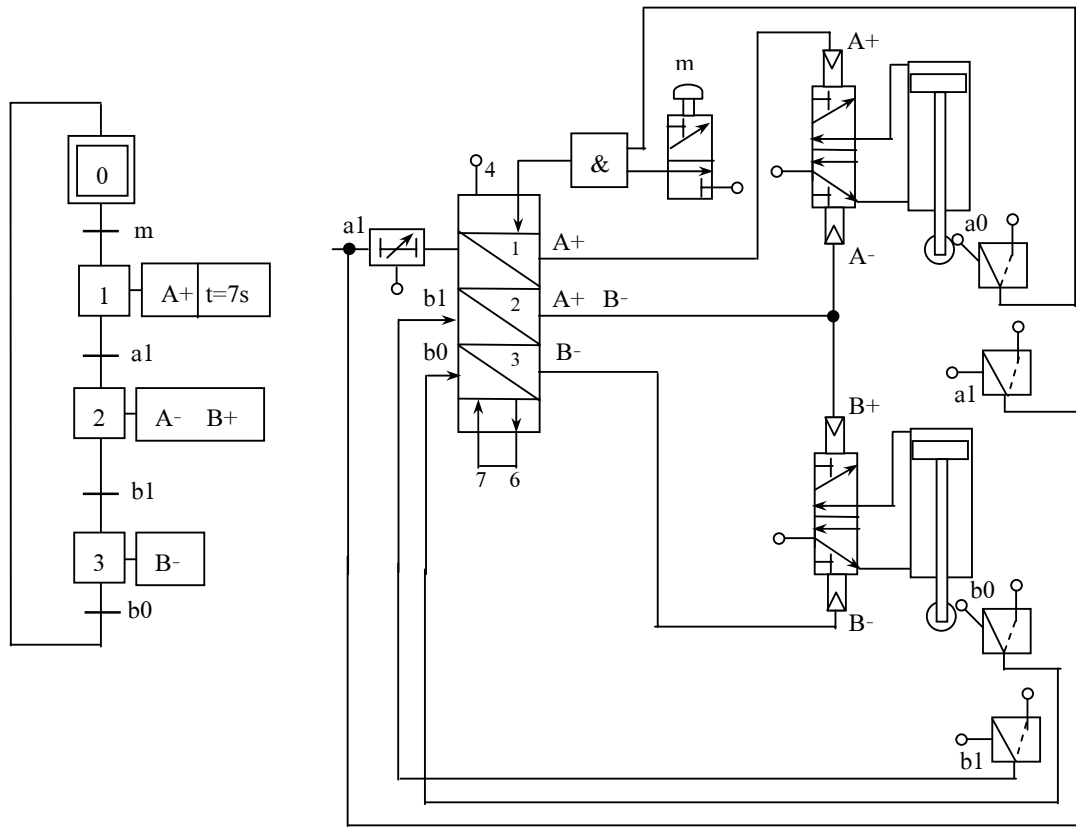
Do đó, quá trình lắp đặt, bảo dưỡng, sửa chữa hệ thống điều khiển rất đơn giản, thuận tiện, khó sai sót.

*.1.7. Ứng dụng sổ ghi tuần tự cho các trường hợp cơ bản.*

Sau đây xem xét các hệ thống tự động cơ bản và việc ứng dụng sổ ghi tuần tự để điều khiển chúng.

*a. Trường hợp không rẽ nhánh (nhánh đơn)*

Một hệ thống có hai pittong khí nén hoạt động theo sơ đồ GRAFCET như hình bên dưới



Có hai pittong A, B hoạt động với 3 trạng thái 1, 2 và 3. Tại điểm đầu và cuối hành trình pittong, đặt các cảm biến  $a_0$ ,  $a_1$  và  $b_0$ ,  $b_1$  để tạo ra các chuyển tiếp.

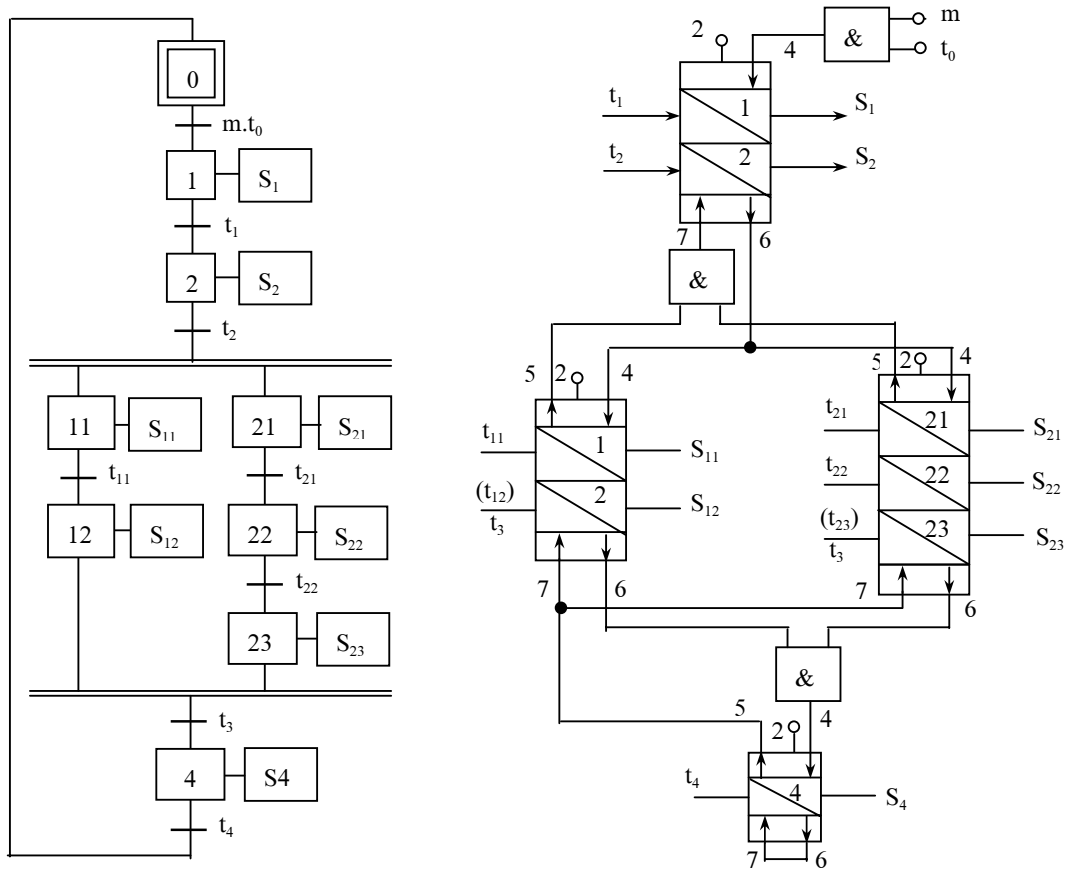
Chú ý rằng, ở trạng thái 1 yêu cầu khi kết thúc trạng thái, phải kéo dài một thời gian  $t = 7s$  mới chuyển sang trạng thái 2. Ở trạng thái 2, lệnh điều khiển A- và B+ được thực hiện đồng thời.

Hình bên phải là mạch điều khiển. Để điều khiển hai pittong A, B hoạt động, dùng 2 van phân phối loại 5/2 có các đầu vào điều khiển A+, A- và B+, B-. Để tạo ra các lệnh van phân phối, dùng ba số ghi tuần tự 1, 2, 3 tương ứng với 3 trạng thái của hệ. Từ trạng thái nghỉ, nhấn van m cùng với chuyển tiếp  $a_0$  qua phần tử VÀ đi vào cửa 4 thì số ghi 1 xuất ra lệnh A+ tới van phân phối để pittong A đi xuống. Ở cuối hành trình của nó, chuyển tiếp  $a_1$  xuất tín hiệu đi qua phần tử trễ - được điều chỉnh  $t = 7s$  theo yêu cầu - rồi mới tác động vào số ghi 1 để số ghi 2 xuất ra lệnh đồng thời đi đến đầu điều khiển A-, B+ của các van phân phối. Khi pittong B đi xuống, chuyển tiếp  $b_1$  sẽ đưa về số ghi 2 làm cho số ghi 3 xuất ra lệnh điều khiển B- đưa pittong B về vị trí ban đầu.

Để đưa toàn bộ hệ thống về trạng thái nghỉ, ta dùng cảm biến bo đưa vào số ghi 3 để xuất tín hiệu ra cửa 6 rồi nối về cửa 7 để xóa lệnh B- của số ghi 3.

*b. Trường hợp rẽ nhánh song song*

Một hệ thống có hoạt động rẽ hai nhánh song song được mô tả trên sơ đồ GRAFCET bên trái, còn bên phải là mạch điều khiển dùng các số ghi tuần tự.



Sau khi thực hiện trạng thái 2 với lệnh  $S_2$ , chuyển tiếp  $t_2$  sẽ làm hệ rẽ thành 2 nhánh, còn chuyển tiếp  $t_3$  làm 2 nhánh nhập về làm một và thực hiện trạng thái 4.

Cần chú ý chỗ rẽ nhánh và nhập về.

Tại chỗ rẽ, khi có chuyển tiếp  $t_2$  đưa vào số ghi 2 thì ở cửa ra 6 của nó sẽ đồng thời tác động vào cửa 4 của số ghi đầu tiên của cả hai nhánh để xuất ra các lệnh  $S_{11}$  và  $S_{31}$  thực hiện việc rẽ nhánh.

Để nhập về trạng thái 4, dùng chuyển tiếp  $t_3$  tác động vào số ghi cuối của cả 2 nhánh để chúng xuất tín hiệu ra cửa 6 rồi cùng dẫn tới phần tử VÀ, từ đó xuất ra lệnh tác động vào cửa 4 của số ghi 4 để có lệnh  $S_4$ . Ta phải dùng phần tử VÀ là để



đảm bảo rằng cả hai nhánh đều thực hiện xong trạng thái cuối từng nhánh, dù chúng có thể so le về thời gian.

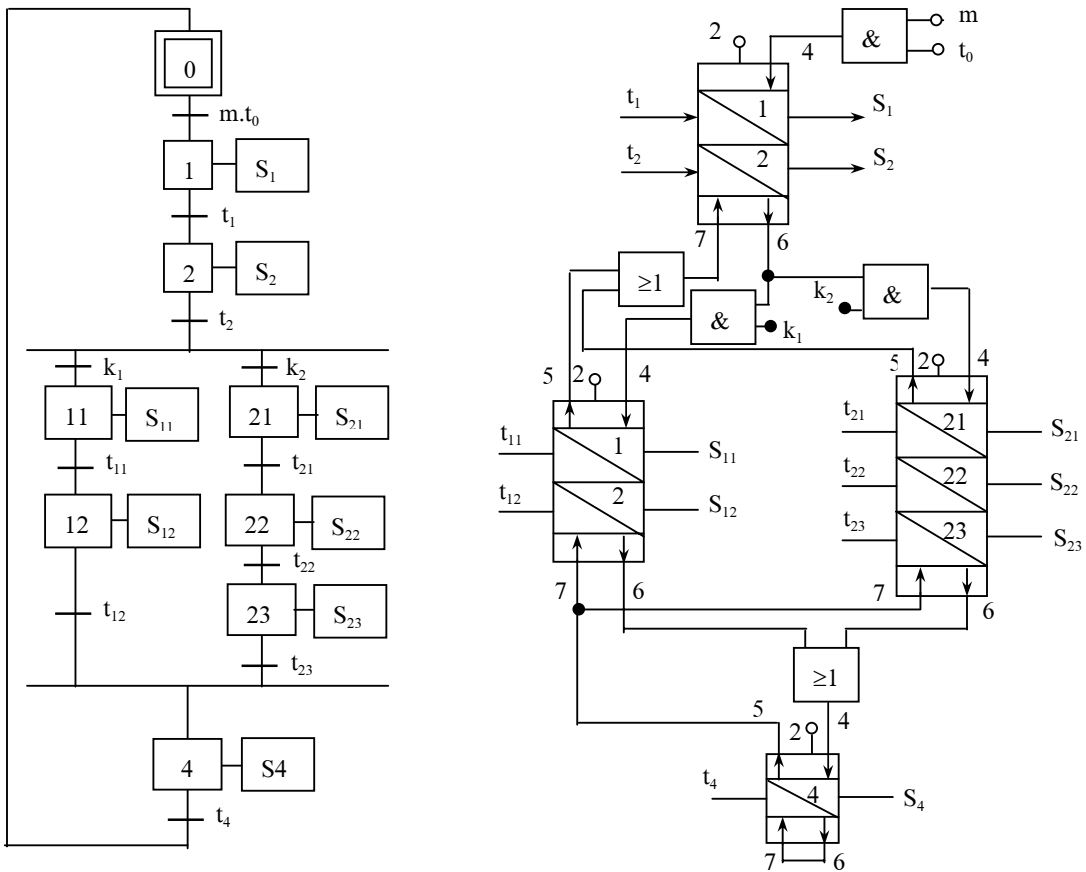
Để xóa lệnh S1 ở số ghi 2 sau khi đã thực hiện việc rẽ nhánh, thì dùng tín hiệu xuất ra của 5 của 2 số ghi đầu của cả 2 nhánh, đưa về phần tử VÀ rồi từ đó xuất tín hiệu vào cửa 7 của số ghi 2 để xóa S<sub>2</sub>. Ở đây dùng phần tử VÀ cùng một mục đích như trên là đảm bảo chỉ khi 2 nhánh cùng thực hiện trạng thái đầu của mình thì mới xóa lệnh S<sub>2</sub>.

Khi nhập về, có lệnh S<sub>4</sub> thì số ghi 4 xuất ra của 5 tín hiệu đồng thời đi vào cửa 7 của hai số ghi cuối từng nhánh để xóa lệnh S<sub>12</sub> và S<sub>23</sub>.

Để trở về trạng thái nghỉ cho toàn bộ hệ thống, dùng chuyển tiếp t<sub>4</sub> kích thích số ghi 4 cho ra tín hiệu ở cửa 6 rồi đưa về cửa 7 để xóa S<sub>4</sub>.

*c. Trường hợp rẽ nhánh có lựa chọn*

Hình bên trái dưới đây mô tả GARFCET hoạt động của một hệ thống tự động có rẽ nhánh lựa chọn. Tùy theo điều kiện lựa chọn K<sub>1</sub> hoặc K<sub>2</sub> mà từ trạng thái 2 rẽ sang nhánh 1 hoặc 2, rồi sau đó về dòng chính.



Hình bên phải là mạch điều khiển. Khi rẽ nhánh, lấy tín hiệu lấy tín hiệu chuyển tiếp  $t_2$  lúc thực hiện xong trạng thái 2 làm tín hiệu kích số ghi 2 xuất ra cửa 6 đi về 2 phần tử và ở 2 nhánh. Tại mỗi phần tử và này nếu có  $K_1$  thì rẽ vào nhánh 1, nếu có  $K_2$  - rẽ vào nhánh 2. Để xóa  $S_2$  thì dùng tín hiệu xuất ra ở cửa 5 của hai số ghi

## V. MẠNG PETRI (PETRI NETS)

### 5.1. Khái quát chung

Đối với một hệ thống sản xuất tự động CIM (Computer Integrated Manufacturing) thì vấn đề tổ chức sản xuất và quản lý sao cho có hiệu quả là một trong những mục tiêu cơ bản nhất. Trong thực tế đã có một số giải pháp cũng như có nhiều nghiên cứu trong lĩnh vực này, trong số đó mạng Petri được xem là một ngôn ngữ mang tính tượng trưng cao và dễ dàng giao tiếp giữa các nhà thiết kế khác nhau trên thế giới cũng như rất thuận lợi và dễ dàng cho người sử dụng. Hơn thế nữa, mạng Petri lại rất được ưa dùng đối với các hệ thống sản xuất cơ khí tự động mà trong đó có robot tham gia vào quá trình cấp phôi liệu cho các máy và thu nhận sản phẩm gia công cùng với một nhà kho kiểu hiện đại.

Mạng petri cho phép người thiết kế được suy nghĩ và lựa chọn trong các khả năng rộng lớn các phương án với một mô hình gần gũi nhất với quá trình công nghiệp. Ngôn ngữ Petri mang bản chất tự nhiên và có thể dễ dàng biểu diễn được tính chất hoạt động của hệ thống sản xuất bằng mô hình hoá.

Trong dây chuyền sản xuất công nghiệp, các thiết bị, máy móc thường hoạt động theo một trình tự logic chặt chẽ nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm và hiệu quả của quá trình sản xuất cũng như an toàn cho người sử dụng và thiết bị. Cấu trúc làm việc tuần tự của dây chuyền đã đưa ra yêu cầu cho điều khiển là điều khiển sự hoạt động thống nhất và đồng bộ của các thiết bị trong dây chuyền. Trạng thái và các hoạt động của các thiết bị trong hệ thống được thực hiện kế tiếp nhau, có nghĩa là trạng thái hoạt động tiếp sau chỉ được thực hiện khi trạng thái hoạt động trước đó đã kết thúc. Việc mô hình hoá và tổng hợp các trạng thái hoạt động của mạch tuần tự thường được sử dụng bằng các hệ thống điều khiển như phương pháp đồ hình trạng thái Mealy hoặc Moore, bảng chuyển trạng thái, Grafcet và mạng Petri. Trong đó Grafcet và mạng Petri được sử dụng rộng rãi nhất trong các hệ thống sản xuất công nghiệp nói chung và lĩnh vực chế tạo cơ khí nói riêng.

Đối với mạng Petri, để biểu diễn sự hoạt động của hệ thống sản xuất công nghiệp, người ta thường sử dụng phương pháp mạng Petri diễn dịch hoặc mạng Petri nhuộm màu để phân tích và điều khiển hệ thống. Các công cụ toán học như ma trận ngẫu nhiên và các phương pháp biểu đồ phân nhánh và các lưu đồ kín có phản hồi ... cũng được sử dụng một cách rộng rãi.

Để có thể nắm bắt được những vấn đề cơ bản mà từ đó có thể tiến hành phân tích, tính toán và thiết kế hệ thống, cần phải đưa ra một số khái niệm và định nghĩa cơ bản nhất cũng như giải pháp tổng quát để phân tích hệ thống một cách toàn diện.

## 5.2. Các định nghĩa và phương pháp phân tích tổng quát

### 5.2.1 Các định nghĩa cơ bản

Mạng Petri (*Petri Nets*) là một kiểu biểu đồ được phân chia thành 2 tập hợp :

- Vị trí (*Places*) : biểu diễn các trạng thái hoạt động có thể có của một thiết bị trong hệ thống sản xuất. Nó được kí hiệu bằng một vòng tròn và trong đó có thể chứa một số dấu chấm (●) mà đặc trưng cho sự hoạt động của hệ thống.

- Chuyển tiếp (*Transition*) : biểu diễn các thao tác hay hành động theo trình tự hoạt động của các thiết bị trong hệ thống. Nó được kí hiệu bằng 1 hình chữ nhật hay có thể là 1 hình vạch ngang.

- Các cung nối (*Arc*) : Chỉ hướng hoạt động của hệ thống bằng sự liên kết giữa vị trí và chuyển tiếp cũng như giữa chuyển tiếp và vị trí. Một cung không bao giờ liên kết giữa 2 tập hợp mang cùng bản chất ví dụ như không thể liên kết giữa vị trí và vị trí được. Trên các cung người ta có thể đánh dấu bằng các chữ số đặc trưng cho khả năng về trọng lượng được chuyển trên các cung theo hướng xác định. Nếu không có chữ số đi kèm theo các cung thì người ta qui định là trọng lượng được truyền là 1.

- Hàm đánh giá của 1 mạng Petri là 1 vectơ hợp thành có giá trị nguyên dương hoặc bằng không (0) với số thành phần bằng số vị trí.

Để có thể khái quát các định nghĩa trên đây chúng ta có thể khảo sát 1 mạng Petri đơn giản như biểu diễn ở hình 1-1

Mạng này chứa 4 vị trí được đánh dấu bằng  $p_1, p_2, p_3, p_4$  và 5 chuyển tiếp được đánh dấu  $t_1, t_2, t_3, t_4$ .

Hàm đánh giá của nó là vectơ  $M_0 = \{1, 2, 1, 3\}$

Mạng Petri trên có thể được biểu diễn bằng 1 hàm PN = (P,T,A,W,M<sub>0</sub>) Trong đó :

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  là 1 hữu hạn các vị trí (Places)

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  là 1 tập hợp hữu hạn các chuyển tiếp (Transition)

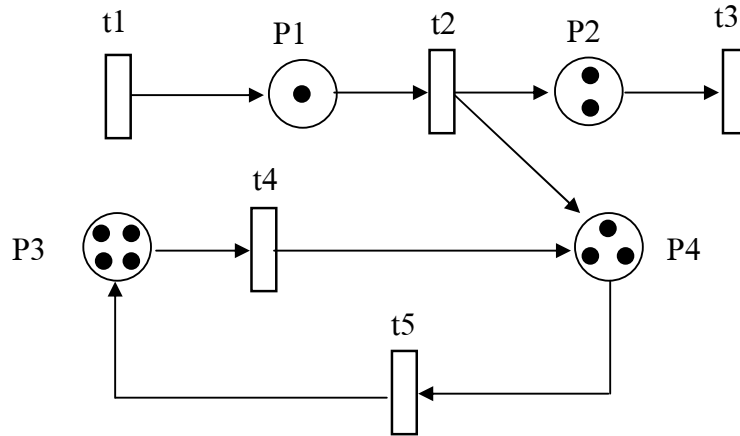
$A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  là 1 tập hợp hữu hạn các cung (Arc)

$W: \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  là hàm trọng lượng được gắn vào các cung (Weigh)

$M_0: \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$  là hàm đánh giá ban đầu (Marking)

Chú ý :  $P \cap T = \emptyset$

Nếu 1 mạng Petri không chứa hàm đánh giá ban đầu  $N = (P, T, A, W)$  thì người ta gọi là mạng Petri thông thường và khi đó ta xem hàm trọng lượng được gán với các cung bằng đơn vị, trong các vòng tròn biểu diễn vị trí không có dấu chấm hoặc chỉ có tối đa là 1. Khi đó  $PN = (N, M_0)$  và được gọi là mạng Petri mở rộng EPNs (Extended Petri Nets).



Hình 5.1. Mạng Petri

### 5.2.2 Hoạt động của mạng Petri

Như đã nói ở trên, các chuyển tiếp là khả năng chuyển các trạng thái hoạt động từ các vị trí đến các chuyển tiếp và từ chuyển tiếp sang vị trí. Do vậy sự hoạt động của mạng Petri có thể được biểu diễn như sau :

${}^0t$  là tập hợp các vị trí đi vào chuyển tiếp  $t$ ,  $(p, t) \in A$

$t^0$  là tập hợp các vị trí đi ra khỏi chuyển tiếp  $t$ ,  $(p, t) \in A$

${}^0p$  là tập hợp các chuyển tiếp đi vào vị trí  $p$ ,  $(t, p) \in A$

$t^0$  là tập hợp các chuyển tiếp đi ra khỏi vị trí  $t$ ,  $(t, p) \in A$

1 chuyển tiếp  $t$  được gọi là khả tiếp (có thể vượt qua) Nếu hoặc là  $p \in {}^0t$ ,  $M(p) \geq w(p, t)$  hoặc theo cách khác, nếu tất cả vị trí đi vào  $p$  từ  $t$  chứa số dấu (•) ít hơn hàm trọng lượng ở cung liên kết từ  $p$  tới  $t$ . Do đó trong trường hợp của 1 mạng Petri thông thường, chỉ cần tất cả các vị trí đi vào chứa ít hơn 1 dấu (•) thì nó có khả năng chuyển tiếp.

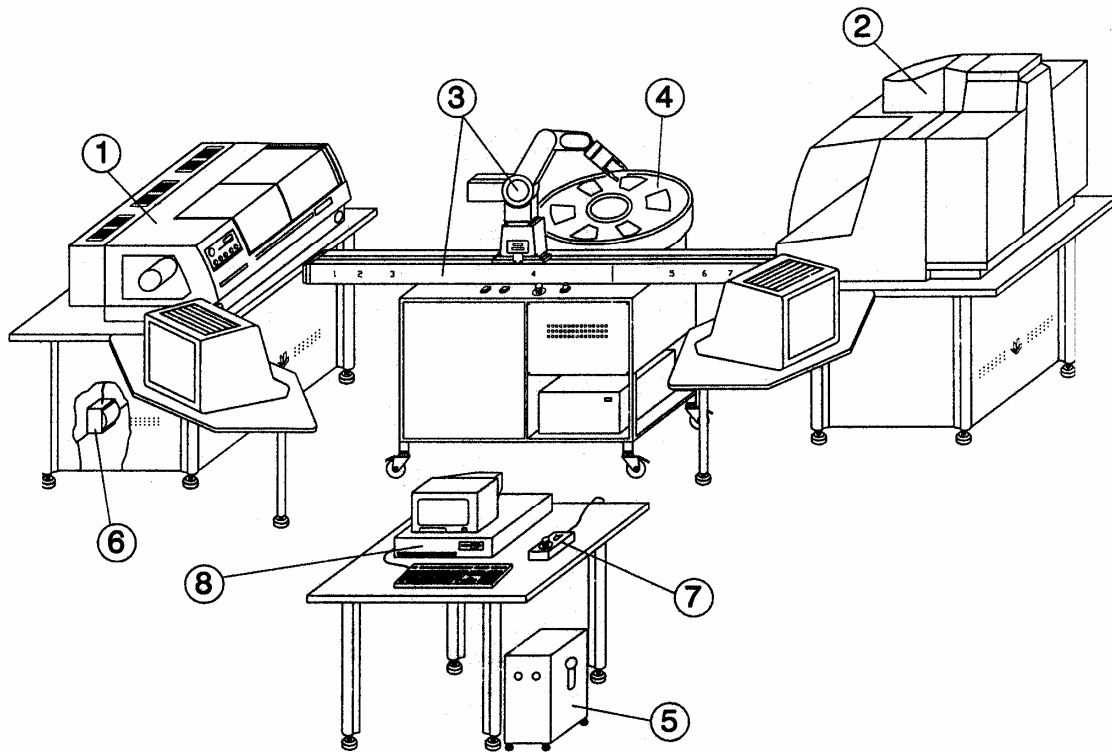
Trong phần này, chúng ta đi sâu vào việc phân tích và thiết kế mạng Petri cho 1 hệ thống SXTĐ CIM bao gồm 1 nhà kho phôi liệu và sản phẩm, 1 robot và

bàn dẫn hướng cung cấp phôi liệu cho máy tiện CNC và máy phay CNC cũng như lấy các chi tiết gia công xong trả lại kho... vì thế chúng ta chỉ giới hạn trong phạm vi Petri thông thường có nghĩa là các cung chỉ mang hàm trọng lượng đơn vị và các vị trí tối đa có 1 dấu (●).

Giới thiệu hệ thống thiết bị trong mạng điều khiển CIM.

Hệ thống SXTĐ được lắp đặt tại phòng thí nghiệm SXTĐ khoa cơ khí do hãng ALECOP Tây Ban Nha cung cấp theo chương trình dự án với mục đích xây dựng 1 mô hình sản xuất công nghiệp tự động hoá để phục vụ cho công tác đào tạo và nghiên cứu. Mạng Petri được cung cấp bằng phần mềm Edifac cùng với mạng quản lý hệ thống và các phần mềm điều khiển máy tiện, máy phay, robot và nhà kho được kết nối qua máy tính với giao diện RS232 và RS485.

Sơ đồ thiết bị được bố trí như hình dưới.



Hình 5-2: Sơ đồ bố trí hệ thống tự động CIM

1. Máy tiện
2. Máy phay
3. Robot 5 bậc tự do và ray dẫn hướng
4. Nhà kho
5. Tủ điện
6. Bộ quét
7. Bộ lựa chọn chạy tay - tự động điều khiển robot
8. Máy vi tính

Giới thiệu chức năng hoạt động của mạng Petri

Các máy CNC tiện và phay được lập trình dưới dạng trực tiếp bằng tay trên cụm CNC hoặc trong phần mềm CAD/CAM VERO INTERNATIONAL. Trước khi hoạt động chính thức, người ta phải qua giai đoạn chạy mô phỏng vừa để kiểm tra sự hoạt động của chương trình được thiết lập, vừa để xác định chu kì thời gian gia công các chi tiết làm cơ sở dữ liệu cho việc thiết kế mạng Petri sau này.

Bàn chứa phôi và chi tiết gia công (carrusel magazin) là mô hình của 1 nhà kho hiện đại mà trong đó các chủng loại phôi liệu cho từng loại chi tiết và các loại bán thành phẩm và sản phẩm cuối cùng được mã hoá và xếp theo loại dưới sự quản lí của 1 hệ thống máy tính và được hoạt động bằng các băng tải và tay máy để cung cấp, thu nhận hay di chuyển các phôi liệu được gọi hay xếp vào kho các bán thành phẩm hay sản phẩm nói trên.

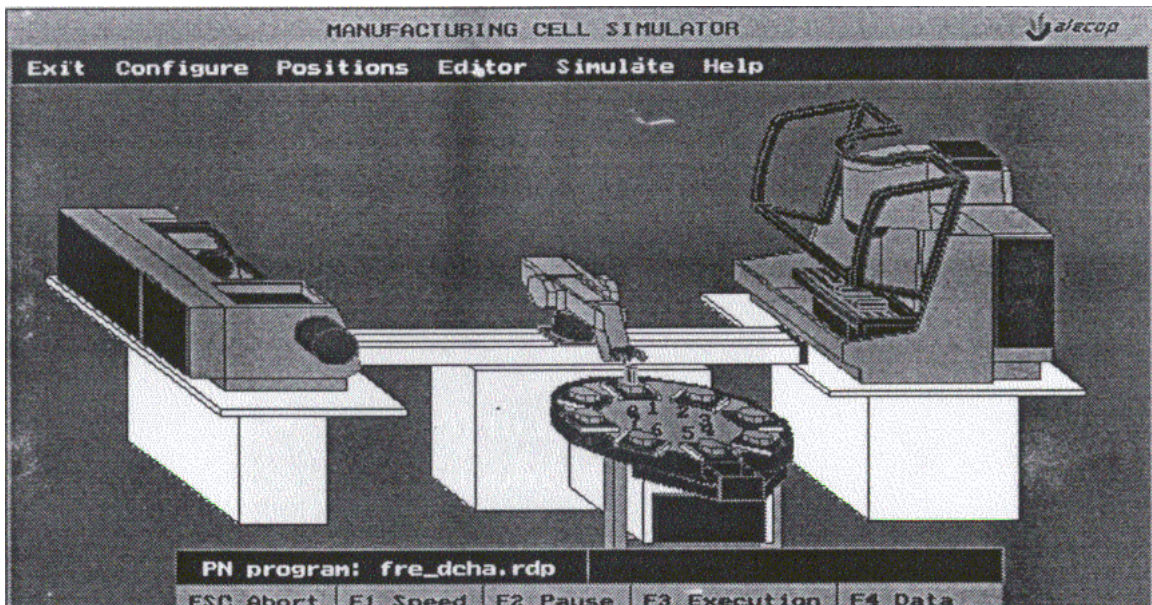
Để thực hiện việc cung cấp các phôi cho máy gia công CNC, người ta sử dụng 1 robot 5 bậc tự do và 1 ray dẫn đến các máy chịu sự cung cấp phôi liệu và lấy sản phẩm. Hoạt động của robot được lập trình bằng ngôn ngữ riêng của nó hay có thể lập trình theo phương pháp dạy học. Sự hoạt động của nó là hoạt toàn phù hợp với kích thước, khuôn khổ và khối lượng, hình dạng phôi liệu cần cung cấp, đảm bảo độ chính xác về định vị trong quá trình dịch chuyển và cấp phôi vào các vấu kẹp của mâm cặp hay các đồ gá trên máy phay cũng như khi nhận nó từ các cơ cấu trên của máy.

Cũng như với các máy CNC, trước khi đưa robot vào hệ thống hoạt động cấp phôi tự động cần thiết phải chạy mô phỏng để kiểm tra tính hợp lí và đúng đắn của chương trình và xác định thời gian chu trình hoạt động của chúng làm cơ sở dữ liệu khi lập chương trình điều khiển hệ thống.

Vấn đề còn lại là làm thế nào để cho chúng hoạt động trên các thiết bị khác nhau 1 cách độc lập trong khi phải đảm bảo tính đồng bộ trong hệ thống. Điều này có nghĩa là mọi sự hoạt động phải ăn khớp nhau và đồng thời phải để thời gian chết

của các máy là tối thiểu. Về lĩnh vực này thì mạng Petri có thể hoàn toàn đảm bảo 1 cách chắc chắn và chính xác. Về cơ bản, mạng Petri cũng giống như GRAFCET (Graphe Fonctionnel de commande e'tape transition) là công cụ mô tả hoạt động các mạch logic tuần tự như đã giới thiệu ở trên. Do vậy mà vấn đề chồng chéo sự hoạt động của các thiết bị trong thời gian thực của hệ thống là không thể xảy ra. Vì thế vấn đề còn lại là làm thế nào để giảm thiểu thời gian chết (thời gian dừng chờ đợi, không hoạt động) của các máy và thời gian hoạt động của robot là ngắn nhất.

Để có thể hình dung sự hoạt động của hệ thống, chúng ta có thể quan sát sự hoạt động của robot cấp phôi như hình vẽ dưới đây.



*Hình 5-3 : Sơ đồ hoạt động của hệ thống*

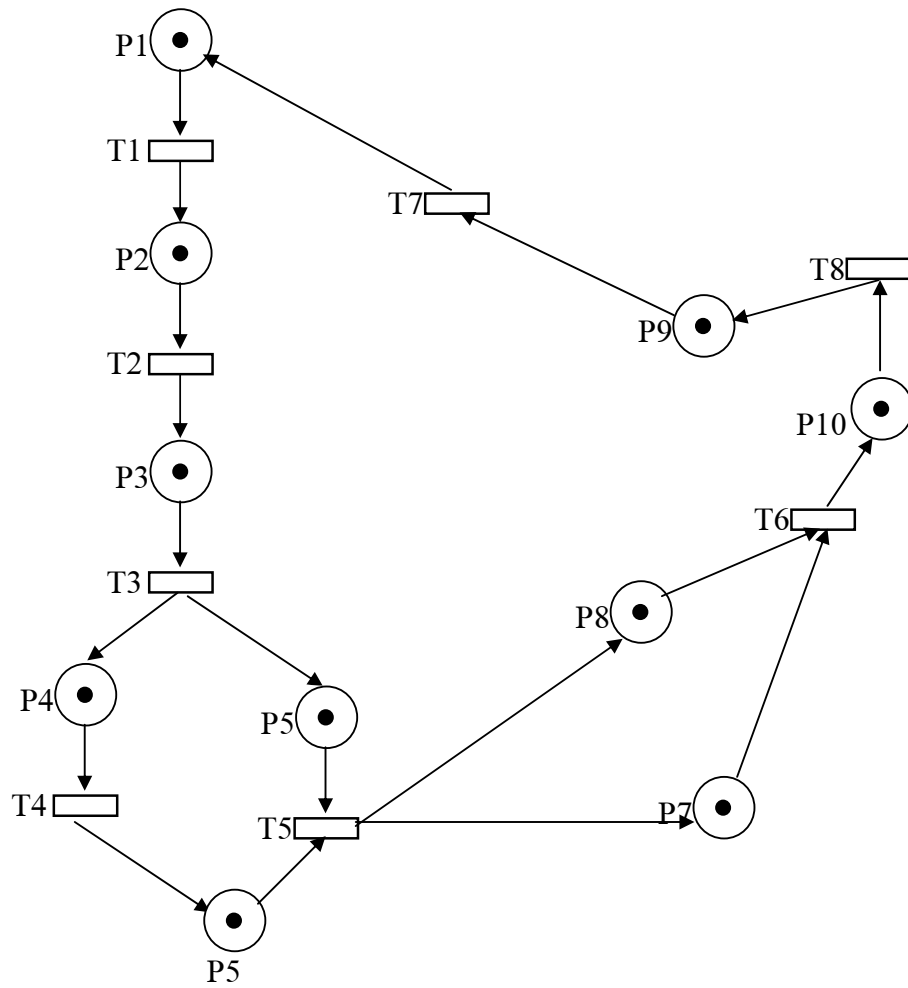
### **5.3. Lập chương trình điều khiển hệ thống điều khiển tự động CIM**

Chúng ta sẽ thiết lập chương trình điều khiển sự hoạt động của hệ thống sản xuất tự động CIM bằng phần mềm EDIFAC được cung cấp bởi hãng ALECOP của Tây Ban Nha.

Sau đây là 1 số ví dụ về lập chương trình điều khiển hệ thống CIM bằng mạng Petri.



5.3.1 Điều khiển hệ thống cấp phôi cho máy tiện và máy phay CNC P-T1.RPG



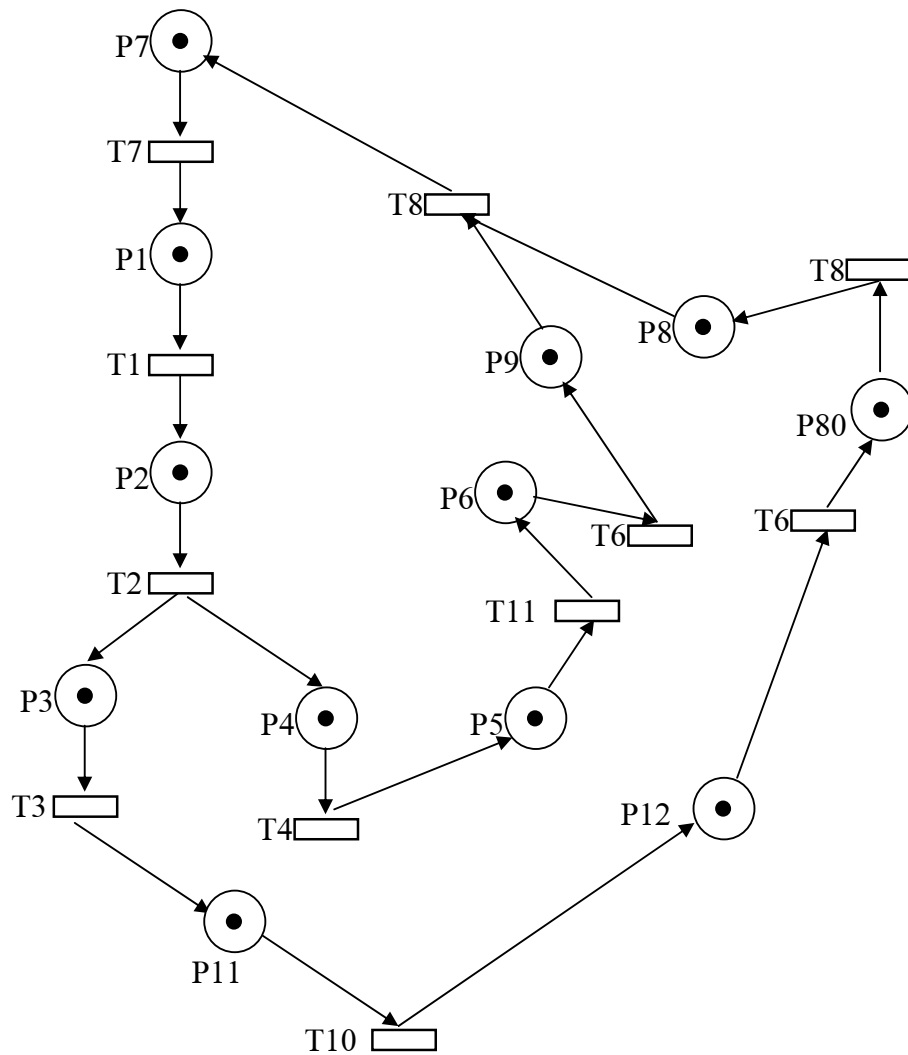
Hình 5-4: Mạng Petri cung điều khiển cấp phôi cho máy phay và máy tiện CNC

- P<sub>1</sub> : Trạng thái ban đầu của hệ thống CIM
- P<sub>2</sub> : Lựa chọn phôi cấp cho máy phay 1.PA1 a001
- P<sub>3</sub> : Cấp phôi cho máy phay. PR1
- P<sub>4</sub> : Lựa chọn phôi cấp cho máy tiện 2. PA1 a002
- P<sub>5</sub> : Máy phay gia công chi tiết theo chương trình. PT1
- P<sub>6</sub> : Cấp phôi cho máy tiện. PR1
- P<sub>7</sub> : Máy tiện gia công chi tiết theo chương trình. PT1
- P<sub>8</sub> : Lấy chi tiết gia công xong ra khỏi máy phay. PR1
- P<sub>10</sub> : Chọn Pallet phay. PA1 pa001
- P<sub>9</sub> : Lấy chi tiết tiện. PR1

T<sub>1</sub> : Khởi động chương trình  
T<sub>2</sub> : Dừng Pallet. LA1+  
T<sub>3</sub> : Dừng robot. LR+  
T<sub>4</sub> : Dừng Pallet. LA+  
T<sub>5</sub> : Dừng robot và dừng máy phay. LR1 & LF1  
T<sub>6</sub> : Dừng Robot và dừng tiện. LR1 & LT1  
T<sub>8</sub> : Dừng Pallet. LA+  
T<sub>7</sub> : Dừng Robot. LR+

### 5.3.2 Chương trình điều khiển cấp phôi cho máy phay và máy tiện P-T2.RPG

P<sub>1</sub> : Chọn phôi phay. PA1 p2  
P<sub>2</sub> : Lắp phôi phay. PR1\_cap\_foi\_fay-0002  
P<sub>4</sub> : Chọn Pallet tiện. PA1 p1  
P<sub>3</sub> : Chạy máy phay theo chương trình. PF1 0000016-0000  
P<sub>5</sub> : Cấp phôi tiện. PR1\_cap\_foi\_tien-001  
P<sub>6</sub> : Chạy máy tiện theo chương trình. PT1 0000011-0000  
P<sub>9</sub> : Chạy máy tiện theo chương trình. PT1 0000011-0000  
P<sub>10</sub> : Máy tiện gia công chi tiết theo chương trình. PT1  
P<sub>11</sub> : Chọn Pallet phay. PA1 p2  
P<sub>12</sub> : Lấy chi tiết phay. PR1 - 0001  
P<sub>8</sub> : Chọn Pallet tiện. PA1 p1  
P<sub>7</sub> : Lấy chi tiết tiện. PR1-0001  
T<sub>1</sub> : Dừng Pallet. LA1+  
T<sub>2</sub> : Dừng robot. LR1+  
T<sub>3</sub> : Dừng máy phay. LF1+  
T<sub>4</sub> : Dừng Pallet. LA1+  
T<sub>11</sub> : Dừng Robot. LR1+  
T<sub>5</sub> : Dừng máy tiện. LT1+  
T<sub>10</sub> : Dừng Pallet. LA1+  
T<sub>6</sub> : Dừng Robot. LR1+  
T<sub>8</sub> : Dừng Pallet và dừng máy tiện LA1+ & LT1+  
T<sub>7</sub> : Dừng Robot. LR1+



Hình 5.5 : Mạng Petri P-T2. RPG

### 5.3.3 Chương trình điều khiển hệ thống P-T3.PRG

- P<sub>1</sub> : Trạng thái ban đầu
- P<sub>2</sub> : Chọn Pallet phay. PA1 p2-0000
- P<sub>3</sub> : Cấp phôi phay. PR1-0001
- P<sub>4</sub> : Chọn Pallet tiện. PA1 p1
- P<sub>5</sub> : Chọn máy phay. PF1 000003-0000
- P<sub>6</sub> : Cấp phôi tiện. PR1-0001

P<sub>7</sub> : Chạy máy tiện. PT1 000007-0000

P<sub>8</sub> : Chọn Pallet phay. PA1-0000

P<sub>9</sub> : Lấy chi tiết phay. PR1-0001

P<sub>12</sub> : Chạy máy tiện. PT1 000007-0000

P<sub>10</sub> : Chọn Pallet tiện. PA1 p1

P<sub>11</sub> : Lấy chi tiết tiện. PR1-0001

T<sub>2</sub> : Dừng Pallet. LA1+

T<sub>3</sub> : Dừng Robot. LR1+

T<sub>4</sub> : Dừng Pallet. LA1+

T<sub>5</sub> : Dừng máy phay. LF1+

T<sub>6</sub> : Dừng Robot. LR1+

T<sub>7</sub> : Dừng máy tiện. LR1+

T<sub>8</sub> : Dừng Pallet. LA1+

T<sub>9</sub> : Dừng máy tiện. LR1+

T<sub>10</sub> : Dừng Pallet. LA1+

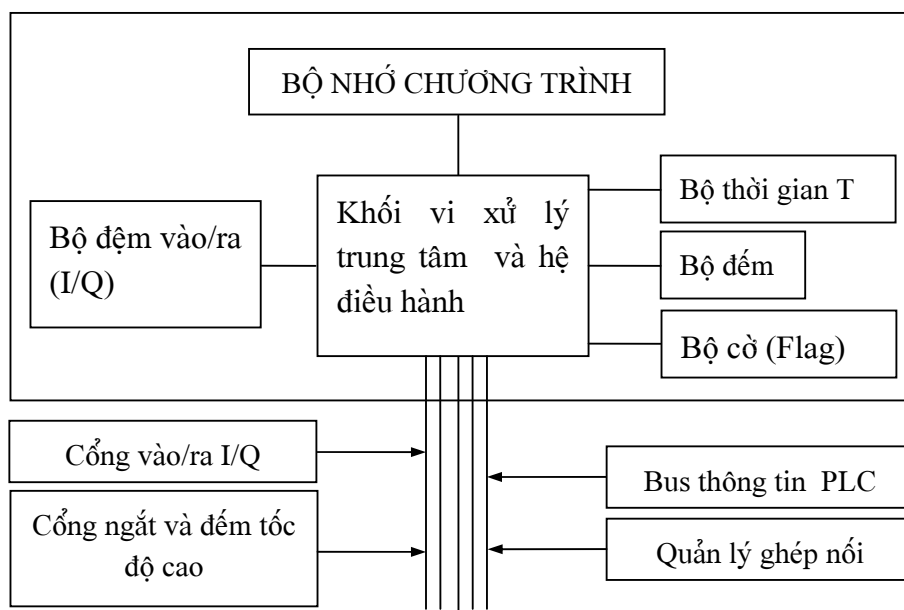
T<sub>11</sub> : Dừng Robot. LR1+

## VI. ĐIỀU KHIỂN LOGIC KHẢ LẬP TRÌNH PLC (Programmable Logic Control)

### 6. 1. Khái niệm

Điều khiển logic khả lập trình cho phép thực hiện linh hoạt các thuật toán điều khiển số thông qua một ngôn ngữ độc lập thay vì việc thể hiện thuật toán đó bằng mạch logic số như đã trình bày trước đây. Như vậy, với chương trình điều khiển trong mình. PLC đã trở thành một bộ điều khiển số NC (*Numeric Control*) nhỏ gọn và có tính linh hoạt cao, dễ thay đổi thuật toán để thích ứng với sự thay đổi công nghệ. Đặc biệt hơn là dễ dàng trao đổi thông tin với môi trường xung quanh (với các PLC khác và máy tính). Toàn bộ chương trình điều khiển được lưu trữ trong bộ nhớ của PLC dưới dạng các khối chương trình (OB, FC hay FB) và được thực hiện lập theo chu trình theo các vòng quét (*scan*).

Mô hình tổng quát của một bộ điều khiển PLC được mô tả như hình dưới đây



Hình 6-1: Sơ đồ cấu trúc bộ PLC

Để có thể thực hiện được 1 chương trình điều khiển, PLC cần phải có tính năng giống như 1 máy tính, nghĩa là phải có 1 bộ vi xử lý CPU và 1 hệ điều hành, bộ nhớ để lưu chương trình điều khiển, dữ liệu và tất nhiên phải có các cổng vào/ra

để giao tiếp được với đối tượng điều khiển và môi trường xung quanh (ngoại vi). Ngoài ra, để giải quyết được bài toán điều khiển số, PLC còn phải được trang bị thêm các khối chức năng đặc biệt như bộ đếm, bộ thời gian, đồng hồ ...

## 6.2. Các khối chủ yếu trong PLC

### 6.2.1. Khối tổ chức OB (Organization Block)

Mục đích : Hình thành giao diện (*interface*) giữa hệ điều hành và chương trình điều khiển.

Tùy thuộc từng số hiệu của khối, các khối tổ chức được vận hành theo những cách thức khác nhau.

Ví dụ : khối OB1 được hệ điều hành gọi theo chu kỳ để thực hiện chương trình điều khiển.

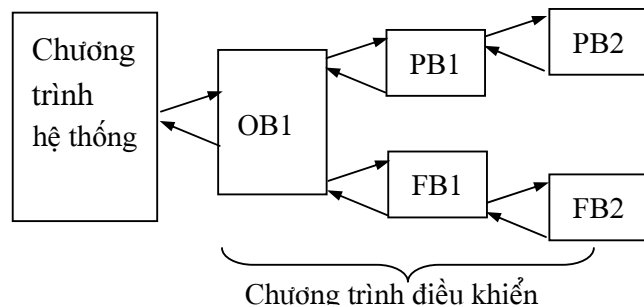
Khối OB2 và OB3 xử lý chương trình đóng ngắt ...

### 6.2.2. Khối chương trình :PB (Program Block).

Khối chương trình với những chức năng riêng giống như một chương trình con hay 1 hàm. Các chức năng điều khiển có thể được biểu diễn bằng 1 sơ đồ trong các khối chương trình.

### 6.2.3.. Khối chức năng : FB (Function Block)

Các khối chức năng có thể trao đổi được một lượng dữ liệu lớn với các khối chương trình khác. Nó có thể được gán các tham số vì thông thường khi lập trình, người ta gán 1 tham số hình thức và tương ứng với nó sẽ có 1 tham số thực. Khi khối được gọi lên thì các tham số thực sẽ thay thế các tham số hình thức.



Hình 6-2 : Ví dụ về các khối xử lý khi lập trình có cấu trúc

Chú ý: Chương trình trong khối chức năng chỉ được viết bằng phương pháp biểu diễn bằng kiểu lệnh STL mà thôi (*Statement list*) .

Tương tự như khối OB, khối FB được chia làm 2 loại là FB được lập trình sẵn trong hệ điều hành và loại FB được lập dưới dạng các phần mềm.

#### 6.2.4. Khối DB (Data Block) khối dữ liệu:

Khối DB chứa các dữ liệu cần thiết để lập chương trình. Các tham số của khối do người lập trình tự đặt và một chương trình ứng dụng có thể có nhiều khối và được phân biệt với nhau bằng các chỉ số nguyên ghi ngay sau khối DB1, DB2 ...

### 6.3. Nguyên tắc hoạt động cơ bản

Bộ điều khiển PLC hoạt động theo nguyên tắc chu trình kín và được gọi là chu trình quét (scan). Nó hoạt động theo 4 giai đoạn như sau :

#### 6.3.1. Mở đầu chương trình : Nhập dữ liệu.

Lúc bắt đầu chương trình, PLC nhập dữ liệu từ các cổng vào số tới vùng bộ đệm ảo I.(Input)

#### 6.3.2. Thực hiện chương trình.

Sau khi đã nhập xong dữ liệu, PLC gọi chương trình điều khiển cất giữ trong bộ nhớ chương trình theo từng lệnh lần lượt để thực hiện theo các thứ tự kế tiếp nhau. Trong quá trình quét, chương trình được thực hiện từ lệnh đầu tiên đến lệnh kết thúc của khối OB1.

#### 6.3.3. Giai đoạn truyền thông tin ra và tự sửa chữa lỗi.

Các kết quả xử lý sẽ được kiểm tra và sửa chữa lỗi rồi chuyển sang bộ đệm ảo ở cổng ra số Q.

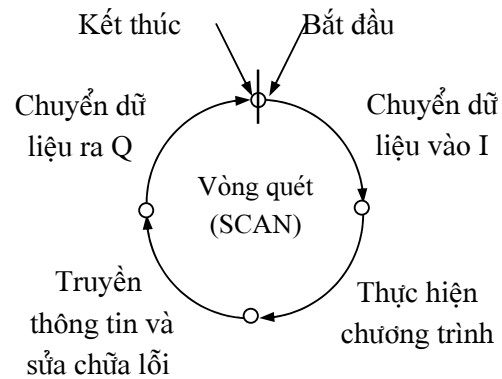
#### 6.3.4. Giai đoạn kết thúc chương trình.

Chuyển các nội dung điều khiển đến đầu ra và chuyển sang cơ cấu chấp hành.

Sau đó lại bắt đầu 1 chu trình mới: Người ta gọi là vòng lặp

### 6.4 Ngôn ngữ lập trình

Các loại PLC nói chung có nhiều ngôn ngữ lập trình nhằm phục vụ cho các đối tượng sử dụng khác nhau. Về cơ bản thì các ngôn ngữ được các nhà chế tạo quy định và theo từng *version* cụ thể. Vì vậy khi sử dụng cần phải có thời gian tìm hiểu - làm quen.



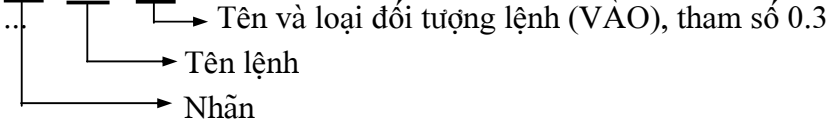
Về cơ bản, các ngôn ngữ lập trình PLC gồm có 3 loại cơ bản :

#### 6.4.1. Ngôn ngữ "liệt kê lệnh" STL (Statement List)

Loại này giống như các ngôn ngữ thường được dùng trên máy tính \_ Lập trình bằng các lệnh. Một chương trình được ghép bằng nhiều câu lệnh theo 1 thuật toán nhất định. Mỗi lệnh chiếm 1 hàng và đều có cấu trúc chung là "tên lệnh + toán hạng"

Ví dụ :

```
...
004 A I 0.2
005 O I 0.3
```



#### 6.4.2. Ngôn ngữ bậc thang : (Biểu đồ bậc thang : LAD \_ Ladder logic)

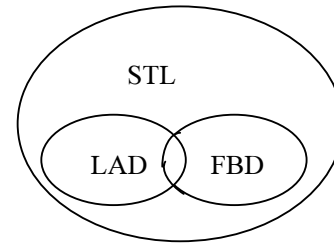
Đây là dạng ngôn ngữ kiểu đồ họa và rất thích hợp với mạch logic tiếp điểm. Với những người thiết kế mạch logic tiếp điểm thì ngôn ngữ này rất thích hợp vì tính trực quan và tường minh của nó.

#### 6.4.3. Ngôn ngữ "Sơ đồ khối" FBD (Function Block Diagram).

(Người ta còn gọi là "lưu đồ điều khiển CSF - Control System Flow)

Đây là dạng ngôn ngữ sơ đồ mạch số và cũng rất thích hợp cho người thiết kế các mạch điện tử số.

Một chương trình được viết trên LAD hay FBD đều có thể chuyển được sang STL. Nhưng chương trình được viết bằng ngôn ngữ STL chưa hẳn đã chuyển sang được kiểu LAD và FBD vì trong STL có chứa nhiều lệnh mà trong LAD hay FBD không có hay không thể biểu diễn được.



Hình 6-3 : Quan hệ giữa các ngôn ngữ lập trình PLC

Có thể thấy rằng, trong ngôn ngữ lập trình PLC, các lệnh thường được chia thành 3 nhóm sau :

+Nhóm lệnh cơ bản : được dùng cho tất cả các loại khối và có thể biểu diễn được bằng cả 3 phương pháp.

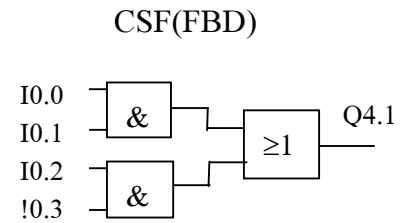
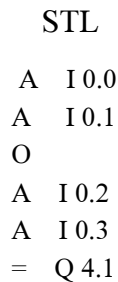
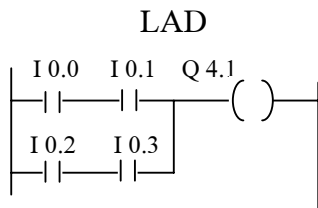


- +Nhóm lệnh bổ trợ.
- +Nhóm các lệnh hệ thống.

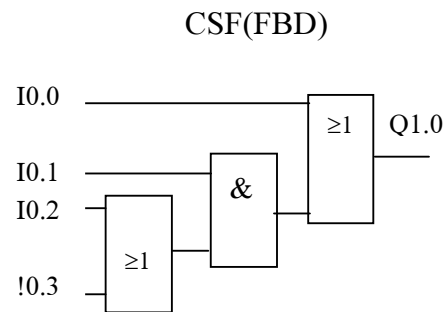
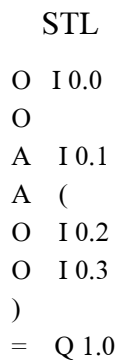
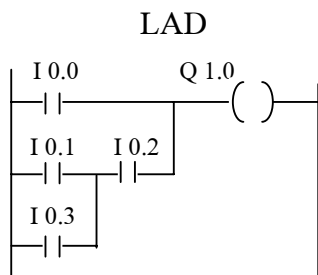
Với 2 nhóm lệnh sau, chúng được dùng trong các khối chức năng và chỉ có thể biểu diễn được bằng ngôn ngữ lập trình STL. Đặc biệt với các lệnh hệ thống thì tính chất của nó là rất ngắn gọn và mạnh nhưng chỉ những người có kiến thức chuyên sâu về PLC, về công nghệ điều khiển và nhiều kinh nghiệm lập trình mới có thể sử dụng được.

Ví dụ các kiểu ngôn ngữ lập trình.

*Ví dụ 1*



*Ví dụ 2*



### 3.5.5 Một số ví dụ áp dụng :

Bài toán 1:

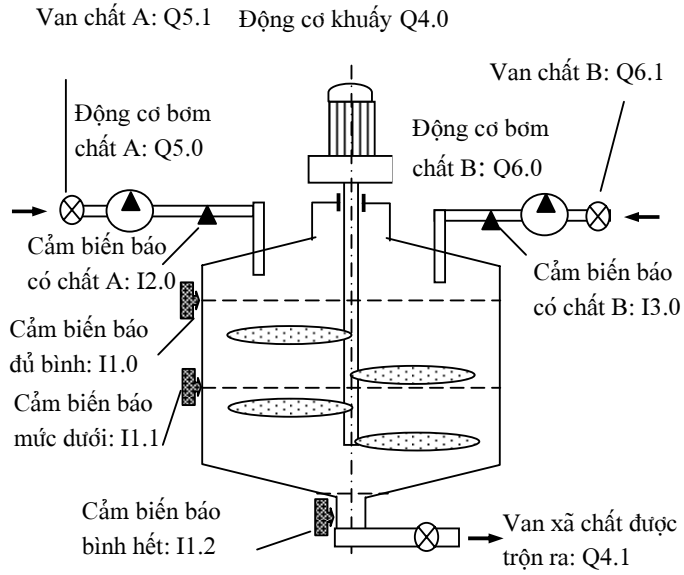
Ví dụ về điều khiển cho thùng trộn

Sơ đồ thùng trộn và bố trí các cảm biến:

Nguyên lý hoạt động: Quá trình trộn chất lỏng chỉ được thực hiện khi chất lỏng trong bình đã hết và ta tác động vào nút ấn khởi động chu trình (I8.0=1) (không biểu diễn trên hình vẽ)

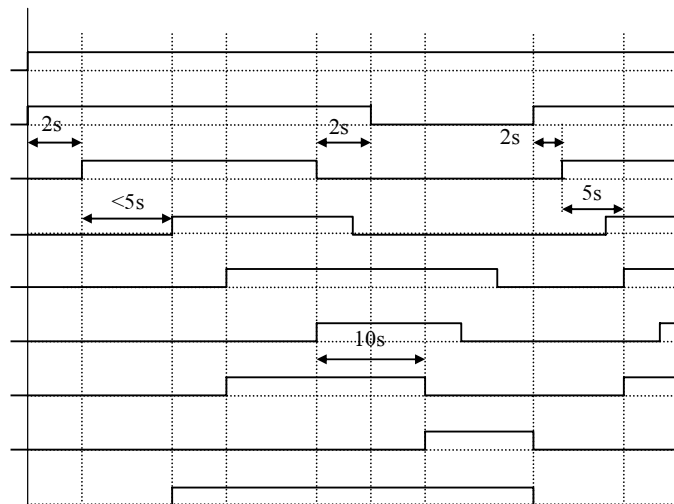
Các chất lỏng sẽ được bơm vào bình sau khi mở van chất lỏng A và B được 2 giây. Q5.0=1 và Q6.0=1.

Nếu sau khi động cơ bơm đã khởi động được 5 giây mà không có tín hiệu thông báo có chất lỏng chảy vào bình thì dừng tất cả các quá trình lại và thông báo ra panel điều khiển có sự cố. I2.0=0, I3.0=0.



Hình : Sơ đồ bình trộn chất

Nút khởi động	I1.0
Mở van bơm	Q5.1
Động cơ bơm	Q5.0
Có chất lỏng vào thùng	I2.0
Mức chất lỏng dưới	I1.1
Mức chất lỏng trên	I1.0
Động cơ trộn	Q4.0
Van xả	Q4.1
Kiệt bình	I1.2



Khi bình đã được bơm đầy : I1.0=1 thì dừng cả 2 động cơ bơm. Quá trình dừng máy bơm được thực hiện theo nguyên tắc sau: Dừng máy bơm trước: Q5.0=0 và Q6.0=0 rồi sau 2 giây sẽ khóa van Q5.1=0 và Q6.1=0.

Động cơ trộn hoạt động Q4.0=1 khi bắt đầu có tín hiệu từ cảm biến báo mức dưới I1.1=1 cho đến khi cảm biến báo đủ bình I1.0=1 và tiếp tục trộn thêm 10 giây rồi kết thúc.

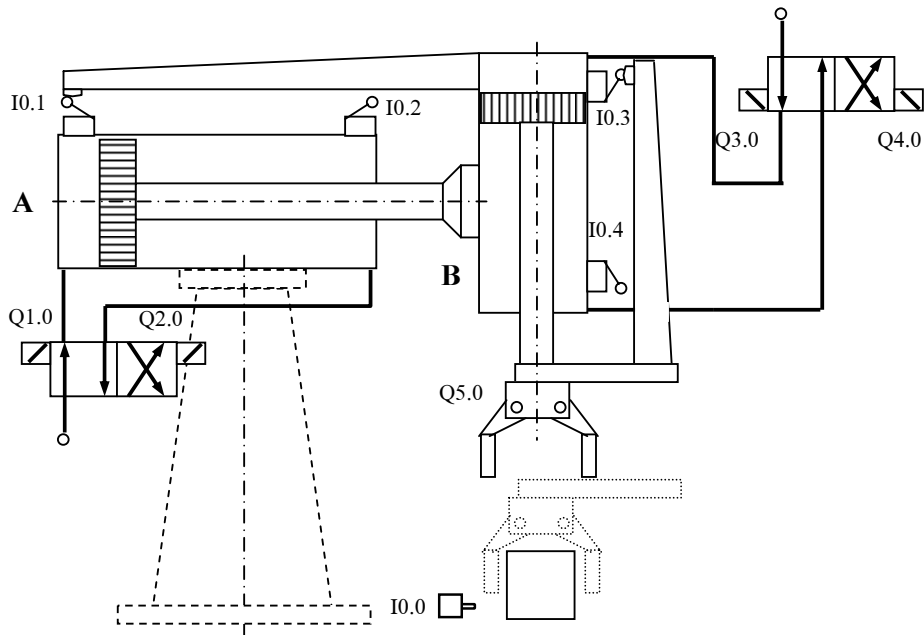
Sau khi đã được trộn đều thì chất lỏng được tháo ra khỏi bình nhờ van xả Q4.1=1 và cho tới khi van báo kiệt bình I1.2=0 thì kết thúc.

Nếu trong lúc này nút khởi động vẫn còn tác dụng (I8.0 =1) thì chu trình lại được tiếp tục cho đến giai đoạn xả kiệt nước trong bình mặc dầu khi đó nút khởi động đã hết tác dụng (I8.0 =0) và sau đó là kết thúc.

Bài toán 2:

Một người máy hoạt động như sau:

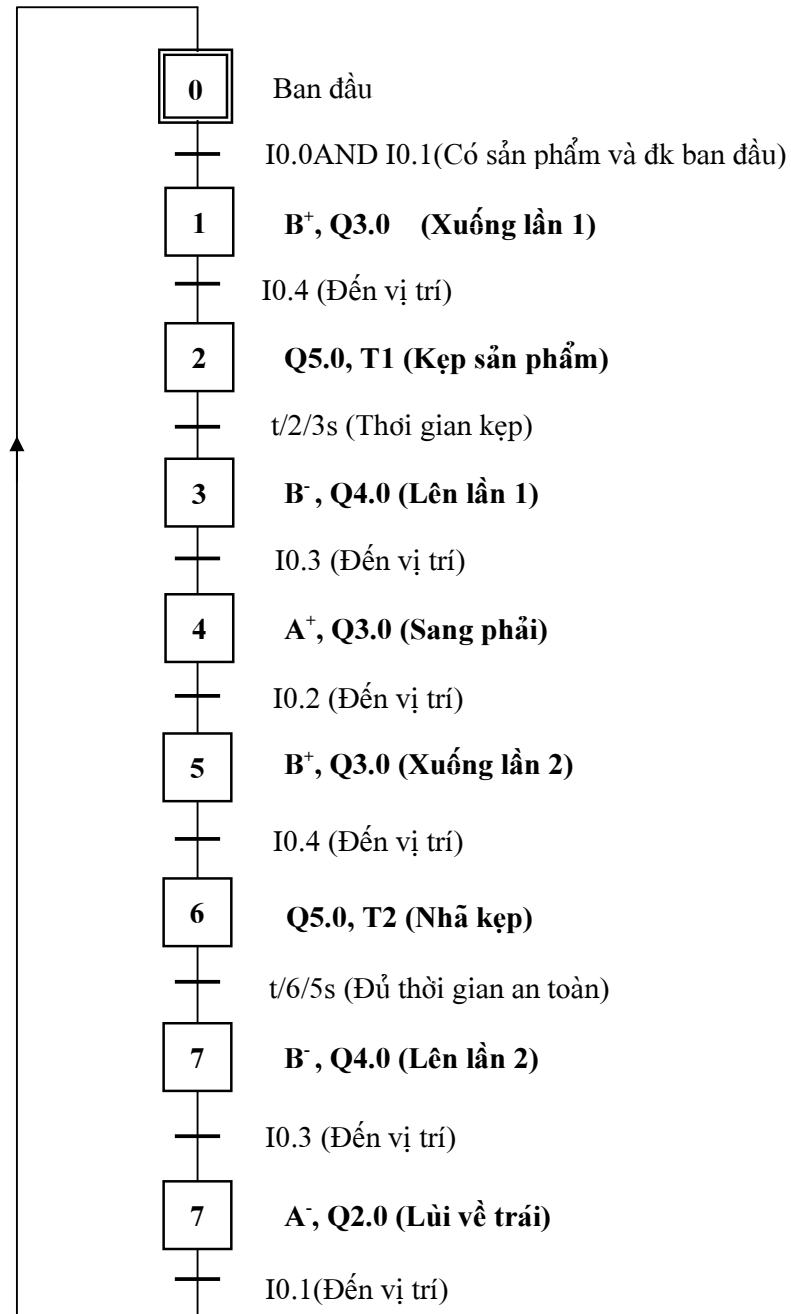
Ban đầu Piston A nằm ở vị trí cuối cùng bên trái (I0.1=1) và Piston B ở vị trí trên cùng (I0.3=1). Khi có sản phẩm đến thì cảm biến quang I0.0 tác động và chu trình bắt đầu.



Piston B đi xuống và khi tác động lên I0.4 thì nam châm điện từ Q5.0 sẽ tác động và kẹp sản phẩm, sau thời gian 3 sec thì Piston B dịch chuyển lên trên và mang sản phẩm đi lên cho đến khi I0.3 tác động thì Piston A sẽ dịch chuyển sang phải cho đến khi tác động lên I2.0 thì Piston B sẽ đi xuống. Khi tác động lên I4.0 thì Nam châm điện từ Q5.0 sẽ mở để nhả sản phẩm. Sau thời gian mở 5sec để đảm bảo là sản phẩm đã hoàn toàn rời khỏi tay kẹp thì Piston B dịch chuyển lên trên, khi tác động lên I0.3 thì Piston A lùi về bên trái cho đến khi tác động lên I1.0 thì kết thúc chu trình.

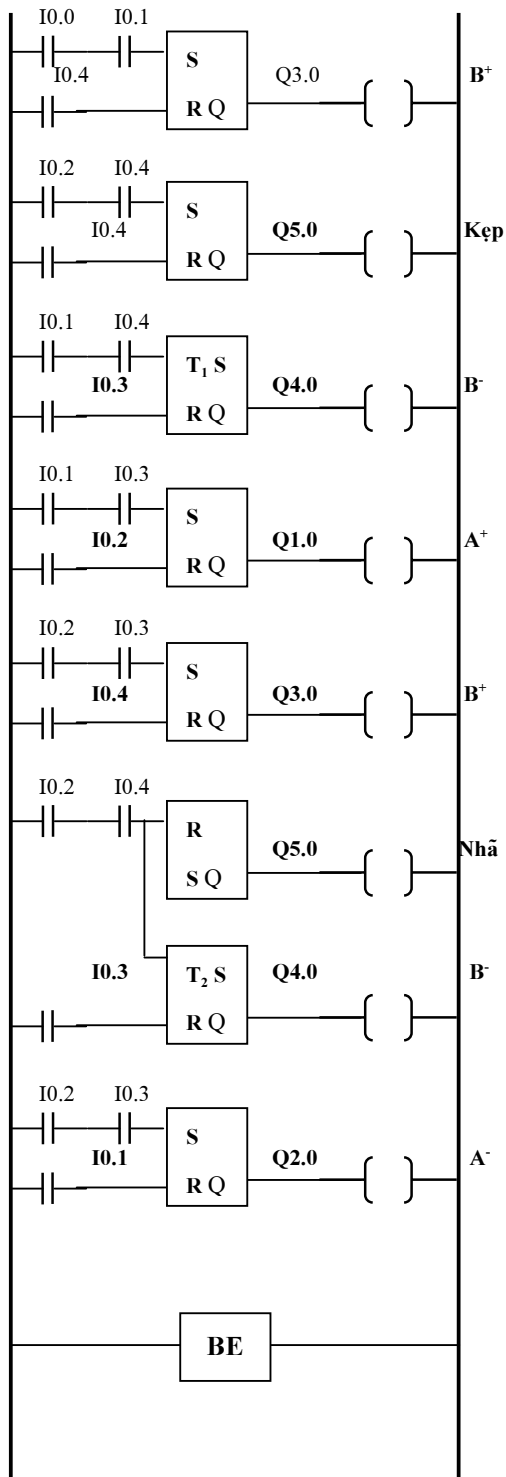
Nếu cảm biến I0.0 phát hiện có sản phẩm đến thì chu trình làm việc lại được tiếp tục.

*Thiết lập GRAFCET*

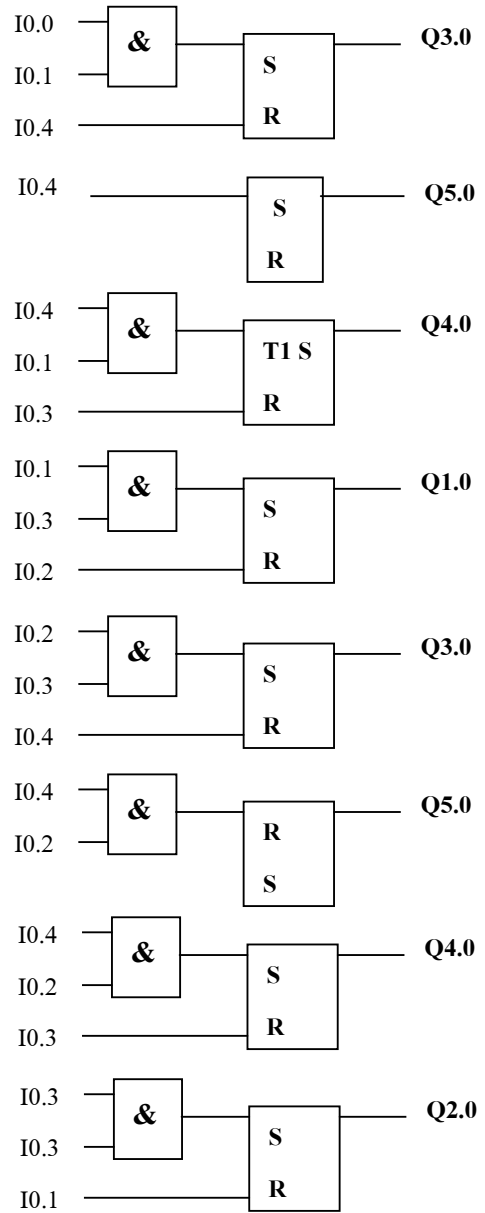


*Chương trình*

### LADDER



### CSF



BE

***BÀI GIẢNG ÂM  
HỌC KIẾN TRÚC***



**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**KHOA ĐIỆN**

**BỘ MÔN : TỰ ĐỘNG HÓA**

**CHUẨN TRUYỀN TIN**

**HART**

**TRONG ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG**

**MẠNG CÔNG NGHIỆP**

**Version 1.0 – Lưu hành nội bộ**

**ĐÀ NẴNG 2007**

## **GIỚI THIỆU CHUNG**

HART là một giao thức truyền thông được giới thiệu vào năm 1980, những ứng dụng của HART được phát triển bởi tổ chức HCF. HART cho phép thiết bị làm việc trong môi trường công nghiệp có nhiễu cao và tương thích với các chuẩn 4-20mA. Nó được kiến trúc dựa trên sự xếp chồng tín hiệu số trên nền tín hiệu tương tự 4 – 20mA, nghĩa là nó có dạng tín hiệu lai, cộng tín hiệu một chiều với tín hiệu đã được mã hóa. Do đó các thiết bị có thể nhanh chóng định dạng và xác định đúng thông số cần dùng khi có nhiều thiết bị nối vào chung mạng công nghiệp. Cũng như các chuẩn công nghiệp đã có trong lịch sử, để người sử dụng và các môi trường tiếp nhận không bị ảnh hưởng về tâm lý vật lý, HART cũng cho phép nối Master-Slave dạng PPI và MPI.

Các liên kết PPI cho phép kéo dài đường truyền đến 3000m và MPI là 1500m, tối đa của MPI lên đến 15 thiết bị. Tuy nhiên HART có nhược điểm là tốc độ truyền thấp, hiện nay đến 4800 baud. Ngược lại, HART lại cho phép cả thiết bị tương tự và số có thể làm việc trên cùng một mạng. Sau đây sẽ trình bày cụ thể hơn những đặc điểm cơ bản về HART. Tài liệu sau đây vừa trình bày những kiến thức về HART, đồng thời cũng đưa ra những mạch điện cụ thể sử dụng cho các chuẩn đo lường hiện đại hiện nay. Sinh viên có thể sử dụng các phần kiến thức đó để phục vụ cho quá trình làm bài tập, đồ án môn học, tốt nghiệp và các công tác khác sau này.



## About HART -- Part 1

### Part1: Preliminaries

#### Introduction

HART (Highway Addressable Remote Transducer) provides digital communication to microprocessor-based (smart) analog process control instruments. Originally intended to allow convenient calibration, range adjustment, damping adjustment, etc. of analog process transmitters; it was the first bi-directional digital communication scheme for process transmitters that didn't disturb the analog signal. The process could be left running during communication. HART has since been extended to process receivers, and is sometimes also used in data acquisition and control. HART Specifications continue to be updated to broaden the range of HART applications. And a recent HART development, the Device Description Language (DDL), provides a universal software interface to new and existing devices.

HART was developed in the early 1980s by Rosemount Inc. [1.4]. Later, Rosemount made it an open standard. Since then it has been organized and promoted by the [HART Communication Foundation](#) [1.5], which boasts some 114 member companies.

As the de-facto standard for data communication in smart analog field instruments, HART is found in applications ranging from oil pipelines to pulp and paper mills to public utilities. As of June 1998 an estimated 5 million nodes were installed [1.1]. Among the many HART products now available are

- Analog Process Transmitters
- Digital-only Process Transmitters
- Multi-variable Process Transmitters
- Process Receivers (Valves)
- Local (Field) Controllers
- HART-to-Analog Converters
- Modems, Interfaces, and Gateways
- HART-compatible Intrinsic Safety Barriers
- HART-compatible Isolators
- Calibrators
- Software Packages

New HART products continue to be announced, despite encroachment by Foundation Fieldbus and other faster networks. Analog transmitters continue to flourish [1.2], which suggests that HART will, also. A recent study [1.3] predicts that, of all smart *pressure* transmitters sold in the next few years, sales of HART units will increase at 17.5% per year.

Analog Services, Inc., a leader in HART development, is pleased to present this on-line book about HART. We have tried to present many topics that do not appear in the HART Standards or App Notes. This is still a work in progress. If there are other topics that you would like to see

covered or corrections to what we have presented, please send us an e-mail at [stevea@analogservices.com](mailto:stevea@analogservices.com).

### Overview: HART and The Conventional Process Loop

HART is sometimes best understood by looking at how it evolved from a conventional process loop. Figure 1.1 is a simplified diagram of the familiar analog current loop. The process transmitter signals by varying the amount of current flowing through itself. The controller detects this current variation by measuring the voltage across the current sense resistor. The loop current varies from 4 to 20 mA at frequencies usually under 10 Hz.

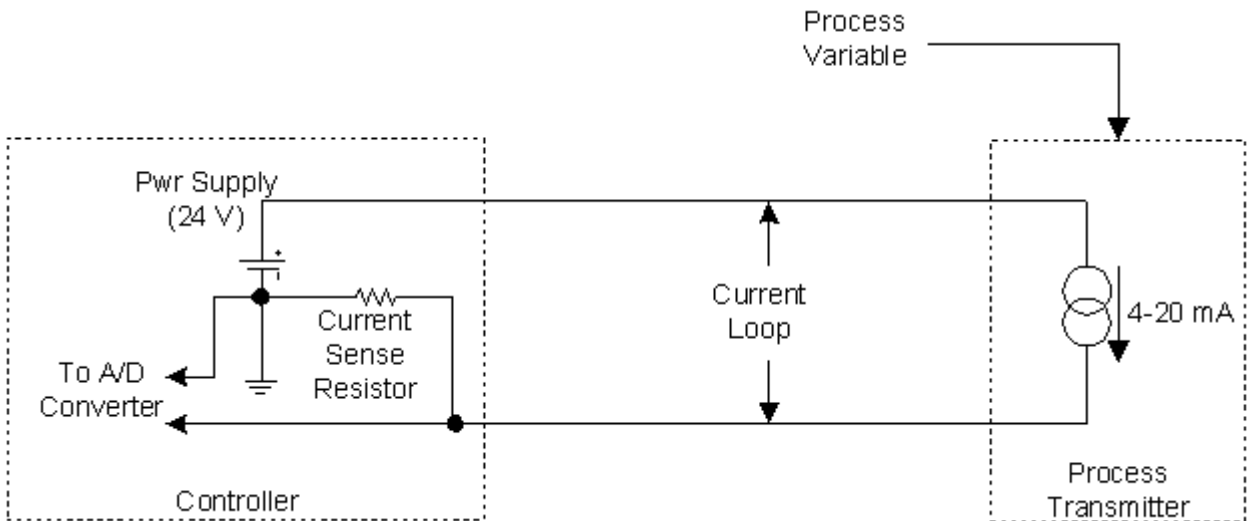


Figure 1.1 -- Conventional Process Loop

Figure 1.2 is the same thing with HART added. Both ends of the loop now include a modem and a "receive amplifier." The receive amplifier has a relatively high input impedance so that it doesn't load the current loop. The process transmitter also has an AC-coupled current source, and the controller an AC-coupled voltage source. The switch in series with the voltage source (Xmit Volt Source) in the HART controller is normally open. In the HART Controller the added components can be connected either across the current loop conductors, as shown, or across the current sense resistor. From an AC standpoint, the result is the same, since the Pwr Supply is effectively a short circuit. Notice that all of the added components are AC-coupled, so that they do not affect the analog signal. The receive amplifier is often considered part of the modem and would usually not be shown separately. We did it this way to indicate how (across which nodes) the receive signal voltage is derived. In either the Controller or the Transmitter, the receive signal voltage is just the AC voltage across the current loop conductors.

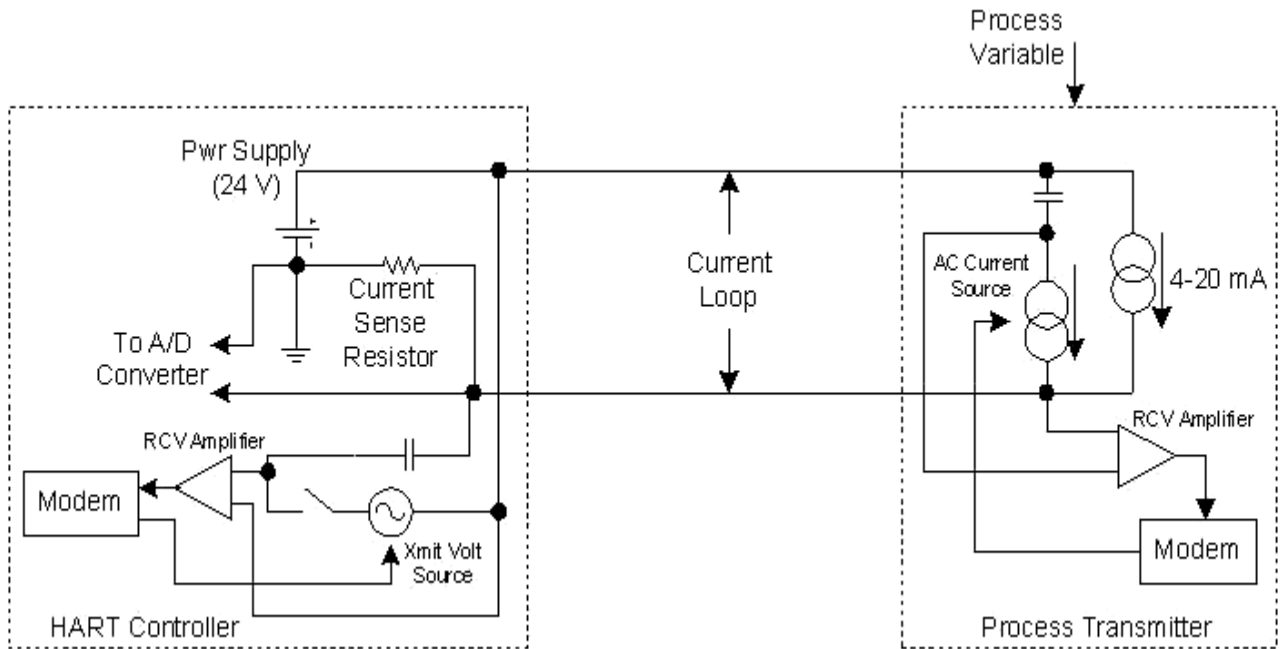


Figure 1.2 -- Process Loop With HART Added

To send a HART message, the process transmitter turns ON its AC-coupled current source. This superimposes a high-frequency carrier current of about 1 mA p-p onto the normal transmitter output current. The current sense resistor at the controller converts this variation into a voltage that appears across the two loop conductors. The voltage is sensed by the controller's receive amplifier and fed to the controller's demodulator (in block labeled "modem"). In practice the two current sources in the HART process transmitter are usually implemented as a single current regulator; and the analog and digital (HART) signals are combined ahead of the regulator.

To send a HART message in the other direction (to the process transmitter), the HART Controller closes its transmit switch. This effectively connects the "Xmit Volt Source" across the current loop conductors, superimposing a voltage of about 500 mV p-p across the loop conductors. This is seen at the process transmitter terminals and is sent to its receive amplifier and demodulator.

Figure 1.2 implies that a Master transmits as voltage source, while a Slave transmits as a current source. This is historically true. It is also historically true that the lowest impedance in the network -- the one that dominates the current-to-voltage conversion -- was the current sense resistor. Now, with some restrictions, either device can have either a low or high impedance. And the current sense resistor doesn't necessarily dominate.

Regardless of which device is sending the HART message, the voltage across the loop conductors will look something like that of figure 1.3; with a tiny burst of carrier voltage superimposed on a relatively large DC voltage. The superimposed carrier voltage will have a range of values at the receiving device, depending on the size of the current sense resistor, the amount of capacitive loading, and losses caused by other loop elements. Of course the DC

voltage will also vary; depending on controller supply voltage, loop resistance, where in the loop the measurement is made, etc.

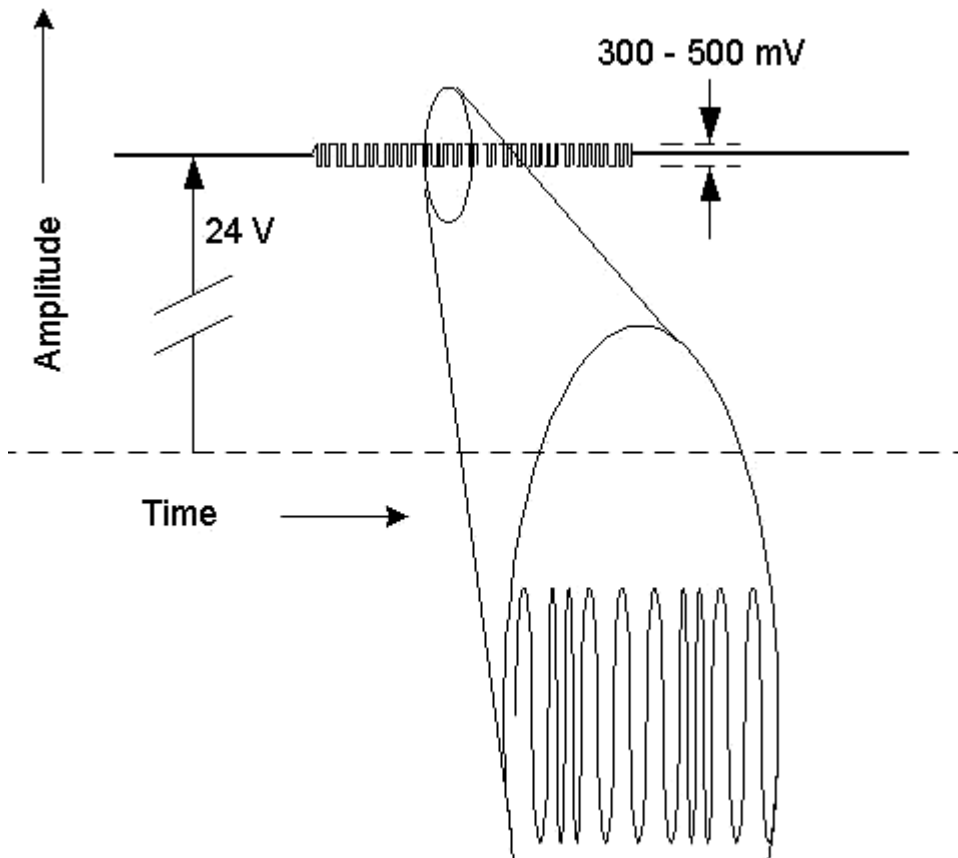


Figure 1.3 -- HART Carrier Burst

HART communication is FSK (frequency-shift-keying), with a frequency of 1200 Hz representing a binary one and a frequency of 2200 Hz representing a binary zero. These frequencies are well above the analog signaling frequency range of 0 to 10 Hz, so that the HART and analog signals are separated in frequency and ideally do not interfere with each other. The HART signal is typically isolated with a high-pass filter having a cut-off frequency in the range of 400 Hz to 800 Hz. The analog signal is similarly isolated with a low-pass filter. This is illustrated in figure 1.4.

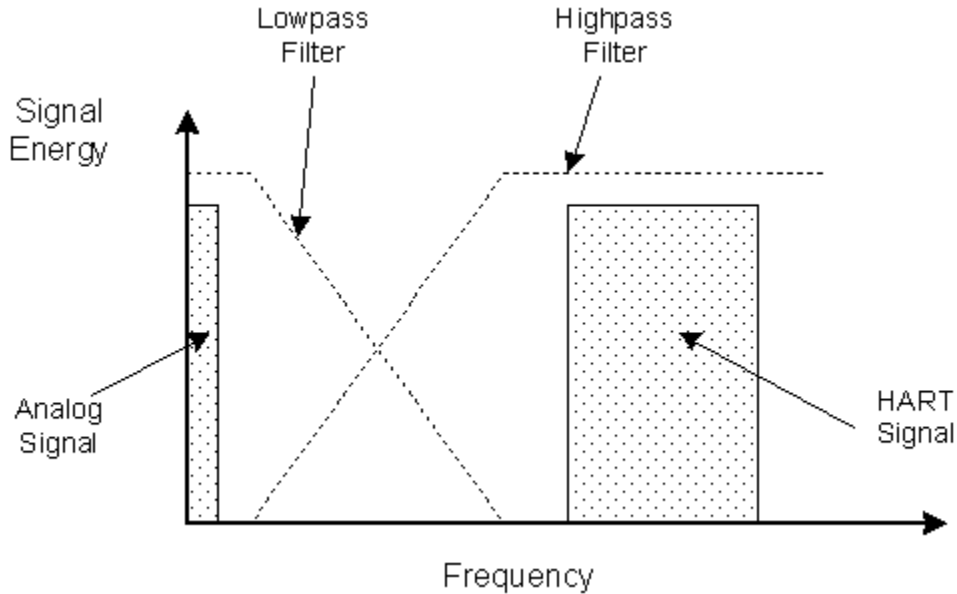


Figure 1.4 -- Separation of Analog and HART (Digital) Signals

The separation in frequency between HART and analog signaling means that they can coexist on the same current loop. This feature is essential for HART to augment traditional analog signaling. Further information on the frequencies involved in HART transmission is given in the section entitled [HART Signal Power Spectral Density](#). For a description of FSK and other forms of data/digital communication, see [3.5].

For convenience, Figure 1.4 shows the Analog and HART Signals to be the same level. Generally, this isn't true. The Analog Signal can vary from 4 to 20 mA or 16 mA p-p (unusual, but possible), which is vastly larger than the HART Signal. This, in turn, can lead to some difficulties in separating them.

HART is intended to retrofit to existing applications and wiring. This means that there must be 2-wire HART devices. It also means that devices must be capable of being intrinsically safe. These requirements imply relatively low power and the ability to transmit through intrinsic safety barriers. This is accomplished through a relatively low data rate, low signal amplitude, and superposition of the HART and analog signals. Power consumption is further reduced through the half-duplex nature of HART. That is, a device does not simultaneously transmit and receive. Therefore, some receive circuits can be shut down during transmit and vice-versa.

Intrinsic Safety and retrofitting to existing applications and wiring also explain why HART was developed at all, despite other advanced communication systems and techniques that existed at the time. None of them would have met the low power requirements needed in a 2-wire 4-20 mA device. Further information on intrinsically safe HART devices is given in the section entitled [HART and Intrinsic Safety](#).

In HART literature the process transmitter is called a Field Instrument or HART Slave Device. (These terms will be used interchangeably throughout our presentation.) And the current loop is a network. The controller is a HART Master. A hand-held communicator can

also be placed across the network temporarily. It is used in place of, or in addition to, the fixed controller-based HART Master. When both types of Masters are present, the controller is the Primary Master and the hand-held unit is the Secondary Master. (Note: It becomes difficult to describe process devices in a data communication setting, because the terms transmitter and receiver have more than one meaning. For example, a process transmitter both receives and transmits data bits. We hope we've avoided confusion by providing sufficient context whenever these words are used.)

HART now includes process receivers. These are also called Field Instruments or HART Slaves and are discussed in the section entitled [Process Receiver](#).

### Overview: Signaling

The HART signal path from the the processor in a sending device to the processor in a receiving device is shown in figure 1.5. Amplifiers, filters, etc. have been omitted for simplicity. At this level the diagram is the same, regardless of whether a Master or Slave is transmitting. Notice that, if the signal starts out as a current, the "Network" converts it to a voltage. But if it starts out a voltage it stays a voltage.

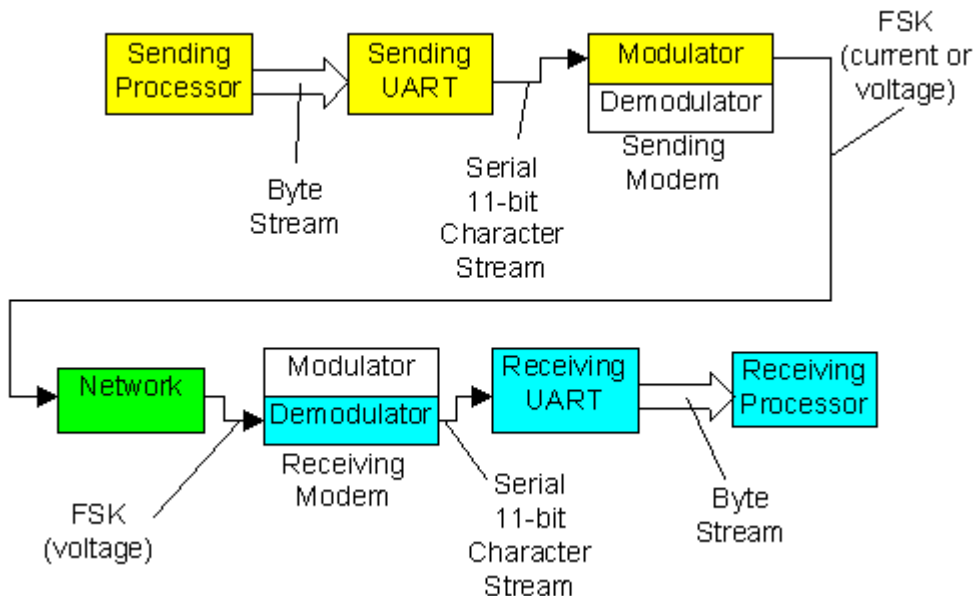


Figure 1.5 -- HART Signal Path

The transmitting device begins by turning ON its carrier and loading the first byte to be transmitted into its UART. It waits for the byte to be transmitted and then loads the next one. This is repeated until all the bytes of the message are exhausted. The transmitter then waits for the last byte to be serialized and finally turns off its carrier. With minor exceptions, the transmitting device does not allow a gap to occur in the serial stream.

The UART converts each transmitted byte into an 11 bit serial character, as in figure 1.6. The original byte becomes the part labeled "Data Byte (8 bits)". The start and stop bits are used for synchronization. The parity bit is part of the HART error detection. These 3 added bits contribute to "overhead" in HART communication.

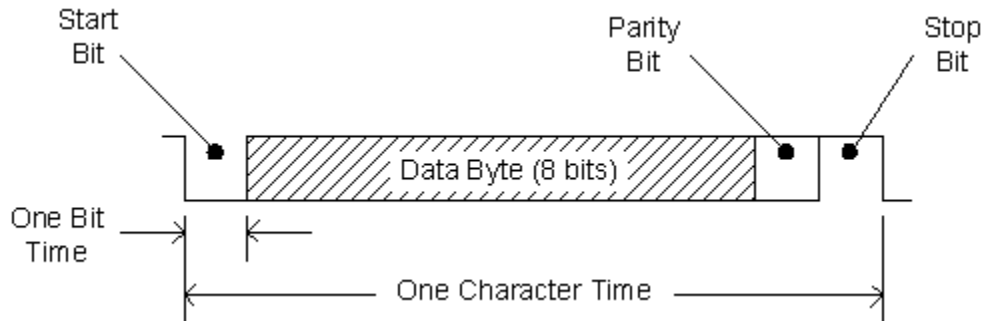


Figure 1.6 -- HART Character Structure

The serial character stream is applied to the Modulator of the sending modem. The Modulator operates such that a logic 1 applied to the input produces a 1200 Hz periodic signal at the Modulator output. A logic 0 produces 2200 Hz. The type of modulation used is called Continuous Phase Frequency Shift Keying (CPFSK). "Continuous Phase" means that there is no discontinuity in the Modulator output when the frequency changes. A magnified view of what happens is illustrated in figure 1.7 for the stop bit to start bit transition. When the UART output (modulator input) switches from logic 1 to logic 0, the frequency changes from 1200 Hz to 2200 Hz with just a change in slope of the transmitted waveform. A moment's thought reveals that the phase doesn't change through this transition. Given the chosen shift frequencies and the bit rate, a transition can occur at any phase.

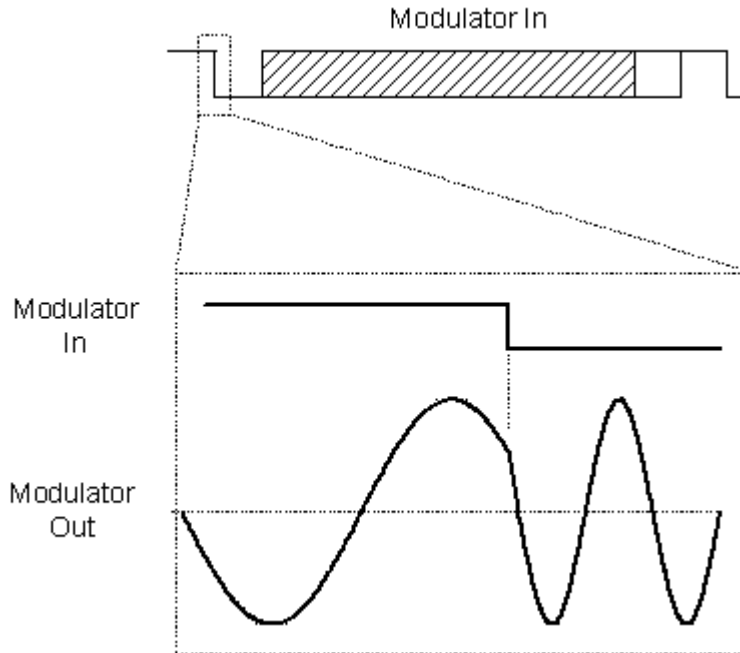


Figure 1.7 -- Illustration of Continuous Phase FSK

A mathematical description of continuous phase FSK is given in the section entitled [Equation Describes CPFSK](#).

The form of modulation used in HART is the same as that used in the "forward channel" of Bell-202. However, there are enough differences between HART and Bell-202 that several modems have been designed specifically for HART. Further information on Bell-202 is given in the section entitled [What's In a Bell-202 Standard?](#)

At the receiving end, the demodulator section of a modem converts FSK back into a serial bit stream at 1200 bps. Each 11-bit character is converted back into an 8-bit byte and parity is checked. The receiving processor reads the incoming UART bytes and checks parity for each one until there are no more or until parsing of the data stream indicates that this is the last byte of the message. The receiving processor accepts the incoming message only if its amplitude is high enough to cause carrier detect to be asserted. In some cases the receiving processor will have to test an I/O line to make this determination. In others the carrier detect signal gates the receive data so that nothing (no transitions) reaches the receiving UART unless carrier detect is asserted.

### Overview: HART Process Transmitter Block Diagram

A block diagram of a typical HART Process Transmitter is given in figure 1.8.



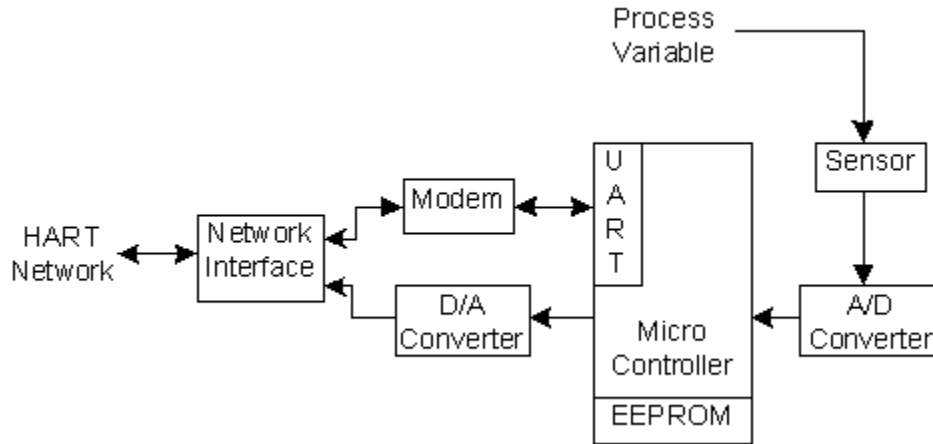


Figure 1.8 -- Typical HART Process Transmitter Block Diagram

The "network interface" in this case is the current regulator. The current regulator implements the two current sources shown in the "process transmitter" of figure 1.2. The block labeled "modem", and possibly the block labeled "EEPROM", are about the only parts that would not otherwise be present in a conventional analog transmitter. The EEPROM is necessary in a HART transmitter to store fundamental HART parameters. The UART, used to convert between serial and parallel data, is often built into the micro-controller and does not have to be added as a separate item.

The diagram illustrates part of the appeal of HART: its simplicity and the relative ease with which HART field instruments can be designed. HART is essentially an add-on to existing analog communication circuitry. The added hardware often consists of only one extra integrated circuit of any significance, plus a few passive components. In smart field instruments the ROM and EEPROM to hold HART software and HART parameters will usually already exist.

### **Overview: Building Networks**

The type of network thus far described, with a single Field Instrument that does both HART and analog signaling, is probably the most common type of HART network and is called a point-to-point network. In some cases the point-to-point network might have a HART Field Instrument but no permanent HART Master. This might occur, for example, if the User intends primarily analog communication and Field Instrument parameters are set prior to installation. A HART User might also set up this type of network and then later communicate with the Field Instrument using a hand-held communicator (HART Secondary Master). This is a device that clips onto device terminals (or other points in the network) for temporary HART communication with the Field Instrument.

A HART Field Instrument is sometimes configured so that it has no analog signal -- only HART. Several such Field Instruments can be connected together (electrically in parallel) on the same network, as in figure 1.9.

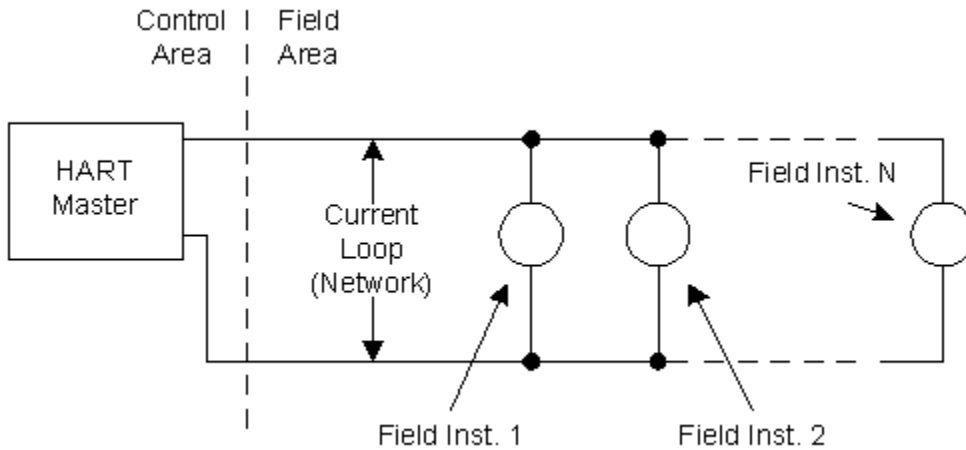


Figure 1.9 -- HART Network with Multi-dropped Field Instruments

These Field Instruments are said to be multi-dropped. The Master is able to talk to and configure each one, in turn. When Field Instruments are multi-dropped there can't be any analog signaling. The term "current loop" ceases to have any meaning. Multi-dropped Field Instruments that are powered from the network draw a small, fixed current (usually 4 mA); so that the number of devices can be maximized. A Field Instrument that has been configured to draw a fixed analog current is said to be "parked." Parking is accomplished by setting the short-form address of the Field Instrument to some number other than 0. A hand-held communicator might also be connected to the network of figure 1.9.

There are few restrictions on building networks. The topology may be loosely described as a bus, with drop attachments forming secondary busses as desired. This is illustrated in figure 1.10. The whole collection is considered a single network. Except for the intervening lengths of cable, all of the devices are electrically in parallel. The Hand-Held Communicator (HHC) may also be connected virtually anywhere. As a practical matter, however, most of the cable is inaccessible and the HHC has to be connected at the Field Instrument, in junction boxes, or in controllers or marshalling panels.

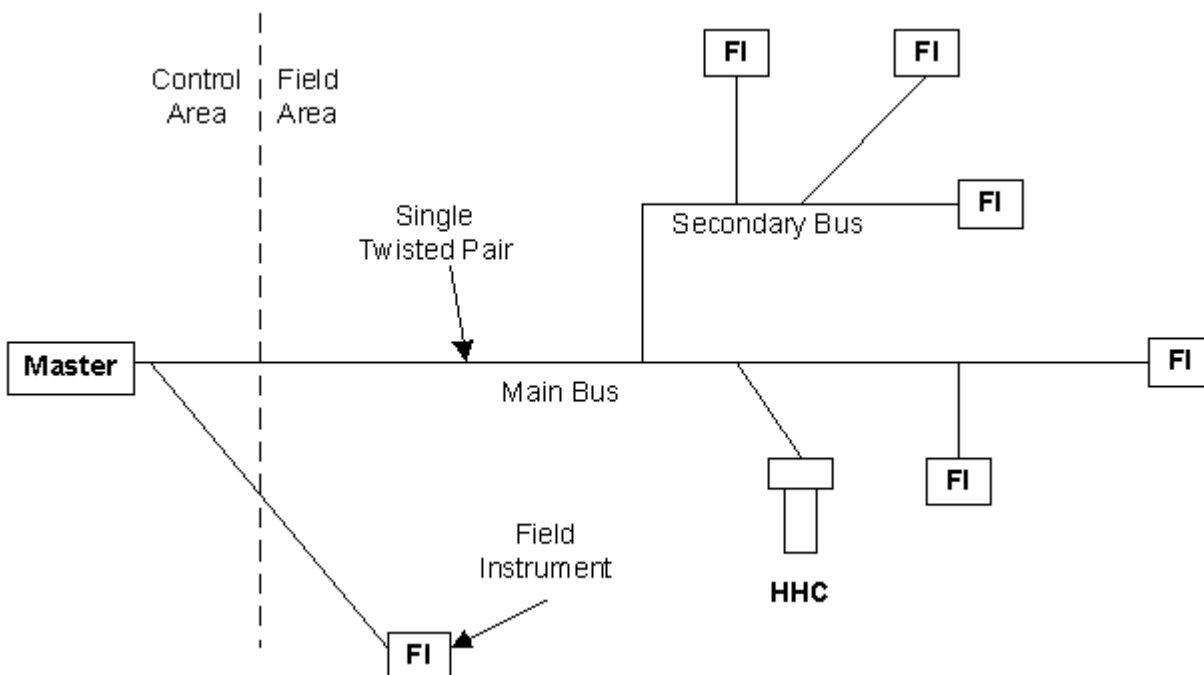


Figure 1.10 -- HART Network Showing Free Arrangement of Devices

In intrinsically safe (IS) installations there will likely be an IS barrier separating the Control and Field areas.

A Field Instrument may be added or removed or wiring changes made while the network is live (powered). This may interrupt an on-going transaction. Or, if the network is inadvertently short-circuited, this could reset all devices. The network will recover from the loss of a transaction by re-trying a previous communication. If Field Instruments are reset, they will eventually come back to the state they were in prior to the reset. No reprogramming of HART parameters is needed.

The common arrangement of a home run cable, junction box, and branch cables to Field Instruments is acceptable. Different twisted pairs of the same cable can be used as separate HART networks powered from a single supply, as in figure 1.11. Notice that in this example the 2nd network has two multi-dropped Field Instruments, while each of the other two networks shown has only one.

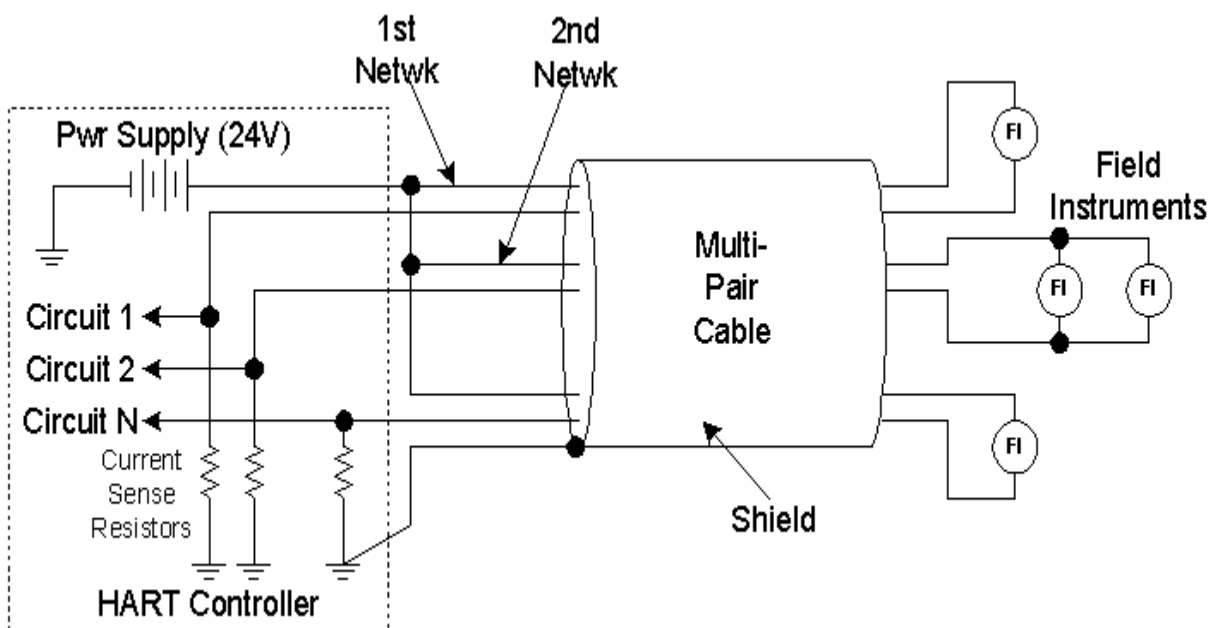


Figure 1.11 -- Single Cable With Multiple HART Networks

Circuit 1 in the diagram is connected to A/D converter 1 and Modem 1. Circuit 2 is connected to A/D converter 2, Modem 2. And so on. Or else a multiplexor may be used to switch a single A/D converter or single Modem sequentially from Circuit 1 through Circuit N. If a single Modem is used, it is either a conventional Modem that is switched in between HART transactions; or it could be a special sampled-data type of Modem that is able to operate on all networks simultaneously.

HART networks use shielded twisted pair cable. Many different cables with different characteristics are used. Although twisted pair cable is used, the signaling is single-ended. (One side of each pair is at AC ground.) HART needs a minimum bandwidth (-3 dB) of about 2.5 kHz. This limits the total length of cable that can be used in a network. The cable capacitance (and capacitance of devices) forms a pole with a critical resistance called the network resistance. In most cases the network resistance is the same as the current sense resistance in figures 1.1 and 1.2. To insure a pole frequency of greater than 2.5 kHz, the RC time constant must be less than 65 microsecond. For a network resistance of 250 ohm, C is a maximum of 0.26 microfarad. Thus, the capacitance due to cable and other devices is limited to 0.26 microfarad. Further information on cable effects is given in the section entitled [Cable Effects](#).

Digital signaling brings with it a variety of other possible devices and modes of operation. For example, some Field Instruments are HART only and have no analog signaling. Others draw no power from the network. In still other cases the network may not be powered (no DC). There also exist other types of HART networks that depart from the conventional one described here. These are covered in the section entitled [HART Gateways and Alternative Networks](#).

## Overview: Protocol

Normally, one HART device talks while others listen. A Master typically sends a command and then expects a reply. A Slave waits for a command and then sends a reply. The command and associated reply are called a transaction. There are typically periods of silence (nobody talking) between transactions. The two bursts of carrier during a transaction are illustrated in figure 1.12.

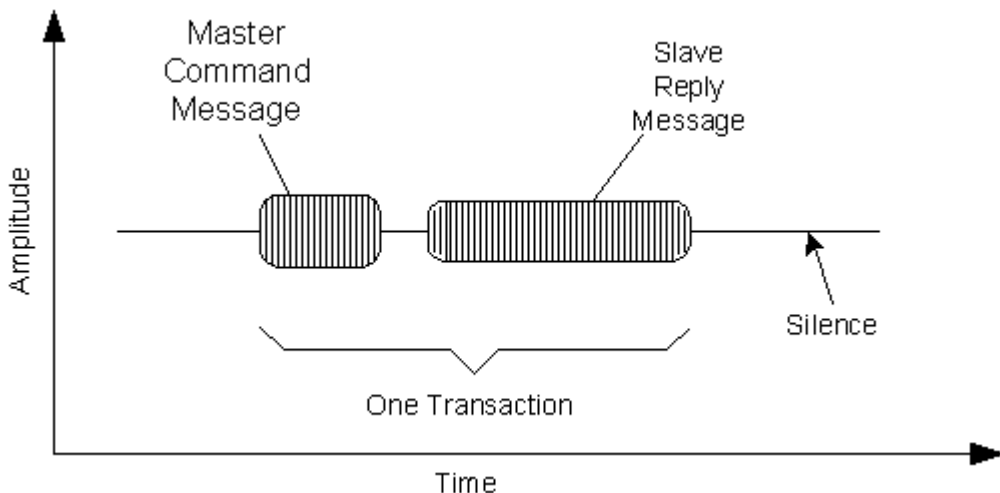


Figure 1.12 -- Carrier Bursts During HART Transaction

There can be one or two Masters (called Primary and Secondary Masters) per network. There can be (from a protocol viewpoint) almost an unlimited number of Slaves. (To limit noise on a given network, the number of Slaves is limited to 15. If the network is part of a super network involving repeaters, then more Slaves are possible because the repeater re-constitutes the digital signal so that noise does not pass through it.)

A Slave accesses the network as quickly as possible in response to a Master. Network access by Masters requires arbitration. Masters arbitrate by observing who sent the last transmission (a Slave or the other Master) and by using timers to delay their own transmissions. Thus, a Master allows time for the other Master to start a transmission. The timers constitute dead time when no device is communicating and therefore contribute to "overhead" in HART communication. Further information on Master arbitration is available in the section entitled [Timing is Everything](#).

A Slave (normally) has a unique address to distinguish it from other Slaves. This address is incorporated into the command message sent by a Master and is echoed back in the reply by the Slave. Addresses are either 4 bits or 38 bits and are called short and long or "short frame" and "long frame" addresses, respectively. A Slave can also be addressed through its tag (an identifier assigned by the user). HART Slave addressing and the reason for two different address sizes is discussed in more detail in the next section.

Each command or reply is a message, varying in length from 10 or 12 bytes to typically 20 or 30 bytes. The message consists of the elements or fields listed in table 1.1, starting with the preamble and ending with the checksum.

<b>Part of Message</b>	<b>Length in Bytes</b>	<b>Purpose</b>
Preamble	5 to 20	Synchronization & Carrier Detect
Start Delimiter	1	Synchronization & Shows Which Master
Address	1 or 5	Choose Slave, Indicate Which Master, and Indicate Burst Mode
Command	1	Tell Slave What to Do
Number Data Bytes	1	Indicates Number Bytes Between Here and Checksum
Status	0 (if Master) 2 (if Slave)	Slave Indicates Its Health and Whether it did As Master Intended
Data	0 to 253	Argument Associated with Command (Process Variable, For Example)
Checksum	1	Error Control

Table 1.1 -- Parts of HART Message

The preamble is allowed to vary in length, depending on the Slave's requirements. A Master will use the longest possible preamble when talking to a Slave for the first time. Once the Master reads the Slave's preamble length requirement (a stored HART parameter), it will subsequently use this new length when talking to that Slave. Different Slaves can have different preamble length requirements, so that a Master might need to maintain a table of these values.

A longer preamble means slower communication. Slave devices are now routinely designed so that they need only a 5 byte preamble; and the requirement for a variable preamble length may now be largely historical.

The status field (2 bytes) occurs only in replies by HART Slave devices. If a Slave does not execute a command, the status shows this and usually indicates why. Several possible reasons are:

1. The Slave received the message in error. (This can also result in no reply.)
2. The Slave doesn't implement this command.
3. The Slave is busy.
4. The Slave was told to do something outside of its capability (range number too large or small, for example).

5. The Slave is write-protected and was told to change a protected parameter.

A Slave Device will often be equipped with write-protect capability. This is often implemented with a two-position shorting block on the device's circuit board. With the shorting block in the write-protect position, parameters can't be changed. A Slave that is commanded to change a protected parameter will not act on the command and will reply that it is write protected.

Commands are one of 3 types: Universal, Common Practice, and Device Specific (Proprietary). Universal and Common Practice commands implement functions that were either part of an original set or are needed often enough to be specified as part of the Protocol. Among the Universal commands are commands to read and write the device's serial number, tag, descriptor, date; read and write a scratch memory area; read the device's revision levels; and so on. These parameters are semi-permanent and are examples of data that is stored in EEPROM.

A Device Specific command is one that the device manufacturer creates. It can have any number from 128 to 253. Different manufacturers may use the same command number for entirely different functions. Therefore, the Master must know the properties of the devices it expects to talk to. The HART [Device Description Language](#) is helpful in imparting this information to a Master. The command value 255 is not allowed, to avoid possible confusion with the preamble character. The value 254 is reserved -- probably to allow for a second command byte in future devices that may require a very large number of device-specific commands.

The checksum at the end of the message is used for error control. It is the exclusive-or of all of the preceding bytes, starting with the start delimiter. The checksum, along with the parity bit in each character, create a message matrix having so-called vertical and longitudinal parity. If a message is in error, this usually necessitates a retry. Further information on HART error control is given below in the section [HART Message Errors](#).

One more feature, available in some Field Instruments, is burst mode. A Field Instrument that is burst-mode capable can repeatedly send a HART reply without a repeated command. This is useful in getting the fastest possible updates (about 2 to 3 times per second) of process variables. If burst-mode is to be used, there can be only one bursting Field Instrument on the network.

A Field Instrument remembers its mode of operation during power down and returns to this mode on power up. Thus, a Field Instrument that has been parked will remain so through power down. Similarly, a Field Instrument in burst-mode will begin bursting again on power up.

HART Protocol puts most of the responsibility (such as timing and arbitration) into the Masters. This eases the Field Instrument software development and puts the complexity into the device that's more suited to deal with it.

A large amount of Protocol information, including message structure and examples, is given in [\[1.6\]](#).

## **Overview: Addressing**

Each HART field instrument must have a unique address. Each command sent by a Master contains the address of the desired Field Instrument. All Field Instruments examine the command. The one that recognizes its own address sends back a response. For various reasons HART addressing has been changed a few times. Each change had to be done in such a way as to maintain backward compatibility. This has led to some confusion over addressing. Hopefully, this somewhat chronological presentation will not add to the confusion.

Early HART protocol used *only* a 4 bit address. This meant there could be 16 field instruments per network. In any Field Instrument the 4-bit address could be set to any value from 0 to 15 using HART commands. If a Master changed the address of a Field Instrument, it would have to use the new address from then on when talking to that particular Field Instrument.

Later, HART was modified to use a combination of the 4-bit address and a new 38 bit address. In these modern devices, the 4-bit address is identical to the 4-bit address used exclusively in earlier devices, and is also known as a polling address or short address. The 38 bit address is also known as the long address, and is permanently set by the Field Instrument manufacturer. A 38-bit address allows virtually an unlimited number of Field Instruments per network. Older devices that use only a 4-bit address are also known as "rev 4" Field Instruments. Modern devices, that use the combined addresses, are also known as "rev 5" instruments. These designations correspond to the revision levels of the HART Protocol documents. Revision 4 devices are now considered obsolete. Their sale or use or design is discouraged and most available software is probably not compatible with revision 4.

So, why the two forms of address in modern Field Instruments? The reason is that we need a way of quickly determining the long address. We can't just try every possible combination (2 to the 38th power). This would take years. So, instead, we put the old 4-bit address to work. We use it to get the Field Instrument to divulge its long address. The protocol rules state that HART Command 0 may be sent using the short address. All other commands require the long address. Command 0, not surprisingly, commands a Field Instrument to tell us its long address. In effect the short address is used only once, to tell us how to talk to the Field Instrument using its long address.

The long address consists of the lower (least significant) 38 bits of a 40-bit unique identifier. This is illustrated in figure 1.13. The first byte of the unique identifier is the manufacturer's ID number. The second is the manufacturer's device type code. The 3rd, 4th, and 5th are a serial number. It is intended that no two Field Instruments in existence have the same 40-bit identifier.



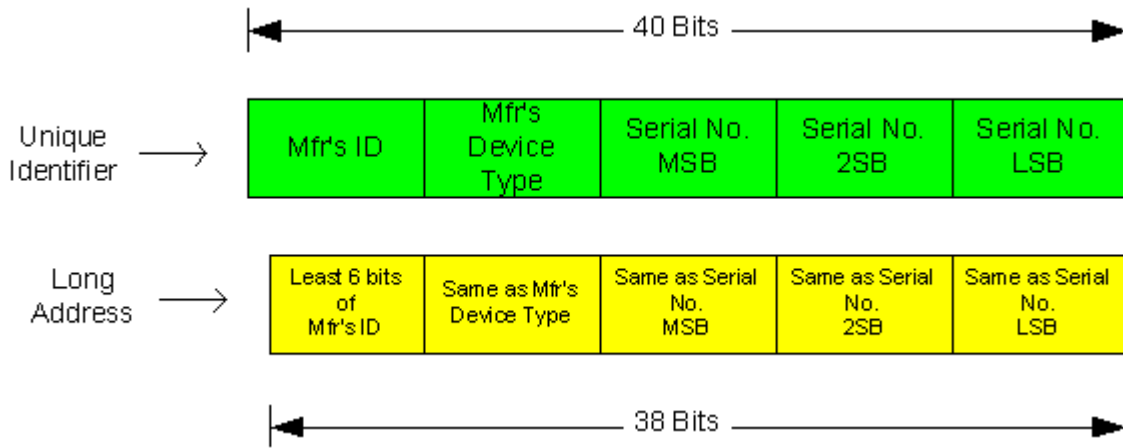


Figure 1.13 -- Unique Identifier and Long Address

There is another way to get a Field Instrument to divulge its long address: By using its tag. A tag is a 6-byte identification code that an end-user may assign to a Field Instrument. Once this assignment is made, Command 11 will provide the same information as command 0. But command 11 is one of those that require a long address. This seems to present a chicken-and-egg dilemma: We want to use command 11 to learn the long address. But we need to know the long address to use command 11. Obviously, there is a way around this. It is to use a broadcast address. The broadcast address has all 38 bits equal to zero and is a way of addressing all Field Instruments at once. When a Field Instrument sees this address and command 11, it compares its tag against the one included in the command. If they match, then the Field Instrument sends a reply. Since there should be only one Field Instrument with a matching tag, only one should reply.

The short address in either the older or modern Field Instruments has one other purpose: to allow parking. A parked Field Instrument has its analog output current fixed. Usually it is fixed at some low value such as 4 mA. Parking is necessary for multi-dropped instruments to avoid a large and meaningless current consumption. A Field Instrument is parked by setting its short address to a value other than 0. In other words, the short address of the parked Field Instrument can be any value from 1 through 15.

Some HART-only Field Instruments have no Analog Signal and are effectively parked for any short address from 0 through 15.

There are potential problems with the HART addressing scheme. These are discussed in the section entitled [Addressing Problems, Slave Commissioning, and Device Database](#).

## Overview: Conclusion

Although some of the details and variations are left out, this is basically how HART works. The complete topology rules and device requirements are given in HART specifications, which are sold by the HART Communication Foundation [1.5]. The information presented here should

not be considered a substitute for the actual specifications. A current list of the specifications and their HCF designations is given in the section entitled [Table of Current HART Publications](#). Some circuit designs and more detail on selected HART topics are covered in the [HART Application Note](#).

### **Why So Slow?**

A common question or complaint about HART is its relatively low speed of 1200 bps. In an age of DSL, HART is clearly a snail. One has to keep in mind the time period in which HART was developed (early 1980's) as well as the relatively small amount of available power in 4-20 mA analog instruments. In the early 1980s, a 300 bps modem for a personal computer was considered pretty good. And when 1200 bps modems came out, they sold for \$500 to \$600 each. The power to run personal computer modems has always been watts. The power to run a HART modem is often only 2 mW.

Not only is there very little power available in analog instruments, but it keeps shrinking! Demands for greater functionality keep shifting the available current into more powerful processors, etc.

Some of the issues/problems involved in a higher speed HART are:

1. Many of the protocol functions must be moved into hardware. A single low-power microcontroller in a Slave device would otherwise be hard-pressed to keep up.
2. Backward compatibility with devices/networks that run at the current speed and use the existing bandwidth. If the bit rate is to be higher than the existing bandwidth of 3 or 4 kHz, this generally means that spectrally efficient techniques are needed. This loosely translates into complicated modulation methods and digital signal processing. Thus, there is a quantum leap in current consumption.
3. The cost of a larger and more complex HART chip.
4. Burst type operation, which is used in HART becomes difficult to achieve at higher bit rates, because of the need for long equalization periods and other receiver start-up activities.

The HART Communication Foundation has actively sought and invested in the development of a higher speed HART. But so far the hardware has not materialized.

For information on the theoretical upper speed limit for a HART network, see the section entitled [How Fast?](#)

To see our proposal for a higher speed HART, click [here](#).

### **What's In A Bell-202 Standard?**

If you've searched through the various Bell-202 Standards and wondered where the FSK modulation and the shift frequencies appear, the answer is they don't. Not even the bit rate of 1200 bps is stated, although it is the recommended upper limit for PSTN (dial-up lines). The bit rate (1200 bps), type of modulation (CPFSK), and the shift frequencies (1200 Hz and 2200 Hz) are all de facto values used in Bell-202 modems. Apparently, just as J.S. Bach never put dynamic markings in his music, believing that it would never be performed other than under his direction; Ma Bell never put in this vital information, thinking that she would forever have a monopoly on modems.

### **Process Receiver**

HART was originally conceived to augment process transmitters. However, specifications were later revised to cover process receivers (typically valve positioners), as well. Here, we will briefly examine the electrical characteristics of a HART process receiver.

In a conventional process receiver loop, the controller generates a 4-20 mA current that is applied to (passed through) the process receiver. The desired characteristic of the receiver is that it have an impedance of almost zero. This is the opposite of the process transmitter, which ideally has infinite impedance. Thus, the two types of Field Instruments are electrical opposites.

To add HART communication to the process receiver loop, we could perpetuate the existing impedance situation and require high-impedance Masters and low-impedance Field Instruments. This would require a new set of HART Masters that would transmit using a current source instead of a voltage source. In fact there would be a duplication of most of the HART elements that already exist for process transmitter loops; and possibly a separate specification and separate products for process receiverdom.

Another approach -- a more practical one -- is to devise a process receiver with nearly zero impedance at DC and a high impedance at HART frequencies. Using this approach, a single type of HART Master is able to talk to either a process transmitter or a process receiver. It is easier to make such a HART process receiver if the "high impedance" doesn't have to be too high. About 300 to 400 ohm is about as high as it can easily go. Since this is still relatively low, the HART specifications permit this device to set the network resistance. That is, the impedance of this device at HART frequencies replaces the current sense resistor. Note that a current sense resistor wouldn't normally be present, anyway, in a process receiver loop. The complete process receiver loop with HART components is shown in figure 1.14. The frequency-dependent impedance in the process receiver is represented by the small graph of  $|Z|$  versus frequency.

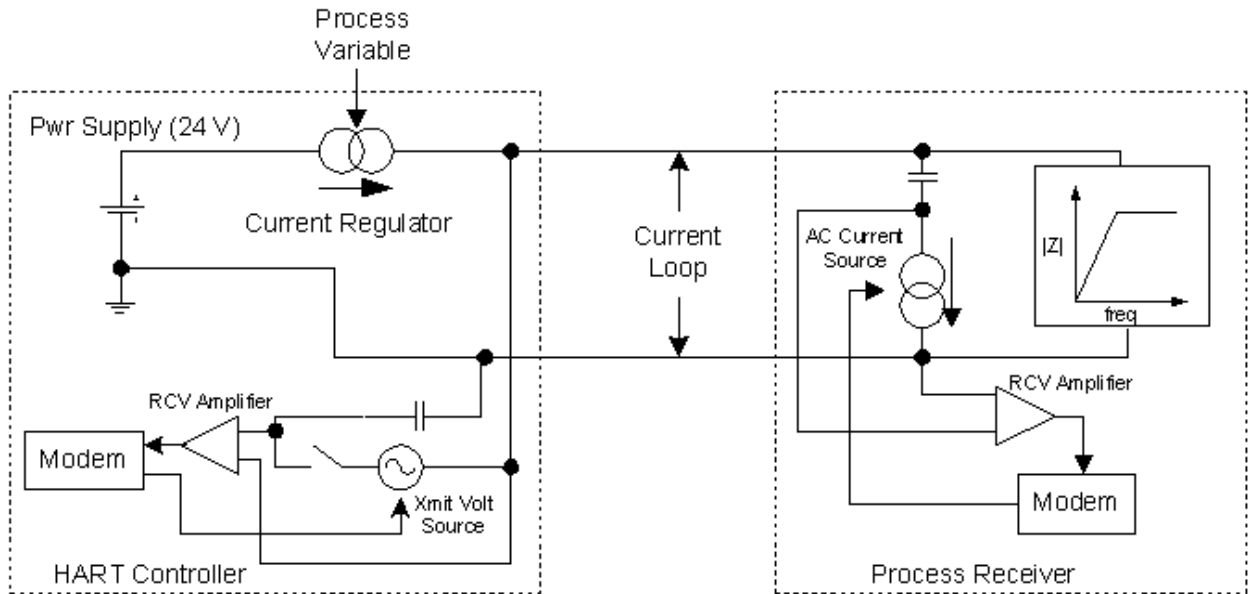


Figure 1.14 -- Process Receiver Loop Circuitry

Although the figure shows the transmit source in the process receiver as a current source, this could probably also be implemented as a switched voltage source.

There are actually two types of process receivers. The second type is electrically the same as a process transmitter, except that it draws a fixed current and the position is set by writing a setpoint with a HART command. This allows the process receiver to be multi-dropped with other similar receivers or other HART devices. There are also smart positioners that incorporate both types of HART interface for maximum versatility.

### Other Books About HART?

As far as we know there aren't any. A search of amazon.com (on-line bookstore) turned up nothing. The Instrument Society of America (ISA) publishes a variety of books on process control, but has nothing with "HART" in the title. The [Virtual HART Book](#) is a catalog of HART products.

The entire field of data communication in process plants and on the factory floor began in the 1980s. There is a book entitled "Industrial Data Communications: Fundamentals and Applications" - Second Edition, 1997; that appears to deal with several different networks, including HART. Undoubtedly, there will be others of a general nature that examine and compare the various types of communication that have become available.

## **Alternatives To HART**

There is no exact alternative to HART in the sense of a competing open standard that augments analog signaling in an industrial process control setting. There are, however, similar proprietary methods that have been developed by companies such as Honeywell, Foxboro, and Eltag-Bailey. There are also many process control devices advertised that have RS232 and/or RS485 ports built-in, along with proprietary protocols, for the purpose of configuration, calibration, etc.

The H1 Physical Layer (Voltage Mode Low Speed) of Foundation Fieldbus [1.7] is an open standard for process control instruments that supports only digital signaling. It is similar to HART in its support of 2-wire Field Instruments and its superposition of signal onto the DC instrument power. Its raw data rate at the Physical Layer is 31.25 kbits/second -- much higher than HART. However, it also has much higher overhead so that a full 26X increase in transaction rate is not realized. A much higher level of circuit integration and far more software are generally needed to support it. At present Foundation Fieldbus devices typically use 3 to 5 times as much power as HART devices. The network topology of Foundation Fieldbus is similar to HART but more restricted.

## **Table of Current HART Publications**

<b>Document Number</b>	<b>Title</b>
HCF-SPEC-11	HART - Smart Communications Protocol Specification
HCF-SPEC-54	FSK Physical Layer Specification
HCF-SPEC-81	Data Link Layer Specification
HCF-SPEC-99	Command Summary Information
HCF-SPEC-127	Universal Command Specification
HCF-SPEC-151	Common Practice Command Specification
HCF-SPEC-183	Common Tables
HCF-SPEC-307	Command Specific Response Code Definitions
HCF-SPEC-500	HART Device Description Language Specification
HCF-SPEC-501	Device Description Language Methods Builtins Library
HCF-SPEC-502	Device Description Language Binary File Format Specification
HCF-TEST-1	HART Slave Data Link Layer Test Specification
HCF-TEST-2	HART Physical Layer Test Procedure
HCF-TEST-3	HART Universal Application Layer Conformance Tests
HCF-PROC-1	HCF Entity Control Procedures
HCF-PROC-12	HCF Quality Assurance Program
HCF-LIT-1	Application Layer Guideline on Building HART Commands
HCF-LIT-2	NCR 20C12 Modem Application Note: A HART Master Demonstration Circuit
HCF-LIT-3	NCR 20C12 Modem Application Note: A HART Slave Demonstration Circuit

HCF-LIT-5	Application Layer Guideline on HART Status Information
HCF-LIT-8	Data Link Layer Slave, Structured Analysis
HCF-LIT-9	Data Link Layer Master, Structured Analysis
HCF-LIT-11	HART Slave Library Software Design
HCF-LIT-14	NCR20C15 Modem Application Note: A HART Master Demonstration Circuit
HCF-LIT-15	NCR20C15 Modem Application Note: A HART Slave Demonstration Circuit
HCF-LIT-17	HTEST Application Manual, HART Master Simulator
HCF-LIT-18	Field Device Specific Specification Template
HCF-LIT-21	HART Communication Foundation Tokenizer User Guide
HCF-LIT-24	HART Telecommunications Guideline

Table 1.2 -- HCF Publications

## **About HART -- Part 2**

### **Part 2: Practical Stuff**

#### **A Caveat: HART and Current Consumption**

Adding HART to an analog 2-wire transmitter eats into the available current in two ways. First, there is the current consumed by HART functions. And, second, there is less current to start with because of the superposition of the HART signal. If the analog output is 4 mA, then the instantaneous output during HART transmission can typically drop to 3.5 mA. This often means that there is only 3.5 mA available to power circuitry. Alarm conditions and guard bands can further erode this number, as illustrated in figure 2.1. Energy storage methods can prevent the loss of 0.5 mA, but might be unsatisfactory in an intrinsically safe device.

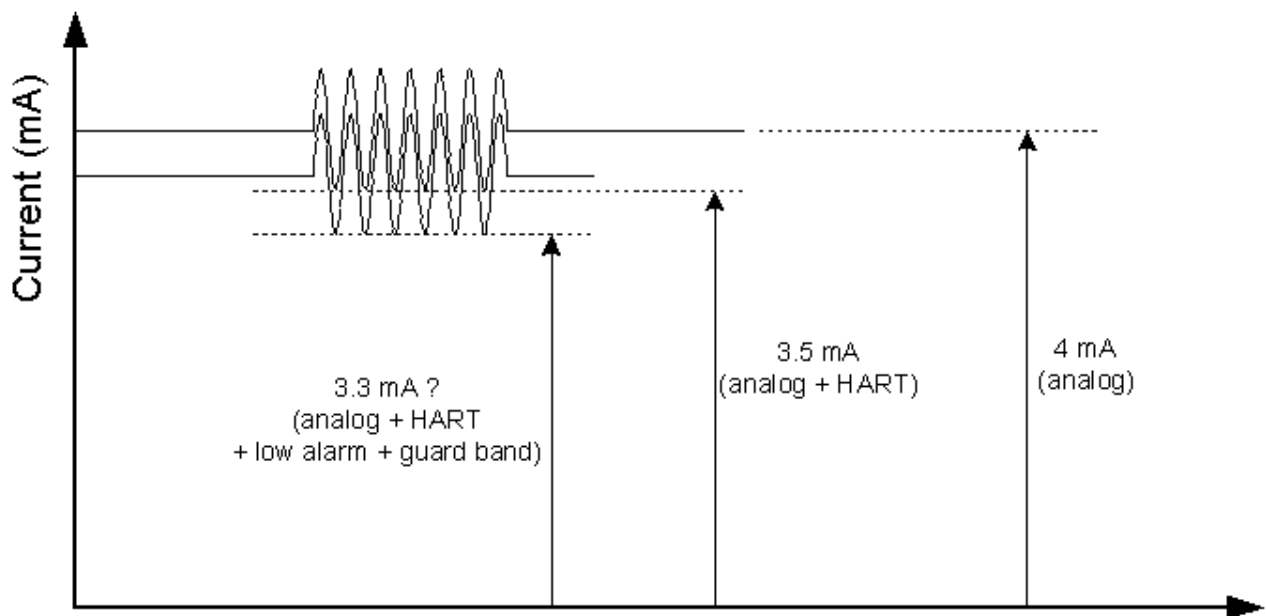


Figure 2.1 -- Available Operating Current With HART

### Modem Sources

When people talk about modems, it's not always clear whether they mean an integrated circuit that can be designed into their product or a completed, network-ready unit (HART Master). For information on HART modems of either type, see [Romilly Bowden](#). The HART Communication Foundation is another source of information. For just the integrated circuits, you might also want to check out our paper entitled [HART Chips: Past, Present, Future](#).

### HART Library Software For PC

HART Device Drivers are available from [Borst Automation](#). This allows you to put buttons, etc. on your screen that read and write HART parameters, put them into spreadsheets, etc. Also, see the section entitled [HART and PCs](#).

### HART and PCs

The combination of a Personal Computer and Serial Port HART Modem is often used as a HART Master. In the days of DOS this was easier because you could write software that would take over the whole computer and generate the proper timing. Nowadays it isn't so easy. The very enhancements, namely Windows and buffered UARTs, that make PCs more useful for other

applications have made them less useful for HART. Windows 95 and 98 have no provision for real time activities, and delays of 20 to 100's of milliseconds are reported [2.1]. Windows NT has provision for "Real-time Threads". But experiment shows [2.2] that it can still devote 100% of CPU time to a task and ignore I/O events completely. Since one character time in HART is 9.2 millisecond, the delays involved can be several character times. This is enough to destroy HART Master arbitration. So-called RTOS extensions to Windows NT are available, that can make Windows NT appear to be more of a real-time operating system. But this is extra software to buy, install, and understand. Worse yet, the HART application software may depend on whose RTOS is being used, so that it becomes tied to the RTOS instead of the PC.

In some applications, where it is known that there will be only one HART Master and where HART burst-mode is not used, a Windows-based PC and simple Modem can still be used. The only timing consideration is how long to wait for a Slave to reply. Such applications don't follow HART Specifications and don't allow Master arbitration. Nevertheless, they are useful and probably represent a fairly large subset of HART software. You can download source code (in C) that works in this manner and does a lot of general HART activities, such as extracting device information, calibration, etc. It runs in a DOS window under Windows. Click [here](#) to download.

To address the real-time requirements of HART, some systems put another processor between the PC and the Modem. This can take the form of either a single-board-computer or an embedded microcontroller that is part of the Modem. The single-board-computer or embedded controller forms a buffer between the Modem and the PC and takes care of all of the HART timing.

A recently introduced integrated circuit, the "P51", from Cybernetic Micro Systems, Inc. addresses the timing problems of PCs. It appears to have almost everything you need to make a full HART modem that plugs into a PC's ISA bus. It is based on an 8051 and contains a complete interface to a PC or PC104 bus, including dual-port RAM and interrupts. In this case the 8051 does the HART communication and provides the timing.

Even a newer computer running DOS won't always perform as expected, because of the way that the UARTs work. Most modern UARTs in PCs are usually equipped with built-in FIFOs, to avoid frequent interrupts of the CPU. This is a swell idea, except that the UART doesn't put error information into a FIFO. If there is an error, such as a parity error, there is no way of knowing which byte in the FIFO had the parity error (or whether more than one byte was in error). Consequently, there is no way of weeding out the initial HART preamble bytes that are in error because of carrier start-up. (See the section entitled [Start-Up Synchronization in HART](#) for details.) Fortunately, the UART can often be programmed so that the FIFO is disabled, allowing you to associate error status with each data byte.

Commercially available software packages and libraries for data communication are another source of trouble for the would-be HART Master. Most of them are geared toward telecom modems and have no concept of burst modems. They invariably turn on RTS (request-to-send) and assume it should be ON forever. (HART Modems require RTS to be on only during transmit.) They also are good at losing error status, just like FIFOed UARTs. They let you set up a receive buffer, for example. But they don't let you set up a corresponding buffer of error



status. You receive a notice telling you there's a HART message in the buffer, and another notice saying that some of the bytes are in error. But you don't get to know which ones are in error. Finally, one other nasty thing the software package will do is to make sure that your UART FIFO is turned ON.

Another UART caveat is that if you read a PC-based UART status, the status is automatically cleared. If you need to use the status word more than once, make sure that you store it after the first read.

### **Timing is Everything**

HART allows two Masters. Arbitration is used to determine which one will use the network. The arbitration is based on monitoring of network traffic and implementation of timers. A Master that is aware of what has recently transpired is said to be synchronized. An unsynchronized Master is one that has either lost synchronization or has recently been connected to the network and has yet to become synchronized. Loss of synchronization occurs if the processor in the Master must temporarily stop monitoring network traffic to do other things, or if there is no network traffic, or if there are message errors that prevent it from knowing what's happening.

If two Masters are present and both are synchronized, then they will use the network alternately. This assumes, of course, that both have something to say. If one of them doesn't it can give up its turn but still remain synchronized. This is illustrated in figure 2.2. The Slave Response in each case may be from a different Slave.

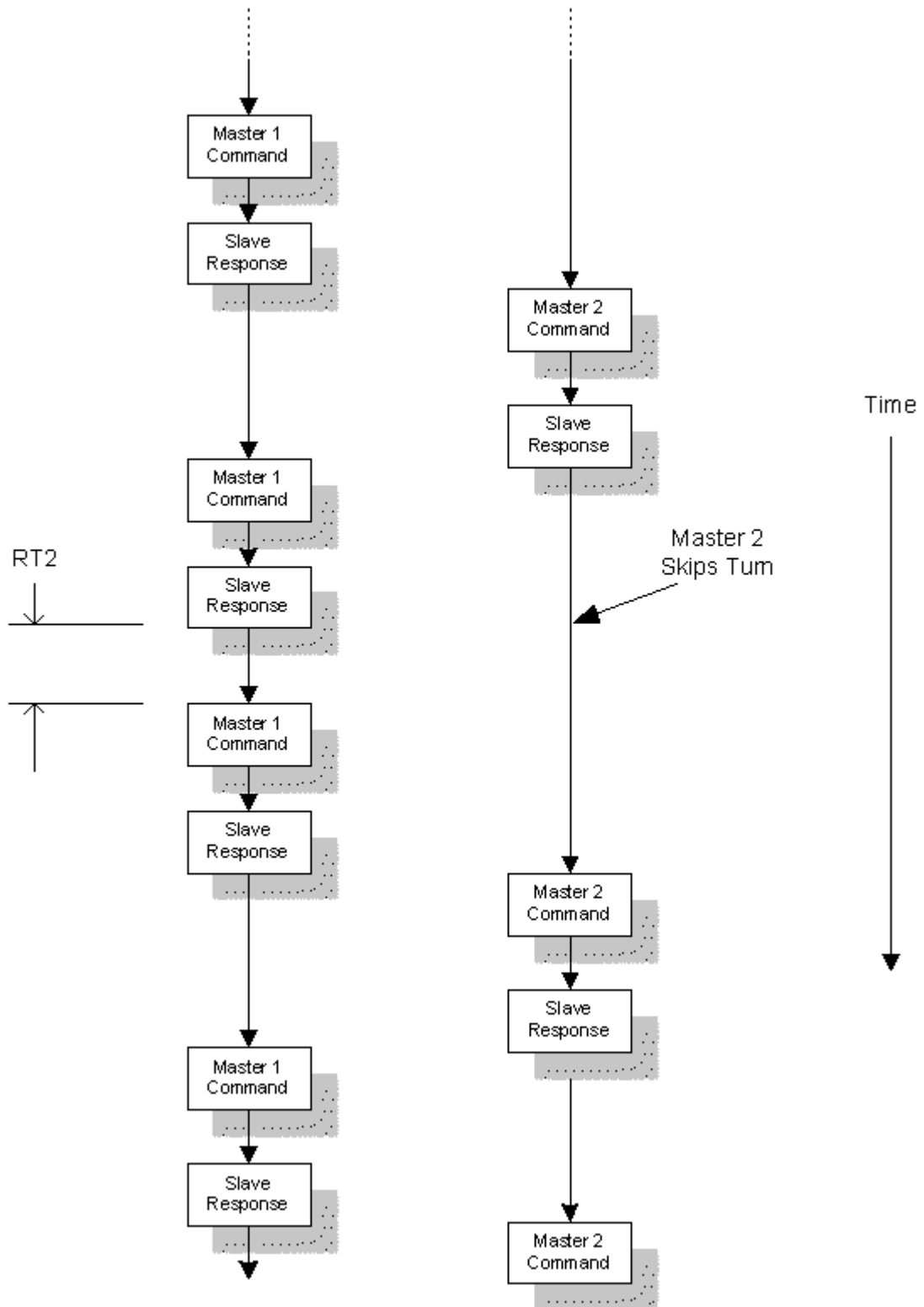


Figure 2.2 -- Master Alternation

During this process a given Master knows that it is free to use the network when it sees the end of the Slave response to the other Master. If a Master doesn't take its turn, the other Master can

have another turn, provided it waits a length of time called RT2. The time interval RT2 is illustrated in figure 2.2. The Master whose turn it is to use the network has this much time in which to start. Otherwise the Master that last used the network may start. This is how things role merrily along when there are no problems and when both Masters have almost continuous business to transact. Although not explicitly shown in figure 2.2 and subsequent figures, both Masters start their timers at the end of any network activity. Any fresh activity cancels the timers. Also, it is implicit in these explanations that a Master will not begin talking if someone else is talking.

Now suppose that, as a result of a message error, a Slave doesn't respond to Master 1. Master 2 must now wait a length of time called RT1 before it tries to use the network. Master 1, while waiting for the Slave response, sees the Master 2 command instead. It then waits until Master 2 is done and then it can retry. This is illustrated in figure 2.3.

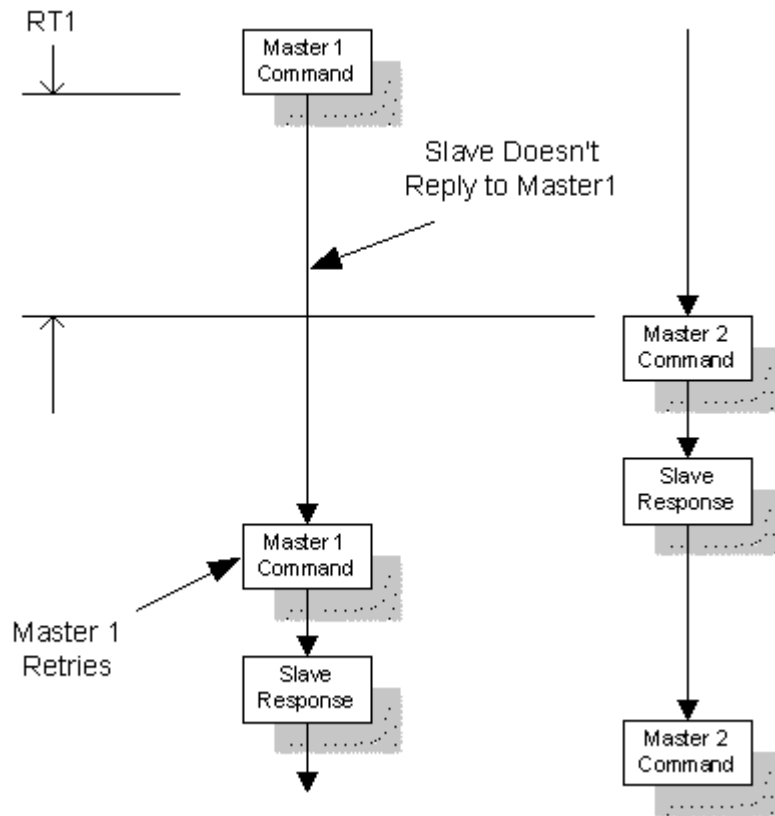


Figure 2.3 -- Master Alternation with No Slave Response to Master 1

Here, Master 2 has lost synchronization because it did not see a Slave Response to Master 1. It regains synchronization at the end of RT1.

Suppose, in figure 2.3, that the Slave finally did respond to the Master 1 command before the end of RT1. Then things would have proceeded normally. RT1, which is longer than RT2, is approximately the length of time that a Slave is allowed to respond. Actually, the Slave maximum response time, which is designated T<sub>T0</sub>, is slightly shorter than RT1. This ensures that a Master and Slave will not start transmitting simultaneously.

If a Master is new to the network, then it must wait a length of time RT1 before it tries to use the network. At the end of RT1 it has become synchronized and may use the network. Or else, if it sees and recognizes a transaction of the other Master before RT1, then it is immediately synchronized.

In another scenario suppose that a Slave has responded to Master 1, but the response appeared garbled to Master 2. Figure 2.4 shows what happens.

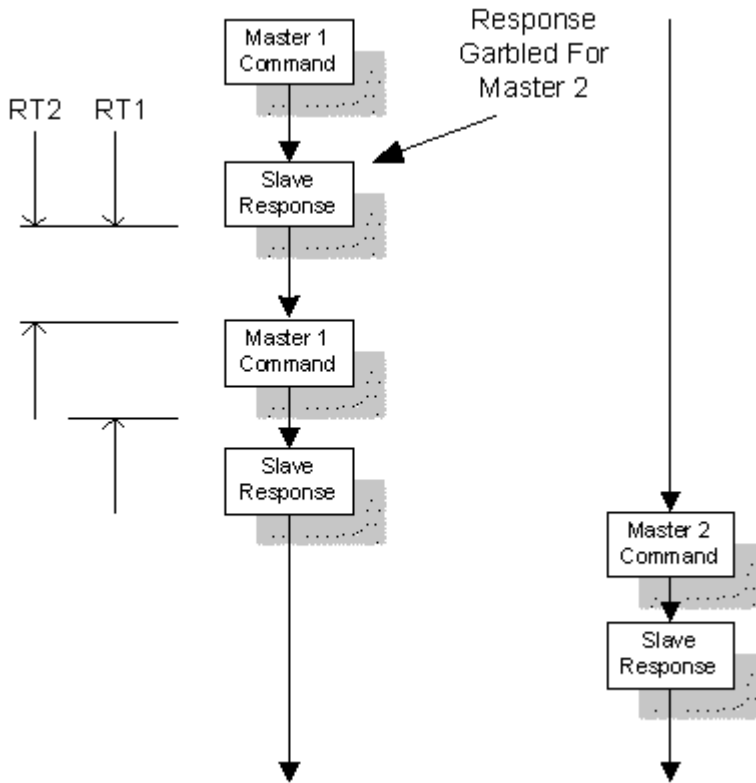


Figure 2.4 -- Alternating Masters with Master 2 Failing to Recognize Slave Response to Master 1

Since Master 2 didn't see a good Slave Response, it begins waiting a length of time RT1 from the end of the Slave Response. Master 1, which saw a good Slave Response and is still synchronized, starts RT2. At the end of RT2, Master 1 sees that Master 2 isn't using the network and decides to use it again. Master 2 sees this new transmission by Master 1 and becomes resynchronized. Had Master 1 not wanted to re-use the network again, then Master 2 would have become resynchronized at the end of RT1 and could have begun its transaction then.

If neither of the Masters needs to talk, the two Masters become unsynchronized. In effect, either Master knows it has waited a time RT1 and can begin again whenever it needs to.

Suppose that both Masters are new to the network or are both unsynchronized and try to use the network at the same time (after waiting for RT1). The respective commands will be garbled and there will be no response. Both Masters will start RT1 again at about the same time. And both will collide again at the end of RT1. To prevent this from going on endlessly, the Primary

and Secondary Masters have different values for RT1. The Primary Master uses a value designated RT1(0). The Secondary Master uses a value designated RT1(1).

How do things work if there is a Slave in burst-mode? Arbitration is simple if there is a Slave in burst-mode. To see this, recall that the bursting Slave will be the only Slave on the network. Following each burst it must wait a short time to allow a Master to use the network. The Protocol requires that the bursting Slave alternate information in its bursts, making it appear that alternate bursts are Responses to alternate Masters. Masters watching the network will see a burst that is a Response to Master 1, followed by a burst that is a Response to Master 2, followed by a burst that is a Response to Master 1, and so on. A given Master knows it can use the network following a burst that is a Response to its opposite. That is, if a given burst was a response to Master 2, then Master 1 knows that it may use the network at completion of the burst. In this strange turn of events, the Slave gets to decide who is next.

Values of the timers are given in table 2.1.

Timer Description	Symbol	Value (character times)
Master Wait Before Re-Using Network	RT2	8
Primary Master Wait from Unsynchronized	RT1(0)	33
Secondary Master Wait from Unsynchronized	RT1(1)	41
Slave Max time to Respond	TT0	28
Slave Time Between Bursts	BT	8

Table 2.1 -- Timer Values

TT0, the length of time in which a Slave must respond, is deliberately made quite large to accommodate less capable hardware and software that is likely to be found in a Slave. RT1(0), in turn, has to be larger than TT0. And RT1(1) has to be larger than RT1(0). The various timer values have been carefully set to account for various hardware and software latencies. It would probably have been possible to omit RT2 and just force Masters to resynchronize (using RT1) after every Master or Slave Response. However, since RT2 is much smaller than RT1, the existence of an RT2 allows much faster arbitration.

### **The Beginning, End, Gaps, and Dribbles**

The previous section on arbitration shows the importance to a Master of knowing when a message ends. In fact, both Masters and Slaves need to be aware of when a message starts, stops, or is present. This is not entirely straightforward, and depends on a combination of (1) carrier detect, (2) UART status indications, and (3) monitoring message content.

Carrier detect indicates that a carrier of acceptable amplitude is present. It tells a device that it should be examining its UART output and UART status. In the UART status, a "receive buffer full" (RBF) indication will occur once each character. Whether a message is present is determined by the combination of carrier detect and the RBF indications. Many devices don't directly monitor carrier detect. Instead, they use it to qualify (gate) the UART input. This bypasses the additional step of having to look at an I/O line.

The presence of RBFs indicate that a message is present. But they don't necessarily indicate the end of a message or the start of another. Back-to-back messages can occur (see box below), which means that a new message starts simultaneously with the end of a previous message. The transition from one message to another can only be detected by monitoring message content. The start of a message is indicated by a 3-character start delimiter. This delimiter is a sequence that isn't likely to occur anywhere else in a message. It is more completely described in the section entitled [Start-Up Synchronization in HART](#). A device will normally be looking for this start delimiter sequence unless it has already seen the sequence and is simply parsing the rest of the message as it arrives.

But, what if the start sequence does appear in "normal data"? This is a weakness of HART, but probably not a very important one. The reason is that Slaves are probably the only devices that do not fully parse each message. Therefore, if a start sequence occurs in mid-message, only a Slave will be fooled into thinking that it sees the start of the next message. This Slave will then look for its own address, a command, etc. The chance that the rest of the byte sequence will contain the Slave's 38 bit address is probably almost non-existent. Therefore, the Slave will not see its own address and will resume the normal activity of looking for the start sequence.

### Back-to-back Messages and Temporary Collisions:

A device will often parse the entire message and know, upon receipt of the checksum, where the message ends. A Slave may do this, for example, if the message was addressed to it. Masters do it as part of arbitration. The Slave that is supposed to respond may immediately assert its own carrier upon seeing the checksum. Similarly, the Master may realize that it will have the next use of the network and assert its own carrier upon seeing the checksum. The new carrier may be asserted before the previous one has been removed and before the incoming RBFs stop, leading to a temporary collision. During this time carrier detect never drops.

A temporary collision may sound like something terrible, but it has the same effect and is no more of a problem than carrier start-up alone. Carrier start-up is more completely described in the section entitled [Start-Up Synchronization in HART](#).

If a message should become garbled, then devices that have been parsing it must revert to waiting for the RBFs or carrier detect to stop, or for a new start sequence to appear.

Ideally, RBFs would occur at a constant rate of one every 9.17 millisecond and the last one would correspond to the checksum character. But received messages can have two peculiarities called gaps and dribbles. A gap can occur between two characters of the same message. It is a delay from the end of the stop bit of one character until the start bit of the next character. It will appear to be an extension of the stop bit (logic high at UART input). A dribble is an extra character that appears at the end of a message, just after the checksum character. A dribble isn't transmitted and doesn't appear on the network. It is manufactured by the receive circuit/demodulator/UART, possibly as a result of the carrier shutting OFF. It will be shown here that these really don't affect anything, except to slow down communication.

Gaps occur when a Slave is not able to keep up with the 1200 bits/second data rate. In theory there could be a gap between every two characters of the received message. During a gap the carrier is present but no information is being sent. Most modern Slaves are probably able to transmit without gaps. But we still must assume that they can occur. The HART specifications seek to limit gaps to insure maximum throughput, but are ambiguous as to how large a gap can be. One bit time and one character time are both specified. The ambiguity probably reflects the fact that a gap size on the order of 1 character time or less doesn't matter much. In the following we assume a maximum of one character time.

Normally, RBFs occur at a rate of one per character time throughout the message. If there is a gap, then there could be up to two character times between RBFs. A device that is trying to decide whether a message has ended will normally restart its timer on each RBF. The timer must be at least two character times (18.33 millisc) to account for the possible gap. Masters will start RT1 and RT2 timers, both of which are much longer than a gap time. Therefore, arbitration will not be affected by a gap. A Slave that is being addressed may also implement a timer, so that it can detect truncated messages. This timer must also be longer than two character times.

A dribble generates an extra RBF. It occurs so soon after a preceding character that it simply restarts timers and does not affect arbitration. A device that creates this extra RBF will have to read and discard the phantom character. And, since it will not be able to tell the difference between the phantom and a real transmitted character, it may have to check the character to see whether it is part of a start sequence.

To summarize, the presence of a message is indicated by the combination of carrier detect and RBFs. Since back-to-back messages can occur, it is not acceptable to look for carrier detect drop-out as an end of message. Devices must look for the 3-character start sequence. Gaps and dribbles can also occur in a received message. Provided that device timers are longer than 2 character times, gaps and dribbles have no effect except to slow down communication.

## **Start-Up Synchronization in HART**

HART is a type of data communication in which devices assert carrier only for the time it takes to send a message. (The modems are also called "burst modems.") When it's time to talk, a device starts up its carrier and begins modulating it with the desired data. When it is finished talking the device drops its carrier. Devices that are listening must determine where the data starts. If a listener fails to locate the starting point, then the message will generally appear meaningless.

The chosen protocol must, therefore, provide some way for listeners to reliably locate the start of the data. A common way to do this is to send an initial pattern of bits or symbols -- a preamble or start delimiter -- that is known to all listeners. A challenge is always to make the preamble and/or start delimiter short to keep overhead low. Another challenge arises because of the start and stop of the carrier. There is generally no way to insure that this happens in a "clean" fashion. Initial bits will appear to change randomly as the carrier rises to full amplitude, filter circuits settle, etc. There may also be "dribble" bits at the end.

The originators of HART faced this problem: If carrier start-up causes random bits to be applied to the UART, how do we create an unambiguous start of data? The UART uses a start bit (logic zero) to synchronize reception of one character. If it's been sitting idle for a time or if it thinks that the last thing it got was a stop bit, then the UART must assume that the next zero bit or the next transition to zero, is a start bit. Any initial random zero bit will be considered a start bit. Then, after 10 more bit times the UART will take the next zero bit as the next start bit. Data containing a normal mix of ones and zeros will confuse the UART by presenting it with zeros that it thinks are start bits.

The solution in HART is to start the message with a string of characters whose only zero bits are start bits. The UART may be confused at first. But after one or two characters it becomes synchronized. There is only one character that is all ones. It is formed by adding odd parity to 0xff. The start-up process is illustrated in figure 2.5.

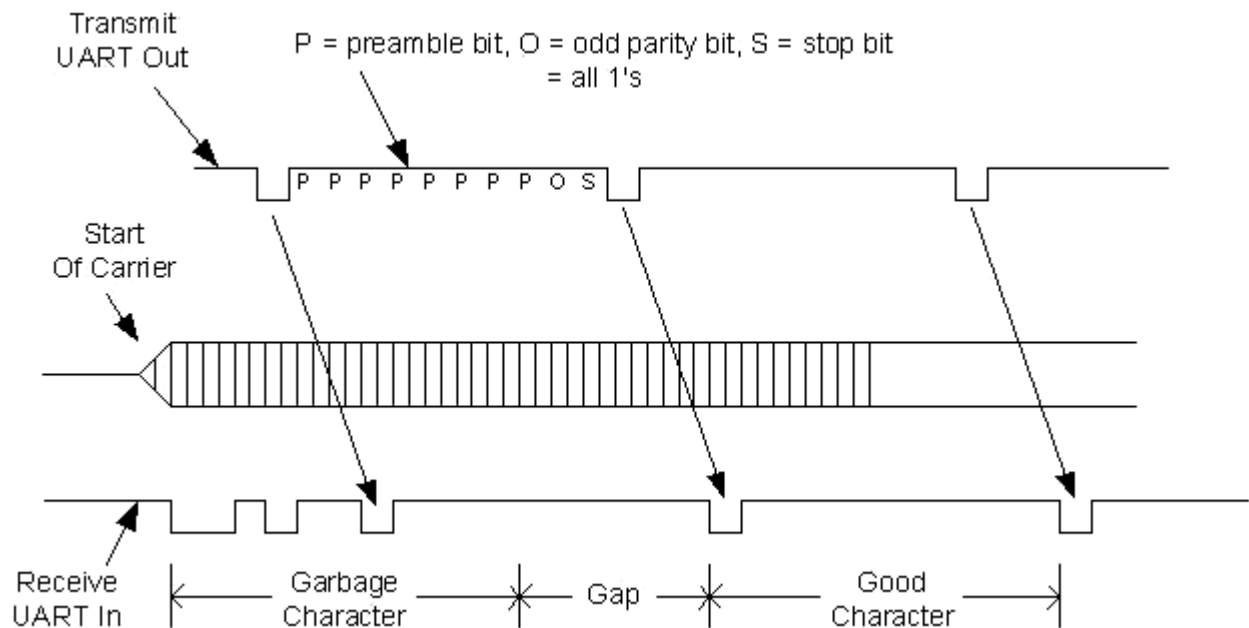




Figure 2.5 -- Start-Up Synchronization

Here the modems have caused a delay between the transmit and received UART signals. At carrier start-up there are some garbage bits at the receiving UART's input. This causes the UART to begin assembling a character. When it has finished it will present this garbage character to the processor. Then it will wait for the next start bit. It won't find one until after the "gap" has passed. Then it will begin assembling the first good character. The processor looks for a 0xff byte (good character) and discards the initial non-0xff bytes.

The receiving processor looks for a sequence of 3 contiguous bytes: preamble, preamble, start delimiter. Thus, at least two good preamble characters must be received and they must be those that immediately precede the start delimiter. HART requires that a minimum of 5 preamble characters be transmitted. This allows for the loss of up to 3 characters by the process just described. Typically 1 or 2 characters are lost.

Repeaters typically cause a loss of preamble character because they must listen for carrier at both ends and then "turn the line around." The fact that there is only about one character to spare means that a HART repeater must do this in under one character time. Usually this is enough time.

Another possible way around the start-up problem would have been to have transmitting devices turn on their carrier and force it to 1200 Hz (logic 1) and wait for a few character times before loading the UART to begin data transmission. If the transmitting UART is simply left empty before transmission the output will be 1200 Hz, equivalent to a stop bit or idle condition. This is the same as creating a deliberate gap of a few character times. At the receivers the respective UARTs would all collect an initial garbage character, as in figure 2.5. But then there would be a gap, followed by the start bit of the first transmitted character. This method has the drawback of requiring transmitting devices to implement a gap timer at the start of the message.

A weakness of HART is that message start sequence of (preamble, preamble, start delimiter) can occur in data. A device looking for a start sequence must look at context to determine whether these 3 characters represent a delimiter or data. This makes HART somewhat less robust than it could be if there were a non-data type of start sequence.

### **Slave Receive Algorithm**

Figure 2.6 below shows an example Slave Receive Algorithm. If the receive data stops prematurely, then there must also be a branch to "dump message, no reply." To provide the quickest possible reply, the Slave usually has to parse the message as it arrives, instead of waiting until it's done. Note that the Slave has to read every incoming byte and possibly just toss it. "Can I Do This?" generally means "is the parameter that I received within an acceptable range?"

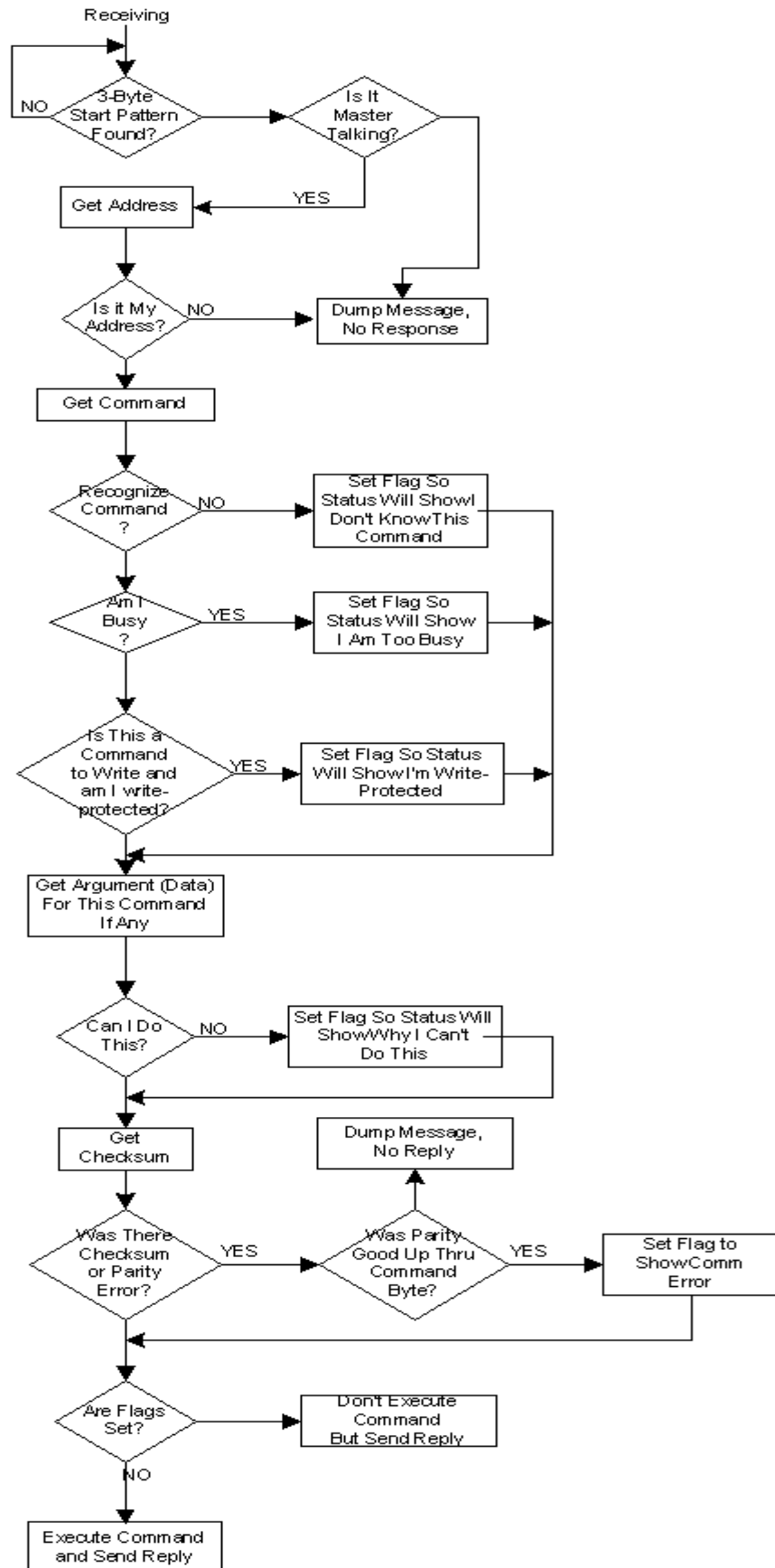


Figure 2.6 -- Slave Receive Algorithm

The software that performs these functions is sometimes called a "stack".

### **Data Compression**

HART makes limited use of data compression in the form of Packed ASCII. Normally, there are 256 possible ASCII characters, so that a full byte is needed to represent a character. Packed ASCII is a subset of full ASCII and uses only 64 of the 256 possible characters. These 64 characters are the capitalized alphabet, numbers 0 through 9, and a few punctuation marks. Many HART parameters need only this limited ASCII set, which means that data can be compressed to 3/4 of normal. This improves transmission speed, especially if the textual parameter being communicated is a large one.

Since only full bytes can be transmitted, the 3/4 compression is fully realized only when the number of uncompressed bytes is a multiple of 4. Any fractional part requires a whole byte. Thus, if U is the number of uncompressed bytes, and T the number of transmitted bytes; find  $T = (3*U)/4$  and increase any fractional part to 1. As examples, U = 3, 7, 8, and 9 result in T = 3, 6, 6, and 7.

The rule for converting from ASCII to Packed ASCII is just to remove bits 6 and 7 (two most significant). An example is the character "M". The full binary code to represent this is 0100,1101. The packed binary code is 00,1101. The rules for conversion from packed ASCII back to ASCII are (1) set bit 7 = 0 and (2) set bit 6 = complement of packed ASCII bit 5.

Note that, with some exceptions, HART Slaves don't need to do the compression or know anything about the compression. They simply store and re-transmit the already compressed data. Again, this is an instance where the more difficult software is placed in the device (Master) that is more capable of dealing with it.

### **Device Description Language**

As stated earlier, a HART Slave device can have its own unique set of commands. It can also have a unique sequence of commands to accomplish some goal, such as calibration. A Master must know about these commands and sequences, if it is to use the Slave Device to the fullest extent. One way that the Slave Device manufacturer has of disseminating the information would be as text in a manual for the Device. Then software engineers and system integrators could write specific code for the Slave Devices used at each installation. Another way is to write a Device Description for the Slave Device using the Device Description Language (DDL). The Device Description is similar to the Electronic Data Sheet (EDS) used for DeviceNet. The HART Communication Foundation provides a specification for DDL and also provides training in how to write the DDL files.

The Device Description is a file that can be read by a compiler, and converted into an end-user interface. A program running in a HART Master reads the output of the compiler and is able to produce a complete sequence of menus and help screens that guide the plant engineer through whatever procedures the Slave Device can do. In principle, using the DDL avoids writing code to talk to a given Slave Device. Writing the DDL also forces the Slave Device manufacturer to critically examine how his device is supposed to work.

So far it seems as though DDL hasn't seen widespread usage, except in hand-held communicators made by Rosemount Inc. Unfortunately, most of the software associated with DDL is apparently centered around the hand-held communicator. In effect, the HART Communication Foundation and Rosemount Inc. still jointly distribute software needed to use DDLs. There do not appear to be any 3rd party vendors of DDL compilers or the Master software that uses the compiler output. We would suggest, as a remedy to this situation, that the HART Communication Foundation start giving away the DDL specification and that manufacturers of Slave Devices publish the actual DDL files via the Internet.

The device description, using the HCF device description language, is a text file with an extension ".DDL". It is a series of compound statements that start with an identifying word and a name. It looks something like this:

```
VARIABLE variable_name_1
{  structured info about variable_name_1  }

VARIABLE variable_name_2
{  structured info about variable_name_2  }

COMMAND command_1
{  structured info about command_1  }

MENU menu_1
{  structured info about menu_1  }

METHOD method_1
{  structured info about method_1  }

etc.

etc.
```

These do not imply any flow control and can appear in any order. Each VARIABLE, COMMAND, etc. has its own structured information that must be included. A VARIABLE is any quantity or index that is contained in the device or is used by a host to interact with the device. In a device such as a pressure transmitter, one of the VARIABLES (and probably the most important one) would be the pressure. Others might be upper and lower range limits. Another would be the device tag. The structured information for a VARIABLE might include, for example, a format specification that tells how the VARIABLE is to be displayed to the end user.

A COMMAND is a HART command. The DDL has one of these statements for every HART command recognized by the device. The structured information for a COMMAND is essentially everything related to the command including its number, request bytes, response bytes, and the returned response codes.

A MENU is a presentation to the end user. It can be used to present VARIABLES or other MENUs or general information to the end user.

A METHOD is a sequence of operations that the host is to perform on the device. Examples would be installation or calibration. METHODS are the least similar to the other example entities because they contain C-language statements. When a METHOD is invoked, usually through some MENU choice that appears on the host display, the statements are executed in the order they appear. "For" and "while" and "do", etc. can all be used to perform looping operations. The DDL language provides a large number of built-in functions that are essential for METHODS. An example is "send(command\_number)", which sends a HART command. There are also a large number of built-in functions related to aborting the METHOD. This is essential to allow the end user to understand what is happening with the device and the host when things don't go as planned.

In addition to VARIABLES, COMMANDS, MENUs, and METHODS, there are about 5 or 6 other possible entities. These are described in HCF documents. IMPORT is one of them that deserves special mention. IMPORT is a means by which an existing DDL can be re-used without having to enter its entire text. This allows, for example, the HART Universal COMMANDS, VARIABLES, and tables, to be used by any device without having to enter them all. IMPORT provides a mechanism for re-defining any entity in the imported DDL. If, for example, a new field device does not use one of the Universal VARIABLES, this can be indicated in one or two lines of code after importing all of the Universal VARIABLES. Perhaps the most important use of IMPORT is fixing an existing DDL. The revised DDL is simply an IMPORT of the existing one with one or more entities re-defined.

Among the various available HCF and Fisher-Rosemount hand-held documents, one that is seriously lacking is a document to explain how the DDL relates to what is displayed on the hand-held communicator. In other words there is nothing that says that if I write code 'ABC' I will see 'XYZ' in the hand-held display. Similarly, there is no way of knowing what hand-held functions (soft-keys at the bottom of the display) become available in a given situation. We strongly encourage Fisher-Rosemount to come up with an app note that covers this. But until then DDL writers are probably stuck with trial-and-error. A few general guidelines or caveats are as follows. Keep in mind that this applies to an existing version of the hand-held and that a future version might be different.

1. The display is very small. Almost all text, except for help messages, must be abbreviated.
2. Help messages can be quite long because the hand-held allows 'page-up' and 'page-down'.
3. Help messages and labels are defined in the called METHOD or VARIABLE; not in the calling entity. In other words, help messages associated with a given MENU are not defined in that MENU.

4. Help for a MENU is not allowed. Thus, an end-user cannot know ahead of time whether he wants or needs the next MENU.
5. In the DDL source there is no way to define long messages on multiple lines. To print the source code, it is necessary to invoke some printing method that has automatic wrap-around.
6. You cannot define any of the hand-held soft keys. Everything you do must occur through numbered or ordered lists that you program into the display.
7. Format specifications in a METHOD over-ride those in a VARIABLE.
8. A HART communication defined in a METHOD occurs automatically. Others often require the end-user to push a button labeled 'send'.
9. During execution of a METHOD, there is no convenient way of having the hand-held repeatedly execute a loop in response to a key being held down or even repeatedly pressed.
10. During execution of a METHOD, an 'abort' will automatically be available via soft-key. There is no need to program this.
11. It is possible to define a MENU named "hot\_key". This MENU becomes available when the user presses the hand-held hot key, which is one of the available function keys. There are two problems associated with the hot key. First, there does not appear to be any way of informing the user that the hot key is available and what it does. Second, the hot key MENU is unavailable during execution of a METHOD.
12. Most "pre-" and "post-read" METHODS that you might want to associate with a VARIABLE won't work. You will get a "non-scaling" error message. Apparently everyone has seen these and nobody knows why they happen or what can be done about it.
13. METHODS are generally not checked for errors during compiling of the DDL. They don't show up until you run the hand-held simulator.

### **Slave Development Steps**

Suppose you make smart (microcontroller-based) analog X-meters (where X = flow, temperature, etc.) and now you want to make a HART version of the X-meter. Here are the steps to take. You might also consider joining the HART Communication Foundation as a first step, since you will eventually have need of them anyway.

1. Make a list of things your customers do with the existing X-meters.

2. Of these things make a smaller list of things that are difficult to do because someone has to be sent to the X-meter site. Determine whether one or a series of HART transactions with an X-meter could reduce or eliminate this activity.
3. Determine whether any existing HART Universal or Common Practice commands could be used to implement or partially implement these transactions. If not, define one or more new commands (Device-Specific commands) that will be needed. Writing a DDL may help at this point by obviating missing commands. If there are more than a few new commands, write a specification that spells out in detail (down to the individual bits) what each one does.
4. Determine whether the HART communication will place too much demand on existing X-meter resources (memory, etc.) and what kind of resources will need to be added. You will need EEPROM to store things like the Slave's address.
5. Start hardware and software design of new HART X-meter. Devise or otherwise obtain a HART Master that can be loaded with your new HART commands. Begin assembling equipment for HART Conformance verification if it's not already available. Or else locate an outside company that is set up to run the tests.
6. Decide how your customers will talk to the X-meter (DDL and hand-held master, info in User Manual, Complete Software package that runs on PC). If software must be written, start now.
7. Complete the design, set up some HART networks in your own manufacturing area and start banging away on prototypes. The HART Communication Foundation has code to help you run tests. For example, it can send your device a message with a bit error to see if you catch it.
8. With HART X-meter apparently functioning as intended, run HART Slave Conformance tests. Or have tests run by outside company. Note: Some tests such as bit error rate are of questionable value if you have followed a relatively standard design spelled out in application notes and have not seen any reason to suspect non-conformance. Bit error rate tests are also difficult to do and are not adequately addressed in the HART Conformance document [2.3].
9. Contact HART Communication Foundation for assignment of (and payment for) a Slave Manufacturer's code. This is a byte that becomes part of the long frame address of every HART Slave that you manufacture. You may not legally be able to claim HART compliance or use the HART trademark without this step.
10. Obtain other product approvals, do EMI tests, etc.

11. Sell more X-meters.

If this all seems obvious, that's great! It means your halfway there.

### **Addressing Problems, Slave Commissioning, and Device Database**

The existing HART addressing scheme has several potential problems that are examined here. Only modern (rev 5 or later) Field Instruments (using 38-bit address) are considered. First, a Field Instrument can have any of about 275,000,000,000 possible addresses, which makes it impossible to determine the long addresses of Field Instruments after the network has been built and the Field Instruments installed. Even if there are only 2 Field Instruments on the network and Universal Command 0 is used to try to read the long address, the procedure can still fail because short addresses might be duplicated. This makes it almost a necessity, in all but point-to-point applications, to commission a Field Instrument prior to installation and to maintain a database of long addresses.

Commissioning means powering up the new Slave on a bench network where it is the only Slave, and asking it for its long frame address. (Commissioning usually includes other things as well, such as assignment of a tag.) The long frame address is then added to a database of devices. The database will later be used when the Slave is put into service. Eventually, most such databases probably expand to include virtually all the Slave characteristics available through HART Universal Commands. Initially, however, they need only contain the address or the tag for each Slave. In most end-user applications commissioning and building the device database is probably done anyway. Therefore, the need to do it to satisfy HART is probably not much of a burden.

Another problem involves the unique identifier. The first byte of the unique identifier is the manufacturer's ID. Since only one byte is allowed for this ID, it means that only 256 manufacturers can be so identified. Undoubtedly, if the number goes higher than this, some change to the protocol will be devised. Another possibility is that vendors will share an ID number and devise a serial number (last 3 bytes of unique identifier) scheme such that neither will ever duplicate the other's unique identifiers.

Another problem, also involving the manufacturer's ID, is that only the lower 6 bits of this byte are used in the long address. This means that, even though each Field Instrument can have a unique identifier, it can't have a unique long address. If device vendors were to begin numbering their product lines at 0 or 1 and their serial numbers at 0 or 1 (which seems entirely reasonable), then there is a pretty good chance that the long addresses might be duplicated. The HART standards attempt to reduce this likelihood by requiring the product line byte (the second byte of the unique identifier) to be numbered in a specific way -- from higher to lower numbers for half of the possible manufacturer's IDs (first byte of unique identifier) and from lower to higher numbers for the other half. There are also 4 ranges of product line numbers and 4 ranges of manufacturer's IDs. Each range of manufacturer's ID numbers has a specific range of product line numbers. This is illustrated in Table 2-2 below.



<b>Manufacturer Range</b>	<b>ID</b>	<b>Range Of Acceptable Product IDs</b>
0 to 63 (decimal)		Start at 0 and increase
64 to 127		Start at 239 and decrease
128 to 191		Start at 127 and decrease
192 to 255		Start at 128 and increase

Table 2-2 -- Allowed combinations of MFR IDs and product line numbers

Finally, the addressing scheme creates a need for device vendors to register their devices with a registration body -- the HART Communication Foundation. This is a costly bookkeeping adventure that could just as well be done by end-users. The end-user already decides which vendor's device to buy, maintains an address database, and assigns a tag to each device. He could as easily assign the address and determine which DDL he needed, based on the device vendor and serial number.

### **Bell-202: Bad News in Europe**

Telecommunication systems (phone utilities) use certain well-defined tones for administrative purposes. These tones fall within the voice band but are only effective if there is no energy present at other frequencies. The tones used in Europe are different from those of the United States. Unfortunately, one of those used in Europe falls into the range of 2130 Hz to 2430 Hz (see [2.4] for example). The Bell-202 frequency of 2200 Hz could appear as a pure tone within this forbidden band. Consequently, if Bell-202 equipment were to find its way onto a European phone grid, it could cause problems. Normally, European telecommunication regulations prevent the sale and distribution of incompatible equipment, so that this doesn't happen.

So what does this have to do with HART? If HART communication is confined to private industrial networks, as is usually the case, then there is no association between HART and telecommunications. HART should be just as acceptable in Europe as anywhere else. It should, but it isn't always. We have experienced problems when using the term "modem" in instruction manuals, etc. Apparently this term has become almost universally associated with telecommunications. And in some instances this has led to seizure of HART equipment by authorities who did not understand its purpose. We found that we had to remove the term "modem" from some literature.

Under certain circumstances it is possible to do HART communication over European phone lines. This is further discussed in the section entitled [HART Bridges and Alternative Networks](#).

## **Grounding and Interference**

An industrial environment can produce a variety of powerful electric and magnetic fields, as well as significant voltages between different "grounds". Most often they are at 50 Hz or 60 Hz and don't pose much of a threat to HART. However, sometimes they or their harmonics fall into the HART band (about 900 Hz to 2500 Hz). Since HART signals have a rather small amplitude, there is a possibility that these higher-frequency fields will disrupt signaling. Interference that would have no effect on an analog 4-20 mA signal (because of lowpass filtering in the controller) might be enough to destroy HART messages. Here we look at how to protect against the interfering fields and how ground potential differences can still manage to cause trouble.

The circuit of a HART Field Instrument is typically contained inside of a metal case that is at earth ground. The circuit is isolated from the case, except for feedthrough EMI filters and an inevitable small capacitance from the circuit to the surrounding case. There is no single wiring scheme that is best at reducing interference in all circumstances. But for Field Instruments of the type described, the following is usually recommended: The Field Instrument and Controller (Master) are connected by a shielded twisted-pair cable. The shield is grounded at the Controller end and left open at the Field Instrument end. The shield prevents electric fields from coupling into the signal conductors, while the twisting attempts to reduce the effects of magnetic coupling by forcing equal coupling into both sides of the pair. The shield is left open at the Field Instrument end to avoid the conduction of ground currents. A ground current on the shield couples magnetically to the conductors of the twisted pair. These ideas are more thoroughly explained in [2.5].

A ground current can result from making a connection between two "grounds" that are at different potentials. The different potentials can arise from huge currents (amps) flowing through cables that separate the grounds. A ground current also arises when a conductive loop is formed in the presence of a strong (varying) magnetic field.

Even when the wiring rules are followed, this difference in ground potentials can cause interference. To see this, consider the circuit of figure 2.7. The cable shield is connected at the Controller ground, according to recommended practice. A voltage  $V_{in}$  exists between the Controller ground and Field Instrument ground. The circumstances that create  $V_{in}$  usually also cause a relatively large impedance in series with it. This is represented by  $Z_s$ .

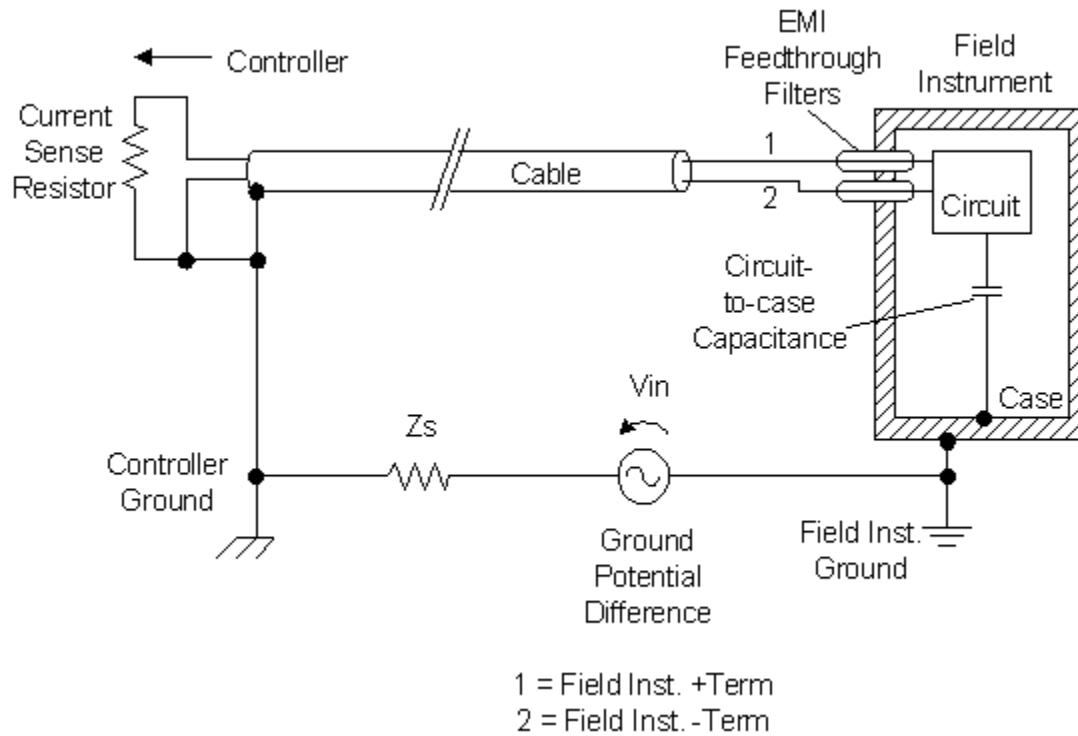


Figure 2.7 -- HART Circuit Showing Ground Potential Difference

At HART frequencies we can make the following assumptions:

1. The cable can be considered a lumped circuit consisting mainly of capacitance.
2. The Circuit-to-case Capacitance inside the Field Instrument is negligible.
3. The impedance of the box labeled "Circuit" across the Field Instrument terminals is practically infinite.

Note that one side of the twisted pair is grounded at the Controller. Then the equivalent circuit is as in figure 2.8.

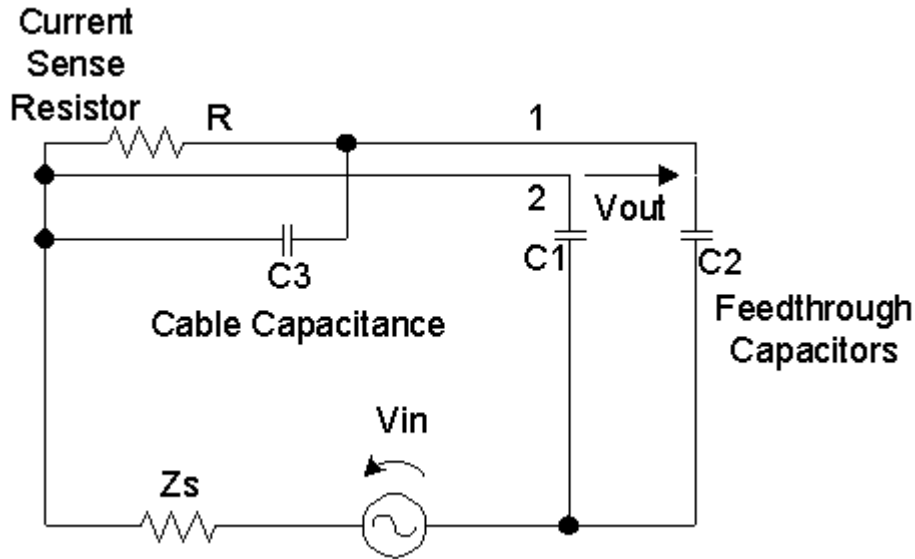


Figure 2.8 -- Equivalent Circuit for Effect of Ground Potential Difference

The interference is the voltage  $V_{out}$  developed across the Field Instrument terminals. It is related to  $V_{in}$  by

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-sC_2 R}{sC_2 R(sC_1 Z_s + 1) + (sC_3 R + 1)(sC_2 Z_s + 1)}$$

If we assume that the EMI feedthrough filters have nearly equal capacitance so that  $C_1 = C_2$ , this becomes

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-sC_2 R}{(sC_2 Z_s + 1)(sC_2 R + sC_3 R + 1)}$$

Quite often  $Z_s$  is large (small capacitance, large resistance). Then  $sC_2 Z_s \gg 1$  at HART frequencies and the expression becomes approximately

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R}{Z_s (sC_2 R + sC_3 R + 1)}$$

In a properly constructed HART network the pole frequency in this latest expression will be above the HART band so that within the HART band the expression reduces to

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R}{Z_s}$$

As an example, suppose that  $Z_s$  is due primarily to a capacitance with a value of 1000 pf. And let  $V_{in} = 100$  volt at 2 kHz,  $R = 250$  ohm. Then the magnitude of  $V_{out} = 0.31$  volt. This would certainly destroy the HART signal.

One way to remove the effect of  $V_{in}$  is to connect the cable shield to the instrument case at the instrument end. This gets rid of or reduces the effect of  $V_{in}$ , but may cause other problems. Some experimenting may be necessary. A better way is to use a separate ground conductor between the controller and instrument grounds. This new ground conductor can be separate from the network cable. Or it can be built into the network cable. Special cables, having both an inner and outer shield, are made for this purpose.

### **HART and Intrinsic Safety**

HART was always intended to be retrofitted to existing process loops, including those that are intrinsically safe (IS). The relatively low HART signal level and superposition of the HART and analog signals are the result. Also, an individual HART Field Instrument is not too different from a non-HART Field Instrument in terms of power consumption and equivalent capacitance and inductance. If we look only at signaling and Field Instrument design, we might conclude that combining HART with IS is not a problem. But when we look at HART in its broader context, there are problems. They are, or result from, (1) the need to transmit HART through IS barriers, (2) topology differences between HART networks and conventional current loops, and (3) the existence of a new device -- the hand-held communicator. The implications of combining HART and IS and their effect on each other will be considered next.

The simplest form of IS HART network is one with just a single 2-wire Field Instrument (a Point-to-Point HART network). The Field Instrument and cable are located in the hazardous area and a barrier separates the safe and hazardous areas. This is illustrated in figure 2.9.

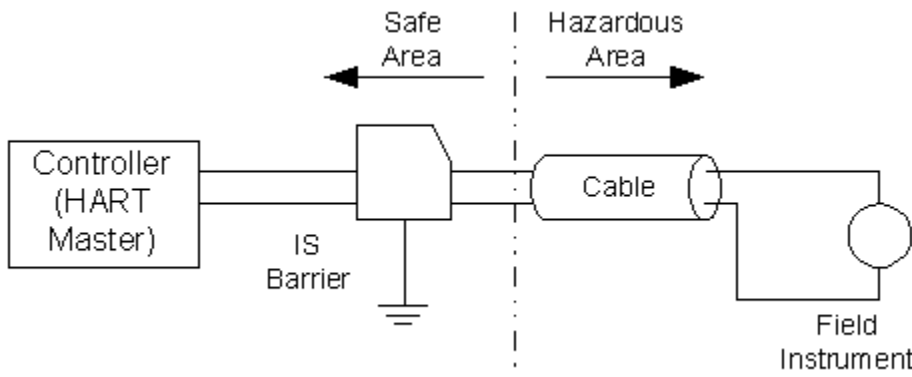


Figure 2.9 -- Simplest IS Arrangement

We assume for the moment that nothing else will ever be connected to the network at the hazardous side. However, there may be a HART Master at the safe side. There are two things to consider here:

First, the barrier, Field Instrument, and cable must represent a compatible combination. That is, the Field Instrument must consume less voltage and current than allowed by the barrier and the cable+Field Instrument must represent less C and L than allowed by the barrier. A HART Field Instrument consumes about the same voltage and current as a non-HART Field Instrument. And the addition of HART components (such as receive filter, etc.) don't add much C or L. Thus, the single HART Field Instrument is comparable to a conventional process instrument and presents no unusual difficulties in achieving IS or in compatibility with other IS components.

(Note: We will neglect heating effects on small components, even though this can be an important consideration in the design of the Field Instrument. We assume that the added components needed for HART affect IS only through added C or L or changes in circuit topology.)

Second, the barrier must pass the HART signal with a minimum of attenuation and distortion. Barriers can affect the HART signal in a variety of ways, depending on the type of barrier and on associated components. The HART Physical Layer Specification prescribes several tests that barriers must satisfy. These tests are all related to insuring that there is sufficient signal passed in each direction through the barrier; and that the signal is not distorted by the barrier.

In a conventional resistor-zener diode barrier, it is theoretically possible to operate too near the zener clamp voltage so that the HART signal excursions are clipped. Usually, however, the peak HART voltage is on the order of 0.25 volt; and barrier ratings are conservative enough that clipping doesn't occur. (Note that if the barrier working voltage is too near the clamp voltage, there would be too much leakage current. Analog signaling would become inaccurate.) Another effect of a resistor-zener barrier is a flat attenuation of a voltage signal. A barrier with a 300 ohm resistance, used with a 250 ohm current sense resistor, creates a divider that will attenuate by 0.45. The Controller will see a HART signal voltage that is 0.45 of the voltage across the network. Yet another effect of the standard resistor-zener barrier is a lowpass filtering caused by junction capacitance of the zener diodes. Capacitances of several thousand pf are possible. However, this often just adds to a much larger cable capacitance and doesn't need to be taken into account.

An important consideration for active or repeater barriers is that they do not remove the HART signal with a lowpass filter designed primarily to pass the analog 4-20 mA signal. Another is that they do not chop (to create AC) at a frequency that is in or near the HART band. These special barriers must often be specifically designed to work with HART.

The next step up in complexity is an IS HART network identical to that described previously, except that it contains two or more multi-dropped Field Instruments, as illustrated in figure 2.10.

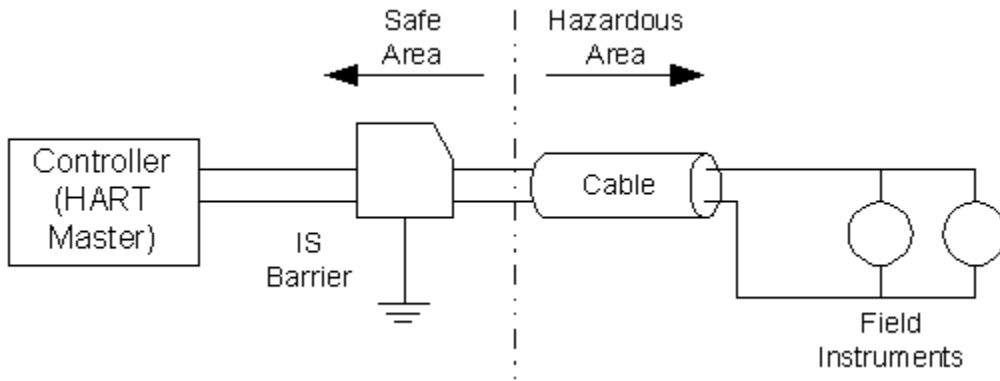


Figure 2.10 -- More complex IS Arrangement

Again, the barrier, cable, and Field Instruments must be a compatible combination. Since more L and C is being added with each Field Instrument, the likelihood of a viable combination becomes less as their number increases. In fact, we've not heard of any instances of two or more Field Instruments being used in this way. But this may simply reflect the facts that (1) most HART applications are point-to-point (one Field Instrument) instead of multi-drop; and (2) most applications are not IS. If the parked current of each of the Field Instruments is 4 mA, and if equivalent L and C are kept sufficiently low, it should be possible to operate about 4 or 5 Field Instruments from a single conventional barrier.

Finally, the most complex situation results when a hand-held communicator (HHC) is connected to the hazardous area network, as illustrated in figure 2.11. (In theory there could still be more than one Field Instrument, as in figure 2.10. However, the presence of the HHC multiplies the IS difficulties such that the prospect of multiple Field Instruments becomes less likely.)

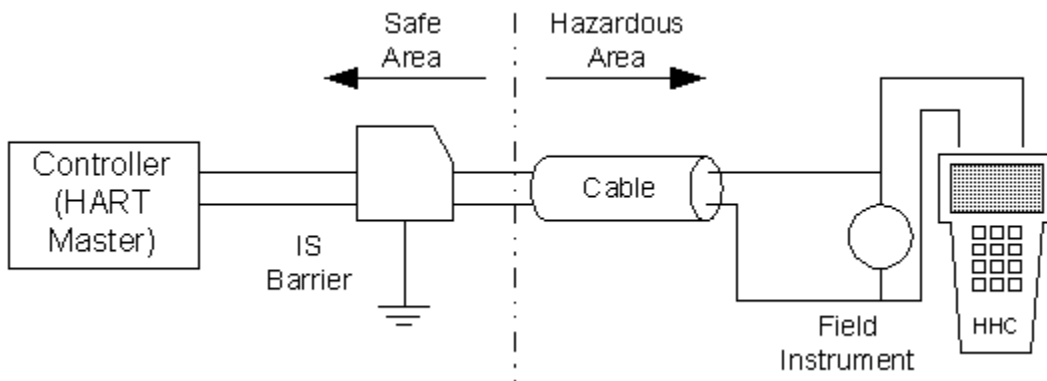


Figure 2.11 -- Most complex IS Arrangement

Instead of a HHC, the added device might instead be a second Field Instrument capable of actively generating its own voltage or current signal (such as might occur in a 4-wire Field Instrument). Either type of device presents the same kind of problems with respect to IS.

The HHC (or active Field Instrument) signal is AC-coupled to the network and is infallibly clamped so that peak voltage can't exceed about 1 or 2 volt. Using the HHC means that the instantaneous network voltage under fault conditions can now equal the sum of the barrier clamp voltage and the HHC clamp voltage. For a 28 volt barrier, the total voltage then becomes 29 to 30 volt. (The reason that the maximum voltage isn't still identical to the barrier clamp voltage is that there is resistance between the barrier zener diodes and the HHC. This resistance is the combination of the barrier resistance and cable resistance.) There is also an increase in current that could conceivably be drawn from the combined barrier and HHC. The barrier and HHC may be thought of as two power sources and two barriers, both supplying power to the network. Since the HHC signal is an AC voltage and current with average value of zero, and since its peak value is quite small compared to a 28 volt-rated barrier, some safety agencies ignore it. Others don't.

Suppose that we are stuck dealing with a safety agency that assumes the extra voltage and current. What are the ramifications? Then even if the same barrier is used in figures 2.9 and 2.11, a Field Instrument that was acceptable in figure 2.9 might not be in figure 2.11; because of (1) the higher voltage and current and (2) the extra capacitance introduced by the HHC. Not only might the Field Instrument be unacceptable, but the "entity" concept of constructing the IS system no longer works. The barrier ratings no longer mean anything and the combination of barrier, Field Instrument, and HHC may have to be certified as a unit. This is not a trivial consideration, since it means that a prospective customer may be locked into a combination of devices from a single vendor.

NOTE: The IS design of the HHC itself is a technical tour-de-force. The HHC is generally battery-operated and isolated from the network by an infallible transformer. The circuitry on the HHC side of the transformer includes the battery. Without appropriate IS design, there would be ample opportunity for gas ignition, irrespective of any connections to the outside world. The network side of the transformer is subject to the full current allowed by the barrier and must be sized and clamped appropriately. And, as indicated earlier, the output must be clamped so that only 1 or 2 volts can be produced at the terminals. And on top of all of this, there's that pesky expectation that the HHC still provide HART communication!

Currently we know of only two manufacturers of Intrinsically Safe HHCs: Rosemount Inc. and MTL.

One way around the situation just described is to have the HHC interface be similar to that of a passive 2-wire Field Instrument; so that the combination of the Field Instrument and HHC appear to be just two Field Instruments as in figure 2.10. But this requires that the HHC draw current from the network -- an unacceptable approach when analog signaling is present.



The entity approach to IS and the use of HHCs in hazardous locations are both such important concepts, that we probably have not heard the last of this apparent clash. It seems likely that some kind of compromise can be worked out so that both concepts are available world-wide.

In conclusion, HART was originally conceived to be IS-compatible and is generally well suited to use in IS environments. Multi-dropped Field Instruments in an IS environment are possible but not often used. An HHC in the hazardous area is possible, but presents special problems.

## **HART and CE Mark**

In 1996 the CE Mark became mandatory for electrical/electronic products sold in Europe. The CE Mark means, among other things, that the product satisfies specific requirements for ESD immunity, EMI immunity, and EMI generation. For instrument makers EMI immunity usually surfaces as the major concern. The specification for EMI immunity that usually applies to HART devices is [2.6]. This, in turn, refers to [2.7]. The test signal ranges from 150 kHz to 80 MHz and is modulated with 1 kHz.

A HART Field Instrument can be affected by EMI in two ways: (1) Analog Signaling may become inaccurate and (2) HART Signaling may suffer an increased error rate. The instrument vendor is allowed to state what constitutes a failure of the device in the presence of EMI. For analog signaling this usually isn't difficult. For example, the vendor can state that the accuracy remains within X % of span during exposure to EMI. For HART signaling, however, we are not aware that any widely accepted criterion has been established. The likely affect of EMI on HART communication would be to interfere with it and increase the bit error rate. This, in turn, increases the message error rate. The increase in message error rate could be so small as to go unnoticed by a user; or so large as to completely stop the HART communication. Here we will examine how EMI can affect the HART Field Instrument and look at some possible tests and failure criteria.

A typical 2-wire process instrument has its circuit contained in a metal case that is connected to earth ground. The circuit is isolated from the case and is connected to an external cable through EMI feedthrough filters, as illustrated in figure 2.12. The cable shield or one of its leads is grounded at the end opposite the process instrument.

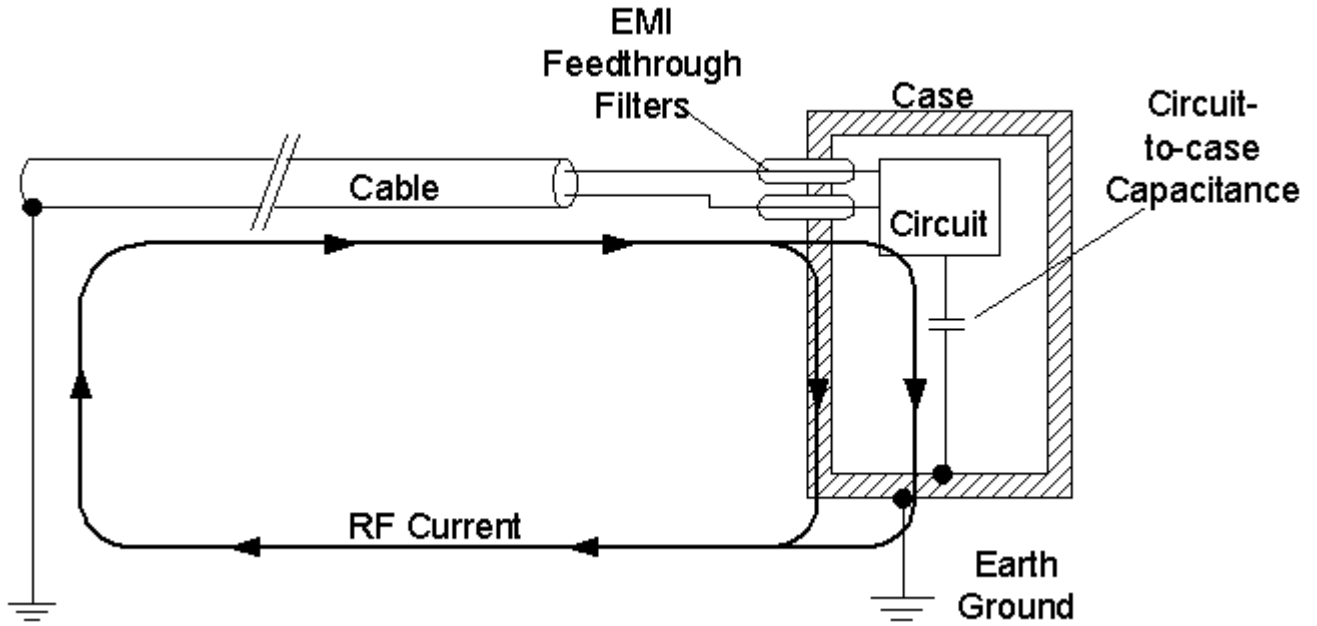


Figure 2.12 -- RF Circulating Current In Process Instrument

When this arrangement is exposed to EMI, a circulating current is established. Its path is shown in the figure. For the purpose of looking at the RF current path, all of the cable conductors are lumped together as though they just one single conductor. The process instrument circuit is also just one single piece of conducting material, with a small capacitance to the case. Ideally, most of the circulating RF current will go through the EMI filters and instrument case, bypassing the circuit. But some of the current will go through the circuit and couple into the case. The latter current takes various paths through anything it can find on the circuit board or boards. It can be amplified if it encounters an active circuit with a high enough bandwidth. But it usually encounters some nonlinearity (transistor junction, for example). This demodulates it and brings it down into the low frequency range, where it may cause offsets and amplifier saturation. The ENV50141 test is particularly bad because it uses a 1 kHz modulating signal -- a frequency within the HART band.

Another effect that can be equally bad results from the EMI filters being unmatched. That is, one of the EMI filters is slightly different from the other. Or, even if the EMI filters are matched, the impedance of the circuit to earth ground might be different at one terminal than at the other. The circulating RF current then causes a normal-mode RF voltage to appear across the input terminals. Depending on frequency, this voltage may be amplified by circuits or may be subjected to nonlinearities as previously discussed. Ways of keeping the RF out of the circuit are discussed in [2.5]. But we still need a test criterion.

A possible test -- one that we have used -- is to have a known message sent back and forth repeatedly between two devices, one of which is exposed to the EMI. Message errors at both ends are counted and if a threshold is exceeded, the device has failed. The problem with this is that devices aren't necessarily designed to operate in this manner. Modifying them or tapping into their hardware in some way negates the test, since the device tested in this way isn't the same

as the device to be sold. Modifying just the software might be OK. If there is enough code space available, then a test mode that works as described might be possible.

A test that can be done on a Field Instrument is to repeatedly send it a Universal Command (such as command 0) and get its reply; with the Field Instrument located in the EMI Field and the Master located outside of the Field. If the message received by the Field Instrument is in error, then either it won't send a response or it will send a response with an error status indication. Either way, the Master knows something went wrong. This testing assumes that messages reaching the Master are OK and is a test primarily of the ability of the Field Instrument to receive in the presence of EMI. The cable between Master and Field Instrument should be passed through the EMI containment wall using EMI feedthrough filters so that the EMI doesn't reach the Master.

Assuming that the command-reply type of test is used, then what should be the criterion for failure? It might be nice to know the number of bit errors, because this relates to the probability of an undetected message error (UME). But the HART Master doing the error monitoring can only count transaction errors. That is, if it sends a command and gets a good response back, then everything's fine. But if it gets no response or a bad response, there is no way of knowing how many bit errors may have contributed. Consequently, we have to look at some less informative but more practical criterion. Real devices will probably show one of the following 3 behaviors, with the first two being the most likely:

1. There are no transaction errors logged.
2. There are massive numbers of transaction errors as the interfering frequency is swept through specific regions.
3. There are a few transaction errors that aren't always repeated on subsequent frequency sweeps.

Most of us would agree that if (2) happens then its back to the drawing board. But either (1) or (3) would mean that we still have an usable HART system. Therefore, we suggest as the criterion that there be no interfering frequencies or frequency bands in which the number of transaction errors is observed to steadily increase at a rapid rate. That is, there can be no interfering frequencies or bands in which there is essentially no HART communication.

As a practical matter, when there are few or no communication errors, the examining technician must be convinced that the devices really are communicating and that the errors, if any, will be logged. A convenient way to do this is to loosen the connections to a device and wiggle the wires enough to cause momentary disconnections.

In the standards cited above, "RF" starts at 150 kHz. Unfortunately, this is low enough that it will pass through conventional EMI feedthrough filters, most of which are designed to start having an effect at 10 MHz or more. Not only does the test start at a relatively low frequency of 150 kHz, but the ENV50141 specification seems particularly unfair and unrealistic in requiring the RF source to be connected directly to the HART network during the test. That is, instead of the network being an antenna for the RF, as would happen in reality, the network becomes part of

a lumped circuit that contains the RF generator. The consequence is that a very large common-mode signal at 150 kHz and modulated with 1 kHz gets applied to HART receive circuits. We are not aware of any HART Field Instruments that pass this test. It seems likely that a future revision of the standards will provide a more realistic test that does not call for any actual connection of the generator to the HART circuits; and will reflect the difficulty of RF coupling at such a low frequency.

### **Electrical Measurement of a HART Network**

Suppose you want to see the HART signal as in figure 1.3. You can do this with an oscilloscope. But if you plan to connect it across the twisted pair, you may want to use differential probes instead of a conventional probe. The ground connection of the conventional probe may create an undesired circuit path. For example, if the network circuit is that of figure 1.2, the conventional probe may either short-circuit the power supply or the current-sense resistor. Using large capacitors between the twisted-pair conductors and the conventional probe leads doesn't help. It provides DC isolation, but you may still be short-circuiting the signal that you're trying to view. Using a conventional probe with a floating, battery-operated scope is OK.

### **Isolating A Non-Isolated Modem**

A need sometimes arises to galvanically isolate a HART Master from the HART Network using components that are easily obtained. This can be done as in figure 2.13.

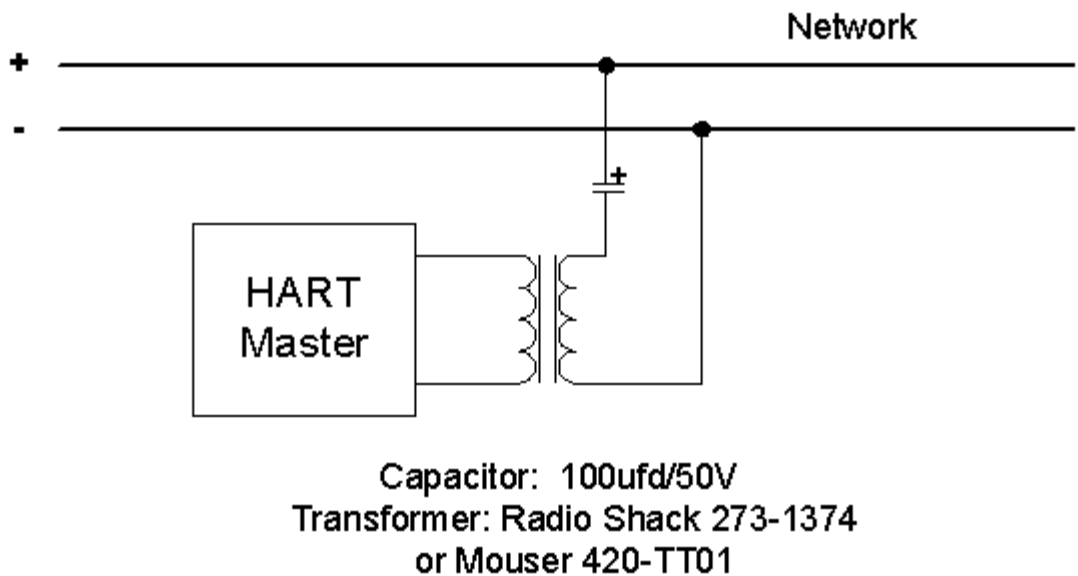


Figure 2.13 -- Isolating HART Master

Choose an electrolytic capacitor that has low leakage current and avoid using it high temperatures.

### **Troubleshooting: What To Do When "It Just Won't Talk"**

Whether you're an end-user, a systems integrator, a programmer, or a hardware person; you've probably had occasion to use a few choice words when a HART device just won't talk. Often you can get somebody else to figure out why. But in case you're elected, here are some things to look for. We will assume the common situation in which we are trying to talk to a HART Slave Device that is currently in production and whose health is not suspect.

#### Easier Things to Try

1. First, is the wiring correct? Is the Slave powered? If it is 2-wire, does it have sufficient DC operating voltage and current? Is the Slave connected across the combined power supply and current sense resistor (this works); or across only the power supply (this doesn't work)?
2. Is it the only Slave on the network? If there are two or more, do they have different polling addresses? (Two Slaves with the same polling address can result in a collision and the appearance that neither exists.)
3. If the Master is a personal computer + modem, are you sure that you have the correct COM port selected? If you're using a multi-tasking operating system, is it capable of sending out the bytes without significant gaps? (See section entitled [HART and PCs.](#))

#### Less Easy Things

4. If possible connect an oscilloscope (a differential connection is usually best, if possible) across the network. Set it to AC-coupled and band-limit to 20 MHz or less. When the network is supposed to be silent (nobody talking) you should see just a noise level of something like 0 to 20 mV p-p. A larger amount of interference at 50 Hz or 60 Hz is probably still OK. If there is interference greater than 20 mV p-p in the region of 900 Hz to 2.5 kHz, this could be the problem. You may need to find and eliminate it.
5. With the oscilloscope across the network, can you see bursts of carrier each time you take action to look for or talk to the Slave? A Master will usually try several times so that you see the carrier burst repeated about once or twice per second until the Master gives up. If you don't see these bursts at all, then the Master is suspect. If you are developing the Master software, are you writing to the correct port? Are you turning on RTS (request-to-send) during the transmission? Is the bit rate set correctly?
6. If you do see the bursts, examine a burst carefully. It should consist of two parts: the Master transmission followed by the Slave transmission. These will usually have different amplitudes. There may be a gap between them. The Slave transmission will usually last longer. If you see only one part, it is the Master transmission and the Slave transmission is missing. Examine the

Master transmission in greater detail. One of the nice things about HART is that you can read the transmitted bits from the waveform. Are there at least 5 preamble characters being generated? If not, then are you turning ON RTS too late? If there are enough preamble characters; check the start delimiter, address, and so on through the checksum. The sequence of characters for sending Universal Command 0 to a normal (unparked) Slave is

FF FF FF FF FF 02 80 00 00 82

The bit sequence is START, LSB, ..., MSB, PARITY, STOP. If part of the checksum is missing, are you leaving RTS ON long enough? If the Slave is an older type of device, and you can specify the number of FFs, then increase them from 5 to 20. Is the parity correct? For each FF it should be a ONE. Make sure it's not ZERO or missing. Check the length of the Master's message. For the 10-byte sequence shown above, it should be 91.67 millisecond. If it's off by about 833 microsecond, or a multiple of 833 microsecond, then there are extra or missing bits. Is the amplitude of the Master transmission large enough? It must be at least 120 mV p-p to insure proper carrier detect operation in the Slave. Amplitudes of 300 mV p-p to 500 mV p-p are more typical.

7. If there are two distinct parts to each burst, it means that the Slave is replying but the Master is not seeing the reply. Do the same thing for the reply portion of the burst as described in (6). That is, try to identify the sequence of bytes that the Slave has generated. Is there a distinct preamble with at least 4 identifiable FFs? If not, are you turning OFF the Master's RTS too late? Is the Slave signal amplitude too small? It must be at least 120 mV p-p and is usually more like 250 mV p-p.

## **HART Repeater**

A repeater may be necessary when the desired cable length exceeds limits set by the HART Standards or when there are more than 15 devices. It is a two-port device placed between two network segments. From a Protocol viewpoint it makes the two segments look like one network.

Although the repeater might also be equipped to repeat the analog 4-20 mA signal, our discussion here is limited to a device that repeats only HART signals.

To preserve the HART timing, a repeater must repeat in real time. That is, it cannot store messages for later forwarding. Delays must be limited to a few bit times if various timers are to work reliably. Another limitation is noise. A repeater cannot simply amplify and re-transmit the FSK signal, since this would also amplify and re-transmit noise on the network segment. This narrows the choice of repeater architecture to one in which the incoming signal is demodulated and then re-modulated. In addition, we must re-modulate with a "clean" signal. The output of a demodulator will contain jitter due to noise and to the demodulation process. This jittery signal should not be applied directly to the re-modulator, since this would result in a degraded signal to one or more receiving devices. Instead, the demodulator output should be detected in UART fashion (i.e., sample at mid-bit). Some logic is also needed to determine at start-up which bit is a

start bit and to count out each 11 bits that have passed and identify the next start bit. A block diagram of the repeater is shown in figure 2.14.

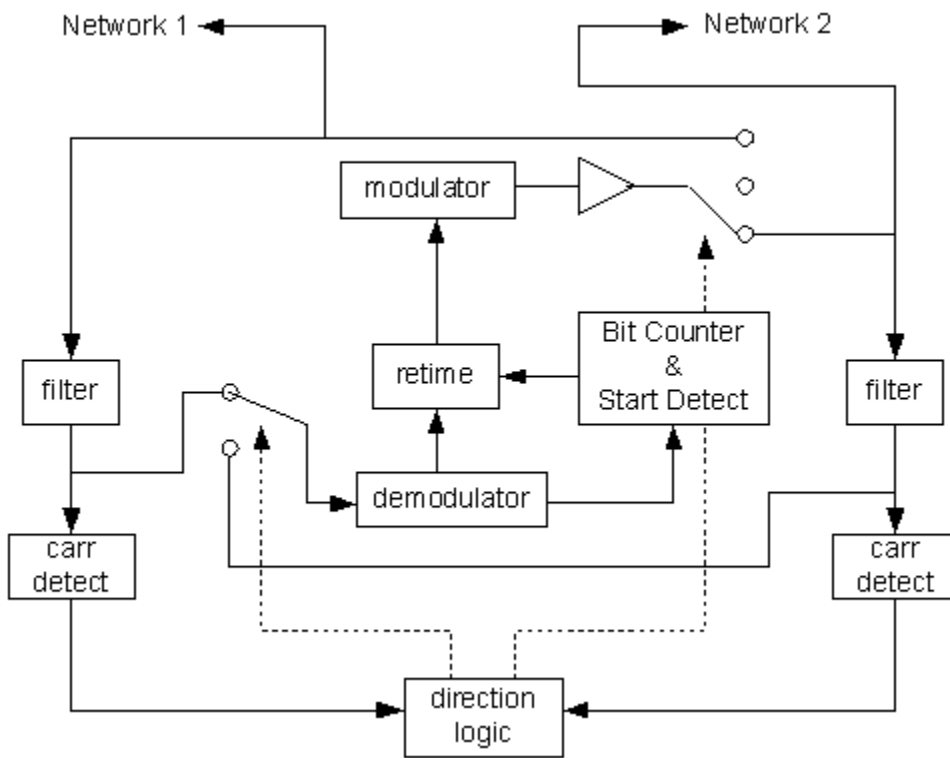
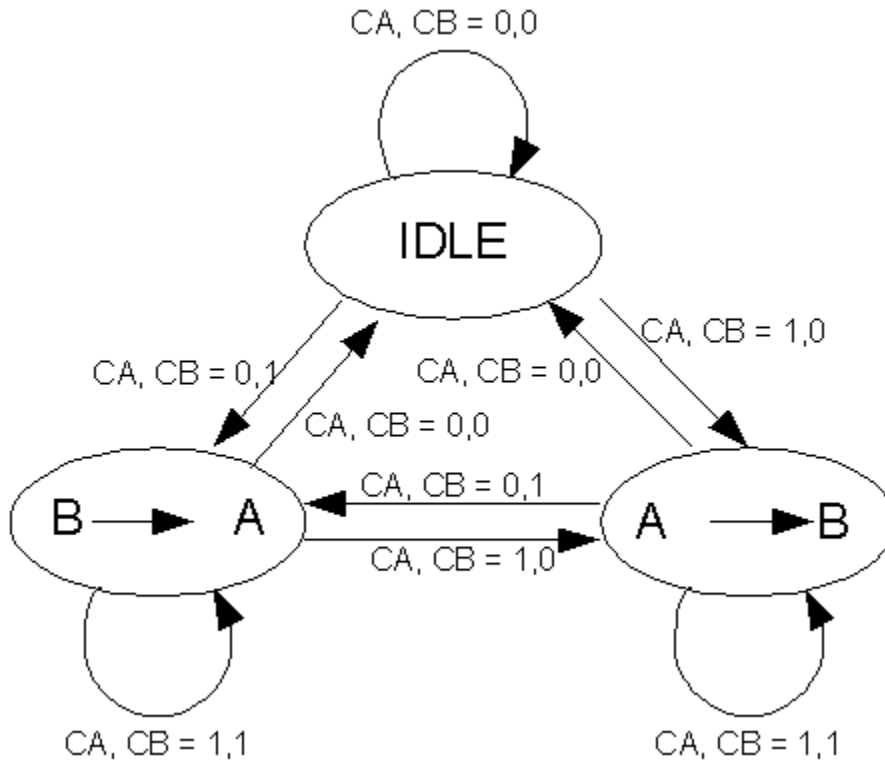


Figure 2.14 -- Repeater Block Diagram

Notice that, except for the line interface circuits and carrier detects, there is just a single signal path that is turned around as needed. The direction can be determined by a relatively simple state machine as illustrated in figure 2.15.



CA = Carrier Detect on Network A  
 CB = Carrier Detect on Network B

Figure 2.15 -- Direction State Machine

There are 3 states: idle, B>A (Network B to Network A), and A>B (Network A to Network B). Idle means that both ends are listening and the driver switch is not connected to either network. CA, CB = 1,0 means that there is carrier at network A and not at network B. And so on. If both carriers are present, the last state is retained.

A problem with all interface or bridge devices is the time it takes to turn the line around (or to turn on a signal path). This is usually related to carrier detect and can often be done in less than one character time. However, the loss of a character increases the number of preamble characters that may be lost from 2 to 3 (see also Part 2: [Startup Synchronization in HART](#)). If only 5 preamble characters were sent, as is often the case, this leaves only 2 as valid preamble. Thus, the margin against missing the preamble is reduced. If another device, such as a 2nd repeater were to be included somewhere in the network, there would likely be frequent failures to recognize the start of a message. The change to a HART Slave to force it to require more than 5 preamble characters is usually minor. Therefore, the vendor of the Slave device may be willing to increase the preamble size for the device in the interest of satisfying a customer. At the Master end the software can be changed so that it always uses a preamble of greater than five characters, ignoring whatever number the HART Slave says it should use.



## **HART Gateways and Alternative Networks**

Conventional HART, operating at 1200 bits/second and using a process loop as a network, has been the focus throughout most of this book. However, the desires of HART process equipment customers are seldom so limited. The need arises to connect HART devices in unconventional ways, which is the subject of this section. These unconventional methods can be divided roughly into two categories: those that still use HART protocol or some of it, and those that connect HART with networks using entirely different protocols. An interface between networks having different protocols is called a Gateway [2.8]. Examples would be HART to DeviceNet [2.9], HART to Ethernet, HART to Modbus, etc. Some of these unconventional methods are presented here, in no particular order.

### **PC as Gateway**

About the easiest way to form a Gateway is with a personal computer. This is sometimes done by systems integrators who need something up and running in the shortest possible time. As personal computers become less expensive and more reliable, this becomes more of an option. Small, inexpensive, single-board computers that implement DOS or Windows CE can also make this a reasonable approach.

As an example, suppose you need an Ethernet-to-HART gateway. This is done as in figure 2.16.

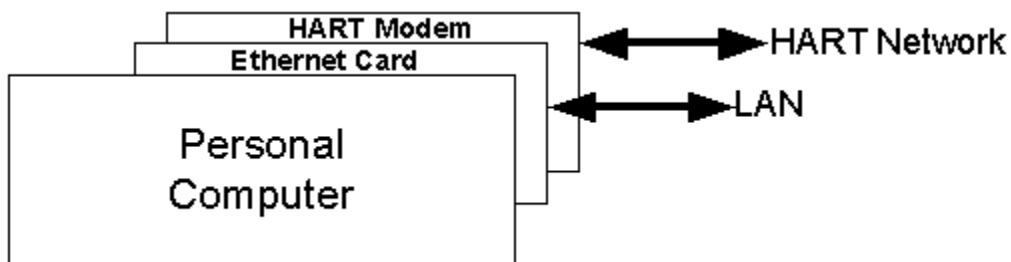


Figure 2.16 -- Using PC As Gateway

You buy the 3 pieces of hardware and write the software. For applications that are more cost-sensitive or that require greater reliability, a dedicated piece of hardware may be needed. Some of these are examined as follows.

### **DeviceNet to HART**

DeviceNet is becoming the de facto standard for high speed on-off sensing and control. HART and DeviceNet have little in common, as indicated in the following table. We wouldn't expect many similarities, since the two protocols are intended for different purposes.

<b>Network Type</b>	HART	DeviceNet
<b>Modulation Method</b>	FSK	Baseband with Bit Stuffing
<b>Data Rate</b>	1200 BPS	125 kBPS and up
<b>Application</b>	Transmit text and floating pt. numbers	Transmit discrete I/O (on-off, open-closed)
<b>Power and Signal on Same Pair?</b>	Yes (2-wire is possible)	No (uses 4 wires)
<b>Number Addressees per network</b>	15 or 275,000,000,000(*)	63
<b>Equality of Devices</b>	Master and Slave	Devices equal but prioritized
<b>Message Frame</b>	HART (UART-based)	CAN
<b>Possible Message Length</b>	Long	Short but can be continued
<b>Device Power Available</b>	Milliwatts to Watts	Watts

(\*) HART allows only 15 devices on a conventional current loop-type of network. But there are 275e9 possible addresses.

Table 2.3 -- HART and DeviceNet Comparison

Suppose, however, that someone implementing DeviceNet needed to read the process variable of a HART flow meter? A dedicated gateway between the two networks might be a possible way. It might work like this: At the DeviceNet side, the gateway looks like a DeviceNet Server (produces response) with Cyclic I/O Messaging at perhaps about once per second. At the HART side it appears to the flowmeter as a HART Master. Once each second it queries the flowmeter to get the process variable at the HART side and then transmits this variable to all consumers at the DeviceNet side. At power up, the gateway device would go through the DeviceNet configuration, receive its assigned DeviceNet address, and become a publisher of information. Then it would determine the address of the HART flowmeter in preparation to read the process variable.

A dedicated gateway would probably be designed to work with more than one HART Field Instrument and would publish the process variable corresponding to each Field Instrument.

### **HART Over RS485/RS232**

Conventional HART uses FSK modulation to translate the frequency spectrum to a region that is compatible with 4-20 mA. In some applications where there is no current loop, the modulator and demodulator are simply removed and HART is transmitted as a baseband signal. This is illustrated in figure 2.17 for RS232 and RS485 line drivers and receivers. RS232 is more suited to communication between just two devices, while RS485 allows the construction of a network of

several devices. RS232 is limited to a distance of 50 feet (15 meter), per the standard. RS485 allows up to several thousand feet (one or two km).

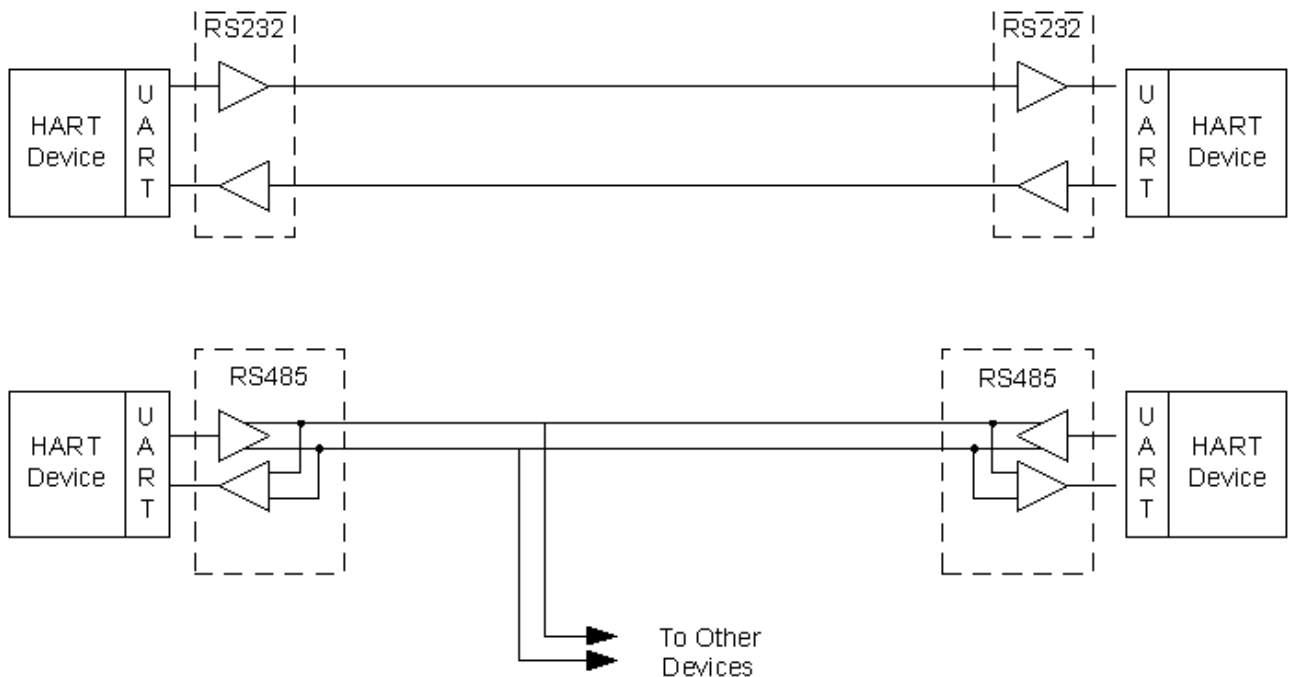


Figure 2.17 -- Baseband HART Using RS232/RS485

In both of these arrangements the message generated by the HART device is the same series of 11-bit characters that would normally be sent to a HART modem. The bit rate can be 1200 bits/second as in conventional HART. Or it may be higher.

### **Combined Baseband and Conventional HART**

A combination of baseband RS232/RS485 and conventional HART signaling is also possible. When RS485 is used, it is possible to build a super HART network as illustrated in figure 2.18.

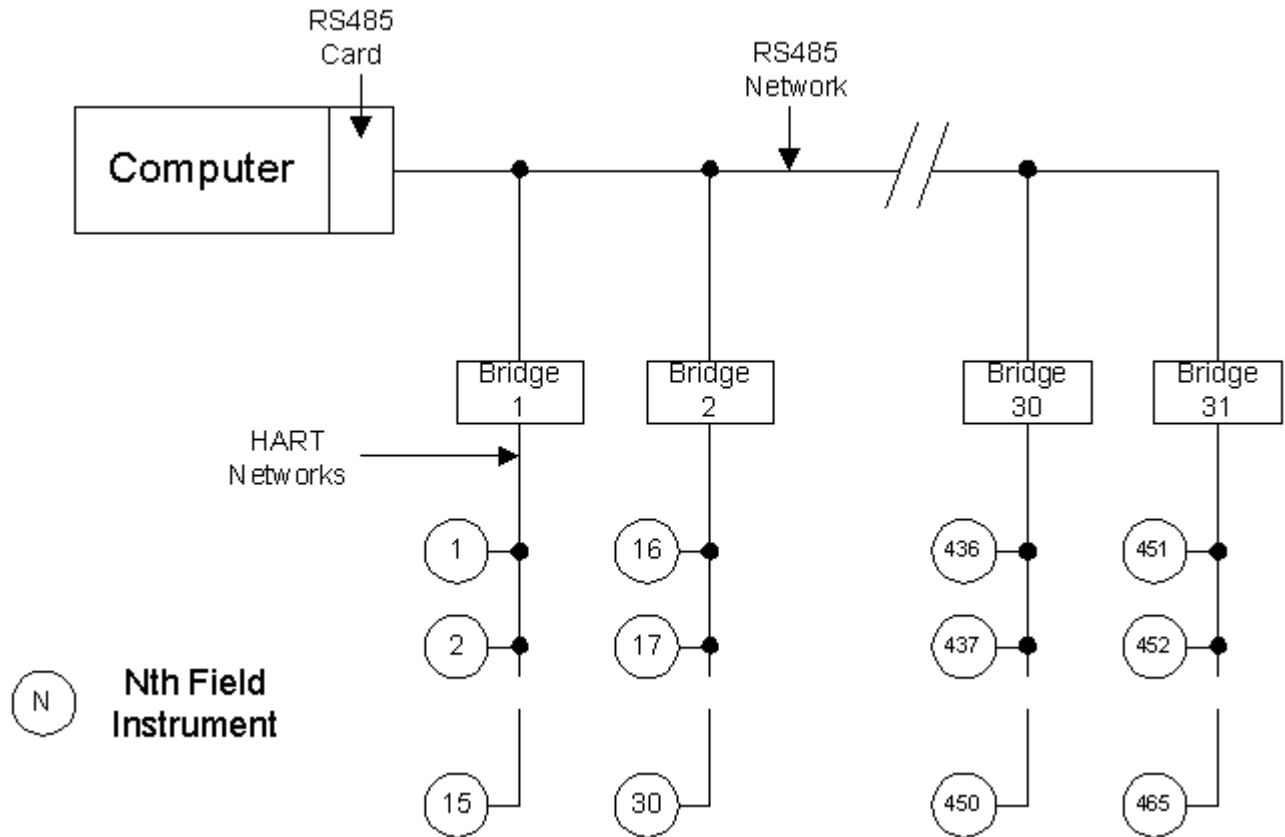


Figure 2.18 -- Super HART Network Using RS485

This super network can have 31 bridge devices (the limit for RS485) and 15 HART Field Instruments per bridge device, for a total of 465 Field Instruments. Except for line turn-around time in the Bridge, all HART timing is preserved. The considerations for the bridge device are similar to those for a repeater.

### Telecom HART

Since the HART signal band is essentially the same as the band available to voice signals in telephone networks, a telephone network can be used to transmit HART. In the United States and Canada the HART FSK signal frequencies are OK as is. In Europe or other countries that use CCITT standards, HART can still be used except that the frequencies must be changed to 1300 Hz (logic 1) and 2100 Hz (logic 0). These frequencies are acceptable in the U.S. and Canada. And, fortunately, most HART and Bell-202 modems will accept these two frequencies. This leads to some simplification in an interface device.

A typical HART-over-phone-lines application is shown in figure 2.19.

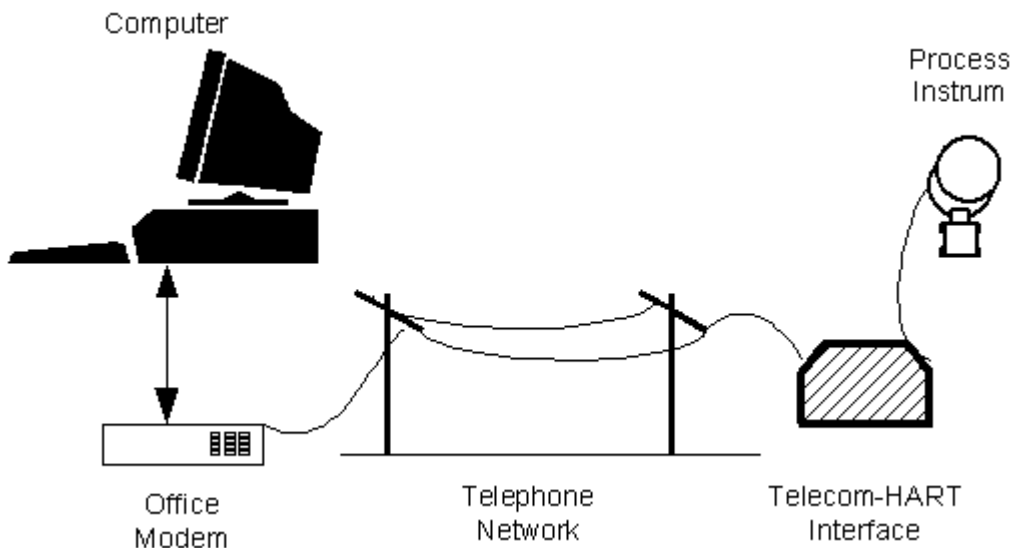


Figure 2.19 -- Illustration of Using Telephone Network for HART

The computer and office modem constitute the HART Master. The office modem is a standard Bell-202 or CCITT V.23 telecom modem. There is no point in trying to adapt a HART modem at the office end, since commercially available telecom modems already have the desired certification and are directly compatible with the telephone network. They just need to be set up to work with HART. This is explained in more detail in a [HART Application Note](#).

When used with the Public Switched Telephone Network (PSTN) the computer and office modem can "call up" any number of Field Instruments. The size of this network is virtually unlimited. And, of course, there can still be up to 15 HART Field Instruments served by each Telecom-HART Interface, so that there can be up to 15 Field Instruments at each phone number.

The "Telecom-HART Interface" is a necessary part of the scheme, since a process instrument isn't directly compatible with the telephone network. Even when a leased line is purchased from the phone company, direct connection of a process instrument isn't advised because signal levels and impedances will not be correct. If the process instrument is a 2-wire device, there is also the question of how to power it. The Telecom-HART Interface provides the functions of figure 2.20.

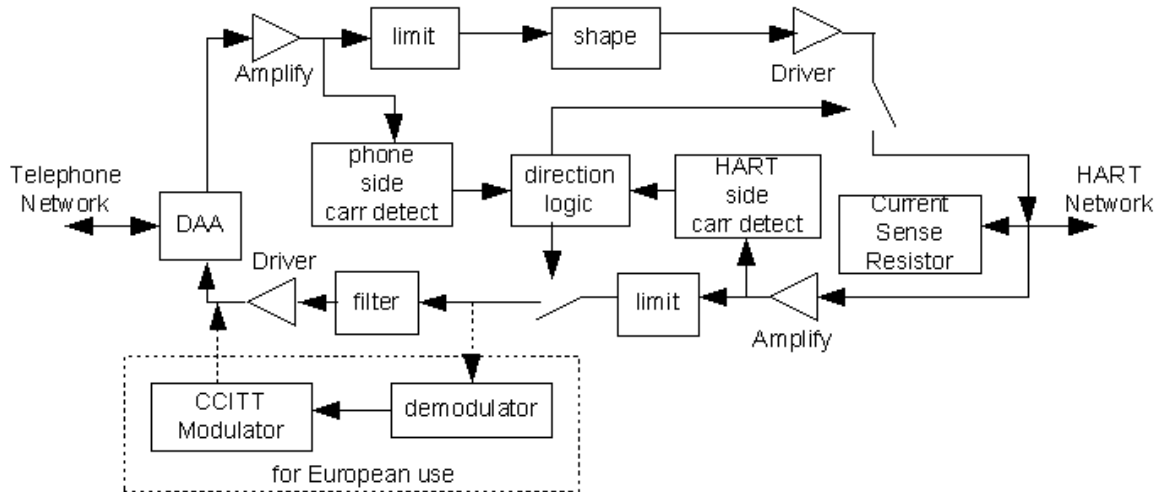


Figure 2.20 -- Block Diagram of Telecom/HART Interface

The Interface consists of two signal paths (toward and away from the Process Instrument) and some logic (or microcontroller) to decide which path is active. Deciding which path should be active is more than just sensing carrier detect. Once a path is closed carrier appears at both ends. Therefore, some form of state machine is desired. One possibility is that both paths are normally turned OFF. When both carriers are absent, the device goes to this (both paths OFF) first state. If a telco carrier should become present and HART carrier is absent, the upper path is switched ON (second state). If a HART carrier appears and the telco carrier is absent, the lower path is switched ON (third state). If both carriers are present, the device simply maintains the last state (either second or third).

At the start of a transaction the telco carrier will come ON and the upper path will become active. As soon as the path becomes active, both carrier detects will be on and the upper path will remain active. The Master will finish its transmission so that the telco carrier goes away. At this point, the carrier at the HART side might also go away if there is no immediate reply by a HART Slave. Then both paths would become inactive. When the Slave finally replies, there will be a HART carrier and no telco carrier so that the bottom path will become active. Another possibility is that after the telco carrier stops, the HART side carrier stays active because the HART Slave has already begun to reply. Then the bottom path will be made active at the same time that the upper path becomes inactive.

At the telephone end, the interface device provides a data access arrangement (DAA), so that the device may be legally connected. Limiters in both paths control the amplitude of signals that are applied to the respective networks. An entire modem is added if the device is to be used in Europe. This modem accepts the HART signal frequencies of 1200 Hz and 2200 Hz and converts them to CCITT-compatible frequencies of 1300 Hz and 2100 Hz.

A potential problem with trying to use conventional Master software in this telephone application is the delays in the telephone network. When the Master sends out its command, it arrives at the interface device some time later. The return trip is similarly delayed, so that Master software may time out, thinking that the Slave didn't reply. As much as half a second is possible,

though not typical. The Master software should be designed to take this into account. Clearly, burst-mode, Master arbitration, and other conventional HART activities dependent on timing are probably impossible in this application.

In this application (and probably others), the possibility of inadvertently turning on burst mode in a device must be carefully considered. It is easy to turn burst mode on. But because the network doesn't support conventional HART timing, it may be impossible to turn burst mode off without a trip to the site of the bursting Field Instrument. If this is a great concern, then it may be necessary to incorporate a micro-controller into the Interface and screen (filter) the HART commands. But this greatly complicates the Interface and discards the convenience of a modulation method that is already compatible with phone lines. A more reasonable approach is probably to control the Master software so that it never issues commands that would activate burst mode.

### **Fiber Optic HART**

By combining inexpensive and powerful laser diodes (emitter) with efficient photodiodes (detector), enough power (about 4 mA at 12 volt) is produced to operate a parked HART Field Instrument. The result is a point-to-point HART network with only optical fibers connecting the Field Instrument. The scheme is illustrated in figure 2.21.

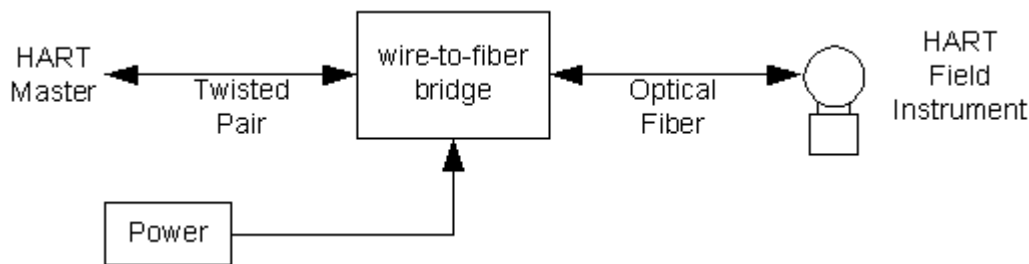


Figure 2.21 -- Fiber Optic HART Network

Everything except the Optical Fiber and Field Instrument are located in the control area. A special interface built into the Field Instrument converts a conventional 2-wire HART Field Instrument to an optical Field Instrument. This equipment and the services to retrofit Field Instruments are available from NT International [2.10].

### **Single Modem/Multiple Point-to-Point**

A common situation is that of a HART user who has only point-to-point networks (one Field Instrument per network or per current loop) and wants to use one computer to talk to all of them. The solution that comes to mind most quickly is to use multiple modems. In fact, this is probably the only solution that is able to maintain the full protocol, including arbitration. But, if we know

that there will not be a need for the full protocol, another possibility is to switch a modem from one network (process loop) to the next. The problem with this is how to do the switching. Electromechanical relays probably aren't the answer. Semiconductor switches might create too much leakage current. Another problem with switching is the need for the Master device to maintain a table of network and device addresses. That is, the Master must remember not only the Field Instrument address, but the network of that particular Field Instrument. A possible solution that doesn't involve switching and maintains the reliability and integrity of each process loop is that of figure 2.22.

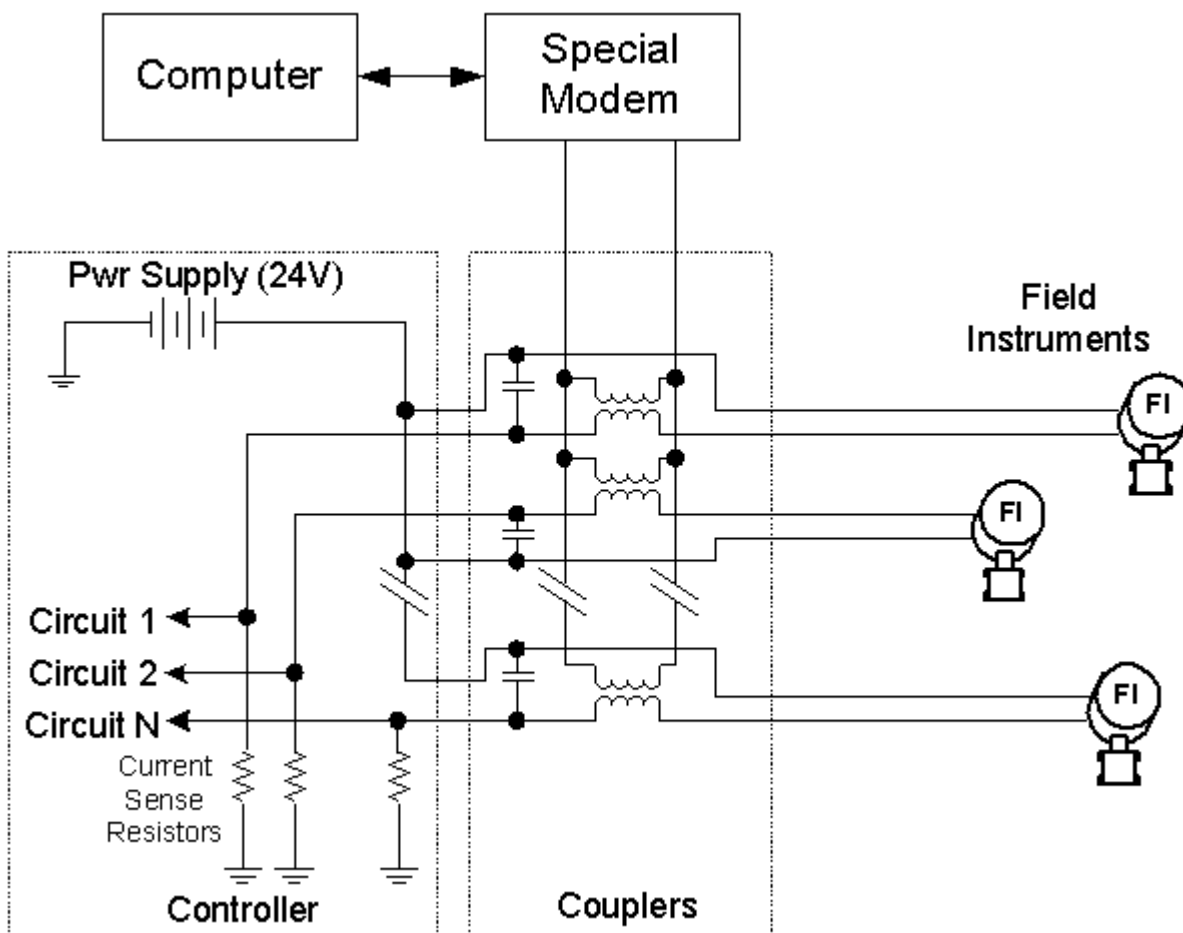


Figure 2.22 -- Single Modem Coupled To Multiple Point-to-Point Networks

Here, the individual networks are transformer-coupled to a single modem. The modem is specially designed to have an impedance of zero or nearly zero, whether transmitting or receiving. Zero impedance during receive serves two purposes: (1) It allows the modem to collect all of the signal from one of the Field Instruments instead of having the signal distributed (lost) to other networks. (2) It relaxes transformer requirements by increasing the associated L/R time constant. The coupler device is entirely passive and galvanically isolates the network from the modem. The schematic of a single coupler is shown in figure 2.23.



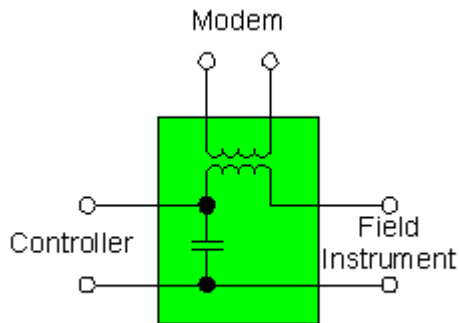


Figure 2.23 -- Coupler

The coupler is a 3-port device that can easily be designed for DIN-rail mounting. Its resistance from controller port to Field Instrument port is very low, so that very little voltage drop is introduced into the loop. There is also complete galvanic isolation of the current loop from the modem.

Using the scheme of figure 2.22 one modem communicates with up to 15 networks (15 Field Instruments). When the modem transmits, the transmission is seen by all of the Field Instruments and only one replies. When the modem is receiving it must sense the current flow through its terminals.

Some of the considerations in applying this method are:

1. The drive capability of the modem must be quite high, since it sees the combined loads represented by up to 15 networks.
2. The modem must maintain a low impedance up to frequencies of about 5 kHz. This becomes difficult in a trans-impedance type of amplifier arrangement. A very wide-band amplifier may be needed.
3. The transformer is a critical component that must satisfy competing requirements of low resistance, high inductance, maintenance of inductance at DC of 20 mA, and small size and cost. Most off-the-shelf transformers are not satisfactory in this application. We have been able to get custom transformers from Midcom [reference] that fit this application.
4. Equalization is generally necessary in the modem to mitigate the combined effects of the transformer and networks (current loops). The equalization may need to vary to account for the possibility of from 1 to 15 current loops. Using practical values for other circuit elements, the

combination of these

elements with the transformer creates a high-pass filter with corner frequency at or close to 1 kHz  
(low end of HART band).

### **Wireless HART**

It seems lately that just about every form of communication is becoming wireless or has wireless as an option. And, undoubtedly, HART or HART-like information is now being transferred by wireless. But this is the result of gateways to HART and the use of non-HART protocols. A wireless version of HART Protocol does not exist and probably won't ever exist. The reason is that HART Field Instruments would have to be equipped with radio transmitters. (Or there might be one transmitter serving several Field Instruments.) This, in turn, implies a relatively large expenditure of power -- much more than is currently used in HART Field Instruments. And, since the power must be made available anyway, one might as well opt for an existing wireless protocol instead of creating a new one. In other words, once we depart significantly from the conditions that led to the creation of HART in the first place, then other solutions become more viable. This applies not only to wireless, but to any of the proposed alternate versions of HART described above.

A market for transmission of process variables via wireless apparently exists. But, based on information from potential customers, the requirement is for distances on the order of 15 miles (24 km). This immediately excludes virtually all of the recently developed spread-spectrum unlicensed techniques, which are limited to about 1 or 2 miles of reliable transmission.

## About HART -- Part 3

### Part 3: Ponderous Stuff

#### Equation Describes CPFSK

The HART signal is described mathematically as

$$V = V_0 \sin[\theta_0 + \theta(t)]$$

where V = signal voltage, t = time, Vo = amplitude, Theta\_sub\_0 is an arbitrary starting phase, and Theta(t) is given by

$$\theta(t) = \int_0^t \left( 2\pi(1700\text{Hz}) + 2\pi(500\text{Hz}) \sum_n B_n(t-nT) \right) d\tau$$

where Bn(t) is a pulse that exists from 0 < t < T and has a value of 1 or -1, according to whether the nth bit is a 0 or 1. T is one bit time. If phase is plotted versus time it is a steadily increasing value that increases with two possible slopes.

#### Generating HART Signal With MATLAB

The following "M" file listing is a program for generating HART modulation with MATLAB [3.1]. This is useful for testing or simulation. The program uses random input bits and generates square, trapezoidal, and sinusoidal outputs. The output ranges from -1 to +1. Figure 3.1 is an example of the output. The curves have been separated for clarity. The bottom curve is the modulating signal.

```
% hartgen.m
% Generates HART signals.
% Stephen D. Anderson --- November 29, 1999.
% Arrays are identified by a capital letter.
clear;
% comment out the following statement to get a different set of
% random bits each time program is run.
rand('seed',0);
% Generate a random bit stream.
numb_bits = 200;
Bits = round(rand(numb_bits,1));
% Convert bits to levels of +/- 1.
Xmit = 2*Bits - 1;
% Generate bit boundary times.
H_time = (0:(length(Xmit)-1))*(1/1200);
% Set sample rate to 50 kHz.
sample_time = 1/50e3;
% Sample the transmit bits.
```

```
i=1;
for j=1:length(H_time);
    while ((i-1)*sample_time <= H_time(j));
        Sample(i) = Xmit(j);
        i = i + 1;
    end;
end;
% Generate the accumulated phase at each sample.
Accum_phase = zeros(1:length(Sample));
Phase = 2*pi*Sample*500*sample_time;
accum = 0;
for i=1:length(Phase);
    accum = accum + Phase(i);
    Accum_phase(i) = accum;
end;
% Generate a time record.
Time = sample_time*(0:length(Phase)-1);
% Generate the sinusoidal wave.
Sinout = cos(2*pi*1700*Time + Accum_phase);
% Generate the square wave.
Squareout = sign(sign(Sinout)+0.1);
% Generate the trapezoidal wave by convolving the square wave
% with a pulse.
pulse_length = 160e-6;          % Use 80 usec ramp.
pulse_length = round(pulse_length/sample_time); % need integer.
Pulse = ones(1:pulse_length);
Trapout = (conv(Pulse',Squareout))/pulse_length;
Trapout = Trapout(1:length(Time));
% Write to file.
fid = fopen('out.dat','w');
fprintf(fid, '%10.8f %10.8f %10.8f %10.8f %10.8f\n',...
[Time; Sample; Squareout; Sinout; Trapout]);
fclose(fid);
```

**Waveform Example**

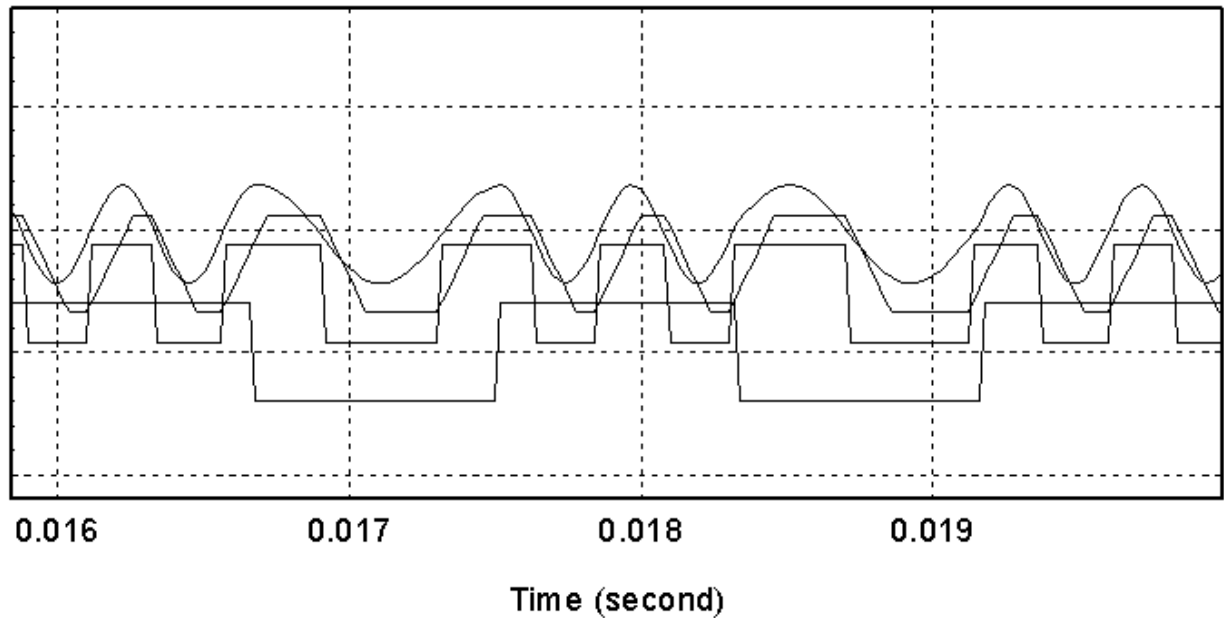


Figure 3.1 -- Example of HART Signal Generation

**OSI Model**

Although HART can be adequately understood without resort to the OSI Model, some of the OSI terminology exists in HART Standards. Therefore, a brief description of the relationship is given here. A mapping of HART hardware to the Model is also attempted.

The Open Systems Interconnection (OSI) Model [3.7] is a standard model for communication systems. The intent of the OSI Model is to provide requirements for being "open." The model consists of 7 layers, which are either physical or abstract entities within the communicating system (device). The layers, listed in order from highest to lowest are:

7. Application
6. Presentation
5. Session
4. Transport
3. Network
2. Data Link
1. Physical

A given layer of one system (device) communicates with its counterpart in the other system (device). A given layer generally knows (or can find out) the capabilities of the next lower layer; and may request services of this lower layer. The Physical Layer, which is the lowest layer,

connects to a medium, which serves all of the communicating systems. Sending a message consists of a series of requests by each layer to the next lower layer, with appropriate protocol and addressing information being added at each level. A request to a lower level or receipt of information from a lower level is called a PDU (Protocol Data Unit). The next lower level that received the request or provided the information calls it an SDU (Service Data Unit). Sometimes the terms PDU and SDU are preceded by an indicator of the layer. For example, a DLPDU would be a PDU sent or received by the Data Link Layer.

As defined by the OSI Model, conventional HART uses "connectionless" communication. That is, connections are not established and removed (as with public telephone network) in order for communication to occur.

In virtually all implementations of HART, the functions of layers 3 through 6 either don't exist or are performed as a single activity by one computer or embedded microcontroller. Consequently, conventional HART is usually said to implement only layers 1 (Physical), 2 (Data Link), and 7 (Application).

In addition to interfacing (voltages, impedances, etc.) to the network cable, the HART Physical Layer performs 4 basic functions:

1. Modulating an outgoing message.
2. Demodulating an incoming message.
3. Turning on carrier for an outgoing message.
4. Detecting carrier for an incoming message.

In the jargon of OSI a message transmission occurs like this: the Application Layer gives a PDU (request) to the Data Link Layer. This request contains the destination address and the data (including command number) to be sent. To the Data Link Layer, this information is an SDU. The Data Link Layer then creates its own PDU by adding a preamble, delimiter, source address, and error check bits and arranging them all in the proper order. The Data Link Layer then performs three functions to send its message:

1. It makes a PDU to the Physical Layer to turn on carrier.
2. It makes a 2nd PDU, which is the data to be transmitted.
3. It makes a PDU to turn off carrier.

A similar series of events takes place in a receiving device. One of the first steps is the Data Link Layer making a PDU to the Physical Layer to listen for carrier.

HART hardware can be roughly related to the OSI layers 1, 2, and 7 as in figure 3.2.

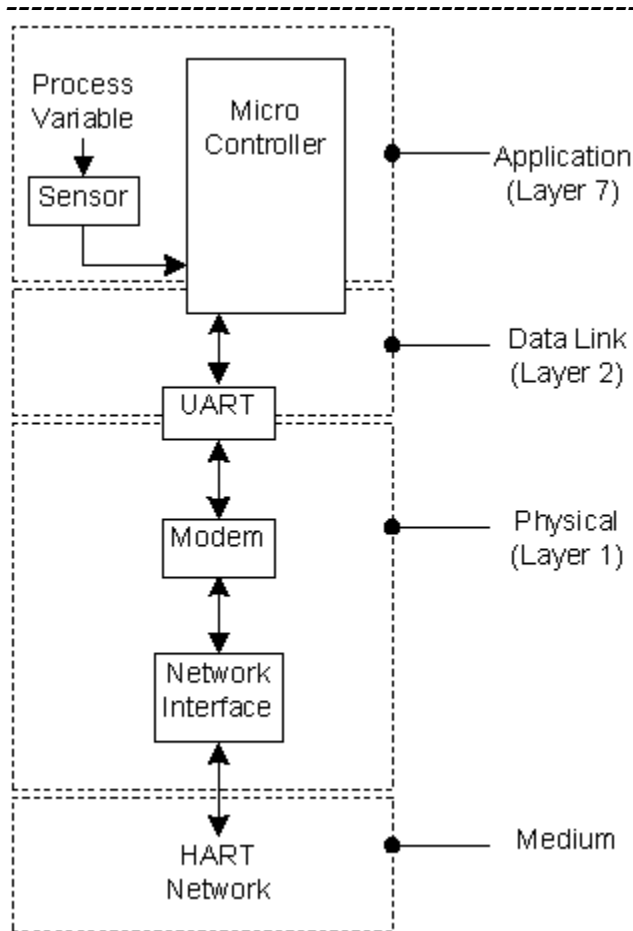


Figure 3.2 -- HART Transmitter Showing Approximate OSI Boundaries

There isn't necessarily any correspondence between a given OSI layer and some identifiable hardware or software. For example, the UART is responsible for creating the bit stream -- a physical layer function. But, at the same time, it adds parity bits for error control -- a Data Link Layer function.

**The OSI Standard:** In our opinion the OSI standard is unnecessarily complex and obscure. Communication systems can be made "open" by publishing a Plain English description of how they work. We guess that virtually every open system that references the OSI Standard also has such a description.

The OSI Standard can be roughly summarized as stating that a given layer requests services of the layer below it and doesn't know or care how the lower layer accomplishes this. But, in fact, communication systems tend to be driven from the bottom up instead of the top down; because they are usually built around the properties and limitations of the physical layer. As evidence of this, consider the Internet and how slow it is. Here, the application is clearly being controlled by the physical layer.

## HART Network Circuit Models

HART networks can be modeled as lumped circuits. Using these models it is possible to predict the amount of attenuation and distortion that will occur in transmitting from one of the networked devices to another. A progression of models is presented here, with some comparisons of different models and comparisons between simulated models and measurements.

Every device connected to a HART network may be considered a lumped RLC (resistor, inductor, capacitor) circuit, with varying impedance over the HART signal band of 950 Hz to 2500 Hz. Most devices don't present any appreciable inductance or else the inductance is large enough that it appears to be an open circuit compared to impedance in parallel with it. Consequently, the inductance can be removed from the model and a given device can nearly always be considered an RC (resistor, capacitor) combination.

Cable is characterized by its R, C, L, and G (conductance) per unit length. But, at HART frequencies and under the circumstances used in HART, only the R and C have a significant effect. Thus, the cable can be modeled as a chain of RC sections. One of these sections for a multi-pair cable is shown in figure 3.3. In the figure R is the resistance of a conductor. CXY is the capacitance from conductor X to conductor Y. There will be a C for every combination of two conductors. HART frequencies are low enough that skin effect may be neglected. Thus R and C are often available as cable specifications or are based on DC or low-frequency (about 1 kHz) measurements. R can also be determined from conductor diameter (gauge). Increasing the number of sections increases the model accuracy.

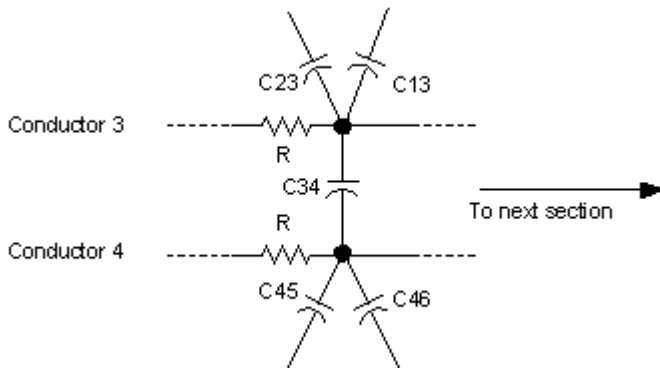


Figure 3.3 -- Cable Section Model

A typical situation is a group of point-to-point networks, each using a pair of a multi-pair cable. A case that has been studied quite a bit is a 4-pair #24 gauge cable with overall shield. This cable is characterized by 3 different capacitance values per unit length, as listed in table 3.1.

Conductor Combination	Capacitance per 1000 ft.
Conductor in one pair to conductor in same pair	9.90 nF



Conductor in one pair to conductor in another pair	1.97 nF
Any conductor to shield	27.04 nF

Table 3.1 -- Cable Capacitances

A model of 4 point-to-point networks using this cable is given in figure 3.4, for the case where one of the Field Instruments is talking to its respective Master. Each cable section is modeled as in figure 3.3. Each of the Masters at the Controller end is modeled as a single resistor,  $R_m$ . Each of the pairs at the Controller end has a common connection with the shield. At the Field Instrument end the Field Instruments are all high-impedance devices and are modeled as open circuits. The one talking Field Instrument is modeled as a current source.

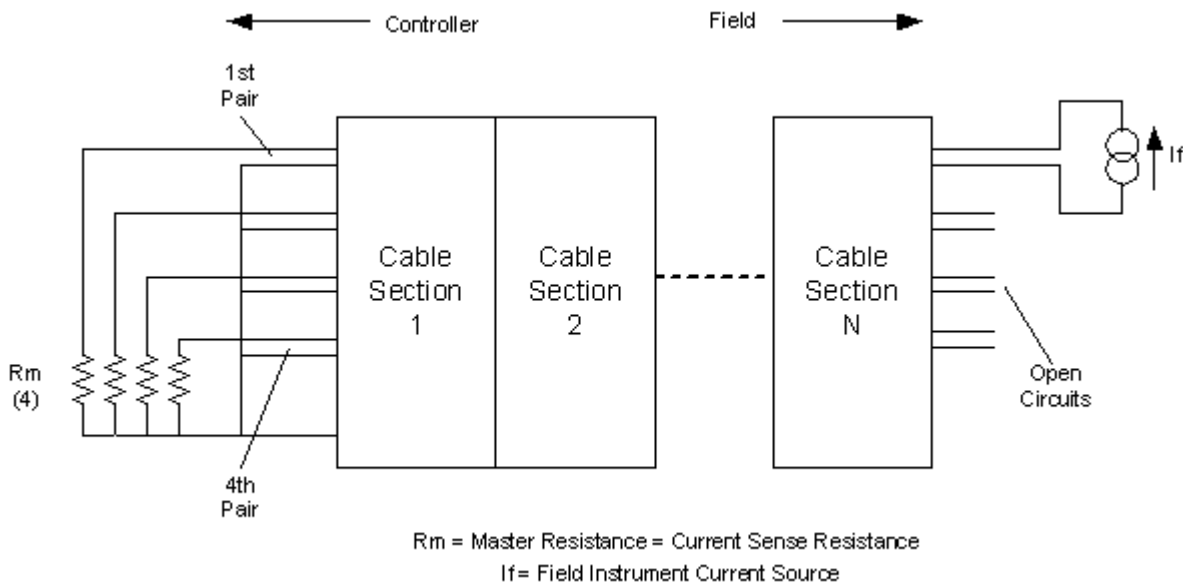
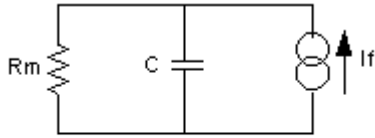


Figure 3.4 -- 4-Pair Circuit Model

SPICE simulations were used to find the voltage magnitude and phase at both ends of the driven pair. The SPICE simulations used 5 sections of cable of length 1000 ft. per section. The resistance of a cable conductor per 1000 ft. section is 26 ohm.  $R_m$  was set to 100 ohm, 200 ohm, 500 ohm, and 1000 ohm.  $I_f$  = current = 0.6 mA.

The SPICE simulation results are not too remarkable except as a reference for a much simpler analytical approach. Suppose that the model above is replaced by that of figure 3.5. The simple model ignores cable resistance. It also combines all of the various cable capacitances into one. This single capacitance, the mutual capacitance, is what we would measure between the two conductors of any pair. For the 4-pair cable used in the simulation the mutual capacitance is 48.6 pf/ft.



Rm = Master Resistance = Current Sense Resistance  
If = Field Instrument Current Source

Figure 3.5 -- Simple Model

The simple model is seen to be just a single-pole lowpass filter. The output voltage is easily determined. A comparison between the simple model voltage and the SPICE model voltage is given in table 3.2. There is relatively good agreement, which suggests that the simple model is probably sufficient for most analyses of HART signaling.

Rm (ohm)	Frequency (Hz)	SPICE magnitude	Simple magnitude	SPICE phase	Simple phase
100	900	0.0588 volt	0.0594	-13 degree	-8
100	3193	0.0493	0.0539	-40	-26
200	900	0.1137	0.116	-20	-15
200	3193	0.0779	0.0859	-55	-44
500	900	0.2400	0.247	-38	-35
500	3193	0.1076	0.114	-75	-68
1000	900	0.3429	0.353	-56	-54
1000	3193	0.1179	0.121	-85	-78

Table 3.2 -- Comparison Between SPICE Model and Simple Model

In the above models, when the Master is transmitting to the Field Instrument, Rm is short-circuited by an ideal voltage source and the current source at the Field Instrument end is removed. This results in even less attenuation and phase shift. Thus, the situation analyzed is a worst-case.

When a resistor-zener IS barrier is used, this places a resistance between Rm and the cable. When the Field Instrument is talking, Rm just appears to be larger. And the actual Rm forms a voltage divider with the barrier resistance. When the Master is talking, the barrier resistance forms a single-pole lowpass filter with the cable capacitance.

Measurements were also made on a 1000 ft. section of the 4-pair cable. A comparison of measured and calculated output voltage for the 4-pair cable with Field Instrument transmitting to Master is given in table 3.3. The simple model was used for the calculations. The current source was simulated by using a signal generator in series with 20 kohm. The table shows very good agreement.

Rm (ohm)	Frequency (Hz)	Calc. magnitude	Meas. magnitude	Calc. phase	Meas. phase
250	500	12.3 mV	12.3	-2 degree	-2
250	1000	12.3	12.3	-4	-4
250	2000	12.2	12.3	-9	-8
250	5000	11.5	11.7	-21	-18
500	1000	24.0	23.9	-9	-7
500	2000	23.3	23.3	-17	-15
500	5000	19.3	20.1	-37	-32
1000	1000	45.4	44.9	-17	-14
1000	2000	40.5	41.1	-31	-27
1000	5000	26.0	28.7	-57	-50

Table 3.3 -- Comparison of Measured and Calculated Output Voltage

These results were used to set an upper limit for the product of  $R_m$  and  $C$  in an early draft of the HART Physical Layer specification. The limit is 65 microsecond. Later, however, there arose a need to use relatively low resistance values. The simple model ignores the fact that, as  $R_m$  becomes small, the effect of cable resistance and other series resistances becomes greater and can eventually dominate the circuit behavior. There is also a need to allow parallel resistance to be distributed among networked devices. A reference voltage for deciding the presence or absence of carrier was also established and required more careful determination of various sources of attenuation. Consequently, the simple model became inadequate and has been replaced by those of figure 3.6.

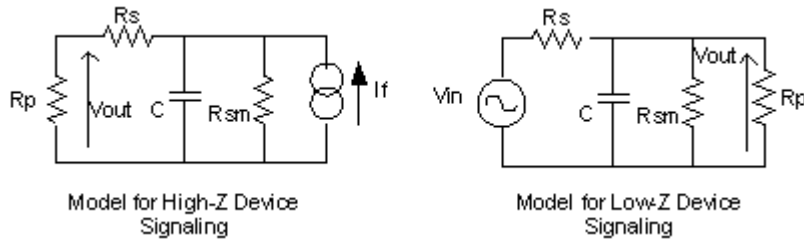


Figure 3.6 -- Newer Network Circuit Models

The elements of figure 3.6 are as follows:

- $R_p$  = combined parallel resistance of all devices.
- $R_s$  = combined series resistance.
- $R_{sm}$  = secondary master resistance.
- $C$  = lumped parallel capacitance of devices and cable.
- $I_f$  = Current source to model high-Z signaling device.
- $V_{in}$  = Voltage source to model low-Z signaling device.

These models are still relatively simple and their elements have been arranged to produce a worst-case Vout.

The newer models of figure 3.6 have been used to generate a chart of acceptable capacitance versus Rp and Rs. This chart (figure 17 of the Physical Layer Specification) replaces the 65 microsecond rule for determining acceptable combinations of resistance and capacitance. The chart shows that capacitance is maximized for Rp of about 240 to 250 ohm. The chart applies to networks that have either process receivers or process transmitters or both.

### **HART Signal Power Spectral Density**

The power spectral density (psd) of a signal is often of interest, since it defines which frequency components are most important. The psd tells us what we need in the way of frequency response of the communication channel, and whether there are any discrete spectral lines that might be used for synchronization. It is also used to compare different modulation methods. An expression for the psd of continuous phase FSK under conditions used in HART is [3.3]

$$P = \frac{2 \cdot A^2}{T} \left[ \left( \frac{N1}{D1} \right) \cdot \left( \frac{1}{\omega - \omega_1} - \frac{1}{\omega - \omega_2} \right)^2 + \frac{N2}{D2} \cdot \left( \frac{1}{\omega + \omega_1} - \frac{1}{\omega + \omega_2} \right)^2 \right]$$

where  $\omega_1$  = the lower shift frequency,  $\omega_2$  = upper shift frequency, A = amplitude, T = bit time,

$$N1 = \left[ \sin \left[ \left( \frac{\omega - \omega_1}{2} \right) \cdot T \right] \right]^2 \cdot \left[ \sin \left[ \left( \frac{\omega - \omega_2}{2} \right) \cdot T \right] \right]^2, \quad N2 = \left[ \sin \left[ \left( \frac{\omega + \omega_1}{2} \right) \cdot T \right] \right]^2 \cdot \left[ \sin \left[ \left( \frac{\omega + \omega_2}{2} \right) \cdot T \right] \right]^2$$

$$D1 = 1 - 2 \cdot \cos((\omega - \alpha) \cdot T) \cdot \cos(\beta \cdot T) + (\cos(\beta \cdot T))^2,$$

$$D2 = 1 - 2 \cdot \cos((\omega + \alpha) \cdot T) \cdot \cos(\beta \cdot T) + (\cos(\beta \cdot T))^2,$$

$$\alpha = \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2}, \quad \text{and} \quad \beta = \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{2}.$$

The resulting power spectrum (in dB) is indicated in figure 3.7. The amplitude has been deliberately adjusted so that the peaks of the main lobe are at about 0 dB. The measured power spectrum is shown in figure 3.8, for comparison.

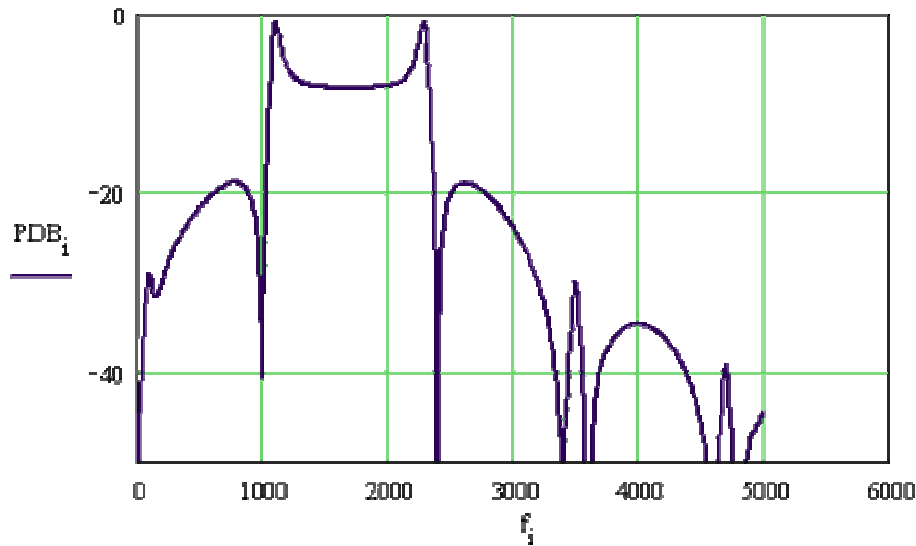


Figure 3.7 -- HART Power Spectrum

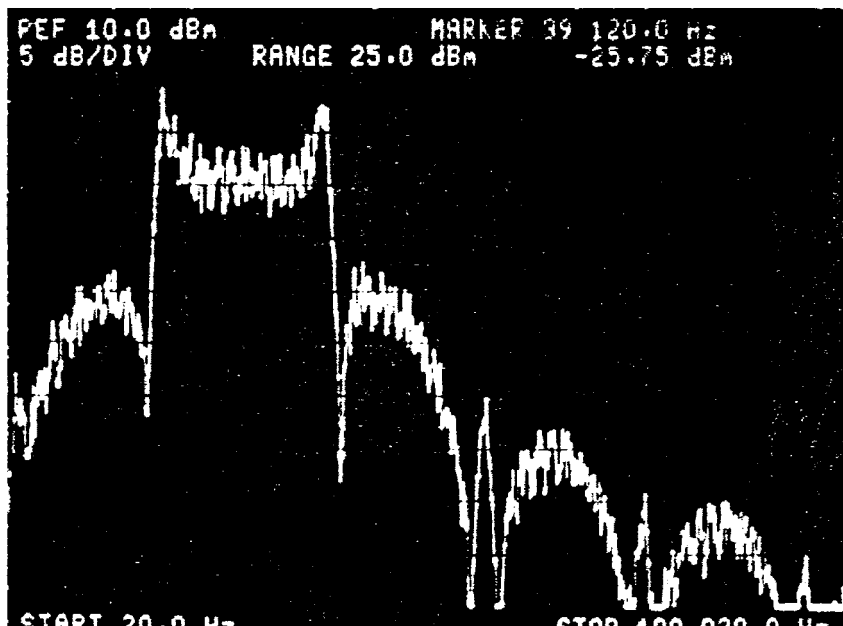


Figure 3.8 -- Measured HART Power Spectrum

The spectra show that there are no spectral lines. (This is also evident from the equation, which would otherwise contain one or more delta functions.) The power spectrum is symmetrical around 1700 Hz and has a peaks at about 1.1 kHz and 2.3 kHz -- close to, but not at the shift frequencies. The main lobe extends from about 1 kHz to 2.4 kHz. The secondary lobes at 800 Hz and 2.6 kHz are about 20 dB below (100 times less power) than the main lobe peaks. Since the main lobe contains nearly all of the signal power, the psd is sometimes said to extend from 1 kHz to 2.4 kHz. Or, if we add a little margin to this as is done in some HART documents, it extends from about 900 Hz to 2.5 kHz.

Note that these are spectra for random bits. Any non-random features of HART data will alter the spectrum. Since, HART data is transmitted as characters containing start and stop bits, this is one non-random feature. The frequency of occurrence of a start (or stop) bit is 109 Hz. Therefore, evidence of the 109 Hz should show up in the spectrum. A simulation in which bits are random except that every 10th bit is set to zero and every 11th bit is set to 1 results in the power spectrum of figure 3.9.

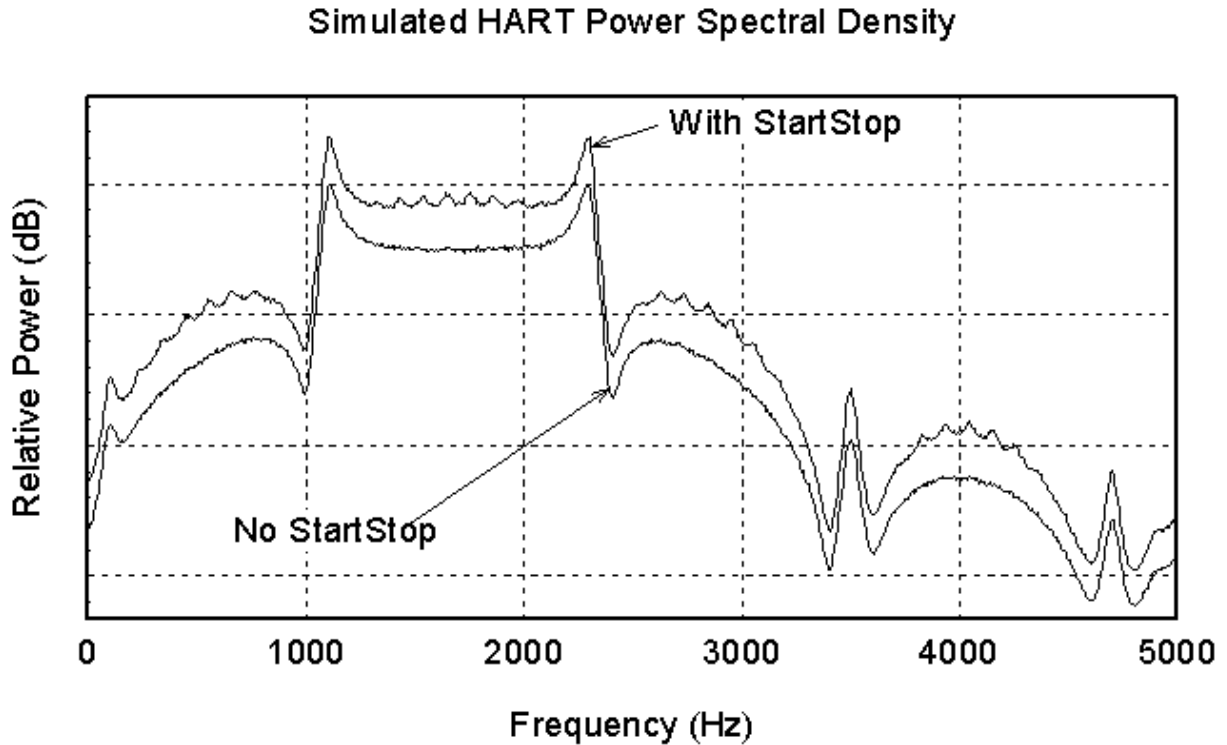


Figure 3.9 -- HART PSD With and Without StartStop Bits

The figure contains two plots. One is the normal (completely random) spectrum. The plots are artificially separated by 5 dB so that they are more easily observed. The spectrum with start and stop bits shows a repeated pattern at intervals of 109 Hz. From a circuit design or communications perspective the differences are insignificant.

Another alteration of the spectrum is expected if we use a trapezoidally shaped transmit waveform instead of sinusoidal. A trapezoid shape is often easier to generate than a sine wave and is commonly used. The simulated spectra for sinusoidally (normal) and trapezoidally shaped HART signals are given in figure 3.10.

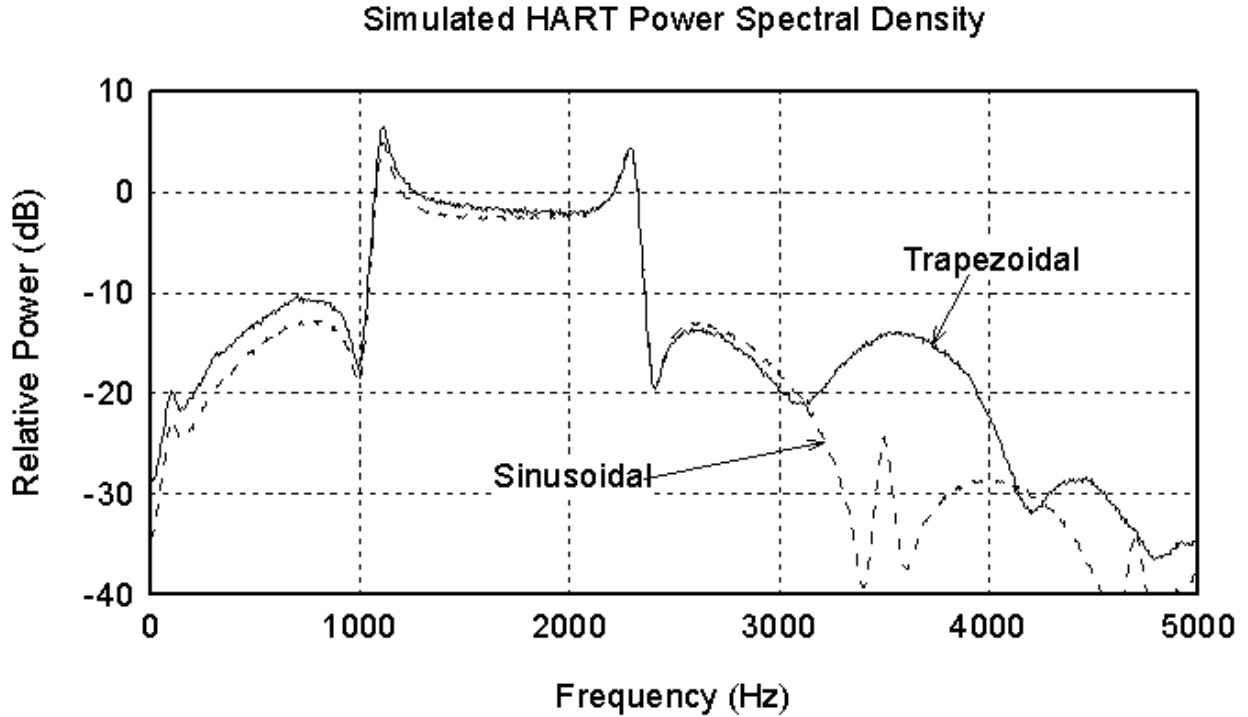


Figure 3.10 -- HART PSD With Sinusoidal and Trapezoidal Shaping

The risetime for the trapezoidal shape used is a constant 177 microsecond from full negative amplitude to full positive amplitude. The trapezoidal shaping tends to emphasize the low-frequency end of the power spectrum slightly. In the region of the main lobe (1 kHz to 2.4 kHz), however, there isn't much difference between the sinusoidal and trapezoidal spectra.

### Cable

### Effects

HART frequency components exist primarily in a band from 900 Hz to 2500 Hz. The wavelength corresponding to 2500 Hz is about 75 miles (120 km). Even if we assume that distributed cable effects start to occur at 1/20 of a wavelength, this is still 3.8 miles. Except in some special situations, this is far longer than the distance between most measurement/control points and the process control room. Consequently, HART networks don't act like transmission lines and can be modeled as collections of lumped elements. From the user's viewpoint, building a network of HART devices is virtually the same as building a network of analog-only devices. There are no terminators or special cable. The one possible problem is cable capacitance.

The cable capacitance (device capacitance also contributes) forms a single-pole filter with the network resistance. For long cable lengths (high capacitance) the filter cut-off can be close to 2500 Hz. The result is that the signal can become distorted. Since the network resistance is usually the current sense resistance, a lower current sense resistance helps to broadband the filter response. However, there is a lower limit to this resistance. HART specifications attempt to control the resistance and capacitance to limit distortion. Practical cable lengths range up to about 4000 ft. (1200 meter). Figure 3.11 below shows acceptable cable lengths for a variety of conditions, including different amounts of cable capacitance per unit length and varying numbers

of Field Instruments. Field Instruments are assumed to have 5000 pf of capacitance each. (Note that this figure ignores series resistance, and that a newer, more accurate chart of acceptable capacitance versus series resistance and parallel resistance is now specified in HART documents. See section entitled [HART Network Circuit Models](#) .)

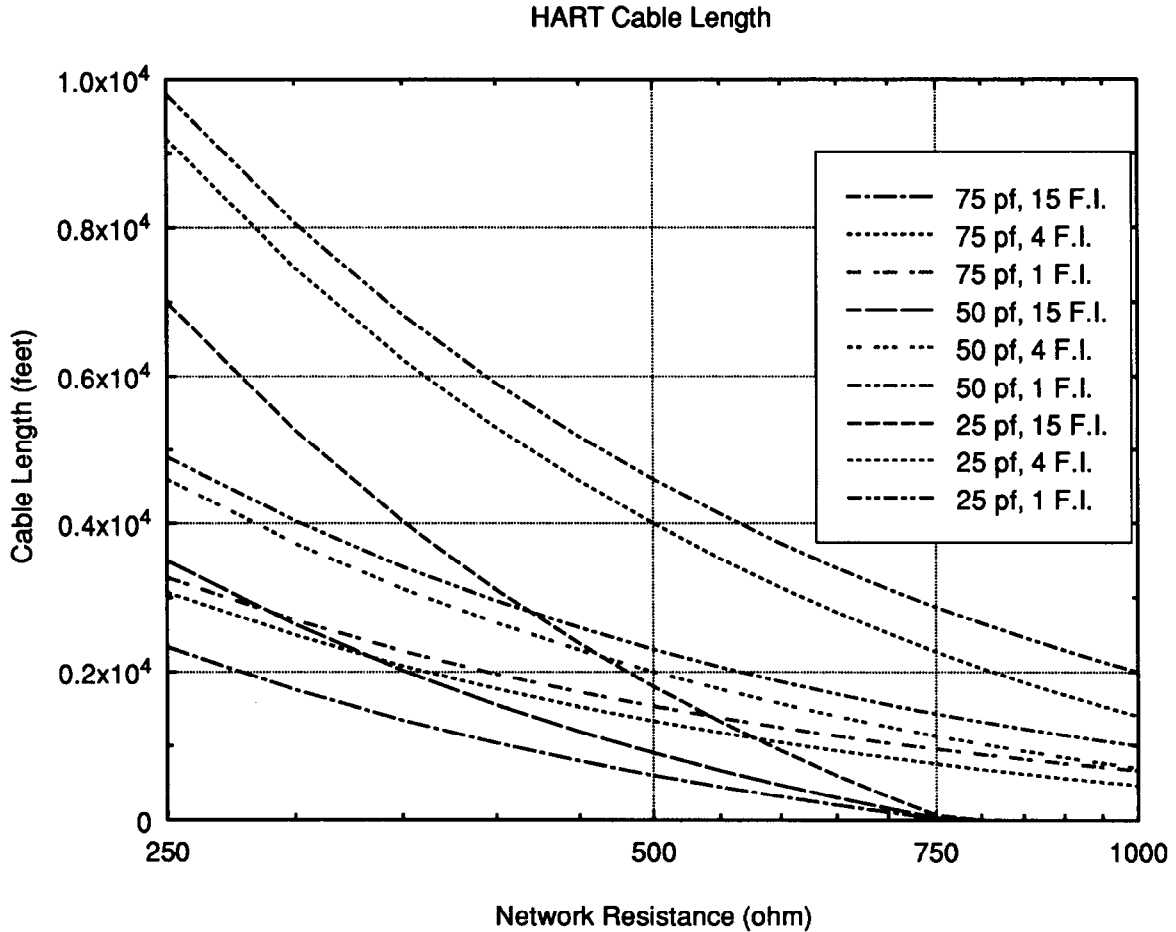


Figure 3.11 -- HART Cable Length

Instead of trying to insure that the -3 dB network corner frequency stays above 2.5 kHz by limiting cable lengths, another approach would have been to let it go below 2.5 kHz and correct for the pole using equalization. However, since the pole frequency varies, adaptive equalization is needed. Adaptive equalization is a relatively complex procedure and usually requires a long training period. This training period is incompatible with the burst-type operation that HART uses. A compromise equalizer is also possible. This is a fixed equalizer that attempts to provide correction at a frequency midway between the extremes of possible pole frequencies. This doesn't need adaptation. But it does complicate the modem. Currently, we are not aware of any HART modems that try to extend cable lengths by using equalization. The accepted method is either to use a repeater or else to use an alternate network, such as one of those described in the section entitled [HART Bridges and Alternative Networks](#).



Another type of problem related to cable is crosstalk. Crosstalk arises when a given multi-pair home-run cable contains several HART current loops (several networks). The capacitance from one twisted-pair to another, along with the imbalance (single-ended connections) in HART networks causes unusually large crosstalk. Balancing has never been an option in HART because of a desire to continue existing wiring practice. The mechanism of crosstalk is illustrated in figure 3.12. The figure shows two current loops and a signal path from a Field Instrument (F1) back to the wrong Master (Master 2).

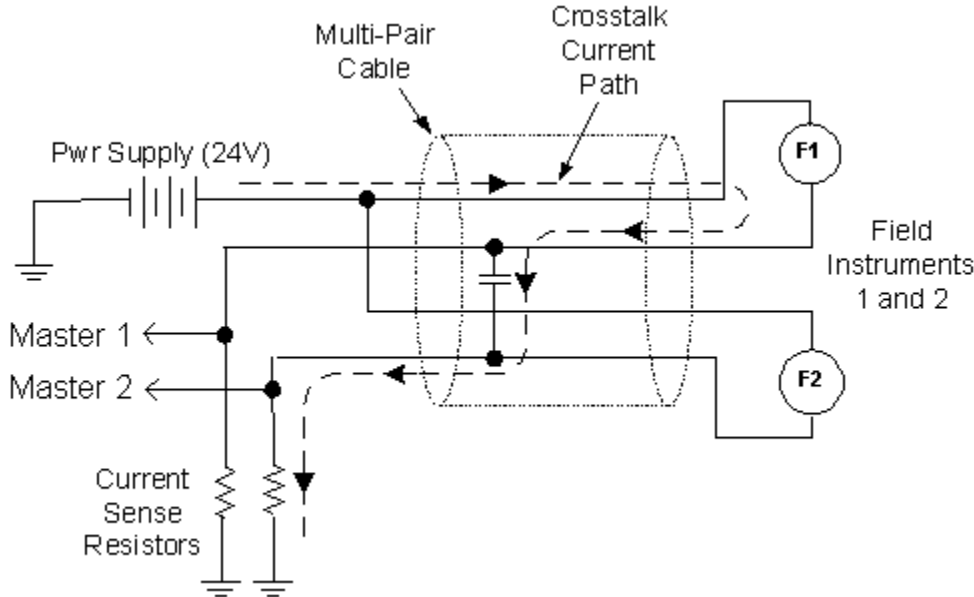


Figure 3.12 -- Crosstalk Path in Multi-Pair Cable

In the early days of HART, crosstalk would sometimes program an unintended Field Instrument on an adjacent current loop. This was corrected primarily through creation of more complex addressing in which a 38-bit address was added to the existing 4-bit address. After this change, crosstalk was unlikely to mis-configure a Field Instrument. But it could still cause bit errors when appearing as noise in the desired signal. It was also a nuisance for a receiving device forced to listen to a message coming from another network. These crosstalk effects have so far been mitigated through each of the following:

1. The choice of modulation and bit rate are such that the highest frequency component that needs to be transmitted is about 2500 Hz. Higher frequency components are removed by requiring transmitted signals to have a slow risetime.
2. Transmit signal levels have been adjusted in various devices to make it difficult for one signal to overpower another.
3. An amplitude-based carrier detect is prescribed. The signal must be above a minimum level before the associated message is considered valid by the receiver.

4. If there is a common ground among two or more networks, it must be located at the Controller (Master). It is not permitted in the field area.
5. Various investigations of crosstalk have shown that the worst type is Master-to-Master. It occurs when one Master is talking on its respective network and another Master is trying to listen on an adjacent network. The listening Master receives not only the desired transmission from a Field Instrument, but also some of the transmission from the talking Master. Therefore, whenever possible, Masters connected to adjacent pairs should stagger their transactions so that messages don't overlap. The nature of HART is such that this is usually the case anyway.

Studies of HART crosstalk have usually been done by dividing the cable into many small sections and using SPICE simulation on the resulting lumped circuits. Agreement with measurement is usually good.

Non-HART devices can also interfere with HART through the same crosstalk mechanism described here. End-users and installers of HART should be careful about how they allocate the pairs in a multi-pair cable. Especially troublesome are pairs that are used for any kind of ON-OFF or binary signaling (switches or relays) or supplying power to heavy loads in the field area. Communication methods such as Honeywell DE that involve very large signal excursions are also a possible source of trouble. We suspect that, in many cases where interference exists, the interference source remains dormant (OFF or in some unchanging state) for a long enough time that a HART transaction can be completed. Thus, acceptable operation is still possible.

### **HART Message Errors**

All data communication systems, including HART, are subject to bit errors caused by noise and signal distortion. The rules for constructing HART networks attempt to minimize signal distortion. And most receive circuits include a bandpass filter to limit noise power. Still, these measures only reduce the likelihood of bit errors and don't eliminate them.

In HART, if one or more bits are wrong, then the whole message is considered bad. The Master-Slave nature of the HART Protocol means that Masters and Slaves behave differently in response to a bad message. Normally a Master sends a command to a Slave and expects a reply from the Slave. If a Master receives a bad message or no message, it must usually re-transmit its command to the Slave. If a Slave receives a bad message, it must not act on this message. But, depending on circumstances, it may still send back a reply. The criterion to reply to a bad message is usually that everything appeared correct up to and including the command byte. The reply includes a status bit indicating that the message was bad.

HART uses vertical and longitudinal parity to catch bad bits. Longitudinal parity is the exclusive OR of the 8 bits in each transmitted byte. Vertical parity is a checksum byte that becomes the last byte of the message. This form of error detection was chosen for HART because it is easily implemented in a smart process transmitter without special hardware. The longitudinal parity is just the odd parity that is available in most UART implementations,

including UARTs built into popular microcontrollers. In most device implementations, the longitudinal parity is generated and checked automatically as part of the UART operation. The checksum byte is generated and checked in software by exclusive ORing full bytes as they are transmitted or received.

An error detection scheme can be fooled into thinking that a message is good when it isn't or bad when it isn't. A bad message that appears good is an undetected message error or UME. A UME is the cardinal sin of data communication. Most communication schemes try to make it a very rare occurrence. Numbers like once in 20 years are not uncommon. A UME usually results from a few combinations of bit errors that are transparent to the detection scheme. For example, suppose we look at just the longitudinal parity alone. This is a relatively unsophisticated error detection scheme. Any even number of bit errors in a given byte will fool the parity checker.

For purposes of examining error detection, the full HART message may be thought of as a matrix of bits. The matrix consists of 9 columns and N rows, where N is dependent on the size of the message. Each row corresponds to one byte or character, including the longitudinal (UART) parity bit. The Nth row is the checksum byte and its longitudinal parity bit. This is illustrated in figure 3.13

```
Row 1 D D D D D D D D P
Row 2 D D D D D D D D P
      .
      .
Row  N-1 D D D D D D D D P
Row  N   C C C C C C C C P
```

**D = message bit, P = long. parity bit, C = checksum bit.**

Figure 3.13 -- HART Message as Bit Matrix

Each bit P in figure 3.13 is the exclusive OR of the 8 bits in its row. And each bit C is the exclusive OR of all of the bits D in the column above it. We see that, for this scheme to be fooled, we must have at least 4 bit errors and they must be located at the vertices of a rectangle. An example is that of figure 3.14.

```
Row 1 D D D D D D D D P
Row 2 D E D D D D E D P
      .
      .
Row  N-1 D E D D D D E D P
Row  N   C C C C C C C C P
```

N

**E = bit that is in error.**

Figure 3.14 -- Bit Matrix That Will Cause UME

It is apparent that this is a much more sophisticated detection scheme than either longitudinal parity or vertical parity alone, because there must be more bad bits and they must be strategically located.

A measure of how well the error detection scheme works is the frequency of UMEs or the probability of a UME. The probability of UME depends on the probability of 4 bit errors and the probability that they are arranged to form a rectangle. Clearly, there could also be 2 rectangles formed from 8 bad bits, or 3 rectangles, etc. But, given that the probability of a bad bit is small, these multiple rectangle situations are improbable compared to a single rectangle and need not be included. Then the probability of UME is approximately given by

$$P_{ume} = P_1 P_2 P_3$$

where P1 is the probability that any two bits in any row will be in error, P2 is the probability that one of the corresponding column bits will be in error, P3 is the probability that the remaining row/column bit will be in error. Let Pb be the probability of a bit error and N the number of rows (= number of message bytes). Then

$$P_1 = \frac{N \cdot 9! P_b^2}{2! \cdot (9-2)!} = \frac{N \cdot 9 \cdot 8 \cdot P_b^2}{2} = N \cdot 36 \cdot P_b^2$$

$$P_2 = \frac{2(N-1)! \cdot P_b}{1! \cdot (N-1-1)!} = 2(N-1) P_b$$

$$P_3 = P_b$$

Then Pume becomes

$$P_{ume} = 72 \cdot N \cdot (N-1) \cdot P_b^4 \approx 72N^2 P_b^4$$

As an example, suppose a message of 30 bytes, and Pb = 0.001. Then Pume = 65e-9. A 30 byte message takes 0.275 second. So there can be only 3.6 of them per second. Then the number of UME per year, with continuous signaling, is 7.5. Most applications don't require continuous communication. Therefore, the UME rate is much less. A Pb of 0.001 or less has generally been considered satisfactory.

Another dimension to this problem is that there is actually more error detection occurring than is implied by just the parity and checksum. Most HART software checks delimiters, addresses, status, commands, sizes of data fields, units, limits on process variable numbers, etc. This adds another layer of relatively exhaustive error checking. If we are even moderately satisfied with a UME rate based on parity and checksum alone, we should be entirely satisfied by the additional error checking.

The bit error rate is a function of (energy per bit)/(noise density) = (Eb/No). The relationship given in Proakis [3.4], is

$$P_b = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{2N_0}\right)$$

This applies to orthogonal FSK, in which one shift frequency is an integer multiple of the other. The FSK used in HART is not quite orthogonal (ratio of frequencies is 2200/1200 = 1.833), but is close enough that a more complex relationship is probably not warranted.

The above equation for Pb is based on a "bandwidth" that is the reciprocal of the bit rate. It is generally found, however, that a bandwidth of at least twice the bit rate is desired for FSK. Shanmuggam [3.5] uses this wider bandwidth and comes up with what is probably a better expression for Pb. It is

$$P_b = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{A^2 T}{8N_0}\right) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{4N_0}\right)$$

where A = peak signal, T = bit time. To get Pb = 0.001 requires (Eb/No) = 24.9. Let S be the signal power. Then Eb = ST = S/1200/second. Then

$$\frac{S}{N_0} = 24.9 * \frac{1200}{\text{second}}$$

The ratio of RMS signal voltage to voltage noise density is

$$\frac{V_s}{V_n} = \left(\frac{S}{N_0}\right)^{1/2} = \left(24.9 * \frac{1200}{\text{second}}\right)^{1/2} = 173(\text{Hz})^{1/2}$$

The minimum received signal is generally thought to be about 130 mV p-p or 46 mV rms. Then, for ideal reception, we can have Vn as high as 266 microvolt/(root Hz). In a 9500 Hz bandwidth (HART Extended Band), the noise must be limited to about 26.1 mV RMS. For Pb = 0.0001, the acceptable noise drops to 22.3 mV RMS.

Simple HART receivers often do not limit received noise to a bandwidth of 2x bit rate. The receive filter is often a single-pole lowpass with corner frequency in the range of 5 to 10 kHz. A more general expression for  $P_b$ , that includes noise bandwidth, is

$$P_b = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{2N_0 BT}\right)$$

For a 10 kHz single-pole lowpass,  $B = 1.57(10 \text{ kHz}) = 15.7 \text{ kHz}$ . And  $BT = 13.1$ . To get  $P_b = 0.001$  now requires  $(E_b/N_0) = 163$  and

$$\frac{V_s}{V_n} = \left(163 * \frac{1200}{\text{second}}\right)^{1/2} = 442(\text{Hz})^{1/2}$$

Using  $V_s = 46 \text{ mV RMS}$  results in  $V_n = 104 \text{ microvolt/root Hz}$ . In the HART Extended Band the noise must be limited to 10.1 mV.

Noise can come from "silent" HART devices and from external sources. HART specifications require that devices produce no more than 2.2 mV RMS of noise in a 9500 Hz band. For 17 devices, all producing this much noise, the noise would be 9.1 mV RMS. Since this is below the 10.1 mV limit found above, this noise level is acceptable.

Information collected by Rosemount [3.6] suggests that induced (from DCS) noise densities can reach 174 microvolt/root Hz. For the simple receiver using a 10 kHz receive filter, this corresponds to  $P_b$  of 0.314. This would cause a large UME rate and wouldn't work very well. It suggests that such a large noise level is probably not often encountered or that it is not often encountered along with a minimum HART signal level.

Another factor related to  $P_b$  that is not considered is that HART modems sometimes have a degree of built-in noise rejection in the form of logic circuits that will reject unusually short or unusually long intervals between zero crossings of the received signal. That is, the demodulator is somewhat of a correlation receiver. In effect, this reduces the noise bandwidth and improves  $P_b$ .

If noise from silent devices is correlated (i.e., interference at one or more frequencies rather than random noise) then it is possible that combined devices could produce  $2.2 \text{ mV RMS} \times 17 = 37.4 \text{ mV RMS}$ . However, this would require the interference sources to have the same frequency and phase. This is very unlikely.

Note that the UME number found earlier doesn't say anything about the frequency of detected message errors. If there are too many, software may flag this situation and declare that a device has malfunctioned. Therefore, a "practical" error criterion is desired and has been proposed [3.7]: If there are X consecutive message errors, this is considered a system failure (even though

there is no UME). And such failures must be limited in how often they occur. For a given rate of occurrence, the required  $P_b$  will be derived.

Again, let the message length be  $N$  and assume that messages occur continuously. The probability that a message is in error is given by the well known expression

$$P_m = 1 - (1 - P_b)^{N_b}$$

where  $N_b$  = number of bits =  $11 \cdot N$ .  $P_b$  in terms of  $P_m$  is then

$$P_b = 1 - (1 - P_m)^Y$$

where  $Y = 1/N_b$ .

The frequency criterion may be stated that there must be, on average, only one failure per time  $T$ ; or that the probability of a failure is 1 if there are  $fT$  messages, where  $f$  is the frequency of messages. The time of one message is  $N_b \cdot (1 \text{ second})/1200$ . Then  $f = 1200/(N_b \text{ second})$ . The probability that there are exactly  $X$  consecutive messages in error out of a total of  $fT$  depends on the number of ways that the  $X$  erroneous message can occur. If  $fT$  is far larger than  $X$ , then the approximate number of ways is just  $fT$ . That is, any message could be the start of the string of message errors. There could also be  $X+1$  consecutive errors and  $X+2$ , and so on. But if the probability of a message being in error is small, then only the case of exactly  $X$  messages need be included. The probability of  $X$  consecutive errors becomes

$$P_X = fT P_m^X$$

Setting  $P_X = 1$  gives

$$P_m = \left( \frac{1}{fT} \right)^{(1/X)}$$

Substituting this into the above equation for  $P_b$  gives

$$P_b = 1 - \left[ 1 - \left( \frac{1}{fT} \right)^{(1/X)} \right]^Y$$

As an example, suppose that a Slave Device is in burst mode and repeatedly sending a single process variable. Suppose that the Master receiving the information has been programmed to flag an operator if there are 4 consecutive message errors. Assume that 20 bytes per message are sent; and that the operator is to be flagged no more than once a week. Then we have  $X = 4$  and  $N_b = 11 \cdot 20 = 220$ . Continuous transmission implies that there are about 5 messages per second. However, the protocol requires a delay between messages, so that a practical value is probably 3 per second. Then  $f = 3/\text{second}$ ,  $T = 1 \text{ week}$ , and  $fT = 1.81e6 = \text{messages/week}$ .  $Y = 1/N_b = 1/220 = 4.55e-3$ . Then  $P_b = 0.00013$ . We found earlier that we only needed  $P_b = 0.001$  to get 7.5 UME per year. This new condition will occur once a week, even at  $P_b = 0.00013$ . Thus, the new error criterion is much more stringent than that for UME.

### **Experimental HART Error Rates**

In many communication systems there are multiple sources of crosstalk because multiple pairs of the same cable are all being used simultaneously. A somewhat more realistic situation for HART is probably one in which there is only about one source of crosstalk. This situation was examined experimentally. The bit error rate for a typical HART modem was measured as a function of combined noise and crosstalk. Instead of generating actual crosstalk on a multi-pair cable, the crosstalk, signal, and noise were combined in an opamp summer. And, instead of an actual HART signal for the crosstalk, a sine wave at a frequency of 2.2 kHz was used. The random noise is band-limited white noise limited to a 50 kHz band. The result is plotted in figure 3.15. To generate the "Signal-to-RMS ..." axis, the noise and crosstalk are summed together in RMS fashion. There are 11 curves ranging from all crosstalk (no noise) to no crosstalk. S/C means signal-to-crosstalk.



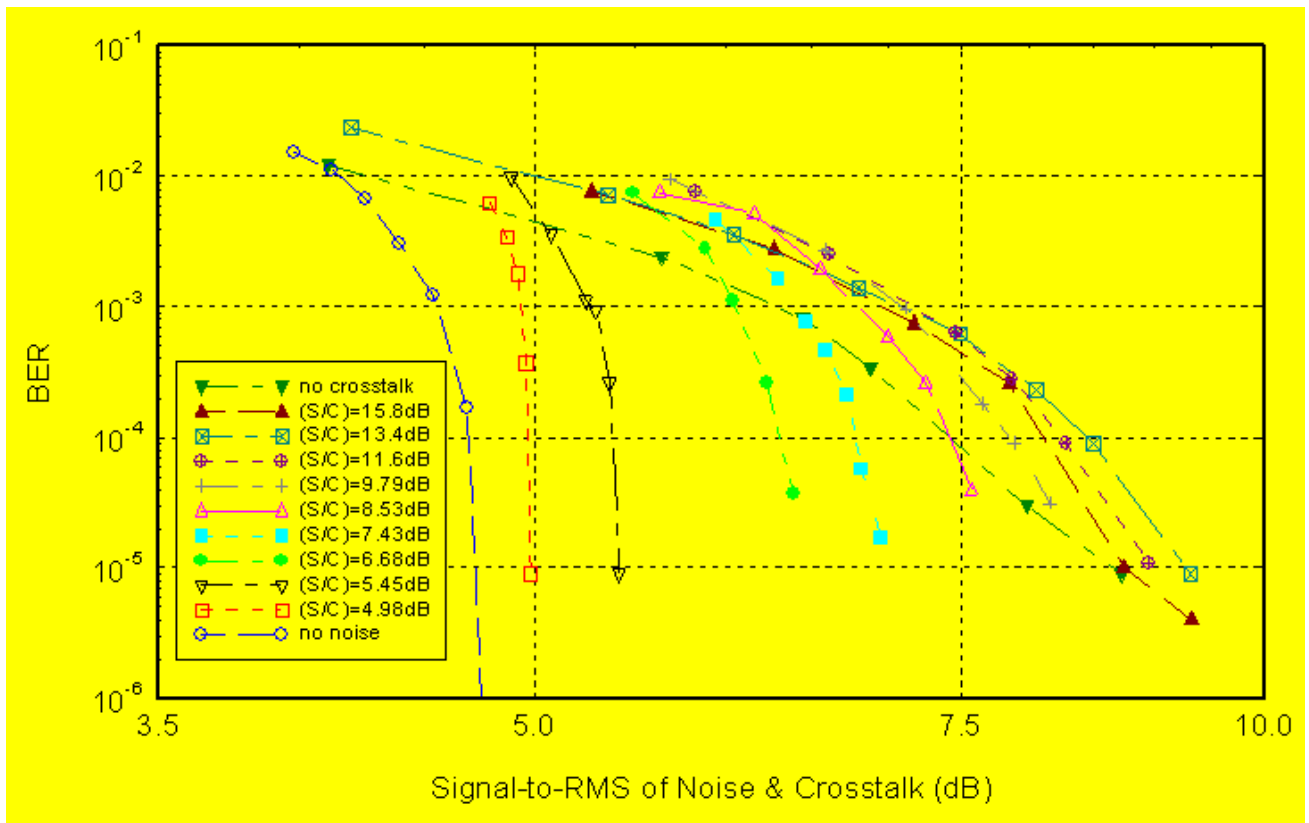


Figure 3.15 -- Plot of BER v. (Noise + Crosstalk)

The figure shows some curious results. One is that at higher levels of crosstalk (low S/C) the BER curves are almost vertical. That is, the BER varies over many decades while the crosstalk power varies only about one dB or less. This is almost a threshold effect. Below the threshold there are no errors. Above it there are many. Another feature of the graph is that there are roughly 5 curves that are above the "no crosstalk" curve. This means that some combinations of noise and crosstalk are worse (cause more errors) than either noise or crosstalk alone, even though the amount of interfering (noise + crosstalk) power remains constant.

### How Fast?

One interesting question is how fast could the HART Physical Layer be, given the existing constraints of signal size, bandwidth, and noise? The Shannon-Hartley Theorem [3.4, 3.5] gives the channel capacity as

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = \frac{B \log_{10} \left( 1 + \frac{S}{N} \right)}{\log_{10} (2)}$$

where C is the capacity in bits/second, B is bandwidth, and S/N is the signal-to-noise ratio. There are no communication systems that actually operate at capacity. The capacity limit is only useful in the sense that, as long as we don't exceed it, the error rate can be made arbitrarily small.

To calculate the capacity, assume that the maximum noise produced by a given device is 2.2 mV RMS in a 10 kHz band; and that this is measured across a 500 test load. If there are 17 such devices, all producing the same amount of noise, then the total is 9.1 mV RMS. The noise density is then 91 microvolt/root Hz. Assume that the bandwidth is 3 kHz, then  $N = 5.0$  mV RMS. The minimum signal is probably 260 mV p-p at a test load of 500 ohm. Then  $S = 92$  mV RMS,  $S/N = 18$ , and  $C = 13$  kbits/second. If the bandwidth is taken to be 4 kHz, which seems reasonable under some circumstances, then C becomes 16 kbits/second.

## 1.0 Introduction

The purpose of this current loop application note is to introduce the reader to the physical aspects of 20 mA current loop communications.

Until the early 1960's, military teleprinters used 60 ma current loops to communicate over long distances. In 1962, the Model 33 teletype was introduced and 20 mA current loop interfaces became widely used. Throughout the 60's, 70's, and early 80's, 20 mA current loop interfaces were applied in many types of equipment. Current loop interfaces became popular at this time because they offered the most cost effective approach to long distance, noise immune data transmission. The 20 mA current loop is suitable for distances to 2000 feet at data rates up to 19.2k baud with careful attention to interface design. It can be used at longer distances when data rates are as low as 300 baud.

When the EIA 422 Standard (December 1978) and the EIA 485 Standard (April 1983) brought forth the application of balanced differential digital data transmission, the popularity of 20 mA current loop rapidly diminished

## 2.0 The Basics of Current Loop

### 2.1 Full-duplex 20 mA Circuit

Figure 1 is a full-duplex 20 mA current loop circuit. Simultaneous two-way communications is possible with this circuit. Two 20 mA current generators are necessary with this circuit. It is possible to have one of the two current generators in one current loop interface and the other current generator in the other interface. For example, the original IBM PC serial adapter card had a current loop interface that contained only one current generator. When you made a correct connection to this current loop interface, the second current loop device would need to provide one current loop generator.

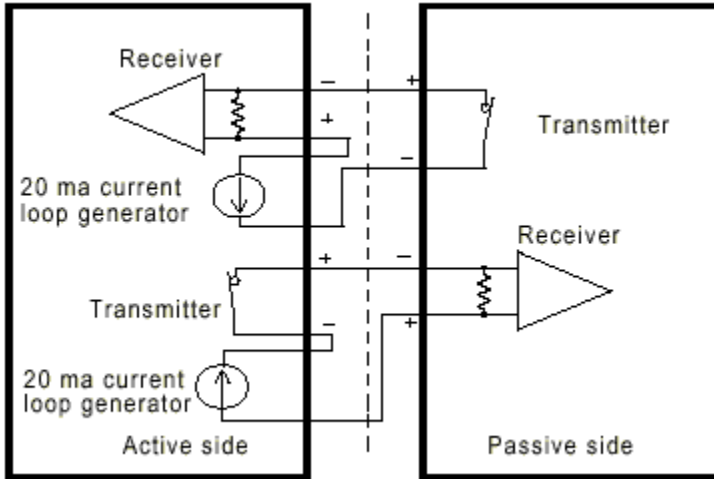


Figure 1: Full-duplex 20 mA Circuit

### 2.2 The Simplex 20 mA Circuit

Figure 2 is a diagram of a simplex 20 mA current loop circuit. The fundamental elements of a 20 mA current loop are a current source, a current switch, and a current detector. The transmitter is the current switch and the receiver is the current detector. The interface that contains the current source is called the active unit and all other units are referred to as passive units. Figure 3 is a diagram of the levels in an RS-232 interface and how they relate to the presence and absence of current in a 20 mA current loop circuit. In a 20 mA loop the current flows when the loop is idle (no data being transmitted). In a simplex type circuit a number of transmitters and receivers are put in series in a current loop. As long as only one transmitter sends data, all receivers receive the data.

(Only one device can transmit at a time)

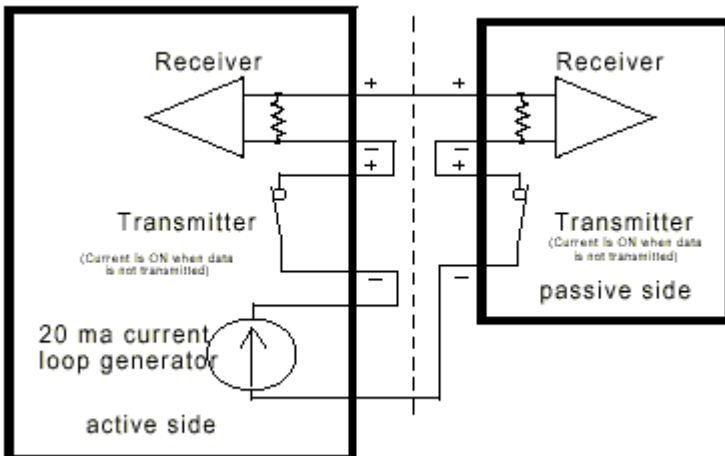


Figure 2: Simplex 20 mA Circuit

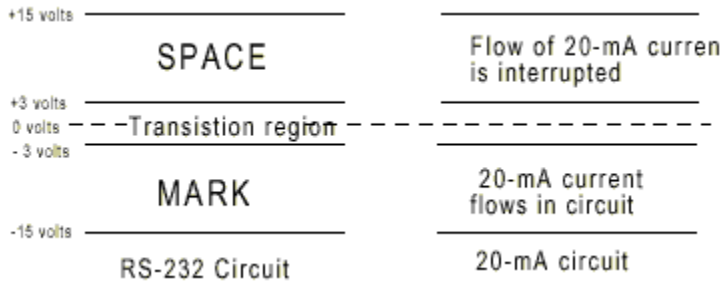


Figure 3: Comparison of signal levels in an RS-232 Circuit and a 20-mA Current Loop Circuit

### 2.3 Problems with 20 mA Current Loop

The main problem with 20 mA current loop is that there is no mechanical or electrical standard defined for this interface. This makes every interface somewhat unique and the user must know some of the technical details about the circuits used in the interface.

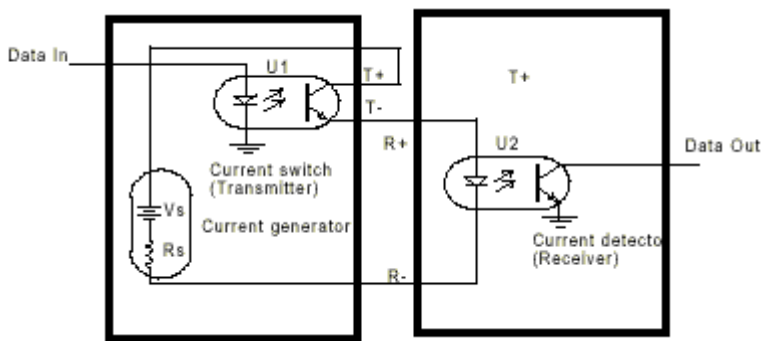


Figure 4: Simplified One Direction Current Loop

Figure 4 is a simplified one-way current loop implemented with two optocouplers, a voltage source, and a resistor. Optocoupler U1 is the transmitter and optocoupler U2 is the receiver. The value of the loop current in this circuit is:

$$I_{loop} = (V_s - V_{transmitter} - V_{receiver})/R_s$$

for typical optocouplers

When turned ON:

$$V_{transmitter} (U1) = 0.2 \text{ V}$$

When input LED is conducting:

$$V_{receiver} (U2) = 1.8 \text{ V}$$

If  $V_s = 12 \text{ volts}$  &  $R_s = 470 \text{ ohms}$  then

$$I_{loop} = (12\text{V} - (0.2\text{V} + 1.8\text{V}))/470 \text{ ohms}$$

$$I_{loop} = 10\text{V}/470 \text{ ohms} = 21.3 \text{ mA}$$

If we changed  $V_s = 60\text{ V}$  and left  $R_s = 470$  then  
 $I_{\text{loop}} = (60\text{V} - (0.2\text{V} + 1.8\text{V}))/470\text{ ohms} = 123\text{ mA}$

If we changed  $V_s = 5\text{ V}$  and left  $R_s = 470$  ohms then  
 $I_{\text{loop}} = (5\text{V} - (0.2\text{V} + 1.8\text{V}))/470\text{ ohms} = 6.4\text{ mA}$

The point of showing these different calculations is to demonstrate that the loop currents circuit can vary by considerable amounts, if  $V_s$  is varied. Likewise, if  $R_s$  was changed the loop currents could also vary considerably. The only way to determine that currents are near 20 mA is to examine the circuit in detail.

## 2.4 Current Regulation in Current Loops

Several methods can be used to control the amount of current in a current loop circuit. This section will illustrate several common methods of regulating the current in a current loop.

### 2.4.1 Constant Current Generator Current Source

Figure 5 is a circuit that uses a linear voltage regulator integrated circuit to serve as a constant current source. Almost any fixed or adjustable voltage regulator can be used. The example shown in Figure 6 uses an LM317 adjustable regulator because it provides a low amount of voltage drop (3 volts) across the current regulator circuit. For example, if  $V_s$  was 12 volts in this circuit, then the maximum voltage that the constant current regulator could drive would be 9 volts. The 62 ohm,  $R_g$  resistor sets the regulator current because there is an internal voltage reference in the LM317 between  $V_O$  and the  $ADJ$  pins of 1.25 volts.

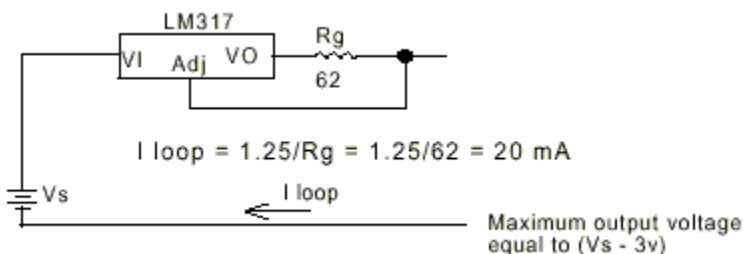


Figure 5: Constant Current Generator for a 20 mA Current Loop

In a current loop, the sum of all the voltage drops across all the devices must be less than the voltage source,  $V_s$  driving the loop. Each device in the current loop whether it is a transmitter (current switch) or receiver (current detector) has some voltage drop across it. For instance, a typical transistor switch can have typically 0.2 volts drop across it. For most of B&B Electronics converters, the voltage drop across the transmitters can be as much 2.3 volts when the switch is turned ON. The reason for this is that the transmitter switch must provide for the reverse bias of the internal photo detector diode inside the

optocoupler. An optocoupler used as a current detector will have from 1.2 to 2.0 volts drop across it.

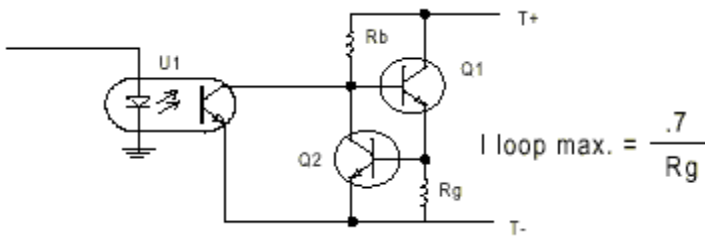


Figure 6: Current Limiter built into Transmitter

#### 2.4.2 Transmitter Current Limiter

Some current loop interfaces incorporate current limiting into the transmitter (current switch) itself. Figure 6 is an example of a circuit that has built-in current limiting so that the loop current cannot exceed 20 mA. In this circuit R<sub>g</sub> provides a source of bias current for Q<sub>2</sub> so that if the loop current tries to exceed 20 mA Q<sub>2</sub> will shunt Q<sub>1</sub> base bias current so that Q<sub>1</sub> will not conduct more than 20 mA.

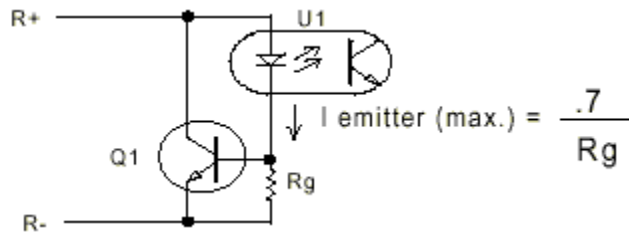


Figure 7. Current Limiter built into Receiver

#### 2.4.3 Receiver Current Limiter

The circuit shown in Figure 7 is used not to regulate the loop current, but to regulate the maximum emitter current in the optocoupler, U1. This is done because some optocouplers require less than 20 mA to operate at maximum speed. Transistor Q1 is used to shunt some of the loop current around the emitter of optocoupler, U1.

### 3.0 Current Loop Interface Connections

To connect our converter to an existing current loop port, you must first determine if the port is active or passive. What this means is: does the port have an internal power supply that provides the current (active) for the transmitter, the receiver, or both (transmitter and receiver). The simplest way to determine this is to break the loop (disconnect it) and see if there is any DC voltage across the output or input pairs. If you have access to the instruction manual for the unit you can also look in there for the information.

Current loop interfaces normally consist of four wires. They are usually labeled T+, T-, R+, and R-. T+ and T- are the transmit plus and transmit minus lines and data is output

from that device on those lines. The R+ and R- lines are the receive plus and receive minus lines and data is input into that device on these lines. Interconnection of the two current loop devices is different depending on whether your unit is active or passive.

### 3.1 Connection to an Active Current Loop Port

Connection to an active current loop port is very simple. Your units T+ and T- lines go to our units R+ and R- lines. And your units R+ and R- lines go to our units T+ and T- lines. See the following drawing.

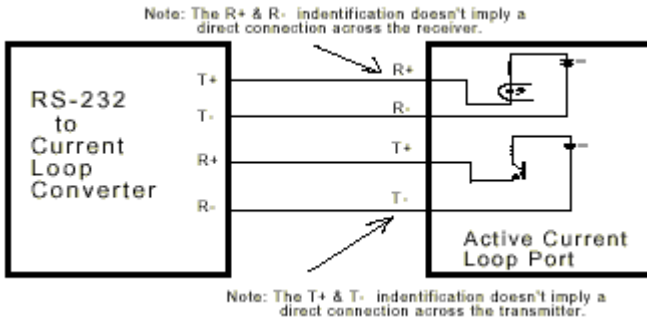


Figure 8. Connection to an Active Current Loop

### 3.2 Connection to a Passive Current Loop Port

Connection to a passive current loop port is a little harder. You must use a 12 VDC power supply with the 470 ohm resistors inside of our converter to "create" a 20 ma current source. See the following drawing.

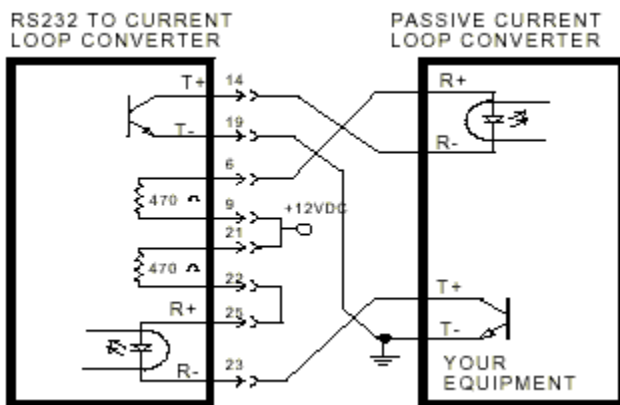


Figure 9. Connection to a Passive Current Loop

### 3.3 Interconnection of 2 Current Loop Converters

Interconnection of two B&B current loop converters also requires the use of a 12 VDC power supply since they are both passive port. See the following drawing.

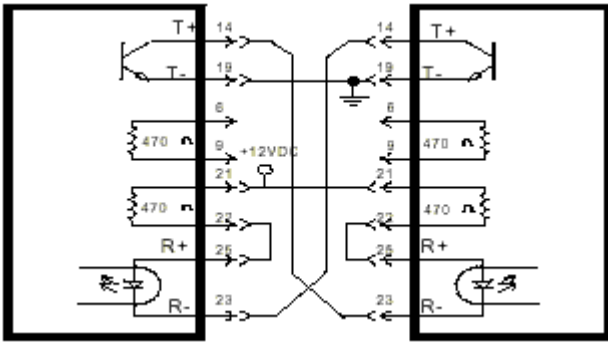


Figure 10. Interconnection of Two Current Loop converters

## 4.0 What Isn't Digital Current Loop

### 4.1 4 to 20 mA Analog Current Loop

The diagram shown in Figure 11 is an analog 4 to 20 mA current loop. This circuit is mentioned here because it is sometimes confused with 20 mA digital current loop. The purpose of 4 to 20 mA analog current loop is to transmit the signal from an analog sensor over some distance in the form of current signal. Only two wires are required to send the analog signal and also supply power to the sensor. A loop supply voltage (24 volts in Figure 11) is used to power the remote sensor. The remote sensor regulates the loop current such that the loop current represents the value of the parameter being measured by the sensor. A series resistor  $R_L$  at loop power supply converts this current to a voltage that can be used by the electronics to record or distribute the parameter being measured.

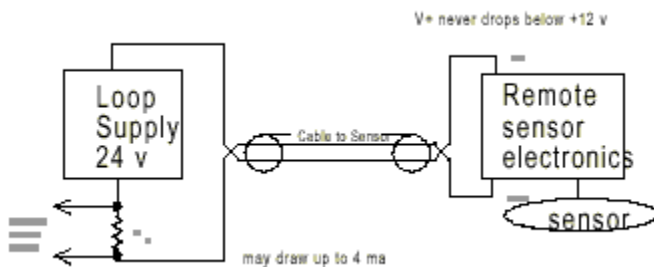


Figure 11. 4 to 20 mA analog current loop

### 4.2 HART® 4 to 20 mA Current Loops

Figure 12 is another example of a type of 4 to 20 mA combined analog & digital current loop. This current loop uses HART® Communications protocol. The HART® (Highway Addressable Remote Transducer) protocol is used for SMART remote transducers that are compatible with 4 to 20 mA analog current loops but also have digital communications on the same two wires. This is accomplished by superimposing a two-tone Frequency Shift Keyed (FSK) digital current signal on the 4 to 20 mA analog signal.



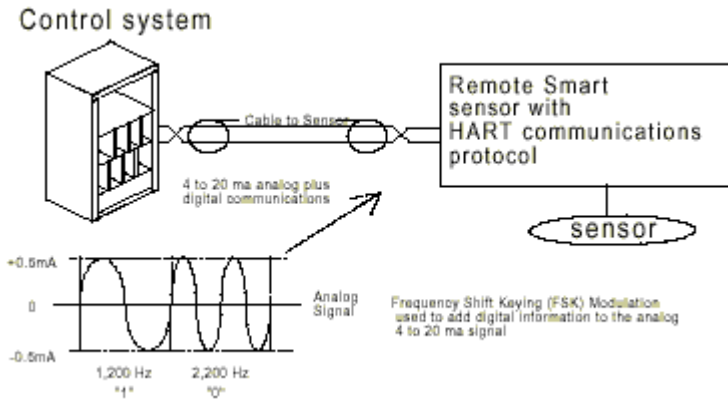


Figure 12. 4 to 20 mA analog current loop with digital communications using HART protocol

## HART Application Note

by Analog Services, Inc.

### Network Coupling Transformer for HART

Transformer coupling is frequently desired in HART Masters to avoid connecting a process loop to ground. The transformer, itself, as well as the associated circuitry should be chosen carefully to meet HART specifications. An initial approach is often that of figure 1.

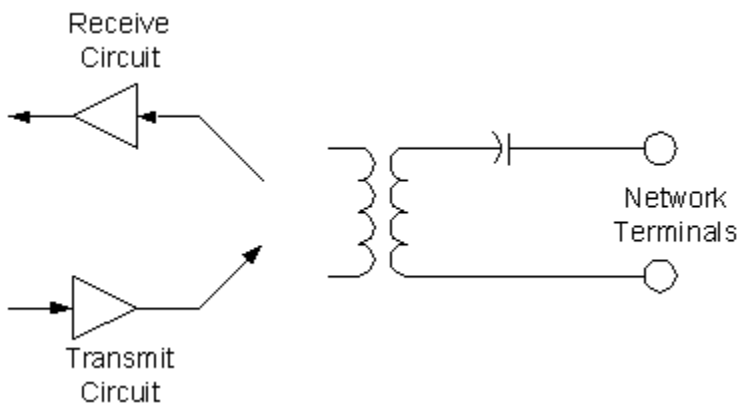


Figure 1 -- Direct Connection to Network

There are two problems with this:

1. The capacitor that provides DC isolation temporarily short-circuits the network (process loop) when it's first connected. This "bumps" the process. A resistor

can be inserted in series with the capacitor to reduce bumping. But to be effective, either the resistor has to be made too large or the capacitor too small.

2. The transformer must be physically quite large to present a sufficiently high impedance during receive.

A way around both of these problems is to use an optically coupled switch at the network side of the transformer. A circuit using this approach is presented here. It uses a relatively small audio transformer and is virtually bump free.

Although recent updates of HART specs provide for a variety of situations, the original impedance and test waveform requirements to satisfy either a HART Primary Master or Secondary Master will be used. They are:

Impedance During Transmit:

real part under 100 ohm, 500 Hz to 10 kHz.

imaginary part between -35 ohm and 35 ohm, 500 Hz to 10 kHz.

Impedance During Receive:

magnitude greater than 5 kohm, 500 Hz to 10 kHz.

Transmit Waveform:

0.5 volt p-p into 1000 ohm at 1200 Hz, 2200 Hz.

To insure good operation at worst-case load, the transmit waveform should not change drastically when the load consists of 250 ohm in parallel with 0.3 ufd.

The circuit is shown in figure 2.

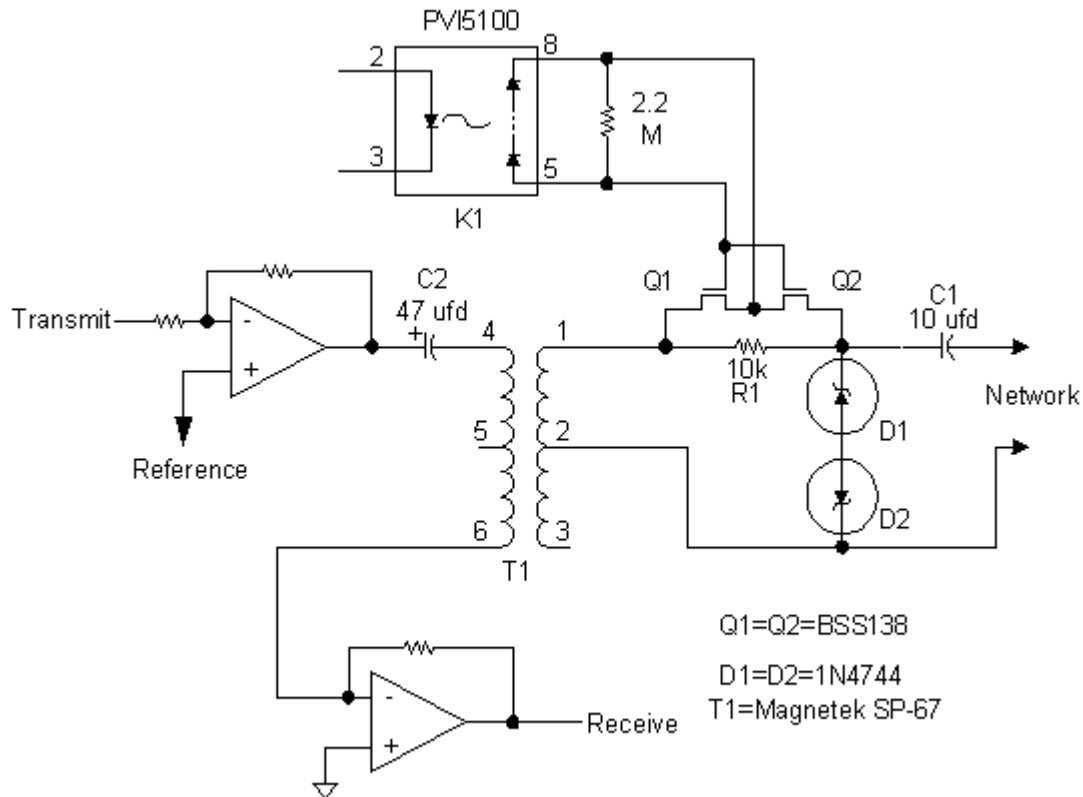


Figure 2 -- Complete Transformer-Coupled Circuit

A key feature of the circuit is that the device side of the transformer sees almost a short-circuit, whether transmitting or receiving. Consequently, the magnetizing inductance of the transformer becomes less important in determining circuit behavior. This permits a very small transformer. (T1 is 0.31 x 0.41 x 0.465 inch or 7.9 x 10.4 x 11.8 mm.) Since the circuit will normally be in receive mode when it's connected to the network, resistor R1 effectively limits bump current to a small value. The transformer is used in a 2:1 step-down ratio to reduce the amount of receive current that must be absorbed into the virtual ground of the receive opamp. D1 and D2 are used for transient protection.

The circuit is now analyzed to verify that it meets requirements. (It has also been tested and found to be HART conformant.) At frequencies of interest, the equivalent circuit is that of figure 3. The transformer values are measured values. The switch is open during receive and closed during transmit.

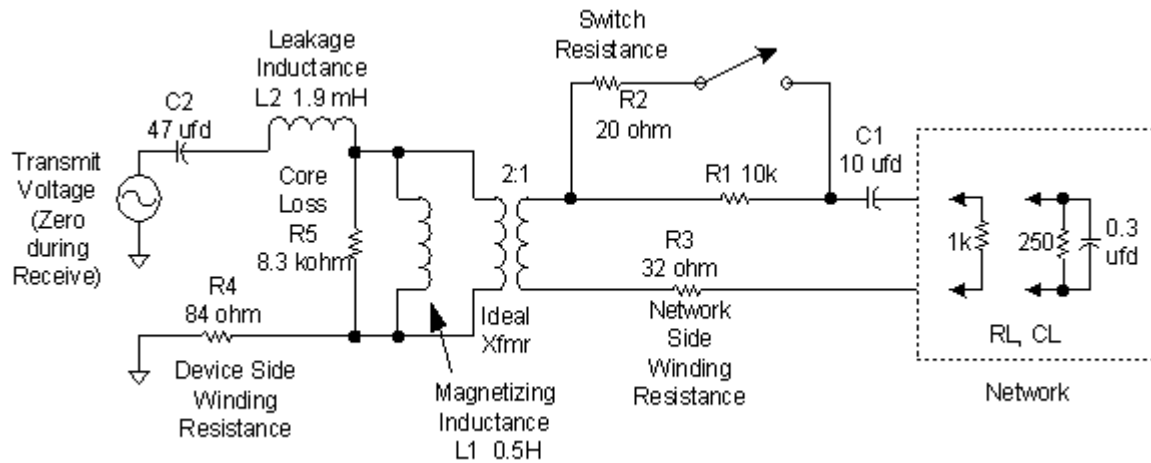


Figure 3 -- Equivalent Circuit of Transformer and Associated Components

The receive impedance is set to at least 10 kohm by R1 and need not be examined in any detail. The receive transfer function is found by replacing the network components with a voltage source,  $V_{in}$ . R3 in series with R1 can be neglected. The network side components are then reflected to the device side, giving us the circuit of figure 4. C1 and R1 are replaced by C1' and R1', the reflected values. The received signal is a current,  $I_{out}$ , into the opamp virtual ground.

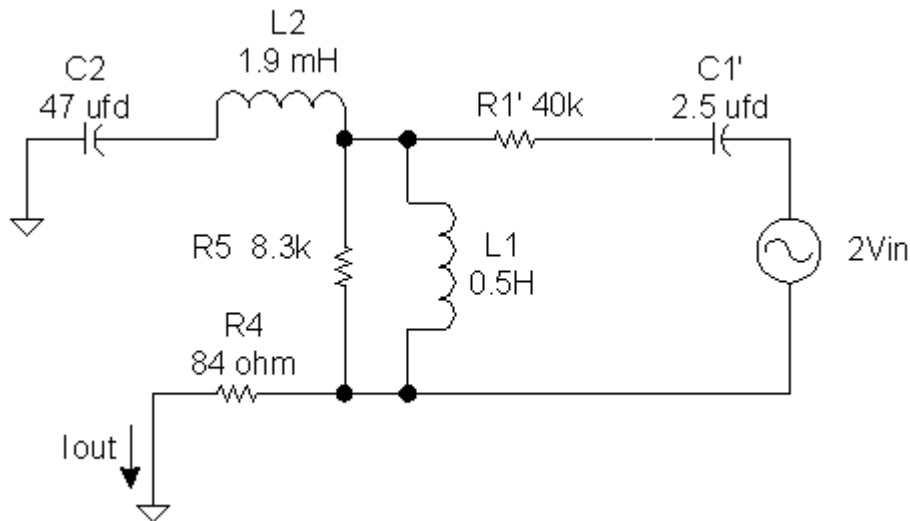


Figure 4 -- Receive Transfer Function Equivalent Circuit

The expression for  $I_{out}/V_{in}$  is

$$\frac{I_{out}}{V_{in}} = \frac{2sL_1R_5}{(R_1' + 1/sC_1')(R_4 + sL_2 + 1/sC_2)(sL_1 + R_5) + sL_1R_5(R_1' + 1/sC_1' + R_4 + sL_2 + 1/sC_2)}$$

Or since  $R_1'$  is much larger than  $R_4$ ,

$$\frac{I_{out}}{V_{in}} = \frac{2sL_1R_5}{(R_1' + 1/sC_1')(R_4 + sL_2 + 1/sC_2)(sL_1 + R_5) + sL_1R_5(R_1' + 1/sC_1' + sL_2 + 1/sC_2)}$$

At HART midband, most of the elements of figure 4 have little effect and we get

$$\frac{I_{out}}{V_{in}} = \frac{2}{R_1'} = \frac{1}{20 \text{ kohm}}$$

The other elements are included to show their effect at band edges and their effectiveness in reducing out-of-band interference (4-20 mA signaling). The magnitude of the full expression for  $I_{out}/V_{in}$  is plotted in figure 5 and is normalized to 20 kohm.

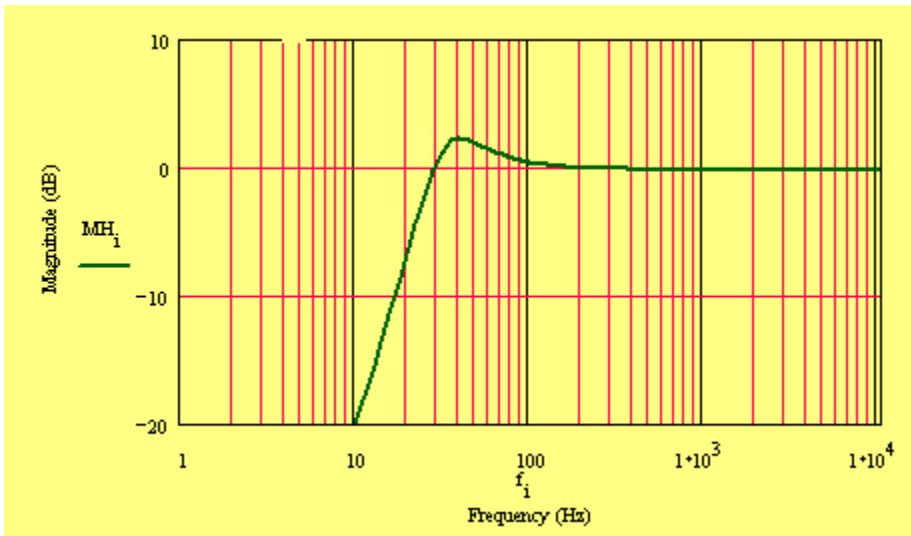


Figure 5 -- Receive Frequency Response Magnitude

The response plot is relatively flat in the HART band. The HART midband gain magnitude is 0.987. This slight attenuation can be taken into account in subsequent stages. The response is down 20 dB at 10 Hz, so that it does provide interference rejection where it's most needed. (Analog 4-20 mA signaling exists primarily at DC to 10 Hz.) The peak near 40 Hz is troublesome but can probably be dealt with in the receive filter.

To aid in the rejection of received interference, a small capacitor (on the order of 0.1 ufd or 0.2 ufd) can be placed in series with  $R_1$  (figure 2 or figure 3) such that the switch is across this series RC combination. However, this prevents  $C_1$  from being charged to the

network voltage and causes a single "bump" when the device first transmits. In instances where the device will be permanently connected, this may be acceptable.

An additional interference consideration is to make sure that there is nothing at the device side of the transformer that will saturate in the presence of the interference, which can be much larger than the largest signal.

The equivalent circuit for transmit is given in figure 6. R1 (of figure 3) is much smaller than R2 and is neglected. R2 and R3 have been combined into a single resistance, R23. The elements at the device side of the transformer have been reflected to the network side. The transmit signal voltage is  $V_t$ .

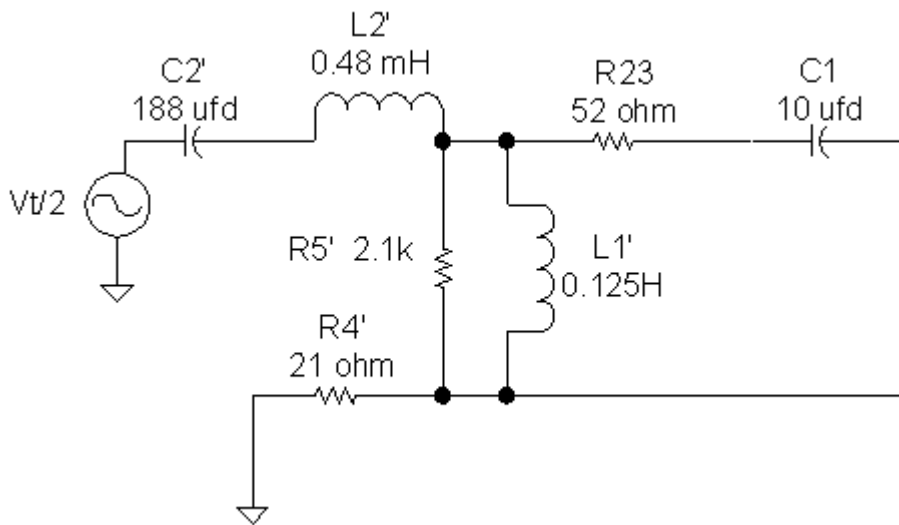


Figure 6 -- Equivalent Circuit For Transmit

The impedance seen at the network terminals is

$$Z(s) = R_{23} + \frac{1}{sC_1} + \frac{sL_1'R_5'(R_4' + sL_2' + 1/sC_2')}{(R_4' + sL_2' + 1/sC_2')(sL_1' + R_5') + sL_1'R_5'}$$

The real part of  $Z(s)$  is plotted in figure 7 as a solid line. The imaginary part of  $Z(s)$  is negative at lower frequencies and goes through zero at around 2.5 kHz. To show this on a log scale in figure 7, the absolute value is taken. The absolute value of the imaginary part of  $Z(s)$  is the dotted line in figure 7.

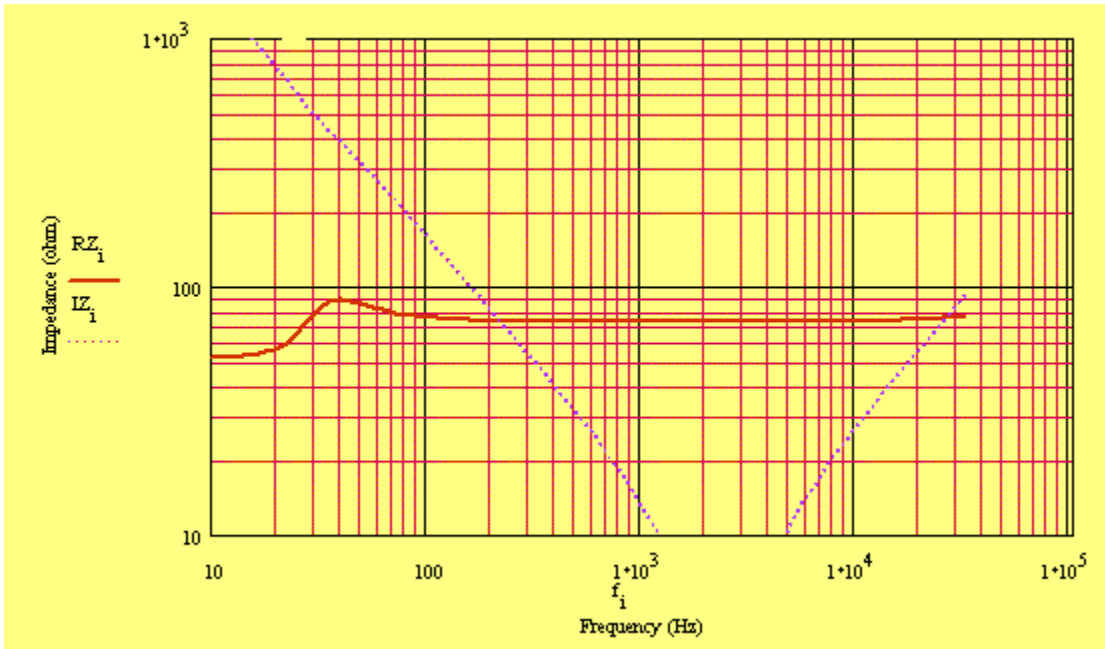


Figure 7 -- Transmit Impedance

This shows that the impedance requirements are satisfied.

The transmit transfer function into the 1 kohm load is found next. For the 1000 ohm test load, C1 has a negligible impedance at all frequencies of interest and need not be included. Let  $V_{out}$  be the output voltage across test load  $R_L$ . Then the transmit transfer function is

$$\frac{V_{out}}{V_t} = \left[ \frac{R_L}{2(R_L + R_{23})} \right] \left[ \frac{1}{(R_4' + sL_2' + 1/sC_2') \left( \frac{1}{R_L + R_{23}} + \frac{1}{R_5'} + \frac{1}{sL_1'} \right) + 1} \right]$$

The transfer function magnitude is plotted in figure 8. This is normalized to 1/2 to remove the step-down factor of the transformer. It demonstrates that the transmit transfer function for the test load is flat in the region of interest.

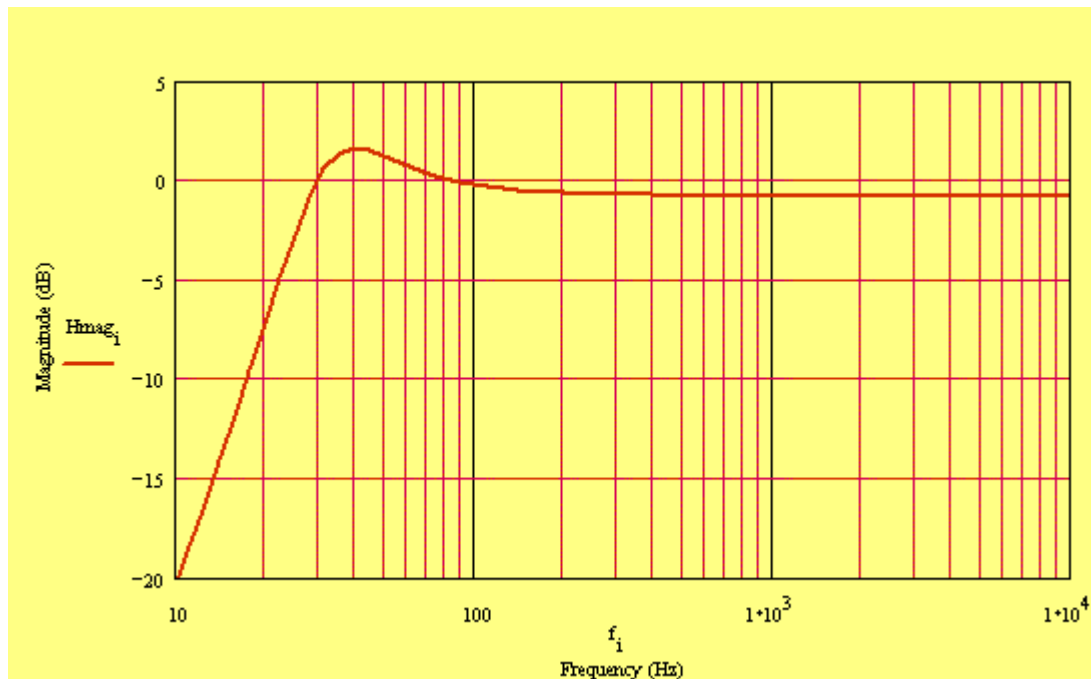


Figure 8 -- Transmit Transfer Function Magnitude with Test Load

The passband gain is 0.920. This is caused by the various small parasitic resistances present and can be corrected by increasing the transmitted signal amplitude. Variations in temperature will cause these small resistances to vary. However, the effect on output voltage is minor.

The effect of the worst-case load on the transmitted signal is examined by replacing RL in the above transfer function with the combined RL=250 ohm, CL=0.3 ufd in parallel. With this worst-case load C1 can no longer be neglected and is added back into the analysis. The result is figure 9.



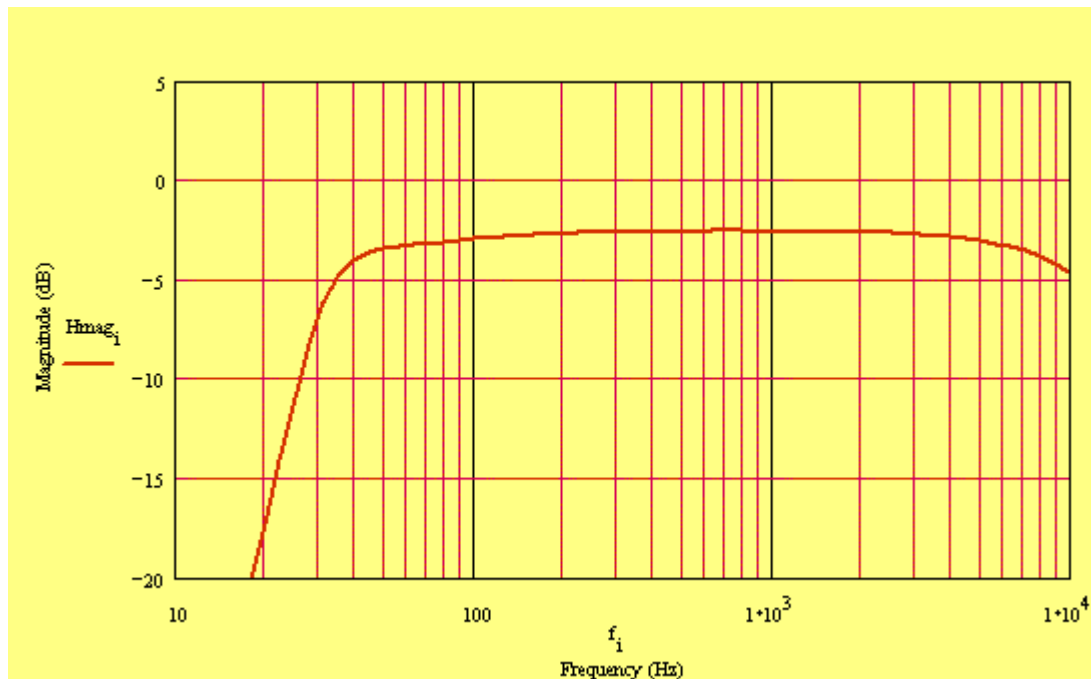


Figure 9 -- Transmit Transfer Function with Worst-Case Load

The magnitude is still roughly flat in the region of interest and is 0.746 at HART midband.

The analyses so far have demonstrated that excellent low-frequency response can be achieved with a relatively small transformer. In fact, the low-frequency end appears to be better than needed which suggests that an even smaller transformer would be OK. Figure 10 is a repeat of figure 8 at different values of L1. L2 has also been adjusted in proportion to L1.

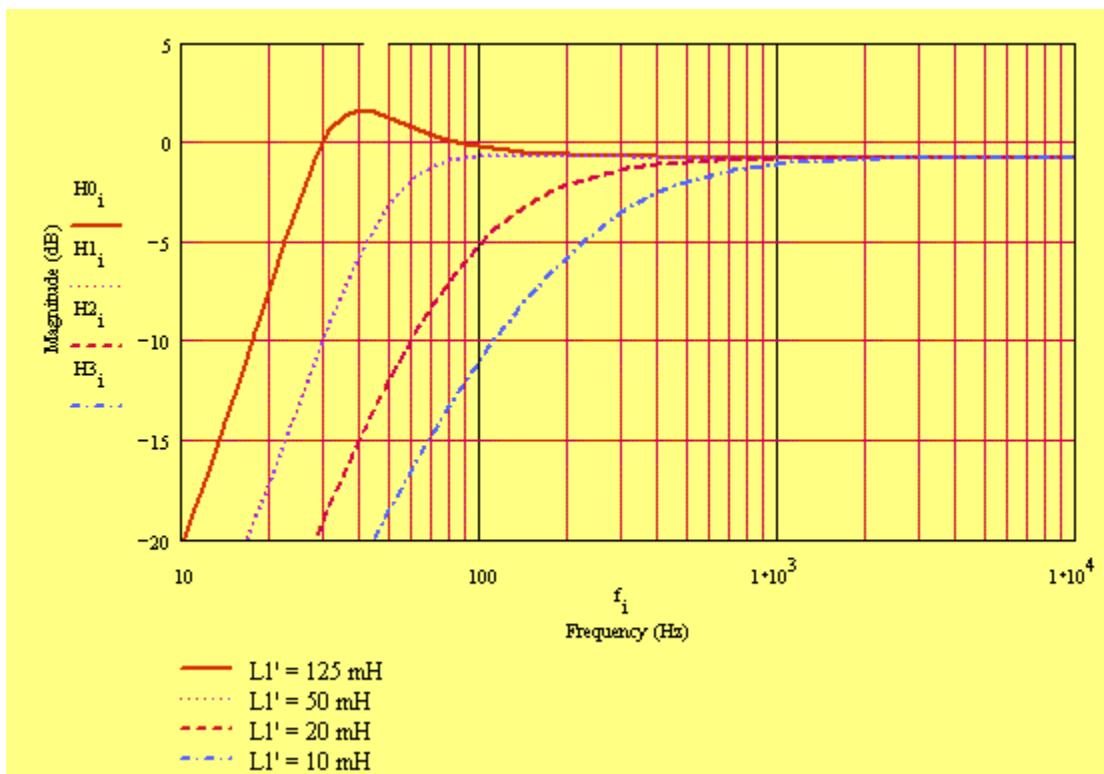


Figure 10 -- Effect of Reduced Magnetizing Inductance

This shows that  $L1' = 20 \text{ mH}$  may also provides adequate low-frequency response. A custom transformer of significantly smaller size may be possible.

When a trapezoidally shaped signal is used, the extra response at the low end is helpful. It reduces the tendency of the waveform to droop. SPICE simulations using  $L1' = 125 \text{ mH}$  and  $L1' = 20 \text{ mH}$  with trapezoidal waveforms (load is test load = 1 kohm) are illustrated in figure 11. The circuit simulated is that of figure 6.

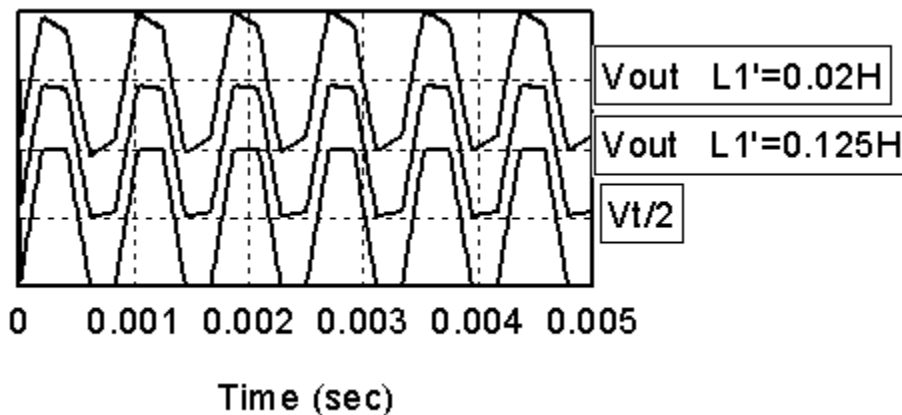


Figure 11 -- Effect of Magnetizing Inductance on Trapezoidal Waveform

The droop seen in figure 11 can often be equalized in the driver circuit. The transformer creates a transfer function that is approximately

$$\frac{V_{out}}{V_t} = \frac{sL_1' / R_4'}{(sL_1' / R_4' + 1)} = \frac{s\tau}{s\tau + 1}$$

Therefore, the equalizer transfer function is

$$H(s) = \frac{s\tau + 1}{s\tau}$$

A circuit that approximates this transfer function is given in figure 12.

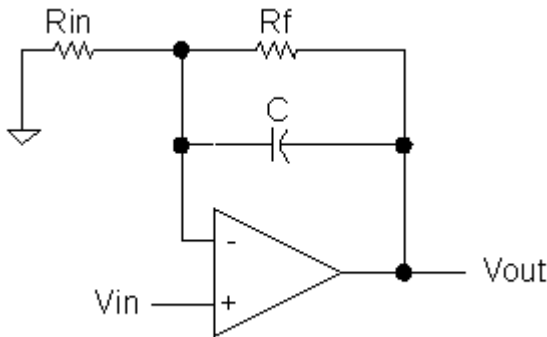


Figure 12 -- Equalizer Circuit

The transfer function for this circuit is

$$H(s) = \left( 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right) \left( \frac{sCR_{in} + 1}{sCR_f + 1} \right)$$

The purpose of Rf is to provide a DC feedback path. Normally it is much larger than Rin. Then H(s) in the frequency range of interest is approximately

$$H(s) = \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) \left( \frac{sCR_{in} + 1}{sCR_f} \right) = \frac{sCR_{in} + 1}{sCR_{in}}$$

which is the desired form for the equalizer transfer function. Rf can't be made arbitrarily large because this circuit amplifies the opamp offset voltage by approximately Rf/Rin.

Using values of  $R_4'$  and  $L_1'$  of figure 6, we see that the time constant,  $\tau$ , is equal to 6 millisecond. Then suppose we choose  $R_{in} = 10.7k$ ,  $R_f = 1Meg$ , and  $C = 0.56 \text{ ufd}$ . Then, repeating the SPICE simulation with the equalizer added gives us the result of figure 13.

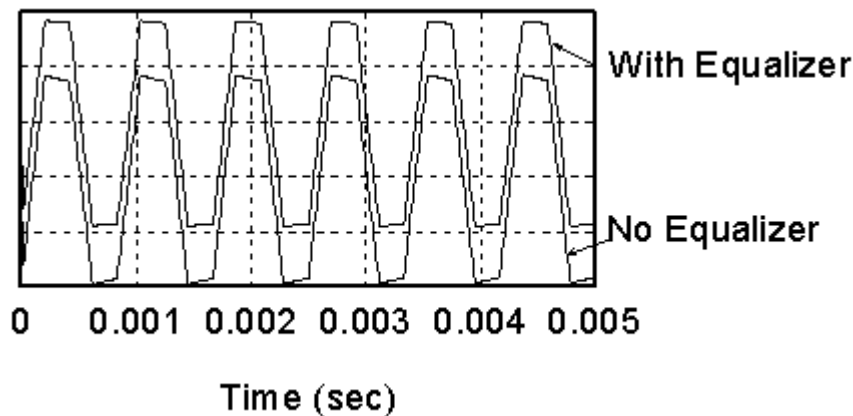


Figure 13 -- Trapezoidal Output With and Without Equalizer

The lower trace of figure 13 (no equalizer) is just a repeat of the middle trace of figure 11. This shows that the equalizer has almost removed the droop entirely. This type of equalizer, which is done in the transmitter as opposed to the receiver, is also called pre-emphasis.

The worst-case load includes a 0.3 ufd capacitor. It is important to insure that this capacitance, reflected through the transformer, is not so large as to cause oscillation in the transmit driver. Generally, the parasitic resistances in the transformer and the switch will be large enough to prevent this. However, it is clearly not a good idea to try to make the switch and transformer "perfect."

To summarize:

1. A combination of optical and transformer coupling produce an isolated HART device that meets all HART requirements and is virtually bump free.
2. By creating a low impedance across the device side of the transformer, the circuit behavior becomes almost independent of the transformer magnetizing inductance.  
This allows a small transformer.
3. The circuit shows good transmit response, even with the worst-case load.

4. Although an off-the-shelf transformer with relatively large inductance is used, it appears that a smaller inductance might still be satisfactory and that the transformer could be made even smaller.
  5. If a trapezoidally-shaped transmit waveform is used, good low-frequency response is needed to reduce droop. An equalizer can be used to cancel the remaining droop.
  6. A benefit of the transformer is its fundamental high-pass behavior. It helps reject analog 4-20 mA signaling.
- 

#### Curing HART Start-Up Transient

Some of the simpler HART modem chips, such as the Symbios 20C12 and Smar HT2012, can produce an undesired start-up transient in the transmit waveform. This is illustrated in figure 1 and is the result of AC coupling the output of a logic gate. The gate output is at either "0" or "1" for a long time prior to the carrier burst.

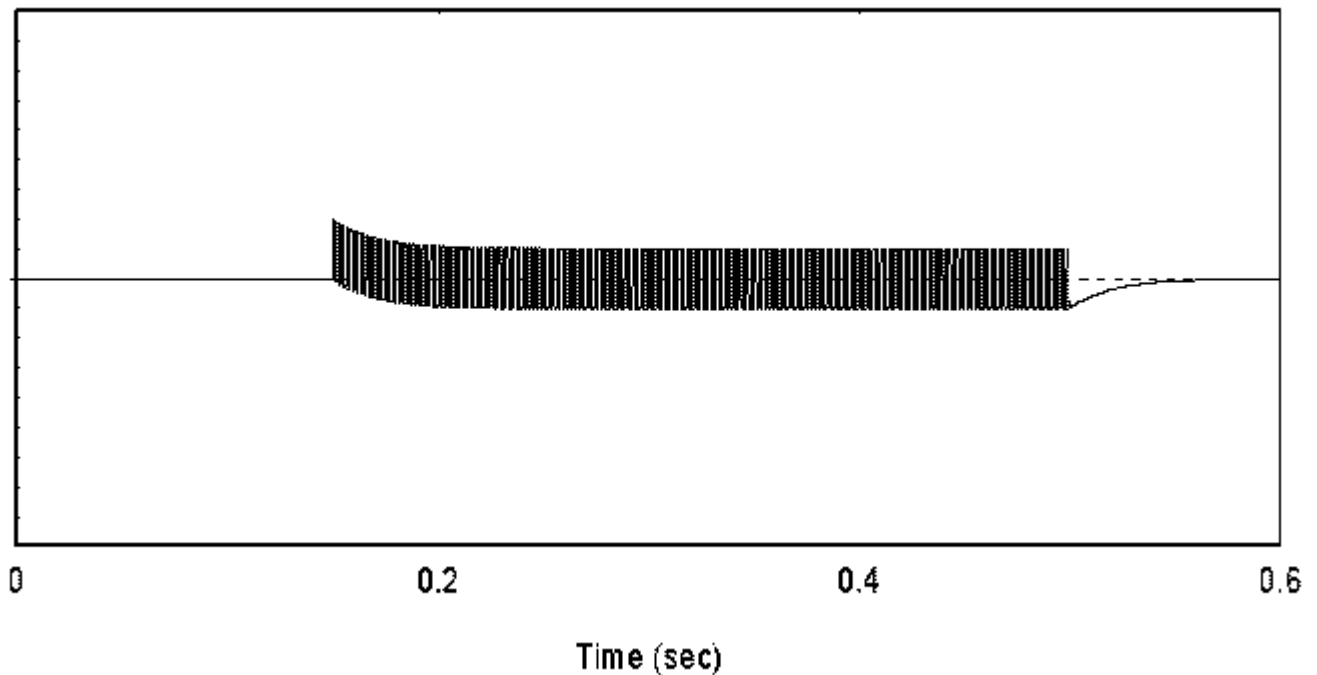


Figure 1 -- Waveform Showing Start-Up Transient

Consequently, when the carrier starts, the average voltage at the gate output shifts from either 0 or  $V_{cc}$  ( $V_{cc}$  = gate supply voltage) to  $V_{cc}/2$ . This amounts to applying a step

function of magnitude  $V_{cc}/2$  to the subsequent circuitry, resulting in an initial slowly varying shift of the carrier envelope shown in figure 1.

Since the two modem chips identified above use a CMOS logic output as the TXA (transmit) output, they can produce this effect if we aren't careful. Fortunately, however, the TXA output in both of these modem chips is a tri-state output, enabled by RTS (request-to-send). Prior to transmit the TXA pin is in tri-state (high impedance). When transmission begins, TXA comes out of tri-state and starts emitting the FSK as logic levels. The fact that tri-state behavior is built into the TXA output is a clue as to how to avoid the start-up transient.

From an analog viewpoint, the steady-state transmit signal at TXA is an AC voltage with amplitude  $V_{cc}/2$  and centered around  $V_{cc}/2$ . If TXA starts out at some other voltage, say  $V_o$ , then there is effectively a step function from  $V_o$  to  $V_{cc}/2$  applied at TXA at the start of transmit. The relaxation of the average voltage from  $V_o$  to  $V_{cc}/2$  is the start-up transient. In the two modem chips identified above, if nothing is done to control  $V_o$ , it can wander around (depending on leakage paths) and be as small as 0 volt or as large as  $V_{cc}$ .

We can avoid the transient by forcing  $V_o = V_{cc}/2$ . Therefore, instead of letting the TXA output float, it should be held at  $V_{cc}/2$ . Two possible ways of doing this are illustrated in figure 2.

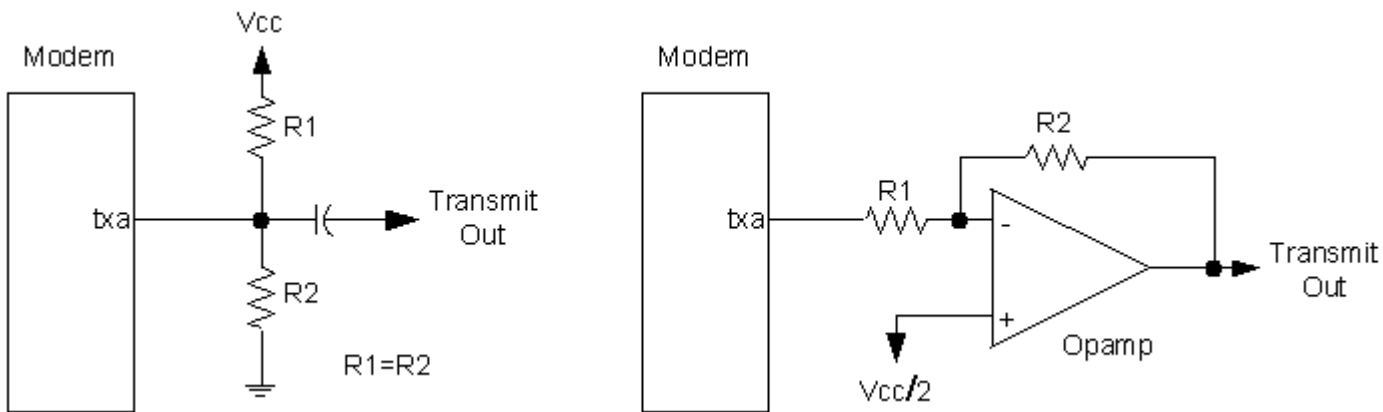


Figure 2 -- Ways of Holding TXA at  $V_{cc}/2$ .

The difference can be significant. Figure 3 shows the "after" picture of the carrier burst.

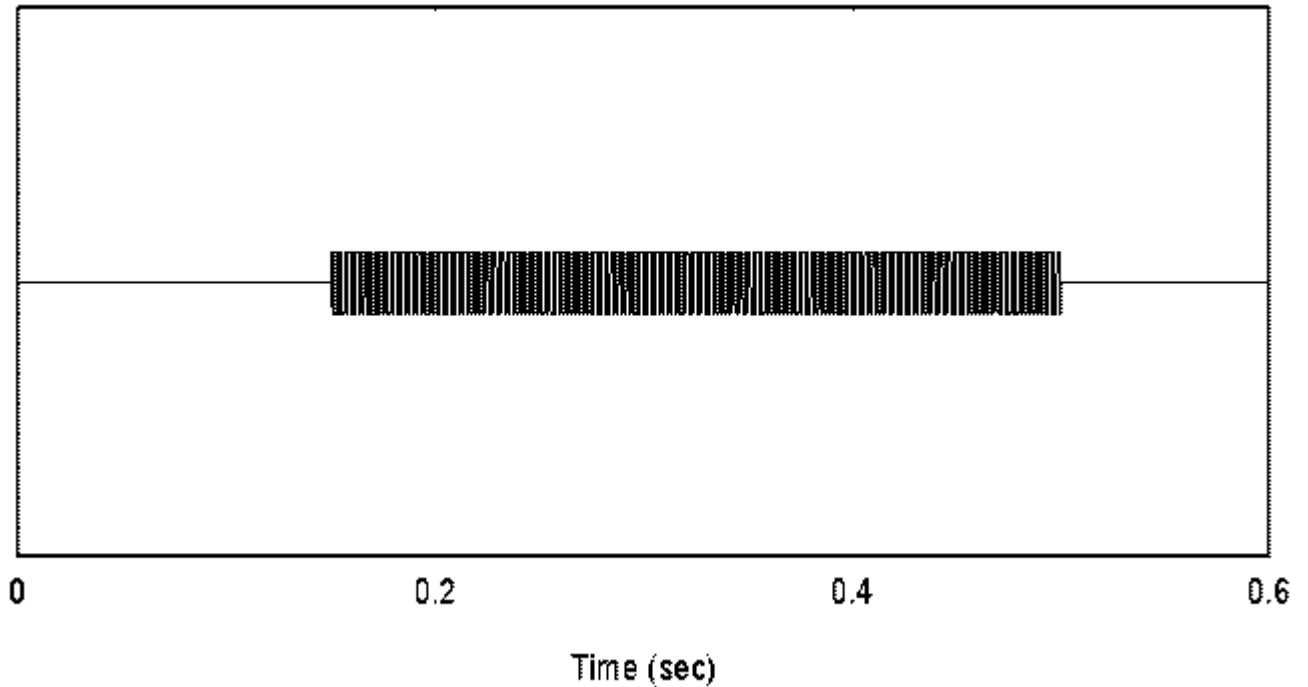


Figure 3 -- Corrected Start-Up

**Why not just let the start-up transient occur?**

**The start-up transient probably doesn't affect digital communication because it dies out during the preamble. The reason we try to remove it is that HART usually sits on an analog 4-20 mA signal, and looks like noise to the circuits that process the analog signal. It's best if we can keep this noise to a minimum. A clean start and stop of the carrier helps.**

In HART Slave devices, the "transmit out" signal in figure 2 is usually AC-coupled into the summing junction of an opamp that forms the current source. In HART masters, however, there may be a semiconductor switch between "transmit out" and the network. The purpose of the switch is to prevent a low impedance from loading the network when the device is receiving. This switch and its associated circuitry can also cause a start-up transient. To avoid this it may be necessary to keep both sides of the switch at the same voltage prior to closing it.

Of course the easy way to avoid start-up transient is to use a more modern chip, such as the Symbios 20C15. This has built-in circuitry to effectively start out (and end up) at  $V_{cc}/2$  without the need for any external circuitry. The techniques described above may help if you can't use the 20C15.

## Transmit Wave-Shaping and Receive Processing for HART

Early HART modem chips were entirely digital to simplify their design. The FSK that they produce (and expect to receive) is a square wave, with FSK information contained in the timing of signal transitions. The square-wave version of FSK is identical to what we would get by applying conventional, sinusoidal FSK to a comparator with a reference of 0 volt. Square-wave FSK cannot be applied directly to the HART network. Nor can we expect to receive the signal in this form. Both the transmit and receive signals must be processed to some degree before they are acceptable. Transmit processing includes wave-shaping to control frequency content. Receive processing includes filtering to remove noise and interference, detecting carrier, and squaring or slicing the received waveform to convert it to the desired square-wave FSK. The Symbios Logic 20C15 HART modem chip has the wave-shaping and most of the receive processing built in. Other earlier chips, such as the HT-2012, don't. If you plan to use one of the earlier ones, you will need to add these functions.

The HART power spectrum exists mainly from about 950 Hz to 2500 Hz. It should be possible to convert the transmit wave to a sinusoidal shape by applying a bandpass filter to separate out only these frequencies. But the bandpass filter must eliminate frequencies that are as close as 4.6 kHz (3rd harmonic). This suggests a relatively high-order filter. And even a low-order filter, implemented in analog form, would distort the transmitted signal. Therefore, a bandpass filter is not likely to produce the desired result.

Another method is to apply the square wave to the up/down control of an up-down counter. The counter is clocked at a constant frequency that is quite a bit higher than the HART signaling frequencies. The counter is also designed to limit its count in either direction. That is, once the count reaches some low level, it won't go any lower. And once it reaches some high level, it won't go any higher. The counter effectively performs an integrate-and-clamp operation. If the counter output is applied to a D/A converter, the effect is to convert the square wave into a trapezoidal wave. A lowpass filter following the D/A converter will usually be necessary to reduce granularity.

An easier way to implement the integrate-and-clamp operation is illustrated in figure 1. This is an opamp integrator with transistors and diodes added to perform the clamping. Some suggested part numbers are included.



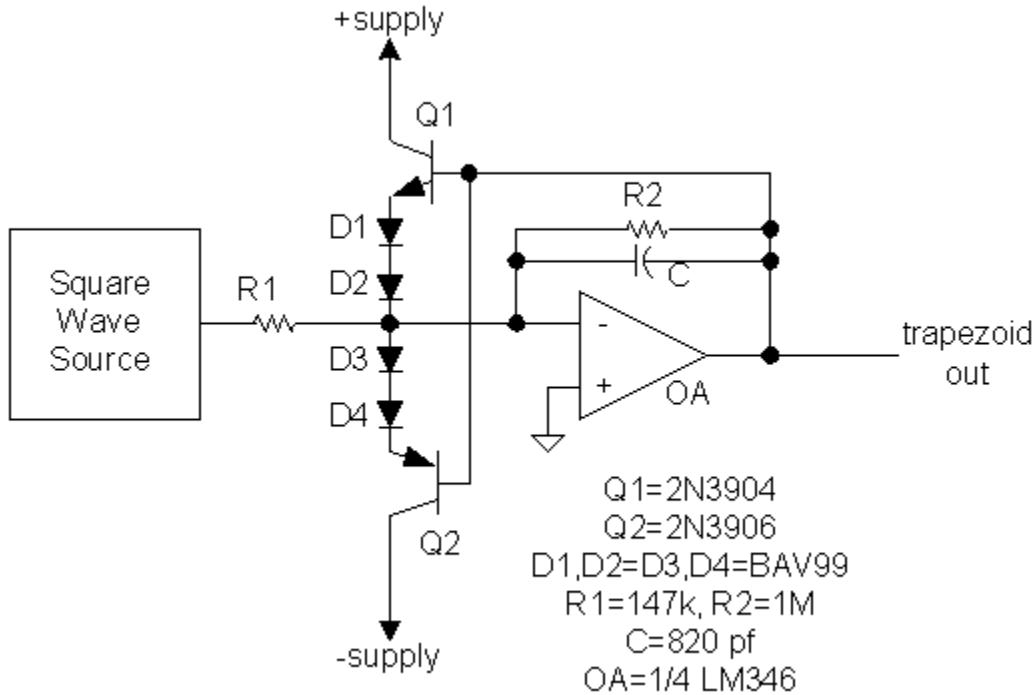


Figure 1 -- Wave-Shaping Circuit

The clamp level is 3 diode drops and varies with temperature. For a wide operating temperature range, a thermistor might be needed (in a subsequent stage) to reduce amplitude variation. R2 should be large compared to R1, so that it doesn't interfere significantly with the integrator operation. It can't be increased without limit, however, because the opamp offset will be amplified by a factor  $1+R2/R1$ . The rate of change of output voltage during the integration period depends on the square wave amplitude and the R1C product. For a square wave of 5 volt p-p, the R1 and C given in the figure yield a HART-compliant output wave.

For HART modem chips that are entirely digital, the receive processing that occurs ahead of the modem chip consists of filtering the received signal to remove interference and noise, and then applying the result to a comparator (also called a slicer) to convert it to digital form. The received signal is also applied to a second comparator with an offset to perform the carrier detect function. These receive functions are illustrated in figure 2.

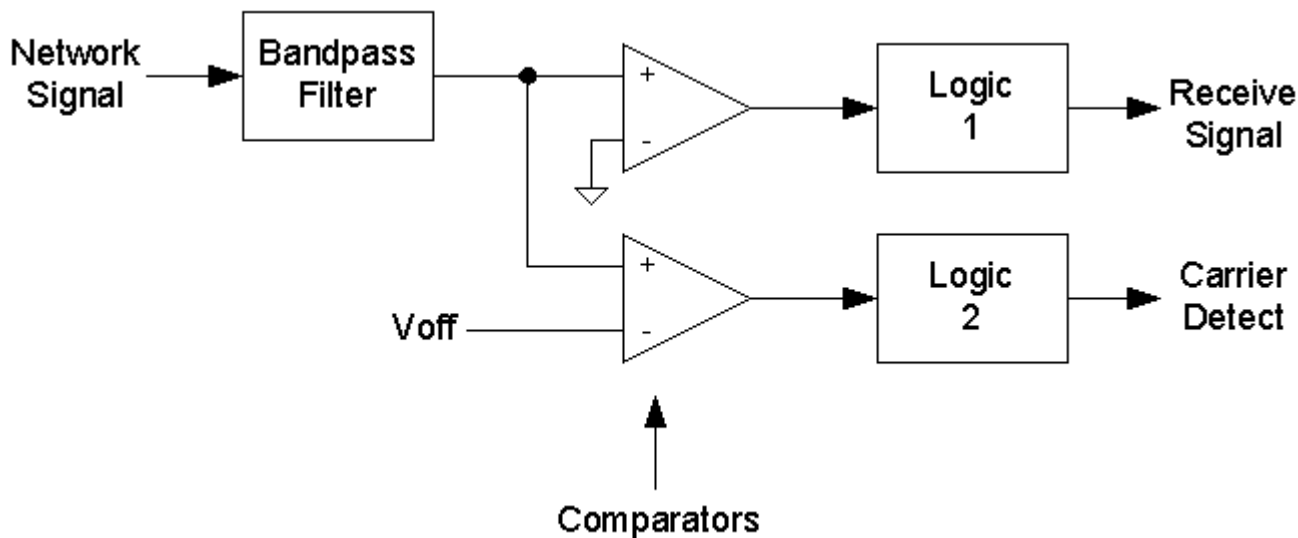


Figure 2 -- Receive Functions Ahead of Modem Chip

The output of the first comparator is applied to a shift register and associated logic ("logic 1"). This digital circuitry effectively requires that the comparator output remain at one level or the other for some minimum number of clock cycles before the input ("receive signal") to the modem chip is allowed to change.

Instead of logic circuits following the receive data comparator, hysteresis has also been used to prevent short (noise) pulses from being generated at the comparator output and passed on to the demodulator. DC hysteresis is not advised, since it shifts (in time) the point at which a zero-crossing is detected. AC hysteresis should be done in such a way that transients die out within about half of the smallest expected time interval. This is 1/4 of a cycle of 2200 Hz or about 230 microsecond.

To detect carrier, the signal at the second comparator must have an amplitude larger than the offset voltage  $V_{off}$ . The offset, referred to the input, is 50 mV. The block labeled "Logic 2" is a crude filter whose purpose is to ignore short intervals of pulse activity from the carrier detect comparator when carrier is absent; and to ignore short intervals of pulse drop-out when carrier is present. The logic circuitry requires some number (about 2 or 3) of consecutive pulses from the Carrier-Detect comparator before it indicates Carrier Detect to the modem chip. Once Carrier Detect is asserted, the same logic circuitry following the comparator looks for some number (again, about 2 or 3) of consecutive missing pulses, to indicate that the Carrier is no longer present. Notice that the time between comparator pulses will vary due to the FSK. Since the received signal amplitude is effectively measured by the Carrier Detect comparator, some degree of gain accuracy ahead of the comparator is required and the comparator must have a low offset voltage.

The HART pass-band extends from about 950 Hz to 2500 Hz. A receive bandpass filter for HART is often created by cascading high-pass and low-pass filters and ignoring (initially) their interaction. Once this is done, the pass-band gain is usually a few percent below what it would be ideally for either filter alone. Gain may be applied elsewhere to make up for this, thereby maintaining the gain accuracy needed for carrier detect.

The low-pass section helps to remove high-frequency noise. HART Standards don't specify what it should be. Therefore, a single-pole is often used. To avoid significant effects in the HART passband, the corner frequency should be in the region of 10 kHz to 15 kHz.

The high-pass section of the receive filter is responsible for removing analog 4-20 mA signaling that normally coexists with HART. The original HART Standards specify that interference can be as high as 22 volt pp at 25 Hz and drop at a rate of -40 dB/decade at frequencies above 25 Hz; and that the HART signal can be as small as 0.13 volt pp. Or, in other words, the interference can be about 170 times the signal. Clearly, huge demands are placed on the high-pass filter if it is to extract the smallest possible signal superimposed on the largest possible interference.

In recent years, however, there has been some recognition that the signal and interference are both developed across the same resistor and will tend to track. When analyzed in these terms, the ratio of interference to signal is at most about 16. To keep errors at a minimum it is probably sufficient to reduce the interference to 0.2 of the HART signal. Then the attenuation at 25 Hz must be 80 times or 38 dB. Thus, one requirement for the low-frequency end of the receive filter is that the response be down 38 dB at 25 Hz from what it is in the HART pass-band. This implies that a high-pass filter should begin rolling off at 950 Hz and provide attenuation of 38 dB at 25 Hz, or about 24 dB/decade. It is known, however, that a conventional high-pass filter with, for example, a Butterworth characteristic; causes delay distortion in the received signal. This distortion can be reduced by beginning the roll-off at a lower frequency, such as 500 Hz. Then the filter slope requirement becomes 29.2 dB/decade. This is satisfied using 2 poles. If other coupling elements, such as a transformer (see earlier part of app note) are used, they become part of the receive filter and must be taken into account. The response of a filter consisting of a 2nd-order Butterworth Highpass at 500 Hz, followed by a 1-pole Lowpass at 15 kHz is illustrated in figure 3.

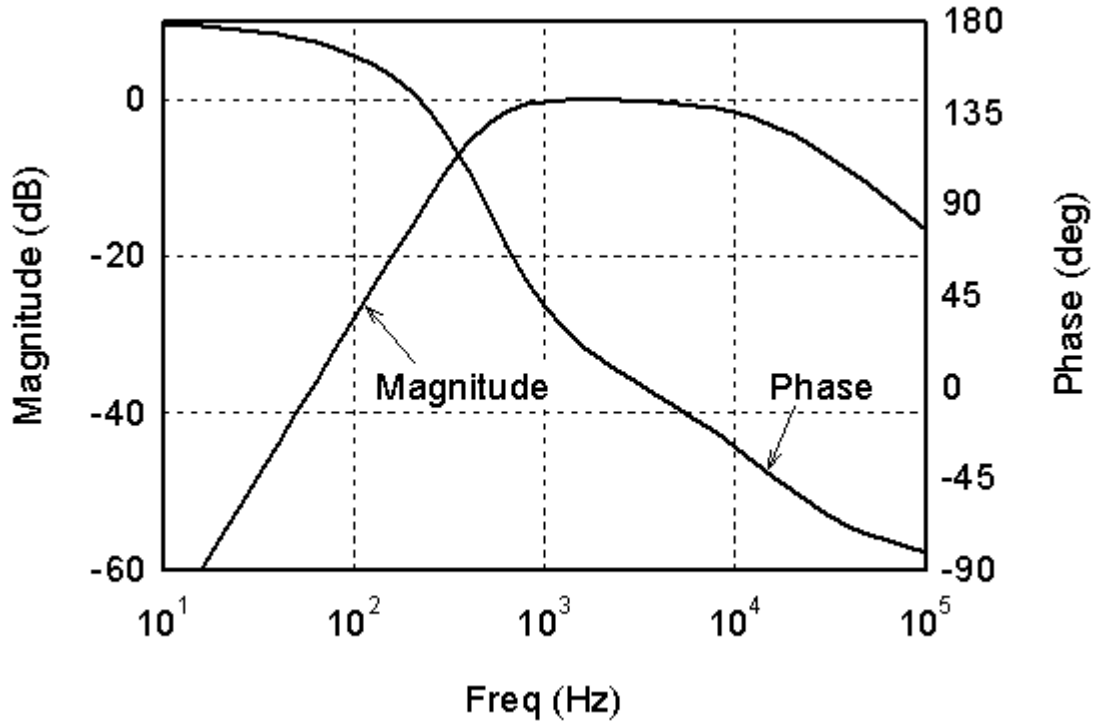


Figure 3 -- Receive Bandpass Filter

There are many ways of implementing the filter. Therefore, no circuit is given.

Remember that, if interference is allowed to cause saturation of any stage in the receive filter, then any superimposed HART signal is destroyed. The interference can be as large as 22 volt pp at 25 Hz, while active element stages may have supply rails as close together as 3 volt. This often necessitates a passive front end for the receive filter. The passive front end reduces the interference to a level that is acceptable to the active element stages.

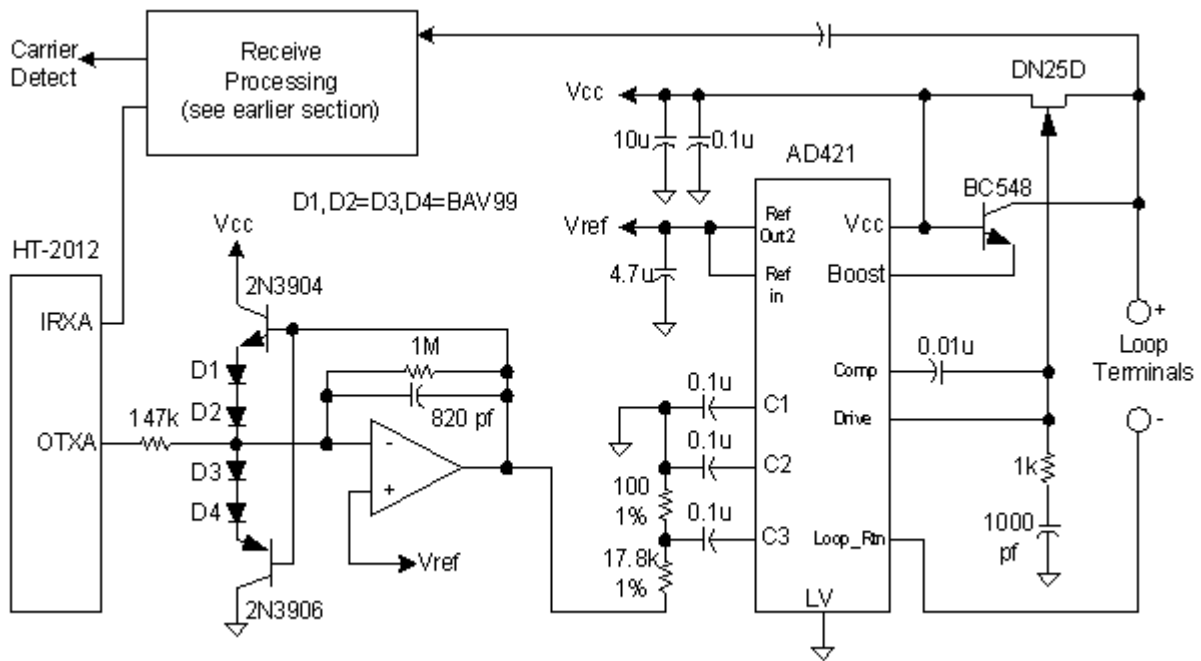
Then the active element stages wipe out the rest of it. Obviously, another way of going about it is to use a resistive divider and create a flat loss ahead of an active filter. But this may require that the signal be amplified following the filter.

In [HART Physical Layer Test Procedure, HCF Document HCF\_TEST-2, August, 1995] the test for analog interference accounts for the fact that the interference will tend to track the signal. It uses 8 volt p-p at 25 Hz across 500 ohm as the interference. Actual communication between Master and Field Instrument is used, so that reception in both directions is tested. The filter described above attenuates by about 52 dB at 25 Hz, which means that the 8 volt p-p of interference is reduced to 20 mV p-p. The Field Instrument will develop an in-band signal of about 1 mA p-p x 500 ohm = 500 mV p-p. The signal produced by the Master will also be about 500 mV p-p. Therefore, following the bandpass filter described above, either receiver will have a signal that is about 25 times greater than the interference. This easily satisfies the above criterion that the interference

be reduced to no more than about 0.2 times the signal. Thus, the filter described above should lead to a satisfactory conformance test.

### AD421-to-HT2012 Connection

The AD421, made by Analog Devices Inc., is a low-power 16-bit D/A converter intended to control the current output in analog process transmitters. Analog Devices Inc. has published an application note, AN-534, that shows how to connect the 20C15 modem to the AD421. The following diagram shows how to do this for the Smar HT-2012 modem.



### Using CCITT V.23 Equipment for HART

HART uses the Bell-202 modulation method of FSK (frequency shift keying). It also uses the Bell-202 shift frequencies of 1200 Hz and 2200 Hz for a binary one and zero, respectively. This came about in the early days of HART, partly from a desire to be able to modify existing telecom modems for use as HART masters. HART and Bell-202 are different in terms of impedances and signal levels. This, and a desire for very low power consumption, led to the development of modem chips that are intended specifically for HART. Still, in some applications, a telecom modem is the desired equipment for generating and receiving HART. This is true, for example, when sending HART over the switched telephone network.

A European telecom standard that is closely related to Bell-202 is CCITT V.23. Since CCITT V.23 modems are sometimes more readily available than Bell-202, or are necessary for European applications, the question naturally arises as to whether V.23 can be substituted for Bell-202. The answer is generally yes.

The Bell-202 and CCITT V.23 modem standards are very similar. The difference is that V.23 uses FSK shift frequencies of 1300 Hz and 2100 Hz for binary one and zero. The carrier frequency is 1700 Hz for either Bell-202 or V.23. Thus, the V.23 shift frequencies are 100 Hz closer to the carrier.

The two concerns in mixing HART and V.23 are whether HART modems will correctly receive V.23 and whether V.23 modems will correctly receive HART. Since the V.23 band of frequencies is narrower than for HART, any existing HART channel should already have a sufficiently wide frequency response for either HART or V.23. The question is then whether the respective demodulators work correctly. The existing HART modems, such as the 20C12 and 20C15, are designed to accept a continuous range of frequencies. Internally, they have the equivalent of a frequency-to-voltage converter. The "voltage" produced is proportional to frequency across the whole range from 1200 Hz to 2200 Hz. A comparator with a trip point equivalent to 1700 Hz completes the demodulation. When confronted with V.23 shift frequencies of 1300 Hz and 2100 Hz, the output of the frequency-to-voltage converter isn't quite as large but is still more than enough to correctly demodulate. Other demodulators, designed to accept V.23, seem to work in similar fashion.

But enough of theorizing. We have tested a combination of V.23 and HART modems and found them to work together flawlessly. In some of these tests the modems were physically about 60 miles apart and connected together via the switched telephone network.

Setting up either a Bell-202 or V.23 telecom modem for HART can be a headache, because of different bit rates, several modes of operation, "reverse" channels, etc. Here are some settings that may prove helpful.

1. Set BIT RATE to 1200 bits/second.
2. Set LOOPBACK to disabled.
3. Set Line Configuration to 2- or 4-wire, depending upon your application.
4. Set SOFT CARRIER to disabled or minimum.
5. Set TURN-AROUND DELAY to disabled or minimum.
6. Set LOCAL COPY to disabled.
7. Set CLEAR-TO-SEND DELAY to disabled or minimum.
8. Set CARRIER DETECT TURN-ON TIMING to minimum.
9. Set CARRIER DETECT TURN-OFF TIMING to minimum.
10. Set CONSTANT CARRIER to disabled.
11. Set LINE IMPEDANCE to 600 ohm.
12. Set RECEIVER SQUELCH to enabled.
13. Set TRANSMIT LEVEL to 0 dBm (leased line) or -9 dBm (PSTN).

---

### HART Clocking

HART modem chips typically operate at a clock frequency of 460.8 kHz or a multiple of it and are supposed to be accurate to 1%. This can easily be achieved with "tuning fork" crystals operating at 460.8 kHz or 921.6 kHz; or a conventional crystal operating at 1.8432 MHz. A watch crystal at 32.768 kHz can also be used with a PLL. The 32.768 kHz, multiplied by 14, yields 458.75 kHz -- 0.4% below the desired 460.8 kHz. Ceramic resonators operating at 460 or 921 kHz are also commonly used.

If you use the same time base for both the modem and the UART, then 1% accuracy may not be good enough. The reason for this is the combination of receive data jitter and clock skew between transmitting and receiving devices.

**Clock Skew**

Unfortunately, UARTs tend to integrate the clock error. To see this, suppose that the clock is off by 1%. At the end of 11 bit times (HART character time), the time error is  $11 * (1/1200 \text{ sec}) * (0.01) = 91.7 \text{ microsecond} = 11\%$  of 1 bit time. Now suppose that the transmit time base is at 99% of nominal and the receive time base in another device is at 101% of nominal. Data at the receiving UART will be skewed by roughly 21% of one bit time at the end of each 11-bit character. This is measured from the start bit transition to the center of the 11th bit.

### **Receive Data Jitter**

The receive data (at RXD) contains jitter that is a function of the modem and input noise. It can be as large as 12% of a bit time. Therefore, the relative separation between any two bit boundaries can be in error by as much as 24%. At the receiving UART the start-bit transition and a later transition can be shifted in opposite directions for a total of 24%.

When the clock skew and jitter are added together, the result is  $21\% + 24\% = 45\%$  of one bit time. This represents the amount that a bit boundary could be shifted from its expected position. It means that the receiving UART may get a transition very close to what it considers to be mid-bit. UARTs that sample only at mid-bit will not be affected. However, there are UARTs that take multiple samples during each bit to try to improve on error performance. These UARTs may not be satisfactory, depending on how close the samples are to each other, and how samples are interpreted.

A typical UART sample rate is 16X the bit rate. This means that the time between samples is nominally 6.25% of one bit time. Assuming that one of the samples is exactly at the nominal mid-bit position, it is at the 50% position. A UART that uses the center 3 samples may sample at nominal positions of 43.75 %, 50%, and 56.25 %. If the bit boundary is in error by 45%, then one of these samples might be different than the other two. A UART that takes a majority vote of 3 samples is acceptable. But a UART that takes 3 samples and expects them to be identical may signal an error.

It helps to make sure that your own clock is accurate. If the clock in your device is perfect, and you communicate with a 1% device, then the clock skew is reduced to 11%.



The receive data jitter remains at 24% and the total error is 35%. We are not aware of any UARTs that cannot accept this much of a shift.

#### Trouble at Start or End of Message

To maximize speed, a field instrument will often be designed to begin its response message immediately after the master's command message. These message frames are close enough together that there may not be enough time for carrier detect to drop out. This brings out an important point regarding carrier detect: Its sole purpose is to indicate the presence of carrier, so that receivers know that they have sufficient signal to work with. Carrier detect is not intended to reliably indicate the start or end of a particular message frame. Start of frame detection is a Data Link Layer function and must occur through examination of the frame content.

The UART can cause a possible problem at the end of a message (end of frame). Normally, it is necessary to wait until the last bit of the last character of the frame has been sent until carrier is turned off. The UART usually tells you it's empty, which is an indication that you should turn carrier off. However, UARTs differ in what they mean by empty. Some indicate empty at the time of the last shift clock -- that is, simultaneously with the stop bit being shifted out. But if carrier were to be turned off at that time, the modem would cease transmitting and the stop bit wouldn't be sent. Therefore, it is important to determine which kind of UART you have. If it behaves as described, then you should wait at least one bit time after the empty indication until you turn off carrier. Note that adding a 1 bit delay doesn't do any harm, even if it isn't needed.

#### Interpretation of HART Transmitter Impedance

The HART specification for the impedance of a "high impedance device" models the device as in figure 1 and recommends that the capacitance at the device terminals be less than 5000 pf and the resistance seen at the device terminals be greater than 100 kohm.

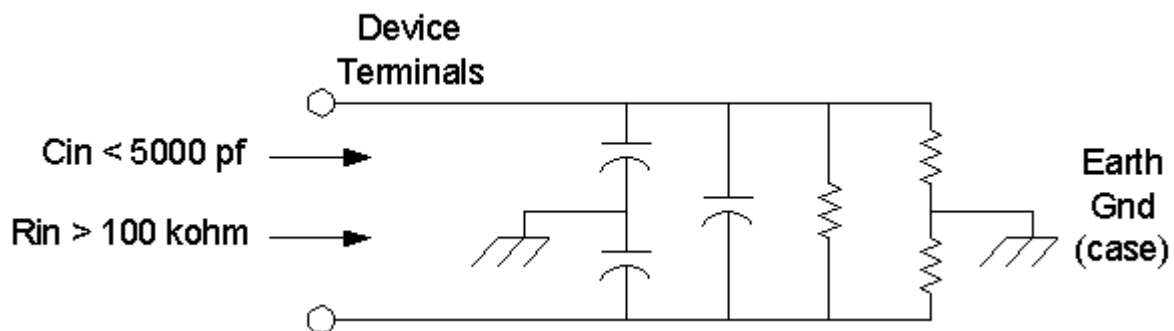


Figure 1

The impedance magnitude at the limits of 5000 pf and 100 kohm is plotted in figure 2. An impedance magnitude anywhere above this curve should satisfy the impedance requirement, regardless of whether the impedance actually consists of the Rs and Cs shown.

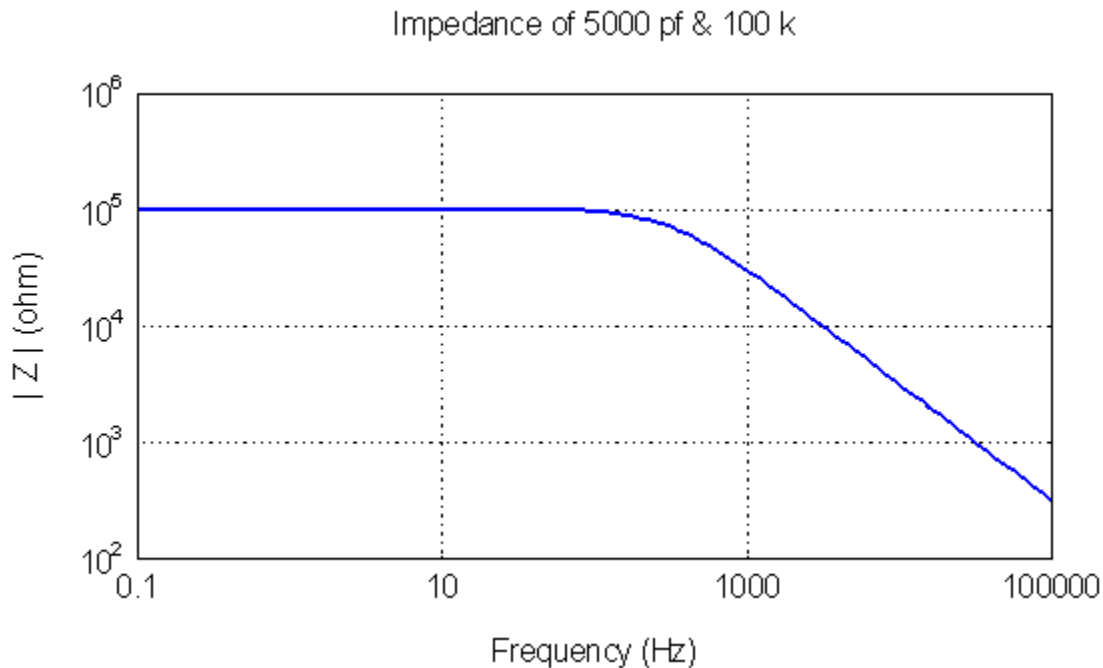


Figure 2

Figure 3 shows an actual device impedance (blue) plotted along with the low impedance limit. Practical circuits will usually have a  $|Z|$  of 100 megohm or more at low frequencies. As frequency increases,  $|Z|$  drops rapidly and eventually gets close to or coincides with the sloping part of the impedance limit. The reason for this is that the low-frequency behavior is being controlled by a current regulator, while the higher frequency behavior is the result of added (passive) capacitance.

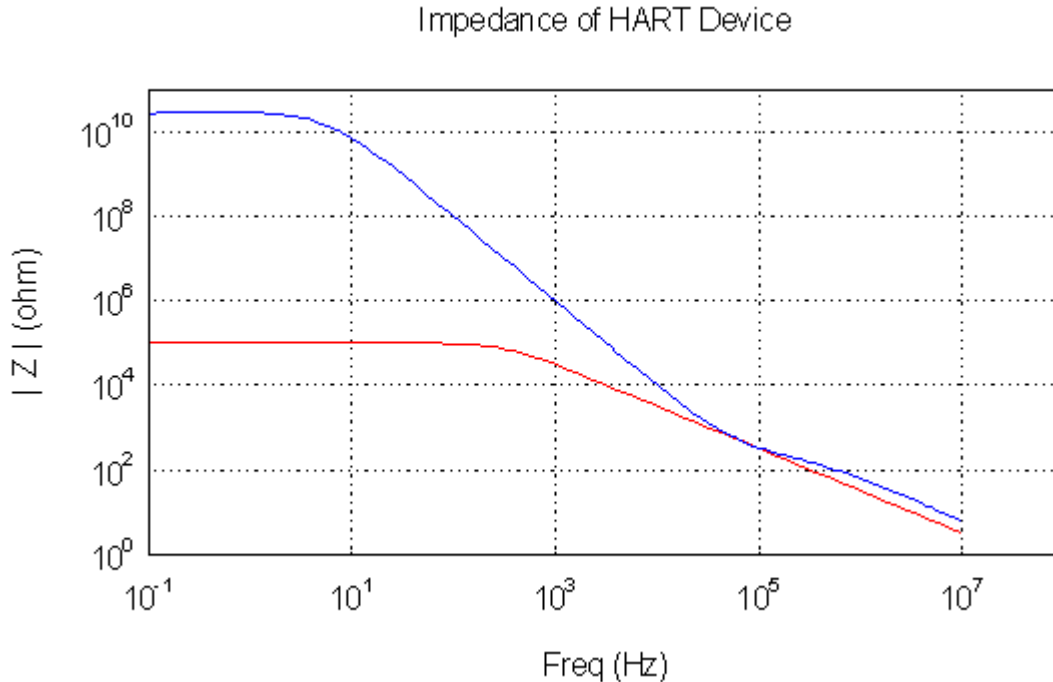


Figure 3

### VHDL HART Modem with 32.768 kHz Clock

By Analog Services, Inc.

**Here's an easy way to design your own HART modem** by downloading a [VHDL file](#). This is a "digital-only" type of modem that works similarly to the Symbios 20C12 and Smar HT2012. You will need to add your own analog functions to get a complete modem, just as you do with the Symbios and Smar chips. For information on the analog parts you need to add, see our [HART Application Note](#).

The HART modem described here uses a 32.768 kHz clock, which means that you may be able to get by with a very cheap (currently about 15 cents each in volume) wristwatch-frequency crystal. In contrast, most HART modems currently available require a clock of at least 460.8 kHz. Using a 32.768 kHz clock, this modem generates FSK shift frequencies of 1199 Hz and 2198 Hz. These are close enough to the desired frequencies that the clock tolerance can be almost 1%. Of course you can still use higher frequency clocks by dividing them down. As examples, you can use 460.8 kHz divided by 14, 1.024 MHz divided by 31, or 3.58 MHz divided by 109.

One difference between this modem and Symbios or Smar modems is that the modulator and demodulator are both operating all of the time. A loopback function is also provided so that the modulator output can be fed directly back to the demodulator

input for testing. The /RTS input doesn't select between modulator and demodulator operation. All it does is control the Hi-Z state of the modulator output.

The modem has been implemented in a Cypress 37128 CPLD and tested. Test results are presented below. The Cypress part in a 100 pin quad flat pack is less than \$12 (based on information from Unique Technologies). The Cypress CPLD isn't a low-power device. So you won't get as low a current consumption with it as you would with either the Symbios 20C12 or Smar HT2012.

The download file is named "modem1.zip". When you unzip this file you should extract these files:

1. "modem1.vhd", the VHDL source code.
2. "modem1.jed", the file to program a Cypress 37128 CPLD device.
3. "lp\_rand.awf", a waveform file. The content of this file is explained below.

## **Modulator**

## **Operation**

A block diagram of the modulator is shown in figure 1.

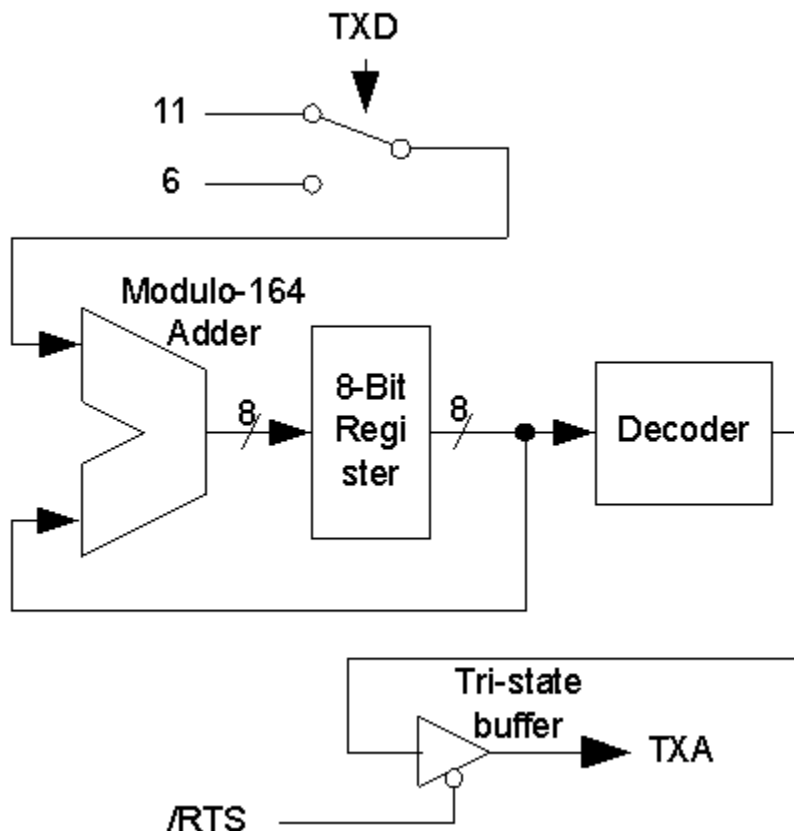


Figure 1 -- Modulator Block Diagram

It uses a numerically controlled oscillator (NCO) with a modulus of 164 and load values of 6 (for 1200 Hz) and 11 (for 2200 Hz). The oscillator uses the system clock frequency of 32.768 kHz. The decoder has a single output. It is high for input values of 82 to 163 and low for input values of 0 to 81.

### Demodulator Operation

HART uses FSK, which means that the information is contained in the time between zero crossings of the carrier signal. Before the carrier signal reaches the demodulator it is normally converted to a logic level by applying it to a comparator. The comparator output is applied to the RXA input of the modem, and consists of a square wave with varying length of time between transitions.

The demodulator block diagram is shown in figure 2.

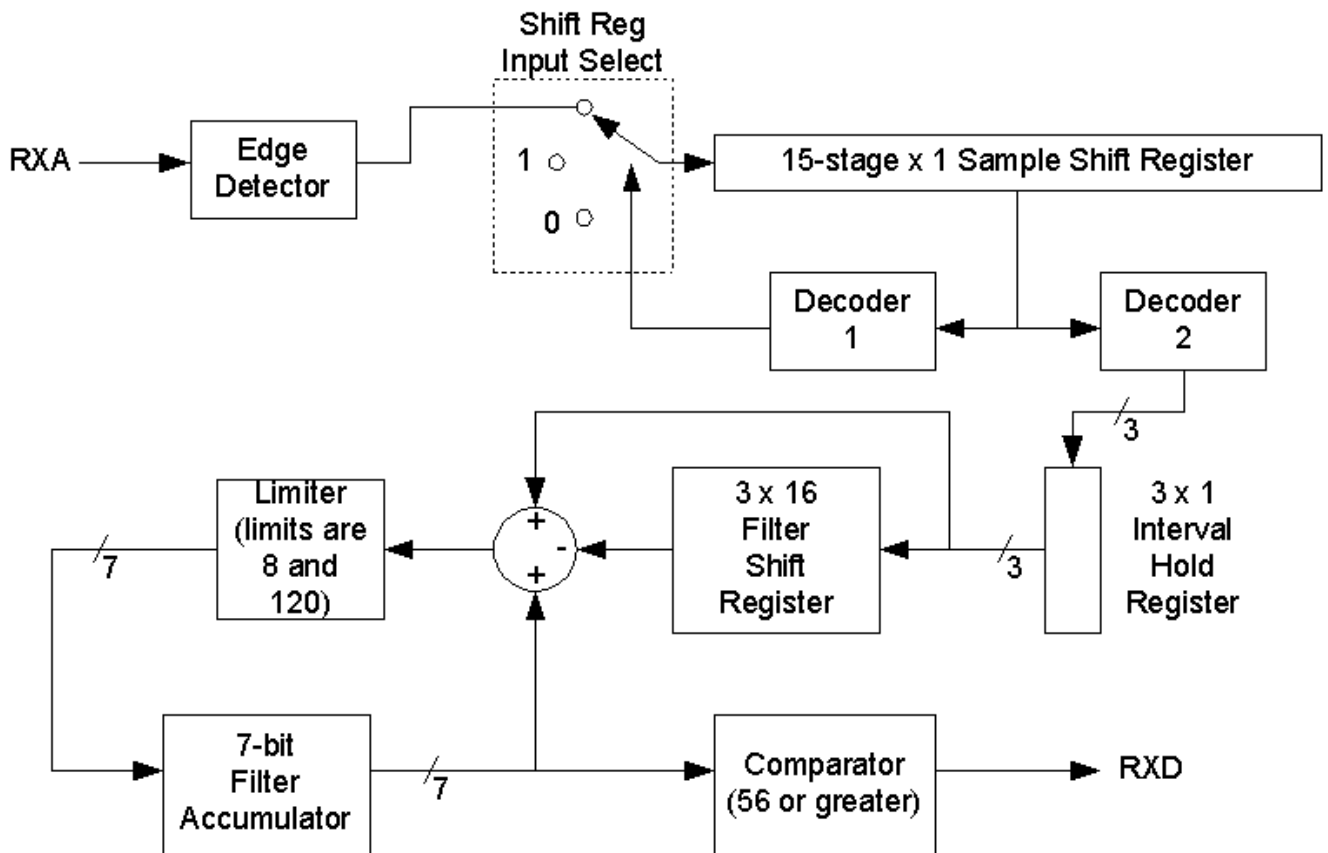


Figure 2 -- Demodulator Block Diagram

The demodulator samples RXA at the clock frequency of 32.768 kHz. When the lower frequency is present, the number of samples per half cycle of carrier is 13.65. When the upper frequency is present, the number of samples per half cycle of carrier is 7.45. The

integer range that just overlaps these values is 7 to 14. Noise present on the carrier can shift the zero-crossings of the signal and extend this range to 6 to 15. Thus, the incoming samples will range from 6 to 15 ones followed by 6 to 15 zeros, followed by 6 to 15 ones, etc. Noise can also cause multiple transitions of the comparator output at a given zero crossing. These can lead to an extra one being inserted into a string of what should be all zeros or an extra zero being inserted into a string of all ones. These extra ones and zeros are suppressed as described below.

The edge detector finds the zero-crossings of the carrier signal by looking for a change from zero to one or from one to zero at RXA. The edge detector looks at two successive samples and generates a one if they are different and a zero if they are the same. The edge detector output is applied to a 15-stage shift register clocked at the sample rate of 32.768 kHz. Thus, the shift register content is mostly zeros with an occasional one representing a carrier zero-crossing. The number of zeros between the ones in the shift register is a measure of the incoming FSK frequency.

The shift register content is continuously examined by decoder 1, whose output is fed back and controls the switch at the shift register input. The switch can select a logic zero, a logic one, or the edge detector output. The normal position of the switch is the edge detector output. If decoder 1 detects that the shift register is about to become empty of ones, it inserts a one into the shift register in place of the edge detector output. This is done to insure correct operation of subsequent parts of the demodulator. It also serves as a substitute 1200 Hz carrier signal to keep RXD high (idle state) when there is no carrier present. (The actual frequency of this pseudo-carrier is slightly less than 1200 Hz.) A second purpose of decoder 1 is to prevent noise effects from reaching the shift register. If the decoder finds that there is a one in any of the first 5 positions of the shift register, it will force a zero into the shift register in place of the edge detector output. This insures that there will be at least 5 zeros between ones in the shift register and effectively removes any extra ones due to noise.

The ones in the shift register can be separated by 5 to 14 zeros, depending on the incoming signal frequency. The number of zeros between ones effectively indicates which frequency is present during the time that it is present. A second decoder, decoder 2, determines what frequency is present by generating a 3-bit number based on the number of zeros between ones. The decoder 2 input and output are shown in the following table:

Shift Reg Zeros	Value of Decoder 2	Frequency Represented by Decoder 2 Value
6 or fewer	0	2341 Hz
7	1	2048
8	2	1820

9	3	1638
10	4	1490
11	5	1365
12	6	1260
13 or more	7	1170

The output of decoder 2 is valid only when a one reaches the end of the sample shift register. At this time, the output of decoder 2 is clocked into a 3-bit "Interval Hold" register. Thus, the Interval Hold register is updated on each zero-crossing of the carrier and retains its value until the next zero-crossing. The number in the Interval Hold register represents the frequency that was present between these two zero crossings.

The Interval Hold register output is applied to a "rolling average" filter with sample rate of 32.768 kHz. The filter increases the frequency resolution (reduces the quantization error). It also increases the effective sample rate for changes in frequency. (The unfiltered frequency value only changes twice per cycle of the carrier.) Without filtering, the RXD value (demodulator output) would have excessive jitter. The rolling average is the best that can be done without resorting to a full multiply-accumulate type of digital filter. Simulations show that a 16 stage filter is sufficient to reduce RXD jitter to about plus and minus 11% of one bit time (1 bit time = 1/1200 second).

The operation of an ideal filter will be explained first. This is followed by an explanation of how the filter is modified to arrive at the practical filter of figure 2. The minimum and maximum values of filter output are 0 (representing 2341 Hz) and  $7 \times 16 = 112$  (representing 1170 Hz). The decision point is the geometric mean of 1200 Hz and 2200 Hz. This corresponds to the number 49 at the filter output. If the filter output is 49 or larger, then RXD is set to one, else it is set to zero. In principle this is how the demodulator works. However, the filter is limited by practical considerations so that its implementation is somewhat unconventional.

Because there are no clock cycles between filter samples, updating the filter output at each sample implies that the filter taps can only be added by using a giant decoder with 48 inputs (filter shift register is  $3 \times 16$ ) and 7 outputs. But this is too large for a practical implementation. A well-known software technique for implementing a rolling average is to first observe that only two numbers change at every sample time and the rest are just shifted one position. This implies that the adder can still be implemented with an accumulator. Once each sample time, the number at the front of the Filter Shift Register is added to the accumulator and the number at the end of the Filter Shift Register is subtracted. This uses far less hardware than the giant decoder. But it also creates another problem: the initial value of the accumulator is not determined. Its value could constitute an offset, such that the reference value of 49 for determining RXD is incorrect.

A way around this is to let the accumulator establish its own initial value. If we limit the accumulator so that it can't go below 0 or above 112, it establishes its own initial value

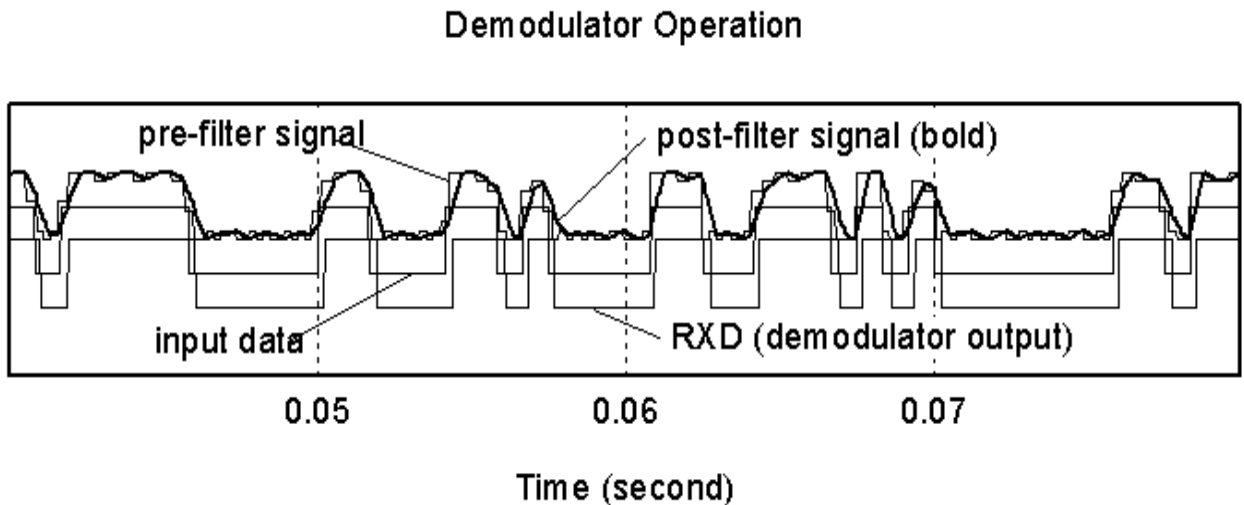
within a relatively short time. If the filter becomes loaded with all 7's, and the accumulator is limited to 112, then the accumulator will forever agree with the shift register content. But how does the shift register become loaded with all 7's? When there is no carrier, an artificially low carrier frequency is created as explained above. This causes the filter shift register to become loaded with all 7's. As it happens, even if the shift register never quite makes it to all 7's, the small offset that results doesn't appear to have much of an effect.

The actual implementation of the filter uses a 7-bit accumulator and a number range of 8 to 120 instead of 0 to 112. And the reference point for deciding RXD is 56 instead of 49. That is, the numbers are ideally offset by 8 so that only positive numbers are ever used. 56 is used as the RXD reference instead of 57 because 56 is an easier number to decode. Actually, all 3 numbers 8, 120, and 56 are chosen because they are easily tested without a large amount of combinational logic. In binary they are 0001000, 1111000, and 0111000. If the accumulator number is less than 8, then the upper 4 bits will all be 0. If the accumulator is 120 or greater, then the upper 4 bits will all be ones. And if the accumulator is less than 56, then bits 3, 4, and 5 will not be all ones.

### **Pin Description Using \_\_\_\_ CPLD**

### **Simulation Data and Test Results**

A portion of a MATLAB simulation of the demodulator using random input bits is given in figure \_\_\_\_\_. The plot shows the original data (input data), the Interval Hold value (pre-filter signal), the filter output (post-filter signal), and the demodulator output.

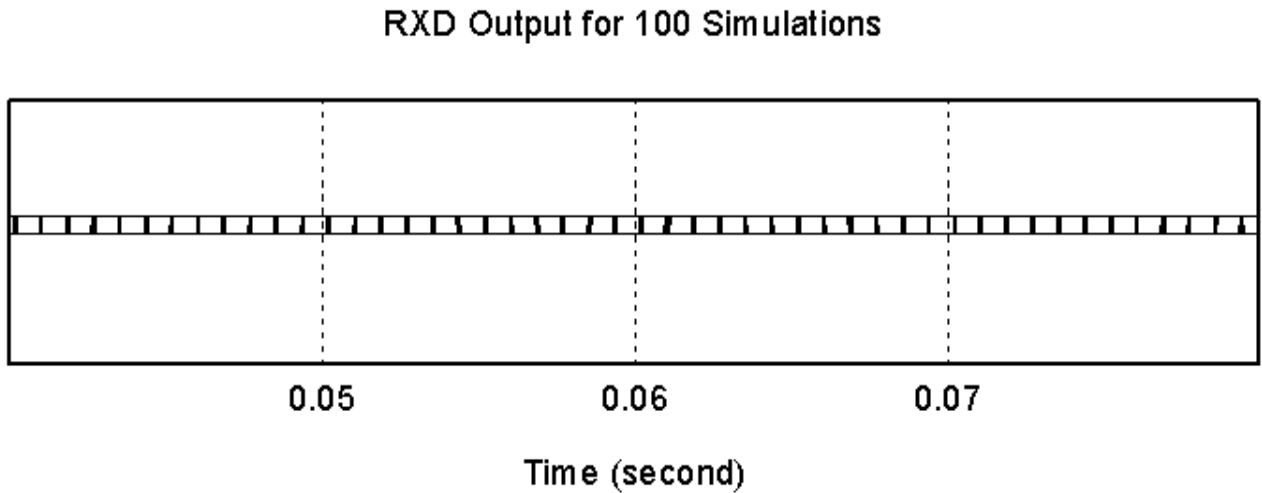


Figure

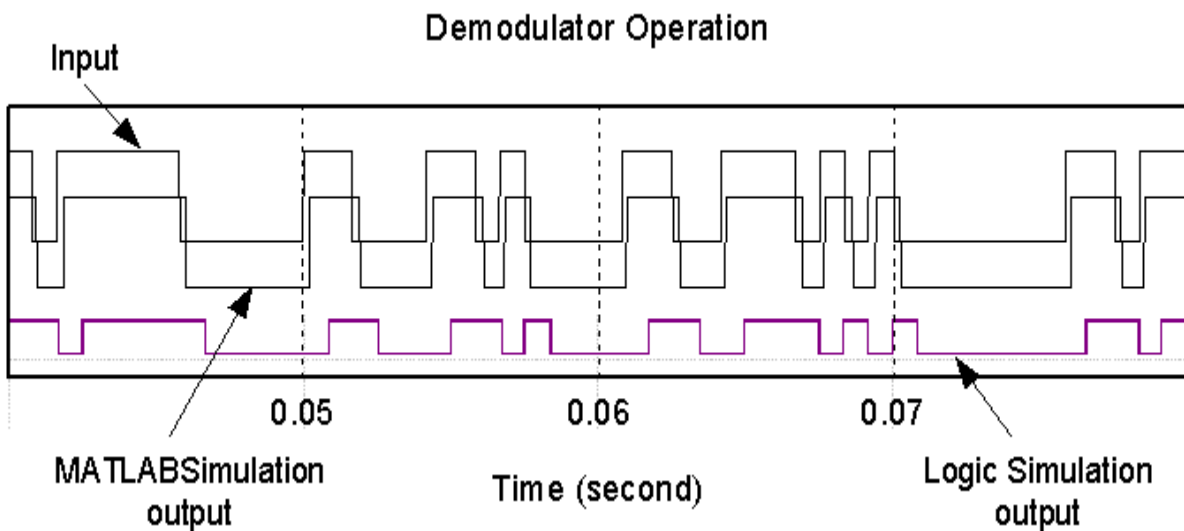


The "input data" in figure \_\_\_ has been deliberately shifted in time with respect to the other 3 plots for clarity.

Another MATLAB simulation was done to assess jitter. To do this, the outputs of 100 simulations were superimposed. Input to the modulator is random. This effectively creates multiple transitions at each bit time. A small section of the result, shown in figure \_\_\_, indicates that jitter in RXD is a small fraction of one bit time.



Logic simulations of the demodulator using the simulator that ships with the WARP package were also performed. Figure \_\_\_ below shows the logic simulation output added to a plot of the input + MATLAB simulation output. The time relationships are not to scale and are set for convenience in observing and plotting the waveforms.



The Logic Simulation output shown in figure \_\_\_ is a portion of a larger simulation output. The full simulation output, which is 120 millisecond or about 144 bits, is available in the file "lp\_rand.awf". This is one of the files that is produced from the "modem1.zip" download file. The waveforms contained in lp\_rand.awf can be viewed using the "open waveform" dialog in the simulator supplied with the Cypress WARP package. The simulation that produced the lp\_rand.awf file is done at 100 times normal speed to accommodate the simulator. Consequently it will show up as only 1.2 millisecond of data. And the clock frequency will be 3.2768 MHz and one bit time will appear to be only 8.33 microsecond. The simulation uses random input bits. It applies them to the TXD input of the modem. The modem is set to loopback so that the modulator output (TXA) will be applied directly to the demodulator input (RXA). The two waveforms in lp\_rand.awf are TXD (upper) and RXD (lower). The two waveforms show RXD delayed from TXD by almost exactly one bit time.

### **Acknowledgement**

We gratefully acknowledge the assistance of the following people and organizations in creating this modem. Assistance in using the WARP VHDL compiler was provided by Q. James Lie of Cypress Semiconductor. Sample parts were supplied by Anthony Leali, Area Account Manager of Unique Technologies (651-636-8432), and programmed by Rick Harding of Cypress Semiconductor.

### **References**

1. WARP 5.2 CPLD Development Kit, Cypress Semiconductor.

### **HART Chips: Past, Present, Future**

by [Analog Services, Inc.](#)

Revised 10-18-99

Revised 2-22-2000

Revised 3-12-2000

**Analog Services, Inc.** is proud to have participated in the design of several integrated circuits. Among them are the 20C12 Modem and the 20C15 Modem, both from Symbios (formerly NCR, then Symbios, now LSI Logic). The 20C12 was the first single-chip modem designed specifically for HART. It used a mere 400 uA of supply current and won major acceptance in the process control industry as the most practical way to incorporate HART into 2-wire process transmitters. The 20C12 was designed by Stephen Anderson of **Analog Services, Inc.** and Kathy Howard of Rosemount Inc.

The 20C12 has been discontinued, but has been cloned by Smar. The Smar version is the HT2012.

The 20C15 is a 20C12 with increased functionality. This was designed by Gabriel Maalouf of Rosemount Inc., David Tetzlaff of Rosemount Inc., and Stephen Anderson of **Analog Services, Inc.** Symbios was recently acquired by LSI Logic. There seems to be some question as to whether the 20C15 will survive. A spokesman for Rosemount Inc. says that they (Rosemount) have designed a new chip to replace the 20C15; and that it is pin-compatible with the 20C15. Again, this new chip will be available to HART designers through a major semiconductor vendor.

Schoppe & Faeser makes a HART Modem chip (no model number available) that is similar to the 20C15. That is, it has filters and waveshaping and on-board oscillator and consumes about 0.5 mA at 3 V.

The June, 1998 issue of Control Magazine estimated that there were about 5 million HART-compatible instruments in use. At about \$4 to \$5 per chip, this represents modem chip sales of **20 to 25 million dollars**.

Because Bell-202 is still being used for Caller ID and other special telecom applications, other Bell-202 chips are also available. An example is the Silicon Systems 73K302. These were not designed for HART. They are not low-power and are somewhat cumbersome for use with HART. The Silicon Systems chip, for example, is intended to be connected to the micro-controller data bus and has several registers that must be written to configure and control it.

A recent article [Holland, S., "Low-Cost Software: Bell-202 Modem," Circuit Cellar, pp. 12-19, June, 1999] describes the implementation of a Bell-202 Modem entirely in the software of an embedded controller chip. The software is also apparently available for download from Circuit Cellar's web site. This software modem uses a very fast (50 MHz clock) microcontroller chip made by Scenix Semiconductor. The author says that there is still some processing power left over. We suspect that chips running much more slowly could also do the job.

### **On-Line Data Sheet for 20C15**

By [Analog Services, Inc.](#)

The 20C15 HART Modem IC is made by LSI Logic. Unfortunately, they provide only paper copies of the 20C15 data sheet. It does not show up on their web site (at <http://www.lsilogic.com/>). We have created here our own data sheet for the 20C15 to make it easier for HART designers to get this information on the internet. To purchase

the 20C15 integrated circuit or to get a complete copy of the LSI Logic data sheet, contact LSI Logic at

LSI Logic Corp.  
1551 McCarthy Blvd  
Milpitas, California 95035  
800.433.8778 (in the United States)  
408.433.8000 (outside the United States)  
Fax 408.433.8989

### **Description**

The 20C15 is a low-power, single-chip, 1200 bps modem specifically designed to satisfy HART Protocol requirements. It contains nearly all of the circuitry needed to add HART communication capability to analog 4-20 mA field instruments. It is specified for use at supply voltages of 3.3 volt and 5.0 volt and over the industrial process control temperature range of -40 C to 85 C. For lowest possible power consumption the modulator portion of the chip is shut down while the demodulator is operating and vice-versa. A crystal or ceramic resonator operating at 460 kHz may be used with the chip to generate a 460 kHz clock. Or a 460 kHz clock may be supplied to one of the 20C15 pins. An external bandgap voltage reference is required to set up reference voltages and the device operating current. The 20C15 includes transmit waveshaping and part of the receive filtering required by HART. The 20C15 is supplied in a 28-pin PLCC package.

### **Pinout**

<b>Pin Number</b>	<b>Name</b>	<b>In/Out</b>	<b>Description</b>	<b>Comment</b>
1,5,7,8,9,14			Test	Connect To Ground
2,3,4,25,28			Test	Leave Open
6	/RESET	In	Reset (Low To Reset)	Connect To R & C
10	OTXA	Out	Transmit Out	
11	IAREF	In	Reference Voltage	Connect to 1.235 volt for 3.3 volt supply, Connect to 2.5 volt for 5.0 volt supply.
12	ICDREF	In	Carrier Detect Reference Voltage	Set at 80 mV below IAREF
13	OCBIAS		Operating Current Set	Connect 500k to gnd for 3.3 volt supply,

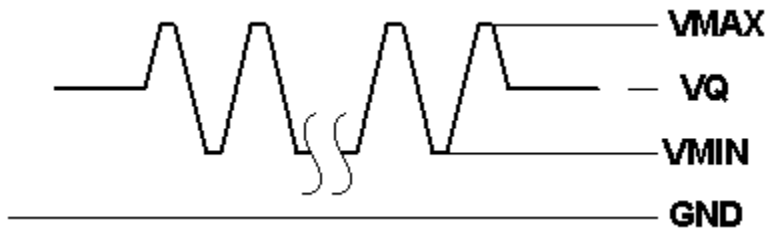
				Connect 1 Meg to gnd for 5.0 volt supply.
15,22			Power Pin	Connect to 3.3 volt or 5.0 volt.
16	IRXA	In	Input to Receive Gain Stage	See Circuits
17	ORXAF	Out	Output from Rcv Gain Stage	Low Impedance Point
18	IRXAC	In	Receive Filter Continued	
19	OXTL	Out	Crystal Oscillator Output	460 kHz
20	IXTL	In	Crystal Oscillator Input	Or External Clock Drive
21			Ground	
23	INRTS	In	Request-to-Send	Selects between XMIT and RCV
24	ITXD	In	Transmit Data	
26	ORXD	Out	Receive Data	
27	OCD	Out	Carrier Detect	

## Operation

### Modulator (Transmit):

The modulator is operating (and the demodulator is shut down) whenever /RTS (INRTS) is low. When TXD (ITXD) is high the modulator output at TXA (OTXA) will be a trapezoidally shaped wave at nominally 1200 Hz. When TXD is low the modulator output is nominally 2200 Hz. TXA (OTXA) is usually AC-coupled to an amplifier or buffer stage.

The output voltage levels at TXA depend on the reference voltage applied at IAREF. Let VQ, VMIN, and VMAX be as defined in figure 1.



**Figure 1**

That is, VQ is the quiescent (no modulation) voltage at TXA, and VMAX - VMIN is the pp signal voltage swing. VQ, VMIN, and VMAX are given by

$$VQ = 0.4049 VREF$$

$$VMIN = 0.2024 VREF$$

$$VMAX = 0.6073 VREF$$

where VREF is the voltage at pin IAREF. For VREF = 1.235 volt, VQ is 0.5 volt and the signal swings from 0.25 volt to 0.75 volt. In a HART Master this is the correct pp voltage to be applied to the network. But the OTXA pin does not have enough drive capability to drive a HART network directly. A buffer amplifier is usually needed. In a field instrument, the 0.5 volt pp OTXA output is usually converted to 1 mA pp.

**Demodulator (Receiver):**

The demodulator is operating (and the modulator is shut down) whenever /RTS (INRTS) is high. The received signal is first applied to a bandpass filter. Part of this filter is off-chip. This is necessary to reduce interference to a level that is within the 20C15 supply rails. The bandpass filter consists of a 4-pole highpass filter and a single-pole lowpass. When used with the suggested passive components the overall filter has a gain of 1.6 in the passband. Other pins that are part of the receive filter are IRXA, ORXAF, and IRXAC.

The filter output is applied to two comparators -- one to slice the signal and produce a logic-level version of the received FSK and a second to act as a carrier detect. The reference for the first comparator is the reference voltage applied at IAREF. The reference for the second comparator is applied at ICDREF and is normally set to be 80 mV below the level at IAREF. The carrier detect comparator is therefore tripped if the filter output swings low by 80 mV peak or more. Or, since the filter has a passband gain of 1.6, the carrier detect comparator will trip if the input swings by 50 mV peak (100 mV pp) or more. These values are chosen to satisfy the HART requirement that the carrier detect be OFF for input signals < 80 mV pp and ON for input signals > 120 mV pp.

Logic circuits following the carrier detect comparator are used to decide whether carrier is present. If the input has sufficient amplitude to trip the carrier detect comparator on each of 3 or 4 consecutive cycles, then carrier is present and OCD goes high. Once carrier is present, if the input signal fails to trip the comparator for a time of about 3 or 4 cycles, then carrier is no longer present and OCD goes low.

The logic-level FSK out of the first comparator is applied to a logic block that generates a high level if a frequency below 1700 Hz is present and a low level if a frequency above 1700 Hz is present. The output of this logic block is gated with OCD to form the output RXD (ORXD). If carrier is not present the RXD output is always low. If carrier is present, then RXD equals the output of the logic block.

RXD (ORXD) is normally connected to a UART. The UART sees a low level as an assertion of RXD. Therefore, when no carrier is present (no reception occurring) RXD is asserted. In some cases this will appear to be an extra character at the end of a message. The software that services the UART must handle this condition appropriately.

**Clock:**

A 460.8 kHz clock is required. This can be generated by connecting a crystal or ceramic resonator across pins OXTL and IXTL (see Circuits). An external clock source can also be used. Connect the external source to OXTL and connect IXTL to ground.

**Parameters**

**Clock:** 460.8 kHz, Tolerance 1%.

**Power Supply Current:** 400 uA max. (3.3 volt supply), 600 uA max. (5.0 volt supply).

(NOTE: This is the current during receive. It is about 100 uA to 200 uA less during transmit.

This can sometimes be used to advantage.)

**Operating Temperature Range:** 0 C to 70 C. (NOTE: This would seem to preclude using

this part in industrial control applications, which usually require -40 C to 85 C.

However, this

specification is apparently the result of problems in testing the part outside of 0 C to 70 C; and

doesn't reflect the part's true capability. It is designed for and is being widely used in equipment

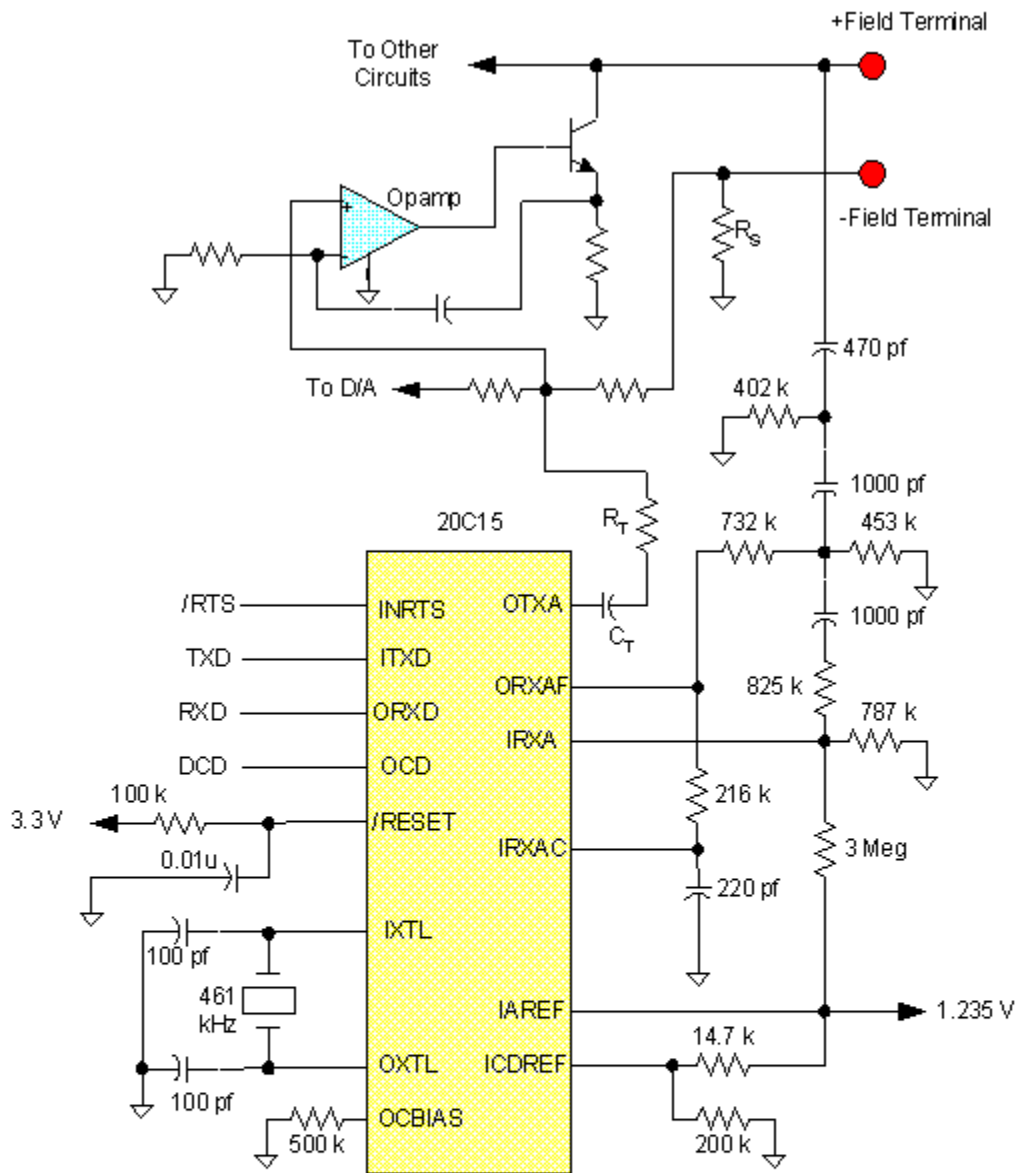
specified for -40 C to 85 C.)

**Reset Minimum Pulse Time:** 2 microsecond.

**Transmit Output Drive Capability:** Needs minimum of 30 kohm.

**Circuits**

**Field Instrument, 3.3 Volt Supply:**



Notes:

OTXA Output is 0.5-volt pp

$R_s$  is current sense resistor

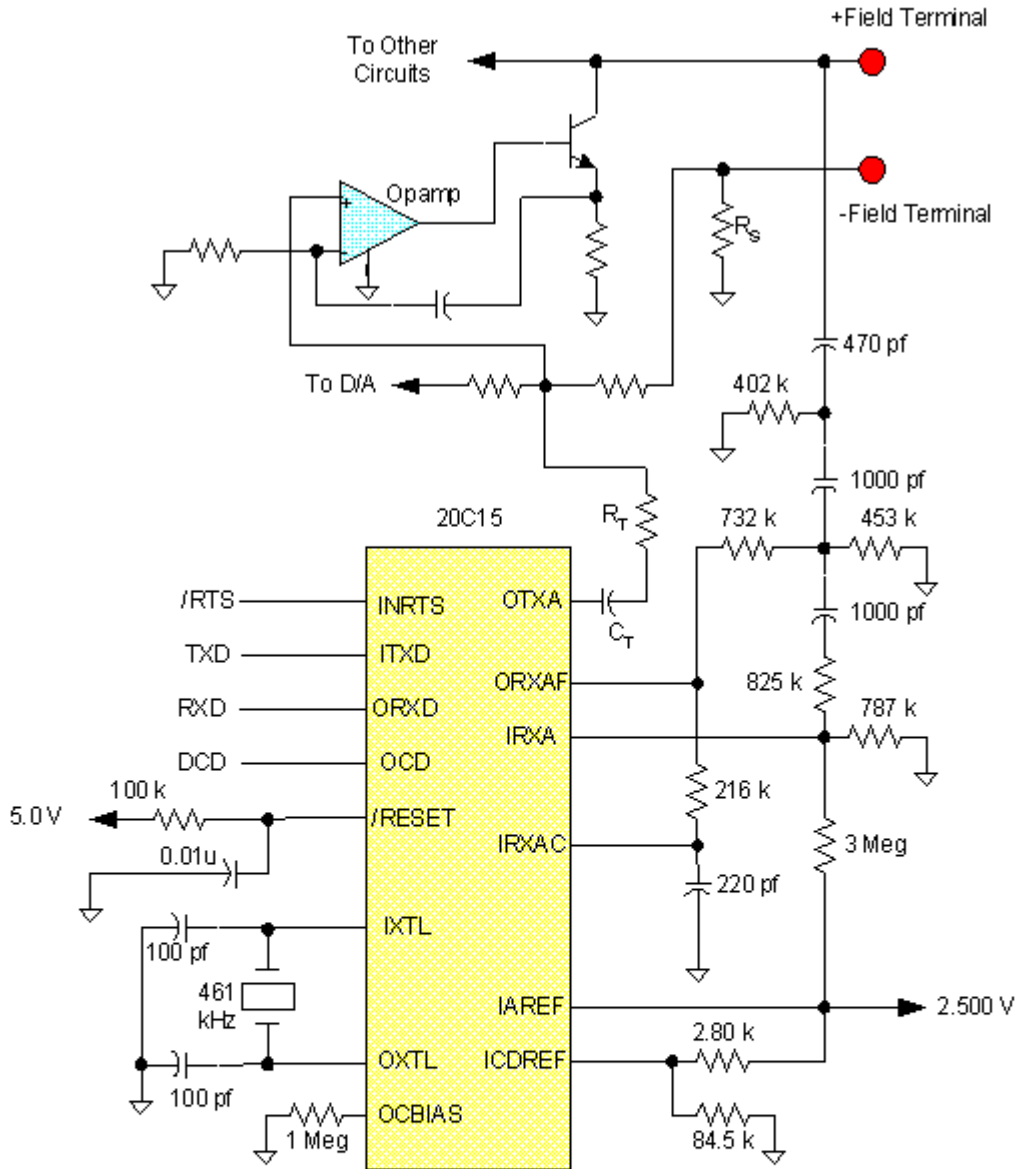
$R_T$  is chosen to produce 1 mA pp at terminals

$R_T C_T$  product > 0.001 second

Figure 2



**Field Instrument, 5.0 Volt Supply:**

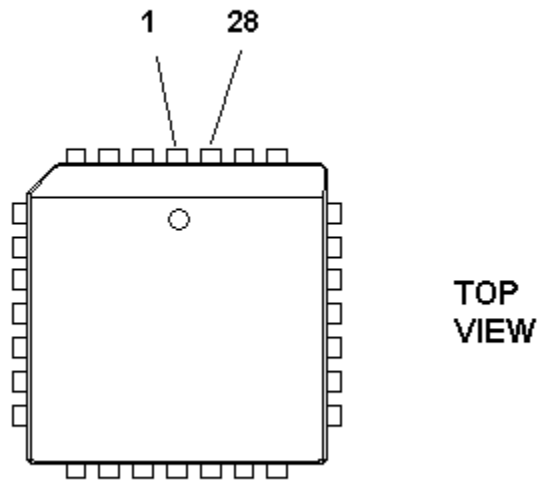


Notes:

- OTXA Output is 1.01 volt pp
- $R_s$  is current sense resistor
- $R_T$  is chosen to produce 1 mA pp at terminals
- $R_T C_T$  product > 0.001 second

**Figure 3**

**Package**



**Figure 4**

**Package -- 28 Pin PLCC**

**References**

- 1.1. Control Magazine, "You Gotta Have HART ...", June, 1998, Putman Publishing Company 555 Pierce Road, Suite 301, Itasca, Illinois 60143
- 1.2. Control Engineering Magazine, "4-20 mA Transmitters Alive and Kicking," October 1998.
- 1.3. ARC Study as reported in I&CS Magazine, "Pressure Transmitter: A Unit For Every Application," November, 1999.
- 1.4. Rosemount Inc., 12001 Technology Drive, Eden Prairie, MN 55344.
- 1.5. HART Communication Foundation, 9390 Research Blvd., Suite II-250, Austin, TX, 78759
- 1.6. HART Field Communications Protocol: A Technical Overview, HCF LIT 20, rev. 2, 1994, HART Communication Foundation.
- 1.7. Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems, ISA SP-50, Instrument Society of America.

- 2.1 Questions on real-time programming in Programming Questions,
- 2.2 Ramamritham, K., et. al., "Using Windows NT for Real-Time Applications: Experimental Observations and Recommendations," 1998 IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium.
- 2.3 HART Physical Layer Test Procedure, HCF\_TEST-2, Revision 1.0, 1995, HART Communication Foundation.
- 2.4 BS 6305:1992, "General Requirements for Apparatus for Connection to Public Switched Telephone Networks Run By Certain Public Telecommunications Operators," British Standards Institution, Linford Wood, Milton Keynes, MK14 6LE.
- 2.5 Ott, H.W., Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, Wiley, 1976.
- 2.6 EN50082-2, "Electromagnetic Compatibility Generic Immunity Standard, Part 2: Industrial Environment".
- 2.7 ENV50141:1993, "Electromagnetic Compatibility -- Basic Immunity Standard -- Conducted Disturbances Induced by Radio-Frequency Fields -- Immunity Test."
- 2.8 Stahlings, W., ed., Tutorial: Local Network Technology, IEEE Computer Society Press, 1983.
- 2.9 DeviceNet Standard. Originally developed by Allen-Bradley, now Open DeviceNet Vendor's Association (ODVA) ODVA, PMB 499 \* 20423 State Road 7 #F6 \* Boca Raton, FL 33498-6797 USA.
- 2.10 NT International, Minneapolis, MN, 612-502-0200.
- 3.1 MATLAB, Mathworks, Inc., Natick, MA.
- 3.2 ISO/IEC 7498-1:1994(E), "Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: The Basic Model," ISO/IEC, Case Postale 56, CH-1211 Geneva 20, Switzerland.
- 3.3 Bennet, W.R., and Rice, S.O., "Spectral Density and Autocorrelation Functions Associated with Binary Frequency-Shift Keying", Bell System Technical Journal, Sept., 1963.
- 3.4 Proakis, J.G., Digital Communications, McGraw-Hill, 1983.
- 3.5 Shanmugam, K.S., "Digital and Analog Communication Systems," 1979, John Wiley & Sons.
- 3.6 Private Communication with Doug Arntson of Rosemount Inc.
- 3.7 Private Communication with Jay Warrior of Rosemount Inc.

*TRẦN XUÂN TÙY*

# **HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG THỦY LỰC**

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC KỸ THUẬT

**TS. TRẦN XUÂN TÙY**

**HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN  
TỰ ĐỘNG THỦY LỰC**

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC KỸ THUẬT  
Hà Nội - 2002**

# LỜI GIỚI THIỆU

*Truyền động thủy lực trong máy công cụ, thiết bị... thuộc lĩnh vực kỹ thuật tiên tiến trong cơ khí hóa và tự động hóa quá trình sản xuất công nghiệp. Với cuộc cách mạng khoa học và công nghệ hiện thời thì truyền động thủy lực phát triển mới và công nghệ cao hơn. Đó là điều khiển tự động hệ thủy lực cho các máy công cụ, trung tâm gia công CNC, dây chuyền tự động linh hoạt robot hóa...*

*Việc đào tạo đội ngũ kỹ thuật và chuyên gia lĩnh vực này ở Việt Nam trong thời kỳ công nghiệp hóa và hiện đại hóa là rất quan trọng và cấp thiết.*

*Những năm trước đây, việc đào tạo ngành cơ khí trong các trường đại học kỹ thuật - công nghệ, có giảng dạy, thí nghiệm, thiết kế tốt nghiệp, viết giáo trình, sách tham khảo về truyền động thủy lực trong máy công cụ và thiết bị nhưng còn ít hoặc chưa đề cập đến phân hiện đại đáp ứng cho quá trình công nghiệp hóa, tự động hóa ở trình độ cao. Đó là điều khiển tự động hệ thống thủy lực.*

*Để viết quyển sách này, tác giả đã dành nhiều thời gian khảo cứu lý thuyết, xây dựng thí nghiệm, nghiên cứu khoa học và ứng dụng thực tiễn, cũng như tham quan, thực tập và tiến hành thí nghiệm ở nước ngoài về lĩnh vực điều khiển tự động thủy lực.*

*Chương 1 tổng hợp cơ bản và có tính hệ thống, phân tích, tính toán các thông số chính trong mạch truyền động thủy lực. Chương 2 trình bày các đặc trưng chủ yếu như độ đàn hồi của dầu, độ cứng thủy lực, tần số dao động riêng ... nhằm phục vụ cho nghiên cứu động lực học của truyền động thủy lực ở chương 3, kết quả này giúp cho việc nghiên cứu điều khiển hệ thủy lực làm việc ổn định, tin cậy, chính xác. Nội dung ở chương 2 khá súc tích và mới. Từ chương 4 đến 7 trình bày các nội dung chính với phương pháp tính toán thiết kế mới và hiện đại. Tác giả viết trên cơ sở ứng dụng điều khiển học kỹ thuật để phân tích sai số, xác định hàm truyền của một số mạch điều khiển, điều khiển vị trí, vận tốc, tải trọng với các phân tử điều khiển cơ bản trong hệ điều khiển tự động thủy lực như van điều khiển, bộ khuếch đại, các loại cảm biến .... Từ đó tính toán và thiết kế các mạch điều khiển tự động thủy lực với nhiều ví dụ cụ thể có chọn lọc.*

*Phần tin học ứng dụng để phục vụ cho nghiên cứu, thiết kế, thí nghiệm điển hình về điều khiển tự động hệ thủy lực, cũng như điều khiển tự động thủy-khí, tác giả đã thực hiện và thu được kết quả đáng kể, còn được tiếp tục ở tài liệu sau.*

*Trên cơ sở 28 tài liệu tham khảo được công bố những năm gần đây tác giả đã viết quyển sách này, cùng với quyển " Điều khiển tự động trong lĩnh vực cơ khí" (Nhà xuất bản Giáo dục- 1998) tạo ra sự kết hợp hoàn chỉnh hướng chuyên môn hẹp và hiện đại của ngành cơ khí, giúp cho công việc giảng dạy, đào tạo, nghiên cứu và chuyển giao công nghệ thuộc lĩnh vực truyền động và điều khiển tự động hệ thủy lực có hiệu quả cao.*

*PGS.TS. Phạm Đắp  
Khoa cơ khí  
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

# LỜI NÓI ĐẦU

"Điều khiển tự động hệ thủy lực" là giáo trình phục vụ cho các đối tượng học tập, nghiên cứu về điều khiển tự động của các ngành cơ khí và tự động hoá ở các trường đại học kỹ thuật, các trường cao đẳng kỹ thuật và các cơ sở sản xuất, nghiên cứu. Đây là tập tiếp theo của giáo trình "Điều khiển tự động trong các lĩnh vực cơ khí" do Nhà xuất bản Giáo dục phát hành năm 1998.

Kỹ thuật truyền động và điều khiển hệ thủy lực đã phát triển mạnh ở các nước công nghiệp. Kỹ thuật này được ứng dụng để truyền động cho những cơ cấu có công suất lớn, thực hiện điều khiển logic cho các thiết bị hoặc dây chuyền thiết bị tự động, đặc biệt nhờ khả năng truyền động được vô cấp mà nó được ứng dụng để điều khiển vô cấp tốc độ, tải trọng và vị trí của cơ cấu chấp hành. Hiện nay, hệ thủy lực được sử dụng để điều khiển các thiết bị như máy ép điều khiển số, robot công nghiệp, máy CNC hoặc trong các dây chuyền sản xuất tự động.

Giáo trình này chủ yếu trình bày phương pháp tính toán thiết kế cho hệ điều khiển vô cấp mà các tài liệu khác chưa bàn đến hoặc mới đề cập ở mức sơ lược. Nội dung của giáo trình bao gồm các vấn đề sau : Phương pháp phân tích và tính toán các thông số của mạch điều khiển thủy lực; tính toán độ đàn hồi của dầu, độ cứng thủy lực và tần số dao động riêng của hệ thủy lực; bài toán nghiên cứu động lực học của hệ thủy lực; giới thiệu các phần tử điều khiển cơ bản của hệ thủy lực; kỹ thuật điều khiển vị trí, tốc độ và tải trọng, ngoài ra tài liệu còn giới thiệu lý thuyết tính toán thiết kế các mạch điều khiển tự động hệ thủy lực và các ví dụ minh họa.

Đây là giáo trình chuyên ngành mang tính nghiên cứu ứng dụng, những vấn đề lý thuyết và những ví dụ trình bày sẽ giúp cho người đọc có thể tiếp cận nhanh với những bài toán thực tế, nhất là trong giai đoạn hiện nay, kỹ thuật điều khiển tự động đang có khuynh hướng phát triển mạnh, các thiết bị và các dây chuyền sản xuất tự động ứng dụng kỹ thuật điều khiển thủy lực đang thâm nhập vào Việt Nam ngày càng nhiều nên việc nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật này để thiết kế, bảo dưỡng và khai thác có hiệu quả là việc làm thiết thực.

Chúng tôi mong rằng giáo trình này sẽ giúp ích cho mọi đối tượng học tập, nghiên cứu làm việc trong lĩnh vực điều khiển hệ thủy lực và mong nhận được các ý kiến đóng góp để lần tái bản tới, giáo trình sẽ hoàn thiện hơn.

TÁC GIẢ

## Chương 1

# PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN TRONG MẠCH ĐIỀU KHIỂN THỦY LỰC

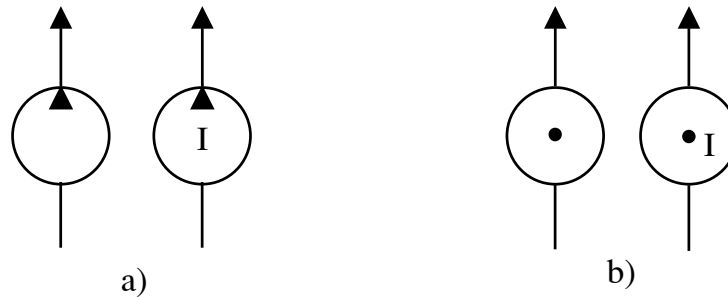
### 1.1. QUAN HỆ GIỮA ÁP SUẤT VÀ LƯU LƯỢNG

#### 1.1.1. Nguồn thủy lực

Hiện nay người ta chia nguồn thủy lực thành hai dạng sau :

- Nguồn lưu lượng không đổi.
- Nguồn áp suất không đổi.

Theo ISO R1219, các nguồn thủy lực được ký hiệu như trên hình 1.1.



Hình 1.1. Ký hiệu về nguồn thủy lực

a- Nguồn lưu lượng không đổi; b- Nguồn áp suất không đổi.

Ký hiệu trên thực chất là ký hiệu của bơm dầu, khi trong đó có thêm chữ I, có nghĩa đó là nguồn cung cấp lý tưởng (không có tổn thất lưu lượng và tổn thất áp suất trong bơm).

Công suất trong mạch thủy lực được xác định theo :

$$N = \frac{dE}{dt} \text{ với } E = \int P.dV \quad (1.1)$$

hay :

$$N = P \cdot \frac{dV}{dt} = P \cdot Q \quad (1.2)$$

trong đó :

- E - đặc trưng cho công;
- V - thể tích chất lỏng truyền được;
- N - công suất truyền;
- P - áp suất chất lỏng.



Tùy thuộc vào thứ nguyên của áp suất P và lưu lượng Q mà công thức (1.2) có thêm các hệ số.

Mô hình tính toán của nguồn lưu lượng lý tưởng là :  $N_{ra} = N_{vào}$

nghĩa là :  $P.Q = M_x . \Omega$  (1.3)

trong đó :  $M_x$  - mômen xoắn trên trục vào của bơm;

$\Omega$  - vận tốc góc của trục bơm.

Nếu gọi V là thể tích chất lỏng bơm được, D là dung tích làm việc của bơm trong một radian và  $\theta$  là góc quay của bơm, ta có quan hệ :

$$V = D . \theta \quad (1.4)$$

Lấy đạo hàm ( 1.4 ) :  $\frac{dV}{dt} = D . \frac{d\theta}{dt}$

mà :  $\frac{dV}{dt} = Q$  và  $\frac{d\theta}{dt} = \Omega$  nên  $Q = D . \Omega$  (1.5)

Thay (1.5) vào (1.3) :  $P.Q = P.D.\Omega = M_x . \Omega$

hay :  $M_x = P.D$  (1.6)

Nếu dung tích đo trong một vòng quay của bơm là  $D_{vg}$  thì :

$$D = \frac{D_{vg}}{2.\pi} \quad ; \quad M_x = \frac{P.D}{2.\pi} \quad (1.7)$$

và :  $Q = D_{vg} . \frac{n}{60}$  (1.8)

Trường hợp với nguồn áp suất không đổi thì lưu lượng ra có thể thay đổi theo một hàm nào đó nhưng áp suất ra luôn không đổi.

Các công thức trên cũng sử dụng để tính toán cho động cơ dầu.

### 1.1.2. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép nối tiếp và ghép song song

Khi chất lỏng chảy qua khe hẹp thì lưu lượng tỷ lệ với căn bậc 2 của hiệu áp trước và sau khe hẹp :

$$Q = K_0 . \sqrt{P} \quad (1.9)$$

trong đó : P - hiệu áp trước và sau khe hẹp;

$K_0$  - hệ số liên quan đến sức cản thủy lực được xác định bằng thực nghiệm theo công thức :

$$K_0 = \frac{Q_{\text{thực nghiệm}}}{\sqrt{P_{\text{thực nghiệm}}}} \quad (1.10)$$

Lưu lượng và áp suất xác định theo công thức (1.9) là dòng chất lỏng chảy rối. Đây là trường hợp phổ biến của dòng chất lỏng chảy trong hệ thống kín. Tuy nhiên thực tế cũng có không ít trường hợp chất lỏng thực hiện dòng chảy tầng, khi đó quan hệ giữa áp suất và lưu lượng là tuyến tính :

$$Q = K.P \quad (1.11)$$

K là hệ số liên quan đến sức cản thủy lực khi chảy tầng.

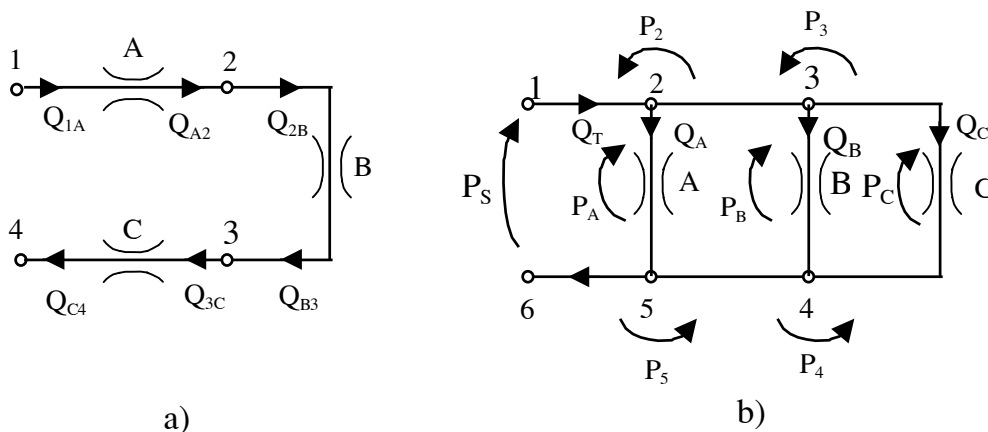
Nếu giả thiết tổn thất lưu lượng không đáng kể thì phương trình liên tục của dòng chảy thể hiện là tổng lưu lượng đi vào một nút bằng tổng lưu lượng đi ra nút đó :

$$\Sigma Q_{\text{vào}} = \Sigma Q_{\text{ra}} \quad (1.12)$$

Để nghiên cứu mạch thủy lực ta có khái niệm về loại mạch ghép nối tiếp và ghép song song như sau :

- *Mạch nối tiếp* là mạch mà trong đó không có sự phân nhánh và lưu lượng ở mọi nơi trên đường truyền dẫn đều bằng nhau.

- *Mạch song song* là mạch khi phân nhánh hiệu áp ở mọi nhánh đều bằng nhau.



Hình 1.2. Sơ đồ ghép nối tiếp và ghép song song

a - Sơ đồ ghép nối tiếp; b - Sơ đồ ghép song song.

Trên hình 1.2a, các khe hẹp A, B và C (hay gọi là tiết diện chảy) được ghép nối tiếp nhau theo trình tự 1 - A - 2 - B - 3 - C - 4. Lưu lượng chất lỏng đi trong mạch là như nhau, tức là :

$$Q_{1A} = Q_{A2} = Q_{2B} = Q_{B3} = Q_{3C} = Q_{C4} \quad (1.13)$$

Ở hình 1.2b, các khe hẹp A, B và C được ghép song song với nhau, hiệu áp được tính là :

$$P_S = P_2 + P_3 + P_C + P_4 + P_5 \quad (1.14)$$

Nếu

$$P_2 = P_3 = P_4 = P_5 \quad \text{thì} \quad P_S = P_C$$

Tương tự ta có :

$$P_S = P_C = P_B = P_A \quad (1.15)$$

Lưu lượng :  $Q_T = Q_A + Q_B + Q_C$  (1.16)

Trong các loại van trượt điều khiển khí chất lỏng chảy qua khe hẹp có tiết diện chảy thay đổi thì quan hệ giữa lưu lượng và độ dịch chuyển về điều chỉnh tiết diện chảy của van xác định theo công thức sau :

$$Q = K_v \cdot f(x) \cdot \sqrt{P} \quad (1.17)$$

và :  $Q_{dm} = K_v \cdot f(x_{max}) \cdot \sqrt{P_{dm}}$  (1.18)

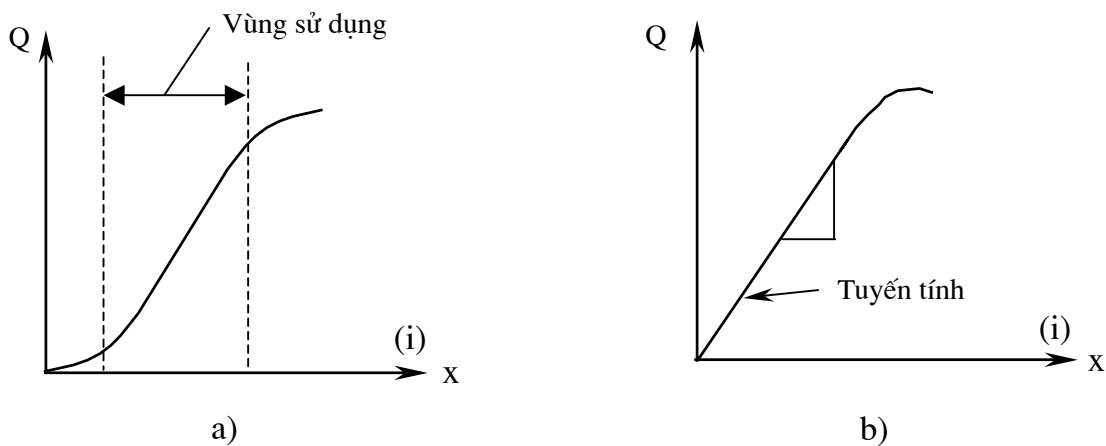
trong đó :  $K_v$  - hệ số;

$Q_{dm}$  và  $P_{dm}$  - lưu lượng và hiệu áp định mức của van;

$f(x_{max})$  - hàm quan hệ giữa tiết diện chảy và độ dịch chuyển lớn nhất của van.

Đặc tính quan hệ giữa lưu lượng  $Q$  và độ dịch chuyển của con trượt  $x$  của van theo công thức (1.17) thể hiện ở hình 1.3a. Các nhà thiết kế, chế tạo van luôn mong muốn quan hệ  $Q$ -  $x$  là tuyến tính, ngay cả các loại van điện thủy lực quan hệ giữa lưu lượng  $Q$  và dòng điện điều khiển van  $i$ , người ta cũng mong muốn là tuyến tính như ở hình 1.3b.

$$Q = K \cdot \frac{i}{i_{max}} \sqrt{P} \quad \text{với } 0 < i < i_{max} \quad (1.19)$$



Hình 1.3. Đồ thị quan hệ giữa  $Q$  và  $x$ ,  $Q$  và  $i$  của van trượt điều khiển

a - Đặc tính thực; b - Đặc tính lý thuyết hoặc đã tuyến tính hoá.

### 1.1.3. Các mạch thủy lực thường gặp

#### 1. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép nối tiếp (hình 1.4)

Hiệu áp trên mạch nối tiếp hình 1.4a xác định là :

$$P_s = P_1 + P_2 + \dots + P_i + P_n \quad (1.20)$$

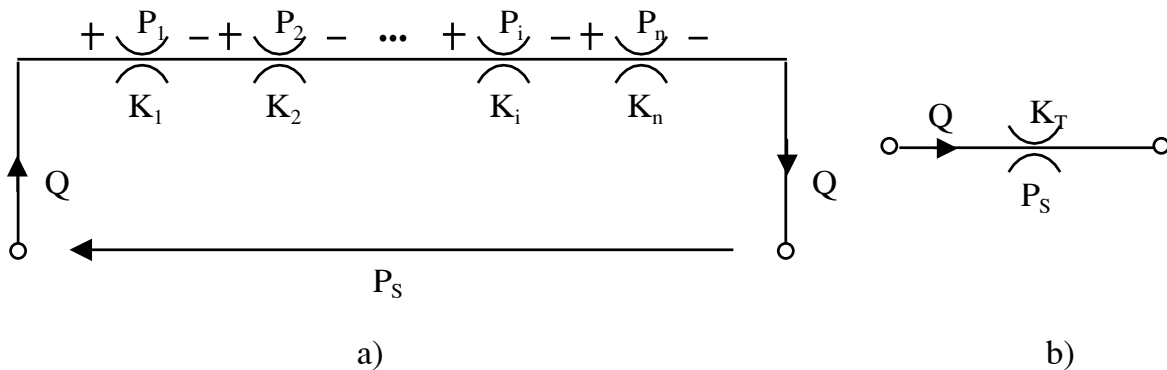
Tức là hiệu áp bằng tổng các hiệu áp thành phần.

Như ta biết với dòng chảy rối thì :  $Q = K_i \sqrt{P_i}$  hay  $P_i = \frac{Q^2}{K_i^2}$  (1.21)

Thay (1.21) vào (1.20) ta có :

$$P_S = \frac{Q^2}{K_1^2} + \frac{Q^2}{K_2^2} + \dots + \frac{Q^2}{K_i^2} + \frac{Q^2}{K_n^2} = Q^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^2}$$
 (1.22)

hay :  $P_S = Q^2 \cdot \frac{1}{K_T^2}$  Với  $K_T = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^2}}}$  (1.23)



Hình 1.4. Sơ đồ ghép nối tiếp

a - Sơ đồ ghép nối tiếp; b - Sơ đồ tương đương.

Hoặc nếu thay (1.23) vào (1.21) thì :

$$P_i = P_S \cdot K_T^2 \cdot \frac{1}{K_i^2} = \frac{P_S}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^2}} \cdot \frac{1}{K_i^2}$$
 (1.24)

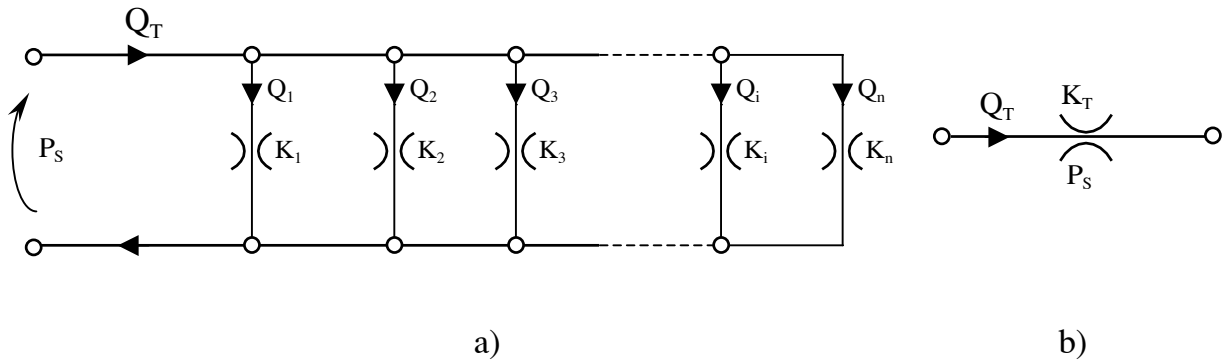
Như vậy mạch thủy lực chảy rối có các tiết diện chảy ghép nối tiếp như ở hình 1.4a sẽ tương đương với mạch thủy lực có một tiết diện chảy như ở hình 1.4b và có hệ số  $K_T$  xác định theo công thức (1.23).

## 2. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép song song (hình 1.5)

Khi các tiết diện chảy ghép song song thì lưu lượng tổng cộng bằng tổng các lưu lượng thành phần, nghĩa là :

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_i + Q_n$$
 (1.25)

hay :  $Q_T = K_1 \cdot \sqrt{P_S} + K_2 \cdot \sqrt{P_S} + K_3 \cdot \sqrt{P_S} + \dots + K_i \cdot \sqrt{P_S} + K_n \cdot \sqrt{P_S} = K_T \cdot \sqrt{P_S}$  (1.26)



Hình 1.5. Sơ đồ ghép song song

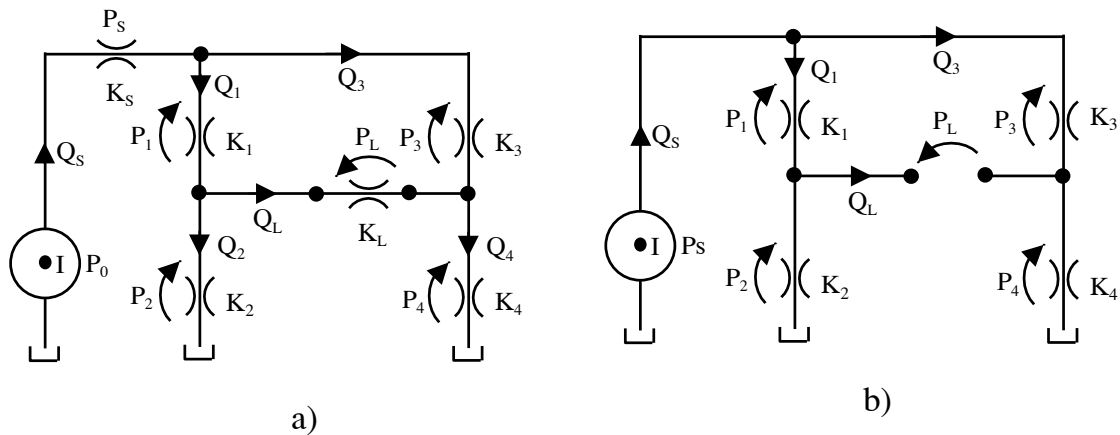
a - Sơ đồ ghép song song; b - Sơ đồ tương đương.

trong đó :

$$K_T = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_i + K_n = \sum_{i=1}^n K_i \quad (1.27)$$

Như vậy, khi có n tiết diện chảy ghép song song có thể thay thế bằng 1 tiết diện chảy có hệ số  $K_T$  bằng tổng các giá trị  $K_i$  thành phần. Mô hình trên hình 1.5a được thay bằng một mô hình tương đương như ở hình 1.5b.

### 3. Mạch thủy lực có các tiết diện chảy ghép phối hợp



Hình 1.6. Sơ đồ ghép phối hợp

a- Sơ đồ có nhánh liên kết  $K_L$ ; b- Sơ đồ không có nhánh liên kết.

Mạch phối hợp trên hình 1.6a còn gọi là mạch bắc cầu, trên đó có 7 giá trị tổn thất áp suất và 6 giá trị lưu lượng. Giá trị của hệ số  $K_L$  của nhánh bắc cầu quyết định giá trị lưu

lượng đi qua  $Q_L$ . Mạch này thường thấy trong các van điện- thủy lực, con trượt của van được điều khiển bằng điện từ có sự phối hợp của ống phun dầu.

Phương trình liên tục của lưu lượng là :

$$Q_s = Q_1 + Q_3 ; Q_2 = Q_1 - Q_L ; Q_4 = Q_L + Q_3 \quad (1.28)$$

Phương trình cân bằng áp suất là :

$$P_0 = P_s + P_1 + P_2 ; P_1 = P_3 - P_L ; P_2 = P_L + P_4 \quad (1.29)$$

trong đó :

$$P_s = \frac{Q_s^2}{K_s^2} ; P_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} ; P_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} ; P_3 = \frac{Q_3^2}{K_3^2} ; P_4 = \frac{Q_4^2}{K_4^2} ; P_L = \frac{Q_L^2}{K_L^2} \quad (1.30)$$

Thay (1.28) và (1.30) vào (1.29) ta có :

$$P_0 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} + \frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} + \frac{Q_s^2}{K_s^2} ; \quad \frac{Q_1^2}{K_1^2} = \frac{Q_3^2}{K_3^2} - \frac{Q_L^2}{K_L^2}$$

$$\frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} = \frac{Q_L^2}{K_L^2} + \frac{(Q_L + Q_3)^2}{K_4^2} \quad (1.31)$$

hoặc :

$$P_0 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} + \frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} + \frac{Q_s^2}{K_s^2} ; \quad \frac{Q_1^2}{K_1^2} - \frac{Q_3^2}{K_3^2} + \frac{Q_L^2}{K_L^2} = 0 \quad (1.32)$$

$$-\frac{(Q_1 - Q_L)^2}{K_2^2} + \frac{Q_L^2}{K_L^2} + \frac{(Q_L + Q_3)^2}{K_4^2} = 0$$

Nếu coi sức cản thủy lực ở tiết diện  $K_s$  bằng không tức là  $K_s = \infty$  và sức cản ở tiết diện  $K_L$  bằng vô cùng, tức là  $K_L = 0$  thì hai nhánh ghép song song bị ngăn cách ( $Q_L = 0$ ); Khi đó sơ đồ trên hình 1.6a sẽ đơn giản hơn và được thể hiện ở hình 1.6b, quan hệ áp suất sẽ xác định là :

$$P_2 = P_s \cdot \frac{K_1^2}{K_1^2 + K_2^2} \quad (1.33)$$

$$P_4 = P_s \cdot \frac{K_3^2}{K_3^2 + K_4^2} \quad (1.34)$$

$$P_L = P_2 - P_4 \quad (1.35)$$

Nếu thay (1.33) và (1.34) vào (1.35) thì :

$$P_L = P_s \cdot \left[ \frac{K_1^2}{K_1^2 + K_2^2} - \frac{K_3^2}{K_3^2 + K_4^2} \right] \quad (1.36)$$

Khi mối liên kết có áp suất cân bằng ( $P_L = 0$ ), ta có :

$$\frac{K_1^2}{K_1^2 + K_2^2} = \frac{K_3^2}{K_3^2 + K_4^2} \quad \text{hoặc} \quad K_1 \cdot K_4 = K_2 \cdot K_3 \quad (1.37)$$

Loại mạch thủy lực có các hệ số xác định theo công thức (1.37) này hay gặp ở van trượt điều khiển.

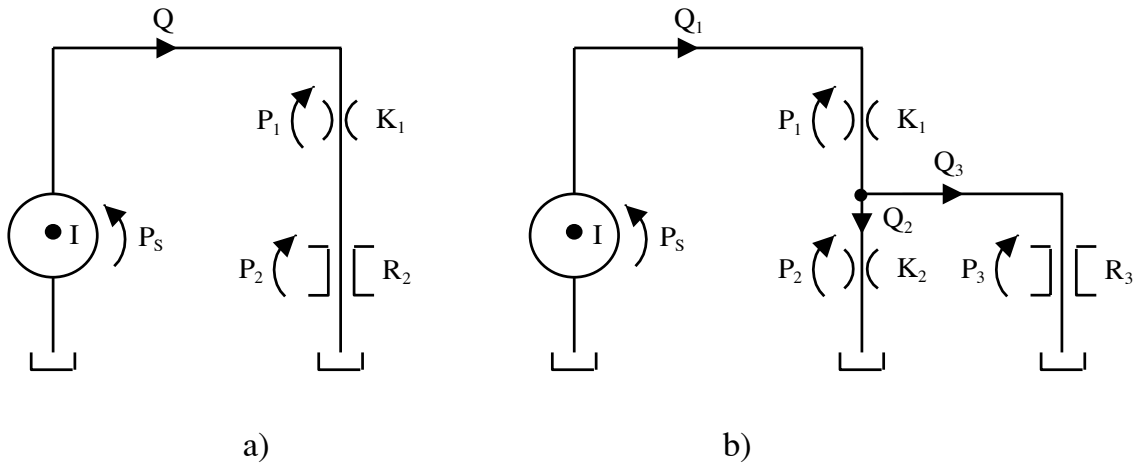
#### 4. Mạch thủy lực vừa chảy tầng vừa chảy rối

- Trường hợp ghép nối tiếp (hình 1.17a)

$$P_s = P_1 + P_2 \quad (1.38)$$

trong đó :

$$P_1 = \frac{Q^2}{K_1^2}; \quad P_2 = R_2 \cdot Q$$



Hình 1.7. Sơ đồ mạch thủy lực vừa chảy tầng vừa chảy rối

a- Sơ đồ ghép nối tiếp; b- Sơ đồ ghép nối tiếp kết hợp với ghép song song.

hay :

$$P_s = \frac{Q^2}{K_1^2} + R_2 \cdot Q$$

$$Q^2 + R_2 \cdot K_1^2 \cdot Q - K_1^2 P_s = 0 \quad (1.39)$$

Phương trình (1.39) là phương trình bậc hai theo Q, nghiệm của nó là :

$$Q = -\frac{R_2 \cdot K_1^2}{2} \pm \sqrt{R_2^2 \cdot K_1^4 + 4 \cdot K_1^2 \cdot P_s} \quad (1.40)$$

- Trường hợp vừa ghép nối tiếp vừa ghép song song (hình 1.7b)

Phương trình cân bằng lưu lượng là :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1.41)$$

Phương trình cân bằng áp suất là :

$$P_S = P_1 + P_2 \text{ và } P_2 = P_3 \quad (1.42)$$

trong đó :

$$P_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} ; P_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} \text{ và } P_3 = R_3 \cdot Q_3 \quad (1.43)$$

Thay (1.41) và (1.43) vào (1.42) ta có :

$$P_S = \frac{(Q_2 + Q_3)^2}{K_1^2} + \frac{Q_2^2}{K_2^2} \text{ và } \frac{Q_2^2}{K_2^2} = R_3 \cdot Q_3$$

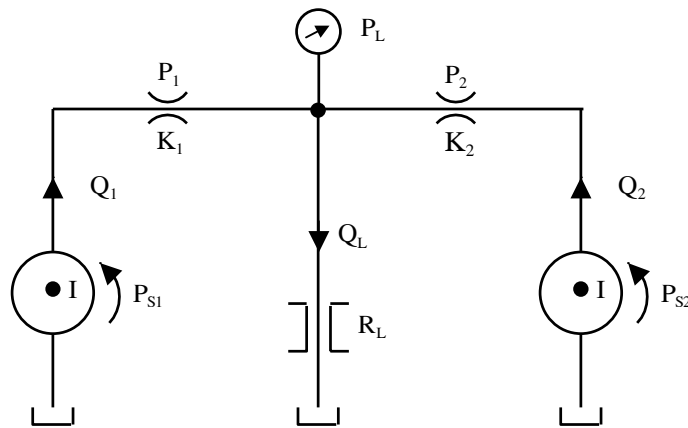
hoặc :

$$P_S = \frac{\left(Q_2 + \frac{Q_2^2}{K_2^2 \cdot R_3}\right)^2}{K_1^2} + \frac{Q_2^2}{K_2^2} \quad (1.44)$$

Khai triển (1.44) sẽ cho ta phương trình bậc 4 đối với  $Q_2$  :

$$Q_2^4 + 2 \cdot Q_2^3 \cdot K_2^2 \cdot R_3 + Q_2^2 \left[ \frac{1}{K_1^2} + \frac{1}{K_2^2} \right] \cdot K_2^4 \cdot K_1^2 \cdot R_3^2 - P_S \cdot K_2^4 \cdot K_1^2 \cdot R_3^2 = 0 \quad (1.45)$$

- Mạch thủy lực có hai nguồn áp suất (hình 1.8)



Hình 1.8. Sơ đồ mạch thủy lực có hai nguồn áp suất

Phương trình cân bằng lưu lượng :

$$Q_1 + Q_2 = \frac{P_L}{R_L} = Q_L \quad (1.46)$$

Ngoài ra ta còn có quan hệ giữa áp suất và lưu lượng của dòng chảy rối là :



$$\frac{Q_1^2}{K_1^2} = P_{S1} - P_L \quad \text{và} \quad \frac{Q_2^2}{K_2^2} = P_{S2} - P_L \quad (1.47)$$

Thay (1.47) vào (1.46) ta được :

$$K_1 \cdot \sqrt{P_{S1} - P_L} + K_2 \cdot \sqrt{P_{S2} - P_L} = \frac{P_L}{R_L} \quad (1.48)$$

Mặt khác :  $P_{S1} = P_1 + P_L$  và  $P_{S2} = P_2 + P_L$  (1.49)

với :  $P_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2}$  ;  $P_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2}$  và  $P_L = (Q_1 + Q_2) \cdot R_L$  (1.50)

Thay (1.50) vào (1.49) ta được các phương trình sau :

$$P_{S1} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} + (Q_1 + Q_2) \cdot R_L \quad (1.51)$$

$$P_{S2} = \frac{Q_2^2}{K_2^2} + (Q_1 + Q_2) \cdot R_L \quad (1.52)$$

Nếu khai triển các phương trình trên sẽ cho ta phương trình bậc 4 đối với  $Q_1$  hoặc  $Q_2$ .

## 1.2. PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN VAN TRƯỢT ĐIỀU KHIỂN

### 1.2.1. Mô hình tính toán tải trọng của con trượt

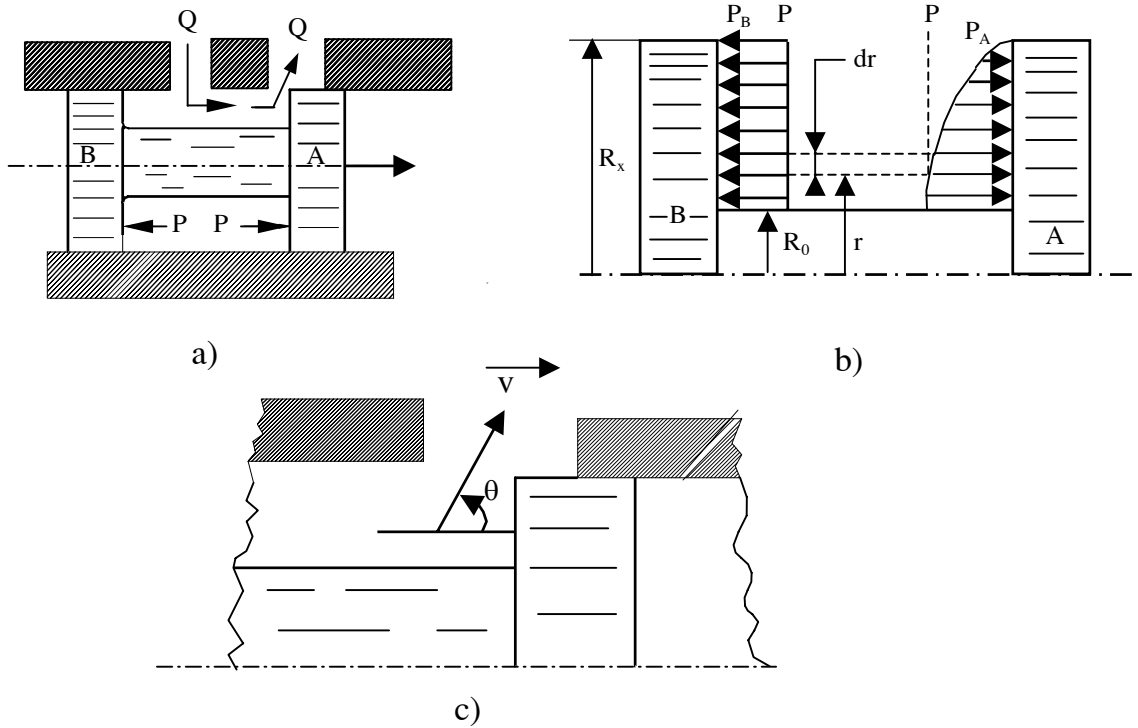
Van trượt điều khiển là một bộ phận rất quan trọng trong mạch điều khiển thủy lực, chúng có nhiều loại, mỗi loại có những đặc điểm về kết cấu và tính toán riêng. Nói chung van trượt điều khiển rất phức tạp về mặt kết cấu và tính toán. Hiện nay có nhiều công trình nghiên cứu về vấn đề này. Phần này chỉ giới thiệu những tính toán cần thiết cho nghiên cứu van trượt điều khiển.

Khi con trượt di chuyển theo hướng x, cửa ra của van mở, chất lỏng đi qua cửa ra và có vectơ vận tốc hợp với trục con trượt một góc là  $\theta$  (hình 1.9a, c). Áp suất thủy tĩnh tác động lên con trượt sẽ phân bố như trên hình 1.9b. Ở cửa vào B áp suất tác động lên con trượt phân bố đều, ở cửa ra A áp suất thay đổi theo quy luật bậc hai giảm dần gần phía mép cửa ra.

Lực tác dụng lên con trượt ở phía B :  $f_B = \int_{R_0}^{R_x} P_B \cdot dA$  (1.53)

Vì áp suất phân bố đều trên toàn bộ bề mặt của con trượt nên :

$$f_B = P_B \cdot F_B \quad \text{với} \quad P_B = P \quad (1.54)$$



Hình 1.9. Sơ đồ tính toán lực chiều trục của con trượt điều khiển

- a- Sơ đồ nguyên lý làm việc của con trượt;
- b- Sơ đồ thể hiện sự phân bố áp suất trên con trượt;
- c- Sơ đồ thể hiện hướng chuyển động của dầu ở mép điều khiển.

Lực tác dụng lên con trượt ở phía A :

$$f_A = \int_{R_0}^{R_x} P_A \cdot dA \quad (1.55)$$

Vì chất lỏng đi qua khe hẹp của van làm áp suất giảm xuống nên :

$$f_B > f_A \text{ tức là } f_B - f_A = f_Q > 0 \quad (1.56)$$

Do có lực chiều trục  $f_Q$  mà con trượt có xu hướng đóng van.

Trong các công thức trên các ký hiệu có ý nghĩa như sau :

$F_B, F_A$  - diện tích hình vành khăn của con trượt có bán kính trong là  $R_0$ , và bán kính ngoài là  $R_x$ ;

$dA$  - vi phân của diện tích hình vành khăn có bán kính trong là  $r$  và bán kính ngoài là  $r + dr$ .

Lực chiều trục  $f_Q$  được xác định theo công thức sau :

$$f_Q = f_B - f_A = Q \cdot v \cdot \rho \cdot \cos\theta \quad (1.57)$$

$$Q = C_Q \cdot F_A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad \text{hay} \quad \frac{Q}{C_Q \cdot F_A} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} = v \quad (1.58)$$

Thay (1.58) vào (1.57) thì :  $f_Q = C_Q \cdot \sqrt{2 \cdot \rho} \cdot Q \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot \cos\theta$

hoặc :  $f_Q = K_Q \cdot Q \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot \cos\theta \quad (1.59)$

trong đó :  $v$  - vận tốc chất lỏng ở cửa hẹp;

$\rho$  - tỷ trọng của chất lỏng;

$K_Q = C_Q \cdot \sqrt{2 \cdot \rho}$  - hệ số;

$\Delta P$  - hiệu áp trước và sau cửa hẹp;

$C_Q$  - hệ số phụ thuộc vào kết cấu hình học của tiết diện chảy;

$\theta$  - góc hợp bởi vectơ vận tốc ở cửa ra của dòng chất lỏng với trục con trượt.

Góc  $\theta$  phụ thuộc vào kết cấu hình học của các mép ra của van.

Như vậy, do tiết diện chảy thay đổi đột ngột gây ra hiệu ứng thủy động làm cho áp suất của chất lỏng tác dụng lên bề mặt của con trượt ở phía A và B không cân bằng nhau. Khi thiết kế van cần có biện pháp để cân bằng lực chiều trục  $f_Q$ .

### 1.2.2. Mô hình ổn định con trượt của van bằng thủy lực kết hợp với lò xo (hình 1.10)

Hình 1.10 trình bày loại van trượt 2 cửa và 2 vị trí, trong đó có đường dẫn dầu phụ kết hợp với lò xo để cân bằng vị trí điều khiển của con trượt.

Phương trình cân bằng con trượt là :

$$P_S A_P - P_T \cdot A_M - f_Q - K_S \cdot (x + x_0) = m_S \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1.60)$$

trong đó :  $m_S$  - khối lượng của con trượt;

$x$  - lượng dịch chuyển của con trượt;

$x_0$  - lượng dịch chuyển ban đầu của lò xo;

$K_S$  - độ cứng lò xo;

$f_Q$  - lực thủy động theo tính theo công thức (1.59);

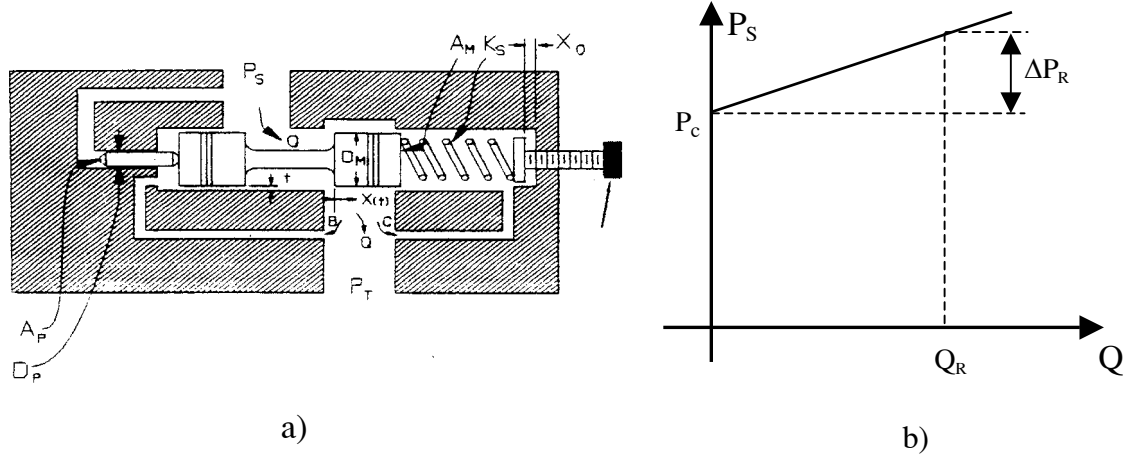
$A_P$  và  $A_M$  - diện tích bề mặt chịu áp suất của chốt và của con trượt.

Nếu con trượt ở vị trí cân bằng thì  $\frac{d^2 x}{dt^2} = 0$  và phương trình (1.60) sẽ là :

$$P_S \cdot A_P - P_T \cdot A_M - f_Q - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.61)$$

Thay  $Q = K_0 \cdot A(x) \cdot \sqrt{P_S - P_T}$  vào (1.59) sau đó thay  $f_Q$  vào (1.61) ta được :

$$P_S \cdot A_P - P_T \cdot A_M - K_Q \cdot A(x) \cdot (P_S - P_T) \cdot \cos\theta - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.62)$$



Hình 1.10. Sơ đồ van trượt điều khiển có con trượt được cân bằng nhờ kết hợp giữa thủy lực và lò xo

a- Sơ đồ nguyên lý hoạt động; b- Đặc tính P - Q của van.

Giả sử áp suất ở cửa ra  $P_T \approx 0$  thì :

$$P_S \cdot A_P - K_Q \cdot A(x) \cdot P_S \cos\theta - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.63)$$

Phương trình (1.62) hoặc (1.63) là cơ sở để thiết kế kết cấu van loại như trên.

Trong các công thức trên  $A(x)$  là tiết diện chảy của dầu qua van, nó được xác định như sau :

$$A(x) = \pi D_M \cdot x \quad (1.64)$$

và :  $A_{\max} = A(x_{\max}) = \pi D_M \cdot x_{\max} \quad (1.65)$

Tương ứng với di chuyển lớn nhất của con trượt ( $x_{\max}$ ) sẽ cho lưu lượng lớn nhất  $Q_R$  :

$$Q_R = K_0 \cdot \pi \cdot D_M \cdot x_{\max} \cdot \sqrt{P_S - P_T} \quad (1.66)$$

với :  $P_S - P_T = P_C + \Delta P_R$

trong đó :  $P_C$  - áp suất tương ứng với trạng thái van đóng;

$\Delta P_R$  - giá trị gia tăng của áp suất tương ứng với van mở lớn nhất.

Đặc tính  $P_S$  -  $Q$  của van trượt điều khiển thể hiện ở hình 1.10b.

Trường hợp khi  $x = 0$ ,  $P_S = P_C$  và  $P_T \approx 0$  thì công thức (1.63) sẽ là :

$$P_C \cdot A_P = K_S \cdot x_0 \quad (1.67)$$

Khi đó sẽ tương ứng với van đóng.

### 1.2.3. Mô hình tính toán van giảm áp kiểu con trượt

Mô hình tính toán van giảm áp kiểu con trượt được thể hiện trên hình 1.11. Phương trình cân bằng con trượt của van là :

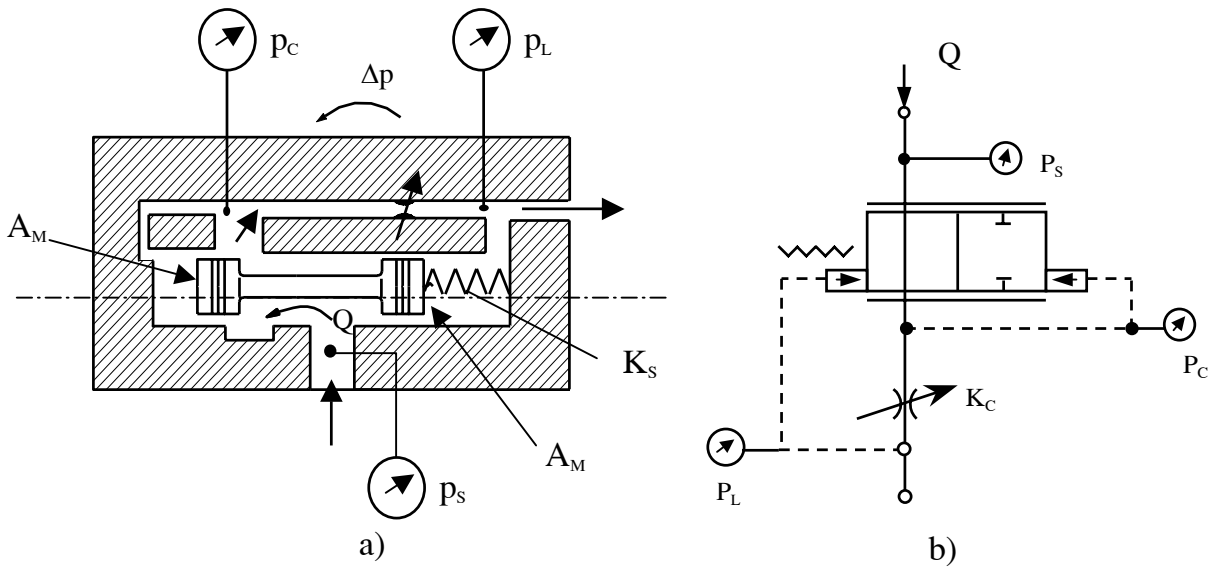
$$P_C \cdot A_M + f_Q - P_L \cdot A_M - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.68)$$

Phương trình cân bằng lưu lượng là :

$$Q = K_0 \cdot A(x) \cdot \sqrt{P_S - P_C} = K_C \cdot \sqrt{P_C - P_L} \quad (1.69)$$

Nếu  $P_L \approx 0$  thì :  $Q = K_C \cdot \sqrt{P_C}$  hay  $P_C = \frac{Q^2}{K_C^2}$

Ta còn có :  $f_Q = K_Q \cdot Q \cdot \sqrt{P_S - P_C} \cdot \cos\theta(x)$



Hình 1.11. Van giảm áp kiểu con trượt

a- Sơ đồ nguyên lý làm việc; b- Sơ đồ ký hiệu.

Nên công thức (1.68) viết lại là :

$$P_C \cdot A_M + K_Q \cdot Q \cdot \sqrt{P_S - P_C} \cdot \cos\theta(x) - K_S(x + x_0) = 0 \quad (1.70)$$

hoặc :  $\frac{Q^2}{K_C^2} \cdot A_M + \frac{K_Q \cdot Q^2 \cdot \cos\theta(x)}{K_0 \cdot A(x)} - K_S \cdot (x + x_0) = 0$

Do đó :

$$Q = \frac{K_S \cdot (x + x_0)}{\frac{A_M}{K_C} + \frac{K_Q \cdot \cos \theta(x)}{K_0 \cdot A(x)}} \quad (1.71)$$

#### 1.2.4. Mô hình phân tích mạch thủy lực của van trượt điều khiển

##### 1- Giới thiệu và ký hiệu các loại van trượt điều khiển

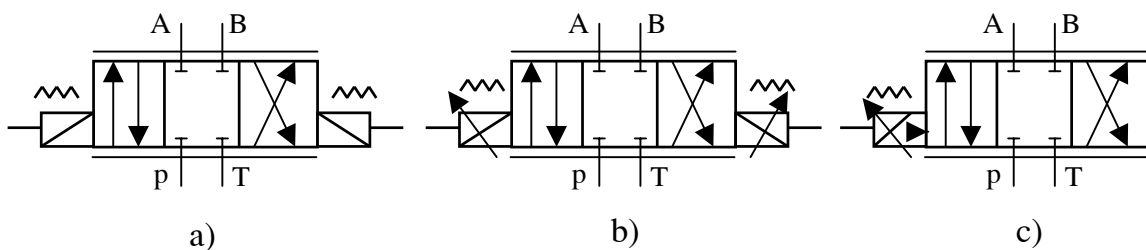
Van trượt điện thủy lực là bộ phận quan trọng trong hệ thống điều khiển tự động thủy lực vì các chỉ tiêu chất lượng của van ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng hệ thống điều khiển. Mỗi loại và mỗi hãng chế tạo đều có chất lượng khác nhau, hiện nay có rất nhiều hãng chế tạo nổi tiếng như hãng Mooc và Parker của Mỹ, hãng Peoto của Đức...

Van điện- thủy lực được chia thành ba loại chính sau đây :

- *Van trượt đóng mở thông thường (hay gọi là valve-solenoid)*. Loại van này chỉ làm nhiệm vụ đóng mở hoặc đảo hướng chuyển động của dầu (hình 1.12a) và thường được dùng trong các mạch điều khiển logic hoặc khoá khống chế.

- *Van tỷ lệ (proportional-valve)*. Loại này có khả năng điều chỉnh được vô cấp vị trí của con trượt nhằm cung cấp dầu cho cơ cấu chấp hành theo yêu cầu sử dụng. Để điều khiển con trượt di chuyển dọc trục người ta sử dụng hai nam châm điện bố trí đối xứng (hình 1.12b).

- *Van servo (servo-valve)*. Tương tự như van tỷ lệ, van servo có thể thay đổi vị trí con trượt một cách vô cấp với độ nhạy cao. Để điều khiển con trượt người ta sử dụng một nam châm điện kết hợp với hệ thống phun dầu có kết cấu đối xứng. Nhờ sự hoàn thiện về kết cấu mà loại van này có chất lượng điều khiển cao nhất hiện nay. Ký hiệu của van servo được giới thiệu ở hình 1.12c.



Hình 1.12. Ký hiệu các loại van trượt điều khiển theo tiêu chuẩn ISO (loại 4 cửa và 3 vị trí)

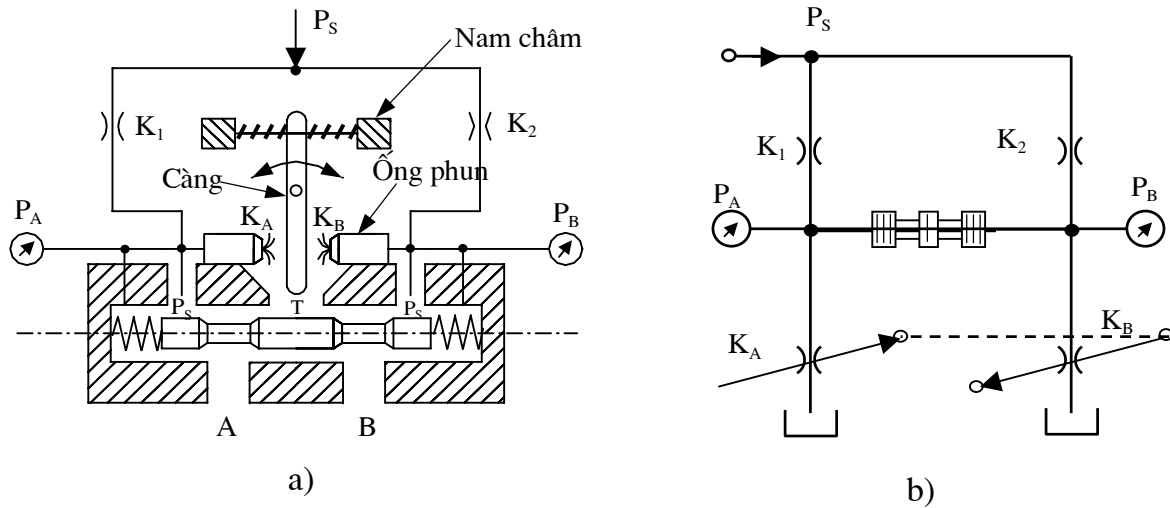
a- Ký hiệu van solenoid; b- Ký hiệu van tỷ lệ; c- Ký hiệu van servo.

P - Thể hiện áp suất cung cấp cho van; T - Thể hiện áp suất về bể dầu (đôi khi ký hiệu là R); A và B - Ký hiệu 2 đường dầu nối với xy lanh hoặc động cơ dầu.

Cấu tạo và nguyên lý làm việc của van sẽ giới thiệu kỹ ở các chương sau.

## 2- Mô hình phân tích mạch thủy lực của van

Ví dụ van servo có sơ đồ nguyên lý thể hiện ở hình 1.13a. Khi nam châm hoạt động thì còng sẽ quay làm cho khe hở giữa còng và ống phun thay đổi, dẫn đến hệ số  $K_A$  và  $K_B$  thay đổi, áp suất  $P_A$  và  $P_B$  cũng sẽ thay đổi theo. Sự thay đổi của  $P_A$  và  $P_B$  sẽ làm cho lực tác dụng lên con trượt mất cân bằng, dẫn đến con trượt di chuyển và điều khiển được tiết diện chảy của dầu qua van. Sơ đồ nguyên lý này được mô hình hoá thành mạch thủy lực như ở hình 1.13b. Đây là mạch phối hợp giữa nối tiếp và song song như đã phân tích ở mục 1.1. Trong đó,  $K_A$  và  $K_B$  có quan hệ liên động, khi  $K_A$  tăng thì  $K_B$  giảm và ngược lại.



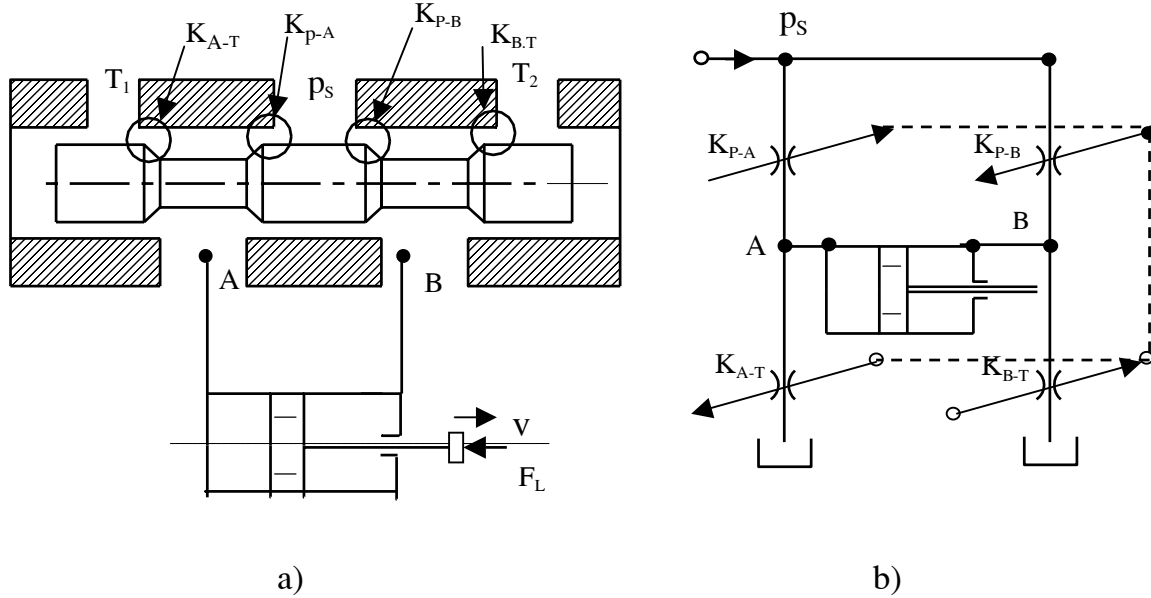
Hình 1.13. Sơ đồ nguyên lý và mô hình mạch thủy lực của van servo

a- Sơ đồ nguyên lý;

b- Mô hình mạch thủy lực.

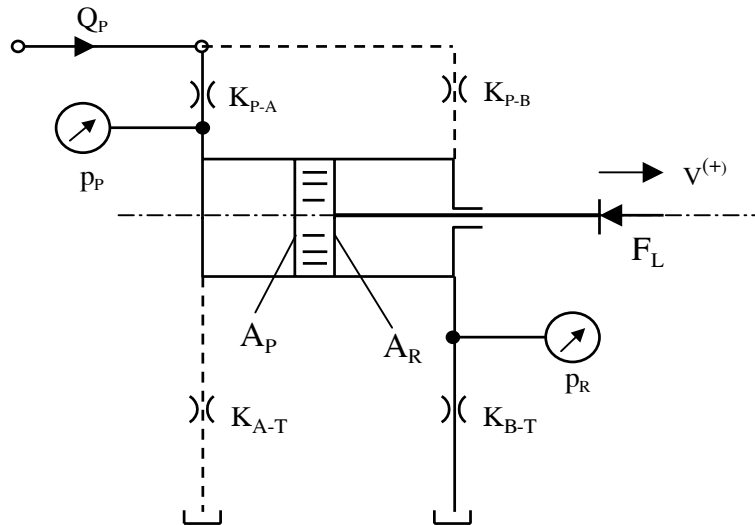
Hình 1.14 là một ví dụ khác về van trượt có 4 mép điều khiển.

Các hệ số  $K_{P,A}$ ,  $K_{P,B}$ ,  $K_{A,T}$  và  $K_{B,T}$  đều có quan hệ chặt chẽ với nhau. Khi  $K_{P,A}$  tăng thì  $K_{B,T}$  tăng và  $K_{P,B}$ ,  $K_{A,T}$  giảm. Sơ đồ của van này được mô hình hoá thành mạch thủy lực như trên hình 1.14b.



Hình 1.14. Sơ đồ tính toán của van trượt có bốn mép điều khiển  
 a- Sơ đồ hoạt động của van; b- Mô hình mạch thủy lực của van.

Để đơn giản cho việc nghiên cứu, khi xây dựng sơ đồ có thể tách làm hai quá trình, đó là quá trình con trượt của van dịch chuyển sang trái và dịch chuyển sang phải. Với quan niệm như vậy thì hình 1.14b được vẽ lại như hình 1.15.



Hình 1.15. Mô hình mạch thủy lực của van trượt có 4 mép điều khiển

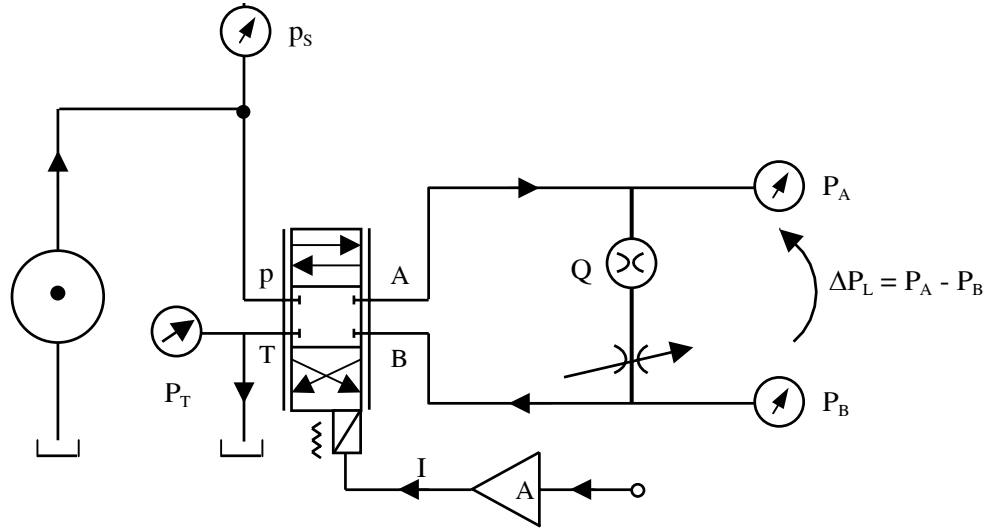
Trên sơ đồ hình 1.15, chỉ số p ký hiệu cho các thông số trên đường dầu vào, các chỉ số R, T ký hiệu cho các thông số trên đường dầu ra.



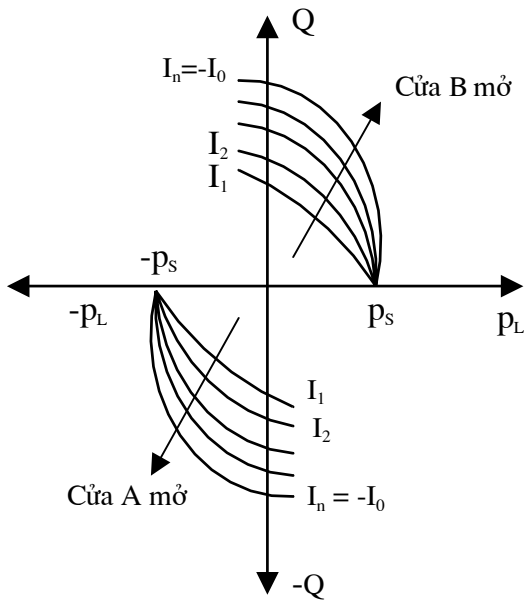
Đặt : 
$$\rho_x = \frac{A_P}{A_R} \text{ và } \rho_v = \frac{K_{PA}}{K_{BT}} = \frac{K_{PB}}{K_{AT}} = \frac{K_P}{K_R} \quad (1.72)$$

Hệ số kết cấu  $\rho_x$  đặc trưng cho xylanh và  $\rho_v$  đặc trưng cho van.

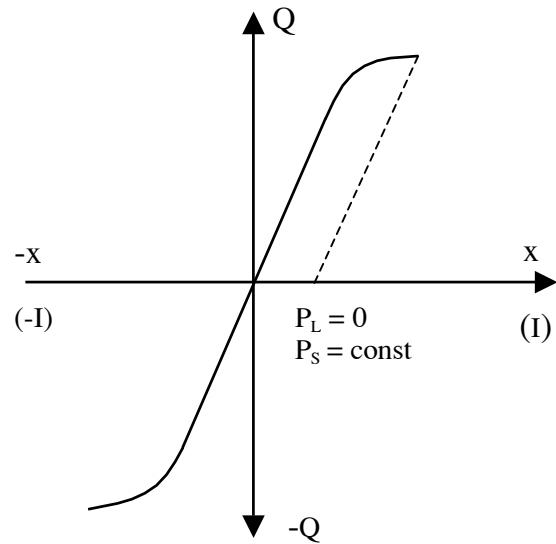
Van trượt có kết cấu hình học đối xứng như ví dụ trên sơ đồ ở hình 1.16a thì  $K_p = K_R$ , tức là  $\rho_v = 1$ .



a)



b)



c)

Hình 1.16. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính của van trượt có kết cấu hình học đối xứng

a- Sơ đồ mạch thủy lực; b- Đặc tính Q - P; c- Đặc tính Q - I.

Nếu khảo sát quan hệ giữa lưu lượng và áp suất, lưu lượng và dòng điện điều khiển thì đặc tính của chúng có dạng như trên hình 1.16b, c.

Lưu lượng qua van được xác định là :

$$Q = K \cdot A(x) \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (1.73)$$

hoặc :

$$Q = K \cdot A_0 \cdot \frac{A(x)}{A_0} \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (1.74)$$

Nếu đặt :  $G_v = K \cdot A_0$  và  $y = \frac{A(x)}{A_0}$  thì  $Q = G_v \cdot y \cdot \sqrt{\Delta P}$

trong đó  $A_0$  là tiết diện chảy lớn nhất của van và cần thỏa mãn điều kiện :

$$-1 \leq \frac{A(x)}{A_0} \leq 1$$

Khi van mở hoàn toàn thì :

$$y = \frac{A(x)}{A_0} = 1 \text{ và } G_v = \frac{Q_0}{\sqrt{\Delta P}} \quad (1.75)$$

Như vậy,  $G_v$  biểu thị cho hệ số chảy của chất lỏng khi van mở hoàn toàn (hay gọi là hệ số lưu lượng). Cụ thể hơn công thức ( 1.74 ) sẽ là :

$$Q = G_v \cdot \frac{I}{I_0} \cdot \sqrt{P_s - \frac{I}{|I|} \cdot P_L} \quad (1.76)$$

trong đó :  $I$ - dòng điện điều khiển;

$I_0$ - dòng lớn nhất ứng với van mở hoàn toàn;

$P_L$ - áp suất do tải gây ra ( $P_A$ ).

Nếu bỏ qua  $P_L$  (tức tải  $P_A = 0$ ) thì :

$$Q = G_v \cdot \frac{I}{I_0} \cdot \sqrt{P_s} \quad (1.77)$$

hay :

$$\frac{Q}{I} = \frac{K_v}{I_0} \cdot \sqrt{P_s} = K_Q \quad (1.78)$$

$K_Q$  gọi là hệ số khuếch đại lưu lượng của van.

### 1.3. PHÂN TÍCH QUAN HỆ GIỮA VAN VÀ CƠ CẤU CHẤP HÀNH

#### 1.3.1. Quan hệ giữa van và xy lanh thủy lực

Quan hệ giữa áp suất ở hai buồng xylanh thủy lực và lượng dịch chuyển của con trượt của van x (hoặc dòng điều khiển I) thể hiện ở hình 1.17.

Nếu bỏ qua ma sát, ở trạng thái làm việc ổn định thì phương trình cân bằng của pittông là :

$$P_A \cdot A_P - P_B \cdot A_R - F_L = 0 \quad (1.79)$$

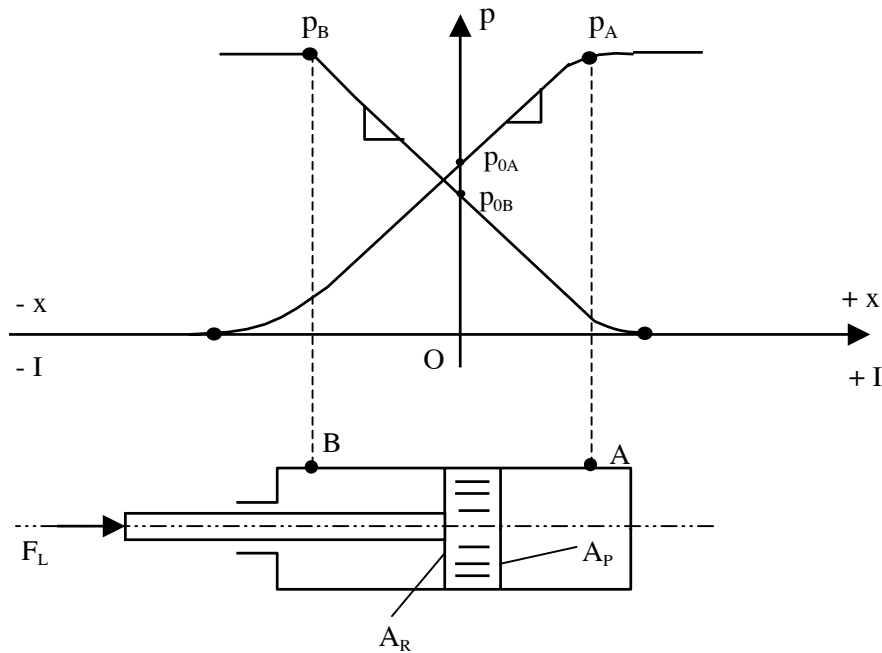
trong đó :

$$P_A = P_{OA} + G_A \cdot x ; \quad P_B = P_{OB} - G_B \cdot x \quad (1.80)$$

$P_{OA}$  và  $P_{OB}$  - áp suất ở hai buồng của xylanh khi  $x = 0$ ;

$G_A = \frac{P_A}{I}$  và  $G_B = \frac{P_B}{I}$  - hệ số góc của đặc tính P - I hay gọi là hệ số

khuếch đại áp suất.



Hình 1.17. Quan hệ giữa áp suất  $P_A$  và  $P_B$  với  $I$ ,  $x$

Thay (1.80) vào (1.79) ta có :

$$x = \frac{F_L + P_{OB} \cdot A_R - P_{OA} \cdot A_P}{G_A \cdot A_P + G_B \cdot A_R} \quad (1.81)$$

Nếu thay đổi kết cấu sao cho  $P_{OA} = P_{OB} = P_O$  thì :

$$x = \frac{F_L + P_O (A_R - A_P)}{G_A \cdot A_P + G_B \cdot A_R} \quad (1.82)$$

và :

$$P_A = \frac{G_A \cdot F_L + P_O \cdot A_R (G_A + G_B)}{G_A \cdot A_P + G_B \cdot A_R} \quad (1.83)$$

$$P_B = \frac{-G_B \cdot F_L + P_O \cdot A_P (G_A + G_B)}{G_A \cdot A_P + G_B \cdot A_R} \quad (1.84)$$

### 1.3.2. Quan hệ giữa van và động cơ dầu

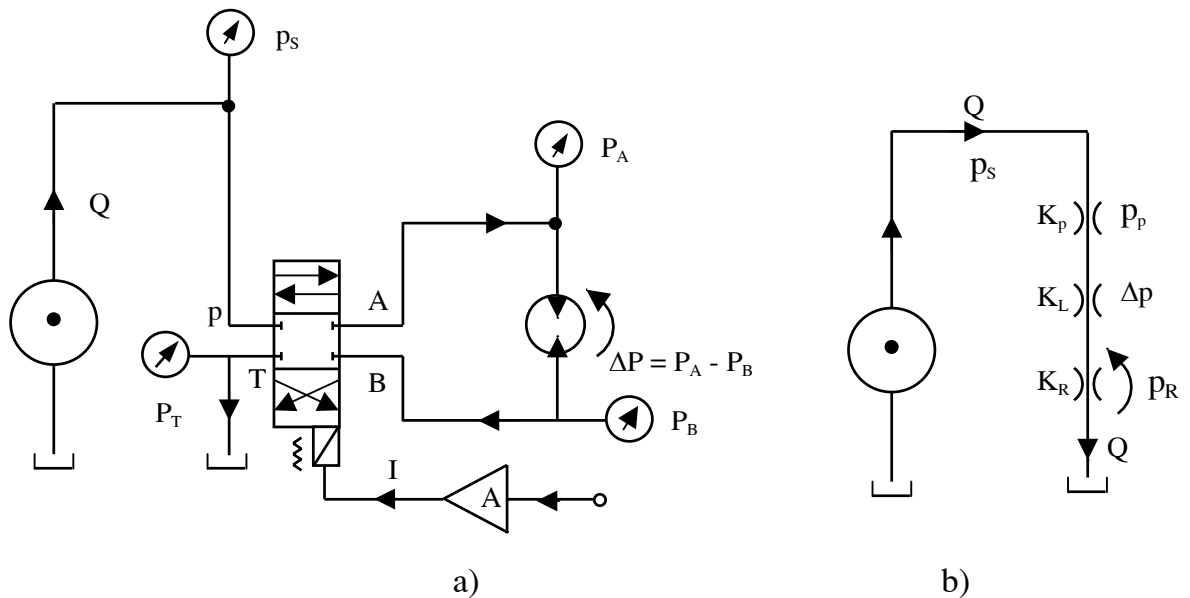
Động cơ dầu có kết cấu hoàn toàn đối xứng nên lưu lượng vào bằng lưu lượng ra (động cơ dầu hoặc xy lanh đối xứng). Sơ đồ thủy lực trên hình (1.18a) có thể mô hình hoá như ở hình 1.18b.

Phương trình cân bằng áp suất sẽ là :

$$P_S = P_P + P_R + \Delta P \quad (1.85)$$

Theo công thức (1.21) thì (1.85) viết lại như sau :

$$P_S = \frac{Q^2}{K_P^2} + \frac{Q^2}{K_R^2} + \frac{Q^2}{K_L^2} = Q^2 \left[ \frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{K_R^2} + \frac{1}{K_L^2} \right] \quad (1.86)$$



Hình 1.18. Sơ đồ mạch thủy lực có kết cấu đối xứng

a- Sơ đồ nguyên lý; b- Mô hình tính toán.

hay :

$$Q = K_T \cdot \sqrt{P_S} \quad (1.87)$$

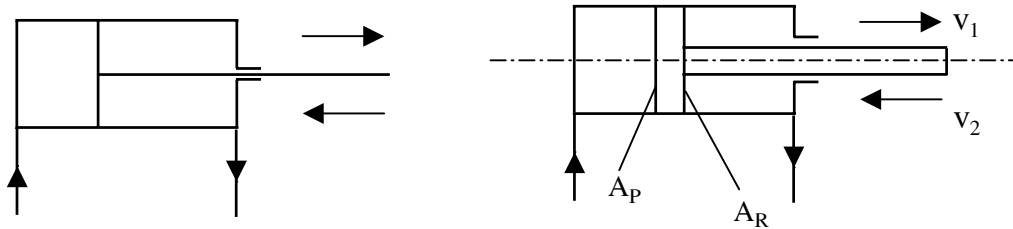
với :

$$K_T = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{K_R^2} + \frac{1}{K_L^2}}} \quad (1.88)$$

## 1.4. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG LƯU LƯỢNG VÀ PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG LỰC TRONG XYLANH THỦY LỰC

### 1.4.1. Các ký hiệu

Theo tiêu chuẩn quốc tế, xy lanh thủy lực được ký hiệu như ở hình 1.19.



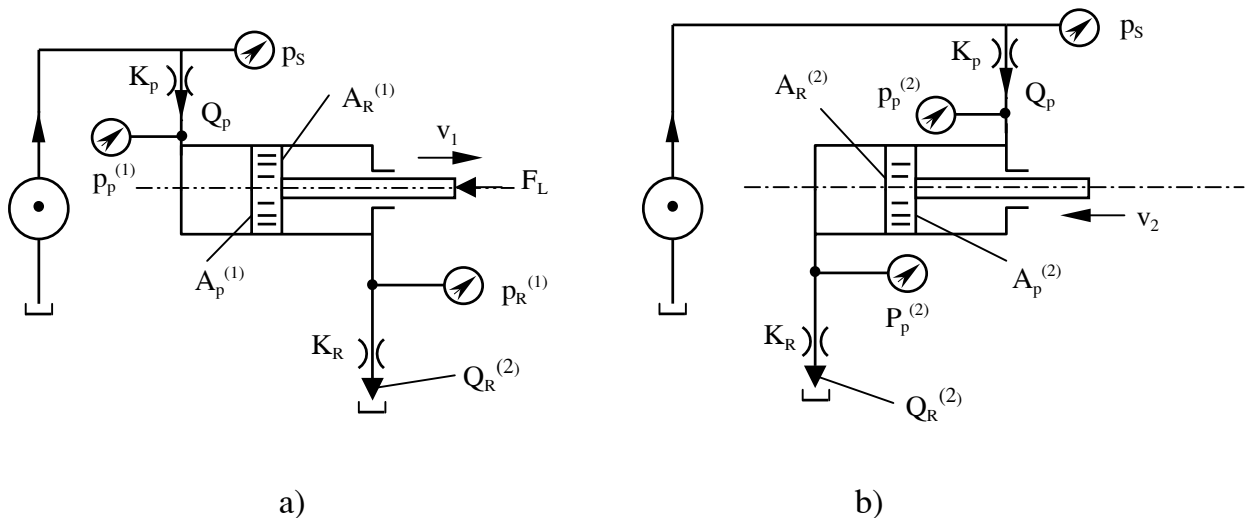
Hình 1.19. Ký hiệu của xy lanh thủy lực

Nếu gọi  $A_P$  là diện tích của pittông ở buồng dầu vào và  $A_R$  là diện tích pittông ở buồng dầu ra theo công thức (1.72) thì :

$$\rho_x = \frac{A_P}{A_R} \quad (1.89)$$

$\rho_x$  gọi là hệ số kết cấu của xy lanh. Hệ số này liên quan đến vận tốc chuyển động của pittông, nghĩa là :  $v_1 = \rho_x \cdot v_2$  nếu lưu lượng cung cấp  $Q$  là như nhau.

Mạch thủy lực ở hình 1.15 nếu tách thành hai sơ đồ, một sơ đồ là mạch thực hiện chuyển động công tác  $v_1$  và một sơ đồ là mạch thực hiện chuyển động lùi  $v_2$  thì ta có hình 1.20.



Hình 1.20. Sơ đồ tính toán của xy lanh thủy lực

a- Sơ đồ khi chuyển động công tác  $v_1$ ; b- Sơ đồ khi chuyển động lùi về  $v_2$ .

Hệ số kết cấu của xy lanh trong hai trường hợp trên là :

$$\rho_x^{(1)} = \frac{A_P^{(1)}}{A_R^{(1)}} \quad \text{và} \quad \rho_x^{(2)} = \frac{A_P^{(2)}}{A_R^{(2)}} \quad \text{hay} \quad \rho_x^{(2)} = \frac{1}{\rho_x^{(1)}} \quad (1.90)$$

#### 1.4.2. Phương trình cân bằng lưu lượng

Do tính chất đàn hồi của dầu nên khi áp suất thay đổi thì thể tích dầu sẽ thay đổi, lưu lượng do biến dạng đàn hồi của dầu được xác định theo công thức sau :

$$Q_C = C \cdot \frac{dP}{dt} \quad (1.91)$$

C được gọi là hệ số tích lũy đàn hồi của dầu (phần này sẽ trình bày ở chương 2).

Phương trình lưu lượng trên đường dầu vào là :

$$Q_P = Q_A + Q_C \quad (1.92)$$

trong đó :  $Q_P$  - lưu lượng cung cấp của van;

$Q_A$  - lưu lượng làm pittông chuyển động;

$Q_C$  - lưu lượng do biến dạng đàn hồi của dầu trên đường dầu vào.

Phương trình lưu lượng trên đường dầu ra là :

$$Q_R = Q_B - Q_P \quad (1.93)$$

trong đó :  $Q_R$  - lưu lượng về bể dầu;

$Q_B$  - lưu lượng pistông đẩy ra;

$Q_D$  - lưu lượng do biến dạng đàn hồi của dầu trên đường dầu ra.

Theo sơ đồ ở hình 1.20, ta có hai trường hợp như sau :

- Khi pittông chuyển động công tác  $v_1$  :

$$Q_P = v_1 \cdot A_P^{(1)} + C_P^{(1)} \cdot \frac{dP_P^{(1)}}{dt} \quad (1.94)$$

và :

$$Q_R^{(1)} = v_1 \cdot A_R^{(1)} - C_R^{(1)} \cdot \frac{dP_R^{(1)}}{dt}$$

- Khi pittông chuyển động lùi về  $v_2$  :

$$Q_P = v_2 \cdot A_P^{(2)} + C_P^{(2)} \cdot \frac{dP_P^{(2)}}{dt} \quad (1.95)$$

và : 
$$Q_R^{(2)} = V_2 \cdot A_R^{(2)} - C_R^{(2)} \cdot \frac{dP_R^{(2)}}{dt}$$

Vì cùng nguồn cung cấp và van trượt có kết cấu đối xứng nên lưu lượng cung cấp của van khi chuyển động công tác  $v_1$  và chuyển động lùi về  $v_2$  là như nhau, nhưng lưu lượng  $Q_R^{(1)} \neq Q_R^{(2)}$  và  $v_1 \neq v_2$ .

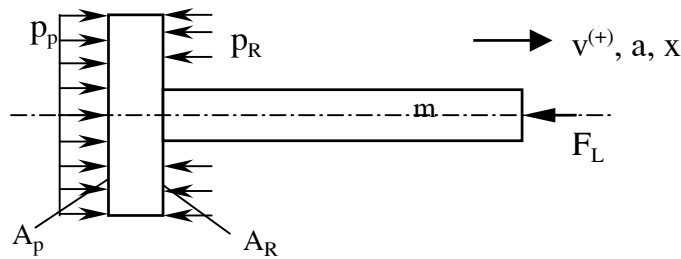
Nếu hệ làm việc ổn định thì áp suất sẽ không thay đổi, ta có :

$$\frac{dP_P}{dt} = 0 \text{ và } \frac{dP_R}{dt} = 0 \quad (1.96)$$

và lưu lượng vào và ra lúc đó là :

$$Q_P = v \cdot A_P ; Q_R = v \cdot A_R \quad (1.97)$$

### 1.4.3. Phương trình cân bằng lực



Hình 1.21. Sơ đồ phân tích lực trên pittông

Nếu bỏ qua ma sát, lực tác dụng lên pittông thể hiện ở hình 1.21 thì phương trình cân bằng lực là :

$$P_P \cdot A_P - P_R \cdot A_R - F_L = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1.98)$$

trong đó :  $F_L$  - tải trọng ngoài;

$P_P$  và  $P_R$  - áp suất tác dụng lên diện tích của pittông  $A_P$  và  $A_R$ ;

$m$  - khối lượng của phần chuyển động.

$x$ ,  $v$  và  $a$  - tương ứng là hành trình, vận tốc và gia tốc chuyển động của pittông.

Ở trạng thái ổn định thì  $a = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$  nên phương trình (1.98) được viết lại là :

$$P_P \cdot A_P - P_R \cdot A_R - F_L = 0 \quad (1.99)$$

Nếu tải trọng ngoài  $F_L \approx 0$  thì :

$$\frac{P_P}{P_R} = \frac{A_R}{A_P} \Big|_{F_L=0} \quad (1.100)$$

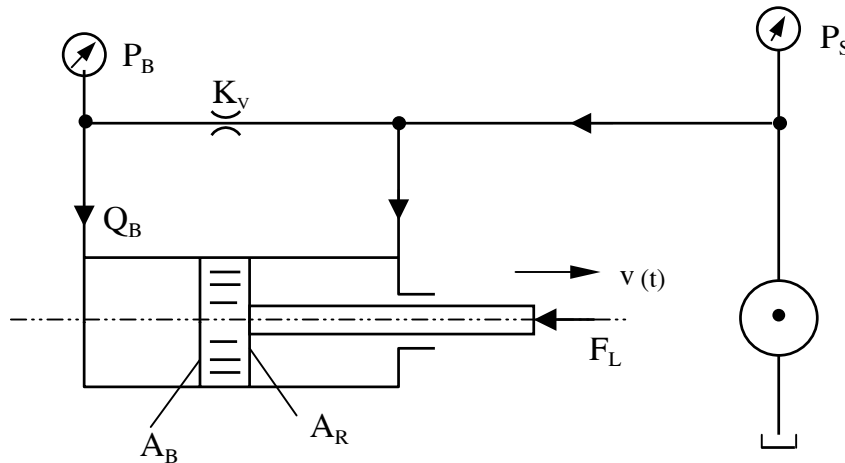
Thay  $P_P = \frac{Q_P^2}{K_P^2}$  và  $P_R = \frac{Q_R^2}{K_R^2}$  vào (1.100) ta được :

$$\frac{Q_P^2}{Q_R^2} = \frac{1}{\rho_x} \cdot \frac{K_P^2}{K_R^2} \quad (1.101)$$

#### 1.4.4. Mạch thủy lực có van điều khiển làm việc đồng thời cả hai cửa

Ở trạng thái ổn định, nếu bỏ qua ma sát thì phương trình cân bằng lực của pittông sẽ là :

$$P_S A_R - P_B \cdot A_B + F_L = 0 \quad (1.102)$$



Hình 1.22. Sơ đồ mạch thủy lực có đường dầu vào ra ghép phối hợp

Ta còn có quan hệ :  $Q_B = K_0 \cdot \sqrt{P_B}$  và  $v = \frac{Q_B}{A_B}$  (1.103)

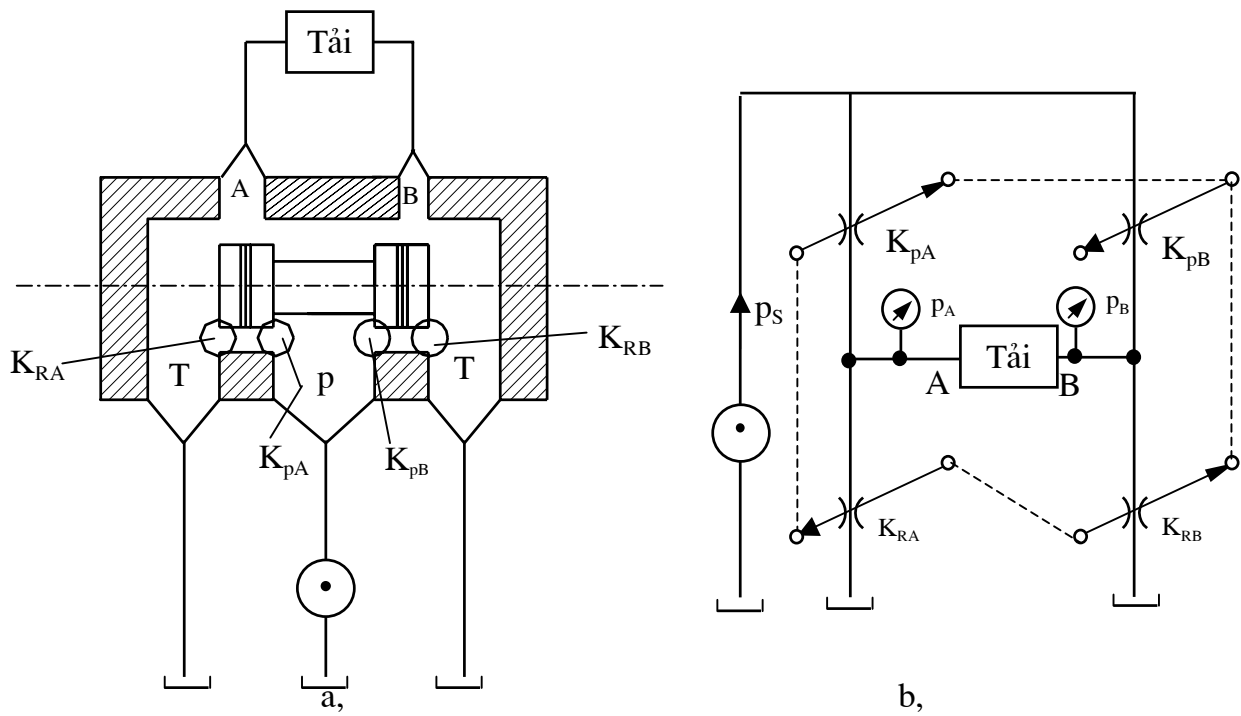
hoặc :  $v = \frac{K_0 \sqrt{P_B}}{A_B} = \frac{K_0}{A_B} \sqrt{\frac{P_S \cdot A_R + F_L}{A_B}}$  (1.104)

### 1.5. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA MẠCH THỦY LỰC ĐIỀU KHIỂN BẰNG VAN TRƯỢT

#### 1.5.1. Xác định quan hệ giữa vận tốc và tải trọng

Tương tự như sơ đồ ở hình 1.14 và hình 1.20, sơ đồ nguyên lý ở hình 1.23a được mô hình hoá thành sơ đồ mạch thủy lực như ở hình 1.23b.

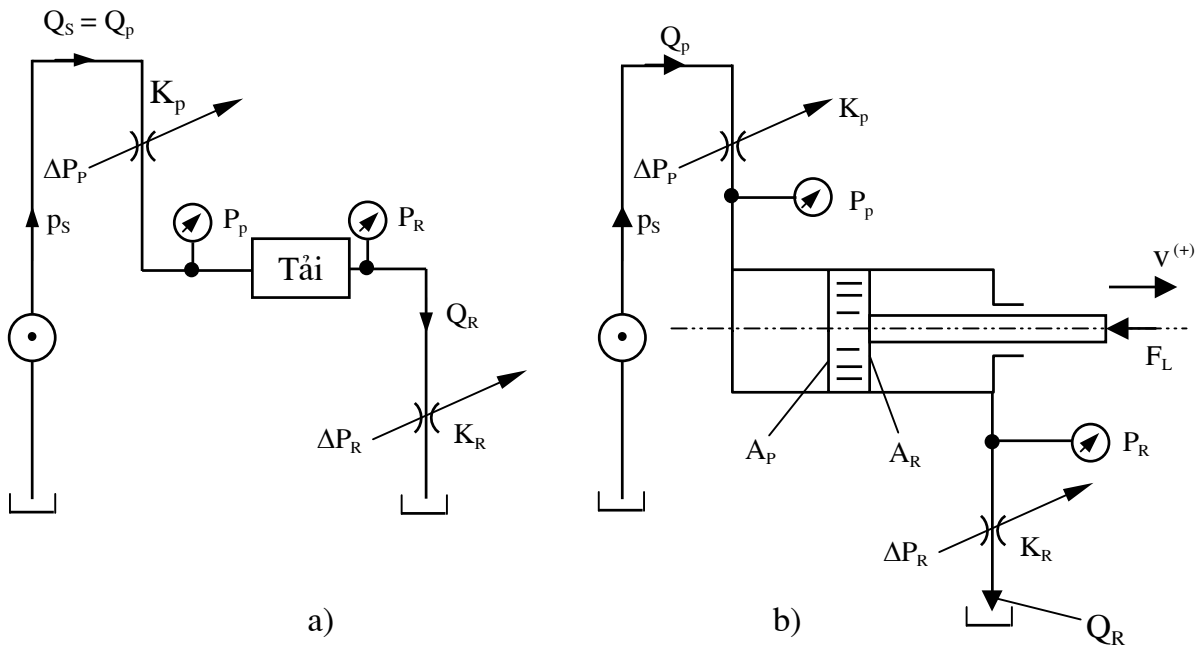




Hình 1.23. Sơ đồ thủy lực dùng van trượt có 4 mép điều khiển

a- Sơ đồ nguyên lý ; b- Mô hình mạch thủy lực.

Nếu chỉ nghiên cứu một nhánh thì hình 1.23b vẽ lại như hình 1.24a hoặc hình 1.24b.



Hình 1.24. Sơ đồ thủy lực vẽ theo một nhánh truyền động

a- Sơ đồ tổng quát; b- Sơ đồ có xylanh chịu tải trọng.

Ta có các quan hệ sau đây :

- Áp suất trên đường đầu vào :  $P_P = P_S - \Delta P_P$  (1.105)

- Áp suất trên đường đầu ra :  $P_R = \Delta P_R$  (1.106)

- Tổn thất áp suất qua các tiết diện chảy của van :

$$\Delta P_P = \frac{Q_P^2}{K_P^2} \text{ và } \Delta P_R = \frac{Q_R^2}{K_R^2} \quad (1.107)$$

- Quan hệ giữa lưu lượng và vận tốc chuyển động của pittông như sau :

$$Q_P = v \cdot A_P \text{ và } Q_R = v \cdot A_R \quad (1.108)$$

- Các chú ý :

+ Nếu van có kết cấu hình học đối xứng  $K_P = K_R$  thì  $\rho_v = 1$ .

+ Nếu  $\Delta P_P = \Delta P_R$ , tức là tổn thất áp suất trên đường vào và ra của van bằng nhau :

$$\frac{Q_P^2}{K_P^2} = \frac{Q_R^2}{K_R^2} \Rightarrow \frac{v^2 \cdot A_P^2}{K_P^2} = \frac{v^2 \cdot A_R^2}{K_R^2} \quad (1.109)$$

hay :  $\frac{A_P}{A_R} = \frac{K_P}{K_R}$  hoặc  $\rho_x = \rho_v$  (1.110)

+ Nếu năng lượng vào và ra của van bằng nhau, tức là :

$$Q_P \cdot \Delta P_P = Q_R \cdot \Delta P_R \quad (1.111)$$

$$Q_P \cdot \frac{Q_P^2}{K_P^2} = Q_R \cdot \frac{Q_R^2}{K_R^2}$$

Suy ra :  $\frac{Q_P^3}{K_P^2} = \frac{Q_R^3}{K_R^2} \Rightarrow \frac{v^3 \cdot A_P^3}{K_P^2} = \frac{v^3 \cdot A_R^3}{K_R^2} \quad (1.112)$

Công thức (1.112) có thể viết lại như sau :

$$\frac{A_P^3}{A_R^3} = \frac{K_P^2}{K_R^2} \text{ hay } \rho_x^3 = \rho_v^2 \quad (1.113)$$

Từ các quan hệ (1.105), (1.106), (1.107) và (1.108) thay vào (1.112) ta được :

$$P_S \cdot A_P - v^2 \cdot \frac{A_P^3}{K_P^2} - v^2 \cdot \frac{A_R^3}{K_R^2} - F_L = 0 \quad (1.114)$$

hay :  $P_S \cdot A_P - v^2 \cdot \frac{A_P^3}{K_P^2} \left[ 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right] - F_L = 0 \quad (1.115)$

Theo cách phân tích và tính toán như trên, ta cũng lập được phương trình lực cho nhánh còn lại.

Phương trình (1.115) sử dụng để thiết kế kết cấu của mạch thủy lực.

Xét các trường hợp sau đây :

\* Khi vận tốc bằng không ( $v = 0$ ) thì pittông dừng chuyển động nên công thức (1.115) sẽ là :

$$P_S \cdot A_P - F_L^0 = 0 \quad (1.116)$$

hay :

$$A_P = \frac{F_L^0}{P_S}$$

$F_L^0$  gọi là tải "dừng" (lực giới hạn tạo sự quá tải cho xylanh).

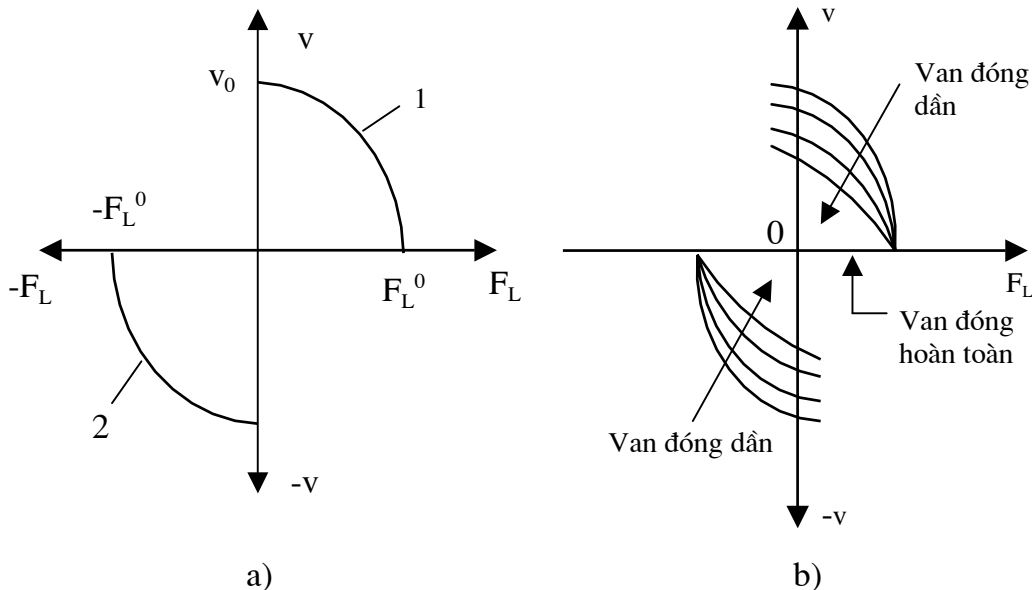
\* Khi  $F_L = 0$  hoặc  $F_L \approx 0$  thì công thức (1.115) sẽ là :

$$P_S \cdot A_P - V_0^2 \cdot \frac{A_P^3}{K_P^2} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) = 0 \quad (1.117)$$

Suy ra :

$$v_0 = \sqrt{\frac{P_S \cdot A_P}{\frac{A_P^3}{K_P^2} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right)}} \quad (1.118)$$

Hình 1.25 là đồ thị biểu diễn quan hệ giữa vận tốc và tải trọng của công thức (1.115). Trên đó có các điểm đặc biệt thể hiện qua công thức (1.116) và (1.118).



Hình 1.25. Đồ thị quan hệ giữa vận tốc và tải trọng

a- Quan hệ  $v - F_L$  ở các giá trị đặc biệt; b- Quan hệ  $v - F_L$  khi đóng, mở van.

Đường cong đặc tính  $v - F_L$  là parabol, đường 1 tương ứng với pittông chuyển động theo chiều thuận (vận tốc dương) và đường 2 tương ứng với pittông chuyển động theo chiều ngược lại (hình 1.25a). Ở mỗi vị trí của van sẽ cho ta các đường cong khác nhau, hình 1.25b thể hiện sự thay đổi của đặc tính  $v - F_L$  khi đóng mở van.

### 1.5.2. Xác định các thông số kết cấu cơ bản

1- Khi biết các cặp thông số  $v_1, F_1$ , và  $v_2, F_2$

Đặt : 
$$B^0 = \frac{A_p^3}{K_p^3} \left[ 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right] \quad (1.119)$$

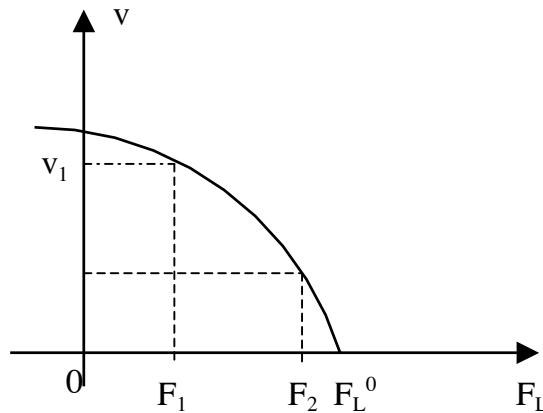
thì phương trình (1.115) sẽ là :

$$P_s \cdot A_p - v^2 \cdot B^0 - F_L = 0 \quad (1.120)$$

Giả sử biết trước các cặp giá trị  $(v_1, F_1)$  và  $(v_2, F_2)$  thể hiện như trên hình 1.26, ta có thể thiết lập được hai phương trình dạng (1.120) như sau :

$$F_L^0 - v_1^2 \cdot B^0 - F_1 = 0 \quad (1.121)$$

và : 
$$F_L^0 - v_2^2 \cdot B^0 - F_2 = 0 \quad (1.122)$$



Hình 1.26. Đồ thị biểu diễn các cặp giá trị  $v_1, F_1$  và  $v_2, F_2$  trên đặc tính  $v - F_L$

Từ (1.121) và (1.122) suy ra :

$$v_2^2 \cdot B^0 - v_1^2 \cdot B^0 + F_2 - F_1 = 0 \quad (1.123)$$

hay : 
$$B^0 = \frac{F_1 - F_2}{v_2^2 - v_1^2} \quad (1.124)$$

Thay (1.124) vào (1.121) ta có :

$$F_L^0 = v_1^2 \cdot \left[ \frac{F_1 - F_2}{v_2^2 - v_1^2} \right] + F_1$$

hay :

$$F_L^0 = \frac{v_2^2 \cdot F_1 - v_1^2 F_2}{v_2^2 - v_1^2} \quad (1.125)$$

Như vậy nếu biết trước các cặp giá trị  $v_1, F_1$  và  $v_2, F_2$  sẽ xác định được  $F_L^0$  và  $B^0$ .

Có nghĩa rằng nếu biết được  $F_L^0$  và  $B^0$  ta xác định các thông số  $P_s, A_p$  và  $K_p$  từ các công thức sau :

$$B^0 = \frac{A_p^3}{K_p^2} \cdot \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) \quad (1.126)$$

$$F_L^0 = P_s \cdot A_p$$

Các trường hợp xảy ra như sau :

*Trường hợp A* : Nếu cho trước  $P_s$  thì :

$$A_p = \frac{F_L^0}{P_s} = \frac{1}{P_s} \cdot \left[ \frac{v_2^2 \cdot F_1 - v_1^2 F_2}{v_2^2 - v_1^2} \right] \quad (1.127)$$

và :

$$K_p^2 = \frac{A_p^3}{B} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) = \frac{A_p^3}{\left( \frac{F_1 - F_2}{v_2^2 - v_1^2} \right)} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) \quad (1.128)$$

hay :

$$K_p = \sqrt{\frac{A_p^3 (v_2^2 - v_1^2)}{F_1 - F_2} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right)} \quad (1.129)$$

*Trường hợp B* : Nếu cho trước  $A_p$  thì :

$$P_s = \frac{1}{A_p} \cdot \left[ \frac{v_2^2 \cdot F_1 - v_1^2 F_2}{v_2^2 - v_1^2} \right] \quad (1.130)$$

và  $K_p$  cũng được xác định theo công thức (1.128).

*Trường hợp C* : Nếu biết trước  $K_p$  thì  $P_s$  và  $A_p$  xác định như sau.

$$A_p^3 = \frac{K_p^2 \cdot B}{1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3}} = \frac{K_p^2 (F_1 - F_2)}{(v_2^2 - v_1^2) \left[ 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right]} \quad (1.131)$$

hay :

$$A_P = \frac{K_P^2 (F_1 - F_2)}{\sqrt[3]{(v_2^2 - v_1^2) \left[ 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right]}} \quad (1.132)$$

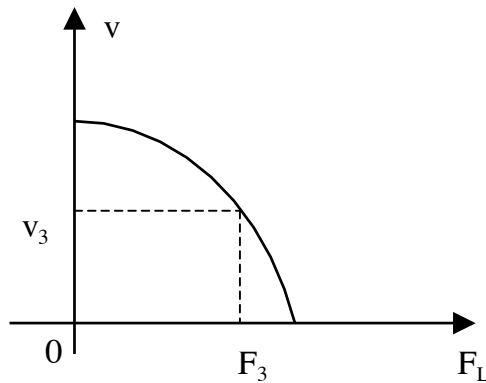
và :

$$P_S = \frac{1}{A_P} \cdot \left[ \frac{v_2^2 \cdot F_1 - v_1^2 \cdot F_2}{v_2^2 - v_1^2} \right] \quad (1.133)$$

### 2. Khi chỉ biết một cặp giá trị $v_3, F_3$ (hình 1.27)

Nếu biết trước  $A_P$  và  $K_P$  thì  $P_S$  được xác định theo công thức (1.115) là :

$$P_S = \frac{v_3^2 \cdot A_P^2}{K_P^2} \cdot \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) + \frac{F_3}{A_P} \quad (1.134)$$



Hình 1.27. Đồ thị biểu diễn cặp giá trị  $v_3, F_3$  trên đặc tính  $v - F_L$

Nếu biết trước  $A_P$  và áp suất cung cấp  $P_S$  ta xác định  $K_P$  cũng từ công thức (1.115) như sau :

$$K_P = \sqrt{\frac{v_3^2 \cdot A_P^3}{P_S \cdot A_P - F_3} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right)} \quad (1.135)$$

### 3. Khi biết các thông số $P_S, A_P$ và $K_P$

Nếu biết trước các thông số thiết kế  $P_S, A_P$  và  $K_P$  thì đó là dạng bài toán phân tích hệ thống, tức là xác định vận tốc và tải trọng làm việc.

Nếu biết trước vận tốc làm việc  $v_T$  thì tải trọng sẽ là :

$$F_T = P_S \cdot A_P - \frac{v_T^2 \cdot A_P^3}{K_P^2} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) \quad (1.136)$$

Nếu biết trước tải trọng làm việc  $F_T$  thì vận tốc sẽ là :

$$\frac{v_T^2 \cdot A_P^3}{K_P^2} \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right) = P_S \cdot A_P - F_T$$

Suy ra :

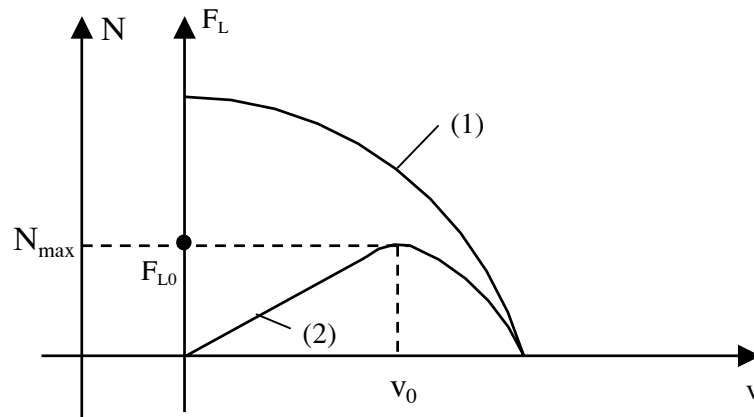
$$v_T = \sqrt{\frac{K_P^2 (P_S \cdot A_P - F_T)}{A_P^3 \cdot \left( 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right)}} \quad (1.137)$$

### 1.5.3. Xác định công suất lớn nhất và áp suất cung cấp nhỏ nhất

#### 1. Xác định công suất lớn nhất

Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa tải trọng  $F_L$ , công suất  $N$  và vận tốc  $v$  thể hiện ở hình 1.28. Nhân  $v$  vào công thức (1.115) ta có :

$$v \cdot P_S \cdot A_P - v^3 \cdot \frac{A_P^3}{K_P^2} \left[ 1 + \frac{\rho_v^2}{\rho_x^3} \right] - v \cdot F_L = 0 \quad (1.138)$$



Hình 1.28. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa  $F_L$ ,  $N$  và  $v$

$N = v \cdot F_L$  là công suất truyền của xylanh thủy lực, công thức (1.138) có thể viết gọn lại như sau :

$$N = v \cdot F_L = v \cdot P_S \cdot A_P - v^3 \cdot B^0 \quad (1.139)$$

Để công suất lớn nhất  $N_{max}$  thì cần tìm vận tốc  $v_0$  nào đó thỏa mãn :

$$\frac{dN}{dv} = 0 = P_S \cdot A_P - 3 \cdot v_0^2 \cdot B^0 \quad (1.140)$$

hay :

$$v_0^2 = \frac{P_S \cdot A_P}{3 \cdot B^0} \quad (1.141)$$

Thay (1.141) vào (1.139) ta được :

$$P_S \cdot A_P - \frac{P_S \cdot A_P}{3 \cdot B^0} \cdot B^0 - F_{LO} = 0 \quad (1.142)$$

Suy ra :

$$\frac{2}{3} P_S \cdot A_P - F_{LO} = 0 \quad (1.143)$$

mà  $P_S \cdot A_P = F_L^0$  là tải trọng "dùng" nên :

$$\frac{2}{3} F_L^0 = F_{LO} \quad (1.144)$$

Vậy công suất lớn nhất khi vận tốc xác định theo (1.141) và tải trọng  $F_{LO}$  bằng  $\frac{2}{3}$  tải trọng "dùng".

## 2. Xác định áp suất cung cấp nhỏ nhất

Từ công thức (1.115) ta suy ra :

$$P_S = v^2 \cdot A_P^2 \cdot \left[ \frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{\rho_x^3 \cdot K_R^2} \right] + \frac{F_L}{A_P} \quad (1.145)$$

Lấy đạo hàm áp suất theo diện tích  $A_P$  và cho bằng không ta được :

$$\frac{dP_S}{dA_P} = 2 \cdot v^2 \cdot A_P \cdot \left[ \frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{\rho_x^3 \cdot K_R^2} \right] - \frac{F_L}{A_P^2} = 0 \quad (1.146)$$

hay :

$$A_P^3 = \frac{F_L}{2 \cdot v^2 \cdot \left[ \frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{\rho_x^3 \cdot K_R^2} \right]} \quad (1.147)$$

Thay (1.147) vào (1.115) ta có :

$$P_S^{\min} \cdot A_P - v^2 \cdot \frac{F_L \cdot \left[ \frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{\rho_x^3 \cdot K_R^2} \right]}{2 \cdot v^2 \cdot \left[ \frac{1}{K_P^2} + \frac{1}{\rho_x^3 \cdot K_R^2} \right]} - F_L = 0$$

hay :

$$P_S^{\min} \cdot A_P - \frac{F_L}{2} - F_L = 0 \quad (1.148)$$

nên :

$$P_S^{\min} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_L}{A_P} \quad (1.149)$$



Công thức xác định  $P_S^{\min}$  (1.149) phù hợp với công thức (1.143) khi xác định công suất lớn nhất  $N_{\max}$ .

#### 1.5.4. Xác định gia tốc chuyển động lớn nhất của pittông

Từ hình 1.24b ta có phương trình cân bằng lực sau :

$$P_P \cdot A_P - P_R \cdot A_R - F_L = m \frac{dv}{dt} \quad (1.150)$$

trong đó :

$$P_P = P_S - \Delta P_P = P_S - \frac{Q_P^2}{K_P^2} \quad (1.151)$$

$$P_R = \Delta P_P = \frac{Q_R^2}{K_R^2}$$

Nên phương trình (1.150) có thể viết lại như sau :

$$P_S \cdot A_P - \frac{Q_P^2 \cdot A_P}{K_P^2} - \frac{Q_R^2 \cdot A_R}{K_R^2} - F_L = m \frac{dv}{dt}$$

hay :

$$P_S \cdot A_P - \frac{v^2 \cdot A_P^3}{K_P^2} - \frac{v^2 \cdot A_R^3}{K_R^2} - F_L = m \cdot a \quad (1.152)$$

trong đó :

$$Q_P = v \cdot A_P \quad \text{và} \quad Q_R = v \cdot A_R$$

$a = \frac{dv}{dt}$  là gia tốc chuyển động của pittông mang khối lượng  $m$ .

Khi pittông chuyển động có gia tốc, ở thời điểm gia tốc lớn nhất sẽ có thể tạo ra khoảng trống trong xylanh, tức là áp suất  $P_P$  có thể giảm xuống bằng 0. Khi đó công thức (1.152) sẽ là :

$$P_S \cdot A_P - \frac{v^2 \cdot A_P^3}{K_P^2} = 0 \quad (1.153)$$

và :

$$m \cdot a_{\max} = -\frac{v^2 \cdot A_R^3}{K_R^2} - F_L \quad (1.154)$$

hay :

$$m \cdot a_{\max} = -\frac{P_S \cdot K_P^2}{A_P^2} \cdot \frac{A_R^3}{K_R^2} - F_L = -\left[ A_R \frac{\rho_v^2}{\rho_x^2} \cdot P_S + F_L \right] \quad (1.155)$$

Suy ra :

$$a_{\max} = -\frac{1}{m} \left[ A_R \frac{\rho_v^2}{\rho_x^2} \cdot P_S + F_L \right] \quad (1.156)$$

## Chương 2

# MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU ĐỘ ĐÀN HỒI CỦA DẦU, ĐỘ CỨNG THỦY LỰC, TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA XYLANH VÀ ĐỘNG CƠ DẦU

## 2.1. QUAN HỆ GIỮA ÁP SUẤT VÀ LƯU LƯỢNG KHI TÍNH ĐẾN ĐỘ ĐÀN HỒI CỦA DẦU

### 2.1.1. Hệ số khả năng tích lũy đàn hồi của dầu

Khi áp suất trong buồng chứa dầu thay đổi thì thể tích dầu cũng thay đổi do dầu có biến dạng đàn hồi.

Nếu gọi  $C$  là hệ số tích lũy đàn hồi của dầu thì  $C$  được xác định như sau :

$$C = \frac{dV}{dp} = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{dt}{dp} = q \frac{dt}{dp} \quad (2.1)$$

hay :

$$q = C \cdot \frac{dp}{dt} \text{ với } C = \frac{V_0}{B} \quad (2.2)$$

trong đó :  $q$  - lưu lượng biến dạng đàn hồi của dầu;

$V$  - thể tích dầu biến dạng;

$P$  - áp suất trong buồng dầu;

$V_0$  - thể tích ban đầu của buồng dầu;

$B$  - mô đun đàn hồi của dầu.

### 2.1.2. Hệ số tích lũy đàn hồi tương đương khi áp suất trong mạch thủy lực bằng nhau

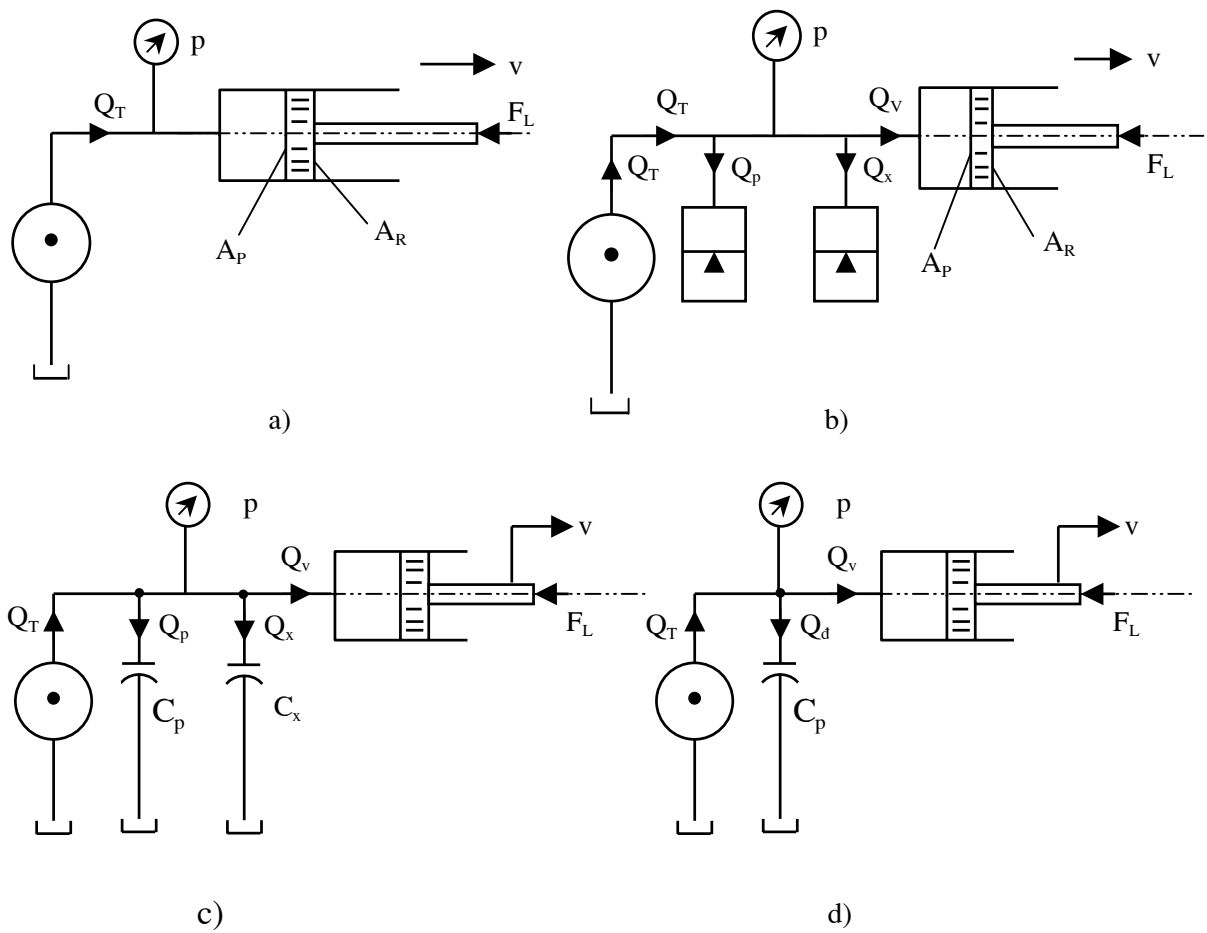
Xét mạch thủy lực trên hình 2.1a và hình 2.1b, nếu bài toán có tính đến biến dạng đàn hồi của dầu trong ống dẫn và trong buồng làm việc của xylanh thì sơ đồ trên hình 2.1a hoặc hình 2.1b có thể chuyển thành sơ đồ tính toán như ở hình 2.1c hoặc hình 2.1d.

Phương trình cân bằng lưu lượng có dạng :

$$Q_T = Q_P + Q_x + Q_v = C_P \cdot \frac{dp}{dt} + C_x \cdot \frac{dp}{dt} + Q_v = (C_P + C_x) \cdot \frac{dp}{dt} + Q_v \quad (2.3)$$

hay :

$$Q_T = C_T \cdot \frac{dp}{dt} + Q_v = Q_R + Q_v \quad (2.4)$$



Hình 2.1. Sơ đồ mạch thủy lực tính đến biến dạng đàn hồi của dầu khi áp suất bằng nhau

a và b - Các sơ đồ nguyên lý; c và d - Các sơ đồ tính toán.

trong đó :

- $Q_p$  - lưu lượng do biến dạng đàn hồi của dầu trong đường ống dẫn;
- $Q_x$  - lưu lượng do biến dạng của dầu trong xy lanh;
- $Q_R$  - lưu lượng do biến dạng đàn hồi của dầu trong đường ống dẫn và trong xy lanh;
- $Q_v$  - lưu lượng cần thiết để pittông chuyển động với vận tốc  $v$ ;
- $C_p$  và  $C_x$  - hệ số tích lũy đàn hồi của dầu trên đường ống dẫn và trong xy lanh;
- $C_T$  - hệ số tích lũy đàn hồi tương đương.

Bài toán trên chỉ ứng dụng cho trường hợp coi áp suất trong ống dẫn và xy lanh bằng nhau.

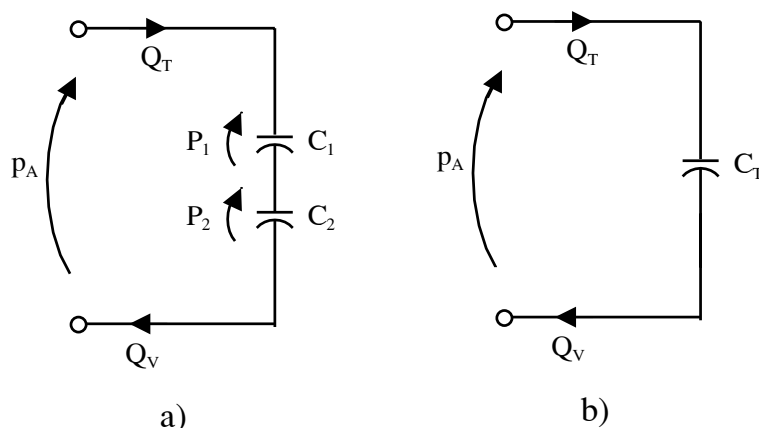
### 2.1.3. Hệ số tích lũy đàn hồi tương đương khi áp suất trong mạch thủy lực khác nhau

Nếu có mạch thủy lực như ở hình 2.2a, trong đó áp suất trên đường truyền của mạch là khác nhau thì hệ số tích lũy đàn hồi tương đương xác định như dưới đây.

Phương trình cân bằng áp suất :

$$P_A = P_1 + P_2 \quad (2.5)$$

Theo (2.2) ta có :  $P_1 = \frac{1}{C_1} \cdot \int_0^t Q_T \cdot dt$  và  $P_2 = \frac{1}{C_2} \cdot \int_0^t Q_T \cdot dt$



Hình 2.2. Sơ đồ mạch thủy lực có áp suất không bằng nhau

a- Sơ đồ chi tiết; b- Sơ đồ tương đương.

nên :  $P_A = \frac{1}{C_1} \cdot \int_0^t Q_T \cdot dt + \frac{1}{C_2} \cdot \int_0^t Q_T \cdot dt = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \int_0^t Q_T \cdot dt$  (2.6)

hay :  $P_A = \frac{1}{C_T} \cdot \int_0^t Q_T \cdot dt$  (2.7)

với :  $C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

$C_T$  được gọi là hệ số tích lũy đàn hồi tương đương. Sơ đồ mạch thủy lực ở hình 2.2a có thể thay thế bằng sơ đồ tương đương như ở hình 2.2b.

## 2.2. PHÂN TÍCH MẠCH THỦY LỰC KHI CẢ HAI BUỒNG CỦA XYLANH ĐỀU CÓ DẦU ĐÀN HỒI

Hình 2.3a là sơ đồ cụm van- xylanh thủy lực khi cả hai buồng A và B đều có áp suất thay đổi và tính đến độ đàn hồi của dầu.

Phương trình cân bằng lưu lượng có dạng :

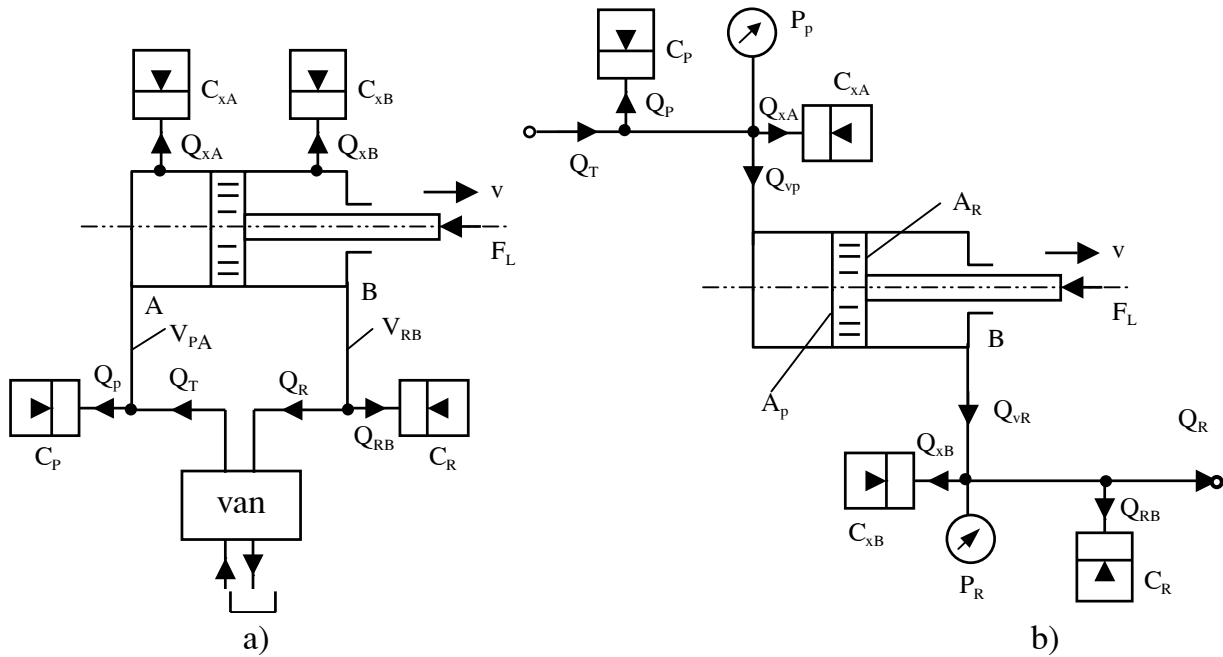
$$Q_T = Q_P + Q_{XA} + Q_{VP} \quad (2.8)$$

và  $Q_R = Q_{VR} - Q_{XB} - Q_{RB}$  (2.9)

Mặt khác ta thấy rằng :

$$V_A = V_{PA} + V_{XA} \text{ và } V_B = V_{RB} + V_{XB} \quad (2.10)$$

nên : 
$$C_A = \frac{V_A}{B} \text{ và } C_B = \frac{V_B}{B} \quad (2.11)$$



Hình 2.3. Mô hình điều khiển xylanh thủy lực khi cả hai buồng đều có dầu đàn hồi

a- Sơ đồ chung; b- Mô hình tính toán.

$C_P$  và  $C_R$  - hệ số tích lũy đàn hồi của dầu trên đường ống vào và ra;

$C_{XA}$  và  $C_{XB}$  - hệ số tích lũy đàn hồi của dầu trong các buồng A và B của xylanh;

$V_{PA}$  và  $V_{RB}$  - thể tích chứa dầu trên đường ống vào và ra của xylanh;

$V_{XA}$  và  $V_{XB}$  - thể tích chứa dầu trong các buồng A và B của xylanh;

$Q_P$  và  $Q_{RB}$  - thành phần lưu lượng dầu bị nén trên đường ống vào và ra của xylanh;

$Q_{XA}$  và  $Q_{XB}$  - thành phần lưu lượng bị nén trong các buồng A và B của xylanh;

$Q_{VP}$  và  $Q_{VR}$  - lưu lượng đẩy pittông chuyển động với vận tốc  $v$  và lưu lượng pittông đẩy dầu ra khỏi xylanh;

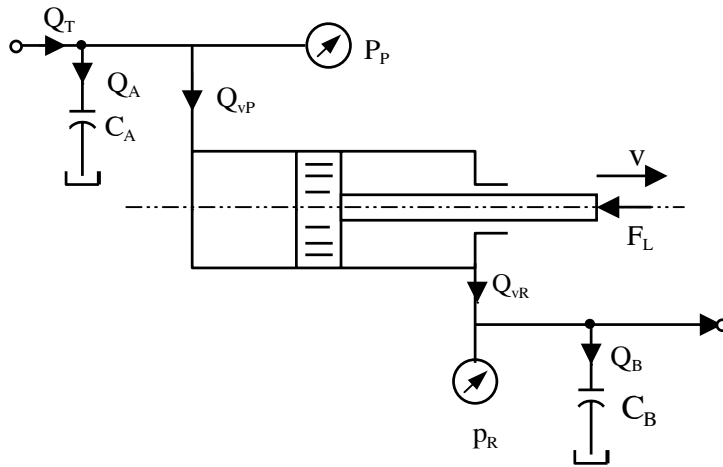
$Q_T$  và  $Q_R$  - lưu lượng cung cấp và lưu lượng về của van.

Theo các công thức (2.8), (2.9), (2.10) và (2.11) thì hình 2.3 có thể thay thế bằng hình 2.4.

Phương trình lưu lượng là :

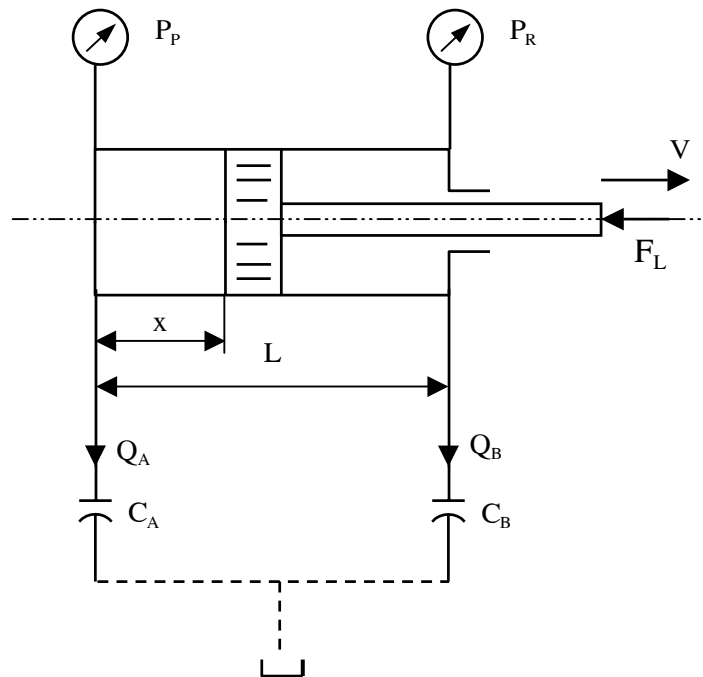
$$Q_T = C_A \cdot \frac{dP_P}{dt} + Q_{VP} \quad (2.12)$$

và : 
$$Q_R = C_B \cdot \frac{dP_R}{dt} + Q_{VR} \quad (2.13)$$



Hình 2.4. Mô hình tính toán của cụm van.xylanh

### 2.3. XÁC ĐỊNH HỆ SỐ TÍCH LŨY ĐÀN HỒI CỰC ĐẠI CỦA XYLANH



Hình 2.5. Mô hình xác định hệ số tích lũy đàn hồi cực đại của xylanh

Nếu lưu lượng dầu bị nén ở các buồng của xylanh bằng nhau  $Q_A = - Q_B$ , nghĩa là :

$$C_A \cdot \frac{dP_P}{dt} = -C_B \cdot \frac{dP_R}{dt} \quad (2.14)$$

Mô hình này tương đương với mô hình có lưu lượng bằng nhau và áp suất thay đổi khác nhau ở hình 2.2. Nên cũng có thể tính hệ số tích lũy đàn hồi tương đương của hình 2.5 theo công thức (2.15).

$$C_T = \frac{C_A \cdot C_B}{C_A + C_B} \quad (2.15)$$

hay :

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_B} = \frac{B}{V_A} + \frac{B}{V_B} \quad (2.16)$$

Khi nghiên cứu đến vấn đề này người ta đã khẳng định rằng, nếu hệ số  $C_T$  cực đại thì tần số dao động riêng của xy lanh sẽ cực tiểu.

Muốn tìm vị trí của pittông để  $C_T$  cực đại người ta tính toán như sau :

Công thức (2.16) có thể viết lại là :

$$\frac{1}{B \cdot C_T} = \frac{1}{V_A} + \frac{1}{V_B} \quad (2.17)$$

Lấy đạo hàm hai vế của (2.17) theo  $x$  ta có :

$$\frac{d}{dx} \frac{1}{B \cdot C_T} = -\frac{1}{V_A^2} \cdot \frac{dV_A}{dx} - \frac{1}{V_B^2} \cdot \frac{dV_B}{dx} = 0 \quad (2.18)$$

Suy ra :

$$-\frac{V_B^2}{V_A^2} = \frac{\frac{dV_B}{dx}}{\frac{dV_A}{dx}} \quad (2.19)$$

Mà :  $V_A = A_P \cdot X + V_{PA}$  và  $V_B = A_R \cdot (L - X) + V_{RB}$  (2.20)

nên :  $\frac{dV_A}{dx} = A_P$  và  $\frac{dV_B}{dx} = -A_R$  (2.21)

Thay (2.21) vào (2.19) ta được :  $\frac{V_B^2}{V_A^2} = \frac{A_R}{A_P}$  hay  $\frac{V_B}{V_A} = \frac{1}{\sqrt{\rho_x}}$  (2.22)

Do đó công thức (2.20) được viết lại như sau :

$$A_P \cdot X + V_{PA} = V_B \cdot \sqrt{\rho_x} = (A_R (L - X) + V_{RB}) \cdot \sqrt{\rho_x} \quad (2.23)$$

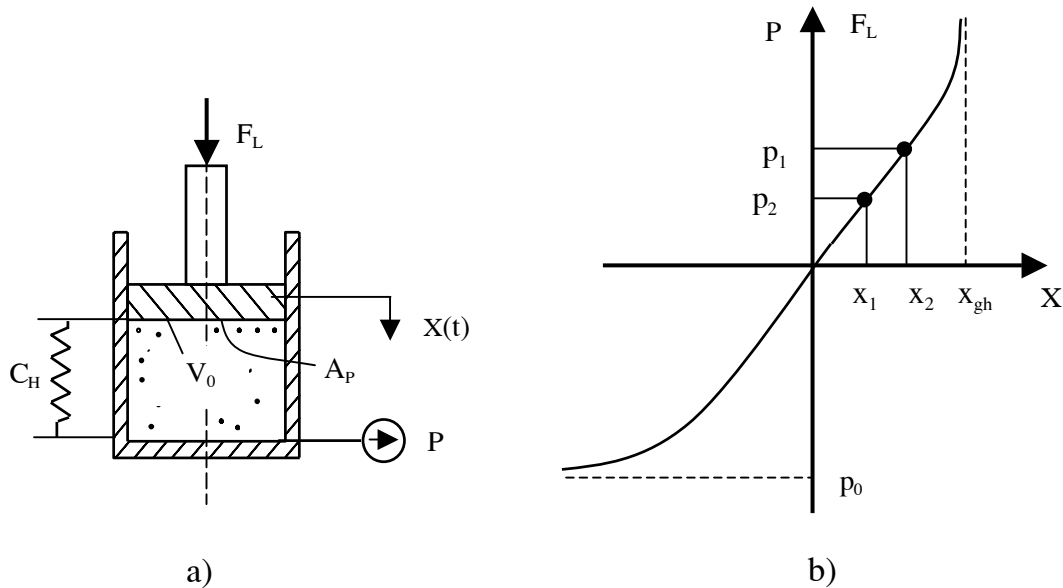
Suy ra :

$$X = \frac{A_R \cdot L \cdot \sqrt{\rho_x} + V_{RB} \cdot \sqrt{\rho_x}}{A_P + A_R \cdot \sqrt{\rho_x}} - V_{PA}$$

$$\text{Vì } \rho_x = \frac{A_P}{A_R} \text{ nên : } x = \frac{\left[ \frac{A_P \cdot L}{\rho_x} + V_{RB} \right] \cdot \sqrt{\rho_x} - V_{PA}}{A_P \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{\rho_x}} \right)} \quad (2.24)$$

Như vậy khi  $x$  xác định theo công thức (2.24) thì  $C_T$  sẽ đạt cực đại (với  $0 \leq x \leq L$ ).

## 2.4. ĐỘ CỨNG THỦY LỰC VÀ ĐỘ CỨNG TƯƠNG ĐƯƠNG



Hình 2.6. Mô hình nghiên cứu độ đàn hồi của dầu

a- Mô hình thí nghiệm; b- Đặc tính  $p - x$ .

Hình 2.6a là mô hình thí nghiệm nghiên cứu sự đàn hồi của dầu. Nếu thành xylanh, cần dẫn của pittông cứng tuyệt đối, không tính đến ma sát và sự rò dầu thì khi tăng lực ép  $F_L$ , áp suất  $P$  tăng ( $P$  tăng tỉ lệ với  $F_L$ ) đồng thời độ dịch chuyển của pittông  $x$  cũng tăng tỉ lệ thuận với  $P$ . Quá trình đó thể hiện ở đặc tính trên hình 2.6b.

Trong phạm vi nhất định, quan hệ  $P - x$  được coi là tuyến tính. Đặc tính này giống đặc tính của một lò xo hay một khâu đàn hồi cơ khí nào đó. Nghĩa là  $P$  tăng thì  $x$  tăng nhưng đến một giá trị giới hạn  $x_{gh}$  thì dù  $P$  tăng nhưng  $x$  không tăng nữa.

Như vậy trong phạm vi quan hệ  $P - x$  tuyến tính thì độ đàn hồi của dầu tương đương độ đàn hồi của một lò xo và độ cứng của khâu đàn hồi thủy lực được gọi là độ cứng thủy lực  $C_H$ .

Theo tính toán lý thuyết ở mục 3.6, nếu tính đến cả hệ số ma sát  $f$  và sức cản thủy lực  $R_L$  thì độ cứng thủy lực được xác định theo công thức như sau :

$$C_H = \frac{f}{C \cdot R_L} + \frac{A_P^2}{C} \quad (2.25)$$



Với  $C = \frac{V_0}{B}$  và hệ số tổn thất lưu lượng  $K = \frac{1}{R_L}$  thì :

$$C_H = \frac{B(f.K + A_P^2)}{V_0}, \quad \text{N/m hoặc lbf/in} \quad (2.26)$$

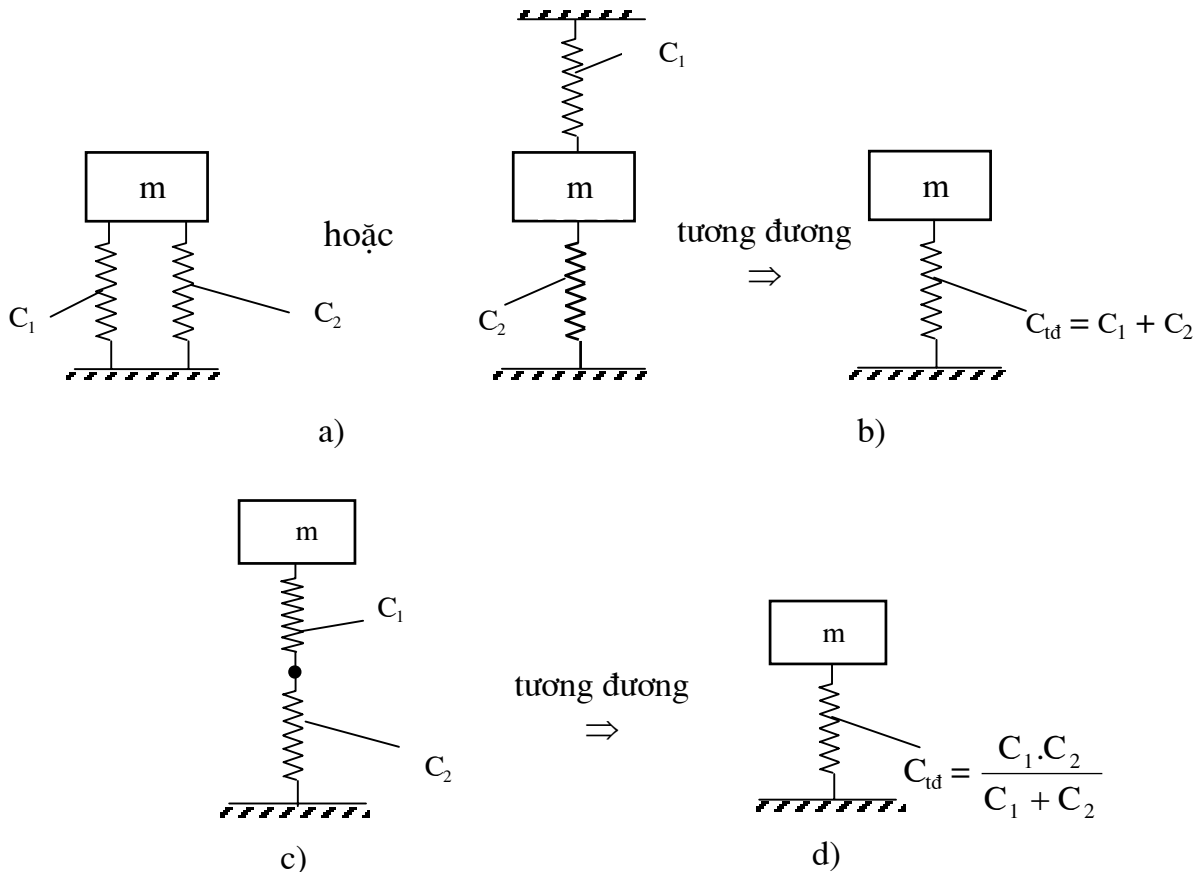
trong đó :  $V_0$  - thể tích chứa dầu ban đầu ( $\text{cm}^3$  hoặc  $\text{in}^3$ );

$B$  - môđun đàn hồi của dầu,  $B = 1,4 \cdot 10^7 \text{ kg/cm.s}^2 = 2 \cdot 10^5 \text{ lbf/in}^2$ .

Nếu bỏ qua ma sát ( $f = 0$ ) hoặc bỏ qua tổn thất lưu lượng ( $K = 0$  hay  $R_L = \infty$  không có rò rỉ) thì độ cứng thủy lực là :

$$C_H = \frac{B.A_P^2}{V_0} = \frac{A_P^2}{C} \quad (2.27)$$

Việc giới hạn dầu làm việc trong miền đàn hồi tuyến tính có độ cứng  $C_H$  tương đương với một lò xo thì mô hình nghiên cứu động lực học hệ thủy lực giống như mô hình động lực học hệ vật rắn đàn hồi (hình 2.7).

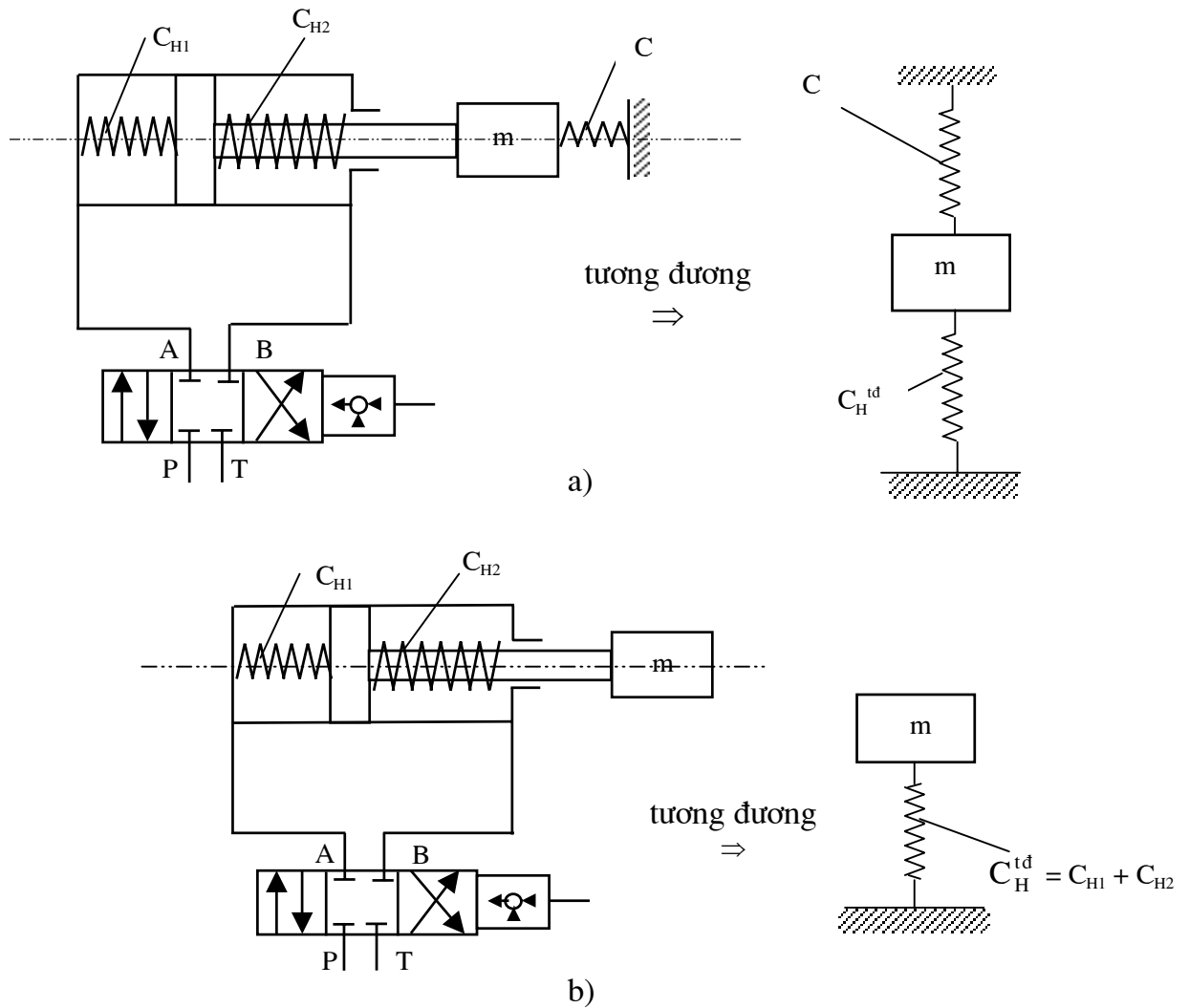


Hình 2.7. Mô hình xác định độ cứng tương đương

a, c - Sơ đồ ghép các lò xo; b, d - Sơ đồ tương đương.

Trên hình 2.7a lò xo  $C_1$  và  $C_2$  có cùng chuyển vị, còn trên hình 2.7c chuyển vị của lò xo  $C_1$  và lò xo  $C_2$  khác nhau.

Hình 2.8 là ví dụ về mô hình tính toán độ cứng tương đương của hệ thủy lực. Độ cứng tương đương  $C_H^{td}$  được tính như ở hình 2.7b.



Hình 2.8. Mô hình xác định độ cứng tương đương của hệ pittông-xylanh thủy lực

- a - Mô hình khi áp suất 2 buồng dầu thay đổi;
- b - Mô hình khi có thêm tải trọng là khâu đàn hồi.

## 2.5. ĐỘ CỨNG TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA HỆ CHUYỂN ĐỘNG TỊNH TIẾN

### 2.5.1. Xylanh thủy lực có kết cấu không đối xứng

Hình 2.9 là mô hình xác định độ cứng tương đương của cụm pittông-xylanh thủy lực có kết cấu không đối xứng.

Độ cứng thành phần khí tính đến cả thể tích chứa dầu trong các đường dẫn dầu từ van đến xylanh là :

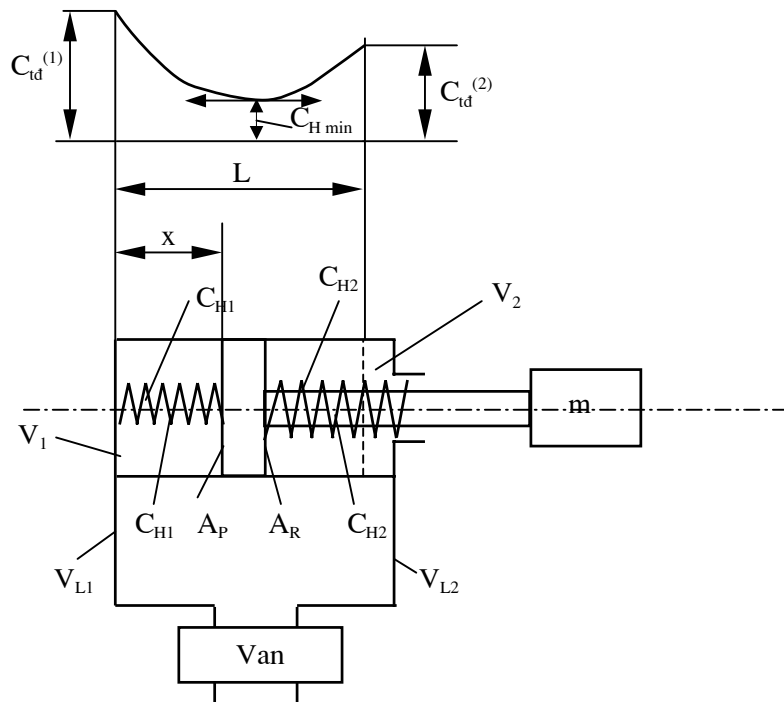
$$C_{H1} = \frac{B \cdot A_P^2}{A_P \cdot X + V_{L1}} \quad \text{và} \quad C_{H2} = \frac{B \cdot A_R^2}{A_R \cdot (L - X) + V_{L2}} \quad (2.28)$$

trong đó :  $x$  - vị trí của pittông;  
 $L$  - hành trình lớn nhất của pittông;  
 $V_{L1}$  - thể tích chứa dầu trên đường ống vào;  
 $V_{L2}$  - thể tích chứa dầu trên đường ống ra.

Độ cứng tương đương của hệ sẽ là :

$$C_{td} = C_{H1} + C_{H2} = B \left( \frac{A_P^2}{A_P \cdot x + V_{L1}} + \frac{A_R^2}{A_R \cdot (L - x) + V_{L2}} \right) \quad (2.29)$$

\* Khi  $x = 0$  thì :  $C_{td}^{(1)} = B \left( \frac{A_P^2}{V_{L1}} + \frac{A_R^2}{A_R \cdot L + V_{L2}} \right) \quad (2.30)$



Hình 2.9. Mô hình xác định độ cứng tương đương khi xylanh có kết cấu không đối xứng

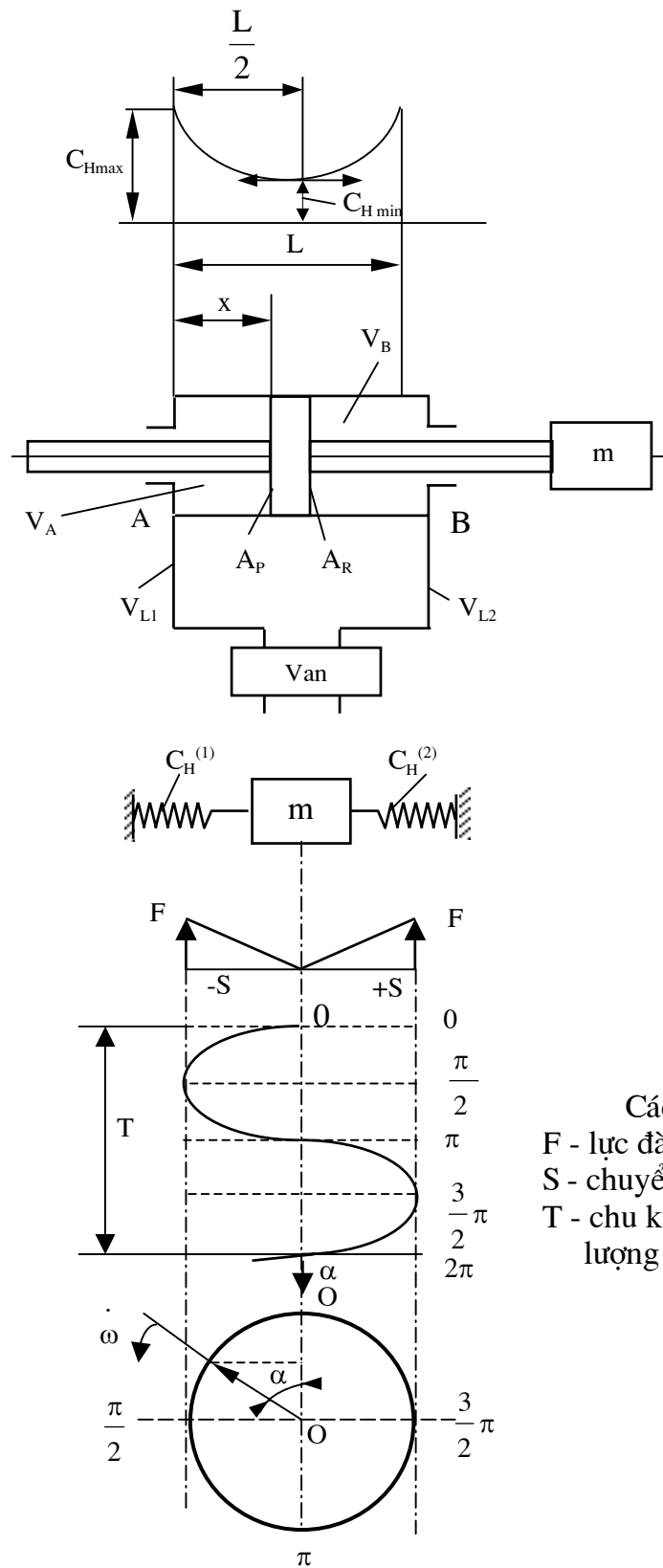
\* Khi  $x = L$  thì :  $C_{td}^{(2)} = B \left( \frac{A_P^2}{A_P \cdot L + V_{L1}} + \frac{A_R^2}{V_{L2}} \right) \quad (2.31)$

Khảo sát cực trị của (2.29) ta thấy, độ cứng tương đương nhỏ nhất  $C_{H \min}$  khi :

$$x = \frac{\sqrt{R} \cdot \left( \frac{V_{L2}}{A_R} + L \right) - \frac{V_{L1}}{A_P}}{1 + \sqrt{R}} \quad (2.32)$$

với :  $R = \frac{A_P}{A_R} = \rho_x$

2.5.2. Xylanh thủy lực có kết cấu đối xứng ( $A_P = A_R = A$ )



Các ký hiệu  
 $F$  - lực đàn hồi của lò xo;  
 $S$  - chuyển vị của lò xo;  
 $T$  - chu kỳ dao động của khối lượng  $m$ .

Hình 2.10. Mô hình xác định độ cứng tương đương khi xylanh có kết cấu đối xứng

Nếu pittông-xylanh có kết cấu đối xứng (hình 2.11) thì độ cứng tương đương nhỏ nhất  $C_{H\min}$  sẽ ở vị trí  $x = \frac{L}{2}$ , ở vị trí này  $C_{H1} = C_{H2}$ .

Theo công thức (2.29) độ cứng tương đương trong trường hợp này sẽ là :

$$C_{td} = B.A^2 \left( \frac{1}{V_A + V_{L1}} + \frac{1}{V_B + V_{L2}} \right) \quad (2.33)$$

Ở vị trí trung gian ( $x = \frac{L}{2}$ ) thì :  $V_A = V_B = V$  và nếu  $V_{L1} = V_{L2} = V_L$  thì  $C_{H\min}$  sẽ

là :

$$C_{H\min} = \frac{2.B.A^2}{V_0} \quad (2.34)$$

với :

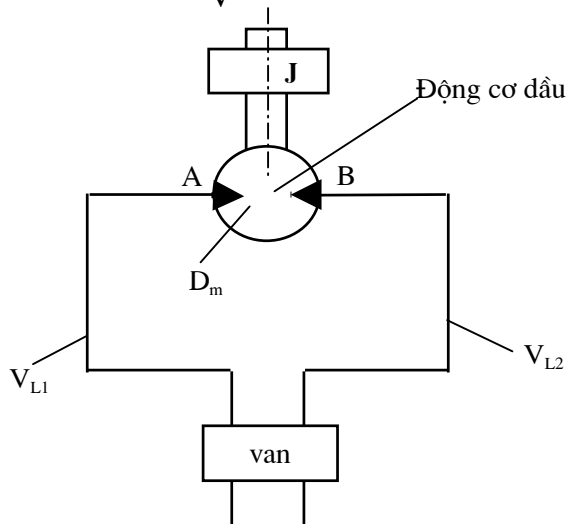
$$V_0 = V + V_L \quad (2.35)$$

Qua hai bài toán trình bày ở mục 2.5.1 và 2.5.2 ta thấy, khi pittông di chuyển thì độ cứng tương sẽ thay đổi làm cho tần số dao động riêng của hệ cũng thay đổi và thay đổi theo quy luật nhất định.

## 2.6. ĐỘ CỨNG TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA HỆ CHUYỂN ĐỘNG QUAY

Nếu bỏ qua ma sát và tổn thất lưu lượng thì công thức cơ bản để xác định độ cứng thủy lực là :

$$C_H = \frac{B.A^2}{V} \quad (2.36)$$



Hình 2.11. Mô hình xác định độ cứng tương đương của động cơ dầu

Đối với động cơ dầu, diện tích ảnh hưởng A là hệ số kết cấu  $D_m$  (hoặc ký hiệu là  $A_m$ ) được xác định từ thể tích riêng D :

$$D_m = \frac{D}{2.\pi}, \quad (\text{cm}^3/\text{rad} \text{ hoặc } \text{in}^3/\text{rad}) \quad (2.37)$$

$D_m$  - hệ số kết cấu của động cơ dầu, ( $\text{cm}^3/\text{rad}$ );

$D$  - thể tích riêng của động cơ dầu, ( $\text{cm}^3/\text{vg}$ ).

Do động cơ dầu có kết cấu hoàn toàn đối xứng, thể tích chứa dầu trong quá trình làm việc không thay đổi và xác định là :

$$V_A = V_B = \frac{D}{2} = V \quad , \quad (\text{cm}^3/\text{vg hoặc in}^3/\text{vg})$$

Công thức tổng quát để xác định độ cứng thủy lực thành phần của động cơ dầu theo (2.36) là :

$$C_H = \frac{B.D^2}{V} \quad (2.38)$$

Cụ thể theo hình 2.11 sẽ là :  $C_H^{(A)} = B \cdot \left(\frac{D}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{D}{2} + V_{L1}}\right)$  (2.39)

$$C_H^{(B)} = B \cdot \left(\frac{D}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{D}{2} + V_{L2}}\right) \quad (2.40)$$

Độ cứng tương đương :  $C_{t\otimes}^{(m)} = C_H^{(A)} + C_H^{(B)}$  (2.41)

Theo hệ mét :  $C_{tđ}^{(m)} = \frac{B}{10.000} \left(\frac{D}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{D}{2} + V_{L1}} + \frac{1}{\frac{D}{2} + V_{L2}}\right)$  (2.42)

trong đó :  $C_{tđ}^{(m)}$  - độ cứng tương đương của động cơ dầu, ( $\text{N.m/rad}$ );

$B$  - môđun đàn hồi của dầu, ( $\text{kg/cm.s}^2$ );

$D$  - thể tích riêng của động cơ dầu, ( $\text{cm}^3/\text{vg}$ );

$V_{L1}$  và  $V_{L2}$  - thể tích đường ống đi và về của động cơ dầu, ( $\text{cm}^3$ ).

Nếu  $V_{L1} = V_{L2} = V_L$  thì :  $C_{tđ}^{(m)} = \frac{B}{10.000} \left(\frac{D}{\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{D}{2} + 2.V_L}\right)$  (2.43)

Theo hệ Anh :  $C_{tđ}^{(m)} = B \cdot \left(\frac{D}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{D}{2} + V_{L1}} + \frac{1}{\frac{D}{2} + V_{L2}}\right)$  (2.44)

Nếu  $V_{L1} = V_{L2} = V_L$  thì :

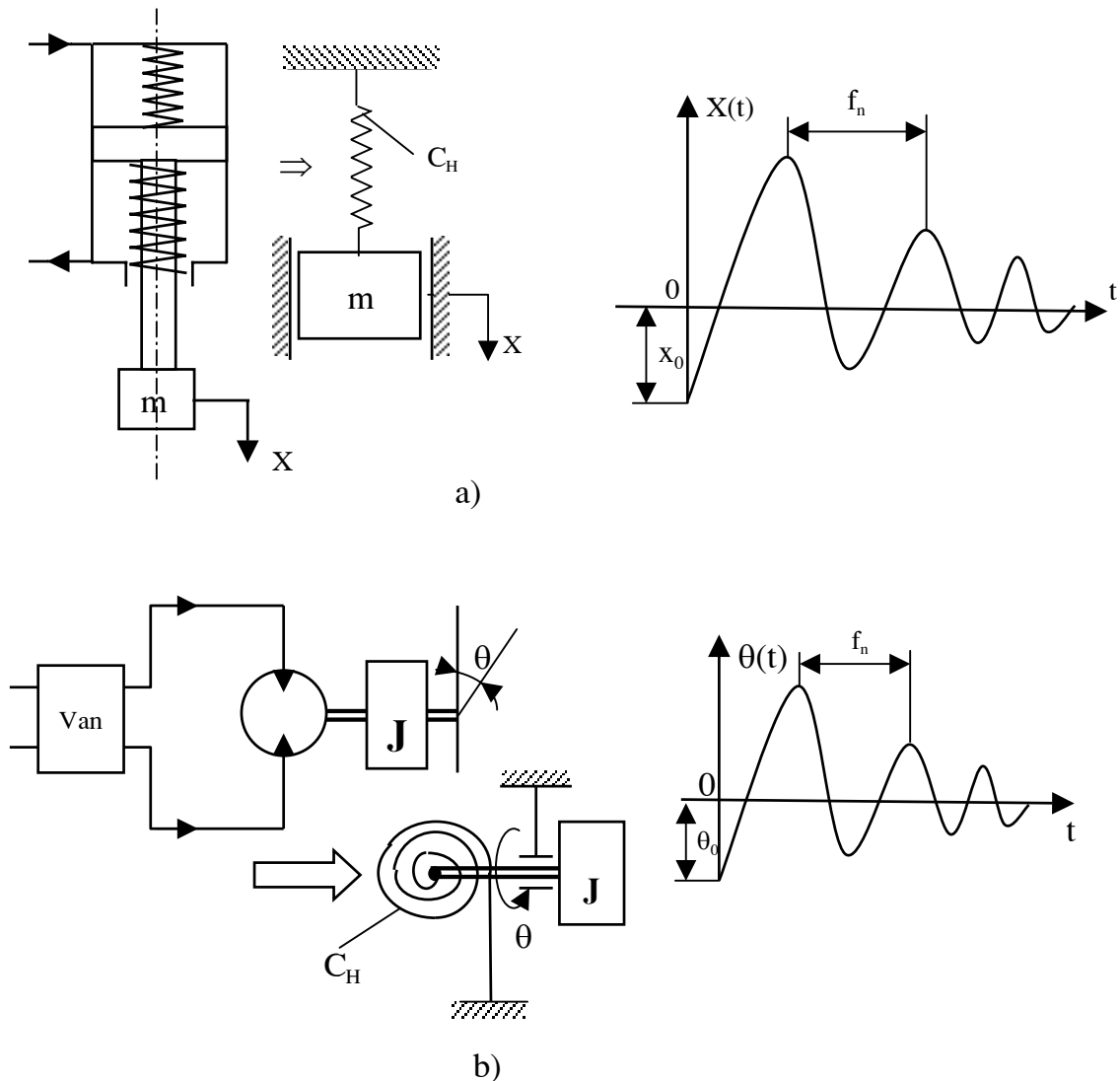
$$C_{td}^{(m)} = B \cdot \left( \frac{D}{\pi} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{\frac{D}{2} + 2 \cdot V_L} \right) \quad (2.45)$$

Thứ nguyên theo hệ Anh :  $C_{td}^{(m)}$  là lbf/rad; B là lbf/in<sup>2</sup>; D là in<sup>3</sup>/vg;  $V_{L1}, V_{L2}$  và  $V_L$  là in<sup>3</sup>.

Vì thể tích dầu của động cơ dầu trong quá trình quay không thay đổi nên độ cứng tương đương sẽ không thay đổi, nghĩa là  $C_{td}^{(min)} = C_{td}$

## 2.7. TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG

Mô hình nghiên cứu dao động của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay thể hiện ở hình 2.12.



Hình 2.12. Mô hình dao động của hệ thủy lực

a - Mô hình dao động của xylanh thủy lực ; b-Mô hình dao động của động cơ dầu.

Tần số dao động riêng của hệ chuyển động thẳng là :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{m}} \quad , \quad \text{rad/s} \quad (2.46)$$

trong đó :  $C_H$  - độ cứng thủy lực tương đương, (N/m hoặc lbf/in);

$m$  - khối lượng chuyển động, (kg hoặc lbf.s<sup>2</sup>/in).

hoặc :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_H}{m}} \quad , \quad \text{Hz} \quad (2.47)$$

Tần số dao động riêng của hệ dao động xoắn (của động cơ dầu) được xác định là :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{J}} \quad , \quad \text{rad/s} \quad (2.48)$$

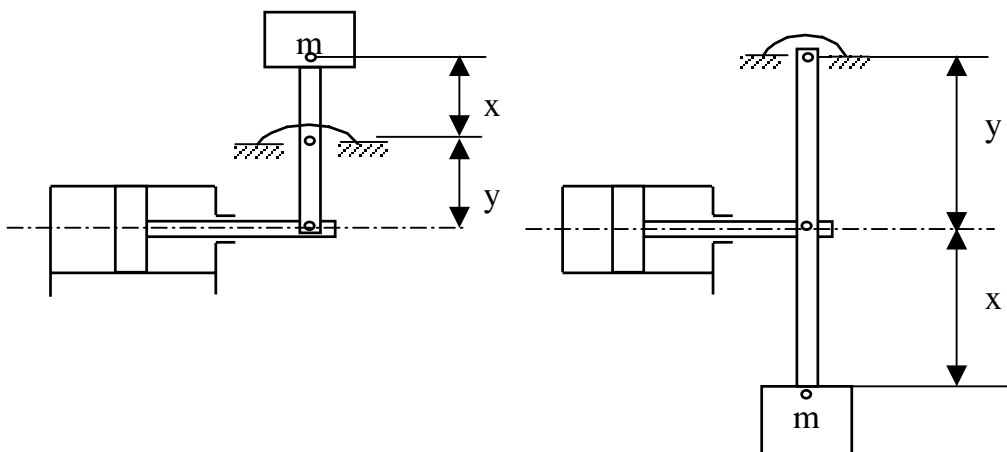
trong đó :  $C_H$  - độ cứng chống xoắn tương đương, (N.m/rad hoặc lbf.in/rad);

$J$  - mômen quán tính khối lượng, (N.m.s<sup>2</sup> hoặc in.lbf.s<sup>2</sup>).

## 2.8. CÁC GIÁ TRỊ THU GỌN CỦA MỘT SỐ CƠ CẤU THÔNG DỤNG

Thực tế xylanh thủy lực hoặc động cơ dầu có thể truyền đến một hệ thống truyền động cơ khí nào đó, trong trường hợp này khối lượng quán tính  $m$  và mômen quán tính khối lượng  $J$  trong các công thức (2.46) và (2.48) phải là các giá trị thu gọn về đầu pittông hoặc trục động cơ dầu ( $m_{tg}$  hoặc  $J_{tg}$ ).

Hình 2.13 trình bày cách xác định  $m_{tg}$  và  $J_{tg}$  của một số cơ cấu thông dụng.



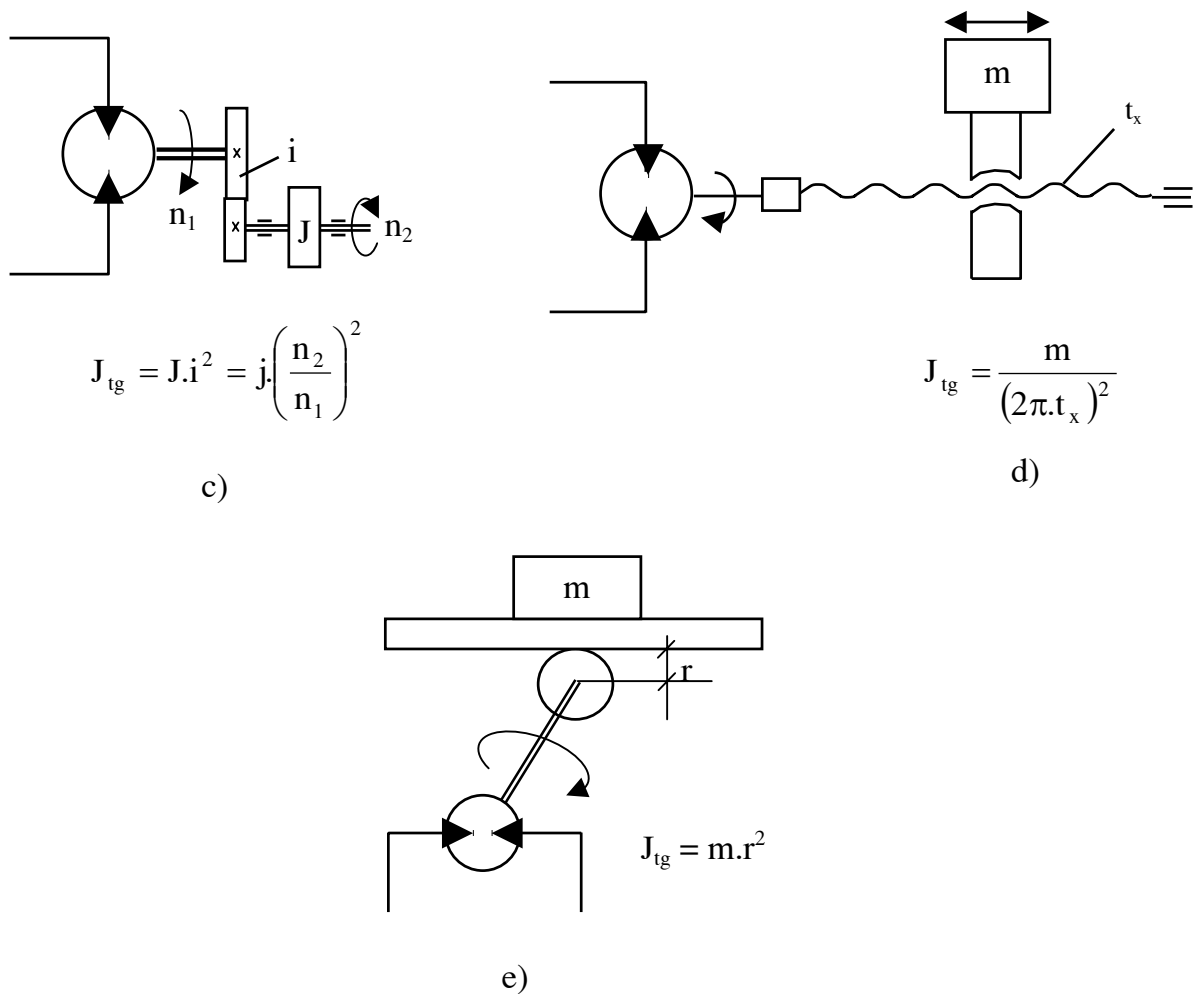
$$m_{tg} = m \left( \frac{x}{y} \right)^2$$

a)

$$m_{tg} = m \cdot \frac{(x + y)^2}{y}$$

b)





Hình 2.13. Sơ đồ xác định các giá trị thu gọn ( $m_{tg}$  và  $J_{tg}$ ) của một số cơ cấu thông dụng  
a, b - Các cơ cấu dạng càng dùng cho hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến; c- Truyền động bánh răng (hộp giảm tốc bánh răng) dùng cho động cơ dầu; d- Truyền động vít me có bước  $t_x$  dùng cho động cơ dầu; e- Truyền động bánh răng - thanh răng có bán kính lăn của bánh răng là  $r$  dùng cho động cơ dầu.

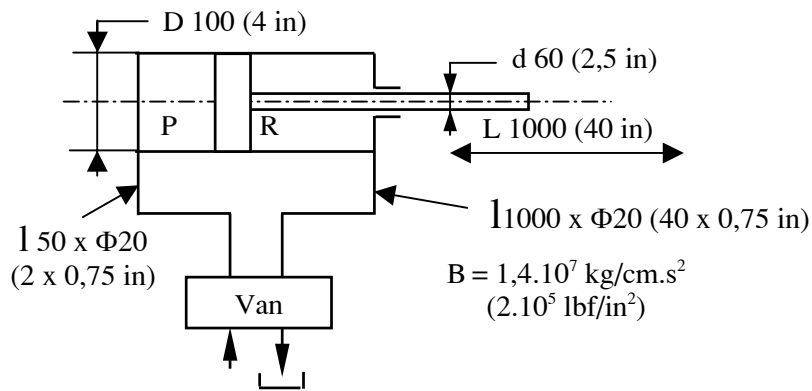
## 2.9. CÁC VÍ DỤ ỨNG DỤNG

### 2.9.1. Ví dụ 1

Xác định độ cứng thủy lực nhỏ nhất của cụm truyền động thủy lực chuyển động tịnh tiến trên hình 2.14.

Theo công thức (2.29) ta có :

$$C_H^{(\min)} = B \cdot \left( \frac{A_p^2}{A_p \cdot x + V_{L1}} + \frac{A_p^2}{A_p \cdot (L - x) + V_{L2}} \right)$$



Hình 2.14. Sơ đồ xác định độ cứng của cụm truyền động thủy lực chuyển động tịnh tiến

Gần đúng coi  $x \approx \frac{1}{2}L$ , nghĩa là  $A_P \cdot x = V_P$  và  $A_R(L - x) = V_R$ .

Nếu tính theo hệ mét ta có :

$$A_P = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 79 \text{ cm}^2; A_R = A_P - \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 50 \text{ cm}^2$$

$$V_{L1} = \left( \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \right) \cdot 5 = 16 \text{ cm}^3; V_{L2} = \left( \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \right) \cdot 100 = 314 \text{ cm}^3$$

$$V_P = 79 \cdot \frac{100}{2} = 3950 \text{ cm}^3; V_R = 50 \cdot \frac{100}{2} = 2500 \text{ cm}^3$$

$$C_H^{\min} = 1,4 \cdot 10^7 \left( \frac{79^2}{16 + 3950} + \frac{50^2}{314 + 2500} \right)$$

$$C_H^{\min} = 3,4 \cdot 10^7 \text{ N/m}$$

Nếu tính theo hệ Anh ta có :

$$A_P = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,6 \text{ in}^2; A_R = A_P - \frac{\pi \cdot 2,5^2}{4} = 7,7 \text{ in}^2$$

$$V_{L1} = \left( \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \right) \cdot 2 = 0,9 \text{ in}^3; V_{L2} = \left( \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \right) \cdot 40 = 17,7 \text{ in}^3$$

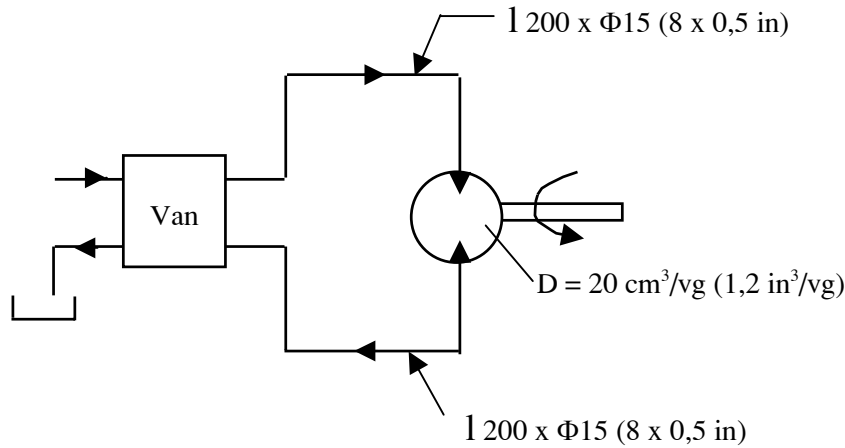
$$V_P = 40 \cdot \frac{12,6}{2} = 252 \text{ in}^3; V_R = 40 \cdot \frac{7,7}{2} = 154 \text{ in}^3$$

$$C_H^{\min} = 2 \cdot 10^5 \cdot \left[ \frac{(12,6)^2}{0,9 + 252} + \frac{(7,7)^2}{17,7 + 154} \right]$$

$$C_H^{\min} = 1,95 \cdot 10^5 \text{ lbf/in}$$

### 2.9.2. Ví dụ 2

Xác định độ cứng của cụm truyền động thủy lực chuyển động quay trên hình 2.15.



Hình 2.15. Sơ đồ xác định độ cứng của cụm truyền động thủy lực chuyển động quay

Theo công thức (2.44) ta có :

$$C_H = \frac{B}{10.000} \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2 \left( \frac{1}{V_{L1} + \frac{D}{2}} + \frac{1}{V_{L2} + \frac{D}{2}} \right)$$

Tính theo hệ mét :  $V_{L1} = \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4} \cdot \frac{200}{10} = 35,3 \text{ cm}^3$ ;  $V_{L2} = V_{L1} = 35,3 \text{ cm}^3$

$$C_H = \frac{1,4 \cdot 10^7}{10.000} \left( \frac{20}{2\pi} \right)^2 \left( \frac{1}{35,3 + \frac{20}{2}} + \frac{1}{35,3 + \frac{20}{2}} \right) = 6,3 \cdot 10^2 \text{ N.m/rad}$$

$$C_H = 6,3 \cdot 10^2 \text{ N.m/rad}$$

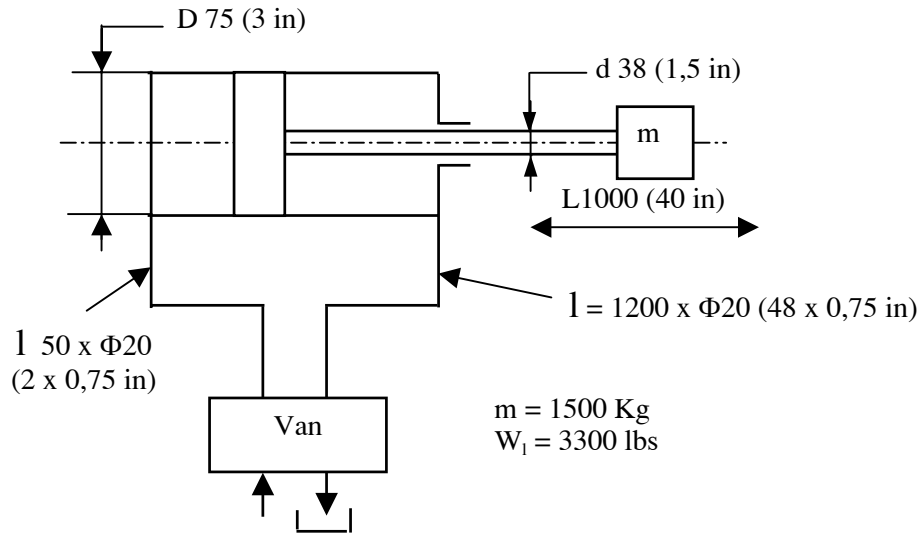
Tính theo hệ Anh :  $V_{L2} = V_{L1} = \left[ \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} \right] \cdot 8 = 1,6 \text{ in}^3$

$$C_H = 2 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{1,2}{2\pi} \right)^2 \left( \frac{1}{1,6 + \frac{1,2}{2}} + \frac{1}{1,6 + \frac{1,2}{2}} \right)$$

$$C_H = 6,6 \cdot 10^3 \text{ lbs/rad.}$$

### 2.9.3. Ví dụ 3

Xác định tần số dao động riêng của cụm truyền động thủy lực chuyển động tịnh tiến trên hình 2.16.



Hình 2.16. Sơ đồ xác định tần số dao động riêng của cụm truyền động thủy lực chuyển động tịnh tiến

Tính theo hệ mét :  $A_p = \frac{\pi \cdot 7,5^2}{4} = 44 \text{ cm}^2$  ;  $A_R = A_p - \frac{\pi \cdot 3,8^2}{4} = 33 \text{ cm}^2$

$$V_{L1} = \left[ \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \right] \cdot 5 = 16 \text{ cm}^3 ; V_{L2} = \left[ \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \right] \cdot 120 = 377 \text{ cm}^3$$

$$C_H = B \left( \frac{A_p^2}{V_{L1} + \frac{1 \cdot A_p}{2}} + \frac{A_R^2}{V_{L2} + \frac{1 \cdot A_R}{2}} \right) = 1,4 \cdot 10^7 \left( \frac{44^2}{16 + \frac{100}{2} \cdot 44} + \frac{33^2}{377 + \frac{100}{2} \cdot 33} \right)$$

$$= 1,97 \cdot 10^7 \text{ N/m}$$

Tần số dao động riêng tính theo công thức (2.46) là :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{m}} = \sqrt{\frac{1,97 \cdot 10^7}{1500}} = 115 \text{ rad/s hay } f_n = \frac{115}{2\pi} = 18 \text{ Hz}$$

Tính theo hệ Anh :

$$A_p = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} = 7,1 \text{ in} ; A_R = A_p - \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4} = 5,3 \text{ in}$$

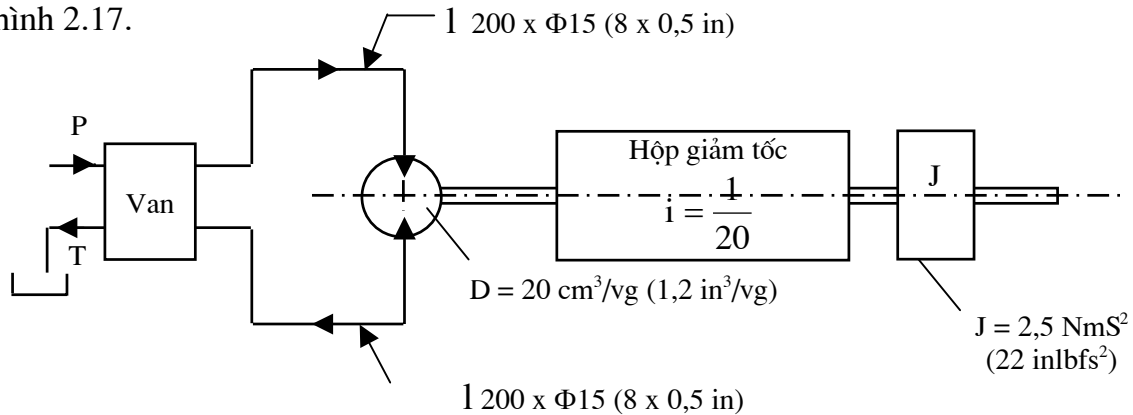
$$V_{L1} = \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \cdot 2 = 0,9 \text{ in}^3 ; V_{L2} = \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \cdot 48 = 21,2 \text{ in}^3$$

$$C_H = 2.10^5 \cdot \left( \frac{7,1^2}{0,9 + \frac{40}{2} \cdot 7,1} + \frac{5,3^2}{21,2 + \frac{40}{2} \cdot 5,3} \right); C_H = 1,1 \cdot 10^5 \text{ lbf/in}$$

Tần số dao động riêng :  $f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10^5}{\frac{3300}{380}}} = 18 \text{ Hz}$

#### 2.9.4. Ví dụ 4

Xác định tần số dao động riêng của hệ truyền động thủy lực chuyển động quay ở hình 2.17.



Hình 2.17. Sơ đồ xác định tần số dao động riêng của cụm truyền động thủy lực chuyển động quay

Tính theo hệ mét :

- Độ cứng thủy lực  $C_H = 6,3 \cdot 10^2 \text{ N.m/rad}$

- Mômen quán tính khối lượng thu gọn ở hình 2.1 được xác định theo công thức :

$$J_{tg} = J \cdot i^2 = 2,5 \cdot \left( \frac{1}{20} \right)^2 = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ N.ms}^2.$$

- Tần số dao động riêng :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{J_{tg}}} = \sqrt{\frac{6,3 \cdot 10^2}{6,25 \cdot 10^{-3}}} = 318 \text{ rad/s}; f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{318}{2\pi} = 50 \text{ Hz}$$

Tính theo hệ Anh :  $C_H = 6,6 \cdot 10^3 \text{ lbf/rad}; J_{tg} = 22 \cdot \left( \frac{1}{20} \right)^2 = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ inlbfs}^2$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{J_{tg}}} = \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^3}{5,5 \cdot 10^{-2}}} = 346 \text{ rad/s}; f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{346}{2\pi} = 55 \text{ Hz}$$

Do làm tròn khi chuyển đổi đơn vị tính nên tần số khi tính theo hệ Anh có sai khác với hệ mét.

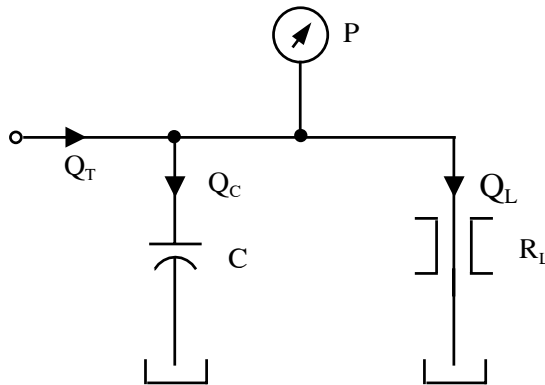
### Chương 3

## ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG THỦY LỰC

### 3.1. QUY LUẬT THAY ĐỔI CỦA ÁP SUẤT

#### 3.1.1 Xác định lưu lượng khi biết quy luật thay đổi của áp suất

Nghiên cứu mạch thủy lực ở hình 3.1, trên đó có hai yếu tố chính là lưu lượng tính đến độ đàn hồi của dầu qua C và lưu lượng thực hiện chảy tầng qua  $R_L$ .



Hình 3.1. Mạch thủy lực có  $R_L - C$

Phương trình cân bằng lưu lượng là :

$$Q_T = Q_C + Q_L \quad (3.1)$$

$$Q_C = C \frac{dP}{dt} \text{ và } Q_L = \frac{P}{R_L} \quad (3.2)$$

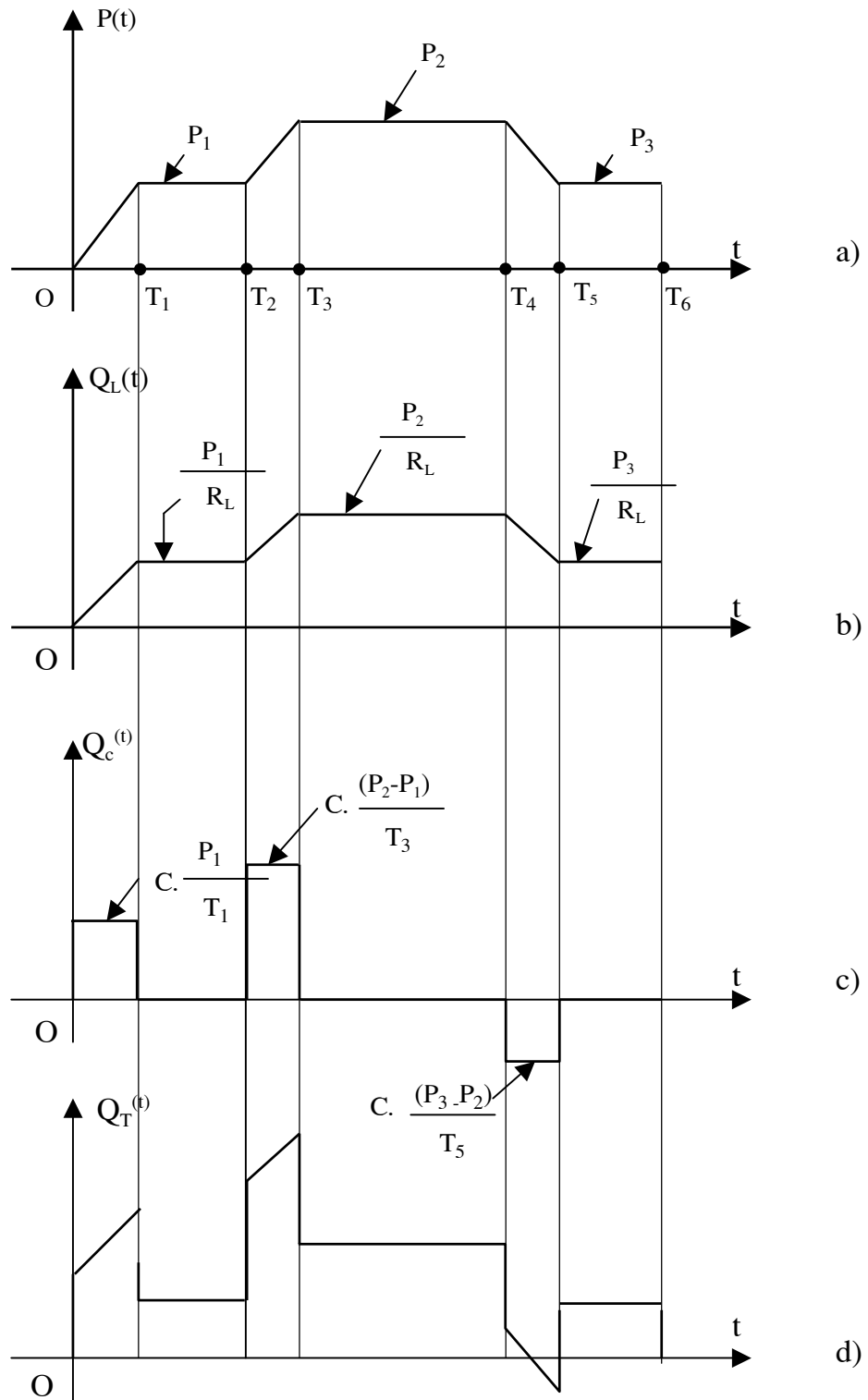
hay :

$$Q_T = C \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{P}{R_L} \quad (3.3)$$

Như vậy theo công thức (3.3), nếu biết quy luật thay đổi của áp suất P thì ta xác định được lưu lượng  $Q_T$ .

Giả sử quy luật thay đổi áp suất như ở hình 3.2a thì lưu lượng  $Q_L$  sẽ thay đổi đồng dạng với áp suất P (hình 3.2b) vì  $Q_L = \frac{P}{R_L}$  và  $Q_C$  sẽ như ở hình 3.2c vì  $Q_C = C \frac{dp}{dt}$ .

Lưu lượng tổng cộng  $Q_T$  là tổng của  $Q_L$  và  $Q_C$  theo phép cộng đồ thị (hình 3.2d).

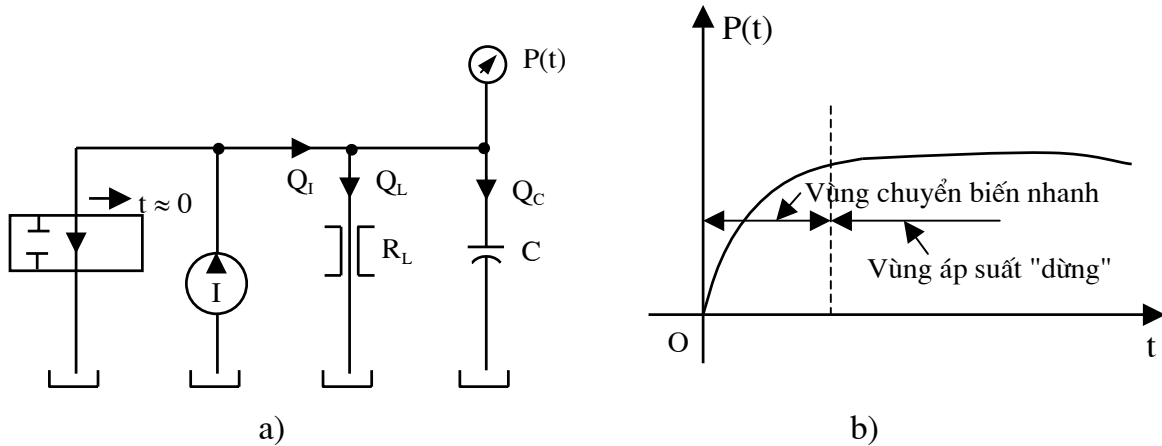


Hình 3.2. Đồ thị xác định lưu lượng  $Q_T$  từ đặc tính áp suất  
a- Đồ thị quy luật thay đổi áp suất; b- Lưu lượng của dòng chảy tầng;  
c- Lưu lượng do biến dạng đàn hồi của dầu; d- Lưu lượng tổng cộng  $Q_T$ .

### 3.1.2. Xác định quy luật thay đổi áp suất khi biết lưu lượng cung cấp $Q_I$ trong mạch $R_L C$ thủy lực

Nếu biết lưu lượng cung cấp  $Q_I$  có thể xác định được quy luật thay đổi áp suất  $P(t)$ .

Giả sử ta có mạch thủy lực như ở hình 3.3a, trong đó bơm có lưu lượng  $Q_I$  ( $I$  ký hiệu cho bơm có lưu lượng lý tưởng tức là không có tổn thất lưu lượng) và một van trượt 2 vị trí điều khiển. Van có tác dụng là khi đóng thì toàn bộ dầu từ bơm sẽ về hệ thống và khi mở thì dầu từ bơm sẽ thông vào bể dầu.



Hình 3.3. Mô hình nghiên cứu quy luật thay đổi áp suất

a- Sơ đồ mạch thủy lực  $R_L C$ ; b- Quy luật chuyển biến của áp suất.

Khi van mở, toàn bộ lưu lượng của bơm sẽ qua van và về bể dầu. Lúc đó áp suất hệ thống  $P(t) = 0$ ; Lưu lượng tổn thất qua  $R_L$  bằng 0 và chưa có dầu tích lũy trong  $C$ .

Khi van đột ngột đóng ( $t \approx 0$ ) thì tất cả lưu lượng dầu cung cấp của bơm đều vào hệ thống. Ban đầu áp suất còn thấp chưa có chất lỏng rò qua  $R_L$  và dầu tích vào  $C$  còn ít. Sau một thời gian áp suất tăng lên, dầu tích vào  $C$  nhiều hơn và chất lỏng rò qua  $R_L$  tăng dần. Kết quả chất lỏng rò qua  $R_L$  sẽ làm cho áp suất chỉ tăng đến một mức nào đó rồi không tăng và chất lỏng không còn tích thêm vào  $C$  được ( $P$  "dừng" tăng), điều này sẽ dẫn tới toàn bộ lưu lượng của bơm tràn qua  $R_L$ . Thời điểm áp suất không tăng nữa có thể gọi là thời điểm bắt đầu "dừng" và đồ thị đặc tính của áp suất thể hiện như trên hình 3.3b.

Trong quá trình nghiên cứu mạch thủy lực hãy so sánh với mạch điện, giữa chúng có những đặc điểm tương tự về hoạt động cũng như mô hình tính toán. Ví dụ sơ đồ đang nghiên cứu trên hình 3.3 tương đương với mạch điện  $RC$ , trong đó  $R_L$  tương đương với điện trở  $R$  và  $C$  tương đương với một tụ điện  $C$ . Quan hệ giữa áp suất và lưu lượng là tuyến tính (cho trường hợp dòng chảy tầng) hoặc là bậc hai (cho trường hợp chảy rối).

Khi đóng van, phương trình lưu lượng sẽ là :

$$Q_I = Q_L + Q_C = \frac{P}{R_L} + C \cdot \frac{dp}{dt} \quad (3.4)$$



Giả sử  $P(t)$  tăng theo quy luật hàm mũ và dạng tổng quát là :

$$P(t) = P_s + P_0 \cdot e^{S \cdot t} \quad (3.5)$$

trong đó :  $P_0$  - áp suất ở thời điểm ban đầu ( $t \approx 0$ );

$P_s$  - áp suất ở trạng thái "dừng" (áp suất làm việc ổn định).

Thay (3.5) vào (3.4) ta được :

$$Q_I = \left( \frac{P_s}{R_L} + \frac{P_0 \cdot e^{S \cdot t}}{R_L} \right) + C \cdot \frac{d(P_s + P_0 \cdot e^{S \cdot t})}{dt} \quad (3.6)$$

hay :

$$Q_I = \frac{P_s}{R_L} + \frac{P_0 \cdot e^{S \cdot t}}{R_L} + C \cdot S \cdot P_0 \cdot e^{S \cdot t} \quad (3.7)$$

Theo lý thuyết về phương trình vi phân tuyến tính, có thể tách phương trình (3.7) thành hai phương trình độc lập. Các số hạng không đổi cân bằng nhau và các số hạng tồn tại trong thời gian ngắn cân bằng nhau.

Tức là (3.7) có thể được viết lại như sau :

$$Q_I = \frac{P_s}{R_L} \quad (3.8)$$

và :

$$\frac{P_0 \cdot e^{S \cdot t}}{R_L} + C \cdot S \cdot P_0 \cdot e^{S \cdot t} = 0 \quad (3.9)$$

do  $e^{S \cdot t} \neq 0$  suy ra :

$$\frac{P_0}{R_L} + C \cdot S \cdot P_0 = 0 \quad (3.10)$$

hoặc :

$$\frac{1}{R_L} + S \cdot C = 0 \quad \text{nên : } S = - \frac{1}{R_L \cdot C} \quad (3.11)$$

Thay (3.8) và (3.11) vào (3.5) ta được :

$$P(t) = Q_I \cdot R_L + P_0 \cdot e^{-\frac{1}{R_L \cdot C} \cdot t} \quad (3.12)$$

Ta biết tại thời điểm  $t = 0$  van bắt đầu đóng thì  $P(0) = 0$  nên :

$$P(0) = Q_I \cdot R_L + P_0 \cdot e^{-0} = 0 \quad (3.13)$$

Vì  $e^{-0} = 1$  nên :

$$P_0 = - Q_I \cdot R_L \quad (3.14)$$

Vậy :

$$P(t) = Q_I \cdot R_L \left( 1 - e^{-\frac{1}{R_L \cdot C} \cdot t} \right) \quad (3.15)$$

Trường hợp khi van mở hoàn toàn ( $t = 0$ ) mà áp suất  $P(0) \neq 0$  thì

$$P(0) = Q_I \cdot R_L + P_0 \cdot e^0 \quad (3.16)$$

Suy ra :

$$P_0 = P(0) - Q_I \cdot R_L \quad (3.17)$$

$$\text{Thay (3.17) vào (3.12) ta có : } P(t) = Q_L \cdot R_L + [ P(0) - Q_L \cdot R_L ] \cdot e^{-\frac{1}{R_L \cdot C} \cdot t} \quad (3.18)$$

$$\text{hay : } P(t) = P_S + [ P(0) - P_S ] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.19)$$

$$\text{trong đó : } \tau = R_L \cdot C \quad (3.20)$$

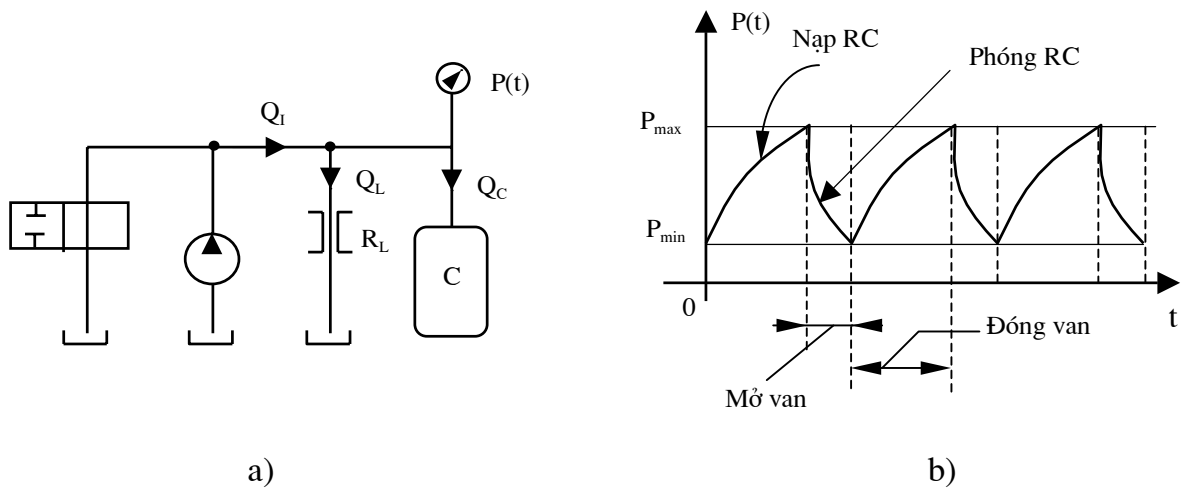
$\tau$  gọi là hằng số thời gian của đặc tính áp suất.

### 3.1.3. Quá trình phóng và nạp dầu trong mạch RC thủy lực

Mạch thủy lực ví dụ ở trên gọi là mạch RC thủy lực. Mạch này có thể ứng dụng để thực hiện thí nghiệm xác định đặc tính áp suất hoặc xác định hệ số khả năng tích lũy đàn hồi C.

Hãy nghiên cứu sơ đồ hình 3.4, trên đó có bơm dầu, van trượt hai vị trí, bộ tạo tổn thất lưu lượng  $R_L$  và một bình chứa dầu tạo khả năng tích lũy đàn hồi của dầu C.

Khi đóng van dầu được nạp vào bình chứa C, đặc tính của áp suất tăng theo quy luật hàm mũ như đã giới thiệu ở mục 3.2.



Hình 3.4. Mô hình nghiên cứu quá trình phóng và nạp dầu (RC)

a- Mô hình mạch RC thủy lực; b- Đặc tính về phóng và nạp RC thủy lực.

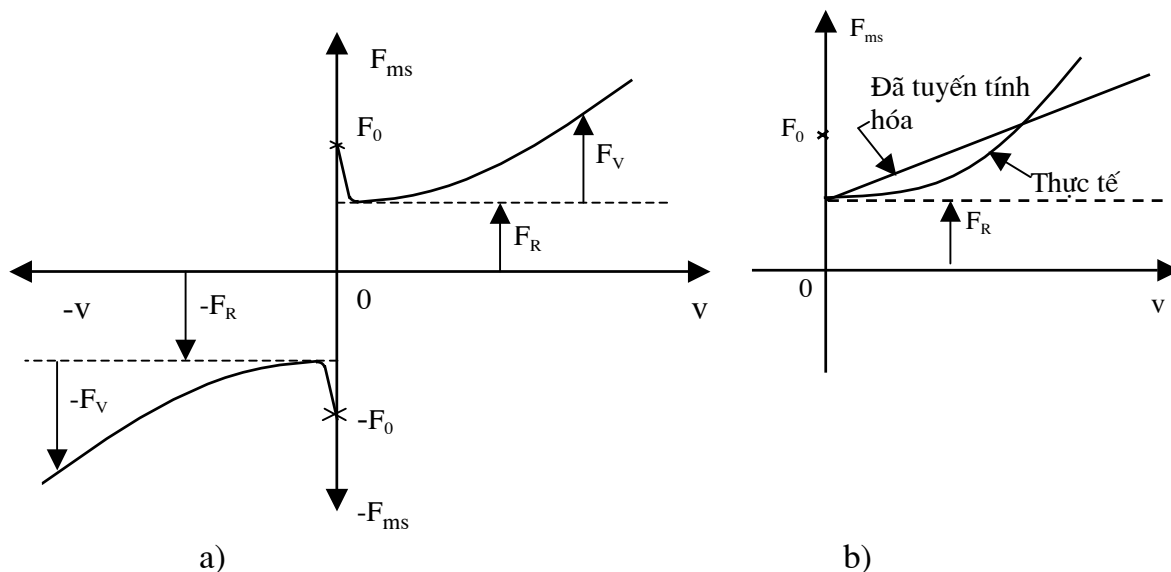
Khi mở van, dầu từ bơm hoàn toàn quay về bể dầu đồng thời dầu đã tích lũy trong bình C được xả ( phóng ). Khi phóng RC áp suất cũng giảm dần theo quy luật hàm mũ

Chu kỳ phóng và nạp RC thủy lực phụ thuộc vào thời gian đóng mở van. Thời gian càng ngắn thì  $P_{max}$  giảm và  $P_{min}$  tăng. Đặc tính phóng nạp được giới thiệu ở hình 3.4b.

### 3.2. QUÁ TRÌNH MA SÁT

Ma sát là một hiện tượng tự nhiên phức tạp, có thể có lợi hoặc hại tùy thuộc vào mục đích sử dụng của thiết bị. Đối với những hệ có dao động ngoài mong muốn thì chính nhờ ma sát sẽ cản trở hoặc hạn chế được dao động đó.

Lực ma sát quan hệ đến vận tốc chuyển động tuân theo đặc tính hình 3.5a. Trong đó giá trị  $F_0$  là lực ma sát cần thiết để vật thoát khỏi trạng thái tĩnh do hiện tượng trượt dính và  $F_v$  là ma sát nhớt khi vật chuyển động với vận tốc  $v$ . Giá trị  $F_v$  sẽ liên quan đến hiện tượng tắt dần dao động trong các dao động.  $F_R$  là lực ma sát có giá trị không đổi.



Hình 3.5. Đồ thị quan hệ giữa lực ma sát và vận tốc chuyển động

a- Đồ thị quan hệ  $F_{ms} - v$  thực tế; b- Đồ thị về tuyến tính hoá quan hệ  $F_{ms} - v$ .

Thực tế vận tốc để lực dính kết  $F_0$  giảm xuống  $F_R$  rất nhỏ ( $\approx 0$ ) nên có thể coi  $F_v$  xuất hiện tại  $v \approx 0$ .

Các thành phần lực trên được xác định như sau :

$$F_0 = \mu_0 \cdot F_N \quad (3.21)$$

$$F_R = \mu_R \cdot F_N \quad (3.22)$$

trong đó :  $F_N$  - lực pháp tuyến trên bề mặt trượt;

$\mu_0, \mu_R$  - các hệ số ma sát nhớt liên quan đến sự dính kết và trượt của các cặp ma sát.

Nếu đường cong ma sát nhớt  $F_v$  chia ra thành từng đoạn nhỏ tuyến tính thì ta có công thức :

$$F_v = f_1 \cdot v^{(1)} + f_2 \cdot v^{(2)} + f_3 \cdot v^{(3)} + \dots + f_n \cdot v^{(n)} \quad (3.23)$$

trong đó  $f_i$  và  $v^{(i)}$  là hệ số ma sát nhớt và vận tốc tương ứng với các đoạn chia nhỏ ở trên đường cong.

Để đơn giản cho quá trình tính toán, thực tế có thể tuyến tính hoá đường cong thực  $F_v$ , tuy nhiên sai số tuyến tính nhỏ và nằm trong phạm vi cho phép ứng dụng của kỹ thuật (hình 3.5b).

Lực ma sát nhớt  $F_v$  viết lại là :

$$F_V = f_V \cdot v \quad (3.24)$$

trong đó :  $v$  - vận tốc chuyển động;  $f_V$  - hệ số ma sát nhớt.

Thực tế  $F_R$  rất nhỏ, có thể bỏ qua,  $F_0$  là lực liên kết khi vật chưa chuyển động. Nên trong quá trình thiết lập các phương trình lực thì lực ma sát được tính theo công thức (3.24).

Cũng phân tích tương tự như trên đối với hệ chuyển động quay mômen ma sát được xác định theo công thức :

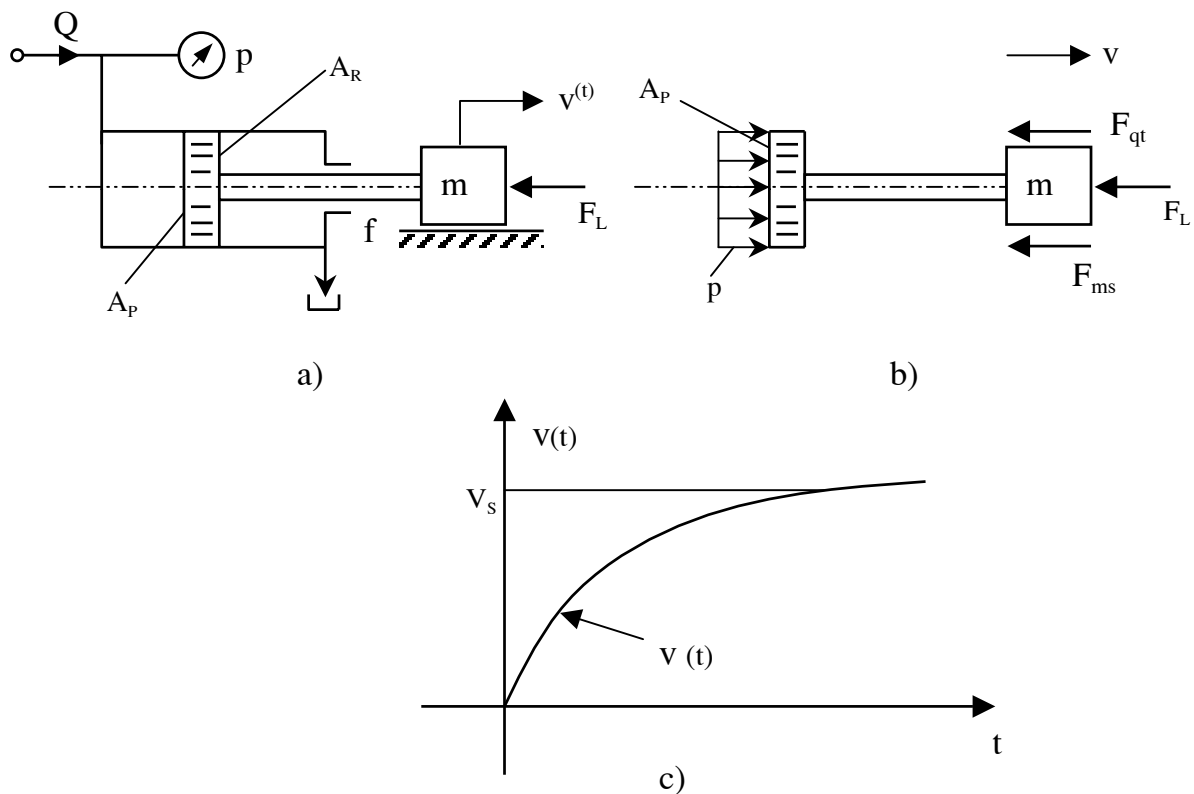
$$M_\Omega = f_\Omega \cdot \Omega \quad (3.25)$$

trong đó :  $M_\Omega$  - mômen do ma sát nhớt gây ra;

$f_\Omega$  - hệ số ma sát nhớt ( $f_\Omega \neq f_V$ );

$\Omega$  - vận tốc góc của hệ ma sát chuyển động quay.

### 3.3. VẬN TỐC CHUYỂN ĐỘNG CỦA PITTÔNG KHI TÍNH ĐẾN MA SÁT NHỚT



Hình 3.6. Mô hình tính toán vận tốc chuyển động của pittông

a- Sơ đồ nguyên lý; b- Sơ đồ phân tích lực; c - Đồ thị vận tốc  $v(t)$ .

Khi pittông của xy lanh thủy lực mang khối lượng  $m$  chuyển động với vận tốc  $v(t)$  (hình 3.6a) thì phương trình cân bằng lực được xây dựng trên cơ sở của sơ đồ phân tích

lực (hình 3.6b) như sau :

$$P \cdot A_p - F_{ms} - F_L = m \frac{dv}{dt} \quad (3.26)$$

$F_{ms} = f.v$  là lực ma sát nhớt.

Nếu vận tốc chuyển động của pittông  $v(t)$  biến đổi theo quy luật hàm mũ (hình 3.6c) và xác định theo công thức :

$$v(t) = v_s + v_0.e^{st} \quad (3.27)$$

thì (3.26) được viết lại bằng cách thay (3.27) vào (3.26) :

$$P.A_p - f.v_s - f.v_0.e^{st} - F_L = m.s.e^{st}.v_0 \quad (3.28)$$

Tách (3.28) thành hai phương trình độc lập theo tính chất của phương trình vi phân tuyến tính :

$$P.A_p - F_L - f.v_s = 0 \quad (3.29)$$

và 
$$f.v_0.e^{st} = -s.m.e^{st}.v_0 \quad (3.30)$$

Suy ra : 
$$v_s = \frac{P.A_p - F_L}{f} \quad (3.31)$$

Công thức (3.30) có  $e^{st} \neq 0$  nên :  $f + s.m = 0$  hay  $s = -\frac{f}{m}$  (3.32)

Tại thời điểm  $t = 0$  thì  $v_{(0)} = v_s + v_0.s^0$  hay  $v_0 = v(0) - v_s$  (3.33)

Lúc này : 
$$v(t) = v_s + (v_{(0)} - v_s).e^{\left(-\frac{f}{m}t\right)} \quad (3.34)$$

hoặc : 
$$v(t) = v_s + [v_{(0)} - v_s] e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.35)$$

với  $\tau = \frac{m}{s}$  ,  $\tau$  gọi là hằng số thời gian của đặc tính vận tốc.

### 3.4. ĐẶC TÍNH ÁP SUẤT CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG THỦY LỰC CHUYỂN ĐỘNG TÍNH TIẾN

#### 3.4.1. Khi xét đến các yếu tố là khối lượng chuyển động, độ đàn hồi của dầu và tổn thất lưu lượng (bỏ qua ma sát nhớt)

Như đã giới thiệu ở mục 3.1 và 3.2,  $R_L$  thể hiện sức cản chống lại khả năng rò dầu trong hệ thủy lực. Năng lượng  $P$ .  $Q_L$  qua  $R_L$  biến thành nhiệt năng. Cùng với ma sát  $F_{ms}$   $R_L$  sẽ làm cản trở dao động của quá trình quá độ. Nếu ma sát lớn, tổn thất lưu lượng lớn thì thời gian đáp ứng sẽ nhanh. Như vậy trong một số trường hợp đây lại là yếu tố có lợi.

Mục này nghiên cứu sơ đồ thủy lực ở hình 3.7a, trong đó các ký hiệu về phân tử và thông số của hệ giống như đã ký hiệu ở các phần trước.

Phương trình cân bằng lưu lượng :

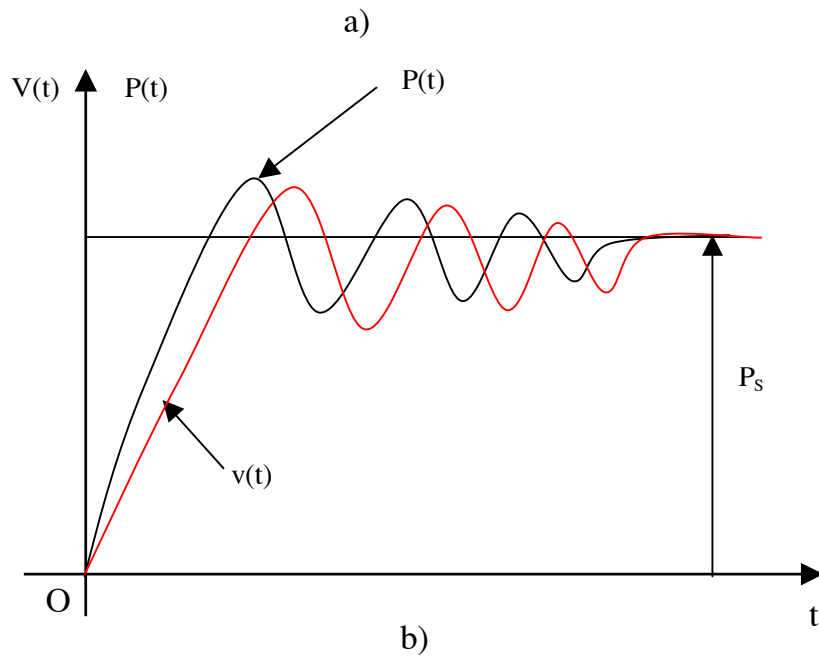
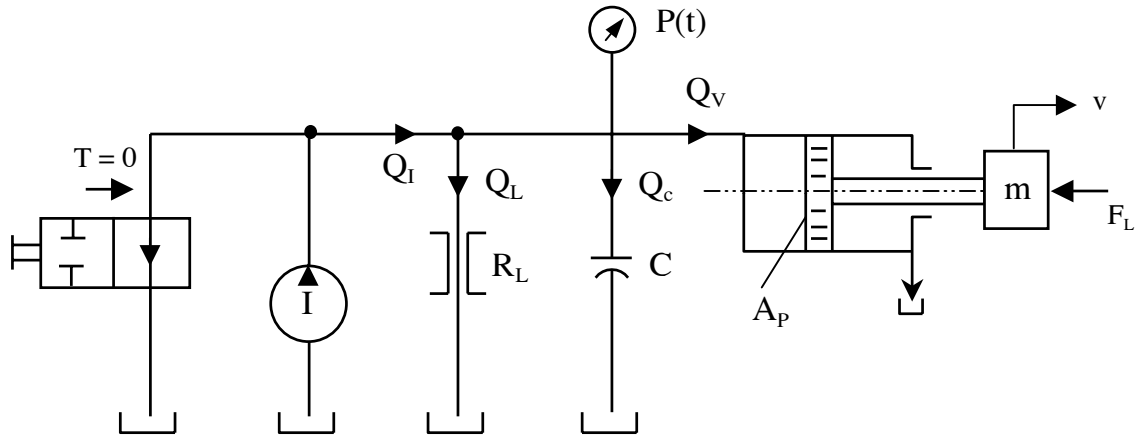
$$Q_I = Q_L + Q_C + Q_V = \frac{P}{R_L} + C.\frac{dp}{dt} + v.A_p \quad (3.36)$$

Phương trình cân bằng lực :

$$P.A_P - F_L = ma = m \frac{dv}{dt} \quad (3.37)$$

hay :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{P.A_P}{m} - \frac{F_L}{m} \quad (3.38)$$



Hình 3.7. Mô hình khảo sát đặc tính  $P(t)$  khi bỏ qua ma sát nhớt  
a- Sơ đồ nguyên lý; b- Đặc tính  $P(t)$  và  $v(t)$ .

Tích phân hai vế phương trình (3.38) là :

$$\int_0^t a dt = \int_0^t \frac{dv}{dt} .dt = v = \frac{A_P}{m} \int_0^t P dt - \frac{1}{m} \int_0^t F_L dt \quad (3.39)$$

Thay (3.39) vào (3.36) ta được :

$$Q_I = \frac{P}{R_L} + C \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{A_P^2}{m} \int_0^t P \cdot dt - \frac{A_P}{m} \int_0^t F_L \cdot dt \quad (3.40)$$

Do  $Q_I$  là hằng số nên  $\frac{dQ_I}{dt} = 0$  :

$$\frac{dQ_I}{dt} = \frac{1}{R_L} \frac{dP}{dt} + C \cdot \frac{d^2P}{dt^2} + \frac{A_P^2}{m} \cdot P - \frac{A_P}{m} \cdot F_L = 0 \quad (3.41)$$

Mặt khác  $P(t) = P_S + P_0 \cdot e^{S \cdot t}$  nên :

$$\frac{dP}{dt} = S \cdot e^{S \cdot t} \cdot P_0 \quad \text{và} \quad \frac{d^2P}{dt^2} = S^2 \cdot e^{S \cdot t} \cdot P_0 \quad (3.42)$$

Thay (3.42) vào (3.41) :

$$S \cdot \frac{P_0}{R_L} \cdot e^{S \cdot t} + S^2 \cdot C \cdot P_0 \cdot e^{S \cdot t} + \frac{A_P^2}{m} \cdot P_S + \frac{A_P^2}{m} \cdot P_0 \cdot e^{S \cdot t} - \frac{A_P}{m} \cdot F_L = 0 \quad (3.43)$$

Theo tính chất của phương trình vi phân tuyến tính thì (3.43) có thể tách ra thành hai phương trình sau :

$$\frac{A_P^2}{m} \cdot P_S - \frac{A_P}{m} \cdot F_L = 0 \quad (3.44)$$

và :

$$\left[ \frac{S}{R_L} + S^2 \cdot C + \frac{A_P^2}{m} \right] \cdot P_0 \cdot e^{S \cdot t} = 0 \quad (3.45)$$

Từ (3.44) ta rút ra được áp suất ở trạng thái ổn định là :

$$P_S = \frac{F_L}{A_P} \quad (3.46)$$

Công thức (3.45) có  $P_0 \neq 0$  và  $e^{S \cdot t} \neq 0$  nên

$$\frac{S}{R_L} + S^2 \cdot C + \frac{A_P^2}{m} = 0$$

hay :

$$S^2 + \frac{1}{R_L \cdot C} \cdot S + \frac{A_P^2}{m \cdot C} = 0 \quad (3.47)$$

Phương trình (3.47) là phương trình bậc hai của  $S$  nên nghiệm của nó là :

$$S = -\frac{1}{2 \cdot R_L \cdot C} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{R_L^2 \cdot C^2} - \frac{4A_P^2}{m \cdot C}} \quad (3.48)$$

và có ba khả năng sau đây có thể xảy ra :

**1. Khả năng thứ nhất** : Đại lượng S có hai nghiệm thực không trùng nhau khi

$$\frac{1}{R_L^2 \cdot C^2} > \frac{4A_P^2}{m \cdot C} \quad (3.49)$$

và nếu đặt  $S_1 = -\frac{1}{\tau_1}$  và  $S_2 = -\frac{1}{\tau_2}$  là :

$$\frac{1}{\tau_1} = -\frac{1}{2 \cdot R_L \cdot C} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{R_L^2 \cdot C^2} - \frac{4A_P^2}{m \cdot C}} \quad (3.50)$$

$$\frac{1}{\tau_2} = -\frac{1}{2 \cdot R_L \cdot C} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{R_L^2 \cdot C^2} - \frac{4A_P^2}{m \cdot C}} \quad (3.51)$$

Thay  $S_1$  và  $S_2$  vào  $P(t) = P_S + P_0 \cdot e^{S \cdot t}$  ta được

$$P(t) = P_S + P_{01} \cdot e^{-t/\tau_1} + P_{02} \cdot e^{-t/\tau_2} \quad (3.52)$$

$P_{01}$  và  $P_{02}$  xác định theo điều kiện đầu.

**2. Khả năng thứ hai** : S có hai nghiệm kép là :

$$S_1 = S_2 = -\frac{1}{\tau} = \frac{1}{2R_L \cdot C} \quad (3.53)$$

nên : 
$$P(t) = P_S + (P_{01} + P_{02}) \cdot e^{-t/\tau} \quad (3.54)$$

Đây là trường hợp áp suất tắt dần tới hạn, điều này không phù hợp với thực tế.

**3. Khả năng thứ ba** : S có hai nghiệm phức, phần thực bằng nhau, phần ảo bằng nhau về độ lớn và ngược nhau về dấu.

$$S_1 = -\alpha + j\beta \quad (3.55)$$

$$S_2 = -\alpha - j\beta$$

với 
$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot R_L \cdot C}, \quad \beta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4 \cdot A_P^2}{m \cdot C} - \frac{1}{R_L^2 \cdot C^2}}, \quad \left( \frac{1}{R_L^2 \cdot C^2} < \frac{4 \cdot A_P^2}{m \cdot C} \right) \quad (3.56)$$

Áp suất P(t) được xác định theo công thức sau :

$$P(t) = P_S + P_{01} \cdot e^{-\alpha t} \cdot e^{j\beta t} + P_{02} \cdot e^{-\alpha t} \cdot e^{-j\beta t} \quad (3.57)$$

Khi có nghiệm phức hệ sẽ dao động tắt dần. Đây là trường hợp thường gặp trong thực tế.

Theo lý thuyết của Euler thì các hàm mũ phức có thể chuyển sang hàm sin hoặc cos như sau :

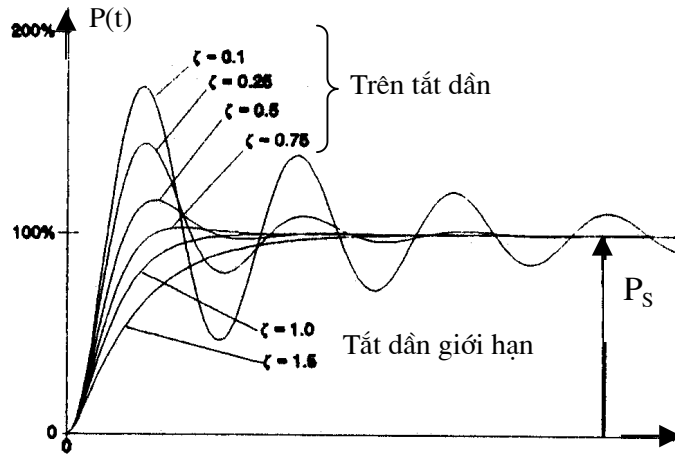
$$P(t) = P_S + A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos \beta t + B \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin \beta t \quad (3.58)$$

hay : 
$$P(t) = P_S + \sqrt{A^2 + B^2} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos(\beta t + \Phi) \quad (3.59)$$



với :  $\Phi = \arctg \frac{B}{A}$  ;  $\left( \Phi = \text{tg}^{-1} \frac{B}{A} \right)$

Hình 3.8 trình bày đặc tính  $P(t)$  dao động tắt dần, trên tắt dần và tắt dần tới hạn.



Hình 3.8. Đặc tính áp suất  $P(t)$  của hệ thủy lực ở hình 4.7a

### 3.4.2. Khi xét đến các yếu tố là khối lượng chuyển động, độ đàn hồi của dầu, tổn thất lưu lượng và ma sát nhớt

Bài toán này đề cập đến cả hai yếu tố tắt dần là tổn thất lưu lượng và ma sát nhớt. Mô hình khảo sát của bài toán này tương tự như ở hình 3.7a.

Phương trình cân bằng lưu lượng và phương trình cân bằng lực là :

$$Q_I = \frac{P}{R_L} + C \cdot \frac{dp}{dt} + v \cdot A_P \quad (3.60)$$

$$P \cdot A_P - f \cdot v - F_L = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (3.61)$$

trong đó :  $f \cdot v = F_{ms}$  là lực ma sát nhớt;  
 $f$  là hệ số ma sát nhớt.

Lấy đạo hàm  $\frac{dQ_I}{dt} = 0$  của phương trình (3.60) :

$$\frac{1}{R_L} \cdot \frac{dp}{dt} + C \cdot \frac{d^2p}{dt^2} + A_P \cdot \frac{dv}{dt} = 0 \quad (3.62)$$

Suy ra : 
$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{R_L \cdot A_P} \cdot \frac{dp}{dt} - \frac{C}{A_P} \cdot \frac{d^2p}{dt^2} \quad (3.63)$$

Thay (3.63) và (3.60) vào công thức (3.61) ta có :

$$P.A_p - f \left( \frac{Q_I}{A_p} - \frac{P}{R_L.A_p} - \frac{C}{A_p} \cdot \frac{dp}{dt} \right) - F_L = m \cdot \left( -\frac{1}{R_L.A_p} \cdot \frac{dp}{dt} - \frac{C}{A_p} \cdot \frac{d^2p}{dt^2} \right) \quad (3.64)$$

Biến đổi (3.64) như sau :

$$\frac{m.C}{A_p} \cdot \frac{d^2p}{dt^2} + \left( \frac{C.f}{A_p} + \frac{m}{R_L.A_p} \right) \cdot \frac{dp}{dt} + \left( \frac{f}{R_L.A_p} + A_p \right) \cdot p = F_L + \frac{f.Q_I}{A_p} \quad (3.65)$$

$$\text{hay : } \frac{d^2p}{dt^2} + \left( \frac{f}{m} + \frac{1}{R_L.C} \right) \cdot \frac{dp}{dt} + \left( \frac{f}{m.R_L.C} + \frac{A_p^2}{m.C} \right) \cdot p = \frac{F_L.A_p}{m.C} + \frac{f.Q_I}{m.C} \quad (3.66)$$

Tương tự như mục 3.4.1 lấy đạo hàm bậc nhất và bậc hai của  $P(t) = P_s + P_0.e^{St}$  thay vào (3.66), sau đó thiết lập hai phương trình độc lập có các số hạng không đổi cân bằng nhau và các số hạng thay đổi theo thời gian cân bằng nhau, kết quả ta có :

$$P_s = \frac{f.Q_I + F_L.A_p}{\frac{f}{R_L} + A_p^2} \quad (3.67)$$

$$\text{và : } S^2 + \left( \frac{f}{m} + \frac{1}{R_L.C} \right) \cdot S + \left( \frac{f}{m.R_L.C} + \frac{A_p^2}{m.C} \right) = 0 \quad (3.68)$$

Các hệ số của phương trình (3.68) đồng thời tồn tại các yếu tố như  $m$ ,  $A_p$ ,  $C$ ,  $R_L$  và  $f$ . Đây là bài toán tổng hợp đồng thời xét đến cả ba yếu tố là độ đàn hồi của dầu, sự rò dầu và tổn thất năng lượng do ma sát nhớt. Tùy theo mức độ ảnh hưởng của các yếu tố trong từng bài toán cụ thể mà có thể bỏ qua yếu tố này hoặc yếu tố khác.

Lập luận để giải bài toán (3.68) tương tự như đã giới thiệu ở mục 3.4.1.

Nếu bỏ yếu tố ma sát ( $f$ ) ở công thức (3.67) và (3.68) thì sẽ giống công thức (3.66) và (3.67).

Công thức xác định  $P_s$  ở trạng thái ổn định rút ra từ bài toán tổng quát (3.46) và (3.67) hoàn toàn tương tự như khi thiết lập phương trình cân bằng lực của pittông ở trạng thái cân bằng tĩnh.

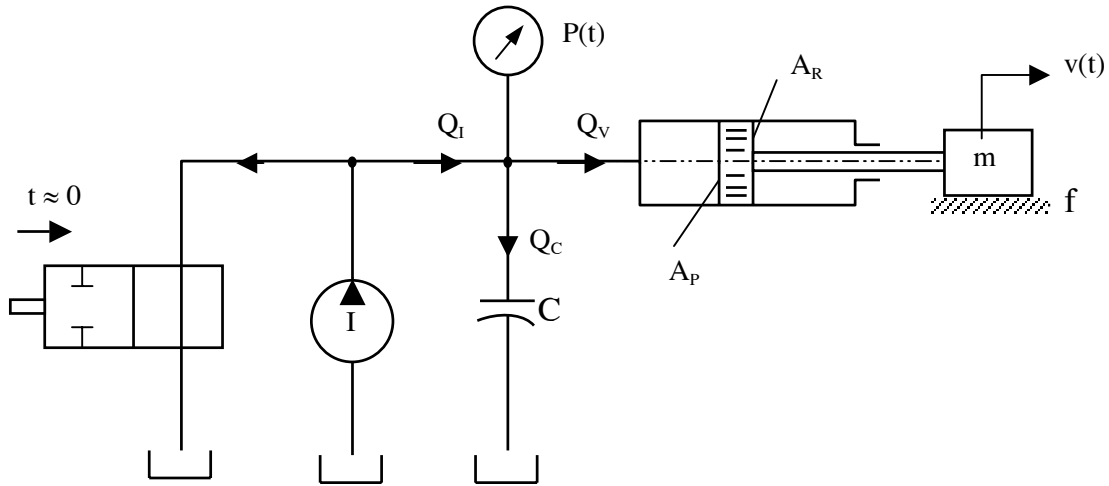
### 3.5. ĐẶC TÍNH VẬN TỐC CỦA PITTÔNG KHI XÉT ĐẾN CÁC YẾU TỐ LÀ KHỐI LƯỢNG CHUYỂN ĐỘNG, ĐỘ ĐÀN HỒI CỦA DẦU, MA SÁT NHỚT VÀ KHÔNG TÍNH ĐẾN SỰ RÒ DẦU

Nếu không tính đến sự rò dầu thì mô hình khảo sát sẽ là hình 3.9. Trong đó, bơm có lưu lượng lý tưởng là  $Q_I$ , hệ không có tổn thất lưu lượng, chỉ xét đến các yếu tố là độ đàn hồi của dầu và ma sát nhớt của bộ phận chuyển động có khối lượng  $m$ .

Khi đóng van ( $t \approx 0$ ), phương trình cân bằng lưu lượng và phương trình cân bằng lực như sau :

$$Q_I = C \cdot \frac{dp}{dt} + A_P \cdot v \quad (3.69)$$

$$P \cdot A_P - f \cdot v = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (3.70)$$



Hình 3.9. Mô hình khảo sát đặc tính vận tốc của pittông khí không tính đến tổn thất lưu lượng

Rút  $\frac{dp}{dt}$  từ công thức (3.69) rồi thay vào công thức (3.70) ta có :

$$\frac{dp}{dt} \cdot A_P - f \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot \frac{d^2v}{dt^2} \quad (3.71)$$

$$\left( \frac{Q_I}{C} - \frac{A_P}{C} \cdot v \right) \cdot A_P - f \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot \frac{d^2v}{dt^2} \quad (3.72)$$

hay :

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{f}{m} \cdot \frac{dv}{dt} + \frac{A_P^2}{m \cdot C} \cdot v = \frac{A_P}{m \cdot C} \cdot Q_I \quad (3.73)$$

Nghiệm của phương trình vi phân bậc hai (3.73) theo  $v(t)$  sẽ có dạng hàm mũ  $v(t) = v_s + v_0 \cdot e^{S \cdot t}$  như đã giới thiệu ở mục 3.3. Với :

$$\frac{dv}{dt} = S \cdot v_0 \cdot e^{S \cdot t} \quad \text{và} \quad \frac{d^2v}{dt^2} = S^2 \cdot v_0 \cdot e^{S \cdot t}$$

thì (3.73) có thể viết lại là :

$$S^2 \cdot v_0 \cdot e^{S \cdot t} + S \cdot v_0 \cdot \frac{f}{m} \cdot e^{S \cdot t} + \frac{A_P^2}{m \cdot C} \cdot v_s + \frac{A_P^2}{m \cdot C} \cdot v_0 \cdot e^{S \cdot t} = \frac{A_P}{m \cdot C} \cdot Q_I \quad (3.74)$$

Phương trình (3.74) có thể tách thành hai phương trình độc lập (theo tính chất của phương trình vi phân tuyến tính). Các số hạng không đổi bằng nhau và các số hạng phụ thuộc thời gian bằng nhau, nghĩa là :

$$\frac{A_p^2}{m.C} \cdot v_s = \frac{A_p}{m.C} \cdot Q_I \quad (3.75)$$

và :

$$\left( S^2 + \frac{f}{m} \cdot S + \frac{A_p^2}{m.C} \right) \cdot v_0 \cdot e^{st} = 0 \quad (3.76)$$

Từ (3.75) rút ra được vận tốc ở trạng thái ổn định là :

$$v_s = \frac{Q_I}{A_p} \quad (3.77)$$

Công thức (3.77) hoàn toàn phù hợp với giả thuyết ban đầu là hệ không có tổn thất lưu lượng. Toàn bộ lưu lượng của bơm  $Q_I$  ở trạng thái ổn định chỉ để đẩy pittông chuyển động. Phương trình (3.76) có các số hạng phụ thuộc theo thời gian và có  $e^{st} \neq 0$ ; vận tốc ban đầu (ở thời điểm  $t = 0$ ) là  $v_0 = 0$ . Tuy nhiên ở đây ta quan tâm đến

trường hợp :

$$S^2 + \frac{f}{m} \cdot S + \frac{A_p^2}{m.C} = 0 \quad (3.78)$$

Phương trình (3.78) có dạng như phương trình (3.77) khi chỉ xét đến lưu lượng mà không tính đến ma sát nhớt. Nghiệm của (3.78) cũng được lý luận như mục 3.4.

### 3.6. TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG THỦY LỰC CHUYỂN ĐỘNG TỊNH TIẾN

Ta thấy các phương trình (3.47) và (3.68) và (3.78) là các phương trình đặc trưng của khâu dao động. Chúng có thể viết dưới dạng sau đây :

$$S^2 + 2\xi \cdot \omega_n \cdot S + \omega_n^2 = 0 \quad (3.79)$$

trong đó :  $\xi$  – hệ số tắt dần;

$\omega_n$  – tần số dao động riêng (rad/s).

Nếu so sánh (3.79) với (3.47), (3.68) và (3.78) thì có thể tìm được tần số riêng  $\omega_n$  và hệ số tắt dần  $\xi$  của các hệ đó.

Ví dụ với phương trình (3.68) ta có tần số riêng  $\omega_n$  và hệ số tắt dần như sau :

$$\omega_n^2 = \frac{f}{m.C.R_L} + \frac{A_p^2}{m.C} \quad (3.80)$$

hay :

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{m} \left( \frac{f}{C.R_L} + \frac{A_p^2}{C} \right)} = \sqrt{\frac{C_H}{m}} \quad (3.81)$$

hoặc : 
$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \text{ (Hz)} \quad (3.82)$$

trong đó : 
$$C_H = \frac{f}{C.R_L} + \frac{A_p^2}{C} \quad (3.83)$$

$C_H$  được gọi là độ cứng thủy lực.

$$2.\xi.\omega_n = \frac{f}{m} + \frac{1}{R_L.C}$$

hay : 
$$\xi = \frac{1}{2.\omega_n} \cdot \left[ \frac{f}{m} + \frac{1}{R_L.C} \right] \quad (3.84)$$

Trong đa số các trường hợp hệ số ma sát  $f$  nhỏ hơn nhiều so với hệ số cản rò dầu  $R_L$  nên gần đúng lấy : 
$$C_H \approx \frac{A_p^2}{C} = \frac{B.A_p^2}{V} \quad (3.85)$$

và : 
$$f_n \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B.A_p^2}{V} \cdot \frac{1}{m}} \quad (3.86)$$

Các bài toán ở các mục 3.4; 3.5 và 3.6 chỉ xét cho trường hợp pittông chỉ làm việc một chiều và chỉ một buồng dầu có áp suất, thực tế hầu hết các xy lanh trong công nghiệp làm việc hai chiều và hai buồng dầu đều có áp suất. Đồng thời khi pittông thay đổi, thể tích hai buồng dầu thay đổi nên độ cứng thủy lực sẽ thay đổi, điều đó dẫn đến tần số riêng của hệ cũng thay đổi.

Theo (3.86), muốn  $f_n$  min thì  $C_H$  phải là max. Quan hệ giữa  $f_n$  với vị trí di chuyển của pittông sẽ được trình bày kỹ ở chương khác.

Mục đích của thiết kế là hệ thống phải có kết cấu hợp lý. Chọn các giá trị  $R_L$  và  $f$  hợp lý là một việc rất cần thiết nhưng cũng thực sự khó khăn nên cần được nghiên cứu thêm. Tuy nhiên có thể đánh giá hoặc xác định chúng thông qua hệ số tắt dần  $\xi$ .

Bằng thực nghiệm người ta xác định được  $\xi$  thay đổi trong khoảng  $0,03 \div 0,15$  và có thể tóm tắt ứng dụng như sau :

$\xi = 0,03 \div 0,05$  : Đối với các bạc, bộ phận dẫn hướng có độ chịu mài mòn cao và ma sát cực nhỏ.

$\xi = 0,05 \div 0,08$  : Đối với các bộ phận dẫn hướng được bôi trơn tốt và ma sát nhỏ.

$\xi = 0,08 \div 0,11$  : Đối với các bộ phận được bôi trơn và ma sát ở mức trung bình.

$\xi = 0,11 \div 0,15$  : Đối với tải lớn, ma sát lớn và bôi trơn kém.

## Chương 4

# VẤN ĐỀ SAI SỐ VỊ TRÍ VÀ HÀM TRUYỀN CỦA MỘT SỐ MẠCH ĐIỀU KHIỂN HỆ THỦY LỰC

### 4.1. CÁC KHÁI NIỆM VỀ ĐIỀU KHIỂN HỆ HỞ VÀ HỆ KÍN

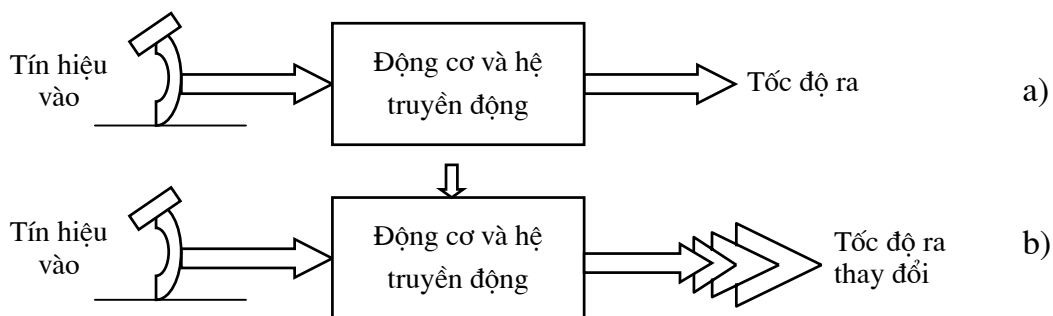
Điều khiển tự động nói chung và hệ điều khiển tự động thủy lực nói riêng đã được trình bày trong giáo trình "Điều khiển tự động trong lĩnh vực cơ khí" hoặc có đề cập ở các chương trước.

Chương này sẽ giới thiệu thêm một số vấn đề cơ bản về điều khiển tự động thủy lực mà các sách, tài liệu khác chưa đề cập đến.

Trước hết hãy phân biệt khái niệm mạch điều khiển hở và mạch điều khiển kín.

#### 4.1.1. Hệ điều khiển mạch hở

Ví dụ khi điều khiển vận tốc của một chiếc xe chuyển động trên đường thì tín hiệu điều khiển là tác động của chân vào bàn đạp (chân ga). Tín hiệu ra là tốc độ của xe, sự thay đổi tốc độ chuyển động của xe phụ thuộc vào sự thay đổi của tiết lưu nhiên liệu, tức là sự thay đổi của bàn đạp ga (hình 4.1a).



Hình 4.1. Sơ đồ hệ hở về điều khiển tốc độ của xe trên đường

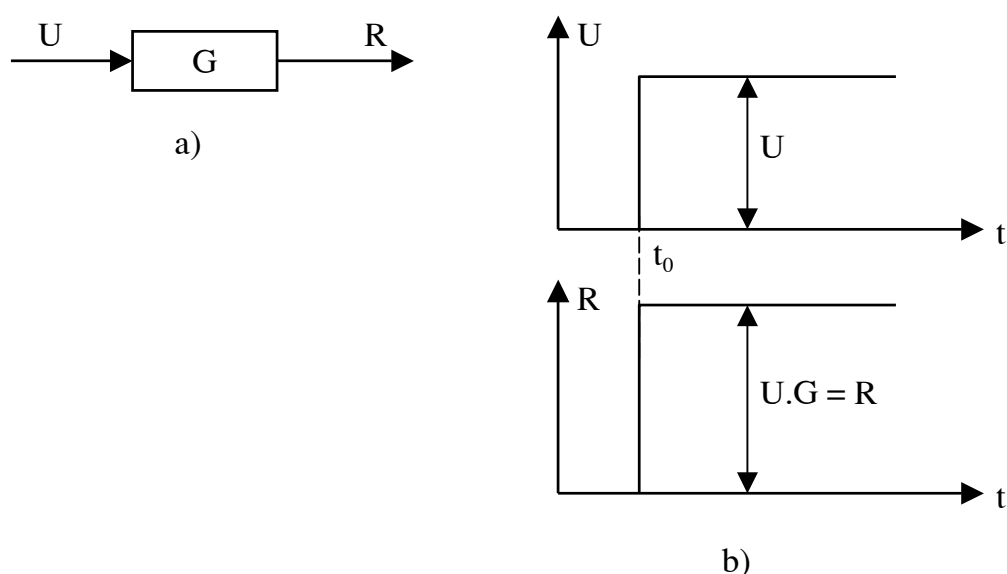
a- Sơ đồ khi không tính đến các yếu tố ảnh hưởng;

b- Sơ đồ mô phỏng khi tính đến điều kiện làm việc thực tế.

Thực tế có rất nhiều yếu tố khác ảnh hưởng đến tốc độ của xe như : tải trọng, sức cản của gió, chất lượng mặt đường.v.v. (hình 4.1b). Các hệ thống tương tự như trên được gọi là hệ hở. Trong hệ truyền động thủy lực, hệ hở sử dụng trong các trường hợp không yêu cầu chính xác cao về tín hiệu ra. Ví dụ để thay đổi tốc độ quay của động cơ dầu người ta có thể sử dụng điều khiển bằng tiết lưu. Tuy nhiên mối liên hệ giữa lượng mở của van tiết lưu và tốc độ quay của động cơ dầu sẽ không chặt chẽ do các yếu tố

ảnh hưởng khác như sự thay đổi của tải trọng hoặc áp suất dầu trong hệ thống, sự thay đổi độ nhớt của dầu trong quá trình làm việc, sự rò dầu.v.v.

Hình 4.2a là sơ đồ khối ký hiệu hệ hở, về đặc tính điều khiển ta thấy, nếu tín hiệu vào là sóng chữ nhật  $U$  và tức thời thì tín hiệu ra  $R$  cũng sẽ tức thời nếu  $G$  là hằng số (hình 4.2b), nghĩa là  $G$  nhận tín hiệu  $U$  cho ra tín hiệu  $R$  không có sự chậm trễ. Tại thời điểm  $t_0$  ngay lập tức đạt được giá trị điều khiển  $R = G.U$ . Rõ ràng trong trường hợp này tín hiệu ra  $R$  đã lặp lại tín hiệu vào  $U$  theo một giá trị khuếch đại  $G$  và khả năng lặp lại liên quan đến độ tin cậy và độ chính xác của hệ.



Hình 4.2. Đáp ứng lý thuyết của hệ hở

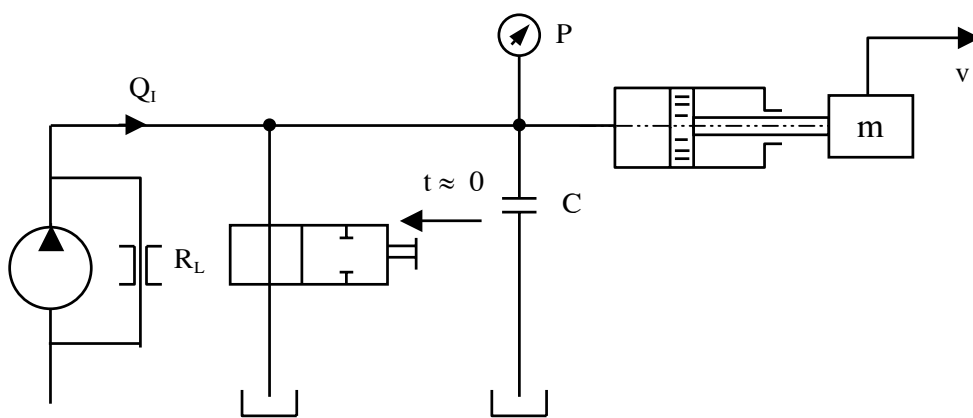
a- Sơ đồ khối ký hiệu hệ hở;

b- Đáp ứng lý thuyết khi tín hiệu vào là sóng chữ nhật.

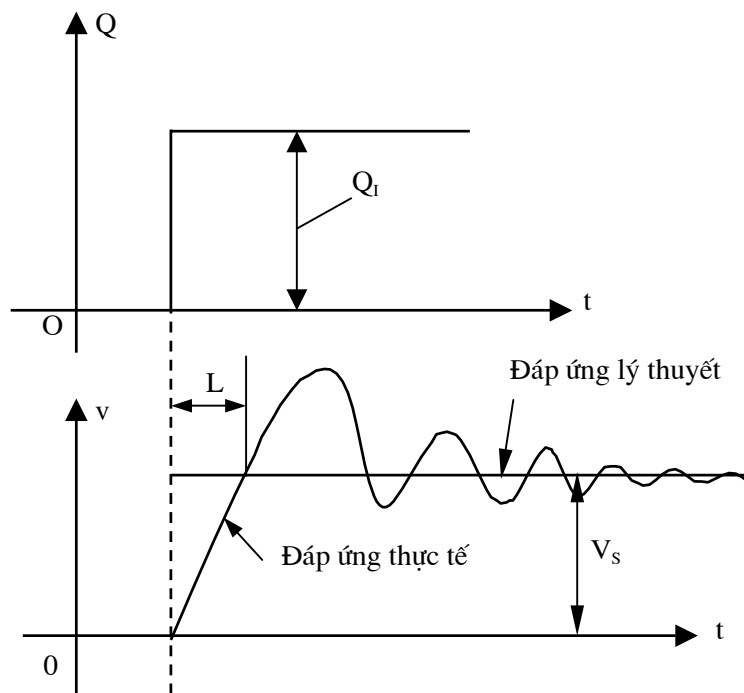
Trong thực tế không có một hệ thống vật lý nào có thể có được đáp ứng ngay lập tức. Tất cả các phần tử vật lý, cơ cấu hay thiết bị nói chung đều có quá trình động lực học ở thời điểm đặt tín hiệu và gây ra sự chậm trễ về thời gian đáp ứng. Có thể hiểu rằng thời gian này là thời gian nạp các yếu tố dự trữ năng lượng như khi hệ thủy lực có dung tích, áp suất dầu không thể tăng ngay lập tức hoặc vật có khối lượng không thể chuyển động ngay mà có quán tính của nó.v.v. Bài toán nghiên cứu động lực học của hệ chuyển động thẳng đã được giới thiệu ở chương 3, ở đây chỉ xét hệ ở mức độ tổng quát hơn.

Cho mạch thủy lực như ở hình 4.3a nếu van có khả năng tác động tức thời ( $t \approx 0$ ) tức là ngay lập tức đạt giá trị điều khiển theo đặc tính lý thuyết. Thực tế để đạt được giá trị điều khiển thì hệ cần có thời gian để thực hiện quá trình quá độ, quá trình đó thể hiện ở hình 4.3b.

Yếu tố dự trữ năng lượng ở hình 4.3a là khối lượng quán tính  $m$  và dung tích chứa dầu đàn hồi có hệ số tích lũy đàn hồi  $C$ .



a)



b)

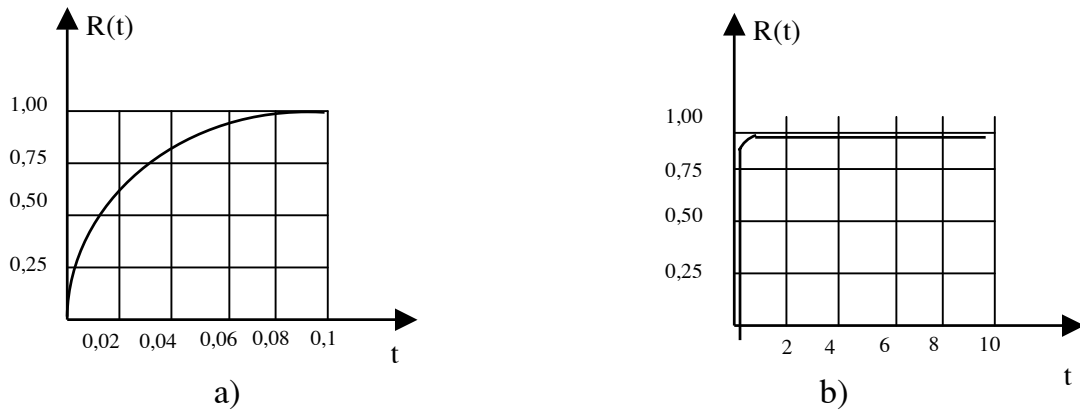
Hình 4.3. Quá trình động lực học của hệ hở

a- Sơ đồ mạch thủy lực; b- Đáp ứng vận tốc của hệ.

Tuy nhiên trong thực tế thời gian đáp ứng là rất nhỏ so với chu kỳ thực hiện thí nghiệm hoặc chu kỳ làm việc của thiết bị nên trong một chừng mực nhất định có thể coi đáp ứng của hệ là tức thời.

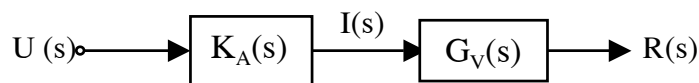


Hình 4.4 thể hiện đặc tính về đáp ứng thủy lực, thời gian đáp ứng là 0,1 giây (hình4.4a) trong khi đó chu kỳ nghiên cứu là 10 giây (hình4.4b).



Hình 4.4. Ví dụ về thời gian đáp ứng của hệ truyền động thủy lực

Để điều khiển lưu lượng hoặc áp suất cung cấp cho bộ truyền tải (xylanh hoặc động cơ dầu) người ta sử dụng van điện thủy lực có sơ đồ khối như ở hình 4.5.



Hình 4.5. Sơ đồ khối mạch điều khiển của van điện, thủy lực

Trong sơ đồ trên hình 4.5,  $K_A(s)$  là hàm truyền của bộ khuếch đại và  $G_V(s)$  là hàm truyền của van. Nếu bộ khuếch đại có hàm truyền là một khâu khuếch đại  $K_A$  thì đáp ứng  $I(s)$  là tức thời.

Quan hệ giữa các thông số trong mạch điều khiển trên được viết như sau :

$$I(s) = U(s) \cdot K_A \quad (4.1)$$

$$R(s) = I(s) \cdot G_V(s)$$

hoặc :

$$R(s) = K_A \cdot G_V(s) \cdot U(s) \quad (4.2)$$

hàm truyền :

$$G_{AV}(s) = \frac{R(s)}{U(s)} = A \cdot G_V(s) \quad (4.3)$$

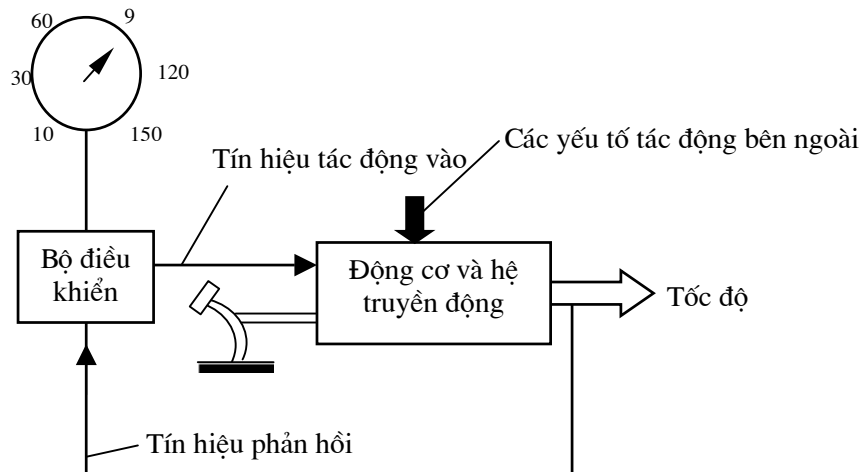
Thực tế thời gian đáp ứng của cụm van điện thủy lực cũng rất nhỏ nên khi cần thiết có thể coi  $G_{AV}(s)$  là một khâu khuếch đại, tức  $G_{AV} = K_A \cdot G_V$  là hằng số.

#### 4.1.2. Hệ điều khiển mạch kín

Trở lại ví dụ về điều khiển tốc độ của xe ở hình 4.1. Nếu trên bộ phận tiết lưu nhiên liệu chúng ta lắp thêm một thiết bị điều khiển (hình 4.6) thì có thể tự động điều khiển

tốc độ của xe theo tín hiệu ban đầu mà không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố tác động khác.

Tín hiệu điều khiển được chuyển qua tín hiệu điện áp, cảm biến tốc độ sẽ chuyển tốc độ thực của xe thành tín hiệu điện áp tương ứng để so sánh với tín hiệu điện áp điều khiển nhằm tự động hiệu chỉnh các sai lệch tốc độ do ảnh hưởng của tác động bên ngoài.

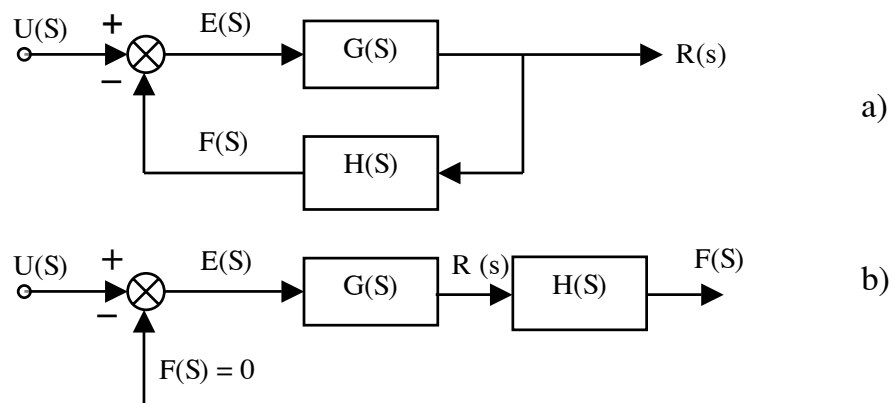


Hình 4.6. Sơ đồ khối hệ kín điều khiển tốc độ của xe

Như vậy hệ kín có khả năng tự động hiệu chỉnh sai số giữa tín hiệu điều khiển và tín hiệu thực thông qua bộ điều khiển, do vậy hệ kín có độ chính xác và chất lượng điều khiển cao.

Trong hệ điều khiển tự động thủy lực, các phần tử điều khiển như van, bộ khuếch đại và các cảm biến đóng vai trò quan trọng.

Hiện nay do chất lượng chế tạo các loại cảm biến cao có khả năng truyền tín hiệu rất nhạy và chính xác, nên thông thường khi nghiên cứu các mạch điều khiển hệ kín người ta giả thiết cảm biến là một khâu khuếch đại. Hệ số khuếch đại của cảm biến thường ký hiệu là  $K_c$  hoặc  $H$ .



Hình 4.7. Sơ đồ khối của mạch điều khiển hệ kín

a- Sơ đồ chính tắc; b- Sơ đồ khi lấy tín hiệu phản hồi.

Trong sơ đồ khối tổng quát ở hình 4.8, các tín hiệu và hàm truyền thay đổi theo thời gian được biểu diễn dưới biến Laplace  $S$  và ta có các quan hệ sau :

$$F(s) = R(s). H(s); \quad E(s) = U(s) - F(s) \quad (4.4)$$

trong đó :  $F(s)$ - tín hiệu phản hồi;  
 $E(s)$ - tín hiệu sai lệch hay còn gọi là tín hiệu so sánh.

$$E(s) = U(s) - R(s).H(s) \quad (4.5)$$

Đáp ứng thực là :  $R(s) = E(s).G(s) \quad (4.6)$

$$R(s) = [U(s) - R(s).H(s)].G(s) = U(s).G(s) - R(s).H(s).G(s) \quad (4.7)$$

hay :  $R(s) + R(s).H(s).G(s) = U(s).G(s)$

$$R(s). [1+H(s).G(s)] = U(s).G(s)$$

Suy ra :  $R(s) = \frac{G(s)}{1 + H(s).G(s)}.U(s) \quad (4.8)$

Hàm truyền của hệ kín sẽ là :  $\frac{R(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s).G(s)} = G_K(s) \quad (4.9)$

trong đó :  $G(s)$  - hàm truyền hệ hở;  
 $G_K(s)$ - hàm truyền hệ kín.

Theo mô hình mạch hở ở hình 4.7b thì :  $\frac{F(s)}{U(s)} = G(s). H(s) \quad (4.10)$

Tín hiệu phản hồi  $F(s)$  còn sử dụng để điều chỉnh các hệ số hiệu chỉnh cũng như hệ số khuếch đại  $K_A$  phù hợp với yêu cầu của mạch điều khiển.

Nếu  $G(s). H(s) \gg 1$  thì công thức (4.9) có thể lấy là :

$$G_K(s) = \frac{R(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s).G(s)} \approx \frac{G(s)}{H(s).G(s)} = \frac{1}{H(s)} \quad (4.11)$$

nghĩa là  $G(s).H(s)$  lớn, tức  $G(s)$  lớn thì hàm truyền  $G_K(s)$  chỉ phụ thuộc vào hàm truyền của bộ cảm biến  $H(s)$ . Điều này có ý nghĩa khi lựa chọn loại cảm biến, bởi vì độ chính xác của cảm biến sẽ ảnh hưởng rất lớn đến tín hiệu ra. Cũng cần chú ý rằng sai số của tín hiệu ra bao giờ cũng lớn hơn sai số của cảm biến.

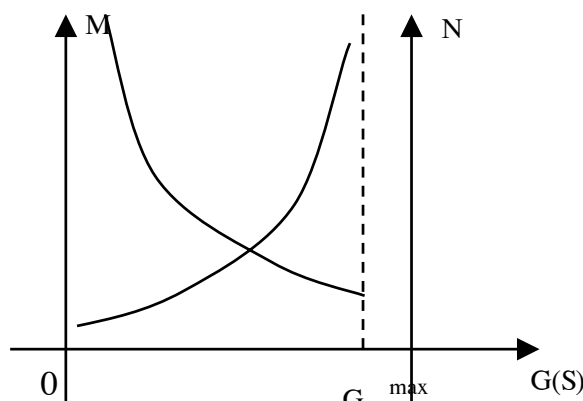
## 4.2. SAI SỐ VỊ TRÍ CỦA HỆ THỦY LỰC CHUYỂN ĐỘNG THẲNG

### 4.2.1. Quan hệ giữa sai số vị trí và độ ổn định của hệ điều khiển

Như đã phân tích ở trên, khi  $G(s)$  lớn thì hiệu suất của hệ thống kín phụ thuộc vào hàm truyền khâu phản hồi  $H(s)$ .

Khi van mở lớn, pittông mang khối lượng chuyển động  $m$  sẽ có quán tính lớn. Tín hiệu so sánh  $E(s) = U(s) - F(s)$  sẽ giảm dần theo sự cắt ngang dao động của tín hiệu

$F(s)$ . Nếu  $G(s)$  càng lớn thì biên độ dao động càng lớn và khả năng cắt dao động càng chậm. Tuy nhiên theo (4.11) thì khi  $G(s)$  tăng sai số vị trí sẽ giảm.



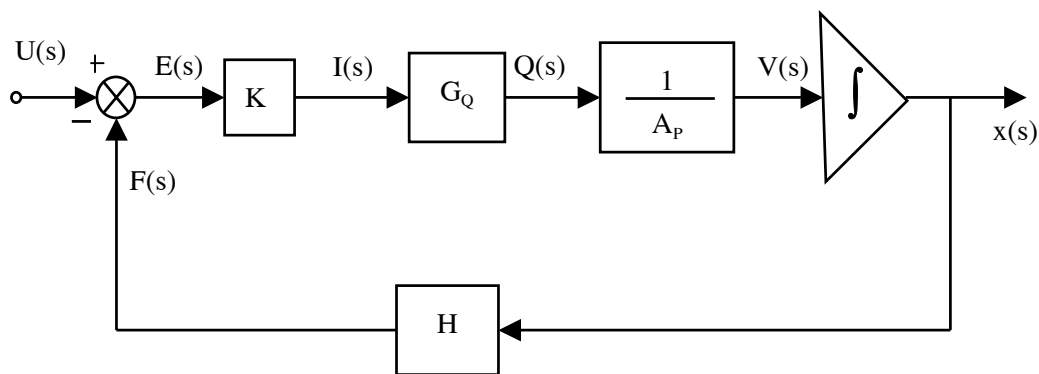
Hình 4.8. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa sai số vị trí và độ ổn định với hàm truyền  $G(s)$

M- Biểu thị cho sai số vị trí; N- Biểu thị cho mức độ không ổn định;

$G_{(s)}^{\max}$  - Giá trị cho phép của hàm truyền.

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng khi  $G(s)$  thay đổi thì sai số vị trí và độ không ổn định thay đổi (hình 4.8). Tức là khi hệ số khuếch đại của  $G(s)$  tăng thì sai số vị trí giảm nhưng sự mất ổn định tăng, nếu hệ số khuếch đại tăng quá mức thì hệ sẽ có nguy cơ mất ổn định.

#### 4.2.2. Tần số dao động và hằng số thời gian của hệ



Hình 4.9. Sơ đồ khối mạch thủy lực điều khiển vị trí

$U(s)$  - Tín hiệu điện áp vào;  $X(s)$  - Tín hiệu ra của mạch điều khiển (tín hiệu vị trí);  $K$  - Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại;  $G_Q$  - Hệ số khuếch đại lưu lượng của van;  $H$  - Hệ số khuếch đại của khâu phản hồi;  $1/A_P$  - Hệ số khuếch đại của xylanh;  $\int$  - Dấu tích phân biểu thị cho sự chuyển đổi vận tốc  $v(s)$  sang vị trí  $x(s)$ ;  $I(s)$  - Dòng điều khiển van;  $Q(s)$  - Lưu lượng vào xylanh;  $v(s)$  - Vận tốc của xylanh;  $F(s)$  - Tín hiệu điện áp phản hồi;  $E(s)$  - Tín hiệu so sánh.

Các đại lượng  $K$ ,  $G_Q$ ,  $\frac{1}{A_P}$  và  $H$  trên hình 4.9 ở chế độ xác lập là các hằng số.

Vị trí của pittông được xác định theo công thức :

$$x(t) = \int_0^t v(t)dt \Rightarrow x(s) = \frac{1}{S} v(s) \quad (4.12)$$

Ở trạng thái ổn định, quan hệ giữa vận tốc và dòng điện điều khiển xác định là :

$$\frac{V_s}{I_s} = G_{QP} \quad (4.13)$$

trong đó :

$V_s$ - vận tốc của pittông ở trạng thái ổn định;

$I_s$  - dòng điện điều khiển van ở trạng thái ổn định.

Hàm truyền của cụm van - xylanh ở trạng thái ổn định là :

$$G_{QP} = G_Q \cdot \frac{1}{A_P}$$

Hàm truyền hệ kín ở hình 4.9 sẽ là :

$$\frac{x(s)}{U(s)} = G_K(s) = \frac{K \cdot G_{QP}}{S + K \cdot G_{QP} \cdot H} \quad (4.14)$$

trong đó :  $K$ ,  $G_{QP}$ ,  $H$  là hệ số chuyển đổi của tín hiệu phản hồi và có thứ nguyên là :

$$K \cdot G_{QP} \cdot H \rightarrow \frac{\text{ampe}}{\text{von}} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{ampe.giay}} \cdot \frac{\text{von}}{\text{cm}} = \frac{1}{\text{giay}} \quad \left(\frac{1}{s}\right) \quad (4.15)$$

$\frac{1}{s}$  là thứ nguyên tần số.

Như vậy tần số của hệ là :  $f_H = \frac{K \cdot G_{QP} \cdot H}{2 \cdot \pi} \text{ (Hz)} \quad (4.16)$

và :  $\tau = \frac{1}{K \cdot G_{QP} \cdot H} \text{ , (s)} \quad (4.17)$

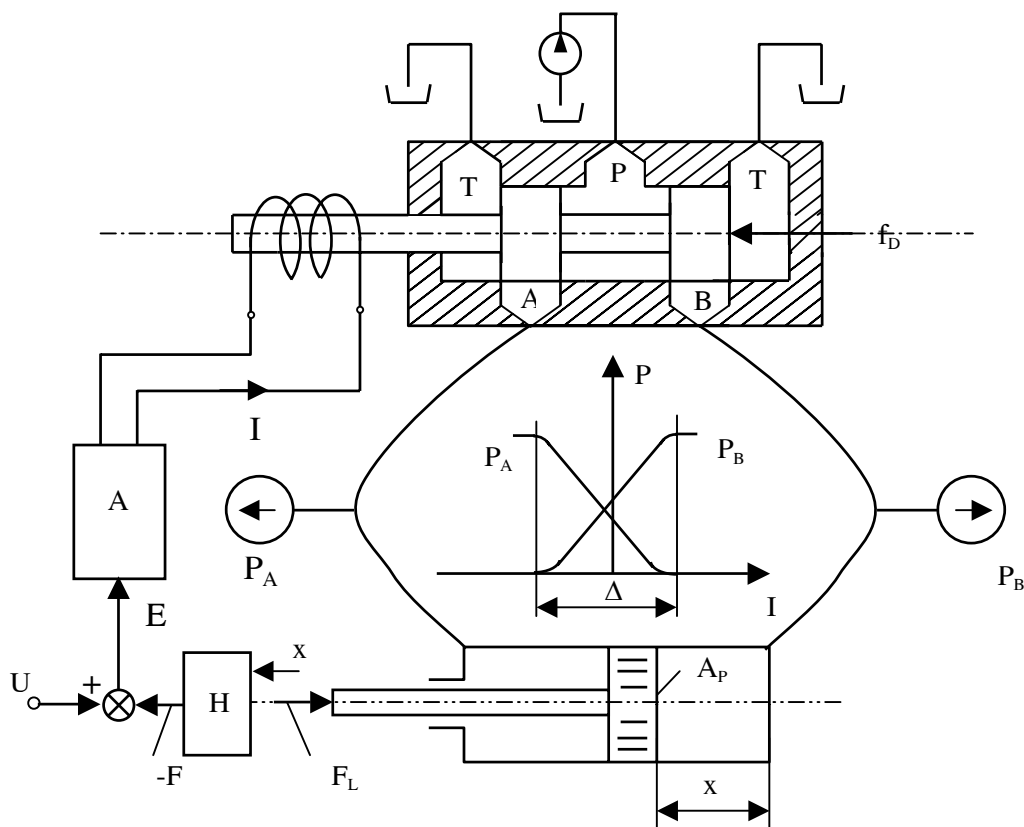
$\tau$  là hằng số thời gian.

Theo lý thuyết điều khiển tự động, thời gian đáp ứng của hệ nếu lấy gần đúng sẽ là  $T_S \approx 5\tau$ . Nên hằng số thời gian  $\tau$  rất có ý nghĩa trong việc xác định thời gian đáp ứng của hệ. Nếu  $K$  tăng, thời gian đáp ứng ngắn, điều này phù hợp với lập luận ở mục 4.2.1.

### 4.2.3. Sai số vị trí điều khiển

Hình 4.10 là sơ đồ nguyên lý của sơ đồ khối ở hình 4.9, giá trị của vị trí điều khiển  $x$  được thiết lập thông qua sự cân bằng lực của pittông- xylanh thủy lực.

Khi bắt đầu làm việc, áp suất  $P_A$  và  $P_B$  thay đổi theo quy luật như đặc tính trong hình 4.10.



Hình 4.10. Sơ đồ nguyên lý của mạch thủy lực điều khiển vị trí hệ kín

Do quá trình quá độ của pittông-xylanh và con trượt của van mà dòng điện điều khiển van cũng có quá trình quá độ. Dòng điện từ bộ khuếch đại vào van thay đổi ngược lại để khống chế sự dao động của con trượt. Cứ như vậy mà xuất hiện các sai số tín hiệu trong mạch điều khiển.

Ta có các quan hệ sau :

$$\Delta E = \frac{\Delta I}{A} = U - H \cdot x - H \cdot \Delta x = U - H(x + \Delta x) \quad (4.18)$$

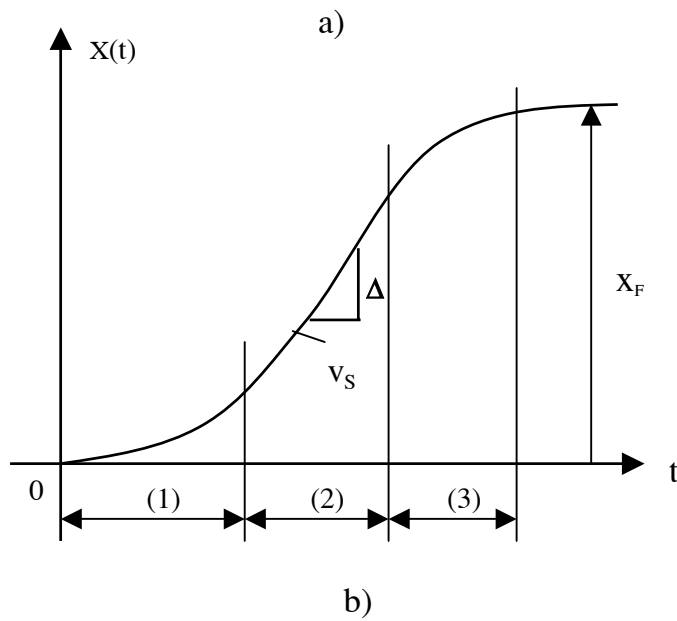
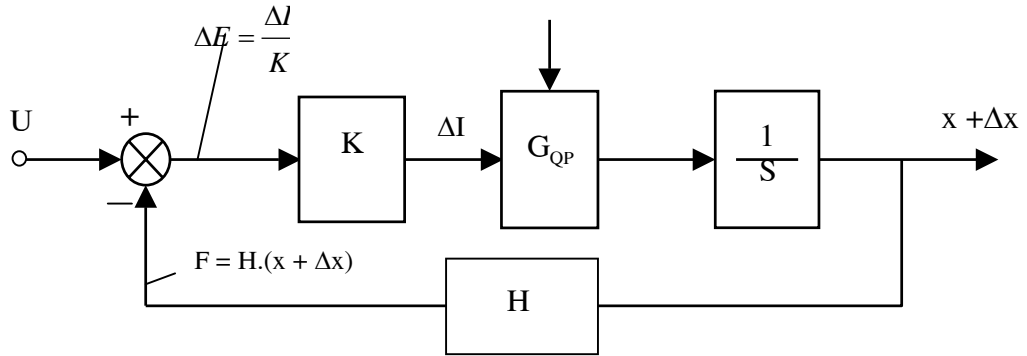
Trong công thức (4.18) thì sai số của các tín hiệu được kí hiệu là :

$\Delta x$  - sai số của vị trí điều khiển;

$\Delta I$  - sai số của dòng điều khiển van;

$\Delta E$  - sai số của tín hiệu so sánh;

$\Delta F = H.\Delta x$  - sai số của tín hiệu phản hồi.



Hình 4.11. Sơ đồ nghiên cứu sai số điều khiển của mạch điều khiển vị trí chuyển động tịnh tiến

a- Sơ đồ khối thể hiện sai số tín hiệu;

b- Đặc tính của vị trí điều khiển.

Công thức (4.18) có các sai số thể hiện trên sơ đồ khối hình 4.11a.

Ta thấy khi bắt đầu khởi động  $U - H.x = 0$  nên :

$$\Delta E = \frac{\Delta I}{A} = H.\Delta x$$

hay : 
$$\frac{\Delta I}{\Delta x} = H.A \quad (4.19)$$

Công thức (4.19) có ý nghĩa rất quan trọng trong phân tích và thiết kế mạch điều khiển vị trí, là cơ sở để xác định hệ số khuếch đại A phù hợp với yêu cầu của độ chính xác, tức là phù hợp với giá trị cho phép của sai số vị trí  $\Delta x$ .

Ngoài ra nếu thay (4.19) vào (4.16) ta sẽ có :

$$f_H = \frac{\Delta I}{\Delta x} \cdot \frac{G_{QP}}{2\pi} \quad (4.20)$$

Hình 4.11b trình bày đặc tính vị trí của mạch điều khiển pittông-xy lanh thủy lực. Để điều khiển được giá trị  $x_F$  thì pittông phải trải qua ba giai đoạn làm việc :

- Giai đoạn (1) và (3) : pittông chuyển động có quán tính.
- Giai đoạn (2) : pittông chuyển động với vận tốc không đổi.

Trong giai đoạn (2) luôn tồn tại dòng  $\Delta I$  để điều khiển pittông chuyển động với vận tốc không đổi  $v_s$  và  $v_s$  được xác định theo công thức sau :

$$v_s = G_{QP} \cdot \Delta I \quad (4.21)$$

Tần số dao động của vùng này sẽ là :

$$f_H^{(2)} = \frac{v_s}{2\pi \cdot \Delta x_{(2)}} \quad (4.22)$$

Tần số cộng hưởng  $f_c$  của hệ sẽ là giá trị lớn nhất của  $f_H$  và  $f_H^{(2)}$  :

$$f_c = \max\{ f_H; f_H^{(2)} \} \quad (4.23)$$

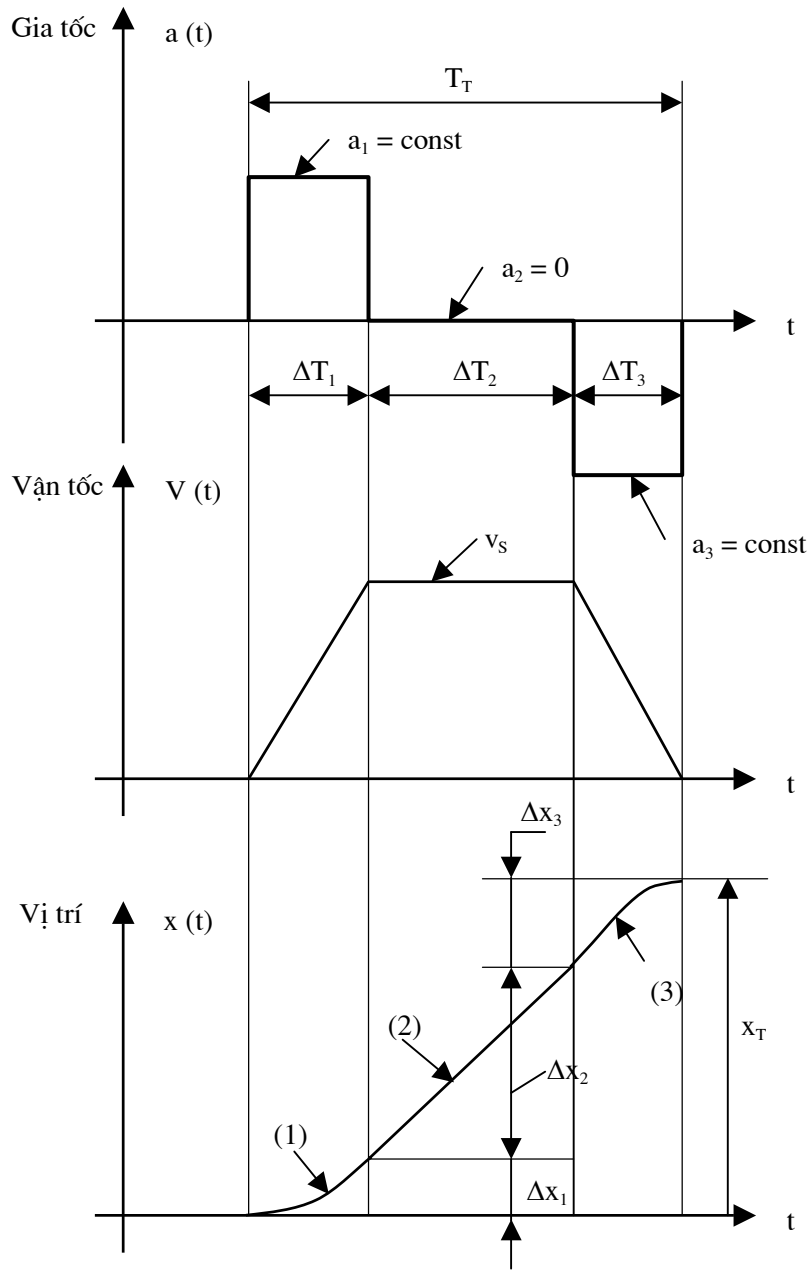
Độ chính xác vị trí liên quan đến nhiều yếu tố, quan hệ giữa chúng rất phức tạp nên cần được nghiên cứu cho từng trường hợp cụ thể. Vấn đề sai số sẽ được trình bày thêm ở mục 7.3.

### 4.3. QUAN HỆ GIỮA GIA TỐC $a$ , VẬN TỐC $v$ VÀ VỊ TRÍ ĐIỀU KHIỂN $x$ CỦA PITTÔNG-XYLANH THỦY LỰC

#### 4.3.1. Vận tốc chuyển động là sóng hình thang

Khi vận tốc chuyển động là sóng hình thang thì gia tốc ở vùng tăng tốc và giảm tốc bằng hằng số ( $a_1 = \text{const}$  và  $a_3 = \text{const}$ ), còn vùng vận tốc không đổi thì gia tốc bằng 0 ( $a_2 = 0$ ). Tương ứng với các vùng trên thì vị trí của  $x$  thay đổi theo đường cong parabol ở vùng tăng và giảm tốc, và thay đổi tuyến tính ở vùng vận tốc không đổi  $v_s$  (vùng 2).





Hình 4.12. Đồ thị quan hệ giữa gia tốc, vận tốc và vị trí khi vận tốc là sóng hình thang

Thời gian chu kỳ thực hiện chuyển động ( $T_T$ ) là tổng thời gian của các vùng vận tốc, tức là :

$$T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad (4.24)$$

Vận tốc ( $v$ ) và vị trí ( $x$ ) xác định theo công thức sau :

$$v = \int_0^t a dt + v_0 \quad ; \quad x = \int_0^t v \cdot dt + x_0 \quad (4.25)$$

trong đó : a- gia tốc chuyển động;  
 b- vận tốc chuyển động;  
 x- vị trí điều khiển;  
 $x_0$ - vị trí điều khiển tại  $t = 0$ ;  
 $v_0$ - vận tốc tại thời điểm  $t = 0$ .

Khi gia tốc a không thay đổi thì :

$$v = a \int_0^t dt + v_0 = at + v_0 \quad (4.27)$$

$$x = \int_0^t (at + v_0) dt + x_0 = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 t + x_0 \quad (4.28)$$

Từ đó ta có vị trí điều khiển  $x_T$  được xác định là :

$$x_T = \frac{1}{2} \Delta T_1 \cdot v_S + \Delta T_2 \cdot v_S + \frac{1}{2} \Delta T_3 \cdot v_S \quad (6.29)$$

hay :

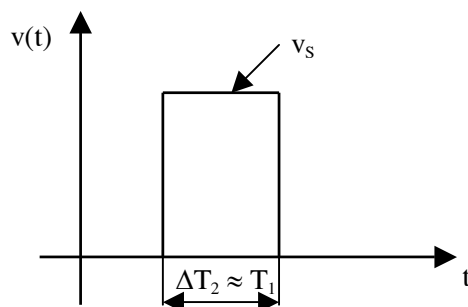
$$v_S = \frac{x_T}{\frac{1}{2} \Delta T_1 + \Delta T_2 + \frac{1}{2} \Delta T_3} \quad (4.30)$$

### 4.3.2. Vận tốc chuyển động là sóng chữ nhật

Với vận tốc là sóng hình chữ nhật (hình 4.13) thì  $\Delta T_1 \approx 0$ ;  $\Delta T_3 \approx 0$  nên  $\Delta T_2 \approx T_T$ . Đây là trường hợp đặc biệt của sóng hình thang.

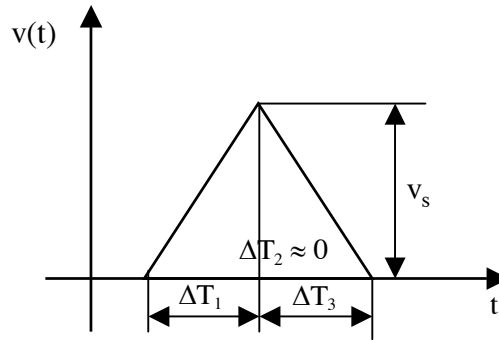
Vị trí điều khiển được xác định là :

$$x_T \approx v_S \cdot \Delta T_2 = v_S \cdot T_T \quad (4.31)$$



Hình 4.13. Đồ thị vận tốc chuyển động là sóng chữ nhật

### 4.3.3. Vận tốc chuyển động là sóng tam giác



Hình 4.14. Đồ thị vận tốc chuyển động là sóng tam giác

Sóng tam giác (hình 4.14) cũng là trường hợp đặc biệt của sóng hình thang.

$$\text{Khi } \Delta T_2 \approx 0 \text{ thì : } x_1 \approx \frac{1}{2} \cdot v_s \cdot (\Delta T_1 + \Delta T_3) = \frac{1}{2} v_s \cdot T_T \quad (4.32)$$

$$\text{hay : } v_s = \frac{2 \cdot x_T}{T_T} \quad (4.33)$$

### 4.3.4. Xác định vận tốc $v_s$ đối với sóng hình thang

Trong ba dạng trên thì sóng vận tốc hình thang là tổng quát và thông dụng hơn cả.

Khi biết  $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$  và  $T_T$  thì  $v_s$  xác định như sau :

$$\text{Ta biết rằng : } T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad (4.33)$$

$$\text{mà : } \Delta x_1 = \frac{1}{2} v_s \cdot \Delta T_1; \Delta x_2 = v_s \cdot \Delta T_2; \Delta x_3 = \frac{1}{2} v_s \cdot \Delta T_3$$

$$\text{nên : } T_T = \frac{2\Delta x_1}{v_s} + \frac{\Delta x_2}{v_s} + \frac{2\Delta x_3}{v_s}$$

$$\text{hay : } v_s = \frac{2\Delta x_1 + \Delta x_2 + 2\Delta x_3}{T_T} \quad (4.34)$$

Khi biết  $T_T, x_T$  và gia tốc chuyển động thì  $v_s$  xác định là :

$$\text{Ta biết : } x_T = \frac{1}{2} v_s \cdot \Delta T_1 + v_s \cdot \Delta T_2 + \frac{1}{2} v_s \cdot \Delta T_3$$

$$\text{mà : } v_s = a_1 \cdot \Delta T_1 \rightarrow \Delta T_1 = \frac{v_s}{a_1}; v_s = a_3 \cdot \Delta T_3 \rightarrow \Delta T_3 = \frac{v_s}{a_3}$$

$$\text{nên : } x_T = \frac{1}{2} \frac{v_s^2}{a_1} + v_s \cdot \Delta T_2 + \frac{1}{2} \frac{v_s^2}{a_3} \quad (4.35)$$

Đồng thời : 
$$T_T = \frac{v_s}{a_1} + \Delta T_2 + \frac{v_s}{a_3} \quad (4.36)$$

Nhân cả hai vế phương trình (4.36) với  $-v_s$  và cộng với phương trình (4.35) ta được :

$$x_T - v_s \cdot T_T = \frac{1}{2} \frac{v_s^2}{a_1} + \frac{1}{2} \frac{v_s^2}{a_3} \quad (4.37)$$

hay :

$$x_T - v_s T_T + \frac{v_s^2}{2} \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) = 0$$

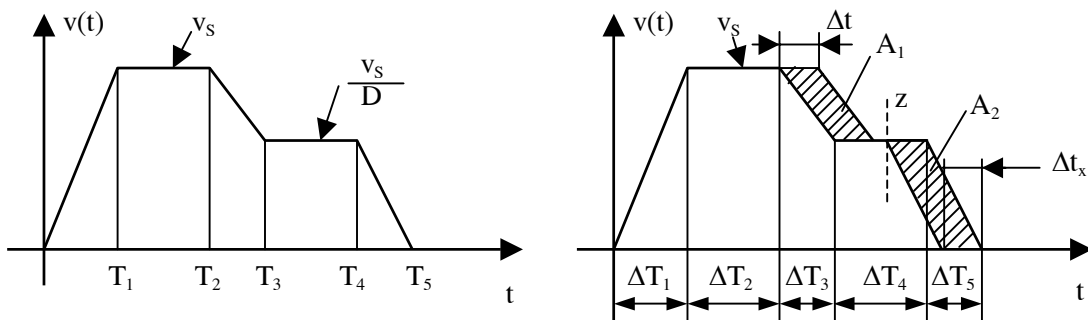
$$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) \cdot v_s^2 - v_s T_T + x_T = 0 \quad (4.38)$$

phương trình (4.38) là phương trình bậc 2 của  $v_s$ , nghiệm của nó sẽ là :

$$v_s = \frac{T_T \pm \sqrt{T_T^2 - 2 \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) x_T}}{\left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right)} \quad (4.39)$$

với điều kiện sau : 
$$T_T^2 \geq 2 \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) x_T \quad (4.40)$$

#### 4.4. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ BẰNG SÓNG HÌNH THANG NHIỀU CẤP



a) b)  
 Hình 4.15. Đặc tính của vận tốc điều khiển là sóng hình thang hai cấp giảm tốc  
 a- Sơ đồ vận tốc điều khiển; b - Sơ đồ vận tốc điều khiển có nền vận tốc cho phép.

Để điều khiển điểm dừng chính xác, người ta cải tiến sóng hình thang thành sóng hình thang nhiều cấp (hình 4.15a).

Theo phương pháp này vị trí  $x_T$  được xác định như sau :

$$x_T = \frac{1}{2} \cdot T_1 \cdot v_s + (T_2 - T_1) \cdot v_s + \frac{1}{2} (T_3 - T_2) \cdot \left( v_s - \frac{v_s}{D} \right) + (T_3 - T_2) \frac{v_s}{D} + \frac{v_s}{D} (T_4 - T_3) + \frac{1}{2} \cdot (T_5 - T_4) \frac{v_s}{D} \quad (4.41)$$

trong đó :  $x_T$  - tổng khoảng hành trình điều khiển;  
 $D$  - hệ số làm chậm.

Các vùng  $A_1$  và  $A_2$  ở hình 4.15b là các nền vận tốc cho phép khi giảm tốc, còn  $\Delta t$  và  $\Delta t_x$  là các khoảng thời gian cho phép để thực hiện giảm tốc. Thông thường :  $A_1 = A_2$

hay : 
$$\Delta t_x = (D - 1) \cdot \Delta t \quad (4.42)$$

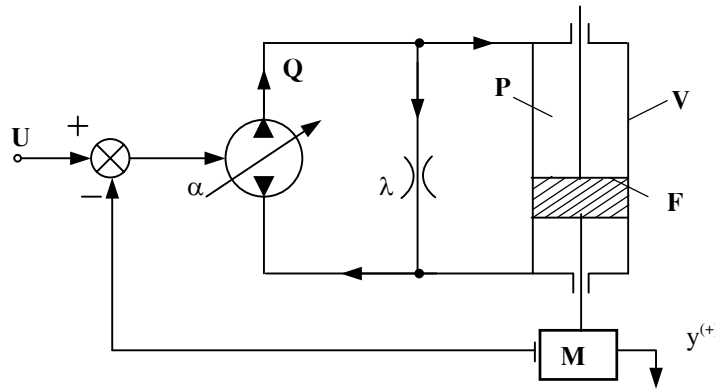
nghĩa là : 
$$\Delta t \cdot \left( v_s - \frac{v_s}{D} \right) = \frac{v_s}{D} \cdot \Delta t_x$$

hay : 
$$\Delta t_x = (D - 1) \cdot \Delta t \quad (4.43)$$

## 4.5. HÀM TRUYỀN CỦA MỘT SỐ MẠCH ĐIỀU KHIỂN THỦY LỰC

### 4.5.1. Hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến điều khiển bằng bơm dầu

Ta có hệ thủy lực chuyển động thẳng được điều khiển bằng bơm dầu như ở hình 4.16.



Hình 4.16. Sơ đồ hệ thủy lực điều khiển vị trí chuyển động thẳng, điều khiển bằng bơm dầu

$\alpha$  - Hệ số điều chỉnh lưu lượng của bơm dầu;  $x$  - Đại lượng điều chỉnh lưu lượng của bơm;  $\lambda$  - Hệ số tổn thất lưu lượng trong xy lanh và đường ống dẫn dầu;  $p$  - Áp suất dầu cung cấp của bơm;  $Q$  - Lưu lượng cung cấp của bơm;  $F$  - Diện tích của pittông;  $V$  - Thể tích chứa dầu ở buồng công tác;  $B$  - Môđun đàn hồi của dầu;  $y$  - Chiều dài dịch chuyển của pittông;  $M$  - Khối lượng của bộ phận chuyển động.

Nếu bỏ qua ma sát của các bộ phận chuyển động và coi hệ chỉ có một khối lượng chuyển động thì ta có các phương trình sau :

Phương trình cân bằng lưu lượng :

$$Q = \alpha.x = F.\frac{dy}{dt} + \lambda.p + \frac{V}{2B}.\frac{dp}{dt} \quad (4.44)$$

Phương trình cân bằng lực :  $F.p = M.\frac{d^2y}{dt^2}$  (4.45)

Chuyển qua phương trình Laplace :

$$Q(s) = \alpha.x(s) = F.s.y(s) + \lambda.p(s) + \frac{V}{2B}.s.p \quad (4.46)$$

$$F.p(s) = M.s^2.y(s) \Leftrightarrow p(s) = \frac{M}{F}.s^2.y(s) \quad (4.47)$$

Thay (4.47) vào (4.46) ta có :  $Q(s) = \alpha.x(s) = \left[ F.s + \frac{\lambda.M}{F}.s^2 + \frac{V.M}{2B.F}.s^3 \right].y(s)$  (6.48)

Hàm truyền hệ hở sẽ là :  $\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{\alpha}{F} \cdot \frac{1}{\left[ 1 + \frac{\lambda.M}{F^2}.s + \frac{V.M}{2B.F}.s^2 \right]} \cdot \frac{1}{s}$  (4.49)

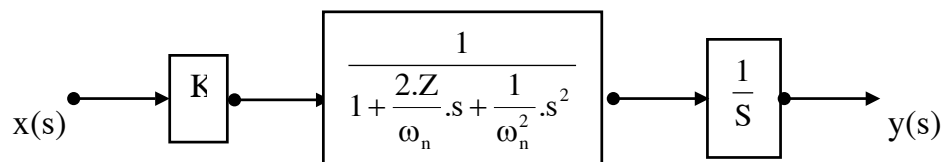
Đặt :  $K = \frac{\alpha}{F}$ ;  $\frac{2.Z}{\omega_n} = \frac{\lambda.M}{F^2}$  và  $\omega_n = \sqrt{\frac{2.B.F^2}{V.M}}$  (4.50)

Phương trình (4.49) có dạng :

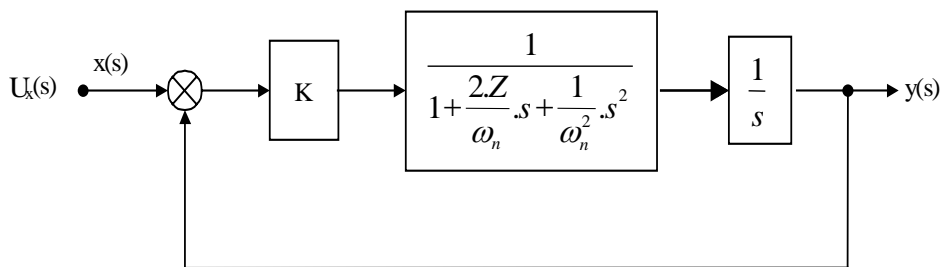
$$\frac{y(s)}{x(s)} = K \cdot \frac{1}{1 + \frac{2.Z}{\omega_n}.s + \frac{1}{\omega_n^2}.s^2} \cdot \frac{1}{s} \quad (4.51)$$

Công thức (4.51) là mô hình toán của một khâu dao động và một khâu tích phân, trong đó :  $\omega$  - tần số dao động riêng của khâu dao động;  
 $Z$  - hệ số tắt dần của khâu dao động.

Sơ đồ khối hệ hở của (4.51) và sơ đồ khối của hệ phản hồi đơn vị được thể hiện trên hình 4.17.



a)



b)

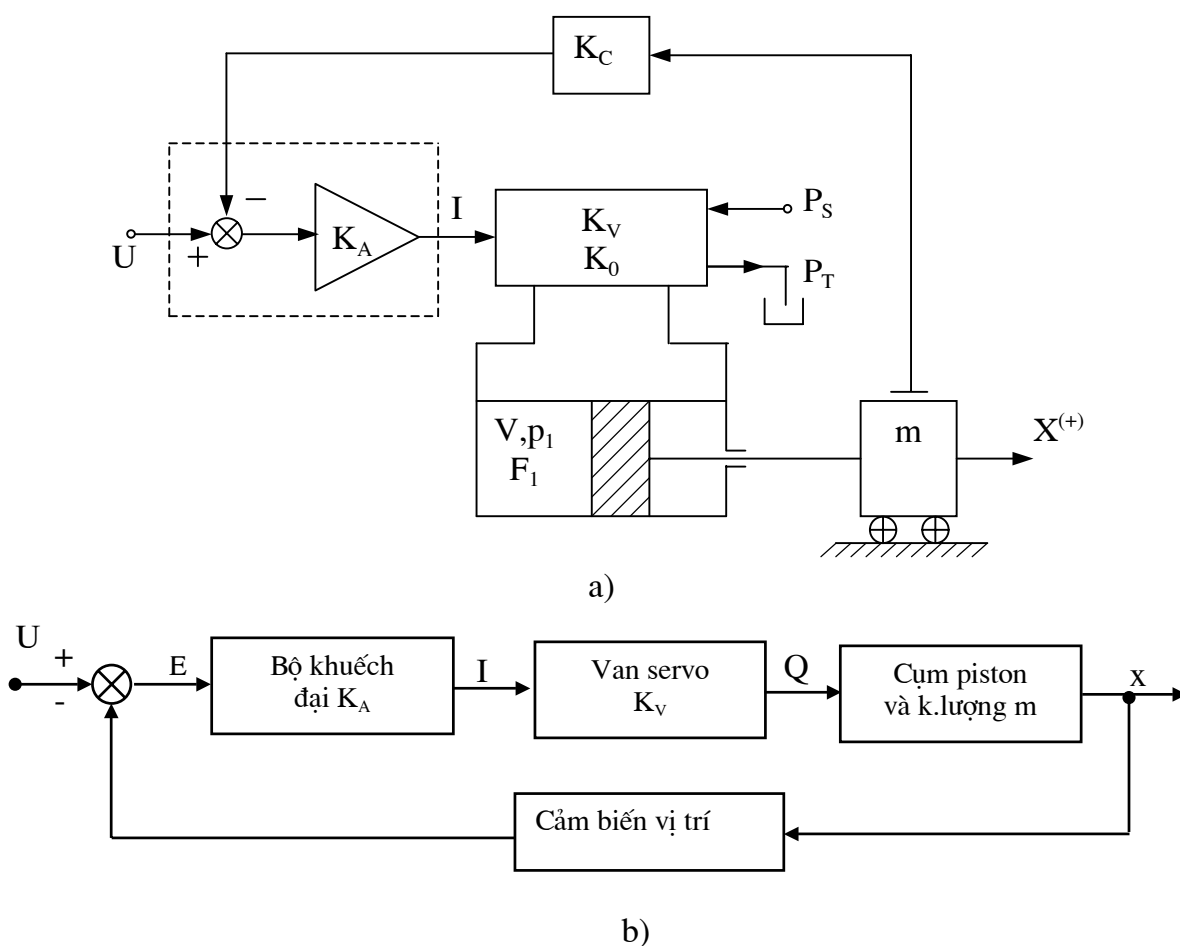
Hình 4.17. Sơ đồ khối của hệ hở (a) và sơ đồ khối của hệ phản hồi đơn vị (b)

Hàm truyền hệ kín :

$$\frac{y(s)}{U(s)} = \frac{K \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2}}{1 + K \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2}} = \frac{1}{1 + \frac{s}{K} \cdot \left( 1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2 \right)} \quad (4.52)$$

#### 4.5.2. Hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến sử dụng phần tử điều khiển là van servo.

Van servo là phần tử điều khiển điện thủy lực có đặc tính điều khiển thủy lực hoàn thiện nhất hiện nay, nhờ phần tử này mà có thể thực hiện được điều khiển vị trí, vận tốc hoặc tải trọng theo yêu cầu của thiết bị. Hình 4.18 là một mô hình điều khiển hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến sử dụng van servo.



Hình 4.18. Sơ đồ mạch điều khiển hệ thủy lực ứng dụng van servo  
a - Sơ đồ nguyên lý làm việc; b - Sơ đồ chức năng

$M$  - Khối lượng chuyển động;  $F_1$  - Diện tích của piston;  $p_1$  - Áp suất cung cấp của van;  $K_A$  - Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại;  $K_V$  - Hệ số khuếch đại của van;  $K_C$  - Hệ số khuếch đại của khâu phản hồi;  $I$  - Dòng điện điều khiển van servo;  $x$  - Hành trình của khối lượng  $M$ ;  $U$  - Điện áp điều khiển;  $K_0$  - Hệ số thoát dầu của van servo.

Nếu bỏ qua biến dạng đàn hồi của dầu trong các buồng làm việc của xylanh và đường ống; không tính đến ảnh hưởng của lực ma sát; van servo và bộ khuếch đại được coi là các khâu khuếch đại. Ta có các phương trình sau :

a- Khi không có phản hồi :

- Trường hợp  $x > 0$                        $Q_1 = K_v \cdot I - K_o \cdot p_1 = F_1 \cdot \frac{dx}{dt}$  ;

$$F_1 \cdot p_1 = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \quad ; \quad E \cdot K_A = I \tag{4.53}$$

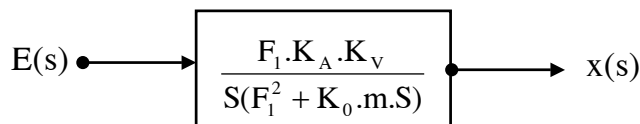
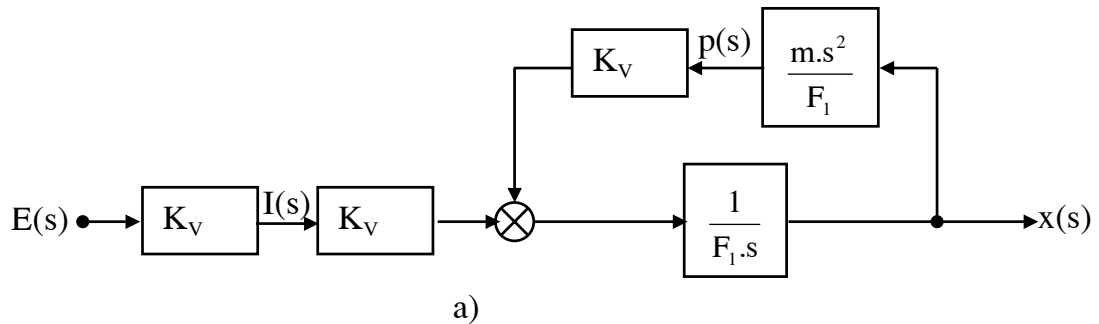
Phương trình Laplace của (4.53) sẽ là :

$$Q_1(s) = K_v \cdot I(s) - K_o \cdot p_1(s) = F_1 \cdot S \cdot x(s) ;$$

$$F_1 \cdot p_1(s) = m \cdot S^2 \cdot x(s) \tag{4.54}$$

$$E(s) \cdot K_A = I(s)$$

Từ (4.54) ta thiết lập được sơ đồ khối như ở hình 4.19 :



Hình 4.19. Sơ đồ khối biến đổi hàm truyền  $x(s)/E(s)$

a - Sơ đồ dạng tổng quát; b - Sơ đồ dạng rút gọn.

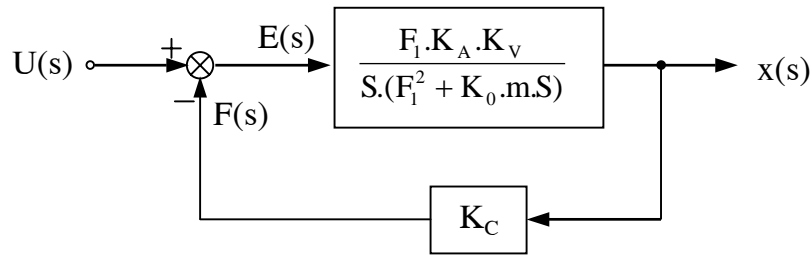
Như vậy hàm truyền hệ hở sẽ là :

$$W(s) = \frac{x(s)}{E(s)} = \frac{F_1 \cdot K_A \cdot K_v}{S \cdot (F_1^2 + K_o \cdot m \cdot S)} \tag{4.55}$$

- Trường hợp  $x < 0$  :                       $W(s) = \frac{F_2 \cdot K_A \cdot K_v}{S \cdot (F_2^2 + K_o \cdot m \cdot S)} \tag{4.56}$

b- Khi có phản hồi (hệ kín với  $x > 0$ )





Hình 4.20. Sơ đồ khối của mạch điều khiển hệ kín hàm truyền  $x(s)/U(s)$

Theo hình 4.19 và công thức (4.56) ta có sơ đồ khối hệ kín hình 4.20.  
Hàm truyền hệ kín sẽ là :

$$W_w(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s).K_C}$$

hay :

$$W_w(s) = \frac{x(s)}{U(s)} = \frac{F_1 \cdot K_A \cdot K_V}{K_O \cdot m \cdot S^2 + F_1^2 \cdot S + F_1 \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_C} \quad (4.57)$$

$$W_w(s) = \frac{K_w}{T_1^2 \cdot S^2 + T_2 \cdot S + 1} \quad (4.58)$$

trong đó :

$$T_1 = \sqrt{\frac{K_O \cdot m}{F_1 \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_C}} ;$$

$$T_2 = \frac{F_1}{K_A \cdot K_V \cdot K_C} ; \quad (4.59)$$

$$K_w = \frac{1}{K_C} .$$

Hàm truyền (4.57) có thể viết dưới dạng (4.60) như sau :

$$W_w(s) = \frac{x(s)}{U(s)} = \frac{K_w}{\left(\frac{S}{\omega_o}\right)^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \left(\frac{S}{\omega_o}\right) + 1} \quad (4.60)$$

trong đó :

$$\omega_o = \frac{1}{T_1} = \sqrt{\frac{F_1 \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_C}{K_O \cdot m}} \quad \text{- tần số dao động riêng của hệ thống;}$$

$$\zeta = \frac{T_2}{2 \cdot T_1} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{F_1^3}{K_A \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_O \cdot m}} \quad \text{- hệ số tắt dần của hệ thống.}$$

### 4.5.3. Hệ thủy lực chuyển động quay điều khiển bằng bơm dầu

Xét sơ đồ điều khiển động cơ dầu bằng bơm dầu có phản hồi như ở hình 4.21.

$$\frac{\Omega(s)}{x(s)} = \frac{\frac{\alpha}{D_m}}{1 + \frac{\lambda \cdot J}{D_m^2} \cdot s + \frac{V \cdot J}{2B \cdot D_m^2} \cdot s^2} \quad (4.66)$$

Đặt :

$$K = \frac{\alpha}{D_m}; \frac{2Z}{\omega_n} = \frac{\lambda \cdot J}{D_m^2}; \omega_n = \sqrt{\frac{2B \cdot D_m^2}{V \cdot J}} \quad (4.67)$$

ta được :

$$\frac{\theta(s)}{x(s)} = K \cdot \frac{1}{1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2} \cdot \frac{1}{s} \quad (4.68)$$

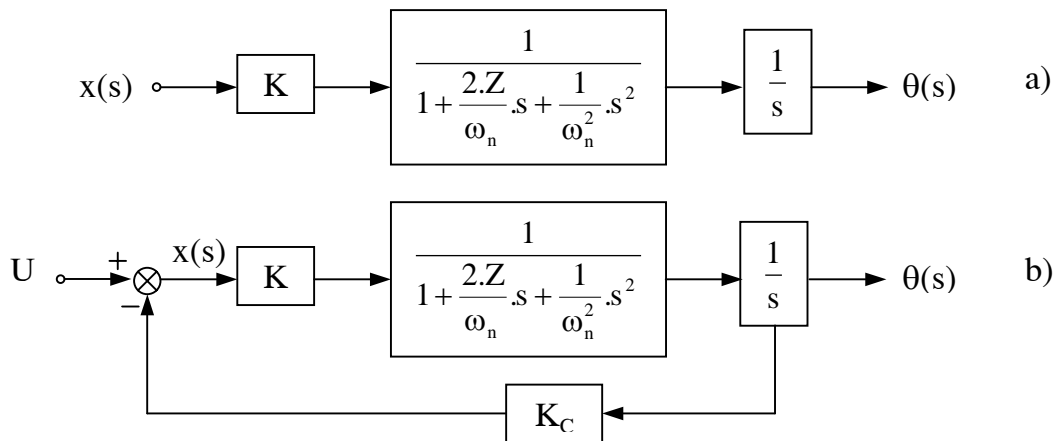
$$\frac{\Omega(s)}{x(s)} = K \cdot \frac{1}{1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2} \quad (4.69)$$

trong đó : K - hệ số khuếch đại;

Z - hệ số tắt dần;

$\omega_n$  - tần số dao động riêng của cụm động cơ dẫu.

Sơ đồ khối của hệ hở thể hiện ở hình 4.22a, từ sơ đồ khối hệ hở ta xây dựng sơ đồ khối kín như ở hình 4.22b.



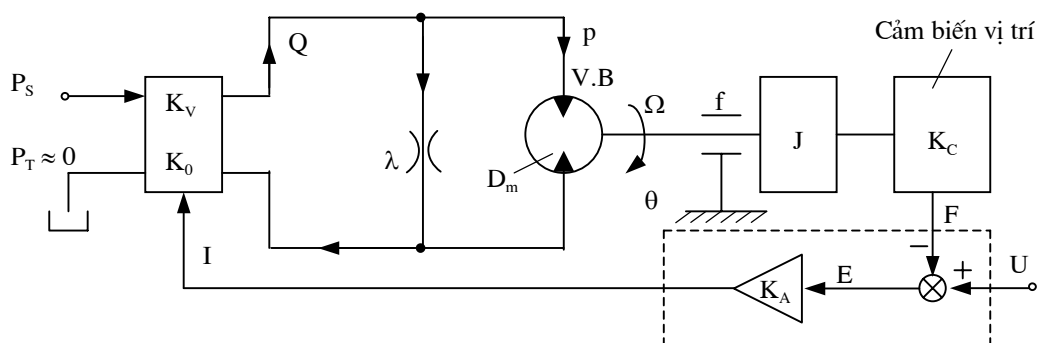
Hình 4.22. Sơ đồ khối mạch điều khiển thuỷ lực chuyển động quay  
a - Sơ đồ khối hệ hở, b - Sơ đồ khối hệ kín

Từ hình 4.22b ta xác định hàm truyền hệ kín :

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{1/ K_c}{1 + \frac{s}{K \cdot K_c} \left( 1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2 \right)} \quad (4.70)$$

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{1/ K_c}{1 + \frac{1}{K \cdot K_c} \left( 1 + \frac{2Z}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2 \right)} \quad (4.71)$$

#### 4.5.4. Hệ thủy lực chuyển động quay điều khiển bằng van servo



Hình 4.23. Sơ đồ điều khiển động cơ dầu bằng van servo

Ở sơ đồ trên hình 4.22 phân tử điều khiển là bơm dầu, còn ở sơ đồ trên hình 4.23 là van servo. Tương tự như trường hợp mục 4.5.2 ta cũng có các phương trình sau :

$$\text{Phương trình lưu lượng : } Q = D_m \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{V}{2B} \cdot \frac{dp}{dt} + \lambda \cdot p \quad (4.72)$$

Phương trình cân bằng lực nếu kể đến ma sát (với hệ số ma sát nhớt f) là :

$$D_m \cdot p = J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (4.73)$$

$$\text{Phương trình Laplace : } Q(s) = D_m \cdot s \cdot \theta(s) + \frac{V}{2B} \cdot s \cdot p(s) + \lambda \cdot p(s)$$

$$D_m \cdot p(s) = J \cdot s^2 \cdot \theta(s) + f \cdot s \cdot \theta(s) \quad (4.74)$$

Phương trình (4.74) có thể viết lại là :

$$Q(s) = D_m \cdot s \cdot \theta(s) + \left( \frac{V}{2B} \cdot s + \lambda \right) \cdot p(s) \quad (4.75)$$

$$p(s) = \frac{(J \cdot s^2 + f \cdot s)}{D_m} \cdot \theta(s) \quad (4.76)$$

Thay (4.76) vào (4.75) ta có :

$$Q(s) = D_m \cdot s \cdot \theta(s) + \left( \frac{V}{2B} \cdot s + \lambda \right) \cdot \left( \frac{J \cdot s^2 + f \cdot s}{D_m} \right) \cdot \theta(s)$$

- Đối với hệ hở :

$$\text{Hàm truyền : } \frac{\theta(s)}{Q(s)} = \frac{1}{D_m + \left( \frac{V}{2B} \cdot s + \lambda \right) \cdot \left( \frac{J \cdot s + f}{D_m} \right)} \cdot \frac{1}{s} \quad (4.77)$$

$$\frac{\theta(s)}{Q(s)} = \frac{(D_m^2 + \lambda \cdot f) / D_m}{1 + \frac{V \cdot f + 2B \cdot J \cdot \lambda}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} \cdot s + \frac{V \cdot J}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} \cdot s^2} \cdot \frac{1}{s} \quad (4.78)$$

Nếu đặt :  $K = \frac{D_m^2 + \lambda.f}{D_m}$ ;

$$T_1 = \sqrt{\frac{V.J}{2B.(D_m^2 + \lambda.f)}}; \quad \omega_0 = \frac{1}{T_1} = \sqrt{\frac{2B.(D_m^2 + \lambda.f)}{V.J}} \quad (4.79)$$

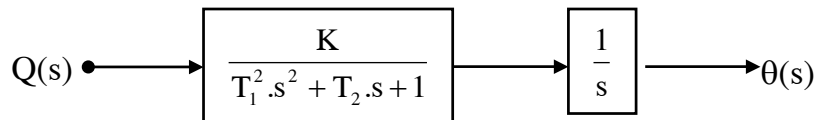
$$T_2 = \frac{V.f + 2B.J.\lambda}{2B.(D_m^2 + \lambda.f)}; \quad \zeta = \frac{T_2}{2.T_1} = \frac{1}{2} \frac{V.f + 2B.J.\lambda}{\sqrt{2B.V.J.(D_m^2 + \lambda.f)}} \quad (4.80)$$

thì  $\frac{\theta(s)}{Q(s)} = \left( \frac{K}{T_1^2.s^2 + T_2.s + 1} \right) \cdot \frac{1}{s} = \left( \frac{K}{T_1^2.s^2 + 2\zeta.T_1.s + 1} \right) \cdot \frac{1}{s}$  (4.81)

trong đó :

- K - hệ số khuếch đại của khâu dao động;
- $T_1, T_2$  - các hằng số thời gian;
- $\omega_0$  - tần số dao động riêng của hệ hở;
- $\zeta$  - hệ số tắt chấn của hệ hở.

Sơ đồ khối của hệ hở theo hàm truyền (4.81) như ở hình 4.24.

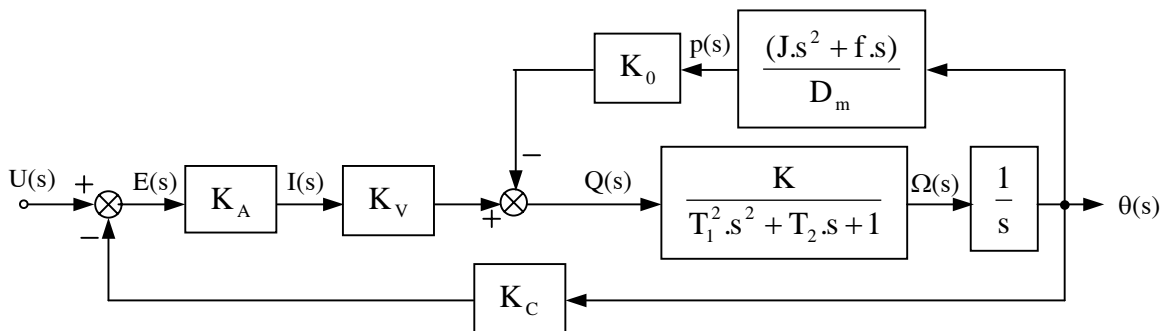


Hình 4.24. Sơ đồ khối hệ hở của cụm động cơ dầu

- Đối với hệ kín : Nếu bộ khuếch đại và van servo được coi là khâu khuếch đại thì ta sẽ có các quan hệ theo các công thức sau :

$$Q(s) = K_v.I(s) - K_0.p(s); \quad I(s) = K_A.E(s); \quad E(s) = U(s) - K_c.\theta(s) \quad (4.82)$$

Dựa vào sơ đồ khối hệ hở ở hình 4.24 và các quan hệ (4.76), (4.82), ta xây dựng được sơ đồ khối hệ kín ở hình hình 4.25.

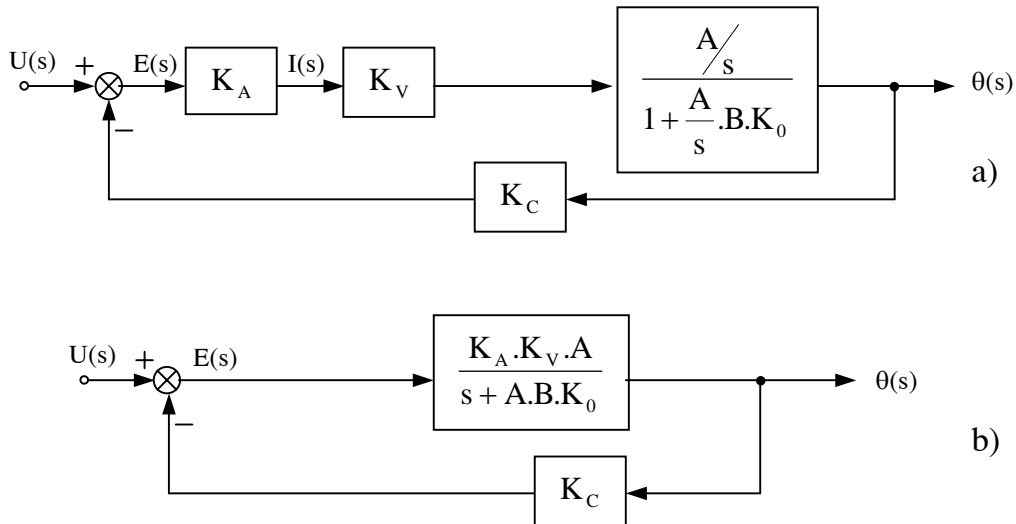


Hình 4.25. Sơ đồ khối hệ điều khiển vị trí chuyển động quay

Đặt :  $A = \frac{K}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1}$

và  $B = \frac{s \cdot (J \cdot s + f)}{D_m}$

Biến đổi sơ đồ khối ở hình 4.25 ta được sơ đồ như ở hình 4.26a.



Hình 4.26. Sơ đồ khối đã biến đổi

Khai triển sơ đồ khối trên hình 4.26b ta có :

$$\frac{\theta(s)}{E(s)} = \frac{K_A \cdot K_V \cdot \frac{K}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1}}{s + \frac{K}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1} \cdot \frac{s \cdot (J \cdot s + f)}{D_m} \cdot K_0} \quad (4.83)$$

Khai triển (4.83) ta được :

$$\frac{\theta(s)}{E(s)} = \frac{\frac{K_A \cdot K_V \cdot K \cdot D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f}}{s \cdot \left[ \frac{T_1^2 \cdot D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f} \cdot s^2 + \frac{T_2 \cdot D_m + K \cdot K_0 \cdot J}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f} \cdot s + 1 \right]} \quad (4.84)$$

Nếu đặt :  $K_0 = \frac{K_A \cdot K_V \cdot K \cdot D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f}$

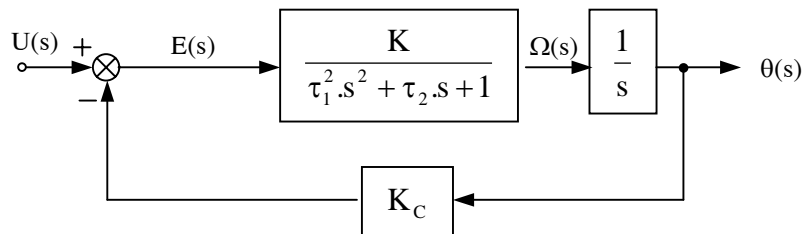
$$\tau_1 = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f}} = \sqrt{\frac{V \cdot J}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} \cdot \frac{D_m}{(D_m + K \cdot K_0 \cdot f)}} \quad (4.85)$$

$$\tau_2 = \frac{T_2 \cdot D_m + K \cdot K_0 \cdot J}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f} = \frac{V \cdot f \cdot D_m + 2B \cdot J \cdot \lambda \cdot D_m + 2B \cdot K \cdot K_0 \cdot J (D_m^2 + \lambda \cdot f)}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f) \cdot (D_m + K \cdot K_0 \cdot f)}$$

thì phương trình (4.84) sẽ là :

$$\frac{\theta(s)}{E(s)} = \frac{K_0}{\tau_1^2 \cdot s^2 + \tau_2 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s} \quad (4.86)$$

Công thức (4.86) là mô hình của một khâu dao động và một khâu tích phân lý tưởng. Sơ đồ khối của hệ kín thể hiện ở hình 4.27.



Hình 4.27. Sơ đồ khối của hệ thống thủy lực điều khiển vị trí

Hàm truyền hệ kín  $\frac{\theta(s)}{U(s)}$  sau khi biến đổi sơ đồ khối ở hình 4.27 sẽ là bậc 3.

## Chương 5

# CÁC PHẦN TỬ ĐIỀU KHIỂN CƠ BẢN TRONG HỆ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG THỦY LỰC

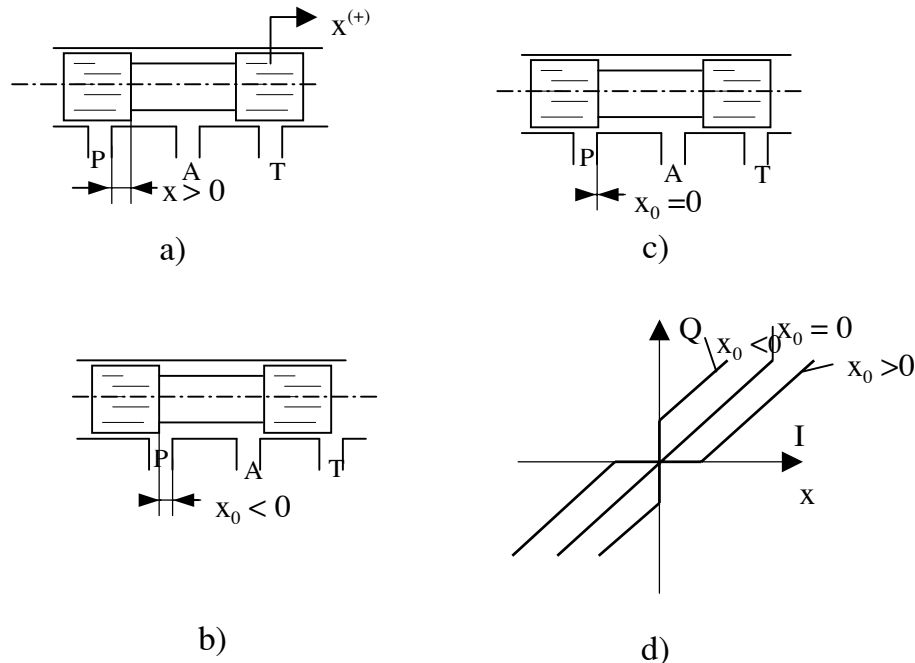
### 5.1. VAN ĐIỀU KHIỂN

Trong các chương trước chúng ta đã có dịp làm quen với các loại van điều khiển và khả năng ứng dụng của chúng trong các mạch điều khiển, phần này sẽ trình bày về nguyên lý làm việc, kết cấu và một số đặc tính của chúng.

Van servo được ứng dụng vào ngành hàng không trong nhiều năm qua và gần đây được ứng dụng rộng rãi ở các ngành công nghiệp khác. Tuy nhiên với sự tiến bộ của kỹ thuật, trong vài năm trở lại đây nhiều hãng sản xuất đã chế tạo được van tỉ lệ có đặc tính gần giống với đặc tính của van servo nhưng giá thành lại thấp hơn, nên tùy theo yêu cầu của thiết bị mà khi chọn van cần cân nhắc cả yêu cầu kỹ thuật lẫn giá thành của chúng.

Phần này sẽ giới thiệu về các loại van trượt điều khiển thông dụng trong đó có chú trọng đến các vấn đề kỹ thuật của van servo, trên cơ sở của van này ta có thể suy luận, nghiên cứu các loại van có đặc tính kỹ thuật thấp hơn.

#### 5.1.1. Van trượt có mép điều khiển dương, trung gian và âm



Hình 5.1. Sơ đồ các loại mép điều khiển của van

- a - Van có mép điều khiển dương ( $+x_0$ );
- b - Van có mép điều khiển trung gian ( $x_0 = 0$ );
- c - Van có mép điều khiển âm ( $-x_0$ );
- d- Đặc tính lý thuyết  $Q - x$  ( $Q - I$ ).

Hầu hết các loại van điều khiển đều sử dụng loại van kiểu con trượt. Tùy thuộc vào vị trí tương đối của các mép trên con trượt và mép thành van mà van trượt được phân thành ba loại (hình 5.1) như sau :

- Khi  $x_0 > 0$  gọi là van trượt có mép điều khiển dương, con trượt di chuyển trong vùng  $x_0$  lưu lượng vẫn bằng 0 và vùng này có thể gọi là vùng "chết" (hoặc vùng che phủ).

- Khi  $x_0 = 0$  gọi là van trượt có mép điều khiển trung gian.

- Khi  $x_0 < 0$  gọi là van trượt có mép điều khiển âm, tại vị trí trung gian (con trượt chưa di chuyển) đã hình thành tiết diện chảy và lưu lượng dầu đã qua van.

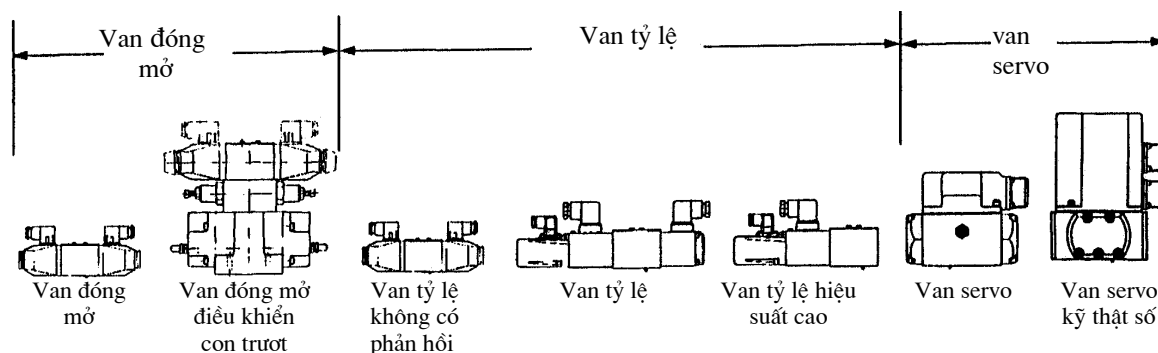
Đặc tính Q - x (hoặc Q - I) lý thuyết của các loại van trên thể hiện ở hình 5.1d.

Thực tế rất khó thực hiện van trượt có mép điều khiển trung gian ( $x_0 = 0$ ) nên rất ít dùng trong thực tế.

Đối với van trượt có mép điều khiển dương để con trượt vượt quá vùng "chết" thì dòng điện đầu vào cần thiết để con trượt di chuyển  $x = x_0$  phải nhỏ hơn 4% dòng điện cực đại. Yêu cầu này nhằm khống chế sai số điều khiển trong phạm vi cho phép.

### 5.1.2. Phân loại van trượt điều khiển

Hiện nay van trượt điều khiển được chia làm ba loại, theo chất lượng điều khiển người ta sắp xếp theo trình tự từ thấp đến cao như sau :



Hình 5.2. Sơ đồ ký hiệu và phân loại van điện thủy lực

#### 1- Van solenoid (solenoid valves).

- Van solenoid đóng mở (on/off solenoid valves).
- Van solenoid điều khiển (on/off solenoid valves with spool control).

#### 2- Van tỷ lệ (proportional valves).

- Van tỷ lệ không phản hồi (non-feedback proportional valves).
- Van tỷ lệ có phản hồi (feedback proportional valves).
- Van tỷ lệ hiệu suất cao (high performance proportional valves).

#### 3. Van servo (servo-valves).

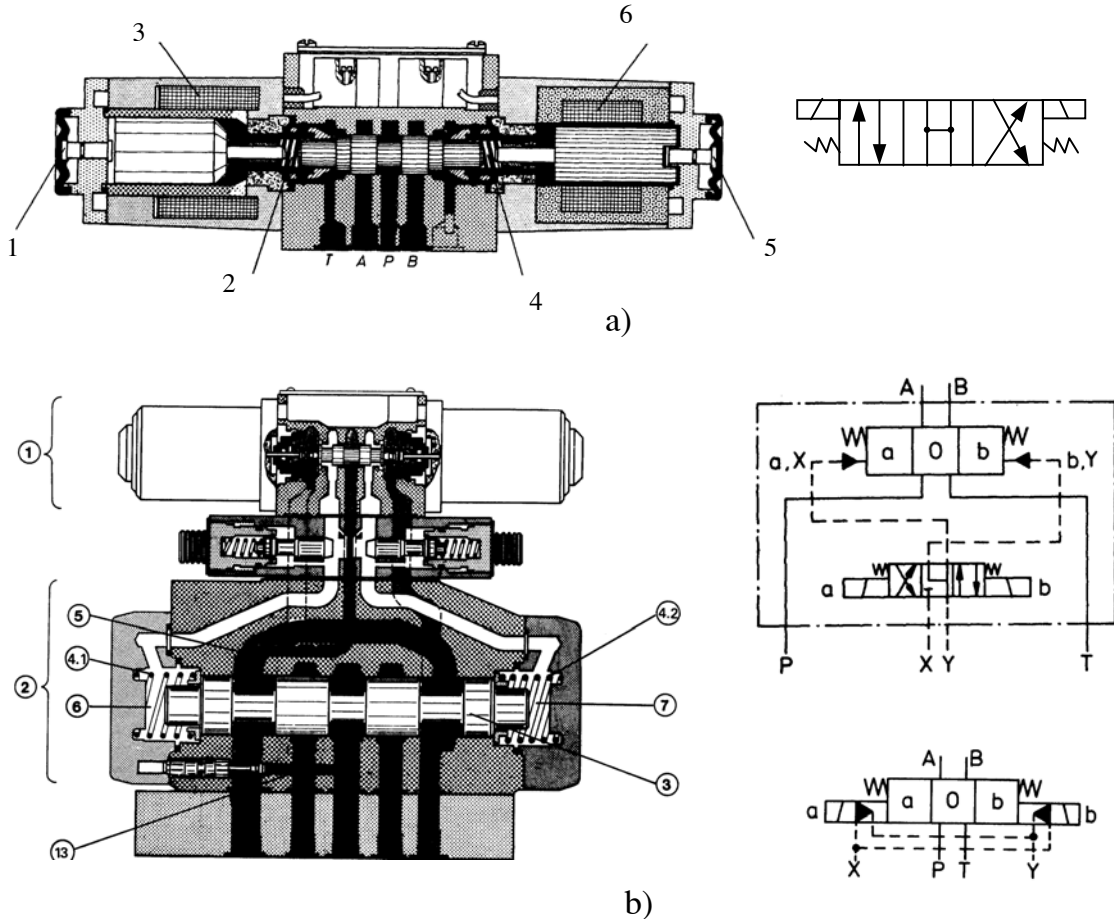
- Van servo.
- Van servo kỹ thuật số (digitally controlled servo-valves).



### 5.1.3. Van solenoid

Cấu tạo của van solenoid gồm các bộ phận chính (hình 5.3) là: loại điều khiển trực tiếp (hình 5.3a) gồm có thân van, con trượt và hai nam châm điện; loại điều khiển gián tiếp (hình 5.3b) gồm có van sơ cấp 1, cấu tạo van sơ cấp giống van điều khiển trực tiếp và van thứ cấp 2 điều khiển con trượt bằng dầu ép, nhờ tác động của van sơ cấp.

Con trượt của van sẽ hoạt động ở hai hoặc ba vị trí tùy theo tác động của nam châm. Có thể gọi van solenoid là loại van điều khiển có cấp.



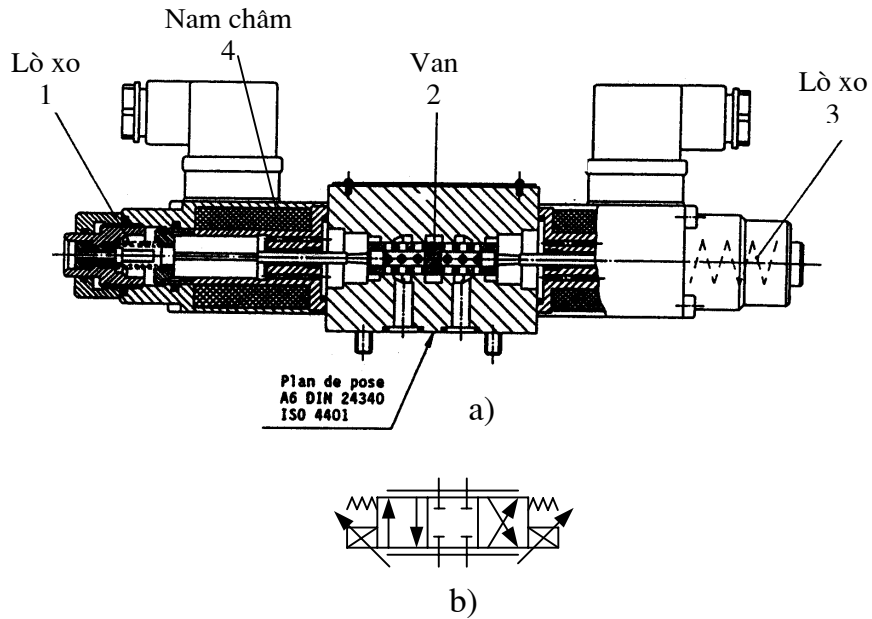
Hình 5.3. Cấu tạo và ký hiệu của van solenoid

- a- Cấu tạo và ký hiệu của van solenoid điều khiển trực tiếp (1, 5 - vít hiệu chỉnh vị trí của lõi sắt từ; 2, 4 - lò xo; 3, 6 - cuộn dây của nam châm điện);
- b- Cấu tạo và ký hiệu của van solenoid điều khiển gián tiếp (1 -van sơ cấp; 2 - van thứ cấp).

### 5.1.4. Van tỷ lệ

Cấu tạo của van tỷ lệ có gồm ba bộ phận chính (hình 5.4) là : Thân van, con trượt, nam châm điện.

Để thay đổi tiết diện chảy của van, tức là thay đổi hành trình của con trượt bằng cách thay đổi dòng điện điều khiển nam châm. Có thể điều khiển con trượt ở vị trí bất kỳ trong phạm vi điều chỉnh nên van tỷ lệ có thể gọi là loại van điều khiển vô cấp.



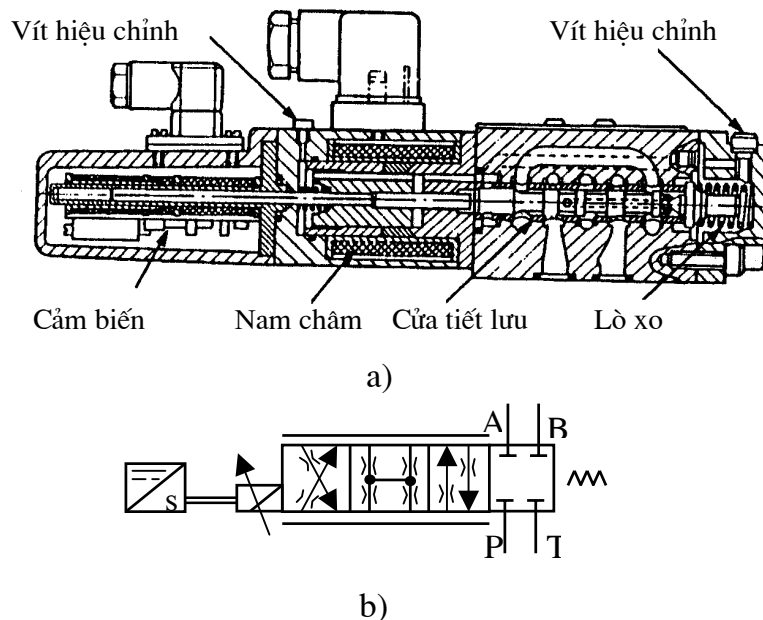
Hình 5.4. Cấu tạo và ký hiệu của van tỷ lệ

a - Cấu tạo; b - Sơ đồ ký hiệu.

Hình 5.4 là kết cấu của van tỷ lệ, van có hai nam châm 4 bố trí đối xứng, các lò xo 1 và 3 phục hồi vị trí cân bằng của con trượt 2.

### 5.1.5. Van tỷ lệ có phản hồi hiệu suất cao

Van tỷ lệ có phản hồi ngoài các bộ phận và khả năng điều khiển như van tỷ lệ thông thường còn có thêm thiết bị dò hành trình di chuyển của con trượt. Các bộ phận chính của van gồm (hình 5.5a) : Thân van và con trượt; Nam châm điện; Cảm biến vị trí đo lường di chuyển con trượt (LVDT).



Hình 5.5. Cấu tạo và ký hiệu của van tỷ lệ hiệu suất cao loại 4 vị trí 4 cửa

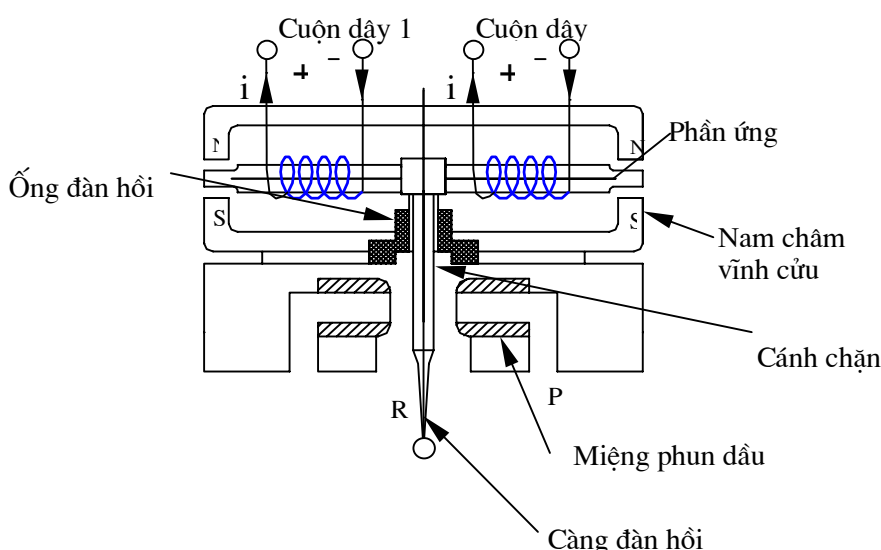
a - Cấu tạo; b - Sơ đồ ký hiệu.

Với mỗi giá trị của dòng điện điều khiển vào cuộn dây của nam châm điện thì con trượt của van sẽ di chuyển đến vị trí tương ứng. Vị trí của con trượt quyết định tiết diện chảy và các vị trí của van. Các lò xo có tác dụng phục hồi con trượt về vị trí ban đầu. Cảm biến vị trí dạng biến trở (potentiometer) ký hiệu LVDT, đo vị trí của con trượt và truyền tín hiệu dưới dạng điện áp về bộ khuếch đại của van, tại bộ khuếch đại tín hiệu phản hồi so sánh với tín hiệu điều khiển nhằm truyền cho nam châm dòng điều khiển chính xác. Nên nhờ bộ cảm biến này mà vị trí di chuyển của con trượt điều khiển được chính xác.

Ở các loại van trên, nam châm điện trực tiếp kéo con trượt di chuyển nên dòng điều khiển lớn.

### 5.1.6. Van servo

#### 1- Nguyên lý làm việc



Hình 5.6. Sơ đồ nguyên lý của bộ phận điều khiển con trượt của van servo

Bộ phận điều khiển con trượt của van servo (torque motor) thể hiện trên hình 5.6 gồm các ở bộ phận sau :

- Nam châm vĩnh cửu;
- Phân ứng và hai cuộn dây;
- Cánh chặn và càng đàn hồi;
- Ống đàn hồi;
- Miệng phun dầu.

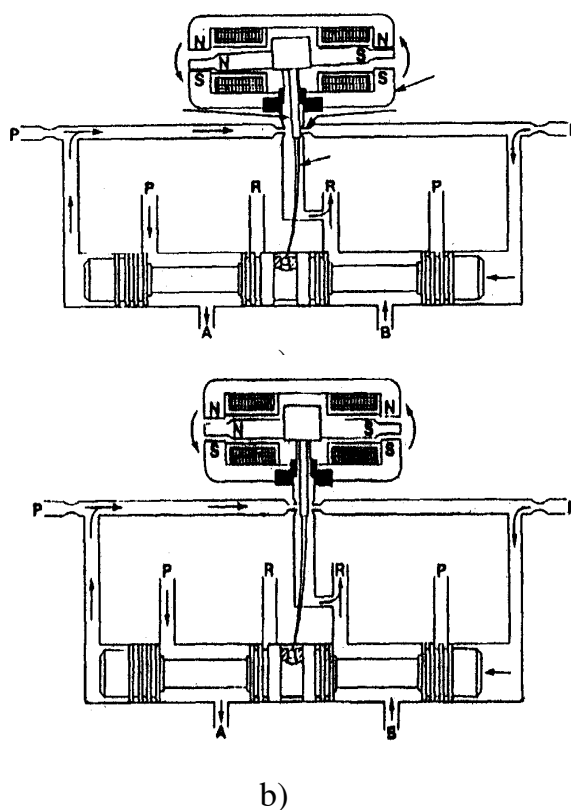
Hai nam châm vĩnh cửu đặt đối xứng tạo thành khung hình chữ nhật, phần ứng trên đó có hai cuộn dây và cánh chặn dầu ngàm với phần ứng, tạo nên một kết cấu cứng vững. Định vị phần ứng và cánh chặn dầu là một ống đàn hồi, ống này có tác dụng phục hồi cụm phần ứng và cánh chặn về vị trí trung gian khi dòng điện vào hai cuộn dây cân bằng. Nối với cánh chặn dầu là càng đàn hồi, càng này nối trực tiếp với con trượt. Khi dòng điện vào hai cuộn dây lệch nhau thì phần ứng bị hút lệch, do sự đối xứng của các cực nam châm mà phần ứng sẽ quay. Khi phần ứng quay, ống đàn hồi sẽ biến dạng đàn hồi, khe hở từ cánh chặn đến miệng phun dầu cũng sẽ thay đổi (phía này hở ra và phía kia hẹp lại). Điều đó dẫn đến áp suất ở hai phía của con trượt lệch nhau và con trượt được di chuyển. Như vậy:

a. Khi dòng điện điều khiển ở hai cuộn dây bằng nhau hoặc bằng 0 thì phần ứng, cánh, càn và con trượt ở vị trí trung gian (áp suất ở hai buồng con trượt cân bằng nhau).

b. Khi dòng  $i_1 \neq i_2$  thì phần ứng sẽ quay theo một chiều nào đó tùy thuộc vào dòng điện của cuộn dây nào lớn hơn. Giả sử phần ứng quay ngược chiều kim đồng hồ, cánh chặn dầu cũng quay theo làm tiết diện chảy của miệng phun dầu thay đổi, khe hở miệng phun phía trái rộng ra và khe hở ở miệng phun phía phải hẹp lại. Áp suất dầu vào hai buồng con trượt không cân bằng, tạo lực dọc trục, đẩy con trượt di chuyển về bên trái, hình thành tiết diện chảy qua van (tạo đường dẫn dầu qua van). Quá trình trên thể hiện ở hình 5.7a. Đồng thời khi con trượt sang trái thì càn sẽ cong theo chiều di chuyển của con trượt làm cho cánh chặn dầu cũng di chuyển theo. Lúc này khe hở ở miệng phun trái hẹp lại và khe hở miệng phun phải rộng lên, cho đến khi khe hở của hai miệng phun bằng nhau và áp suất hai phía bằng nhau thì con trượt ở vị trí cân bằng. Quá trình đó thể hiện ở hình 5.7b.

Mômen quay phần ứng và mômen do lực đàn hồi của càn cân bằng nhau. Lượng di chuyển của con trượt tỷ lệ với dòng điện vào cuộn dây.

c. Tương tự như trên nếu phần ứng quay theo chiều ngược lại thì con trượt sẽ di chuyển theo chiều ngược lại.



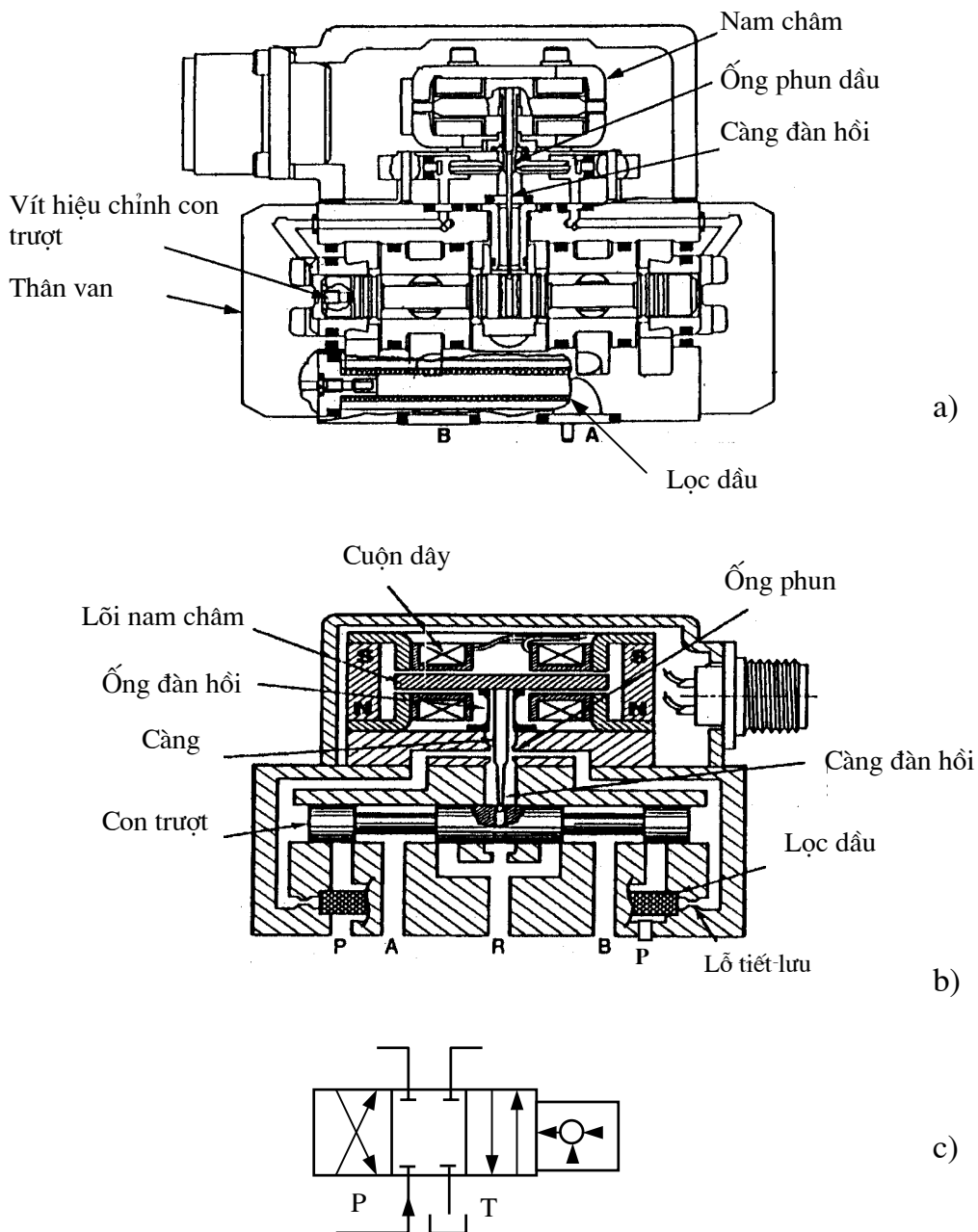
Hình 5.7. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của van servo

- a - Sơ đồ giai đoạn đầu của quá trình điều khiển;
- b - Sơ đồ giai đoạn hai của quá trình điều khiển.

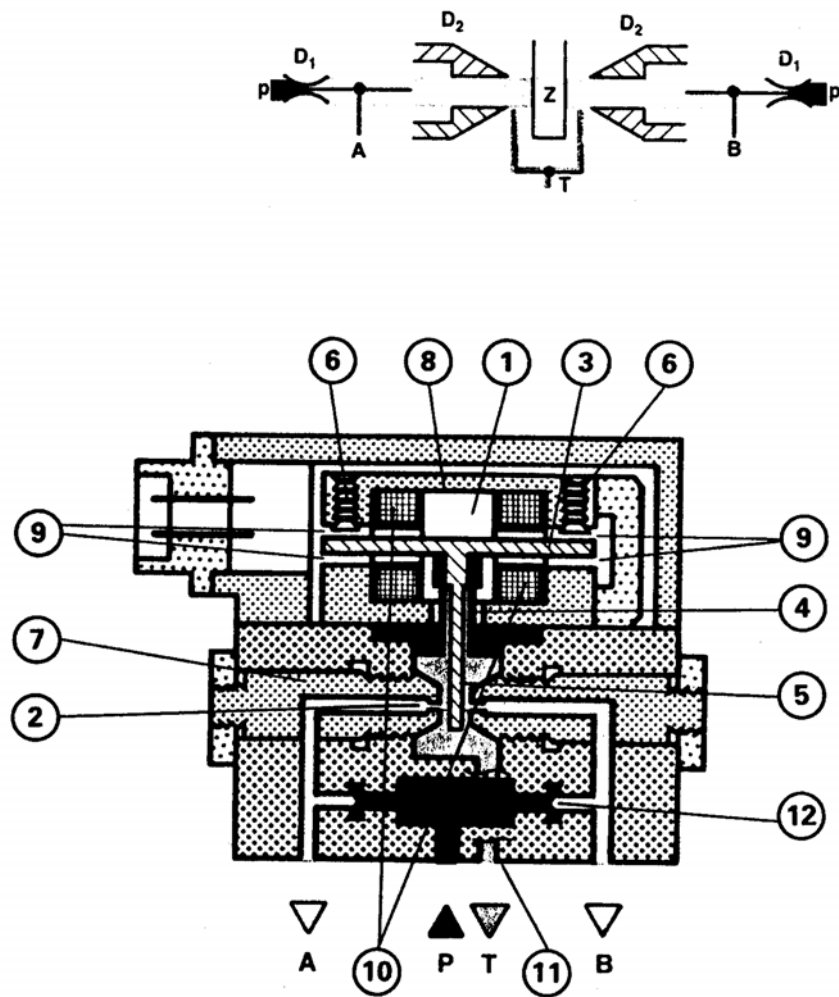
## 2. Kết cấu của van servo

Ngoài những kết cấu thể hiện ở hình 5.6 và hình 5.7, trong van còn bố trí thêm bộ lọc dầu nhằm đảm bảo điều kiện làm việc bình thường của van. Để con trượt ở vị trí trung gian khi tín hiệu vào bằng không, tức là để phản ứng ở vị trí cân bằng, người ta đưa vào kết cấu vít điều chỉnh.

Các hình 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 là kết cấu của một số loại van servo được sử dụng hiện nay.

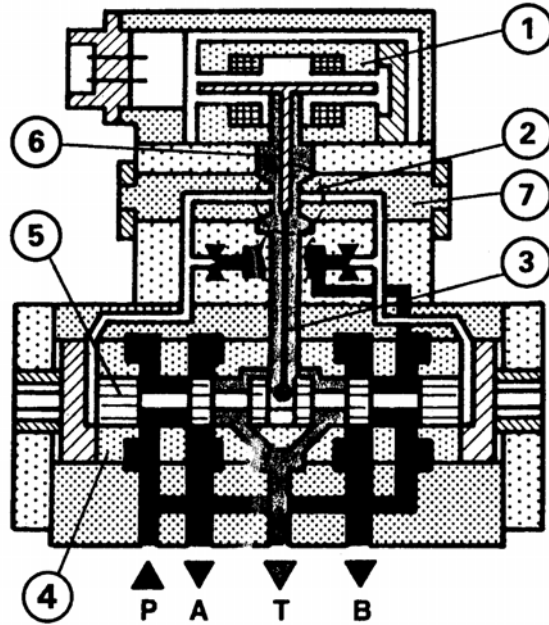


Hình 5.8. Bản vẽ thể hiện kết cấu và ký hiệu của van servo  
a, b- Bản vẽ thể hiện các dạng kết cấu của van servo;  
c- Ký hiệu của van servo.



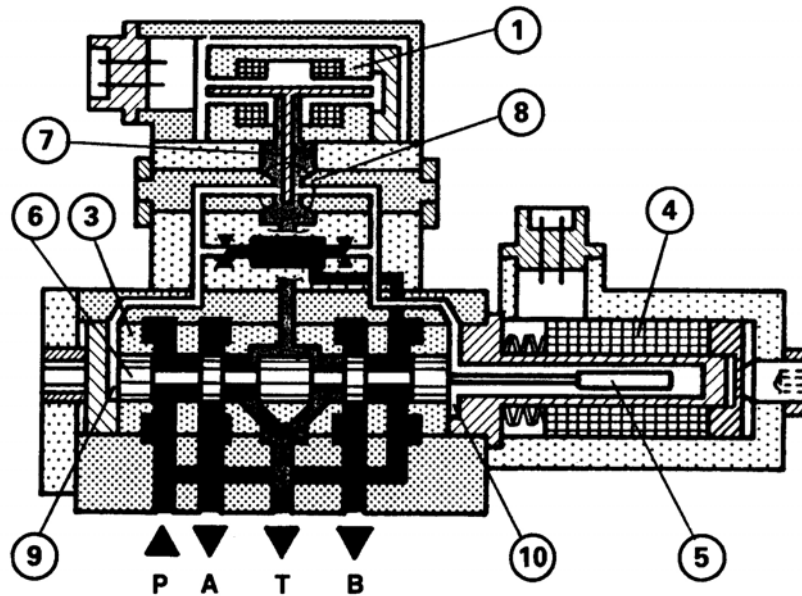
Hình 5.9. Kết cấu của van servo một cấp điều khiển

- 1- Không gian trống;
- 2- Ống phun;
- 3- Lõi sắt của nam châm;
- 4- Ống đàn hồi;
- 5- Càng điều khiển điện thủy lực;
- 6- Vít hiệu chỉnh;
- 7- Thân của ống phun;
- 8- Thân của nam châm;
- 9- Không gian quay của lõi sắt nam châm;
- 10- Cuộn dây của nam châm;
- 11- Con trượt của van chính;
- 12- Buồng dầu của van chính.



Hình 5.10. Kết cấu của van servo 2 cấp điều khiển

1- Cụm nam châm; 2- Ống phun; 3- Càng đàn hồi của bộ phận điều khiển điện thủy lực; 4- Xylanh của van chính; 5- Con trượt của van chính; 6- Càng điều khiển điện-thủy lực; 7- Thân của ống phun.

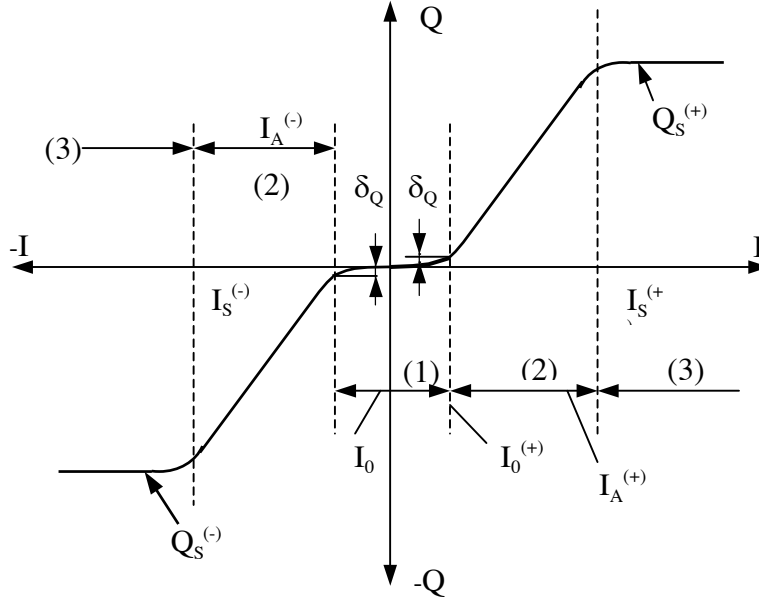


Hình 5.11. Kết cấu của van servo 2 cấp điều khiển có cảm biến

1-Cụm nam châm; 2-Ống phun; 3-Xylanh của van chính; 4-Cuộn dây của cảm biến; 5-Lõi sắt từ của cảm biến; 6-Con trượt của van chính; 7- Càng điều khiển điện-thủy lực; 8-Ống phun; 9,10-Buồng dầu của van chính.

### 3. Đồ thị quan hệ giữa lưu lượng $Q$ và dòng điện điều khiển $I$

Theo ISO 6404, đặc tính  $Q - I$  của van được thiết lập trên cơ sở đo và xác định quan hệ  $Q - I$  khi cho áp suất  $P_s$  không đổi và chế độ không tải trọng (hình 5.14).



Hình 5.14. Đặc tính  $Q - I$  của van trượt điều khiển

1 - Vùng bão hòa ( $Q = 0$ ); 2 - Vùng hoạt động của van; 3 - Vùng bão hòa ( $Q = Q_{\max}$ ).

Vùng bão hòa là vùng mà con trượt đang ở vị trí trung gian ( $\delta_Q \approx 1\% Q_S$ ), được xác định theo công thức :

$$D_Z \approx \frac{(I_0^{(+)} - I_0^{(-)})}{(I_S^{(+)} - I_S^{(-)})} \quad (5.1)$$

Khi thiết kế van,  $D_Z$  lấy trong khoảng từ 10% đến 35%.

Vùng hoạt động là vùng mà lưu lượng  $Q$  thay đổi tỷ lệ với dòng điện điều khiển  $I$ , được xác định theo công thức :

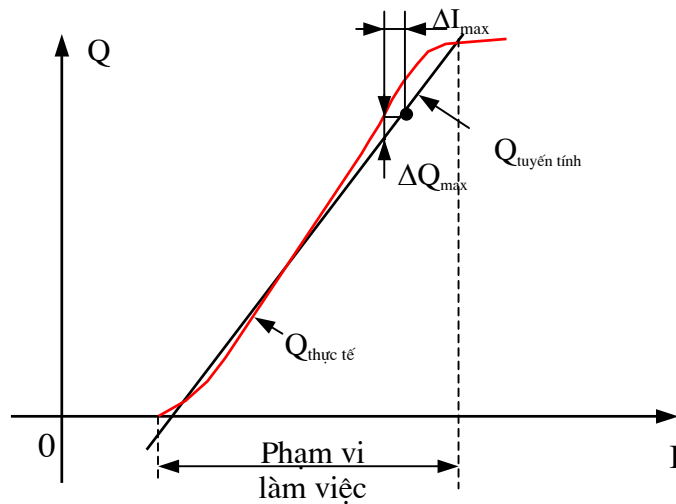
$$D_A \approx \frac{(I_A^{(+)} - I_A^{(-)})}{(I_S^{(+)} - I_S^{(-)})} \quad (5.2)$$

Vùng lưu lượng bão hoà  $Q_S$  là vùng mà khi tăng dòng điện điều khiển thì lưu lượng không còn thay đổi nữa, vì lúc này con trượt đã mở hoàn toàn.  $Q_S$  còn được gọi là lưu lượng tỷ lệ.

Đối với van servo, áp suất cung cấp để xây dựng đặc tính trên là  $P_s = 70 \text{ bar}$ .

Vùng hoạt động của van (2) thực tế không tuyến tính, nhưng để tiện lợi cho việc sử dụng người ta thực hiện tuyến tính hoá và chịu sai số nhất định. Sai số lớn nhất gọi là sai số tuyến tính (hình 5.15).





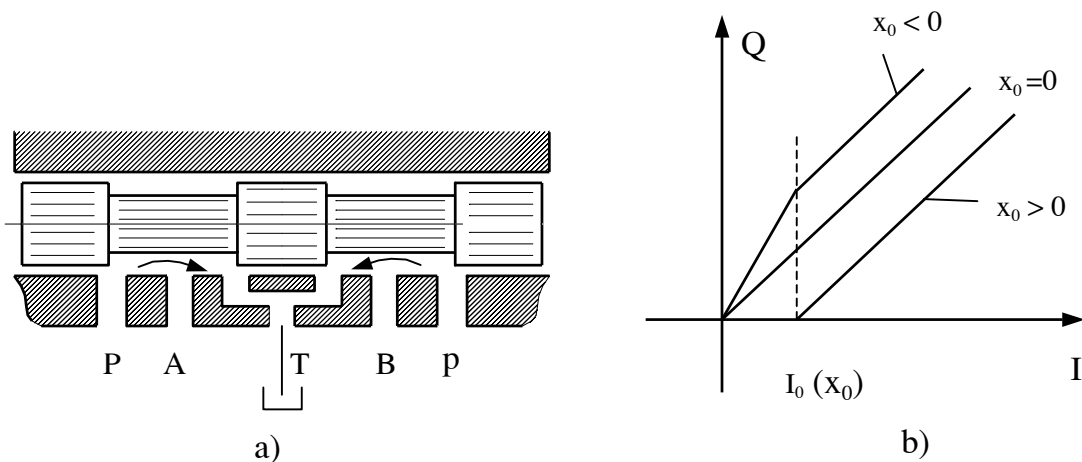
Hình 5.15 Tuyến tính hoá quan hệ  $Q - I$ .

Các giá trị  $\Delta Q_{\max}$  và  $\Delta I_{\max}$  là các sai số tuyến tính. Tùy thuộc vào trình độ chế tạo của từng hãng mà sai số tuyến tính của van của các hãng sẽ khác nhau và được ghi trong catalog.

**4. Hệ số khuếch đại lưu lượng và hệ số khuếch đại áp suất**

Hệ số khuếch đại lưu lượng là tỷ số giữa độ thay đổi lưu lượng ra và độ thay đổi dòng điện vào :

$$K_Q \approx \left. \frac{dQ}{dI} \right|_{\Delta P_L=0} \quad (5.3)$$



Hình 5.16. Sơ đồ nghiên cứu hệ số khuếch đại lưu lượng của van  
 a - Sơ đồ của van khi con trượt ở vị trí trung gian;  
 b - Đặc tính  $Q - I$  khi  $x_0 = 0$ ,  $x_0 > 0$  và  $x_0 < 0$ .

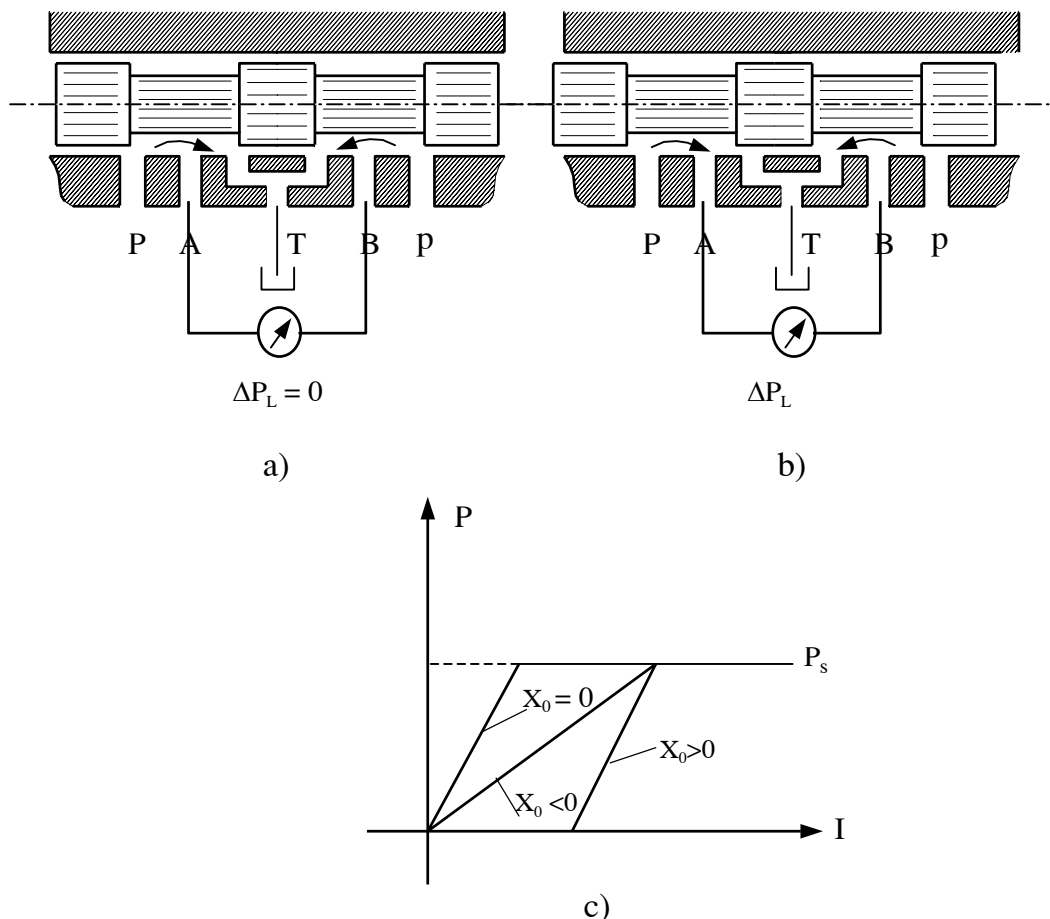
Khi coi đặc tính  $Q - I$  là tuyến tính thì hệ số khuếch đại lưu lượng sẽ là :

$$K_Q = \frac{Q}{I} \quad (5.4)$$

$K_Q$  là hệ số góc của đặc tính Q - I của van.

Hệ số khuếch đại áp suất là tỷ số giữa áp suất ra với tín hiệu dòng điện vào của van,

được xác định theo công thức sau : 
$$K_P = \frac{P}{I} \quad (5.5)$$



Hình 5.17. Sơ đồ nghiên cứu hệ số khuếch đại áp suất

- a - Sơ đồ của van khí con trượt ở vị trí trung gian;
- b - Sơ đồ của van khí con trượt dịch chuyển sang phải;
- c - Đặc tính P - I khi  $x = 0$ ,  $x > 0$  và  $x < 0$ .

Nếu con trượt ở vị trí trung gian (hình 5.17a) thì áp suất ở cửa A và cửa B bằng nhau (hiệu áp  $\Delta P_L = 0$ ).

Nếu con trượt di chuyển sang trái (hình 5.17 b) thì cửa A sẽ được thông với cửa p và cửa B sẽ thông với cửa T. Cửa A áp suất tăng và cửa B áp suất giảm. Khi mà cửa A áp suất bằng áp suất cung cấp P thì cửa B áp suất giảm đến 0.

Hình 5.17c giới thiệu đặc tính P - I của van trượt có mép điều khiển dương, âm và trung gian.

Đối với van trượt có mép điều khiển âm, hệ số khuếch đại thấp, van trượt có mép điều khiển dương áp suất không tăng trong vùng "chết" của van, còn van trượt có mép điều khiển trung gian, độ dốc của đặc tính lớn và tăng ngay từ đầu nên loại này có hệ số khuếch đại áp suất cao.

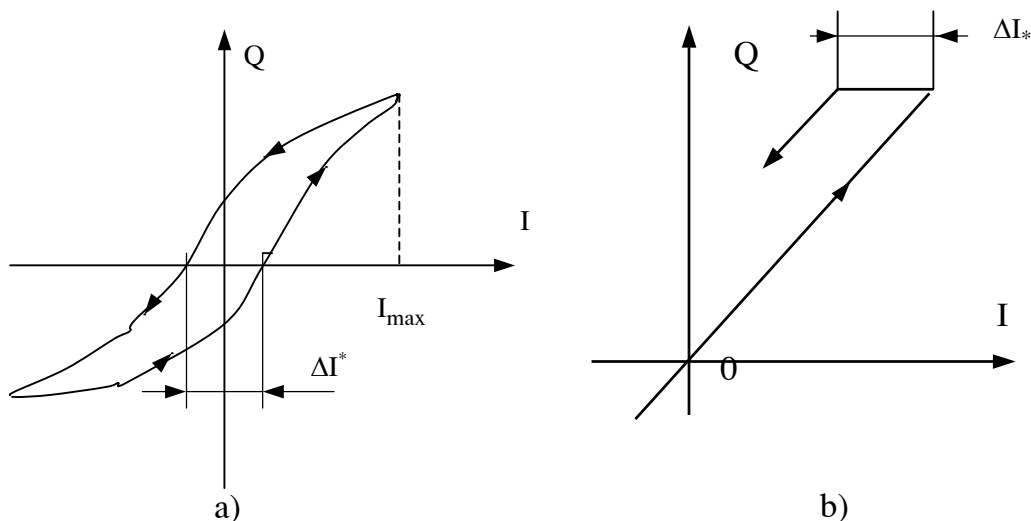
Hệ số khuếch đại áp suất là chỉ tiêu quan trọng đối với mạch điều khiển áp suất hệ kín và cũng rất quan trọng liên quan đến độ chính xác của mạch điều khiển vị trí.

### 5. Hiện tượng từ trễ và trượt tín hiệu của van

Do ma sát giữa con trượt với thành van và hiện tượng tạo từ trường của cuộn dây mà gây ra hiện tượng từ trễ (hình 5.18a).

Đặc tính lưu lượng khi tăng và giảm dòng điều khiển I là không trùng nhau. Lưu lượng ra của van phụ thuộc vào chiều tăng hay chiều giảm của tín hiệu điều khiển.

Độ từ trễ được tính theo tỷ lệ phần trăm của  $\Delta I^*$  so với dòng điện điều khiển lớn nhất ( $\Delta I^* \% \cdot I_{\max}$ ).



Hình 5.18. Đồ thị Q - I về hiện tượng từ trễ và trượt tín hiệu của van

a - Đồ thị Q - I về hiện tượng từ trễ;

b - Đồ thị Q - I về hiện tượng trượt tín hiệu.

Tương tự như hiện tượng từ trễ khi đảo chiều làm việc của van, ở thời điểm ban đầu mặc dù đã giảm dòng điều khiển nhưng lưu lượng vẫn chưa giảm và quá trình đó gọi là trượt tín hiệu  $\Delta I_*$  hay gọi là sai số nghịch đảo (hình 5.18b).

Các hiện tượng trên sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác điều khiển nên cần được quan tâm khi nghiên cứu chọn van.

### 6. Lưu lượng tỷ lệ và công suất truyền động

Lưu lượng của van được điều khiển bằng tiết diện chảy của van và xác định theo công thức gần đúng đối với dòng chảy rối :

$$Q \approx K_0 \sqrt{\Delta P} \quad (5.6)$$

trong đó :  $K_0$  - hệ số phụ thuộc nhiều yếu tố trong đó có liên quan đến tiết diện chảy của van;

$\Delta P$  - hiệu áp qua tiết diện chảy.

Tuy nhiên do tiết diện chảy được điều khiển theo dòng điện đầu vào nên lưu lượng tỷ lệ cũng được xác định theo dòng điện đầu vào. Lưu lượng tỷ lệ được tính ứng với dòng điện đầu vào là 100% và độ sụt áp qua van là 70 bar (đối với van servo).

Lưu lượng qua van được xác định theo công thức:

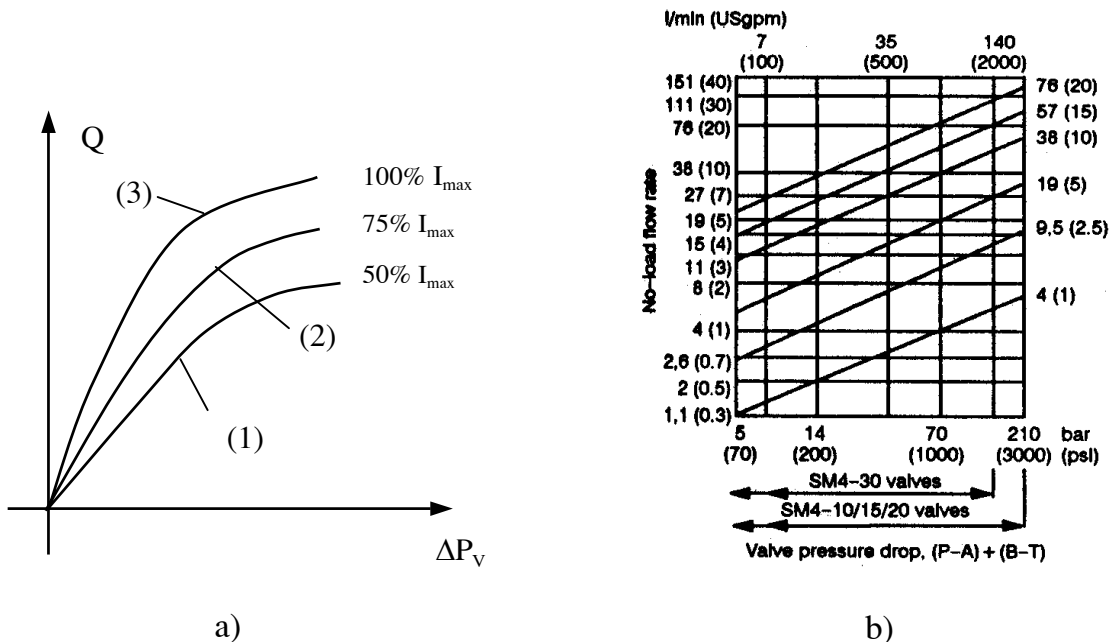
$$Q_L = Q_R \cdot \frac{I_A}{100} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_V}{70}} \quad (\text{hệ mét}) \quad (5.7)$$

hoặc :

$$Q_L = Q_R \cdot \left(\frac{I_A}{100}\right) \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_V}{1000}} \quad (\text{hệ Anh}) \quad (6.8)$$

trong đó :  $Q_L$  - lưu lượng ra ứng với dòng điều khiển  $I_A$ ;  
 $Q_R$  - lưu lượng tỷ lệ (lưu lượng lớn nhất ứng với  $I_{\max}$  );  
 $\Delta P_V$  - độ sụt áp qua van và  $\Delta P_V$  được xác định là :  $\Delta P_V = P_S - P_1 - P_T$  (5.9)  
 $P_S$  - áp suất cung cấp;  $P_T$  - áp suất cửa ra của van;  
 $P_L$  - áp suất cần thiết để cơ cấu chấp hành hoạt động.

Quan hệ giữa lưu lượng và độ sụt áp của  $\Delta P_V$  theo công thức (5.7) thể hiện ở hình 5.19a. Quan hệ này nếu biểu diễn dưới dạng đặc tính logarit thì được vẽ như ở hình 5.19b.



Hình 5.19. Đồ thị đặc tính  $Q - \Delta P_V$   
a- Đặc tính  $Q - \Delta P_V$  với các dòng điều khiển khác nhau;  
b - Đặc tính  $Q - \Delta P_V$  vẽ trong tọa độ logarit.

Ví dụ : Van servo có lưu lượng tỷ lệ  $Q_R = 38$  l/p. Tính lưu lượng  $Q_L$  qua van khi  $\Delta P_V = 35$  bar (500psi) và dòng điện đầu vào  $I_A = 75\% I_{\max}$ .

Từ đặc tính trên hình 5.19b ta thấy, tại  $\Delta P_V = 35$  bar thì lưu lượng là  $Q_R = 27$  l/p với dòng điện đầu vào là 100%.

Như vậy, nếu sai số tuyến tính bằng 0 thì lưu lượng tại 75% tín hiệu đầu vào là :

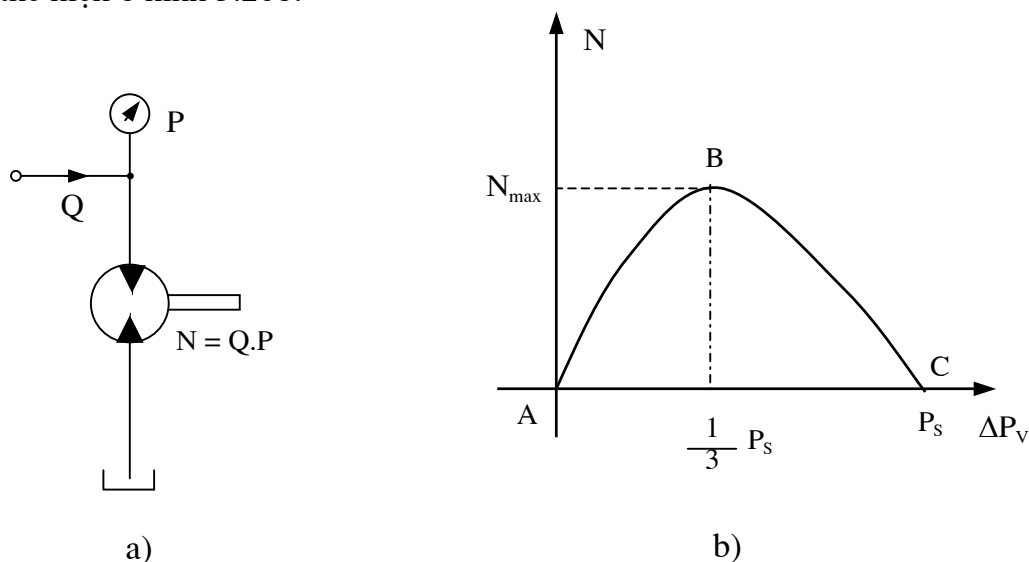
$$Q_L = 27 \times 0,75 = 20,3 \text{ l/p}$$

Công suất thủy lực truyền cho cơ cấu chấp hành (xy lanh hoặc động cơ thủy lực) như đã giới thiệu ở mục 1.1.1, đó là tích của lưu lượng và áp suất cung cấp của van nếu bỏ qua các dạng tổn thất, xác định theo công thức sau :

$$N = Q \cdot P \quad (5.10)$$

Nếu bỏ qua tổn thất lưu lượng thì lưu lượng qua cơ cấu chấp hành bằng lưu lượng qua van.

Khi  $\Delta P_V$  tăng thì  $Q_L$  sẽ tăng, nhưng nếu  $\Delta P_V$  tăng thì áp suất  $P_L$  truyền cho tải có xu hướng giảm. Người ta đã xác định được rằng, khi độ sụt áp bằng  $1/3$  áp suất cung cấp thì công suất đạt giá trị cực đại ( $\Delta P_V = 1/3 P_S$ ). Quá trình thay đổi công suất theo áp suất thể hiện ở hình 5.20b.



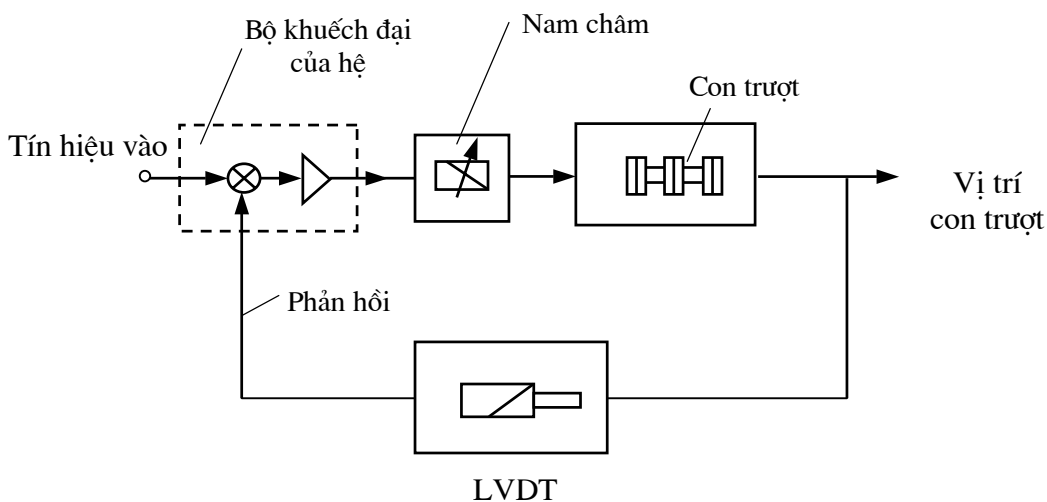
Hình 5.20. Sơ đồ ví dụ tính công suất và đặc tính  $N-P$  của cơ cấu chấp hành

a - Sơ đồ ví dụ tính công suất của động cơ dầu;

b - Đặc tính  $N-P$  của cơ cấu chấp hành.

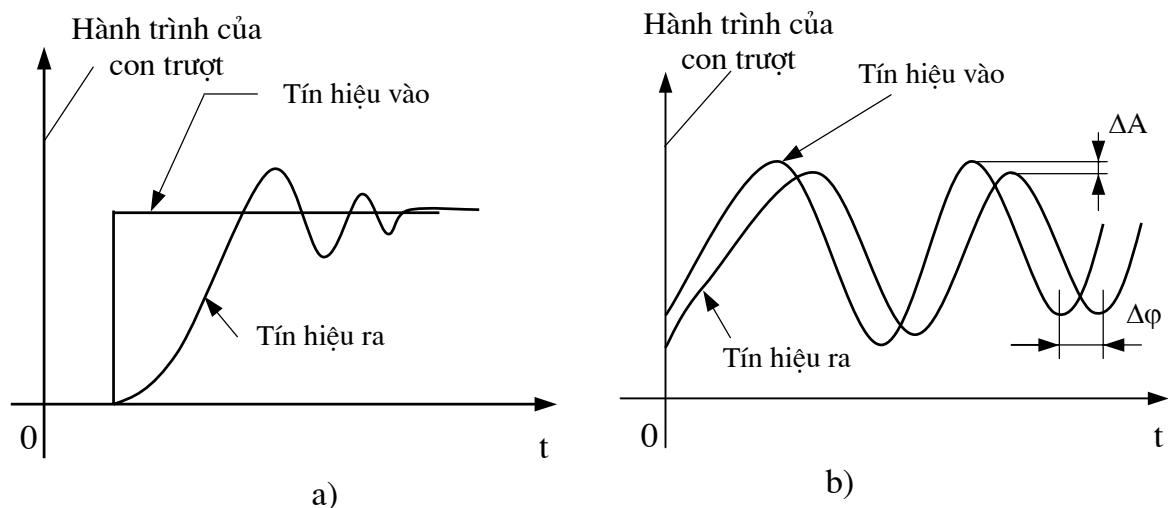
### 7. Đặc trưng động lực học của van

Đối với van servo và van tỷ lệ hiệu suất cao thì vị trí con trượt của van được điều khiển trực tiếp bằng mạch phản hồi cơ học có ngay trong kết cấu của van. Các loại van khác để có mạch phản hồi cần sử dụng bộ cảm biến vị trí LVDT đo vị trí con trượt, tín hiệu phản hồi từ LVDT đưa về bộ khuếch đại của van để so sánh với tín hiệu điều khiển van (hình 5.21). Sai số vị trí con trượt do ma sát và thay đổi lưu lượng sẽ được hiệu chỉnh một cách tự động.



Hình 5.21. Sơ đồ khối mạch điều khiển vị trí con trượt của van

Con trượt của van được điều khiển theo mạch điều khiển vị trí hệ kín, nên theo lý thuyết điều khiển tự động thì khi nghiên cứu động lực học của van ta cần nghiên cứu đáp ứng step và đáp ứng tần số.



Hình 5.22. Đặc tính động lực học của con trượt của van

a - Tín hiệu vào là step;

b - Tín hiệu vào là hình sin,

( $\Delta A$  - Độ lệch biên độ,  $\Delta\varphi$  - Độ lệch pha).

Hình 5.22a là đáp ứng quá độ của con trượt, nghĩa là khi có tín hiệu vào dạng step thì tín hiệu ra có thể sẽ dao động tắt dần trước khi đạt giá trị vị trí ổn định. Quá trình đó được gọi là quá trình quá độ. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng của quá trình quá độ đã được giới thiệu trong lý thuyết điều khiển tự động.

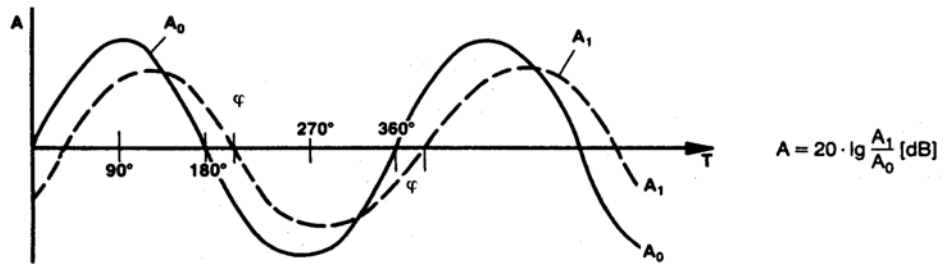
Hình 5.22b là đáp ứng tần số của con trượt của van. Khi tín hiệu vào thay đổi theo quy luật hình sin thì tín hiệu ra cũng là hình sin nhưng pha sẽ trễ và biên độ sẽ giảm. Tín hiệu vào càng thấp thì khả năng trễ pha và lệch biên độ càng ít; tần số vào càng cao thì độ lệch pha và lệch biên độ càng tăng. Hình 5.23 là ví dụ về đặc tính của một loại van servo. Hình 5.23a là đặc tính quan hệ giữa biên độ và pha, trên đó thể hiện sự suy yếu biên độ và sự trễ pha của tín hiệu ra. Hình 5.23b là đặc tính quan hệ giữa lưu lượng  $Q$  và hiệu áp  $\Delta p$  qua van, đặc tính quan hệ giữa biên độ  $A$  và tần số làm việc  $f$  của van.

Sự suy yếu của biên độ được tính theo decibel (dB) :

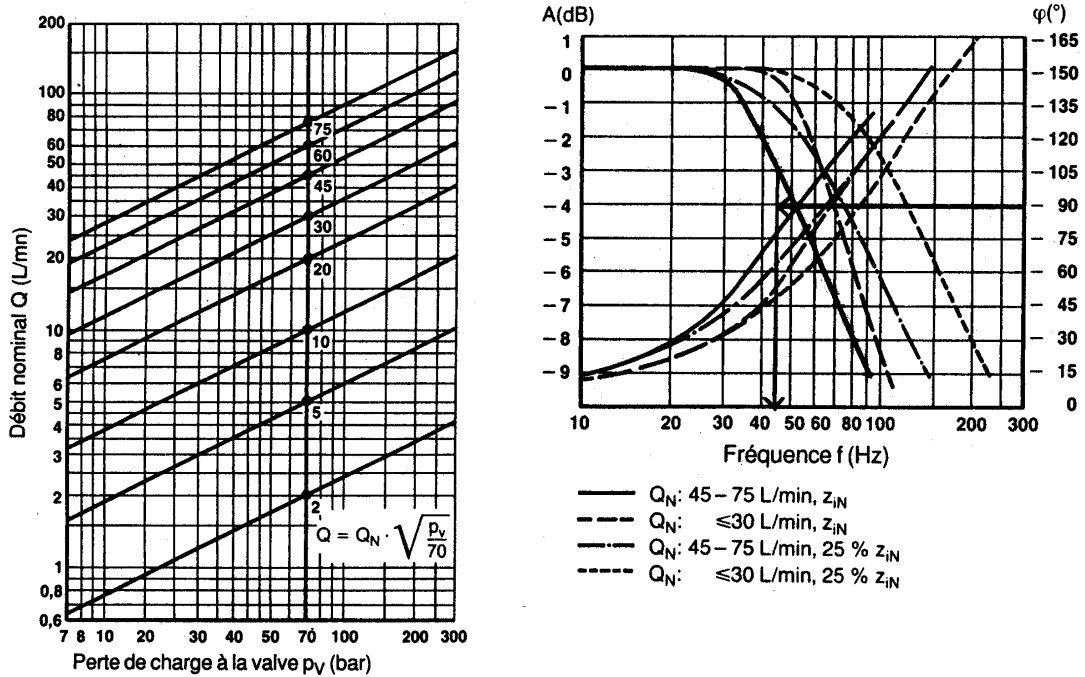
$$dB = 20 \log \left( \frac{R_a}{V_{ao}} \right) \quad (5.11)$$

trong đó : Đầu ra là tỷ lệ % tín hiệu đầu ra cực đại;

Đầu vào là tỷ lệ % tín hiệu đầu vào cực đại.



a)



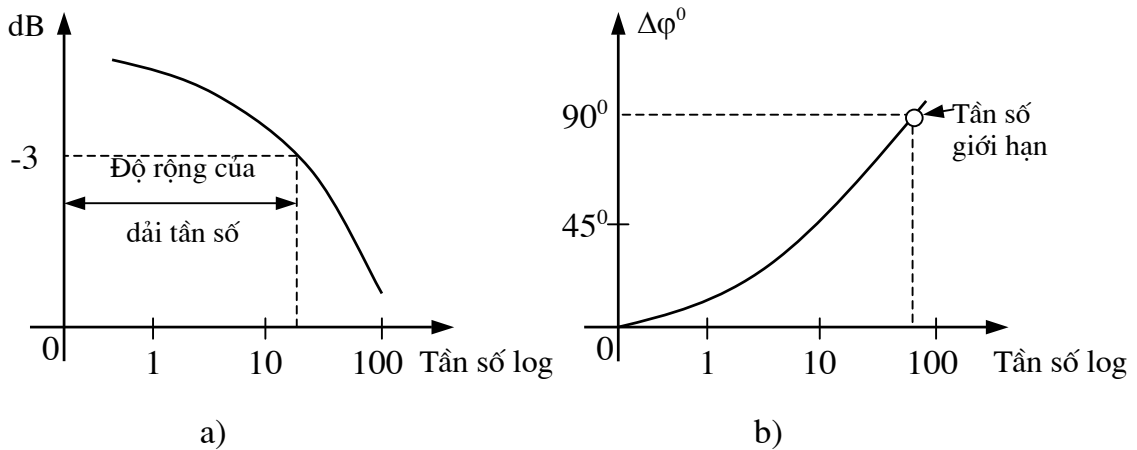
b)

Hình 5.23. Một số đặc tính của van servo

- a- Đặc tính thể hiện sự suy yếu biên độ và sự trễ pha của tín hiệu ra;
- b- Đặc tính thể hiện quan hệ giữa lưu lượng và hiệu áp qua van, giữa biên độ và tần số làm việc của van.

Ở tần số thấp thì đầu ra sẽ bám sát đầu vào và có thể trùng nhau, khi đó :

$$\frac{\text{đầu ra}}{\text{đầu vào}} = 1 \text{ nên } \log = 0 \text{ và độ tắt dần lúc này có dB} = 0.$$



Hình 5.24. Đặc tính tần số - biên độ - pha logarit

a- Đặc tính tần số - biên độ;

b- Đặc tính tần số - pha.

Hình 5.24 là đặc tính tần số - biên độ và pha logarit. Trong đó hình 5.24a là đồ thị xác định độ suy yếu (độ lệch) của biên độ  $\Delta A$  khi tần số thay đổi và hình 5.24b là đồ thị xác định sự thay đổi của độ lệch pha  $\Delta\varphi$  khi tần số thay đổi.

Ví dụ tại tần số có đầu vào là 100% nhưng biên độ đầu ra giảm xuống chỉ còn 70% thì :

$$dB = 20\log\left(\frac{\text{đầu ra}}{\text{đầu vào}}\right) = 20\log\frac{70}{100} = 20 \cdot (-0.155) = -3$$

Sự suy yếu của biên độ là 3dB và dấu (-) thể hiện tín hiệu ra thấp hơn tín hiệu vào.

Đối với van điều khiển, độ rộng của dải tần số hoạt động chỉ cho phép tín hiệu ra giảm xuống tối đa còn khoảng  $1/\sqrt{2}$  tín hiệu vào (hay bằng 70,7% tín hiệu vào) và độ suy yếu  $\approx 3dB$  chúng được thể hiện ở hình 5.24a.

Khi tần số tăng thì độ trễ pha cũng tăng. Độ lệch pha của van điều khiển cũng giới hạn tối đa là lệch 1/4 chu kỳ (ứng với  $90^0$ ) như trên hình 5.24b.

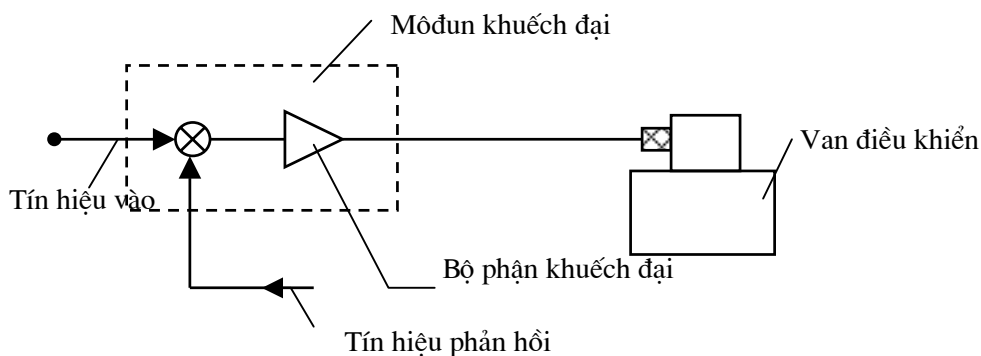
Tần số giới hạn là một chỉ tiêu đánh giá chất lượng van, tuy nhiên tần số giới hạn bị ảnh hưởng bởi áp suất cung cấp và biên độ tín hiệu vào.



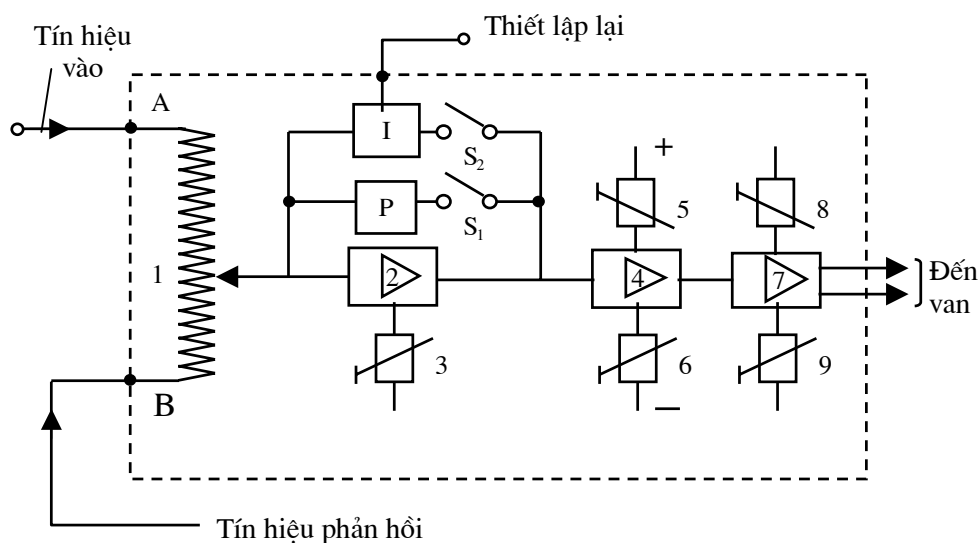
## 5.2. BỘ KHUẾCH ĐẠI

Bộ khuếch đại hay còn gọi là bộ điều khiển là nơi tổng hợp tín hiệu điều khiển và tín hiệu phản hồi để truyền tín hiệu thích hợp đến van.

### 5.2.1. Môđun khuếch đại



a)



b)

Hình 5.25. Sơ đồ của môđun khuếch đại

a- Sơ đồ khối ký hiệu;

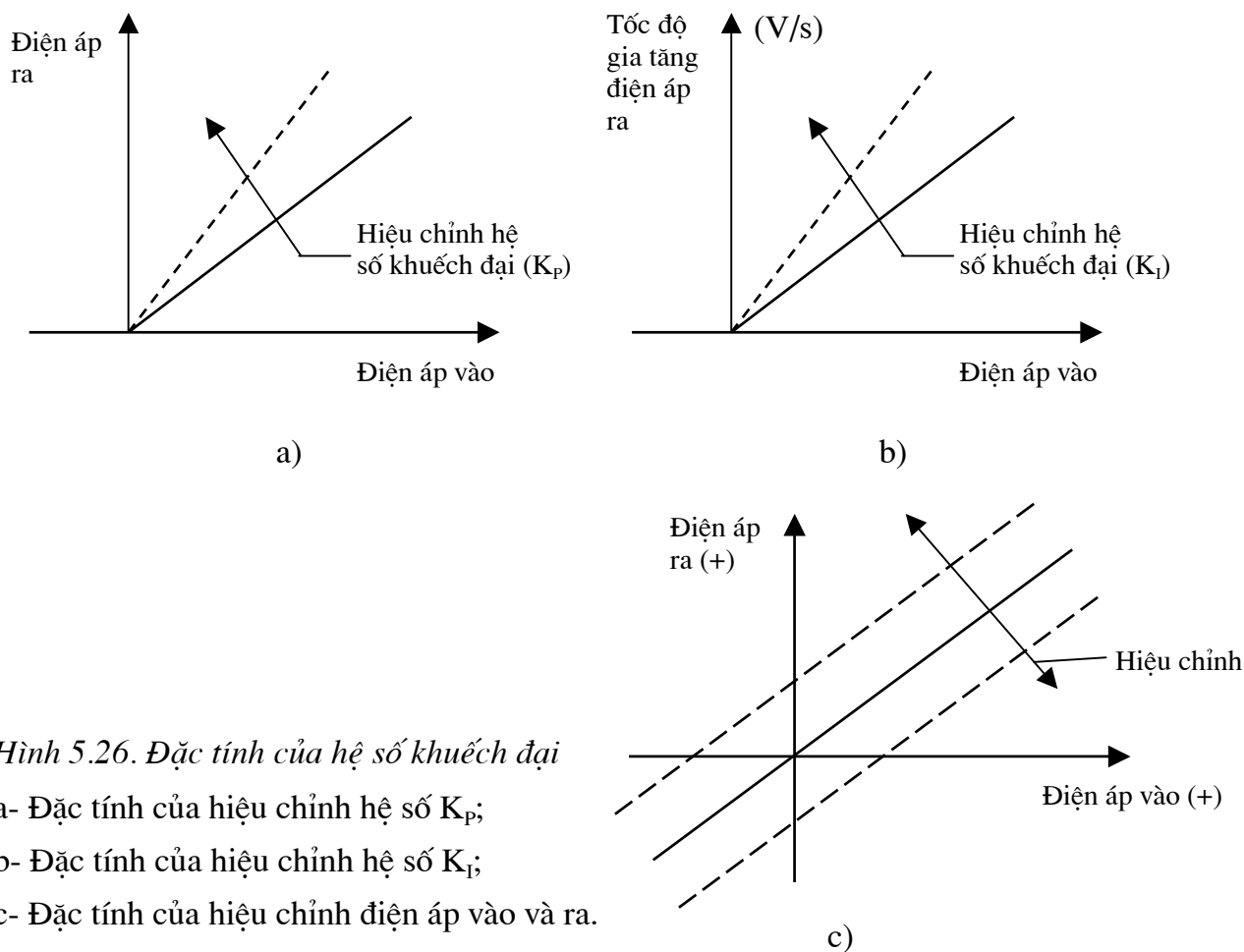
b- Sơ đồ khối thể hiện nguyên lý hoạt động.

Hình 5.25a là sơ đồ ký hiệu của một môđun khuếch đại đơn giản. Hình 5.25b thể hiện một số bộ phận chủ yếu thực hiện chức năng của môđun khuếch đại. Tín hiệu điều khiển và tín hiệu phản hồi đến các cực A và B của bộ đo điện áp 1 thực hiện thuật toán "+" hoặc "-" với chức năng của điểm tụ. Tuy nhiên giới hạn của điện áp vào và phản hồi phải tương thích, nếu không tương thích thì phải hiệu chỉnh bộ đo điện áp để thực hiện bù trừ sự không tương ứng đó.

Ví dụ giới hạn tín hiệu vào là  $\pm 12$  V, giới hạn tín hiệu phản hồi là  $\pm 10$  V thì cần hiệu chỉnh bộ đo điện áp để tín hiệu vào  $\pm 12$  V và tín hiệu phản hồi  $\pm 12$  V san bằng nhau, tức là giá trị so sánh phải bằng 0 V.

Bộ khuếch đại điện áp 2 hoạt động theo khâu tỷ lệ (P) nếu  $S_1$  đóng và hoạt động theo khâu tích phân (I) nếu  $S_2$  đóng.

Điều khiển theo tỷ lệ ứng dụng cho mạch điều khiển vị trí còn điều khiển theo tích phân ứng dụng trong mạch điều khiển vận tốc.



Hình 5.26. Đặc tính của hệ số khuếch đại

- a- Đặc tính của hiệu chỉnh hệ số  $K_p$ ;
- b- Đặc tính của hiệu chỉnh hệ số  $K_i$ ;
- c- Đặc tính của hiệu chỉnh điện áp vào và ra.

Biến trở 3 dùng để hiệu chỉnh hệ số khuếch đại điện áp theo yêu cầu sử dụng, với điều khiển tỷ lệ hệ số khuếch đại là tỷ số giữa điện áp ra và điện áp vào (hình 5.26a) còn với điều khiển tích phân là tỷ số giữa tốc độ gia tăng điện áp ra (V/s) và điện áp vào (hình 5.26b).

Mạch thiết lập lại dùng để phục hồi lại điện áp 0 V khi đầu vào bằng 0 hoặc duy trì tín hiệu điều khiển.

Tín hiệu ra của bộ khuếch đại điện áp truyền đến bộ khuếch đại dòng điện 4, tại 4 có các bộ điều chỉnh giới hạn điện áp dương 5 và điện áp âm 6 để giới hạn dòng cực đại theo yêu cầu của van.

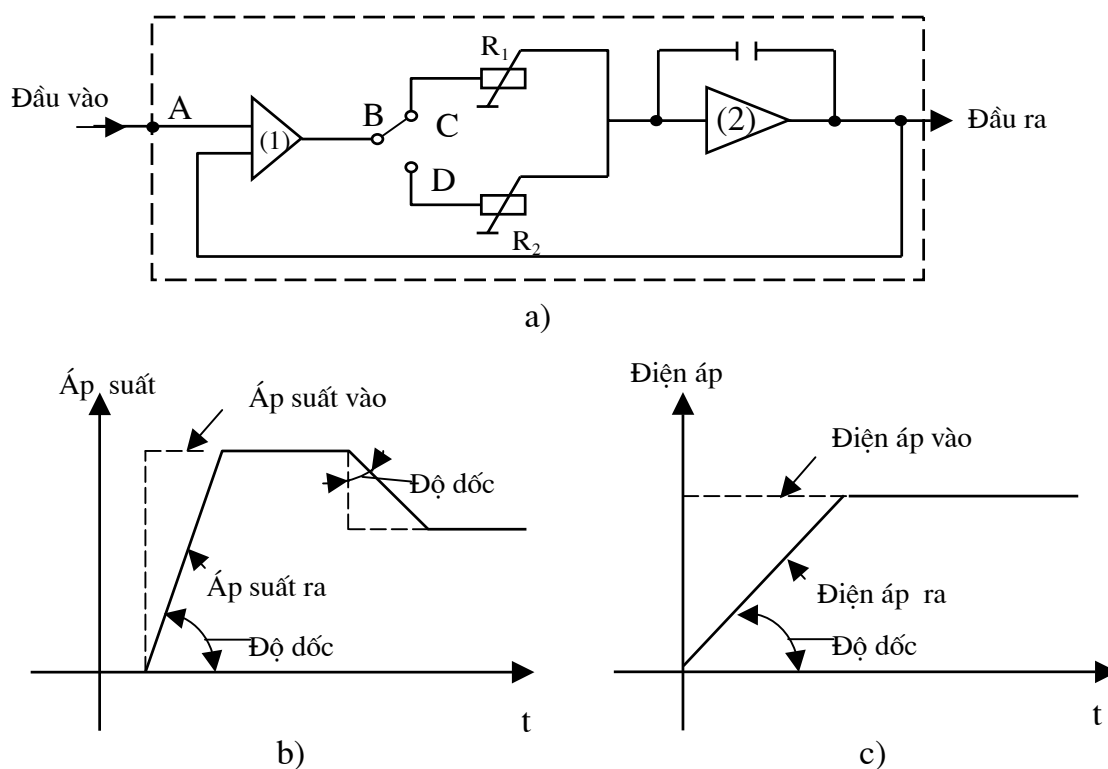
Bộ khuếch đại dòng điện 7 tạo ra dòng điện đến các cuộn dây điều khiển van, trong bộ khuếch đại này có sự phối hợp giữa dòng điều khiển và dòng phản hồi để tự động bù những thay đổi của mất mát năng lượng, đồng thời cải thiện thời gian đáp ứng của van do ảnh hưởng của hiện tượng từ cảm.

Biến trở 8 có thể hiệu chỉnh được hiện tượng từ trễ và nâng cao độ ổn định của con trượt. Biến trở 9 để hiệu chỉnh điện áp ra dương hoặc âm khi điện áp đầu vào bằng 0 (hình 5.26c).

### 5.2.2. Môđun hiệu chỉnh độ dốc

Môđun hiệu chỉnh độ dốc có thể thay đổi được tín hiệu ra khi tín hiệu vào không đổi. Trong điều khiển vị trí, tốc độ di chuyển từ vị trí thiết lập này đến vị trí thiết lập khác có thể hiệu chỉnh bằng môđun hiệu chỉnh độ dốc. Trong điều khiển vận tốc, có thể thay đổi gia tốc chuyển động khi tăng hoặc giảm vận tốc, còn trong điều khiển áp suất đó là tốc độ thay đổi của áp suất.

Sơ đồ của môđun hiệu chỉnh độ dốc và đặc tính hiệu chỉnh áp suất và điện áp thể hiện ở hình 5.27.

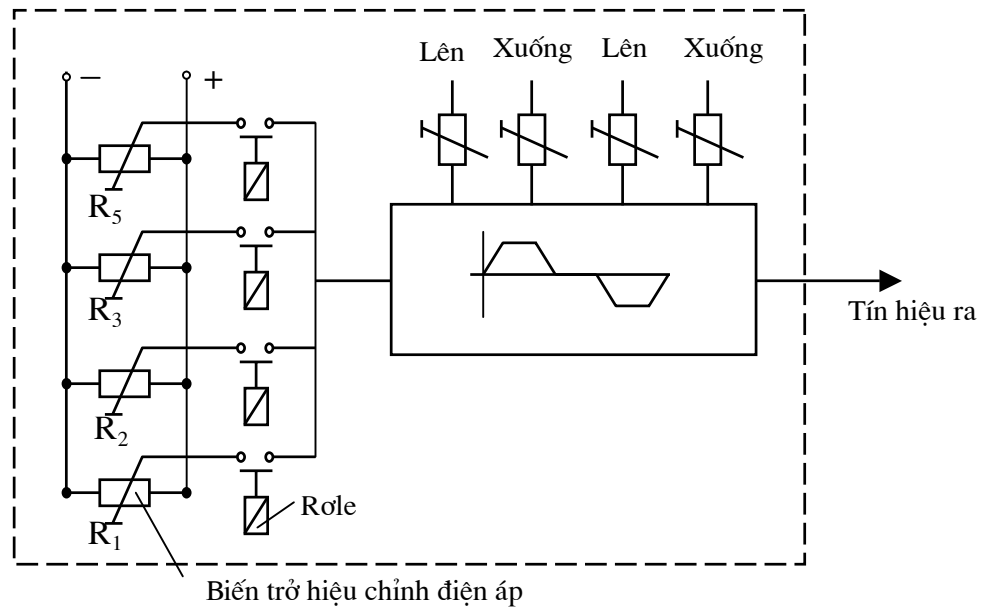


Hình 5.27. Môđun hiệu chỉnh độ dốc.

- a- Sơ đồ hoạt động;
- a- Đặc tính hiệu chỉnh độ dốc áp suất;
- b- Đặc tính hiệu chỉnh độ dốc điện áp.

Tín hiệu đầu vào qua bộ khuếch đại 1 (có hệ số khuếch đại cao) và nếu B nối với C thì tín hiệu sẽ đưa vào biến trở điều chỉnh độ dốc  $R_1$  rồi truyền đến bộ khuếch đại tích

phần 2 để làm ổn định dòng điều khiển trước khi truyền đến van. Tín hiệu ra được phản hồi về 1 để san bằng và ổn định độ dốc (hình 5.27c). Nếu B nối với D thì  $R_2$  sẽ cho độ dốc khác.

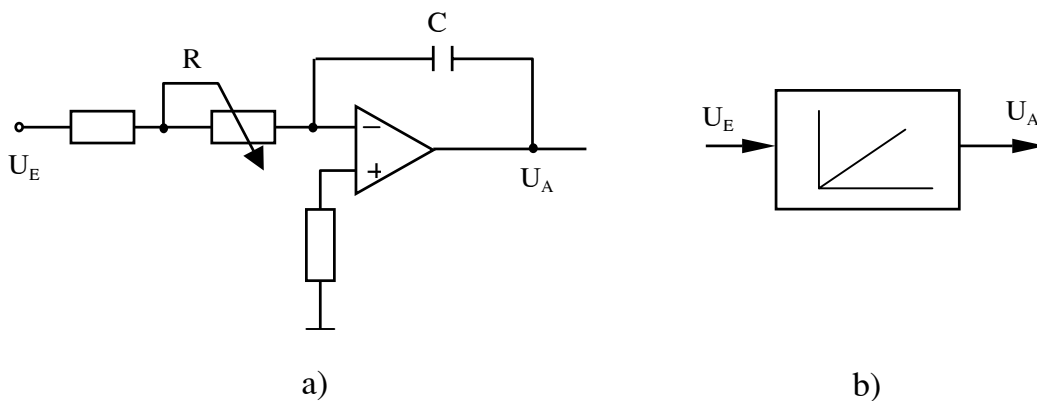


Hình 5.28. Môđun hiệu chỉnh độ dốc 4 cấp

Hiện nay người ta có thể sử dụng nhiều bộ biến trở R nối song song và sử dụng rơle để đóng mở các R nhằm lựa chọn các R nào làm việc. Hình 5.28 là một sơ đồ ví dụ về 4 cấp hiệu chỉnh độ dốc.

### 5.2.3. Một số chức năng của bộ khuếch đại và ký hiệu của chúng.

#### 1- Bộ phát Rampe (điều chỉnh độ dốc)



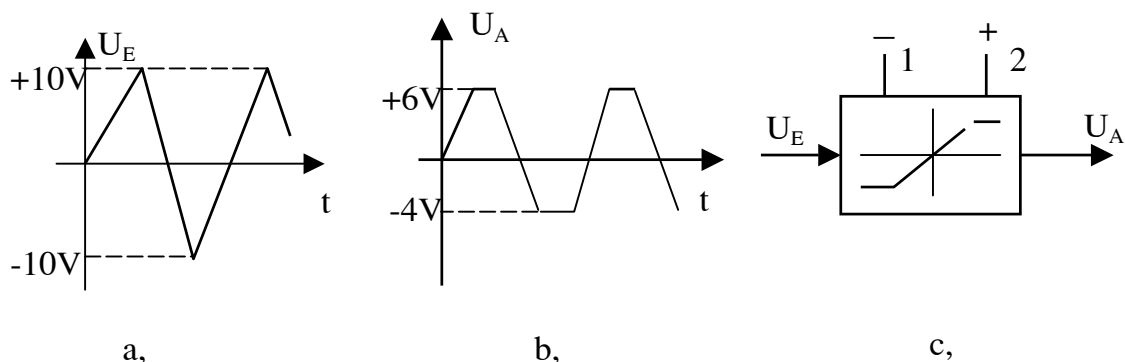
Hình 5.29. Sơ đồ và ký hiệu của bộ phát Rampe.

a- Sơ đồ nguyên lý; b- Ký hiệu.

Bộ phát Rampe đã được giới thiệu ở mục 5.2.2, hình 5.29 là sơ đồ nguyên lý hoạt động và ký hiệu của chúng. Điện áp vào là tín hiệu bậc thang, khi qua bộ phát Rampe

tín hiệu điện áp ra thay đổi theo thời gian. Khi điều chỉnh biến trở R sẽ thay đổi tốc độ nạp tụ điện C.

## 2. Bộ khống chế

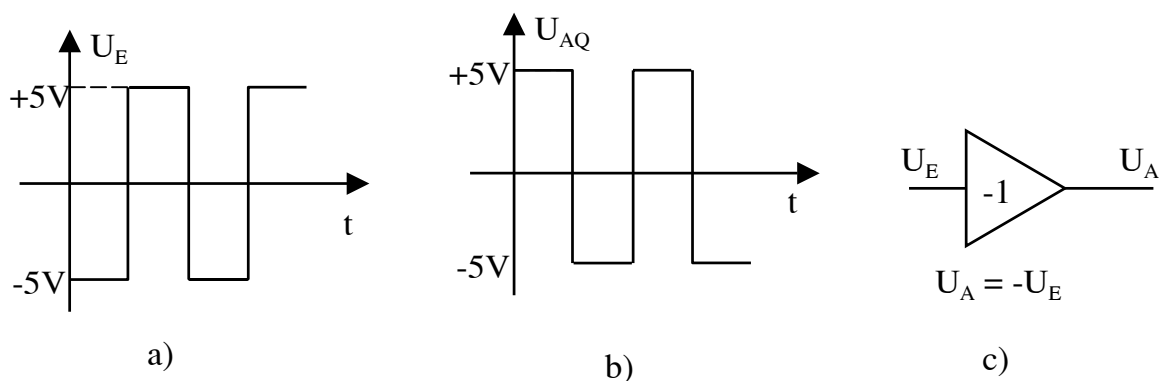


Hình 5.30. Đặc tính và ký hiệu bộ khống chế

a- Tín hiệu vào; b- Tín hiệu ra đã khống chế; c- Ký hiệu.

Hình 5.30 là ví dụ về đặc tính khống chế điện áp ra, giả sử có điện áp vào là  $\pm 10V$  qua bộ khống chế có thể điều chỉnh được điện áp ra là  $V_A = +6V$  và  $-4V$  theo yêu cầu. Trên hình 5.30c nhánh 1 ký hiệu cho điều chỉnh điện áp âm và nhánh 2 ký hiệu cho điều chỉnh điện áp dương.

## 3. Bộ đảo tín hiệu



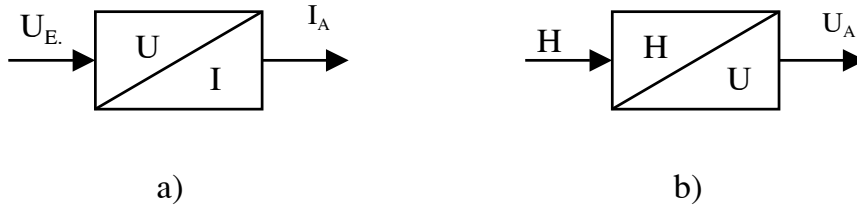
Hình 5.31. Đặc tính và ký hiệu của bộ đảo tín hiệu

a- Tín hiệu vào; b- Tín hiệu ra; c- ký hiệu.

Bộ đảo tín hiệu thực hiện chuyển cực của tín hiệu vào, ví dụ tín hiệu vào là sóng bậc thang  $\pm 5V$ , khi qua bộ đảo tín hiệu sẽ cho ta tín hiệu ra ngược dấu cùng giá trị tuyệt đối với tín hiệu vào nên hệ số khuếch đại  $\frac{U_A}{U_E} = -1$  (hình 5.31).

#### 4. Bộ khuếch đại công suất

Tín hiệu điện thế vào được chuyển thành tín hiệu dòng điện ra và được ký hiệu như hình 5.32a.

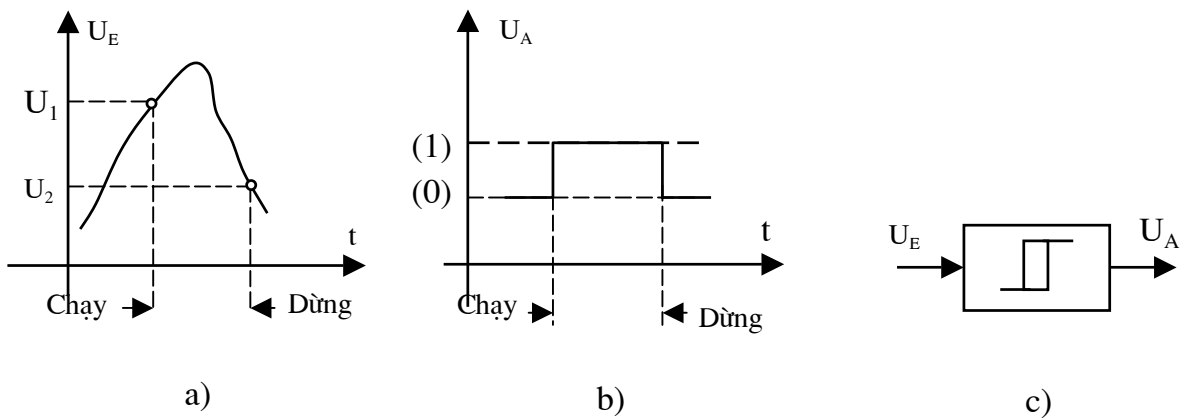


Hình 5.32. Ký hiệu về bộ chuyển đổi tín hiệu

a- Bộ khuếch đại công suất (chuyển đổi U/I); b- Bộ chuyển đổi (H/U).

Khi chuyển từ dạng tín hiệu này sang dạng tín hiệu khác người ta cũng dùng tín hiệu như trên. Ví dụ hình 5.32b là ký hiệu của bộ chuyển đổi của cảm biến vị trí, hành trình đi chuyển H được biến đổi thành tín hiệu điện áp  $U_A$ .

#### 5. Bộ ngắt điện



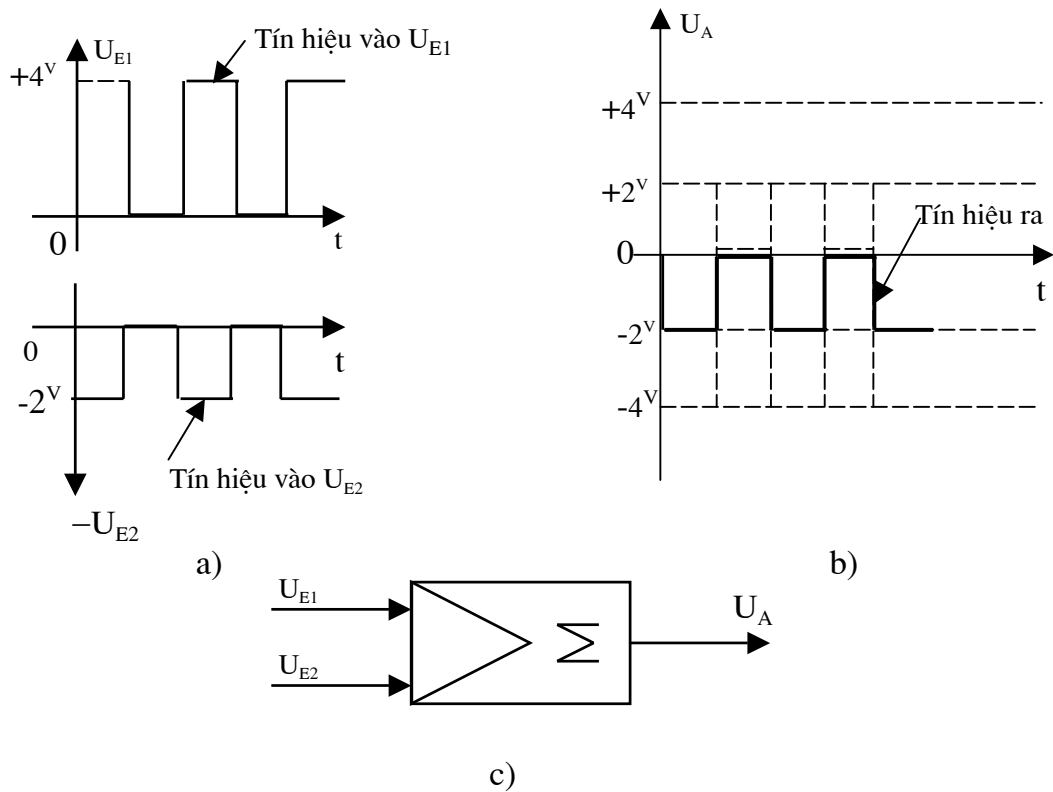
Hình 5.33. Đặc tính ngắt tín hiệu và ký hiệu của bộ ngắt điện.

a- Tín hiệu vào; b- Tín hiệu ra; c- Ký hiệu.

Khi điện áp vào  $U_E$  vượt quá  $U_1$  thì điện áp ra vẫn giữ nguyên  $U_1$  tương ứng với trạng thái (1). Khi điện áp vào giảm xuống dưới  $U_2$  thì điện áp ra vẫn giữ nguyên  $U_2$  tương ứng với trạng thái (0).

Như vậy điện áp từ  $U_1$  đến  $U_2$  tương ứng với trạng thái (1) thì thiết bị hoạt động và trạng thái (0) thì thiết bị dừng hoạt động (hình 5.33).

## 6. Bộ tổng (cộng hoặc trừ)



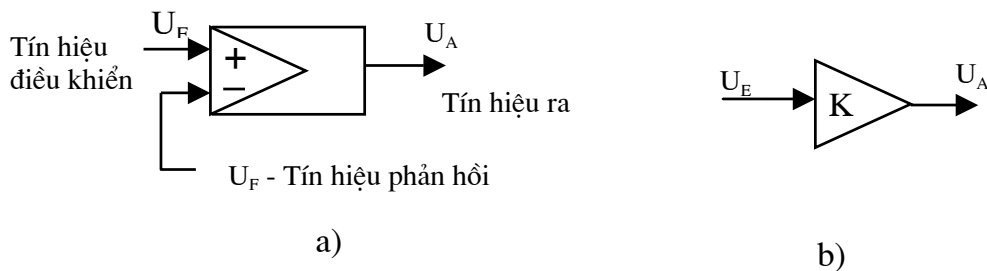
Hình 5.34. Đặc tính về cộng tín hiệu và ký hiệu của bộ tổng

a- Hai tín hiệu vào; b- Tín hiệu ra; c- Ký hiệu.

Có hai tín hiệu vào  $U_{E1}$  và  $U_{E2}$  qua bộ tổng sẽ cho ta một tín hiệu ra  $U_A$  :

$$U_A = - (U_{E1} + U_{E2})$$

## 7. Bộ so sánh và bộ khuếch đại tương thích.



Hình 5.35. Bộ so sánh (a) và bộ khuếch đại tương thích (b)

Bộ so sánh được sử dụng trong mạch điều khiển hệ kín.

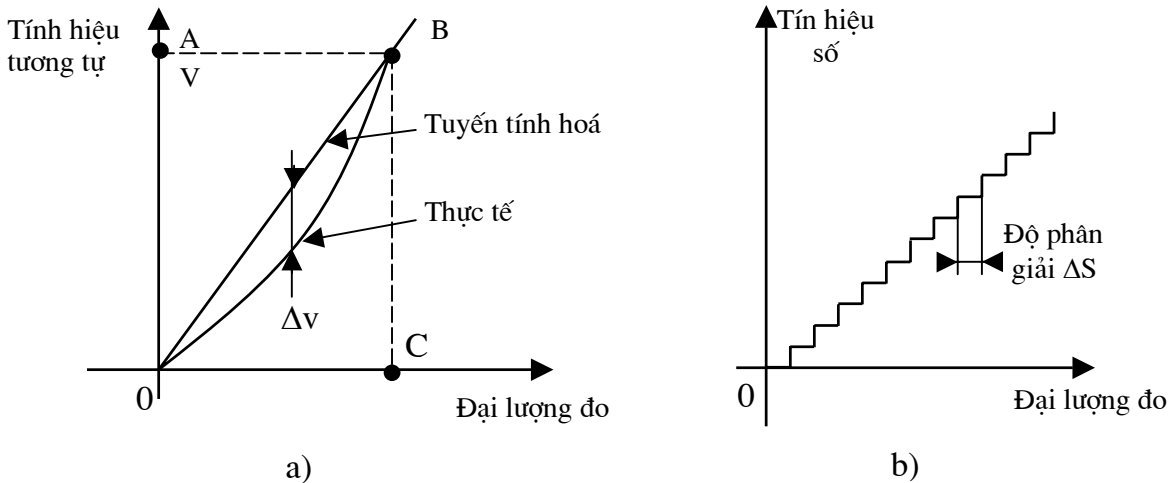
Bộ khuếch đại tương thích chủ yếu là dùng để điều chỉnh tín hiệu phản hồi cho phù hợp với tín hiệu vào để đưa vào bộ so sánh. Ví dụ cảm biến tạo ra được điện áp tối đa là 20 V trong lúc đó tín hiệu điều khiển tối đa là 10 V lúc này cần điều chỉnh tín hiệu phản hồi tối đa xuống còn 10 V để phù hợp với tín hiệu vào, nghĩa là  $K = 1/2$ .

Hình 5.36, hình 5.37, hình 5.38 là các ví dụ về bộ khuếch đại của van tỷ lệ.

### 5.3. CÁC LOẠI CẢM BIẾN

Cảm biến là thiết bị đo sử dụng để lấy tín hiệu phản hồi trong mạch điều khiển hệ kín. Hiện nay có hai loại cảm biến là : cảm biến tương tự và cảm biến số.

*Cảm biến tương tự (analog)* : Đại lượng cần đo được chuyển đổi thành tín hiệu liên tục (hay gọi là tín hiệu tương tự) tương thích. Ví dụ đại lượng đo được chuyển đổi thành tín hiệu điện áp hoặc cường độ dòng điện (hình 5.39a).



Hình 5.39. Đặc tính của cảm biến

a- Cảm biến tương tự (analog); b- Cảm biến số (digital).

*Cảm biến số (digital)* : Đại lượng cần đo được chuyển đổi thành tín hiệu rời rạc (hay gọi là tín hiệu số) tương thích với khoảng cắt mẫu bằng nhau ( $\Delta s = \text{const}$ ), khoảng cắt mẫu  $\Delta s$  gọi là độ phân giải của cảm biến (hình 5.39b). Các tín hiệu này có thể đưa trực tiếp vào các bộ điều khiển PLC hoặc các bộ vi xử lý.

Thực tế các loại cảm biến nói chung làm việc không hoàn toàn tuyến tính mà tồn tại sai số tuyến tính  $\Delta v$ , sai số này phụ thuộc vào nguyên lý và trình độ chế tạo.

Sai số tuyến tính là tỉ lệ % độ lệch lớn nhất  $\Delta v$  so với tín hiệu ra lớn nhất  $V$  :

$$\Delta\% = \frac{\Delta v}{V} \cdot 100$$

Hình 5.39a, A là điểm có giá trị lớn nhất của tín hiệu ra ( $A = V$ ), tương ứng với điểm C là đại lượng đo lớn nhất.

*Ví dụ* : Giả sử ta có bộ cảm biến áp suất với tín hiệu ra thay đổi từ 0 V đến 10 V tương ứng với phạm vi áp suất thay đổi từ 0 bar đến 400 bar. Nếu sai số tuyến tính  $\Delta = 0,5\%$  thì sai số đầu ra lớn nhất  $\Delta v$  sẽ là :

$$\Delta v = \frac{0,5 \cdot 10V}{100} = 0,05V$$

và sai số áp suất lớn nhất tương ứng sẽ là :

$$0,05V \cdot \left( \frac{400}{10} \right) = 2 \text{ bar}$$

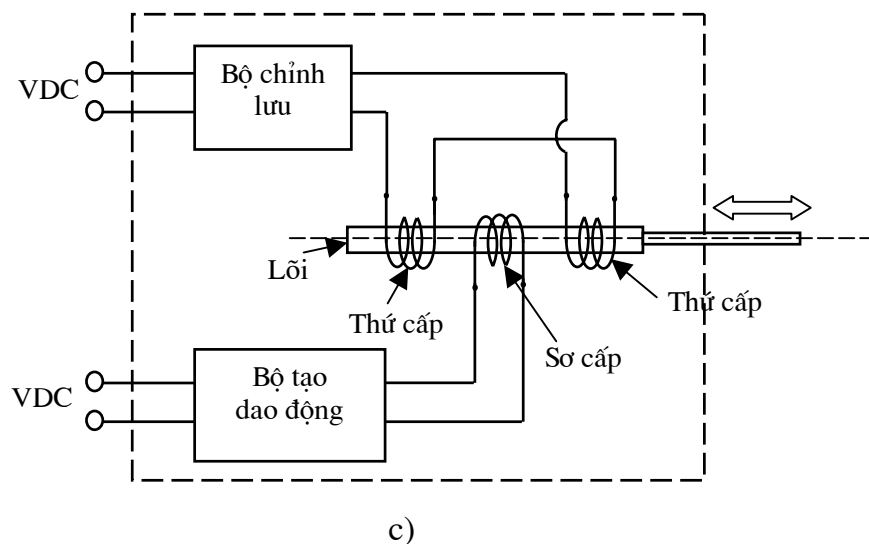
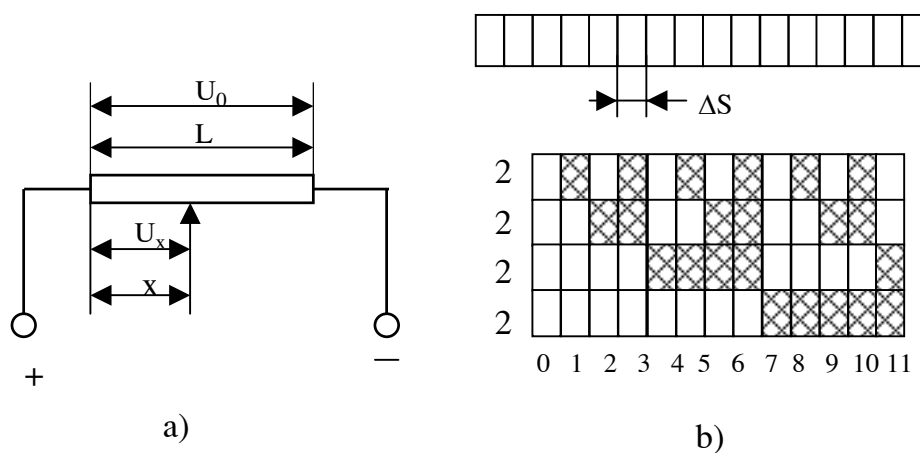


Giống như một số thiết bị điện khác, cảm biến cũng có hiện tượng từ trễ, sai số khả năng lặp lại, ảnh hưởng của nhiệt độ, độ phân giải (nếu là cảm biến số), tốc độ truyền tín hiệu, sự va chạm, tuổi thọ và đáp ứng động lực học đều có liên quan đến chất lượng, độ chính xác của các loại cảm biến.

Trong hệ điều khiển tự động thủy lực chỉ thực hiện ba loại mạch điều khiển là vị trí, tốc độ và tải trọng nên cũng thường sử dụng các cảm biến như sau :

- Cảm biến vị trí (cảm biến đo chiều dài và cảm biến đo góc quay).
- Cảm biến tốc độ (cảm biến đo tốc độ dài và cảm biến đo tốc độ góc).
- Cảm biến tải trọng (cảm biến đo lực, cảm biến đo mômen xoắn hoặc cảm biến áp suất).

### 5.3.1. Cảm biến vị trí đo chiều dài



Hình 5.40. Sơ đồ nguyên lý của cảm biến vị trí

- a- Cảm biến điện trở (analog) kiểu tiếp xúc;
- b- Cảm biến số (digital);
- c- Cảm biến đo điện (analog) không tiếp xúc.

Cảm biến vị trí tương tự luôn đo theo giá trị tuyệt đối còn đối với cảm biến vị trí số có thể đo theo giá trị tuyệt đối hoặc đo theo số gia (giá trị sau bằng giá trị trước cộng thêm một đơn vị).

Hình 5.40a thực chất là một biến trở (potentiometer), tuy nhiên khác với biến trở thông thường thì cảm biến điện trở có đặc tính tuyến tính cao. Điện áp cung cấp là  $U_0$  có hành trình lớn nhất là  $L$ , khi con trượt di chuyển, tùy thuộc vào vị trí của con trượt  $x$  mà sẽ cho điện áp ra  $U_x$  tương ứng. Ta có quan hệ sau :

$$\frac{U_x}{U_0} = \frac{x}{L} \text{ hay } x = \frac{U_x \cdot L}{U_0} = \frac{L}{U_0} \cdot U_x = \frac{1}{K_c} \cdot U_x$$

viết lại là :

$$\frac{U_x}{x} = K_c$$

$K_c$  là hệ số khuếch đại của cảm biến.

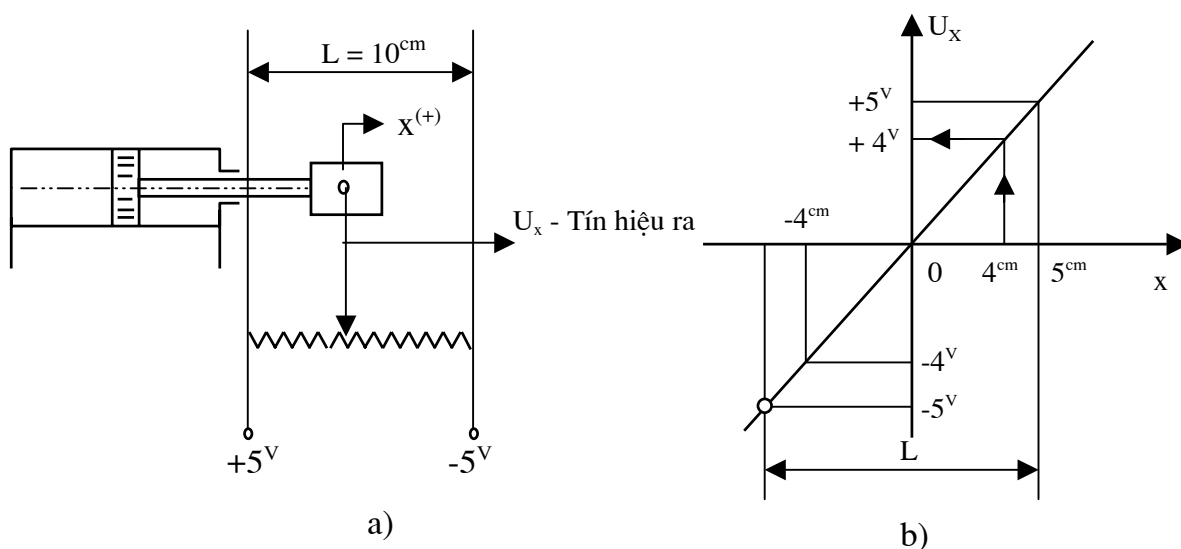
*Ví dụ :* Nghiên cứu sơ đồ điều khiển vị trí như hình 5.41 ta thấy :

Điện áp cung cấp là  $\pm 5 \text{ V}$ , tức là khi pittông ở vị trí giữa thì  $U_{x=0} = 0$

Hệ số khuếch đại của cảm biến là :  $K_c = \frac{U_0}{L} = \frac{10\text{V}}{10\text{cm}} = 1 \text{ V/cm}$

Nếu  $x = 5 \text{ cm}$  thì  $U_x = K_c \cdot x = 1 \times 5 = 5 \text{ V}$

Nếu  $x = -4 \text{ cm}$  thì  $U_x = 1 \cdot (-4) = -4 \text{ V}$



Hình 5.41. Sơ đồ ví dụ về tính toán cảm biến vị trí.

a- Sơ đồ nguyên lý;

b- Đặc tính của cảm biến.

Nhược điểm của cảm biến loại này là do tiếp xúc cơ học giữa con trượt và cuộn dây nên trong quá trình làm việc con trượt và cuộn dây sẽ bị mài mòn, tuổi thọ thấp, tần số

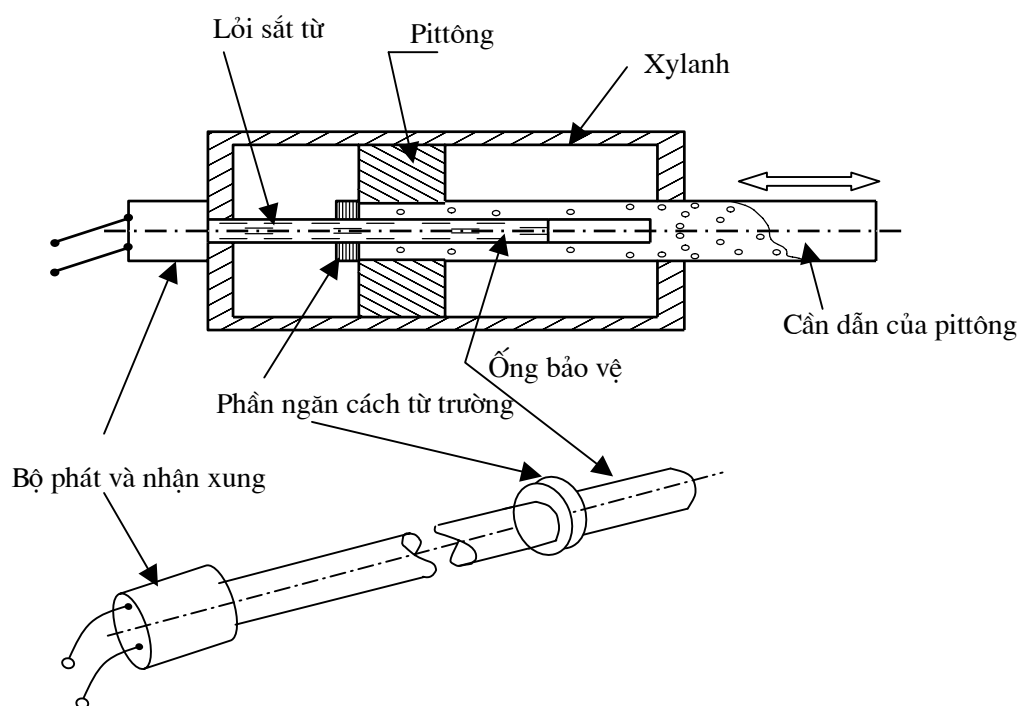
hoạt động không cao, thường chỉ dưới 5 Hz và độ nhấp nhô của đặc tính cao do có khoảng cách giữa các vòng của cuộn dây điện.

Để khắc phục những nhược điểm trên người ta sử dụng loại cảm biến không tiếp xúc ký hiệu là LVDT (Linear Variable Differential Transformer) hình 5.30c.

Bộ LVDT gồm một cuộn dây sơ cấp và hai cuộn dây thứ cấp bao quanh lõi sắt từ, lõi sắt gắn với cần tác động và di chuyển dọc được. Bộ LVDT hoạt động như một máy biến áp. Như vậy, dòng điện DC trước khi vào cuộn sơ cấp phải qua bộ dao động, tạo ra điện áp xoay chiều có tần số phù hợp. Tín hiệu ra xoay chiều từ hai cuộn dây (hai cuộn dây được bố trí đối xứng) thứ cấp được chỉnh lưu thành dòng một chiều DC. Khi lõi sắt ở vị trí trung gian thì điện áp đầu ra sẽ bằng 0. Khi lõi sắt di chuyển thì điện áp trong hai cuộn dây thay đổi ngược chiều nhau và sự thay đổi đó tùy thuộc vào lõi sắt di chuyển theo chiều nào. Tín hiệu ra là điện áp so sánh của hai cuộn dây thứ cấp. Độ lớn của điện áp ra tỷ lệ với hành trình di chuyển của lõi sắt.

Bộ LVDT làm việc theo nguyên lý không tiếp xúc sẽ tránh được mài mòn cơ học, lõi sắt có thể làm việc với tần số dao động cao. Tuy nhiên cảm biến loại này sai số tuyến tính cao hơn so với cảm biến điện trở.

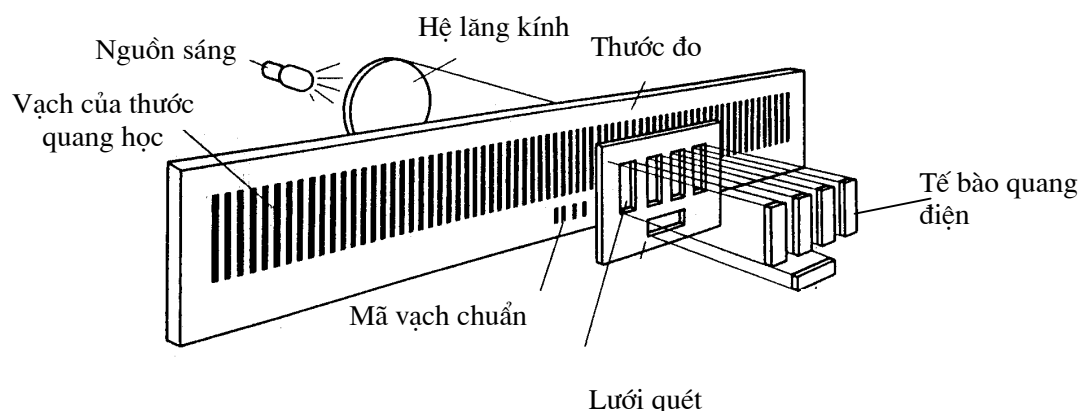
Hiện nay người ta còn sử dụng loại cảm biến xung. Cảm biến xung đặt ngay trong cần dẫn của pittông-xylanh (hình 5.42). Lõi sắt từ là bộ phận nhận và truyền xung.



Hình 5.42. Sơ đồ của bộ cảm biến xung

Từ trường sẽ sinh ra khi pittông di chuyển. Vị trí di chuyển của pittông đo được là do sự sai khác về xung truyền đi và xung phản hồi về. Tín hiệu xung được chuyển thành tín hiệu điện áp cung cấp tín hiệu phản hồi cho mạch điều khiển.

Hình 5.43 giới thiệu cấu trúc một hệ thống đo chiều dài số theo nguyên tắc quang - điện (hay gọi là thước đo quang điện) kiểu gia số.



Hình 5.43. Thước đo số theo nguyên tắc quang điện

Thước đo di chuyển giữa hệ thống thấu kính và lưới quét, khi tia sáng từ nguồn sáng qua thấu kính rơi qua thước đo, trên đó có những vạch phản quang và không phản quang thay đổi kế tiếp và đều nhau. Tia sáng gặp phải vạch phản quang sẽ bị phản hồi lại còn những tia lọt qua được sẽ đến lưới quét và tế bào quang điện. Tế bào quang điện phát ra tín hiệu.

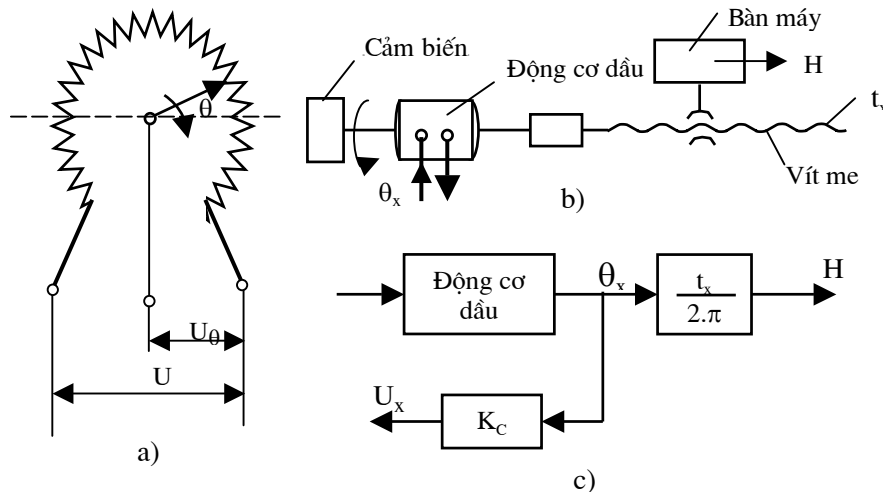
Đây là thiết bị đếm vạch kiểu gia số nên trên thước có trang bị thêm các vạch chuẩn (dấu mã chuẩn) để có thể tính toán được giá trị tuyệt đối.

Hình 5.40b là một kiểu đo giá trị tuyệt đối theo hệ nhị phân. Những vùng soi thấu hoặc không soi thấu (phản quang) trên thước đo tương ứng với giá trị 1 và giá trị 0 của hệ nhị phân.

Ngoài các loại đã giới thiệu ở trên, hiện nay người ta còn sử dụng cảm biến đo theo điện dung, laser, siêu âm... gắn ngay trong xy lanh nên các xy lanh loại này được chế tạo đặc biệt.

### 5.3.2. Cảm biến vị trí đo góc

Cảm biến điện trở và cảm biến không tiếp xúc RVDT đo góc quay có nguyên lý hoạt động tương tự như cảm biến đo chiều dài, chỉ khác nhau về mặt kết cấu. Đối với biến trở đo góc quay thì có dạng hình tròn, con trượt quay quanh tâm của biến trở (hình 5.44a).



Hình 5.44. Sơ đồ của cảm biến điện trở đo góc và ứng dụng của nó

- a- Cảm biến điện trở đo góc;  
 b,c - Sơ đồ nguyên lý và sơ đồ khối của hệ thủy lực biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến.

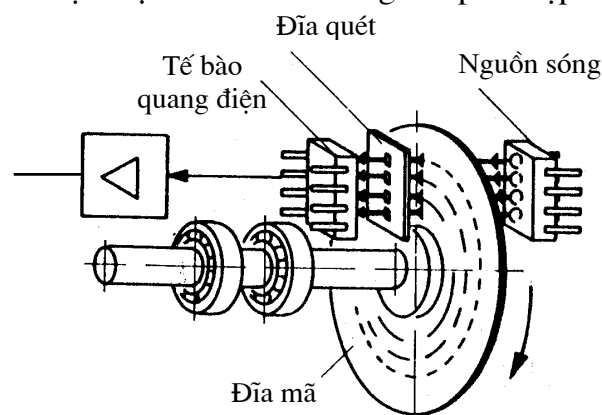
Như sơ đồ ví dụ trên hình 5.44a ta thấy :

$$U_x = \frac{U_0}{\theta_{\max}} \cdot \theta_x = K_C \cdot \theta_x$$

trong đó :  $K_C$  - hệ số khuếch đại của cảm biến;  
 $\theta_x$  - góc quay và  $U_x$  - điện áp ra.

Hình 5.44b, c là ví dụ mô hình điều khiển với phương pháp đo gián tiếp hành trình đi chuyển thông qua đo góc quay của trục động cơ dầu. Phương pháp đo gián tiếp sẽ có độ chính xác điều khiển thấp hơn so với đo trực tiếp.

Đối với cảm biến RVDT (Rotary Variable Differential Transformer) lõi sắt được đặt theo một dạng cam đặc biệt có kết cấu tương đối phức tạp.



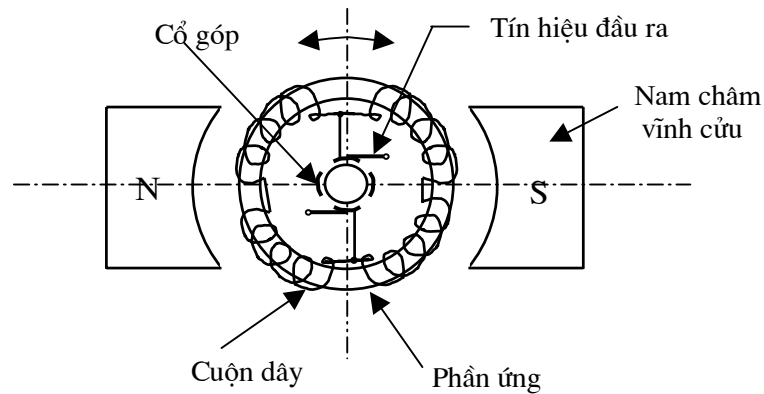
Hình 5.45. Sơ đồ của thiết bị đo góc quang điện

Ngoài loại cảm biến không tiếp xúc RVDT còn có loại đo góc theo nguyên tắc quang điện kiểu gia số (hình 5.45). Nguyên lý hoạt động của cảm biến loại này tương tự như thước đo chiều dài (hình 5.43) chỉ khác là đĩa quay quang học gắn trên trục

quay và quay theo trục cân đo. Phương pháp đo theo kiểu gia số sẽ có sai số tích lũy nên với những thiết bị điều khiển yêu cầu chính xác cao có thể dùng kiểu đo giá trị tuyệt đối.

### 5.3.3. Cảm biến vận tốc

Để đo vận tốc góc người ta sử dụng máy phát tốc. Máy phát tốc có thể gọi là tachometer- generator viết tắt là tacs- gen. Thiết bị này về cơ bản giống máy phát điện một chiều DC kiểu nam châm vĩnh cửu (hình 5.46).

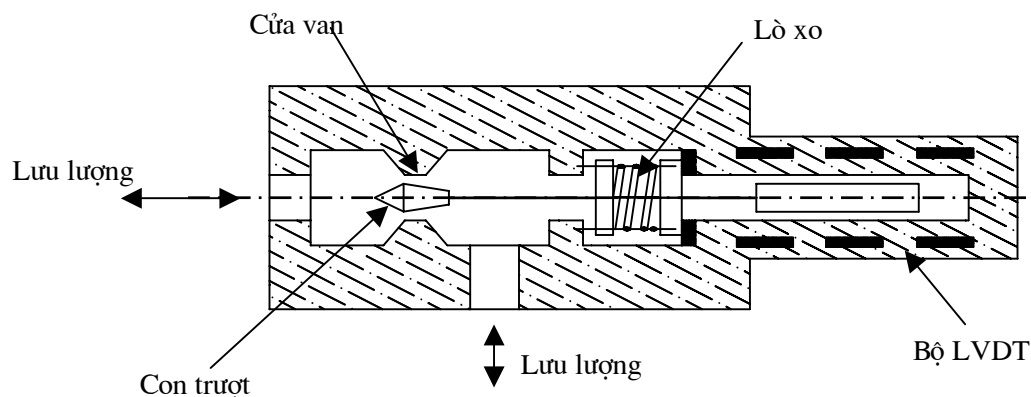


Hình 5.46. Sơ đồ của máy phát tốc (tacs- gen)

Máy phát tốc phát ra dòng một chiều tỷ lệ với tốc độ quay của nó.

Nếu nối máy trên với một bộ truyền bánh răng- thanh răng hoặc vít me (chuyển từ vận tốc dài thành vận tốc góc) thì có thể sử dụng để làm cảm biến đo tốc độ dài.

Bộ phát tốc cũng có thể đo gián tiếp thông qua lưu lượng chảy qua van (hình 5.47).



Hình 5.47. Thiết bị đo lưu lượng

Cửa van và cuộn cảm có kết cấu đặc biệt để tạo ra sự quan hệ tuyến tính giữa lưu lượng cung cấp qua cửa van và dịch chuyển tịnh tiến của cuộn cảm. Bộ LVDT được

gắn đồng trục với cuộn cảm. Khi cuộn cảm di chuyển, bộ LVDT phát ra tín hiệu điện tỷ lệ với lưu lượng qua cảm biến. Qua lưu lượng ta có thể chuyển đổi được thành vận tốc chuyển động thẳng hoặc vận tốc góc của cơ cấu chấp hành (xylanh hoặc động cơ dầu). Nhược điểm của thiết bị đo này là sai số tuyến tính lớn, đặc biệt là ở vùng lưu lượng thấp.

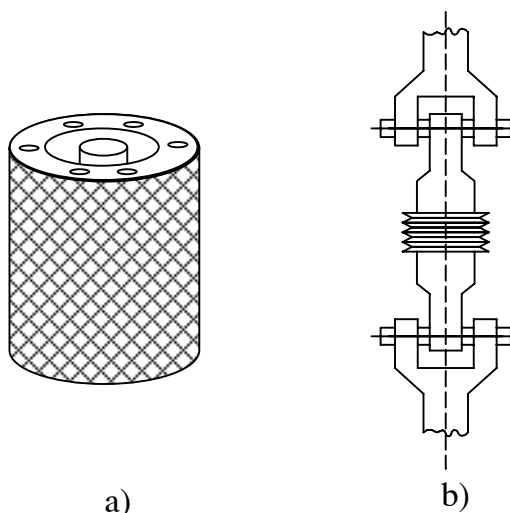
Việc đo tốc độ dài hoặc góc còn có thể dùng thiết bị quang- điện đo từ xa, miếng phản quang được dán trên trục quay hoặc trên vật chuyển động thẳng, tín hiệu thu được có thể là tín hiệu điện hoặc tín hiệu số.

### 5.3.4. Cảm biến áp suất, lực và mômen xoắn

Trong hệ điều khiển thủy lực để điều khiển lực và mômen xoắn đơn giản nhất là sử dụng cảm biến đo áp suất. Đo theo áp suất là phương pháp đo gián tiếp, có độ chính xác thấp hơn đo trực tiếp lực hoặc mômen xoắn.

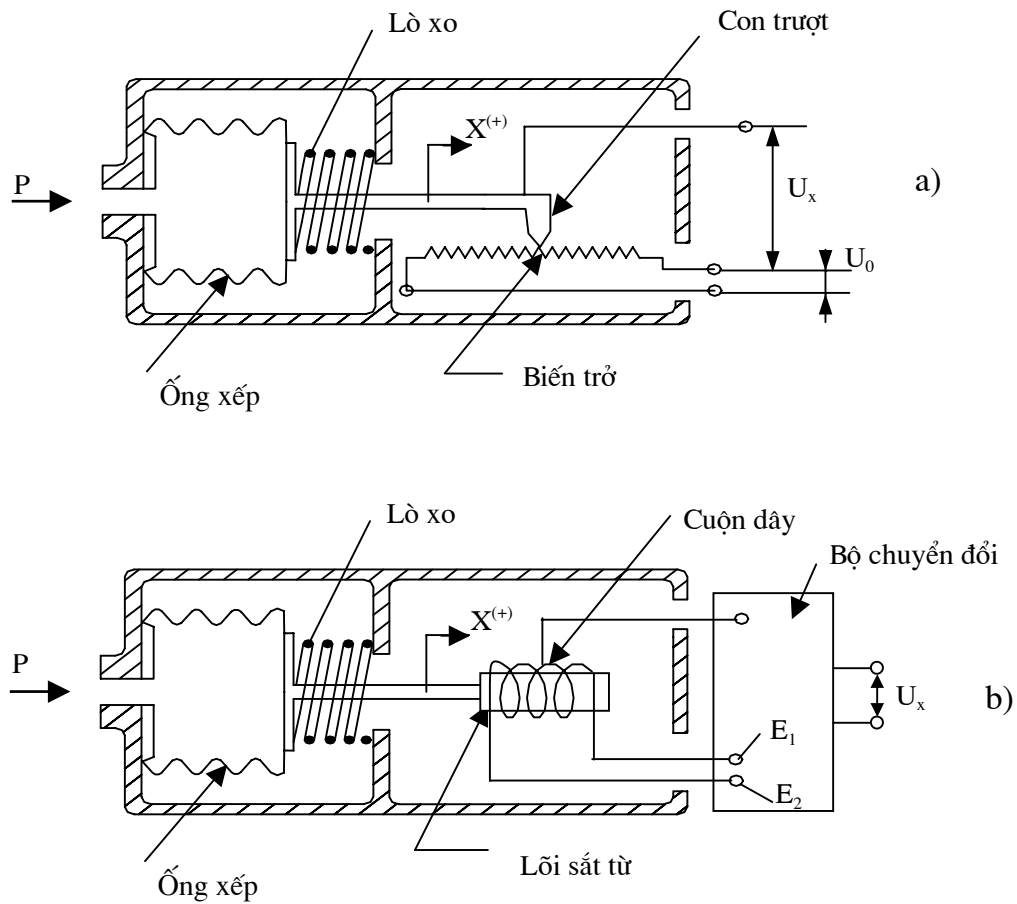
Các loại cảm biến dùng trong mạch điều khiển tải trọng nói chung đều sử dụng nguyên lý đo sức căng như dùng tấm điện trở đo ứng suất thông qua biến dạng, màng đàn hồi khí nén, các khâu đàn hồi tuyến tính như lò xo, cầu chữ U... Tuy nhiên các ứng dụng trên đều liên quan đến bộ tạo điện áp ra. Điện áp ra phải tỷ lệ với áp suất, lực hoặc mômen xoắn.

Hình 5.48 là bộ cảm biến lực và cảm biến mômen xoắn hoạt động theo nguyên lý đo sức căng.



Hình 5.48. Sơ đồ của cảm biến đo lực (a) và cảm biến đo mômen xoắn (b) theo nguyên lý đo sức căng

Hình 5.49a là ví dụ về cảm biến áp suất điện trở. Dưới tác dụng của áp suất P ống xếp đàn hồi di động tỷ lệ với áp suất, sự di động của con trượt sẽ làm thay đổi điện áp ra của biến trở. Như vậy tín hiệu điện áp ra  $U_x$  tỷ lệ với áp suất vào P.



Hình 5.49. Sơ đồ ví dụ về cảm biến áp suất

a - Cảm biến áp suất điện trở; b- Cảm biến về áp suất điện cảm.

Hình 5.49b là ví dụ về cảm biến áp suất điện cảm. Độ tự cảm của cuộn dây phụ thuộc vào vị trí của lõi sắt từ di động trong cuộn dây. Dây rỗng nằm ở giữa cuộn dây nên khi lõi sắt ở vị trí trung gian  $E_1 = E_2$ , khi lõi sắt di chuyển thì  $E_1$  tăng và  $E_2$  giảm, nếu lõi sắt di chuyển ngược lại thì  $E_1$  giảm và  $E_2$  tăng. Qua bộ phận chuyển đổi sẽ cho ta tín hiệu điện áp ra  $U_x$  tỷ lệ với áp suất P.

Ngoài ra còn có cảm biến áp suất kiểu điện dung, cảm biến áp suất thạch anh... cũng được ứng dụng trong hệ điều khiển tự động thủy lực.



## Chương 6

# ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ, VẬN TỐC VÀ TẢI TRỌNG TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG THỦY LỰC

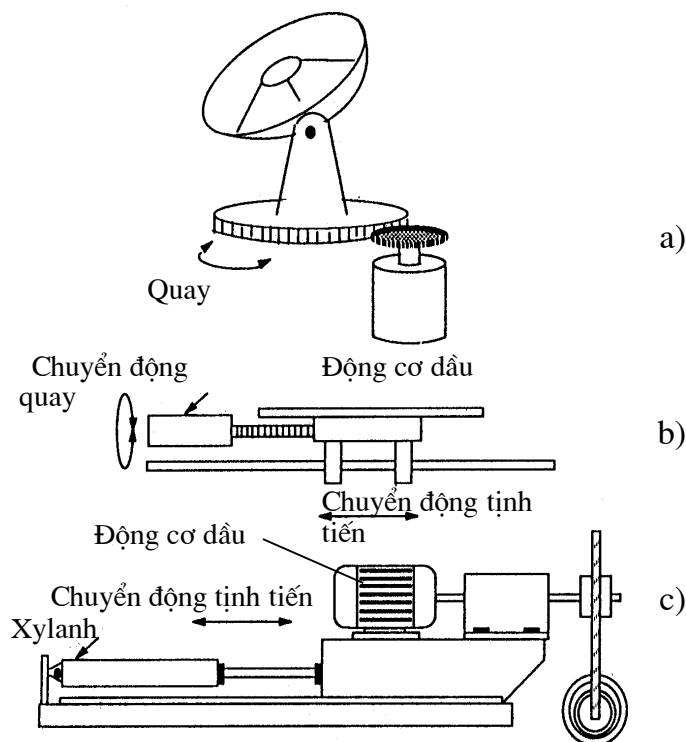
Hệ thống điều khiển tự động thủy lực có thể thực hiện các chức năng điều khiển sau :

1. Điều khiển vị trí (tịnh tiến hoặc quay);
2. Điều khiển vận tốc (tịnh tiến hoặc quay);
3. Điều khiển tải trọng (lực, mômen xoắn hay áp suất).

Tùy thuộc vào yêu cầu sử dụng của thiết bị mà có thể thực hiện một, hai hoặc cả ba chức năng điều khiển trên.

### 6.1. ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ

Điều khiển vị trí là di chuyển cơ cấu chấp hành đến một vị trí nào đó theo yêu cầu. Nếu là xylanh thủy lực thì vị trí là hành trình dịch chuyển của pittông, nếu là động cơ dầu thì vị trí là góc quay của trục động cơ dầu. Tuy nhiên tùy theo yêu cầu mà pittông-xylanh hoặc động cơ dầu có thể truyền đến hệ truyền động cơ khí nào đó. Ví dụ như vít me, bánh răng- thanh răng, bộ truyền bánh răng... và cũng có thể biến chuyển động tịnh tiến thành chuyển động quay hoặc ngược lại.



Hình 6.1. Các sơ đồ ví dụ về ứng dụng của xylanh thủy lực và động cơ dầu

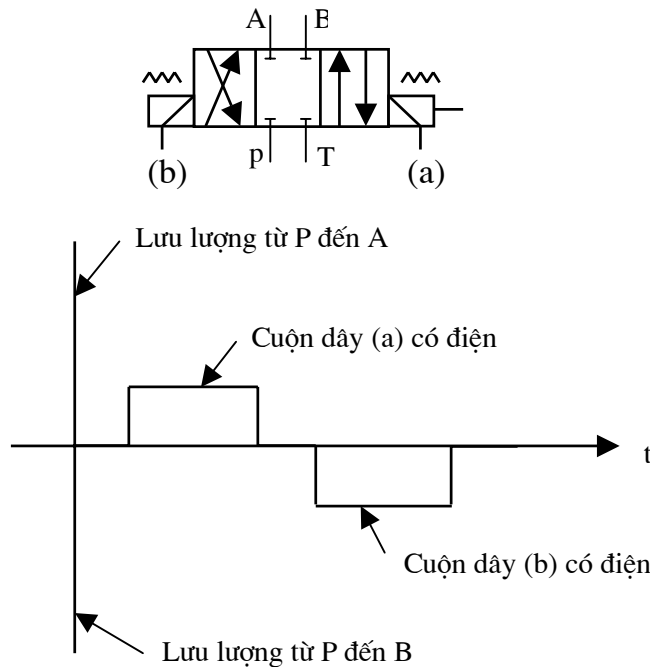
- a- Động cơ dầu điều khiển góc quay; b- Động cơ dầu - vít me bi điều khiển chuyển động thẳng; c- Động cơ dầu và xylanh thủy lực bố trí phối hợp.

Truyền động vít me bi có độ chính xác truyền động cao nên được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điều khiển tự động. Sơ đồ hình 6.1b nếu vít me bi có bước 5 mm, động cơ dầu điều khiển được góc quay  $\pm 1^0$  thì bàn máy có thể di chuyển với độ chính xác là :  $\frac{5}{360^0} = \pm 0,014 \text{ mm}$ .

Van trượt điều khiển thường sử dụng loại ba vị trí : trái, phải và trung gian. Ứng với ba vị trí điều khiển của van thì xy lanh (hoặc động cơ dầu) chuyển động theo chiều thuận, đảo chiều hoặc dừng. Chúng ta hãy nghiên cứu một số đặc điểm và khả năng ứng dụng của các loại van trong các mạch hệ điều khiển vị trí.

### 6.1.1. Ứng dụng của van solenoid trong hệ điều khiển vị trí

**1. Van solenoid đóng mở :** Loại van này chỉ thực hiện nhiệm vụ đóng mở các đường dẫn dầu đến xy lanh (hoặc động cơ dầu), mà không có tác dụng điều khiển lưu lượng dầu. Sơ đồ và đặc tính làm việc của van thể hiện ở hình 6.2.



Hình 6.2. Sơ đồ ký hiệu và đặc tính làm việc của van solenoid đóng mở

Dòng điện cung cấp cho van có thể là một chiều (DC) hoặc xoay chiều (AC). Tùy theo kích thước của van mà thời gian đóng mở trong phạm vi 20 ÷ 100 ms.

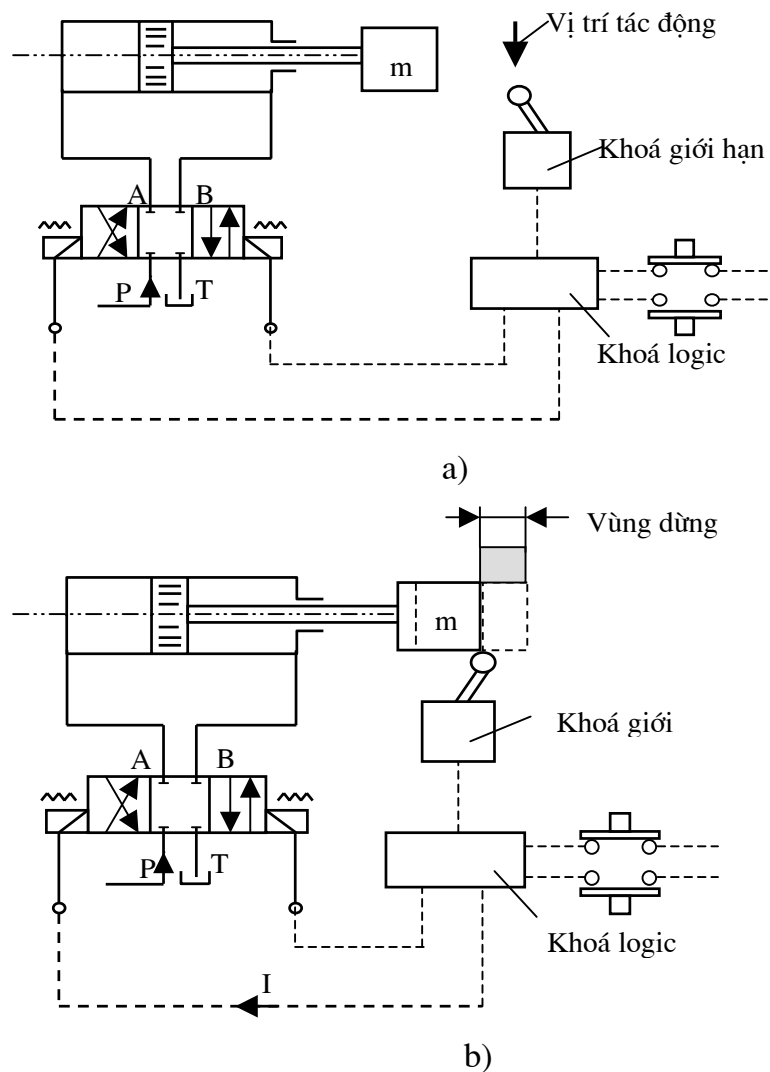
Hình 6.3 là sơ đồ ví dụ về ứng dụng của van loại này để thực hiện điều khiển vị trí.

Vị trí dừng của bàn máy m sẽ được thực hiện bằng mạch điều khiển logic dùng rơle, ngắt trạng thái hoặc PLC, thông qua vị trí của khoá giới hạn như ở hình 6.3a.

Hình thức điều khiển này đơn giản, giá thành thấp và phù hợp với yêu cầu của nhiều thiết bị, dây chuyền tự động. Tuy nhiên khi khoá giới hạn bị tác động thì bàn máy không thể dừng ngay mà phải mất một khoảng thời gian nào đó. Điều này dẫn tới vị trí dừng của bàn máy không chính xác do ảnh hưởng bởi các yếu tố sau đây :

- Thời gian đáp ứng của van.

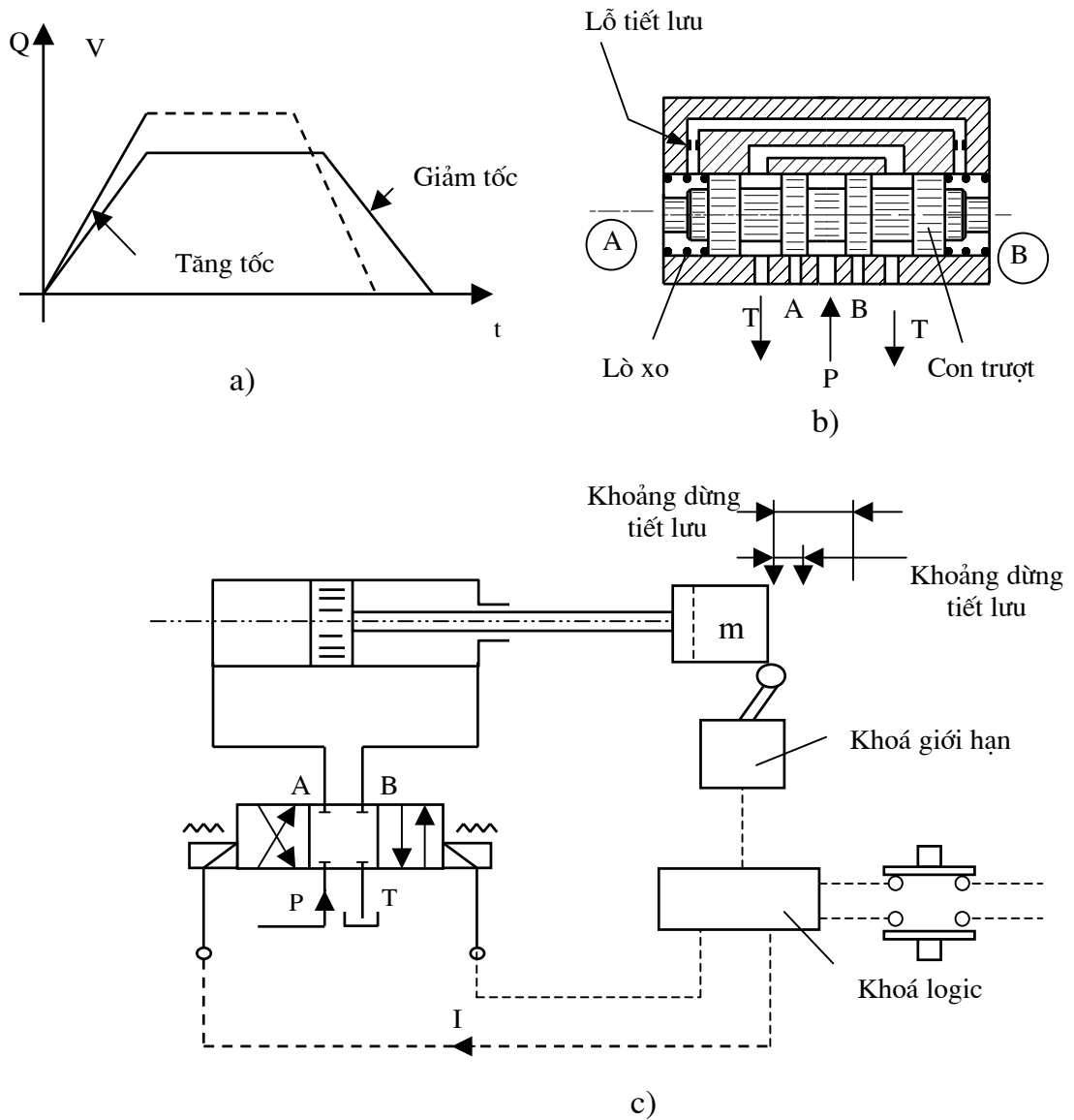
- Khối lượng và vận tốc chuyển động.
- Thể tích chứa dầu trong xy lanh và đường ống dẫn.
- Môđun đàn hồi của dầu.
- Ma sát của các bộ phận chuyển động.
- Sự rò dầu.
- Thời gian tác động của khóa giới hạn và của role.
- Thời gian nhận tín hiệu phản hồi của bộ PLC (nếu điều khiển PLC).



Hình 6.3. Sơ đồ ví dụ về ứng dụng van solenoid trong điều khiển vị trí

Các yếu tố trên khó có thể xác định một cách chính xác và chúng có thể thay đổi trong suốt quá trình hoạt động của máy. Nên vị trí dừng của bàn máy sẽ nằm trong một vùng nhất định (hình 6.3b).

## 2. Van solenoid điều khiển



Hình 6.4. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính lưu lượng về ứng dụng

van solenoid điều khiển trong mạch điều khiển vị trí

a- Đặc tính lưu lượng (vận tốc); b- Sơ đồ kết cấu van;

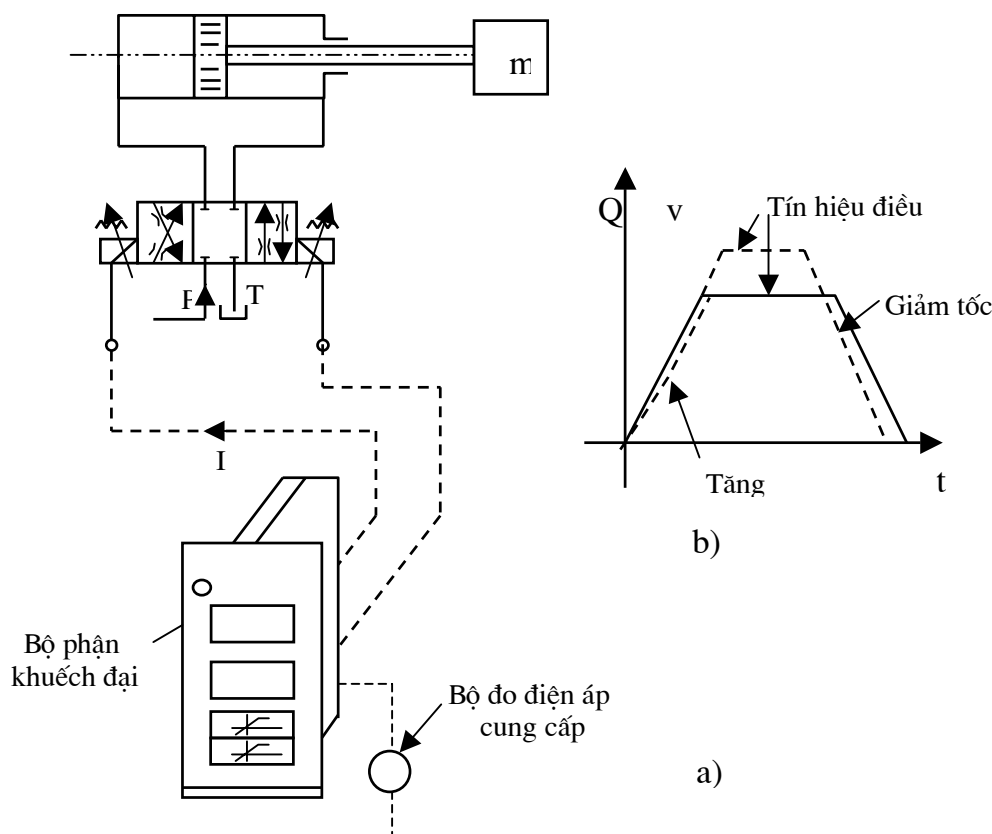
c- Sơ đồ mạch điều khiển vị trí của van.

Van solenoid điều khiển có khả năng điều khiển được một số vị trí của con trượt nhờ kết cấu khống chế hành trình. Ứng với mỗi nấc điều chỉnh sẽ cho một giá trị lưu lượng nào đó. Nhờ các lỗ tiết lưu trong đường dẫn dầu về hai phía của con trượt mà con trượt di chuyển đều, không va đập, tức là có thời gian nhất định để tăng và giảm tốc (hình 6.4a).

Vị trí dừng của pittông bị ảnh hưởng của nhiều yếu tố nên để dừng bàn máy đúng vị trí cũng cần hiệu chỉnh thời gian tác động của khoá giới hạn (hình 6.4c).

## 6.1.2. Ứng dụng van tỷ lệ trong hệ điều khiển vị trí

### 1. Van tỷ lệ không có phản hồi



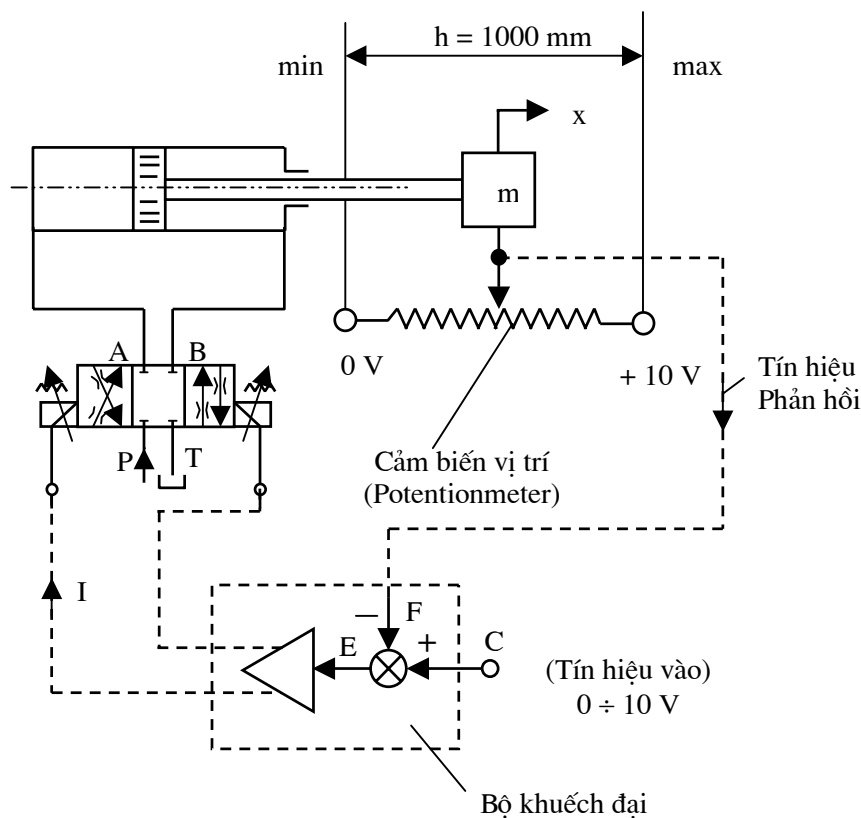
Hình 6.5. Sơ đồ mạch điều khiển vị trí hệ hở ứng dụng van tỷ lệ không có phản hồi trong

a- Sơ đồ nguyên lý; b- Đặc tính lưu lượng (vận tốc).

Khác với van solenoid, van tỷ lệ có khả năng điều khiển được vô cấp lưu lượng qua van. Khi thay đổi dòng điện điều khiển van thì thay đổi được hành trình dịch chuyển của con trượt, làm cho tiết diện chảy của van thay đổi và dẫn đến lưu lượng qua van thay đổi.

Qua bộ khuếch đại, dòng điện điều khiển van được điều khiển bằng tín hiệu điện áp vào (hình 5.6). Độ dốc của đặc tính  $Q$  (hoặc  $v$ ) được hiệu chỉnh trên bộ khuếch đại. Tùy thuộc vào kích thước của van mà thời gian đáp ứng sẽ nằm trong phạm vi 50 ms đến 150 ms.

Van tỷ lệ có thể ứng dụng để điều khiển logic, tuy nhiên nếu có cảm biến vị trí cung cấp tín hiệu phản hồi liên tục thì ta sẽ được mạch điều khiển vị trí liên tục như ở hình 6.6.



Hình 6.6. Sơ đồ mạch điều khiển vị trí hệ kín sử dụng van tỷ lệ không có phản hồi

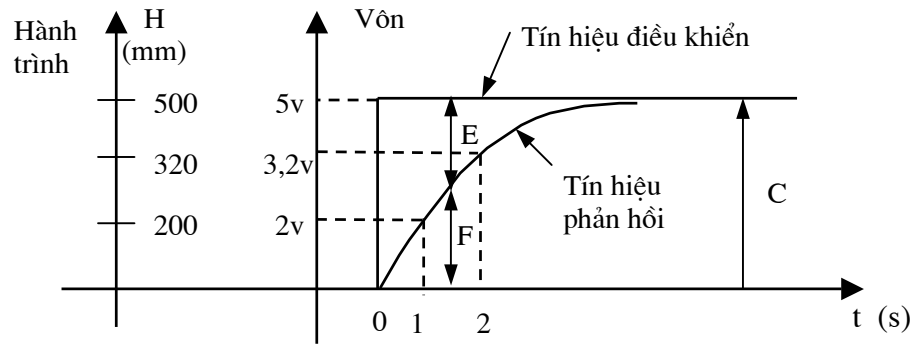
Hoạt động của sơ đồ trên hình 6.6 như sau : Khi cho tín hiệu điện áp vào C, bộ khuếch đại sẽ tạo ra dòng I tương ứng để điều khiển tiết diện chảy của van. Lưu lượng qua van cung cấp cho xylanh làm pittông di chuyển. Cảm biến vị trí dạng biến trở gắn trên đầu của pittông cũng di chuyển, tạo ra điện áp phản hồi (F) truyền về bộ khuếch đại và so sánh với điện áp điều khiển (C) nhằm san bằng sự sai lệch E. Khi điện áp so sánh có sai lệch  $E = 0$  thì pittông sẽ dừng ở vị trí tương ứng.

Trong mạch điều khiển trên, hành trình h của pittông, chiều dài và điện áp của cảm biến vị trí và điện áp tín hiệu vào phải có quan hệ tương thích.

Khi pittông ở vị trí 0 thì điện áp phản hồi phải báo giá trị bằng 0 V. Khi pittông ở vị trí max ( $h = 1000$  mm) thì cảm biến vị trí có giá trị + 10 V. Tương ứng với mối quan hệ đó tín hiệu điện áp điều khiển thay đổi từ 0 đến +10v. Khi vào bộ so sánh, tín hiệu phản hồi ngược dấu với tín hiệu vào và thực hiện san bằng điện áp.

Ví dụ, cần điều khiển pittông di chuyển đi 500 mm thì tín hiệu vào dạng step sẽ tương đương là +5 vôn.

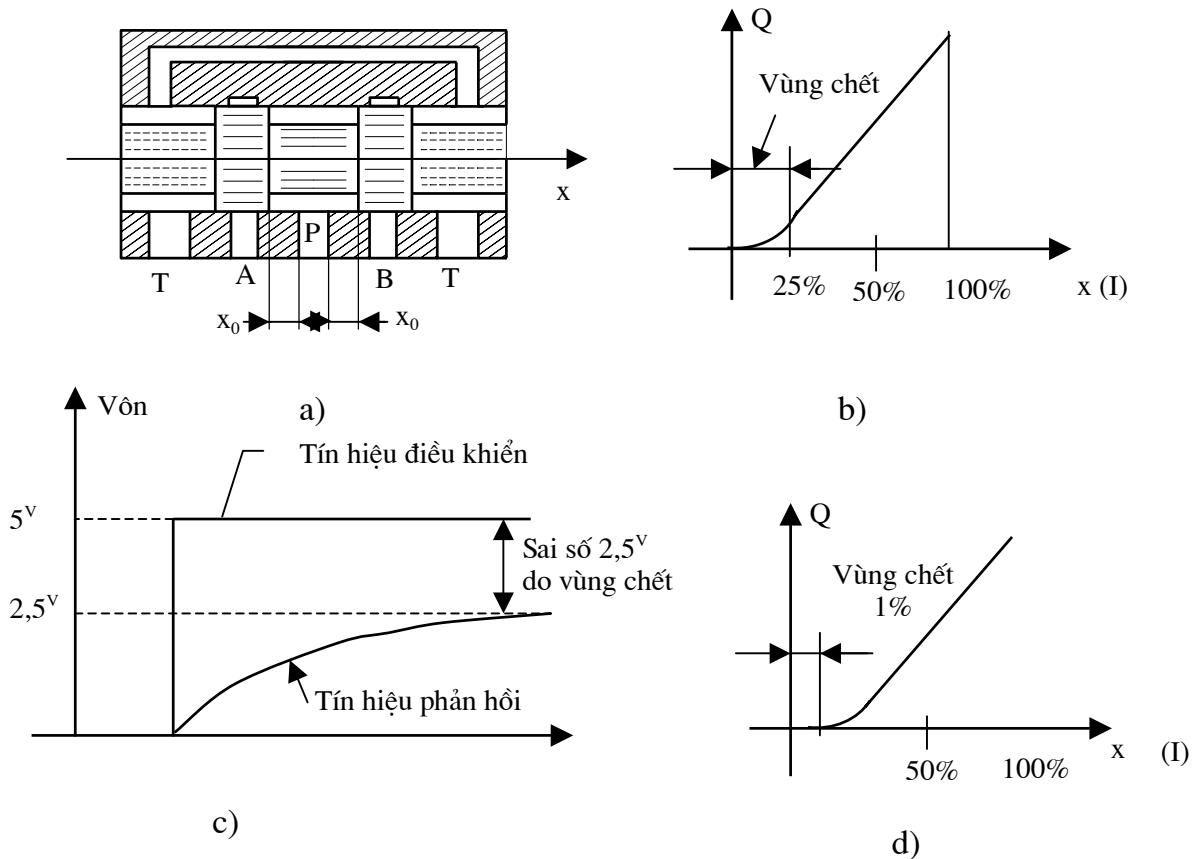
Khi pittông chưa di chuyển (ở thời điểm ban đầu) thì tín hiệu phản hồi  $F = 0$  và lúc này tín hiệu so sánh là  $E = C - F = 5 \text{ V} - 0 = 5 \text{ V}$ . Bộ khuếch đại có tín hiệu vào 5 V sẽ sinh ra dòng điện tương ứng để điều khiển van. Giả sử 5 V tương ứng với vận tốc của pittông là 200 mm/s và di chuyển hết quãng đường là 500 mm với thời gian là 2,5 s. Sau 1s pittông di chuyển được 200 mm/s tương ứng với tín hiệu phản hồi F là 2 V và tín hiệu so sánh sẽ là :  $5 \text{ V} - 2 \text{ V} = 3 \text{ V}$ . Nếu tín hiệu so sánh giảm từ 5 V xuống còn 3 V thì vận tốc pittông giảm từ 200 mm/s xuống còn 120 mm/s.



Hình 6.7. Đồ thị ví dụ về sự so sánh tín hiệu và tín hiệu phản hồi

Hành trình của pittông di chuyển sau 2 s là :  $200 + 120 = 320$  mm. Cứ tiếp tục quá trình này cho đến khi tín hiệu so sánh  $E = 0$  thì pittông di chuyển hết hành trình trong khoảng thời gian 2,5 s (hình 6.7). Để thời gian đáp ứng nhanh ta có thể tăng tốc độ chuyển động của pittông bằng cách tăng hệ số khuếch đại.

Một vấn đề nữa cũng cần quan tâm là vùng chết của van trượt điều khiển (hình 6.8).



Hình 6.8. Đồ thị nghiên cứu vùng chết của van trượt điều khiển

- a- Kết cấu van; b- Đặc tính Q - X;
- c- Đặc tính điều khiển thể hiện sai số do vùng chết;
- d- Đặc tính Q - x cải tiến.

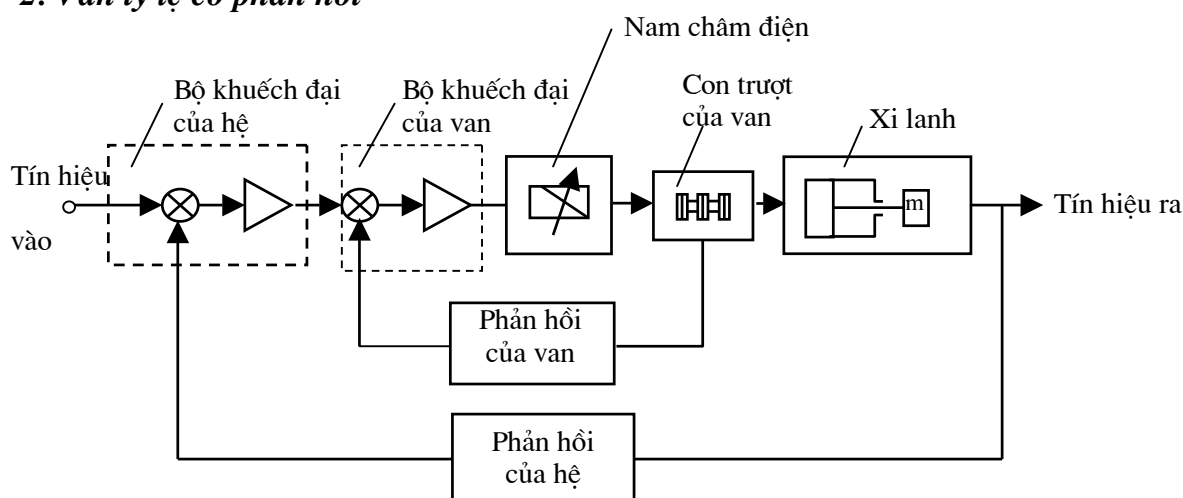
Khi con trượt di chuyển hết hành trình  $x_0$  thì dầu mới bắt đầu qua van. Thông thường  $x_0 = 25\%$  giá trị của lượng dịch chuyển cực đại. Điều đó cũng có nghĩa rằng tín hiệu so sánh giảm đi 25% và pittông sẽ dừng sau 250 mm di chuyển (hình 6.8c).

Để khắc phục sai số trên người ta tăng độ nhạy của van bằng cách tăng hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại. Tạo ra hệ số khuếch đại chuẩn để tự động điều khiển con trượt với tín hiệu vào nhỏ và di chuyển con trượt qua vùng "chết". Với phương pháp này vùng "chết" có thể giảm xuống còn 1% giá trị max.

Ngoài ra hiện tượng từ trễ ( $2 \div 8\%$ ) cũng ảnh hưởng đến độ chính xác của vị trí điều khiển. Vấn đề này đã được trình bày ở chương 5.

Như vậy khi sử dụng van tỷ lệ không có phản hồi cho mạch điều khiển vị trí sẽ tồn tại một số nhược điểm, do đó nên đối với những thiết bị có yêu cầu độ chính xác vị trí cao thì loại van này không phù hợp.

## 2. Van tỷ lệ có phản hồi



Hình 6.9. Sơ đồ khối của mạch điều khiển vị trí sử dụng van tỷ lệ có phản hồi

Van tỷ lệ có phản hồi sẽ có bộ khuếch đại và bộ phận phản hồi riêng như ở hình 6.9. So với van tỷ lệ không có phản hồi thì van tỷ lệ có phản hồi có thời gian đáp ứng nhanh, thông thường là từ 12 ms đến 37 ms và sai số do hiện tượng từ trễ nhỏ, khoảng 1%.

## 3. Van tỷ lệ hiệu suất cao

Trong van tỷ lệ hiệu suất cao ở hình 5.5, kết cấu của van chỉ có một nam châm điều khiển con trượt và một cảm biến vị trí LVDT (Linear Variable Differential Transformer). Cảm biến có nhiệm vụ cung cấp tín hiệu vị trí của con trượt cho bộ khuếch đại của van. Nhờ phối hợp giữa nam châm điện, cảm biến vị trí và bộ khuếch đại mà con trượt rất nhạy đối với tín hiệu điều khiển, đặc biệt là vùng chết của con trượt. Thời gian đáp ứng nhanh, ví dụ khi điều khiển tín hiệu step với giá trị cực đại chỉ mất  $\leq 10$  ms.

Nhờ sự hoàn thiện về kết cấu và chất lượng điều khiển mà van tỷ lệ hiệu suất cao được sử dụng trong các thiết bị có yêu cầu chất lượng điều khiển cao. Sơ đồ mạch điều khiển của loại van này tương tự như mạch điều khiển của van tỷ lệ không có phản hồi thể hiện ở hình 6.6.



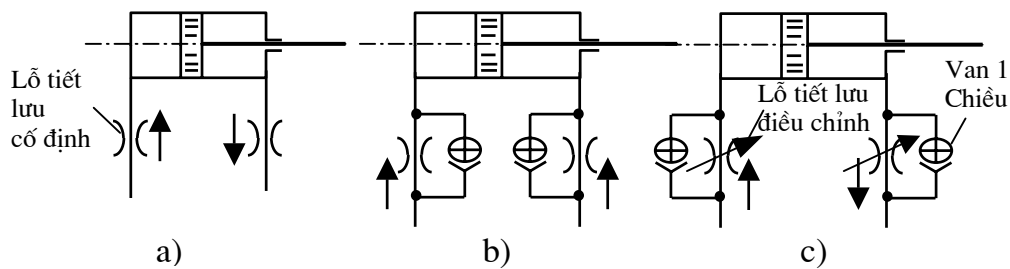
Tuy nhiên thay đổi lưu lượng bằng tiết lưu có năng lượng tiêu tốn thấp, kết cấu gọn, giá thành thấp... nên phù hợp với các mạch điều khiển tốc độ.

### 6.2.1. Điều khiển tốc độ bằng lỗ tiết lưu

Phương pháp đơn giản nhất là sử dụng các lỗ tiết lưu cố định đặt ngay ở cửa vào, ra của xylanh hoặc động cơ dầu như ở hình 6.11.

Ứng với mỗi tốc độ sẽ có các lỗ tiết lưu khác nhau. Với hình thức điều khiển này tốc độ sẽ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố sau :

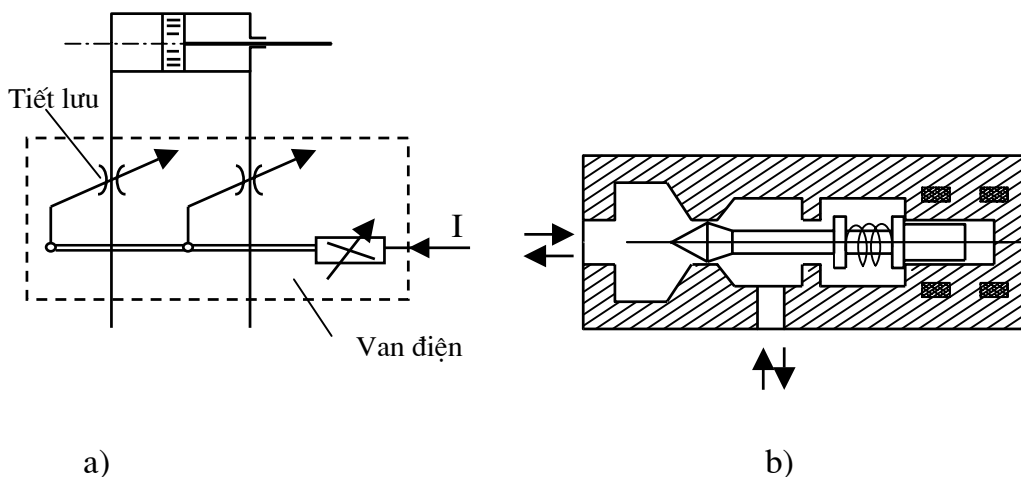
- Hình dáng của lỗ tiết lưu;
- Áp suất của hệ thống và tải tác dụng;
- Độ nhớt và tỷ trọng của chất lỏng.



Hình 6.11. Sơ đồ nguyên lý về điều khiển tốc độ bằng các lỗ tiết lưu

a, b - Với lỗ tiết lưu cố định; c - Với lỗ tiết lưu điều chỉnh

Nếu một trong các yếu tố trên thay đổi trong quá trình chuyển động thì tốc độ của cơ cấu chấp hành sẽ thay đổi, đồng thời phương pháp này khó thực hiện tự động hoá điều khiển.



Hình 6.12. Van tiết lưu điều khiển bằng điện từ

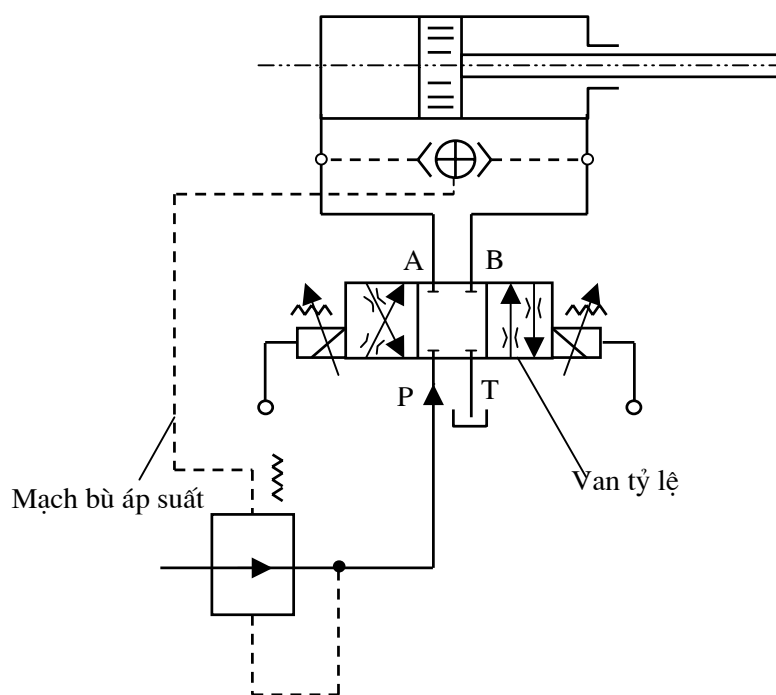
a - Van tiết lưu điều khiển đồng thời hai lỗ tiết lưu;

b - Van tiết lưu có một lỗ tiết lưu.

Hình 6.12 là loại van tiết lưu điều khiển bằng điện từ. Loại này tiết diện chảy được thay đổi nhờ thay đổi dòng điện điều khiển nam châm.

### 6.2.2. Điều khiển tốc độ bằng van tỷ lệ hoặc van servo

Van tỷ lệ và van servo có thể thay đổi vô cấp lưu lượng qua van thông qua việc thay đổi tiết diện chảy của dầu bằng điện từ. Điều này cho phép thay đổi tốc độ chuyển động của pittông-xylanh hoặc động cơ dầu một cách dễ dàng. Tuy nhiên đối với hệ điều khiển hở, khi áp suất hoặc tải trọng thay đổi thì lưu lượng sẽ thay đổi.



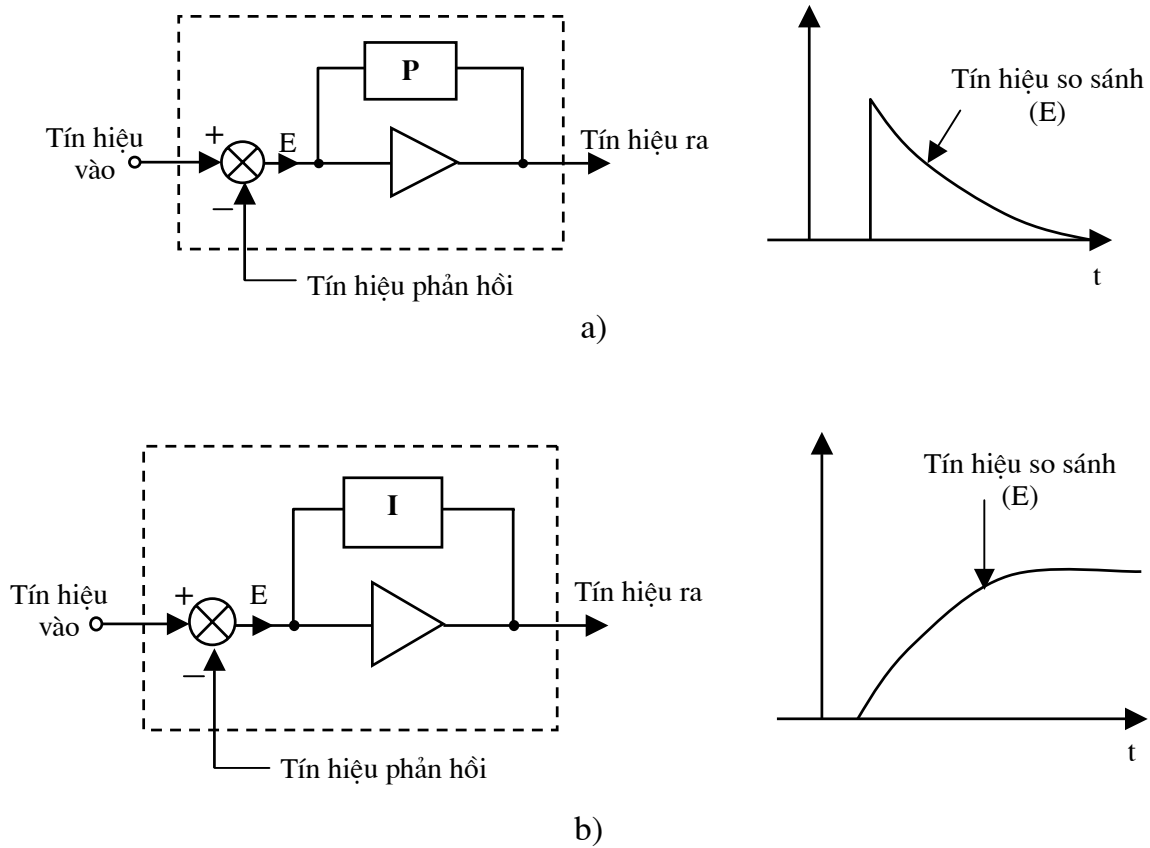
Hình 6.13. Sơ đồ ví dụ ứng dụng van tỷ lệ trong mạch điều khiển tốc độ

Để khắc phục tình trạng này cần sử dụng mạch bù áp suất hình 5.16. Mạch này lấy hiệu áp suất giữa hai buồng của xylanh làm tín hiệu phản hồi để điều chỉnh áp suất vào.

Tương tự như điều khiển vị trí, muốn điều khiển được tốc độ chính xác phải sử dụng mạch điều khiển hệ kín, tức là phải có bộ cảm biến tốc độ để đo và chuyển đổi thành tín hiệu điện cung cấp cho bộ so sánh của bộ khuếch đại. Tín hiệu điều khiển so sánh với tín hiệu phản hồi từ bộ cảm biến chuyển về để hiệu chỉnh những sai số tốc độ do các nguyên nhân từ hệ thống chấp hành gây nên.

Trong mạch điều khiển vị trí hệ kín, vùng chết của van tỷ lệ ảnh hưởng lớn đến độ chính xác điều khiển, còn trong điều khiển vận tốc hệ kín thì vùng chết không ảnh hưởng đến độ chính xác của vận tốc điều khiển, nên người ta nói van tỷ lệ phù hợp với điều khiển vận tốc.

Bộ khuếch đại trong mạch điều khiển vị trí sẽ sử dụng bộ khuếch đại tỷ lệ như trên hình 6.14a, còn trong mạch điều khiển tốc độ là bộ khuếch đại tích phân I như ở hình 6.14b.



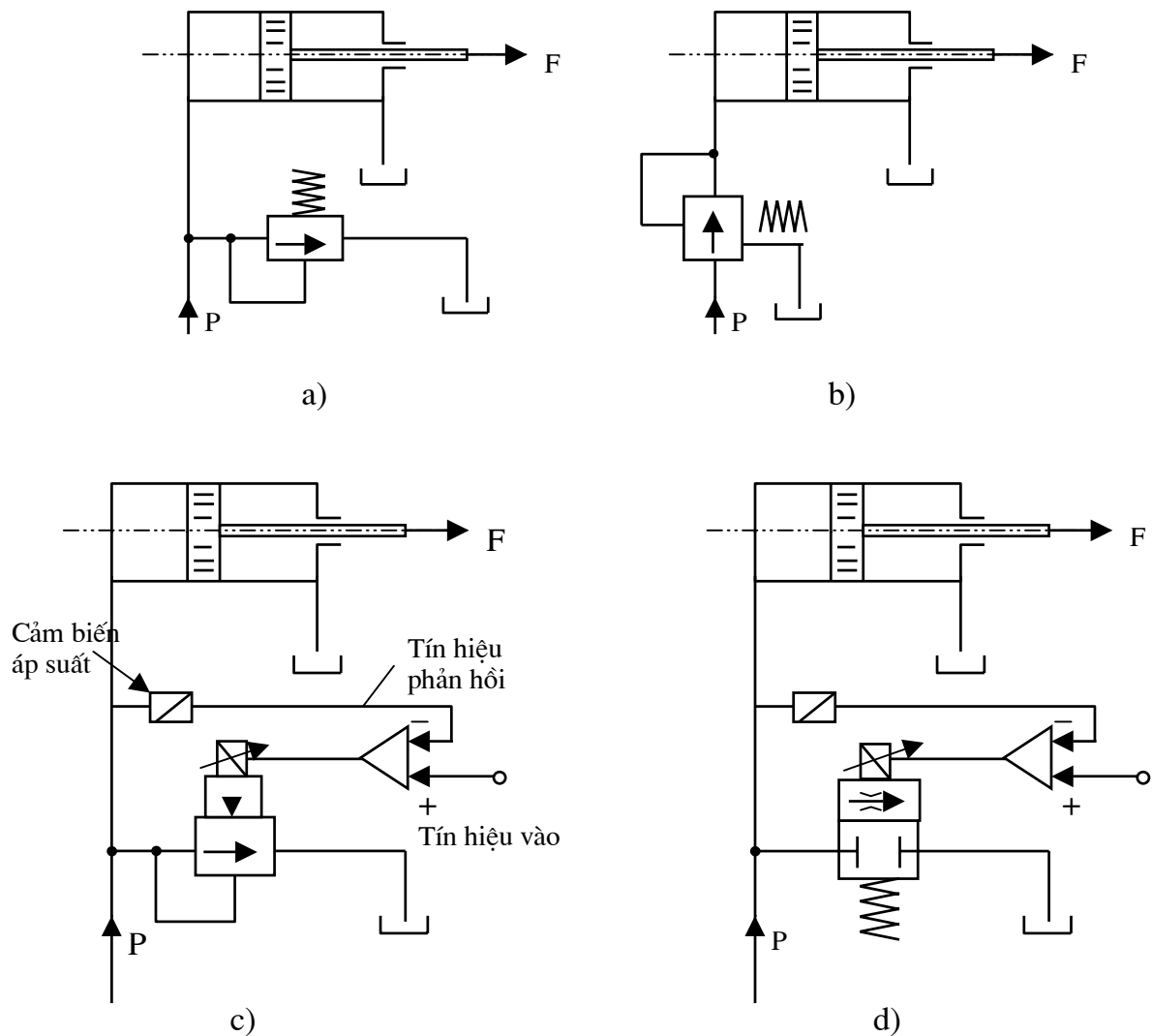
Hình 6.14. Sơ đồ của bộ khuếch đại tỷ lệ và bộ khuếch đại tích phân

a - Bộ khuếch đại tỷ lệ và đồ thị tín hiệu so sánh;

b - Bộ khuếch đại tích phân và đồ thị tín hiệu so sánh.

Trong bộ khuếch đại tích phân, khi tốc độ phản hồi phù hợp với tốc độ điều khiển thì bộ tích phân sẽ duy trì tín hiệu ra. Con trượt của van sẽ duy trì việc cung cấp lưu lượng theo yêu cầu vận tốc chuyển động của pittông xy lanh (hoặc động cơ dầu).

### 6.3. ĐIỀU KHIỂN TẢI TRỌNG



Hình 6.15. Các sơ đồ điều khiển tải trọng theo áp suất

- a - Hiệu chỉnh áp suất bằng van tràn;
- b - Hiệu chỉnh áp suất bằng van giảm áp;
- c - Điều khiển áp suất theo hệ kín bằng van tràn điện thủy lực;
- d - Điều khiển áp suất theo hệ kín bằng van tỷ lệ.

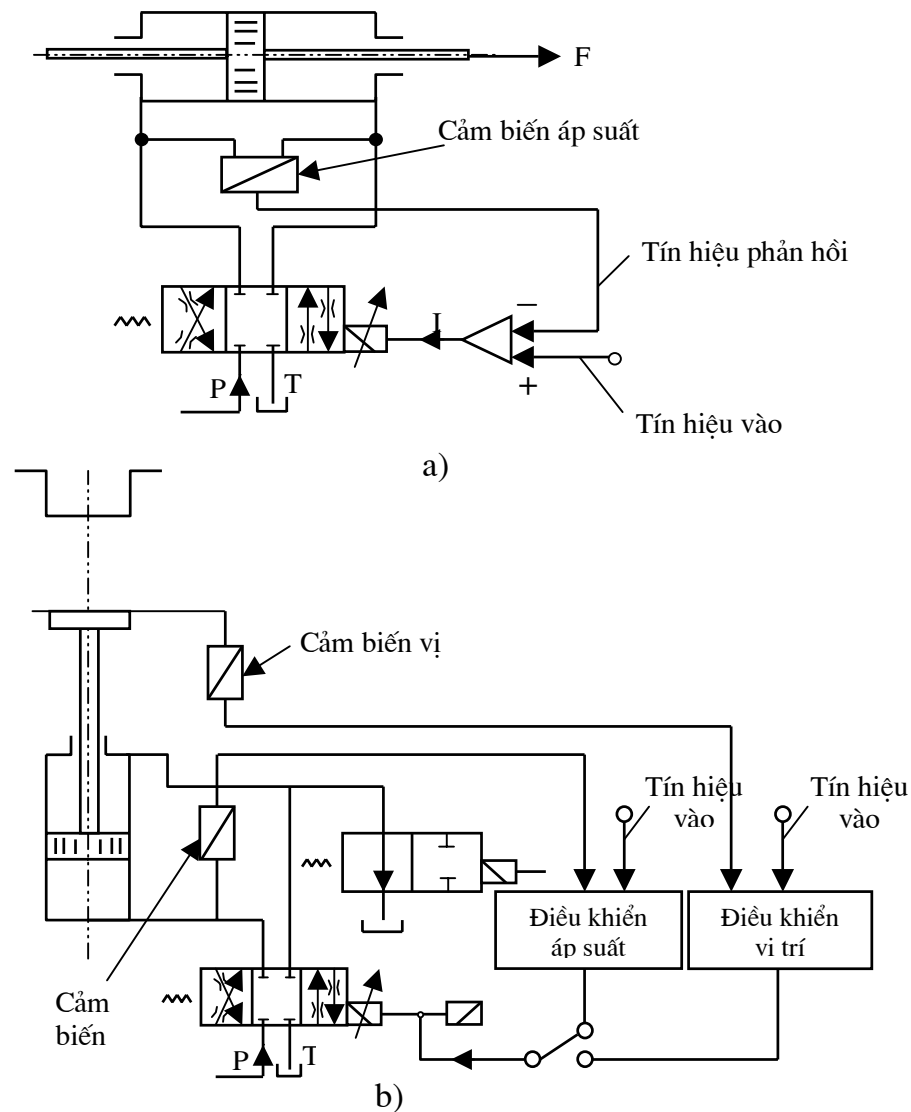
Để điều khiển lực đối với chuyển động tịnh tiến hoặc điều khiển mômen xoắn đối với chuyển động quay người ta thay đổi áp suất làm việc của hệ thống. Trong mạch điều khiển kín, cảm biến sử dụng là cảm biến lực hoặc cảm biến mômen. Tuy nhiên trong đa số các thiết bị hiện nay người ta sử dụng cảm biến áp suất mà vẫn đảm bảo được độ chính xác cần thiết (hình 6.15c, d).

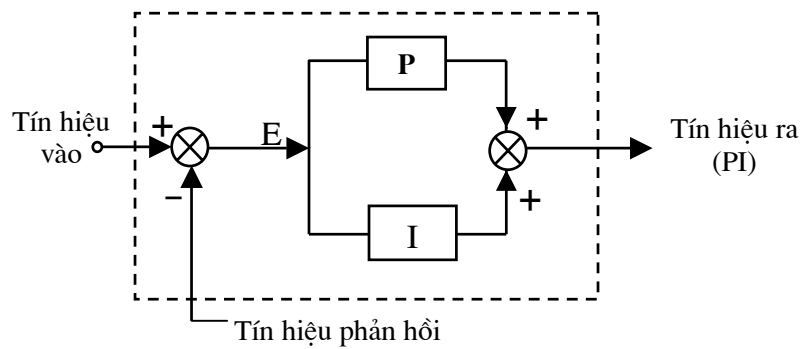
Hình thức điều chỉnh áp suất bằng van tràn hoặc van giảm áp (hình 6.15a, b) là theo hệ hở, độ chính xác thấp do ảnh hưởng bởi các yếu tố liên quan đến điều kiện làm việc như độ nhớt, lưu lượng hay tải trọng thay đổi. Nên nếu yêu cầu độ chính xác cao hơn người ta sử dụng mạch điều khiển kín (hình 6.15c, d). Tín hiệu phản hồi của cảm biến áp suất đưa về bộ khuếch đại của van để so sánh và xử lý nhằm ổn định áp suất theo yêu cầu của tải trọng. Hiện nay van tỷ lệ hiệu suất cao phù hợp với mạch điều khiển áp suất nên nó được sử dụng rộng rãi.

Ngoài ra có một phương pháp điều khiển khác là ứng dụng mạch điều khiển mà cảm biến áp suất là đo hiệu áp giữa hai buồng làm việc của xy lanh (hoặc động cơ dầu) thể hiện ở hình 6.16a.

Tùy thuộc vào yêu cầu sử dụng mà trên một thiết bị có thể phối hợp cả điều khiển vị trí, vận tốc và tải trọng. Hình 6.16 b là ví dụ về mạch điều khiển phối hợp giữa vị trí và tải trọng.

Tương tự như điều khiển vị trí và điều khiển vận tốc, điều khiển áp suất (tải trọng) cũng bị ảnh hưởng các yếu tố như ma sát, rò dầu, độ nhớt thay đổi...làm giảm độ chính xác điều khiển.





c)

Hình 6.16. Các sơ đồ ví dụ về mạch điều khiển tải trọng và bộ điều khiển PI

a - Sơ đồ điều khiển hệ kín bằng bộ đo hiệu áp;

b - Sơ đồ mạch điều khiển áp suất và vị trí; c - Sơ đồ bộ khuếch đại PI.

Tương tự như điều khiển vận tốc, trong mạch điều khiển áp suất, khi tín hiệu phản hồi san bằng với tín hiệu điều khiển thì tín hiệu ra của bộ khuếch đại (bộ điều khiển) phải duy trì tín hiệu đó. Nên trong bộ khuếch đại của điều khiển áp suất có sử dụng mạch điều khiển tích phân I. Tuy nhiên để thời gian đáp ứng nhanh có thể sử dụng thêm mạch điều khiển tỷ lệ P và hình 6.14c gọi là mạch điều khiển theo PI.

#### 6.4. CÁC VÍ DỤ ỨNG DỤNG

Ví dụ 1. Hình 6.17, hình 6.18, hình 6.20, hình 6.22, hình 6.23 và hình 6.25 là các sơ đồ lắp ráp hệ điều khiển thủy lực chuyển động thẳng và hệ thủy lực chuyển động quay, trong đó van servo BD062 là thiết bị trực tiếp nhận tín hiệu dòng điện I từ bộ khuếch đại BD90 và truyền tín hiệu lưu lượng Q cho cơ cấu chấp hành (xy lanh thủy lực hoặc động cơ thủy lực).

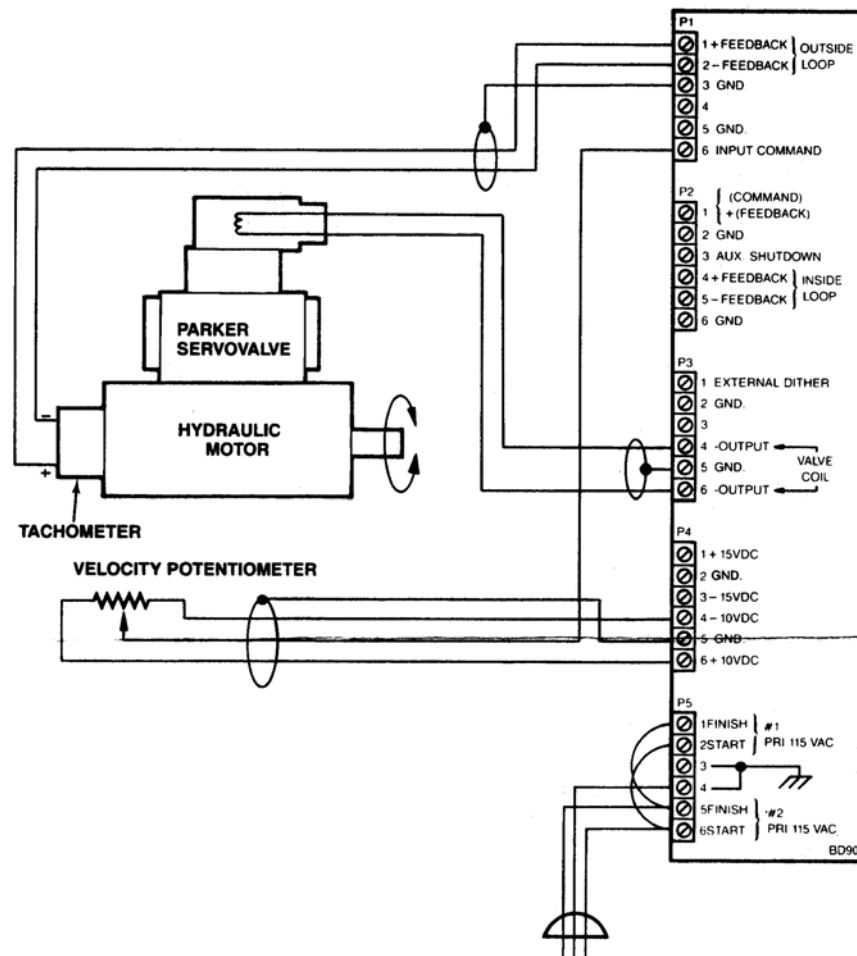
Bộ khuếch đại BD90 là một bộ điều khiển. Bộ điều khiển này có thể thực hiện điều khiển tương tự hoặc điều khiển số. Để thực hiện điều khiển số phải có thêm carte acquisition thực hiện chuyển đổi A/D và D/A, carte này được nối ghép tương thích với bộ khuếch đại BD90.

Có thể tham khảo đặc tính kỹ thuật của một số phân tử điều khiển như sau :

\* *Đặc tính kỹ thuật của servo-van BD062 - Parker electrohydraulic:*

- Lưu lượng (khi áp suất  $70,3 \text{ kg/cm}^2$ ) :  $0 \div 76,734 \text{ l/p}$  ( $1278,9 \text{ cm}^3/\text{s}$ ).
- Áp suất làm việc là :  $15 \div 315 \text{ Bar}$  ( $15,466 \div 316,35 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Dòng điện định mức :  $100 \text{ mA}$ .
- Điện trở của cuộn dây :  $28 \Omega$ .
- Nhiệt độ làm việc :  $-1^0 \div 106^0 \text{ C}$ .
- Tổn thất áp suất ít nhất là :  $30\%$ .
- Độ tuyến tính của đặc tính I - Q :  $\leq 10\%$ .
- Độ sai lệch do từ trễ của đặc tính I - Q :  $\leq 5\%$ .
- Độ trượt của đặc tính I - Q :  $\leq 2\%$ .

- Điện áp vào và ra : Unipolar (đơn cực)  $0 \div 10 \text{ V}$  ; Bipolar (2 cực)  $\pm 5 \text{ V}$  .
- Dòng lớn nhất  $\pm 2 \text{ mA}$  .
- Hệ số khuếch đại điều khiển : 1; 2; 5; 10; 20; 50 hoặc 100.
- 01 bộ 12 bit ADC để phân tích tín hiệu tương tự có điện áp là  $2,44 \text{ V}$  ứng với hệ số khuếch đại bằng 1. Khi hệ số khuếch đại  $>1$  thì tín hiệu điều khiển chính xác hơn ( $2,44 \mu\text{v}$ ) và đầu ra ADC từ 12 bit sẽ tự động tăng lên thành 16 bit.
- 02 bộ DAC 16 bit .
- 03 bộ định giờ 16 bit để đếm tần số, đếm sự kiện và tính thời gian .
- Bộ giao diện 8 bit - DMA.



Hình 6.18. Sơ đồ lắp ráp mạch điều khiển vị trí của hệ thủy lực chuyển động quay

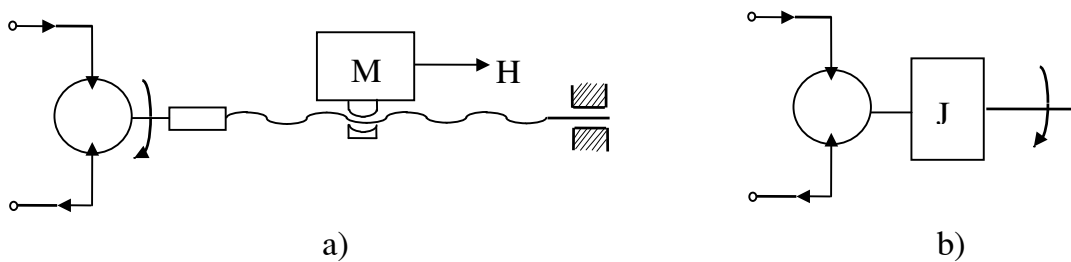
- Sai số điện áp hiệu chỉnh :  $0\text{V}$ .
- Bộ ổn định thời gian (chính xác  $\pm 0,02\%$ ) :
  - Hệ số khuếch đại  $\leq 10$  chính xác đến  $14 \mu\text{s}$  ;
  - Hệ số khuếch đại 20; 50 chính xác đến  $20 \mu\text{s}$  ;
  - Hệ số khuếch đại 100 chính xác đến  $33 \mu\text{s}$  .
- ACH (0-7) là 8 kênh đầu vào, DAC0 OUT và DAC1 OUT là 2 kênh đầu ra
- Bộ bù nhiệt độ cho phép nhiệt độ hoạt động là  $0^{\circ} \div 70^{\circ} \text{ C}$ .

- Độ ẩm 5% ÷ 90% và không ngưng tụ nước.
- Trạm liên kết SC-2071.
- Cáp nối P/N 180524-10 , 50 sợi.
- Có thể lập trình với Lab View , Lab Windows/cvi và LabWindows.
- Các phần mềm kèm theo : Daqware ; Ni-Daq Dos ; Ni-Daq Windows và Ni-Daq Windows NT. Số phần mềm : 776703-01.

Ví dụ 2: Mô hình điều khiển vị trí của hệ điều khiển khi sử dụng van tỷ lệ. Ví dụ này giới thiệu mô hình toán học và mô hình điều khiển vị trí của hệ điều khiển động cơ thủy lực ứng dụng để thực hiện chuyển động tịnh tiến. Để thực hiện chuyển động tịnh tiến cơ cấu chấp hành, ngoài điều khiển bằng xy lanh thủy lực còn có thể điều khiển bằng động cơ thủy lực kết hợp với bộ truyền động cơ khí để biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến.

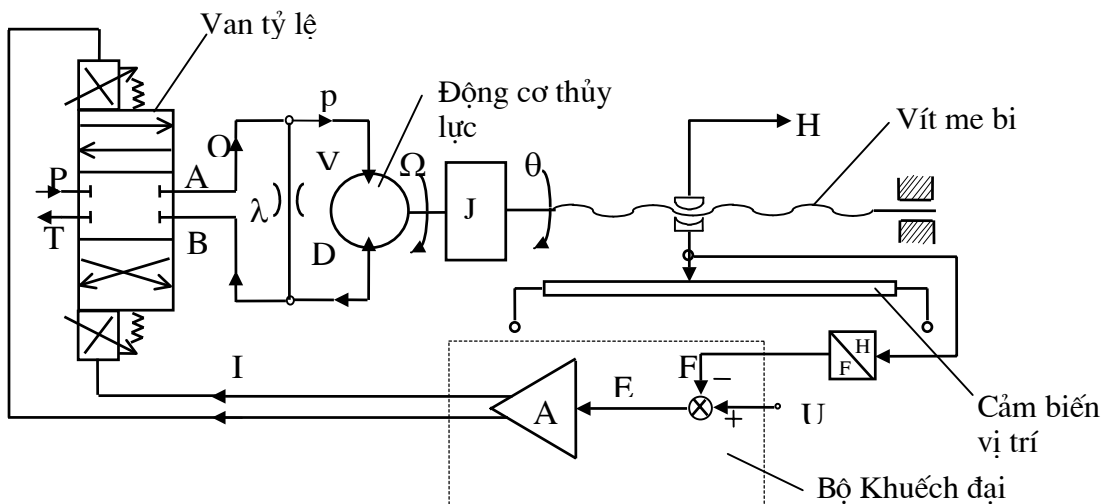
Mô hình nghiên cứu là cụm truyền động điều khiển dịch chuyển của bàn công tác Hình 6.19a, trong đó rôto của động cơ thủy lực được nối với bàn công tác thông qua bộ truyền vít me-đai ốc bi. Trong tính toán, khối lượng quán tính M của bàn công tác được quy về trục của rotor và có mômen quán tính khối lượng là J, thể hiện ở hình 5.19b. Mômen quán tính J xác định theo công thức sau :

$$J = \frac{M}{(2\pi.t_x)^2} \quad (6.1)$$



Hình 6.19. Mô hình quy đổi của bàn công tác

Sơ đồ hệ thống điều khiển được xây dựng như trên hình 6.20.



Hình 6.20. Sơ đồ mạch điều khiển vị trí chuyển động tịnh tiến bằng động cơ thủy lực



U-Tín hiệu điều khiển; E-Tín hiệu so sánh;  $K_A$ -Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại A; I-Dòng điện điều khiển;  $K_V$ -Hệ số khuếch đại của van; Q-Lưu lượng cung cấp của van;  $\lambda$ -Hệ số tổn thất lưu lượng;  $p_S$ -Áp suất cung cấp;  $p_T$ -Áp suất ra khỏi van; p-Áp suất làm việc của động cơ thủy lực;  $D_m$ -Hệ số kết cấu của động cơ thủy lực; V-Thể tích chứa dầu trong buồng công tác; B-Môđun đàn hồi của dầu; J-Giá trị của mômen quán tính khối lượng quy đổi về trục động cơ thủy lực;  $\Omega$ -Vận tốc góc của rôto;  $\theta$ -Góc quay của rôto;  $K_C$ -Hệ số khuếch đại của cảm biến vị trí; F-Tín hiệu phản hồi; H-Hành trình dịch chuyển tịnh tiến của bàn công tác;  $t_x$ - Bước của vít me bi.

Để xác định hàm truyền, hệ số khuếch đại hệ thống và tìm các thông số khác của hệ cần ứng dụng lý thuyết điều khiển tự động và trên cơ sở các ví dụ ở mục 4.5.

Để thiết lập được mô tả toán học của hệ thống trên ta có một số giả thiết như sau : Hệ thống nghiên cứu là hệ tuyến tính, bộ khuếch đại và van tỷ lệ là các khâu khuếch đại, bỏ qua ma sát trên trục truyền động, không kể đến tải trọng tác động từ bên ngoài, bỏ qua biến dạng đàn hồi của dầu trên đường ống dẫn.

Các phương trình mô tả của hệ gồm :

Phương trình cân bằng lưu lượng :

$$Q = K_V \cdot I = D_m \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{V}{2B} \cdot \frac{dp}{dt} + \lambda \cdot p \quad (6.2)$$

Phương trình cân bằng mômen trên trục rôto :

$$D_m \cdot p = J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (6.3)$$

Quan hệ giữa dòng điện điều khiển van với tín hiệu điều khiển và tín hiệu phản hồi là :

$$I = K_A \cdot (U - H \cdot K_C) \quad (6.4)$$

$$K_C = \frac{F}{H}$$

Quan hệ giữa lượng dịch chuyển của bàn công tác H và góc quay của trục rôto  $\theta$  là :

$$H = \frac{t_x}{2\pi} \cdot \theta \quad (6.5)$$

Để thiết lập được sơ đồ khối của mạch điều khiển vị trí, trước hết ta nghiên cứu quan hệ giữa lưu lượng cung cấp của van Q và góc quay của trục rôto  $\theta$  .

Từ phương trình (6.2) và (6.3) ta có :

$$p = \frac{J}{D_m} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2}, \quad \frac{dp}{dt} = \frac{J}{D_m} \cdot \frac{d^3\theta}{dt^3} \quad (6.6)$$

và

$$Q = D_m \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{\lambda \cdot J}{D_m} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{V \cdot J}{2B \cdot D_m} \cdot \frac{d^3\theta}{dt^3} \quad (6.7)$$

Phương trình Laplace của (6.7) là :

$$Q(s) = (D_m + \frac{\lambda \cdot J}{D_m} \cdot s + \frac{V \cdot J}{2B \cdot D_m} \cdot s^2) \cdot s \cdot \theta(s) \quad (6.8)$$

Hàm truyền  $\frac{\theta(s)}{Q(s)}$  là : 
$$\frac{\theta(s)}{Q(s)} = \frac{1/D_m}{(1 + \frac{\lambda \cdot J}{D_m^2} \cdot s + \frac{V \cdot J}{2B \cdot D_m^2} \cdot s^2)} \cdot \frac{1}{s} \quad (6.9)$$

hoặc : 
$$\frac{\theta(s)}{Q(s)} = \frac{K_M}{1 + 2 \cdot \zeta \cdot T \cdot s + T^2 \cdot s^2} \cdot \frac{1}{s} \quad (6.10)$$

trong đó :  $T = \sqrt{\frac{V \cdot J}{2B \cdot D_m^2}}$  - Hằng số thời gian;

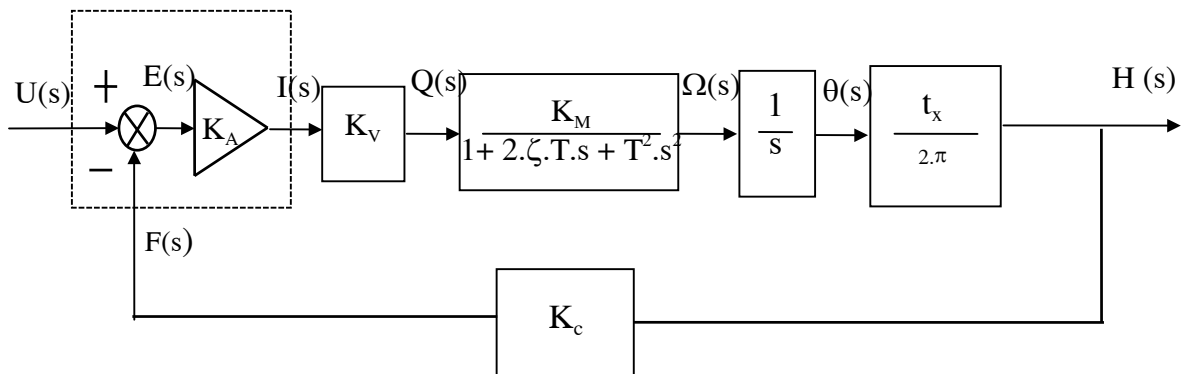
$\zeta = \sqrt{\frac{B \cdot \lambda^2 \cdot J}{2D_m^2 \cdot V}}$  - Hệ số tắt dần;

$\omega_0 = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{2B \cdot D_m^2}{V \cdot J}} = \sqrt{\frac{C_H}{J}}$  - Tần số dao động riêng; (6.11)

$C_H = \frac{2B \cdot D_m^2}{V}$  - Độ cứng thủy lực;

$K_M = 1/D_m$  - Hệ số khuếch đại.

Từ (6.4), (6.5) và (6.10) ta lập được sơ đồ khối của mạch điều khiển như sau :



Hình 6.21. Sơ đồ khối của mạch điều khiển vị trí

Từ sơ đồ khối trên hình 6.21 ta tính được hệ số khuếch đại của hệ thống trên là :

$$K_H = K_A \cdot K_V \cdot \frac{1}{D_m} \cdot \frac{t_x}{2\pi} \cdot K_C \quad , \quad (1/s) \quad (6.12)$$

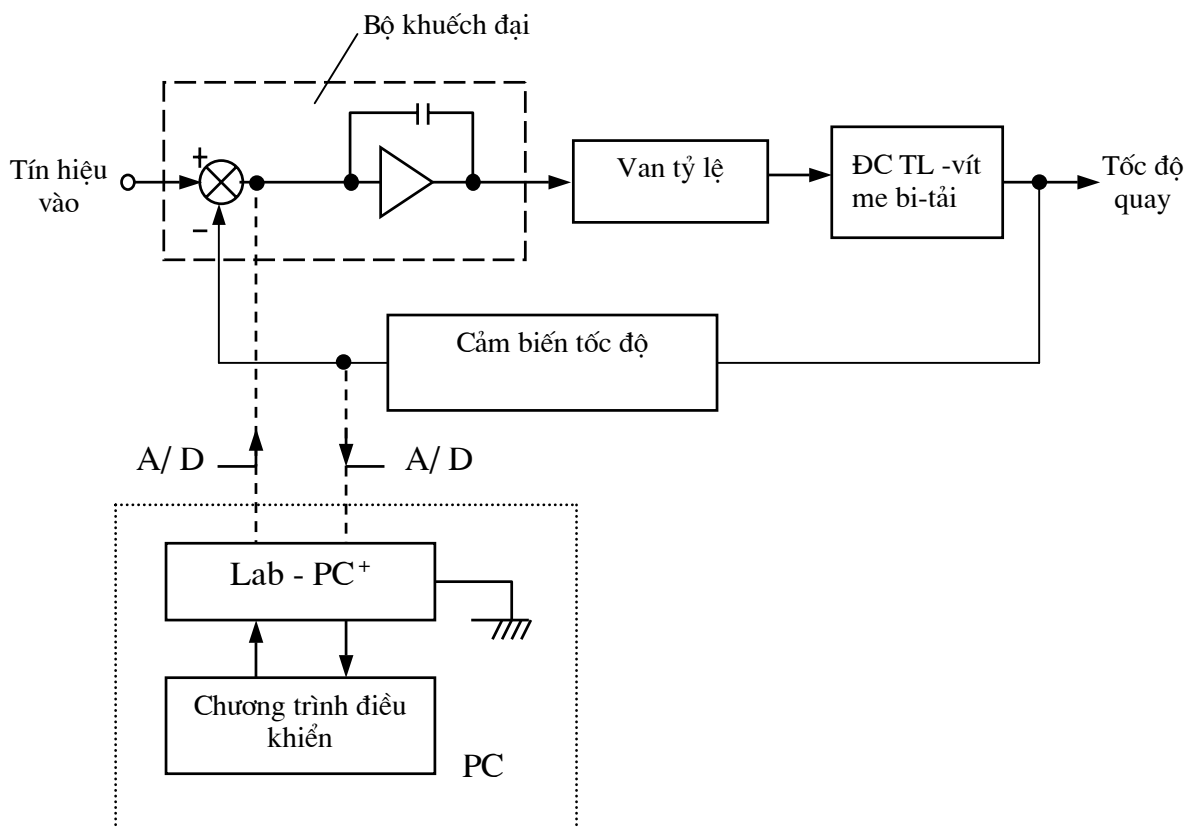
Thời gian không đổi :  $\tau = \frac{1}{K_H}$  , (s) ; Thời gian đáp ứng  $t \approx 5\tau$  .

Ví dụ trên được ứng dụng cho thiết bị có các bộ phận và thông số chính như sau :

- Động cơ dầu : Delta power hydraulic Co, Rockford Illinois, Model 16 - Z-3.
- Van tỷ lệ : D.ER-F-WV-4/3-MM, Festo Didactic.
- Bộ khuếch đại (Amplificater) : Festo Didactic.

- Cảm biến vị trí : Longfellow, Data Instruments , Sai số tuyến tính 0,1%.
- Các thông số chính :  $p=35 \text{ kg/cm}^2$ ;  $Q=11 \text{ l/p}$  ;  $m=5 \text{ kg}$ ;  $D_m=12 \text{ cm}^3/\text{rad}$ ;  
 $K_C= 0,327 \text{ V/cm}$ ;  $K_V=11,5 \text{ (cm}^3/\text{s)/mA}$ ;  $\beta=1,4.107 \text{ kg/cm}^2$  ;  $t_x = 4 \text{ mm}$ .

Mạch điều khiển trên được nối với máy tính thông qua bộ chuyển đổi A/D và D/A là Lab-PC<sup>+</sup> , National Instruments Corporation, sơ đồ thể hiện ở hình 6.22. Thiết bị điều khiển theo PI qua thuật toán trong chương trình điều khiển. Các tín hiệu vào và ra được lưu trữ trong các file số liệu.



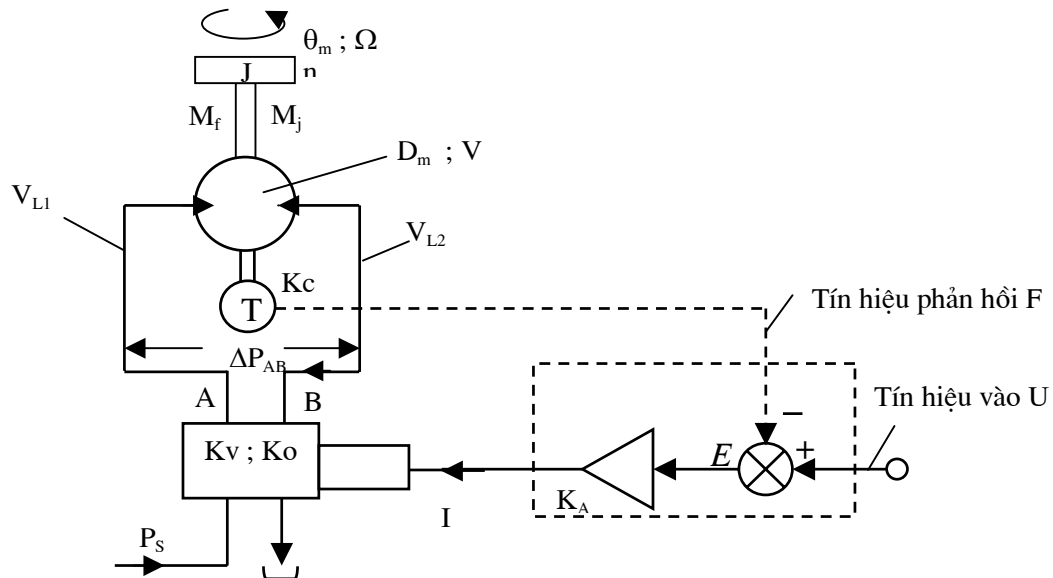
Hình 6.22. Sơ đồ khối nối ghép giữa các phân tử của mạch điều khiển vị trí

Như vậy hệ thống điều khiển này sẽ giải quyết những vấn đề sau :

- Xác định được tần số dao động riêng và hệ số tắt dần của cụm truyền động động cơ thủy lực-vít me đai ốc bi.
- Thiết lập mô tả toán học và sơ đồ khối của mô hình điều khiển.
- Xác định hệ số khuếch đại hệ thống.
- Nghiên cứu các vấn đề liên quan đến đặc tính động lực học, các vấn đề khác như độ ổn định, độ chính xác điều khiển cũng như chọn chế độ làm việc tối ưu.

Ví dụ 3 : Mô hình điều khiển tốc độ của động cơ thủy lực khi sử dụng van servo.

Hình 6.23 là sơ đồ điều khiển tốc độ quay của trục động cơ thủy lực. Phương pháp nghiên cứu mô hình này gần giống với ví dụ 1. Đây là một mạch điều khiển hệ kín và tuyến tính, cơ cấu chấp hành đã được thu gọn về trục động cơ thủy lực qua giá trị của mômen quán tính khối lượng  $J$ .



Hình 6.23. Sơ đồ điều khiển tốc độ của động cơ thủy lực bằng van servo

U- Tín hiệu điều khiển ; E- Tín hiệu so sánh; F- Tín hiệu phản hồi; I- Dòng điện điều khiển điều khiển van servo;  $K_V$ - Hệ số khuếch đại của van servo;  $K_0$ - Hệ số thoát dầu qua van servo; Q- Lưu lượng cung cấp của van;  $p_s$  - Áp suất cung cấp;  $p_T$  - Áp suất ra khỏi van; p- Áp suất làm việc của động cơ thủy lực; f- Hệ số ma sát nhớt;  $D_m$ - Hệ số kết cấu của động cơ thủy lực; V- Thể tích chứa dầu trong buồng công tác động cơ thủy lực; B- Môđun đàn hồi của dầu; J- Giá trị của mômen quán tính quy đổi về trục động cơ thủy lực;  $\Omega$ - Vận tốc góc của trục động cơ thủy lực;  $K_c$ - Hệ số khuếch đại của cảm biến tốc độ;  $K_A$ - Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại.

Ngoài các giả thiết như bài toán ở ví dụ 1, bài toán này có tính đến ma sát nhớt trên trục động cơ.

Phương trình mô tả hoạt động của hệ thống như sau :

$$Q = D_m \cdot \Omega + \frac{V}{2 \cdot B} \cdot \frac{dp}{dt} + \lambda \cdot p \quad (6.13)$$

$$D_m \cdot p = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f \cdot \Omega \quad (6.14)$$

Phương trình Laplace :

$$Q(s) = D_m \cdot \Omega(s) + \frac{V}{2 \cdot B} \cdot s \cdot p(s) + \lambda \cdot p(s)$$

$$D_m \cdot p(s) = J \cdot s \cdot \Omega(s) + f \cdot \Omega(s) \quad (6.15)$$

$$Q(s) = K_V \cdot I(s) - K_0 \cdot p(s)$$

$$I(s) = K_A \cdot E(s) ; \quad E(s) = U(s) - K_C \cdot \Omega(s)$$

Suy ra :

$$Q(s) = D_m \cdot \Omega(s) + \left( \frac{V}{2B} \cdot s + \lambda \right) \left( \frac{J \cdot s + f}{D_m} \right) \cdot \Omega(s)$$

Hàm truyền :

$$\frac{\Omega(s)}{Q(s)} = \frac{(D_m^2 + \lambda \cdot f) / D_m}{1 + \frac{V \cdot f + 2B \cdot J \cdot \lambda}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} \cdot s + \frac{V \cdot J}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} \cdot s^2} \quad (6.16)$$

Nếu đặt :

$$K_V = \frac{D_m^2 + \lambda \cdot f}{D_m} ;$$

$$T_1 = \sqrt{\frac{V \cdot J}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)}} ; \quad T_2 = \frac{V \cdot f + 2B \cdot J \cdot \lambda}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} ; \quad (6.17)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{T_1} = \sqrt{\frac{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)}{V \cdot J}} ; \quad \zeta = \frac{T_2}{2 \cdot T_1} = \frac{1}{2} \frac{V \cdot f + 2B \cdot J \cdot \lambda}{\sqrt{2B \cdot V \cdot J \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)}}$$

thì :

$$\frac{\Omega(s)}{Q(s)} = \left( \frac{K}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1} \right) = \left( \frac{K}{T_1^2 \cdot s^2 + 2\zeta \cdot T_1 \cdot s + 1} \right) \quad (6.18)$$

và :

$$\frac{\Omega(s)}{E(s)} = \frac{K_\Omega}{\tau_1^2 \cdot s^2 + \tau_2 \cdot s + 1} \quad (6.19)$$

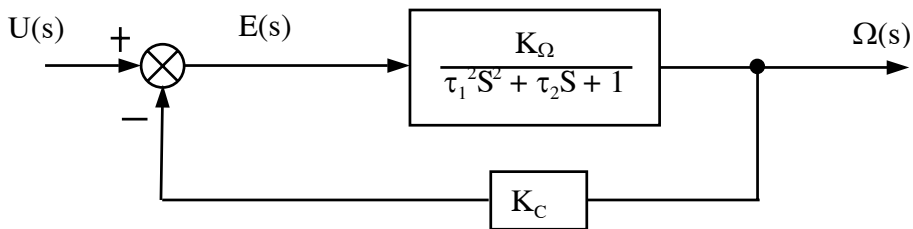
với :

$$K_\Omega = \frac{K_V \cdot K \cdot D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f} ;$$

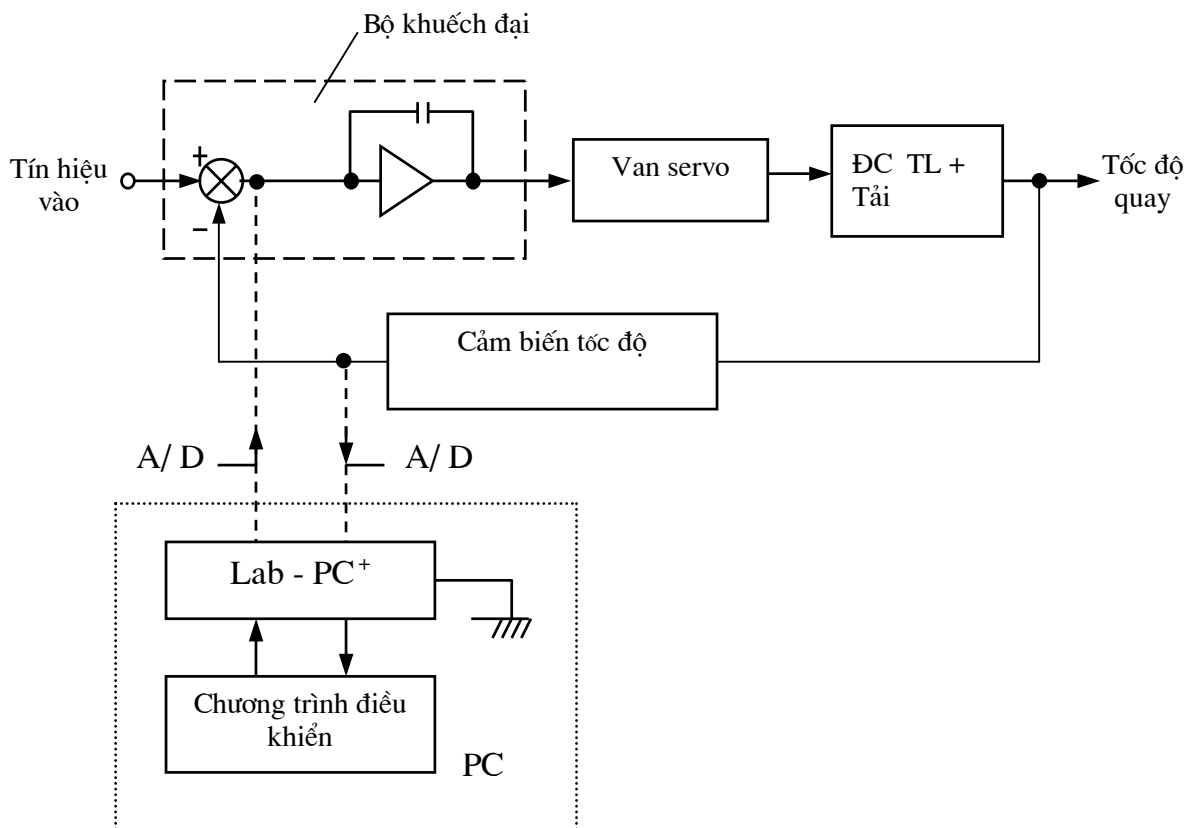
$$\tau_1 = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f}} = \sqrt{\frac{V \cdot J}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)} \cdot \frac{D_m}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f}} \quad (6.20)$$

$$\tau_2 = \frac{T_2 \cdot D_m + K \cdot K_0 \cdot J}{D_m + K \cdot K_0 \cdot f} = \frac{V \cdot f \cdot D_m + 2B \cdot J \cdot \lambda \cdot D_m + 2B \cdot K \cdot K_0 \cdot J \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f)}{2B \cdot (D_m^2 + \lambda \cdot f) \cdot (D_m + K \cdot K_0 \cdot f)}$$

Từ quan hệ giữa các bộ phận và hàm truyền của chúng, sơ đồ khối của hệ trên có thể rút gọn như ở hình 6.24.



Hình 6.24. Sơ đồ khối rút gọn của mạch điều khiển tốc độ



Hình 6.25. Sơ đồ khối nối ghép giữa các phần tử của mạch điều khiển tốc độ

Sơ đồ ở hình 6.25 thể hiện quan hệ về tín hiệu giữa các phần tử điều khiển và cơ cấu chấp hành. Bộ khuếch đại servo sử dụng điều khiển theo PI, carte giao tiếp để thực hiện điều khiển số là loại carte vận năng gắn trong máy tính hoặc bằng carte chuyên dùng.

Hệ số khuếch đại của hệ được tính theo công thức sau :

$$K_{V\Omega} = K_A \cdot K_V \cdot K_m \cdot K_C = K_{\Omega} \cdot K_C \quad , \quad (1/s) \quad (6.21)$$

Từ các kết quả trên tiến hành nghiên cứu các chỉ tiêu liên quan đến chất lượng điều khiển như đã giới thiệu trong các phần khác của giáo trình này.

Chương 7

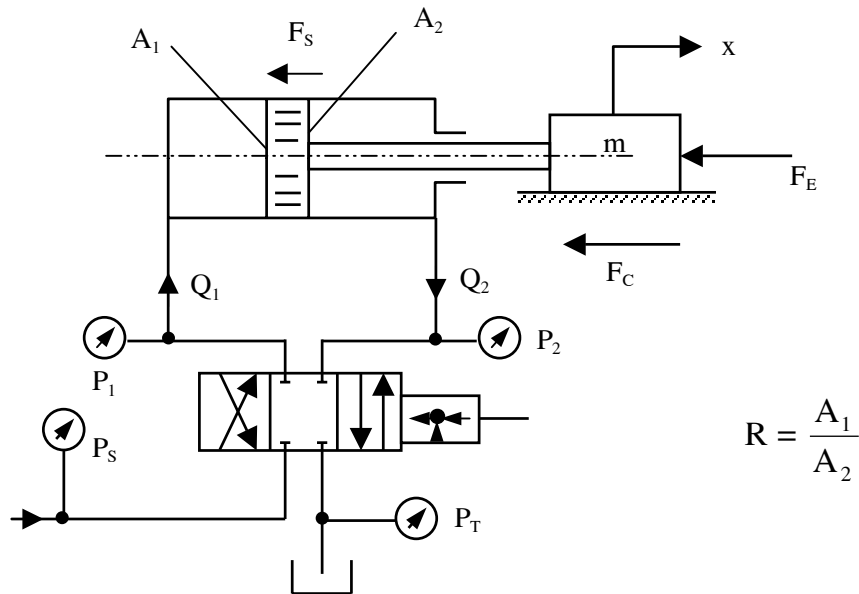
TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ CÁC MẠCH ĐIỀU KHIỂN  
TỰ ĐỘNG THỦY LỰC

7.1. TÍNH TOÁN ÁP SUẤT VÀ LƯU LƯỢNG

7.1.1. Hệ thủy lực thực hiện chuyển động tịnh tiến

Áp suất và lưu lượng dầu cung cấp cho xylanh thủy lực là hai đại lượng quan trọng đảm bảo cho hệ truyền được tải trọng, vận tốc hoặc vị trí cần thiết.

Để tính toán các đại lượng trên ta hãy phân tích sơ đồ trên hình 7.1.



$$R = \frac{A_1}{A_2}$$

Hình 7.1. Sơ đồ tính toán áp suất và lưu lượng của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến

- Lực quán tính :  $F_a = m.a$  (7.1)

$$F_a = \frac{W_L}{g}.a \text{ - theo hệ Anh}$$

- Lực ma sát :  $F_c = m.g.f$  (7.2)

$$F_c = W_L.f \text{ - theo hệ Anh}$$

- Lực ma sát trong xylanh  $F_s$  thường bằng 10% lực tổng cộng, nghĩa là :

$$F_s = 0,10.F$$
 (7.3)

- Lực do tải trọng ngoài  $F_E$ .

- Lực tổng cộng tác dụng lên pittông sẽ là :

$$F = \frac{m.a}{1000} + F_c + F_s + F_E \quad (\text{daN})$$
 (7.4)

hoặc theo hệ Anh :

$$F = \frac{W_L \cdot a}{32,2 \cdot 12} + F_c + F_s + F_E \quad (\text{lbf}) \quad (7.5)$$

Trong các công thức trên :

$m$  - khối lượng chuyển động, kg;

$W_L$  - trọng lực, (lbf);

$a$  - gia tốc chuyển động,  $\text{cm/s}^2$  (in/s<sup>2</sup>);

$F_c$  - lực ma sát của bộ phận chuyển động, daN (lbf);

$F_E$  - ngoại lực, daN (lbf);

$F_s$  - lực ma sát trong pittông-xylanh, daN (lbf).

Phương trình cân bằng pittông :

$$P_1 \cdot A_1 = P_2 \cdot A_2 + F \quad (7.6)$$

Đối với xylanh không đối xứng thì lưu lượng ra và vào không bằng nhau.

$$Q_1 = Q_2 \cdot R \text{ với } R = \frac{A_1}{A_2} \quad (7.7)$$

Độ sụt áp qua van sẽ tỷ lệ với bình phương hệ số diện tích  $R$ , nghĩa là :

$$P_s - P_1 = (P_2 - P_T) \cdot R^2 \quad (7.8)$$

trong đó :  $P_1$  và  $P_2$  - áp suất ở 2 buồng của xylanh;

$P_s$  - áp suất dầu cung cấp cho van;

$P_T$  - áp suất dầu ra khỏi van;

$A_1$  và  $A_2$  - diện tích hai phía của pittông.

Từ công thức (7.6) và (7.8) ta tìm được  $P_1$  và  $P_2$  như sau :

$$P_1 = \frac{P_s \cdot A_2 + R^2 (F + P_T \cdot A_2)}{A_2 \cdot (1 + R^3)} \quad (7.9)$$

$$P_2 = P_T + \frac{P_s - P_1}{R^2} \quad (7.10)$$

Lưu lượng dầu vào xylanh để pittông chuyển động với vận tốc cực đại là :

$$Q_L = v_{\max} \cdot A_1 \text{ , (cm}^3/\text{s)} \quad (7.11)$$

hoặc :

$$Q_L = \frac{v_{\max}}{16,7} \cdot A_1 \text{ , (l/p)} \quad (7.12)$$

Nếu tính theo hệ Anh thì :  $Q_L = v_{\max} \cdot A_1 \text{ , (in}^3/\text{s)}$

hoặc :  $Q_L = \frac{v_{\max}}{3,85} \cdot A_1 \text{ , (usgpm)}$

Lưu lượng dầu qua van ứng với độ sụt áp 35 bar (500 PSI) là :



$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{35}{P_S - P_1}} \quad , \quad (l/b) \quad (7.13)$$

Tính theo hệ Anh :

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{500}{P_S - P_1}} \quad , \quad (usgpm)$$

Với cách phân tích như trên khi pittông làm việc theo chiều ngược lại thì :

$$P_1 = P_T + (P_S - P_2) \cdot R^2 \quad (7.14)$$

$$P_2 = \frac{P_S \cdot A_2 \cdot R^3 + F + P_T \cdot A_2 \cdot R}{A_2 \cdot (1 + R^3)} \quad (7.15)$$

Và  $Q_R$  cũng xác định tương tự như công thức (7.13). Lưu lượng lớn nhất của một trong hai trường hợp trên sẽ được dùng để chọn van.

Bài toán trên cũng ứng dụng cho xy lanh có kết cấu đối xứng ( $A_1 = A_2$ ) và tải trọng âm.

*Ví dụ 7.1:*

Cho hệ thống thủy lực chuyển động tịnh tiến có sơ đồ như trên hình 7.2. Hãy xác định lưu lượng cung cấp của van.

Xét hành trình dương ( $x^+$ ) ta có :

Lực tổng cộng tác dụng lên pittông là :

$$F = \frac{m \cdot a}{1000} + F_C + F_S + F_E \quad (7.16)$$

Với :  $a = 16 \text{ m/s}^2 = 1600 \text{ cm/s}^2$

$$F_C = m \cdot g \cdot f = 1200 \times 9,81 \times 0,32 = 3767 \text{ N} \approx 3767 \text{ daN}$$

$$F_E = 17500 \text{ N} = 1750 \text{ daN}$$

Thay các số liệu vào công thức (7.16) ta được :

$$F = \frac{1200 \times 1600}{1000} + 377 + 1750 + F_S$$

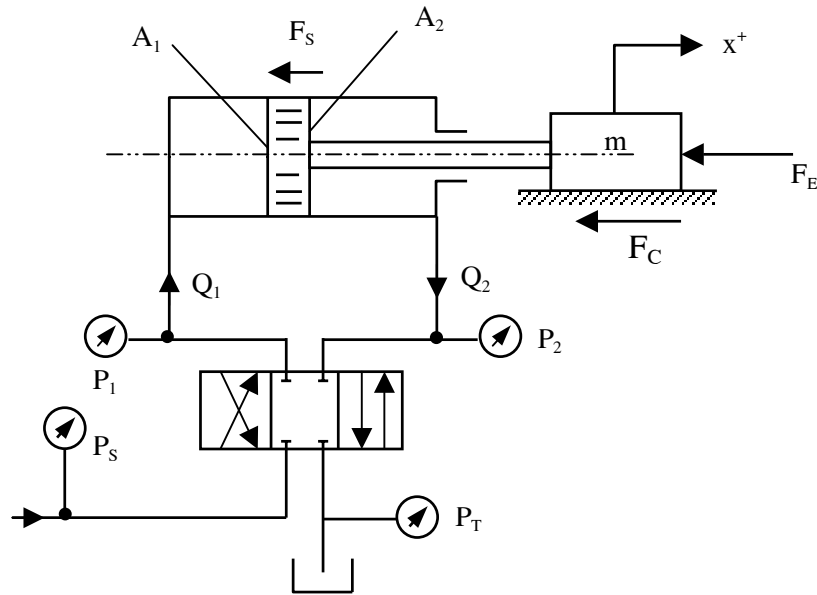
$$A_1 = 53,5 \text{ cm}^2 \quad (8,3 \text{ in}^2) \quad ; \quad A_2 = 38,1 \text{ cm}^2 \quad (5,9 \text{ in}^2) \quad ;$$

$$P_S = 210 \text{ bar} \quad (3000 \text{ PSI}) \quad ; \quad P_T = 5,25 \text{ bar} \quad (75 \text{ PSI}) \quad ;$$

$$F_E = 17500 \text{ N} \quad (3930 \text{ lbf}) \quad ; \quad m = 1200 \text{ kg} \quad (W_L = 2645 \text{ lbf}) \quad ;$$

$$a = 16 \text{ m/s}^2 \quad (52,5 \text{ fl/s}^2) \quad ; \quad V_{\max} = 30 \text{ cm/s} \quad (12 \text{ in/s}) \quad ;$$

$$F = 4045 + F_S \quad (7.17)$$



Hình 7.2. Sơ đồ ví dụ về tính áp suất và lưu lượng của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến

Gần đúng lấy  $F_s \approx 10\% \times 4045 = 0,10 \times 4045 = 405 \text{ daN}$  và thay  $F_s$  vào công thức (7.17) ta có :

$$F = 4045 + 405 = 4450 \text{ daN}$$

Xác định áp suất  $P_1$  và  $P_2$  như sau :

$$P_1 = \frac{P_s \cdot A_2 + R^2 (F + P_T \cdot A_2)}{A_2 (1 + R^3)} ; \quad R = \frac{A_1}{A_2} = \frac{53,5}{38,1} = 1,4$$

$$P_1 = \frac{210 \times 38,1 + 1,4^2 (4450 + 5,25 \times 38,1)}{38,1 (1 + 1,4^3)} = 120 \text{ bar}$$

$$P_2 = P_T + \frac{P_s - P_1}{R^2} = 5,25 + \frac{210 - 120}{1,4^2} = 51 \text{ bar}$$

Xác định lưu lượng  $Q_L$  và  $Q_R$  như sau :

$$Q_L = \frac{v_{\max} \cdot A_1}{16,7} = \frac{30 \times 53,5}{16,7} = 96 \text{ l/p}$$

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{35}{P_s - P_1}} = 96 \cdot \sqrt{\frac{35}{210 - 120}} = 60 \text{ l/p}$$

Xét hành trình âm ( $x$ ), tức là pittông chuyển động theo chiều ngược lại và giả thiết là  $v_{\max}$ ,  $a$ ,  $F_E$  có giá trị như bài toán trên nhưng có chiều ngược lại. Lực tổng cộng  $F$  tính ra cũng sẽ bằng 4450 daN. Áp suất  $P_1$ ,  $P_2$  và lưu lượng  $Q_L$ ,  $Q_R$  là :

$$P_2 = \frac{P_S \cdot A_2 \cdot R^3 + F + P_T \cdot A_2 \cdot R}{A_2 \cdot (1 + R^3)}$$

$$= \frac{210 \times 38,1 \times 1,4^3 + 4450 + 5,25 \times 38,1 \times 1,4}{38,1(1 + 1,4^3)} = 187 \text{ bar}$$

$$P_1 = P_T + (P_S - P_2) \cdot R^2 = 5,25 + (210 - 187) \cdot 1,4^2 = 50 \text{ bar}$$

$$Q_L = \frac{v_{\max} \cdot A_1}{16,7} = \frac{30 \cdot 38,1}{16,7} = 68 \text{ l/p}$$

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{35}{P_S - P_2}} = 68 \cdot \sqrt{\frac{35}{210 - 187}} = 84 \text{ l/p}$$

Như vậy khi chọn van cần quan tâm hai yếu tố quan trọng là khả năng chịu áp suất và lưu lượng qua van, nghĩa là phải đảm bảo được  $P \geq 187 \text{ bar}$  và  $Q_R \geq 84 \text{ l/p}$ .

Bài toán trên nếu tính theo hệ Anh sẽ cho các giá trị sau :

$$F = \frac{W_L \cdot a}{386} + F_C + F_E + F_S \quad (\text{lbf})$$

trong đó :  $a = 52,5 \text{ ft/s}^2 = 630 \text{ in/s}^2$

$$F_C = W_L \cdot f = 2645 \times 0,32 = 846 \text{ lbf}$$

$$F_E = 3930 \text{ lbf}$$

$$F = \frac{26450 \times 630}{386} + 846 + 3930 + F_S = 9093 + F_S$$

với :  $F_S \approx 0,10 \times 9093 \approx 909 \text{ lbf}$  thì  $F = 9093 + 909 \approx 10.000 \text{ lbf}$

$$P_1 = \frac{P_S \cdot A_2 + R^2(F + P_T \cdot A_2)}{A_2(1 + R^3)} \quad (\text{PSI})$$

$$= \frac{3000 \cdot 5,9 + 1,4^2(10.000 + 75 \cdot 5,9)}{5,9(1 + 1,4^3)} = 1728 \text{ PSI}$$

$$P_2 = P_T + \left( \frac{P_S - P_1}{R^2} \right) = 75 + \left( \frac{3000 - 1728}{1,4^2} \right) = 724 \text{ PSI}$$

$$Q_L = \frac{v_{\max} \cdot A_1}{3,85} \text{ (usgpm)} = \frac{12 \times 8,3}{3,85} = 26 \text{ usgpm}$$

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{500}{P_S - P_1}} = 26 \cdot \sqrt{\frac{500}{3000 - 1728}} = 16 \text{ usgpm}$$

Trường hợp pittông làm việc theo chiều ngược lại và với các giả thiết như tính theo hệ mét, ta có :

$$P_2 = \frac{P_2 \cdot A_2 \cdot R^3 + F + P_T \cdot A_2 \cdot R}{A_2 \cdot (1 + R^3)} \quad (\text{PSI})$$

$$= \frac{3000 \times 5,9 \cdot 1,4^3 + 10000 + 75 \times 5,9 \times 1,4}{5,9 \cdot (1 + 1,4^3)} = 2678 \text{ PSI}$$

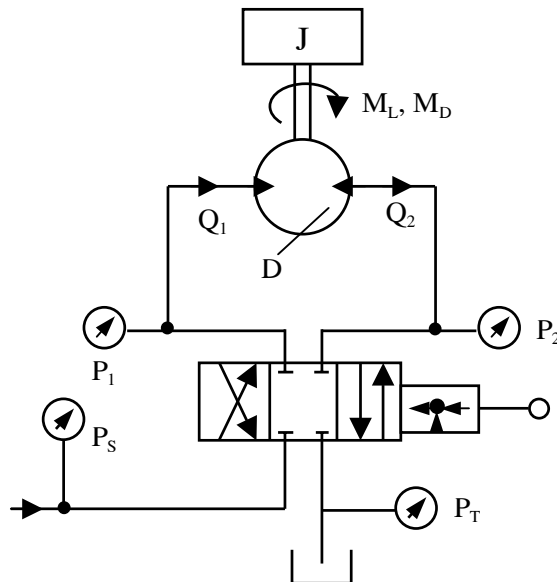
$$P_1 = P_T + (P_S - P_2) \cdot R^2 \quad (\text{PSI})$$

$$= 75 + (3000 - 2678) \cdot 1,4^2 = 706 \text{ PSI}$$

$$Q_L = \frac{V_{\max} \cdot A_2}{3,85} \quad (\text{usgpm}) = \frac{12 \times 5,9}{3,85} = 18 \text{ usgpm}$$

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{500}{P_S - P_2}} \quad (\text{usgpm}) = 18 \cdot \sqrt{\frac{500}{3000 - 2678}} = 22 \text{ usgpm}$$

### 7.1.2. Hệ thủy lực thực hiện chuyển động quay



Hình 7.3. Sơ đồ tính toán áp suất và lưu lượng của hệ thủy lực chuyển động quay

Hệ thủy lực thực hiện chuyển động quay (hình 7.3) cũng được phân tích như hệ chuyển động thẳng.

Mômen xoắn tác động lên trục động cơ dầu bao gồm :

- Mômen do quán tính :  $M_a = j \cdot \alpha$  , N.m (lbf.in) (7.17)

J - mômen quán tính khối lượng trên trục động cơ dầu, (Nms<sup>2</sup>), (inlbs<sup>2</sup>).

$\alpha$  - gia tốc góc của trục động cơ dầu, (rad/s<sup>2</sup>).

- Mômen do ma sát nhớt trên trục động cơ dầu  $M_D$  , (Nm), (lbf.in).

- Mômen do tải trọng ngoài  $M_L$  , (Nm), (lbf.in).

- Mômen xoắn tổng cộng sẽ là :

$$M = J. \alpha + M_D + M_L \quad , \quad \text{Nm (lbf.in)} \quad (7.18)$$

Theo phương pháp tính toán như hệ chuyển động thẳng, áp suất  $P_1$  và  $P_2$  trong hệ chuyển động quay được xác định theo công thức sau :

$$P_1 = \left( \frac{P_S + P_T}{2} \right) + \left( \frac{10 \cdot \pi \cdot M}{D} \right) \quad , \quad \text{bar} \quad (7.19)$$

$$P_2 = P_S - P_1 + P_T \quad , \quad \text{bar} \quad (7.20)$$

Nếu tính theo hệ Anh thì :

$$P_1 = \left( \frac{P_S + P_T}{2} \right) + \left( \frac{\pi \cdot M}{D} \right) \quad , \quad (\text{PSI})$$

$$P_2 = P_S - P_1 + P_T \quad , \quad (\text{PSI})$$

Lưu lượng để làm quay trục động cơ dầu với vận tốc  $n_m$  là :

$$Q_L = \frac{n_m \cdot D}{1000} \quad , \quad \text{l/p} \quad (7.21)$$

Theo hệ Anh :  $Q_L = \frac{n_m \cdot D}{231} \quad , \quad (\text{usgpm})$

trong đó :  $n_m$  - số vòng quay lớn nhất của trục động cơ dầu, v/p;

$D$  - thể tích riêng của động cơ dầu,  $\text{cm}^3/\text{vg}$  ( $\text{in}^3/\text{vg}$ ).

Lưu lượng cung cấp của van được xác định là :

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{35}{P_S - P_1}} \quad , \quad \text{l/p} \quad (7.22)$$

Theo hệ Anh :  $Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{500}{P_S - P_1}} \quad , \quad (\text{usgpm})$

Trường hợp mômen xoắn tác động theo cả hai chiều thì chiều ngược lại cũng được tính tương tự như trên và lấy giá trị lớn nhất  $Q_R$  để chọn van.

*Ví dụ 7.2:*

Xác định lưu lượng cung cấp của van cho hệ thủy lực chuyển động quay có sơ đồ như trên hình 7.4.

Dựa vào các công thức tính toán đối với hệ chuyển động quay như đã trình bày ở trên ta xác định như sau :

$$M_a = J. \alpha = 0,2 \times 100 = 20 \quad \text{Nm}$$

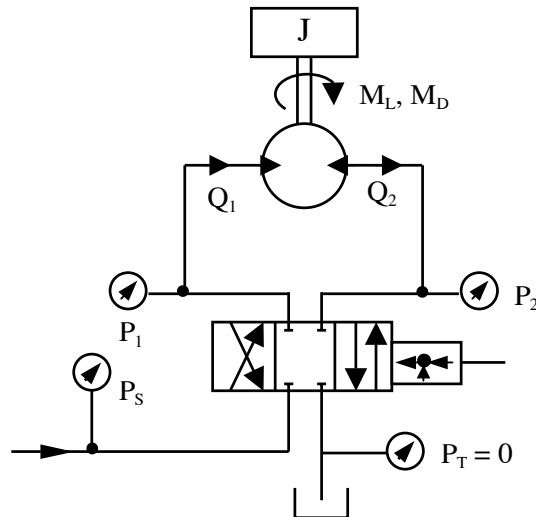
$$M = M_a + M_L + M_D = 20 + 30 + 6,5 = 56,5 \quad \text{Nm}$$

$$P_1 = \left( \frac{P_s + P_T}{2} \right) + \left( \frac{10 \cdot \pi \cdot M}{D} \right) = \frac{210 + 0}{2} + \frac{10 \cdot \pi \cdot 56,5}{82} = 127 \text{ bar}$$

$$P_2 = P_s - P_1 + P_T = 210 - 127 + 0 = 83 \text{ bar}$$

$$Q_L = \frac{n_m \cdot D}{1000} = \frac{95 \cdot 82}{1000} = 7,8 \text{ l/p}$$

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{35}{P_s - P_1}} = 7,8 \cdot \sqrt{\frac{35}{210 - 127}} = 50 \text{ l/p}$$



Hình 7.4. Sơ đồ ví dụ về tính toán áp suất và lưu lượng của hệ thủy lực chuyển động quay

Các số liệu của sơ đồ trên hình 7.4 là :

$$n_m = 95 \text{ v/p} ; \alpha = 100 \text{ rad/s}^2;$$

$$J = 0,2 \text{ N.m.s}^2 \text{ (1,77 lbfins}^2\text{)};$$

$$M_L = 30 \text{ N.m (266 lbfins)} ; M_D = 6,5 \text{ N.m (58 lbfins)};$$

$$D = 82 \text{ cm}^3/\text{vg} \text{ (5 in}^3/\text{vg)} ; P_s = 210 \text{ bar (3000 PSI)};$$

$$P_T = 0.$$

Tính theo hệ Anh :  $M_a = J \cdot \alpha = 1,77 \cdot 100 = 177 \text{ lbfins}$

$$M = M_a + M_L + M_D = 177 + 266 + 58 = 501 \text{ lbfins}$$

$$P_1 = \left( \frac{P_s + P_T}{2} \right) + \left( \frac{\pi \cdot M}{D} \right) = \frac{3000 + 0}{2} + \frac{3,14 \cdot 501}{5} = 1815 \text{ PSI}$$

$$P_2 = P_s - P_1 + P_T = 3000 - 1815 + 0 = 1185 \text{ PSI}$$

$$Q_L = \frac{n_m \cdot D}{231} = \frac{95 \cdot 5}{231} = 2,1 \text{ usgpm}$$

$$Q_R = Q_L \cdot \sqrt{\frac{500}{P_S - P_1}} = 2,1 \times \sqrt{\frac{500}{3000 - 1815}} = 1,4 \text{ usgpm}$$

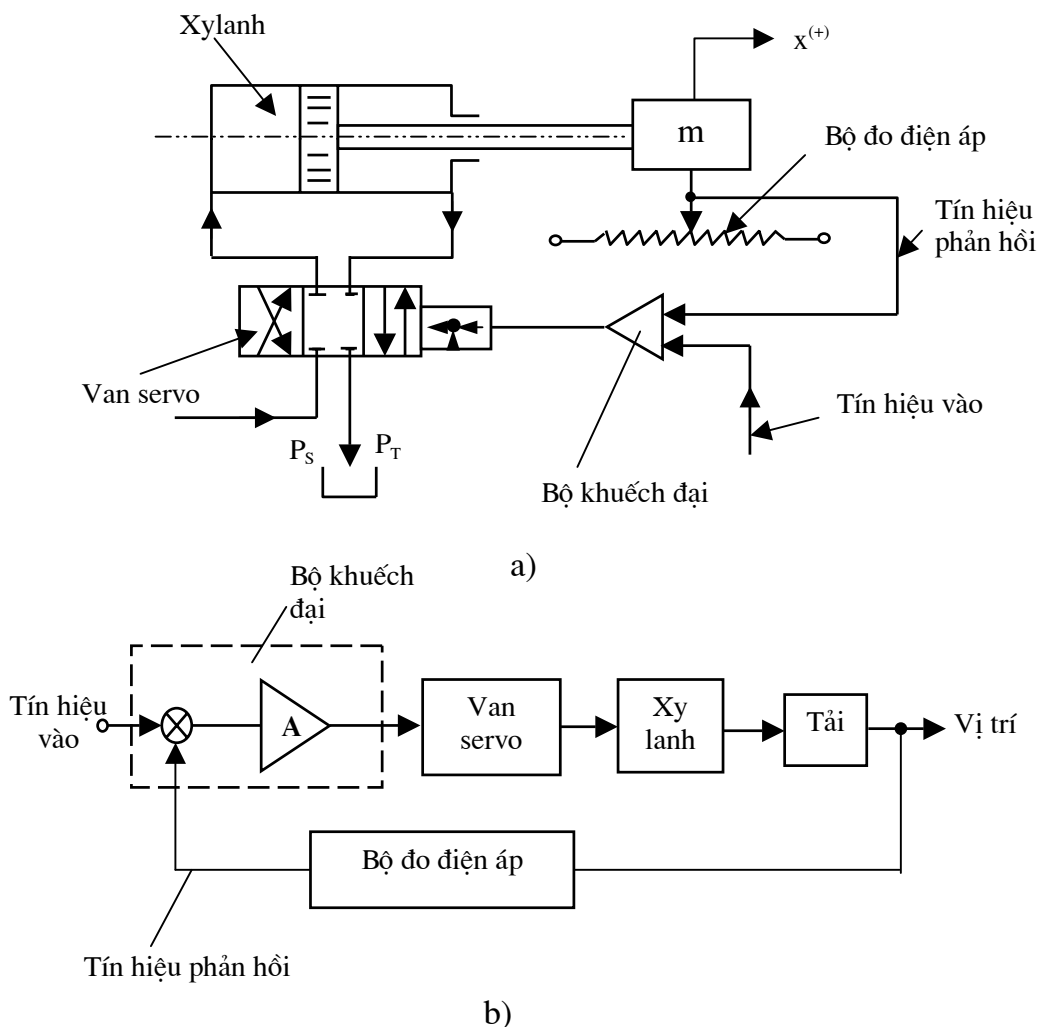
## 7.2. HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI VÀ ĐÁP ỨNG CỦA HỆ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

### THỦY LỰC

Chương 4 đã giới thiệu những vấn đề cơ bản của mạch điều khiển tự động thủy lực. Phần này trình bày các tính toán cần thiết về hệ số khuếch đại, thời gian đáp ứng và quan hệ giữa chúng với tần số riêng.

#### 7.2.1. Hệ số khuếch đại $K_V$ của hệ thống

Một thông số quan trọng của mạch điều khiển hệ kín là hệ số khuếch đại  $K_V$ . Thực chất  $K_V$  là hàm truyền của hệ ở chế độ xác lập. Nghiên cứu sơ đồ điều khiển vị trí hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến trên hình 7.5 ta có :



Hình 7.5. Sơ đồ mạch điều khiển vị trí hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến

a- Sơ đồ nguyên lý; b- Sơ đồ chức năng.

- Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại  $G_A$  là tỷ số giữa tín hiệu dòng điện ra và điện áp vào, mA/V.

- Hệ số khuếch đại của van servo  $G_{SV}$  là tỷ số giữa lưu lượng ra và dòng điện vào, (cm<sup>3</sup>/s)/mA.[theo hệ Anh (in<sup>3</sup>/s)/mA].

- Hệ số khuếch đại của xylanh  $G_X$  là tỷ số giữa vận tốc của pittông và lưu lượng vào xylanh :

$$(cm/s)/(cm^3/s) = \frac{1}{cm^2} \text{ (hoặc } \frac{1}{in^2} \text{)}$$

- Hệ số khuếch đại phản hồi  $H_X$  của cảm biến vị trí kiểu đo điện áp là tỷ số giữa tín hiệu điện áp phản hồi đo được và độ dịch chuyển của pittông, V/cm (hoặc V/in).

Hệ số khuếch đại  $K_V$  là :

$$K_V = G_A \cdot G_{SV} \cdot G_X \cdot H_X \quad (7.23)$$

Thứ nguyên theo hệ mét :

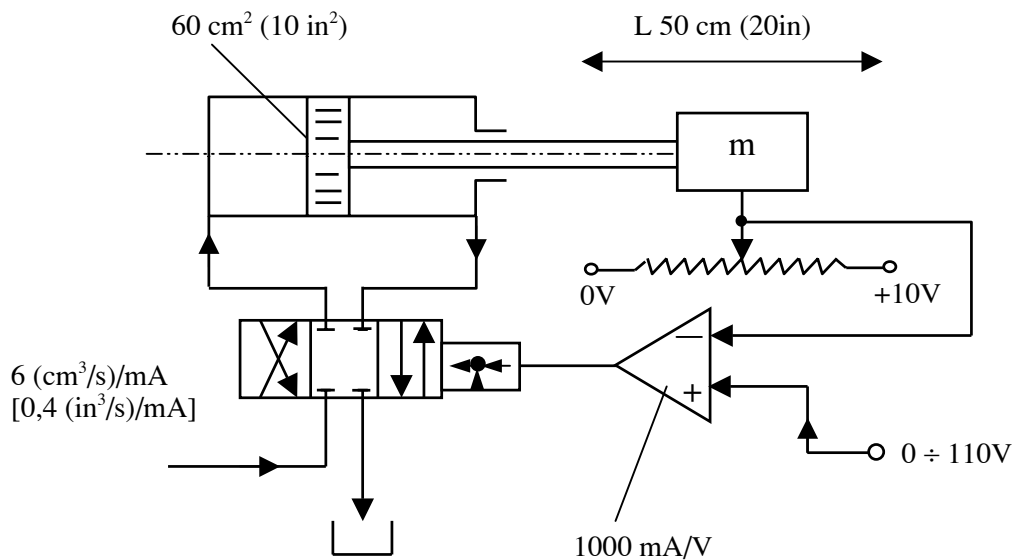
$$K_V = \frac{mA}{v} \cdot \frac{cm^3/s}{mA} \cdot \frac{1}{cm^2} \cdot \frac{V}{cm} = \frac{1}{s} = s^{-1} \quad (7.24)$$

Thứ nguyên theo hệ Anh :

$$K_V = \frac{mA}{v} \cdot \frac{in^3/s}{mA} \cdot \frac{1}{in^2} \cdot \frac{V}{in} = \frac{1}{s} = s^{-1}$$

Ví dụ 7.3:

Xác định hệ số khuếch đại  $K_V$  của mạch điều khiển vị trí hình 7.6.



Hình 7.6. Sơ đồ ví dụ về tính hệ số khuếch đại  $K_V$  của hệ thủy lực điều khiển vị trí chuyển động tịnh tiến



Theo công thức :  $K_V = G_A \cdot G_{SV} \cdot G_X \cdot H_X$

trong đó :  $G_A = 1000 \text{ mA/V}$

$$G_{SV} = 6 \text{ (cm}^3\text{/s)/mA}$$

$$G_X = \frac{1}{A} = \frac{1}{60} = 0,0167 \frac{1}{\text{cm}^2}$$

$$H_X = \frac{10^V}{50^{\text{cm}}} = 0,2 \text{ V/cm}$$

thì :  $K_V = 1000 \times 6 \times 0,0167 \times 0,2 = 20 \text{ s}^{-1}$

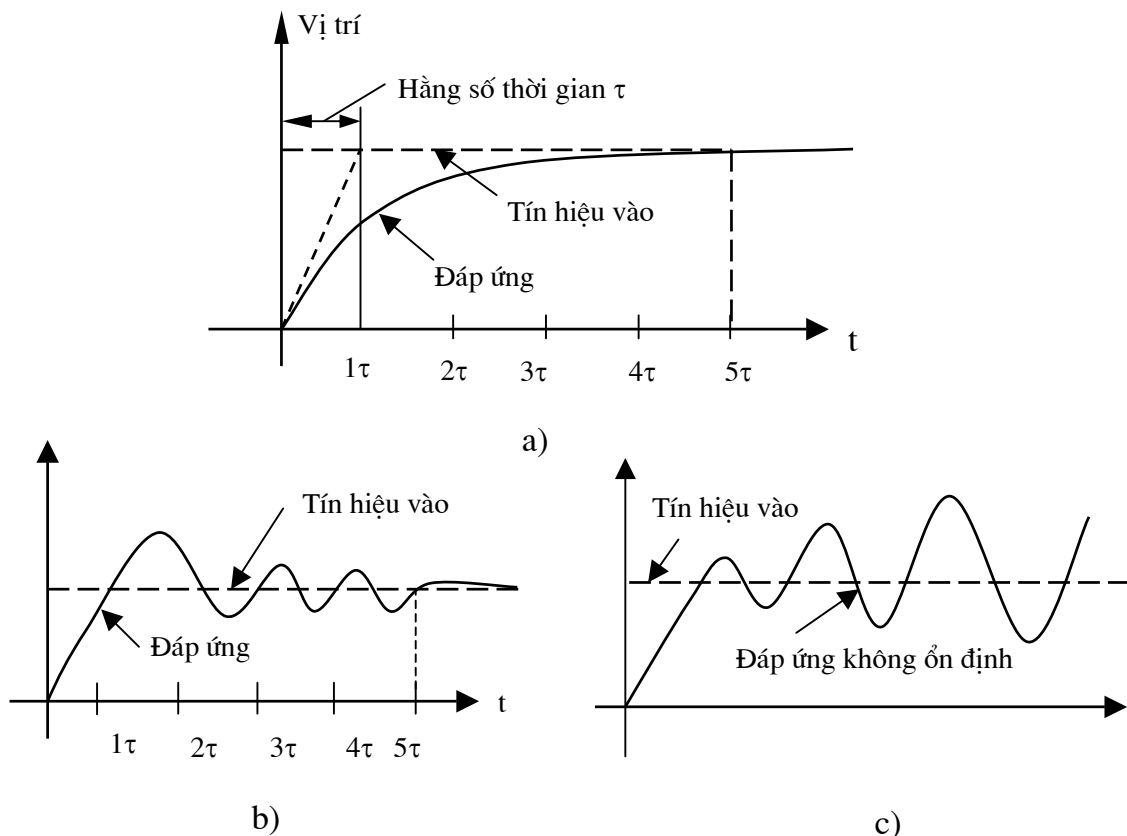
Theo hệ Anh :  $G_A = 1000 \text{ mA/V}$  ;  $G_{SV} = 0,4 \text{ (in}^3\text{/s)/mA}$

$$G_X = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ 1/in}^2 \text{ ; } H_X = \frac{10^V}{20^{\text{in}}} = 0,5 \text{ V/in}$$

thì :  $K_V = 1000 \times 0,4 \times 0,1 \times 0,5 = 20 \text{ s}^{-1}$ .

### 7.2.2. Thời gian đáp ứng của hệ điều khiển

Cũng ví dụ về điều khiển vị trí, khi tín hiệu vào là hàm step thì đáp ứng của hệ có thể thay đổi theo hàm mũ như ở hình 7.7a.



Hình 7.7. Đáp ứng của hệ với các chế độ khác nhau

a- Đáp ứng thay đổi theo hàm mũ; b - Đáp ứng dao động tắt dần;

c - Đáp ứng dao động tăng dần, không ổn định.

Đường tiếp tuyến của đáp ứng tại điểm xuất phát cắt đường tín hiệu điều khiển sẽ cho ta khoảng thời gian  $\tau$  và  $\tau$  được gọi là hằng số thời gian.

$$\tau = \frac{\text{Khoảng cách di chuyển} \left( \frac{x_0}{v_0} \right)}{\text{Vận tốc ban đầu}}; \quad \frac{\text{cm}}{\text{cm/s}} = \text{s} \quad (7.25)$$

Đáp ứng sẽ đạt đến giá trị điều khiển sau khoảng thời gian là  $5\tau$ .

Ta biết rằng khoảng di chuyển  $x_0$  bằng tín hiệu điện áp phản hồi chia cho hệ số khuếch đại phản hồi, nghĩa là :

$$x_0 = \frac{u}{H_x} \left[ \frac{v}{(v/\text{cm})} = \text{cm} \right] \quad (7.26)$$

$$\text{Vận tốc ban đầu} : v_0 = u \cdot G_A \cdot G_{SV} \cdot \frac{1}{A} \quad (7.27)$$

$$\text{Nên} \quad \tau = \frac{u/H_x}{u \cdot G_A \cdot G_{SV} \cdot \frac{1}{A}} = \frac{1}{G_A \cdot G_{SV} \cdot \frac{1}{A} \cdot H_x} = \frac{1}{K_V}, \quad (\text{s}) \quad (7.28)$$

Theo (7.28) thì hằng số thời gian  $\tau$  bằng nghịch đảo của hệ số khuếch đại  $K_V$ , nghĩa là khi tăng hệ số khuếch đại  $K_V$  thì thời gian đáp ứng sẽ ngắn. Tuy nhiên nếu  $K_V$  tăng quá lớn thì vận tốc chuyển động của pittông sẽ lớn, dẫn đến ảnh hưởng của lực quán tính sẽ đáng kể và có thể làm cho pittông chuyển động vượt quá vị trí yêu cầu. Độ vượt quá sẽ giảm dần đến vị trí yêu cầu nếu hệ ổn định (hình 7.7b). Nếu  $K_V$  quá cao và không phù hợp với các điều kiện khác thì hệ có thể không ổn định (hình 7.7c).

Để hệ ổn định và có thời gian đáp ứng nhanh, cần quan tâm các yếu tố sau :

- Khối lượng  $m$ ;
- Độ cứng thủy lực  $C_H$ ;
- Hệ số tắt dần  $\xi$ .

Trong các yếu tố trên, hệ số tắt dần  $\xi$  liên quan với ma sát cơ học, sự rò dầu trong buồng làm việc của xy lanh. Các yếu tố này khó xác định được chính xác và nó có thể thay đổi trong quá trình máy hoạt động nên theo kinh nghiệm lấy  $\xi \approx 0,05 \div 0,3$ .

Khối lượng  $m$  và độ cứng thủy lực  $C_H$  liên quan đến tần số dao động riêng  $\omega_n$  của cụm xy lanh - tải trọng và xác định là :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{m}} \quad (7.29)$$

Trong tính toán thiết kế thì tần số riêng của hệ thống  $\omega_s$  có thể được xác định từ tần số dao động riêng của cụm xy lanh- tải  $\omega_n$ . Để hệ làm việc ổn định thì  $K_V < 2\xi\omega_s$ . Tuy nhiên khi  $K_V < 2\xi\omega_s$  thì thời gian đáp ứng sẽ lâu nên người ta chọn :

$$K_V^{\max} < \xi\omega_s \quad (7.30)$$

Thực tế, tần số riêng của van  $\omega_v$  cũng ảnh hưởng đến tần số riêng của hệ  $\omega_s$ . Tần số của bộ khuếch đại và cảm biến thường có giá trị rất lớn nên ít ảnh hưởng đến tần số riêng của hệ và có thể bỏ qua.

Vì vậy để có hệ số khuếch đại phù hợp ta xét ba trường hợp sau :

- Trường hợp A : Nếu  $\omega_v > 3\omega_n$  thì chọn  $\omega_s = \omega_n$  và  $\xi = 0,2$

$$K_v^{\max} = \xi \omega_s = 0,2 \omega_s \quad , \quad (s^{-1}) \quad (7.31)$$

- Trường hợp B : Nếu  $3\omega_n > \omega_v > 0,3\omega_n$  thì chọn :

$$\omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} \quad \text{và} \quad \xi = 0,2$$

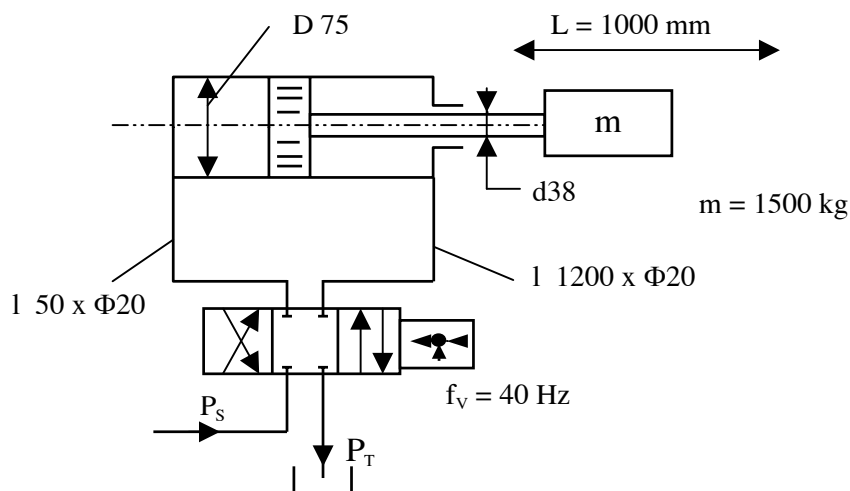
$$K_v^{\max} = 0,2 \cdot \left( \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} \right) \quad , \quad (s^{-1}) \quad (7.32)$$

- Trường hợp C : Nếu  $\omega_n > 3\omega_v$  thì chọn :  $\omega_s = \omega_v$  và  $\xi = 0,4$

$$K_v^{\max} = 0,4 \cdot \omega_s \quad , \quad (s^{-1}) \quad (7.33)$$

Ví dụ 7.5:

Xác định hệ số khuếch đại lớn nhất ( $K_v^{\max}$ ) của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến ở hình 7.8. Cho tần số riêng của van  $f_v = 40$  Hz.



Hình 7.8. Sơ đồ ví dụ xác định hệ số khuếch đại của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến

Theo ví dụ 2.9.3 ở hình 2.16, tần số riêng  $\omega_n = 115$  rad/s. Tần số riêng của van theo hình 7.8 là :

$$\omega_v = 2 \cdot \pi \cdot 40 = 251 \text{ rad/s}$$

So sánh  $\omega_v$  và  $\omega_n$  ta thấy  $\omega_v < 3\omega_n$  nên tần số riêng của hệ xác định theo công thức :

$$\omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} = \frac{115 \cdot 251}{115 + 251} = 78,9 \text{ rad/s}$$

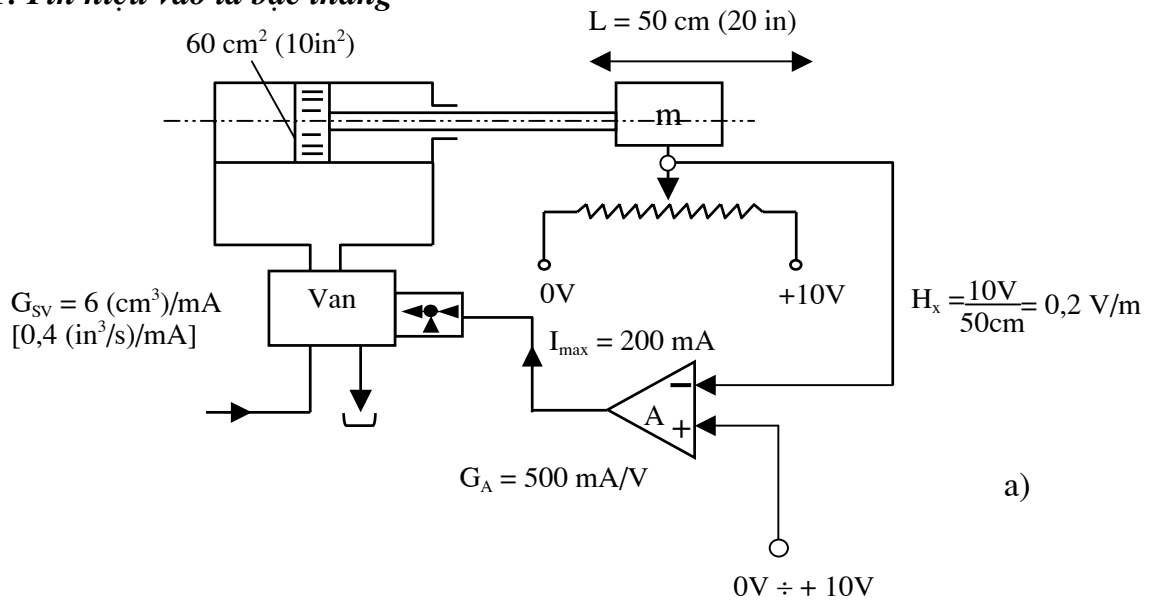
Hệ số khuếch đại sẽ là :  $K_v^{\max} = 0,2 \cdot \omega_s = 0,2 \cdot 78,9 = 16 \text{ s}^{-1}$

## 7.3. TÍNH TOÁN SAI SỐ ĐIỀU KHIỂN CỦA HỆ

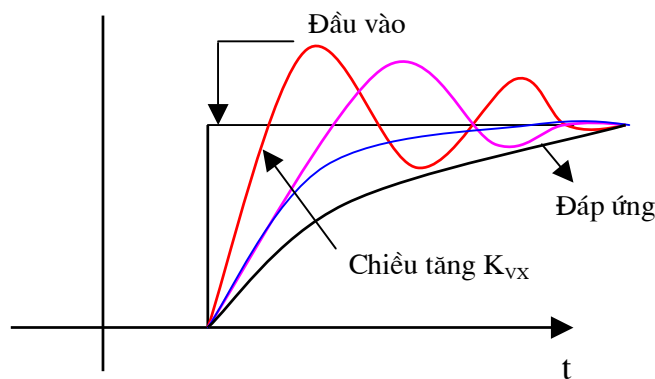
### 7.3.1. Hệ thủy lực điều khiển vị trí

Chương 6 đã giới thiệu về các phương pháp điều khiển vị trí, vận tốc và tải trọng nên phần này chú trọng đến phương pháp tính toán các thông số cần thiết và sai số của hệ điều khiển.

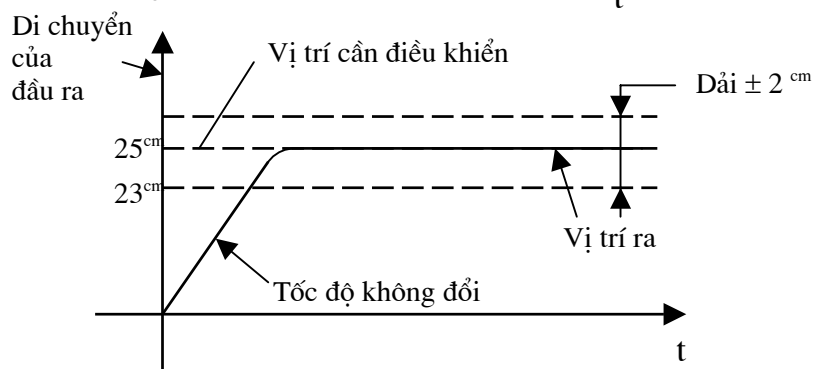
#### 1. Tín hiệu vào là bậc thang



a)



b)



c)

Hình 7.9. Sơ đồ ví dụ và đặc tính của điều khiển vị trí

a- Sơ đồ ví dụ; b- Đáp ứng thể hiện ảnh hưởng của  $K_{vx}$ ;

c - Đáp ứng biểu diễn dải sai số điều khiển.

Như đã giới thiệu ở mục 7.3 với tín hiệu vào bậc thang, khi tăng  $K_{vX}$  thì đáp ứng của hệ sẽ thay đổi như trên hình 7.9b.

Để hiểu được các tính toán cần thiết đối với hệ điều khiển vị trí chuyển động thẳng, ta nghiên cứu ví dụ sau đây.

*Ví dụ 7.6:*

Xác định các thông số và thời gian đáp ứng của hệ điều khiển vị trí hình 7.9a khi tín hiệu điều khiển là 5 V.

$$G_A = \frac{\text{Đầu ra của A}}{\text{Đầu vào của A}} \rightarrow \text{Đầu vào của A} = \frac{\text{Đầu ra của A}}{G_A} \quad (7.34)$$

Cụ thể đầu vào của  $A = \frac{200 \text{ mA}}{500 \text{ mA/V}} = 0,4 \text{ Vôn}$

Đầu vào 10 vôn tương ứng với hành trình 50 cm thì khi đầu vào 0,4 vôn sẽ tương ứng với hành trình :

$$0,4 \text{ V} \cdot \frac{50 \text{ cm}}{10 \text{ V}} = 2 \text{ cm}$$

Và nếu tín hiệu vào 5 V sẽ tương ứng với hành trình là :  $5 \text{ V} \cdot \frac{50 \text{ cm}}{10 \text{ V}} = 25 \text{ cm}$

Trong khoảng di chuyển 25 cm sẽ có  $25 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 23 \text{ cm}$  pittông di chuyển với vận tốc cực đại và sau đó giảm tốc để dừng trong khoảng cuối hành trình với 2 cm còn lại.

Khi tính thời gian đáp ứng cần tính hai khoảng thời gian, đó là thời gian chuyển động với vận tốc cực đại để thực hiện hành trình 23 cm và thời gian  $\approx 5\tau$  để thực hiện hành trình 2 cm (có thể có dao động tắt dần).

Khoảng  $\pm 2 \text{ cm}$  để duy trì chuyển động tắt dần trong thời gian  $\approx 5\tau$  gọi là dải tỷ lệ (hình 7.9c).

$$G_{sv} = \frac{Q_L}{I}$$

$$Q_L = 6 \cdot \left( \frac{\text{cm}^3 / \text{s}}{\text{mA}} \right) \cdot 200 \text{ (mA)} = 1200 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

$$v_{\text{max}} = \frac{Q_L}{A_1} = \frac{1200 (\text{cm}^3 / \text{s})}{60 (\text{cm}^2)} = 20 \text{ cm/s}$$

Khi hành trình 23 cm chuyển động với vận tốc là 20 cm/s thì mất hết thời gian là :

$$t = \frac{23}{20} = 1,15 \text{ s}$$

Hệ số khuếch đại  $K_v$  :

$$K_{vX} = G_A \cdot G_{SV} \cdot G_X \cdot H_X = 500 \left( \frac{\text{mA}}{\text{v}} \right) \cdot 6 \left( \frac{\text{cm}^3/\text{s}}{\text{mA}} \right) \cdot \frac{1}{60} \left( \frac{1}{\text{cm}^2} \right) \cdot 0,2 \left( \frac{\text{v}}{\text{cm}} \right) = 10 \text{ s}^{-1}$$

Hằng số thời gian :  $\tau = \frac{1}{K_{vX}} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ s}$

Vậy thời gian thực hiện toàn bộ hành trình 25 cm ứng với tín hiệu vào 5 vôn là :

$$T = t + 5\tau = 1,15 + 5 \times 0,1 = 1,65 \text{ s}$$

Đầu vào tính theo hệ Anh :

$$A = \frac{200}{500} = 0,4 \text{ vôn}$$

Cứ 10 V sẽ tương ứng với 20 in di chuyển thì 0,4 V sẽ tương ứng  $0,4 \times \frac{20}{10} = 0,8 \text{ in}$  di chuyển và dải tỷ lệ là :  $\pm 0,8 \text{ in}$

Khi tín hiệu điều khiển là 5 vôn sẽ tương ứng với hành trình di chuyển là :

$$5 \times \frac{20}{10} = 10 \text{ in}$$

Khoảng hành trình di chuyển với vận tốc cực đại là :  $10 - 0,8 = 9,2 \text{ in}$

$$G_{SV} = \frac{Q_L}{I} \rightarrow Q_L = 200 \times 0,4 = 80 \text{ in}^3/\text{s}$$

$$v_{\max} = \frac{Q_L}{A_1} = \frac{80}{10} = 8 \text{ in/s}$$

Thời gian di chuyển 9,2 in với vận tốc cực đại là :

$$t = \frac{9,2}{8} = 1,15 \text{ s}$$

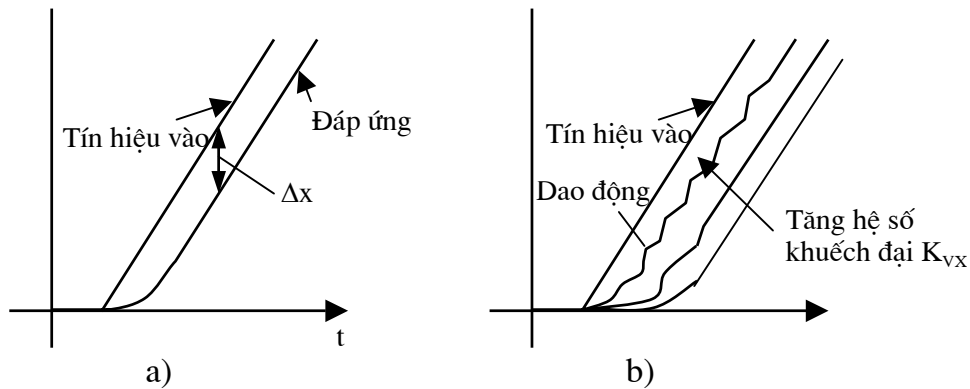
Hệ số khuếch đại :  $K_{vX} = 500 \cdot \left( \frac{\text{mA}}{\text{v}} \right) \cdot 0,4 \left( \frac{\text{in}^3/\text{s}}{\text{mA}} \right) \cdot \frac{1}{10} \left( \frac{1}{\text{in}^2} \right) \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{\text{v}}{\text{in}} \right) = 10 \text{ s}^{-1}$

Hằng số thời gian  $\tau$  :  $\tau = \frac{1}{K_{vX}} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ s}$

Vậy  $T = t + 5\tau = 1,15 + 5 \times 0,1 = 1,65 \text{ s}$

## 2. Tín hiệu vào là hàm tuyến tính (bậc nhất hay gọi là hàm dốc)

Tín hiệu vào là hàm tuyến tính được ứng dụng để điều khiển hệ thống khi cần giảm sự dao động của quá trình quá độ. Đáp ứng của dạng điều khiển này thể hiện ở hình 7.10a, trên đó ta thấy sau giai đoạn quá độ, đáp ứng của hệ bám sát tín hiệu vào với khoảng cách  $\Delta x$ .  $\Delta x$  gọi là sai số điều khiển của hệ ở trạng thái làm việc ổn định.



Hình 7.10. Đáp ứng của hệ điều khiển vị trí khi tín hiệu vào là hàm tuyến tính  
 a- Đồ thị thể hiện sai số; b- Đồ thị thể hiện sự thay đổi của đặc tính khi tăng hệ số khuếch đại  $K_{vX}$

Về cơ bản với tín hiệu vào là tuyến tính thì vận tốc chuyển động của pittông là không đổi.

Độ lớn của sai số  $\Delta x$  được xác định là :

$$\Delta x = \frac{v}{K_{vX}} \quad , \quad \text{cm} \quad (\text{in}) \quad (7.35)$$

trong đó :  $v$  - vận tốc di chuyển, cm/s (in/s);

$K_{vX}$  - hệ số khuếch đại của hệ điều khiển theo vị trí,  $s^{-1}$ .

Theo (7.35) sai số tăng nếu  $v$  tăng và sai số giảm nếu  $K_{vX}$  tăng. Tuy nhiên nếu  $K_{vX}$  tăng quá lớn hệ sẽ không ổn định (hình 9.10b), để hệ ổn định ta chọn  $K_{vX}^{\max}$  là :

$$K_{vX}^{\max} = \xi \cdot \omega_s \quad , \quad (s^{-1}) \quad (7.36)$$

Đặc tính động lực học của hệ rất quan trọng, nó liên quan đến sự ổn định của hệ. Sự dao động của đặc tính động lực học bị ảnh hưởng bởi các yếu tố sau :

- Hiện tượng từ trễ của van.
- Sự thay đổi của nhiệt độ và áp suất dầu.
- Hiện tượng trượt tín hiệu của van khi đảo chiều.
- Độ chính xác và độ phân giải của cảm biến.
- Ngoài ra còn bị ảnh hưởng của một số thông số liên quan đến bộ khuếch đại.
- Các ảnh hưởng của tải trọng ngoài như sự thay đổi của tải trọng ; mất mát do ma sát ; khe hở giữa các bộ phận không đều...

Các yếu tố đó gây ra sai số  $\Delta x$ , các sai số thành phần được xác định như sau :

$$* \text{ Sai số vị trí do van } : \Delta x_u = 0,04 \cdot \frac{Q_{Rp}}{K_{vX} \cdot A} \quad , \quad \text{cm} \quad (\text{in}) \quad (7.37)$$

trong đó :  $Q_{RP}$  - lưu lượng của van tại áp suất làm việc,  $\text{cm}^3/\text{s}$  ( $\text{in}^3/\text{s}$ );

$A$  - diện tích của pittông,  $\text{cm}^2$  ( $\text{in}^2$ );

$K_{VX}$  - hệ số khuếch đại của hệ điều khiển theo vị trí,  $\text{s}^{-1}$ .

$$Q_{RP} = Q_R \cdot \sqrt{\frac{P_S}{70}} \quad , \quad \text{l/p} \quad (7.38)$$

hoặc :

$$Q_{RP} = Q_R \cdot \sqrt{\frac{P_S}{1000}} \quad , \quad (\text{usgpm})$$

\* Sai số vị trí do tải trọng ngoài :

$$\Delta x_E = 0,02 \left( \frac{Q_{RP}}{K_{VX} \cdot A} \right) \cdot \frac{F_E}{P_S \cdot A} \quad , \quad \text{cm} \quad (\text{in}) \quad (7.39)$$

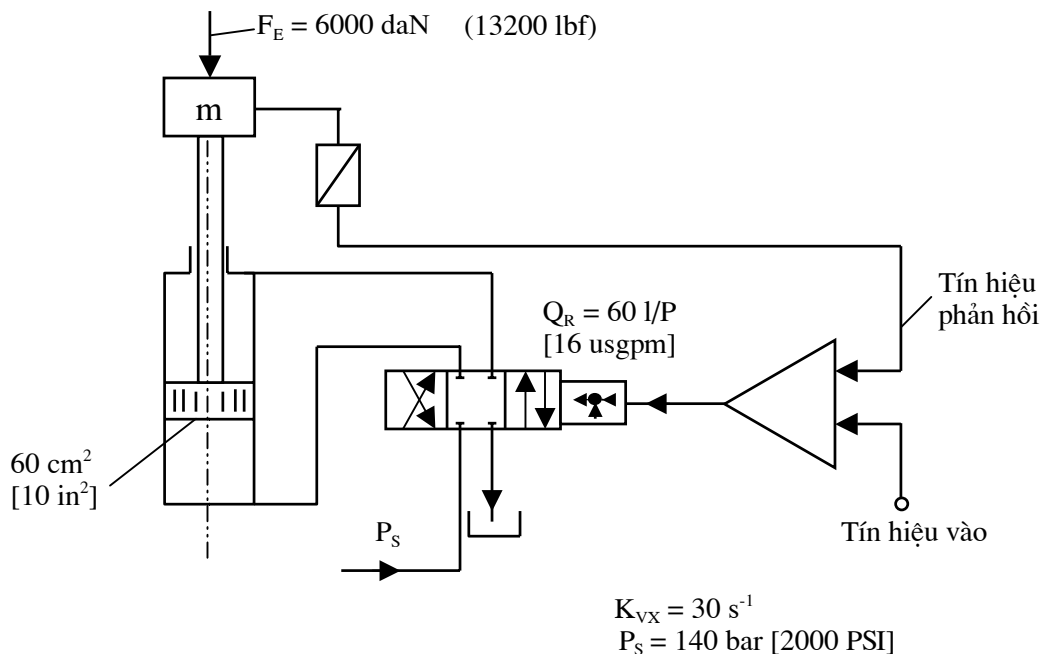
trong đó :  $F_E$  - ngoại lực do tải,  $\text{daN}$  ( $\text{lbf}$ );  $P_S$  - áp suất cung cấp của hệ,  $\text{bar}$  ( $\text{PSI}$ ).

\* Sai số do cảm biến vị trí  $\Delta x_H$ .

Vậy sai số tổng cộng là :  $\Delta x = \Delta x_U + \Delta x_E + \Delta x_H \quad , \quad \text{cm} \quad (7.40)$

Ví dụ 7.7:

Xác định sai số vị trí của hệ điều khiển hình 7.11.



Hình 7.11. Sơ đồ ví dụ xác định sai số vị trí của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến

$$Q_{RP} = Q_R \sqrt{\frac{P_S}{70}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{140}{70}} = 85 \text{ l/p} \quad \text{hay} \quad Q_{RP} = 85 \cdot \frac{1000}{60} = 1417 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\Delta x_u = 0,04 \left( \frac{Q_{RP}}{K_V \cdot A_1} \right) = 0,04 \cdot \frac{1417}{30 \times 60} = 0,03 \text{ cm}$$



$$\Delta x_E = 0,02 \left( \frac{Q_{RP}}{K_{VX} \cdot A_1} \right) \cdot \frac{F_E}{P_S \cdot A_1} = 0,02 \cdot \frac{1417}{30 \times 60} \cdot \frac{6000}{140 \times 60} = 0,011 \text{ cm}$$

Nếu  $\Delta x_H = 0$  thì sai số tổng cộng là :  $\Delta x = \Delta x_u + \Delta x_E = 0,3 + 0,11 = 0,41 \text{ mm}$

Tính theo hệ Anh :

$$Q_{RP} = Q_R \sqrt{\frac{P_S}{1000}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{2000}{1000}} = 22,6 \text{ usgpm} = 22,6 \cdot \frac{231}{60} = 87 \text{ in}^3/\text{s}$$

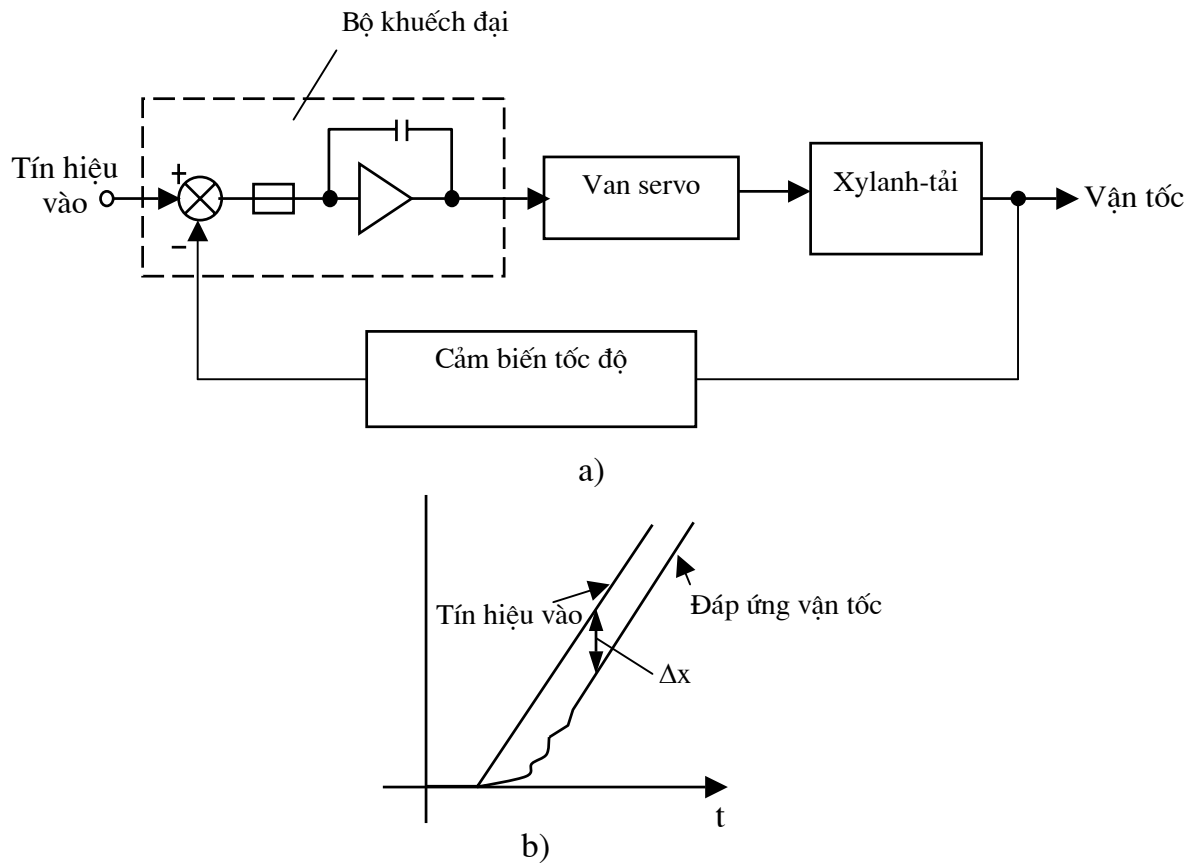
$$\Delta x_u = 0,04 \left( \frac{Q_{RP}}{K_{VX} \cdot A_1} \right) = 0,04 \cdot \frac{87}{30 \times 60} = 0,012 \text{ in}$$

$$\Delta x_E = 0,02 \left( \frac{Q_{RP}}{K_{VX} \cdot A_1} \right) \cdot \frac{F_E}{P_S \cdot A_1} = 0,02 \cdot \frac{87}{30 \times 10} \cdot \frac{13200}{2000 \times 10} = 0,004 \text{ in}$$

Sai số tổng cộng là :  $\Delta x = \Delta x_u + \Delta x_E = 0,012 + 0,004 = 0,016 \text{ in}$

### 7.3.2. Hệ thủy lực điều khiển vận tốc

Hệ thủy lực điều khiển vận tốc có sơ đồ khối về cơ bản giống hệ điều khiển vị trí, chỉ khác là bộ khuếch đại của điều khiển vận tốc là điều khiển theo tích phân I. Trong đó cảm biến vận tốc biến tốc độ thành tín hiệu điện áp phản hồi (hình 7.12).



Hình 7.12. Sơ đồ khối và đáp ứng của hệ điều khiển vận tốc

a- Sơ đồ khối; b- Đáp ứng vận tốc.

Hệ số khuếch đại :

$$K_{VV} = G_A \cdot G_{SV} \cdot G_X \cdot H_V \quad (7.41)$$

Thứ nguyên theo hệ mét :

$$K_{VV} = \left( \frac{\text{mA/s}}{v} \right) \cdot \left( \frac{\text{cm}^3/\text{s}}{\text{mA}} \right) \cdot \left( \frac{1}{\text{cm}^2} \right) \cdot \left( \frac{\text{vôn}}{\text{cm/s}} \right) = \text{s}^{-1} \quad (9.42)$$

Thứ nguyên theo hệ Anh :

$$K_{VV} = \left( \frac{\text{mA/s}}{v} \right) \cdot \left( \frac{\text{in}^3/\text{s}}{\text{mA}} \right) \cdot \left( \frac{1}{\text{in}^2} \right) \cdot \left( \frac{\text{vôn}}{\text{in/s}} \right) = \text{s}^{-1}$$

Khi hệ số khuếch đại  $K_{VV}$  tăng thì gia tốc chuyển động sẽ tăng. Các yếu tố như hiện tượng từ trễ, quá trình chuyển đổi của van (đảo chiều) cũng như sự thay đổi của tải trọng ngoài sẽ không ảnh hưởng đến sai số vận tốc ở chế độ xác lập. Độ phân giải và sai số tuyến tính của cảm biến tốc độ là yếu tố trực tiếp gây ra sai số vận tốc điều khiển.

Tương tự như điều khiển vị trí, nếu tín hiệu vào là hàm tuyến tính thì đáp ứng vận tốc sẽ có sai số và sai số đó phụ thuộc vào hệ số khuếch đại và gia tốc của hệ (hình 7.12b).

Độ lớn của sai số vận tốc  $\Delta v$  xác định như sau :

$$\Delta v = \frac{a}{K_{VV}} \quad , \quad \text{cm/s (in/s)} \quad (7.43)$$

trong đó : a- gia tốc chuyển động,  $\text{cm/s}^2$ ;

$K_{VV}$  - hệ số khuếch đại của hệ điều khiển theo vận tốc,  $\text{s}^{-1}$ .

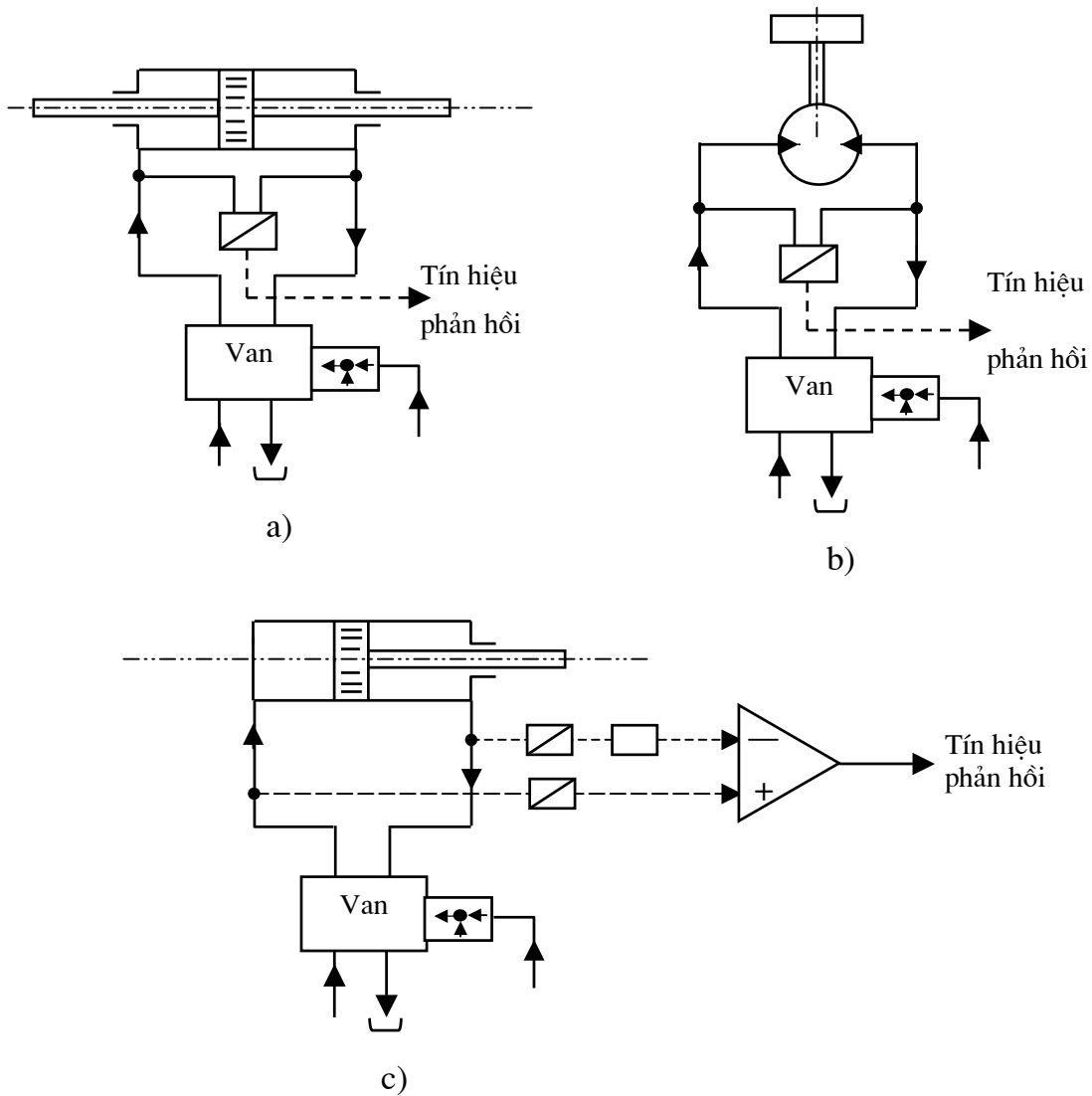
### 7.3.3. Hệ thủy lực điều khiển tải trọng

Hệ thủy lực điều khiển lực đối với chuyển động thẳng hoặc điều khiển mô men xoắn đối với chuyển động quay ngoài việc dùng các loại cảm biến đo trực tiếp lực hoặc mômen xoắn có thể dùng cảm biến đo gián tiếp qua áp suất làm việc.

Như đã giới thiệu ở mục 4.3, để điều khiển tải trọng theo áp suất có thể thực hiện như sau :

- Với xy lanh có kết cấu đối xứng hoặc động cơ dầu thì ứng dụng sơ đồ điều khiển như ở hình 7.13a, b.

- Với xy lanh có kết cấu không đối xứng thì ứng dụng sơ đồ ở hình 7.13c.



Hình 7.13. Sơ đồ điều khiển theo áp suất

a và b - Sơ đồ dùng một cảm biến áp suất;

c- Sơ đồ dùng hai cảm biến áp suất.

Tương tự như mạch điều khiển vị trí và vận tốc, mạch điều khiển theo tải trọng có hệ số khuếch đại được xác định theo công thức :

$$K_{VP} = G_A \cdot G_{SV} \cdot G_X \cdot H_P \quad (s^{-1}) \quad (7.44)$$

Sai số điều khiển theo tải trọng ở chế độ xác lập bị ảnh hưởng bởi :

- Sự rò dầu từ van đến xylanh (hoặc động cơ dầu).
- Hiện tượng từ trễ, sự chuyển đổi vị trí của con trượt và sự trượt đặc tính khi đảo chiều con trượt.
- Sự di chuyển của xylanh (hoặc quay của động cơ dầu ).v.v.

Sai số áp suất do các yếu tố trên gây nên được xác định như sau :

**1- Sai số áp suất do van bị rò dầu ( $\Delta P_D$ )**

$$\Delta P_D = 2.10^{-5} \cdot \left( \frac{Q_{RP} \cdot C_H}{A_1^2 \cdot K_{VP}} \right) \cdot \frac{\Delta P_{AB}}{P_S} \text{ , bar} \quad (7.45)$$

trong đó :

$C_H$  - độ cứng của bộ truyền động thủy lực (xylanh hoặc động cơ dầu), (N/m);

$Q_{RP}$  - lưu lượng của van tại áp suất làm việc, (cm/s);

$A_1$  - diện tích làm việc của pittông, (cm<sup>2</sup>);

$K_{VP}$  - hệ số khuếch đại của hệ điều khiển theo tải trọng, (s<sup>-1</sup>);

$\Delta P_{AB}$  - hiệu áp giữa hai buồng làm việc của xylanh, (bar);

$P_S$  - áp suất cung cấp cho van (bar).

Nếu tính theo hệ Anh :

$$\Delta P_D = 2.10^{-2} \cdot \left( \frac{Q_{RP} \cdot C_H}{A_1^2 \cdot K_{VP}} \right) \cdot \frac{\Delta P_{AB}}{P_S} \text{ , (PSI)}$$

Với thứ nguyên là :  $Q_{RP}$  (in<sup>3</sup>/s);  $C_H$  (lbf/in);  $A_1$  (in<sup>2</sup>);  $K_{VP}$  (s<sup>-1</sup>);  $\Delta P_{AB}$  (PSI);  $P_S$  (PSI).

**2. Sai số áp suất do sai số đặc tính của van (hiện tượng từ trễ, vùng chuyển đổi của con trượt...)**

$$\Delta P_U = 4.10^{-5} \cdot \left( \frac{Q_{RP} \cdot C_H}{A_1^2 \cdot K_{VP}} \right) \text{ , bar} \quad (7.46)$$

Nếu tính theo hệ Anh :

$$\Delta P_U = 4.10^{-2} \cdot \left( \frac{Q_R \cdot C_H}{A_1^2 \cdot K_{VP}} \right) \text{ , (PSI)}$$

**3. Sai số áp suất do hệ truyền động (xylanh hoặc động cơ dầu)**

$$\Delta P_E = \frac{1}{1000} \cdot \left( \frac{C_H}{A_1 \cdot K_{VP}} \right) \cdot v \text{ , bar} \quad (7.17)$$

trong đó v là vận tốc di chuyển của xylanh, cm/s.

Nếu tính theo hệ Anh :

$$\Delta P_E = \frac{C_H}{A_1 \cdot K_{VP}} \cdot v \text{ , (PSI)}$$

Vậy sai số áp suất tổng cộng sẽ là :

$$\Delta P = \Delta P_D + \Delta P_U + \Delta P_E \text{ , bar} \quad (7.48)$$

Trên đây là sai số áp suất điều khiển khi tín hiệu vào là hàm bậc thang (step), còn nếu điều khiển áp suất theo tín hiệu vào là tuyến tính (hàm dốc) thì sai số được xác định theo công thức sau :

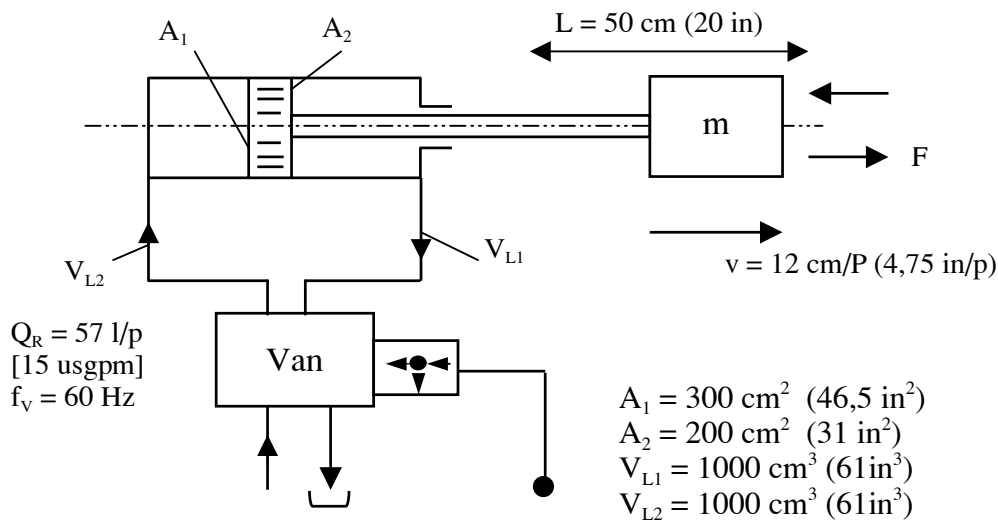
$$\Delta P_R = \frac{\Delta P / \Delta t}{K_{VP}} \quad , \quad \text{bar} \quad (7.49)$$

trong đó :  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  - tốc độ thay đổi áp suất, có thứ nguyên là bar/s (hoặc PSI/s);

$K_{VP}$  - hệ số khuếch đại của hệ điều khiển theo tải trọng ( $s^{-1}$ ).

Ví dụ 7.8:

Xác định sai số áp suất tổng cộng của hệ thủy lực ở hình 7.14.



Hình 7.14. Sơ đồ ví dụ tính sai số của mạch điều khiển áp suất

Tính theo hệ mét :

Độ cứng thủy lực được xác định là :

$$C_H = B \cdot \left( \frac{A_1^2}{V_{L1} + \frac{L}{2} \cdot A_1} + \frac{A_2^2}{V_{L2} + \frac{L}{2} \cdot A_2} \right)$$

$$= 1,4 \cdot 10^7 \cdot \left( \frac{300^2}{1000 + \frac{50}{2} \cdot 300} + \frac{200^2}{1000 + \frac{50}{2} \cdot 200} \right) = 2,4 \cdot 10^8 \text{ N/m}$$

Tần số dao động riêng của xy lanh :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{m}} = \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10^8}{500}} = 690 \text{ rad/s}$$

Tần số riêng của hệ  $\omega_s$  được xác định như sau :

$$f_v = 60 \text{ Hz} \Rightarrow \omega_v = 2\pi 60 = 377 \text{ rad/s}$$

Ta thấy  $\omega_v < 3\omega_n$  nên ta chọn  $\omega_s$  là :

$$\omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} = \frac{690 \cdot 377}{690 + 377} = 244 \text{ rad/s}$$

Hệ số khuếch đại của hệ là :

$$K_{VP} = 0,2 \cdot \omega_s = 0,2 \times 244 = 50 \text{ s}^{-1}$$

Lưu lượng của van tại áp suất làm việc là :

$$Q_{RP} = Q_R \cdot \sqrt{\frac{P_S}{70}} = 57 \cdot \frac{1000}{60} \sqrt{\frac{100}{70}} = 1135 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Độ sụt áp do sai số của đặc tính của van là :

$$\Delta P_U = 4 \cdot 10^{-5} \left( \frac{Q_{RP} \cdot C_H}{A_1^2 \cdot K_{VP}} \right) = 4 \cdot 10^{-5} \cdot \left( \frac{1135 \cdot 2,5 \cdot 10^8}{300^2 \cdot 50} \right) = 2,4 \text{ bar}$$

Độ sụt áp do di chuyển của pittông- xy lanh là :

$$\Delta P_E = \frac{1}{1000} \left( \frac{C_H}{A_1 \cdot K_{VP}} \right) \cdot v = \frac{1}{1000} \left( \frac{2,4 \cdot 10^8}{300 \cdot 50} \right) \cdot \frac{12}{60} = 3,2 \text{ bar}$$

Sai số áp suất tổng cộng (nếu không tính đến  $\Delta P_D$ ) là :

$$\Delta P = \Delta P_U + \Delta P_E = 2,4 + 3,2 = 5,6 \text{ bar}$$

Tính theo hệ Anh :

$$C_H = 2 \cdot 10^5 \left( \frac{46,5^2}{61 + \frac{20}{2} \cdot 46,5} + \frac{32^2}{61 + \frac{20}{2} \cdot 31} \right) = 1,3 \cdot 10^6 \text{ lbf/in}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 10^6}{1100/386}} = 690 \text{ rad/s}$$

$$\omega_v = 2\pi \cdot 60 = 377 \text{ rad/s}$$

Vì  $\omega_v < 3\omega_n$  nên tần số dao động riêng của hệ là :

$$\omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} = \frac{690 \times 377}{690 + 377} = 244 \text{ rad/s}$$

$$K_{VP} = 0,2 \omega_s = 0,2 \times 244 = 50 \text{ s}^{-1}$$

$$Q_{RP} = Q_R \cdot \sqrt{\frac{P_s}{1000}} = 15 \left( \frac{231}{60} \right) \sqrt{\frac{1450}{1000}} = 69,5 \text{ in}^3/\text{s}$$

$$\Delta P_U = 4 \cdot 10^{-2} \left( \frac{690 \times 1,3 \times 10^6}{46,5^2 \times 50} \right) = 34,5 \text{ PSI}$$

$$\Delta P_E = \frac{1,3 \times 10^6}{46,5 \times 50} \cdot \frac{4,75}{60} = 45,6 \text{ PSI}$$

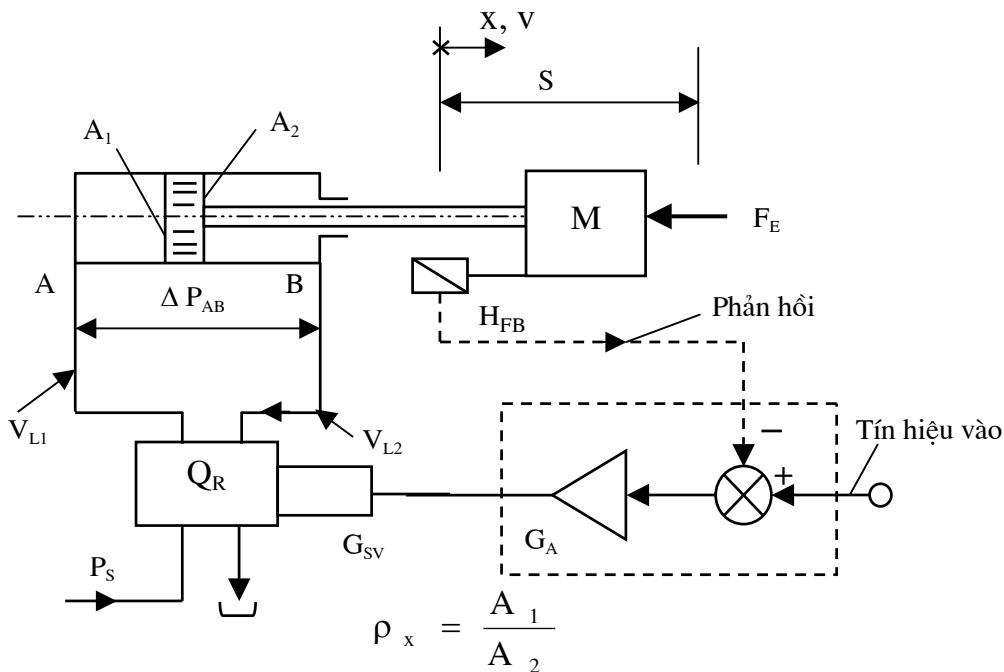
Sai số áp suất tổng cộng là :

$$\Delta P = \Delta P_U + \Delta P_E = 34,5 + 45,6 = 80,1 \text{ PSI}$$

Trên đây là những công thức và ví dụ về tính sai số điều khiển của hệ chuyển động thẳng, đối với hệ thủy lực chuyển động quay thì trong các công thức đó  $A_1$  được thay bằng  $D_m = \frac{D}{2 \cdot \pi}$ .

## 7.4. PHẦN TỔNG HỢP TÍNH TOÁN CỦA HỆ THỦY LỰC CHUYỂN ĐỘNG THẲNG VÀ HỆ CHUYỂN ĐỘNG QUAY

### 7.4.1. Hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến



Hình 7.15. Sơ đồ mạch điều khiển của hệ chuyển động tịnh tiến

Độ cứng thủy lực :

$$C_H = B \cdot \left( \frac{A_1^2}{V_{L1} + A_1 \cdot x_0} + \frac{A_2^2}{V_{L2} + A_2 \cdot (S - x_0)} \right)$$

Tần số dao động riêng của cụm truyền tải :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{m}}$$

Tần số dao động riêng của van :

$\omega_v = (\text{tần số tại điểm chuyển đổi pha } 90^\circ) \times (\text{hệ số hiệu chỉnh áp suất làm việc}).$

### 1. Điều khiển vị trí

Sai số vị trí do van gây nên :

$$\Delta x_U = 0,04 \left[ \frac{Q_{RP}}{K_{VX} \cdot A} \right]$$

Sai số vị trí do ngoại lực :

$$\Delta x_E = 0,02 \cdot \left[ \frac{Q_{RP}}{K_{VX} \cdot A} \right] \cdot \left[ \frac{F_E}{P_S \cdot A} \right]$$

Sai số tổng cộng nếu không kể đến sai số cảm biến sẽ là :

$$\Delta x = \Delta x_U + \Delta x_E.$$

Sai số lớn nhất ở trạng thái ổn định với tín hiệu tuyến tính :

$$\Delta x_S = \frac{v}{K_V}$$

- Hệ số khuếch đại  $K_{VX}$  tính như sau :

$$\text{khi } \omega_v > 3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_s = \omega_n \text{ và } K_{VX}^{\max} = 0,2 \omega_s$$

$$\text{khi } 0,3 \omega_n < \omega_v < 3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} \text{ và } K_{VX}^{\max} = 0,2 \omega_s$$

$$\text{khi } \omega_v < 0,3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_s = \omega_n \text{ và } K_{VX}^{\max} = 0,4 \omega_s$$

### 2. Điều khiển vận tốc

- Hệ số khuếch đại  $K_{VV}$  tính như sau :

$$\text{khi } \omega_v > 3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_s = \omega_n \text{ và } K_{VV}^{\max} = 0,2 \omega_s$$

$$\text{khi } 0,3 \omega_n < \omega_v < 3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v} \text{ và } K_{VV}^{\max} = 0,2 \omega_s$$



khi  $\omega_V < 0,3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_S = \omega_n$  và  $K_{VV}^{\max} = 0,4 \omega_S$

- Sai số vị trí :  $\Delta X = \Delta X_U + \Delta X_E + \Delta X_{FB} = 0$

- Sai số vận tốc ở trạng thái ổn định với tín hiệu tuyến tính :

$$\Delta v_F = \frac{a}{K_{VV}} \quad , \quad (a \text{ là gia tốc dài})$$

### 3. Điều khiển áp suất

- Hệ số khuếch đại  $K_{VP}$  tính như sau :

khi  $\omega_V > 3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_S = \omega_n$  và  $K_{VP}^{\max} = 0,2 \omega_S$

khi  $0,3 \omega_n < \omega_V < 3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_S = \frac{\omega_n \cdot \omega_V}{\omega_n + \omega_V}$  và  $K_{VP}^{\max} = 0,2 \omega_S$

khi  $\omega_V < 0,3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_S = \omega_n$  và  $K_{VP}^{\max} = 0,4 \omega_S$

- Sai số áp suất do đặc tính của van :

$$\Delta P_U = 4 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot A^2} \right] \quad , \quad (\text{bar})$$

hoặc :

$$\Delta P_U = 4 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot A^2} \right] \quad , \quad (\text{PSI})$$

- Sai số áp suất do rò dầu :

$$\Delta P_D = 2 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot A^2} \right] \cdot \left[ \frac{\Delta P_{AB}}{P_S} \right] \quad , \quad (\text{bar})$$

hoặc :

$$\Delta P_D = 2 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot A^2} \right] \cdot \left[ \frac{\Delta P_{AB}}{P_S} \right] \quad , \quad (\text{PSI})$$

- Sai số áp suất do ngoại lực :

$$\Delta P_E = \frac{1}{1000} \cdot \left( \frac{C_H}{K_{VP} \cdot A} \right) \cdot v \quad , \quad (\text{bar})$$

hoặc :

$$\Delta P_E = \left( \frac{C_H}{K_{VP} \cdot A} \right) \cdot v \quad , \quad (\text{PSI})$$

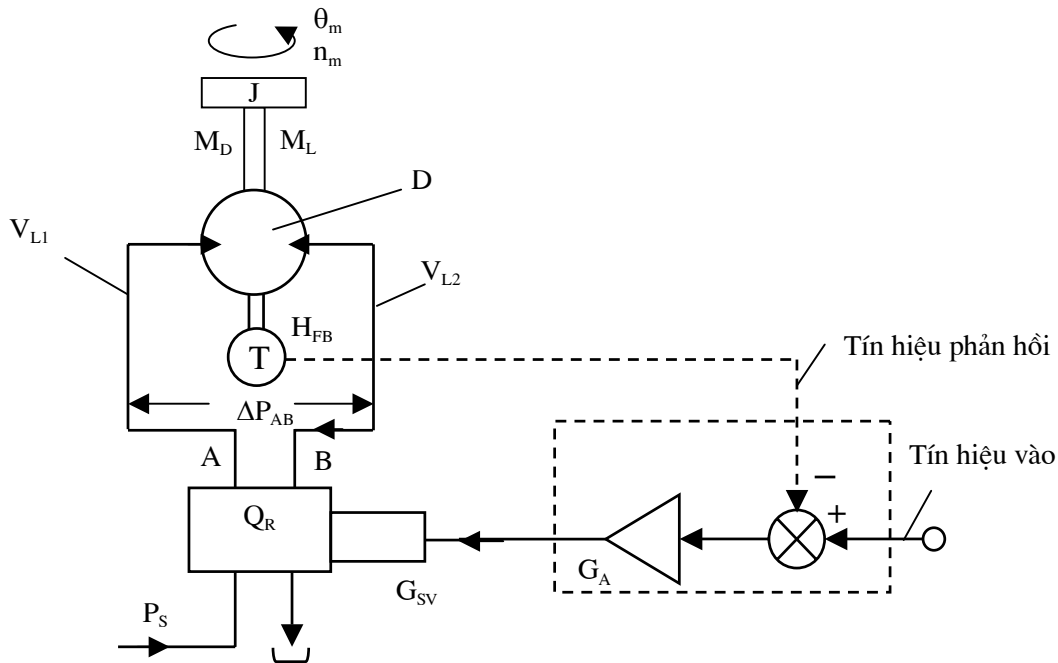
- Sai số áp suất tổng (không tính đến sai số do cảm biến gây nên) :

$$\Delta P = \Delta P_U + \Delta P_D + \Delta P_E$$

- Sai số áp suất ở trạng thái ổn định với tín hiệu vào tuyến tính :

$$\Delta P_F = \frac{\Delta P / \Delta t}{K_{VP}}$$

### 7.4.2. Hệ thủy lực chuyển động quay



Hình 7.16. Sơ đồ mạch điều khiển của hệ chuyển động quay

Độ cứng thủy lực :

$$C_H = \frac{B}{10000} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2 \left( \frac{1}{V_{L1} + \frac{D}{2}} + \frac{1}{V_{L2} + \frac{D}{2}} \right) \quad \text{theo hệ mét}$$

$$C_H = B \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2 \left( \frac{1}{V_{L1} + \frac{D}{2}} + \frac{1}{V_{L2} + \frac{D}{2}} \right) \quad \text{theo hệ Anh}$$

Tần số dao động riêng của cụm truyền tải :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{C_H}{J}}$$

Tần số dao động riêng của van :

$$\omega_v = (\text{tần số tại điểm đổi pha } 90) \times (\text{hệ số hiệu chỉnh áp suất làm việc})$$

#### 1. Điều khiển vị trí

- Hệ số khuếch đại  $K_{v\theta}$  tính như sau :

khi  $\omega_v > 3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_s = \omega_n$  và  $K_{v\theta}^{\max} = 0,2 \omega_s$

khi  $0,3 \omega_n < \omega_v < 3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v}$  và  $K_{v\theta}^{\max} = 0,2 \omega_s$

khi  $\omega_v < 0,3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_s = \omega_n$  và  $K_{v\theta}^{\max} = 0,4 \omega_s$

- Sai số vị trí do đặc tính của van :

$$\Delta\theta_U = 0,04 \cdot \left[ \frac{Q_{RP}}{K_{v\theta} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)} \right]$$

- Sai số vị trí do mômen xoắn bên ngoài gây nên :

$$\Delta\theta_E = 0,2 \cdot \left[ \frac{Q_{RP}}{K_{v\theta} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)} \right] \cdot \left[ \frac{M_L}{P_s \cdot \frac{D}{2\pi}} \right] \quad \text{theo hệ mét}$$

$$\Delta\theta_E = 0,02 \cdot \left[ \frac{Q_{RP}}{K_{v\theta} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)} \right] \cdot \left[ \frac{M_L}{P_s \cdot \frac{D}{2\pi}} \right] \quad \text{theo hệ Anh}$$

- Sai số vị trí tổng cộng nếu không kể đến sai số của cảm biến :

$$\Delta\theta = \Delta\theta_U + \Delta\theta_E$$

- Sai số lớn nhất ở trạng thái ổn định với tín hiệu vào tuyến tính :

$$\Delta\theta_F = \frac{\Omega}{K_{v\theta}}$$

## 2. Điều khiển vận tốc

- Hệ số khuếch đại  $K_{v\Omega}$  tính như sau :

khi  $\omega_v > 3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_s = \omega_n$  và  $K_{v\Omega}^{\max} = 0,2 \omega_s$

khi  $0,3 \omega_n < \omega_v < 3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_s = \frac{\omega_n \cdot \omega_v}{\omega_n + \omega_v}$  và  $K_{v\Omega}^{\max} = 0,2 \omega_s$

khi  $\omega_v < 0,3 \omega_n$   $\rightarrow \omega_s = \omega_n$  và  $K_{v\Omega}^{\max} = 0,4 \omega_s$

- Sai số vị trí :

$$\Delta\theta = \Delta\theta_U + \Delta\theta_E + \Delta\theta_{FB} = 0$$

- Sai số vận tốc ở trạng thái ổn định với tín hiệu tuyến tính :

$$\Delta\Omega_F = \frac{\alpha}{K_{V\Omega}} \quad \text{với } \alpha \text{ là gia tốc góc}$$

### 3. Điều khiển áp suất

- Hệ số khuếch đại  $K_{VP}$  tính như sau :

$$\text{khi } \omega_V > 3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_S = \omega_n \text{ và } K_{VP}^{\max} = 0,2 \omega_S$$

$$\text{khi } 0,3 \omega_n < \omega_V < 3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_S = \frac{\omega_n \cdot \omega_V}{\omega_n + \omega_V} \text{ và } K_{VP}^{\max} = 0,2 \omega_S$$

$$\text{khi } \omega_V < 0,3 \omega_n \quad \rightarrow \omega_S = \omega_n \text{ và } K_{VP}^{\max} = 0,4 \omega_S$$

- Sai số áp suất do đặc tính của van :

$$\Delta P_U = 4 \cdot 10^{-5} \cdot \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2} \right] \quad \text{theo hệ mét}$$

$$\Delta P_U = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2} \right] \quad \text{theo hệ Anh}$$

- Sai số áp suất do rò dầu :

$$\Delta P_D = 2 \cdot 10^{-5} \cdot \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2} \right] \left[ \frac{\Delta P_{AB}}{P_S} \right] \quad \text{theo hệ mét}$$

$$\Delta P_D = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \left[ \frac{C_H \cdot Q_{RP}}{K_{VP} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2} \right] \left[ \frac{\Delta P_{AB}}{P_S} \right] \quad \text{theo hệ Anh}$$

- Sai số áp suất do mômen xoắn bên ngoài gây nên :

$$\Delta P_E = \frac{1}{10000} \left[ \frac{C_H}{K_{VP} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)^2} \right] \cdot V \quad \text{theo hệ mét}$$

$$\Delta P_E = \left[ \frac{C_H}{K_{VP} \cdot \left( \frac{D}{2\pi} \right)} \right] \cdot v \quad \text{theo hệ Anh}$$

- Sai số áp suất tổng cộng :

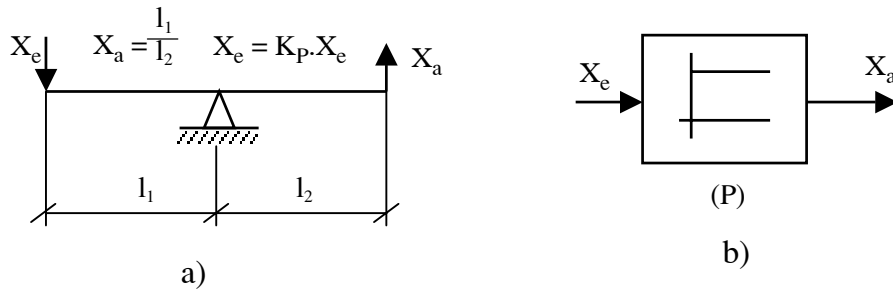
$$\Delta P = \Delta P_U + \Delta P_D + \Delta P_E$$

- Sai số áp suất ở trạng thái ổn định với tín hiệu tuyến tính :

$$\Delta P_F = \frac{\Delta P / \Delta t}{K_{VP}}$$

## 7.5. MÔ HÌNH VÀ KÝ HIỆU ĐẶC TÍNH CỦA CÁC KHÂU THƯỜNG GẶP

### 7.5.1. Khâu khuếch đại (P)



Hình 7.17. Sơ đồ ví dụ và ký hiệu đặc tính của khâu khuếch đại

a- Sơ đồ ví dụ; b- Ký hiệu đặc tính của đáp ứng.

Đòn bẩy ở hình 7.17 hoạt động như một bộ khuếch đại (p) với hệ số khuếch đại là  $K_p$ .

Hoặc lực quán tính và gia tốc quan hệ là  $F = m \cdot a$ ; điện áp và dòng điện quan hệ là  $U = R \cdot I$  đều là các khâu khuếch đại, có thể gọi đó là các phân tử P.

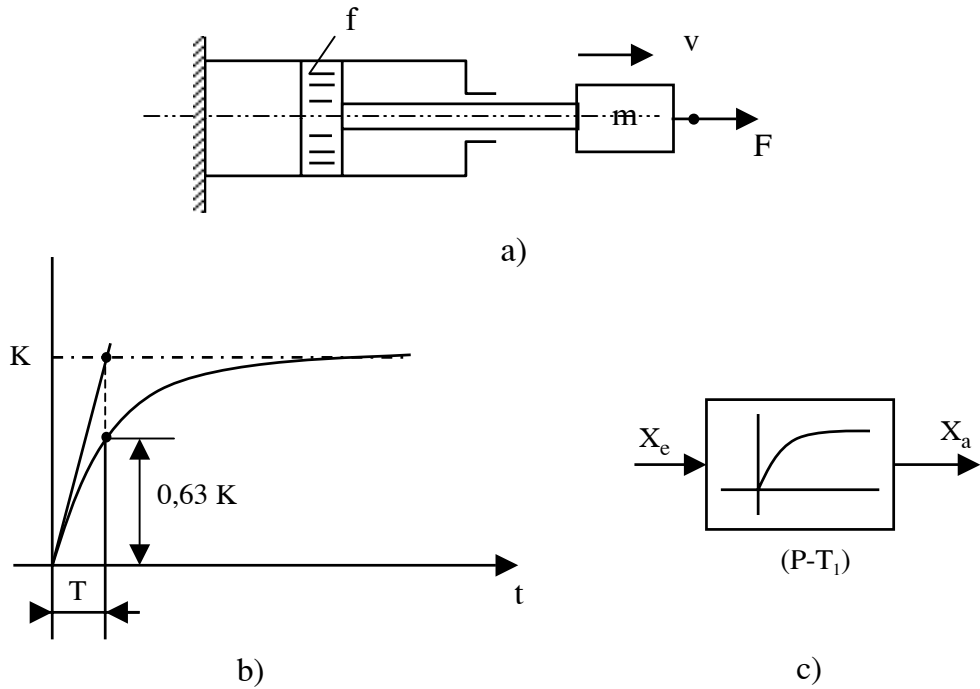
### 7.5.2. Khâu quán tính (P - T<sub>1</sub>)

Mô hình tính toán của khâu quán tính P - T<sub>1</sub> có dạng :

$$T \cdot \frac{dx_a}{dt} + X_a = K \cdot X_e \quad (7.50)$$

Ví dụ xylanh thủy lực có pittông mang khối lượng m chuyển động với vận tốc v thì phương trình cân bằng lực là :

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F - f \cdot v \quad \text{với } f \text{ là hệ số ma sát nhớt} \quad (7.51)$$



Hình 7.18. Sơ đồ ví dụ và ký hiệu đặc tính của khâu quán tính

a- Sơ đồ ví dụ; b - Đặc tính; c - Ký hiệu.

Nếu viết theo toán tử Laplace thì ta được :

$$\frac{m}{f} \cdot s \cdot v(s) + v(s) = \frac{F(s)}{f} \quad (7.52)$$

hay :

$$\frac{v(s)}{F(s)} = \frac{1/f}{\frac{m}{f} \cdot s + 1} = \frac{K}{T \cdot s + 1} \quad (7.53)$$

### 7.5.3. Khâu dao động (P - T<sub>2</sub>)

Mô hình toán có dạng :

$$T^2 \cdot \frac{d^2 x_a}{dt^2} + 2 \cdot D_z \cdot T \cdot \frac{dx_a}{dt} + x_a = K \cdot x_e \quad (7.54)$$

trong đó : T - hằng số thời gian;

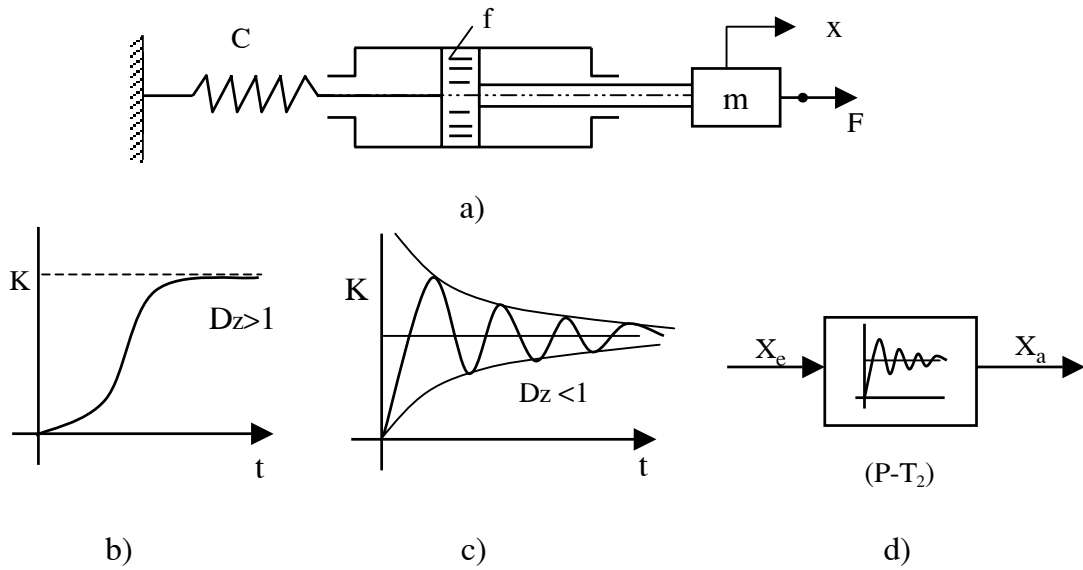
D<sub>z</sub> - hệ số tắt dần;

K - hệ số khuếch đại.

Ví dụ mô hình của cụm xylanh thủy lực như trên hình 7.19 có phương trình lực là :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F - f \cdot \frac{dx}{dt} - C \cdot x \quad (7.55)$$

$$\frac{m}{C} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{f}{C} \cdot \frac{dx}{dt} + x = \frac{1}{C} \cdot F \quad (7.56)$$



Hình 7.19. Ví dụ và ký hiệu đặc tính của khâu dao động

a - Sơ đồ ví dụ; b,c - Đặc tính; d - Ký hiệu.

Nếu đặt 
$$T = \sqrt{\frac{m}{C}} ; 2D_z T = \frac{f}{C} ; K = \frac{1}{C}. \quad (7.57)$$

$$D_z = \frac{f}{2 \cdot \sqrt{m \cdot C}} ; \omega_0 = \frac{1}{T}.$$

thì phương trình (7.56) sẽ là :

$$T^2 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + 2D_z T \cdot \frac{dx}{dt} + x = K \cdot F \quad (7.58)$$

- Khi  $D_z > 1$  thì đặc tính thời gian có dạng như ở hình 7.19b, đặc tính này chỉ có ý nghĩa về mặt toán học.

- Khi  $D_z < 1$  thì đặc tính thời gian có dạng như ở hình 7.19c, đây là trường hợp gặp trong thực tiễn. Với tần số là :

$$\omega_n = \sqrt{1 - D_z^2} \cdot \omega_0 = \frac{\sqrt{1 - D_z^2}}{T} \quad (7.59)$$

#### 7.5.4. Khâu tích phân (I)

Mô hình toán của khâu tích phân thể hiện là tín hiệu ra bằng tích phân của tín hiệu vào :

$$X_a = K_I \cdot \int x_e(t) dt \quad (7.60)$$

$K_I$  là hệ số khuếch đại của khâu tích phân.

Ví dụ : Hành trình của pittông- xylanh tính theo lưu lượng vào là :

$$S = \frac{1}{A} \cdot \int Q \cdot dt = K_I \cdot \int Q \cdot dt \quad (7.61)$$

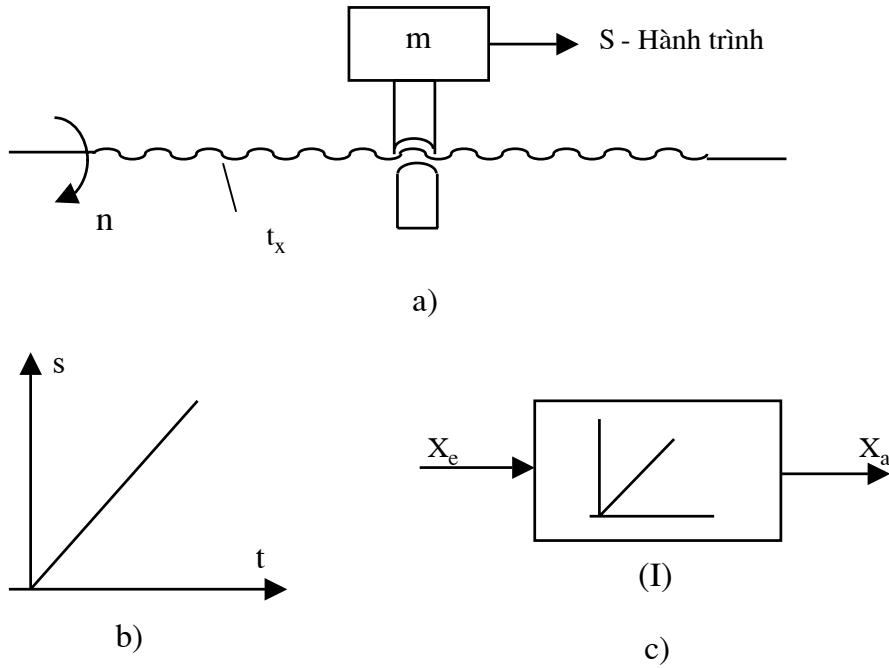
A là diện tích của pittông và  $K_I$  là hệ số khuếch đại của khâu tích phân.

Góc quay  $\theta$  của trục động cơ dầu phụ thuộc vào vận tốc góc của chúng là :

$$\theta = K_0 \cdot \int \Omega \cdot dt \quad (7.62)$$

Bộ truyền vít me đai ốc có quan hệ như sau :

$$S = t_x \cdot \int n \cdot dt \quad (7.63)$$



Hình 7.20. Sơ đồ ví dụ và ký hiệu đặc tính của khâu tích phân

a- Sơ đồ ví dụ; b- Đặc tính; c- Ký hiệu .

Nếu số vòng quay  $n$  không đổi thì  $S = t_x \cdot n \cdot t$ .

### 7.5.5. Khâu vi phân (D)

Mô hình toán của khâu vi phân thể hiện tín hiệu ra tỷ lệ với vi phân tín hiệu vào :

$$x_a = K_D \cdot \frac{dx_e}{dt} \quad (7.64)$$

Ví dụ quan hệ giữa dòng điện và điện áp qua tụ điện  $C$  thể hiện theo công thức là :

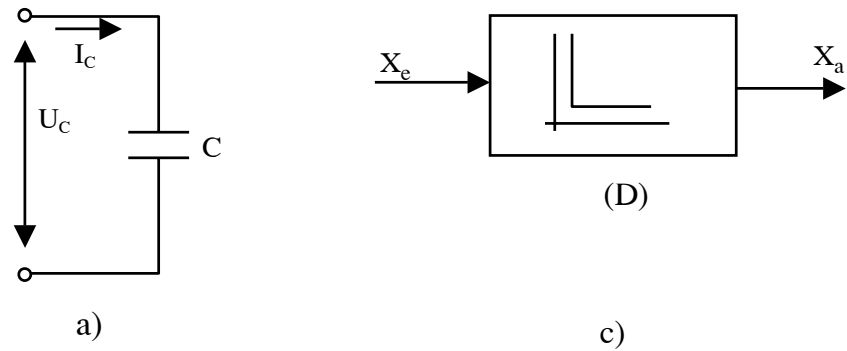
$$I_c = C \cdot \frac{du_c}{dt} = K_D \cdot \frac{du_c}{dt} \quad (7.65)$$

trong đó :  $K_D = C$  - hệ số khuếch đại của khâu D;

$I_c$  - dòng điện là tín hiệu ra;

$U_c$  - điện áp là tín hiệu vào.

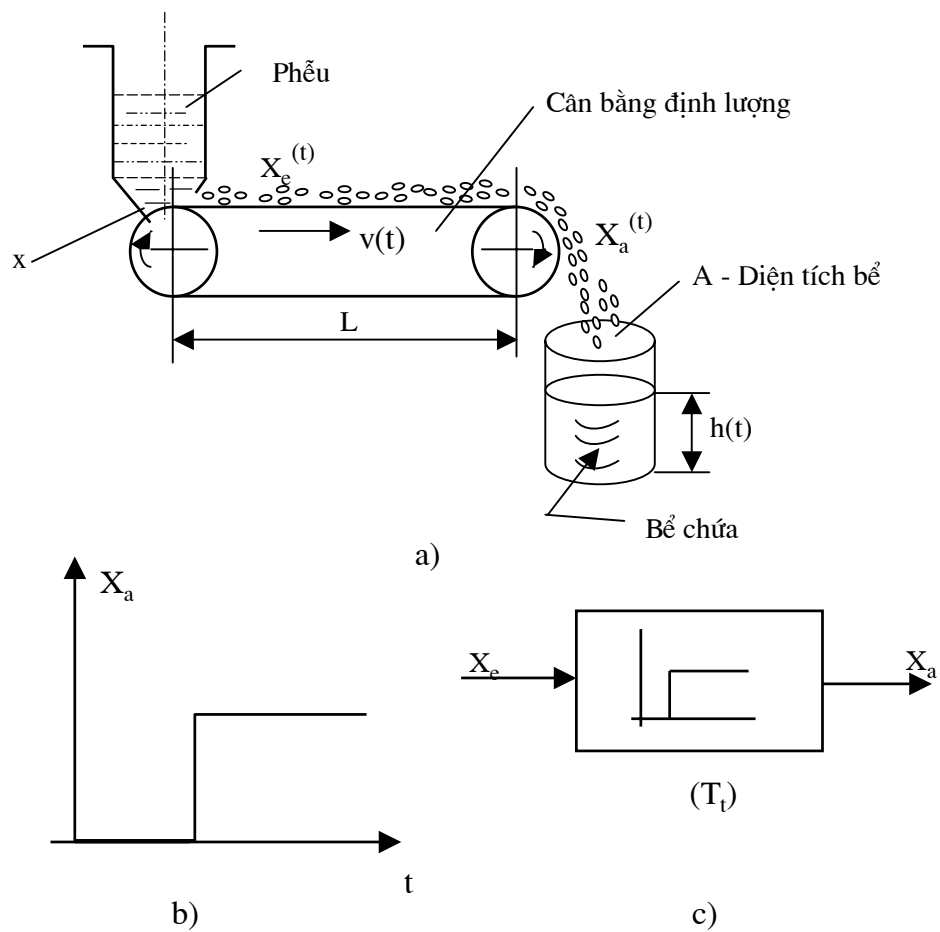




Hình 7.21. Sơ đồ ví dụ và ký hiệu đặc tính của khâu vi phân  
a- Sơ đồ ví dụ; b- Ký hiệu.

### 7.5.6. Phần tử trễ theo thời gian ( $T_t$ )

Ví dụ : Cân bằng định lượng trên hình 7.22a có các phương trình mô tả sau :



Hình 7.22. Sơ đồ ví dụ và ký hiệu đặc tính của khâu  $T_t$   
a- Sơ đồ ví dụ; b- Đặc tính; c- Ký hiệu.

Thời gian vật liệu đi hết quãng đường  $L$  trên cân bằng là :

$$T_t = \frac{L}{v} \quad , \quad \text{với } L - \text{chiều dài băng ; } v - \text{ vận tốc băng} \quad (10.17)$$

Chiều cao vật liệu trong bể chứa : 
$$h(t) = \frac{1}{A} \int_0^t X_a dt \quad (7.66)$$

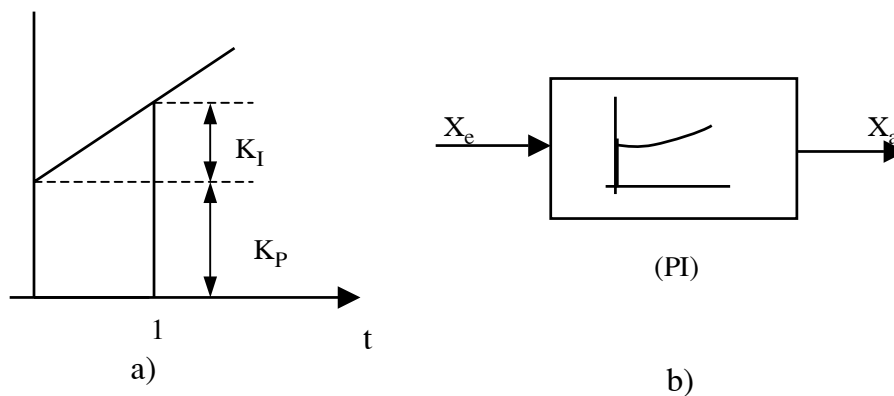
$$X_a(t) = X_e (t - T_I) \quad (7.67)$$

hay : 
$$h(s) = L^{-1}[h(t)] = \frac{1}{A.S} \cdot e^{-S.T_I} \quad (7.68)$$

### 7.5.7. Các khâu phối hợp

Ngoài các khâu trên, trong bộ khuếch đại còn có các khâu sau :

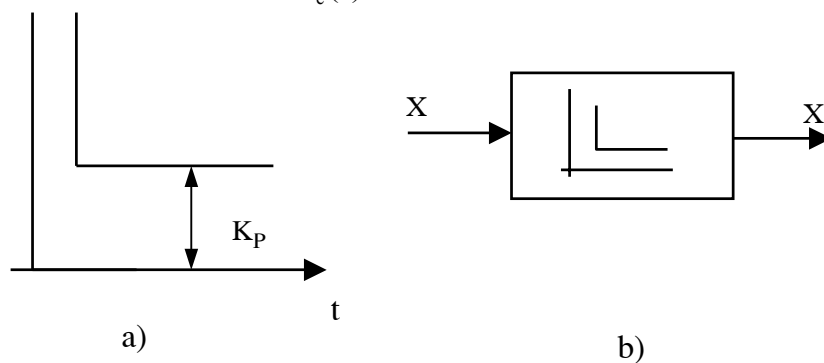
- *Khâu điều chỉnh PI* : 
$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = K_P + \frac{K_I}{S} \quad (7.69)$$



Hình 7.23. Đặc tính và ký hiệu của khâu PI

a- Đặc tính; b- Ký hiệu.

- *Khâu điều chỉnh PD* : 
$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = K_P + K_D.S \quad (7.70)$$

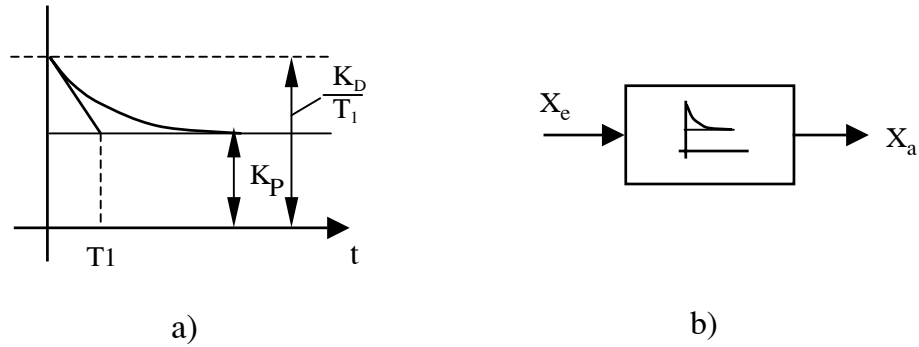


Hình 7.24. Đặc tính và ký hiệu của khâu PD

a - Đặc tính ; b - Ký hiệu.

- *Khâu điều chỉnh PD - T<sub>I</sub>* :

$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = (K_P + K_D.S) \cdot \frac{1}{T_I.S + 1} \quad (7.71)$$

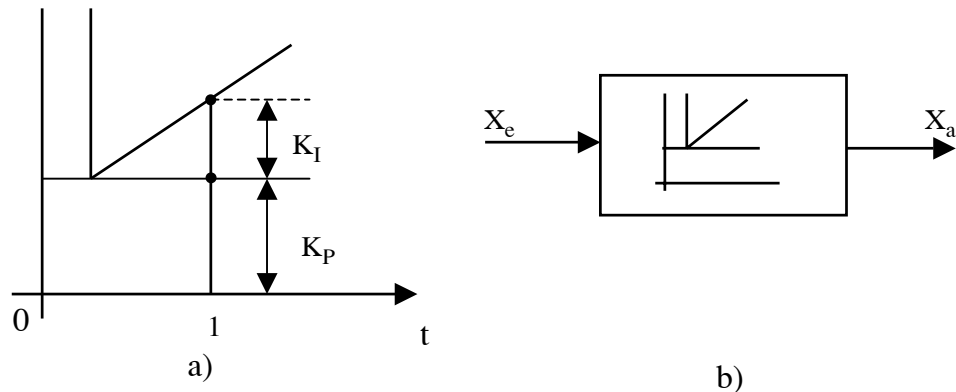


Hình 7.25. Đặc tính và ký hiệu của khâu PD -  $T_1$

a - Đặc tính ; b - Ký hiệu.

- Khâu điều chỉnh PID :

$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = K_P + \frac{K_I}{S} + K_D S \quad (7.72)$$

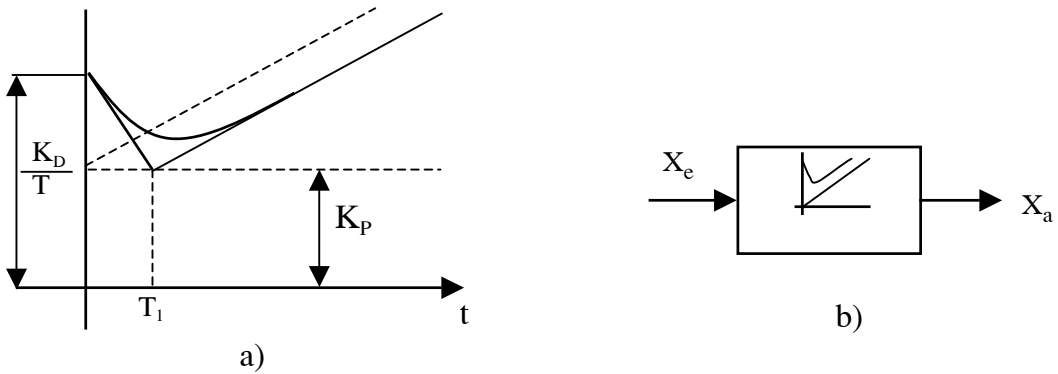


Hình 7.26. Đặc tính và ký hiệu của khâu PID

a - Đặc tính; b - Ký hiệu.

- Khâu điều chỉnh PID -  $T_1$  :

$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = \left( K_P + \frac{K_I}{S} + K_D S \right) \cdot \frac{1}{T_1 \cdot S + 1} \quad (7.73)$$



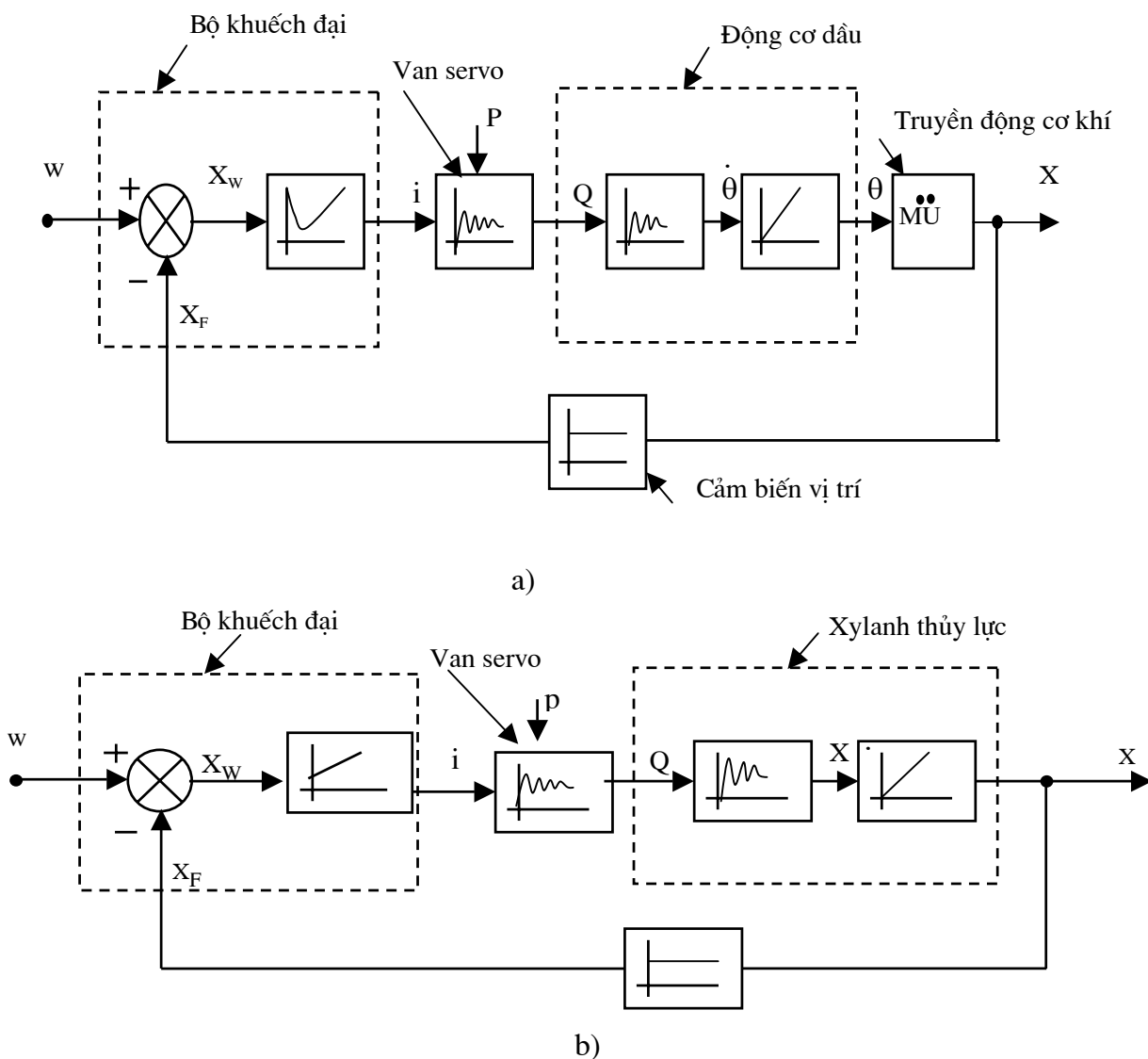
Hình 7.27. Đặc tính và ký hiệu của khâu PID -  $T_1$

a - Đặc tính; b - Ký hiệu.

## 7.6. MỘT SỐ VÍ DỤ VỀ SƠ ĐỒ KHỐI MÔ TẢ ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC VÀ MÔ TẢ BẰNG TOÁN HỌC CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG MẠCH ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG THỦY LỰC

### 7.6.1. Sơ đồ khối về đặc tính động lực học

Sơ đồ đặc tính động lực học của hệ thủy lực chuyển động quay điều khiển vị trí thể hiện ở hình 7.28a.



Hình 7.28. Sơ đồ khối thể hiện đặc tính của hệ điều khiển thủy lực

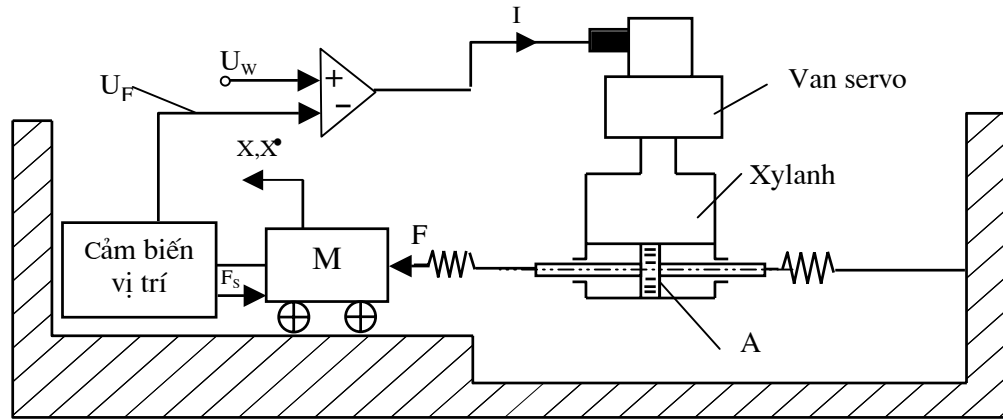
a- Hệ chuyển động quay; b- Hệ chuyển động thẳng.

trong đó : - Bộ khuếch đại là khâu PID -  $T_1$ ;  
- Van servo là khâu PT<sub>2</sub>;

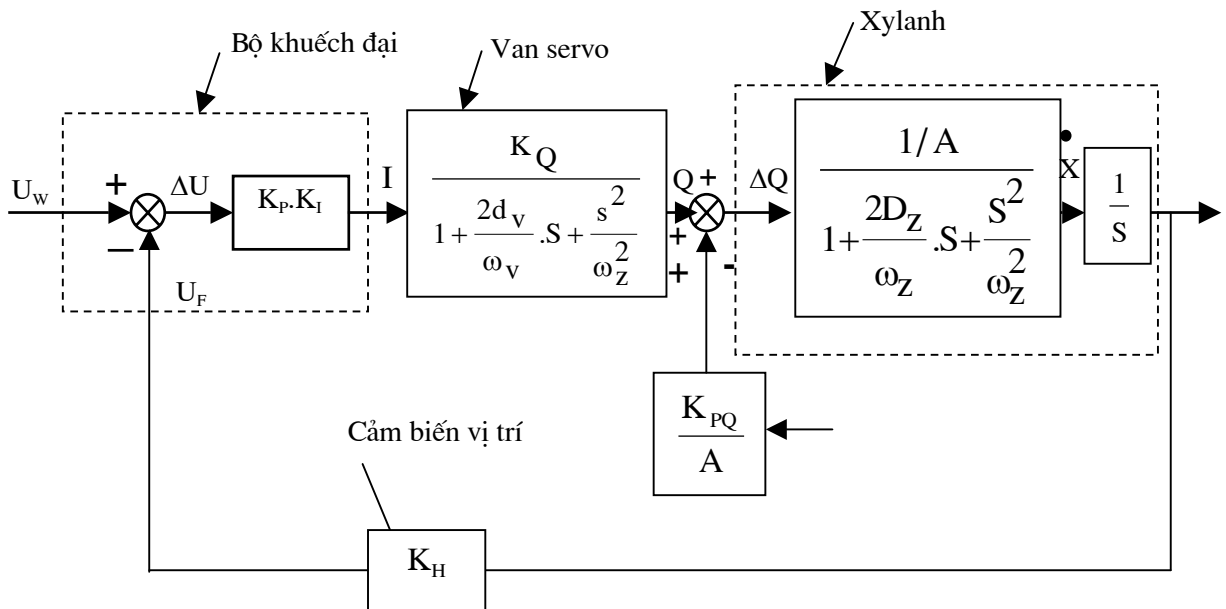
- Động cơ dầu gồm hai khâu là : P - T<sub>2</sub> và khâu I ;
- Cảm biến vị trí là khâu P.

Sơ đồ đặc tính động lực học của hệ thủy lực chuyển động thẳng điều khiển vị trí thể hiện ở hình 7.28b, trong đó bộ khuếch đại là khâu PI còn các khâu khác giống trường hợp hình 7.28a.

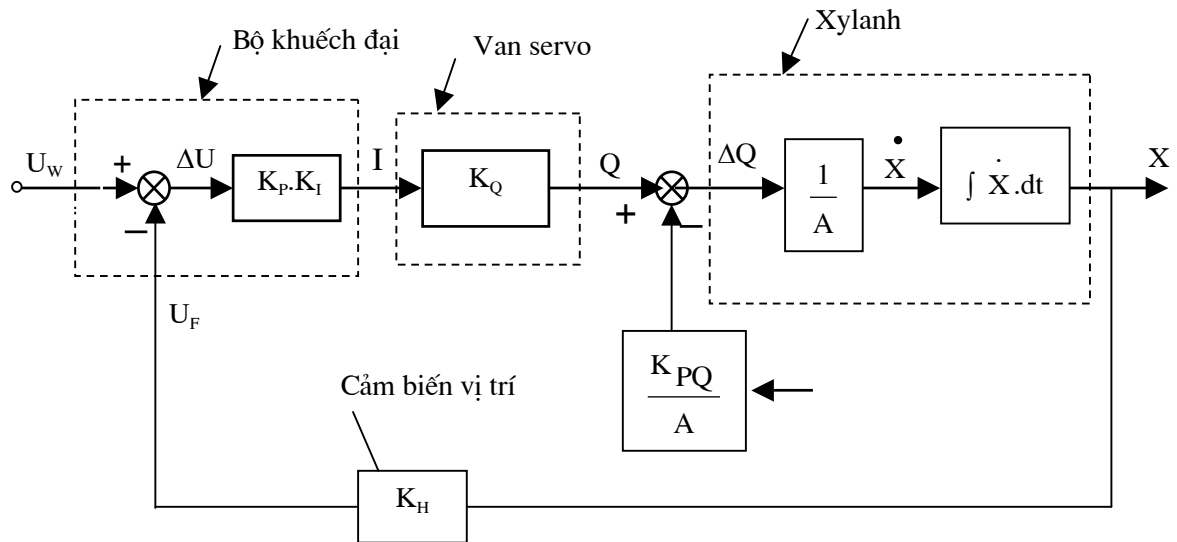
### 7.6.2. Sơ đồ khối mô tả toán học



a)



b)



c)

Hình 7.29. Sơ đồ khối mô tả toán học của các phần tử điều khiển của mạch điều khiển vị trí

- a - Sơ đồ nguyên lý hoạt động; b - Sơ đồ khối mô tả toán học của quá trình động lực học; c - Sơ đồ khối mô tả toán học của quá trình xác lập.

Trong quá trình động lực học, các thông số phụ thuộc thời gian sẽ mất đi chỉ còn lại các thông số không phụ thuộc vào thời gian, tức là chỉ tồn tại các hệ số khuếch đại. Nên hình 7.29b khi ở trạng thái xác lập sẽ là hình 7.29c.

Hệ số khuếch đại của hệ là :

$$K_V = K_p \cdot K_I \cdot K_Q \cdot \frac{1}{A} \cdot K_H \quad , \quad 1/s \quad (7.74)$$

trong đó :  $K_p$  - hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại;

$K_I$  - hệ số khuếch đại công suất;

$K_Q$  - hệ số khuếch đại lưu lượng;

$A$  - diện tích của pittông;

$K_H$  - hệ số khuếch đại của cảm biến vị trí ;

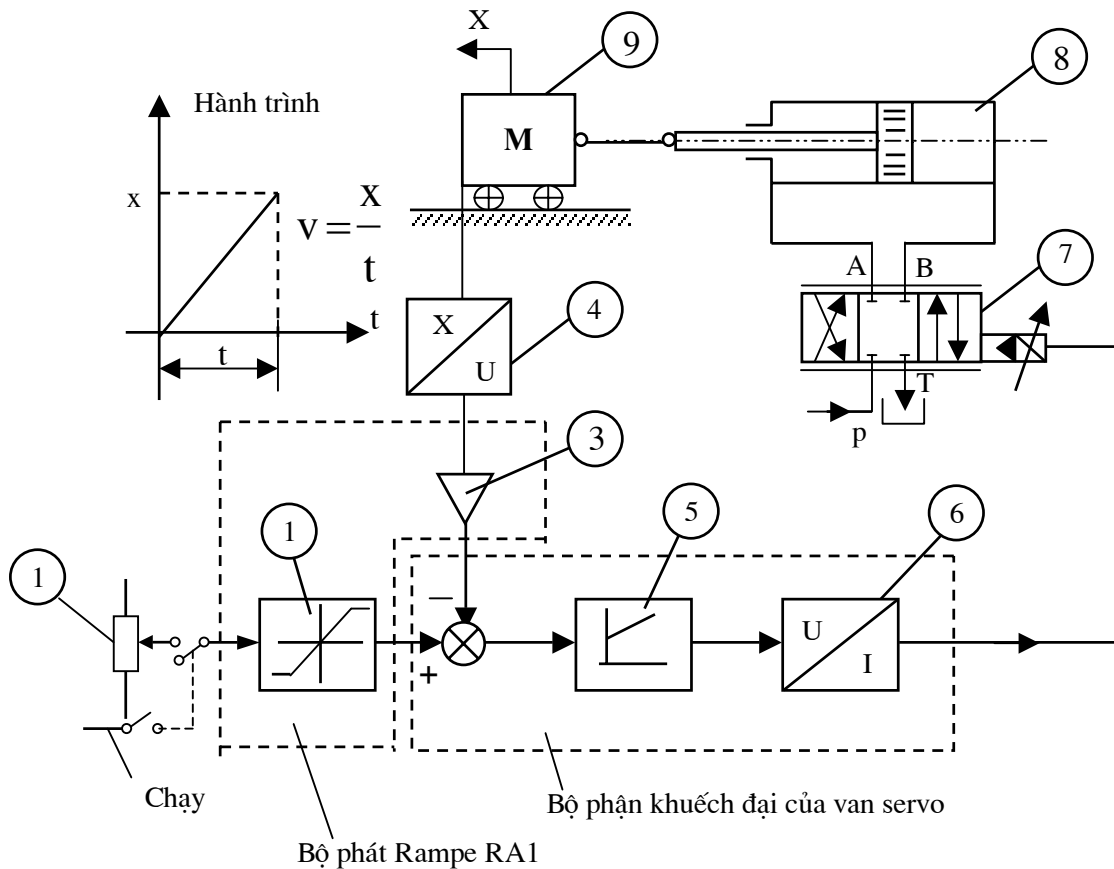
$$K_{PQ} = \frac{K_Q}{K_P} \left[ \frac{\text{cm}^3 / \text{s}}{\text{bar}} \right] - \text{hệ số khuếch đại áp suất - lưu lượng;}$$

$\omega_v$  - tần số riêng của van;       $\omega_z$  - tần số riêng của xylanh;

$d_v$  - hệ số tắt dần của van;       $D_z$  - hệ số tắt dần của xylanh.;

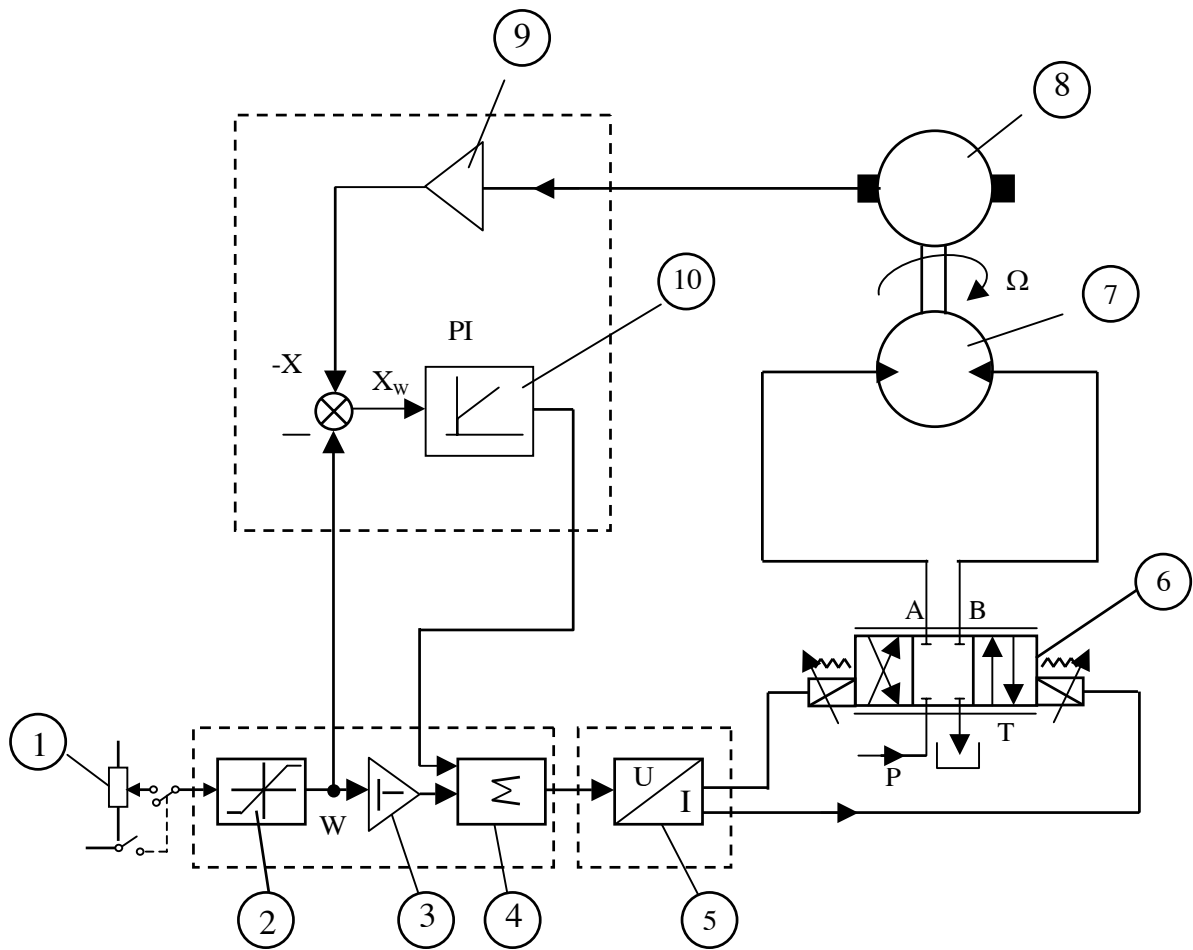
$x$  - hành trình điều khiển.

**7.6.3. Một số ví dụ về sơ đồ mô tả chức năng của các phần tử điều khiển trong mạch điều khiển thủy lực**



*Hình 7.30. Sơ đồ của một mạch điều khiển vị trí bằng xylanh thủy lực*

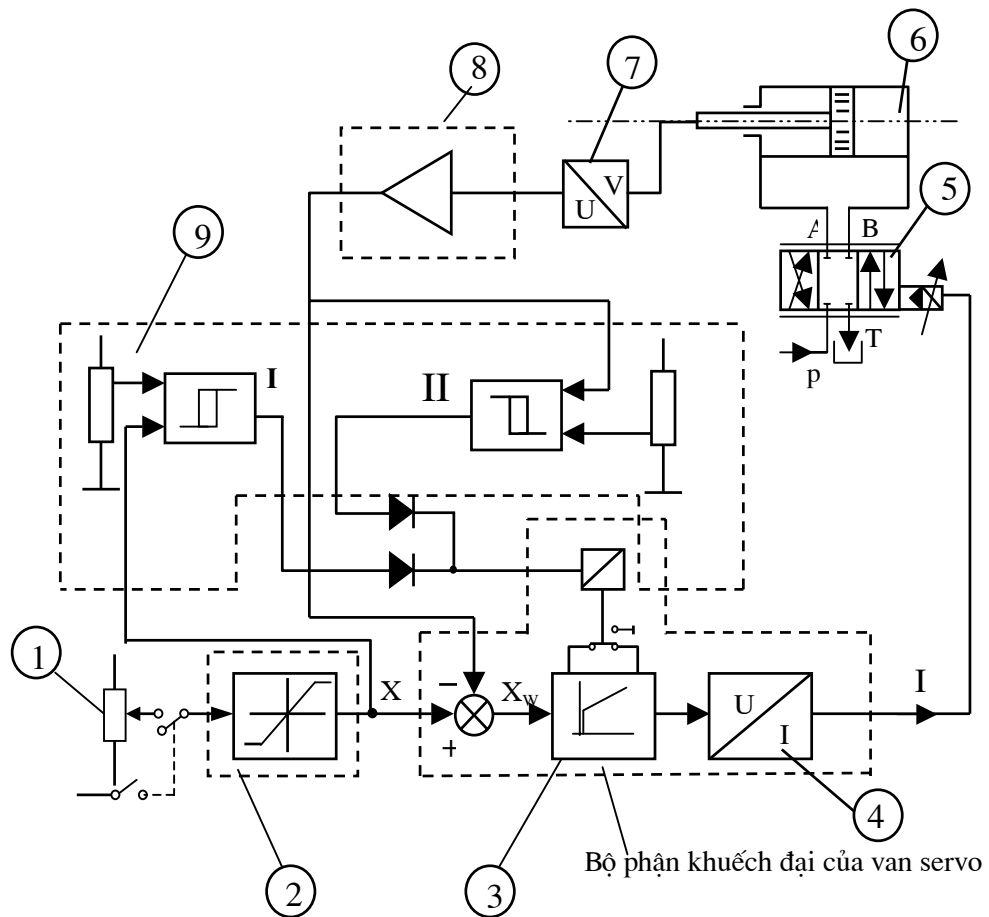
- (1) -Biến trở điều chỉnh điện áp vào (Potentionmetre);
- (2) -Bộ khống chế;
- (3) -Bộ khuếch đại tương thích;
- (4) -Cảm biến vị trí (hành trình- điện áp);
- (5) -Bộ điều chỉnh PI;
- (6) -Bộ khuếch đại công suất (điện áp-dòng);
- (7) -Van servo;
- (8) -Xylanh;
- (9) -Bàn máy.



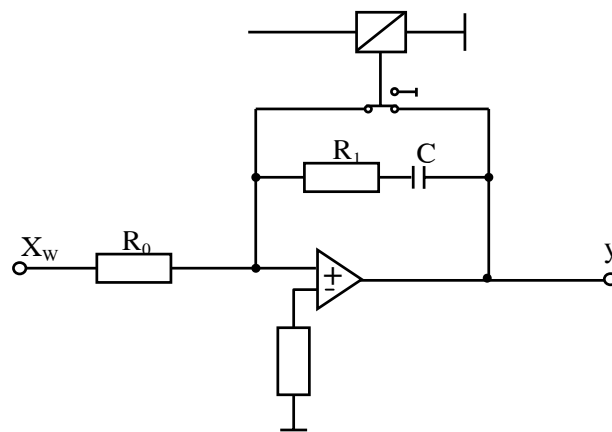
Hình 7.31. Sơ đồ một mạch điều khiển vận tốc của động cơ dầu

- (1) - Biến trở điều chỉnh điện áp vào (Potentionmetre);
- (2) - Bộ phát Rampe (bộ khống chế)- RA1;
- (3) - Bộ đảo tín hiệu;
- (4) - Bộ tổng;
- (5) - Bộ khuếch đại công suất (điện áp- dòng);
- (6) - Van tỷ lệ;
- (7) - Động cơ dầu;
- (8) - Cảm biến tốc độ quay (máy phát tốc hay gọi Dinamo tachymétrique);
- (9) - Bộ khuếch đại tương thích;
- (10)- Bộ điều chỉnh PI.





a)

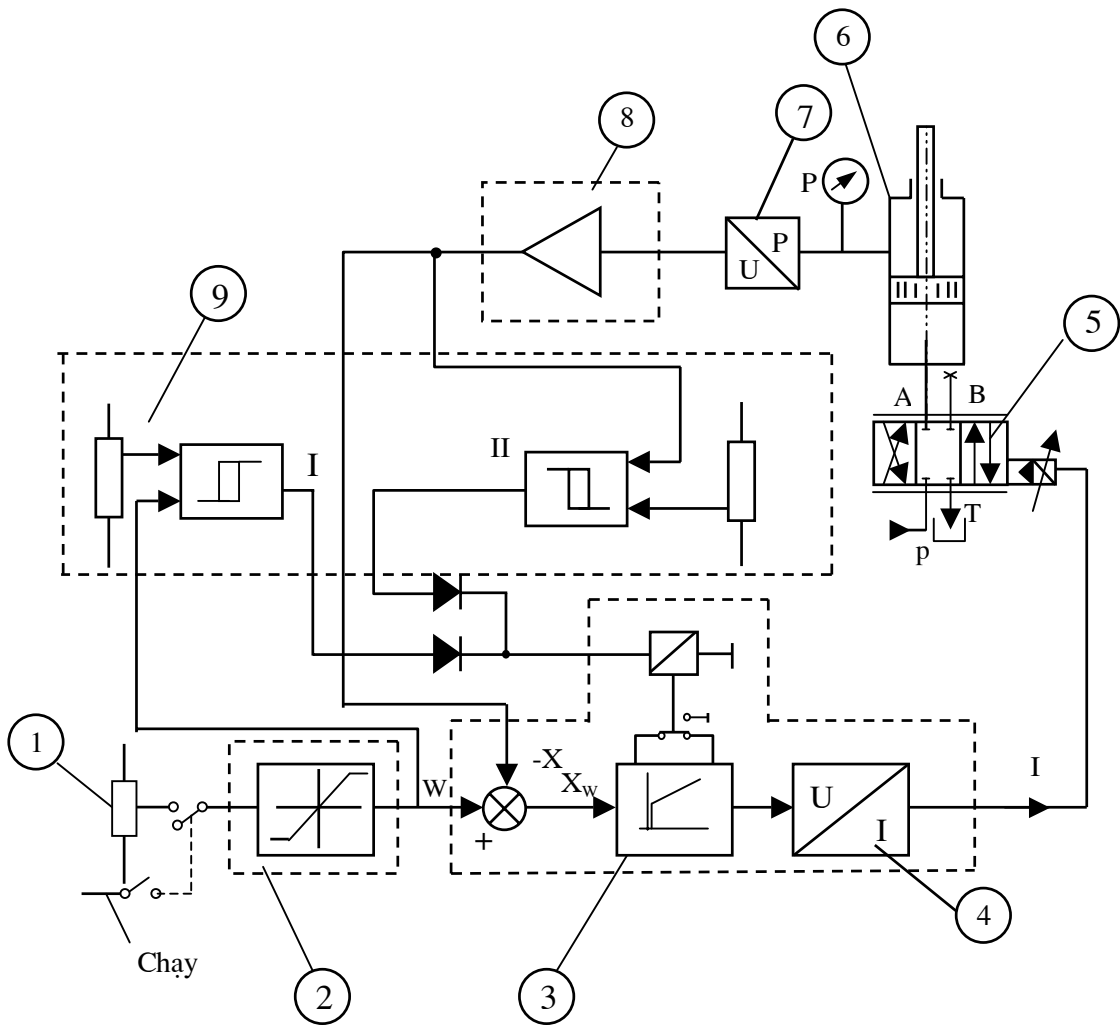


b)

Hình 7.32. Sơ đồ của một mạch điều khiển tốc độ của xylanh thủy lực.

a- Sơ đồ ; b - Sơ đồ bộ khuếch đại và làm đều PI.

(1) - Biến trở điều chỉnh điện áp vào; (2) - Bộ khống chế (phát Rampe RA1); (3) - Bộ điều chỉnh PI (hay gọi là bộ làm đều PI); (4) - Bộ khuếch đại công suất (điện áp U - dòng điện I); (5) - Van servo; (6) - Xylanh thủy lực; (7) - Cảm biến tốc độ (Capteur de vitesse); (8) - Bộ khuếch đại tương thích RA1; (9) - Bộ khuếch đại giao hoán BG1.



Hình 7.33. Sơ đồ của một mạch điều khiển áp suất của hệ thủy lực chuyển động tịnh tiến

(7) là cảm biến áp suất (Capteur de pression) còn các ký hiệu khác giống sơ đồ hình 7.32.

Trong điều khiển áp suất như ở hình 7.33 ta có :

- Hệ số khuếch đại lớn nhất là :

$$G_p = 2 \cdot d_v \cdot \omega_v \cdot T_p \quad (10.27)$$

trong đó :  $d_v$  - hệ số tắt dần của van;

$\omega_v$  - tần số riêng của van (1/s);

$T_p$  - hằng số thời gian của điều khiển áp suất.

Với  $T_p$  xác định như sau :

$$T_p = \frac{V}{B \cdot K_{PQ}}; \quad K_{PQ} = \frac{Q_{\max}}{P_{\max}} \quad (10.28)$$

trong đó :  $V$  - thể tích dầu có áp suất, ( $\text{cm}^3$ );

$B$  - mô đun đàn hồi của dầu  $1,4 \cdot 10^5$ , ( $\text{N}/\text{cm}^2$ );

$K_{PQ}$ - hệ số khuếch đại áp suất / lưu lượng của van ,  $\frac{(\text{cm}^3/\text{s})}{\text{bar}}$ .

- Hệ số khuếch đại tối ưu thường lấy như sau :  $G_p^0 \approx \frac{1}{3}G_p$  (10.29)

- Biên độ  $A_v$  của con trượt :  $A_v = 20\log\left(\frac{1}{2d_v}\right)$  (10.30)

- Hệ số tắt dần  $d_v$  :  $d_v = 10^{-\frac{(A_v/20)}{2}}$  (10.31)

## Các ký hiệu, đơn vị và ý nghĩa cơ bản trong các công thức

Ký hiệu	Đơn vị	Hệ Anh	Ý nghĩa
	Hệ mét	Hệ Anh	
a	cm/s <sup>2</sup>	in/s <sup>2</sup>	Gia tốc dài
A <sub>P</sub> (A <sub>1</sub> )	cm <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	Diện tích pittông phía áp suất cao
A <sub>R</sub> (A <sub>2</sub> )	cm <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	Diện tích pittông phía áp suất thấp
α	rad/s <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>	Gia tốc góc
B	kg/cm.s <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>	Môđun đàn hồi của dầu
C <sub>H</sub>	N/m	lbf/in	Độ cứng thủy lực của hệ chuyển động thẳng
(C <sub>H</sub> )	N.m/rad	lbf.in/rad	Độ cứng thủy lực của hệ chuyển động quay
D <sub>m</sub>	cm <sup>3</sup> /vg	in <sup>3</sup> /vg	Thể tích riêng của động cơ dầu
D	cm <sup>3</sup> /rad	in <sup>3</sup> /rad	Hệ số kết cấu của động cơ dầu
f <sub>V</sub>	Hz	Hz	Tần số riêng của van
f <sub>n</sub>	Hz	Hz	Tần số riêng của bộ truyền tải (xylanh hoặc động cơ dầu)
F <sub>E</sub>	daN	daN	Ngoại lực
F <sub>S</sub>	daN	daN	Lực ma sát trong xylanh
F <sub>C</sub>	daN	daN	Lực ma sát của bộ phận tải
G <sub>A</sub>	mA/v	mA/v	Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại
G <sub>AI</sub>	(mA/s)/v	(mA/s)/v	Hệ số khuếch đại tích phân
G <sub>V</sub>	(cm <sup>3</sup> /s)/mA	(cm <sup>3</sup> /s)/mA	Hệ số khuếch đại của van
H <sub>x</sub> (K <sub>C</sub> )	V/cm	V/in	Hệ số khuếch đại của cảm biến vị trí chuyển động thẳng
H <sub>θ</sub>	V/rad	V/rad	Hệ số khuếch đại của cảm biến đo góc quay
H <sub>V</sub>	V/(cm/s)	V/(in/s)	Hệ số khuếch đại của cảm biến đo vận tốc dài
H <sub>Ω</sub>	V/(rad/s)	V/(rad/s)	Hệ số khuếch đại của cảm biến đo vận tốc góc
H <sub>p</sub>	V/bar	V/PIS	Hệ số khuếch đại của cảm biến áp suất
J	N.ms <sup>2</sup>	inlbf.s <sup>2</sup>	Mômen quán tính khối lượng

$K_V$	$s^{-1}$	$s^{-1}$	Hệ số khuếch đại hệ thống
$W_L$	$kg.cm/s^2$	lbf	Trọng lực
m	kg	lbf $s^2/in$	Khối lượng
M	N.m	Inlbf	Mômen xoắn
$\Delta P$	bar	PSI	Hiệu áp
$\Delta P/\Delta t$	bar/s	PSI/s	Tốc độ biến đổi áp suất
P	bar	PSI	Áp suất
Q	$cm^3/s$	$in^3/s$	Lưu lượng
V	cm/s	in/s	Vận tốc chuyển động thẳng
$V_{L1}, V_{L2}$	$cm^3$	$in^3$	Thể tích dầu trong đường ống
$V_1, V_2$	$cm^3$	$cm^3$	Thể tích dầu trong các buồng của xy lanh
$\Omega$	rad/s	rad/s	Vận tốc góc
$\omega$	rad/s	rad/s	Tần số riêng
$\Delta x$	cm	In	Sai số vị trí chuyển động thẳng
$\Delta \theta$	rad	rad	Sai số góc quay
$n_m$	vg/p	vg/p	Số vòng quay của động cơ dầu

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Clarence W.de Silva, *Control sensors and actuators*, Prentice Hall. Inc. Printed in USA, 1989.
- [2] Wayne Anderson, *Controlling eletrohydraulic systems*, Printed in USA, 1988.
- [3] M. Guillon, *Hydraulic servo systems analysis and design*, London, Butterworths, 1969.
- [4] Jack L. Johnson, PE, *Design of electrohydraulic systems for indutrial motion control*. Senior lecturer, Milwaukee School of Engineering, USA , 1991.
- [5] Russell W. Henke, P.E, *Fluid power systems & circuits*, printed in USA, 1983.
- [6] Herbert E.Merritt, *Hydraulic control systems*, Printed in USA, 1967.
- [7] William J.Palm, *Modeling, analysis and control of dynamic systems*, printed in USA, 1983.
- [8] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, *Modern control systems*. Wesley publishing company, Inc, printed in the USA, 1998.
- [9] S. Le Quoc, Professor, University of Quebec (ETS), Montreal, Canada. *Tuning an electrohydraulic servovalave to obtain a high amplitide ratis and a low resonance peak*.  
The Journal of fluid control, Volume 20, Number 3, March 1990 (30 - 47)
- [10] *BD90, BD95 servo amplifier installation guide*, Bulletin N<sup>o</sup>.IG 1463-000/USA, Parker electrohydraulic.
- [11] *Vickers. Closed loop electrohydraulic systems manual*, Frist edition 1993. Printed in USA.
- [12] *DAQ.Lab-PC+User manual*, National instruments corporation, June, 1996.
- [13] *DAQ. SC-207X Series user manual*, National instruments corporation November 1995.
- [14] *Double A. Closed loop trainng manual proportional & servo-valve*. US -B-AA16-12-1989. Printed in USA.
- [15] *IEEE-488 and VXI bus control, data acquisition, and analysis*. National instruments corporation, 1995.
- [16] *Using industrial hydraulics*. Printed in USA, 1984.
- [17] *Parker series BD062, BD760 servo valve*. Parker electrohydraulic, Printed in USA, 1995.
- [18] *Technical University Munich, Institute for Machine Tools and industrial Management*. Production Engineering, Vol.II/2 1995.
- [19] Claude Ducos. *Oléo - Hydraulique*. Technique et documentation, Lavoisier, Paris 1988.
- [20] Jean-Charles Gill. *Dynamique de la commande linéaire*. Dunod, Paris 1991.
- [21] Michel Gondran. *Informatique et asservissement. Mécanique, électronique, électricité, hydraulique*. Editions Casteilla 25, rue Monge -75005 Paris, Achevé d'imprimer en mars 1989.

- [22] J. Mainguenaud. *Cours d'automatique, Correction d'un système asservi linéaire calcul analogique*. Masson et Cie, Paris 1974.
- [23] Gérard Marie. *L'hydraulique pratique commentée pour l'industrie et le BTP* édition de l' USINE, Paris 1982.
- [24] Maurice Rivoir, Jean-Louis Ferrier. *Cours d'automatique*. édition de l'Eyrolles, Paris 1990.
- [25] Patrick Siarry. *Automatique de base*. Ellipses, Paris 1989.
- [26] *Cours d'oléodynamique*. Tous droits réservés à la société de publications mécaniques, Paris 1966.
- [27] *Technoguide E*. Adepa-agence nationale pour le développement de la productique appliquée à l'industrie, 1989.
- [28] Winfried Oppelt. *Kleines Handbuch Technischer Regebvorgänge*, Verlag Chemie G.m.b.H, Weinheim - Bergstr, 1964.

Bài giảng:

# TỰ ĐỘNG HÓA SẢN XUẤT.

(Manufacturing Automation)

**Giảng viên: Th.s. Nguyễn Minh Tuấn**

**Bộ Môn: Cơ điện tử- Khoa cơ khí  
Đại học bách khoa Tp.HCM  
Email: [minhtuandavi@yahoo.com](mailto:minhtuandavi@yahoo.com)**

Tháng 8. 2008



# Chương 6: tự động hóa các quá trình lắp ráp



# *Kẹp chặt cơ khí*

◆ *Kẹp chặt bằng ốc, vít: Đinh vít, bu lông, đai ốc v.v*

◆ Phương pháp này rất phổ biến trong công nghiệp. Tiện lợi của nó là dễ dàng tháo rời ra từng chi tiết khi cần thiết như: Sửa chữa, bảo dưỡng, điều chỉnh. Cách ghép chi tiết bằng ren vít như vậy thường được thực hiện bởi người công nhân còn đối với người máy hoặc hệ thống tự động thì khó thực hiện hơn.

◆ *Kẹp chặt bằng đinh tán.*

◆ *Lắp ráp bộ đôi bằng cách ép.*

◆ Ví dụ: Như mối ghép giữa trục và ổ mà trục có đường kính lớn hơn đường kính ổ một ít, khi lắp chúng ta phải dùng lực ép. Do vậy với lần lắp đầu tiên, thì việc tháo mối ghép ra là rất khó.

# *Kẹp chặt cơ khí (tt)*

- ◆ *Lắp ráp bằng cách bắt vít khít*

- ◆ *Vd:*

- ◆ *Lắp ghép bằng khâu vá*

*Chi tiết thường mềm, mỏng...*

# *Kẹp chặt cơ khí (tt)*

## ◆ *Lắp ráp bằng cách hàn*

◆ Các phương pháp này là hàn bằng que hàn, hàn đồng, hàn gió đá (bằng khí axêtilen). Kỹ thuật hàn thường rất đa dạng.

◆ Trong một số trường hợp, người ta thêm các kim loại phụ vào nhằm tăng thêm tính dính kết của mối hàn. Một số phương pháp hàn được dùng trong công nghiệp như hàn dùng điện trở, hàn hồ quang, hàn bằng ma sát, hàn bằng tia laser, hàn bằng tia điện tử.

## *Kẹp chặt cơ khí (tt)*

◆ *Phương pháp ghép chi tiết bằng chất dính kết* là dùng chất dính kết để nối các chi tiết với nhau. Ngày nay phương pháp này khá phổ biến trong công nghiệp. Những phương pháp mới về hàn dùng chất dính kết đang được phát triển và ứng dụng trong công nghiệp. Chất kết dính có thể được chia làm 2 loại: nhiệt dẻo và chất dẻo phản ứng nhiệt. Chất nhiệt dẻo được dùng rất đơn giản nhưng không chịu được ở nhiệt độ cao. Chất dẻo phản ứng nhiệt (ví dụ như nhựa epoxi) thì có phản ứng với nhiệt độ. Tuy vậy quá trình hàn dùng chất dẻo phản ứng nhiệt phức tạp hơn so với hàn bằng chất nhiệt dẻo, nhưng mối ghép được chắc hơn và khả năng chịu nhiệt cao hơn.

## 6.2. CÁC HỆ THỐNG LẮP RÁP

- ◆ Các phương pháp tổ chức quá trình lắp ráp được phân loại như sau:
  - ◆ 1. Lắp ráp bằng tay chỉ có một vị trí
  - ◆ 2. Dây chuyền lắp ráp tay
  - ◆ 3. Hệ thống lắp ráp tự động
- ◆ ***Lắp ráp bằng tay tại một vị trí*** là phương pháp trong đó chỉ có một vị trí làm việc mà tại đó công việc lắp ráp được hoàn tất, cho cả chi tiết hoặc hoàn tất một cụm nào đó của sản phẩm.
- ◆ PP này áp dụng đối với các sản phẩm phức tạp, số lượng ít. Vị trí làm cần 1 hay nhiều công nhân...



▼ ***Dây chuyền lắp ráp bằng tay*** gồm nhiều vị trí làm việc, trong đó toàn bộ sản phẩm hoặc các cụm chính được hoàn tất theo dây chuyền từ vị trí này đến vị trí kia trong hệ thống. Tại mỗi vị trí làm việc một hoặc nhiều công nhân cùng tham gia lắp ráp để hoàn thành sản phẩm. Khi sản phẩm tới vị trí làm việc cuối cùng thì nó được hoàn chỉnh.

◆ ***Các hệ thống lắp ráp tự động*** sử dụng các phương pháp lắp ráp tự động ở các vị trí làm việc thay vì lắp ráp bằng tay.



## 6.3 DÂY CHUYỀN LẮP RÁP BẰNG TAY

Dây chuyền sản xuất bằng tay thường được dùng trong sản xuất hàng khối. Chuyên môn hóa công nhân cao, năng suất cao .

## 6.3 DÂY CHUYỀN LẮP RÁP BẰNG TAY



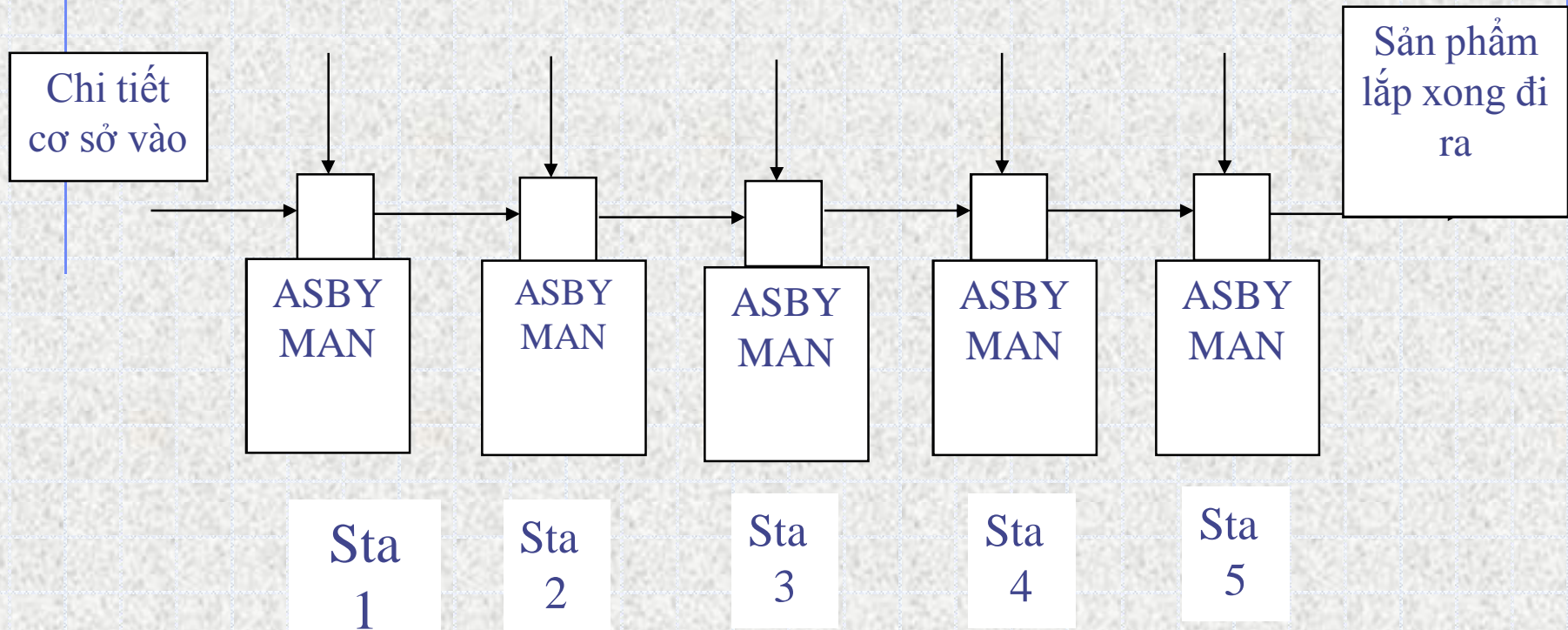


- ◆ + Lắp ráp bằng tay nhiều vị trí: chi tiết được di chuyển thành dòng. Tại mỗi vị trí trên đường di chuyển ta bố trí 1 cách hợp lý



# DÂY CHUYỀN LẮP RÁP BẰNG TAY

Các thành phần được thêm vào tại mỗi vị trí



# VẬN CHUYỂN PHÔI GIỮA CÁC VỊ TRÍ LẮP RÁP

1. Dây chuyền lắp ráp không có vận chuyển cơ khí
2. Dây chuyền lắp ráp có băng tải di chuyển

## ***DÂY CHUYỀN LẮP RÁP TỰ ĐỘNG***

◆ *Dây chuyền lắp ráp tự động*: là dây chuyền lắp trong đó không có sự tham gia 1 cách trực tiếp của con người. Tại mỗi vị trí lắp ráp ta bố trí một, hay nhiều tay máy lắp ráp tự động chuyên dùng hay robot. Cả hệ thống này được điều khiển bằng máy tính 1 cách tối ưu. Độ chính xác lắp ráp sản phẩm của dây chuyền rất cao. Dây chuyền được giám sát thường xuyên nhờ hệ thống SCADA-VISION.







*Robot hàn điểm trong*



*Robot sơn.*

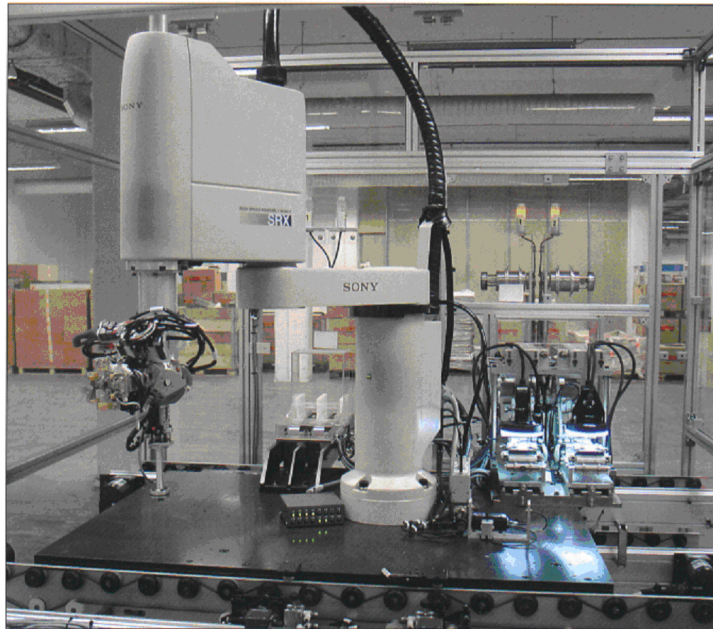


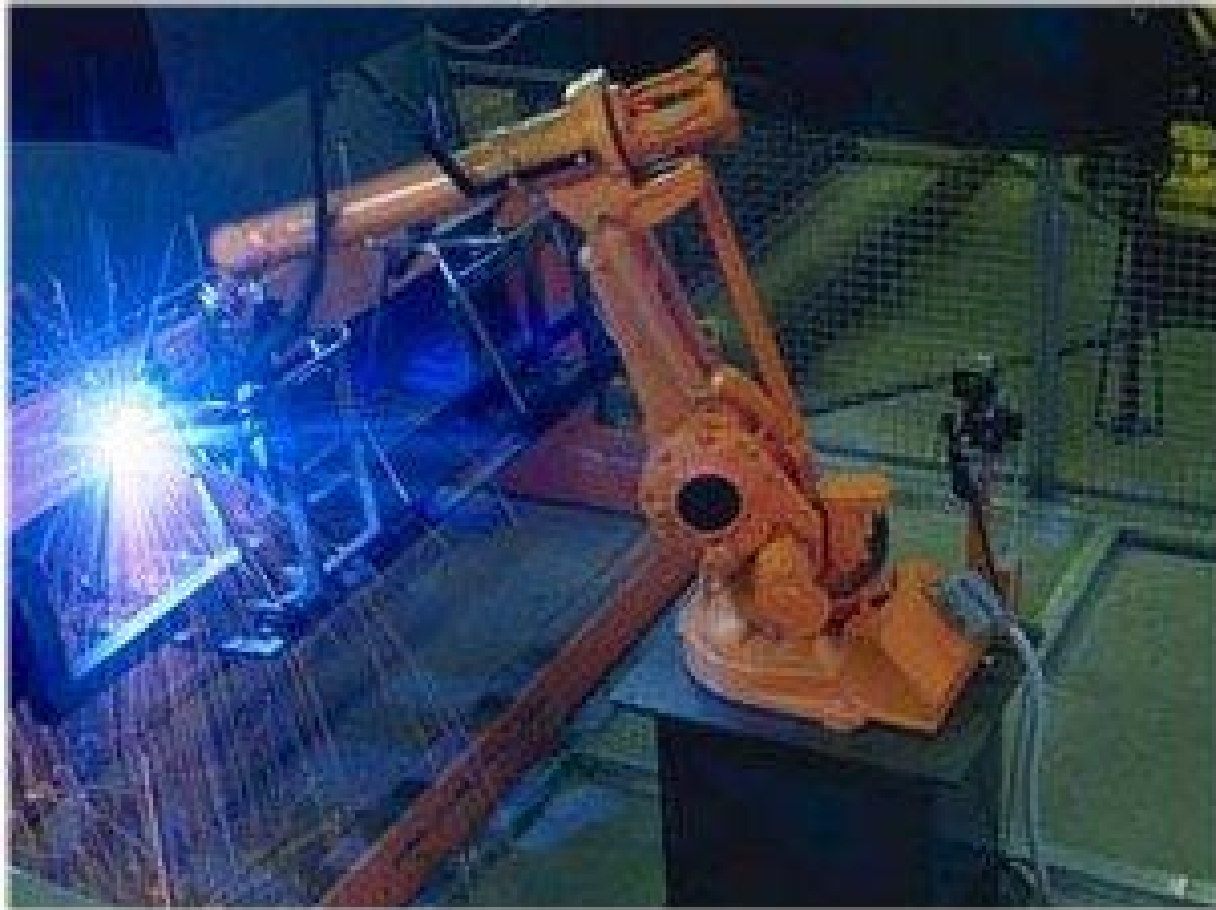
Đầu hàn có trang bị cảm biến dò  
tìm đường đi bằng laser theo không  
gian ba chiều

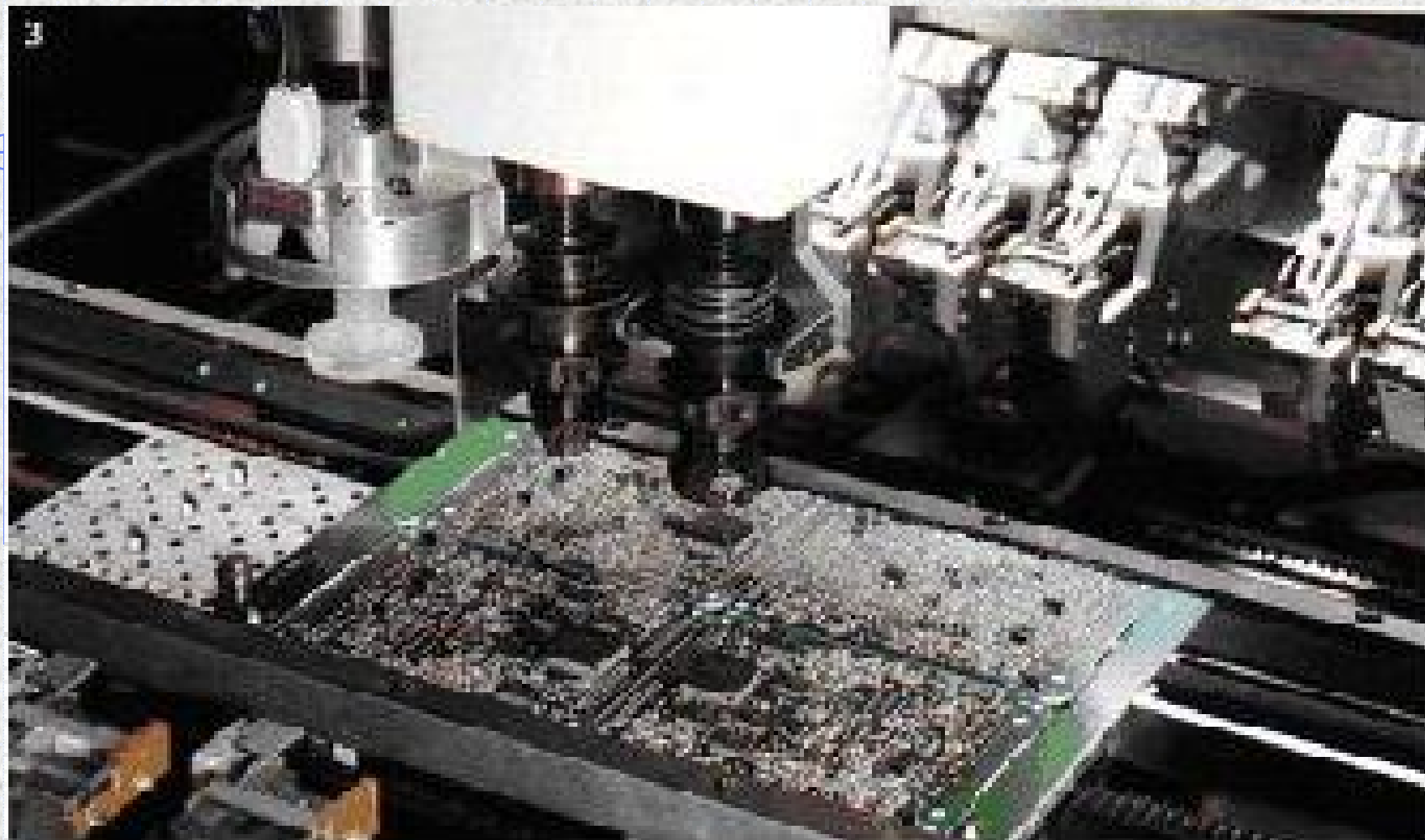
## Ứng dụng robot trong quá trình lắp ráp sản phẩm

Robot tham gia vào quá trình lắp ráp sẽ làm tăng độ chính xác, giảm lao động đặc biệt là những nơi cần vô trùng hoặc sự tích điện của lao động như những nơi lắp ráp board mạch điện tử.

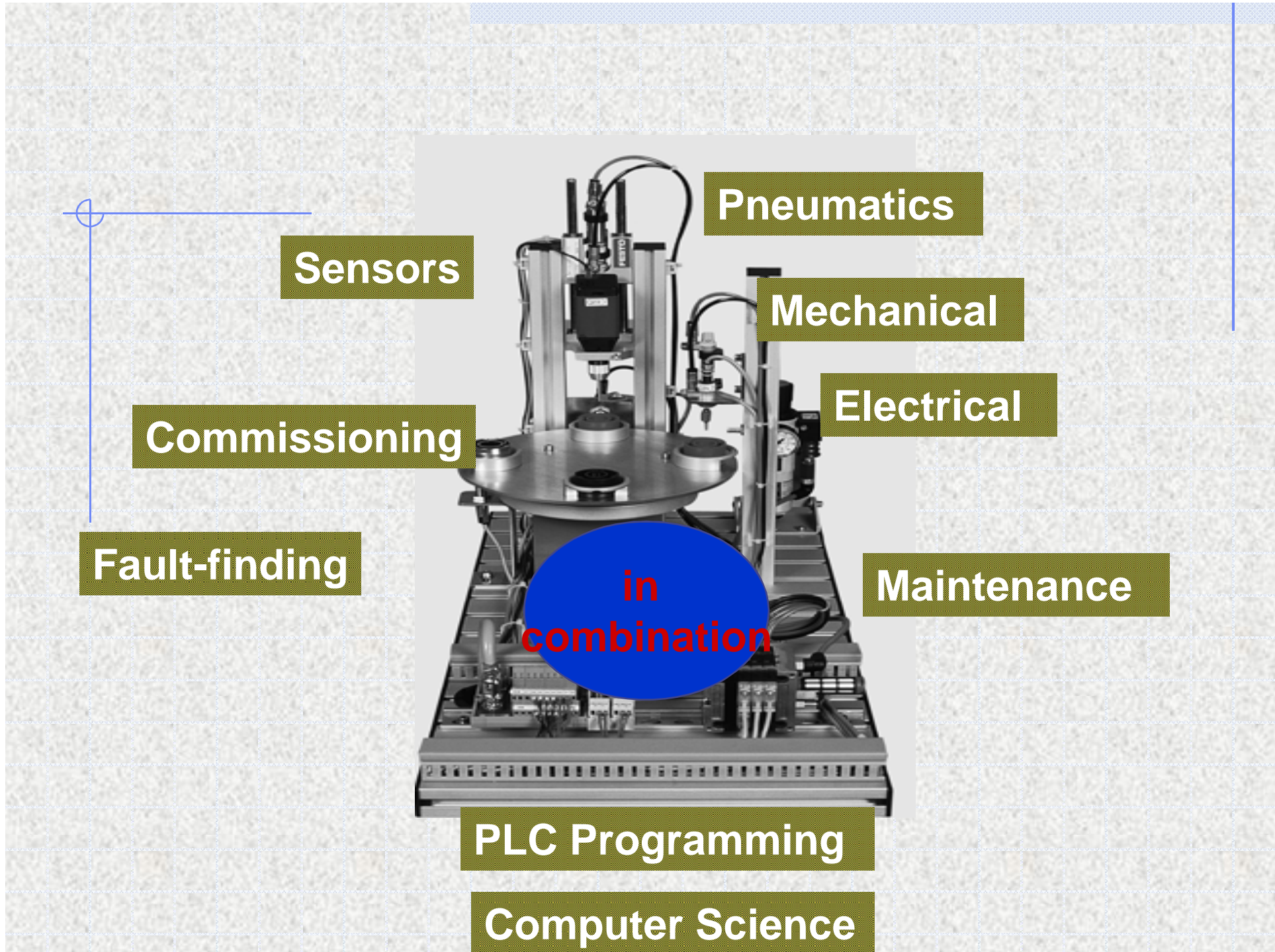
Robot được trang bị hệ thống nhận dạng sản phẩm hoặc mỗi robot được bố trí tại mỗi vị trí và được setup tùy thuộc vào sản phẩm. Khi lắp ráp sản phẩm mới ta chỉ cần cài đặt lại chương trình



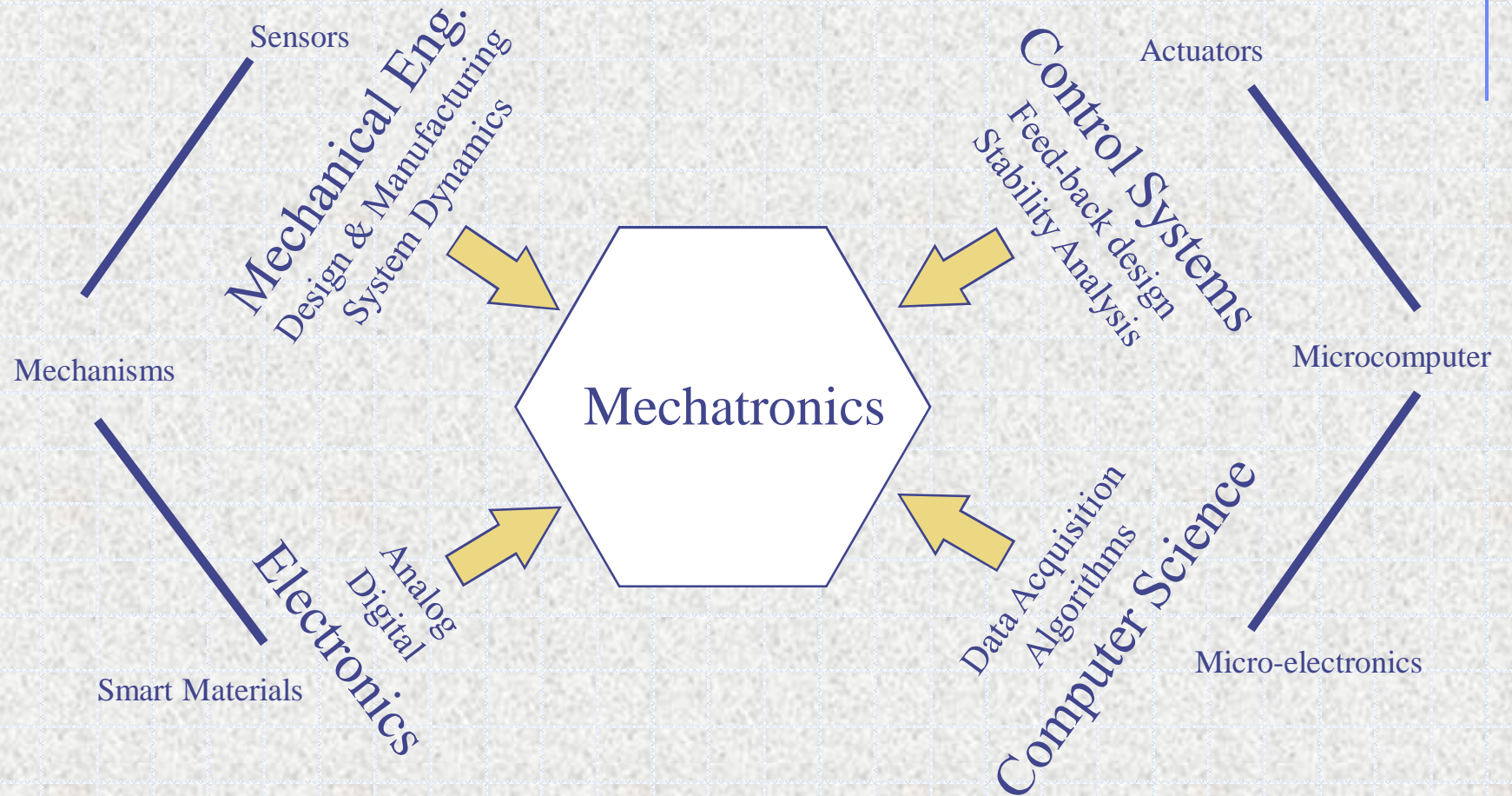




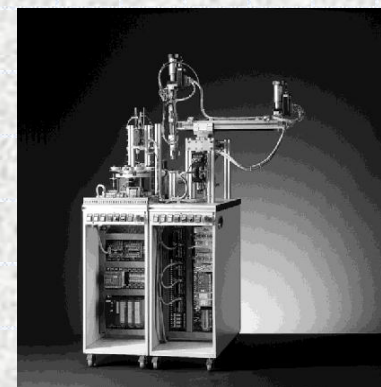
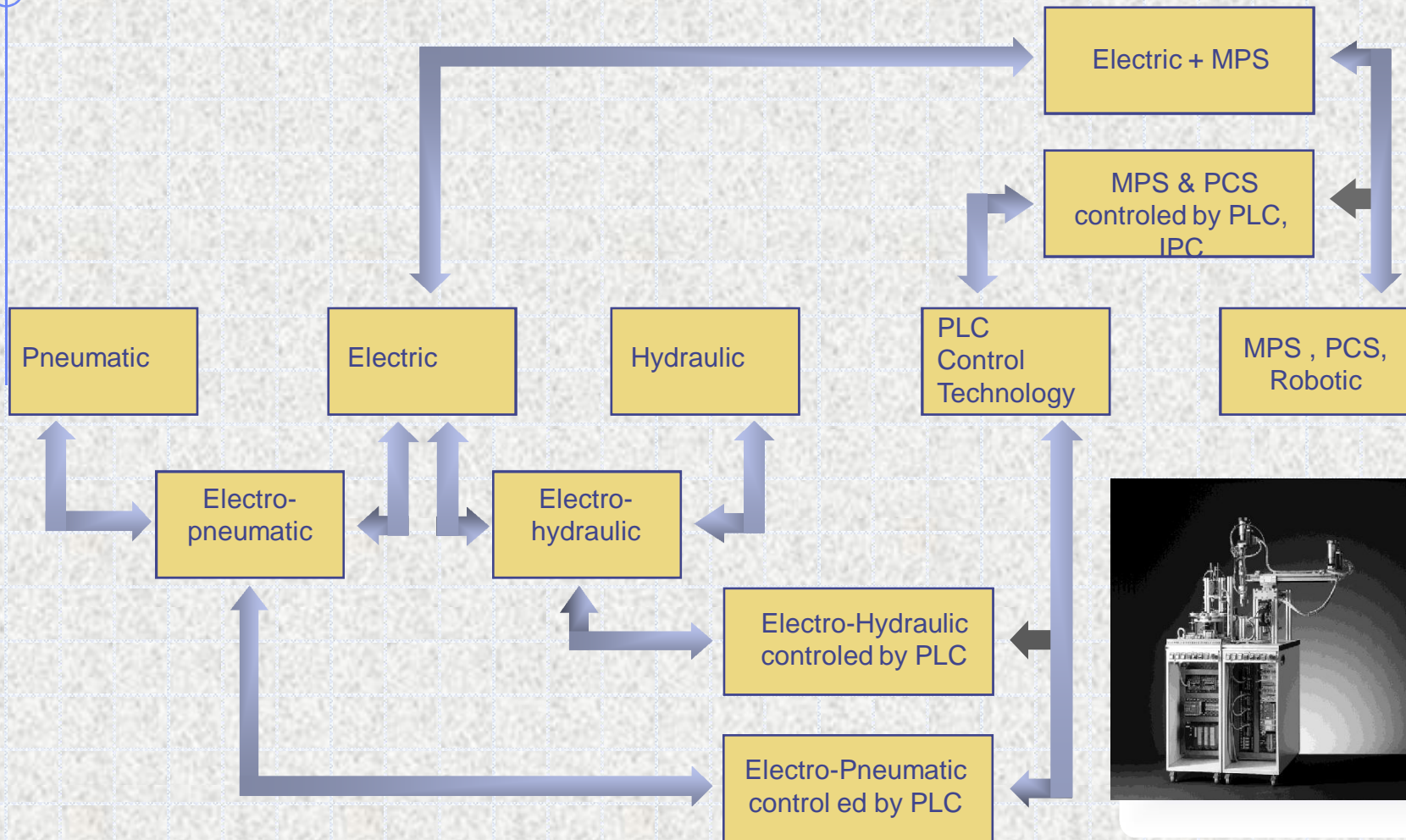
**Robot lắp ráp mạch in có hệ thống Camera quan sát được dùng để xác định vị trí chân trên bản mạch in.**



# Mechatronic Definition acc. Kevin Craig UNY



# Integrated and multi-functional Learning System







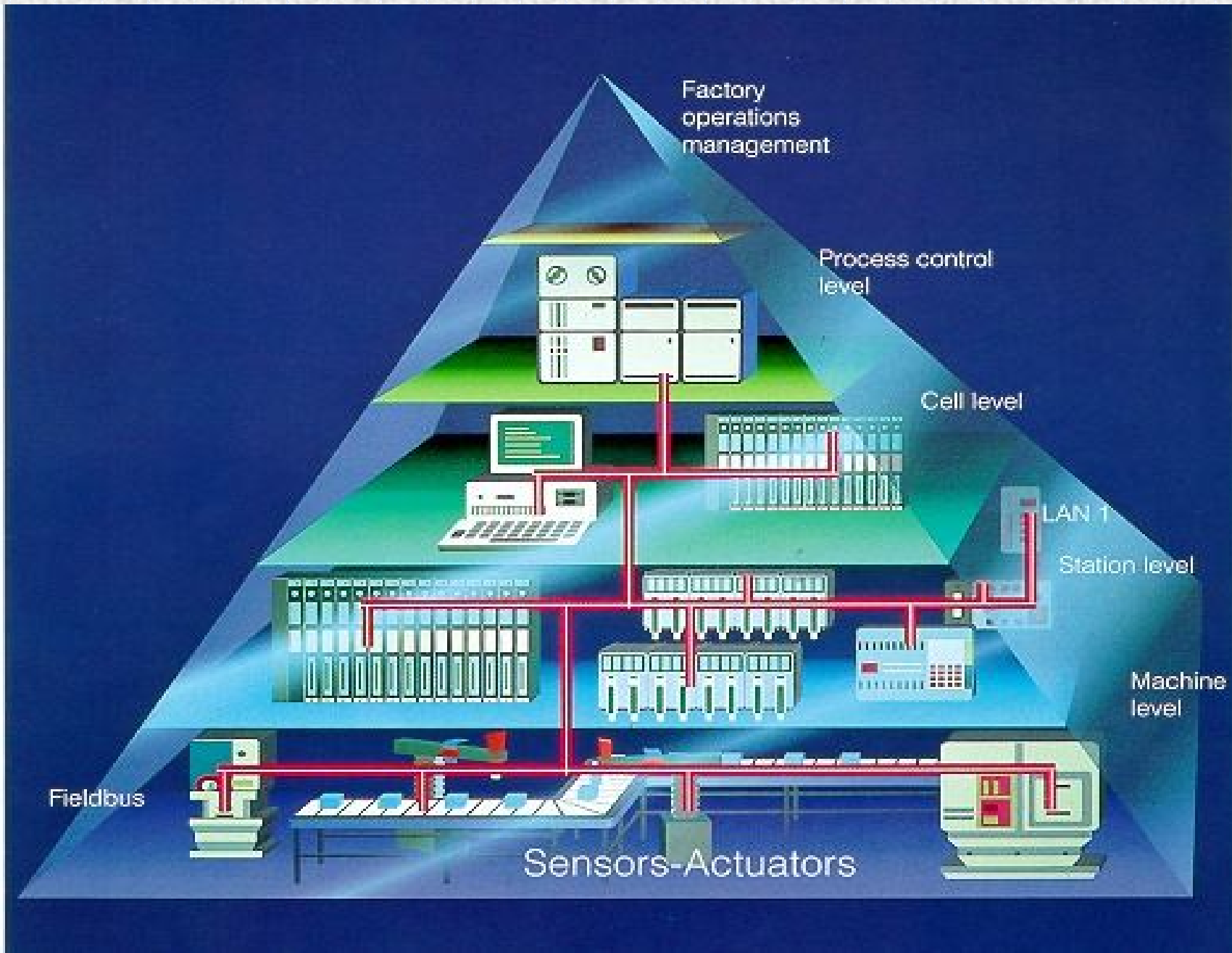
Băng tải: là thành phần không thể thiếu trong hệ thống lắp ráp bằng tay cũng như tự động.



# Băng tải công







◆ *1. Dây chuyền lắp ráp kiểu đơn (hàng khối)*

◆ *2. Dây chuyền lắp ráp kiểu loạt*

◆ *3. Dây chuyền lắp ráp kiểu hỗn hợp*

## 6.4. CÂN ĐỐI DÂY CHUYỀN LẮP RÁP

❖ Vấn đề *cân đối dây chuyền là sắp xếp quá trình* gia công riêng biệt và các công việc lắp ráp tại nơi làm việc sao cho *khoảng thời gian làm việc* tại mỗi vị trí trên dây chuyền là *xấp xỉ bằng nhau*.

### ❖ Ví dụ 6.1

❖ Có một thiết bị điện nhỏ được lắp ráp trên một dây chuyền sản xuất. Toàn bộ công việc được chia thành các nguyên công một cách hợp lý. Bộ phận công nghệ đã lập ra chuẩn thời gian dựa vào những công việc tương tự từ trước. Thông tin này được cho ở bảng 6.1. Sản lượng yêu cầu: 120.000 thiết bị/ năm. Với chế độ làm việc 50 tuần/năm và 40 giờ/tuần, lượng xuất xưởng sẽ giảm xuống còn 60 ch/h hay 1ch/ph.

Số thứ tự công việc	Tên gọi các phần tử	$T_{ej}$ (phút)	Công việc phải thực hiện trước
1	Định vị khung lên đồ gá và kẹp chặt	0,2	-
2	Lắp phích cắm, ống dẫn dây điện	0,4	
3	Lắp giá đỡ khung	0,7	1
4	Quấn dây motor	0,1	1, 2
5	Quấn dây rơ le	0,3	2
6	Lắp kết cấu mâm đĩa của khung	0,11	3
7	Lắp lưỡi dao cắt cho khung	0,32	3
8	Lắp ráp motor vào khung	0,6	3, 4
9	Cẩn dao cắt và gá vào motor	0,27	6, 7, 8
10	Lắp công tắc vào khung motor	0,38	5, 8
11	Bọc vỏ, kiểm tra, chạy thử	0,5	9, 10
12	Đặt lên giá để đóng gói	0,12	11



## 6.4. CÂN ĐỐI DÂY CHUYỀN LẮP RÁP(tt)

◆ *Các thuật ngữ:*

◆ Phần tử công việc hợp lý nhất: những phần tử công việc không thể chia nhỏ hơn được nữa. Ký hiệu  $Te_j$ ,  $j$ : để chỉ một trong số  $n_e$  phần tử công việc

Vd: khoan 1 lỗ, bắt ốc vít.

1. Thời gian hoàn thành toàn bộ công việc  $T_{wc}$

$$T_{wc} = \sum_{j=1}^n Te_j$$

2. Nhiệt xuất xưởng  $T_c$

$$T_c \leq \frac{E}{R_p}$$

## *Sơ đồ ưu tiên.*

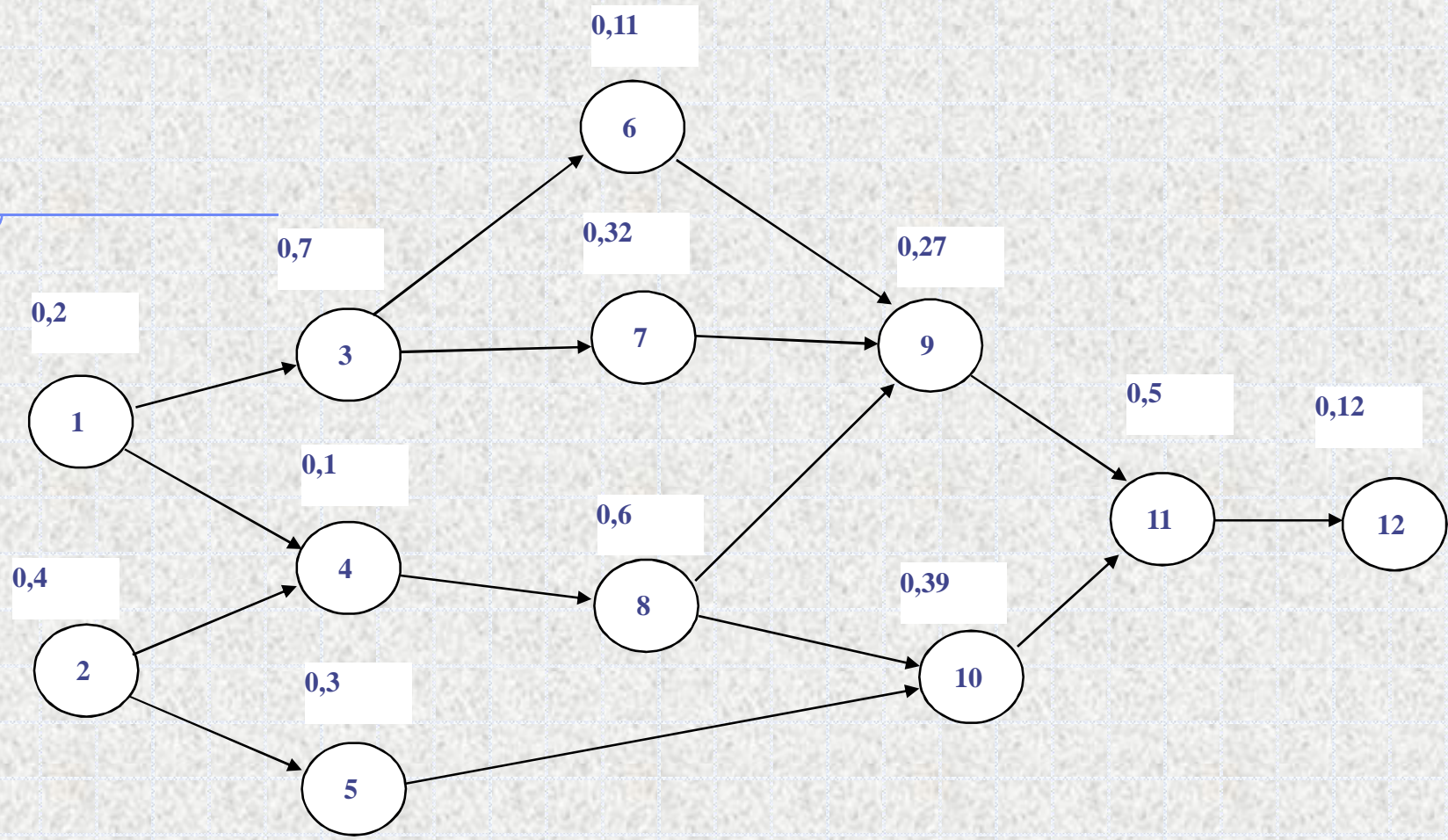
Đây là sơ đồ đặc trưng cho trình tự các phần tử công việc được xác định bởi các ràng buộc ưu tiên.

Chúng ta dùng các điểm nút để ký hiệu cho các nguyên công.



Mũi tên  $\rightarrow$  giữa hai nút chỉ thứ tự thực hiện công việc. Những nguyên công thực hiện trước tiên ứng với những nút bên trái của sơ đồ tiến trình từ trái sang phải.

Sơ đồ 6.3 là biểu diễn cho ví dụ 6.1. Thời gian thực hiện mỗi nguyên công được ghi trên mỗi nút tương ứng.



**Sự mất cân đối**

$$d = \frac{nTc - Twc}{nTc}$$

## 6.5. CÁC PHƯƠNG PHÁP CÂN ĐỐI DÂY CHUYÊN

Các phương pháp đó là:

- ◆ 1/ Quy tắc ứng viên lớn nhất
- ◆ 2/ Phương pháp Kilbridge và Wester
- ◆ 3/ Phương pháp phân chia theo trọng lượng

◆ a) Quy tắc ứng viên lớn nhất (**Largest Candidate Rule**)

◆ Quy tắc này rất dễ hiểu. Chọn các thành phần công việc để phân phối cho các vị trí làm việc đơn giản là dựa vào mức giá trị của  $T_e$ . Các bước giải bài toán cân đối được liệt kê dưới đây, tiếp theo là thí dụ 6.2 dùng để giải bài toán của ví dụ 6.1.

◆ **Bước 1:** Liệt kê các thành phần theo thứ tự giảm dần của giá trị  $T_e$ . Giá trị lớn nhất của  $T_e$  nằm ở đỉnh của bảng liệt kê.

◆ **Bước 2:** Để gán các thành phần cho vị trí làm việc đầu tiên, hãy bắt đầu từ trên xuống dưới của danh sách bằng cách chọn phần tử khả thi đầu tiên đặt vào vị trí đó. *Yếu tố khả thi là yếu tố thỏa mãn sự ưu tiên bắt buộc và không tạo ra tổng các giá trị  $T_e$  tại vị trí làm việc vượt quá thời gian chu kỳ  $T_c$ .*

◆ **Bước 3:** Tiếp tục quá trình phân bổ nguyên công vào vị trí như bước 2 cho tới khi không có thể thêm vào một thành phần nào để làm cho  $T_s$  vượt quá giá trị  $T_c$ .

◆ **Bước 4:** Lặp lại bước 2 và 3 cho vị trí khác trong dây chuyền cho tới khi tất cả các thành phần đã được phân bổ.

<b>Phần tử Công việc</b>	<b><math>T_c</math> (phút)</b>	<b>Công việc đi trước</b>
<b>3</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>
<b>8</b>	<b>0,6</b>	<b>3, 4</b>
<b>11</b>	<b>0,5</b>	<b>9,10</b>
<b>2</b>	<b>0,4</b>	<b>-</b>
<b>10</b>	<b>0,38</b>	<b>5, 8</b>
<b>7</b>	<b>0,32</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>0,3</b>	<b>2</b>
<b>9</b>	<b>0,27</b>	<b>6, 7, 8</b>
<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>-</b>
<b>12</b>	<b>0,12</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>0,11</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>0,1</b>	<b>1,2</b>

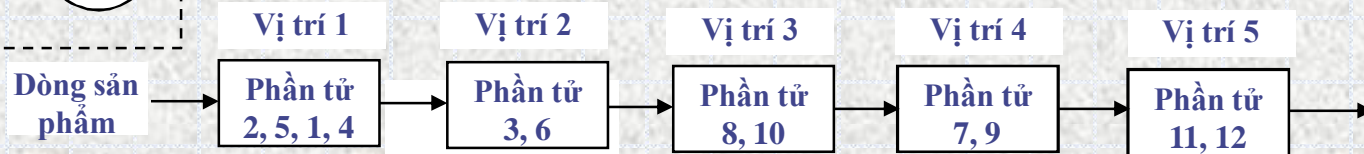
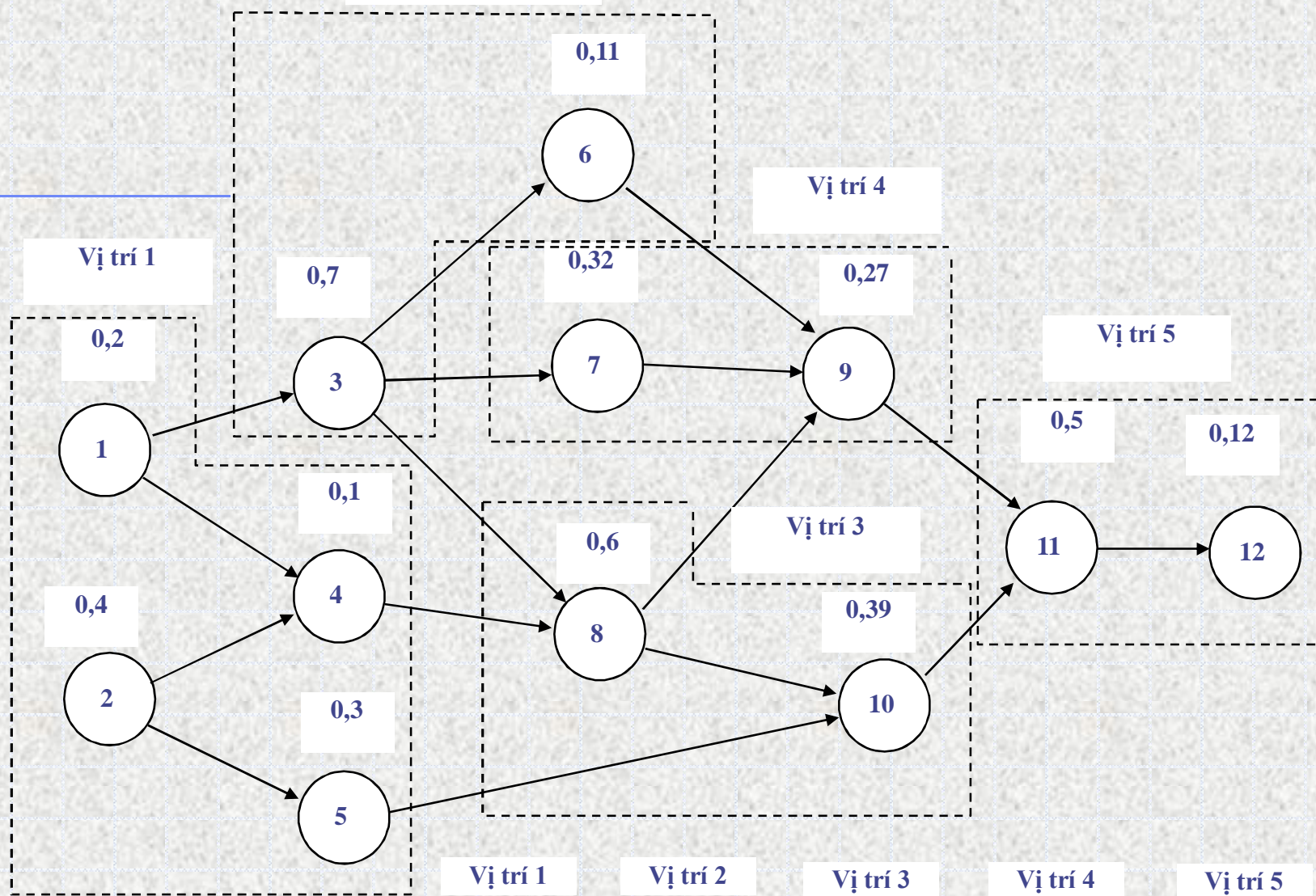
<b>V trí</b>	<b>Đàn tồ công việc</b>	<b>Đ phuò</b>	<b><math>\Sigma Tc</math> tại vò trí</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	
	<b>5</b>	<b>3</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>	
	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	
	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	
	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	
	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	
	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>6</b>

## **b/ Phương pháp Kilbridge - Wester:**

◆ Phương pháp này tạo được sự chú ý lớn kể từ khi nó được giới thiệu vào năm 1961, cho đến nay vẫn được dùng trong nhiều nước và có sự thành công rõ rệt. Đó là thủ tục phát hiện và chọn các phần tử công việc để phân bố vào các vị trí tùy theo

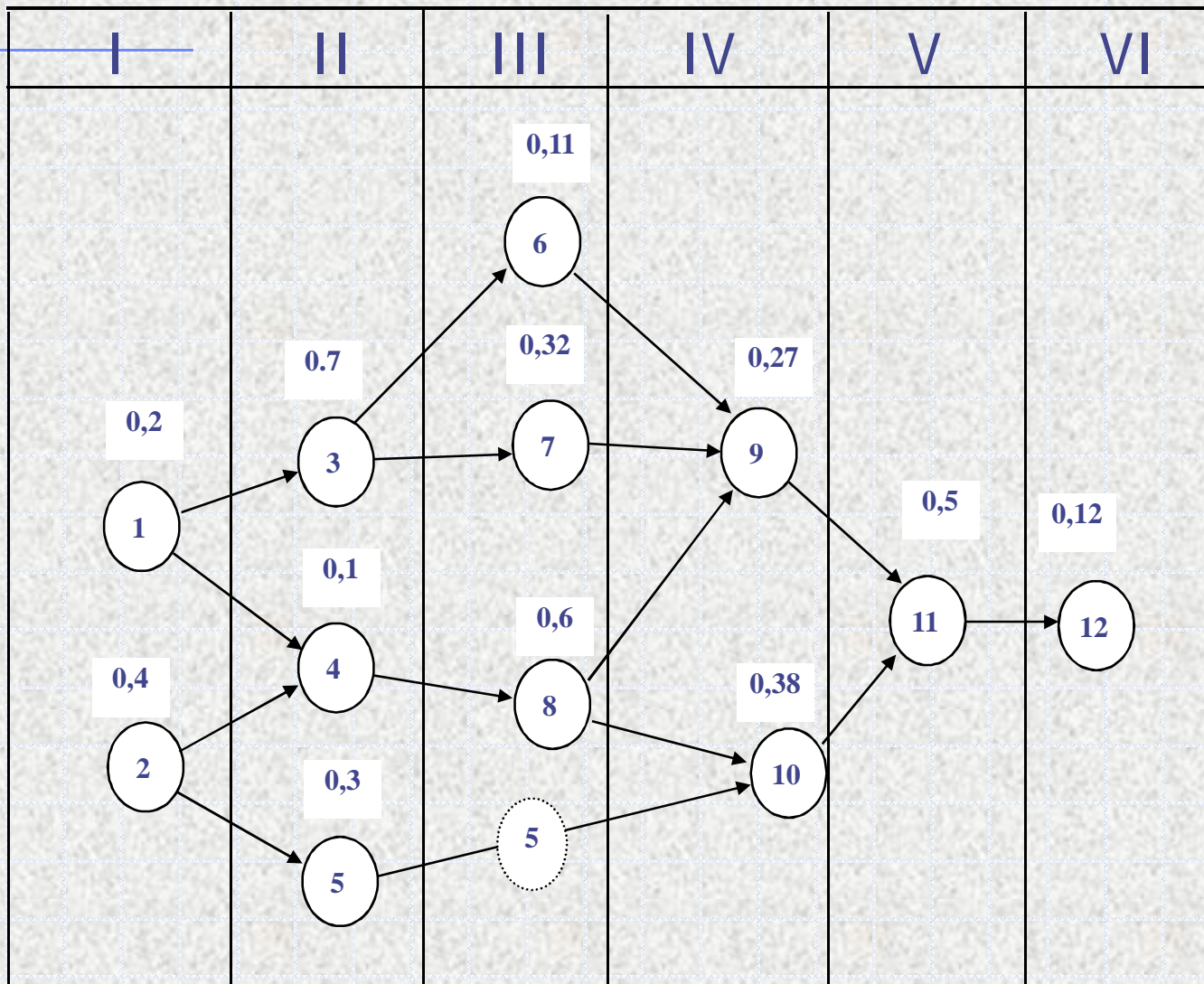


Vị trí 2



(b)

## Ví dụ 6.3



◆ **Bước 1: Xây dựng biểu đồ theo thứ tự ưu tiên.** Công việc nhằm xác định các nút đại diện cho nguyên công có cùng ưu tiên và xếp vào cùng cột dọc, Ví dụ như hình 6.5 thành phần 1 và 2 được xếp cùng cột I, thành phần 3, 4 và 5 cùng cột II ..... chú ý rằng 5 có thể xếp vào cột II hoặc III mà không ảnh hưởng đến thứ tự công việc.

◆ **Bước 2: Liệt kê các thành phần theo thứ tự cột của chúng.** Cột I là cột đầu của bảng. Nếu có một thành phần nào đó có thể xếp vào nhiều cột thì phải liệt kê nó trong tất cả các cột có thể để chỉ ra khả năng có thể thay đổi của thành phần đó. Bước này được trình bày ở bảng 6.4. Bảng cho biết  $T_e$  của từng thành phần và thời gian  $T_{es}$  cho mỗi cột.

◆ *Bước 3: phân bố các phần tử công việc vào các vị trí làm việc, bắt đầu bằng cách thành lập cột I, tiếp tục theo thứ tự cột cho đến khi chu kỳ thời gian đạt mức chuẩn.*

# Phân bố nguyên công theo phương pháp Kilbridge - Wenter

Hạng phân công việc	công	đ (phút)	đang đ của công
1	I	2	
2	I	4	6
3	II	5	
4	II	4	
5	II, III	3	.11
6	III	4	
7	III	2	
8	III	6	.13
9	IV	2	
10	IV	3	6
11	V	5	5
12	V	2	2

# Phân bố nguyên công theo phương pháp Kilbridge - Wenter

Vị trí	Thành phần	T <sub>c</sub> phút	ΣT <sub>c</sub> tại vị trí.
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.2</b>	
	<b>2</b>	<b>0.4</b>	
	<b>4</b>	<b>0.1</b>	
	<b>5</b>	<b>0.3</b>	<b>1.00</b>
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.7</b>	
	<b>6</b>	<b>0.11</b>	<b>0.81</b>
<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0.32</b>	
	<b>8</b>	<b>0.6</b>	<b>0.92</b>
<b>4</b>	<b>9</b>	<b>0.27</b>	
	<b>10</b>	<b>0.38</b>	<b>0.65</b>
<b>5</b>	<b>11</b>	<b>0.5</b>	
	<b>12</b>	<b>0.12</b>	<b>0.62</b>

## *c/ Phương pháp xếp hạng vị trí theo trọng lượng (Ranked positional weights method - RPW)*

Phương pháp này được Helgerson và Birnie giới thiệu vào năm 1961. Nó kết hợp thuật giải của quy tắc so sánh cực đại và phương pháp Kilbridge - Wreter. Phương pháp này còn gọi là RPW. Nó tính toán từng thành phần một, RPW tính cả giá trị Te của từng thành phần và vị trí của thành phần trong biểu đồ ưu tiên. Sau đó các thành phần được phân bố vào vị trí làm việc theo thứ tự tổng quát về giá trị RPW của chúng.

**Bước 1:** tính toán RPW cho từng thành phần bằng cách lấy tổng Te của thành phần đó và tất cả các thành phần Te tiếp theo trên một chuỗi tiếp theo sơ đồ ưu tiên.

**Bước 2:** liệt kê các thành phần theo thứ tự RPW, giá trị RPW lớn nhất đầu bảng liệt kê. Để thuận tiện ghi thêm các giá trị Te của các thành phần vào cột bên cạnh và một cột ghi nguyên công sát trước.

*c/ Phương pháp xếp hạng vị trí theo trọng lượng  
(Ranked positional weights method – RPW (TT))*

Bước 3: phân bố các thành phần vào vị trí tùy theo RPW.  
Nhớ dùng quy phạm điều “ưu tiên bậc buột”, và thời gian chu kỳ.



*c/ Phương pháp xếp hạng vị trí theo trọng lượng  
(Ranked positional weights method – RPW (TT))*

Thành phần	RPW	T <sub>e</sub> (phút)	Công việc đi trước
1	3,30	0,2	-
3.	3,00	0,7	1
2	2,67	0,4	-
4	1,97	0,1	1, 2
8	1,87	0,6	3, 4
5	1,30	0,3	2
7	1,21	0,32	3
6	1,00	0,11	3
10	1,00	0,38	5, 8
9	0,89	0,27	6, 7, 8
11	0,62	0,5	9, 10
12	0,12	0,12	11

*c/ Phương pháp xếp hạng vị trí theo trọng lượng  
(Ranked positional weights method – RPW (TT))*

Vị trí	Thành tố	đ (Đuốt)	$\sum$ Te tại vị trí
1	1	2	
	3	0	0
	2	4	
2	4	0	
	5	3	
	6	0	0
3	8	6	
	7	2	2
4	0	8	
	9	2	6
5	1	5	
	2	2	2

## 6.6. Các phương pháp cân đối dây chuyền nhờ máy tính

Vị trí	Phần tử công việc	$T_c$ (Phút)	Tổng thời gian tại một vị trí $T_s$
1	1	0,2	1,0
	2	0,4	
	5	0,3	
	4	0,1	
2	3	0,7	0,81
	6	0,11	
	8	0,6	
3	10	0,38	0,98
	7	0,32	
4	9	0,27	0,59
	11	0,5	
5	12	0,12	0,62

## 6.6. Các phương pháp cân đối dây chuyền nhờ máy tính

Vị trí	Phần tử công việc	$T_e$ (Phút)	Tổng thời gian tại một vị trí $T_s$
1	1	0,2	
	2	0,4	
	5	0,3	
	4	0,1	1,0
2	3	0,7	
	6	0,11	0,81
3	8	0,6	
	10	0,38	0,98
4	7	0,32	
	9	0,27	0,59
5	11	0,5	
	12	0,12	0,62

## 6.7. CÁC PHƯƠNG PHÁP KHÁC CẢI THIẾN CÂN ĐỐI DÂY CHUYỀN

- ◆ a/ Phân chia nguyên công.
- ◆ b/ Thay đổi tốc độ làm việc
- ◆ c/ Phân tích phương pháp lao động
- ◆ d/ Lắp ráp trước các cấu thành
- ◆ e/ Bộ phận trữ phôi trung gian giữa các vị trí
- ◆ f/ Các vị trí song song

## 6.7. CÁC PHƯƠNG PHÁP KHÁC CẢI THIẾN CÂN ĐỐI DÂY CHUYỀN

**a/ Phân chia nguyên công.**

▼ **b/ Thay đổi tốc độ làm việc**

◆ **c/ Phân tích phương pháp lao động**

◆ **d/ Lắp ráp trước các cấu thành**

◆ **e/ Bộ phận trữ phôi trung gian giữa các vị trí**

◆ **f/ Các vị trí song song**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC VĂN LANG**  
**KHOA NHIỆT LẠNH**

**BÀI GIẢNG MÔN HỌC**  
**TỰ ĐỘNG HÓA HỆ THỐNG LẠNH**



**GIẢNG VIÊN : ThS. NGUYỄN DUY TUỆ**

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tự động hóa hệ thống lạnh – Nguyễn Đức Lợi
2. Tự động điều khiển các quá trình Nhiệt Lạnh – TS. Trịnh Văn Dũng ( chủ biên )
3. Hand book of Air Conditioning and Refrigerant – Shan.K.Wang
4. Control systems and Application for HVACR – Thomas J.Horan



# CHƯƠNG I : MỞ ĐẦU

## I. ĐẠI CƯƠNG:

Tự động hóa hệ thống lạnh là trang bị cho hệ thống lạnh, các dụng cụ mà nhờ những dụng cụ đó hệ thống có thể vận hành hoặc từng phần thiết bị một cách tự động, chắc chắn, an toàn với độ tin cậy con mà không cần sự tham gia trực tiếp của công nhân vận hành

VD: Điều khiển nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, dòng điện, khói....

## II. Sơ đồ mạch điều khiển và một số thuật ngữ:

### 2.1 Vòng điều khiển ( Control loop ):

Là hệ thống bao gồm nhiều phần tử với mục đích điều khiển một đại lượng nào đó ( nhiệt độ, áp suất, độ ẩm.. ). Gồm các phần tử như: sensor, bộ điều khiển, cơ cấu chấp hành, tác nhân được điều khiển, đại lượng nhiễu...

- Sensor cảm nhận tín hiệu của biến điều khiển và đưa về bộ điều khiển

- Bộ điều khiển nhận tín hiệu phản hồi từ sensor và tính toán sai số so với điểm cài đặt và suất ra tín hiệu để điều khiển cơ cấu chấp hành ( van, bướm gió.. )

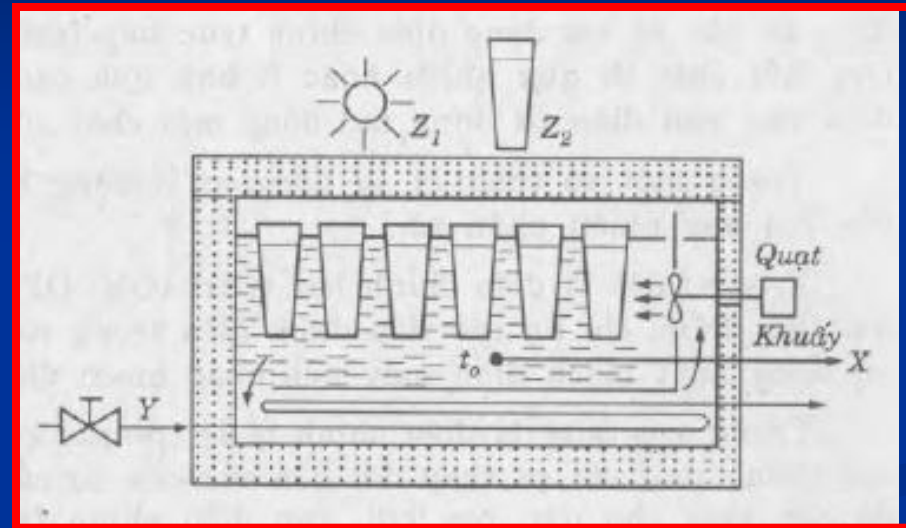
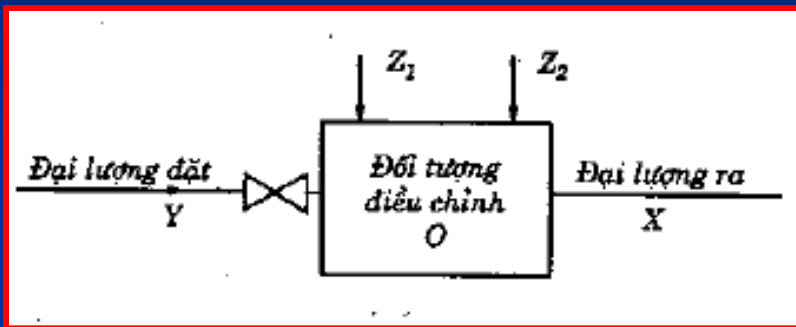
- Cơ cấu chấp hành nhận tín hiệu từ bộ điều khiển để điều khiển tác nhân cần điều khiển ( đối tượng cần điều chỉnh )

Gồm 2 loại: Vòng điều khiển hở và kín

+ Vòng điều khiển hở :

Là vòng điều khiển không có tín hiệu phản hồi. Mạch điều khiển hở phải dự báo được đại lượng bên ngoài( external variable ) sẽ tác động lên hệ thống thế nào.

**VD:** Van tiết lưu tay. Căn cứ vào nhiệt độ ngoài bể đá và các đại lượng khác như nhiệt độ, lượng đá thu hoạch, sự bám tuyết.. Người ta dự đoán năng suất lạnh để chỉnh van tiết lưu



- $O$  - Bể đá ( đối tượng điều chỉnh)
- $Y$  - Lượng môi chất lạnh vào được điều chỉnh
- $X$  - Nhiệt độ bể đá
- $Z_1$  - Thời tiết bên ngoài (nhiều)
- $Z_2$  - Lượng khuôn đá vào (nhiều).

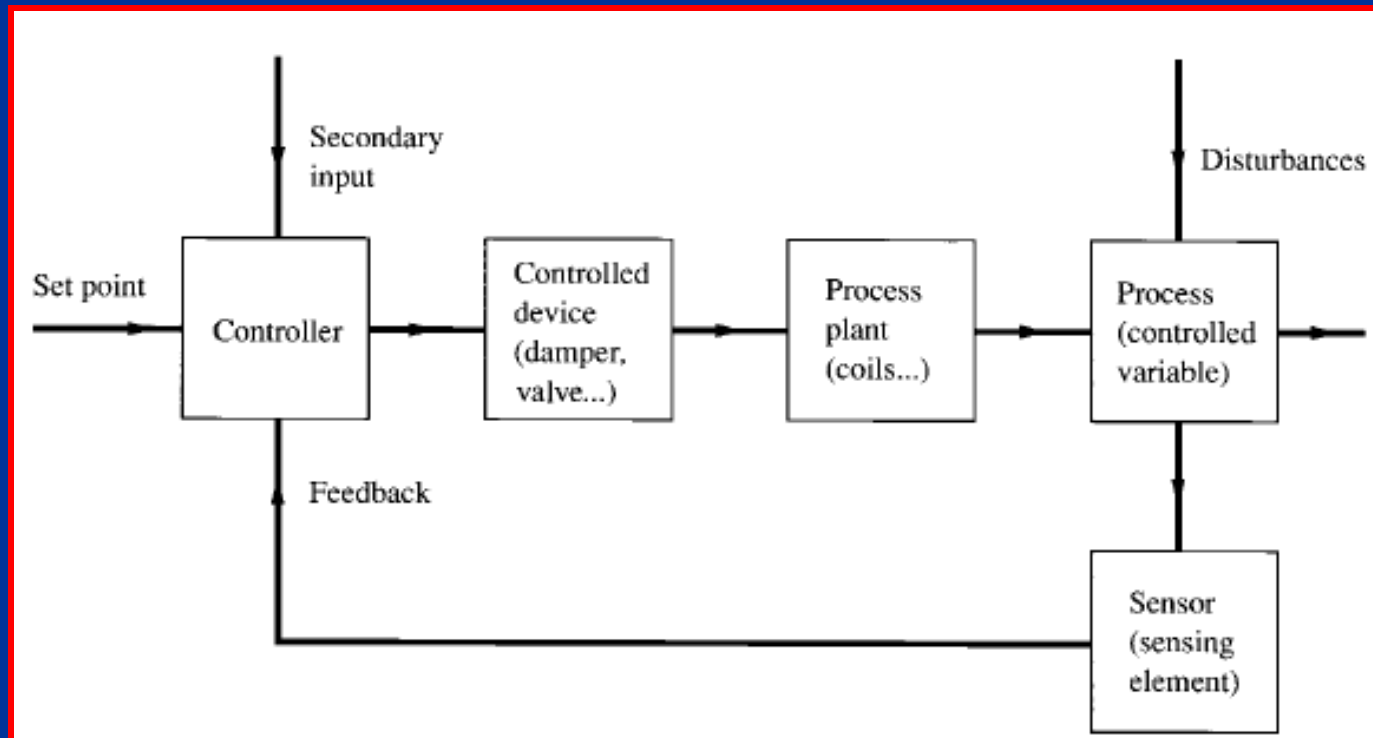
**VD:** Cảm biến nhiệt độ ngoài trời

- Vòng điều khiển hở có thể dùng để bảo vệ hệ thống. Khi đó nó xuất tín hiệu On hay Off để đóng ngắt tác nhân cần điều khiển.

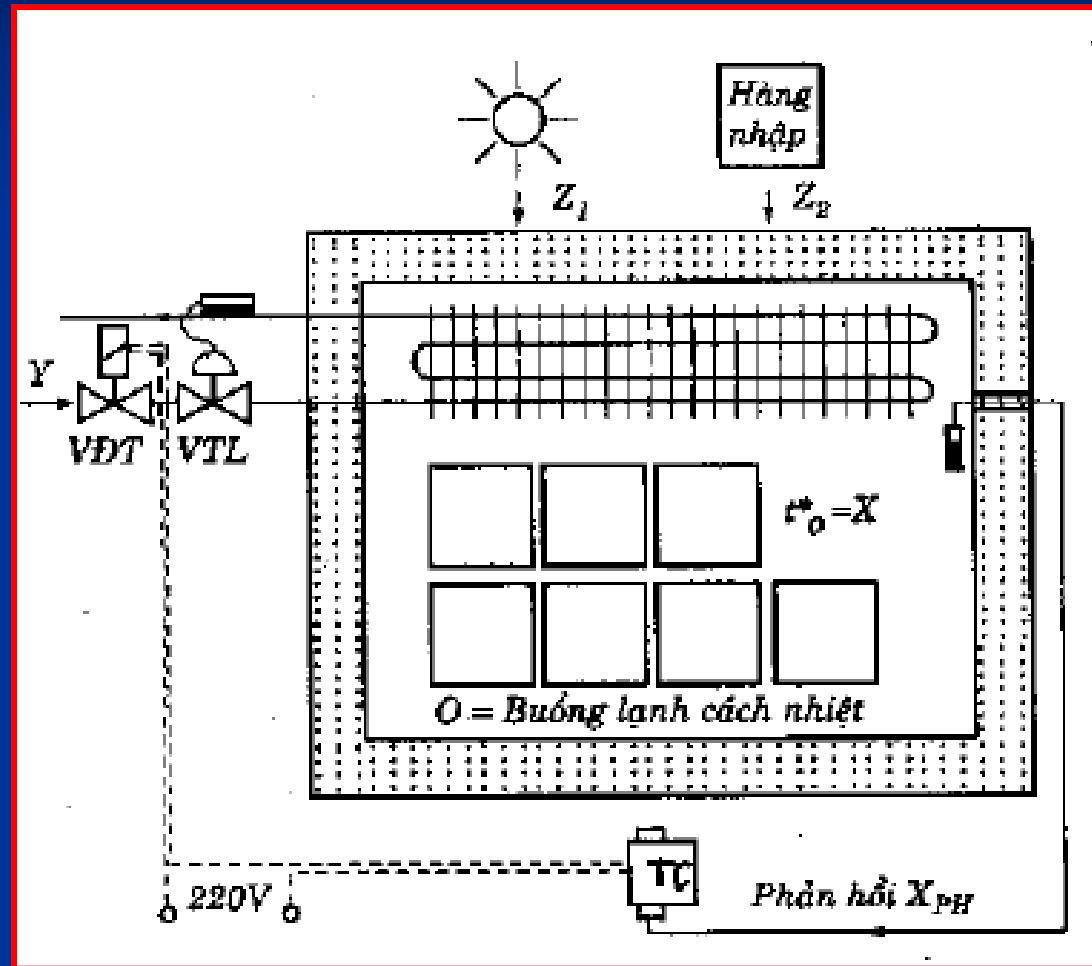
- Hoặc dùng trong việc điều chỉnh thời gian đóng mở máy.

+ Vòng điều khiển kín ( Close loop ):

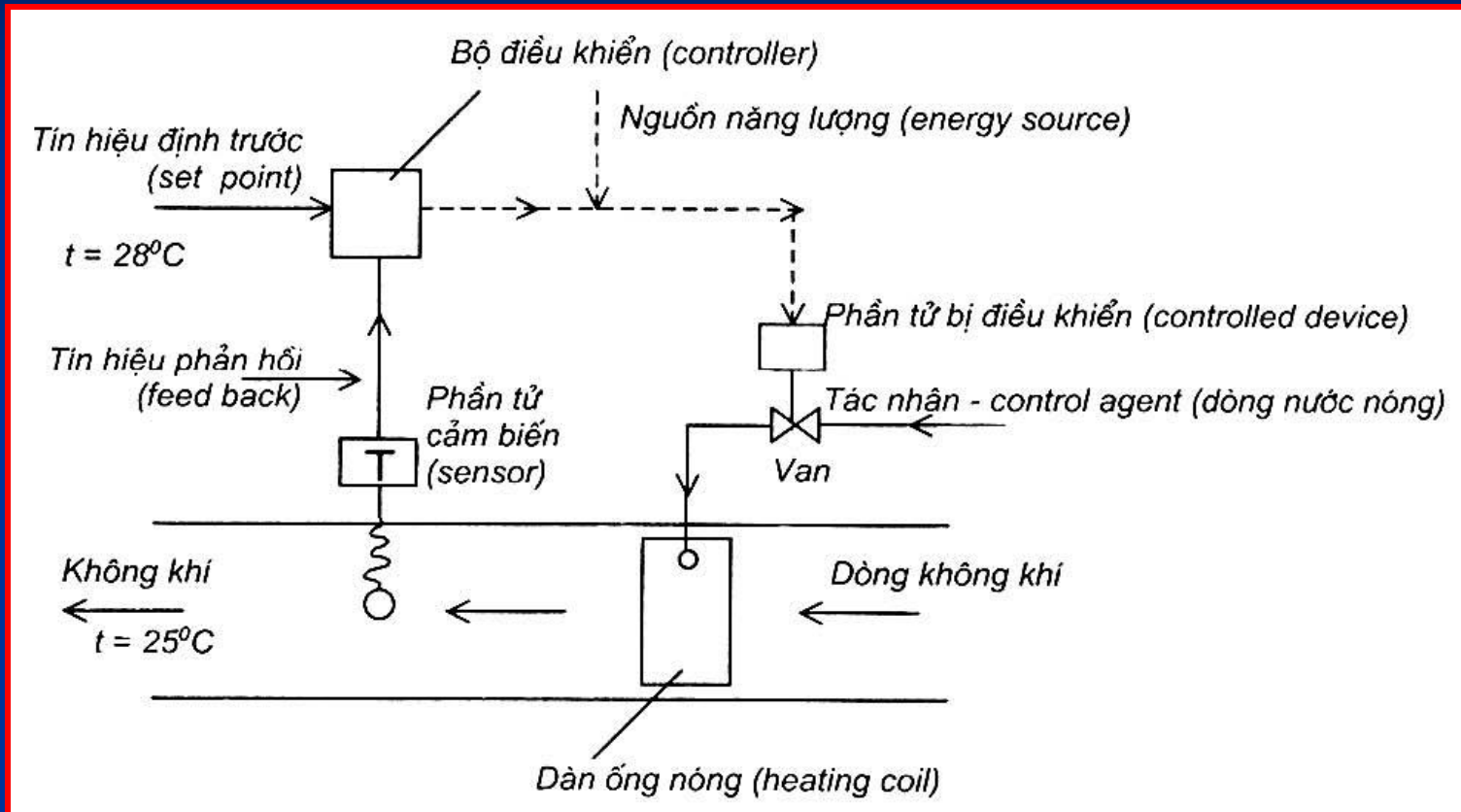
Có tín hiệu phản hồi sự thay đổi của biến điều khiển ( control variable ) về bộ điều khiển



# Ví dụ: Buồng lạnh điều khiển nhiệt độ bằng van điện từ kết hợp với ro le nhiệt độ buồng



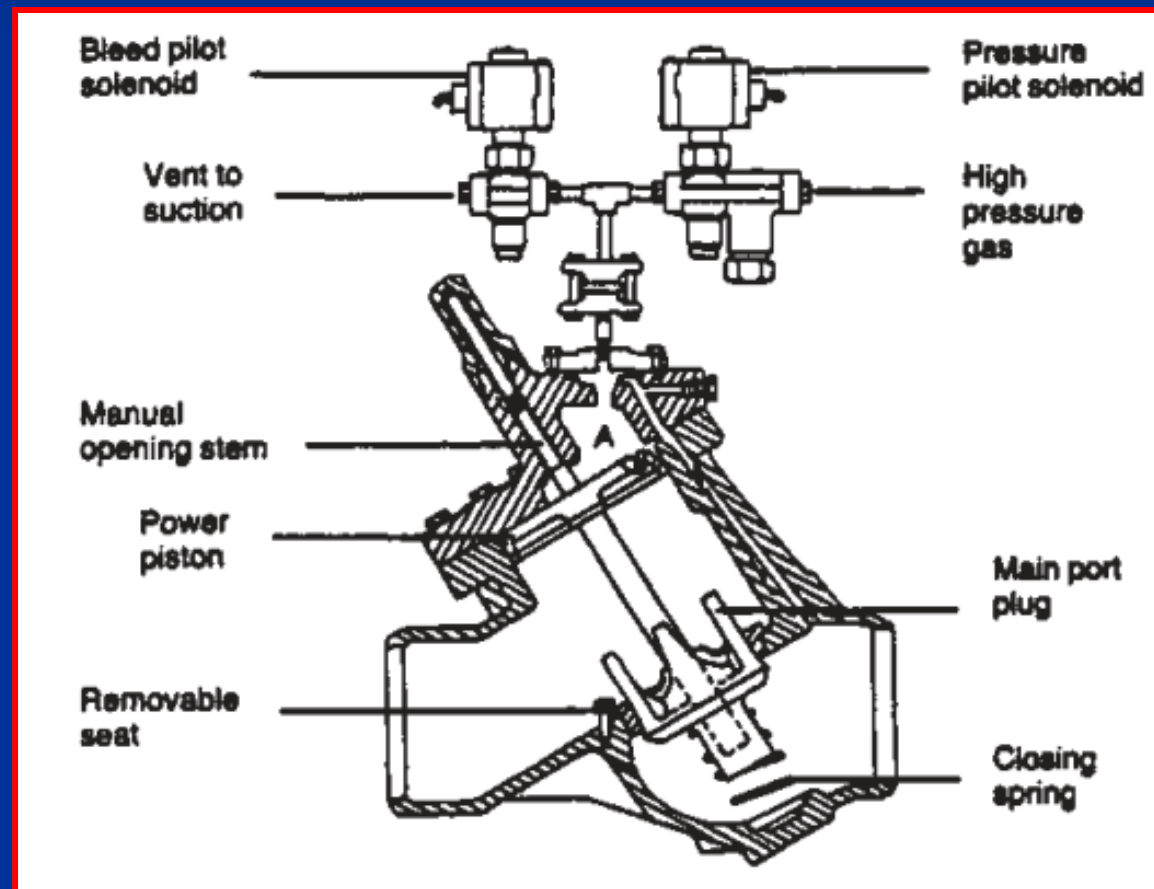
# Ví dụ: Điều khiển hệ thống điều hòa không khí



## 2.2 Nguồn năng lượng điều khiển ( Energy Source ):

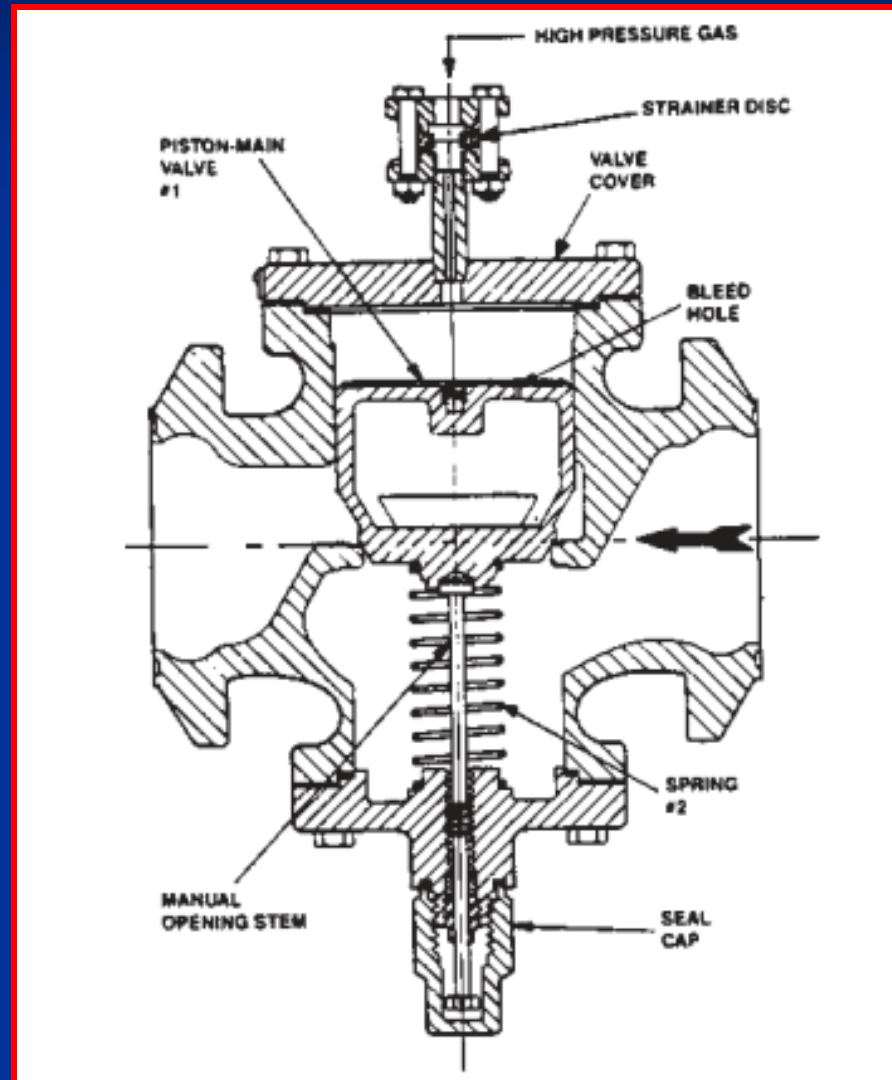
- Hệ điều khiển bằng điện – điện tử: Nếu phần tử cảm biến và truyền tín hiệu đi là các bán dẫn, hệ được gọi là điện – điện tử hay gọi tắt là điện tử. Cần lưu ý là ngay cả hệ điện tử thì nguồn năng lượng cung cấp vẫn là điện.
- Hệ điều khiển bằng khí nén ( Pneumatic ): Ở đây khí nén là nguồn năng lượng để cung cấp cho bộ điều khiển để tạo ra lực tác dụng vào phần tử bị điều khiển ( van.. )
- Hệ điều khiển tự cung cấp năng lượng: Năng lượng cần tạo ra lực mở van không cần lấy từ bên ngoài mà lấy từ chính tác nhân bị điều khiển

**Ví dụ:** Khi van cần mở ra thì van SV mở ra cho phép dòng môi chất có áp cao tác động vào power piston, để đóng van thì van điện từ đóng nhưng 1 van điện từ khác thông vào đường ống hút MN sẽ mở ra, nhờ vào lò xo sẽ đẩy power piston lên.

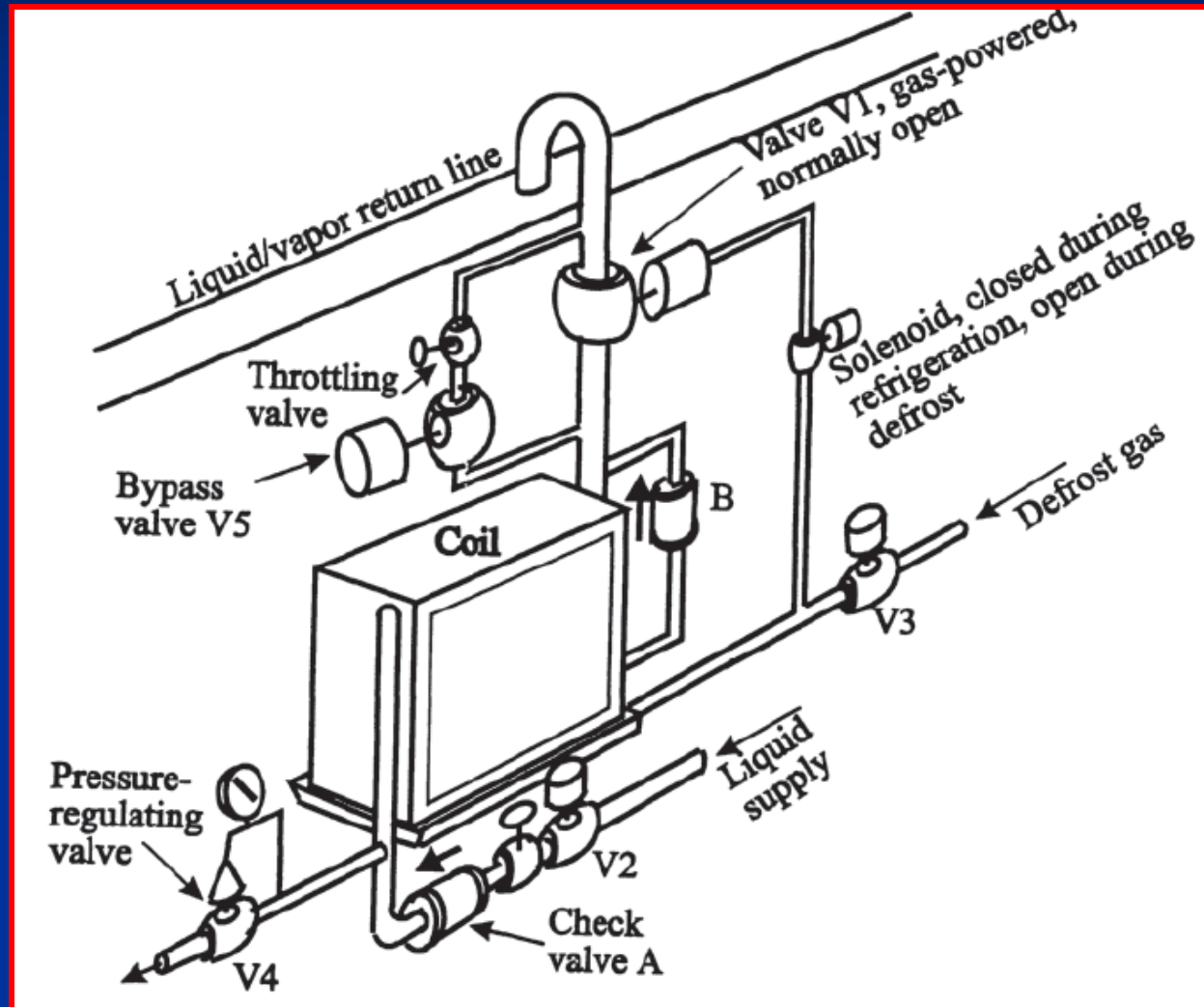




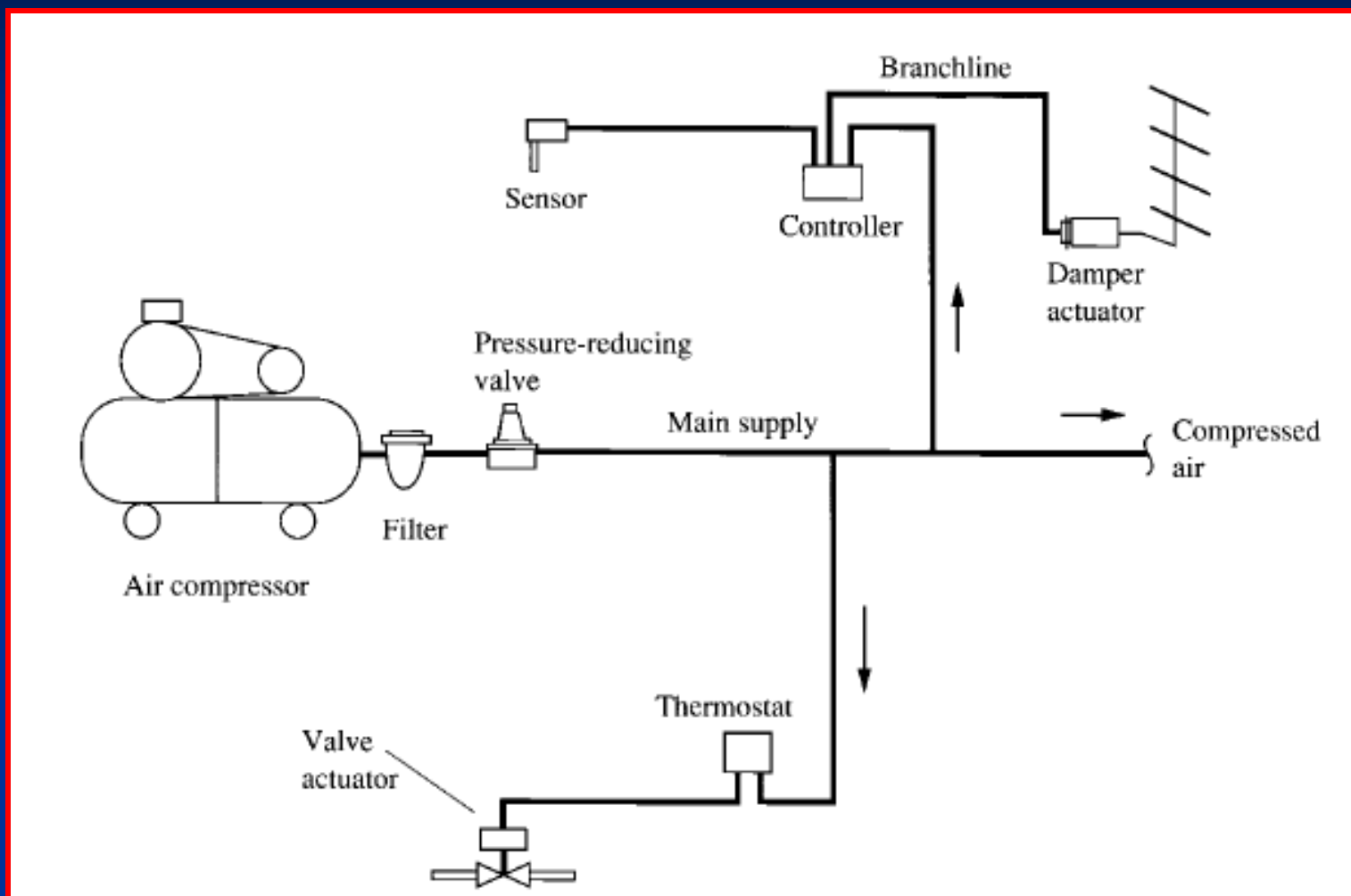
**Ví dụ:** Nếu đường gas áp suất cao được ngắt thì lò xo làm mở van.  
Nếu cần đóng van thì gas áp suất cao sẽ tác động piston làm đóng van.



- Khi cần xả đá thì van V3 mở ra, van điện từ mở



# Ví dụ: Hệ thống điều khiển bằng khí nén



## 2.3 Bộ điều khiển:

Bộ điều khiển sẽ đánh giá sự hoạt động của quá trình và xuất tín hiệu để điều khiển cơ cấu chấp hành, qua đó sẽ điều tiết tác nhân điều khiển. Ta sẽ có một số kiểu điều khiển như sau:

### + Điều khiển On-Off ( điều khiển 2 vị trí ):

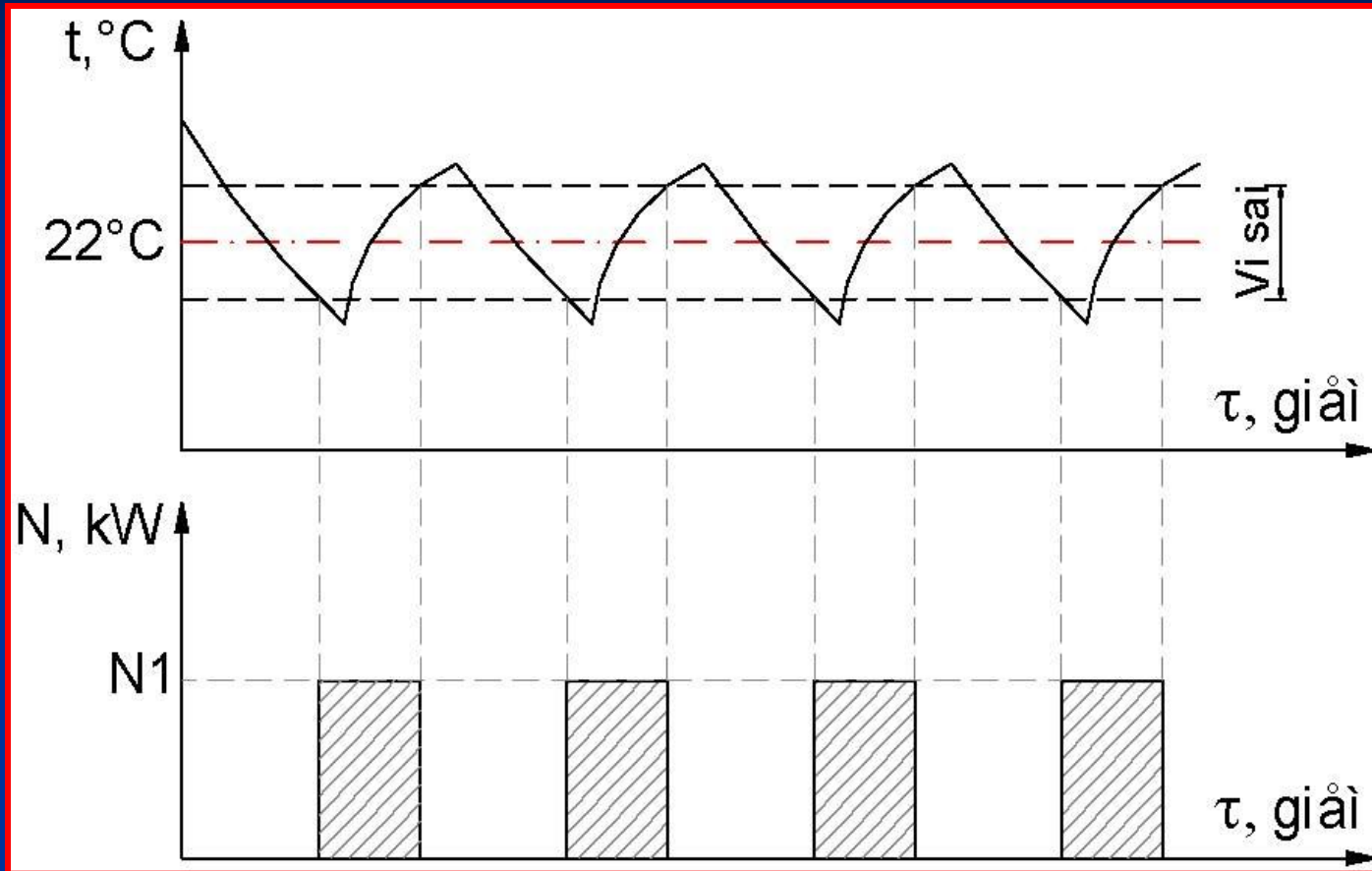
Phương pháp điều khiển này điều khiển theo giá trị lớn nhất hay nhỏ nhất được yêu cầu. Như vậy, tín hiệu ngõ ra của bộ điều khiển không liên tục và không đạt được chính xác nhiệt độ yêu cầu. Do đó nên sử dụng trong hệ thống nhỏ hay dùng trong việc bảo vệ thiết bị.

Ví dụ : Để điều chỉnh nhiệt độ không khí trong phòng, máy điều hòa cửa sổ thực hiện như sau :

+ Nhiệt độ đặt trong phòng là 22 độ C

+ Khi nhiệt độ trong phòng xuống 21 độC máy sẽ dừng chạy.

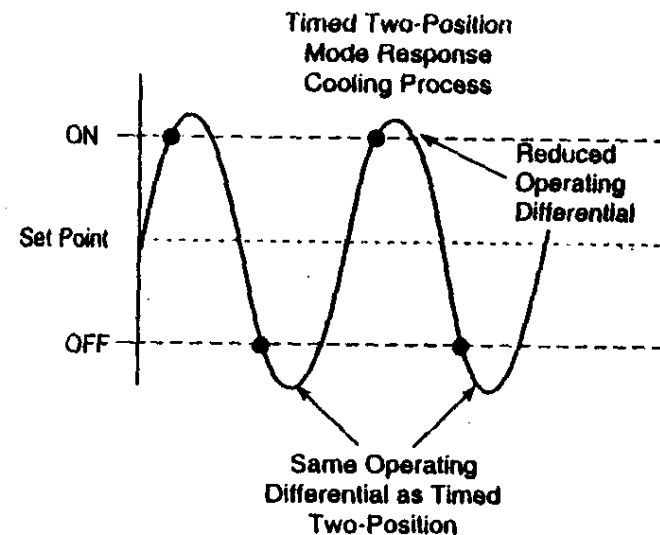
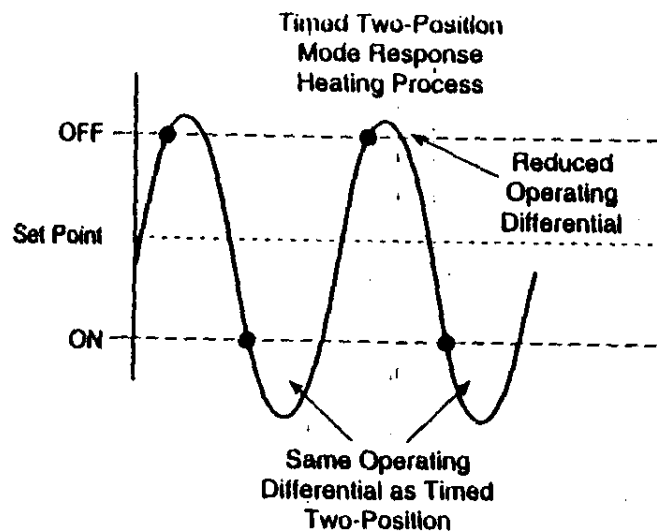
+ Khi nhiệt độ lên 23 độC thì máy bắt đầu chạy lại.



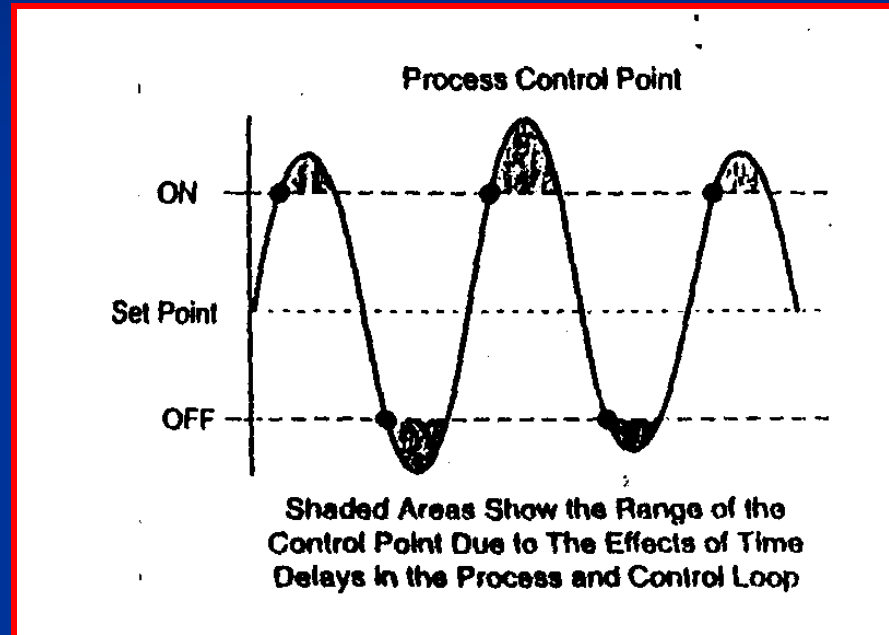
## + Điều khiển 2 vị trí có thời gian trễ :

Do sự đáp ứng của bộ điều khiển không kịp thời do có sai số hoạt động. Sai số hoạt động này do thời gian trễ. Thời gian trễ do cảm biến, do truyền tín hiệu, do thiết bị vận chuyển ( nước lạnh vào dàn FCU, gió lạnh.. ), do cần thời gian để trao đổi nhiệt nên việc điều khiển kém chính xác. Do đó người ta gắn thêm một điện trở nhỏ vào đầu cảm biến.

VD: Lắp thêm điện trở trong quá trình on của quá trình sưởi ấm và off trong quá trình làm lạnh



# Sai số hệ thống thực:



## + Điều khiển theo bước:

Thường được sử dụng cho hệ thống **lớn có nhiều máy**. Phương pháp này có ưu điểm hạn chế được sự sai lệch lớn công suất giữa các kỳ. Nhưng việc điều khiển nhiệt độ cũng không chính xác

Phương pháp điều khiển bước là thay đổi công suất theo từng bước, tránh công suất thay đổi quá đột ngột. Hệ điều hòa có điều khiển bước phải có nhiều tổ máy. Trong hệ thống này bộ điều khiển căn cứ vào tín hiệu của biến điều khiển sẽ tác động lên các rơ le hay công tắc và làm thay đổi công suất thiết bị ra theo từng bước hay giai đoạn.

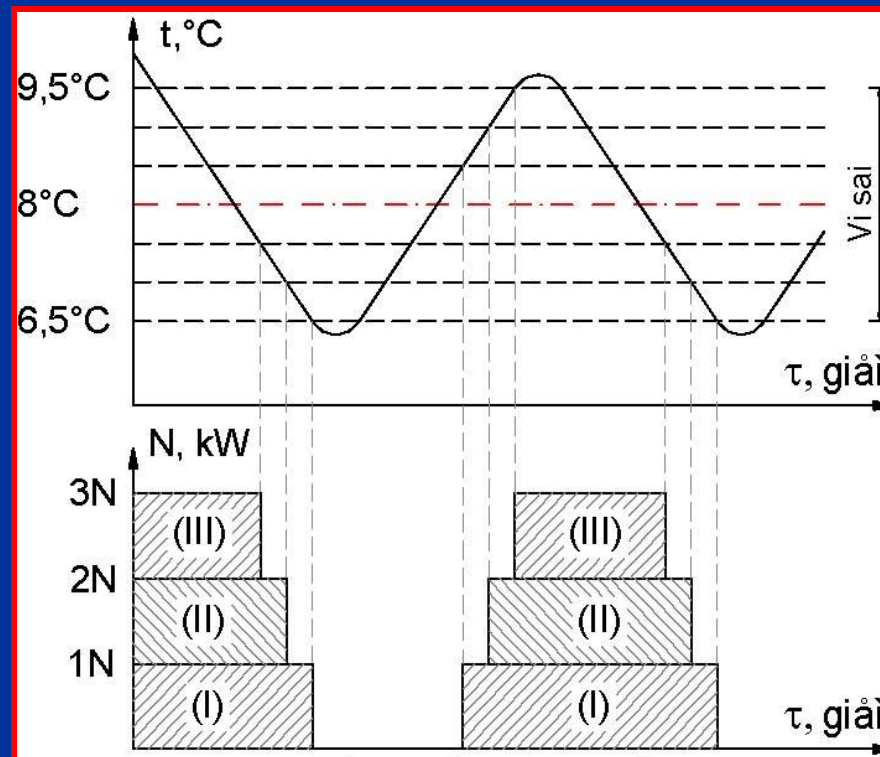
Ta nghiên cứu một ví dụ: Thiết bị điều khiển công số một hệ thống điều hòa gồm 3 cụm máy chiller.

- Biến điều khiển là nhiệt độ của nước lạnh vào máy  $t_{nv}$ .
- Giá trị định trước là  $t_{nv} = 80C$



\* **Khi nhiệt độ tăng** : Khi nước về  $t_{nv} = 8,5^{\circ}\text{C}$  chỉ có tổ máy I làm việc. Nếu nhiệt độ tiếp tục tăng đến  $9^{\circ}\text{C}$  thì tổ máy II khởi động và làm việc cùng tổ I. Nếu nhiệt độ tăng đến  $9,5^{\circ}\text{C}$  thì tổ máy thứ III khởi động làm việc.

\* **Khi nhiệt độ giảm** : Khi nhiệt độ giảm xuống  $7,5^{\circ}\text{C}$  thì tổ máy thứ III ngừng hoạt động. Nếu tiếp tục giảm xuống  $7^{\circ}\text{C}$  thì tổ máy II dừng tiếp. Nếu xuống  $6,5^{\circ}\text{C}$  thì dừng thêm tổ I.



Ta nghiên cứu đồ thị thay đổi nhiệt độ và phụ tải:

- Ta có nhận xét là đồ thị công suất thay đổi từng bậc, tránh hiện tượng xung (thay đổi đột ngột).

- Các máy làm việc như sau :

+ **Máy I** : Làm việc trong khoảng khi nhiệt độ tăng lên  $8,5^{\circ}\text{C}$  và dừng khi nhiệt độ giảm xuống  $6,5^{\circ}\text{C}$ . Như vậy máy I làm việc trong khoảng thời gian dài nhất.

+ **Máy II**: làm việc trong khoảng khi nhiệt độ tăng lên tới  $9^{\circ}\text{C}$  và dừng khi nhiệt độ giảm xuống  $7^{\circ}\text{C}$ .

+ **Máy III**: Làm việc khi nhiệt độ tăng lên  $9,5^{\circ}\text{C}$  và dừng khi nhiệt giảm xuống  $7,5^{\circ}\text{C}$

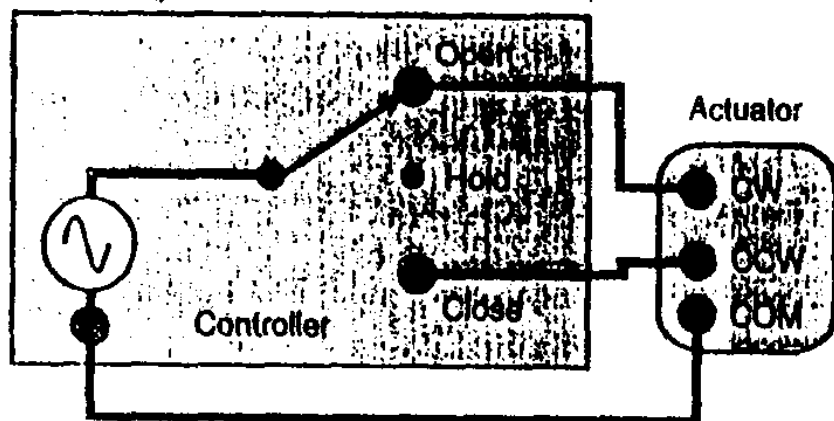
Như vậy máy I làm việc nhiều nhất và máy III làm việc ít nhất. Để tránh tình trạng đó trong mạch điện người ta có thiết kế công tắc chuyển mạch để đổi vai trò các máy cho nhau, tránh cho một máy nén bất kỳ làm việc quá nhiều trong khi máy khác hầu như không hoạt động.

\* Ưu, nhược điểm của phương pháp điều khiển theo bước :

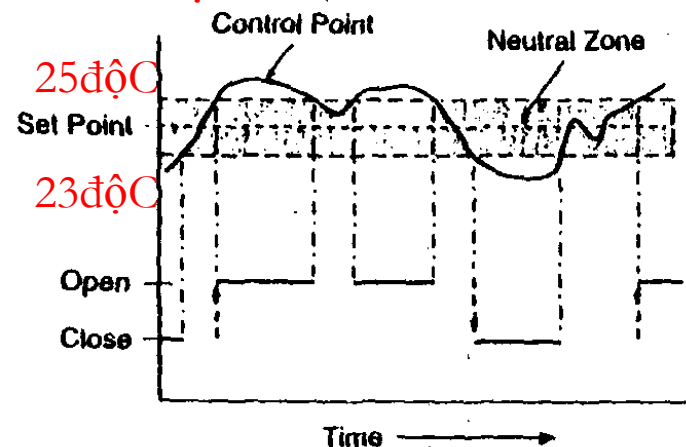
- Tránh được sự thay đổi công suất quá đột ngột. Thích hợp cho hệ thống lớn.
- Các máy làm việc không đều nhau nên phải thường xuyên chuyển đổi vai trò của các máy.
- Biên độ dao động (v sai) của biến điều khiển tương đối lớn do phải qua từng cấp.

+ Điều khiển kiểu phao “floating” : Tương tự như việc điều khiển 2 vị trí nhưng có vị trí giữ “hold”. Nó có ưu điểm sẽ làm giảm sai số hoạt động. Khi biến điều khiển nằm trong khoảng cho phép thì bộ điều khiển sẽ ngừng cấp tín hiệu cho cơ cấu chấp hành và nó sẽ giữ ở vị trí hold. Như vậy cần yêu cầu cơ cấu chấp hành khá đặc biệt. Cơ cấu chấp hành ( mô tơ mở van ) có thể quay theo chiều kim đồng hồ hay ngược chiều kim đồng hồ. Khi cấp tín hiệu vào cuộn dây common và cuộn CW ( clock wise ) thì van sẽ mở theo chiều kim đồng hồ. Khi cấp vào cuộn common và COW thì van sẽ quay chiều ngược lại. Khi không có tín hiệu cấp vào thì nó sẽ ở vị trí giữ.

Floating Mode Wiring Diagram



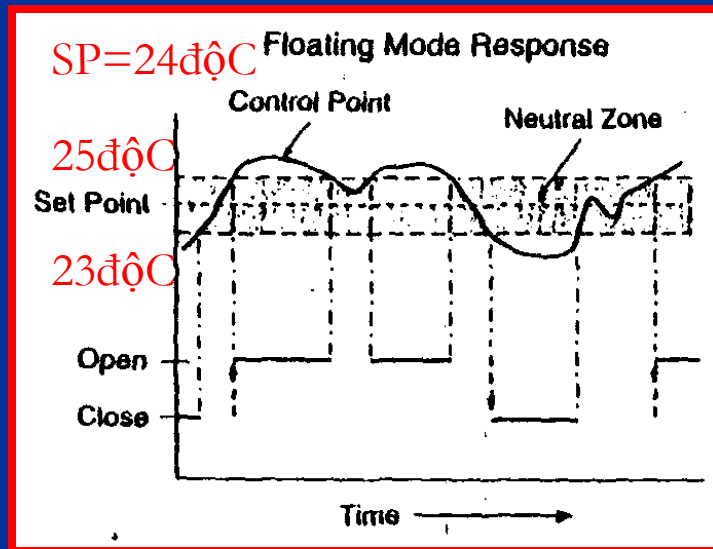
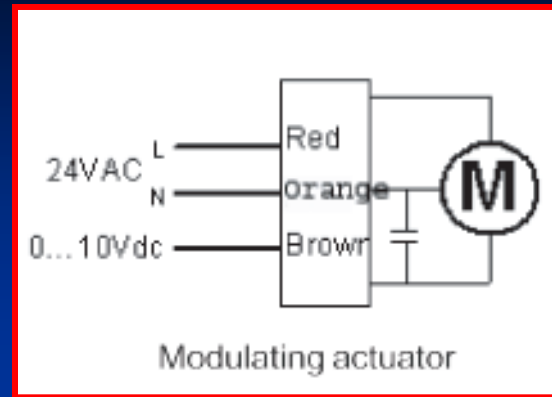
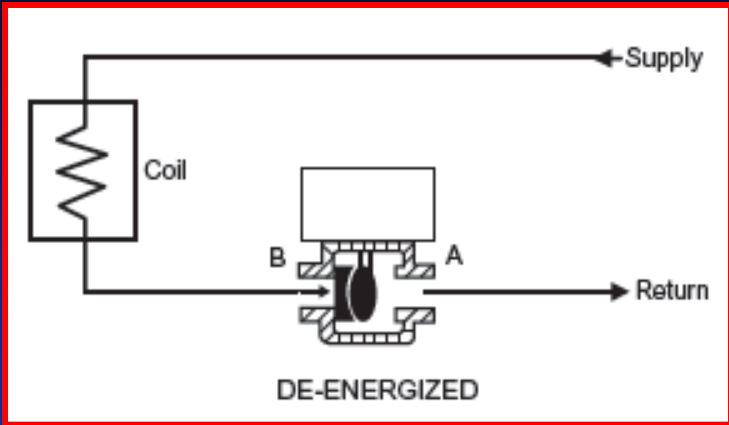
SP=24độC Floating Mode Response



## \* Ưu và nhược điểm :

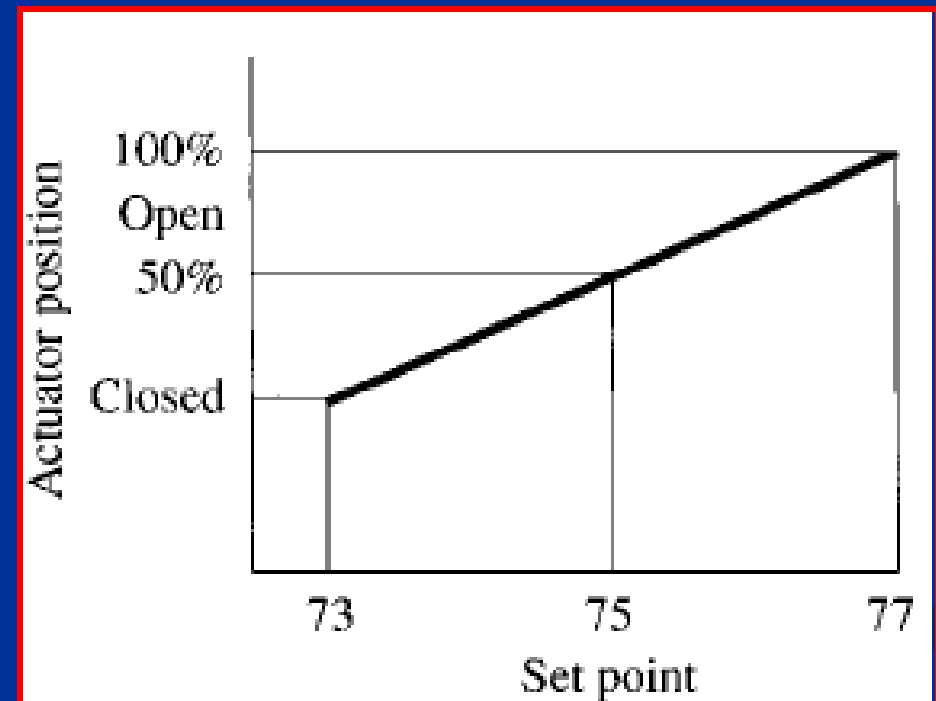
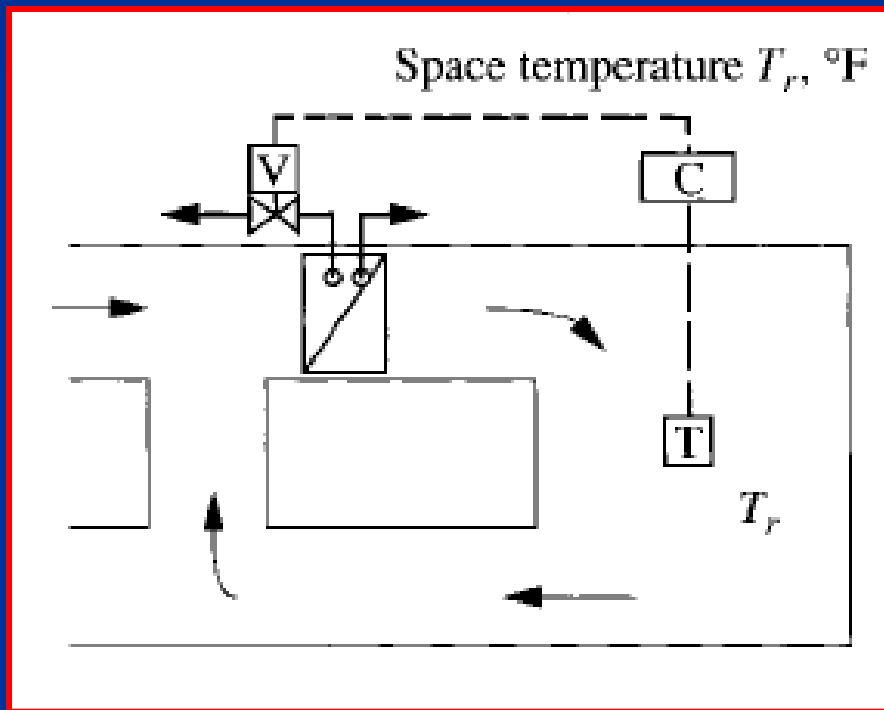
Kiểu điều khiển này chỉ áp dụng trong vòng điều khiển kín. Sai số điều khiển nằm trong vùng trung hòa “ Neutral Zone “. Sẽ điều khiển chính xác hơn so với điều khiển on – off.

Ví dụ: Khi phụ tải lạnh tăng ( hay giảm ), điểm điều khiển sẽ biến thiên trong 1 cạnh của vùng trung hòa, chỉ mở một ít lưu lượng của tác nhân điều khiển để loại bỏ một ít lượng nhiệt thừa. Nên điểm cài đặt sẽ ổn định hơn so với điều khiển on-off. Như vậy độ mở của cơ cấu chấp hành nằm bất kỳ ở mọi vị trí ( tương tự phao nước ) .Nhưng do vẫn tồn tại vùng trung hòa nên việc điều khiển cũng kém chính xác



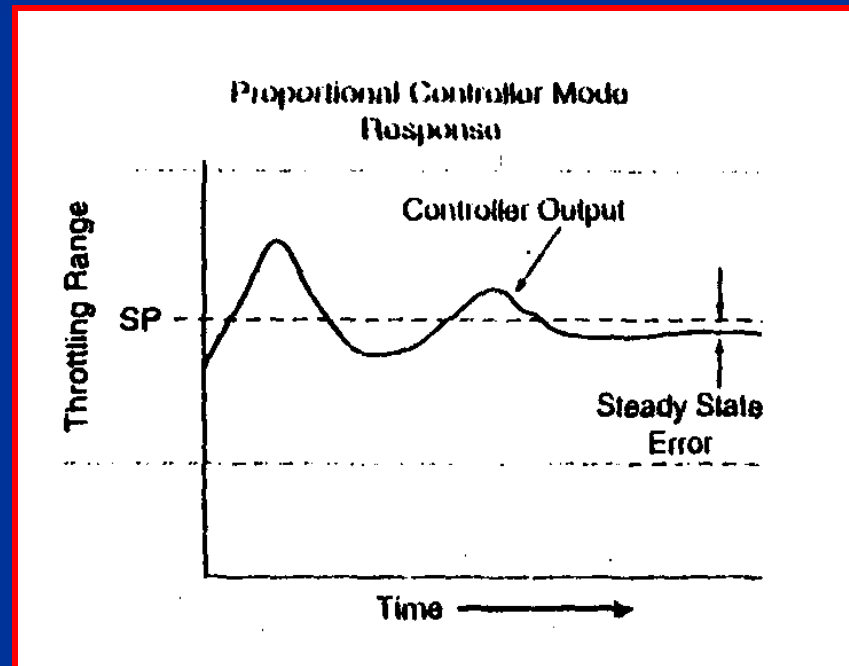
## + Điều khiển tỉ lệ P:

Với phương pháp này bộ điều khiển sẽ xuất tín hiệu về cơ cấu chấp hành điều tiết tác nhân điều khiển sao cho tỷ lệ với độ lệch của biến điều khiển so với điểm cài đặt



## \*Ưu và nhược điểm:

Phương pháp này có ưu điểm hơn so với các phương pháp khác là không có vùng trung hòa so với điều khiển phao “floating” nên biến điều khiển sẽ chính xác và đáp ứng của bộ điều khiển sẽ nhanh hơn nhưng vẫn tồn tại sai số ổn định so với điểm cài đặt.





Ta có hàm truyền của nó như sau:

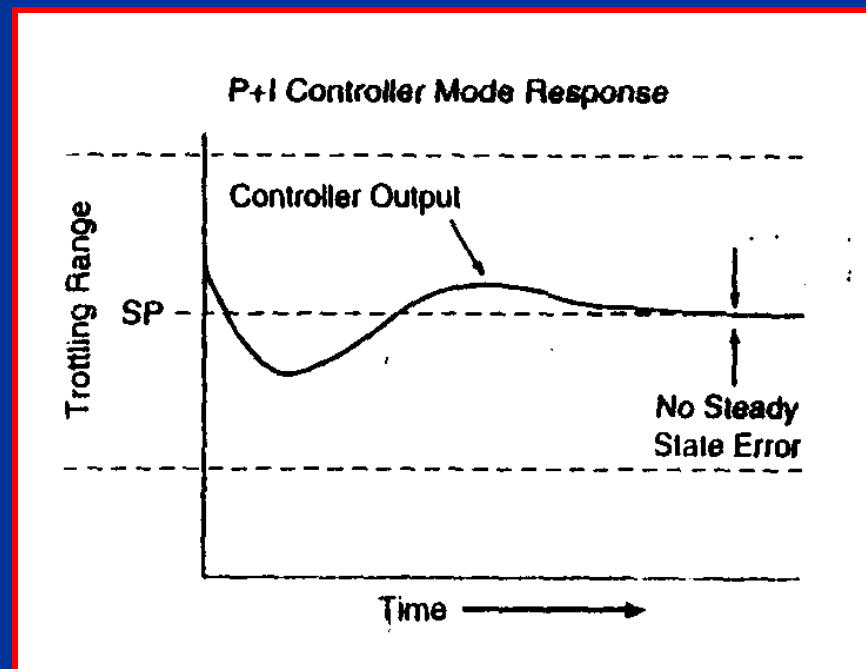
$$V_p = K_p e + V_o$$

trong đó :

- $V_p$  - năng suất dụng cụ điều chỉnh tỷ lệ (output of the proportional controller)
- $K_p$  - hằng số độ dư tỷ lệ (proportional gain) tỷ lệ nghịch với biên độ dao động ;
- $e$  - tín hiệu sai số hay độ xê dịch (error signal or offset) ;
- $V_o$  - năng suất khi sai số được hiệu chỉnh bằng không (offset adjustment parameter).

## +Điều khiển tỷ lệ, tích phân PI:

Được sử dụng để cải thiện kiểu điều chỉnh tỷ lệ P bằng cách đưa vào một thành phần tích phân I để loại bỏ sai số ổn định của điều khiển P. Do đó, trong điều khiển PI sẽ có 2 tham số độ lợi. Tham số độ lợi của tỷ lệ P sẽ tạo ra đáp ứng ban đầu để cân bằng năng lượng với phụ tải, còn tham số độ lợi I để hiệu chỉnh ngõ ra của bộ điều khiển để làm giảm thời gian và sai số ổn định tồn tại.



## Hàm truyền của điều khiển tỷ lệ, tích phân PI:

$$V_{PI} = K_p e + K_i \int e d\tau + V_0$$

trong đó :

- $V_{PI}$  - năng suất dụng cụ điều chỉnh tỷ lệ tích phân ;
- $K_p$  - hằng số độ dư tỷ lệ ;
- $e$  - tín hiệu sai số ;
- $K_i$  - hằng số độ dư tích phân ;
- $\tau$  - thời gian ;
- $V_0$  - năng suất khi sai số bằng được hiệu chỉnh về không.

Việc lựa chọn tham số độ lợi ( hằng số dư )  $K_p$  và  $K_i$  rất quan trọng. Nếu  $K_p$  và  $K_i$  càng tăng thì thời gian đáp ứng của bộ điều khiển càng nhanh nhưng gây mất ổn định. Do đó phải lựa chọn chính xác để đạt một hiệu quả cao. Kiểu điều khiển này thường sử dụng trong hệ thống lạnh, điều hòa không khí..

## + Điều khiển tỷ lệ tích phân, vi phân PID:

Là điều chỉnh PI có thêm vào thành phần vi phân của sai số theo thời gian. Hàm truyền của nó như sau:

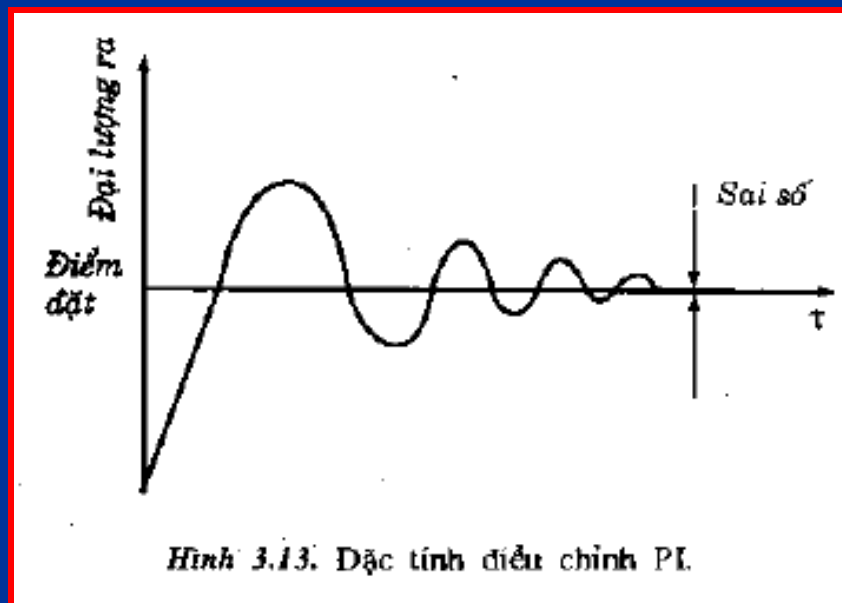
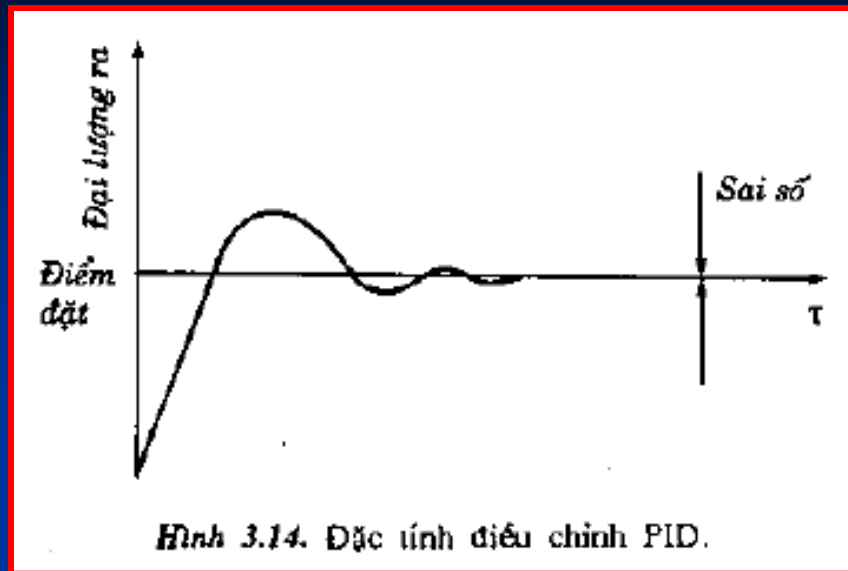
$$V_{PID} = K_p e + K_i \int e dt + K_d de/dt + V_o$$

trong đó :

$K_d$  - hằng số vi phân của dụng cụ điều chỉnh  
 $de/dt$  - vi phân của sai số.

Phần vi phân được thêm vào để triệt tiêu sai số ổn định của hệ thống nhưng làm cho bộ điều khiển trở nên nhạy cảm hơn và khó điều chỉnh hơn so với của PI. Trong hệ thống điều hòa không khí thì điều khiển PI đã đáp ứng yêu cầu nên ít khi dùng kiểu PID.

# Đặc tính điều khiển của PID:



## 2.4 Cảm biến ( Sensor ):

Hầu như các loại cảm biến đều làm việc theo nguyên tắc thay đổi tính chất vật lý khi biến điều khiển bị thay đổi. Những sự thay đổi về độ dài, vị trí, điện dung, điện trở... đều được chuyển thành tín hiệu ngõ ra phù hợp với cơ cấu chấp hành. Các thiết bị cảm biến được chế tạo bằng các vật liệu và các cấu trúc khác nhau để phù hợp với việc điều khiển trong hệ thống HVACR. Các thông số đặc trưng gồm có như sau :

- + Khoảng hoạt động ( Scale range ): VD: -20 độC ~ +5 độC
- + Mức tín hiệu ( Signal span ) : là độ chênh lệch giữa giá trị cực đại và cực tiểu của khoảng hoạt động. VD : 20 độC ~ 50 độC thì mức tín hiệu là 30 độ C
- + Độ chính xác ( Accuracy ) : là chênh lệch giữa giá trị thực và giá trị hiển thị của sensor

+ Độ nhạy ( Sensitivity ): Hiển thị lượng thay đổi của tín hiệu ngõ ra so với sự thay đổi của tín hiệu ngõ vào

VD: tín hiệu ngõ ra của sensor 4mA đến 7mA với khoảng hoạt động của tín hiệu ngõ vào 5°C đến 20 độ C vậy độ nhạy là 3mA/15°C

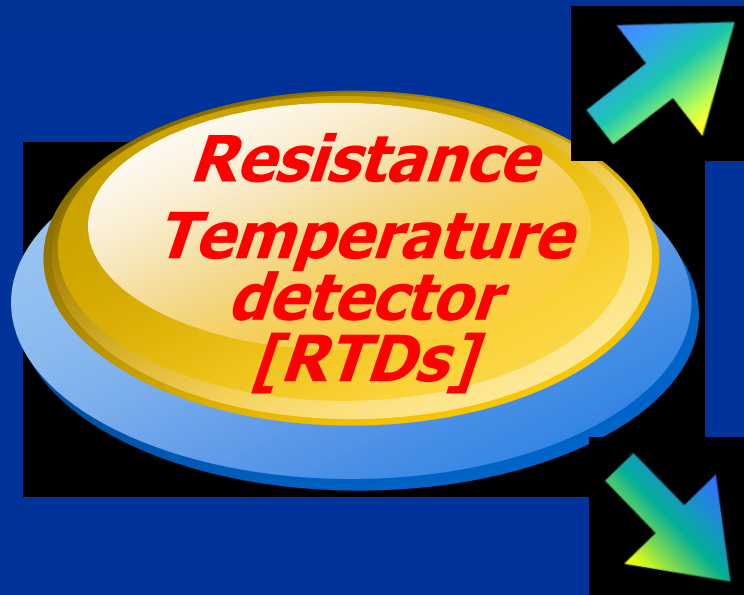
+ Độ phân giải ( Resolution ): Cảm biến có độ phân giải cao có thể đo được sự thay đổi nhỏ nhất của biến điều khiển và cho phép vòng điều khiển có sự đáp ứng nhanh hơn để làm giảm sai số hoạt động

+ Thời gian trễ ( Lag time ) : Là thời gian để cảm biến xuất ra tín hiệu khi cảm nhận được biến điều khiển

\* Các loại cảm biến thường sử dụng trong HVACR :

a. Cảm biến nhiệt độ RTD ( resistance temperature detector ):

Có 2 loại cảm biến nhiệt độ RTD:



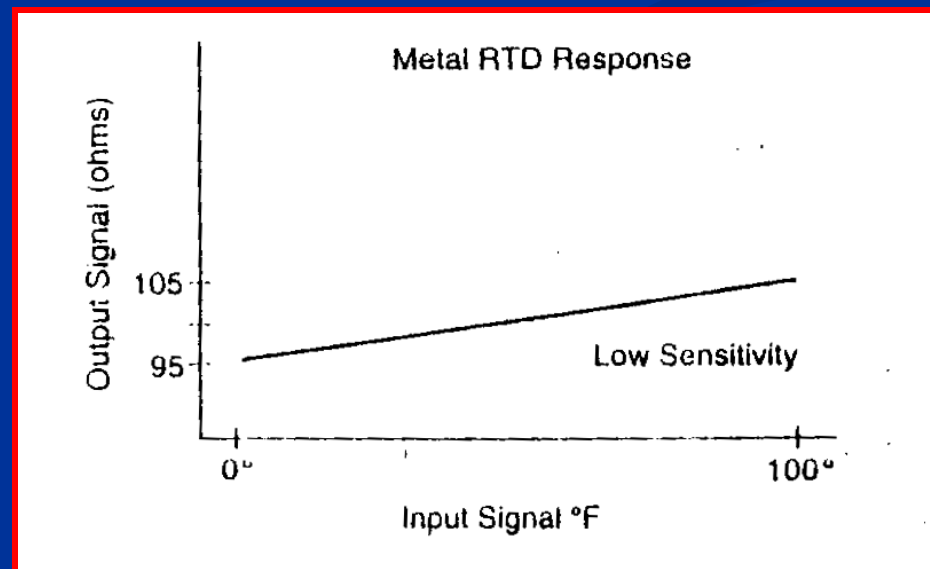
***1. Metal devides***

***2.Semi-conductor devides***



## + Loại dây kim loại RTD:

Khi nhiệt độ tăng, điện trở của dây kim loại cũng tăng. Vật liệu chế tạo gồm có platinum và niken. Cả hai loại này đều có sự gia tăng điện trở một cách tuyến tính với sự thay đổi nhiệt độ. Sensor loại này có khối lượng bé nên thời gian trễ nhỏ bởi vì nếu khối lượng lớn thì phải tốn thời gian hấp thụ nhiệt nên làm tăng thời gian trễ. Nhưng loại này có độ nhạy bé. VD: platinum (0,1ohm/F) nên phải sử dụng kết hợp với bộ biến đổi tín hiệu. Nếu không thì dây dẫn sensor không thể kéo đi xa



## + Loại bán dẫn RTD:

Chế tạo bởi vật liệu Si và Ge. Bán dẫn RTD còn gọi là thermistor. Loại này có độ nhạy cao  $100\text{ohm}/\text{F}$  nghĩa là độ nhạy lớn hơn 1000 lần so với kim loại RTD. Do đó không cần bộ khuếch đại tín hiệu và có thể kết nối trực tiếp vào bộ điều khiển với khoảng cách xa

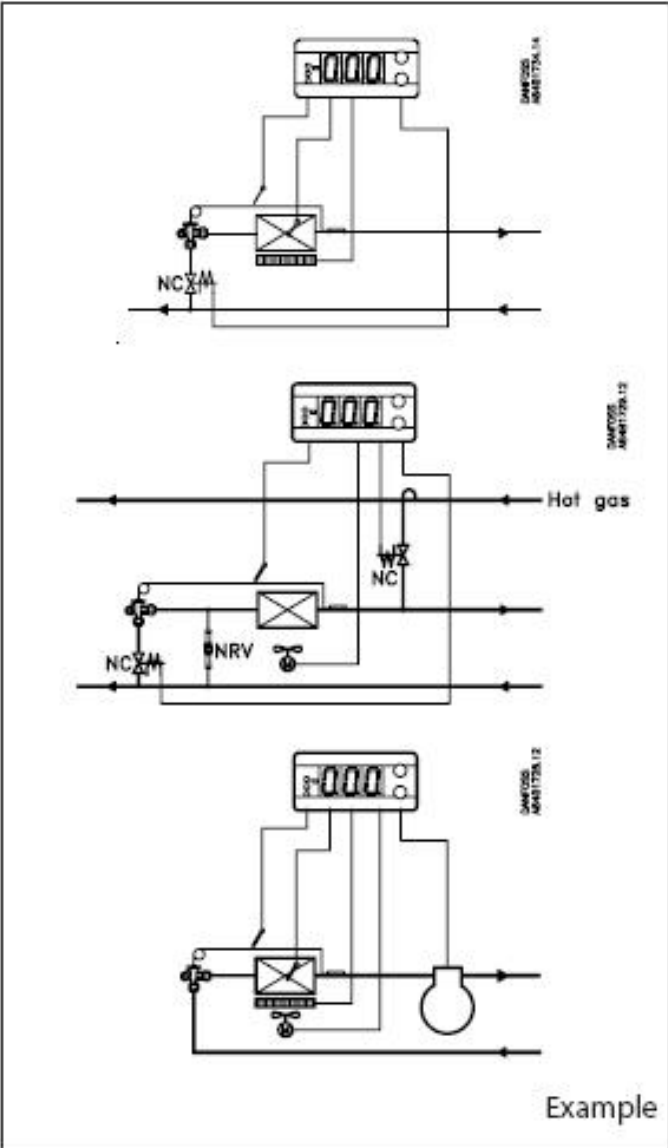
# Temperature controller with refrigeration control functions



Model for panel mounting



Model for DIN-rail mounting



Example

One controller typically replaces several traditional regulators and defrost timers.

Several models with an increasing number of functions.

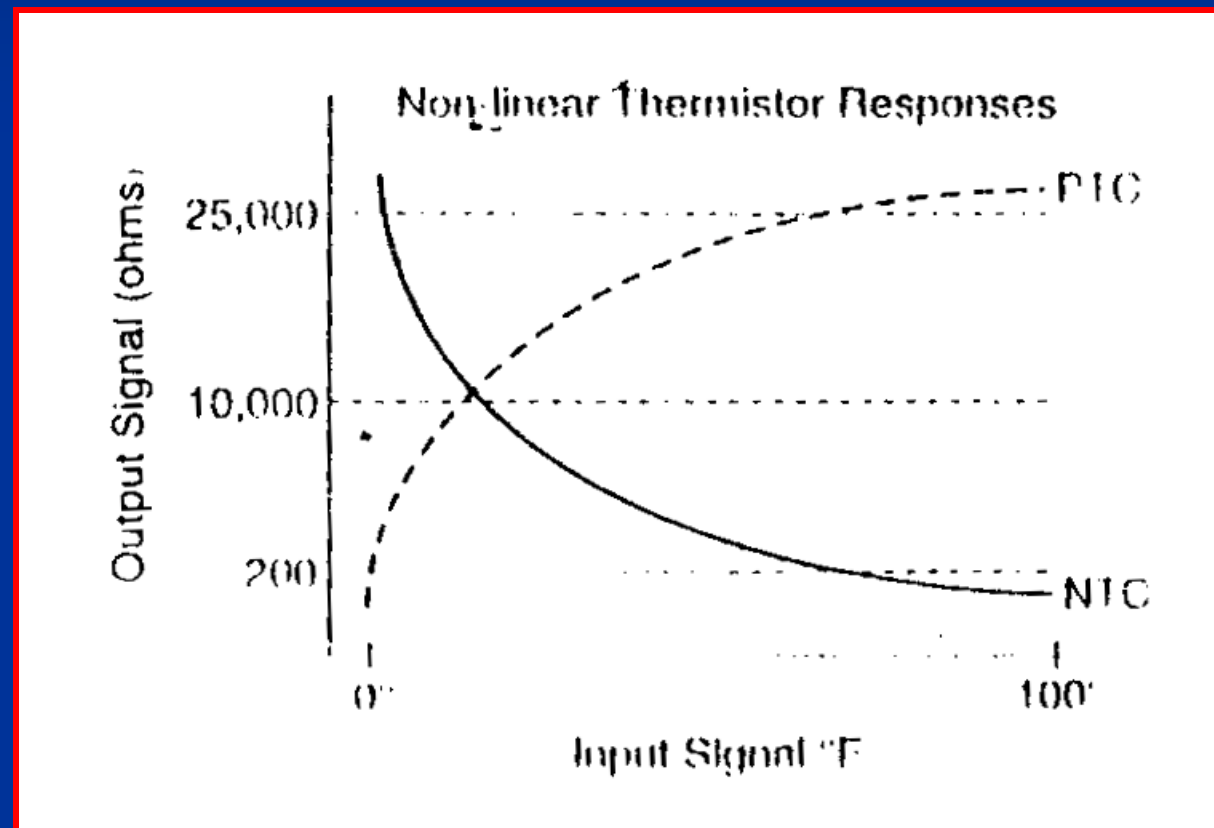
The number of relays varies from one to four.

Free choice of sensor connection. Either economical PTC sensors or highly accurate Pt sensors.

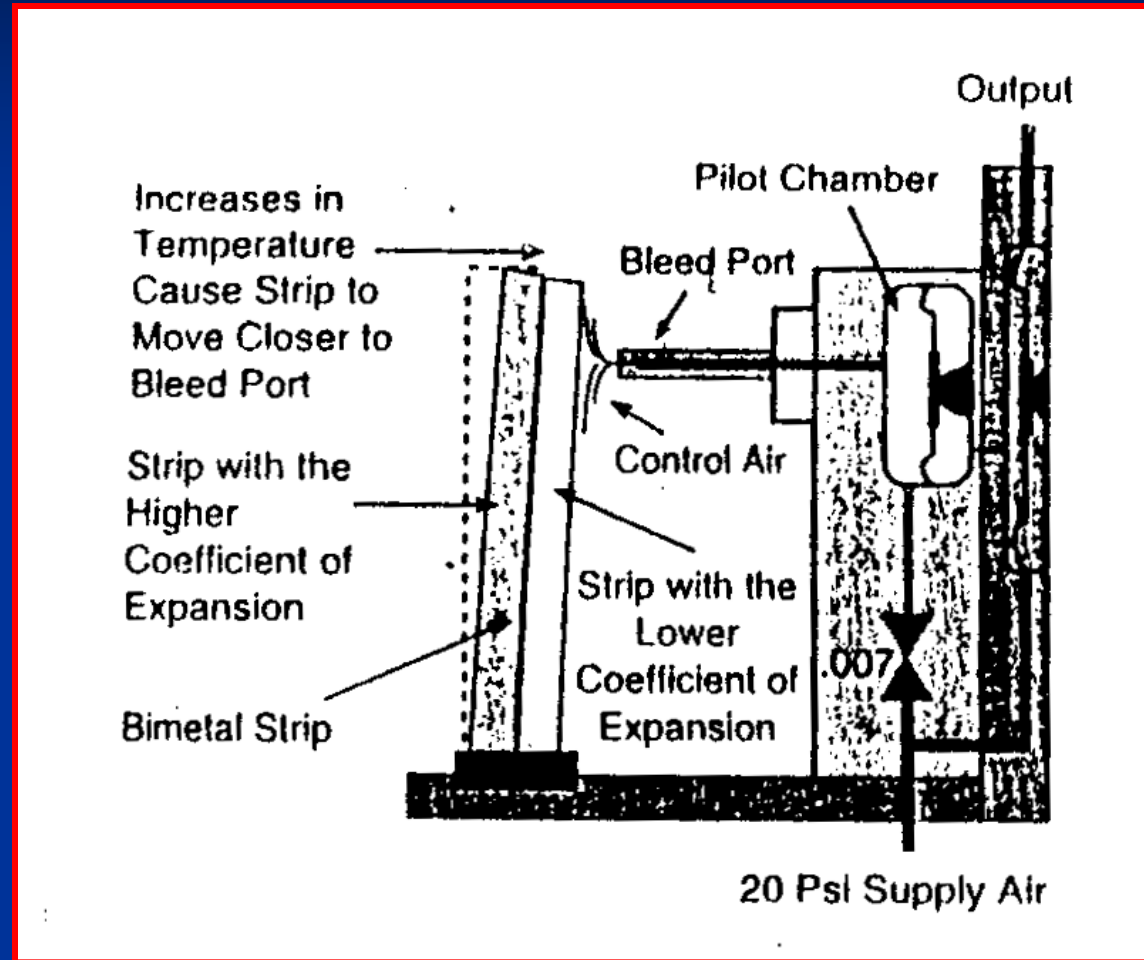
Using only two buttons, a simple, straightforward and user-friendly operation is set up.

The series is designated EKC 201 and EKC 301. Further information is available in the technical brochure RD8AE.

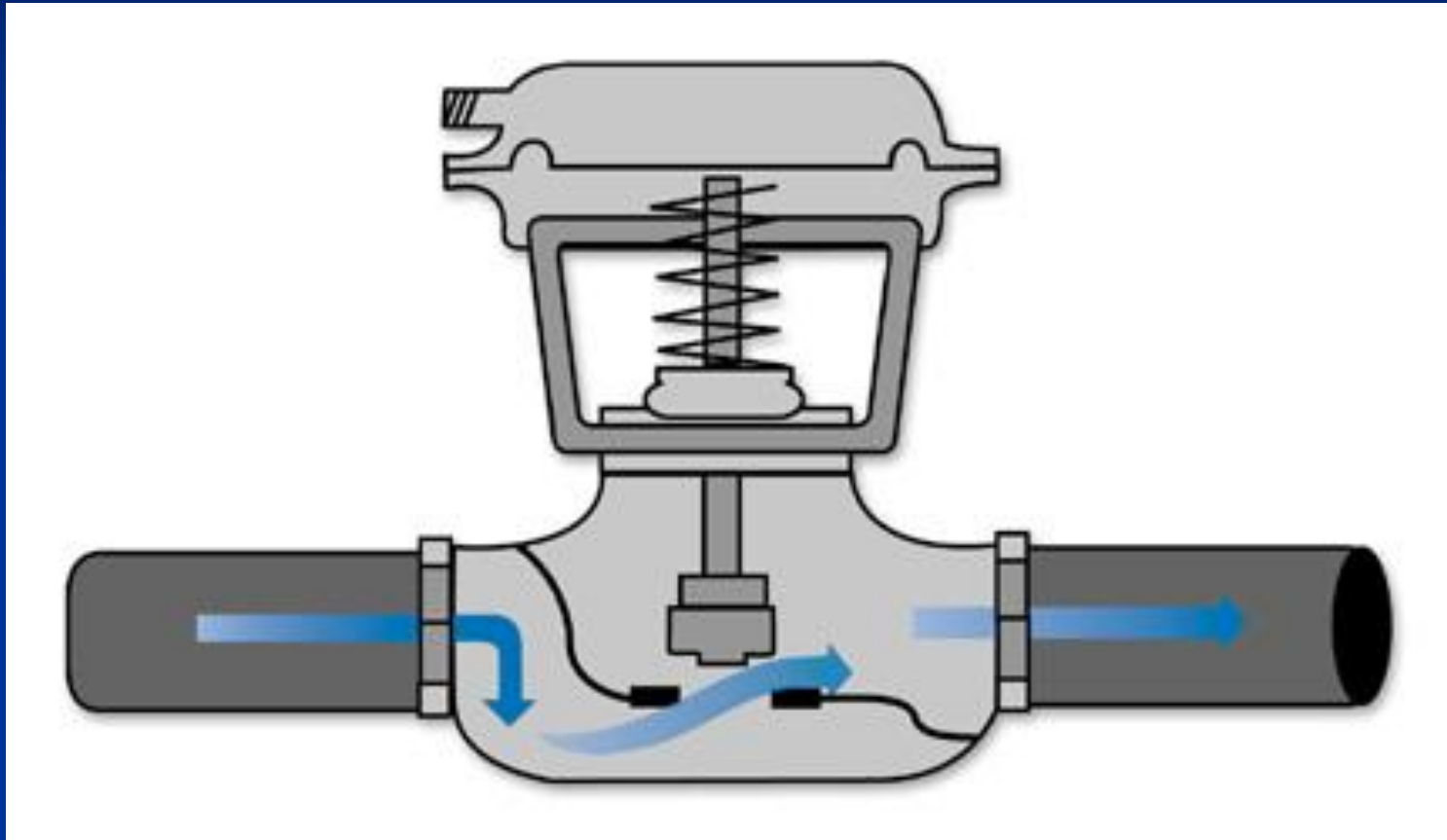
Không giống như loại RTD kiểu kim loại, sự thay đổi điện trở ngõ ra của nó không tuyến tính. Có 2 loại NTC và PTC ( positive temperature coefficient ) và khi sử dụng ta không thể hoán đổi cho nhau được



## b. Cảm biến khí nén:

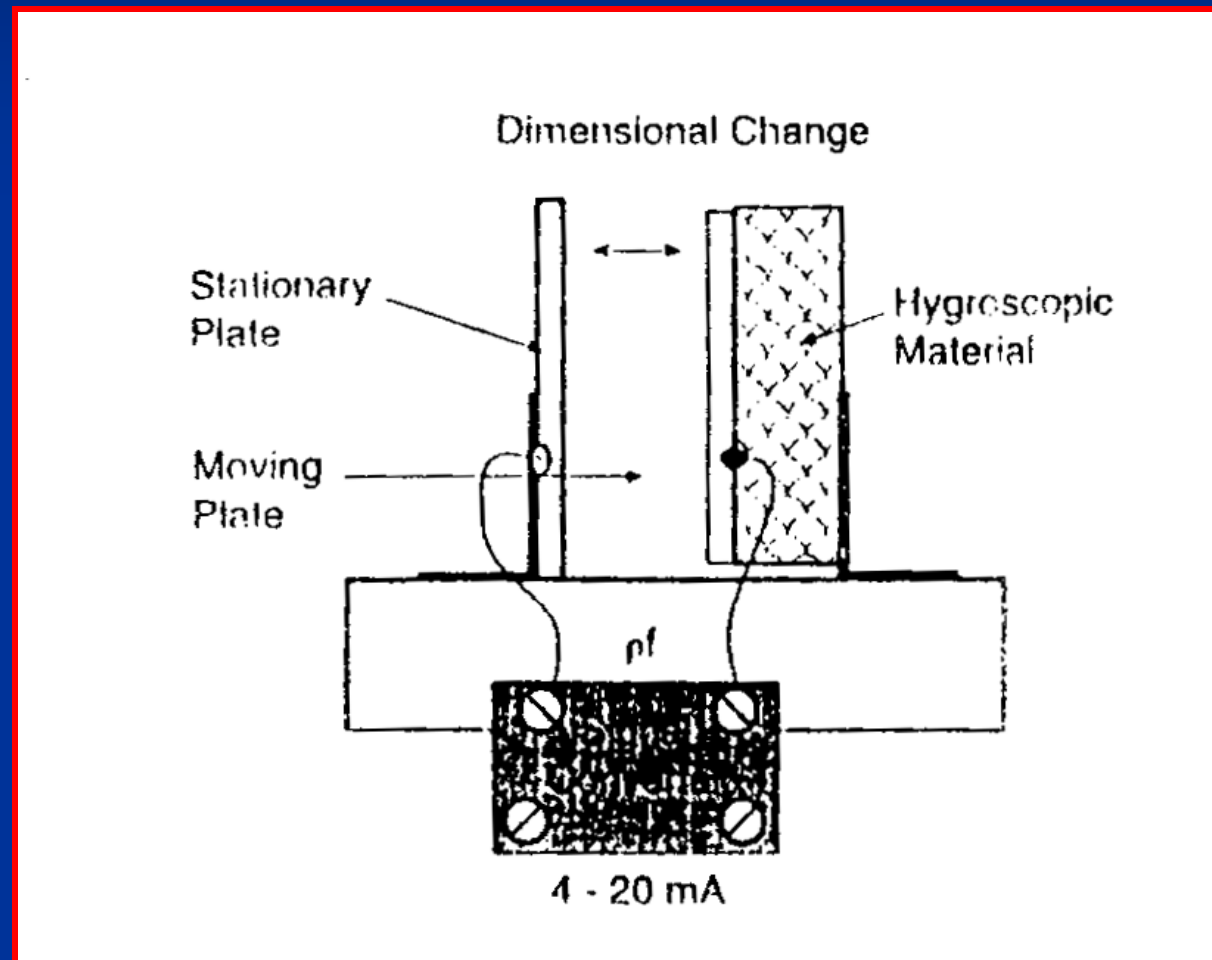


# Van điều khiển bằng khí nén:

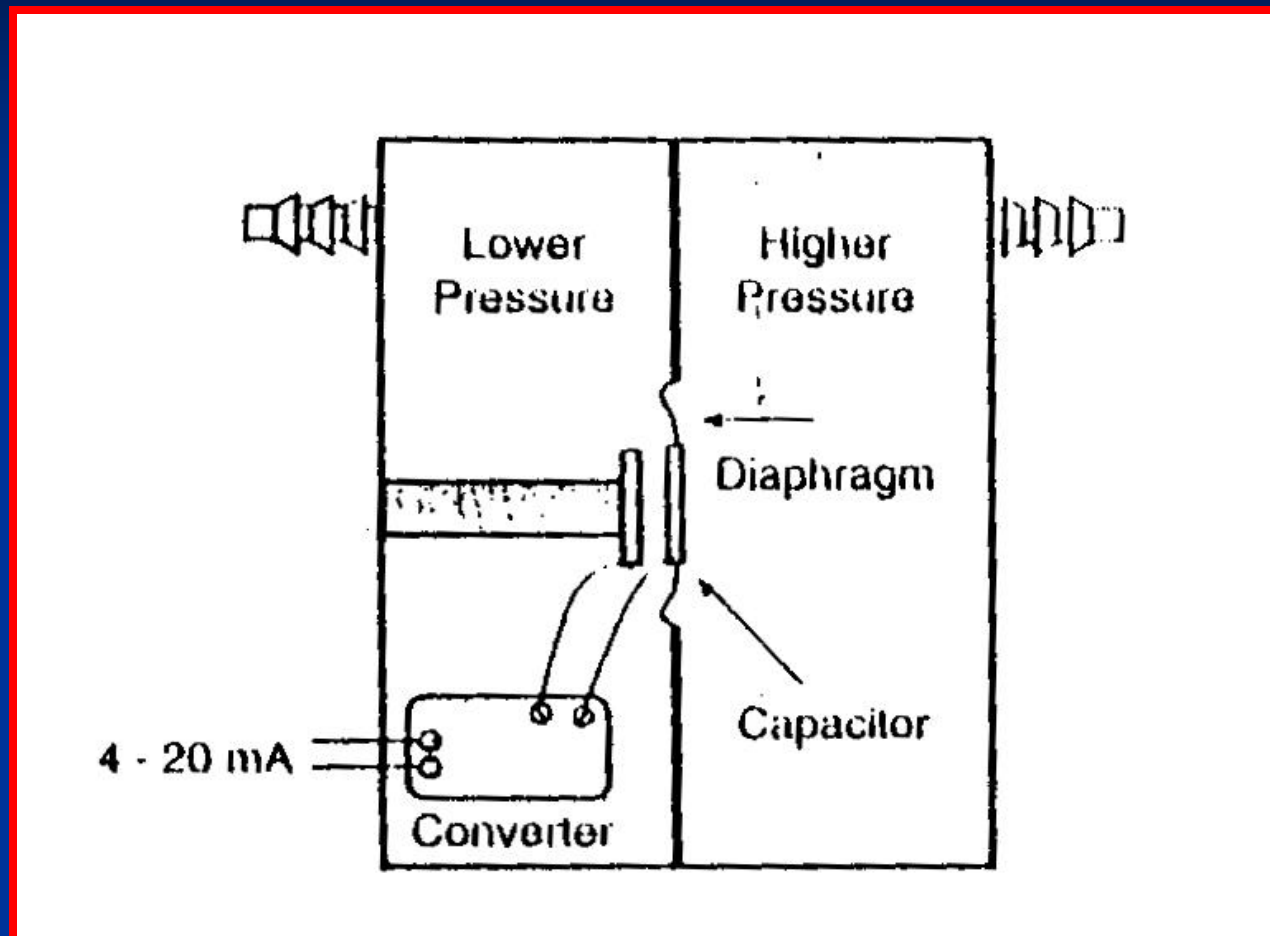


### c. Cảm biến độ ẩm:

Sử dụng các vật liệu thay đổi kích thước với sự thay đổi độ ẩm kết hợp với bộ chuyển đổi tín hiệu ngõ ra để đưa vào bộ điều khiển



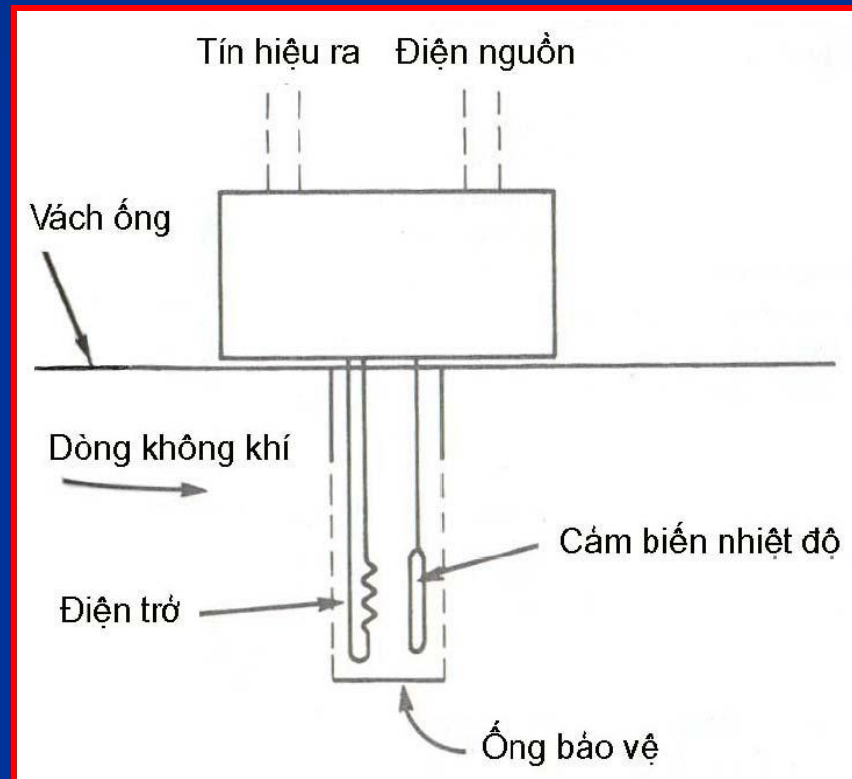
## d. Cảm biến áp suất:





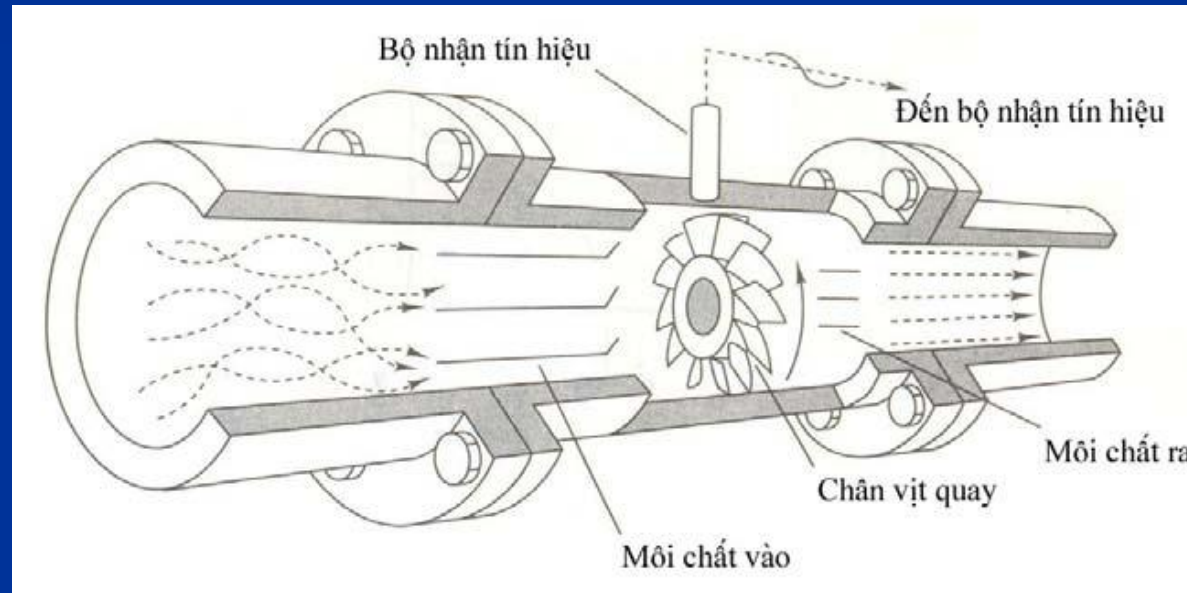
### e. Cảm biến lưu lượng :

Thiết bị gồm một dây điện trở và một cảm biến nhiệt độ. Môi chất đi qua dây điện trở và làm lạnh nó, tốc độ gió tỷ lệ với công suất điện cần thiết để duy trì nhiệt độ chuẩn dùng đối chiếu.



### e. Cảm biến lưu lượng kiểu chân vịt :

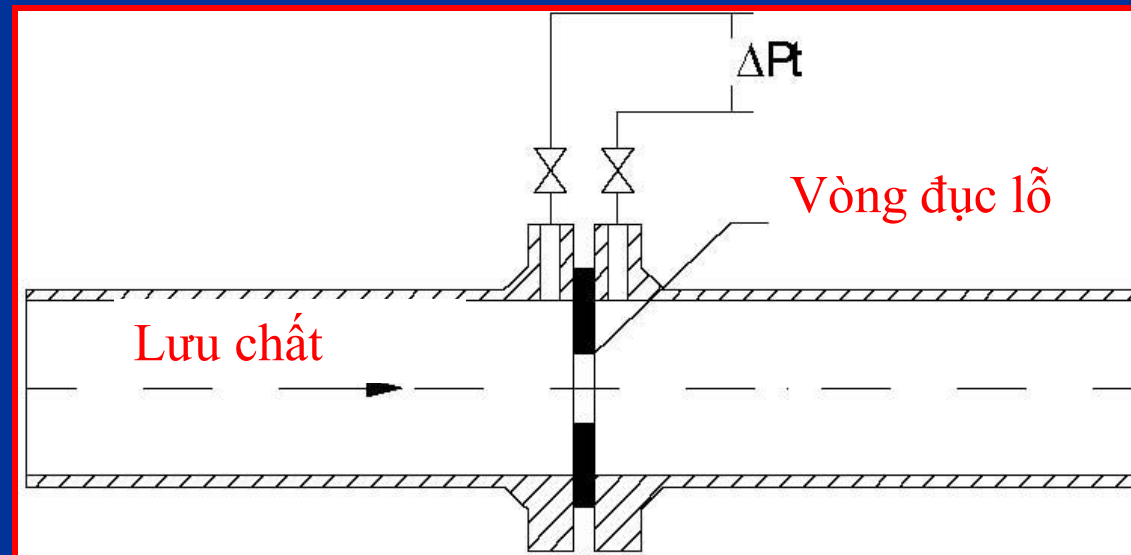
Vòng chân vịt chuyển động xoay dưới tác dụng của dòng chảy, vòng xoay càng nhanh thì tốc độ dòng chảy càng lớn. Thiết bị được nối với cơ cấu đo để chỉ thị lưu lượng



### e. Cảm biến lưu lượng sử dụng tấm đục lỗ:

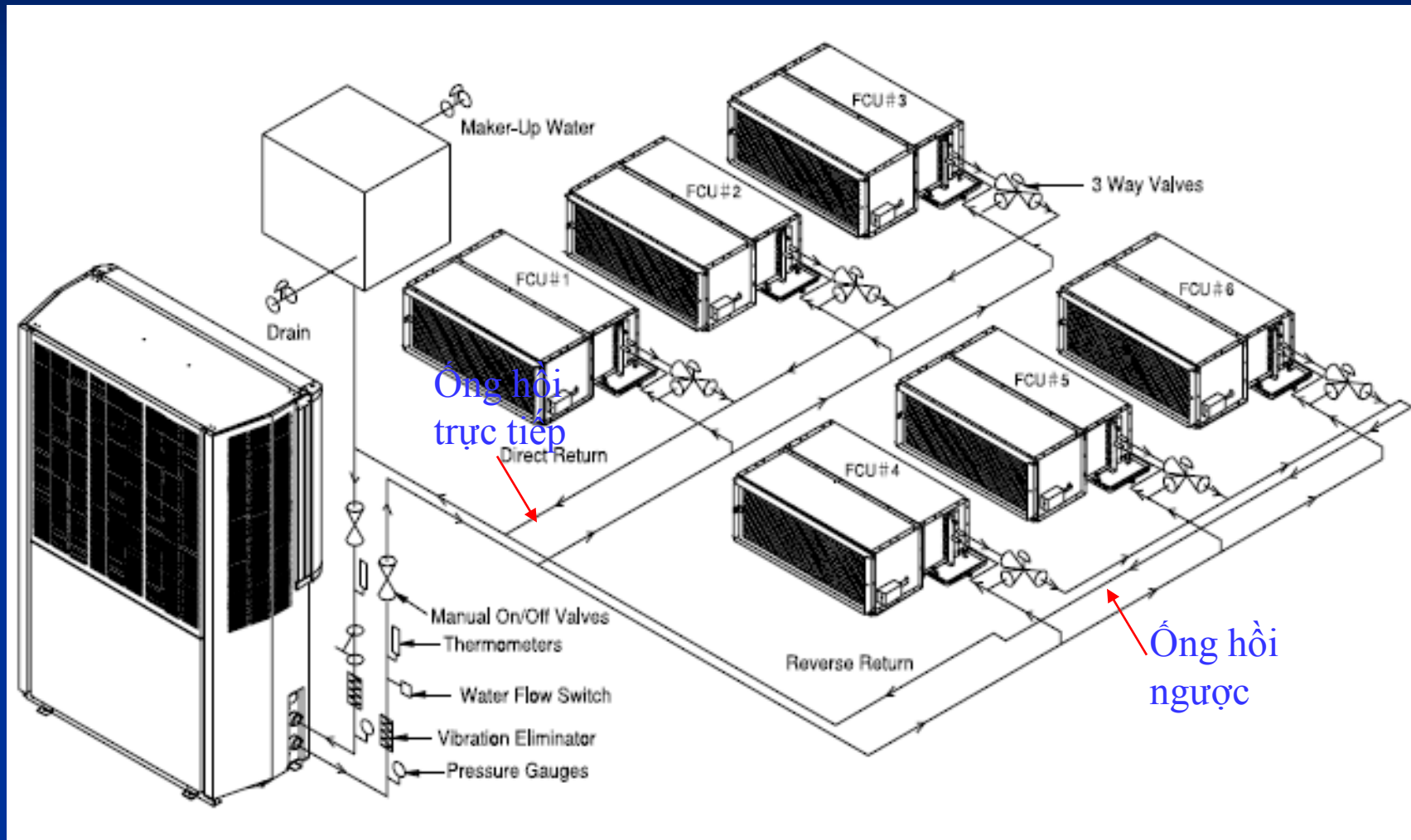
Người ta nhận thấy sự thay đổi áp suất tĩnh phía trước và phía sau của vòng phụ thuộc vào lưu lượng theo quan hệ sau đây:

$$Q = C.F.\sqrt{\Delta P_t}$$



## 2.5. Cơ cấu chấp hành :

Gồm có van điều khiển, bướm gió.....



# BÀI 2 : MỘT SỐ KHÍ CỤ ĐIỆN TRONG KỸ THUẬT LẠNH

## I. Các loại khí cụ điện thường sử dụng trong KTL:

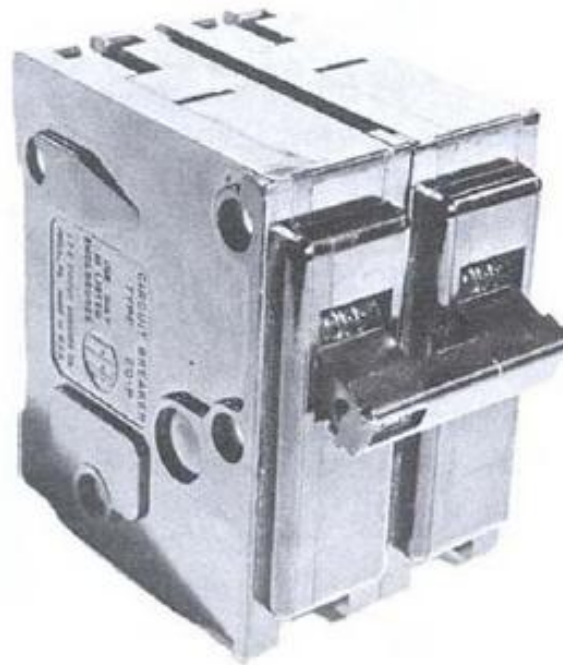
### a. Contactor, các ro le bảo vệ:

Công suất định mức của động cơ xoay chiều ba pha (AC3)				Dòng làm việc định mức AC1/AC3	Kiểu contactor	Sơ đồ tiếp điểm	Kiểu contactor	Sơ đồ tiếp điểm	Rơle nhiệt tương thích
220V	380V	500V	660V						
2,2	4	5,5	4	20/9	DL 4K-10		DL 4 K-01		M 22 K
3	5,5	7,5	5,5	25/12	DL 5K-10		DL 5 K-01		M 22 K
4	7,5	11	7,5	32/16	DL 7K-10		DL 7 K-01		M 22 K
5,5	11	15	11	40/23	DL 11K-10		DL 11 K-01		M 22 K
9	15	18,5	15	54/30	DL 15K-00				M 36 K
11	18,5	20	18,5	54/37	DL 18-00				M 36 K

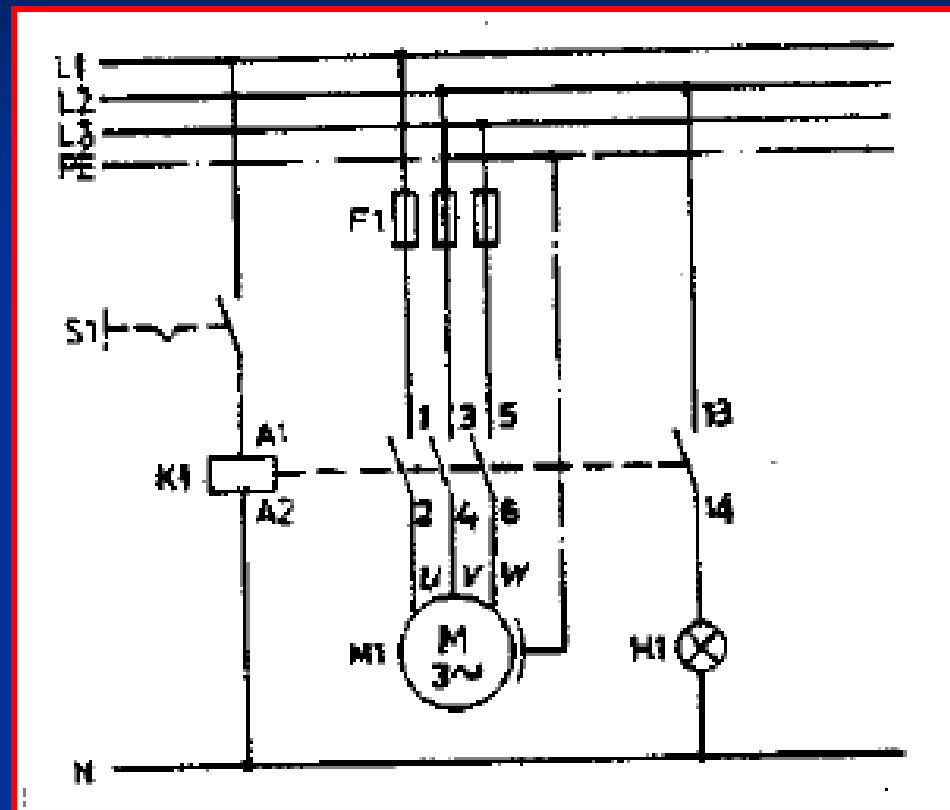
## + Aptomat (MCCB):

Để đóng ngắt không thường xuyên trong các mạch điện người ta sử dụng các aptomat. Cấu tạo aptomat gồm hệ thống các tiếp điểm có bộ phận dập hồ quang, bộ phận tự động cắt mạch để bảo vệ quá tải và ngắn mạch. Bộ phận cắt mạch điện bằng tác động điện từ theo dòng cực đại. Khi dòng vượt quá trị số cho phép chúng sẽ cắt mạch điện để bảo vệ thiết bị.

Như vậy aptomat được sử dụng để đóng, ngắt các mạch điện và bảo vệ thiết bị trong trường hợp quá tải.

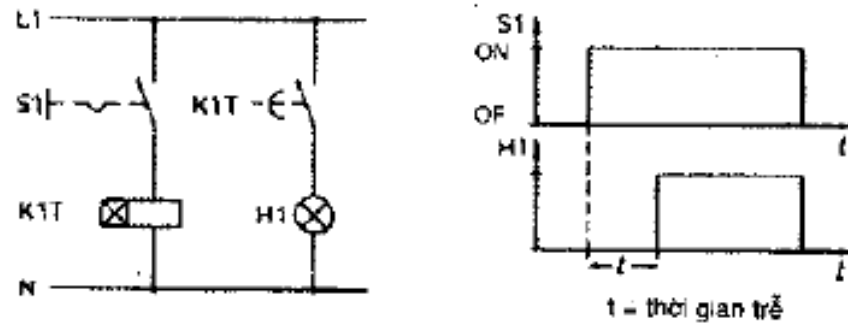


b. Công tắc và nút bấm:  
Công tắc S1 và contactor K1



Hình 2.5. Nút bấm và công tắc.

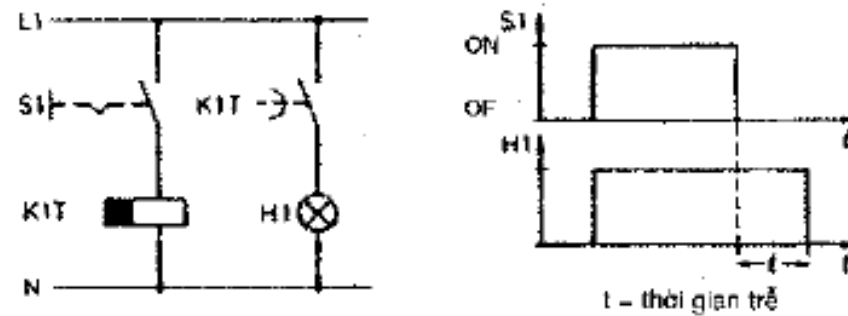
c. Role thời gian:  
Gồm có 2 loại :



Hình 2.6. Rơle thời gian trễ hùi

ON - S1 đóng, sau thời gian trễ  $\tau$  cuộn dây mới có điện và đèn hiệu H1 mới bắt sáng.

OFF - S1 ngắt : Cuộn dây và đèn hiệu tắt đồng thời.



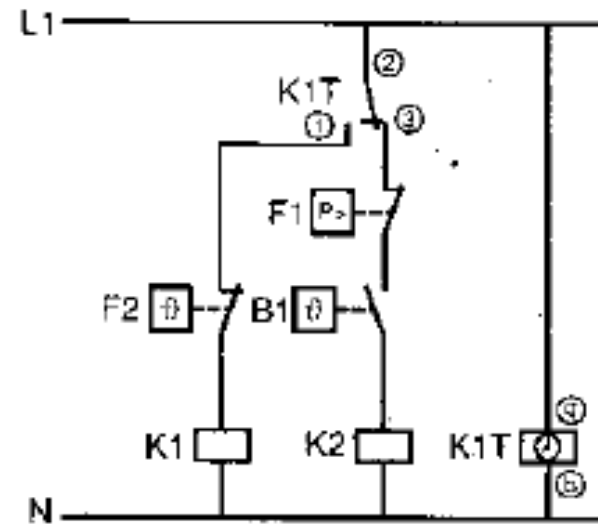
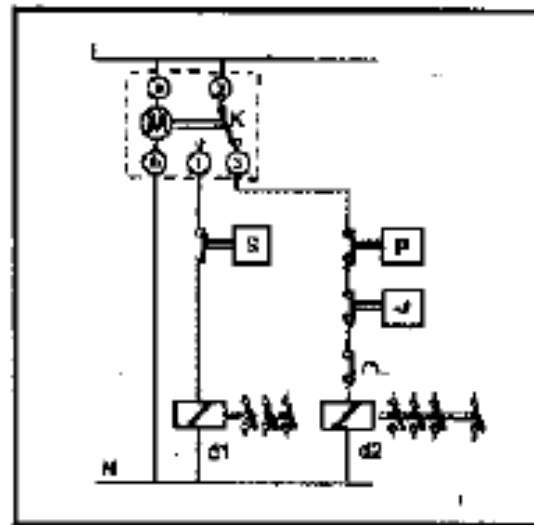
Hình 2.7. Rơle thời gian trễ nhả

ON-S1 đóng, cuộn dây có điện và đèn H1 sáng tức thời.

OFF-S1 ngắt, cuộn dây và đèn H1 ngắt sau thời gian trễ  $\tau$ .



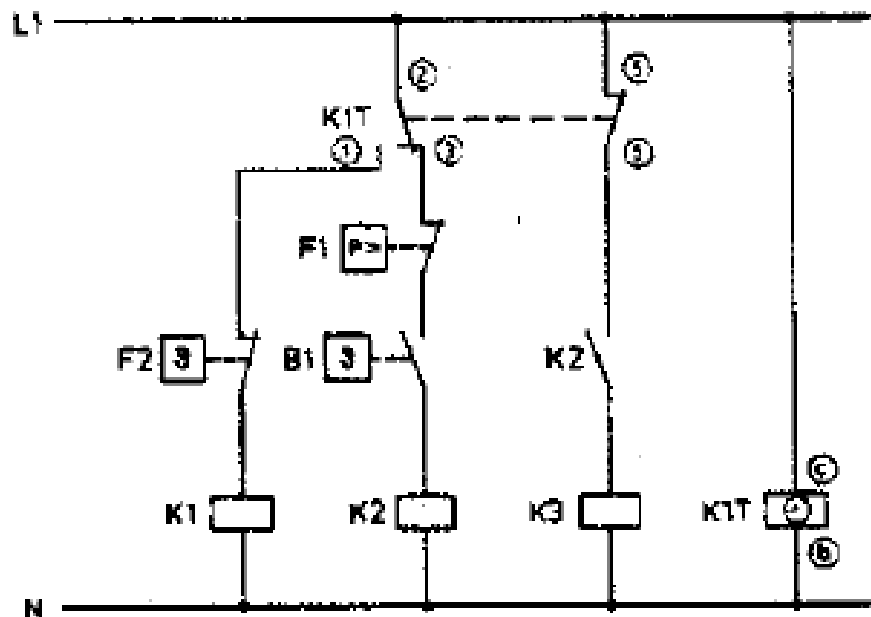
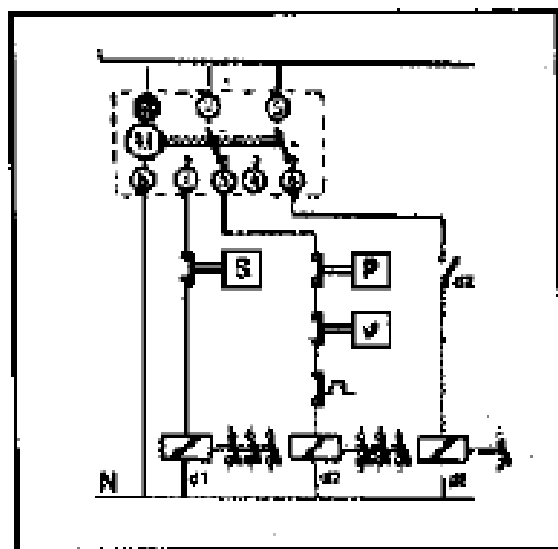
## d. Đồng hồ phá băng:



Hình 2.9. Sơ đồ mạch đồng hồ phá băng PolarRex KT.

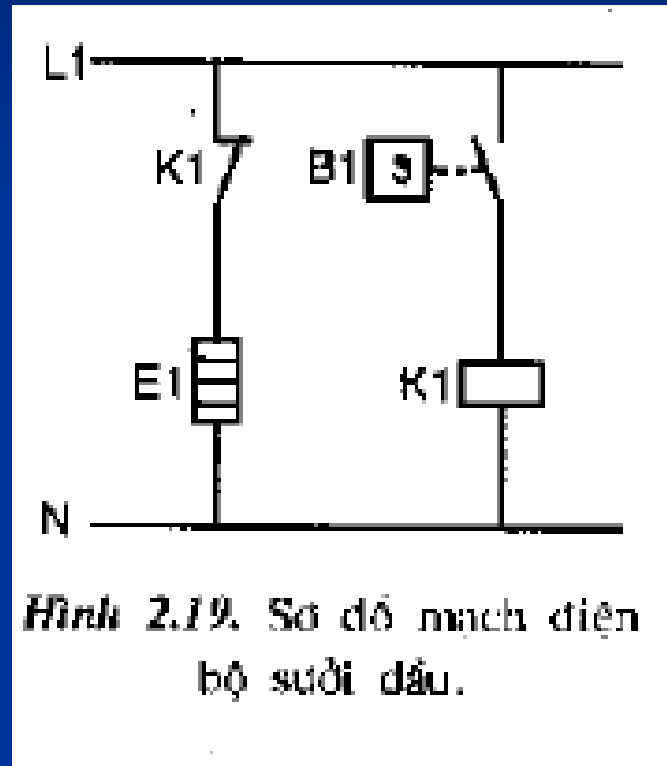
- |                                |    |
|--------------------------------|----|
| - Tiếp điểm máy nén :          | K2 |
| - Tiếp điểm quạt :             | K3 |
| - Thermostat buồng :           | B1 |
| - Thermostat bảo vệ phá băng : | F2 |
| - Rơle áp suất :               | F1 |

# Đồng hồ phá băng loại có thời gian trễ cho quạt dàn lạnh ( tiếp điểm 5-6)



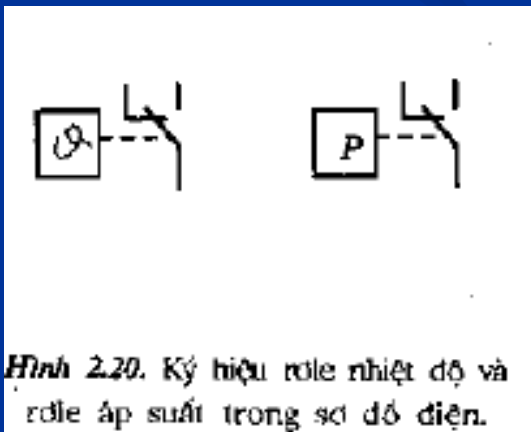
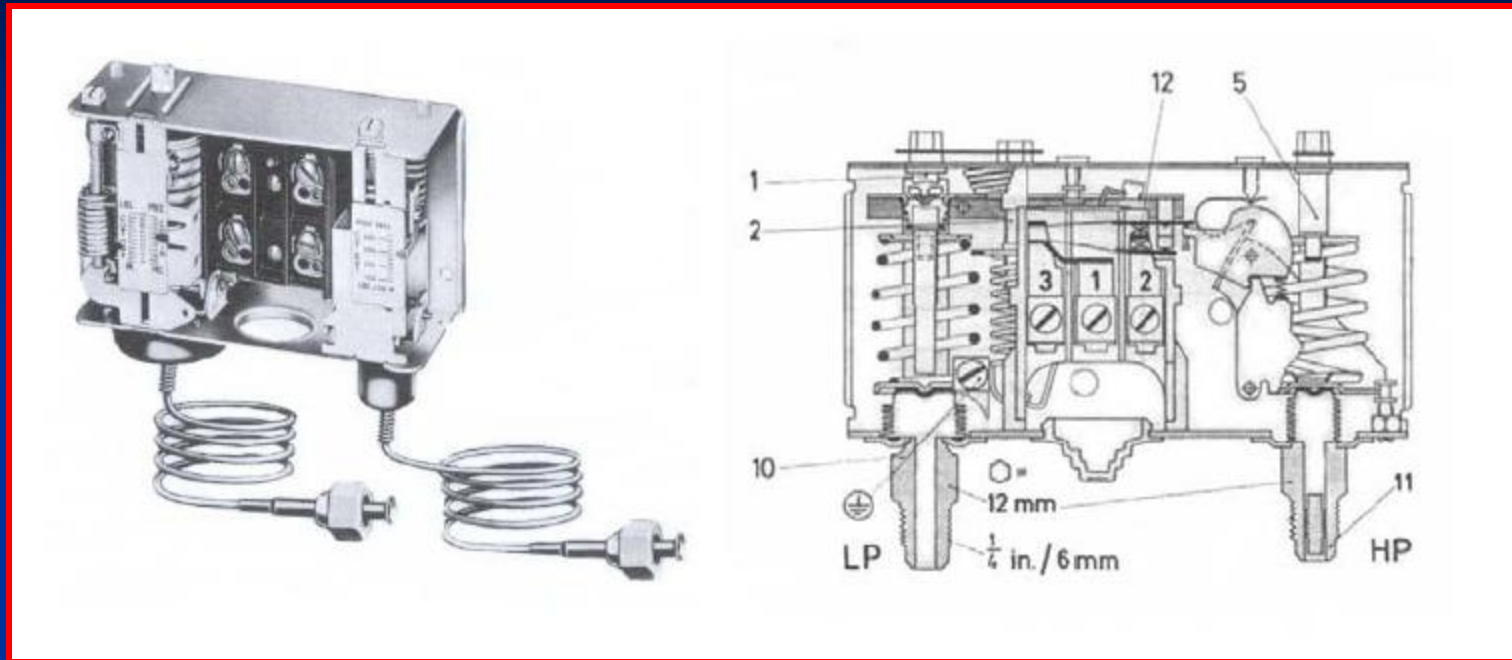
Hình 2.11. Sơ đồ mạch điện PolarRex KKT.

e. Điện trở phá băng và điện trở sưởi:



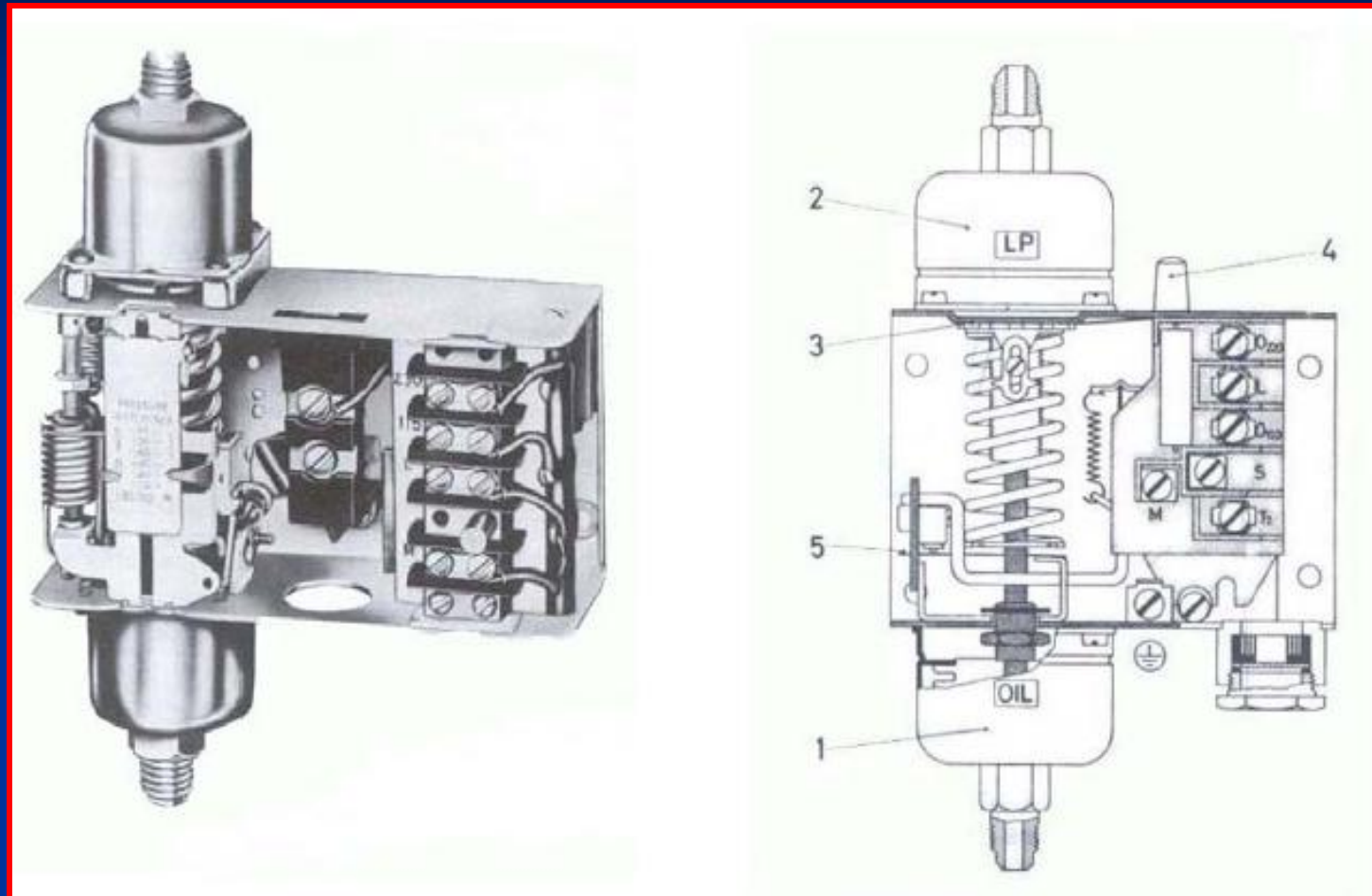
Hình 2.19. Sơ đồ mạch điện bộ sưởi dầu.

## f. Role nhiệt độ và rơ le áp suất:





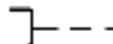

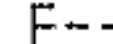

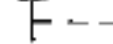

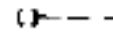

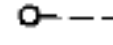







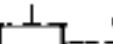



Hình 2.20. Ký hiệu rơ le nhiệt độ và rơ le áp suất trong sơ đồ điện.

g. Các loại role bảo vệ khác: Role bảo vệ áp suất dầu, nước...



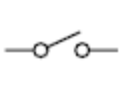
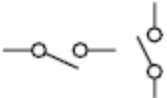
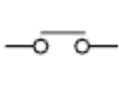
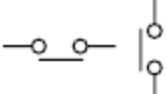
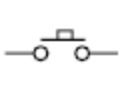
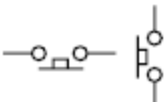


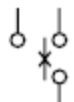

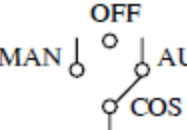
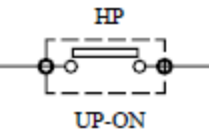
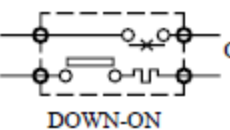
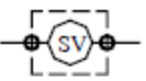
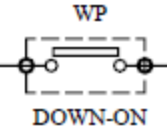
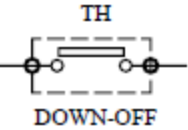
# KÝ HIỆU THEO CHUẨN CHÂU ÂU

Tác động bằng tay nói chung		Lực tác động qua nhiệt độ	
Tác động bằng lực nén		Lực tác động qua áp suất	
Tác động bằng lực kéo		Lực tác động qua độ ẩm	
Tác động bằng lực quay		Lực tác động qua dòng chảy	
Tác động bằng lực gập		Lực tác động qua vòng quay	
Tác động bằng chia khoá mở		Ô đóng ngắt bằng nhà cơ cấu cơ	
Tác động bằng đầu cảm		Tác động bằng điện tử (cuộn dây)	
Tác động bằng lực nói chung		Tác động có độ trễ hút	
Tác động có độ trễ nhả		Cuộn dây rơle điện tử	
Tác động có độ trễ hút và nhả		Cuộn dây rơle nhiệt	
Van điện tử		Đồng hồ thời gian	

# KÝ HIỆU THEO CHUẨN CHÂU ÂU

Tiếp điểm thường mở		Tiếp điểm đóng bằng tay tự ngắt (nút)	
Tiếp điểm thường đóng		Tiếp điểm đóng bằng tay có rãnh (cấu dao)	
Tiếp điểm chuyển mạch		Khóa hãm nói chung có thể mở bằng tay	
Tiếp điểm thường mở tác động đóng trễ (khi đóng)		Tiếp điểm mở tác động bằng dòng quá tải qua điện trở	
Tiếp điểm thường mở tác động mở trễ (khi mở)		Cấu dao chuyển mạch 4 vị trí	
Tiếp điểm thường đóng tác động mở trễ (khi mở)		Tiếp điểm bảo vệ đường dây	
Tiếp điểm thường đóng tác động đóng trễ (khi đóng)		Tiếp điểm bảo vệ động cơ với tác động nhiệt và từ tính	

# KÝ HIỆU THEO CHUẨN NHẬT BẢN

1. Tiếp điểm cầu dao, máy cắt, aptomat	
a. Thường mở 	b. Thường đóng 
2. Tiếp điểm công tắc tơ, khởi động từ, rơ le	
a. Thường mở 	b. Thường đóng 
3. Nút nhấn	
a. Thường mở 	b. Thường đóng 
4. Cuộn dây rơ le, công tắc tơ, khởi động từ. 	5. Rơ le thời gian 
6. Tiếp điểm rơ le nhiệt 	7. Đèn báo sự cố 
8. Nút xoay 	9. Rơ le áp suất cao 
10. Rơ le áp suất dầu 	11. Van điện từ 
12. Rơ le áp suất nước 	13. Thermostat 

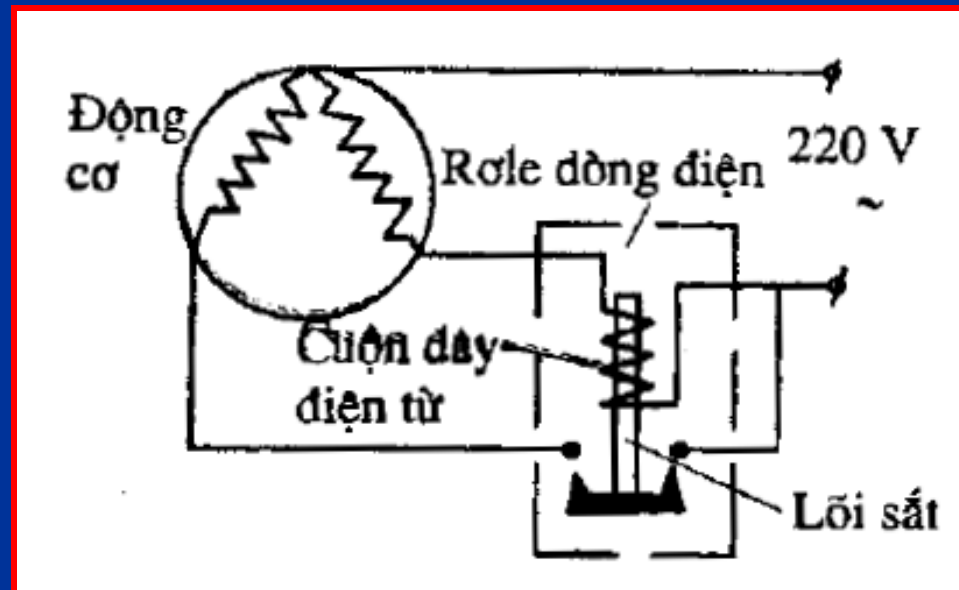


# Bài 3 : CÁC PHƯƠNG PHÁP KHỞI ĐỘNG MÁY NÉN

## I. Mạch điện khởi động máy nén 1 pha:

### A. Sử dụng rơ le dòng điện:

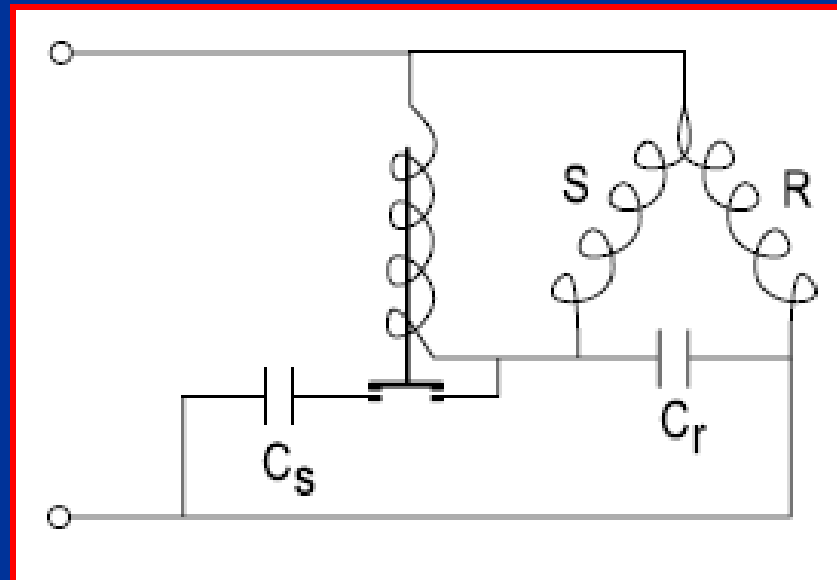
Cấu tạo đơn giản nhưng hay tạo hồ quang tại tiếp điểm đóng mở nên chỉ sử dụng cho máy nén nhỏ công suất nhỏ hơn  $\frac{3}{4}$  HP



# Bài 3 : CÁC PHƯƠNG PHÁP KHỞI ĐỘNG MÁY NÉN

## B. Sử dụng rơ le điện áp:

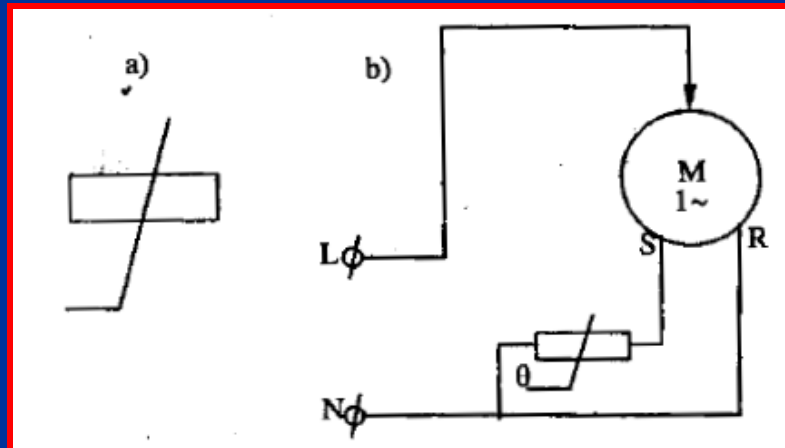
Đơn giản, gọn nhẹ, tiếp điểm làm việc với dòng điện nhỏ nên tuổi thọ cao. Sử dụng cho động cơ lớn hơn 3/4HP. Cuộn dây của rơ le phải có điện thế để giữ tiếp điểm nên phải tiêu hao một lượng điện năng sinh nhiệt vô ích



# Bài 3 : CÁC PHƯƠNG PHÁP KHỞI ĐỘNG MÁY NÉN

## C. Sử dụng rơ le kiểu bán dẫn PTC:

Khi mới cấp điện cho động cơ máy nén thì dòng điện khởi động rất lớn. Dòng điện này làm cho đĩa điện trở phát nhiệt nhanh và điện trở của nó đột biến tăng lên, khi động cơ đã đạt 75% định mức thì điện trở của rơ le rất lớn làm ngắt mạch nối giữa cuộn dây S và R. Lúc này rơ le đã hoàn thành một lần khởi động. Do quán tính nhiệt lớn cộng thêm có dòng điện luôn chạy qua rơ le lúc động cơ hoạt động nên rơ le vẫn giữ nguyên trạng thái này suốt quá trình MN làm việc. Do đặc điểm quán tính nhiệt lớn nên sau thời gian 3 phút MN mới có thể khởi động lại được

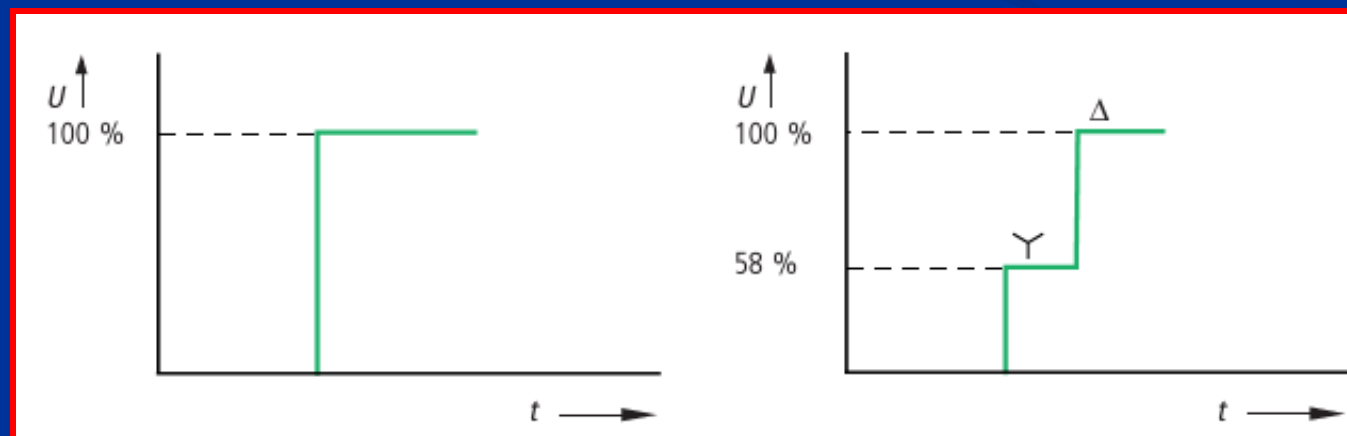
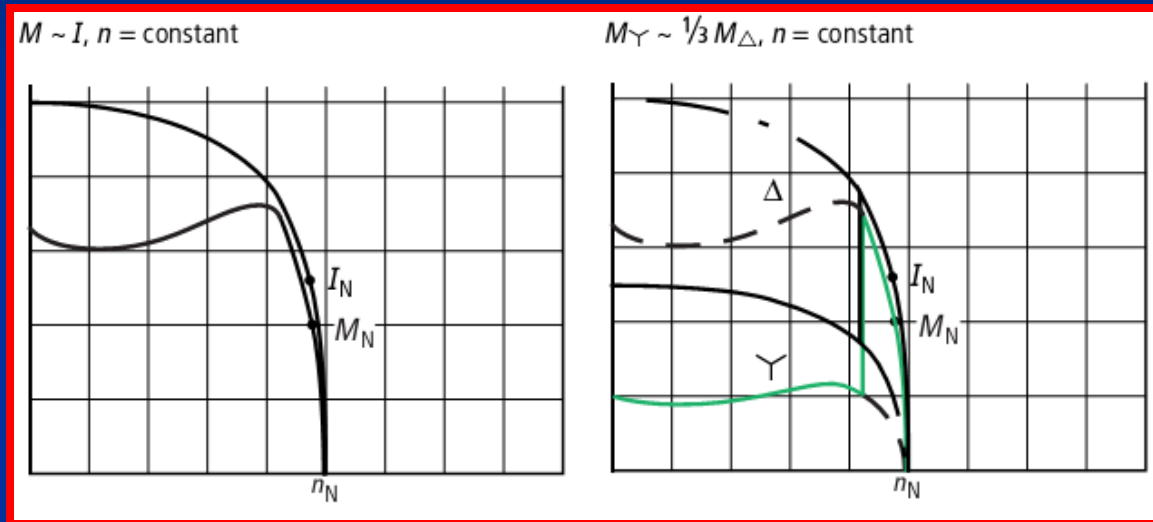


## II. Mạch điện khởi động MN 3 pha:

- Do động cơ máy nén lạnh cần mô men khởi động lớn để khởi động hệ thống trong điều kiện đầy tải
- Ở động cơ thường tải bằng 0 ở lúc bắt đầu khởi động, tải chỉ tăng dần theo tốc độ động cơ. Ngược lại với hệ thống lạnh, khi tắt máy nén thì tải trong hệ thống vẫn cao. Do đó, mô men khởi động của động cơ máy nén lạnh lớn hơn 3,5 lần mô men làm việc, trong khi đó ở động cơ thường chỉ đạt 2,5 lần mô men làm việc. Như vậy, ta phải sử dụng một số biện pháp để khởi động máy nén

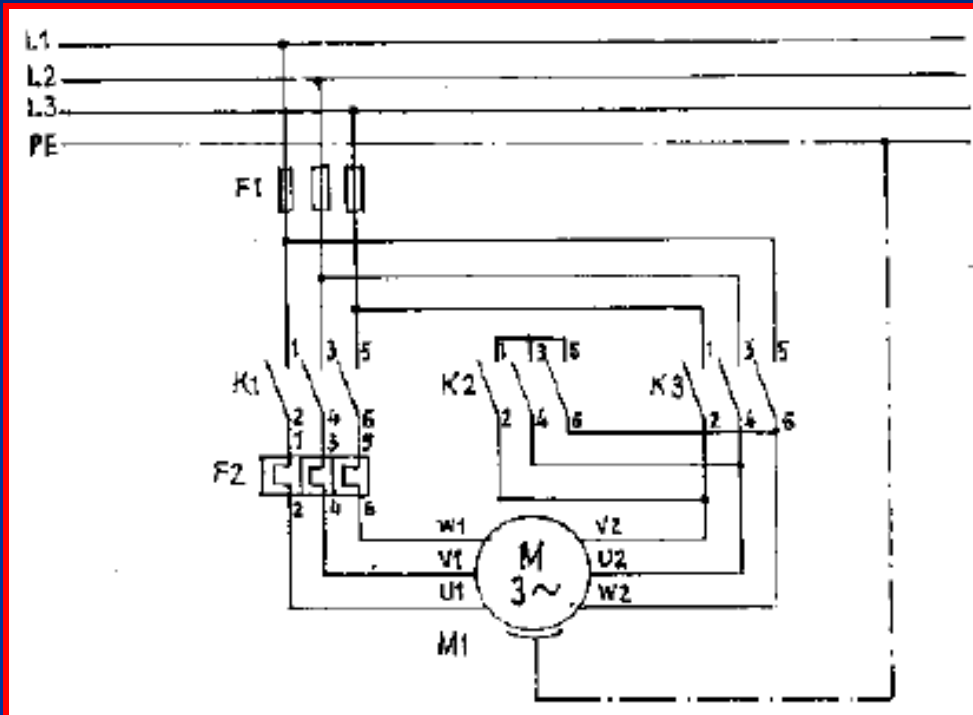
## A. Mạch điện khởi động sao-tam giác:

Qua đồ thị trên ta nhận thấy khi khởi động chế độ sao thì mômen khởi động giảm 3 lần so với khởi động trực tiếp. Dòng điện cũng giảm 3 lần, điện áp giảm  $3^{0,5}$  lần

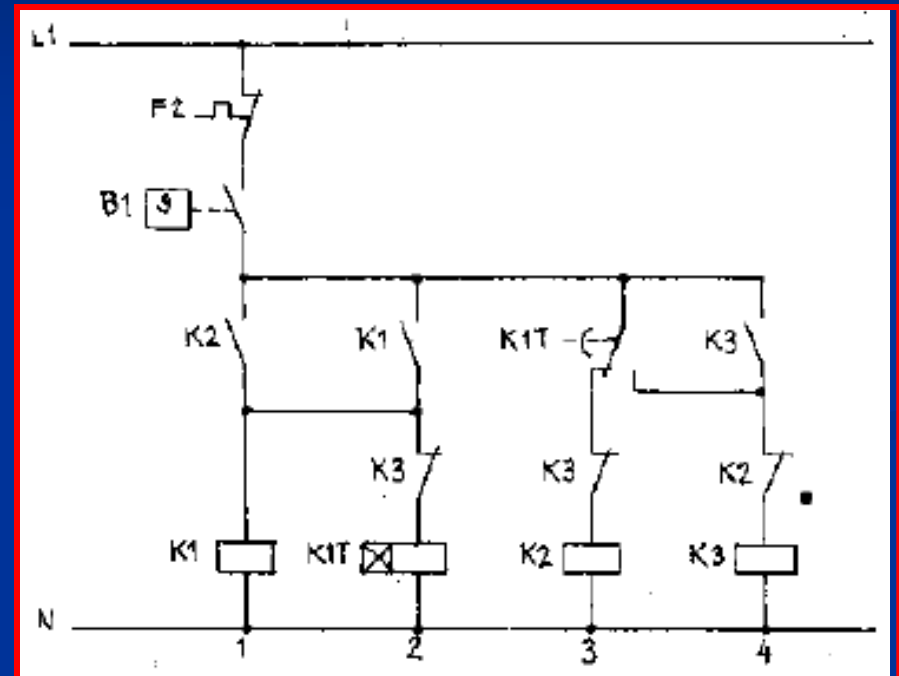


# A. Mạch điện khởi động sao-tam giác:

## + Dạng 1:



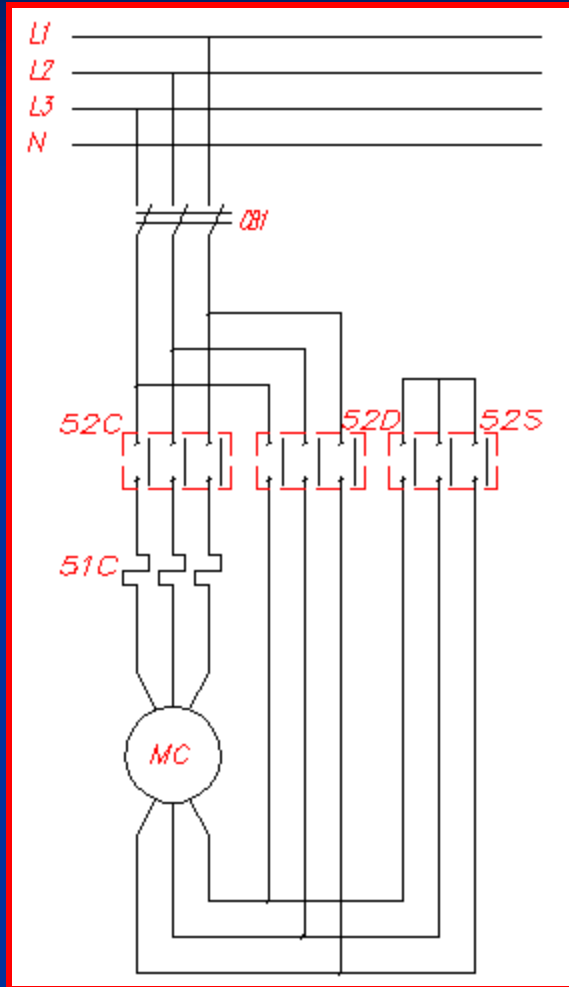
**MẠCH ĐỘNG LỰC**



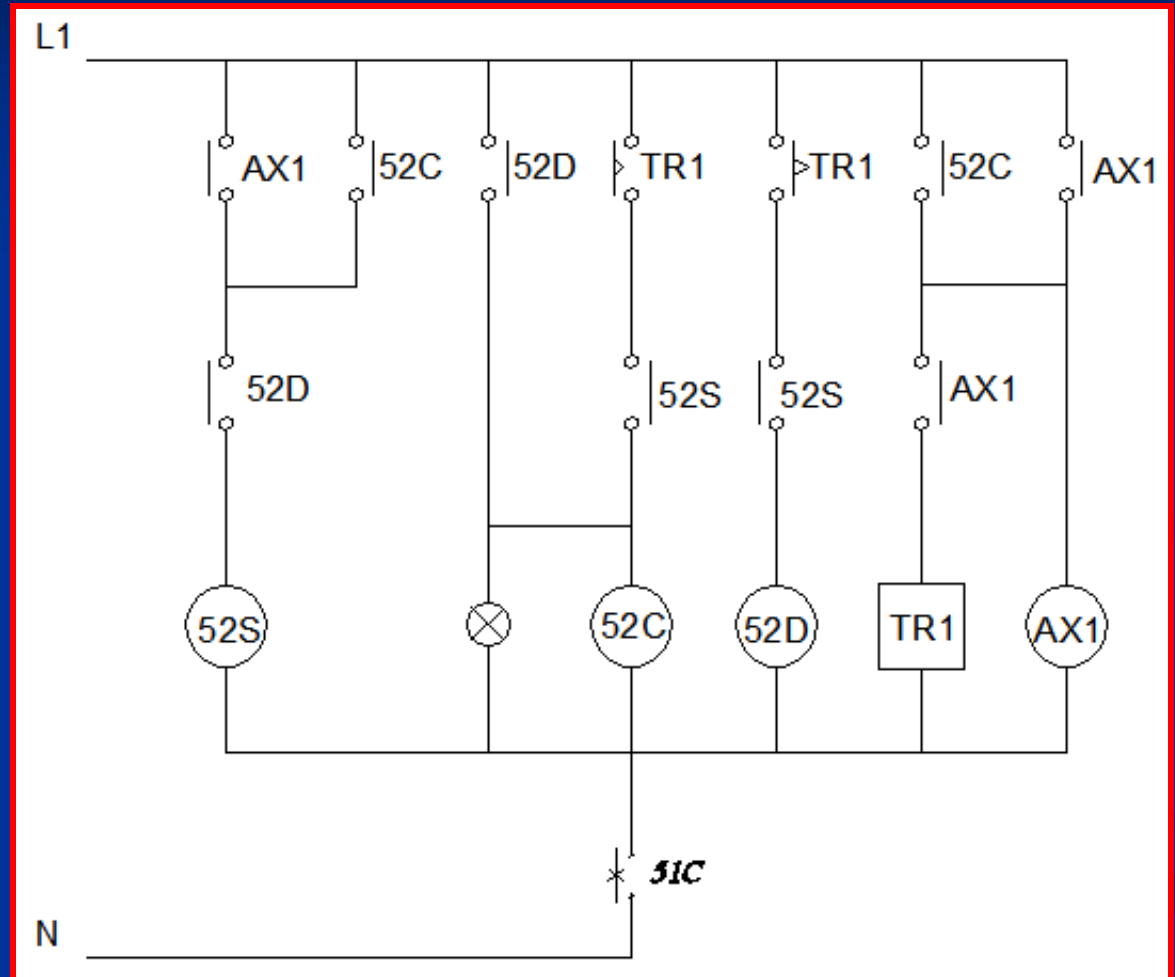
**MẠCH ĐIỀU KHIỂN**

# A. Mạch điện khởi động sao-tam giác:

## + **Dạng 2 :**



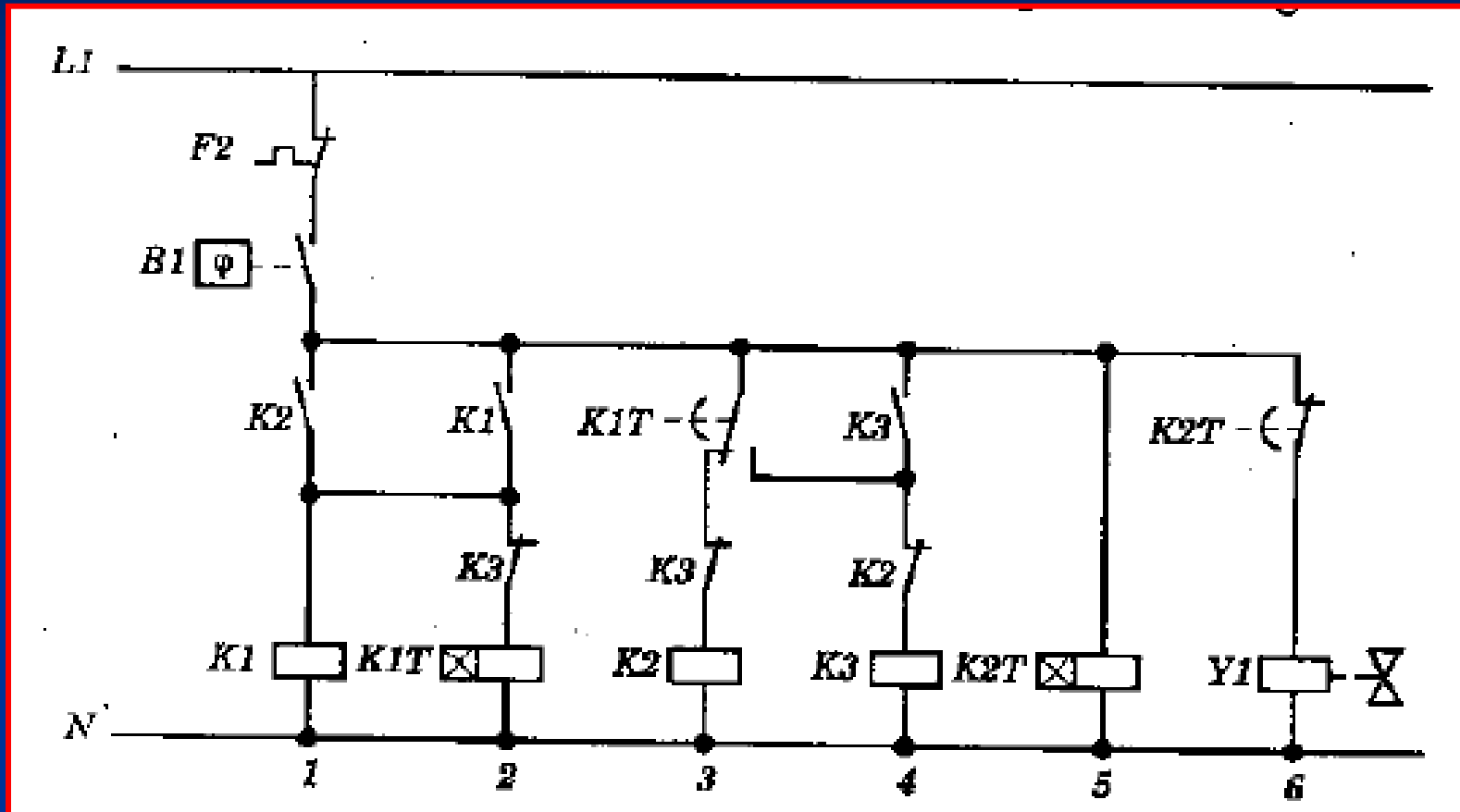
**MẠCH ĐỘNG LỰC**



**MẠCH ĐIỀU KHIỂN**

# A. Mạch điện khởi động sao-tam giác:

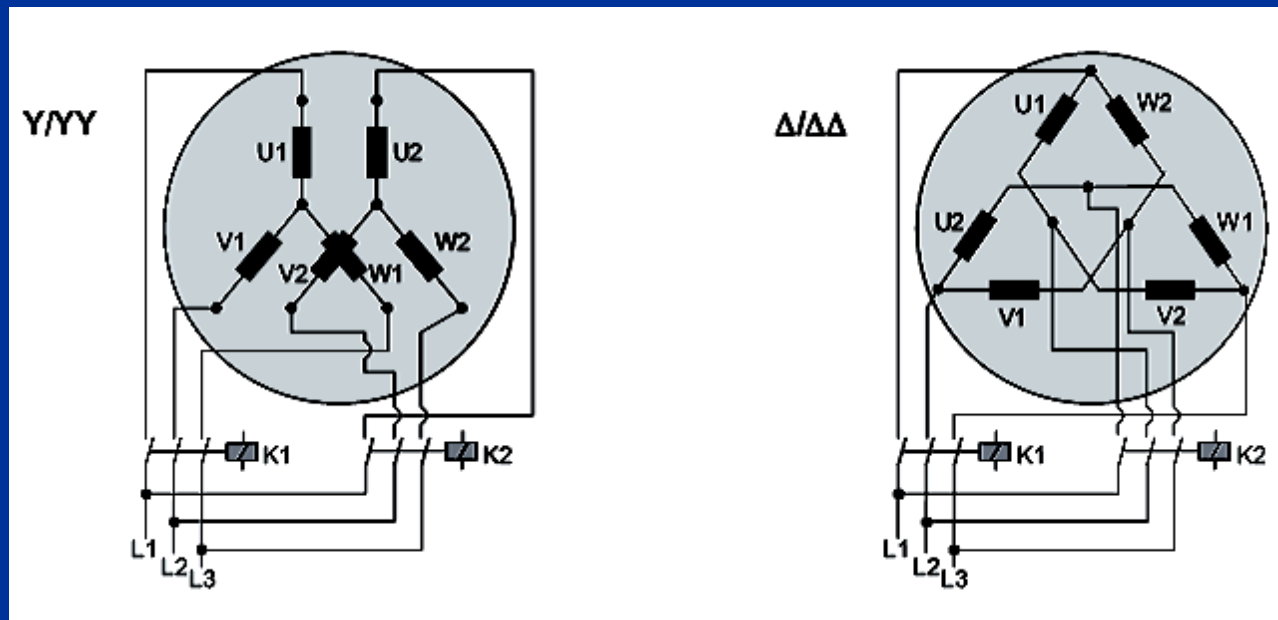
+ **Dạng 3** : Kết hợp với van điện từ giảm tải



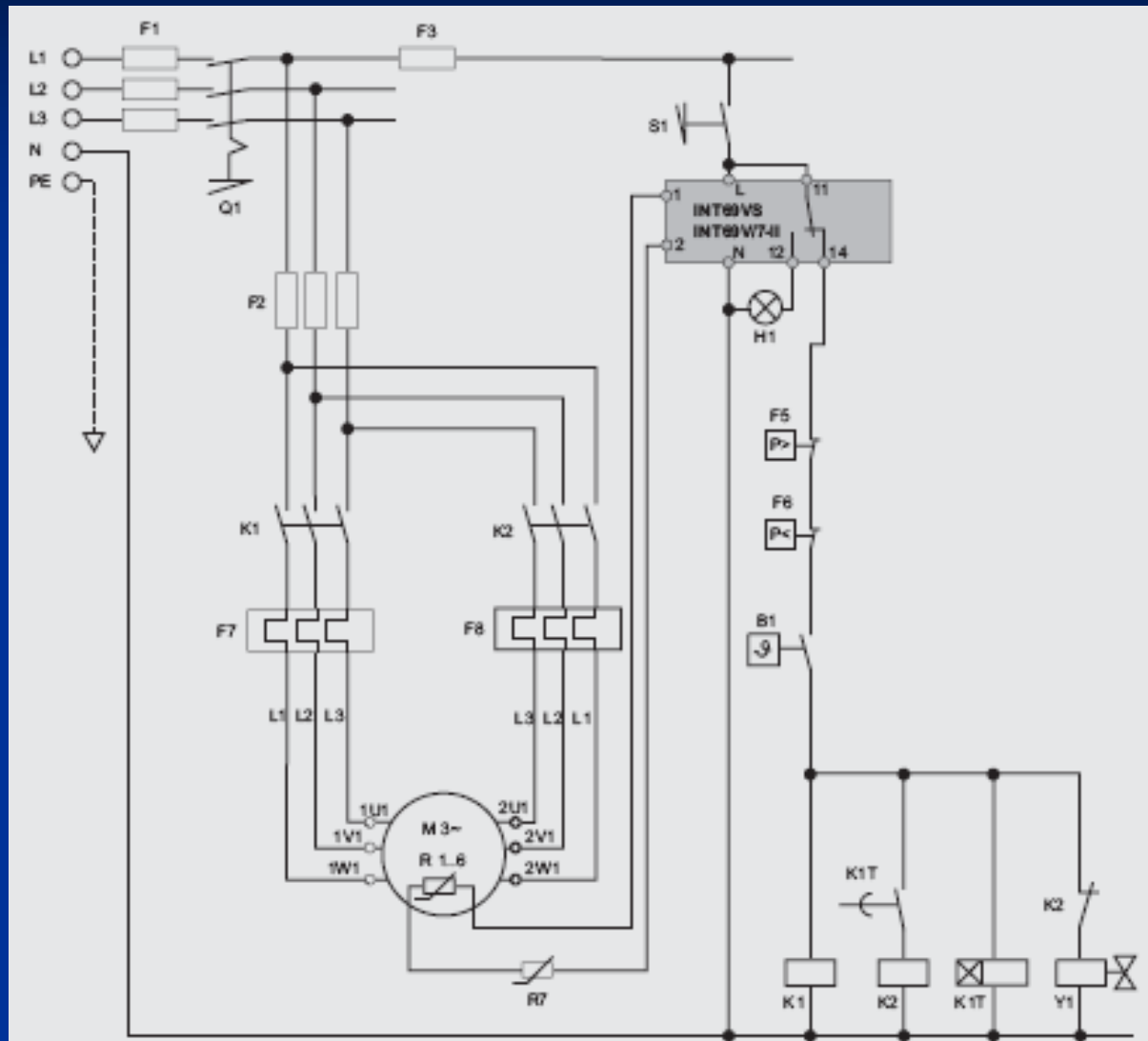


## B. Mạch điện khởi động kiểu Part-Winding:

Đây là kiểu khởi động được sử dụng rộng rãi ở những loại máy nén của Mỹ, của Đức ( Bitzer ). Người ta thiết kế chia cuộn dây stator làm 2, mỗi cuộn có mỗi nối Y//Y hay tam giác//tam giác. Cả hai cuộn dây được đặt trong rãnh stator và cách điện với nhau. Ta sẽ khởi động theo thứ tự từng cuộn dây

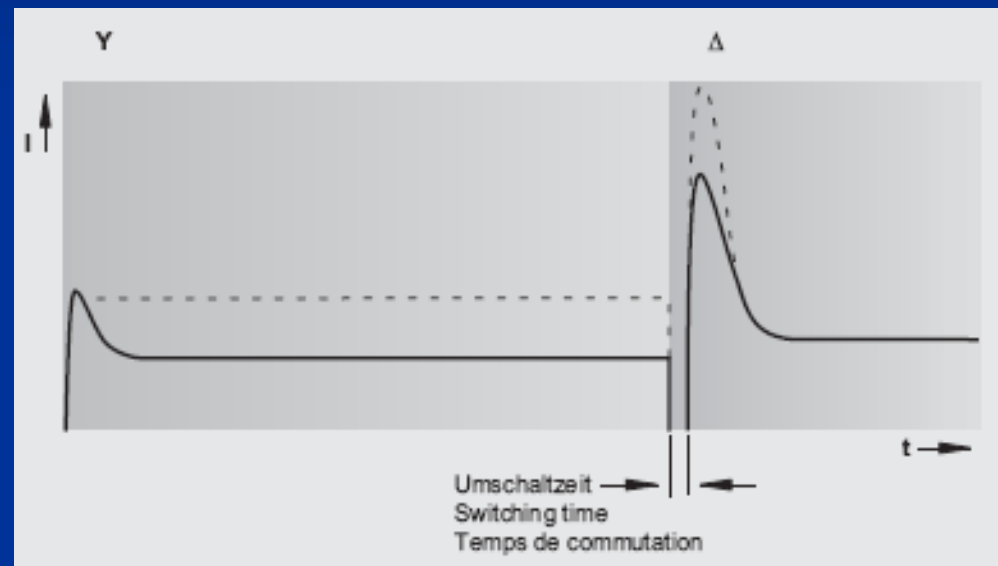
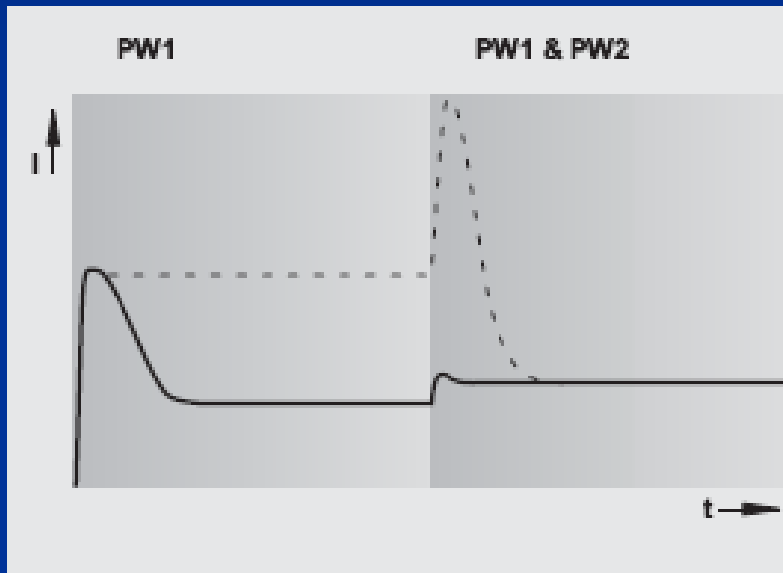


## B. Mạch điện khởi động kiểu Part-Winding:



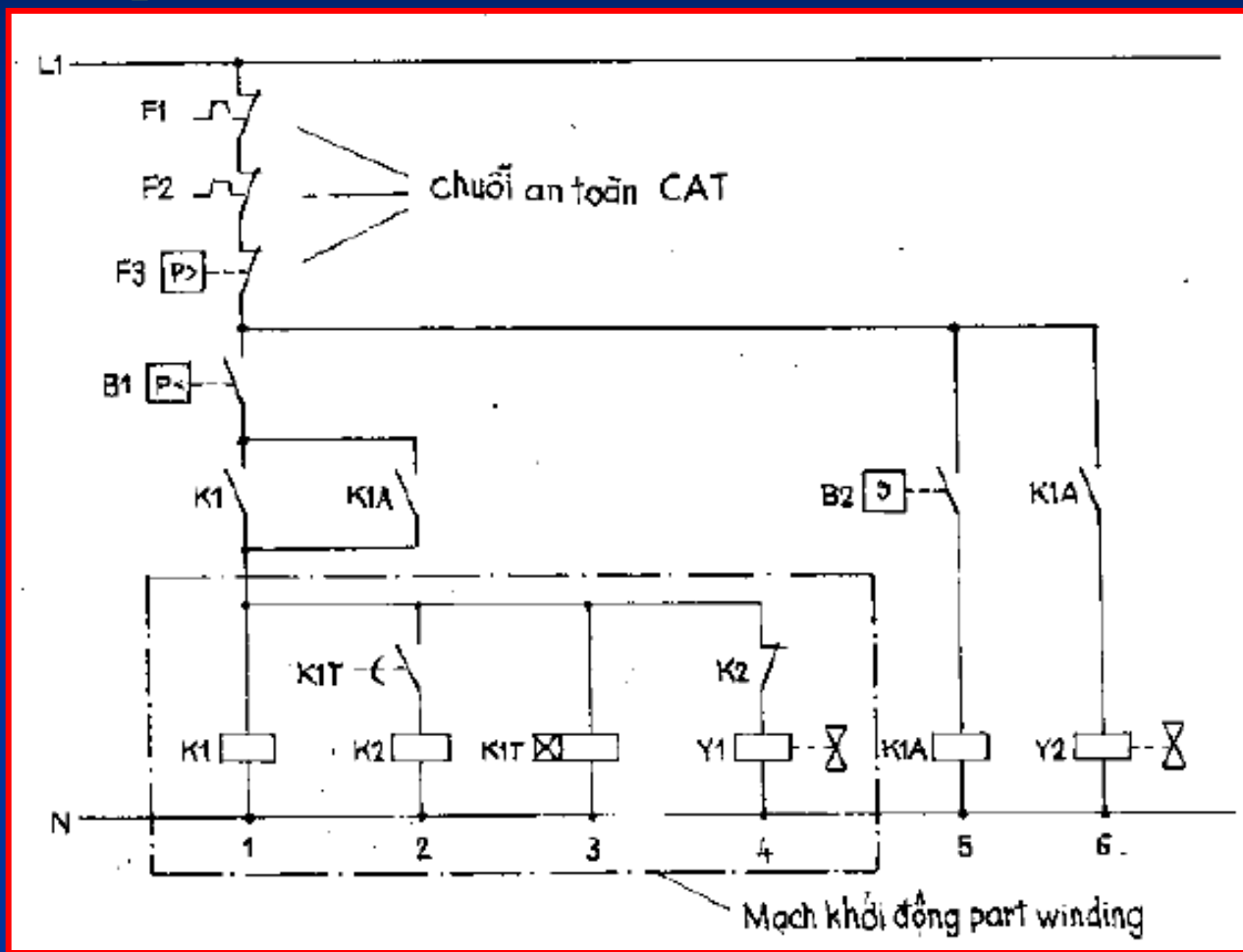
## B. Mạch điện khởi động kiểu Part-Winding:

Khi khởi động bằng sao-tam giác sau khi chuyển sang chế độ tam giác thì dòng điện tăng tức thời một ít



## B. Mạch điện khởi động kiểu Part-Winding:

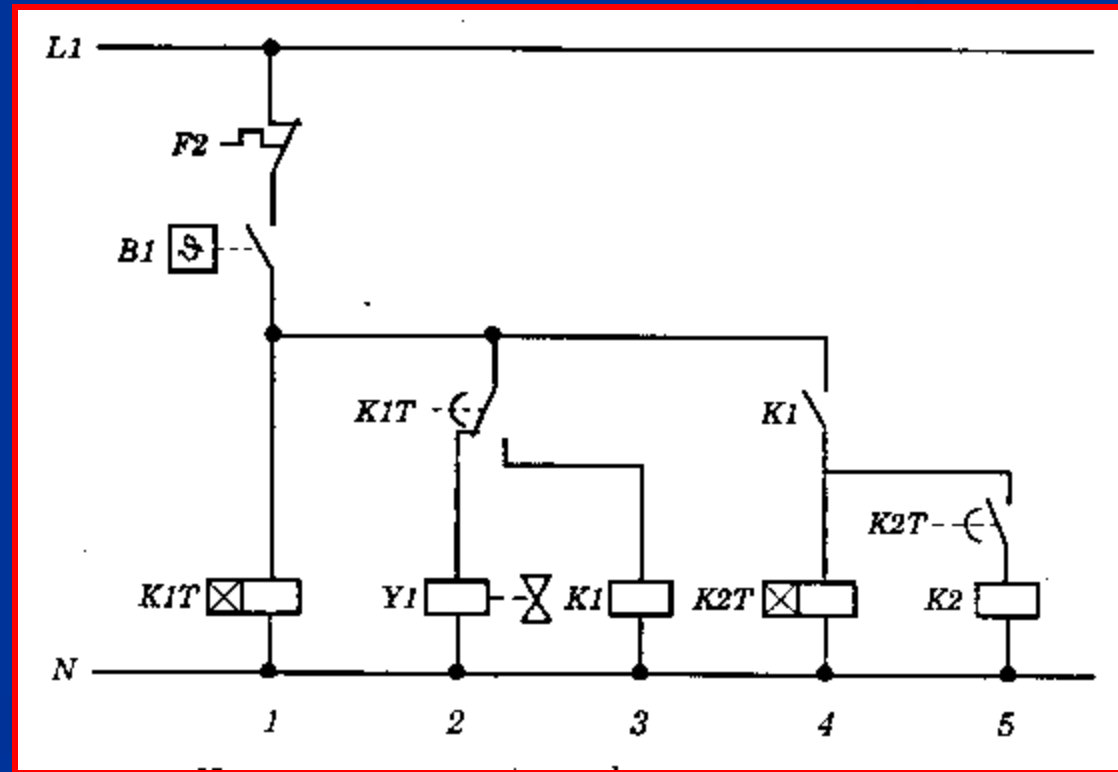
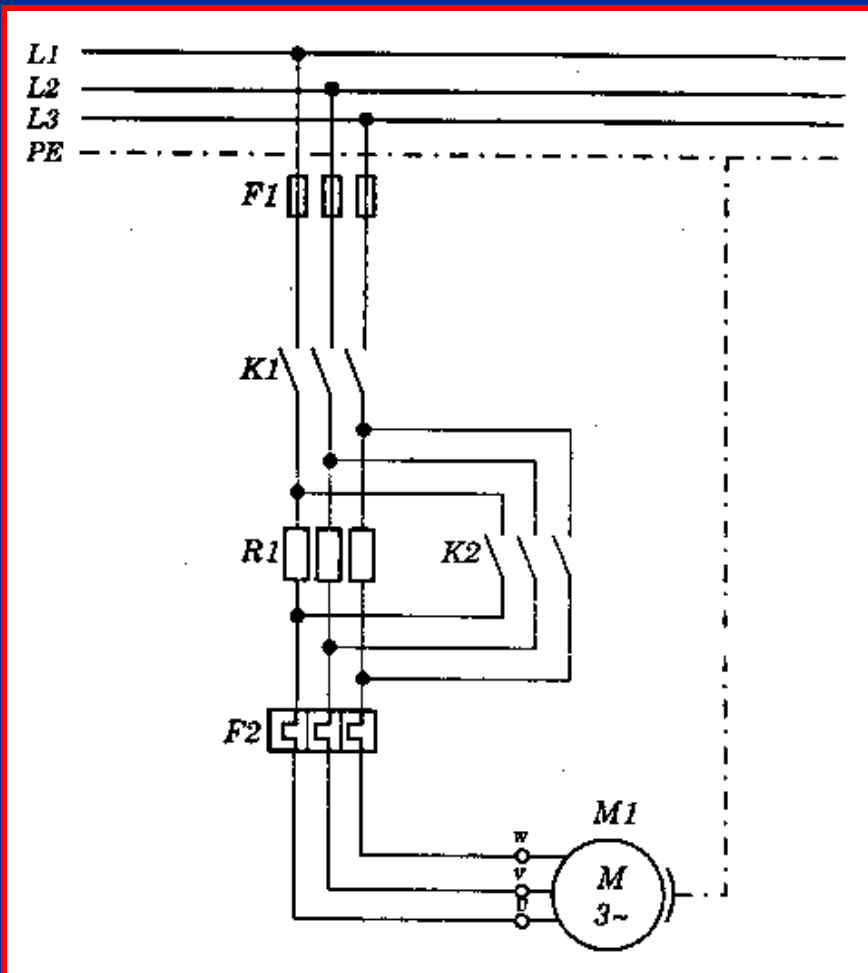
Sơ đồ khởi động máy nén bằng Part winding. K1A tránh làm việc ngắn hạn lặp lại



B1 - rơle áp suất thấp ; B2 - Rơle nhiệt độ phòng ;  
Y1 - Van điện tử giảm tải ; Y2 - Van điện tử cấp lỏng cho dầu bay hơi.

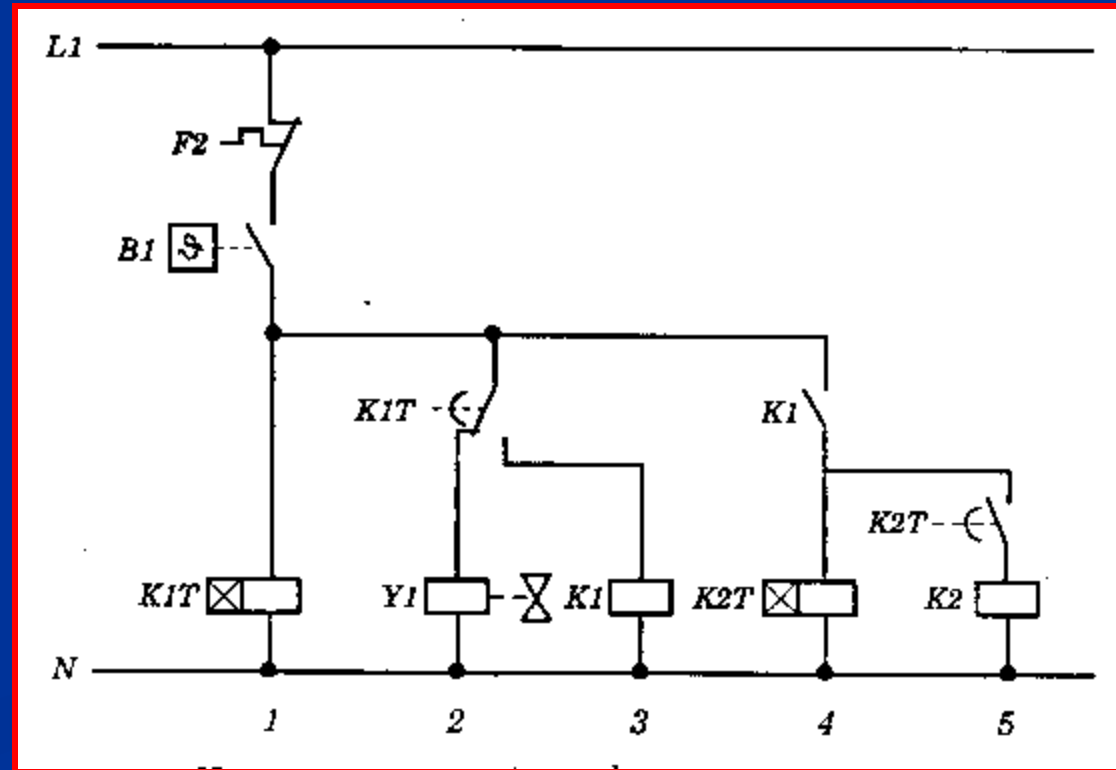
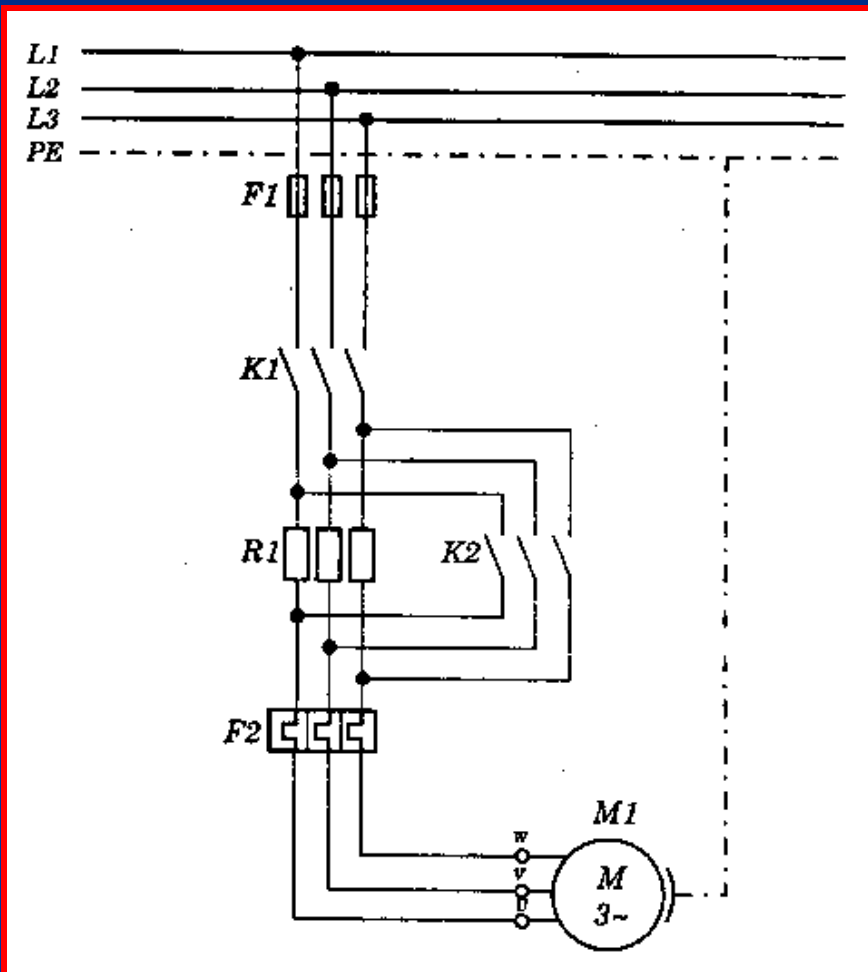
### C. Mạch điện khởi động bằng điện trở:

Tác dụng của điện trở là để giảm dòng điện khởi động và dòng điện được giảm xuống 45% so với định mức. Y1 là van điện từ cân bằng áp suất. Timer K2T có thời gian 0,5s



### C. Mạch điện khởi động bằng điện trở:

Tác dụng của điện trở là để giảm dòng điện khởi động và dòng điện được giảm xuống 45% so với định mức. Y1 là van điện từ cân bằng áp suất. Timer K2T có thời gian 0,5s



## D. Khởi động mềm Soft start:

Tăng dần điện áp một cách thích hợp tránh gây dòng đỉnh khi khởi động cũng như giảm mô men khởi động làm tăng tuổi thọ máy nén, tiết kiệm năng lượng. Ngoài ra các bộ khởi động mềm còn tích hợp chức năng bảo vệ quá tải, quay ngược cho động cơ....

Ngoài ra ta có thể khởi động bằng biến tần



# Bài 4 : TỰ ĐỘNG HÓA THIẾT BỊ BAY HƠI