



$$E_r = KUI \cos \varphi = KP \quad (5-36)$$

Oátmét nhiệt điện có sai số cơ bản  $\pm 1\%$  với thang đo điện áp từ  $10\text{mV} \div 300\text{V}$ , dòng điện từ  $100\mu\text{A} \div 3\text{mA}$ ,  $\cos \varphi = 0 \div 1$  và dải tần  $f = 20\text{Hz} \div 100\text{kHz}$ .

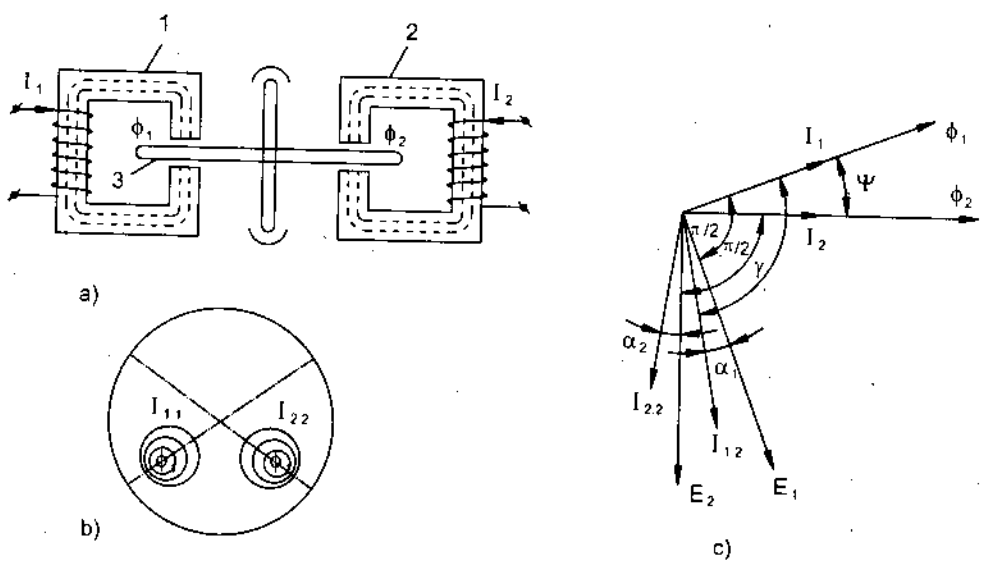
## 5-7. Công tơ đo điện năng

### 5-7-1. Khái niệm chung

Điện năng trong mạch một pha được tính theo biểu thức

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} UI \cos \varphi dt = kPt$$

trong đó: P - công suất tiêu thụ trên tải;  $t = t_2 - t_1$  (khoảng thời gian); k - hệ số.



Hình 5-13. a, b) Chỉ thị kiểu cảm ứng; c) Biểu đồ véc tơ

Dụng cụ đo điện năng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng hình 5-13. Cấu tạo gồm 2 phần: phần tĩnh và phần động. Phần tĩnh là 2 cuộn dây quấn trên lõi thép 1 và 2 (h 5-13a). Khi có dòng đi qua các cuộn dây chúng tạo nên từ trường xuyên qua lõi thép và phần động. Phần động là đĩa nhôm 3 gắn trên một trục quay.

Với dòng  $I_1, I_2$  qua cuộn dây, chúng tạo ra từ thông  $\phi_1$  và  $\phi_2$  xuyên qua đĩa nhôm làm xuất hiện các sức điện động tương ứng  $E_1, E_2$  lệch pha với  $\phi_1, \phi_2$  một góc  $\pi/2$  và các dòng xoáy  $I_{12}, I_{22}$ .

Dưới sự tác động tương hỗ giữa  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  và dòng xoáy  $I_{12}$ ,  $I_{22}$  tạo thành mômen làm quay đĩa nhôm (h 5-13b). Ta có:

$$M_y = C_1 \phi_1 I_{22} \sin \psi + C_2 \phi_2 I_{12} \sin \psi \quad (5-37)$$

$\psi$  - góc lệch giữa  $\phi_1$  và  $\phi_2$ ;  $C_1, C_2$  - Hệ số.

Nếu dòng điện tạo ra  $\phi_1, \phi_2$  là hình sin và đĩa có cấu tạo đồng nhất thì các dòng xoáy  $I_{12}, I_{21}$  tỷ lệ với tần số  $f$  và từ thông sinh ra nó.

$$I_{12} = C_3 f \phi_1; I_{22} = C_4 f \phi_2 \quad (5-38)$$

$C_3, C_4$  - Hệ số;  $f$  = tần số biến thiên của từ thông.

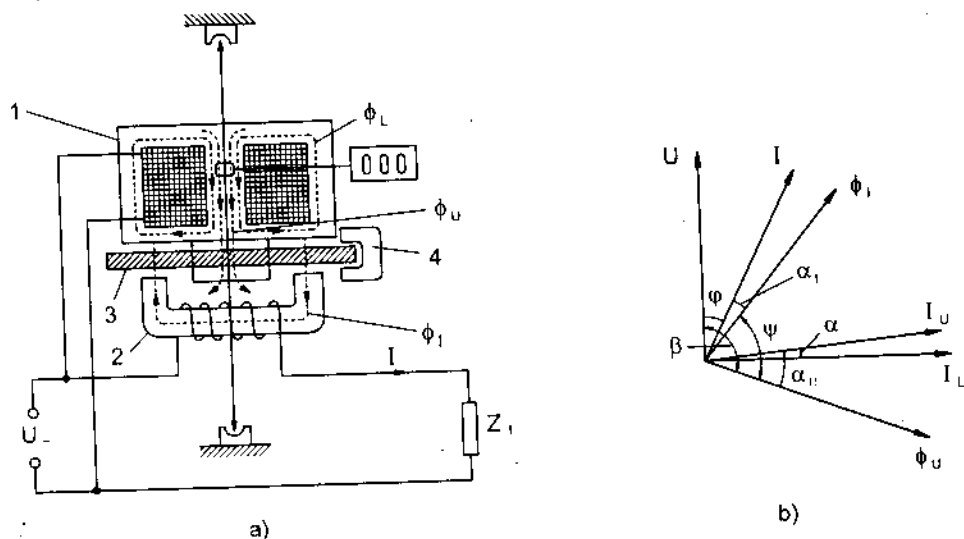
Từ (5-38) thay vào (5-37) ta được.

$$M_q = C f \phi_1 \phi_2 \sin \psi \quad (5-39)$$

$$C = C_2 C_3 + C_1 C_4$$

### 5-7-2. Công tơ điện năng 1 pha

Hình 5-14 là cấu tạo của công tơ một pha gồm hai cuộn dây nam châm điện 1 và 2. Cuộn 1 mắc song song với phụ tải có số vòng dây lớn và tiết



**Hình 5-14.** Sơ đồ cấu tạo của công tơ 1 pha và biểu đồ vectơ

điện dây nhỏ gọi là cuộn áp. Cuộn 2 mắc nối tiếp với phụ tải có ít vòng. đường kính dây  $\phi = 1 \div 2\text{mm}$  gọi là cuộn dòng. Đĩa nhôm 3 gắn trên trục có thể quay tự do giữa cuộn dây và 1 và 2. Trên trục gắn bộ chỉ thị cơ khí.

Nam châm 4 tạo nên mômen hãm do từ trường xuyên qua đĩa nhôm khi đĩa quay.

Khi dòng điện  $I$  chạy qua phụ tải và qua cuộn dòng 2 sẽ tạo ra từ thông  $\phi_I$  cắt đĩa nhôm 2 lần. Điện áp  $U$  đặt vào cuộn áp tạo từ thông  $\phi_U$  xuyên qua đĩa nhôm và  $\phi_I$ . (hình 5-14a)

Ta có:

$$\phi_I = K_I I. \quad (5-40)$$

$$\phi_U = K_U I_U = K_U \times \frac{U}{Z_U} \quad (5-41)$$

$U$  - điện áp đặt lên cuộn áp;  $Z_U$  - tổng trở cuộn áp;  $K_I K_U$  - hệ số.

Do cuộn áp có điện trở thuần nhỏ so với thành phần kháng nên  $Z_U \approx X_U = 2\pi f L_U$  với  $L_U$  - điện cảm của cuộn dây. Và:

$$\phi_U = \frac{K_U}{2\pi f L_U} U = K'_U \frac{U}{f}; \quad K'_U = \frac{K_U}{2\pi L_U} \quad (5-42)$$

Từ biểu thức (5-39)

$$M_q = C_f \phi_I \phi_U \sin\psi \text{ nếu } \phi_I \approx \phi_1; \phi_U \approx \phi_U \text{ thì}$$

$$M_q = C_f \phi_I \phi_U \sin\psi \quad (5-43)$$

Từ (5-40) và (5-42) thay vào (5-43) ta được.

$$M_q \approx C K_I K'_U U I \sin\psi.$$

$$M_q = K U I \sin\psi \quad (5-44)$$

$\psi$  - góc lệch giữa  $\phi_I$  và  $\phi_U$ .

Từ biểu đồ vec tơ (h5-14b) ta có:

$$\psi = \beta - \alpha_I - \varphi$$

Nếu thực hiện  $\beta - \alpha_I = \pi/2$

Thì  $\psi = \pi/2 - \varphi$ , từ (5-44) ta nhận được

$$M_q = K UI \cos \phi = KP \quad (5-45)$$

Từ đó ta thấy mômen quay tỷ lệ với công suất tiêu thụ.

Để thực hiện  $\beta - \alpha_1 = \pi/2$  ta điều chỉnh góc  $\beta$  tức là điều chỉnh  $\phi_{U1}$  bằng thay đổi vị trí sun từ của cuộn áp hoặc điều chỉnh góc  $\alpha_1$  tức là thay đổi  $\phi_1$  bằng cách thêm hoặc bớt vòng ngắn mạch của cuộn đồng.

Khi đĩa nhôm quay, nam châm vĩnh cửu tạo mômen cản  $M_C$  làm hạn chế tốc độ quay đĩa nhôm.

$$M_C = k_1 \phi_M I_M \quad (5-46)$$

$\phi_M$  - từ thông do nam châm sinh ra;

$I_M$  - dòng xoáy sinh ra trong đĩa nhôm

$$I_M = k_2 \phi_M n_0$$

$n_0$  - tốc độ quay đều của đĩa nhôm

$$M_C = k_1 k_2 \phi_M^2 n_0 \Rightarrow M_C = k_3 \phi_M^2 n_0 \quad (5-47)$$

$k_1, k_2, k_3$  - hệ số

Khi mômen quay và mômen cản cân bằng nhau ta có

$$M_q = M_C \text{ và } KP = k_3 \phi_M^2 n_0 \quad (5-48)$$

Trong khoảng thời gian  $t = t_2 - t_1$  đĩa nhôm quay được  $N$  vòng do đó  $n_0 = \frac{N}{t}$ . Từ (5-47) ta có:  $M_C = k_3 \phi_M^2 \frac{N}{t}$ , từ (5-48) ta tính được

$$KP = k_3 \phi_M^2 \frac{N}{t}$$

$$\Rightarrow N = \frac{k}{k_3 \phi_M^2} \cdot Pt = C_p \cdot Pt = C_p W$$

$$N = C_p PT \quad (5-49)$$

$C_p$  - hằng số công tơ

$$C_p = \frac{N}{W} [\text{vòng/kwh}] \quad (5-50)$$

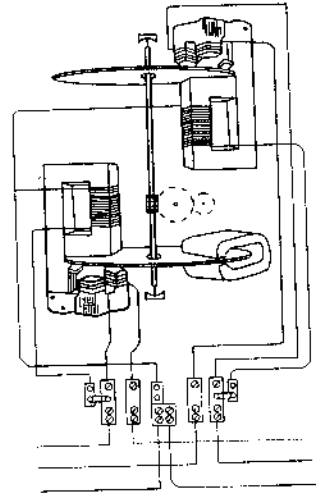
Đó là số vòng công tơ quay khi tiêu hao công suất 1kW trong 1 giờ. Số chỉ này chỉ được thực hiện ở hộp số trên mặt công tơ.

Cấp chính xác của công tơ là 0,5; 1; 1,5 và 2.

### 3. Công tơ 3 pha.

Giống như trường hợp đo công suất, đo năng lượng trong mạch 3 pha có thể thực hiện bằng 1 công tơ, hai công tơ hoặc 3 công tơ. Tùy theo tải đối xứng hoặc không đối xứng. Trong thực tế người ta thường sử dụng công tơ 3 phần tử hoặc 2 phần tử.

Hình 5-15 là sơ đồ cấu tạo của công tơ 3 pha 2 phần tử. Trong đó gồm 2 đĩa nhôm được gắn vào cùng 1 trục. Mỗi đĩa nhôm nằm trong từ trường cuộn áp và cuộn dòng của các pha tương ứng. Cuộn áp mắc song song với phụ tải, cuộn dòng nối tiếp với phụ tải.



Hình 5 - 15. Công tơ 3 pha đo năng lượng

Nam châm cân được đặt vào 1 trong 2 đĩa nhôm. Mômen quay được tạo ra bằng tổng 2 mômen quay của 2 phần tử và điện năng đo được là điện năng mạch 3 pha.

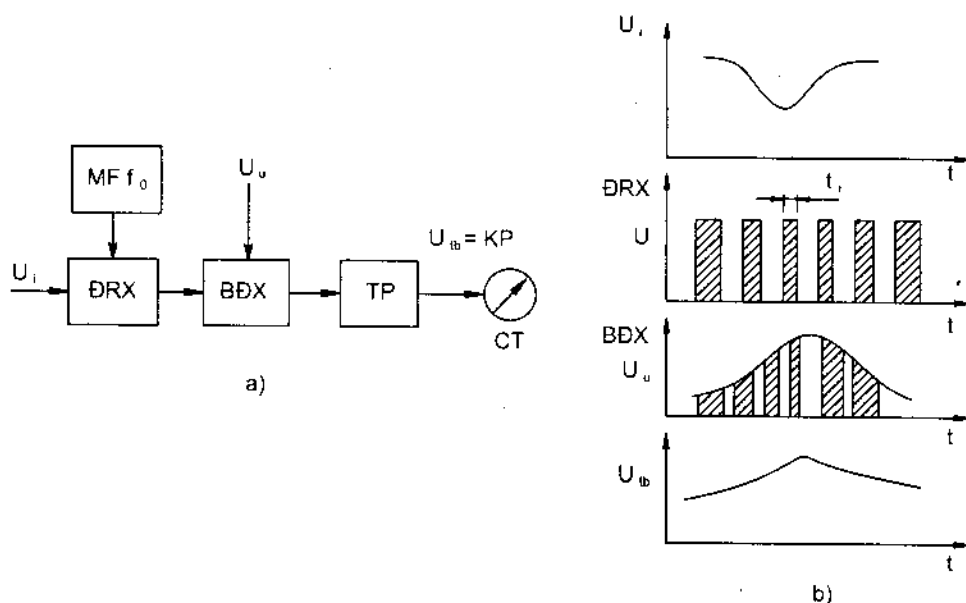
## 5-8 Đo công suất và điện năng bằng oátmét và công tơ điện tử

### 5-8-1. Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

Giả sử  $U_u$  là tín hiệu tỷ lệ với điện áp rơi trên phụ tải  $U$  và  $U_i$  là tín hiệu tỷ lệ với dòng điện  $I$  qua phụ tải thì phương pháp điều chế tín hiệu dựa trên việc nhân các tín hiệu  $U_u$  và  $U_i$  trên cơ sở điều chế hai lần tín hiệu xung. Đó là điều chế độ rộng xung (ĐRX) và điều chế biên độ xung (BDX). Hình 5-16a là sơ đồ cấu trúc của oátmét dựa trên phương pháp điều chế độ rộng xung và biên độ xung và hình 5-16b là biểu đồ thời gian.

Nguyên lí làm việc của oátmét như sau.

Máy phát tần số chuẩn  $MF_{10}$  tạo ra các xung có biên độ và độ rộng giống nhau, các xung này được đưa vào thiết bị biến đổi độ rộng xung. Ở đây độ rộng của các xung phụ thuộc vào biên độ của điện áp  $U_i$  (hình 5-16b). Đầu ra của bộ điều chế độ rộng xung có các xung với độ rộng khác nhau  $t_i = k_1 U_i$ ; với  $k_1$  - là hệ số.



Hình 5-16. a. Oátmét theo phương pháp điều chế xung (ĐRX-BĐX;  
b. Biểu đồ thời gian

Các xung có độ rộng khác nhau được đưa tiếp đến bộ biến đổi biên độ xung, chúng được điều chế biên độ nhờ tín hiệu  $U_u$  (hình 5-16b) do đó diện tích của mỗi xung đầu ra của bộ điều chế biên độ xung tỷ lệ với công suất tức thời.

$$S(t) = k_2 U_u t_i = k_1 k_2 U_u U_i = K U_u U_i$$

$t_i$  - độ rộng xung

Điện áp ra của bộ tích phân (tp) tỷ lệ với công suất trung bình tiêu thụ trên tải:

$$U_{th} = KP$$

Oátmét được chế tạo dựa trên phương pháp này có sai số khoảng  $\pm 0,1\%$ .

## 5-8-2. Công tơ điện tử

Nguyên tắc hoạt động của công tơ điện tử như sau.

Trước hết ta biến đổi dòng điện  $I$  thành điện áp  $U_i$  tỷ lệ với nó.

$$U_i = K_I I$$

Mặt khác biến đổi điện áp rơi trên phụ tải thành điện áp  $U_2$  tỷ lệ với  $U$ .

$$U_2 = K_2 U$$

Hai điện áp  $U_1$  và  $U_2$  được đưa qua bộ nhân điện tử (nhân analog) điện áp ra  $U_3 = k_3 U_1 U_2 = k_1 k_2 k_3 U_1 U_2 = KP$ .

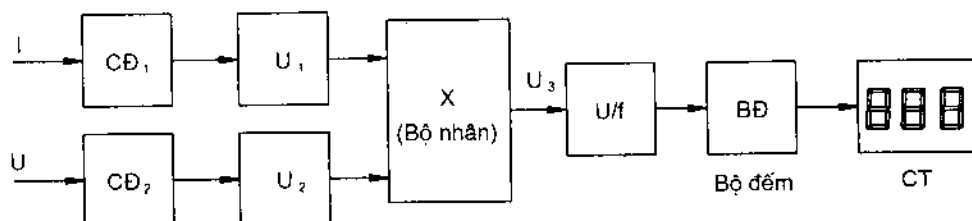
Điện áp này sau khi qua bộ biến đổi áp - tần (Hoặc A/D) đưa vào bộ đếm. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số tỷ lệ với điện năng tiêu thụ của tải trong khoảng thời gian đo.

Tất cả các bộ biến đổi trên đều thực hiện bằng mạch điện tử

Hình 5-17 là sơ đồ khối của công tơ điện tử.

Nhược điểm của công tơ điện tử là khi mất điện chỉ thị số không lưu giữ được kết quả đo trong khoảng thời gian dài vì vậy để khắc phục nhược điểm trên ngày nay người ta thực hiện đo điện năng trên các mạch vi xử lý có bộ phận lưu giữ kết quả khi mất điện hoặc phải thực hiện qua khâu trung gian để biến kết quả đo thể hiện trên các bộ chỉ thị cơ khí. Quá trình trên làm sơ đồ phức tạp và giá thành cao.

Công tơ điện tử có thể đạt tới cấp chính xác 0,5.



Hình 5-17. Sơ đồ khối của công tơ điện tử

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 5

### I. Lý thuyết

1. Nêu phương pháp đo công suất bằng vônmet, amperemét và oátmét điện động. Cách tính sai số trong các trường hợp khi mắc các dụng cụ hoặc các cuộn dây ở những vị trí khác nhau.



2. Trình bày nguyên lí hoạt động của oátmét điện động đo công suất trong mạch xoay chiều.
3. Nêu các phương pháp đo công suất thực trong mạch 3 pha và 3 pha cao áp.
4. Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động của oátmét phản kháng. Các phương pháp đo Q trong mạch 3 pha.
5. Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động và đặc điểm của oátmét nhiệt điện.
6. Oátmét và công tơ điện tử, vẽ sơ đồ khối và nó, nguyên lí làm việc, đặc điểm?
7. Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động của công tơ điện 1 pha và 3 pha.

## II. Bài tập

1. Để đo công suất của một phụ tải thuần trở với nguồn điện 220V. Người ta sử dụng một oátmét điện động có  $U_{dm} = 220V$ ;  $I_{dm} = 15A$ . Điện trở cuộn dòng  $R_A = 2\Omega$ , dòng điện qua cuộn áp là  $I_V = 25mA$ . Mắc sơ đồ của oátmét trên như thế nào để đạt độ chính xác cao biết rằng điện trở tải  $R_t = 1k\Omega$ .
2. Để kiểm tra sai số của 1 oátmét một pha người ta sử dụng 1 Ampemét mẫu có  $I_{dm} = 15A$ ; 1 vônmet mẫu có  $U_{dm} = 300V$  và oátmét có  $U_{dm} = 300V$ ;  $I_{dm} = 20A$ . Khi đo Ampemét chỉ 10A; vônmet chỉ 220V.

Xác định công suất thực của phụ tải và số chỉ trên oátmét biết rằng oátmét có thang đo 150 vạch chia, sai số  $\pm 1,5\%$ . Hệ số  $\cos\varphi = 0,95$ .

3. Để đo công suất của 1 phụ tải mạch 3 pha cao áp người ta dùng 2 vônmet mẫu có  $U_{dm} = 100V$ ; 2Ampemét mẫu có  $I_{dm} = 5A$  và 2 oátmét có  $U_{dm} = 120V$ ;  $I_{dm} = 5A$ . Cấp chính xác của oátmét là 1,0. Thang đo có 120 vạch chia.

Khi đo oátmét 1 chỉ 100 vạch, oátmét 2 chỉ 80 vạch.

Tính: - Công suất tiêu thụ thực của phụ tải

- Dòng điện đi qua Ampemét 1 và 2.

Biết rằng vônmet 1 và 2 đều chỉ 100V,  $\cos\varphi_1 = 0,95$ ;  $\cos\varphi_2 = 0,90$  hệ số  $k_1 = 100/5$ ;  $k_v = 6000/100$ .

4. Để kiểm tra công tơ 1 pha, trên mặt thay đo có ghi 1kWh - 2500 vòng. Người ta dùng một oátmét điện động mẫu có  $U_{dm} = 300V$   $I_{dm} = 20A$ . Thang chia độ có 150 vạch. Khi kiểm tra kim oátmét chỉ 100 vạch. Hỏi trong 3 phút đĩa công tơ quay được bao nhiêu vòng biết rằng sai số công tơ là 2%.

## CHƯƠNG VI

# ĐO TẦN SỐ, GÓC PHA VÀ KHOẢNG THỜI GIAN

### 6-1. Khái niệm chung

- Tần số và góc pha là các đại lượng đặc trưng cho quá trình dao động có chu kỳ. Tần số được xác định bởi số chu kỳ lặp lại của tín hiệu trong một đơn vị thời gian. Với kỹ thuật tiên tiến hiện nay, các phép đo chính xác nhất được qui về đo tần số do tần số chuẩn có thể đạt độ chính xác cao với sai số  $10^{-13} \div 10^{-12}$  mà các đại lượng mẫu khác khó đạt được. Mặt khác việc so sánh tần số có những biện pháp đạt độ phân li rất cao, có thể truyền đi dễ dàng.

- Chu kỳ là khoảng thời gian ngắn nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn ban đầu và thỏa mãn phương trình

$$U(t) = U(t + T).$$

Nếu gọi  $T$  là chu kỳ của tín hiệu,  $f$  là tần số của tín hiệu đó ta có:

$$f = \frac{1}{T} \quad (6-1)$$

- Tần số góc của tín hiệu được xác định bằng biểu thức.

$$\omega = 2\pi f$$

Dải tần được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như vô tuyến điện, tự động hóa, thông tin liên lạc và thay đổi từ một phần Hz đến GHz. Việc lựa chọn phương pháp đo tần số tùy theo dải đo, độ chính xác, công suất nguồn điện có thể thực hiện theo 2 phương pháp: Phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp so sánh. Các dụng cụ đo tần số được gọi là tần số kế. Tần số, chu kỳ và góc pha liên quan với nhau theo biểu thức:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} 2\pi \quad (6-2)$$

trong đó:  $\varphi$  - góc lệch pha giữa 2 tín hiệu;  $\tau$  - khoảng thời gian lệch nhau giữa 2 tín hiệu.

Vì vậy việc đo tần số góc ( $\omega$ ) và góc pha được qui về đo tần số  $f$  và khoảng thời gian.

Giả sử có 2 tín hiệu dao động  $x_1(t)$  và  $x_2(t)$  trong đó

$$x_1(t) = X_{1m} \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$x_2(t) = X_{2m} \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

$X_m$  - biên độ dao động;  $\omega_1, \omega_2$  - tần số góc;  $\omega t + \varphi$  - pha dao động ( $\varphi$  - góc lệch ban đầu)

Ta có góc lệch pha của 2 tín hiệu:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \text{ khi } \omega_1 = \omega_2 \quad (6-3)$$

$$\varphi = \varphi_1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \varphi_2 \text{ nếu } \omega_1 = n\omega_2 \text{ (n - số nguyên)}$$

hoặc

$$\varphi = -\varphi_2 + \varphi_1 \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Góc lệch pha được tính bằng gradian hoặc độ; Khoảng thời gian được tính bằng giây (s)

## 6-2. Tần số kế

### 6-2-1. Tần số kế điện động

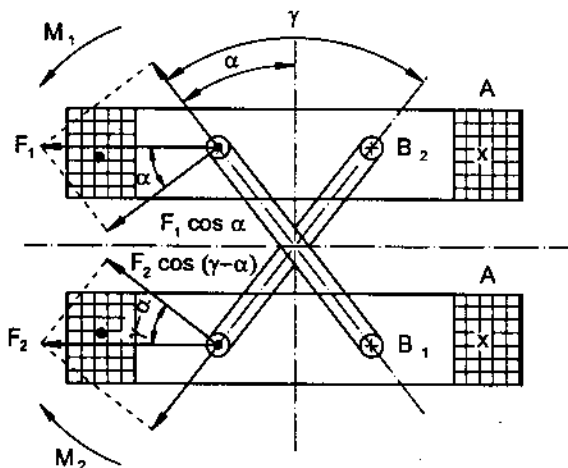
Tần số kế điện động là dụng cụ đo tần số dựa trên cơ cấu lôgôm mét điện động và sắt điện động. Hình 6-1 là cấu tạo của cơ cấu lôgôm mét điện động.

Phần động gồm 2 cuộn dây  $B_1$  và  $B_2$  gắn lệch nhau một góc  $\gamma$ . Phần tĩnh là cuộn dây A tách thành 2 nửa.

Khi có dòng điện  $I$  đi vào cuộn A và dòng  $I_1, I_2$  vào cuộn  $B_1, B_2$  do tác động của trường điện từ chúng tạo thành 2 mômen quay ngược chiều nhau (hình 6-1).

$$M_1 = I_1 \cos(I_1) \cos \alpha \frac{dM_{AB_1}}{d\alpha} \quad (6-4)$$

$$M_2 = I_2 \cos(I_2) \cos \alpha \frac{dM_{AB_2}}{d\alpha} \quad (6-5)$$



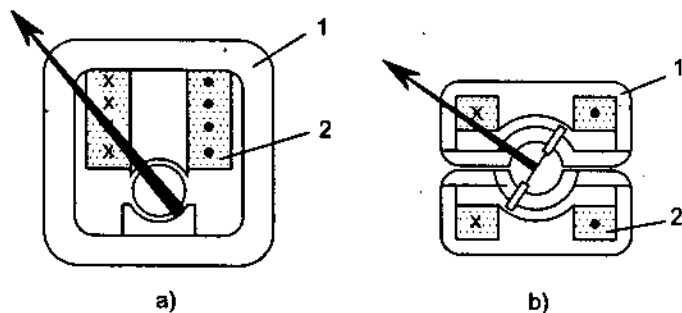
Hình 6-1. Lôgôm mét điện động

tại thời điểm cân bằng ta có  $M_1 = M_2$  và nếu thực hiện được

$$\frac{dM_{AB_1}}{d\alpha} = \frac{dM_{AB_2}}{d\alpha} \text{ ta có } \frac{I_1 \cos(I_1)}{I_2 \cos(I_2)} = \frac{\cos(\gamma - \alpha)}{\cos \alpha} \quad (6-6)$$

do  $\gamma$  là hằng số nên 
$$\alpha = F\left(\frac{I_1 \cos(I_1)}{I_2 \cos(I_2)}\right) \quad (6-7)$$

Nhược điểm của lôgôm mét điện động là độ nhạy thấp. Để tăng độ nhạy người ta cho thêm lõi thép vào và gọi là chỉ thị sắt điện động (hình 6-2)



Hình 6-2. Chỉ thị sắt điện động  
1 - Lõi thép; 2 - cuộn dây tĩnh

Mômen quay của cơ cấu sắt điện động khi cho  $i_1$  và  $i_2$  là dòng xoay chiều vào cuộn dây tĩnh và động ta có.

$$M_1 = BS_2 W_2 i_2 \quad (6-8)$$

B-độ từ cảm ở khe hở không khí được tạo bởi dòng điện  $i_1$ ;  $S_2$ ,  $W_2$  - diện tích và số vòng của cuộn dây động.

Mômen quay trung bình

$$M_q = \frac{1}{T} \int_0^T M_1 dt = BS_2 W_2 I_2 \cos(\widehat{B, I_2}) \quad (6-9)$$

Nếu sử dụng đoạn tuyến tính của đường cong từ hóa thì  $B = k_1 I_1$  ( $k_1$  - hệ số) và  $(\widehat{B, I_2}) = (\widehat{I_1, I_2})$  do đó

$$M_q = k_1 S_2 W_2 I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1, I_2}) \quad (6-10)$$

Khi mômen cân bằng mômen quay:

$$M_q = M_c \Rightarrow K_1 S_2 W_2 I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1, I_2}) = D\alpha$$

$$\alpha = \frac{k_1}{D} S_2 W_2 I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1, I_2}) \quad (6-11)$$

Dựa trên cơ cấu điện động người ta chế tạo dụng cụ đo tần số (hình 6-3a). Trong đó cuộn dây tĩnh A nối tiếp với cuộn dây động  $B_2$  và các phần tử  $R_2$ ,  $L_2$ ,  $C_2$ . Cuộn dây động  $B_1$  nối với tụ  $C_1$ . Từ biểu đồ vectơ (h. 6-3b) ta thấy góc lệch giữa  $U_x$  và  $I_1$  là  $90^\circ$  ( $\widehat{U_x, I_1} = 90^\circ$ ). Mạch điện gồm cuộn dây tĩnh A, cuộn động  $B_2$  và các phần tử  $R_2$ ,  $L_2$ ,  $C_2$  tạo thành mạch cộng hưởng

với  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$  và góc lệch  $\alpha$  được tính:

$$\alpha = F \left( \frac{I_1 \cos \Psi_1}{I_2 \cos \Psi_2} \right) \quad (6-12)$$

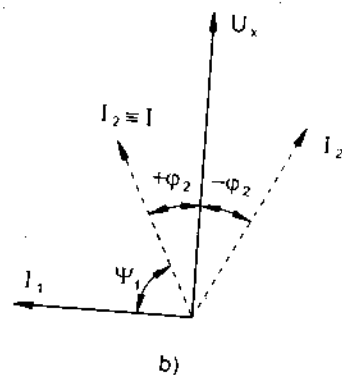
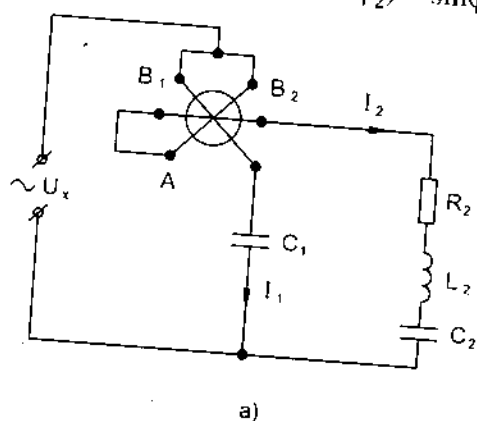
$\Psi_1$ ,  $\Psi_2$  - góc lệch giữa  $I_1$  và  $I_2$ .

Từ hình 6-3b ta thấy:

$$\Psi_2 = 0 \Rightarrow \cos \Psi_2 = 1$$

18.00g.

với  $I \equiv I_2$  và  $\psi_1 = \cos(90^\circ - \varphi_2) = \sin\varphi_2$ .



Hình 6-3. Tần số kế điện động

Mà

$$\sin\varphi_2 = \frac{X_2}{Z_2} \text{ và } \frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (6-13)$$

$X_2, Z_2$  - điện kháng và tổng trở của mạch có dòng  $I_2$ ;  
 $Z_1$  - tổng trở trong mạch dòng  $I_1$ .

Từ (6-13) thay vào (6-12) ta được:

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2} \cos\psi_1\right) = F\left(\frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{X_2}{X_1}\right) = F\left(\frac{X_2}{Z_1}\right) \quad (6-14)$$

với  $Z_1 \approx X_1$  (chỉ có  $C_1$ ) nên  $\alpha = F\left(\frac{X_2}{X_1}\right) \quad (6-15)$

$$X_1 = \frac{1}{\omega_x C_1}; X_2 = \omega_x L_2 - \frac{1}{\omega_x C_2} \text{ và } \omega = 2\pi f x$$

với  $C_1, L_2, C_2, R_2$  là hằng số nên:

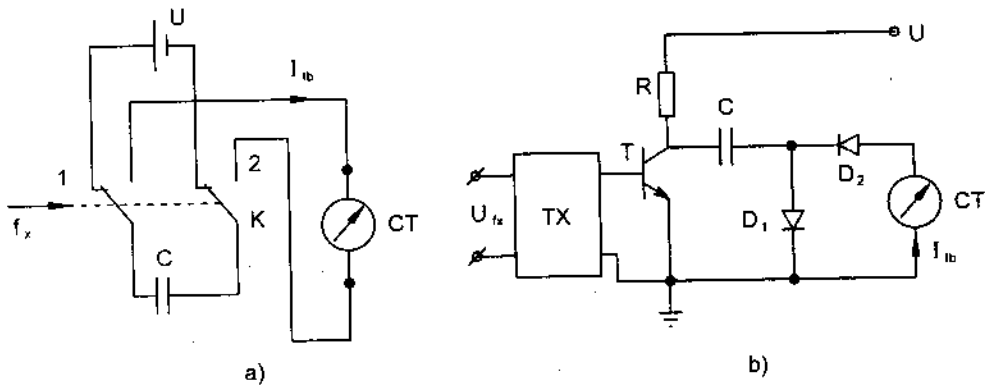
$$\alpha = F(fx)$$

Thang đo của dụng cụ được khắc độ trực tiếp theo tần số. Tần số kế điện động có giới hạn đo từ  $45 \div 55\text{Hz}$  với sai số  $\pm 1,5\%$  và có thể chế tạo với dải đo lớn hơn đến  $2,5\text{ KHz}$ .

## 6-2-2. Tần số kế điện tử

Tần số kế điện tử là dụng cụ đo tần số âm tần và cao tần mà các tần số kế cơ điện không đo được, đó là dụng cụ kết hợp giữa cơ cấu đo từ điện với các bộ biến đổi để thực hiện biến tần số thành dòng điện một chiều.

Hình 6-4a là sơ đồ nguyên lí của tần số kế điện tử



Hình 6-4. Tần số kế điện tử

Khóa K ở vị trí 1, tụ C được nạp đến điện áp U của nguồn điện. Điện tích nạp  $q = CU$ . (6-16). Khi khóa K chuyển sang vị trí 2, tụ C phóng điện qua cơ cấu chỉ thị.

Nếu khóa K thay đổi với tần số bằng tần số đo  $f_x$  thì giá trị dòng điện trung bình qua cơ cấu chỉ thị.

$$I_{tb} = qf_x = cUf_x \quad (6-17)$$

Nếu C và U là đại lượng không đổi thì

$$I_{tb} = Kf_x \quad (6-18)$$

K - hệ số.

Dòng điện đo  $I_{tb}$  tỷ lệ với tần số cần đo và có thể khắc độ trực tiếp tần số.

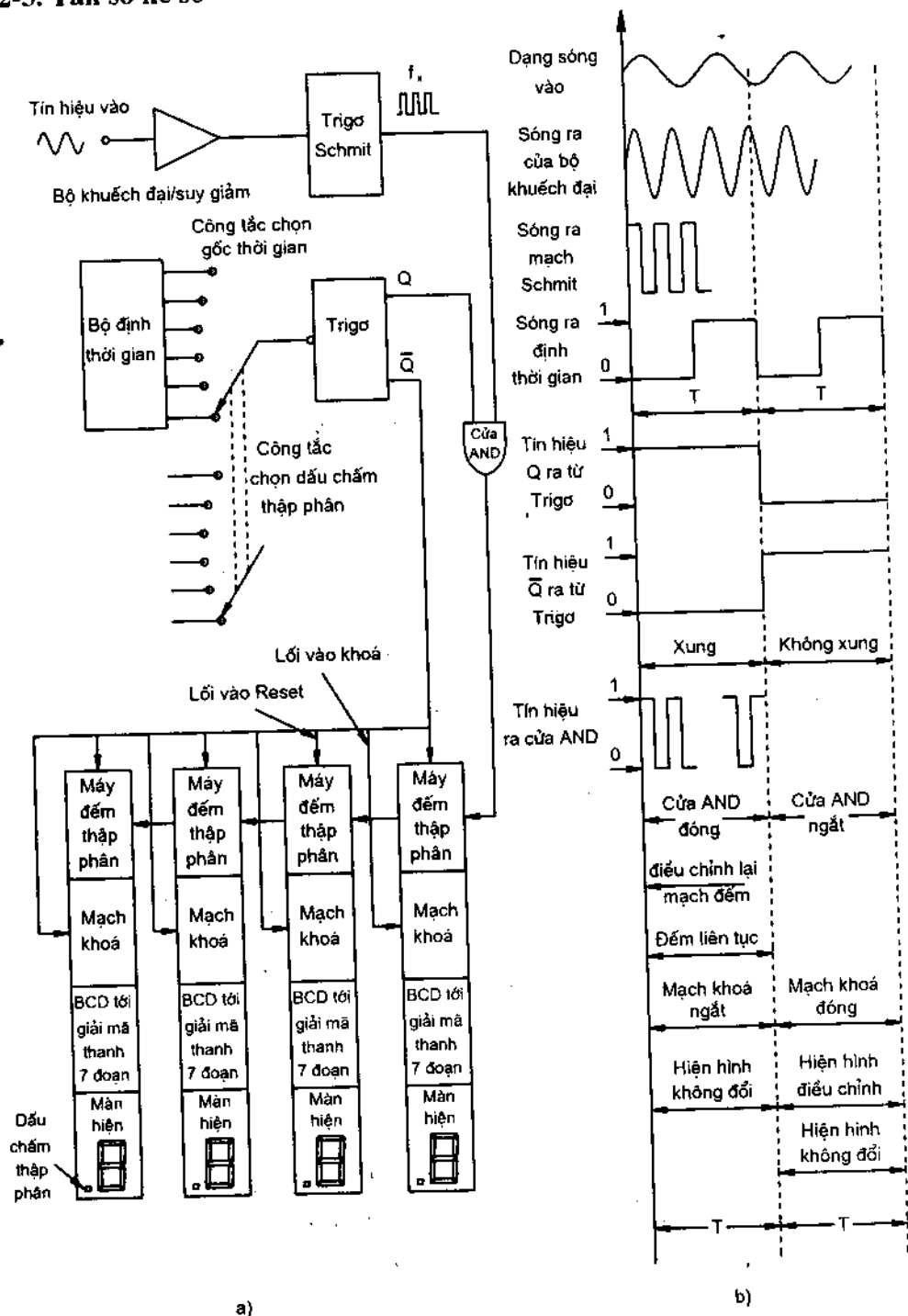
Trong các tần số kế điện tử khóa K được thay bằng khóa điện tử (ví dụ Tranzito, (hình 4-6b).

Điện áp có tần số cần đo  $U_{fx}$  được đưa qua bộ tạo xung (TX)

Khi chưa có điện áp đặt vào Bazơ của Tranzito, Tranzito ở chế độ khóa và tụ C được nạp đến điện áp U với điện tích  $q = CU$ . Khi có điện áp đặt vào Bazơ của Tranzito, lúc đó Tranzito thông, tụ C phóng điện qua T, diode  $D_2$  và cơ cấu chỉ thị. Thang đo của chỉ thị được khắc độ giá trị tần số đo.

Dải đo của dụng cụ với tín hiệu sin từ 10 Hz ÷ 500 kHz, sai số  $\pm 2\%$ . Nếu tín hiệu xung có thể đo với tần số từ 10Hz ÷ 20KHz với sai số  $\pm 2\%$ .

### 6-2-3. Tần số kế số



Hình 6-5. a – Tần số kế số; b – các dạng sóng



*Nguyên lý hoạt động của tần số kế như sau:*

Tín hiệu mang tần số cần đo ( $f_x$ ) được biến đổi thành các xung vuông còn tần số tương ứng với  $f_x$ . Các xung này được đưa vào bộ đếm trong khoảng thời gian nhất định (ví dụ 1 giây) do đó số xung đếm được qua bộ hiển thị tỷ lệ với tần số  $f_x$  cần đo.

Hình 6-5a là sơ đồ khối của tần số kế chỉ thị số và dạng sóng điện áp (hình 6-5b).

Tín hiệu có tần số cần đo được đưa vào khuếch đại suy giảm sau đó đưa đến trigơ Schmit để tạo thành các xung vuông. Đầu ra của mạch Schmit có cùng tần số như ở đầu vào. Trước khi vào mạch đếm các xung phải qua cửa AND.

Các xung vuông trên chỉ đi vào mạch đếm khi đầu ra của Q từ mạch Trigơ ở mức Logic 1 (dương). Mạch trigơ thay đổi trạng thái mỗi khi nhận được đầu ra tăng theo chiều âm từ bộ định thời gian (bộ chia tần). Khi  $T = 1s$  (hình 6-5b) đầu ra của mạch trigơ luân phiên ở mức 1 trong 1s và mức 0 trong một giây. Do đó cửa AND luân phiên đóng trong 1s và ngắt trong 1s. Khi đó cửa AND luân phiên đưa các xung ra của trigơ Schmitt tới các mạch đếm trong 1 giây và chặn chúng trong 1 giây. Số xung đếm được trong 1 giây khi cửa AND đóng ( $T = 1s$ ) cũng là tần số cần đo.

Bộ định thời gian (Bộ chia tần) có 6 mức chuyển mạch. Bằng tay hoặc tự động.

Đầu ra  $\overline{Q}$  của Trigơ (ngược pha với Q) dùng để reset các mạch đếm và để mở và đóng các mạch khóa.

Khi bắt đầu thời gian đếm, đầu ra  $\overline{Q}$  có điện áp tiến theo chiều âm, điện áp này khởi động hệ mạch reset của các bộ đếm để đặt (set) chính xác các điều kiện xuất phát ban đầu của mỗi bộ đếm. Do đầu ra  $\overline{Q}$  ở logic 0 trong thời gian đếm nên đảm bảo cho các mạch khóa đều ngắt do đó trong thời gian đếm sẽ không có tín hiệu đi qua mạch khóa. Ở cuối thời gian đếm dạng sóng cấp cho đầu vào của các mạch khóa chuyển sang mức logic 1 và làm cho mạch khóa đóng và cửa AND ngắt, bộ đếm dừng lại. Các số hiện trên chỉ thị được giữ không đổi trong suốt thời gian đếm khi khóa ngắt.

Nếu thời gian đếm là  $T_{do}$ , số xung đếm được:

$$N = \frac{T_{do}}{T_x} = \frac{KT_o}{T_x} = \frac{K}{f_o} f_x \quad (6-19)$$

Nếu thời gian đo là 1 giây thì số xung đếm được đúng bằng tần số  $f_x$

$$f_x = N \quad (6-20)$$

Sai số cơ bản của tần số kế là sai số lượng tử theo thời gian.

Sai số này tăng khi tần số cần đo giảm.

Sai số tương đối của phép đo được tính như sau.

$$\gamma_{f_x} = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} \quad (6-21)$$

$\frac{\Delta N}{N}$  phụ thuộc vào tỷ số giữa thời gian đo và chu kỳ của tín hiệu cần đo  $T_x$ .

Sai số lượng tử theo thời gian là do sự lệch nhau giữa thời điểm bắt đầu đo và thời điểm bắt đầu của chu kỳ. Nếu  $T_{do} = nT_x$  thì  $\Delta N = 0$ , nếu  $T_{do}$  và  $T_x$

không phải là bội số của nhau thì  $\Delta N = \pm 1$ , mặt khác  $\frac{\Delta T_{do}}{T_{do}}$  được xác định

bởi sự biến động của tần số chuẩn  $f_o$ . Sai số này cỡ  $10^{-7}$  và được tính

$$\frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{\Delta f_o}{f_o} = \gamma_{f_o} \quad (6-22)$$

và sai số của phép đo:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{1}{N} + \gamma_{f_o} = \frac{1}{f_x \cdot T_{do}} + \gamma_{f_o} \quad (6-23)$$

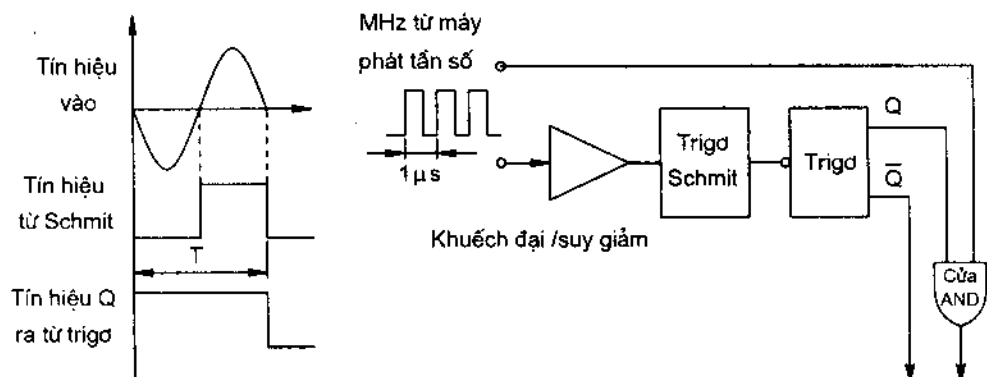
$f_x$  – lấy đơn vị Hz.

Từ (6-23) ta thấy rằng sai số phép đo tỷ lệ nghịch với độ lớn của tần số cần đo. Nếu  $f_x$  càng lớn sai số đo càng nhỏ và ngược lại.

Ví dụ:  $f_x = 10\text{MHz}$ ,  $T_{do} = 1\text{s}$  thì  $\gamma_{f_x} = 2 \cdot 10^{-5}\%$ . Nếu  $f_x = 10\text{Hz}$ ;  $T_{do} = 1\text{s}$ , thì  $\gamma_{f_x} = 10\%$ .

Để khắc phục sai số khi đo tần số thấp có thể thực hiện bằng cách tăng thời gian đo ( $T_{do}$ ) hoặc sử dụng bộ nhân tần số đo lên  $10^n$  lần hoặc chuyển phép đo tần số sang đo thời gian một chu kỳ  $T_x$  của tín hiệu đo  $f_x = \frac{1}{T_x}$ .

Hình 6-6 là sơ đồ tần số kế dùng đo tần số thấp, trong đó tín hiệu có tần số cần đo  $f_x$  được đưa qua khuếch đại suy giảm sau đó đưa vào Trigo Schmitt để tạo xung. Các xung ra của mạch Schmitt được chuyển đến mạch trigơ và tới của AND.



Hình 6-6. Tần số kế đo tần số thấp

Mặt khác máy phát tần số chuẩn (1MHz) đưa trực tiếp các xung có tần số  $f_0$  vào cửa AND (hình 6-6) với cách bố trí như trên bộ AND chuyển sang đóng trong thời gian ( $T_x$ ).

Các xung từ máy phát tần số chuẩn được đếm trong thời gian đó. Ta có

$$N = \frac{T_x}{T_0} = \frac{f_0}{f_x} \quad (6-24)$$

và 
$$f_x = \frac{f_0}{N} \quad (6-25)$$

sau khi đã nghịch đảo.

Ví dụ: Tần số đo  $f_x = 100\text{Hz}$  cửa AND đóng trong khoảng thời gian  $\frac{1}{10^6}\text{Hz} = 10\text{ms}$ . Các xung từ máy phát chuẩn có chu kỳ  $T_0 = \frac{1}{10^6}\text{Hz} = 1\mu\text{s}$ .

Các xung đếm được trong thời gian 10ms là  $N = \frac{10\text{ms}}{1\mu\text{s}} = 10000$  và con số

này được chỉ thị trên bộ hiện số như 100.00 Hz.

Độ chính xác của phép đo 100Hz bây giờ là  $\pm 1$  số đếm trên 10000; Hoặc  $100\text{Hz}/10000 = 0,01\text{ Hz}$ .

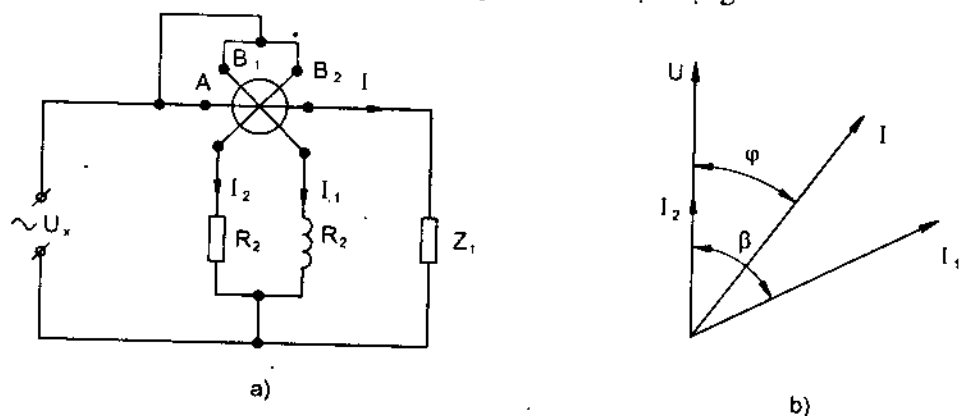
$$\text{Sai số } \gamma\%_{fx} = \frac{0,01\text{Hz}}{100\text{Hz}} \cdot 100\% = \pm 0,01\%$$

### 6-3. Đo góc pha và khoảng thời gian

#### 6-3-1. Phazômet điện động

Phazômet điện động là dụng cụ đo góc pha và hệ số  $\cos\varphi$  trong đó sử dụng cơ cấu chỉ thị lôgômet điện động.

Hình 6-7a là sơ đồ nguyên lý của phazômet điện động.



Hình 6-7. a) Fazômet điện động; b) Biểu đồ vectơ

Mắc song song với điện áp  $U_x$  là 2 cuộn dây động  $B_1$  và  $B_2$ . Cuộn  $B_1$  mắc nối tiếp với một điện cảm  $L_1$  và có dòng  $I_1$  chạy qua. Cuộn  $B_2$  nối với điện trở  $R_2$  và có dòng  $I_2$ . Cuộn dây tĩnh A nối với phụ tải  $Z_1$ .

Từ công thức (6-6) và sơ đồ vec tơ (h6-7b) ta có:

$$\frac{I_1 \cos(\widehat{II_1})}{I_2 \cos(\widehat{II_2})} = \frac{\cos(\gamma - \alpha)}{\cos \alpha} \quad (6-26)$$

Nếu  $I_1 = I_2$  và tính toán sao cho  $\beta = \gamma$ , khi đó:

$$\frac{\cos(\beta - \varphi)}{\cos \varphi} = \frac{\cos(\gamma - \alpha)}{\cos \alpha} \quad (6-27)$$

Suy ra  $\alpha = \varphi$  (6-28). Ta thấy góc quay  $\alpha$  của phần động tỷ lệ với góc  $\varphi$ , do đó trên thang đo có thể khắc độ góc  $\varphi$  hoặc  $\cos\varphi$ .

Nhược điểm của dụng cụ là chỉ dùng cho 1 cấp điện áp. Khi điện áp thay đổi các điện trở  $R_2$  và điện cảm  $L_1$  phải thay đổi do đó góc  $\beta$  cũng thay đổi.

Để khắc phục nhược điểm trên người ta sử dụng mạch phân áp và đồng thời chia cuộn dây phân động  $B_2$  thành 2 cuộn nối song song. Một cuộn nối với điện dung  $C$  và cuộn kia nối với cuộn cảm  $L$  sao cho

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ . Khi tần số tăng, điện kháng  $X_L$  tăng và  $X_C$  giảm, điện kháng

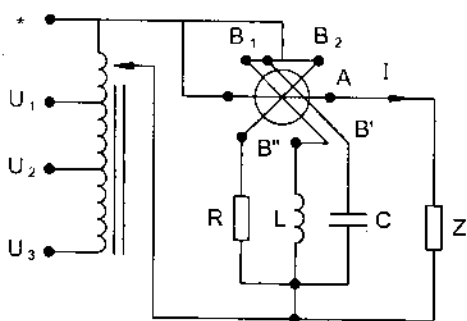
toàn mạch không đổi (hình 6-8).

Phazômét điện động có giới hạn tần số từ  $50 \div 60$  Hz với thang đo  $\varphi = 0 \div 360^\circ$ ,  $\cos \varphi = 0 \div 1$  cấp chính xác  $0,2 \div 0,5$ .

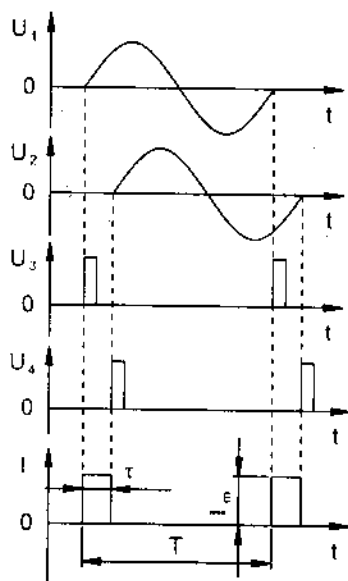
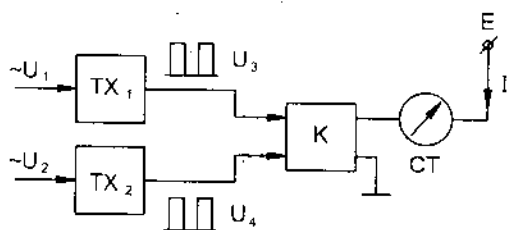
### 6-3-2. Phazômét điện tử

Phazômét điện tử dựa trên việc biến đổi góc lệch pha  $\varphi$  giữa 2 tín hiệu điện thành dòng điện hoặc điện áp, sau đó đưa vào cơ cấu đo từ điện. Hình 6-9a là sơ đồ khối của Phazômét điện tử.

Tín hiệu điện áp hình sin  $U_1$  và  $U_2$  được đưa vào bộ tạo xung 1 và bộ tạo xung 2. Khi các tín hiệu đi qua 0 từ âm sang dương sẽ tạo ra các xung  $U_3$  và  $U_4$  (hình 6-9b), các xung này được đưa đến điều khiển khóa điện tử K. Khóa K đóng khi đưa xung từ bộ tạo xung 1 vào và ngắt khi đưa xung từ bộ tạo xung 2 đến.



Hình 6-8. Fazômét điện động có bù tần số và điện áp thay đổi



Hình 6-9. Fazômét điện tử

Như vậy các tín hiệu hình sin ở đầu vào nhờ các bộ tạo xung đã biến độ lệch pha của 2 tín hiệu thành khoảng thời gian  $\tau$ . Trong khoảng thời gian khóa K thông sẽ có dòng điện I đi qua cơ cấu chỉ thị (CT)

Giá trị dòng trung bình qua cơ cấu được tính:

$$I_{tb} = I_m \frac{\tau}{T} = I_m \cdot \frac{\varphi_x}{360^\circ} \quad (6-28)$$

và góc lệch của kim chỉ

$$\alpha = S_I \cdot I_m \frac{\varphi_x}{360^\circ} \quad (6-29)$$

trong đó:  $I_m$  - giá trị biên độ lớn nhất của dòng điện;  $S_I$  - Độ nhạy của chỉ thị.

Thang đo được khắc độ trực tiếp qua góc pha

Dải đo của dụng cụ từ  $0 \div 180^\circ$  hoặc  $360^\circ$ ; cấp chính xác đạt  $1 \div 1,5$ , dải tần từ 20Hz ÷ 200KHz.

### 6-3-3. Phazômét số

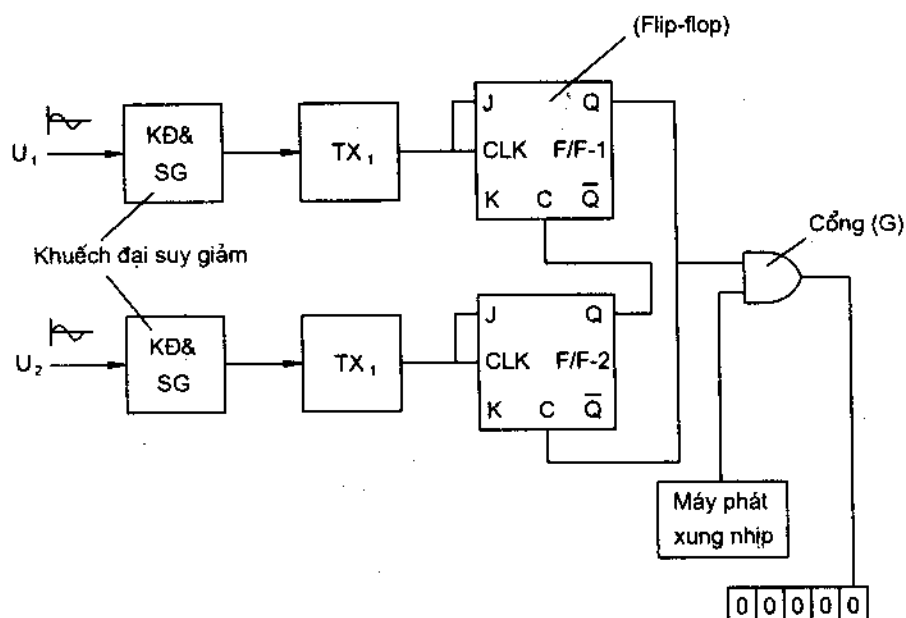
Nguyên lí hoạt động của phazômét số là biến đổi góc lệch pha giữa hai tín hiệu thành khoảng thời gian, sau đó lắp đầy bằng các xung có tần số đã biết vào khoảng thời gian đó. Số xung đếm được tỷ lệ với góc lệch pha của hai tín hiệu.

Sơ đồ khối của phazômét số được mô tả như hình 6-10. Các tín hiệu  $U_1, U_2$  dạng hình sin, có cùng tần số được đưa vào các bộ tạo xung  $TX_1$  và  $TX_2$ . Các xung này xuất hiện khi tín hiệu đi qua "0" biến thiên từ âm sang dương.

Giả sử tín hiệu vào  $U_1$  tăng ở nửa chu kỳ dương, bộ tạo xung 1 ( $TX_1$ ) đưa xung này đến đầu vào J-KF/F-1 (Flip-flop 1) làm mạch chuyển trạng thái và đầu ra Q của F/F-1 chuyển sang mức cao mở cổng G. Các xung nhịp có chu kỳ  $T_0$  (tần số  $f_0$ ) từ máy phát xung nhịp đi qua cổng G vào bộ đếm. Ở đó bộ đếm bắt đầu đếm các xung.

Mặt khác khi đầu ra của mạch F/F-1 ở mức cao đưa đến đầu C (đầu xóa) của F/F-2 làm cho tín hiệu ra của F/F-2 tiến đến zêrô.

Khi tín hiệu  $U_2$  (lệch pha với  $U_1$ ) qua "0" ở chu kỳ dương, Bộ tạo xung 2 ( $TX_2$ ) hoạt động, tạo 1 xung ở đầu ra và đưa đến đầu J-K F/F-2 làm nó chuyển trạng thái từ 0  $\rightarrow$  1.



Hình 6-10. Fazômet số

Đầu ra Q của F/F-2 nối với cực C của F/F-1 và điều chỉnh lại F/F-1 do đó đầu ra của nó chuyển từ mức cao (1) xuống "0" đến khóa cổng G. Bộ đếm dừng lại.

Số xung đếm được trong khoảng thời gian cổng G mở và đóng tỷ lệ với góc pha và bộ hiển thị cho kết quả đo.

Nếu tín hiệu vào có tần số là  $f$  thì tần số của các xung chuẩn  $f_0 \geq 360 f$  để đảm bảo độ chính xác trong quá trình đo.

Số xung đếm được ở bộ đếm là

$$N = \frac{t_x}{T_0} = t_x \cdot f_0 \quad (6-30)$$

Từ công thức (6-2)  $\frac{t_x}{T_x} = \frac{\phi_x}{360^\circ}$  ta có

$$N = \frac{T_x}{360^\circ} \cdot f_0 \cdot \phi_x = \frac{f_0}{f_x 360^\circ} \cdot \phi_x \quad (6-31)$$

trong đó:  $t_x$  - thời gian mở và đóng của cửa AND;  $T_x$  - Chu kỳ của tín hiệu đo;  $f_x$  - tần số của tín hiệu đo.

Nếu  $f_x$  không thay đổi

$$N = K\varphi_x \quad (6-32)$$

$K$  - hệ số.

Nhược điểm của dụng cụ trên là khi tín hiệu đo có tần số không ổn định sai số của phép đo sẽ lớn.

Để khắc phục nhược điểm trên có thể thực hiện bằng cách kéo dài thời gian đo qua nhiều chu kỳ và mỗi chu kỳ được đếm xung trong khoảng thời gian  $t_x$ .



## CHƯƠNG VII

# DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ (OSCILLOSCOPE)

Mở đầu: Dao động ký điện tử (còn gọi là máy hiện sóng điện tử) bao gồm một ống phóng tia điện tử với hệ thống mạch điều khiển và đầu vào gắn liền với nó. Dao động ký điện tử được sử dụng để quan sát hình dạng của tín hiệu, đồng thời đo một số đại lượng như dòng điện, điện áp, góc lệch pha giữa 2 tín hiệu, đo tần số v.v...

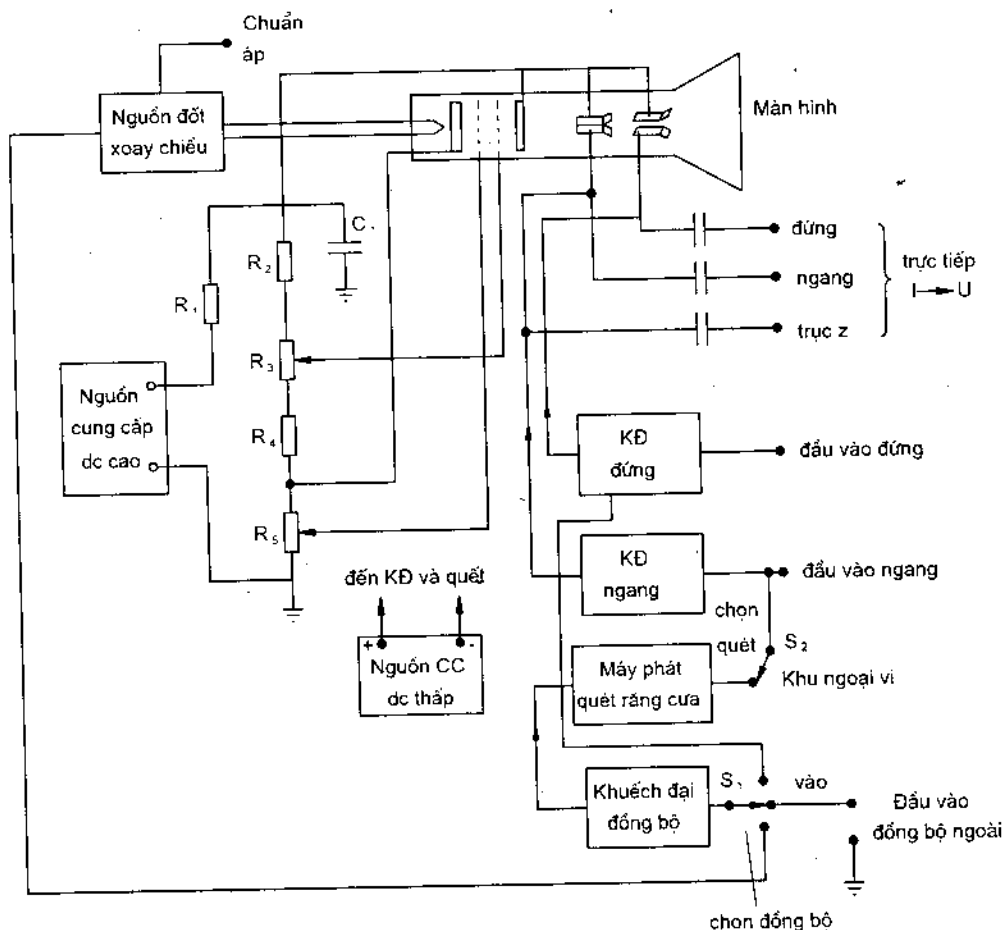
Ống phóng tia điện tử là 1 đèn chân không, trong đó các điện tử được bắn ra từ Katot bị nung nóng và tạo thành một chùm tia hẹp, chúng được gia tốc về phía màn huỳnh quang nhờ các điện cực Anot. Màn được phát sáng tại điểm có chùm điện tử đập vào.

Chùm tia điện tử được lái theo chiều thẳng đứng và nằm ngang nhờ các điện áp đặt lên phiến làm lệch. Thông thường chùm tia được quét ngang màn hình bằng một điện áp răng cưa tạo từ mạch tạo gốc thời gian và một điện áp vào thay đổi được để lái theo chiều thẳng đứng. Dao động ký điện tử được chế tạo với một tia, hai tia, bốn tia và có khả năng hiện hình đồng thời một, hai hoặc nhiều hơn các dạng sóng tín hiệu.

### 7-1. Sơ đồ khối của dao động ký

Dao động ký điện tử gồm các bộ phận chính như hình 7-1. Trong đó sợi nung katot được cung cấp từ nguồn áp chuẩn xoay chiều 6,3V. Ống phóng tia điện tử được cung cấp từ nguồn một chiều cao áp và phân áp qua các điện trở  $R_1 \div R_5$  trong đó  $R_3$  là chiết áp dùng điều chỉnh độ hội tụ của chùm tia, chiết áp  $R_5$  điều chỉnh điện áp lưới. Tụ  $C_1$  nối đất các phiến làm lệch và điện cực Anot 2, và ngăn dòng một chiều từ các điện cực này với đất. Bình thường đổi nối  $S_2$  nối từ đầu ra máy phát quét xung răng cưa sau đó được

khuếch đại và đặt vào phiên làm lệch ngang. Nếu dùng máy phát quét ngoại vi,  $S_2$  được đặt ở vị trí ngoại vi. Điện áp quét đồng bộ có thể sử dụng quét đồng bộ trong hoặc quét đồng bộ ngoài qua đổi nối  $S_1$ .



Hình 7-1. Sơ đồ khối của dao động ký (oscilloscope)

## 7-2. Ống phóng tia điện tử

Cấu tạo của ống phóng tia điện tử như hình 7-2 bao gồm một ống thủy tinh đã rút hết không khí, màn hình được quét một lớp phốt pho sao cho chùm tia điện tử do katot phát ra đập vào màn hình làm phát sáng. Bên trong ống thủy tinh được gắn hệ thống các điện cực. Ống phóng tia điện tử đặt triot và các phiên làm lệch. Kích thước màn hình cỡ  $3 \div 5 \div 7$  inche.

Ví dụ ống phóng điện tử ký hiệu 5GP-1 trong đó số 5 chỉ kích thước của ống là 5 inche. Kích thước chiều đứng quan sát được là 8cm, chiều ngang 10cm.

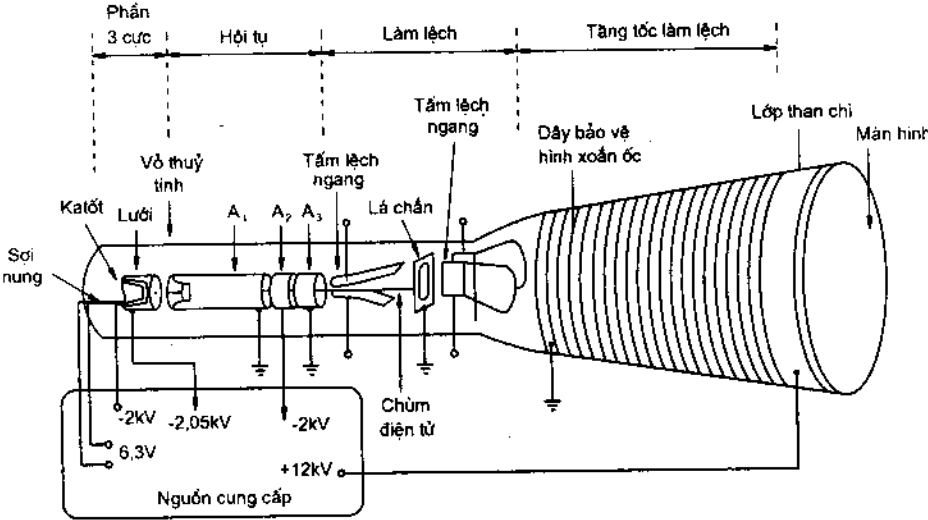
### 7-2-1. Cấu tạo của Triot

1. *Lưới*: là chiếc cốc Niken có lỗ ở đáy và bao lấy katốt

2. *Katốt* cũng được làm bằng Niken, hình trụ, mặt đáy phủ lớp ôxit để phát ra các điện tử và một sợi đốt làm nhiệm vụ nung katốt. Katốt được duy trì ở điện thế 2kV và thế của lưới được điều chỉnh từ  $2\text{ kV} \div 2,05\text{ kV}$ . Điện thế lưới điều khiển dòng điện tử hướng tới màn hình.

3. *Hệ thống Anốt*

\* Anốt thứ nhất ( $A_1$ ) dạng hình trụ có điện thế dương cao so với katốt. Các điện tử được gia tốc từ katốt qua lưới và Anốt thứ nhất.



Hình 7-2. Ống phóng tia điện tử

Ngoài Anốt  $A_1$  còn có Anốt  $A_2$ ,  $A_3$ . Các Anốt này có nhiệm vụ tạo ra trường gia tốc làm cho các điện tử sau khi qua các điện cực Anốt sẽ đạt được tốc độ lớn, mặt khác các Anốt cũng làm nhiệm vụ điều tiết các điện tử để tạo thành một tia nhỏ hướng tới màn hình. Điện thế của  $A_1$  và  $A_3$  được giữ ở thế đất (dương hơn so với Katốt) còn điện thế  $A_2$  được điều chỉnh -2kV do đó

tao ra được các đường đẳng thế và các điện tử chuyển động qua các Anốt với tốc độ ổn định.

### 7-2-2. Phiến làm lệch

Trong ống phóng tia điện tử còn bố trí các cặp bản cực để làm lệch các tia điện tử về phía nằm ngang (theo trục X) và phía thẳng đứng (theo trục Y). Các cặp bản cực đó gọi là phiến làm lệch đứng và phiến làm lệch ngang.

Đặt giữa các phiến làm lệch đứng và ngang là một tấm chắn ngăn không cho điện trường của cặp này ảnh hưởng tới cặp kia. (Hình 7-2).

Điện thế đặt trên các tấm làm lệch là  $+E/2$  trên một tấm và  $-E/2$  trên tấm kia, do đó hiệu điện thế giữa chúng là  $E$ . Các điện tử (mang điện tích âm) bị hút về phía phiến dương và bị đẩy khỏi phiến âm làm cho chùm tia điện tử bị lệch đi. Nếu tác động một điện áp xoay chiều lên các phiến làm lệch thì các chùm tia luôn bị đổi hướng và tạo thành một đường thẳng (ngang hoặc đứng)

### 7-3. Bộ khuếch đại làm lệch

Điện áp dùng làm lệch tia điện tử được biến đổi thành hai điện áp bằng nhau và ngược chiều nhau  $+E/2$  và  $-E/2$ . Muốn vậy cần phải có bộ khuếch đại để khi có tín hiệu đưa vào (một chiều hoặc xoay chiều) tín hiệu ra sẽ có dạng vi sai.

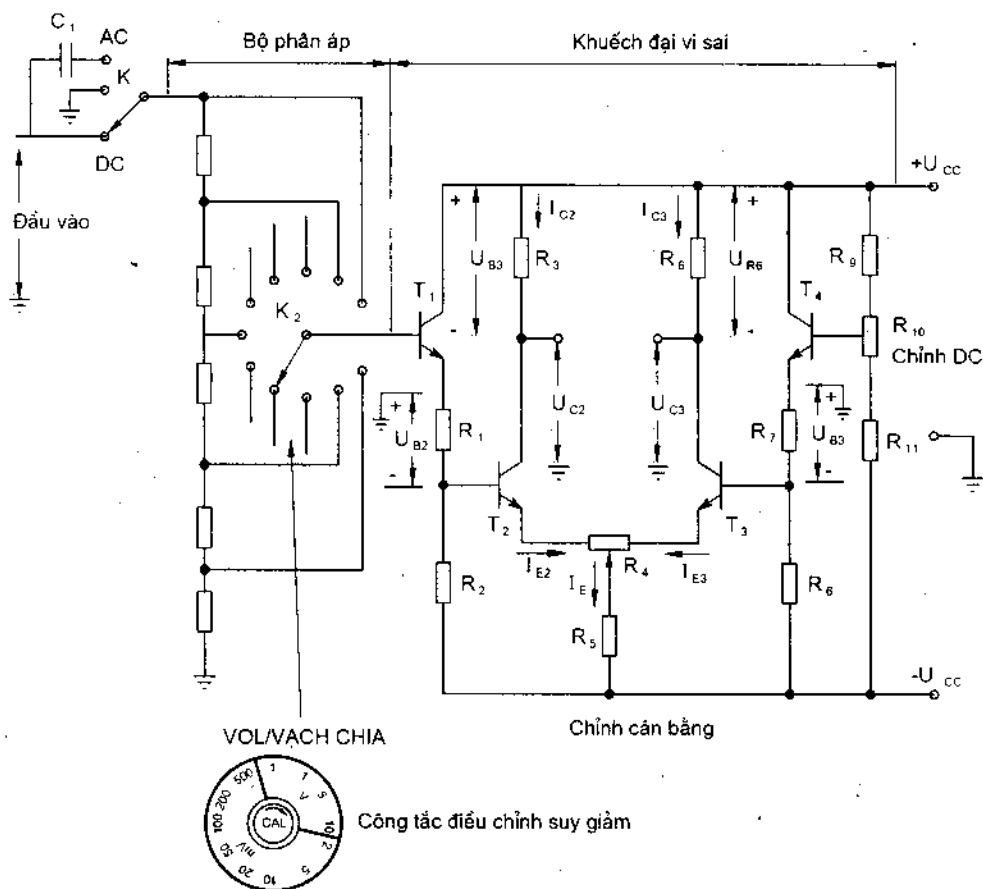
Mạch khuếch đại như vậy vẽ trên hình 7-3.

Trong đó  $T_2$  và  $T_3$  tạo thành bộ khuếch đại ghép Emitter chung.  $T_1$  và  $T_4$  là các mạch gánh Emitter tạo điện trở vào lớn.

Khi điện áp vào bằng không, thế Bazo  $T_1$  ở mức đất và nếu Bazo của  $T_4$  cũng điều chỉnh ở mức đất thì Bazo của  $T_2$  và  $T_3$  đều ở cùng mức thế âm so với đất ( $-U_{B2} = -U_{B3}$ ).

Do đó  $I_{C2} = I_{C3}$  và điện áp rơi trên  $R_3$  và  $R_6$  điều chỉnh collector của  $T_2$  và  $T_3$  ở mức đất. Các collector đó là đầu ra của khuếch đại, chúng được mắc trực tiếp với các tấm lái tia ( $U_{C2} = U_{C3}$ ). Chiết áp  $R_4$  nằm ở điểm giữa và điều chỉnh cân bằng các đầu ra vi sai của khuếch đại. Khi điện áp vào khác không, qua bộ phân áp vào bazo  $T_1$  lúc đó  $I_{E1} \neq 0$ , dòng  $I_{E1}$  qua  $R_1$  và  $R_2$  tạo

điện áp đặt vào  $T_2$  làm  $I_{C2}$  tăng và  $I_{C3}$  giảm. Do  $I_{C2}$  tăng, điện áp ra  $U_{C2}$  giảm xuống, mặt khác  $I_{C3}$  giảm làm cho  $U_{C3}$  tăng.



Hình 7-3. Bộ khuếch đại làm lệch

Nếu độ biến thiên của  $U_{C2}$  là  $\Delta U_{C2} = -1V$  thì  $\Delta U_{C3} = +1V$ .

Khi tín hiệu vào bộ phân áp tăng theo chiều âm,  $I_{C2}$  giảm,  $I_{C3}$  tăng,  $\Delta U_{C2} > 0$  và  $\Delta U_{C3} < 0$ .

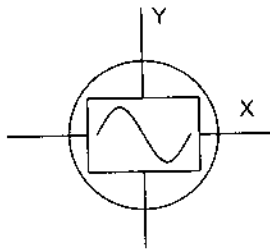
Thông thường điện áp qua phân áp nhỏ nhất là 2mV tương ứng 1 vạch chia trên màn hình. Khi điện áp vào lớn nhất là 10V cũng tương ứng với 1 vạch chia.

Đầu vào bộ phân áp có thể qua tụ  $C$  với đầu AC hoặc ghép trực tiếp với đầu DC qua công tắc  $K$ .

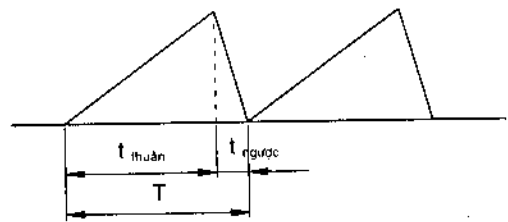
Chiết áp  $R_{10}$  điều chỉnh điện áp Bazơ của  $T_4$  để dịch chuyển chùm tia điện tử lên hoặc xuống khỏi tâm màn hình.

#### 7-4. Tín hiệu quét

Hình 7-4 mô tả dạng sóng trên màn hình. Khi ta đặt tín hiệu cần quan sát vào hai bản cực y, nếu không có tác động kéo ngang ta chỉ thấy một vạch thẳng đứng duy nhất. Để kéo tín hiệu nằm ngang người ta dùng một tín hiệu tạo góc thời gian đặt vào 2 bản cực X gọi là tín hiệu quét ngang. Tín hiệu này có dạng sóng răng cưa (hoặc sóng dốc lặp đi lặp lại).



a)



a)

Hình 7-4. Tín hiệu quét

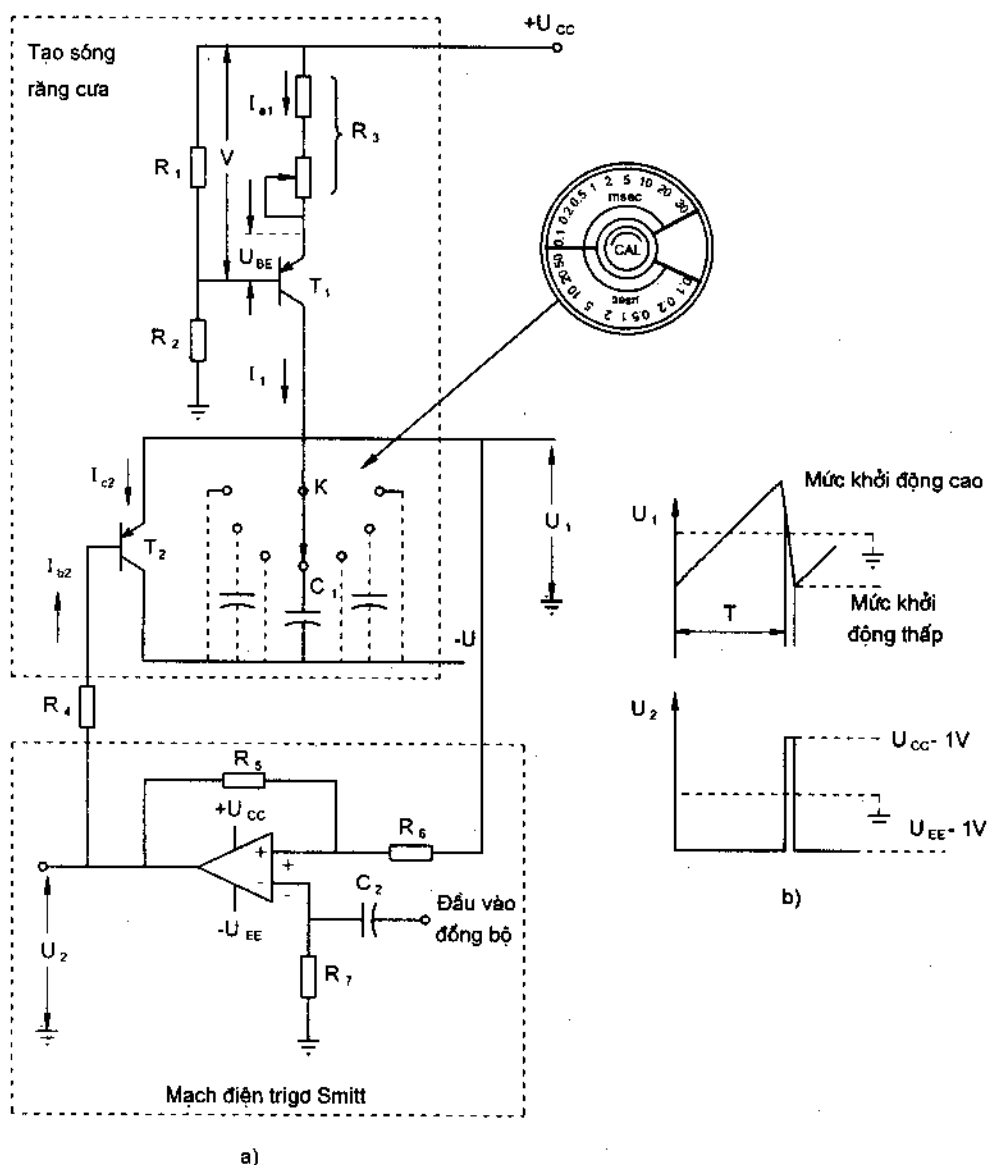
Nếu tần số của tín hiệu cần quan sát lớn hơn  $n$  lần tần số tín hiệu quét thì trên màn hình sẽ nhìn thấy  $n$  chu kỳ tín hiệu quan sát. Nếu tỷ số các tần số đó là một số nguyên thì trên màn hình xuất hiện dạng đường cong đứng yên. Nếu ngược lại đường cong sẽ chuyển động và không quan sát được vì vậy cần thiết phải có sự đồng bộ giữa tín hiệu vào và tín hiệu quét. Đạt được điều đó bằng cách điều chỉnh tần số quét nhờ núm điều chỉnh trên dao động ký.

#### 7-5. Bộ tạo góc thời gian (tạo sóng quét ngang)

Máy phát quét thường dùng là máy phát răng cưa hình 7-5. Trong đó có hai bộ phận chính là bộ tạo sóng răng cưa và một mạch trigơ Schmitt không đảo.

Đầu vào của opamp được nối đất qua  $R_7$ . Điện áp vào của Trigơ Schmitt là điện áp  $U_1$  lấy từ bộ tạo sóng răng cưa qua điện trở  $R_6$ . Do opamp có hệ số

khuếch-lớn (khoảng 200.000) nên chỉ cần một sự chênh lệch nhỏ giữa đầu vào của nó cũng đủ làm cho đầu ra của Trơ bão hòa, điều đó có nghĩa là điện áp ra gần bằng điện áp nguồn dương hoặc âm.



Hình 7-5. Bộ tạo gốc thời gian

Thông thường điện áp ra bão hòa là:  $U_2 = (U_{CC} - 1V)$  hoặc  $U_2 = (-U_{EE} - 1V)$ . Giả sử đầu vào của Trơ ở mức tối thiểu (điện áp đầu không đảo dưới mức

đầu đảo do tiếp đất) thì đầu ra giữ bão hòa theo chiều âm. Điện thế tại Bazo của  $T_2$  là âm và  $T_2$  ở trạng thái ngắt, dòng  $I_1$  đi đến nạp cho tụ  $C_1$ , điện áp tụ tăng lên.

Khi  $U_1$  tăng đủ lớn, trigơ chuyển trạng thái và đầu ra ở mức bão hòa dương, lúc đó dòng bazơ ( $I_{B2}$ ) đi tới  $T_2$  qua  $R_4$  làm điện thế bazơ của  $T_2$  tăng và  $T_2$  chuyển sang trạng thái đóng, dòng  $I_{C2}$  đi qua  $T_2$  đến nguồn  $U$ . Tụ  $C_1$  phóng điện. Quá trình phóng nạp của tụ tạo nên các xung răng cưa.

Ta có:

$$\Delta U_1 = \frac{I_1 T}{C_1} \quad (7-1)$$

trong đó:  $\Delta U$  - độ biến thiên điện áp của tụ trong thời gian  $T$ ;

$T$  - chu kỳ xung răng cưa;  $C_1$  - điện dung của tụ.

Chu kỳ  $T$  phụ thuộc vào  $I_1$  và  $C_1$ , dòng  $I_1$  có thể thay đổi nhờ  $R_3$  và  $C_1$  thay đổi qua núm chuyển mạch  $K$ .

Máy phát quét có thể làm việc ở hai chế độ: chế độ liên tục và chờ.

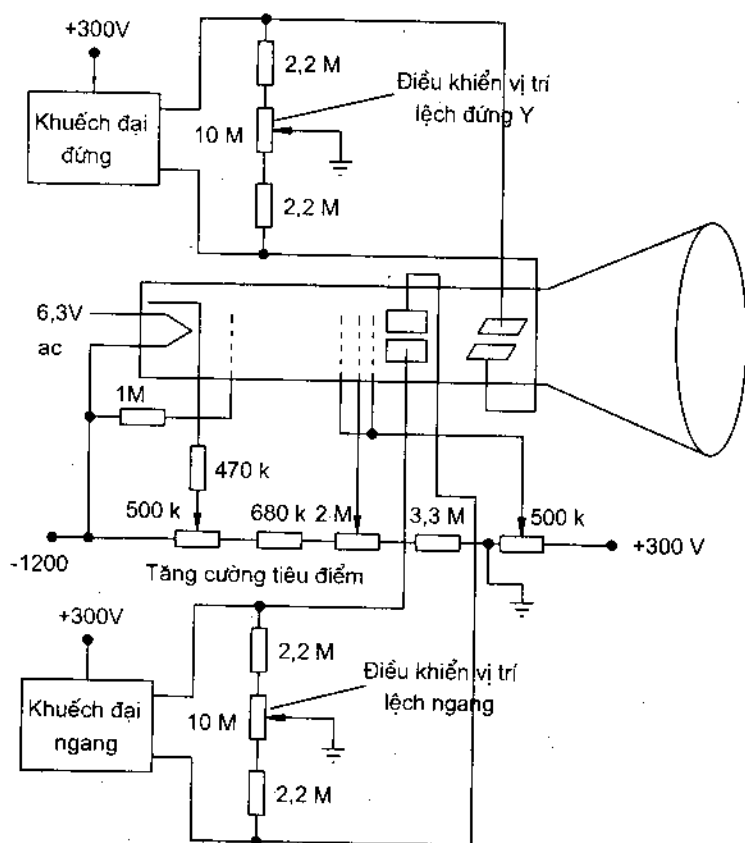
- Chế độ quét liên tục là chế độ bình thường đã trình bày.
- Chế độ chờ dùng để quan sát các xung rời rạc cách nhau khá xa. Máy phát quét được khởi động bởi các tín hiệu cần quan sát. Việc đồng bộ tín hiệu đo và tín hiệu quét được thực hiện tự động.

## 7-6. Sơ đồ nối của ống phóng tia điện tử

Hình 7-6 mô tả sơ đồ nối của ống phóng tia điện tử. Trong đó, để điều khiển cường độ phát xạ của chùm tia điện tử người ta dùng chiết áp  $500\text{ k}\Omega$ , điều khiển độ tập trung dòng điện tử là chiết áp  $2\text{ M}\Omega$ .

Mặt khác các phiến làm lệch đứng và ngang được nối với các bộ khuếch đại qua các điện trở trong đó chiết áp  $10\text{ M}\Omega$  dùng để điều khiển độ lệch của các tín hiệu qua phiến làm lệch đứng hoặc ngang (h7-6).





Hình 7-6. Sơ đồ nối của ống phóng tia điện tử

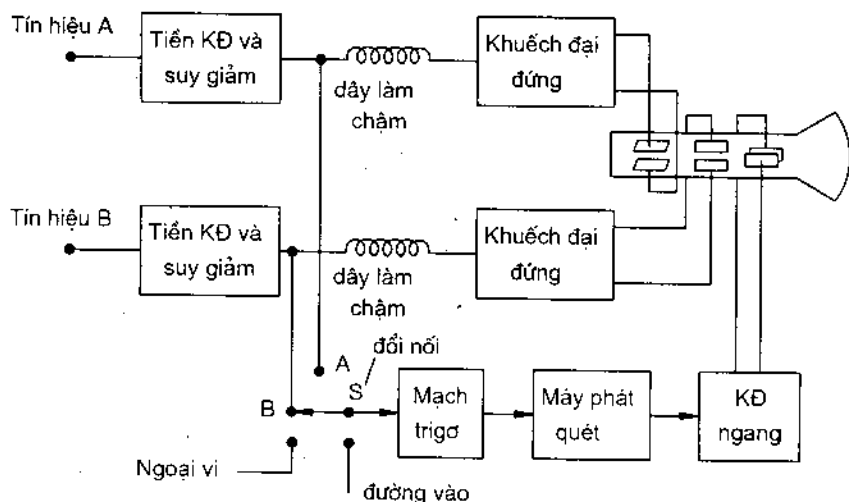
### 7-7. Dao động ký điện tử 2 tia

Cấu tạo của dao động ký hai tia cũng giống như dao động ký 1 tia để tạo ra hai tia có thể thực hiện theo hai phương pháp:

\* Dùng hai súng phóng tia điện tử riêng biệt, mỗi chùm cho 1 dạng sóng.

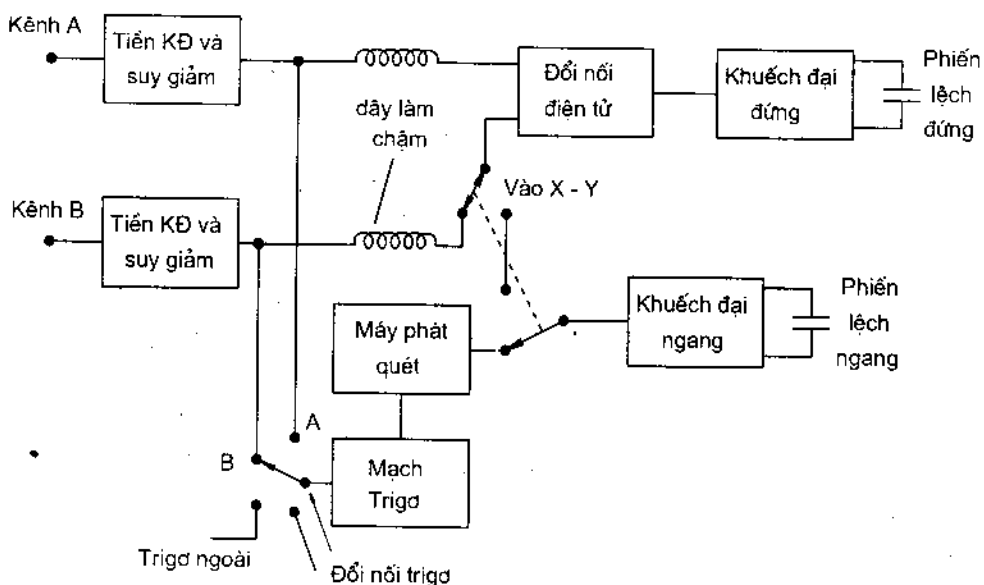
\* Dùng một súng phóng tia điện tử nhưng chùm tia được tách thành hai phần riêng biệt trước khi qua các phiến làm lệch. Thiết bị sử dụng 2 phương pháp trên đều chỉ dùng một bộ phiến làm lệch ngang. Dạng sóng răng cưa từ bộ tạo gốc thời gian được đưa vào phiến làm lệch ngang và cả hai chùm được làm lệch để quét ngang màn hình đồng thời.

Hình 7-7 mô tả sơ đồ khối của dao động ký 2 tia.



Hình 7-7a. Sơ đồ máy hiện sóng điện tử 2 tia

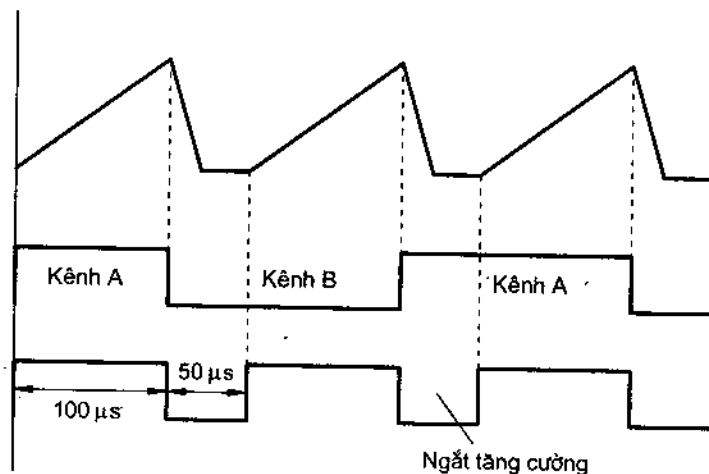
Trong hình 7-7a cho thấy máy hiện sóng có 2 lối vào riêng biệt mỗi kênh đều có mạch khuếch đại làm lệch riêng để nuôi cấp làm lệch đứng và bộ tạo gốc thời gian điều khiển đồng thời cả hai tia với tấm làm lệch ngang. Chuyển mạch điện tử làm nhiệm vụ đưa hai tín hiệu A và B vào hai phiến làm lệch như hình 7-7a.



Hình 7-7b. Máy hiện sóng với 1 chùm tia điện tử

Hình 7-7b là hệ thống lái tia đối với máy hiện sóng một chùm tia tách thành 2 phần. Các tín hiệu vào kênh A và B được qua hai bộ tiền khuếch đại và suy giảm. Các tín hiệu này được chuyển mạch luân phiên giữa kênh A và B nhờ hệ thống chuyển mạch điện tử. Tần số chuyển mạch được tạo bởi mạch tạo gốc thời gian.

Hình 7-8 là biểu đồ thời gian quan hệ giữa hai kênh A, B của dao động ký.



Hình 7-8. Biểu đồ thời gian

## 7-8. Ứng dụng của dao động ký

### 7-8-1. Đo điện áp và tần số của tín hiệu

Muốn đo điện áp trước hết ta đưa điện áp chuẩn vào quan sát độ lệch của tia điện tử ứng với điện áp chuẩn và xác định độ nhạy  $S_v = \text{số vạch} / \text{độ lớn}$  của điện áp chuẩn, sau đó đưa điện áp cần đo vào kênh Y. Quan sát biên độ của tín hiệu đo ta tính độ lớn  $L_y$ :

$$L_y = S_v \cdot 2U_{\max} \quad (7-2)$$

$$U_{\max} = \frac{L_y}{2S_v} \quad (7-3)$$

$S_v$  - độ nhạy của dao động ký.

Độ nhạy này được xác định qua núm điều chỉnh độ nhạy trên mặt của dao động ký (von/vạch chia).

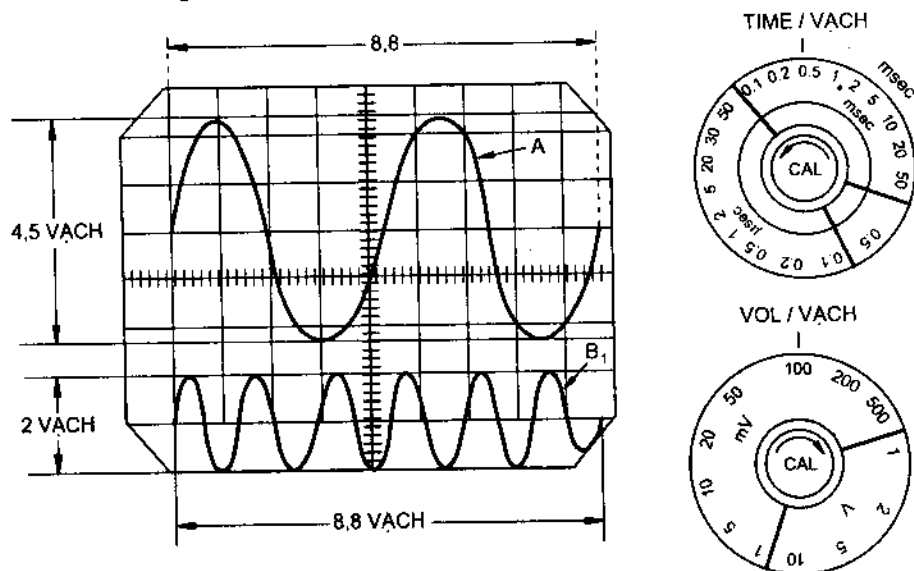
Điện áp chuẩn có thể thực hiện bằng thiết bị chuẩn biên độ bên trong dao động ký hoặc điện áp chuẩn đưa từ ngoài vào.

Hình 7-9 vẽ hai dạng sóng khác nhau. Dạng sóng A có biên độ 4,5 vạch chia thẳng đứng, sóng B đo được với biên độ 2 vạch chia. Với núm điều khiển “vôn/vạch chia” tại 100mV.

Điện áp đỉnh tới đỉnh của mỗi sóng là.

$$\text{Sóng A: } U = 4,5 \text{ vạch} \times 100\text{mV} = 450 \text{ mV}$$

$$\text{Sóng B: } U = 2 \times 100 \text{ mV} = 200\text{mV}$$



Hình 7-9.

Chu kỳ của mỗi sóng hình sin được xác định bằng đếm số vạch dọc trong mỗi chu kỳ và nhân với số đặt tại núm điều khiển TIME/vạch chia.

$$T = (\text{Số vạch ngang/chu kỳ}) \times \text{TIME/vạch}.$$

$$\text{Sóng A: } T = \frac{8,8 \text{ vạch} \times 0,5\text{ms}}{2 \text{ chu kỳ}} = 2,2\text{ms}; f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,2\text{ms}} \approx 455\text{Hz}$$

$$\text{Sóng B: } T = \frac{8,8 \text{ vạch} \times 0,5\text{ms}}{6 \text{ chu kỳ}} = 0,73\text{ms}; f = \frac{1}{0,73\text{ms}} = 1,36\text{kHz}$$

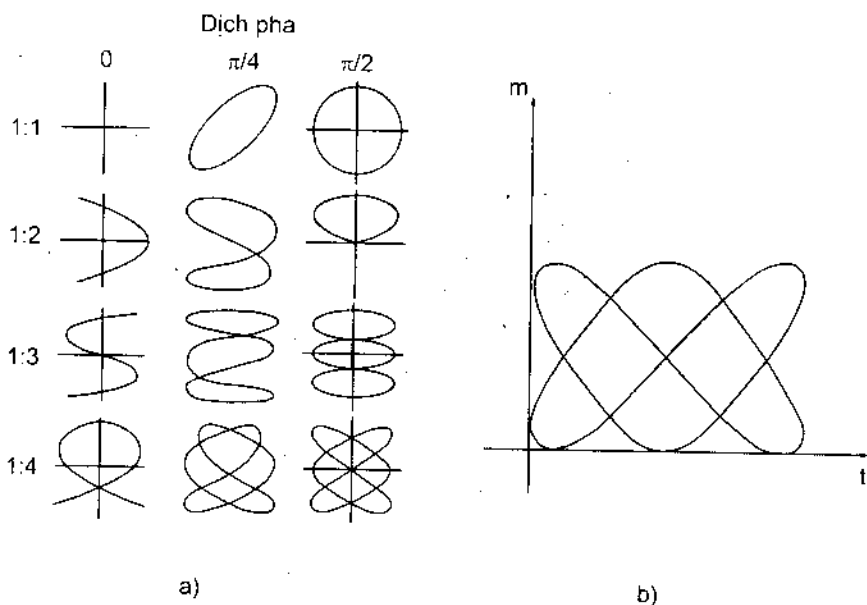
### 7-8-2. Đo tần số bằng phương pháp so sánh

Đo tần số trên dao động ký thực hiện bằng cách so sánh tín hiệu đo  $f_x$  với tín hiệu chuẩn  $f_0$ . Tín hiệu đo  $f_x$  được đưa vào bản cực Y. Trên đường cong sẽ xuất hiện một đường cong phức tạp được gọi là hình Lissajou (hình 7-10). Nếu tần số đo là bội hoặc ước số chẵn của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một Lissajou đứng yên (h-7-10a). Nếu gọi  $n$  là số mũi ngang và  $m$  là số mũi dọc ta có

$$\frac{f_x}{f_0} = \frac{m}{n} \quad (7-4)$$

do đó

$$f_x = f_0 \frac{m}{n} \quad (7-5)$$



Hình 7-10. Các dạng đường Lissajou

Phương pháp trên dùng để đo tần số trong khoảng  $10\text{Hz} \div \text{MHz}$  (tùy thuộc loại dao động ký). Ví dụ (h7-10b) với góc lệch pha là  $180^\circ$  và

$$\frac{f_x}{f_0} = \frac{2}{3} \text{ ta có } f_x = \frac{2}{3} f_0.$$

### 7-8-3. Đo góc lệch pha

Dao động ký điện tử có thể dùng để đo góc pha của hai tín hiệu. Phương pháp đo đơn giản là sử dụng dao động ký hai tia hoặc dùng hình Lissajou.

\* Đo góc lệch pha bằng dao động ký hai tia:

Với chế độ quét tuyến tính và tần số của hai tín hiệu như nhau phương pháp đo được thực hiện như sau.

Giả sử có hai tín hiệu  $u_1(t)$  và  $u_2(t)$  trong đó

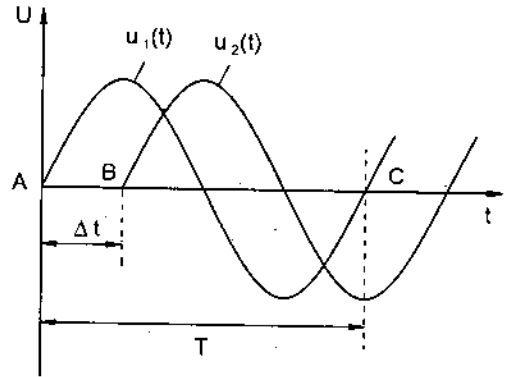
$$u_1(t) = u_{1m} \sin \omega t$$

$$u_2(t) = u_{2m} \sin(\omega t - \varphi)$$

$\varphi$ - góc lệch pha của hai tín hiệu.

Ta đặt  $u_1(t)$  và  $u_2(t)$  vào các bản cực Y của hai kênh, điều chỉnh cho hai tín hiệu trùng nhau theo trục thời gian  $t$  và trên cùng một trục tọa độ. (hình vẽ 7-11)

Ta thấy rằng A và C là điểm qua zêrô của tín hiệu  $u_1(t)$  B là điểm qua zêrô của  $u_2(t)$ . Các đoạn thẳng AB và AC tương ứng với các khoảng thời gian  $\Delta t$  và T. Từ đó ta tính được góc lệch pha cần đo.



Hình 7-11

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} 360^\circ = \left( \frac{AB}{AC} \right) \cdot 360^\circ \quad (7-6)$$

\* Đo góc pha sử dụng hình Lissajou

Thực hiện bằng cách đưa điện áp ( $U_1(t)$ ) vào bản cực Y hình Êlip. Điều chỉnh cho tâm của Elip trùng với gốc tọa độ (Hình 7-12a)

Tìm điểm cắt của hình Elip với trục hoành và hoành độ lớn nhất của

• Elip.

Khi  $t = 0$  hoặc  $t = \frac{\pi}{\omega}$ , điện áp đặt vào bản cực Y là  $U_1 = 0$  và trên bản cực X,  $U_2 = U_{2m} \cdot \sin \varphi$  hay  $- U_{2m} \cdot \sin \varphi$ .

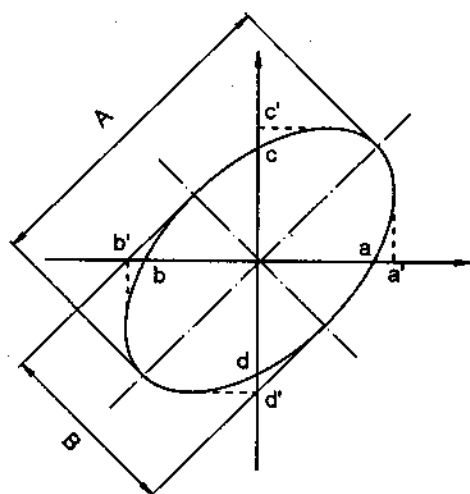
Đoạn thẳng  $ab$  của Elip tỷ lệ với  $2U_{2m} \sin\varphi$ , còn  $a'b'$  tỷ lệ với  $2U_{2m}$  (tương ứng với độ lệch lớn nhất của tia điện từ theo chiều nằm ngang) (hình 7-12b).

Ta có góc lệch pha:

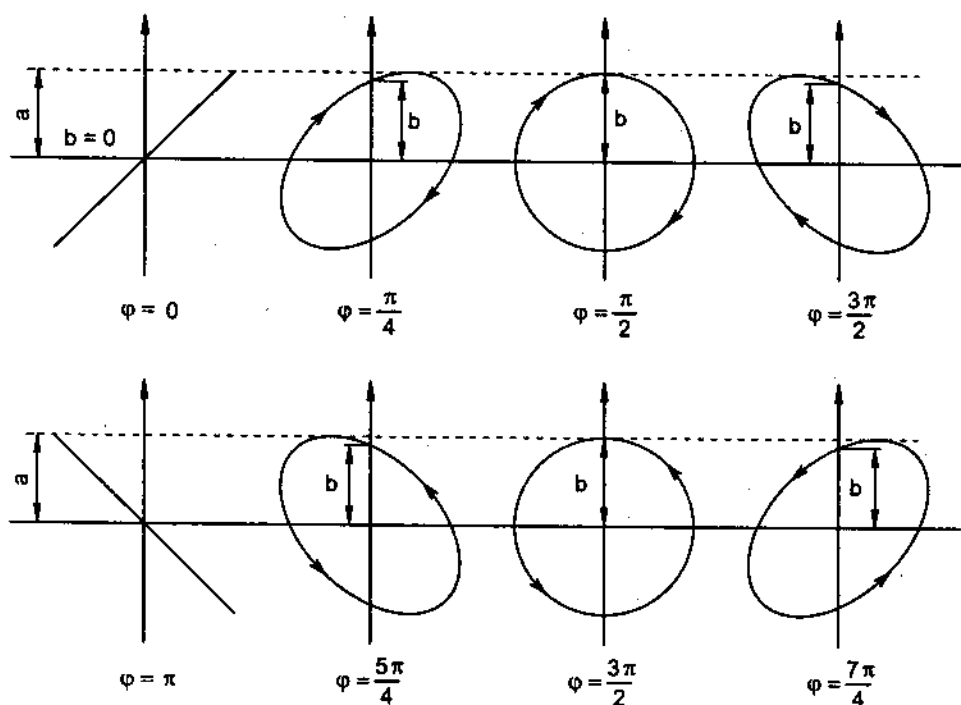
$$\varphi = \arcsin\left(\frac{ab}{a'b'}\right) \text{ hay}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{A}{B}\right) \quad (7-7)$$

Nhược điểm của phương pháp này là không xác định được dấu của góc pha. Sai số phép đo đạt được  $5 \div 10\%$ .



Hình 7-12a.



Hình 7-12b

## 7-9. Các loại dao động ký điện tử

Theo nguyên lí làm việc có thể phân thành các loại dao động ký điện tử sau:

**7-9-1. Dao động ký thông dụng:** là loại phổ biến dùng để khảo sát các quá trình có tần số thấp, các tín hiệu xung. Dải tần của các loại dao động ký này đến 100MHz, dải điện áp từ milivon đến hàng trăm von.

**7-9-2. Dao động ký vạn năng:** là loại thiết bị có khả năng sử dụng để thực hiện nhiều chức năng bằng cách thay thế các mảng linh kiện (block) khác nhau tùy theo yêu cầu. Loại dao động ký này dùng để khảo sát các tín hiệu đa hài cũng như tín hiệu xung. Dải tần đạt tới hàng trăm MHz và dải điện áp từ vài chục microvon đến hàng trăm von.

**7-9-3. Dao động ký tốc độ nhanh:** Là loại thiết bị dùng để quan sát và ghi lại các tín hiệu xung ngắn, các tín hiệu quá độ hoặc các xung tuần hoàn có tần số cao. Dải tần có thể tới hàng chục GHz.

**7-9-4. Dao động ký lấy mẫu:** là loại dùng để khảo sát và ghi lại các tín hiệu tuần hoàn trong dải tần rộng đến vài GHz.

**7-9-5. Dao động ký có nhớ** dùng để khảo sát các tín hiệu tức thời, tuần hoàn chậm, tín hiệu quá độ, tín hiệu ngắn v.v... trong đó được sử dụng ống phóng tia điện tử có nhớ.

Dải tần có thể đến 150 MHz, với tốc độ ghi đến 4000 km/s. Dải tín hiệu từ mV đến hàng trăm von.

**7-9-6. Dao động ký cài đặt  $\mu$ p:** là loại thiết bị "thông minh". Các chức năng của thiết bị đều do  $\mu$ p điều khiển như tự động chọn thang đo, tính giá trị khoảng thời gian và điện áp. Tự động cho ra thông tin dưới dạng số v.v...

Dao động ký cài đặt  $\mu$ p có thể ghép nối với máy tính, lưu giữ số liệu và in được các dạng sóng và đồ thị của các tín hiệu do đó thiết bị này đang được ứng dụng và ngày càng phát triển.



## 7-10. Dao động ký điện tử nhớ tương tự

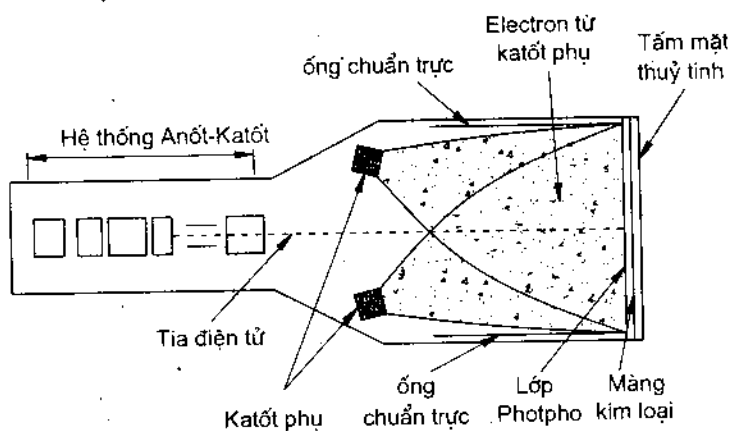
Như ta đã biết vật liệu photpho dùng trên màn hình của máy hiện sóng thông thường chỉ phát sáng trong khoảng thời gian cỡ miligiây (gọi là sự lưu sáng). Hiện tượng trên có thể thỏa mãn với các tín hiệu có tần số đủ lớn. Khi tín hiệu đưa vào thiết bị có tần số thấp do sự lưu sáng ngắn nên đồ thị được vẽ trên màn hình chỉ là những điểm sáng mà không phải là đường liên tục.

Mặt khác trường hợp dạng sóng chỉ xuất hiện một lần không lặp lại (ví dụ khi đóng nguồn điện) ta không thể quan sát được vì vậy cần thiết phải làm cho màn hình phát sáng liên tục dọc theo đường đi của sóng đã được vẽ ra (lưu sáng lâu) ta có thể quan sát dạng sóng dễ dàng hơn.

Hình 7-13 biểu diễn cấu tạo của ống phóng điện tử có nhớ với hai trạng thái ổn định (hiện hình hoặc không hiện hình). Trong đó màn hình có một lớp nhớ từ vật liệu photpho có khả năng phát xạ thứ cấp và có điện trở rất cao giữa các hạt.

(Sự phát xạ thứ cấp xuất hiện khi các điện tử năng lượng cao đập vào bề mặt khiến cho các điện tử phát ra từ bề mặt đó). Một màng kim loại được kết nối giữa lớp kính của màn hình và lớp nhớ. Ống chuẩn trực là màng kim loại kết nối quanh cổ ống phóng.

Ngoài hệ thống katốt và các anốt để phóng tia điện tử và gia tốc các điện tử như đã nói trên, trong ống phóng điện tử có nhớ còn được bố trí thêm hai katốt phụ để tạo ra những điện tử có năng lượng thấp (hình 7-13).



Hình 7-13. Ống phóng tia điện tử có nhớ

Các katốt này có thể đất và ống chuẩn trực cũng có thể đất hoặc dương hơn một chút.

Màng kim loại có điện thế từ  $+1V \div 3V$  so với đất.

Các đám mây điện tử do các katốt phụ phát ra bị hút về màng kim loại làm cho những đám mây đó tràn khắp màn hình. Khi chưa có các chùm tia điện tử phát ra từ katốt chính, các đám mây điện tử bị ống chuẩn trực gom lại và trên màn hình không xuất hiện các vết sáng.

Khi các chùm tia điện tử được phát ra từ katốt chính, qua hệ thống Anốt, các điện tử đó đập vào lớp phốt pho với năng lượng đủ lớn để tạo ra sự phát xạ thứ cấp. Các điện tử phát xạ thứ cấp được ống chuẩn trực gom lại.

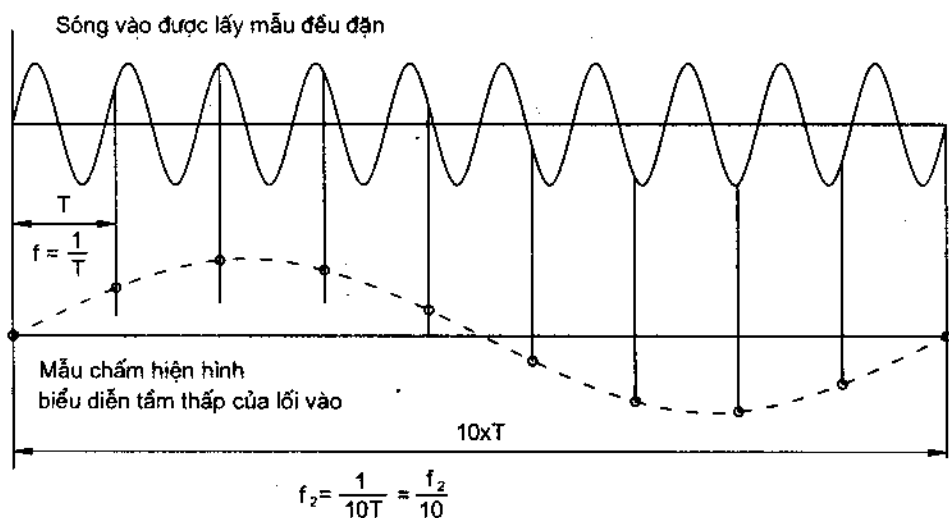
Mỗi điểm xuất hiện sự phát xạ thứ cấp trên màn hình lại trở thành điểm tích điện dương và các điện tử đã bị rời đi khỏi đó. Như vậy một đường tích điện dương được vạch ra ở lớp nhớ có hình dáng của sóng đưa vào. Do tính chất cách điện cao của lớp nhớ nên đường tích điện dương có thể lưu lại hàng giờ. Các điện tử có năng lượng thấp phát ra từ các katốt phụ bị hút về phía đường tích điện dương và chúng xuyên qua nó về phía màng kim loại. Khi qua lớp nhớ các điện tử làm cho phốt pho tiếp tục phát sáng. Nhờ hiện tượng chuyển tiếp nên các hình được hiện lên một cách liên tục.

Muốn xóa hình hiện người ta làm cho màng kim loại trở nên âm và chúng đẩy các điện tử quay ngược trở lại lớp nhớ, ở đó chúng tích tụ lại và làm cho mức điện thế ở các điểm giống như xung quanh và hình không hiện lên nữa.

### 7-11. Dao động ký lấy mẫu

Thông thường các dao động ký có tần số giới hạn trên trong khoảng đo từ  $20MHz \div 50 MHz$ . Khi có tín hiệu vào với tần số cao hơn khiến cho chùm tia điện tử chuyển động trên màn hình nhanh tới mức chỉ tạo ra được các vết rất mờ. Dao động ký lấy mẫu khắc phục bằng cách tạo ra các chấm có tần số thấp. Mỗi chấm biểu thị một mẫu biên độ của tín hiệu vào và mỗi chấm được lấy từ một chu kỳ khác nhau. Các mạch lấy mẫu có khả năng hoạt động ở tần số rất cao nhưng ống phóng tia điện tử và các mạch liên quan chỉ cần làm việc ở tần số tương đối thấp.

Hình 7-14 là một dạng sóng tần số cao với 10 chu kỳ cần được hiện trên màn hình.



Hình 7-14

Các mẫu biên độ được lấy ở những thời điểm kế tiếp nhau và chậm hơn ở mỗi chu kỳ. Chuỗi các dấu chấm hợp thành sẽ tạo được dạng sóng ban đầu nhưng ở tần số thấp hơn.

Giả sử tín hiệu ban đầu có chu kỳ  $T = 0,01\mu s$ . Tần số  $f_1 = \frac{1}{0,01\mu s} = 100\text{MHz}$ . Hình hiện bằng các dấu chấm có chu kỳ

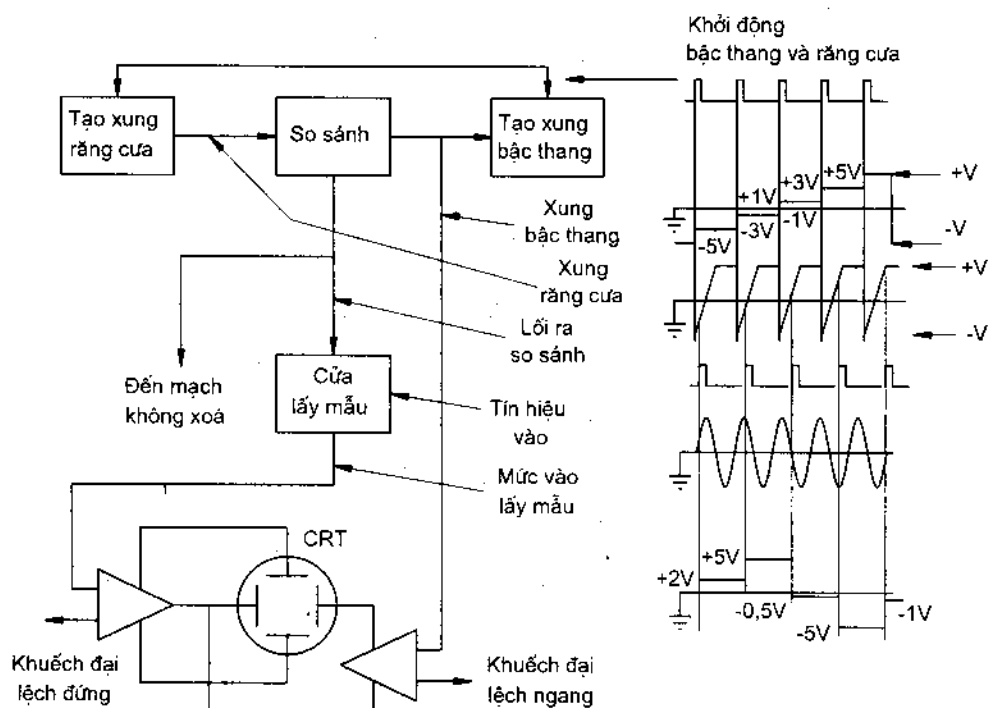
$$T = 10 \times 0,01 \mu s \text{ và tần số } f_2 = \frac{100\text{MHz}}{10} = 10\text{MHz}.$$

Như vậy tín hiệu có tần số 100MHz được biến đổi thành dạng sóng có tần số 10MHz.

Hình 7-15 biểu diễn sơ đồ khối và các dạng sóng đối với dao động ký lấy mẫu.

Trong đó bộ tạo xung răng cưa được thay thế bằng bộ tạo xung bậc thang để làm lệch ngang chùm tia điện tử.

Dạng sóng tín hiệu ra của bộ tạo xung bậc thang là một chuỗi các bậc điện áp tăng dần từ âm tới dương. Tại điểm cuối của chu kỳ quét, sóng bậc thang trở lại mức điện áp ban đầu. Với điện áp tăng bậc thang làm cho chùm tia điện tử dịch chuyển từ phía này sang phía kia của màn hình cũng theo một chuỗi bậc.



Hình 7-15. Sơ đồ khối và các dạng sóng đối với dao động ký hiệu lấy mẫu

Mặt khác điện áp ra của bộ tạo xung bậc thang được đưa vào 1 đầu của bộ so sánh. Ở đây điện áp dạng bậc thang được so sánh với điện áp răng cưa.

Bộ tạo xung răng cưa được khởi động bởi bộ tạo điện áp bậc thang. Khi điện áp răng cưa bằng điện áp dạng bậc thang, bộ so sánh cho ra một xung tác động làm cho cửa lấy mẫu thông. Cửa lấy mẫu bắt đầu lấy mẫu biên độ tức thời của dạng sóng vào cao tần. Sau khi thông, trong khoảng thời gian ngắn, cửa lấy mẫu giữ mức tín hiệu ra không đổi cho tới khi lấy mẫu tiếp theo. Tín hiệu xung ra từ bộ so sánh cũng được đưa vào như một xung không xóa tới lưới của ống phóng tia điện tử. Xung đó đóng chùm tia điện tử trong một thời gian ngắn để tạo ra một chấm trên màn hình.

Quá trình trên tạo ra chuỗi các dấu chấm hợp thành dạng sóng ban đầu.

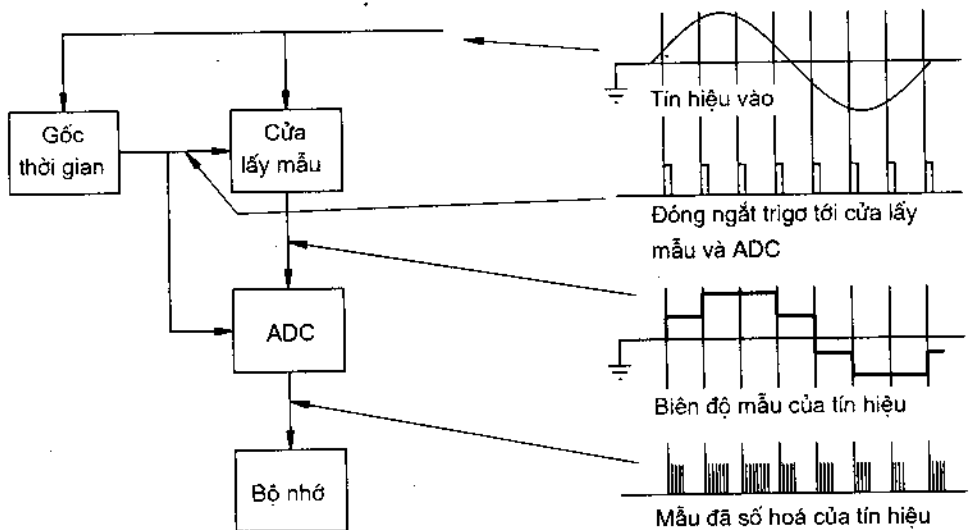
Nhược điểm của dao động ký loại này là các tín hiệu có dạng lặp lại thuận mới có thể thực hiện được. Nếu dạng sóng thay đổi sau một số chu kỳ thì các hình hiện bằng các dấu chấm sẽ bị sai lệch.

### 7-12. Dao động ký điện tử nhớ số

Trong các dao động ký điện tử có nhớ tương tự, các dạng sóng được ghi nhờ ống phóng tia điện tử có cấu tạo đặc biệt. Với các dao động ký điện tử nhớ số, các dạng sóng được số hóa và lưu giữ vào một bộ nhớ.

Tín hiệu vào đầu tiên được lấy mẫu sau đó mỗi mẫu tương tự qua bộ biến đổi tương tự - số (ADC): biến thành một mẫu dưới dạng số. Các mẫu đã số hóa lưu giữ trong bộ nhớ và sẽ biến đổi ngược thành dạng tương tự nhờ bộ biến đổi số - tương tự (DAC). Các mẫu tái tạo lại được sử dụng cùng với gốc thời gian có dạng sóng bậc thang để tạo ra một tập hợp các dấu chấm như ở dao động ký lấy mẫu.

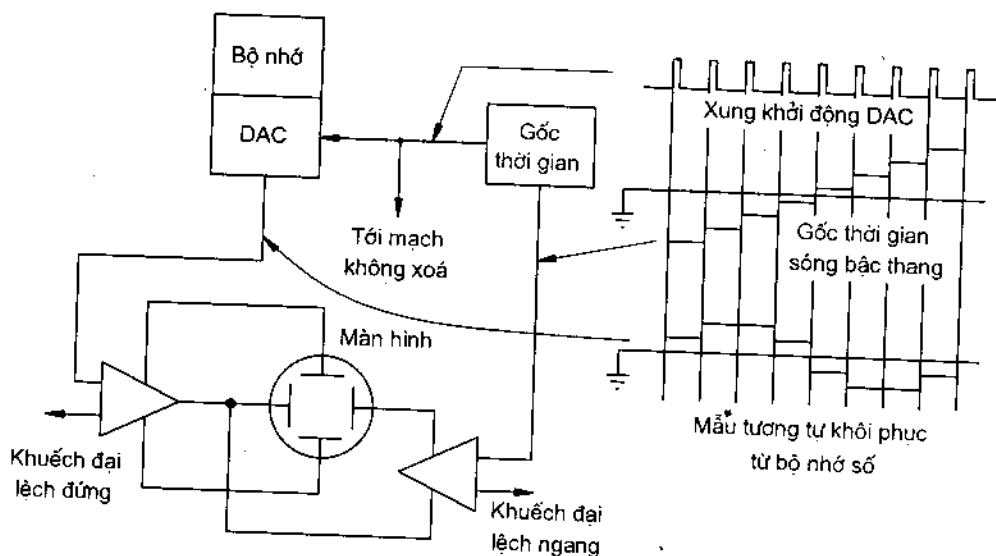
Hình 7-16 biểu diễn hệ thống lấy mẫu và nhớ cơ bản dùng cho một dao động ký số.



**Hình 7-16.** Hệ thống lấy mẫu và nhớ cơ bản dùng cho một dao động ký số

Trong đó bộ tạo gốc thời gian tạo ra các xung có tần số lấy mẫu cần thiết. Mỗi xung tác động khiến cho cửa lấy mẫu đóng trong một khoảng thời gian ngắn. Theo cách đó, tạo ra được một chuỗi các mẫu biên độ. Mỗi mẫu như vậy sẽ được bộ ADC biến đổi thành một dãy xung ngắn. Số xung tỷ lệ thuận với biên độ đã lấy mẫu. Các nhóm xung được đưa vào bộ nhớ, ở đó chúng được lưu giữ.

Hình 7-17 là hệ thống khôi phục lại các thông tin đã được lưu giữ từ bộ nhớ.



Hình 7-17. Hệ thống khôi phục lại các thông tin đã được lưu giữ từ bộ nhớ

Các mẫu dưới dạng số từ bộ nhớ qua DAC được biến đổi thành dạng tương tự và tạo thành dạng sóng bậc thang (hình 7-17). Trong khi đó bộ tạo gốc thời gian cũng tạo điện áp bậc thang để điều khiển DAC sao cho mỗi mẫu tương tự được tái tạo lại ở một điểm thích hợp trong gốc thời gian.

Các mẫu tương tự được đưa tới đầu vào của khuếch đại tới phiên làm lệch đứng. Mặt khác các điện áp bậc thang (từ bộ tạo gốc thời gian) được cung cấp cho khuếch đại và đặt vào phiên làm lệch ngang.

Tổ hợp 2 tín hiệu trên cùng với các xung không xóa sẽ tạo ra các dạng sóng với các dấu chấm trên màn hình biểu diễn dạng sóng của tín hiệu vào ban đầu.

Ưu điểm của dao động ký nhớ số là có thể nhớ các dạng sóng trong khoảng thời gian dài. Thông tin nhớ không bị mất theo thời gian. Dao động ký nhớ số còn có khả năng nhớ và hiện hình những dạng sóng tức thời cũng như các dạng sóng lặp lại. Nhược điểm của thiết bị này là không sử dụng được ở tần số cao.

### CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Nêu sơ đồ khối của dao động ký điện tử và chức năng của các khối.
2. Trình bày cấu tạo của ống phóng tia điện tử và các chức năng của các bộ phận trong ống phóng.
3. Nêu tác dụng của khuếch đại làm lệch, bộ tạo gốc thời gian.
4. Trình bày ứng dụng của dao động ký điện tử đo điện áp, dòng điện, tần số, góc pha v.v...
5. Trình bày các loại dao động ký điện tử và đặc điểm của chúng.
6. Trình bày nguyên lý hoạt động, đặc điểm và ứng dụng của các dao động ký nhớ tương tự, dao động ký lấy mẫu và nhớ số.

---

## 2

# THIẾT BỊ CẢM BIẾN VÀ ỨNG DỤNG

---



## CHƯƠNG VIII

# KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ CẢM BIẾN

### 8-1. Các khái niệm cơ bản và định nghĩa

Trong các hệ thống đo lường - điều khiển, mọi quá trình đều được đặc trưng bởi các biến trạng thái. Các biến trạng thái này thường là các đại lượng không điện như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, tốc độ, độ di chuyển v.v...

Để thực hiện các quá trình đo lường và điều khiển cần phải thu thập thông tin, đo đạc, theo dõi sự biến thiên của các biến trạng thái của quá trình thực hiện chức năng trên là các thiết bị cảm biến. Để hiểu rõ về cảm biến ta cần nắm được một số khái niệm và định nghĩa sau.

1. *Phần tử nhạy*: Là khâu đầu tiên của thiết bị đo chịu tác động trực tiếp của đại lượng đo. Phần tử nhạy không có đặc tính riêng. Sai số được hạn chế bởi sai số của thiết bị mà nó tham gia.

2. *Chuyển đổi đo lường*: Là một khâu của thiết bị đo, tín hiệu vào là hàm số của tín hiệu ra.

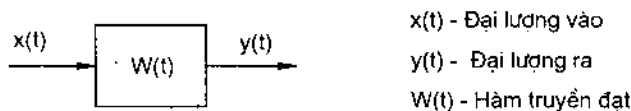
Cơ sở vật lý của chuyển đổi đo lường là biến đổi và truyền đạt năng lượng (biến đổi từ dạng năng lượng này thành dạng năng lượng khác).

3. *Cảm biến đo lường*: Là phương tiện (thiết bị) đo thực hiện biến đổi tín hiệu ở đầu vào thành tín hiệu ra thuận lợi cho việc biến đổi tiếp theo hoặc truyền đạt, gia công bằng thiết bị tính hoặc lưu giữ số liệu (nhưng không quan sát được). Cảm biến có đặc tính đo lường học, thực hiện ở dạng độc lập, có độ chính xác nhất định theo mô hình mạch điện, cảm biến được coi như một mạng hai cửa (Hình 8-1). Cửa vào là biến trạng thái cần đo  $x$ , cửa ra là đáp ứng  $y$ .

Phương trình được mô tả dưới dạng hàm số

$$y = f(x) \quad (8-1)$$

quan hệ trên thường rất phức tạp do nhiều yếu tố ảnh hưởng tới quan hệ giữa đầu vào và ra của cảm biến.



Hình 8-1. Cảm biến đo lường

## 8-2. Phân loại các bộ cảm biến

Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ trong các lĩnh vực nghiên cứu khoa học và ứng dụng kỹ thuật đo lường, điều khiển, số lượng và chủng loại các cảm biến tăng nhanh và đa dạng. Với mục đích nghiên cứu và ứng dụng có thể phân loại cảm biến theo các phương pháp sau:

### 8-2-1. Phân loại theo đại lượng vào và ra

- + Cảm biến điện - điện: trong đó các đại lượng vào và ra là thông số điện.
- + Cảm biến không điện – điện: là các cảm biến thực hiện chức năng biến đổi các đại lượng không điện như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng v.v... thành các thông số như điện trở, điện cảm, điện dung, điện áp, dòng điện, sức điện động v.v...
- + Cảm biến khí nén – điện: Được ứng dụng nhiều trong các nhà máy Hóa chất, các Hệ thống đo và điều khiển cần chống cháy, nổ.

Các cảm biến này thực hiện nhiệm vụ biến đổi các đại lượng không điện thành tín hiệu khí nén sau đó từ tín hiệu khí nén biến đổi thành các đại lượng điện.

### 8-2-2. Phân loại theo tính chất vật lý được phân thành

- Cảm biến điện trở.
- Cảm biến điện từ.
- Cảm biến tĩnh điện.
- Cảm biến nhiệt điện.
- Cảm biến điện tử – Ion.

- Cảm biến hóa điện.
- Cảm biến y – sinh.

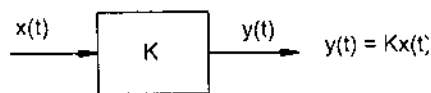
### 8-2-3. Phân loại theo tính chất nguồn điện

- Cảm biến phát điện (Active).
- Cảm biến thụ động (Passive).

### 8-2-4. Phân loại theo phương pháp đo

- Cảm biến biến đổi trực tiếp (hình 8-2)

$$Y = KX. \quad (8-2)$$

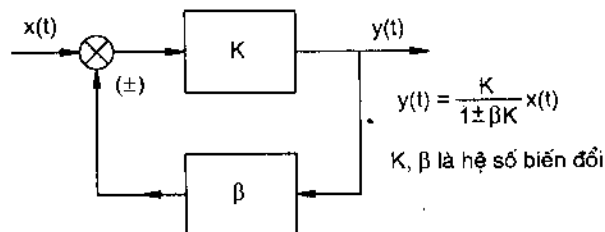


Hình 8-2. Cảm biến kiểu bù

- Cảm biến kiểu bù: (h 8-3)

$$Y = \frac{K}{1 \pm \beta K} X \quad (8-3)$$

- K,  $\beta$  là hệ số biến đổi



Hình 8-3. Cảm biến kiểu bù

## 8-3. Đặc tính cơ bản của cảm biến ở chế độ tĩnh

### 8-3-1. Đặc tính chung

\* Hàm chuyển đổi là biểu thức mô tả quan hệ giữa đại lượng ra và đại lượng vào:

$$Y = F(X). \quad (8-4)$$

$Y, X$  – giá trị thực của đại lượng đo.

Hàm chuyển đổi có thể biểu diễn dưới dạng hàm số, dạng bảng số hoặc đồ thị.

\* Hệ số biến đổi là tỷ số giữa đại lượng ra  $Y$  và đại lượng vào  $X$ .

$$K(x) = \frac{Y}{X} = \frac{F(X)}{X} \quad (8-5)$$

\* Độ nhạy:

Độ nhạy được biểu diễn dưới dạng biểu thức

$$S = \frac{dY}{dx} = \frac{dF(x)}{dx} \quad (8-6)$$

Với hàm biến đổi là tuyến tính độ nhạy được tính

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (8-7)$$

Độ nhạy là một hằng số.

\* Ngưỡng nhạy: là giá trị nhỏ nhất  $X_0$  của đại lượng đo tác động ở đầu vào để cảm biến làm việc với độ chính xác yêu cầu.

### 8-3-2. Sai số

Giống như thiết bị đo, sai số của cảm biến được phân loại như sau:

1- Theo phương pháp biểu thị: Có thể phân thành sai số tuyệt đối, sai số tương đối và sai số tương đối quy đổi (xem mục 1-4-1)

2- Theo mức độ không xác định có thể chia thành

\* Sai số hệ thống: là sai số luôn không thay đổi hoặc thay đổi có quy luật. Khi đo nhiều lần một đại lượng, quy luật thay đổi có thể là một phía (+ hay -), có chu kỳ hoặc theo một quy luật phức tạp nào đó. Sai số có thể do giá trị của đại lượng chuẩn không đúng, sai số do đặc tính của cảm biến, do chế độ và điều kiện sử dụng hoặc do xử lý kết quả đo.

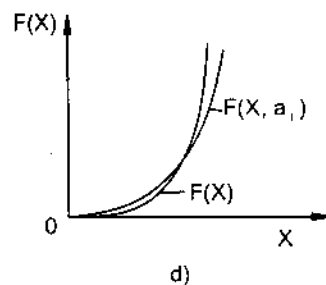
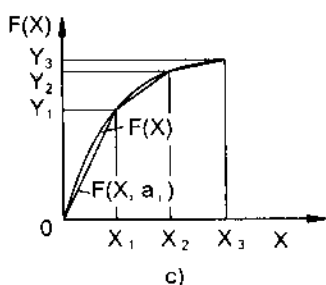
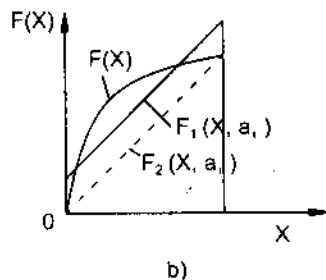
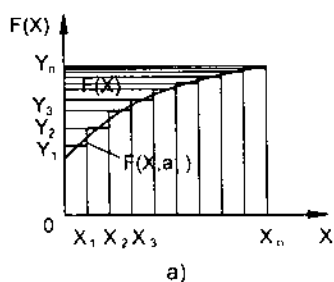
\* Sai số ngẫu nhiên là sai số không theo một quy luật nhất định khi đo nhiều lần một đại lượng. Giá trị và dấu của sai số ngẫu nhiên không xác định do nhiều nguyên nhân mà tác động của chúng không giống nhau trong mỗi lần đo.

Để xác định sai số ngẫu nhiên người ta thực hiện đo nhiều lần một đại lượng trong cùng một điều kiện và dùng phương pháp thống kê, lý thuyết xác suất.

### 8-3-3. Đặc tính gần đúng (sấp xỉ)

Hàm chuyển đổi của cảm biến đôi khi có thể rất phức tạp không thuận tiện để miêu tả hoặc phân tích. Trường hợp như vậy có thể thay thế hàm thực bằng một hàm số nào đó gần đúng với hàm số thực. Sự thay thế biểu thức có đặc tính thực bằng biểu thức nào đó được gọi là đặc tính gần đúng tương ứng.

Nếu hàm chuyển đổi có dạng  $Y = F(X)$  có thể làm tương ứng gần đúng hàm trên bằng một hàm số  $F(X, a_i)$  nghĩa là chọn cấu trúc hàm số mới với hệ số  $a_i$  xác định để đạt được sai số cho phép. Thường người ta chuyển hàm số thực thành dạng đa thức có dạng  $F(X, a_i) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$ , bằng cách đặt hàm  $F(X, a_i)$  thành một chuỗi Marloren. Nếu cho hệ số  $a_i \neq 0$  ta sẽ có một hàm mới có các đặc tính khác nhau như hình 8-4 (a, b, c, d).



Hình 8-4. Đặc tính gần đúng

## 8-4. Đặc tính của cảm biến ở chế độ động

### 8-4-1. Khái niệm chung

Đặc tính động là đặc tính được xác định ở chế độ động, đó là các đại lượng biến thiên theo thời gian.

Đặc tính mô tả sự làm việc của cảm biến ở chế độ động là phương trình vi phân biểu diễn quan hệ giữa đại lượng ra  $y(t)$  và đại lượng vào  $x(t)$

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x \quad (8-8)$$

Nếu biểu diễn dưới dạng toán tử Laplace ta có

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0) Y(p) = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0) X(p) \quad (8-9)$$

và hàm truyền đạt

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} \quad (8-10)$$

### 8-4-2. Đặc tính động của cảm biến bậc 1

Tùy thuộc vào bậc của phương trình vi phân, cảm biến được phân thành bậc 1 và bậc 2.

a) Khi cảm biến không có quán tính ta có

$$a_0 y(t) = b_0 x(t) \quad (8-11)$$

$$y(t) = \frac{b_0}{a_0} x(t) = k_0 x(t) \quad (8-12)$$

Hàm truyền đạt  $W(p) = k_0$ ;  $k_0 = \frac{b_0}{a_0}$  với  $k_0$  là một hằng số và không có

sai số về pha trong giải tần rộng.

b) Cảm biến vi phân lý tưởng có dạng phương trình

$$a_0 y(t) = b_1 \frac{dx(t)}{dt} \quad (8-13)$$

Hàm truyền 
$$W(j\omega) = \frac{b_1}{a_0} j\omega = k_1 j\omega \quad (8-14)$$

$$-k_1 = b_1/a_0$$

Với cảm biến vi phân thực phương trình có dạng

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_1 \frac{dx(t)}{dt} \quad (8-15)$$

$$W(p) = \frac{b_1 p}{a_1 p + a_0} = \frac{k_1 p}{T p + 1} \quad (8-16)$$

$T = \frac{a_1}{a_0}$  - Hằng số thời gian và

$$W(j\omega) = k_1 \frac{j\omega}{T j\omega + 1} \quad (8-17)$$

c) Cảm biến tích phân lý tưởng phương trình có dạng.

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} = b_0 x(t) \quad (8-18)$$

Hàm truyền đạt

$$W(j\omega) = \frac{b_0}{a_1} \frac{1}{j\omega} = \frac{k_2}{j\omega} \quad (8-19)$$

Với cảm biến tích phân thực phương trình có dạng

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t) \quad (8-20)$$

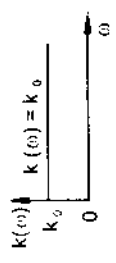
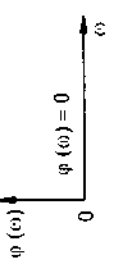
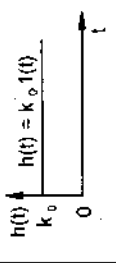
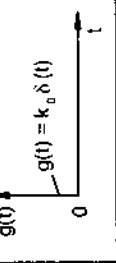
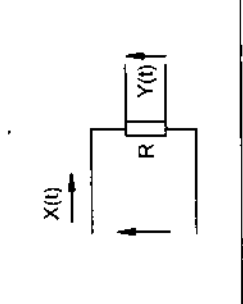
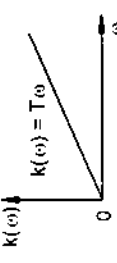
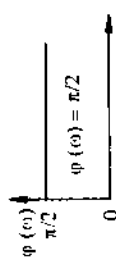
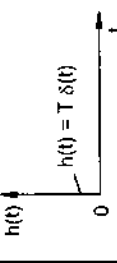
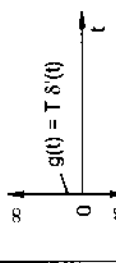
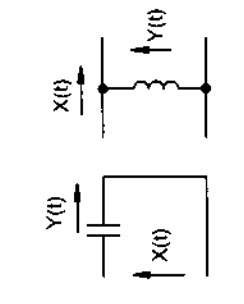
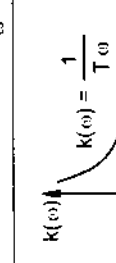
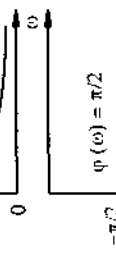
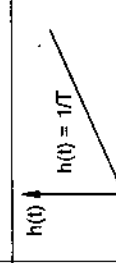
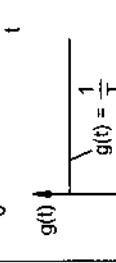
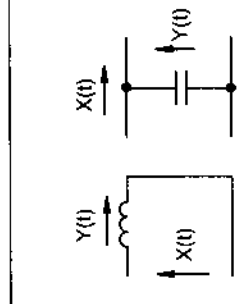
$$W(p) = \frac{b_0}{a_1 p + a_0} = k_0 \frac{1}{T p + 1} \quad (8-21)$$

$$T = \frac{a_1}{a_0}$$

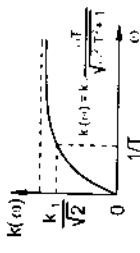
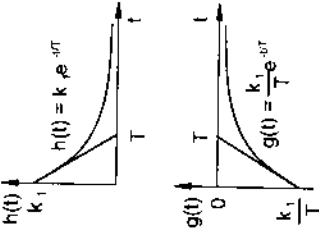
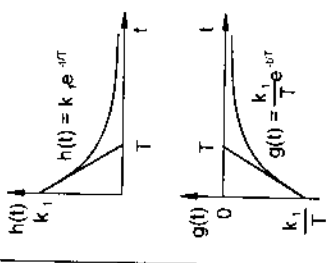
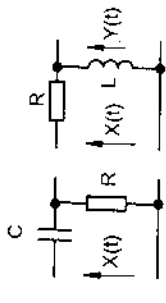
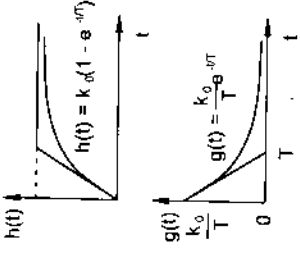
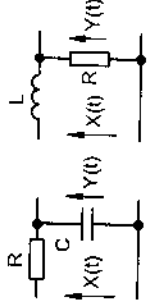
$$W(j\omega) = k_0 \frac{1}{T j\omega + 1} \quad (8-22)$$

Bảng 8-1 là đặc tính động của một số cảm biến bậc 1.

Bảng 8-1. Đặc tính động của một số cảm biến bậc một

Cảm biến	Phương trình động	Hàm truyền đạt	Đặc tính		Sơ đồ
			Tần số	Thời gian	
Không có quán tính	$a_0 Y(t) = b_0 X(t)$	$W(s) = k_0;$ $k_0 = \frac{b_0}{a_0}$	 	 	
Ví phân lý tưởng	$a_0 Y(t) = b_1 \frac{dX(t)}{dt}$	$W(s) = Ts;$ $T = \frac{b_1}{a_0}$	 	 	
Tích phân lý tưởng	$a_1 \frac{dY(t)}{dt} = b_0 X(t)$	$W(s) = \frac{1}{Ts}$ $T = \frac{a_1}{b_0}$	 	 	



Cảm biến	Phương trình động	Hàm truyền đạt	Đặc tính		Sơ đồ
			Tần số	Thời gian	
Ví phân thực	$a_1 \frac{dY(t)}{dt} + a_0 Y(t) = b_1 \frac{dX(t)}{dt}$	$W(s) = k_1 \frac{Ts}{Ts + 1};$ $k_1 = \frac{b_1}{a_1};$ $T = \frac{a_1}{a_0};$			
Tích phân thực	$a_1 \frac{dY(t)}{dt} + a_0 Y(t) = b_0 X(t)$	$W(s) = k_0 \frac{Ts}{Ts + 1};$ $k_0 = \frac{b_0}{a_0};$ $T = \frac{a_1}{a_0};$			

### 8-4-3. Đặc tính động của cảm biến bậc 2

Cảm biến bậc 2 có phương trình được biểu diễn dưới dạng:

$$a_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t) \quad (8-23)$$

$a_0, a_1, a_2, b_0$  là hệ số phụ thuộc vào các thông số của cảm biến

Viết dưới dạng toán tử Laplace:

$$a_2 p^2 + a_1 p + a_0 Y(p) = b_0 X(p) \quad (8-24)$$

ta có hàm truyền:

$$W(p) = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} = k_0 \frac{1}{T_2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (8-25)$$

$$T_2 = \frac{a_2}{a_0}; \quad T_1 = \frac{a_1}{a_0}.$$

$$W(j\omega) = k_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right) + j2\beta \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (8-26)$$

$$\beta = \frac{T_1}{2T_2}; \quad \omega_0 = \frac{1}{T_2}.$$

Nếu đặt  $\eta = \frac{\omega}{\omega_0}$ . Đặc tính tần của cảm biến có dạng

$$W(j\eta) = k_0 \frac{1}{(1 - \eta^2) + j2\beta\eta} = k_0 \frac{(1 - \eta^2) - j2\beta\eta}{(1 - \eta^2)^2 + 4\beta^2\eta^2}$$

$$W(j\eta) = A(\eta)e^{j\varphi(\eta)}. \quad (8-27)$$

trong đó

$$A(\eta) = k_0 \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + 4\beta^2\eta^2}} \quad (8-28)$$

$A(\eta)$  - đặc tính biên tần;  $\varphi(\eta)$  - đặc tính pha tần.

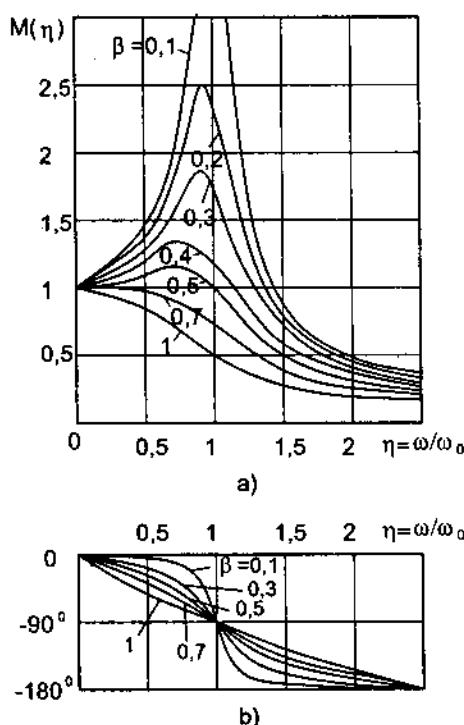
$$\varphi(\eta) = -\text{artg} \frac{2\beta\eta}{1 - \eta^2} \quad (8-29)$$

Khi tần số  $\omega = 0$  ta có  $\varphi = 0$  và  $A(\eta)|_{\eta=0} = k_0$

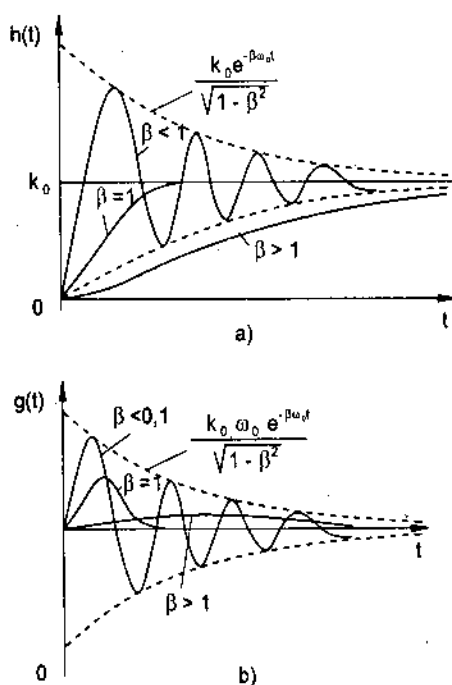
Nếu đặt  $\mu(\eta) = \frac{A(\eta)}{k_0}$  ta có đặc tính biên tần và pha tần của cảm biến dao động bậc 2 như hình 8-5a, b.

$$M(\eta) = \frac{A(\eta)}{k_0} = \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + 4\beta^2\eta^2}} \quad (8-30)$$

và đặc tính quá độ như hình 8-6a, b.



Hình 8-5. Đặc tính biên tần và pha tần



Hình 8-6. Đặc tính quá độ với kích thích xung hệ vi sai (a) và kích thích xung dirac

Trong đó 
$$h(t) = k_0 \left[ 1 - \frac{e^{-\beta\omega_0 t}}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin(\omega_0 t + \sqrt{1-\beta^2} + \text{artg} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}) \right] \quad (8-31)$$

là hàm quá độ với kích thích xung Hêvisai

$$g(t) = k_0 \omega_0 \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e^{-\beta\omega_0 t} \sin \omega_0 \sqrt{1-\beta^2} t \quad (8-32)$$

là hàm quá độ với kích thích xung dirac.

#### 8-4-4. Sai số động

Sai số của cảm biến ở chế độ động gọi là sai số động.

Sai số động có giá trị phụ thuộc vào tốc độ thay đổi của đại lượng đo.

Nếu gọi  $W_d(p)$  và  $W_{dm}(p)$  là Hàm truyền ở chế độ động và chế độ định mức thì sai số động được xác định

$$\begin{aligned}\Delta X_d(p) &= \frac{Y(p)}{W_{dm}(p)} - X(p) \\ \Delta X_d(p) &= \frac{W_d(p)X(p)}{W_{dm}(p)} - X(p)\end{aligned}\quad (8-33)$$

Hoặc 
$$\Delta X_d(p) = W_{\Delta}(p) X(p) \quad (8-34)$$

$$\text{Trong đó } W_{\Delta}(p) = \frac{W_d(p)}{W_{dm}(p)} - 1$$

Nếu tín hiệu vào có dạng  $x(t) = X_m \sin(\omega t + \varphi)$  thì sai số động

$$\Delta X_d(t) = \Delta X_m(\omega) \cdot \sin[\omega t + \varphi + \varphi_4(\omega)] \quad (8-35)$$

$$\varphi_{\Delta}(\omega) = \arg W_{\Delta}(j\omega) \quad (8-36)$$

#### 8-4-5. Hiệu chỉnh đặc tính động

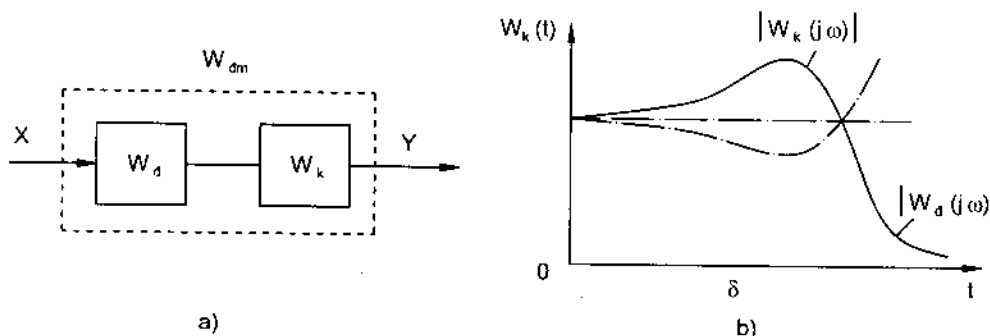
Trong thực tế đặc tính làm việc của cảm biến thường lệch khỏi đặc tính định mức và là nguồn gốc gây nên sai số ở chế độ động. Hiệu chỉnh đặc tính động được tiến hành bằng cách hiệu chỉnh Hàm truyền  $W_d(p)$  nhờ các khâu phụ có hàm truyền  $W_k(p)$  và ta có:

$$W_{dm}(p) = W_d(p) \cdot W_k(p) \quad (8-37)$$

$$W_k(p) = \frac{W_{dm}(p)}{W_d(p)} \quad (8-38)$$

Hình 8-7a là sơ đồ hiệu chỉnh đặc tính động đã mắc khâu phụ.

Hình 8-7b là đặc tính biên tần  $W_d(p)$  và  $W_k(p)$  khi hiệu chỉnh.



Hình 8-7. Hiệu chỉnh đặc tính động

#### 8-4-6. Nhiều trong các bộ cảm biến

Nhiều trong các bộ cảm biến và mạch đo là nguyên nhân gây nên sai số. Nhiều có thể phân thành hai dạng nhiễu nội tại và nhiễu trên các mạch truyền dẫn.

\* Nhiều nội tại sinh ra do quá trình thiết kế, do công nghệ chế tạo không hoàn thiện, tính chất vật liệu chế tạo không đúng với yêu cầu do đó tín hiệu ra của cảm biến không đảm bảo độ chính xác.

\* Nhiều trên các mạch truyền dẫn từ cảm biến đến thiết bị đo và thu thập số liệu cũng gây nên sai số.

Các nhiễu thường gặp là:

- + Nguồn cung cấp đo cảm biến không ổn định và chính xác
- + Từ trường và điện trường bên ngoài, nhiệt độ môi trường, độ ẩm, bức xạ ion, tác nhân hóa học v.v... tác động lên cảm biến. Để chống nhiễu, ta có thể thực hiện một số biện pháp như tăng độ lớn của tín hiệu đo, dùng màn chắn từ trường và điện trường, lọc các tần số gây nhiễu và sử dụng các cảm biến mắc vi sai (cảm biến kép) v.v... Tất cả các biện pháp trên sẽ được thực hiện cho từng loại cảm biến cụ thể.

#### CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 8

1. Nêu các phương pháp phân loại các bộ cảm biến
2. Trình bày đặc tính cơ bản của cảm biến ở chế độ tĩnh.
3. Nêu đặc tính của cảm biến ở chế độ động và phương pháp hiệu chỉnh đặc tính động

## CHƯƠNG IX

# CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ

### 9-1. Khái niệm cơ bản

#### 9-1-1. Cơ sở vật lý để xây dựng cảm biến nhiệt độ

Cảm biến nhiệt độ là thiết bị được sử dụng rộng rãi không những đo nhiệt độ mà còn đo các đại lượng không điện khác như tốc độ lưu chất, xác định nồng độ và thành phần của chất khí v.v...

Nguyên lý hoạt động của cảm biến nhiệt độ dựa trên quá trình nhiệt (đốt nóng, làm lạnh và trao đổi nhiệt) mà đại lượng đo là nhiệt độ.

Khi nhiệt độ thay đổi làm thay đổi tính chất vật lý của vật thể, các tính chất đó được sử dụng để thiết kế chế tạo các cảm biến nhiệt độ.

Quan hệ giữa nhiệt độ, áp suất và khối lượng đối với chất khí được miêu tả bằng phương trình Va-dec-val.

$$\left(p + \frac{a_1}{V}\right) (V - b_1) = R\theta \quad (9-1)$$

$V$  – khối lượng;  $p$  – áp suất;  $\theta$  – nhiệt độ;  $R$  – hệ số tỷ lệ.

Trong đó  $a_1$ ,  $b_1$  là hằng số phụ thuộc vào tính chất của vật chất, không phụ thuộc vào trạng thái và điều kiện mà các chất đi qua.

Khi thiết kế cảm biến nhiệt độ có thể sử dụng quan hệ giữa áp suất với nhiệt độ khi khối lượng không thay đổi hoặc quan hệ giữa khối lượng và nhiệt độ với áp suất không đổi. Trong thực tế khi đo nhiệt độ thường xảy ra với áp suất nhỏ và được miêu tả bằng phương trình Bertlo

$$pV = R\theta + p\left(b + \frac{a}{R\theta^2}\right) \quad (9-2)$$

$a$ ,  $b$ ,  $R$  là thông số đặc trưng cho chất đo nhiệt độ (chất khí, lỏng, vật rắn v.v...)

### 9-1-2. Cơ sở tính toán

Phương trình cơ bản của cảm biến nhiệt độ là phương trình cân bằng nhiệt.

$$Q_v = Q_t + Q_c \quad (9-3)$$

$Q_v$  – nhiệt lượng đưa vào cảm biến;  $Q_t$  – nhiệt lượng tỏa ra môi trường;  $Q_c$  – nhiệt lượng được duy trì ở cảm biến.

Trong trường hợp chung sự suy giảm nhiệt độ giữa các phần của hệ thống và môi trường là do sự trao đổi nhiệt. Sự trao đổi nhiệt có thể thực hiện do nhiệt dẫn, đối lưu và bức xạ nhiệt.

Nhiệt lượng toàn phần được biểu diễn bởi công thức

$$q_t = q_n + q_k + q_b \quad (9-4)$$

$q_n$  – nhiệt lượng do nhiệt dẫn;  $q_k$  – nhiệt lượng do đối lưu;  $q_b$  – nhiệt lượng do bức xạ

\* Nhiệt lượng do nhiệt dẫn được xác định bằng biểu thức.

$$q_n = \gamma_n \Delta\theta = \frac{1}{R_n} \Delta\theta \quad (9-5)$$

$\gamma_n$  – Hệ số nhiệt dẫn của môi trường;  $R_n$  – Độ cản nhiệt của môi trường;  $\Delta\theta$  – Hiệu nhiệt độ giữa vật và môi trường.

\* Nhiệt lượng do đối lưu theo công thức Newton ta có

$$q_k = \alpha_k S \Delta\theta = \gamma_k \Delta\theta. \quad (9-6)$$

$\alpha_k$  – Hệ số dẫn nhiệt;  $\Delta\theta$  – Hiệu nhiệt độ môi trường và vật dẫn;  $S$  – Tiết diện bề mặt vật;  $\gamma_k$  – Hệ số dẫn nhiệt do đối lưu.

\* Bức xạ nhiệt là dòng các sóng điện từ mà một vật hấp thụ năng lượng nhiệt toàn bộ hoặc 1 phần từ vật thể khác.

Nhiệt lượng do bức xạ được biểu diễn theo biểu thức

$$q_b = \alpha_b S \Delta\theta = \gamma_b \Delta\theta. \quad (9-7)$$

$\alpha_b$  – Hệ số bức xạ nhiệt khối;  $\gamma_b$  – Hệ số bức xạ nhiệt dẫn;  $S$  – Tiết diện bề mặt bức xạ.

### 9-1-3. Thang nhiệt độ

Đơn vị nhiệt độ được phân thành 3 thang đo (Bảng 9-1)

Bảng 9-1

Tên thang đo	Ký hiệu	Đơn vị	Quan hệ
Nhiệt độ bách phân (celsius)	t	$^{\circ}\text{C}$	1
Nhiệt độ nhiệt động tuyệt đối (Kelvin)	T	$^{\circ}\text{K}$	$T = t + 273,15$
Nhiệt độ Fahrenheit	f	$^{\circ}\text{F}$	$f = \frac{9}{5}t + 32 = 1,8t + 32$ $= 1,8T - 459,67$

### 9-2. Cảm biến nhiệt điện trở

#### 9-2-1. Khái niệm chung và phân loại

Nhiệt điện trở là loại cảm biến được phát hiện do Humphry (năm 1821), ông ta nhận thấy điện trở của một số kim loại thay đổi theo nhiệt độ và William Siemens là người đầu tiên sử dụng nhiệt kế nhiệt điện trở (1871), từ đó nhiệt điện trở được sử dụng rộng rãi để đo nhiệt độ và các đại lượng khác.

Tùy thuộc vào tác dụng nhiệt của dòng điện cung cấp chảy qua, người ta phân thành nhiệt điện trở bị đốt nóng và nhiệt điện trở không đốt nóng.

Với nhiệt điện trở không đốt nóng, dòng điện chảy qua rất nhỏ không làm tăng nhiệt độ của cảm biến do vậy nhiệt độ bằng nhiệt độ môi trường xung quanh.

Cảm biến được dùng đo nhiệt độ môi trường.

Trong cảm biến nhiệt điện trở đốt nóng, dòng điện qua cảm biến có trị số lớn làm cho nhiệt độ của bản thân lớn hơn nhiệt độ môi trường xung quanh. Sự trao đổi nhiệt giữa điện trở và môi trường được thực hiện do đối lưu, nhiệt dẫn hoặc bức xạ. Sự trao đổi nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố như kích thước hình học, trạng thái bề mặt, hình dáng, tính chất vật lý của cảm biến và môi trường xung quanh v.v...



Nhiệt điện trở loại này được ứng dụng đo các đại lượng, vật lý như tốc độ của lưu chất, nồng độ và mật độ chất khí. Ngoài cách phân loại trên, cảm biến nhiệt điện trở còn được phân loại theo cấu trúc của vật liệu như nhiệt điện trở kim loại, nhiệt điện trở bán dẫn.

### 9-2-2. Nhiệt điện trở kim loại

Nhiệt điện trở kim loại được chế tạo từ dây kim loại hoặc màng mỏng như Platin, Niken, đồng, Vonfram v.v... Để giảm tổn hao do nhiệt dẫn, chiều dài của dây cần lớn hơn đường kính dây gấp nhiều lần (lớn hơn 200 lần). Thông thường đường kính dây thay đổi từ  $0,02 \div 0,06\text{mm}$ .

Chiều dài  $l$  của dây từ 5-20mm đến 1000mm.

Điện trở của dây từ vài chục ôm đến hàng nghìn ôm.

Vật liệu chế tạo cần có hệ số nhiệt độ ( $\alpha$ ) lớn, bền hóa học với tác dụng của môi trường.

Điện trở suất ( $\rho$ ) lớn và chịu được nhiệt độ cao.

#### 1. Nhiệt điện trở đồng

Là loại cảm biến nhiệt độ được chế tạo bằng dây đồng. Dải làm việc của nhiệt điện trở đồng từ  $50^{\circ}\text{C} \div 180^{\circ}\text{C}$ . Phương trình biểu diễn quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ là:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad (9-8)$$

trong đó:  $\alpha$  – hệ số nhiệt độ.  $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} 1/^{\circ}\text{C}$  trong khoảng nhiệt độ từ  $0 \div 100^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  – nhiệt độ;  $R_0$  – điện trở tại  $0^{\circ}\text{C}$ .

Khi chưa biết giá trị  $R_0$  có thể sử dụng biểu thức

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{(\tau + t_2)}{(\tau + t_1)} \quad (9-9)$$

trong đó:  $R_{t_1}$ ;  $R_{t_2}$  – điện trở của cảm biến ứng với nhiệt độ  $t_1$  và  $t_2$ ;  $\tau = 1/\alpha$ ; – Hằng số;  $\tau = 234$ .

#### 2. Nhiệt điện trở Niken

Niken được sử dụng ở nhiệt độ cao hơn. Dải làm việc từ  $195^{\circ}\text{C} \div 260^{\circ}\text{C}$ .

Độ nhạy nhiệt cao. Điện trở của Niken ở 100°C lớn gấp 1,617 lần so với giá trị ở 0°C. Tính chất của Niken phụ thuộc nhiều vào tạp chất và quá trình nhiệt luyện.

Ưu điểm của Niken là điện trở suất cao (gấp 5 lần đồng).

Trong khoảng nhiệt độ từ 0°C ÷ - 100°C;  $\alpha_{Ni} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ .

Do hệ số nhiệt độ lớn cho phép chế tạo được cảm biến có kích thước nhỏ.

### 3. Nhiệt độ trở Platin

Platin có độ tinh khiết cao (99,99%) được chế tạo thành nhiệt điện trở dây.

Phương trình đặc trưng biểu diễn quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ khi đo ở dải nhiệt độ 0 ÷ 200°C là

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t - 100)^3) \quad (9-10)$$

Và 
$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (9-11)$$

Khi đo với dải nhiệt độ từ 0°C ÷ 650°C; A, B, C – là các hệ số

Đặc điểm của Platin có thể chịu được nhiệt độ cao (1200°C); Không bị ôxy hóa khi nóng chảy.

Đặc tính có dạng phi tuyến. Do độ bền hóa học cao, tính dẻo tốt có thể chế tạo thành sợi mỏng (đến 1,25 μm)

Nhược điểm của platin là không dùng được trong môi trường ôxy hóa khử.

Trong thực tế người ta thường sử dụng nhiệt điện trở platin được chế tạo dưới dạng chuẩn  $P_{100}$  để làm cảm biến đo nhiệt độ từ 0°C ÷ 100°C. Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ có đặc tính gần như tuyến tính

$$R_t = R_0(1 + \alpha)$$

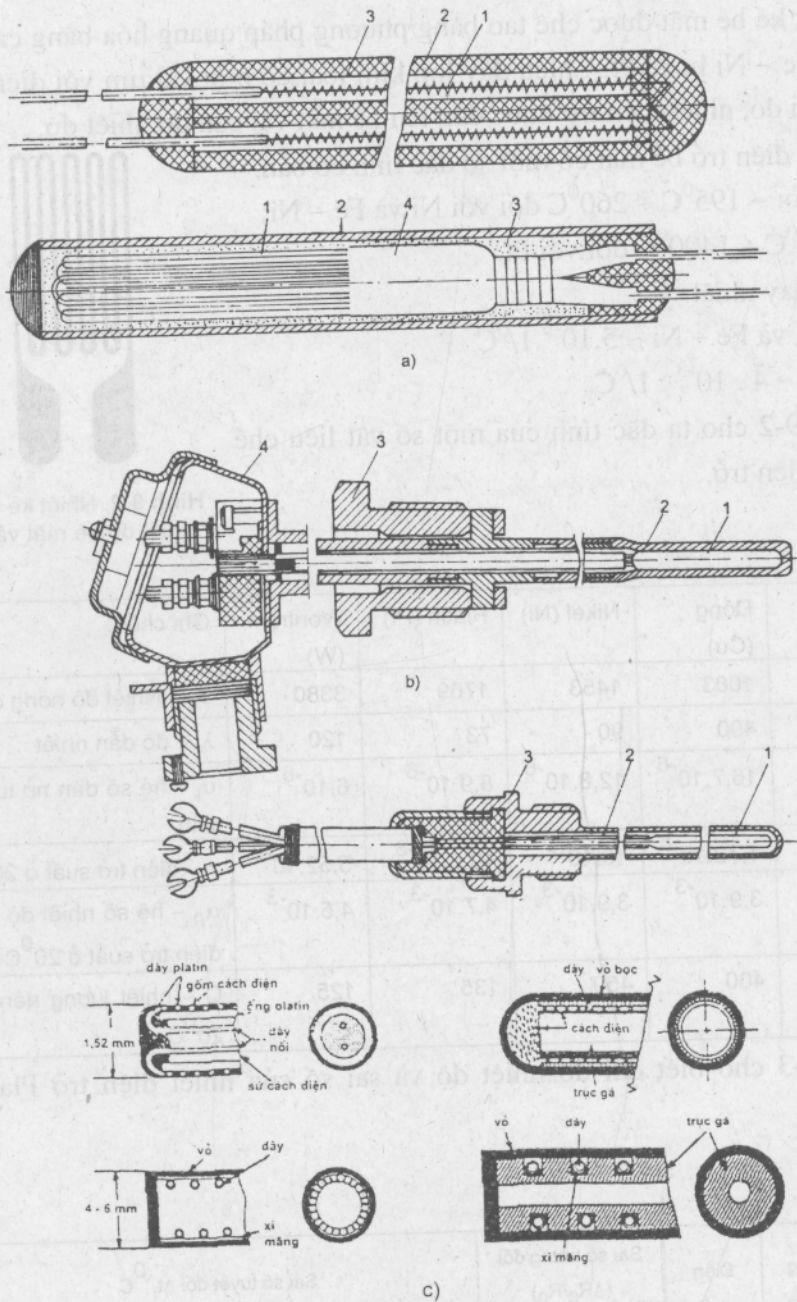
$$\alpha_{pt} \approx 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}.$$

### 9-2-3. Cấu tạo nhiệt kế nhiệt điện trở dây

Nhiệt điện trở dây có thể chế tạo theo nhiều cách.

- Quấn dây trên lõi cách điện chịu nhiệt cao (h9 – 1a)
- Chế tạo dưới dạng nhiệt điện trở công nghiệp (h9 – 1b,c)

Trong trường hợp muốn đo nhiệt độ trên bề mặt của vật rắn ta thường dùng nhiệt kế bề mặt (h. 9-2).



Hình 9-1.

a) Nhiệt điện trở dây quấn

- 1 – Dây nhiệt điện trở; 2 – Ống sứ cách điện  
2 – Bột oxít nhôm; 4 – Vỏ bọc

b) Nhiệt điện trở công nghiệp

- 1 – Dây nhiệt điện trở; 2 – Ống thép bảo vệ  
3 – Ổ đỡ; 4 – Hộp đầu ra

c) Nhiệt kế công nghiệp dùng điện trở Pt

3. BOB  
4. N. 3.



– 260<sup>0</sup>C ÷ 1400<sup>0</sup>C đối với Pt.

với Ni và Fe – Ni  $\sim 5.10^{-3}.1/^\circ\text{C}$

Bảng 9-2 cho ta đặc tính của một số vật liệu chế nhiệt điện trở.

**Hình 9.2. Nhiệt kế đo nhiệt độ bề mặt vật**

**Bảng 9.2**

Hệ số	Đồng (Cu)	Nikel (Ni)	Platin (Pt)	Wonfram (W)	Ghi chú
$T_c(^{\circ}\text{C})$	1083	1453	1769	3380	$T_c$ – Nhiệt độ nóng chảy
$\lambda_t(\text{W}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{m}^{-1})$	400	90	73	120	$\lambda_t$ – độ dẫn nhiệt
$\alpha_t(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$16,7 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$\alpha_t$ – hệ số giãn nở tuyến tính
$\rho(\Omega\text{m})$	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$5,52 \cdot 10^{-8}$	$\rho$ – điện trở suất ở $20^{\circ}\text{C}$
$\alpha_{\rho}(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$\alpha_{\rho}$ – hệ số nhiệt độ của điện trở suất ở $20^{\circ}\text{C}$
$C(\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{kg}^{-1})$	400	450	135	125	$C$ – nhiệt lượng riêng ở $20^{\circ}\text{C}$ .

Bảng 9-3 cho biết dải đo nhiệt độ và sai số của nhiệt điện trở Platin và Đồng

**Bảng 9-3**

Vật liệu dây	Khoảng nhiệt độ đo $^{\circ}\text{C}$	Điện trở $R_0(\Omega)$	Sai số tương đối $(\Delta R_0/R_0)$		Sai số tuyệt đối $\Delta t, ^{\circ}\text{C}$		
			Cấp I	Cấp II và III	Cấp I	Cấp II	Cấp III
Platin	0-650 -200÷0	10÷46 100	±0,05	±0,1	±(0,15±210 <sup>-3</sup> t) ±(0,15±4,5.10 <sup>-3</sup> t)	±0,3±4,5.10 <sup>-3</sup> t ±(0,3±3,5.10 <sup>-3</sup> t)	- -
Đồng	-50÷180	53; 100	± 0,05	±0,1	-	± (0,3±3,5.10 <sup>-2</sup>	±(0,3±6,10 <sup>-3</sup> t)

**9-2-4. Nhiệt điện trở bán dẫn:** (Thermistor) Là cảm biến được chế tạo từ một số ôxit kim loại khác nhau như  $MgO$ ;  $MgAl_2O_4$ ;  $Mn_2O_3$ ;  $Fe_3O_4$ ;  $Co_2O_3$ ;  $NiO$ ;  $ZnTiO_4$  v.v...

Chế tạo nhiệt điện trở bán dẫn bằng cách trộn các bột ôxit với nhau theo một tỷ lệ thích hợp sau đó nén định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ cao ( $1000^{\circ}C$ )

Dây dẫn được hàn tại hai điểm trên bề mặt và được phủ lớp kim loại.

Độ dẫn điện của nhiệt điện trở bán dẫn được tính bằng công thức

$$\sigma = q(\mu_n n + \mu_p \cdot p) \quad (9-12)$$

trong đó:  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  – độ linh động;  $n$ ,  $p$  – nồng độ điện tử và lỗ trống;  $q$  – điện tích ( $q = 1,6 \cdot 10^{-19}C$ ).

Đối với nhiệt điện trở bán dẫn, nhiệt độ ảnh hưởng chủ yếu đến nồng độ điện tích tự do ( $n$ ,  $p$ ). Sự thay đổi nhiệt độ làm đứt mối liên kết giữa các nguyên tử và dẫn đến hình thành các cặp điện tử, lỗ trống. Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ của nhiệt điện trở bán dẫn được biểu diễn bằng công thức:

$$R_T = R_{0exp} \left[ \beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (9-13)$$

trong đó:  $R_0$  – là điện trở ở nhiệt độ tuyệt đối  $T_0$ ;  $\beta$  – Hệ số nhiệt độ phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn

Độ nhạy nhiệt của cảm biến

$$\alpha_R = -\frac{\beta}{T^2} \quad (9-14)$$

$$\beta = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (9-14')$$

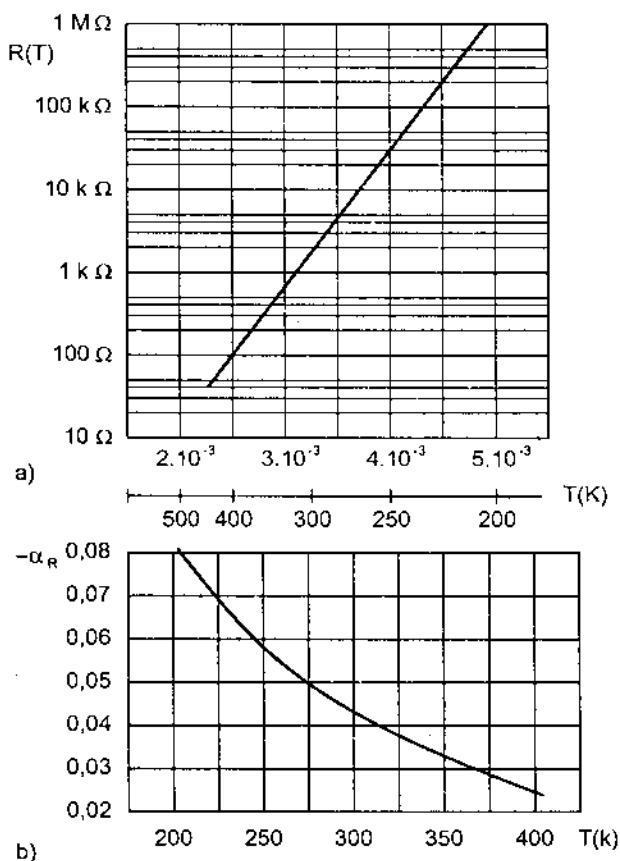
$T_1$  – nhiệt độ tương ứng với  $R_1$ .

$T_2$  – nhiệt độ tương ứng với  $R_2$ .

Ưu điểm của nhiệt điện trở bán dẫn là có độ nhạy nhiệt cao. Giải đo nhiệt độ từ vài độ  $^{\circ}K \div 300^{\circ}C$ .

Điện trở thay đổi từ  $50 \Omega \div 100 \Omega$  và có thể tới  $500 \Omega$  tùy thuộc vào nhiệt độ đo. Nhược điểm của điện trở bán dẫn là đặc tính nhiệt có độ phi tuyến cao, khó khắc độ.

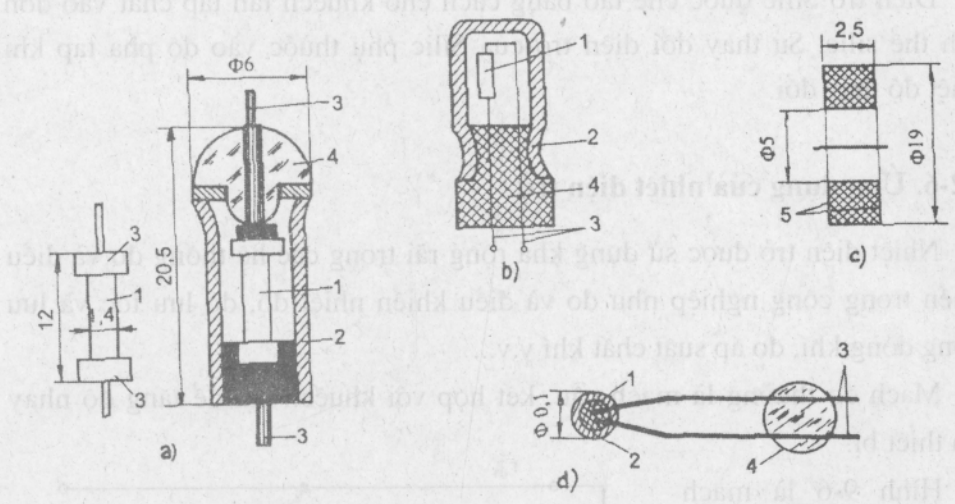
Hình 9-3 biểu diễn đặc tính của một loại nhiệt điện trở tương ứng với  $B = 320K \div 4200K$  và hình 9-4 là cấu tạo của một số loại nhiệt điện trở bán dẫn thường gặp với các thông số cơ bản (Bảng 9-4)



Hình 9-3. Các đặc tính của một nhiệt điện trở:  
a) Điện trở; b) Độ nhạy nhiệt

Bảng 9-4

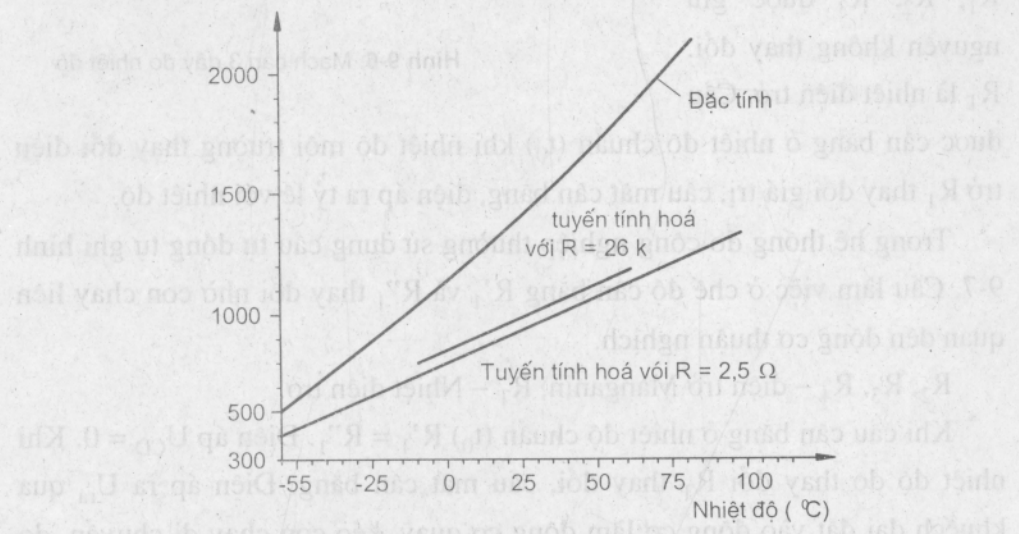
Loại NDT	Hệ số nhiệt điện trở % trên $1^{\circ}C$	Điện trở ban đầu	Nhiệt độ làm việc lớn nhất $^{\circ}C$	Hằng số thời gian (s)	Lĩnh vực ứng dụng
MMT-1;4 KHT-1;4	-2,4÷3,4	1-200	+200	85÷115	Đo nhiệt độ
MMT-9	-2,4÷-3,4	0,01 ÷ 5	+ 120	85 - 115	Hiệu chỉnh nhiệt độ
KMT-10	-4,5÷ -60	0,5 ÷ 3	+120	-	Đo nhiệt độ



Hình 9-4. Nhiệt điện trở bán dẫn

9-2-5. Điện trở Silic có đặc điểm khác với các chất bán dẫn khác là hệ số nhiệt độ có giá trị dương cỡ  $0,7\%/^{\circ}\text{C}$  ở  $25^{\circ}\text{C}$ . Đặc tính nhiệt độ tuyến tính trong giải làm việc (h9-5) khi mắc thêm điện trở (song song hoặc nối tiếp).

Dải nhiệt độ làm việc từ  $-50^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$ .



Hình 9-5. Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở silic

Điện trở Silic được chế tạo bằng cách cho khuếch tán tạp chất vào đơn tinh thể silic. Sự thay đổi điện trở của Silic phụ thuộc vào độ pha tạp khi nhiệt độ thay đổi.

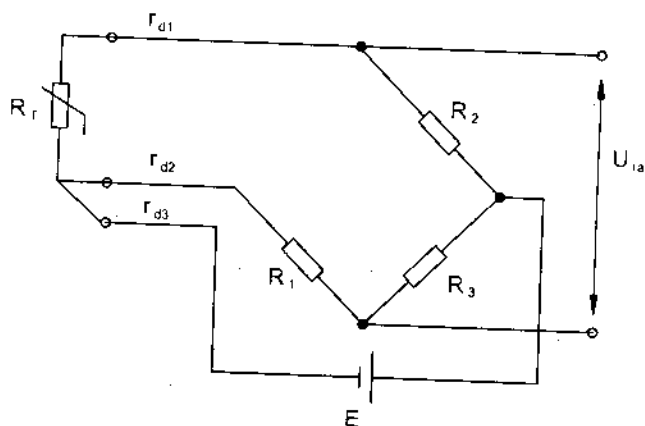
### 9-2-6. Ứng dụng của nhiệt điện trở

Nhiệt điện trở được sử dụng khá rộng rãi trong các hệ thống đo và điều khiển trong công nghiệp như đo và điều khiển nhiệt độ, đo lưu tốc và lưu lượng dòng khí, đo áp suất chất khí v.v...

Mạch đo thường là mạch cầu, kết hợp với khuếch đại để tăng độ nhạy của thiết bị.

Hình 9-6 là mạch đo thường dùng trong công nghiệp.

Để tránh sai số đo nhiệt độ môi trường thay đổi người ta sử dụng mạch cầu 3 dây trong đó các điện trở  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  được giữ nguyên không thay đổi.  $R_T$  là nhiệt điện trở. Cầu



Hình 9-6. Mạch cầu 3 dây đo nhiệt độ

được cân bằng ở nhiệt độ chuẩn ( $t_0$ ) khi nhiệt độ môi trường thay đổi điện trở  $R_T$  thay đổi giá trị, cầu mất cân bằng, điện áp ra tỷ lệ với nhiệt độ.

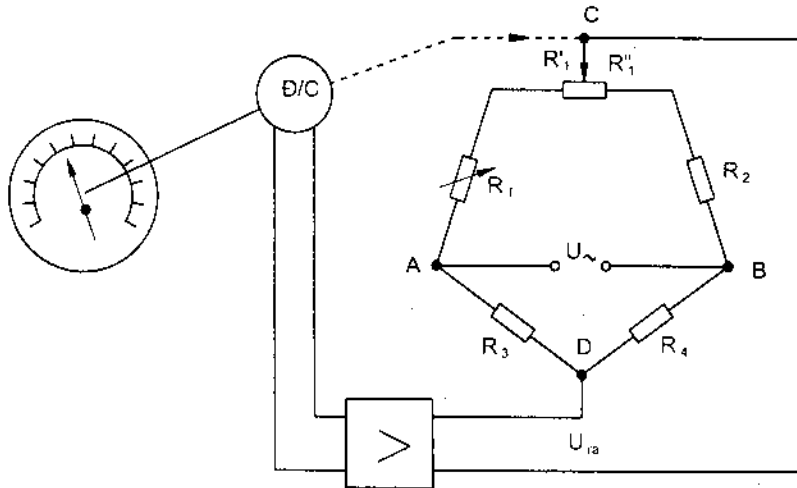
Trong hệ thống đo công nghiệp thường sử dụng cầu tự động tự ghi hình 9-7. Cầu làm việc ở chế độ cân bằng  $R'_1$  và  $R''_1$  thay đổi nhờ con chạy liên quan đến động cơ thuận nghịch.

$R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  – điện trở Manganin.  $R_T$  – Nhiệt điện trở.

Khi cầu cân bằng ở nhiệt độ chuẩn ( $t_0$ )  $R'_1 = R''_1$ . Điện áp  $U_{CD} = 0$ . Khi nhiệt độ đo thay đổi  $R_T$  thay đổi, cầu mất cân bằng. Điện áp ra  $U_{ra}$  qua khuếch đại đặt vào động cơ làm động cơ quay, kéo con chạy di chuyển, do đó  $R'_1 \neq R''_1$  cho đến khi cầu cân bằng trở lại.



Chỉ thị được khắc độ theo nhiệt độ hoặc tự ghi trên băng giấy. Sai số đạt  $\pm 0,5\%$ .



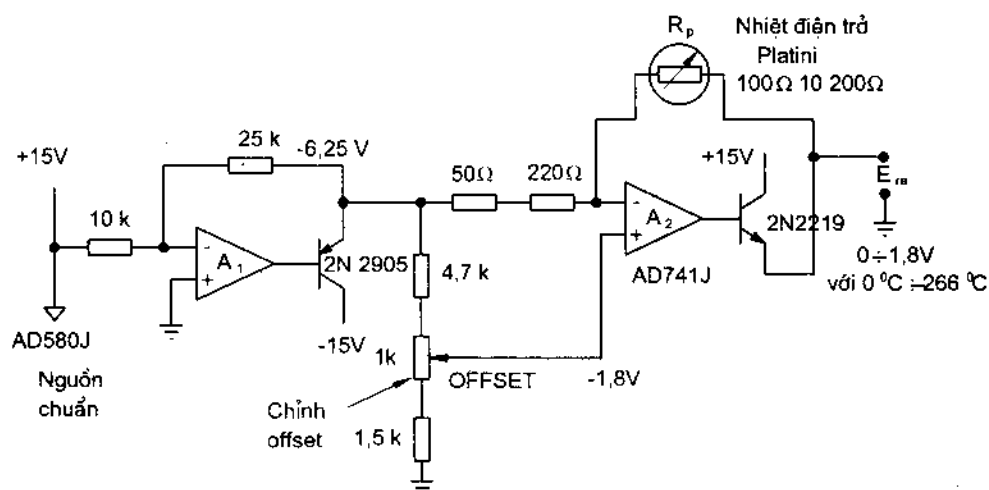
Hình 9-7. Cầu cân bằng tự động đo nhiệt độ

Hình 9-8a mô tả sơ đồ nguyên lý mạch đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở. Nguồn cung cấp cho mạch là một nguồn chuẩn AD580J có điện áp ra 2,5V qua khuếch đại AD741J và Tranzito 2N2905 điện áp ra trên mạch gánh Emitto chuẩn 6,2V.

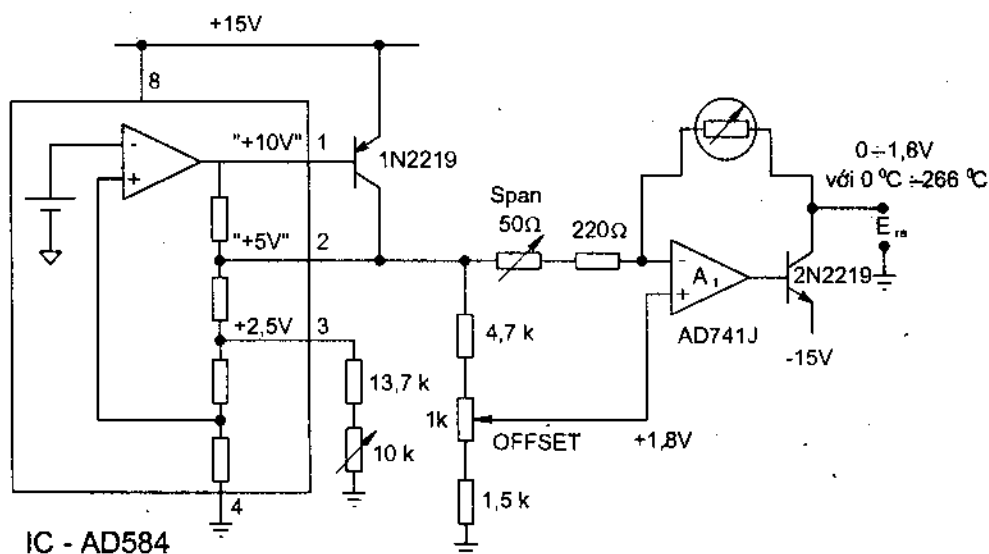
Nhiệt điện trở Platin  $R_T = 100\Omega \div 200\Omega$  được sử dụng làm mạch phản hồi cho AD741J và 2N2219.

Khi nhiệt độ đo thay đổi,  $R_T$  thay đổi và điện áp ra thay đổi từ 0 ÷ 1,8V tương ứng với 0 ÷ 266<sup>0</sup>C.

Hình 9-8b là sơ đồ nguyên lý của mạch đo trên nhưng có thể hiệu chỉnh được điện áp ra với IC – AD584.



a)



b)

**Hình 9-8.** Sơ đồ nguyên lý mạch đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở  
a) Nguồn cung cấp cố định; b) Nguồn cung cấp thay đổi được

## 9-3. Cặp nhiệt điện

### 9-3-1. Nguyên lý hoạt động

Cặp nhiệt điện là loại cảm biến nhiệt, nguyên lý hoạt động dựa trên hiệu ứng Peltier, Thomson và Seebeck.

\* *Hiệu ứng Peltier:*

Hai dây dẫn A và B khác nhau, tiếp xúc với nhau và có cùng một nhiệt độ (hình 9-9) sẽ tạo nên một hiệu điện thế tiếp xúc. Hiệu điện thế phụ thuộc vào bản chất vật dẫn và nhiệt độ.

$$U_{A/B} = V_M - V_N. \quad (9-15)$$

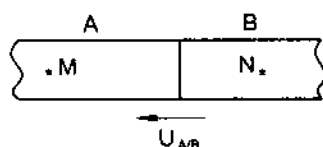
\* *Hiệu ứng Thomson:*

Trong một vật dẫn đồng nhất A.

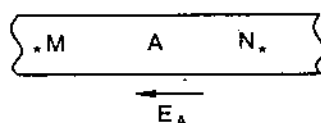
Nếu ở hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau (hình 9-10) sẽ sinh ra một sức điện động. Sức điện động này phụ thuộc vào bản chất vật dẫn và nhiệt độ tại hai điểm :

$$E_A = \int_{T_N}^{T_M} \sigma_A \cdot dT. \quad (9-16)$$

$\sigma_A$  – Hệ số Thomson.



Hình 9-9

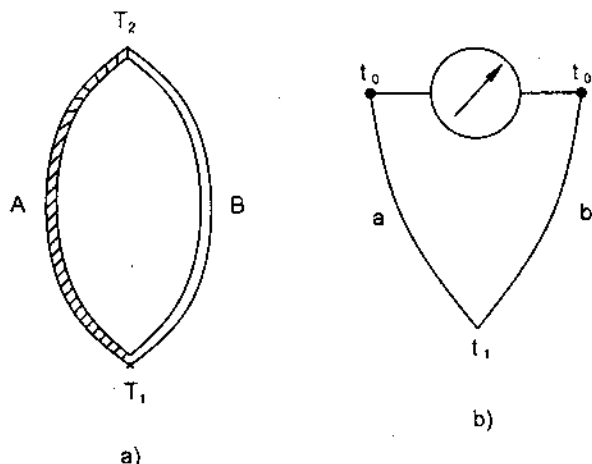


Hình 9-10

\* *Hiệu ứng Seebeck :*

Nếu có một mạch kín tạo thành từ 2 vật dẫn A, B và hai đầu chuyển tiếp có nhiệt độ khác nhau  $T_1$  và  $T_2$ .

Chúng tạo thành một cặp nhiệt điện và có sức điện động do kết quả của hai hiệu ứng Peltier và Thomson và gọi là sức điện động Seebeck (hình 9-11a).



Hình 9-11

$$E_{AB}(T_1, T_2) = E_{AB}(T_1) + E_{BA}(T_2) + \int_{T_1}^{T_2} (\sigma_A - \sigma_B) dT \quad (9-17)$$

Sức điện động này chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ  $T_1$  và  $T_2$  và có thể biểu diễn dưới dạng

$$E_{AB}(T_1, T_2) = E_{AB}(T_1) - E_{AB}(T_2) \quad (9-18)$$

Khi một đầu tiếp xúc giữ nhiệt độ ổn định (ví dụ  $T_2 = C$ ) và đầu kia ( $T_1$ ) đặt ở môi trường có nhiệt độ thay đổi.

Sức điện động sẽ là hàm số của nhiệt độ  $T_1$

$$E_{AB}(T_1, T_2) = E_{AB}(T_1) + C. \quad (9-19)$$

trong đó:  $C$  – Hằng số;  $T_1$  – Nhiệt độ đầu làm việc;  $T_2$  – Nhiệt độ đầu tự do (môi trường).

Hình 9-12b là sơ đồ của cặp nhiệt kế nhiệt ngẫu

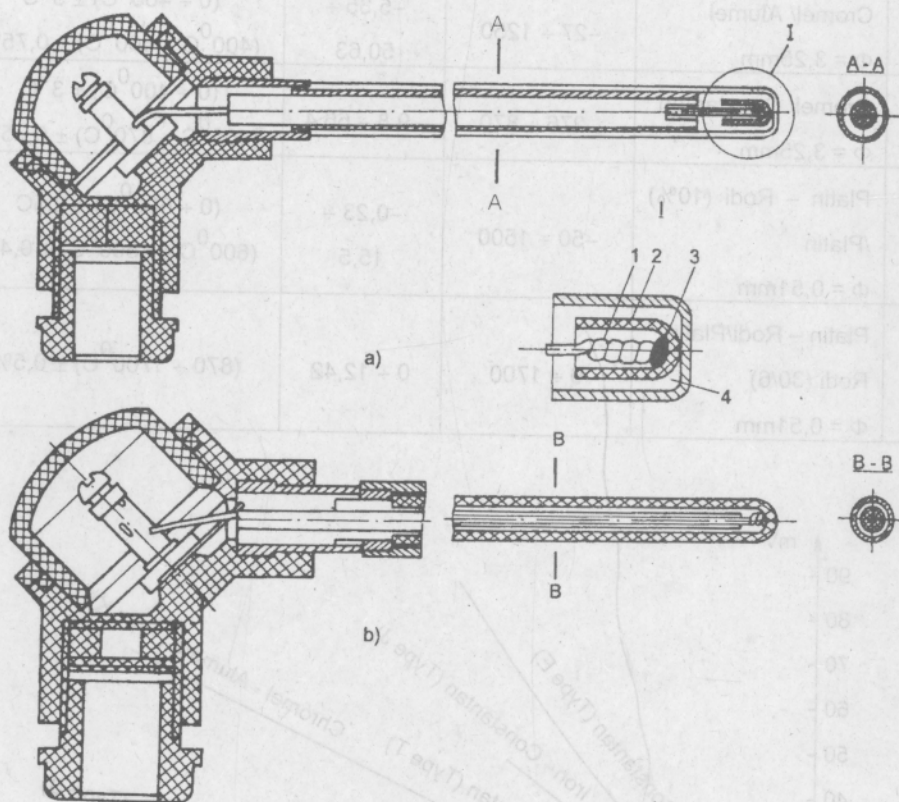
### 9-3-2. Vật liệu chế tạo cặp nhiệt

Vật liệu chế tạo cặp nhiệt cần có sức điện động nhiệt điện lớn, giữ được độ bền khi bị đốt nóng ở nhiệt độ cao, điện dẫn lớn, hệ số nhiệt độ nhỏ, có tính chất nhiệt độ ổn định.

Đặc tính  $E_0 = f(T)$  đơn trị, có khả năng chống được ôxy hóa ở nhiệt độ làm việc. Vật liệu chế tạo cặp nhiệt có tính đồng nhất và có thành phần ổn định.

Khi chế tạo cặp nhiệt cần tránh gây nên sai số do sức điện động nhiệt ký sinh do dây gấp khúc, mối hàn có kích thước lớn v.v.....

Dây cặp nhiệt được đặt trong ống sứ cách điện, bên ngoài là một lớp vỏ bọc kín. Vỏ thường được làm bằng thép như hình 9-12.



Hình 9-12. Một số dạng khác nhau của cặp nhiệt điện  
1-2- Hai dây của cặp nhiệt; 3- Đầu hàn; 4 - Ống cách điện.

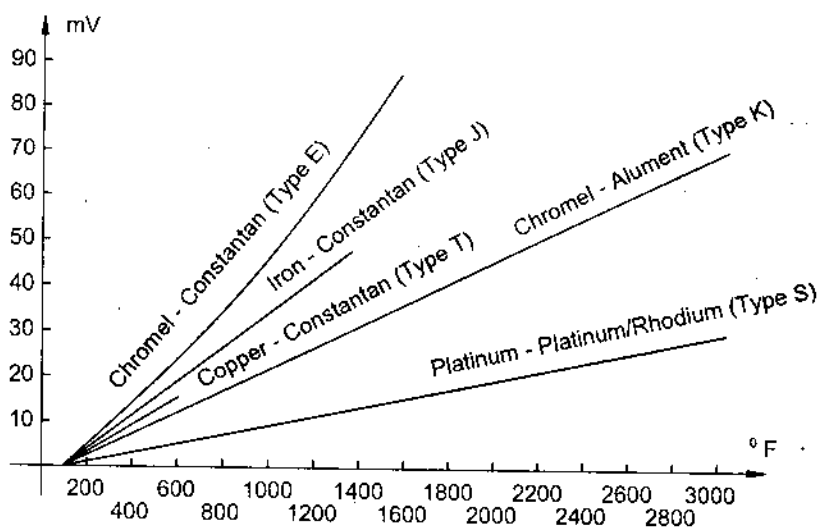
### 9-3-3. Các loại cặp nhiệt thường dùng

Trong thực tế mỗi loại cặp nhiệt làm việc với một dải nhiệt độ nhất định tùy thuộc loại vật liệu sử dụng và kích thước của dây. Hình 9-12 là một số loại cặp nhiệt dùng trong công nghiệp và hình 9-13 là đặc tính của một số cặp nhiệt.

Bảng 9-4 liệt kê một số loại cặp nhiệt thường gặp.

**Bảng 9-4**

Loại	Cặp nhiệt	Dải nhiệt độ làm việc	Sức điện động (mV)	Độ chính xác
T	Đồng/ Constantan $\Phi = 1,63\text{mm}$	$-270 \div 370$	$-6,25 \div 19$	$(-40^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}) \pm 0,8\%$ $(100^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}) \pm 0,75\%$
K	Cromel/ Alumel $\Phi = 3,25\text{mm}$	$-27 \div 1250$	$-5,35 \div 50,63$	$(0 \div 400^{\circ}\text{C}) \pm 3^{\circ}\text{C}$ $(400^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}) \pm 0,75\%$
E	Cromel/ Constantan $\Phi = 3,25\text{mm}$	$-276 \div 870$	$-9,8 \div 66,4$	$(0 \div 400^{\circ}\text{C}) \pm 3^{\circ}\text{C}$ $(400^{\circ}\text{C} \div 870^{\circ}\text{C}) \pm 0,75\%$
S	Platin – Rodi (10%) /Platin $\Phi = 0,51\text{mm}$	$-50 \div 1500$	$-0,23 \div 15,5$	$(0 \div 600^{\circ}\text{C}) \pm 2,5\text{C}$ $(600^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}) \pm 0,4\%$
B	Platin – Rodi/Platin Rodi (30/6) $\Phi = 0,51\text{mm}$	$0 \div 1700$	$0 \div 12,42$	$(870 \div 1700^{\circ}\text{C}) \pm 0,5\%$



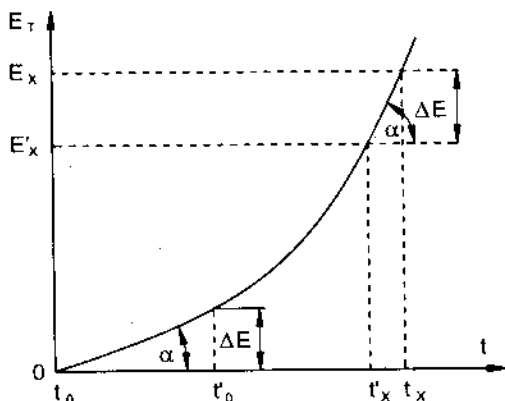
**Hình 9-13. Đặc tính của một số cặp nhiệt**

### 9-3-4. Các nguyên nhân gây sai số và cách khắc phục

#### 1. Sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi

Bình thường cặp nhiệt được khắc độ ở nhiệt độ chuẩn  $0^{\circ}\text{C}$ . Khi sử dụng, đầu tự do đặt ở môi trường bên ngoài khác với nhiệt độ chuẩn, do vậy gây nên sai số trong quá trình đo. Để khắc phục sai số trên có thể thực hiện bằng một số phương pháp sau:

\* *Hiệu chỉnh hệ số K* trên từng đoạn của đường cong đặc tính ( $E^0 = f(t)$ ). Hình 9-14 là đường đặc tính  $E_0 = f(t)$  với nhiệt độ chuẩn  $0^{\circ}\text{C}$ .



Hình 9-14. Đặc tính  $E_T = f(t)$

Khi đo nếu nhiệt độ môi trường  $t'_0 > t_0$  (nhiệt độ chuẩn) lúc đó  $E_0(t, t'_0)$  sẽ nhỏ hơn  $E_0(t, t_0)$  một lượng :

$$\Delta E = E_0(t, t_0) - E_0(t, t'_0). \quad (9-20)$$

Từ hình 9-14 ta có:

$$(t - t') = (t'_0 - t_0) \frac{\text{tg} \alpha}{\text{tg} \alpha'} = (t'_0 - t_0) K \quad (9-21)$$

$K$  – hệ số:

$$K = \frac{\text{tg} \alpha}{\text{tg} \alpha'} \quad (9-22)$$

ở mỗi đoạn đường cong có hệ số  $K$  khác nhau.

Trong quá trình khắc độ, đường cong được phân thành nhiều đoạn ứng với mỗi đoạn  $100^{\circ}\text{C}$ .

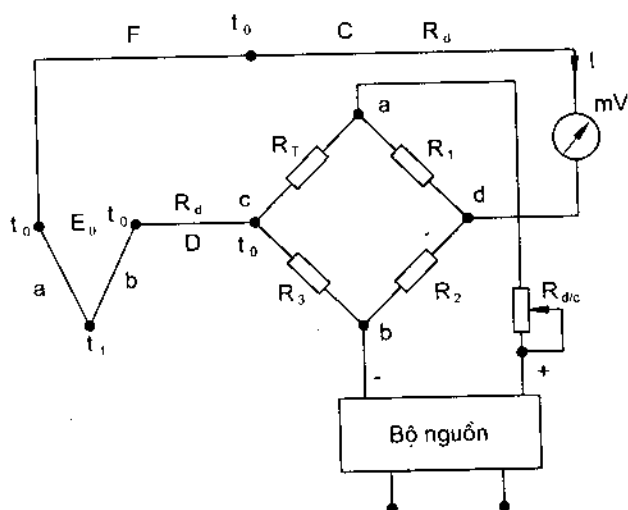
Các hệ số  $K$  được lập bảng.

$K = 0,8 \div 1$  với cặp nhiệt thường;

$K = 0,5 \div 0,6$  ở cặp nhiệt quý.

*\* Dùng thiết bị hiệu chỉnh tự động.*

Để hiệu chỉnh có thể thực hiện nhờ mạch cầu hình 9-15 trong đó 3 nhánh là các điện trở cố định và không thay đổi khi nhiệt độ thay đổi, thường là manganin. Nhánh thứ 4 là một nhiệt điện trở (đồng hoặc Niken). Mạch cầu được cân bằng ở  $0^{\circ}\text{C}$  và mắc với đầu tự do của cặp nhiệt. Khi nhiệt độ môi trường thay đổi, điện trở  $R_T$  của nhánh 4 thay đổi, cầu mất cân bằng và trên đường chéo cầu c, d suất hiện điện áp  $\Delta U$ . Điện áp này bù vào  $\Delta E$  bị giảm khi môi trường có nhiệt độ  $t_0' > 0^{\circ}\text{C}$ .



Hình 9-15. Sơ đồ mạch đo của cặp nhiệt ngẫu

**2. Sai số do điện trở dây nối thay đổi**

Đường dây nối cặp nhiệt từ vị trí đo đến thiết bị đo thường ở khoảng cách  $5 \div 10\text{m}$ . Các dây nối có điện trở  $R_d$  (hình 9-15) dòng điện  $I$  đi qua mạch điện

$$I = \frac{E_0}{R_v + R_{ND} + R_d} \quad (9-23)$$

trong đó:  $E_0$  – sức điện động;  $R_v$  – điện trở của thiết bị đo (mV);  $R_{ND}$  – điện trở cặp nhiệt;  $R_d$  – điện trở dây nối.

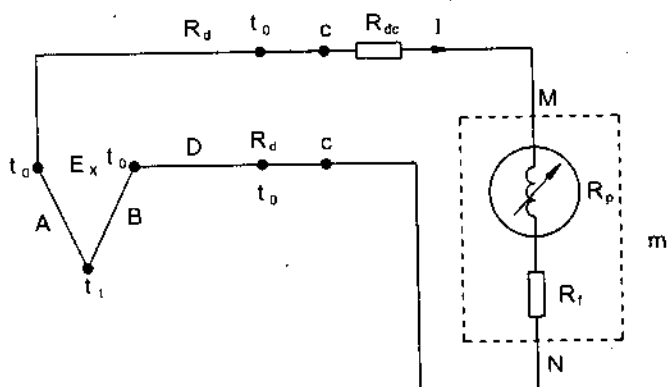
Điện áp rơi trên thiết bị đo:

$$U_v = E_0 - I(R_{ND} + R_d) = \frac{E_0}{R_v + R_{ND} + R_d} \cdot R_v$$

$$U_v = \frac{E_0}{1 + \frac{R_{ND} + R_d}{R_v}} \quad (9-24)$$



Từ (9-25) ta thấy rằng  $R_{ND} + R_d$  không được thay đổi khi nhiệt độ thay đổi. Thông thường  $R_{ND} + R_d$  được quy chuẩn  $5\Omega \div 10\Omega$ .



Hình 9-16. Đo nhiệt độ bằng milivonmét

Để đạt được độ chính xác cao trong quá trình đo  $R_v$  cần lớn hơn  $40 \div 50$  lần điện trở  $R_{ND} + R_d$ .

Ngoài các sai số trên còn có các sai số do đặt vị trí không đúng, diện tiếp xúc quá nhỏ v.v...

Những sai số trên có thể khắc phục dựa trên các bản chỉ dẫn trong quá trình lắp đặt.

### 9-3-5. Ứng dụng của cặp nhiệt

Cặp nhiệt được ứng dụng rất nhiều trong các hệ thống tự động hóa quá trình công nghiệp như đo nhiệt độ, đo áp suất nhỏ ( $10^{-3} \div 10^{-4}$  mmHg), đo tốc độ dòng khí v.v...

Như đã nói ở trên, khi đo nhiệt độ, sức điện động phụ thuộc vào sự thay đổi của nhiệt độ, vì vậy để đo sức điện động có thể thực hiện một số phương pháp sau:

#### 1. Đo sức điện động bằng milivon mét như hình 9-15

Trong đó để tránh sai số khi nhiệt độ môi trường khác với nhiệt độ khác độ người ta mắc thêm hộp bù nhiệt độ.

Điện áp đo ở 2 đầu milivonmét.

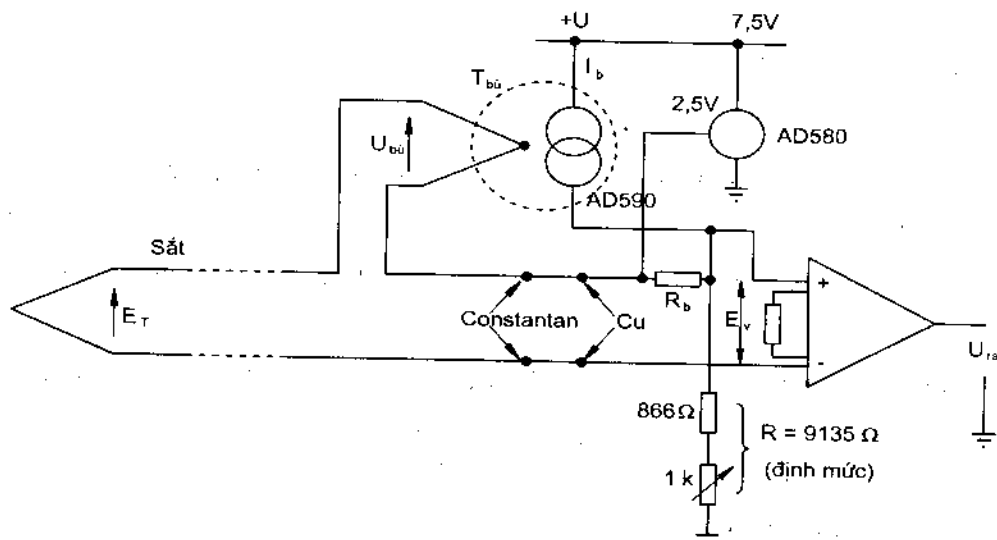
$$U_v = \frac{E_\theta}{R_l + R_d + R_v} \cdot R_v$$

$$U_\theta = U_v \left( 1 + \frac{R_l + R_d}{R_v} \right) \quad (9-25)$$

yêu cầu  $R_v \gg R_l + R_d$ ;  $R_v$  – điện trở milivon.

Hình 9-17 là sơ đồ đo nhiệt độ với cặp nhiệt sắt – constantan có bù nhiệt độ với mạch bù AD590 trong dải nhiệt độ môi trường  $15 \div 35^\circ\text{C}$ .

Với sơ đồ trên sai số bù có thể đạt tới  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .



Hình 9-17. Sơ đồ nguyên lý đo nhiệt độ với cặp nhiệt sắt – constantan;

$R_b$  thay đổi tùy theo loại cặp nhiệt

Loại	$R_b$
J	52,3Ω
K	41,2Ω
E	61,4Ω
T	40,2Ω
S, R	57,6Ω

Nhiệt độ bù

$$15^\circ\text{C} < T_{\text{bù}} < 35^\circ\text{C}$$

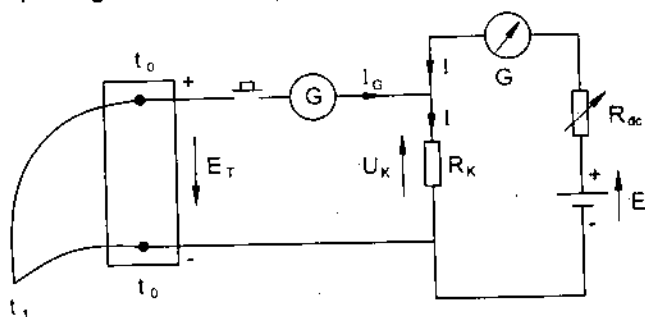
$$E_v = E_T - U_\theta + \frac{52,3\Omega \cdot I_b}{1 + \frac{52,3\Omega}{R}} = 2,5\text{c} \approx E_T$$

$$I_b = 273\mu\text{A}$$

## 2. Đo bằng phương pháp bù

Hình 9-18 là sơ đồ đo bằng phương pháp bù, trong đó điện áp  $U_k$  mắc xung đối với sức điện động cần đo. Điện áp  $U_k$  được điều chỉnh sao cho dòng điện đi qua điện kế G bằng 0 ta có  $E_l = R_k I$ . Với E là nguồn ổn định,  $R_k$  điện trở chuẩn có độ chính xác cao, phép đo sẽ đạt được độ chính xác.

Trong các ngành công nghiệp hiện nay người ta còn sử dụng các điện thế kế tự động tự ghi để đo  $E_l$ . Phương pháp này rất thuận lợi có thể đo và theo dõi nhiệt độ trong một thời gian dài và liên tục.



Hình 9-18. Đo nhiệt độ bằng phương pháp bù

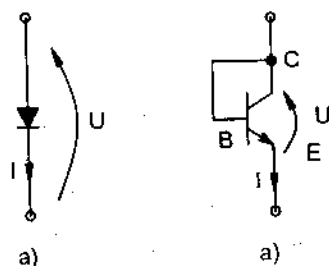
## 9-4. Cảm biến vi mạch bán dẫn đo nhiệt độ

Linh kiện điện tử rất nhạy cảm với nhiệt độ, do đó ta có thể sử dụng một số linh kiện bán dẫn như diốt hoặc Tranzito nối theo kiểu diốt (hình 9-19).

Khi đó điện áp giữa 2 cực colector và Emittơ là hàm của nhiệt độ. Độ nhạy nhiệt của diốt hoặc tranzito được xác định theo biểu thức:

$$S = \frac{dU}{dT} \quad (9-26)$$

Độ nhạy có giá trị  $-2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .



Hình 9-19. Cảm biến vi mạch bán dẫn  
a) Diốt ; b) Tranzito.

Để tăng độ tuyến tính, độ ổn định và khả năng thay thế người ta mắc theo sơ đồ hình 9-20.

Khi nhiệt độ thay đổi ta có :

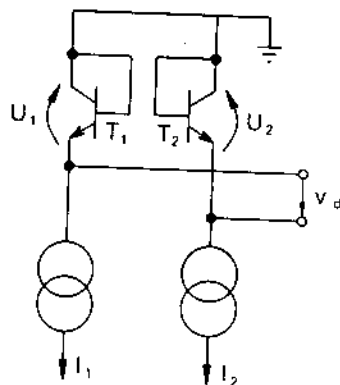
$$U_d = U_1 - U_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{c1}}{I_{c2}} \quad (9-27)$$

với  $\frac{I_{c1}}{I_{c2}} = \text{const}$  thì  $U_d$  tỷ lệ với nhiệt độ  $T$  mà

không cần nguồn ổn định

$$\text{Độ nhạy } S = \frac{d(U_1 - U_2)}{dT} \quad (9-28)$$

$K$  – hệ số;  $T$  – nhiệt độ  $k$ ;  $q$  – điện tích;  $I_{c1}$ ,  $I_{c2}$  – dòng Colector. Bảng 9-5 là một số cảm biến nhiệt dựa trên bán dẫn Tranzito đo nhiệt độ.



Hình 9-20. Sơ đồ mạch IC đo nhiệt độ

Bảng 9-5

Loại	Độ nhạy	Dải đo	Sai số
AD592CN	$1 \mu A/^{\circ}K$	$-25^{\circ}C + 105^{\circ}C$	$0,3^{\circ}C$
LM35	$\pm 10mV/^{\circ}K$	$-55^{\circ}C + 15^{\circ}C$	$\pm 0,25^{\circ}C$
MMB – TS102	$-2,25V/^{\circ}K$	$-40^{\circ}C + 150^{\circ}C$	$\pm 2^{\circ}C$
REF – 02A	$-2,25V/^{\circ}K$	$-40^{\circ}C + 150^{\circ}C$	$\pm 2^{\circ}C$
LM 135 và 235	$-0,02mV/^{\circ}C$	$-55^{\circ}C + 150^{\circ}C$	$\pm 0,5^{\circ}C$
LM 335, 335A	$0,02mV/^{\circ}C$	$-55^{\circ}C + 120^{\circ}C$	$\pm 0,5^{\circ}C$

Hình 9-21 là một vài ứng dụng của cảm biến vi mạch đo nhiệt độ.

Hình 9-21a là sơ đồ ứng dụng cảm biến LM335 đo nhiệt độ.

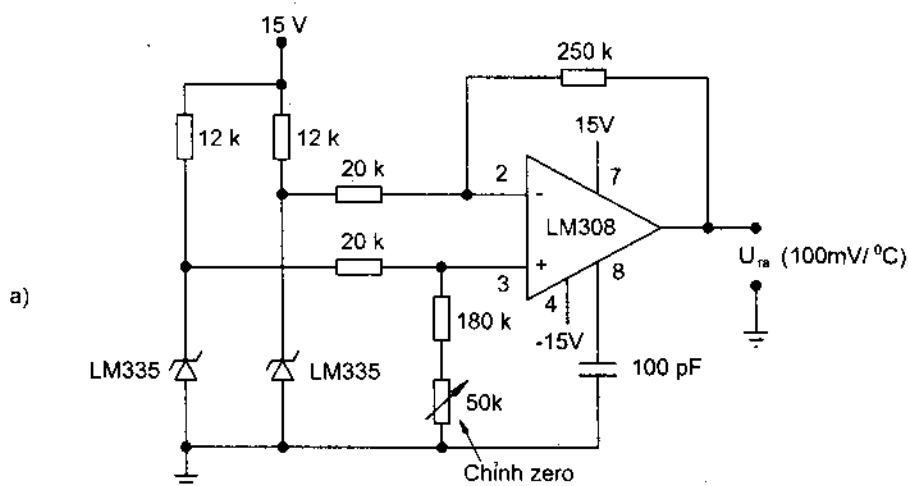
Hai cảm biến LM335 và hai điện trở  $12k\Omega$  được mắc thành mạch cầu với nguồn cung cấp 15V. Biến trở  $50K$  dùng hiệu chỉnh “0” ban đầu.

Điện áp ra của mạch cầu được đưa vào khuếch đại LM 308.

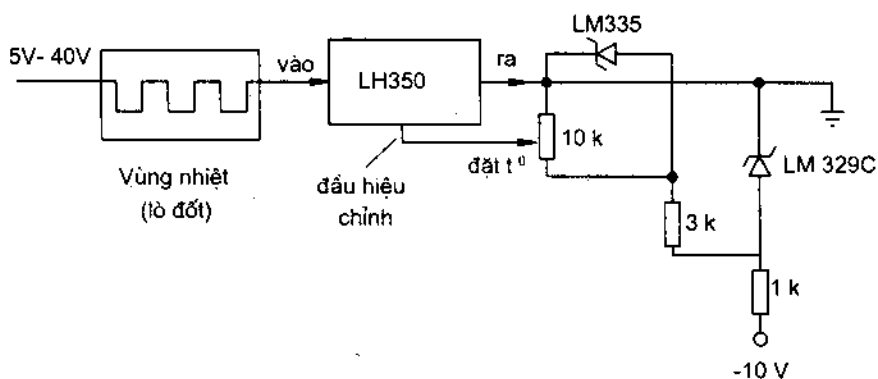
Khi đó, do nhiệt độ ở hai cảm biến khác nhau, cầu mất cân bằng. Tín hiệu ra được khuếch đại và đưa vào chỉ thị.

Hình 9-21b là sơ đồ đơn giản để điều khiển nhiệt độ bằng nhiệt điện trở LM335.

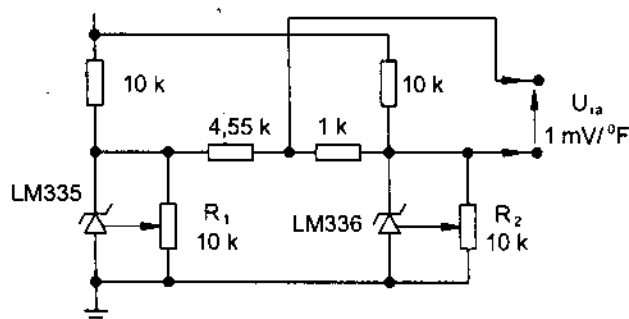
Hình 9-21c biểu diễn sơ đồ của nhiệt kế Fahrenheit ứng dụng nhiệt điện trở LM335 và LM336.



Hình 9-21a. Cảm biến nhiệt độ mắc vi sai (LM335)



Hình 9-21b. Sơ đồ điều khiển nhiệt độ của 1 lò đốt đơn giản



Hình 9-21c. Sơ đồ nhiệt kế Fahrenheit ứng dụng LM335 và LM336

$R_2$  – điều chỉnh cho điện áp rơi trên LM336 là 2,554V

$R_1$  – điều chỉnh để  $U_{ra}$  đạt độ chính xác

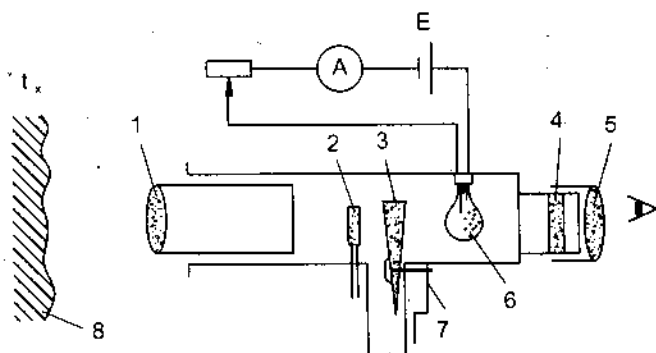
## 9-5. Đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc

### 9-5-1. Hỏa kế quang học

Đây là phương pháp dựa trên định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối. Bức xạ nhiệt của mọi vật được đặc trưng bằng mật độ phổ  $E_\lambda$ , đó là số năng lượng bức xạ trong một đơn vị thời gian với một đơn vị diện tích của vật và xảy ra trên một đơn vị độ dài sóng. Quan hệ đó được biểu diễn bằng biểu thức :

$$E_\lambda = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \quad (9-29)$$

$\lambda$  – độ dài sóng;  $T$  – nhiệt độ tuyệt đối;  $C_1, C_2$  – hằng số  
Hình 9-22 là cấu tạo của một hỏa kế quang học

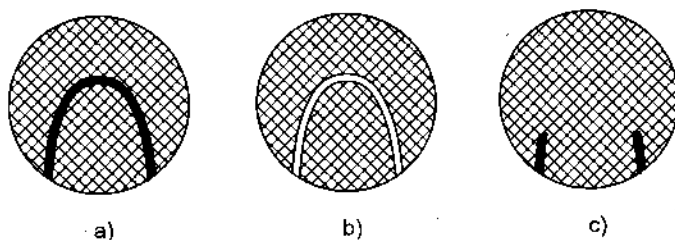


Hình 9-22. Sơ đồ hỏa kế quang học

Ống ngắm gồm kính vật 1, thị kính 5 qua đó có thể ngắm được đối tượng đo 8. Trước thị kính 5 có bộ lọc ánh sáng đỏ 4, sợi đốt 6 của bóng đèn chuẩn được ngắm trực tiếp. Cường độ sáng của đối tượng đo 8 được chắn và làm yếu đi nhờ bộ chắn quang học 3. Góc quay của bộ chắn 3 tương ứng với cường độ sáng được tính bằng thang 7.

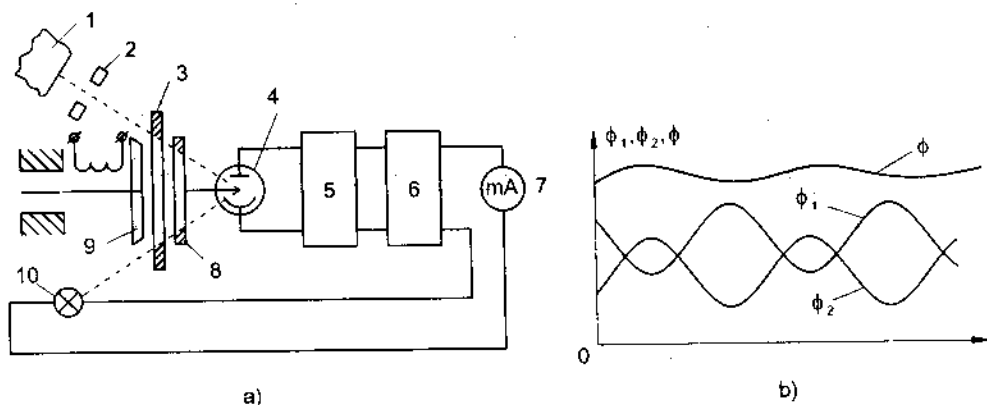
Sau bộ chắn quang là bộ lọc ánh sáng 2. Cường độ sáng của đối tượng đo và đèn sợi đốt được so sánh bằng mắt. Nếu cường độ sáng đối tượng đo lớn hơn độ sáng của sợi đốt ta sẽ thấy sợi đen trên nền sáng (h 9-23a). Nếu độ sáng của đối tượng yếu hơn độ sáng dây đốt ta thấy dây sáng trên nền thẫm (h 9-23b). Lúc độ sáng bằng nhau hình dây sẽ biến mất (h 9-23c). Đọc

vị trí của bộ chắn ở thang 7 để suy ra nhiệt độ. So sánh bằng mắt tuy thô nhưng đảm bảo độ chính xác vì cường độ sáng thay đổi lớn gấp 10 lần sự thay đổi nhiệt độ.



Hình 9-23

Hình 9-24 là sơ đồ nguyên lý của hỏa kế quang học tự động cân bằng. Ánh sáng từ đối tượng đo 1 và đèn mẫu 10 qua khe hở và bộ lọc ánh sáng 8 cùng đặt lần lượt vào tế bào quang điện 4 nhờ tấm chắn 3 và sự di chuyển lá chắn 9 với tần số 50Hz. Dòng ánh sáng  $\phi_1$  và  $\phi_2$  của đèn và đối tượng lệch pha nhau  $180^\circ$  (hình 9-24b) và  $\phi$  là hiệu của dòng ánh sáng  $\phi_1$  và  $\phi_2$  được tế bào quang điện tạo thành dòng điện. Dòng điện này được đưa vào khuếch đại xoay chiều 5, qua bộ chỉnh lưu 6 đưa đến miliampemét 7 và đèn 10.



Hình 9-24. a) Sơ đồ hỏa kế quang học tự cân bằng; b) Biểu đồ ánh sáng

Khi ánh sáng của đèn và đối tượng đo ổn định miliampe mét cho ta biết nhiệt độ của đối tượng đo.

Hỏa kế quang học có độ chính xác khá cao (sai số cơ bản  $\pm 1\%$ ) trong dải đo nhiệt độ từ  $900 \div 2200^{\circ}\text{C}$ .

### 9-5-2. Hỏa kế phát xạ

Đối với vật đen tuyệt đối, năng lượng bức xạ toàn phần trên một đơn vị bề mặt

$$E_T = \sigma T^4 \quad (9-30)$$

$\sigma$  – hệ số ( $\sigma = 4,96 \cdot 10^{-2} \text{ J/m}^2\text{sgrad}^4$ );  $T$  – nhiệt độ của vật.

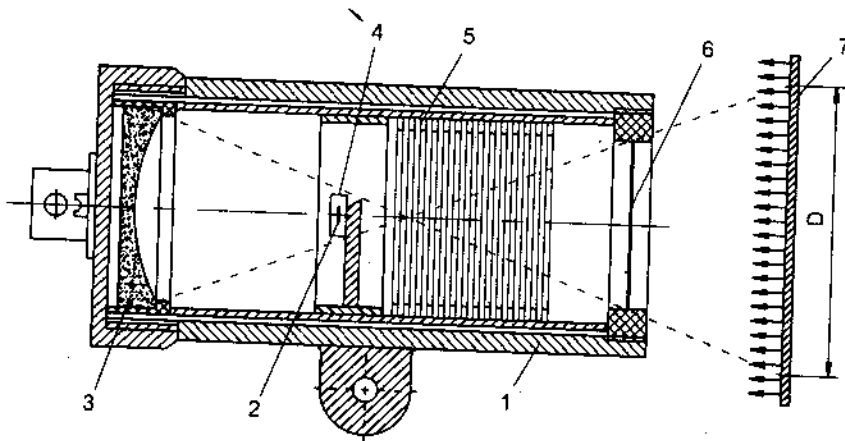
Hình 9-25 là cấu tạo của hỏa kế phát xạ, trong đó gồm có ống kim loại mỏng 1, phía cuối gắn gương cầu lõm 3.

Chùm tia phát xạ từ đối tượng 7 được gương lõm phản xạ và hội tụ trên nhiệt điện trở 2 và đốt nóng nó.

Để tránh các tia phản xạ từ thành ống, bên trong được gia công các đường rãnh 5. Nhiệt điện trở đặt trong hộp chắn 4.

Để bảo vệ thiết bị, đầu ống được gắn tấm kính thủy tinh 6.

Nhiệt điện trở được mắc vào mạch cầu tự cân bằng cung cấp từ nguồn điện xoay chiều tần số 50 Hz.



Hình 9-25. Sơ đồ hỏa kế phát xạ

Hỏa kế bức xạ có thể đo được nhiệt độ từ  $20^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$  và từ  $100^{\circ}\text{C} \div 2500^{\circ}\text{C}$



Để đạt được độ chính xác khi đo, chùm tia sáng từ đối tượng đến dụng cụ phải trùm hết tầm nhìn của ống kính (đường kính D – hình 9-25).

Nhược điểm của hỏa kế phát xạ là đối tượng đo không phải là vật đen tuyệt đối, khi vật nóng có sự phát xạ nội tại và dòng phát xạ nhiệt đi qua bề mặt làm phép đo bị sai lệch.

## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 9

1. Trình bày các cơ sở vật lý để xây dựng một cảm biến nhiệt điện và cơ sở tính toán các cảm biến.
2. Phân loại nhiệt điện trở.  
Trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động và đặc điểm của nhiệt điện trở dây.  
Nêu cấu tạo, đặc điểm của nhiệt điện trở bán dẫn (Thermistor).
3. Nêu các ứng dụng và mạch đo của nhiệt điện trở.
4. Trình bày nguyên lý hoạt động, cấu tạo, vật liệu để chế tạo cặp nhiệt điện.
5. Các nguyên nhân gây sai số cặp nhiệt và cách khắc phục.
6. Nêu các nguyên lý làm việc và ứng dụng của cảm biến vi mạch bán dẫn đo nhiệt độ.
7. Trình bày các phương pháp đo nhiệt độ không tiếp xúc.

## CHƯƠNG X

# CẢM BIẾN QUANG

### 10-1. Khái niệm cơ bản về ánh sáng

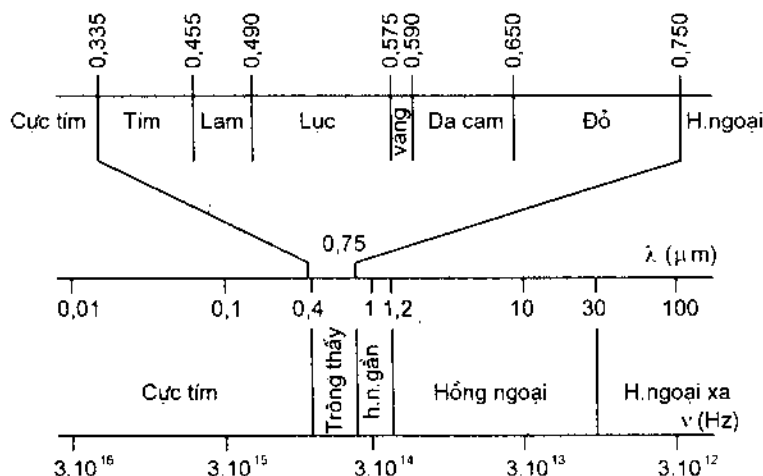
Ánh sáng có tính chất sóng và hạt. Dạng sóng ánh sáng là sóng điện từ. Ánh sáng lan truyền trong chân không với vận tốc  $v = 299792 \text{ km/s}$ . Trong vật chất ánh sáng có vận tốc  $v = \frac{c}{n}$ ,  $n$  là chiết suất của môi trường. Tần số  $\nu$  và bước sóng  $\lambda$  của ánh sáng liên hệ với nhau bằng biểu thức

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (10-1)$$

Trong chân không:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (10-2)$$

Hình 10-1 biểu diễn phổ ánh sáng và các dải màu của phổ.



Hình 10-1. Phổ ánh

Tính chất hạt của ánh sáng thể hiện qua sự tương tác của nó với vật chất. Ánh sáng bao gồm các hạt photon với năng lượng  $W_\phi$  phụ thuộc duy nhất vào tần số

$$W_\phi = h\nu. \quad (10-3)$$

$h$  – hằng số Planck ( $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$  J. s)

Trong vật chất, các điện tử liên kết trong nguyên tử có xu hướng muốn được giải phóng khỏi nguyên tử để trở thành điện tử tự do.

Muốn giải phóng điện tử khỏi nguyên tử cần phải cung cấp cho nó một năng lượng bằng năng lượng liên kết  $W_l$ .

Khi một photon được hấp thụ sẽ có một điện tử  $e$  được giải phóng nếu  $W_\phi \geq W_c$ .

Bước sóng lớn nhất của ánh sáng có thể gây nên hiện tượng giải phóng điện tử được tính bằng biểu thức :

$$\lambda_{\max} = \frac{h \cdot c}{W_c} = \frac{1,237}{W_{keV}} \quad (10-4)$$

$e_v$  – đơn vị đo năng lượng điện tích

Nói chung, loại điện tích được giải phóng do chiếu sáng phụ thuộc vào bản chất vật liệu bị chiếu sáng.

Khi chiếu sáng vào chất điện môi và bán dẫn tinh khiết, các điện tích được giải phóng là cặp điện tử – lỗ trống. Với bán dẫn pha tạp khi bị chiếu sáng nó sẽ giải phóng điện tử hoặc lỗ trống tùy thuộc vào chất pha tạp.

Hiện tượng giải phóng các hạt dẫn dưới tác dụng của ánh sáng do hiệu ứng quang điện sẽ gây nên sự thay đổi tính chất điện của vật liệu. Đó là nguyên lý cơ bản của các cảm biến quang.

Dưới tác dụng của ánh sáng, hiệu ứng quang điện tỷ lệ thuận với số lượng hạt dẫn được giải phóng trong một đơn vị thời gian. Tuy nhiên, ngay cả khi  $\lambda \leq \lambda_{\max}$  cũng không phải tất cả các photon chiếu xuống vật đều tham gia giải phóng hạt dẫn vì một số bị phản xạ từ bề mặt, số khác sẽ chuyển năng lượng của chúng thành năng lượng dao động nhiệt.

Nếu gọi số photon chiếu tới trong một giây :

$$n = \frac{\phi}{h \cdot \nu} = \frac{\lambda \phi}{h \cdot c} \quad (10-5)$$

và số photon bị hấp thụ trong một giây

$$n_{ht} = (1 - R)n = (1 - R) \frac{\lambda \phi}{h.c} \quad (10-6)$$

thì số điện tử được giải phóng trong một giây

$$G = \eta.n_{ht} = \eta(1 - R) \frac{\lambda \phi}{h.c} \quad (10-7)$$

trong đó:  $\eta$  – hiệu suất;  $R$  – hệ số phản xạ;  $\phi$  – thông lượng ánh sáng (quang thông).

## 10-2. Các đơn vị đo quang

### 10-2-1. Các đơn vị đo năng lượng

\* *Năng lượng bức xạ Q*: là năng lượng phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ dưới dạng bức xạ và được đo bằng Jun (J).

\* *Quang thông  $\phi$* : là công suất phát xạ lan truyền hoặc hấp thụ, đo bằng oát (W) và là đại lượng đặc trưng cho nguồn sáng :

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \quad (10-8)$$

\* *Cường độ sáng I*: là quang thông phát ra theo một hướng dưới một đơn vị góc khối, có đơn vị là W/steradian :

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (10-9)$$

\* *Độ chói năng lượng L*: là tỷ số giữa cường độ ánh sáng phát ra bởi một phần tử bề mặt  $dI$  theo một hướng xác định và diện tích hình chiếu vuông góc của phần tử bề mặt  $dA_n$ ; có đơn vị là W/Steradian .  $m^2$ .

$$L = \frac{dI}{dA_n} \quad (10-10)$$

\* *Độ rọi E*: là tỷ số giữa quang thông thu được bởi một phần tử bề mặt và diện tích của phần tử đó, có đơn vị là  $W/m^2$  :

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (10-11)$$

### 10-2-2. Đơn vị đo thị giác

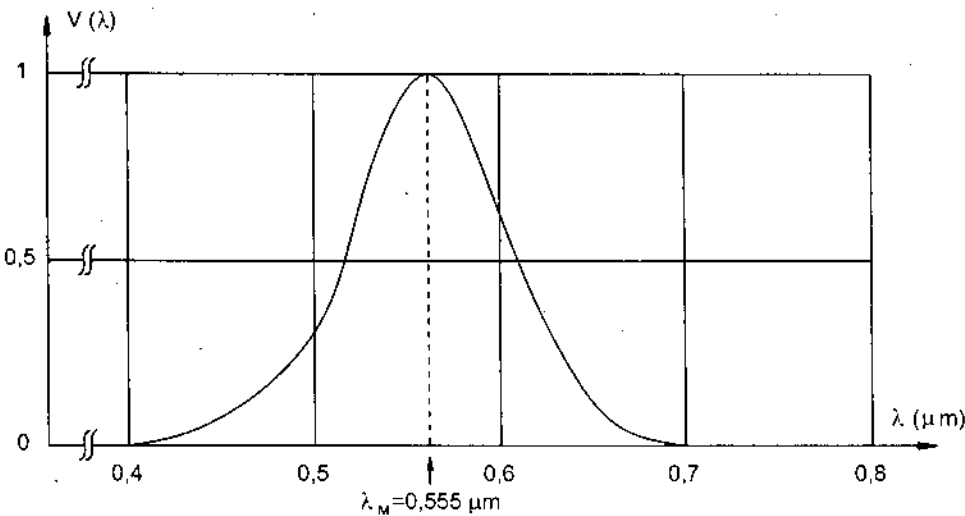
Mắt người cảm nhận được ánh sáng có phổ từ 0,38  $\mu\text{m}$  đến 0,76  $\mu\text{m}$  với độ nhạy tương đối phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

Độ nhạy của mắt cực đại ở bước sóng  $\lambda = 0,555 \mu\text{m}$  và giảm về hai phía, hình 10-2.

Bảng 10-1 cho ta biết các đơn vị đo quang cơ bản

**Bảng 10-1**

	Đơn vị thị giác	Đ/v năng lượng
Thông lượng	lumen (lm)	oat (W)
Cường độ	candela (cd)	oat/sr (W/Sr)
Độ chói	candela/m <sup>2</sup> (cd/m <sup>2</sup> )	oat/Sr.m <sup>2</sup> (W/Sr.m <sup>2</sup> )
Độ rọi	lumen/m <sup>2</sup> (lux)	W/m <sup>2</sup>
Năng lượng	lumen.sex (lm.s)	



**Hình 10-2.** Đường cong độ nhạy tương đối của mắt người

### 10-2-3. Nguồn sáng

Nguồn sáng quyết định mọi đặc tính quan trọng của bức xạ. Việc sử dụng các chuyển đổi quang chỉ có hiệu quả khi nó phù hợp với bức xạ ánh sáng (phổ, quang thông, tần số).

Nguồn sáng bao gồm:

### *1. Đèn sợi đốt*

Đèn sợi đốt là một sợi vonfram đặt trong bóng thủy tinh hoặc thạch anh chứa khí trơ hoặc halogen để giảm bay hơi của sợi đốt.

Ưu điểm của đèn sợi đốt là dải phổ rộng, nhưng hiệu suất phát quang thấp, quán tính nhiệt lớn, tuổi thọ và độ bền cơ học thấp.

### *2. Điốt phát quang*

Điốt phát quang LED (light-Emitting-Diode) là nguồn sáng bán dẫn trong đó năng lượng giải phóng do tái hợp điện tử – lỗ trống gần phần chuyển tiếp P-N làm phát sinh các photon. Đặc điểm của đèn LED là thời gian hồi đáp nhỏ cỡ ns. Có khả năng điều biến đến tần số cao nhờ nguồn nuôi.

Phổ ánh sáng hoàn toàn xác định, tuổi thọ cao (tới 100000 giờ). Kích thước nhỏ, tiêu thụ công suất thấp và độ bền cơ học cao.

Quang thông của LED nhỏ (cỡ mW) và nhạy với nhiệt độ, do đó hạn chế phạm vi sử dụng của đèn.

### *3. Laze*

Laze là nguồn sáng đơn sắc có định hướng và đặc biệt là tính liên kết mạnh (cùng phân cực, cùng pha) vì vậy khi chồng chéo lên nhau chúng tạo thành một sóng duy nhất và xác định.

Laze có bước sóng đơn sắc, thông lượng lớn với độ định hướng cao và truyền đi xa với khoảng cách lớn.

## **10-3. Cảm biến quang điện**

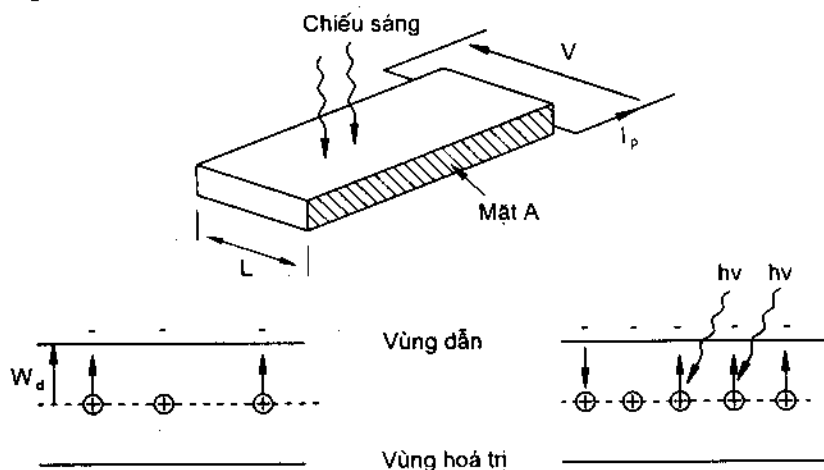
Cảm biến quang điện thực chất là các linh kiện quang điện, chúng thay đổi tính chất khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào bề mặt của chúng.

### **10-3-1. Tế bào quang dẫn (quang điện trở)**

*1. Nguyên lý làm việc của quang điện trở* là sự phụ thuộc của điện trở vào thông lượng bức xạ và phổ bức xạ đó.

Tế bào quang dẫn là cảm biến quang điện có độ nhạy cao. Cơ sở vật lý của tế bào quang dẫn là hiện tượng quang dẫn do hiệu ứng quang điện trong. Đó là hiện tượng giải phóng các hạt tải điện trong vật liệu dưới tác dụng của ánh sáng làm tăng độ dẫn điện của vật liệu.

Giả sử có một tấm bán dẫn phẳng thể tích  $V$  pha tạp loại  $n$  với nồng độ các nguyên tử donor  $N_d$  có mức năng lượng nằm dưới vùng dẫn một khoảng bằng  $W_d$ .



Hình 10-3. Tế bào quang dẫn và sự chuyển mức năng lượng của điện tử

Khi ở trong tối và với nhiệt độ trong phòng, nồng độ  $n_0$  của các donor bị ion hóa do nhiệt là nhỏ do đó độ dẫn trong tối được biểu diễn bởi biểu thức:

$$\sigma_0 = q\mu n_0 \quad (10-12)$$

$\mu$  – độ linh động của điện tử;  $q$  – giá trị tuyệt đối của điện tích điện tử.

Khi chất bán dẫn bị chiếu sáng, các photon ánh sáng (năng lượng  $h\nu \geq W_d$ ) ion hóa các nguyên tử donor và giải phóng các điện tử. Các điện tử này bổ sung thêm vào số các điện tử được giải phóng do kích thích nhiệt. Nếu gọi  $n$  là mật độ của điện tử khi bị chiếu sáng, do số điện tử được giải phóng khi chiếu sáng lớn hơn rất nhiều so với số điện tử được giải phóng do nhiệt nên  $n \gg n_0$  và độ dẫn tương ứng với nồng độ điện tử ở điều kiện cân bằng là:

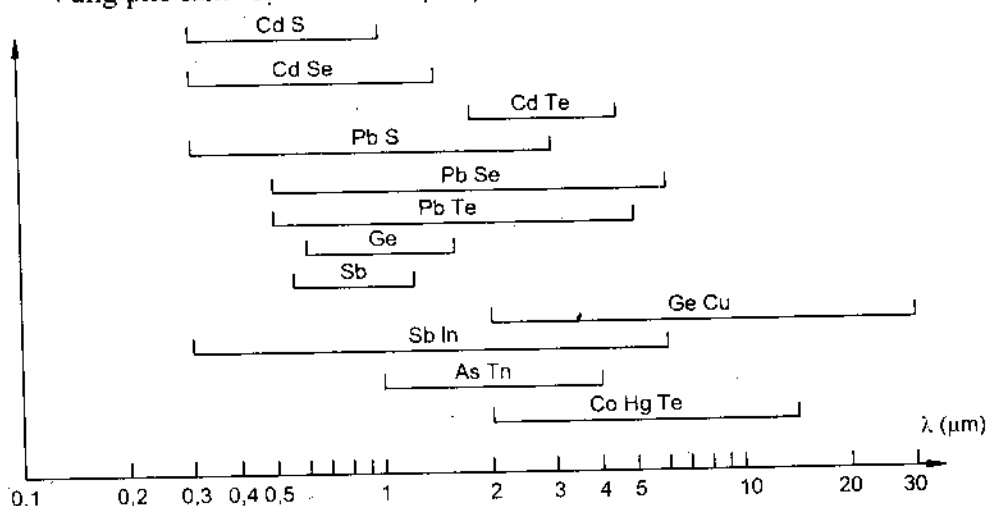
$$\sigma = q\mu n \quad (10-13)$$

## 2. Vật liệu để chế tạo cảm biến quang điện

Cảm biến quang thường được chế tạo bằng các bán dẫn đa tinh thể đồng nhất hoặc đơn tinh thể, bán dẫn riêng hoặc pha tạp như:

- Đa tinh thể: Sds, CdSe, CdTe, Pbs, PbTe.
- Đơn tinh thể: Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp : Au, Cu, Sb, In, SbIn, AsIn, Pln v.v...

Vùng phổ làm việc của các vật liệu trên được biểu diễn như hình 10-4.



Hình 10-4. Vùng phổ làm việc của các vật liệu

## 3. Các tính chất của cảm biến quang dẫn

- Điện trở tối  $R_0$  phụ thuộc vào dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và bản chất của vật liệu.

Ví dụ: Pbs, Cds, CdSe có điện trở tối từ  $10^4 \div 10^9 \Omega$  ở  $25^\circ\text{C}$

SbIn, SbAs có điện trở tối từ  $10\Omega \div 10^3\Omega$  ở  $25^\circ\text{C}$ .

Khi chiếu sáng điện trở của cảm biến giảm rất nhanh như hình 10-5.

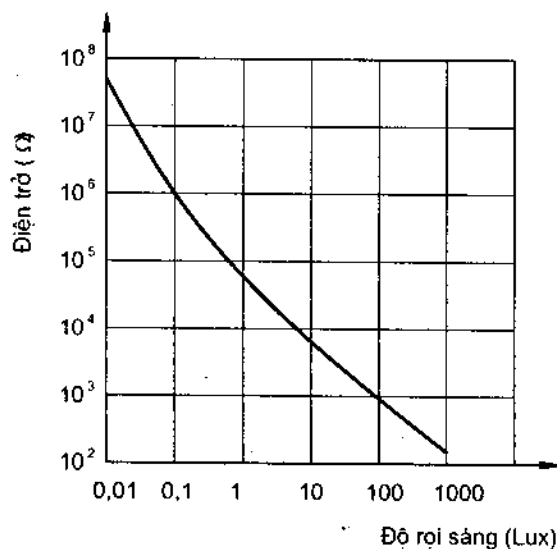
Điện trở sáng của tế bào quang dẫn phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng được biểu diễn bằng biểu thức.

$$R_s = a\phi^{-\gamma}. \quad (10-14)$$

$a$  – hệ số phụ thuộc vào vật liệu, nhiệt độ và phổ bức xạ ánh sáng;

$\gamma$  – hệ số có giá trị từ  $0,5 \div 1$ .





Hình 10-5. Đặc tính quang điện trở phụ thuộc nhiệt độ

- Độ nhạy: Độ nhạy phổ của tế bào quang dẫn được định nghĩa theo biểu thức.

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \phi(\lambda)} \quad (10-15)$$

Ví dụ: Điện áp đặt  $U = 10\text{V}$ ; diện tích bề mặt tế bào bằng  $1\text{cm}^2$ .

Độ nhạy phổ khoảng  $0,1 \div 10\text{A/W}$ .

## 10-3-2. Photodiode

### 1. Nguyên lý hoạt động

Sự tiếp xúc của hai bán dẫn loại n và loại p (vùng chuyển tiếp P – N) tạo nên vùng nghèo hạt dẫn vì ở đó tồn tại một điện trường và hình thành hàng rào thế  $V_b$  (hình 10-6). Khi không có điện thế bên ngoài đặt lên phần chuyển tiếp ( $U = 0$ ) dòng điện qua chuyển tiếp  $I = 0$  ( $I$  là tổng của 2 dòng điện, dòng khuếch tán hạt dẫn cơ bản và dòng hạt dẫn không cơ bản chúng bằng nhau và ngược chiều nhau)

Khi đặt một điện áp lên diốt, với điện áp ngược đủ lớn  $U_d \gg$ , chiều cao của hàng rào thế tăng lên và trên diốt chỉ còn có dòng điện ngược  $I_r = I_0$  ( $I_0$  – dòng điện tối).

Khi chiếu sáng diốt bằng bức xạ có bước sóng  $\lambda < \lambda_{\max}$  sẽ xuất hiện các cặp điện tử lỗ trống, dưới tác dụng của điện trường các cặp điện tử – lỗ trống chuyển động và dòng điện ngược  $I_r$  tăng lên rất nhanh.

Các vật liệu dùng để chế tạo photodiode là Si, Ge (vùng ánh sáng nhìn thấy) và GaAs; InAs; InSb (vùng hồng ngoại).

## 2. Chế độ hoạt động

- Chế độ quang dẫn: Sơ đồ nối photodiode gồm nguồn E, phân cực ngược diode và điện trở R, hình 10-7a

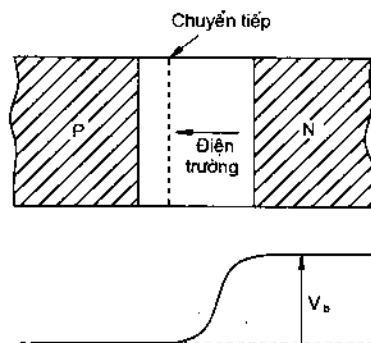
Từ hình vẽ ta có:

$$E = U_R - U_d$$

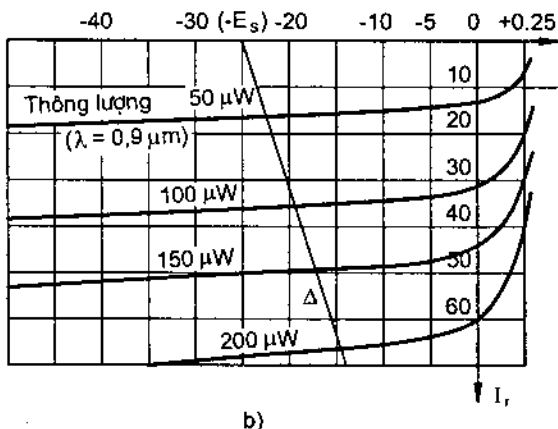
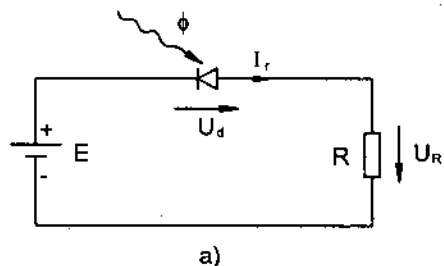
trong đó  $U_R = I_r \cdot R$  là đường thẳng tải hình 10-7b.

$$I_r = \frac{E + U_d}{R}$$

Điểm làm việc của diode là điểm giao nhau giữa đường phụ tải  $\Delta$  và đặc tuyến Von – Ampe ứng với quang thông tương ứng. Hình 10-7c là sơ đồ mạch đo ở chế độ quang dẫn.

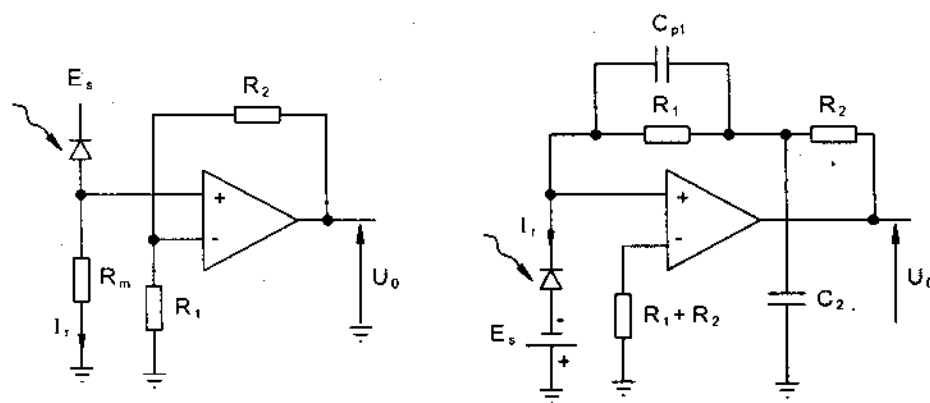


Hình 10-6. Cấu tạo của photodiode



Hình 10-7. Photodiode

0081008

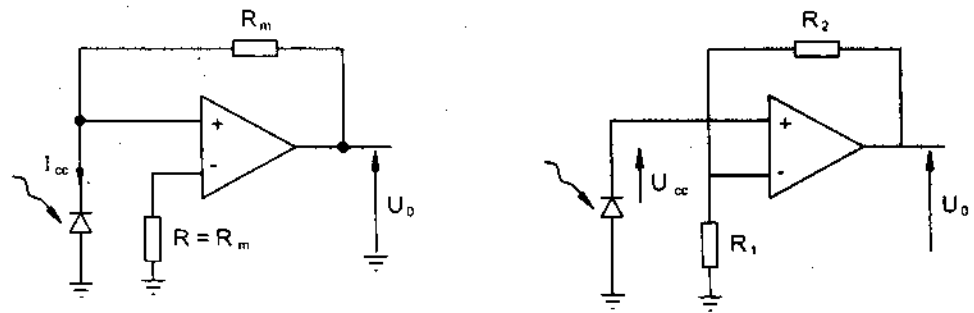


c)

Hình 10-7c. Sơ đồ mạch đo trong chế độ quang dẫn

- Chế độ quang thế.

Trong chế độ này không có điện áp ngoài đặt vào điôt. Phôtodiôt hoạt động như một nguồn dòng.



d)

Hình 10-7d. Mạch đo ở chế độ quang thế

Đặc điểm của chế độ làm việc này là không có dòng tối do không có nguồn điện phân cực ngoài, do đó có thể giảm nhiễu và cho phép đo quang thông nhỏ.

Độ nhạy phổ:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \phi} \quad (10-16)$$

$I_p$  – dòng điện sáng

Thông thường  $S(\lambda)$  nằm trong khoảng từ  $0,1 \div 1 \text{ A/W}$ .

Hình 10-7d là sơ đồ mạch đo ở chế độ quang thế.

### 10-3-3. Photo tranzito

Phototranzitor là các tranzito silic loại npn mà vùng bazơ được chiếu sáng, không có điện áp đặt lên bazơ, chỉ có điện áp trên C, đồng thời chuyển tiếp B-C phân cực ngược hình 10-8a. Điện áp đặt chủ yếu vào phần chuyển tiếp B-C (phân cực ngược) trong khi đó sự chênh lệch điện thế giữa E và B thay đổi không đáng kể ( $U_{BE} \approx 0,6 \div 0,7V$ ).

Khi phần chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, sự hoạt động của Phototranzito giống như photodiot ở chế độ quang dẫn với dòng ngược:

$$I_r = I_0 + I_p. \quad (10-17)$$

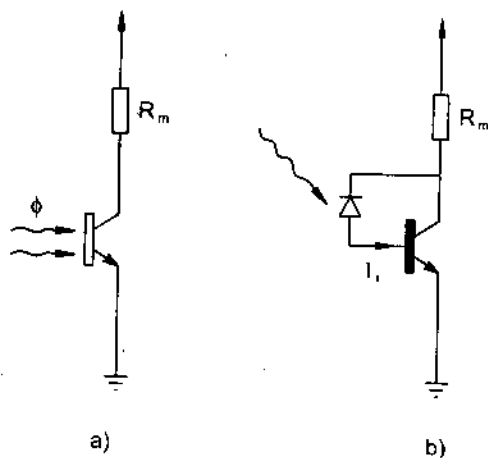
$I_r$  – dòng điện ngược;  $I_0$  – dòng điện tối;  $I_p$  – dòng điện sáng;

Dòng  $I_r$  đóng vai trò dòng bazơ, nó gây nên dòng colectơ  $I_c$ .

$$I_c = (\beta + 1) I_r. \quad (10-18)$$

$\beta$  - Hệ số khuếch đại với emitter chung.

Có thể coi phototranzito như tổ hợp của một photodiot và một tranzito (h 10-8b)



Hình 10-8. Photôtranzito