

NGUYỄN VĂN HOÀ (Chủ biên)
BÙI ĐĂNG THÀNH - HOÀNG SỸ HỒNG

GIÁO TRÌNH **ĐO LƯỜNG ĐIỆN** và **CẢM BIẾN ĐO LƯỜNG**

(SÁCH DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC TRƯỜNG CAO ĐẲNG)



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

NGUYỄN VĂN HÒA (Chủ biên)
BÙI ĐĂNG THANH – HOÀNG SỸ HỒNG

GIÁO TRÌNH ĐO LƯỜNG ĐIỆN VÀ CẢM BIẾN ĐO LƯỜNG

(Biên soạn theo chương trình khung môn học
Đo lường điện và Cảm biến đo lường
do Bộ giáo dục và Đào tạo ban hành)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Mở đầu

Giáo trình đo lường điện và cảm biến đo lường được biên soạn theo chương trình khung môn học “Đo lường điện” và “Cảm biến đo lường” do Bộ Giáo dục và đào tạo ban hành với tinh thần ngắn gọn, dễ hiểu. Các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ lô gíc chặt chẽ. Tuy vậy, giáo trình cũng chỉ là một phần trong nội dung của chuyên ngành đào tạo cho nên người dạy, người học cần tham khảo thêm các giáo trình có liên quan đối với ngành học để việc sử dụng giáo trình có hiệu quả hơn.

Khi biên soạn giáo trình, chúng tôi đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học và phù hợp với đối tượng sử dụng cũng như cố gắng gắn những nội dung lý thuyết với những vấn đề thực tế thường gặp trong sản xuất, đời sống để giáo trình có tính ứng dụng cao.

Nội dung của giáo trình gồm 2 phần :

Phần I. Đo lường đại lượng điện và thiết bị đo (30 tiết).

Phần II. Thiết bị cảm biến và ứng dụng (45 tiết).

Trong giáo trình, chúng tôi không đề ra nội dung thực tập của từng chương, vì trong thiết bị phục vụ cho thực tập của các trường không đồng nhất. Vì vậy, căn cứ vào trang thiết bị đã có của từng trường và khả năng tổ chức cho học sinh thực tập ở các xí nghiệp bên ngoài mà trường xây dựng thời lượng và nội dung thực tập cụ thể – Thời lượng thực tập tối thiểu nói chung cũng không ít hơn thời lượng học lý thuyết của mỗi môn.

Giáo trình được biên soạn cho đối tượng là sinh viên Cao đẳng kỹ thuật cũng như Kỹ thuật viên đang làm việc ở các cơ sở kinh tế của nhiều lĩnh vực khác nhau.

Mặc dù đã cố gắng, nhưng chắc chắn không tránh khỏi hết khiếm khuyết. Rất mong nhận được ý kiến đóng góp của người sử dụng để lần tái bản sau được hoàn chỉnh hơn. Mọi góp ý xin được gửi về Ban biên tập sách Đại học - Dạy nghề, 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.

Tác giả

1

**ĐO LƯỜNG
ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN
VÀ THIẾT BỊ ĐO**

CHƯƠNG I

KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG

1-1. Khái niệm chung về đo lường và thiết bị đo

1-1-1. Đo lường: Là một quá trình đánh giá định lượng về đại lượng cần đo để có được kết quả bằng số so với đơn vị.

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng:

$$A = \frac{X}{X_0}; \text{ ta có } X = AX_0. \quad (1-1)$$

X - đại lượng đo; X_0 - đơn vị đo; A - Con số kết quả đo

Ví dụ: $U = 300V$; U - điện áp, 300 - Con số

V - đơn vị đo

1-1-2. Tín hiệu đo: Là tín hiệu mang thông tin về giá trị của đại lượng đo.

1-1-3. Đại lượng đo: Là thông số xác định quá trình vật lý của tín hiệu đo. Do quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể ta chỉ quan tâm đến một thông số nhất định, đó là đại lượng vật lý.

Thông thường đại lượng đo được phân thành:

+ *Đại lượng đo tiên định:* Là đại lượng đo đã biết trước qui luật thay đổi theo thời gian.

+ *Đại lượng đo ngẫu nhiên:* là đại lượng đo thay đổi theo thời gian không theo một quy luật nhất định.

+ Theo cách biến đổi, đại lượng đo chia thành đại lượng đo liên tục (Analog) và đại lượng đo rời rạc (Digital) v.v...

1-1-4. Thiết bị đo: Là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát.

Thiết bị đo là sự thể hiện phương pháp đo bằng các khâu chức năng cụ thể.

Thiết bị đo được chia thành nhiều loại tùy theo chức năng của nó, thông thường gồm có: mẫu, dụng cụ đo, cảm biến đo lường và hệ thống thông tin đo lường.

a) *Mẫu*: là thiết bị đo để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định. Thiết bị mẫu phải có độ chính xác cao từ $0,001\% \div 0,1\%$ tùy theo từng cấp từng loại.

b) *Dụng cụ đo*: là thiết bị để gia công các thông tin đo lường và thể hiện kết quả đo dưới dạng con số hoặc đồ thị, bảng số.

Tùy theo cách biến đổi tín hiệu và chỉ thị, dụng cụ đo được chia thành dụng cụ đo tương tự (Analog) và dụng cụ đo chỉ thị số (Digital).

c) *Cảm biến đo lường*: là thiết bị dùng để biến đổi tín hiệu đo ở đầu vào thành tín hiệu ra thuận lợi hơn để biến đổi tiếp theo, hoặc truyền đạt, gia công, lưu giữ nhưng không quan sát được.

d) *Hệ thống thông tin đo lường*: là tổ hợp các thiết bị đo và những thiết bị phụ để tự động thu thập số liệu, truyền các số liệu theo kênh liên lạc và chuyển nó về một dạng thuận tiện cho việc đo và điều khiển.

1-1-5. Phương pháp đo

Quá trình đo được tiến hành thông qua các thao tác cơ bản như sau:

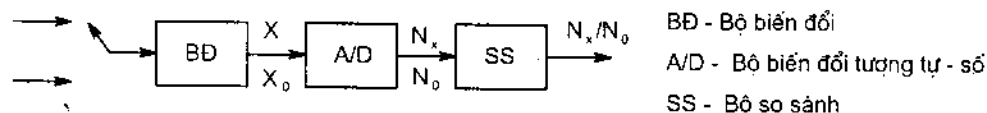
- Thao tác xác định mẫu và thành lập mẫu
- Thao tác so sánh.
- Thao tác biến đổi
- Thao tác thể hiện kết quả hay chỉ thị.

Thủ tục phối hợp các thao tác cơ bản trên là phương pháp đo.

Phương pháp đo được phân thành hai loại.

a) *Phương pháp đo biến đổi thẳng*

Là phương pháp đo có cấu trúc theo kiểu biến đổi thẳng, không có khâu phản hồi (hình 1-1).



Hình 1-1

Đại lượng đo đưa qua các khâu biến đổi (BD) khâu A/D (Analog/Digital) để biến thành các số N_x , N_0 , sau đó đưa qua bộ so sánh (SS).

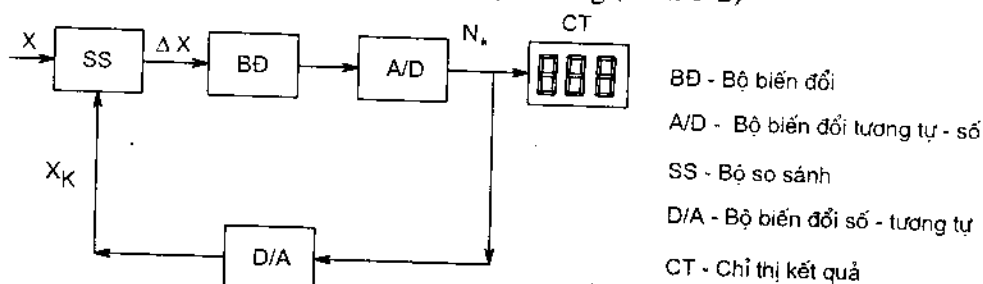
Quá trình được thực hiện bằng phép chia N_x/N_0

Kết quả đo thể hiện bằng biểu thức dưới dạng

$$X = \frac{N_x}{N_0} X_0 \quad (1-2)$$

b) Phương pháp đo kiểu so sánh

Là phương pháp đo có cấu trúc mạch vòng (hình 1-2)



Hình 1-2

Tín hiệu đo X được so sánh với một tín hiệu X_k tỷ lệ với đại lượng mẫu X_0 . Qua bộ so sánh ta có

$$X - X_k = \Delta X$$

Tùy thuộc vào cách so sánh ta có.

- So sánh cân bằng: là phép so sánh mà đại lượng cần đo X và đại lượng mẫu X_k sao cho $\Delta X = 0$ và

$$X - X_k = 0 ; X = X_k = N_k X_0 \quad (1-3)$$

trong đó: X_0 - đơn vị đo; X_k là đại lượng thay đổi.

- So sánh không cân bằng: với X_k là đại lượng không đổi và ta có

$$\begin{aligned} X - X_k &= \Delta X \\ X &= X_k + \Delta X \end{aligned} \quad (1-4)$$

Kết quả phép đo được đánh giá qua ΔX với X_k là đại lượng biết trước.

1-2. Đơn vị đo, chuẩn và mẫu

1-2-1. Khái niệm chung

Đơn vị đo là giá trị đơn vị tiêu chuẩn về một đại lượng đo nào đó được quốc tế qui định mà mỗi quốc gia đều phải tuân thủ. Trên thế giới người ta đã chế tạo ra những đơn vị tiêu chuẩn được gọi là các chuẩn. Ví dụ: Chuẩn "Ôm quốc tế"; chuẩn "Ampe".

1-2-2. Hệ thống đơn vị bao gồm hai nhóm

a) *Đơn vị cơ bản*: Được thể hiện bằng các đơn vị chuẩn với độ chính xác cao nhất mà khoa học kỹ thuật hiện đại có thể thực hiện được.

b) *Đơn vị kéo theo*: là đơn vị có liên quan đến các đơn vị cơ bản thể hiện qua các biểu thức.

Ngày nay hệ thống đơn vị thống nhất thường được sử dụng là hệ thống đơn vị quốc tế SI đã được thông qua ở hội nghị quốc tế năm 1960.

Trong đó có bảy đơn vị cơ bản là: mét(m) (chiều dài); Kilôgam (kg) (khối lượng); Thời gian tính bằng giây (s); Ampe (A) (cường độ dòng điện); Nhiệt độ (K); Mol (đơn vị số lượng vật chất); Cd (cường độ ánh sáng).

Ngoài bảng đơn vị cơ bản trên còn có các đơn vị kéo theo trong các lĩnh vực cơ, điện, từ và quang.

Bảng 1-1 giới thiệu các đơn vị đo cơ bản và kéo theo trong các lĩnh vực cơ, điện, từ và quang học.

1-2-3. Chuẩn cấp 1 quốc gia của các đơn vị cơ bản hệ thống SI

Chuẩn cấp 1 là chuẩn đảm bảo tạo ra những đại lượng có đơn vị chính xác nhất của một quốc gia.

a) *Chuẩn đơn vị độ dài*

Đơn vị độ dài (m). Mét là quãng đường ánh sáng đi được trong chân không trong khoảng thời gian:

$$1/29979258 \text{ giây (CGMP}^1 \text{ lần thứ 17 năm 1983)}$$

¹ CGPM tên viết tắt tiếng Pháp của đại hội cân đo quốc tế.

Bảng 1-1.

Các đại lượng	Tên đơn vị	Ký hiệu
1. Các đại lượng cơ bản		
Độ dài	mét	m
Khối lượng	kilôgam	kg
Thời gian	giây	s
Dòng điện	ampe	A
Nhiệt độ	Kelvin	K
Số lượng vật chất	môn	mol
Cường độ ánh sáng	Candela	Cd
2. Các đại lượng cơ học		
Tốc độ	mét trên giây	m/s
Gia tốc	mét trên giây bình phương	m/s ²
Năng lượng và công	Jun	J
Lực	Niuton	N
Công suất	Watt	W
Năng lượng	Watt giây	Ws
3. Các đại lượng điện		
Lượng điện	Culông	C
Điện áp, thế điện động	Vôn	V
Cường độ điện trường	Vôn trên mét	V/m
Điện dung	Fara	F
Điện trở	Ôm	Ω
Điện trở riêng	ôm mét	$\Omega \cdot m$
Hệ số điện môi tuyệt đối	fara trên mét	F/m
4. Các đại lượng từ		
Từ thông	Webe	Wb
Cảm ứng từ	Tesla	T
Cường độ từ trường	Ampe trên mét	A/m
Điện cảm	Henri	H
Hệ số từ thẩm	Henri trên mét	H/m
5. Các đại lượng quang		
Luồng ánh sáng	Lumen	lm
Cường độ sáng riêng	Candela trên mét vuông	Cd/m ²
Độ chiếu sáng	Lux	lx

b) Chuẩn đơn vị khối lượng

Kilogram (kg) - là đơn vị khối lượng của mẫu kilogram quốc tế đặt tại trung tâm mẫu và cân quốc tế ở Pari.

c) Chuẩn đơn vị thời gian

Đơn vị thời gian - giây (s) là khoảng thời gian của 9192631770 chu kỳ phát xạ, tương ứng với thời gian chuyển giữa hai mức gần nhất ở trạng thái cơ bản của nguyên tử xe - si 133.

d) Chuẩn đơn vị dòng điện

Ampe (A) là dòng điện không đổi khi chạy trong hai dây dẫn thẳng, song song, dài vô hạn, tiết diện tròn nhỏ không đáng kể, đặt cách nhau 1 mét trong chân không, sẽ gây ra trên mỗi mét dài của dây một lực $2 \cdot 10^{-7}$ niuton (CGPM lần thứ 9, 1948)

e) Chuẩn đơn vị nhiệt độ

Đơn vị nhiệt độ là Kelvin (K) - đó là nhiệt độ có giá trị bằng $1/273,16$ phần nhiệt độ đông của điểm thứ ba của nước (là điểm cân bằng của ba trạng thái rắn, lỏng và hơi).

f) Chuẩn đơn vị cường độ ánh sáng

Đơn vị cường độ ánh sáng là Candela (Cd) là cường độ ánh sáng theo một phương xác định của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số 540×10^{12} hec và có cường độ theo phương đó là $1/683$ oat trên steradian (CGPM lần thứ 16, 1979).

g) Đơn vị số lượng vật chất

Đơn vị số lượng vật chất (mol) - là số lượng vật chất có số phân tử (hay nguyên tử, các hạt) bằng số nguyên tử chứa ở trong ^{12}C với khối lượng là 0,012 kg (CGPM lần thứ 14, 1971).

1-3. Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo

1-3-1. Phân loại dụng cụ đo

Dụng cụ đo được phân loại như sau:

a) Theo cách biến đổi có thể phân thành

- Dụng cụ đo biến đổi thẳng là dụng cụ đo mà đại lượng cần đo X được biến đổi thành lượng ra Y theo một đường thẳng không có khâu phản hồi.

- Dụng cụ đo kiểu biến đổi bù là loại dụng cụ có mạch phản hồi với các chuyển đổi ngược biến đổi đại lượng ra Y thành đại lượng bù X_k để bù với tín hiệu đo X . Mạch đo là mạch khép kín.

b) Theo phương pháp so sánh được phân thành

- Dụng cụ đo đánh giá trực tiếp: là dụng cụ được khắc độ theo đơn vị của đại lượng đo từ trước. Khi đo, đại lượng đo được so sánh với nó để cho ra kết quả đo.

- Dụng cụ đo kiểu so sánh: là dụng cụ đo được thực hiện việc so sánh qua mỗi lần đo. Sơ đồ đo là sơ đồ kiểu biến đổi bù.

c) Theo phương pháp đưa ra thông tin đo được chia thành

- Dụng cụ đo tương tự, là dụng cụ có số chỉ là một hàm liên tục của đại lượng đo.

Dụng cụ đo tương tự gồm: Dụng cụ đo kiểu kim chỉ, dụng cụ đo tự ghi (Kết quả đo được ghi lại dưới dạng đường cong phụ thuộc thời gian).

- Dụng cụ đo chỉ thị số: là dụng cụ trong đó đại lượng đo liên tục được biến đổi thành rời rạc và kết quả đo thể hiện dưới dạng số.

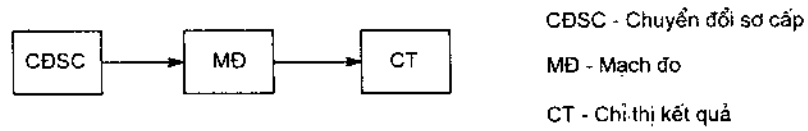
d) Theo đại lượng đo:

Các dụng cụ được mang tên đại lượng đo như Vônmét, Ampemét, Oátmét v.v...

1-3-2. Sơ đồ khối của dụng cụ đo

a) Sơ đồ cấu trúc chung.

Mỗi dụng cụ đo thường có ba khâu chính đó là: chuyển đổi sơ cấp, mạch đo và cơ cấu chỉ thị (hình 1-3)



Hình 1-3

- Chuyển đổi sơ cấp làm nhiệm vụ biến đổi các đại lượng đo thành tín hiệu điện. Đó là khâu quan trọng nhất của thiết bị đo.

- Mạch đo là khâu gia công thông tin đo sau chuyển đổi sơ cấp làm nhiệm vụ tính toán và thực hiện trên sơ đồ mạch. Mạch đo thường là các mạch điện, điện tử, các bộ vi xử lý để nâng cao đặc tính của dụng cụ đo.

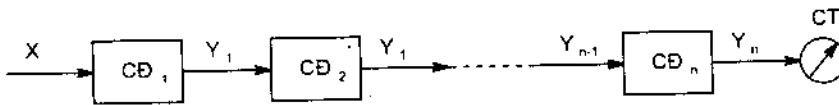
- Cơ cấu chỉ thị là khâu cuối cùng của dụng cụ đo thể hiện kết quả dưới dạng con số so với đơn vị.

Có ba cách thể hiện kết quả đo:

- + Chỉ thị bằng kim chỉ
- + Chỉ thị bằng thiết bị tự ghi
- + Chỉ thị dưới dạng con số.

b) Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng

Dụng cụ đo biến đổi thẳng có sơ đồ như hình 1-4. Việc biến đổi thông tin đo chỉ diễn ra trên một đường thẳng, không có khâu phản hồi.



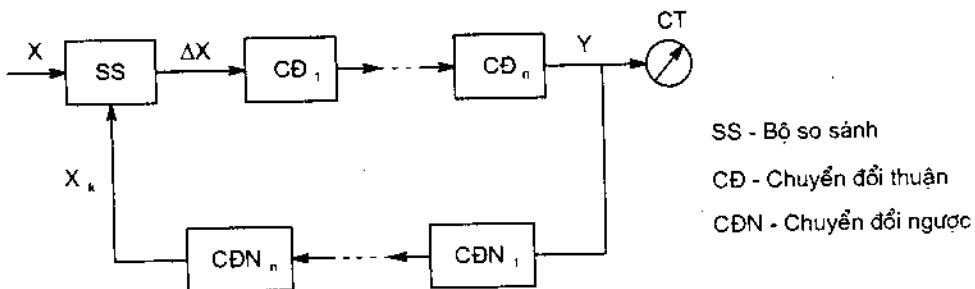
Hình 1-4. Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo biến đổi thẳng.

Theo sơ đồ này, đại lượng đo X được đưa qua các khâu chuyển đổi $CĐ_1$ (chuyển đổi sơ cấp), $CĐ_2 \dots CĐ_n$ để biến thành đại lượng Y_n tiện cho việc quan sát và chỉ thị. Các đại lượng $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ là các đại lượng trung gian.

c) Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh.

Dụng cụ đo kiểu so sánh có sơ đồ như hình 1-5.

Đó là dụng cụ có mạch phản hồi với các bộ chuyển đổi ngược ($CĐN$) để tạo ra tín hiệu X_k so sánh với tín hiệu đo X . Mạch đo là một mạch khép kín. Sau bộ so sánh ta có tín hiệu $\Delta X = X - X_k$. Khi $\Delta X = 0$ ta có dụng cụ so sánh cân bằng. Với ΔX khác 0 là dụng cụ so sánh không cân bằng.



Hình 1-5. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh

1-4. Các đặc tính cơ bản của dụng cụ đo

1-4-1. Sai số của dụng cụ đo

Nguyên nhân gây ra sai số của dụng cụ đo có nhiều loại khác nhau nhưng có thể phân thành 2 loại:

a) *Sai số hệ thống*: là sai số cơ bản mà giá trị của nó không đổi hoặc thay đổi có qui luật. Sai số hệ thống có ba loại: sai số của dụng cụ, sai số do môi trường và sai số do quan sát (thị sai).

Các sai số này về nguyên tắc có thể khắc phục được.

b) *Sai số ngẫu nhiên*: Là sai số mà giá trị của nó thay đổi rất ngẫu nhiên do sự thay đổi của môi trường bên ngoài (áp suất, nhiệt độ, độ ẩm, từ trường, điện trường v.v...). Sai số này gọi là sai số phụ.

c) *Ngoài các sai số trên, để đánh giá sai số của dụng cụ khi đo một đại lượng nào đó người ta còn phân loại:*

* Sai số tuyệt đối: là hiệu giữa giá trị đại lượng đo X_d và giá trị thực X_{th} (là giá trị của đại lượng được xác định với độ chính xác nào đó nhờ các dụng cụ mẫu).

$$\Delta X = X_{th} - X_d \quad (1-5)$$

* Sai số tương đối của phép đo γ_x , được đánh giá bằng phần trăm của tỷ số sai số tuyệt đối và giá trị thực:

$$\gamma_x \% = \frac{\Delta X}{X_{th}} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta X}{X_d} \cdot 100\% \quad (1-6)$$

(Khi $X_{th} \approx X$)

* Độ chính xác tương ứng được tính theo biểu thức

$$A \approx 1 - \left| \frac{X_{th} - X_d}{X_{th}} \right| \quad (1-7)$$

* Độ chính xác tính theo phần trăm được biểu diễn dưới dạng:

$$a = A \times 100\% \quad (1-8)$$

hoặc

$$a = 100\% - \gamma_x \% \quad (1-9)$$

Ví dụ 1: Điện áp rơi trên một điện trở phụ tải là 80V. Nhưng khi đo bằng một vôn-mét, số chỉ của vôn-mét là 79V, tính:

- Sai số tuyệt đối của phép đo;
- Sai số tương đối $\gamma_v\%$;
- Độ chính xác tương ứng A.
- Độ chính xác tính theo phần trăm (a).

Bài giải:

Sai số tuyệt đối của phép đo

$$\Delta U = U_{th} - U_d = 80 - 79 = 1V$$

Sai số tương đối của phép đo

$$\gamma_v\% = \frac{U_{th} - U_d}{U_{th}} 100\% = \frac{80 - 79}{80} 100 = 1,25\%$$

Độ chính xác tương ứng của phép đo

$$A = 1 - \left| \frac{U_{th} - U_d}{U_{th}} \right| = 1 - \left| \frac{80 - 79}{80} \right|$$

$$A = 1 - \frac{1}{80} = \frac{79}{80} = 0,9875.$$

Độ chính xác tính theo phần trăm

$$a = 100 \times A = 100 \times 0,9875 = 98,75\%.$$

Hoặc

$$a = 100\% - \gamma_v\% = 100\% - 1,25\% = 98,75\%.$$

* Tính chính xác là độ chắc chắn của thiết bị với giá trị đại lượng ra khi đưa một đại lượng ở đầu vào.

Tính chính xác được biểu diễn bởi biểu thức

$$P = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (1-10)$$

trong đó: X_n - giá trị đo lần thứ n;
 $\bar{X}_n$ - giá trị trung bình.

Ví dụ 2: Bảng 1-2 cho giá trị nhận được của 10 lần đo
 Tính sự chính xác của lần đo thứ 6.

Bảng 1-2.

Số lần đo	Giá trị đo được X_n
1	98
2	101
3	102
4	97
5	101
6	100
7	103
8	98
9	106
10	99

Giá trị trung bình của 10 lần đo được tính như sau:

$$\begin{aligned}\bar{X}_n &= \frac{\text{tổng giá trị của 10 lần đo}}{10} \\ &= \frac{1005}{10} = 100,5.\end{aligned}$$

Từ biểu thức (1-10) ta có.

Độ chính xác của lần đo thứ 6 đạt được

$$P = 1 - \left| \frac{100 - 100,5}{100,5} \right| = 1 - \frac{0,5}{100,5} = \frac{100}{100,5} = 0,995$$

Độ chính xác của một phép đo và tính chính xác phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như chất lượng của thiết bị đo, người sử dụng các thiết bị đó và yếu tố môi trường v.v...

* Cấp chính xác của dụng cụ đo: là giá trị sai số cực đại mà dụng cụ đo mắc phải. Người ta qui định cấp chính xác của dụng cụ đo đúng bằng sai số tương đối qui đổi của dụng cụ đó và được nhà nước qui định cụ thể.

$$\gamma_{qdx} \% = \frac{\Delta X_m}{X_m} 100\% \quad (1-11)$$

trong đó: ΔX_m - sai số tuyệt đối lớn nhất
 X_m - giá trị lớn nhất của thang đo

1-4-2. Độ nhạy

Độ nhạy của dụng cụ đo tính bằng:

$$S = \frac{dY}{dX} \quad (1-8)$$

trong đó Y - đại lượng ra; X - đại lượng vào; và $C = \frac{1}{S}$ là hằng số của dụng cụ đo.

Nếu một dụng cụ đo gồm nhiều khâu biến đổi, mỗi khâu có độ nhạy riêng thì độ nhạy của toàn dụng cụ:

$$S = S_1 \cdot S_2 \dots S_n = \prod_{i=1}^n S_i \quad (1-12)$$

1-4-3. Điện trở của dụng cụ đo và công suất tiêu thụ

a) *Điện trở vào*: là điện trở ở đầu vào của dụng cụ. Điện trở đầu vào của dụng cụ đo phải phù hợp với điện trở đầu ra của khâu trước đó (chuyển đổi sơ cấp) để không bị ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo.

Ví dụ: Khi đo điện áp của nguồn điện hoặc điện áp rơi trên phụ tải, điện trở của Vônmet càng lớn càng tốt. Ngược lại khi đo dòng điện qua phụ tải yêu cầu điện trở của Ampemét càng nhỏ lại càng tốt để giảm sai số của phép đo.

b) *Điện trở ra của dụng cụ đo* xác định công suất có thể truyền tải cho khâu tiếp theo. Điện trở ra càng nhỏ thì công suất càng lớn.

1-4-4. Độ tác động nhanh

Độ tác động nhanh: Là thời gian để dụng cụ xác lập kết quả đo trên chỉ thị.

Đối với dụng cụ tương tự, thời gian này khoảng 4 giây.

Đối với dụng cụ số có thể đo được hàng nghìn điểm đo trong 1 giây.

1-4-5. Độ tin cậy

Độ tin cậy của dụng cụ đo phụ thuộc nhiều yếu tố:

- Độ tin cậy của các linh kiện sử dụng.
- Kết cấu của dụng cụ không quá phức tạp
- Điều kiện làm việc

Độ tin cậy được xác định bởi thời gian làm việc tin cậy trong điều kiện cho phép có phù hợp với thời gian qui định không.

Độ tin cậy làm việc là một đặc tính rất quan trọng của dụng cụ đo.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Thế nào là tín hiệu đo và đại lượng đo.
Phân biệt sự khác nhau và giống nhau về tín hiệu đo và đại lượng đo.
2. Thiết bị đo là gì? Phân loại thiết bị đo.
3. Đơn vị đo là gì? Thế nào là đơn vị tiêu chuẩn?
Có mấy nhóm đơn vị chuẩn
4. Dụng cụ đo là gì? Phân loại dụng cụ đo và nêu cấu trúc của chúng.
5. Nêu các đặc tính cơ bản của một dụng cụ đo.
Cấp chính xác của dụng cụ đo là gì?
Phân biệt sai số của phép đo và cấp chính xác của dụng cụ khác nhau ở chỗ nào?

CHƯƠNG II

CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ

2-1. Cơ cấu chỉ thị của dụng cụ đo tương tự

2-1-1. Khái niệm chung

Dụng cụ đo tương tự (Analog) là loại dụng cụ có số chỉ là đại lượng liên tục theo thời gian.

Chỉ thị trong các dụng cụ đo tương tự là chỉ thị cơ điện với tín hiệu vào là dòng điện và tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ hoặc độ di chuyển của bút ghi trên băng giấy (dụng cụ tự ghi).

Các cơ cấu chỉ thị trên được sử dụng trong các dụng cụ đo các đại lượng điện như điện áp, tần số, góc pha, công suất, dòng xoay chiều và một chiều tần số công nghiệp.

Nguyên lý làm việc của các chỉ thị cơ điện dựa trên tác động của từ trường lên phần động của cơ cấu chỉ thị khi có dòng điện chạy qua và tạo ra một mômen quay (M_q).

Độ lớn của mômen tỷ lệ với độ lớn của dòng điện đưa vào cơ cấu chỉ thị. Mômen quay M_q được xác định theo biểu thức:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}, \quad (2-1)$$

trong đó W_e - năng lượng điện từ
 α - góc quay của phần động.

Nếu ta đặt vào trục của phần động một lò xo cản, khi phần động quay, lò xo bị xoắn lại và tạo ra một mômen cản M_c .

$$M_c = D\alpha. \quad (2-2)$$

D - hệ số phụ thuộc vào kích thước và vật liệu chế tạo lò xo (hoặc dây treo).

Tại thời điểm cân bằng ($M_q = M_c$)

ta có:
$$\frac{dW_c}{d\alpha} = D\alpha$$

và
$$\alpha = \frac{1}{D} \frac{dW_c}{d\alpha} \quad (2-3)$$

Đây là phương trình đặc tính thang đo của chỉ thị cơ điện.

2-1-2. Cơ cấu chỉ thị từ điện

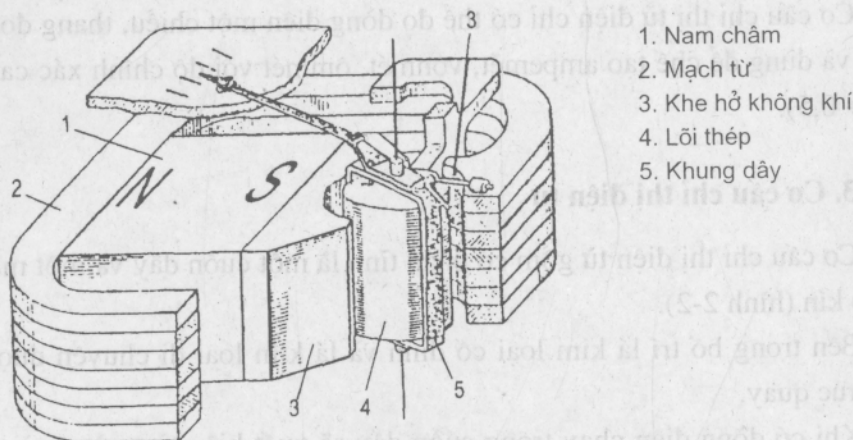
Cơ cấu chỉ thị từ điện gồm có hai phần cơ bản: Phần tĩnh và phần động (hình 2-1)

- Phần tĩnh gồm Nam châm vĩnh cửu, cực từ, lõi thép và giá đỡ không dẫn từ. Giữa cực từ và lõi thép có khe hở không khí.

- Phần động là 1 khung dây được quấn bằng dây đồng có đường kính $\phi = 0,03 \div 0,07$ mm.

Khung dây gắn vào trục có thể quay trong khe hở không khí.

Nam châm chế tạo bằng các hợp kim Vonfram, Alnico, hợp kim Crom v.v... có trị số tự cảm cỡ $0,1 \div 0,12$ Tesla hoặc từ $0,2 \div 0,3$ Tesla.



Hình 2-1. Cơ cấu chỉ thị từ điện

Khi có dòng điện chạy qua khung dây, dưới tác động của từ trường nam châm vĩnh cửu, khung dây lệch khỏi vị trí ban đầu một góc α . Mômen quay được tính theo biểu thức:

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

trong đó: $W_c = \phi I.$ (2-4)

ϕ - từ thông trong khe hở không khí.

Mà $\phi = BWS\alpha.$ (2-5)

B - độ từ cảm của nam châm;

S - tiết diện khung dây;

W - số vòng của khung dây;

α - góc lệch của khung khỏi vị trí ban đầu.

Từ (2 - 4) thay vào (2-1) ta được:

$$M_q = \frac{d(\phi I)}{d\alpha} = \frac{d(BWS\alpha I)}{d\alpha} = BWSI$$
 (2-6)

ở vị trí cân bằng với $M_q = M_c$, ta có:

$$BWSI = D\alpha \text{ và } \alpha = \frac{1}{D} BWSI = S_1 I$$
 (2-7)

S_1 - độ nhạy của cơ cấu theo dòng.

Cơ cấu chỉ thị từ điện chỉ có thể đo dòng điện một chiều, thang đo tuyến tính và dùng để chế tạo ampemét, vônmet, ômmét với độ chính xác cao (cấp 0,1 ÷ 0,5).

2-1-3. Cơ cấu chỉ thị điện từ

Cơ cấu chỉ thị điện từ gồm có phần tĩnh là một cuộn dây và một mạch từ khép kín (hình 2-2).

Bên trong bố trí lá kim loại cố định và lá kim loại di chuyển được gắn với trục quay.

Khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ xuất hiện từ trường và từ hóa các tấm kim loại tĩnh và động để tạo thành nam châm. Giữa các tấm kim loại hình thành lực đẩy lẫn nhau và tạo nên mômen quay (M_q).

Ta có: $M_q = \frac{dW_c}{d\alpha}$

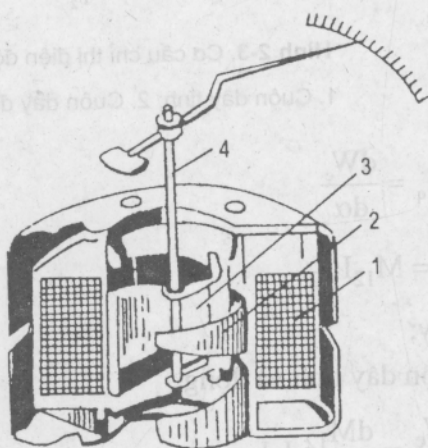
trong đó:

$$W_e = \frac{LI^2}{2} \quad (2-8)$$

L - điện cảm của cuộn dây,

I - dòng điện chạy trong cuộn dây, do đó:

$$M_q = \frac{d\left(\frac{LI^2}{2}\right)}{d\alpha} = \frac{1}{2} LI^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad (2-9)$$



1. Cuộn dây
2. Lá thép cố định
3. Lá thép động

Hình 2-2. Cơ cấu chỉ thị điện từ

Khi ở vị trí cân bằng: $M_q = M_c$

$$\frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} = D\alpha \quad \text{và} \quad \alpha = \frac{1}{2D} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad (2-10)$$

Cơ cấu chỉ thị điện từ được dùng để chế tạo vônmet, amperet trong mạch điện xoay chiều tần số công nghiệp.

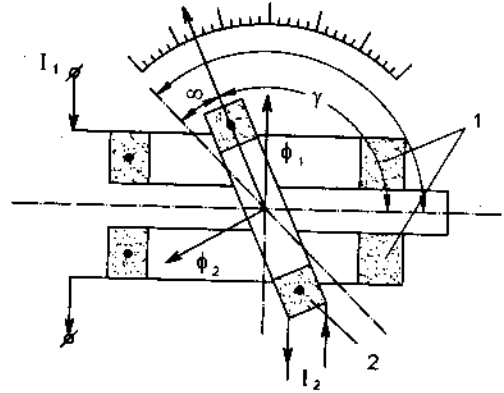
Thang đo của chỉ thị không đều, tiêu thụ công suất lớn và độ chính xác không cao (độ chính xác cấp 1 ÷ 2)

2-1-4. Cơ cấu chỉ thị điện động

Cơ cấu chỉ thị điện động gồm cuộn dây tĩnh được chia thành hai phần nối tiếp nhau để tạo ra từ trường đều khi có dòng điện chạy qua.

Phân động là một khung dây đặt bên trong cuộn dây tĩnh và gắn trên trục quay (hình 2-3). Cả phân động và tĩnh thường được bọc kín bằng màn chắn từ để tránh ảnh hưởng của từ trường ngoài đến sự làm việc của cơ cấu.

Nguyên lý làm việc dựa trên sự tác động của điện từ trường khi cho dòng điện đi qua các cuộn dây và tạo nên mômen quay làm cho khung dây quay đi một góc α .



Hình 2-3. Cơ cấu chỉ thị điện động

1. Cuộn dây tĩnh; 2. Cuộn dây động

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

$$W_c = M_{12} I_1 I_2.$$

M_{12} - Hồ cảm giữa hai cuộn dây;

I_1, I_2 - dòng điện chạy trong cuộn dây tĩnh và động.

ta có:
$$M_q = \frac{dW_c}{d\alpha} = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2.$$

Ở vị trí cân bằng $M_q = M_c$

$$I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = D\alpha; \quad \alpha = \frac{1}{D} I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (2-11)$$

Khi cuộn dây tĩnh và cuộn dây động mắc nối tiếp nhau $I_1 = I_2 = I$. Từ (2-11) ta có

$$\alpha = \frac{1}{D} I^2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (2-12)$$

Cơ cấu chỉ thị điện động dùng để chế tạo amperemét, vônmet và oátmet dòng điện một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp.

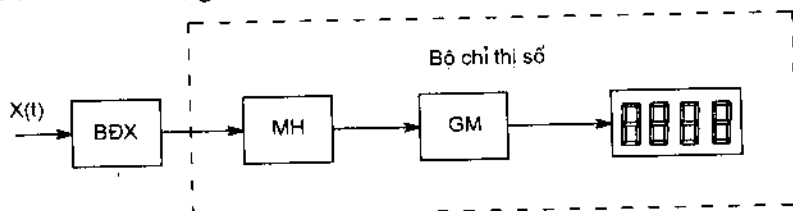
Thang đo của chỉ thị không đều, độ chính xác cao (đạt cấp 1 ÷ 0,5)

2-2. Chỉ thị số

2-2-1. Nguyên lý của chỉ thị số

Hình 2-4 là sơ đồ khối của bộ chỉ thị số. Đại lượng đo liên tục $x(t)$ được đưa qua bộ biến đổi xung A/D (Analog/Digital). Số xung N tỷ lệ với giá trị $x(t)$ được đưa đến bộ mã hóa (MH), bộ giải mã (GM) và đèn hiển số.

Các khâu mã hóa, giải mã và đèn hiển số tạo thành bộ chỉ thị số.



Hình 2-4. Sơ đồ khối của chỉ thị số

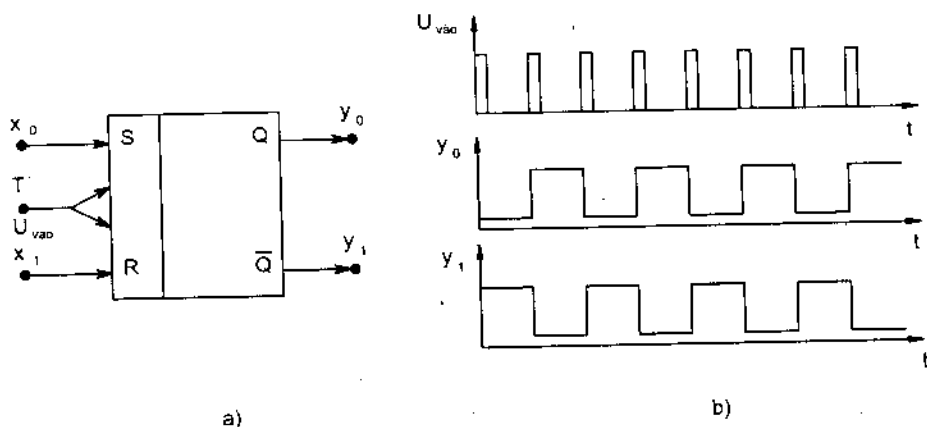
2-2-2. Mã số

Mã số là những ký hiệu về một tập hợp số, từ tổ hợp các ký hiệu đó ta có thể đọc được bất kỳ số nào.

Có các loại mã số sau:

- Mã cơ số 10, đó là hệ đếm thập phân có 10 ký tự từ 0, 1, 2,... 9.
- Mã cơ số 2 (mã nhị phân) là loại mã có 2 trạng thái được ký hiệu 0 và 1.
- Mã 2-10 (mã BCD) là sự liên hệ giữa mã cơ số 2 và mã có số 10 để có thể quan sát và đọc được. Khi thực hiện mã số người ta dùng các bộ trigơ.

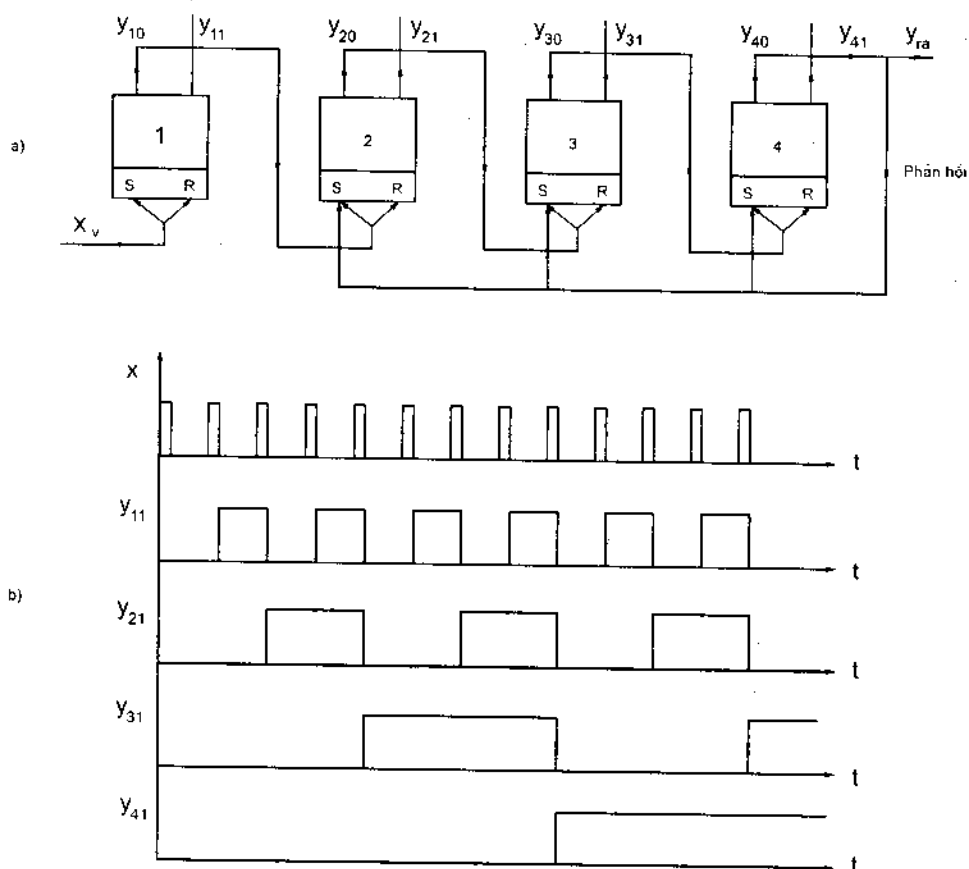
Hình 2-5 là sơ đồ của một trigơ gồm 2 đầu vào S và R và 1 đầu vào chung T. Hai đầu ra Q và $\bar{Q}$ với tín hiệu ra y_0 và y_1 .



Hình 2-5. a) Trigơ; b) Tín hiệu vào, ra của Trigơ.

2-2-3. Mạch đếm

Có nhiều loại mạch đếm khác nhau như mạch đếm thang mười sáu, mạch đếm thang 10 v.v.... Trong thực tế người ta thường dùng mạch đếm thang mười để tiện quan sát và dễ đọc. Mạch đếm thang 10 gồm 4 trigơ nối tiếp nhau như hình 2-6.



Hình 2-6. a) Sơ đồ logic của bộ đếm phân;

b) Biểu đồ thời gian các đầu ra

Do mắc 4 trigơ nối tiếp, nếu thực hiện đếm bình thường có thể tới 16 số, để đếm với 10 số người ta thêm khâu phản hồi, khi đếm đến 9 xung, tất cả các trigơ đều chuyển về trạng thái 1 và ở xung thứ 10, các trigơ trở về 0.

Bảng 2-1 cho thấy trạng thái ở đầu ra của các trigơ với mạch đếm thang 10.

Bảng 2-1

Số xung	Trạng thái trigơ			
	tr.4	tr.3	tr.2	tr.1
0	0	1	1	0
1	0	1	1	1
2	1	0	0	0
3	1	0	0	1
4	1	0	1	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	0	1
8	1	1	1	0
9	1	1	1	1
10	0	0	0	0
0	0	1	1	0

2-2-4. Bộ hiện số

a) Hiện số bằng điốt phát quang (LED)

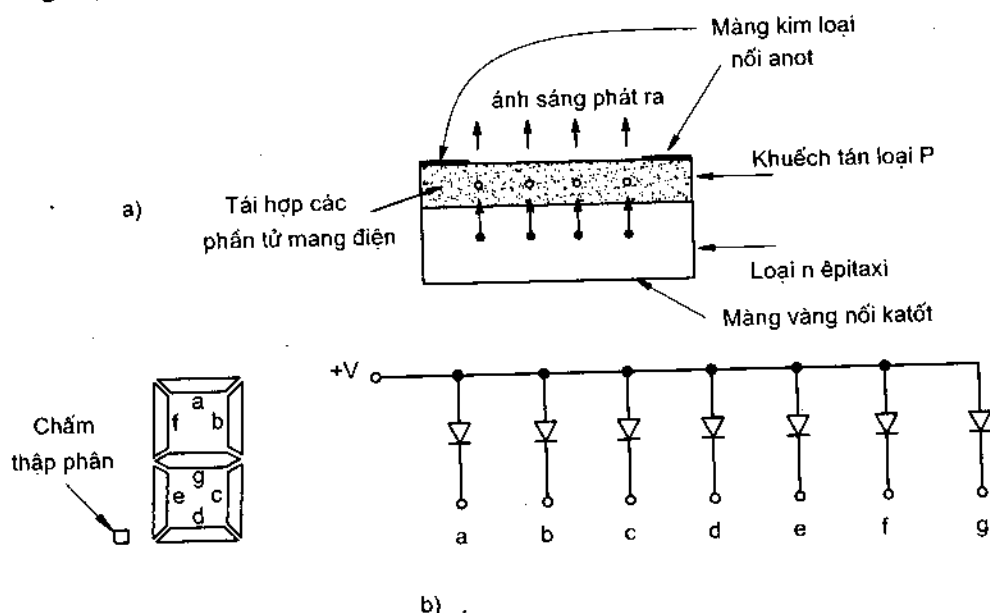
Khi có sự tái hợp các phân tử mang điện xuất hiện tại lớp tiếp xúc p-n định thiên thuận (như các điện tử từ n sang tái hợp với lỗ trống p). Chúng sẽ phát ra năng lượng dưới dạng nhiệt và ánh sáng. Nếu vật liệu bán dẫn trong suốt thì ánh sáng được phát ra và lớp tiếp xúc là nguồn sáng (gọi là điốt phát quang LED).

Hình 2-7a là mặt cắt của LED thông thường và hình 2-7b là cách bố trí bộ hiện số LED bảy thanh.

Ưu điểm của điốt phát quang (LED) là:

- Kích thước nhỏ có thể ghép tới vài nghìn đèn trên một mét vuông.
- Cường độ sáng phụ thuộc vào dòng điện đi qua do đó có thể điều khiển được độ sáng thích hợp.
- Màu sắc của ánh sáng là màu đỏ, vàng, xanh. Tùy thuộc vào loại vật liệu:
- + Vật liệu là Asenit Gali (GaAs) đèn có ánh sáng đỏ.
- + Asenit Gali Photphit (GaAsP) đèn có ánh sáng đỏ hoặc vàng.
- + Photphit Gali (GaP) đèn có ánh sáng màu đỏ hoặc xanh.

- Khả năng chuyển mạch nhanh cỡ 1ns.
- Điện áp và dòng điện cung cấp cho LED với độ sụt áp trên đèn 1,2V; dòng điện thuận cỡ 20 mA.



Hình 2-7.

b) Bộ hiện số tinh thể lỏng (LCD)

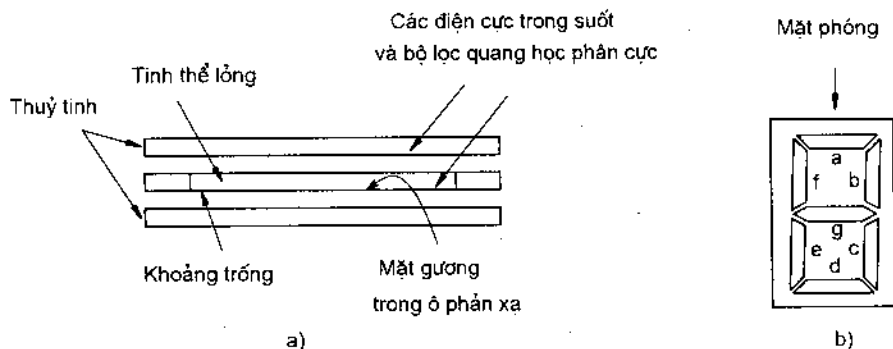
Các bộ hiện số bằng tinh thể lỏng được bố trí theo dạng bảy thanh giống như đèn LED. Mặt cắt của ô tinh thể lỏng kiểu hiệu ứng trường được biểu diễn trên hình 2-8a và bộ hiện số 7 thanh hình 2-8b.

Tinh thể lỏng là một trong các hợp chất hữu cơ có tính chất quang học. Chúng được đặt thành lớp giữa các tấm kính với các điện cực trong suốt kết nối ở mặt trong.

Do bị kích hoạt, tinh thể lỏng không xoắn ánh sáng khi đi qua các bộ lọc quang do đó làm cho các ô trong bộ hiện số bảy thanh nổi lên trên phông của chúng.

Dòng toàn phần dùng để kích hoạt chạy qua bốn bộ hiện số bảy thanh loại nhỏ cỡ 300 μ A.

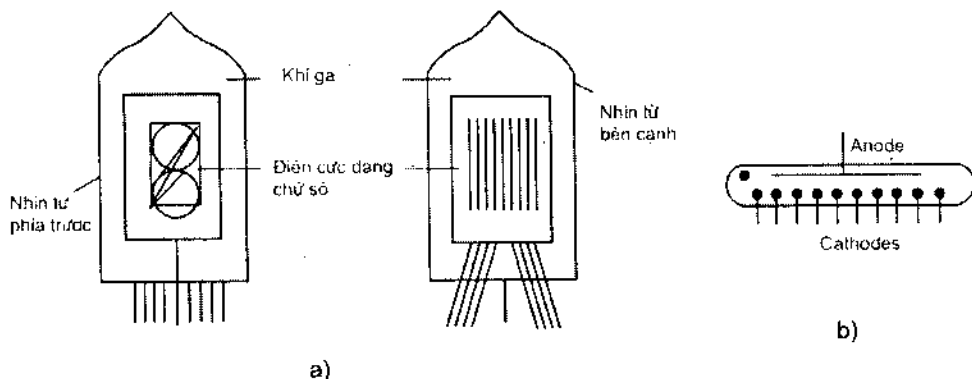
Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều hình sin hoặc xung vuông có tần số 60 Hz và điện áp khoảng 8V.



Hình 2-8

c) Đèn hiện số.

Cấu tạo của một đèn hiện số như hình 2-9a và ký hiệu chung hình 2-9b. Trong đó Anốt là một tấm kim loại phẳng và mười catốt tách riêng. Mỗi catốt ứng với một con số từ 0 ÷ 9. Các điện cực được đặt trong ống thủy tinh chứa đầy khí trơ với các chân nối dưới đáy.



Hình 2-9. Cấu tạo của đèn hiện số (a) và ký hiệu (b)

Khí trơ thường là khí neon phát ra ánh sáng màu da cam khi đèn bị kích hoạt.

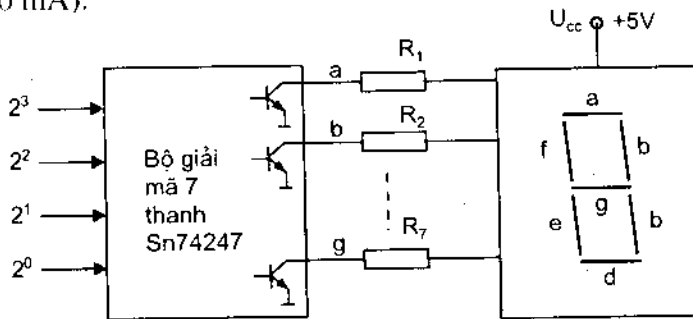
Nguyên lí hoạt động của đèn dựa trên hiện tượng ion hóa chất khí do va chạm khi đặt một điện áp đủ lớn vào Anot và Catốt. (100v ÷ 200v). Trong quá trình va chạm và tái hợp của các ion chúng phát ra ánh sáng do đó có thể nhìn được các chữ số.

Nhược điểm của đèn hiện số là kích thước lớn, nguồn cung cấp cần có điện áp cao.

2-2-5. Bộ giải mã

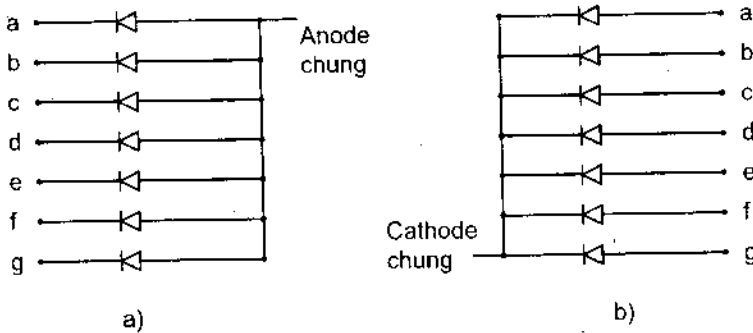
Các mạch giải mã thực hiện biến đổi từ mã cơ số 2 hoặc mã 2-10 thành mã cơ số 10, nghĩa là thể hiện kết quả dưới dạng số thập phân. Ngày nay các mạch giải mã được chế tạo dưới dạng vi mạch.

Ví dụ: Vi mạch SN74247 (hình 2-10) có các đầu ra hở cực góp để điều khiển LED có chung Anốt + 5V. Các điện trở $R_1 \dots R_7$ hạn chế dòng đốt Anốt (5 - 20 mA).



Hình 2-10. Bộ giải mã 7 thanh

Trong các bộ hiển thị bảy thanh dùng đèn LED người ta mắc theo hai cách: Nối Anốt chung hoặc Catốt chung (hình 2-11a, b).

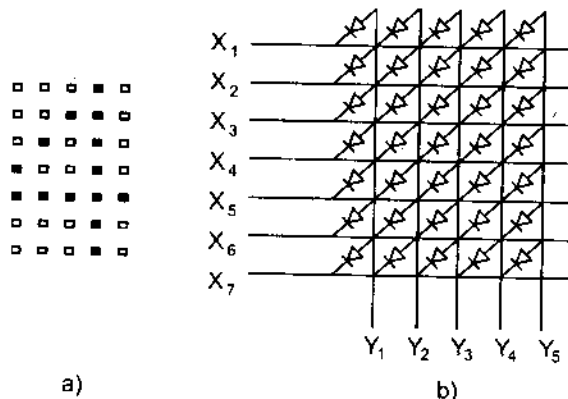


Hình 2-11. Sơ đồ mắc bộ hiển thị 7 thanh
a) Anốt chung; b) Catốt chung

Với các bộ hiển số có nhiều chữ số được thực hiện theo sơ đồ hình 2-12.

Đó là hệ thống hiển số (8 Digit) sử dụng LED 7 thanh. Trong sơ đồ gồm có hai phần: Mạch quét lần lượt hiển thị các đèn từ $D_1 \div D_8$ và mạch giải mã bảy thanh để hiển số cho từng đèn.

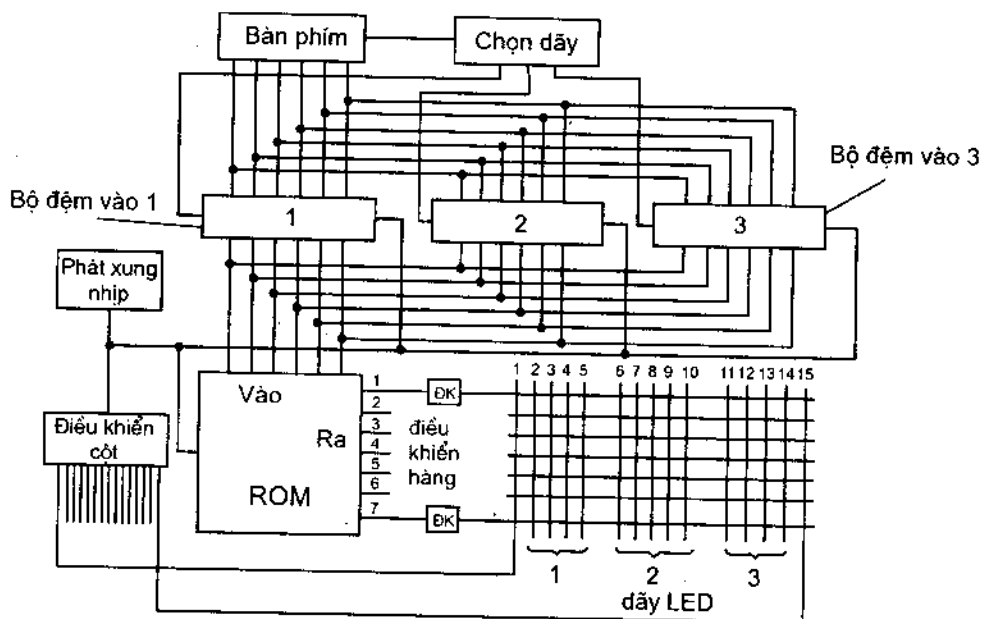
Các thanh còn lại điện áp giữa chúng và điện cực chung bằng zêrô.
 Ngoài ra hiển thị số còn sử dụng bảng ma trận điểm mà mỗi đèn LED là một vị trí điểm.
 Hình 2-14 là sơ đồ lắp bảng ma trận điểm thường gặp với dạng 5×7 có anot chung trong đó X - Y là các đường nối các điểm của ma trận.



Hình 2-14. Sơ đồ ma trận điểm 5×7 với anot chung

Hình 2-14

Hình 2-15 mô tả hệ thống hiển thị 3 digit với ma trận điểm 5×7 .



Hình 2-15. Hệ thống hiển thị 3 digit với ma trận điểm 5×7

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG II

1. Cấu tạo, nguyên lí hoạt động và đặc điểm của cơ cấu chỉ thị từ điện, điện từ và điện động.
2. Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động và đặc điểm của chỉ thị số.
 - Thế nào là mã số? Thiết bị để thực hiện mã số.
 - Cấu tạo và nguyên lí hoạt động của bộ đếm thập phân
 - Cấu tạo, nguyên lí hoạt động của các đèn hiển số.
 - Bộ giải mã, nguyên tắc hoạt động.

CHƯƠNG III

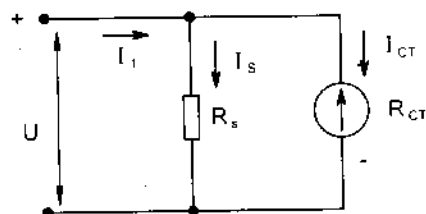
ĐO ĐIỆN ÁP VÀ DÒNG ĐIỆN

3-1. Ampemét

3-1-1. Ampemét một chiều (DC)

Ampemét một chiều được chế tạo trên cơ cấu chỉ thị từ điện.

Dòng điện cho phép qua cơ cấu đo từ $10^{-1} \div 10^{-2} \text{A}$, điện trở của cơ cấu từ $20 \Omega \div 2000 \Omega$. Vì vậy khi sử dụng đo dòng lớn hơn dòng cho phép ta phải mắc thêm một điện trở sun nối song song với cơ cấu chỉ thị. Sơ đồ cấu tạo của Ampemét như hình 3-1.



Hình 3-1

trong đó: R_{CT} - điện trở của cơ cấu chỉ thị;

R_s - điện trở sun; I_s - dòng điện qua điện trở sun; I_{CT} - dòng điện qua chỉ thị; I - Dòng qua Ampemét.

Điện trở sun được tính theo công thức:

$$R_s = \frac{R_{CT}}{n - 1} \quad (3-1)$$

$$n = \frac{I}{I_{CT}}, \quad (3-2)$$

Ví dụ 1: Một miliampemét có dòng lớn nhất đi qua chỉ thị $I_{CT} = 1 \text{mA}$, điện trở của cơ cấu chỉ thị $R_{CT} = 100 \Omega$. Tính giá trị điện trở sun để đo với dòng $I = 100 \text{mA}$. Với $I_{CT} = 1 \text{mA}$; $R_{CT} = 100 \Omega$; $I = 100 \text{mA}$. Ta có:

$$n = \frac{I}{I_{CT}} = \frac{100 \text{mA}}{1 \text{mA}} = 100.$$

$$R_s = \frac{R_{CT}}{n-1} = \frac{100}{100-1} = 1.01 \Omega.$$

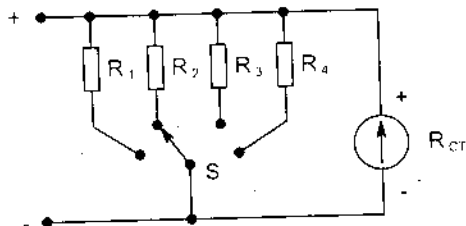
Các điện trở sun được chế tạo từ Manganin hoặc constantan và có trị số rất nhỏ. Vật liệu chế tạo điện trở sun cần thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Hệ số nhiệt độ thấp và đồng nhất.
- Điện trở không thay đổi theo thời gian.
- Nhiệt độ ổn định khi có dòng điện đi qua.

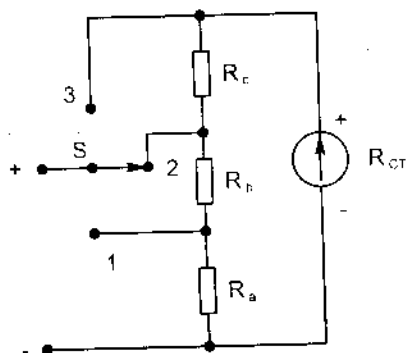
Các điện trở sun sử dụng với dòng điện nhỏ được gắn bên trong Ampemét nhưng với các dòng lớn (200A), các sun được ghép song song với nhau.

Ampemét có nhiều thang đo có thể mắc các điện trở sun theo hai cách: các điện trở mắc song song hoặc nối tiếp. Hình 3-2 là Ampemét nhiều thang đo với các điện trở R_1, R_2, R_3 và R_4 được nối song song với chỉ thị.

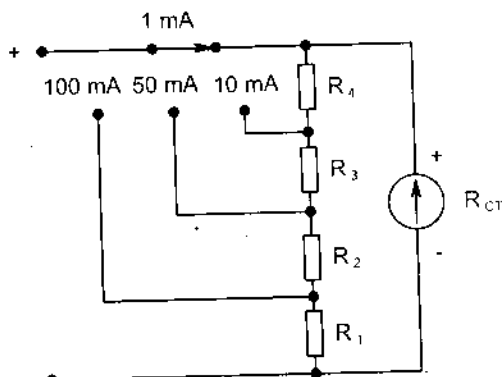
Các điện trở $R_1 \div R_4$ ứng với dòng điện đo được tính theo công thức (3-1) và (3-2).



Hình 3-2. Ampemét nhiều thang đo với các điện trở mắc song song



a)



b)

Hình 3-3. Ampemét nhiều thang đo với các điện trở mắc nối tiếp a, b

Nhược điểm của cách mắc trên là khi chuyển mạch từ vị trí này sang vị trí khác toàn bộ dòng đo sẽ đi qua chỉ thị dẫn đến quá tải và gây nên hỏng hóc, vì vậy khi thiết kế phải chế tạo bộ chuyển mạch sao cho có tính liên tục.

chuyển mạch phải để ở vị trí dòng lớn nhất trước khi đo sau đó giảm dần. Các điện trở yêu cầu độ chính xác cao nên giá thành đắt. Để tăng độ nhạy và khắc phục nhược điểm của sơ đồ trên ta có thể mắc các điện trở nối tiếp nhau như hình 3-3a.

Ví dụ 2: Một cơ cấu đo từ điện (hình 3-3b) có dòng định mức qua chỉ thị $I_{CT} = 50 \mu A$ điện trở của cơ cấu $R_{CT} = 100 \Omega$. Tính các điện trở tương ứng R_1, R_2, R_3, R_4 với các thang đo $0 \div 1 \text{ mA}$, 10 mA , 50 mA và 100 mA . Cách tính như sau: $R_{CT} = 100 \Omega$; $I_{CT} = 50 \mu A$.

Với $I_1 = 0 \div 1 \text{ mA}$ ta có:

$$n_1 = \frac{I_1}{I_{CT}} = \frac{1000 \mu A}{50 \mu A} = 20$$

$$R_{S1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{R_{CT}}{n_1 - 1} = \frac{100}{20 - 1} = 5,26 \Omega \quad (1)$$

với $I_2 = 10 \text{ mA}$

$$n_2 = \frac{I_2}{I_{CT}} = \frac{10000 \mu A}{50 \mu A} = 200$$

$$R_{S2} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{100 + R_4}{n_2 - 1}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 = \frac{100 + R_4}{200 - 1} \quad (2)$$

với $I_3 = 50 \text{ mA}$

$$n_3 = \frac{I_3}{I_{CT}} = \frac{50.000 \mu A}{50 \mu A} = 1000$$

$$R_{S3} = R_1 + R_2 = \frac{100 + R_3 + R_4}{1000 - 1} \quad (3)$$

với $I_4 = 100 \text{ mA}$

$$n_4 = \frac{I_4}{I_{CT}} = \frac{100.000 \mu A}{50 \mu A} = 2000$$

$$R_{S4} = R_1 = \frac{100 + R_2 + R_3 + R_4}{2000 - 1} \quad (4)$$

Từ 4 phương trình (1); (2); (3) và (4)

Giải ra được:

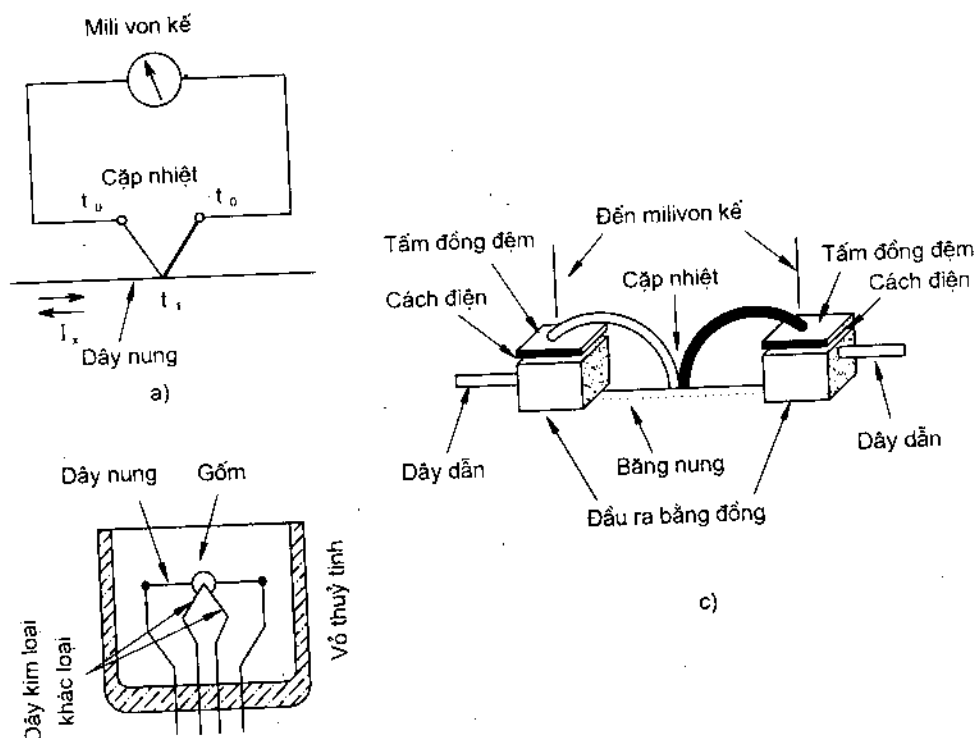
$$\begin{aligned} R_1 &= 0,05263\Omega; & R_2 &= 0,05263\Omega \\ R_3 &= 0,4147\Omega; & R_4 &= 4,74\Omega. \end{aligned}$$

3-1-2. Khi sử dụng Ampemét cần chú ý

- Không tạo nên điện áp rơi tại các mối nối.
- Không được nối trực tiếp Ampemét với nguồn điện khi chưa có tải do điện trở sun có trị số nhỏ sẽ tạo nên dòng điện lớn gây hỏng thiết bị.
- Khi sử dụng Ampemét trước hết phải để đổi nối ở vị trí dòng điện lớn nhất sau đó giảm dần cho đến khi thỏa mãn dòng cần đo.

3-1-3. Ampemét nhiệt điện

Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện như hình 3-4a.



Hình 3-4. Ampemét nhiệt điện a) Sơ đồ nguyên lý; b) Cặp nhiệt đặt trong chân không; c) Cặp nhiệt với vật dẫn nung phẳng

Cặp nhiệt điện gồm 2 thanh kim loại khác nhau được hàn với nhau tại một đầu gọi là đầu làm việc (t_1). Hai đầu kia được nối với milivon mét gọi là đầu tự do (t_0).

Một số vật liệu được sử dụng làm cặp nhiệt điện là sắt - constantan, đồng - constantan, crôm - alumen và platin - platin Rôdi v.v...

Khi đầu làm việc (t_1) khác nhiệt độ đầu tự do (t_0), cặp nhiệt điện sinh ra một sức điện động:

$$E_t = k_1 \theta^0 \quad (3-3)$$

với $\theta^0 = t_1 - t_0$ là hiệu nhiệt độ giữa 2 đầu t_1 và t_0 với $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

Nếu ta đốt nóng đầu làm việc t_1 bằng dòng điện I_x thì quan hệ giữa nhiệt độ θ^0 và dòng I_x được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\theta^0 = k_2 I_x^2 \quad (3-4)$$

Từ (3-4) thay vào (3-3) ta được:

$$E_t = k_1 k_2 I_x^2 = k_3 I_x^2 \quad (3-5)$$

k_1, k_2, k_3 - Hằng số.

Sức điện động E_t được đo bằng milivon mét hoặc miliampemét khi đó góc quay α được biểu diễn bằng biểu thức

$$\alpha = K I_x^2 \quad (3-6)$$

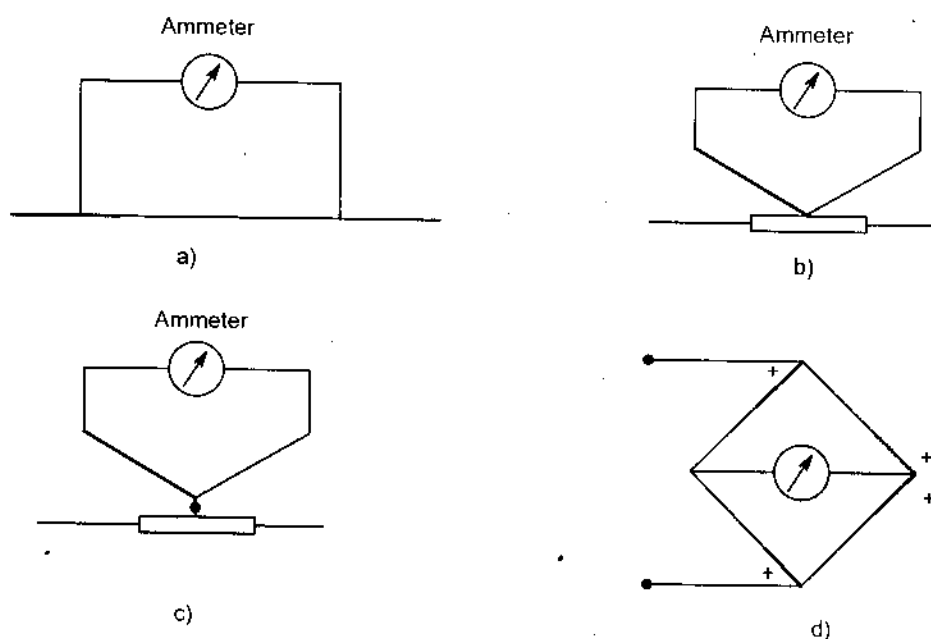
Hình 3-4 b, c vẽ cấu tạo của hai loại cặp nhiệt điện khác nhau.

Hình 3-4b là cặp nhiệt đặt trong một ống chân không để bảo vệ mối nối khỏi bị tổn hao nhiệt.

Hình 3-4c là cặp nhiệt với vật dẫn nung phẳng, nhờ tấm đồng dẹt và cách điện làm cho cặp nhiệt độ ít bị ảnh hưởng do nhiệt độ của môi trường.

Hình 3-5 mô tả một số cặp nhiệt và phương pháp mắc chúng với dụng cụ đo. Ở sơ đồ 3-5a dòng điện luân phiên nhau đi qua cặp nhiệt không qua dây đốt. Nhược điểm của sơ đồ là chỉ thị tạo thành Sun của cặp nhiệt.

Sơ đồ 3-5b có độ nhạy thấp hơn 3-5a do chỉ có đầu cặp nhiệt tiếp xúc với dây dẫn. Sơ đồ 3-5c cặp nhiệt được đặt gần dây dẫn qua hạt thủy tinh do đó dụng cụ có quán tính lớn và độ nhạy kém.



Hình 3-5. Các phương pháp mắc cặp nhiệt với dụng cụ đo

Sơ đồ 3-5d có độ nhạy cao giống sơ đồ 3-5a và tránh được hiệu ứng Sun của micro Ampemét.

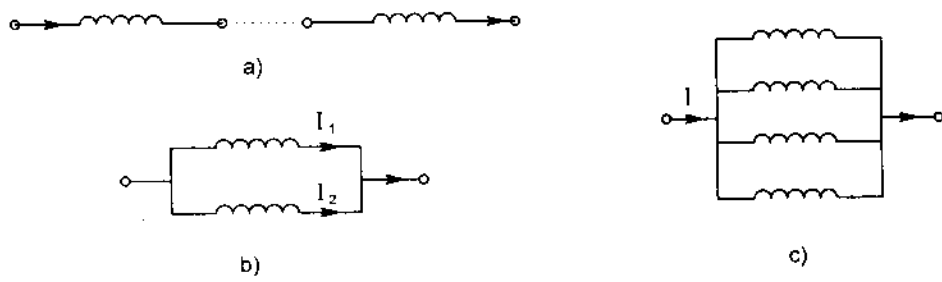
Ampemét nhiệt điện có sai số lớn do tiêu hao công suất, khả năng quá tải kém nhưng có thể đo được.

Ở dải tần rộng (từ một chiều đến tần số MHz) mà các Ampemét cơ điện khác không đo được.

3-1-4. Ampemét điện từ: Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng nhất định (ví dụ: $I_W = 100 \div 200$ A - vòng) do đó khi mở rộng thang đo chỉ cần thay đổi sao cho I_W là hằng số bằng cách chia cuộn dây thành nhiều đoạn bằng nhau và thay đổi cách ghép nối các đoạn đó như hình 3-6. Ampemét điện từ có thể đo dòng từ mA ÷ 10A với tần số công nghiệp 50 Hz. Sai số khoảng $\pm 2\% \div 0,5\%$.

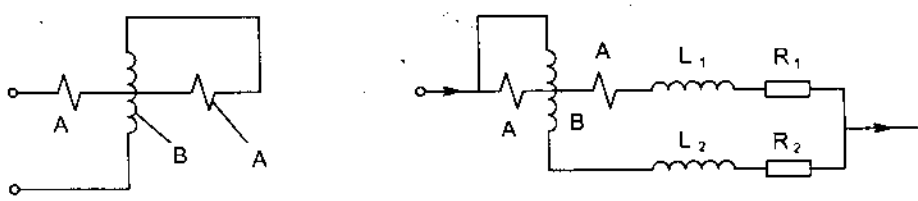
3-1-5. Ampemét điện động

Thường sử dụng đo dòng điện tần số 50 Hz hoặc cao hơn ($400 \div 2000$ Hz) với độ chính xác cao (Cấp 1 ÷ 0,5). Tùy theo dòng đo, cuộn dây tĩnh và động được mắc nối tiếp hoặc song song.



Hình 3-6. Phương pháp thay đổi thang đo của Ampemét điện tử

Hình 3-7 cho ta thấy cách đấu cuộn dây của một Ampemét điện động thông thường.



Hình 3-7. Cách đấu cuộn dây của Ampemét điện động

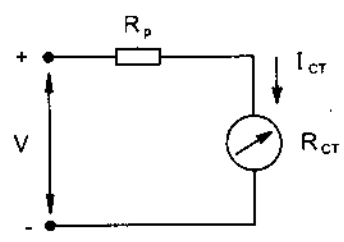
3-2. Vôn-mét và đồng hồ vạn năng (vạn năng kế)

3-2-1. Giới thiệu chung

Cấu trúc của Vôn-mét và đồng hồ vạn năng dựa trên các cơ cấu chỉ thị cơ điện như cơ cấu chỉ thị từ điện, điện từ và điện động kết hợp với các điện trở, các mạch chỉnh lưu, khuếch đại IC v.v... để tạo nên các Vôn-mét, dòng 1 chiều (DC), xoay chiều (AC), các Ôm-mét và đồng hồ vạn năng.

3-2-2. Vôn-mét một chiều

Vôn-mét một chiều được chế tạo gồm cơ cấu chỉ thị từ điện nối tiếp với một điện trở phụ R_p như hình 3-8. Khác với Ampemét, Vôn-mét dùng để đo điện áp rơi trên phụ tải hoặc điện áp giữa hai đầu của một mạch điện, do đó nó luôn mắc song song với phụ tải cần đo.



Hình 3-8

08.008.1

Điện trở phụ (R_p) được tính theo công thức:

$$R_p = R_{CT}(m-1) \quad (3-7)$$

$$m = \frac{U}{U_{CT}} \quad (3-8)$$

R_p - điện trở phụ; R_{CT} - điện trở của cơ cấu chỉ thị; U - điện áp cần đo;
 U_{CT} - điện áp rơi trên cơ cấu chỉ thị ($U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT}$)

Ví dụ 1: Một cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng lệch toàn thang $I_{CT} = 50\mu A$.
 Điện trở của chỉ thị $R_{CT} = 500\Omega$.

Tính điện trở phụ để tạo nên một vôn-mét có thang đo $0 \div 10V$.

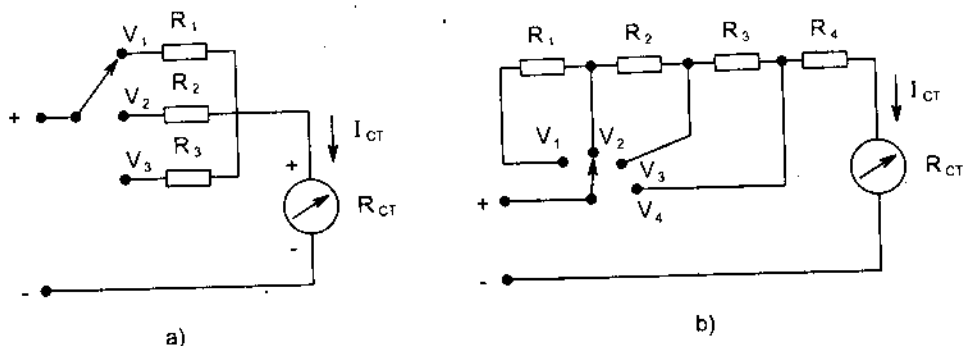
Ta có: $R_p = R_{CT}(m - 1)$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 500 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 0,025U.$$

$$m = \frac{U}{U_{CT}} = \frac{10}{0,025} = 400$$

$$R_p = R_{CT}(m - 1) = 500 \cdot 399 \Omega = 199500 \Omega = 199,5k\Omega.$$

Để mở rộng nhiều thang đo ta có thể mắc theo sơ đồ hình 3-9a hoặc 3 - 9b.



Hình 3-9. Phương pháp mở rộng thang đo của Vôn-mét

a) Dạng nối song song; b) Dạng nối tiếp

Với sơ đồ hình 3-9a các điện trở phụ được nối qua bộ chuyển mạch (dạng song song) và tính các điện trở phụ thực hiện theo công thức (3-7) và (3-8).

Hình 3-9b là sơ đồ vôn-mét nhiều thang đo mà các điện trở được mắc nối tiếp nhau. Cách tính các điện trở phụ thực hiện như sau:

Ví dụ 2: Để biến đổi một cơ cấu chỉ thị từ điện như hình 3-9b thành một vôn-mét, tính R_1, R_2, R_3, R_4 tương ứng với thang đo 0 – 10V, 0 – 50V, 0 – 100V và 0 – 250V biết rằng điện trở của cơ cấu đo $R_{CT} = 50\Omega$ và dòng lệch toàn thang $I_{CT} = 2mA$.

Ta có: - Với thang 10V (V_4): Điện trở toàn thang đo R_t

$$R_t = \frac{V_4}{I_{CT}} = \frac{10V}{2mA} = 5k\Omega$$

do đó $R_4 = R_t - R_{CT} = 5k\Omega - 50\Omega = 4950\Omega$.

- Với thang 50V (U_3)

$$\text{Điện trở toàn thang: } R_t = \frac{U_3}{I_{CT}} = \frac{50V}{2mA} = 25k\Omega$$

$$R_3 = 25k\Omega - (4950 + 50) = 25k\Omega - 5k\Omega = 20k\Omega.$$

- Với thang đo 100V (U_2)

$$\text{Điện trở toàn thang đo: } R_t = \frac{100V}{0,002A} = 50000\Omega = 50k\Omega$$

$$R_2 = R_t - (R_3 + R_4 + R_{CT}) = 50k\Omega - (20k\Omega + 4,950 k\Omega + 0,05k\Omega)$$

$$R_2 = 50k\Omega - 25k\Omega = 25k\Omega.$$

- Với thang 250V (U_1)

$$\text{Điện trở } R_t = \frac{250V}{0,002A} = 125k\Omega.$$

$$R_1 = R_t - (R_2 + R_3 + R_4 + R_{CT}) = 125 - (25 + 20 + 4,950 + 0,05) \\ = 125 - 50 = 75k\Omega.$$

* Độ nhạy của vôn-mét được tính theo biểu thức

$$S = \frac{1}{I_t} \left(\frac{\Omega}{V} \right) \quad (3-9)$$

I_t - dòng lệch toàn thang đo.

Ví dụ 3: Tính độ nhạy của một vôn-mét có dòng lệch toàn thang đo $I_t = 200 \mu A$.

$$\text{Độ nhạy } S = \frac{1}{I_t} = \frac{1}{200\mu A} = 5 K\Omega/V$$

* Từ độ nhạy (S) ta có thể tính được điện trở phụ (R_p) của vôn-mét.

$$R_p = (S \times U) - R_{CT} \quad (3-10)$$

U - điện áp đo; S - độ nhạy (Ω/V); R_{CT} - điện trở của cơ cấu chỉ thị.

Điện trở phụ (R_p) được tính theo công thức:

$$R_p = R_{CT}(m-1) \quad (3-7)$$

$$m = \frac{U}{U_{CT}} \quad (3-8)$$

R_p - điện trở phụ; R_{CT} - điện trở của cơ cấu chỉ thị; U - điện áp cần đo;
 U_{CT} - điện áp rơi trên cơ cấu chỉ thị ($U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT}$)

Ví dụ 1: Một cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng lệch toàn thang $I_{CT} = 50\mu A$,
 Điện trở của chỉ thị $R_{CT} = 500\Omega$.

Tính điện trở phụ để tạo nên một vôn-mét có thang đo $0 \div 10V$.

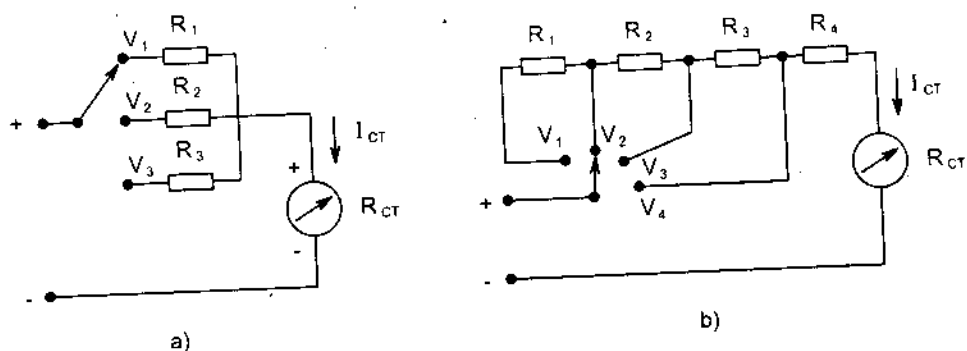
Ta có: $R_p = R_{CT}(m-1)$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 500 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 0,025U.$$

$$m = \frac{U}{U_{CT}} = \frac{10}{0,025} = 400$$

$$R_p = R_{CT}(m-1) = 500 \cdot 399 \Omega = 199500 \Omega = 199,5k\Omega.$$

Để mở rộng nhiều thang đo ta có thể mắc theo sơ đồ hình 3-9a hoặc 3 - 9b.



Hình 3-9. Phương pháp mở rộng thang đo của Vôn-mét

a) Dạng nối song song; b) Dạng nối tiếp

Với sơ đồ hình 3-9a các điện trở phụ được nối qua bộ chuyển mạch (dạng song song) và tính các điện trở phụ thực hiện theo công thức (3-7) và (3-8).

Hình 3-9b là sơ đồ vôn-mét nhiều thang đo mà các điện trở được mắc nối tiếp nhau. Cách tính các điện trở phụ thực hiện như sau:

Ví dụ 4: Tính điện trở phụ của một vônmet từ điện có điện áp đo $U = 50V$; dòng lớn nhất làm lệch toàn thang $I_l = 200\mu A$; điện trở của chỉ thị $R_{CT} = 100\Omega$.

$$\text{Từ (3-9) ta có: } S = \frac{1}{I_l} = \frac{1}{200\mu A} = 5K\Omega / V.$$

$$\begin{aligned} \text{Từ (3-10): } R_p &= (S \times U) - R_{CT} \\ &= 5K \times 50 - 100 \\ &= 250K - 100 \\ &= 249,9 K\Omega. \end{aligned}$$

Để giảm sai số đo, điện trở của vônmet càng lớn càng tốt do khi mắc song song với điện trở tải (R_l) điện trở này tương ứng với điện trở S nên do đó làm giảm độ nhạy của dụng cụ và gây nên sai số trong khi đo.

3-2-3. Vônmet điện tử

Ngày nay các vônmet điện tử được sử dụng rộng rãi nhờ sự phát triển của các mạch điện tử như khuếch đại tranzito, các bộ khuếch đại IC - Opam.

Các dụng cụ đo được kết hợp giữa các bộ khuếch đại với các chỉ thị cơ điện nên đã tăng độ nhạy, tăng điện trở đầu vào, cấu tạo nhỏ gọn.

a) Vônmet Tranzito:

Hình 3-10 là sơ đồ vônmet đơn giản có mạch gánh emitter.

Đầu vào là một Tranzito được cung cấp bằng nguồn điện 1 chiều. Cực dương của nguồn nối với Colector của Tranzito, đầu âm nối với chỉ thị và emitter.

Điện trở R_p và điện trở R_{ct} là điện trở phụ và điện trở chỉ thị. Điện áp E (Cần đo) mắc vào Bazơ (cực dương), đầu âm nối đất.

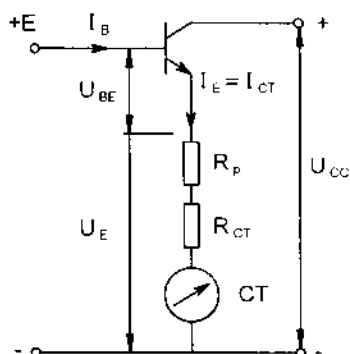
Giả sử điện áp đo $E = 10V$.

Ta có $U_{BE} = 0,7V$ (tranzito silic) như chiều mũi tên, nguồn cung cấp $U_{ct} = 20v$; $R_p + R_{CT} = 9,3k\Omega$ và $I_{CT} = 1mA$.

Lúc đó điện thế đầu ra emitter của Tranzito thấp hơn thế ở bazơ là $0,7V$.

$$U_E = E - U_{BE} = 10v - 0,7v = 9,3V.$$

Dòng đi qua chỉ thị là dòng emitter (I_E) mà



Hình 3-10. Sơ đồ nguyên lí của vônmet điện tử dùng Tranzito

$$I_E = \frac{U_E}{R_p + R_{CT}} = \frac{9,3V}{9,3k\Omega} = 1mA$$

Biết rằng $I_B \approx \frac{I_E}{h_{EF}}$; h_{EF} - hệ số khuếch đại dòng emittơ chung ($h_{EF} = 50 \div 200$).

Giả sử $h_{EF} = 100$, ta có:

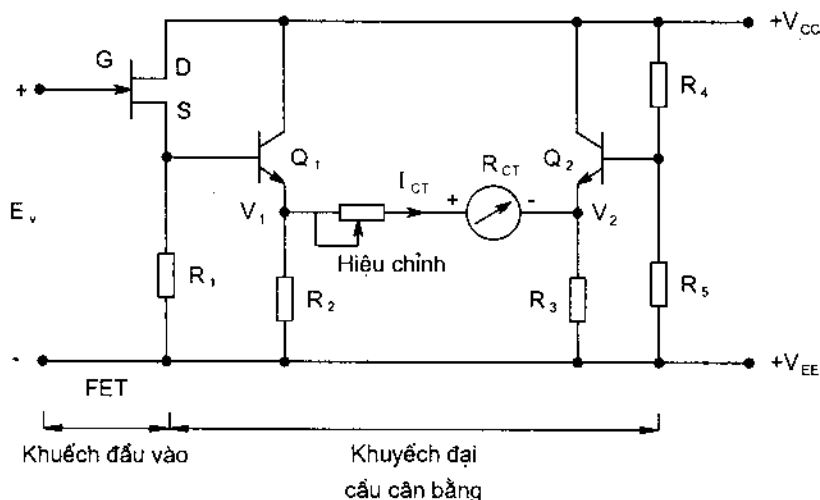
$$I_B = \frac{1mA}{100} = 10\mu A.$$

Điện trở vào của mạch gánh emittơ, hoặc điện trở tải trên nguồn 10V được tính như sau.

$$R_v = \frac{E}{I_B} = \frac{10V}{10\mu A} = 1M\Omega.$$

Qua đó thấy rằng điện trở của vônmet khi dùng mạch gánh emittơ được tăng lên đáng kể.

Trong thực tế để tránh độ sụt áp U_{BE} của Tranzito gây nên sai số ở vônmet và tăng điện trở đầu vào người ta sử dụng mạch như hình 3-11.



Hình 3-11. Sơ đồ thực tế của vônmet điện tử

- Bộ suy giảm đầu vào (không vẽ) thực chất là mạch phân áp thực hiện bằng các điện trở để tạo nên điện áp thích hợp.

- Tăng vào là khuếch đại tranzito trường (FET) để tăng điện trở vào ($R_v \geq 10M\Omega$)

- Vôn-mét gánh emittơ: Là khuếch đại vi sai mắc theo kiểu cầu cân bằng, tải emittơ với colectơ chung nối với cực dương của nguồn U_{cc} .

Hai tranzito Q_1, Q_2 giống nhau được các điện trở định thiên R_1, R_3, R_4 tạo nên điện thế Bazơ của Q_1, Q_2 là V_1 và V_2 .

R_2, R_3 - điện trở gánh emittơ.

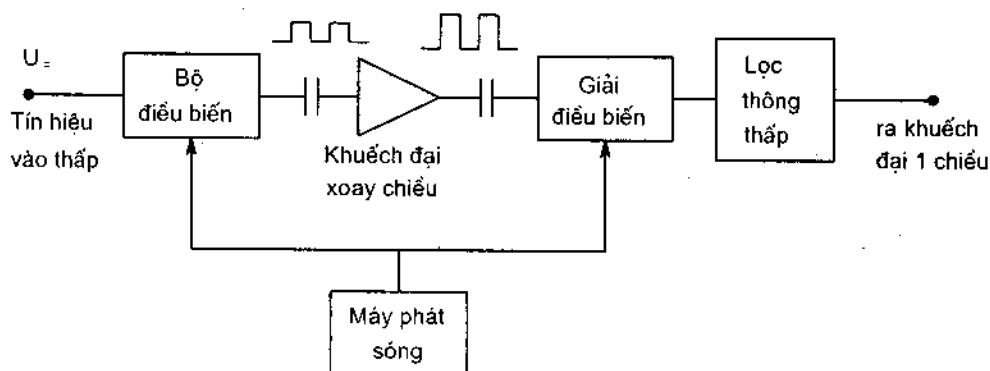
Khi điện áp vào $E_v = 0$ điện thế $V_1 = V_2$, cầu ở trạng thái cân bằng dòng điện đi qua chỉ thị $I_{CT} = 0$.

Khi $E_v > 0$ lúc đó điện thế ở Bazơ của tranzito Q_1 (V_1) tăng lên và $V_1 > V_2$; $U_{12} = V_1 - V_2 > 0$ sẽ xuất hiện dòng điện đi qua chỉ thị ($I_{CT} > 0$), dòng điện này tỷ lệ với điện áp đo.

Ưu điểm của vôn-mét trên là điện trở vào lớn, ít trôi điểm zêrô mà các khuếch đại một chiều thường gặp.

3-2-4. Vôn-mét khuếch đại điều biến (microvolmetr)

Nhược điểm lớn nhất của các vôn-mét điện tử một chiều là bị trôi điểm Zêrô do đặc tính của các linh kiện thay đổi khi nhiệt độ môi trường thay đổi, điều đó làm hạn chế việc đo các điện áp nhỏ. Để khắc phục nhược điểm trên ta có thể dùng vôn-mét khuếch đại điều biến. Hình 3-12 là sơ đồ khối của vôn-mét nói trên.

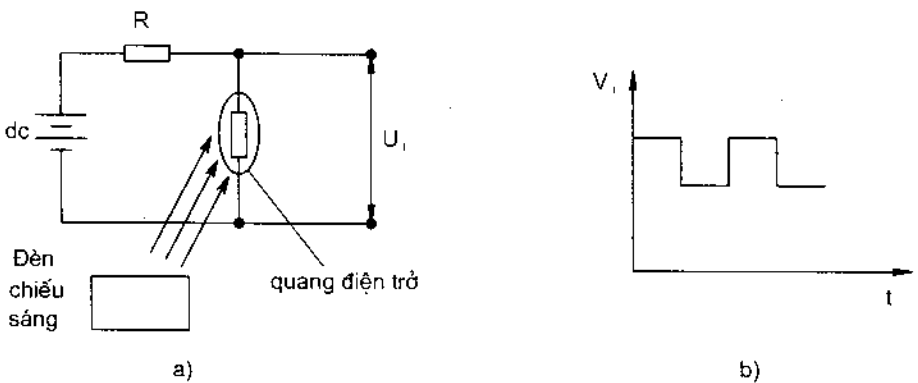


Hình 3-12. Sơ đồ khối của vôn-mét khuếch đại điều biến.

Điện áp một chiều đưa vào bộ điều biến tạo thành điện áp xoay chiều, sau đó đưa đến khuếch đại xoay chiều để tăng độ lớn. Tín hiệu này qua bộ giải điều biến để biến đổi trở lại thành điện áp một chiều tỷ lệ với tín hiệu ban đầu.

Tín hiệu vào cỡ vài μv , sau khi qua bộ điều biến thành xoay chiều với tần số $100 \div 300 \text{ Hz}$.

Bộ điều biến có thể thực hiện bằng cơ khí hoặc điện tử. Hình 3-13a là sơ đồ đơn giản của một bộ điều biến điện tử.



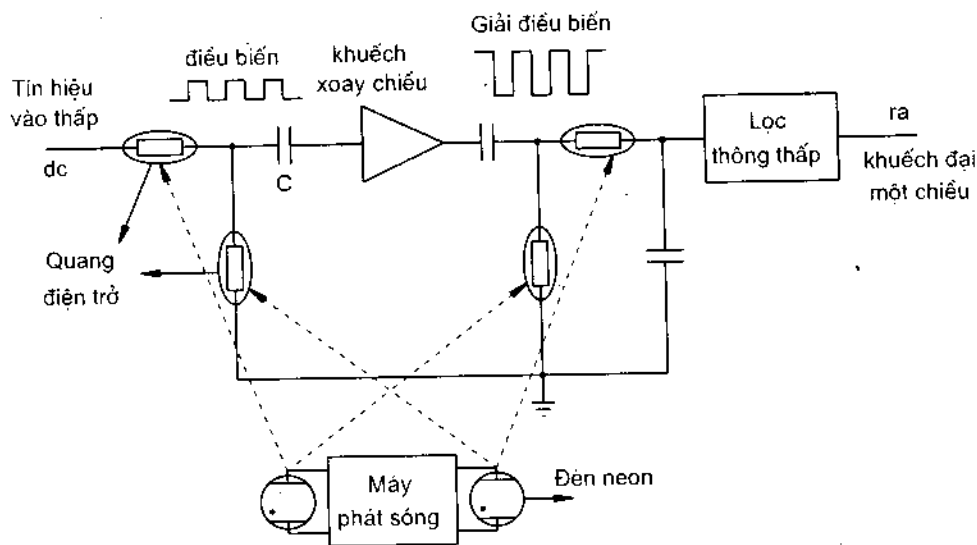
Hình 3-13. a) Nguyên lý cơ bản của bộ điều biến điện tử; b) Sóng điện áp ra

Ở đây nguồn sáng được thay đổi rất nhanh từ cực đại đến cực tiểu chiếu vào quang điện trở làm cho điện trở của nó thay đổi từ $R_{\max}$ đến $R_{\min}$ tạo nên dãy xung liên tiếp. Hình 3-13b là biểu đồ thời gian của các xung đó.

Hình 3-14 mô tả sơ đồ nguyên lý của vônmet điều biến ứng dụng nguyên lý nói trên.

Bộ tạo dao động (máy phát sóng) điều khiển hai đèn neon xen kẽ nhau chiếu sáng vào các quang điện trở với tần số 100Hz . Trong đó mỗi đèn neon chiếu sáng 2 quang điện trở, một ở đầu vào của khuếch đại xoay chiều và một ở đầu ra của nó. Hai quang điện trở tạo thành bộ điều biến và giải điều biến.

Khi có ánh sáng chiếu vào 1 quang điện trở, điện trở của nó bị giảm xuống và quang điện trở kia điện trở tăng lên (do không được chiếu sáng) chúng hoạt động giống như bộ chuyển mạch đóng mở xen kẽ nhau đúng với tần số nhấp nháy của đèn.



Hình 3-14. Vônmet điều biến

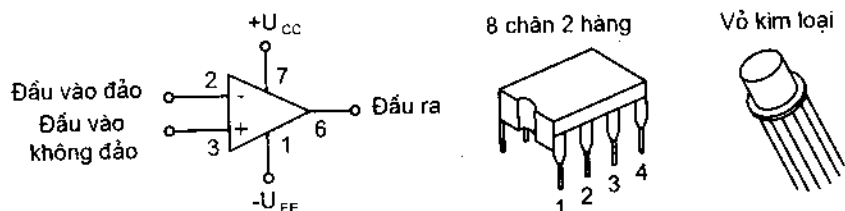
Tín hiệu một chiều qua bộ điều biến tạo thành các xung vuông có biên độ tỷ lệ với tín hiệu đưa vào và có tần số tương ứng với tần số dao động. Các xung này được đưa qua khuếch đại xoay chiều sau đó qua bộ giải điều biến để trở lại thành một chiều. Bộ lọc thông thấp có nhiệm vụ loại bỏ các thành phần xoay chiều. Ưu điểm của vônmet điều biến là điện trở vào lớn ($100\text{ M}\Omega$), dải đo rộng ($3\mu\text{V} \div \text{kV}$) với sai số $\pm 2\%$ toàn thang đo.

3-2-5. Vônmet một chiều dùng IC - Opamp

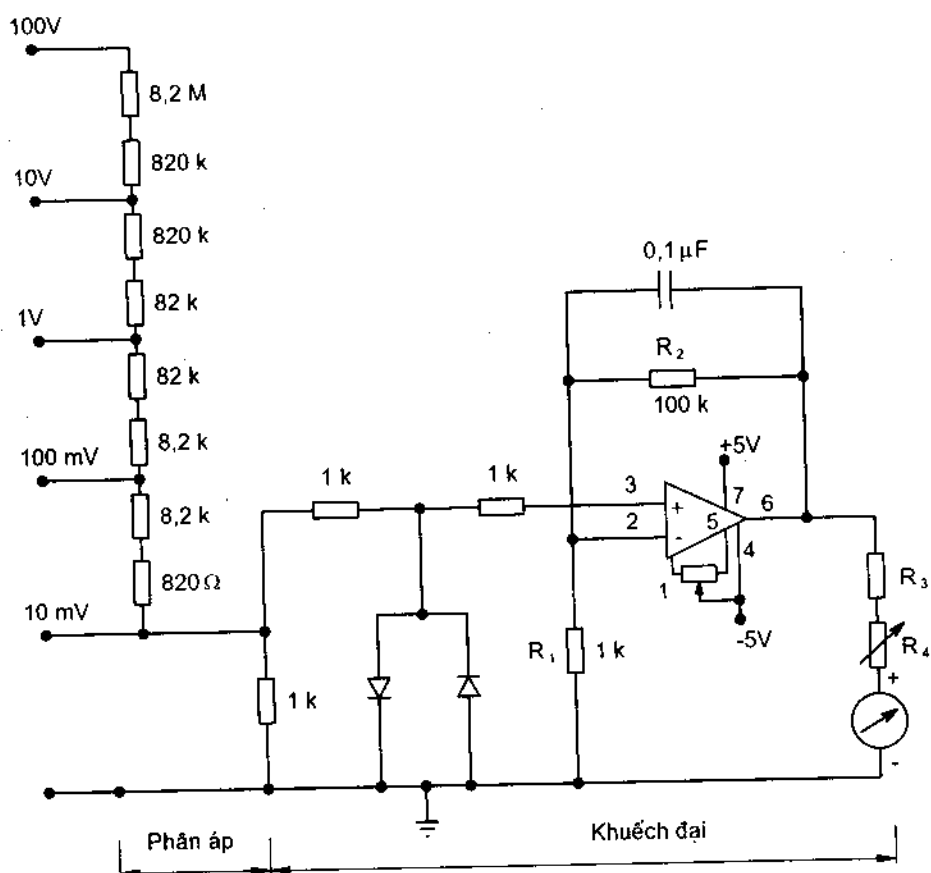
IC - opamp là một mạch tích hợp có 2 đầu vào và một đầu ra. Các đầu vào được phân biệt là đầu vào đảo và đầu không đảo.

Mỗi đầu vào đều có điện trở vào rất cao, điện trở ra thấp với hệ số khuếch đại cỡ 200.000. Dòng điện vào khoảng $0,2\text{ }\mu\text{A}$. Nguồn cung cấp $\pm 5\text{V} \div \pm 22\text{V}$ (hình 3-15a).

Hình 3-15b là sơ đồ của một vônmet điện tử dùng IC - opamp 741c. Trong đó bộ phân áp đầu vào có thang đo từ $10\text{mV} \div 100\text{V}$. Hai Diot làm nhiệm vụ bảo vệ IC khi quá áp. R_3 và R_4 là điện trở điều chỉnh thang đo. Giữa chân 1 và 5 được mắc một chiết áp 10k dùng chỉnh offset, điểm giữa chiết áp nối với nguồn -5V . Chỉ thị là một cơ cấu từ điện (μA) có độ lệch toàn thang từ $50 \div 100\mu\text{A}$.



Hình 3-15a. IC. Opamp và ký hiệu

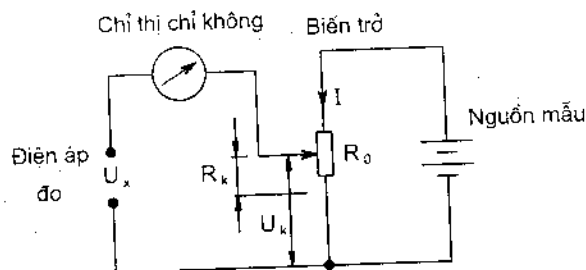


Hình 3-15b

3-2-6. Đo điện áp bằng phương pháp so sánh

Phương pháp so sánh là phương pháp đo có độ chính xác cao, trong đó điện áp cần đo được so sánh với điện áp rơi trên điện trở mẫu. Nguyên lý của

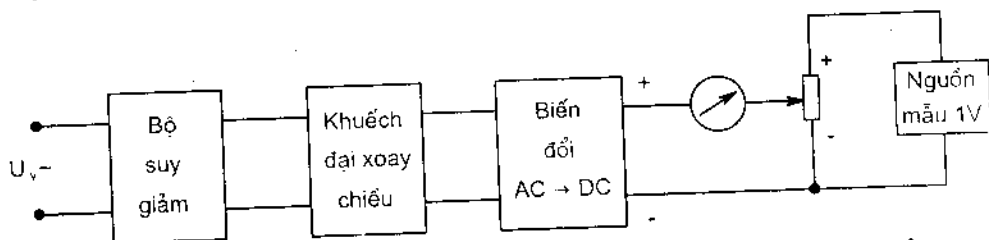
phương pháp được mô tả như hình 3-16. Điện áp U_k (điện áp mẫu) có độ chính xác cao được tạo bởi dòng điện I (ổn định) qua biến trở mẫu R_0 ; $U_k = I.R_k$. Nguồn U_x cần đo được mắc xung đối với nguồn mẫu qua biến trở R_0 . Chỉ thị "không" là điện kế 1 chiều hoặc xoay chiều có độ nhạy cao dùng để phát hiện độ chênh điện áp giữa U_k và U_x : $\Delta U = U_x - U_k$. Khi ΔU khác không ta điều chỉnh con chạy của biến trở sao cho $\Delta U = 0$ (kim chỉ về "0").



Hình 3-16. Sơ đồ nguyên lý đo điện áp bằng phương pháp so sánh

Lúc đó ta có $\Delta U = U_x - U_k = 0$ và $U_x = U_k$. Trên biến trở R_0 được khắc độ giá trị điện áp, qua đó xác định được U_x .

Hình 3-17 là sơ đồ khối của vôn-mét xoay chiều thực hiện bằng phương pháp so sánh. Điện áp xoay chiều cần đo đưa vào bộ suy giảm và khuếch đại xoay chiều để tăng độ lớn sau đó biến đổi thành điện áp một chiều. Điện áp này mắc xung đối với nguồn áp mẫu 1 von qua biến trở và chỉ thị chỉ không.



Hình 3-17. Sơ đồ khối của Vôn-mét xoay chiều bằng phương pháp so sánh

Khi đo ta thay đổi con chạy của biến trở để chỉ thị về không qua vị trí biến trở xác định điện áp đo.

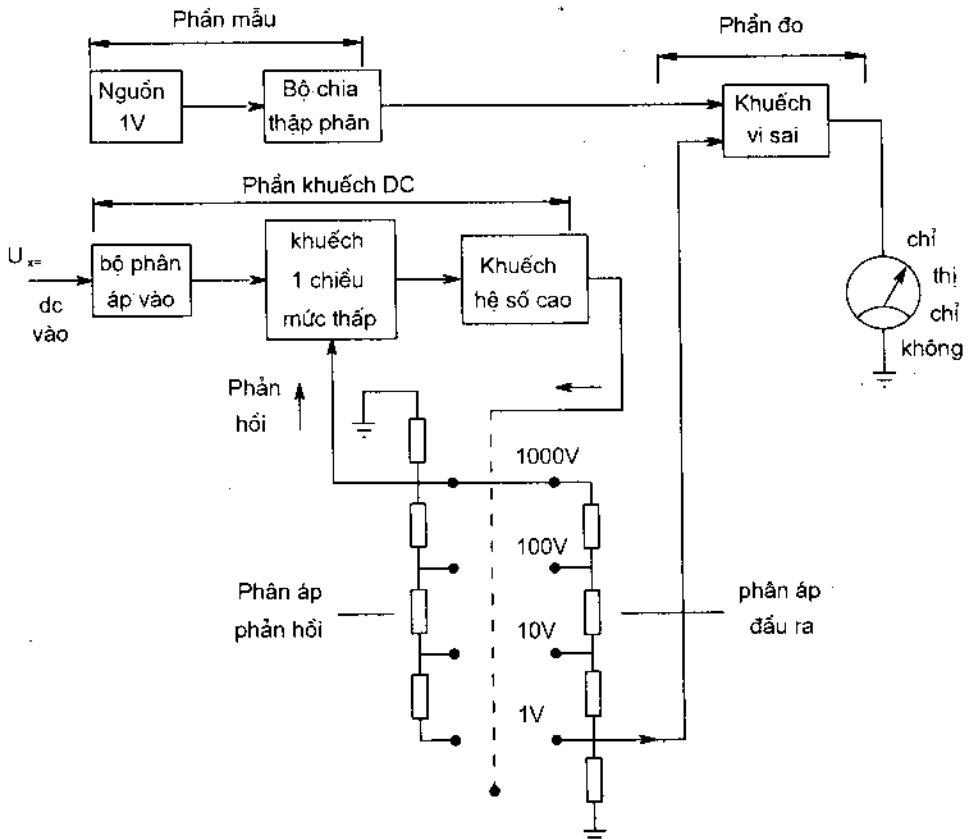
Đo điện áp 1 chiều bằng phương pháp so sánh có thể dùng vôn-mét vi sai như hình 3-18.

Sơ đồ gồm 2 phần: Điện áp mẫu cung cấp từ một nguồn chuẩn 1 von, qua bộ chia (thập phân), tín hiệu được đưa đến mạch khuếch đại vi sai.

Một khác tín hiệu đo đưa vào bộ phân áp và hai mạch khuếch đại (Khuếch đại mức thấp và khuếch đại có hệ số khuếch cao).

Tín hiệu ra sau mạch khuếch đại được phản hồi trở về khuếch đại mức thấp. Một phần tín hiệu ra qua phân áp ra được đưa vào khuếch đại vi sai. Ở đây tín hiệu đo và tín hiệu chuẩn được so sánh qua chỉ thị không.

Tín hiệu đo được quan sát trên phân áp có khác độ giá trị điện áp.



Hình 3-18. Đo điện áp một chiều bằng phương pháp so sánh

3-2-7. Vônmet xoay chiều

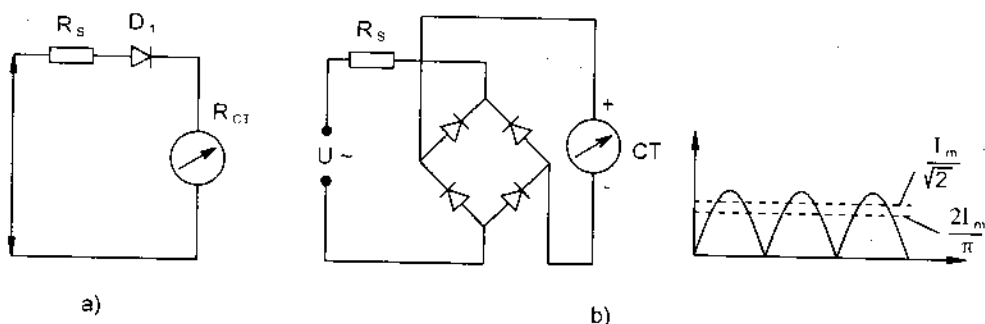
1. *Vônmet từ điện chỉnh lưu*: Là dụng cụ phối hợp giữa mạch chỉnh lưu và cơ cấu chỉ thị từ điện.

Chỉnh lưu có thể thực hiện dưới dạng nửa chu kỳ hoặc cả chu kỳ. Khi định thiên thuận, diot silic thường có độ sụt áp thuận là 0,7V, diot Gecmani có độ sụt áp cỡ 0,3V. Khi định thiên ngược dòng điện ngược rất nhỏ so với dòng thuận.

Hình 3-19a là sơ đồ của 1 vôn-mét chỉnh lưu nửa chu kỳ và hình 3-19b là vôn-mét chỉnh lưu cả chu kỳ mắc kiểu cầu với điện áp ra như hình vẽ.

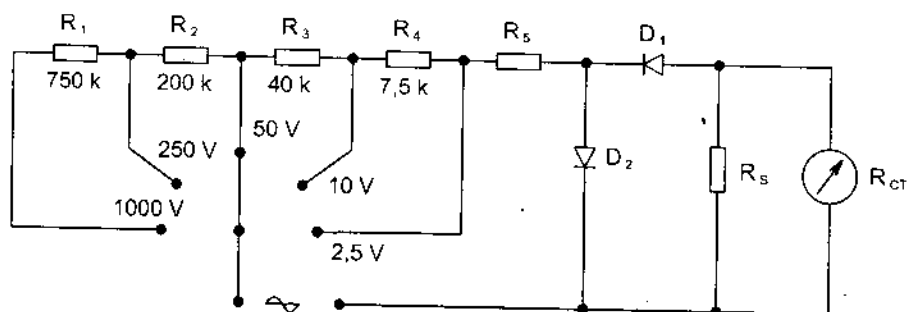
Đặc điểm của vôn-mét chỉnh lưu là độ chính xác không cao (cấp chính xác từ 1 ÷ 1,5), thang đo không đều do đặc tính phi tuyến của diot, các vôn-mét chỉnh lưu được chế tạo đo điện áp dạng hình sin với hệ số hình dáng $k_{hd} = 1,1$ do vậy khi đo với các tín hiệu khác sin sẽ gây nên sai số đo.

Dải tần làm việc của dụng cụ 10 ÷ 20 KHz.



Hình 3-19. Vôn-mét chỉnh lưu: a) Nửa chu kì; b) Cả chu kì

Ngoài ra có thể mở rộng thang đo như hình 3-20. Nguyên lí làm việc như sau: Ở chu kì dương dòng điện đi qua diot D_1 và qua chỉ thị, với chu kì âm dòng điện sẽ đi qua D_2 . Các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 và R_5 được tính toán tương ứng với các điện áp 1000V, 250V, 50V, 10V và 2,5V. R_5 là điện trở sun mắc song song với chỉ thị để tăng sự hoạt động của các diot.

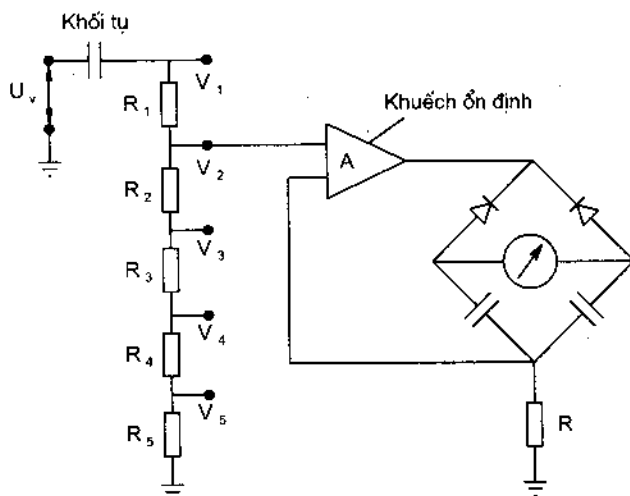


Hình 3-20. Vôn-mét chỉnh lưu mở rộng thang đo

2. Vôn-mét điện tử xoay chiều đo điện áp trung bình

Hình 3-21 mô tả sơ đồ nguyên lý của vôn-mét xoay chiều chỉnh lưu dùng IC-opamp đo điện áp trung bình. Tín hiệu vào được đưa qua khối tụ điện để loại bỏ thành phần một chiều sau đó qua bộ khuếch đại có độ ổn định cao,

qua chỉnh lưu và chỉ thị. Do mắc các tụ điện trong mạch cầu nên điện áp ra qua chỉ thị chỉ giá trị trung bình, thang đo có độ tuyến tính cao. Khuếch đại có độ phản hồi âm sâu đảm bảo độ ổn định của mạch, tăng được giải tần khi điện trở mạch thay đổi và do đặc tính phi tuyến của diot. Các tụ của mạch hoạt động giống như bộ lọc và bộ chuyển mạch.



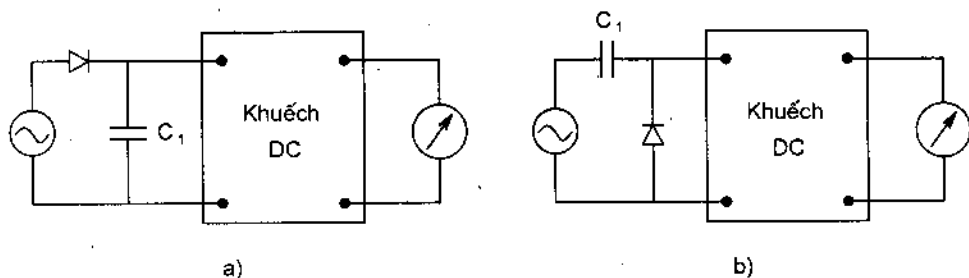
Hình 3-21. Vôn-mét xoay chiều đo điện áp trung bình

Khi tín hiệu vào không phải hình sin hoặc bị méo do nhiễu và ồn sẽ gây nên sai số trong dụng cụ.

3. Vôn-mét đo điện thế đỉnh

Sự khác nhau cơ bản giữa vôn-mét đo điện thế đỉnh và điện áp trung bình ở chỗ sử dụng tụ điện dưới hình thức nào. Tụ được nạp điện tích qua điốt đến điện thế đỉnh và chỉ thị chỉ điện áp đó.

Hình 3-22 là sơ đồ của 2 loại vôn-mét đo điện thế đỉnh thường dùng.



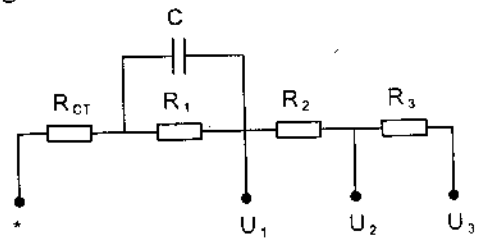
Hình 3-22. Vôn-mét điện thế đỉnh

Hình 3-22a cho thấy điện áp một chiều tạo thành sau diot được so với đất vì vậy chỉ thị khác độ điện áp một chiều tương ứng với điện áp đo xoay chiều.

Hình 3-22b là loại vônmet đỉnh xoay chiều có tụ điện nối trước diot. Cả hai sơ đồ trên, sự phóng điện của tụ diễn ra rất chậm do điện trở vào của khuếch đại một chiều có trị số rất cao tạo cho tụ nạp được đến điện thế đỉnh. Nhược điểm của vônmet điện thế đỉnh là độ méo của dạng sóng vào gây sai số và sự không hoàn hảo của diot làm hạn chế độ nhạy của dụng cụ.

4. *Vônmet điện từ*: Là dụng cụ dùng để đo điện áp xoay chiều tần số công nghiệp. Cuộn dây tĩnh có số vòng lớn từ 1000 ÷ 6000 vòng. Để mở rộng thang đo ta mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ như hình 3-23. Tụ C dùng để bù tần số khi đo ở tần số cao hơn tần số công nghiệp.

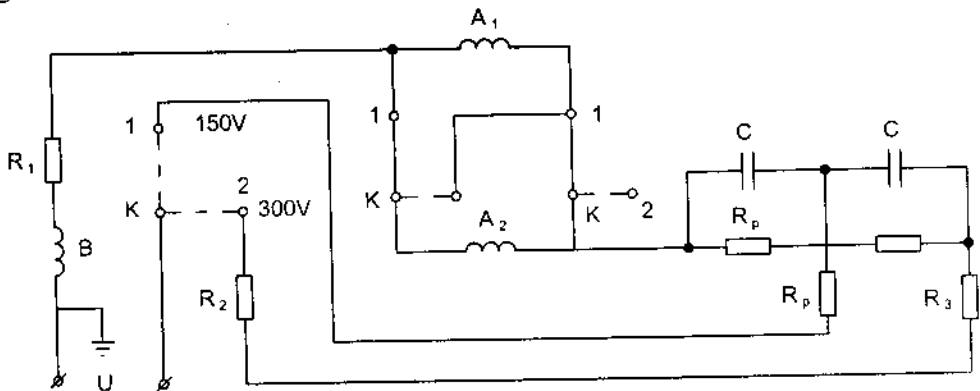
Giải đo của dụng cụ từ mV ÷ 600V; giải tần $f = 50\text{Hz} \div \text{kHz}$ và sai số cỡ $\pm 1 \div 2\%$.



Hình 3-23. Vônmet điện từ

5. *Vônmet điện động*

Cấu tạo của vônmet điện động khác với Ampemét ở chỗ số vòng cuộn dây tĩnh lớn hơn và tiết diện dây nhỏ hơn như hình 3-24, trong đó cuộn dây tĩnh và động nối tiếp nhau. Đặc điểm của vônmet điện động là độ chính xác cao, sai số $\pm 0,5 \div 1\%$. Giải đo từ mV ÷ 600V khi mắc thêm các điện trở phụ, giải tần $f = 50\text{Hz} \div \text{kHz}$.

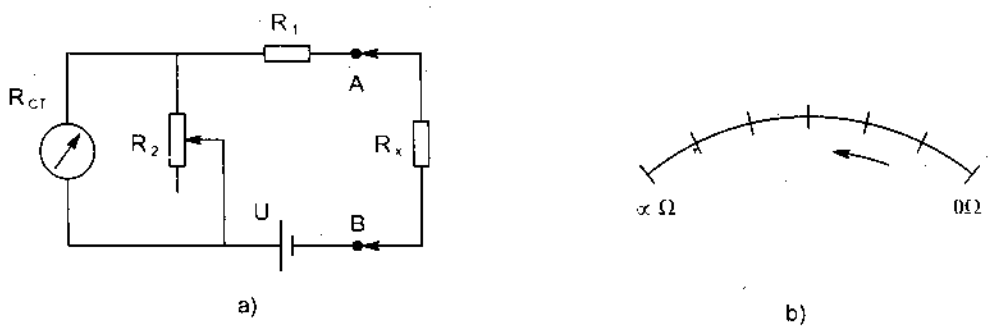


Vôn met điện động

Hình 3-24. B – Cuộn dây động; A₁ – A₂ – Cuộn dây cố định

3-2-8. Ôm mét

Ôm mét là dụng cụ đo điện trở với nguồn cung cấp là pin và các điện trở chuẩn. Xuất phát từ định luật Ôm $R = \frac{U}{I}$, nếu ta giữ cho điện áp U không đổi thì dòng điện I qua mạch đo sẽ thay đổi khi điện trở thay đổi. Dựa trên nguyên lý đó ta chế tạo các ôm mét đo điện trở. Hình 3-25 là sơ đồ ôm mét thông thường trong đó.



Hình 3-25. Ôm mét R_1 - điện trở hạn chế dòng; R_2 - điện trở chỉnh zêrô; U - nguồn cung cấp; R_{CT} - điện trở của chỉ thị (mili Ampemét từ điện); R_x - điện trở đo.

Từ sơ đồ hình 3-25 ta có:

$$R_x = 0 \text{ thì } R_{td} = R_1 + R_2 // R_{CT} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_{CT}}{R_2 + R_{CT}};$$

R_{td} - điện trở của toàn mạch đo.

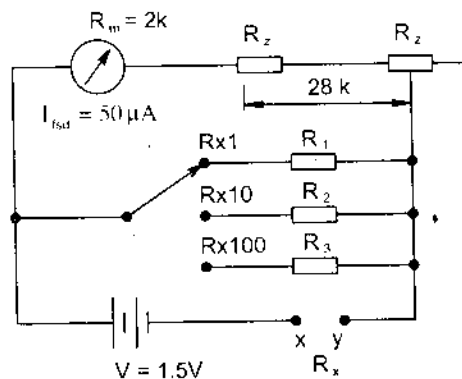
$$I = I_{max} = \frac{U}{R_{td}}$$

Khi $R_x = \infty, I = I_{min} = 0$.

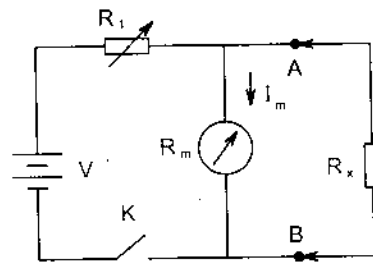
Thang đo của ôm mét được bố trí ngược với Ampemét và vônmet (hình 3 - 25b)

Hình 3-26 là sơ đồ ôm mét nhiều thang đo với các điện trở sun được thiết kế cho các hệ số $R_1 = R \times 1, R_2 = R \times 10; R_3 = R \times 100$.

Điện trở R_x có thể mắc song song với chỉ thị như hình 3-27 và gọi là ôm mét loại sun. Với sơ đồ trên R_1 là điện trở hạn chế dòng, đối nối thực hiện ngắt điện khi không sử dụng thiết bị.



Hình 3-26. Ôm mét nhiều thang đo

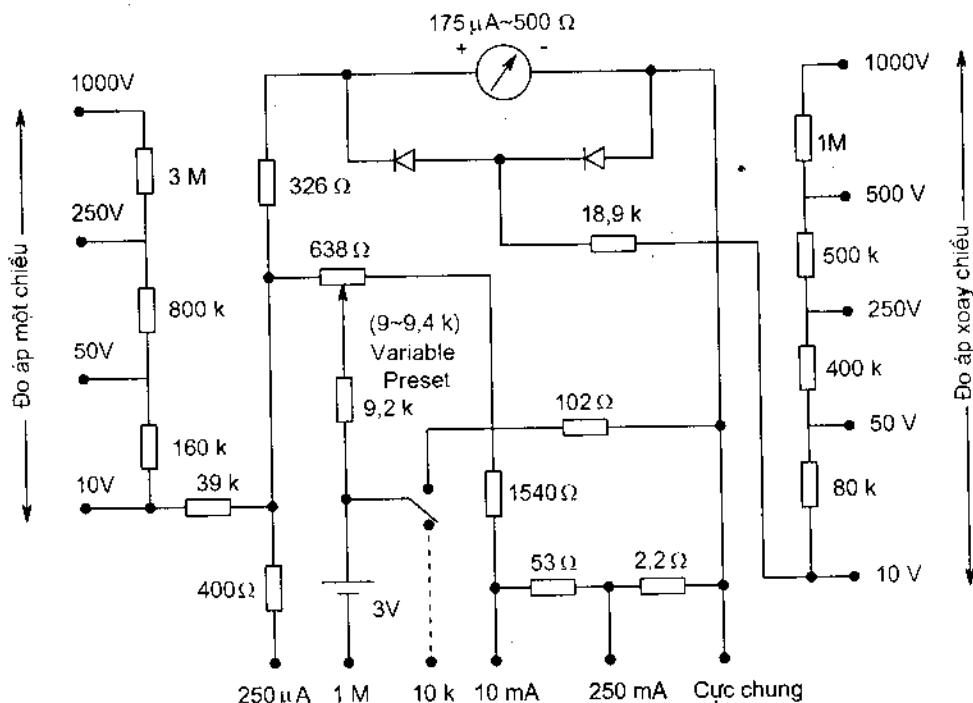


Hình 3-27. Ôm kế loại Sun

3-2-9. Vạn năng kế

Trong thực tế người ta thường chế tạo dụng cụ kết hợp đo dòng điện, điện áp (xoay chiều, một chiều) và đo điện trở. Dụng cụ như vậy gọi là vạn năng kế.

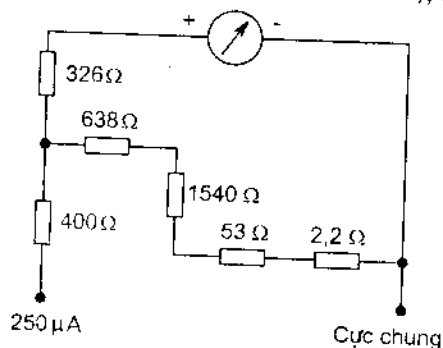
Hình 3-28 mô tả một vạn năng kế hoạt động như trên.



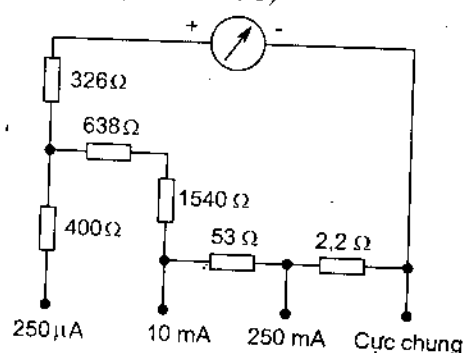
Hình 3-28. Vạn năng kế

Trong đó gồm các khối:

- Micro ampemét, (hình 3-29a); DC ampemét (Hình 3-29b)



a)

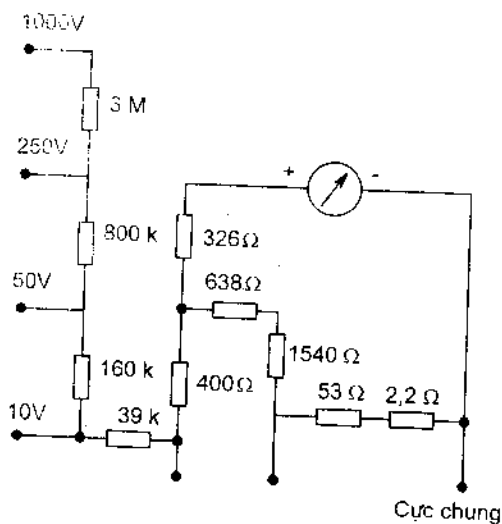


b)

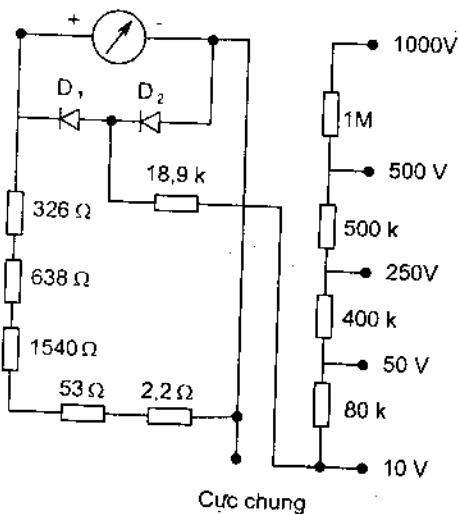
Hình 3-29. a) Micro ampemét.

b) Ampemét 1 chiều

- Vônmet một chiều (DC vônmet) hình 3-30a
- Vônmet xoay chiều (AC vônmet) hình 3-30b



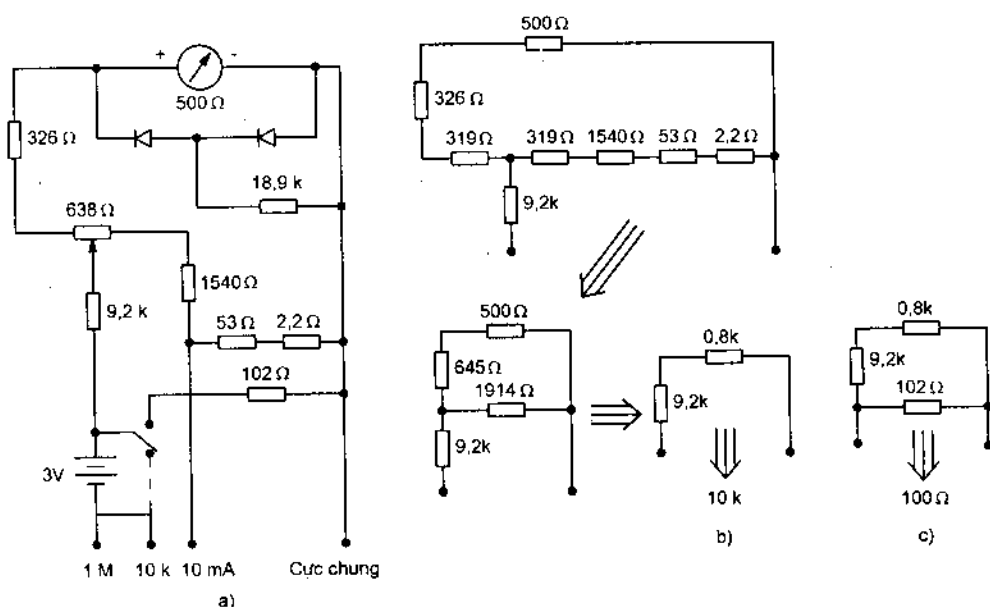
a)



b)

Hình 3-30 a) Vônmet 1 chiều; b) Vônmet xoay chiều

- Ômmét được biểu diễn theo hình 3 – 31a, với 2 thang đo 1 MΩ (sơ đồ tương đương hình 3-31b), thang đo 10kΩ (sơ đồ tương đương hình 3-31c).



Hình 3-31. a) Khối ômmét b) Điện trở tương đương thang 1MΩ. c) Thang đo 10K

3-3. Vôn-mét số

3.3.1. Giới thiệu chung

Vôn-mét số là thiết bị đo, biến đổi điện áp tương tự thành các tín hiệu rời rạc và thể hiện kết quả đo dưới dạng con số bằng các đèn hiển thị.

Ưu điểm của vôn-mét số là tín hiệu vào đã được chuẩn hóa dưới dạng một chiều tỷ lệ với đại lượng đo do đó rất thuận lợi khi đo các đại lượng khác nhau như điện thế một chiều, xoay chiều, nhiệt độ, áp suất, điện trở v.v...

Vôn-mét số có thể thao tác tự động, có chương trình định trước và tốc độ nhanh, tín hiệu ra ở dạng số rất thích hợp cho các quá trình xử lý và truyền tin. Với sự phát triển của vi mạch IC nên kích thước, giá thành và tiêu thụ năng lượng của thiết bị đều giảm.

Đặc điểm của vôn-mét số là:

- Dải đo từ 0 ÷ 1000V, có thể chọn thang tự động và bảo vệ được quá tải khi đo.

- Độ chính xác tuyệt đối cao: $\pm 0,005\%$.

- Với thang đo 1V có thể đọc hoặc đo được 1μV (tính chính xác cỡ

$$\frac{1}{1000000})$$

- Điện trở vào cỡ $10M\Omega$, điện dung vào $40pF$.
- Có thể đo được tỷ số dòng điện, điện áp và điện trở.

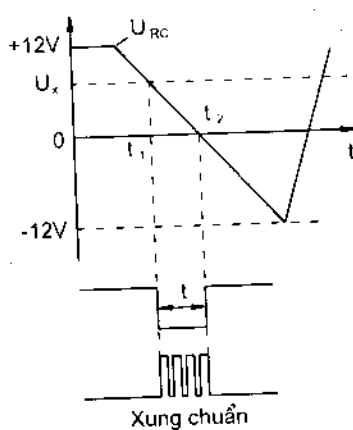
3-3-2. Vônmet số biến đổi thời gian

Nguyên lí hoạt động của vônmet biến đổi thời gian là đo khoảng thời gian mà độ dốc của xung răng cưa thay đổi từ mức bằng điện thế của tín hiệu vào đến mức điện thế đất. Khoảng thời gian đó được đo bằng đếm xung. Số xung đếm được tỷ lệ với điện áp đo và hiển thị bằng số.

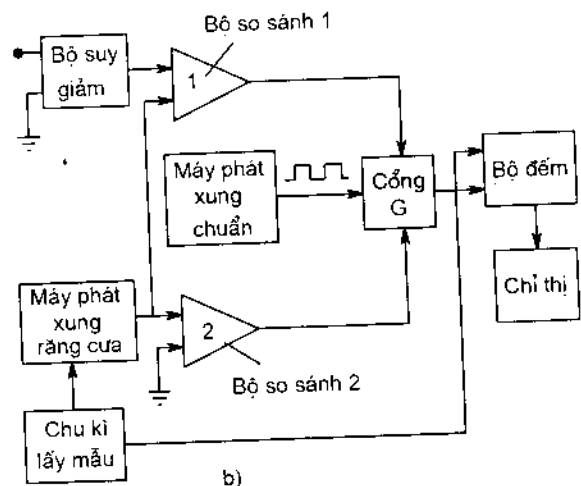
Hình 3-32a và 3-32b mô tả nguyên lí hoạt động và sơ đồ khối của loại vônmet trên.

Độ dốc của xung răng cưa có thể theo chiều tăng hoặc giảm. Sơ đồ 3-32a cho thấy độ dốc của xung theo chiều giảm.

Khi mở máy xung khởi động tác động lên máy phát xung răng cưa (hình 3-32b).



a)



b)

Hình 3-32 a) Biểu đồ thời gian. b) Sơ đồ khối vônmet biến đổi thời gian

Điện áp của xung răng cưa được đưa vào bộ so sánh 1 và bộ so sánh 2. Tại bộ so sánh 1 điện áp răng cưa và điện áp đo U_x so sánh với nhau. Khi cả hai điện áp (răng cưa và điện áp đo) có trị số bằng nhau tại thời điểm t_1 , bộ so sánh 1 phát xung điều khiển mở cổng (G). Sau đó xung răng cưa tiếp tục giảm, điện áp xung được so sánh với điện thế đất ở bộ so sánh 2. Khi điện áp răng cưa bằng zêrô (hoặc bằng điện thế đất), bộ so sánh 2 phát xung điều

khởi đóng công (G) tại thời điểm t_2 . Trong thời gian công (G) mở (thời gian t), máy phát xung chuẩn đưa các xung chuẩn có chu kỳ T_0 (tần số f_0) qua công (G) vào bộ đếm. Số xung đếm được tỷ lệ với điện áp đo.

Nếu gọi t là thời gian công mở và T_0 là chu kỳ của xung chuẩn.

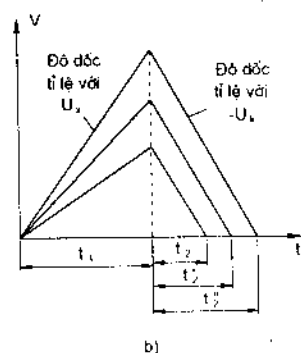
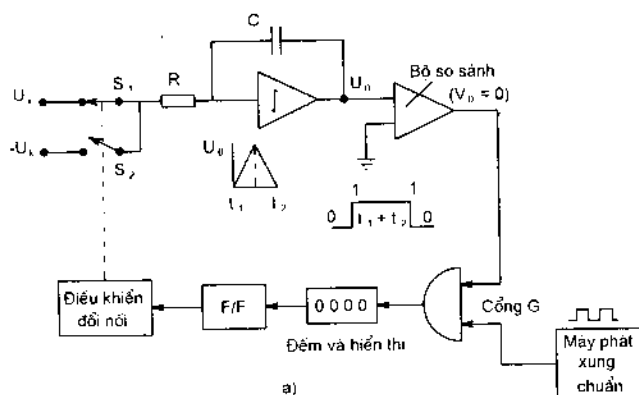
$$\text{Số xung đếm được } N = \frac{t}{T_0} = t \cdot f_0.$$

N - số xung đếm được; t - thời gian công mở $t = t_2 - t_1$

Tốc độ chuyển trạng thái của đa hài xác định tốc độ của chu kỳ đo. Loại điện hình là 5 chu kỳ đo trên 1 giây với độ chính xác $\pm 0,005\%$. Mỗi loại vônmet số có chu kỳ gốc tuần tự khác nhau liên quan đến việc lấy mẫu và hiển thị.

3-3-3. Vônmet số tích phân 2 nhịp

Nhược điểm của vônmet biến đổi thời gian là sai số lớn. Khắc phục yếu điểm của vônmet trên người ta sử dụng vônmet tích phân 2 nhịp. Hình 3.33b là biểu đồ thời gian cho ta thấy điện áp đo U_x khi được tích phân có độ dốc tăng tỷ lệ với điện áp U_x . Sau khoảng thời gian t_1 , điện áp U_x được ngắt khỏi mạch và lúc đó điện áp chuẩn - U_k nối với bộ tích phân. Do - U_k ngược dấu với U_x , tụ C phóng điện, độ dốc xuống ở đầu ra của tích phân tỷ lệ với - U_k . Hình 3-33a biểu diễn sơ đồ khối của vônmet tích phân 2 nhịp.



Hình 3-33. a) Vônmet số tích phân hai nhịp

b) Biểu đồ thời gian

Nguyên lí hoạt động như sau.

Khi bắt đầu đo, xung khởi động reset bộ đếm. Đầu ra của mạch flip - flop (F/F) được đặt ở mức logic "0". Đóng nối S_1 đóng và S_2 mở. Tụ C bắt đầu nạp. Rất nhanh tín hiệu ra của mạch tích phân vượt qua zêrô, điện áp ra của bộ so sánh thay đổi trạng thái và mở cổng (G) để các xung chuẩn từ máy phát xung cung cấp cho bộ đếm (Khi điện thế dốc bắt đầu tăng, bộ so sánh chuyển sang trạng thái 1, cổng G mở các xung chuẩn từ máy phát xung chuẩn đưa vào bộ đếm). Khi bộ đếm tăng đến số lớn nhất với số 9999 (trong khoảng thời gian t_1) với 1 xung tiếp theo toàn bộ đèn hiển thị trở về 0000, bộ đếm tác động lên mạch flip-flop để chuyển về trạng thái logic 1, lúc này S_1 được mở và S_2 đóng nối điện áp - U_k với bộ tích phân. Do - U_k ngược chiều với U_x tụ C phóng. Tín hiệu ra của bộ tích phân giảm tuyến tính đến '0' von. Bộ so sánh chuyển trạng thái và cổng G khóa.

Thời gian phóng t_2 tỷ lệ với điện áp vào - U_k . Bộ đếm xung được đếm trong khoảng thời gian t_2 cho đến khi U_0 tiến đến zêrô. Các xung đếm được trong khoảng thời gian t_2 có quan hệ trực tiếp với điện áp vào U_x .

Trong khoảng thời gian nạp (t_1), điện áp tích phân được tính:

$$U_0 = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} dt = -\frac{U_x t_1}{RC} \quad (3-11)$$

Trong khoảng thời gian phóng của tụ (t_2):

$$U_0 = \frac{1}{RC} \int_0^{t_2} -U_k \cdot dt = -\frac{U_k \cdot t_2}{RC} \quad (3-12)$$

Từ 3-11 và 3-12 ta nhận được:

$$\frac{-U_x \cdot t_1}{RC} = \frac{U_k t_2}{RC} \rightarrow U_x = U_k \cdot \frac{t_2}{t_1} \quad (3-13)$$

Gọi T là chu kì của các xung chuẩn mà:

$$n_1 = \frac{t_1}{T} \quad (3-14)$$

n_1 - số xung đếm trong thời gian t_1 và:

$$n_2 = \frac{t_2}{T} \quad (3-15)$$

n_2 - số xung đếm trong thời gian t_2

Từ (3-14), (3-15) thay vào (3-13) ta có:

$$U_x = U_k \frac{n_2 T}{n_1 T}$$

và
$$U_x = \frac{n_2}{n_1} U_k \quad (3-16)$$

Với n_1 và U_k là hằng số do đó $K_1 = \frac{U_k}{n_1}$, K_1 - hằng số, nên

$$U_x = K_1 n_2 \quad (3-17)$$

Từ công thức (3-13) ta thấy rằng độ chính xác của điện áp đo U_x phụ thuộc vào thời gian tích phân t_1 và t_2 mà t_1, t_2 được đo bằng bộ đếm với n_1 và n_2 .

Trong khi đó T là chu kì phát xung chuẩn ổn định và U_k, n_1 không thay đổi từ biểu thức (3-17) cho thấy phép đo có độ chính xác cao.

3-3-4. Vôn mét số biến đổi tần số

Nguyên lý hoạt động của vôn mét được mô tả như hình 3-34.

Điện áp đo được đưa vào bộ tích phân để tạo được điện áp U_0 , đường đặc tính của U_0 tỷ lệ với điện áp đo U_x khi U_0 tiến tới một giá trị định trước U_k ($U_0 = U_k$) nó được phóng điện đến 0 và chu kì tiếp theo lại bắt đầu. Tần số của sóng tín hiệu ra tỷ lệ với điện áp đo.

Hình 3-34c là sơ đồ khối của vôn mét trên.

Điện áp vào U_x qua điện trở R_1 tạo nên dòng điện nạp $i_x = \frac{U_x}{R_1}$ và nạp

cho tụ C của bộ tích phân. Điện áp U_0 sau bộ tích phân tăng dần cho đến khi có trị số bằng điện áp chuẩn U_k lúc đó bộ so sánh chuyển trạng thái.

Tụ bắt đầu phóng điện và máy phát xung tạo ra một xung có độ rộng (t_2) bằng thời gian phóng của tụ.

Quá trình phóng, nạp của tụ điện diễn ra liên tục và tín hiệu ra có tần số tỷ lệ với điện áp.

Bộ biến đổi áp - tần giống như phương pháp tích phân 2 nhịp (hình 3-33) và từ công thức (3-13) ta có:

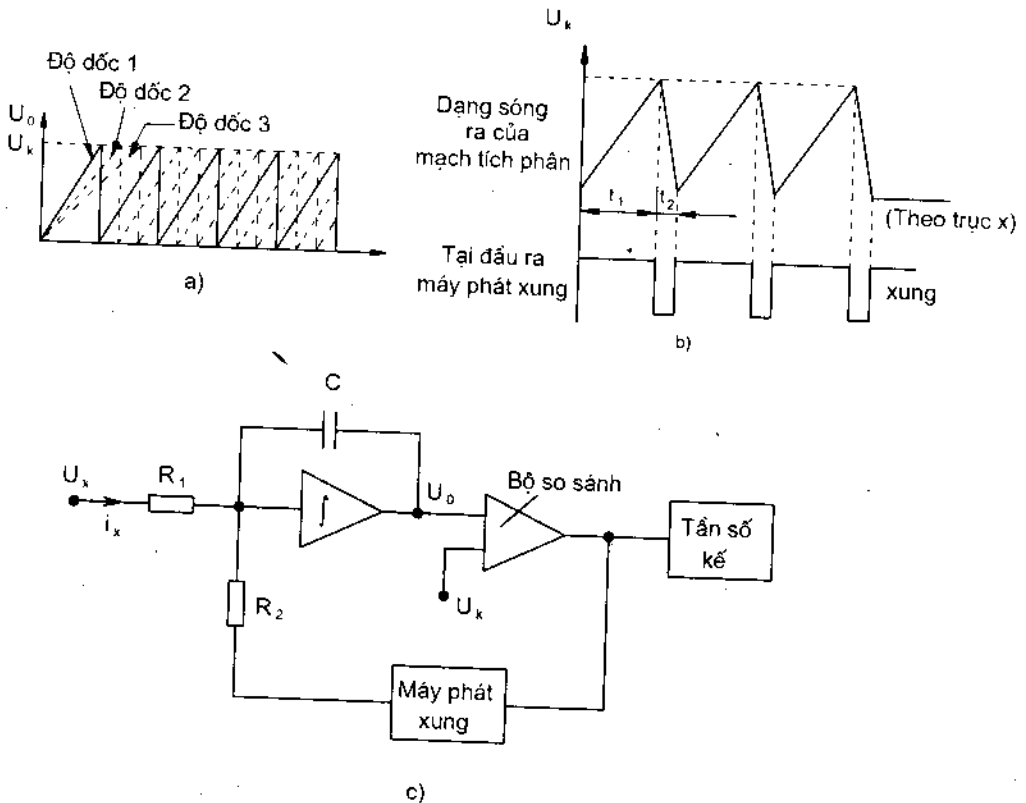
$$U_x = \frac{U_k t_2}{t_1}$$

t_1 - thời gian nạp.

với U_k và t_2 không đổi và coi hệ số $K_2 = U_k \cdot t_2$ ta được

$$U_x = k_2 \left(\frac{1}{t_1} \right) = k_2(f)$$

Tần số ra của tín hiệu tỷ lệ với điện áp U_x . Vônmet trên có nhược điểm là yêu cầu độ dốc của tín hiệu có đặc tính tuyến tính cao.



Hình 3-34. Vônmet số biến đổi tần số và biểu đồ thời gian

3-3-5. Vạn năng kế số (A-V-O mét)

Như ta đã biết các thiết bị đo tương tự có ưu điểm là không cần nguồn cung cấp, ít bị nhiễu. Không cần đòi hỏi độ cách điện cao, giá thành rẻ và

thao tác đơn giản. Nhưng với các thiết bị đo số có những ưu điểm mà các dụng cụ tương tự không có được như độ chính xác cao, tổng trở vào lớn, kích thước nhỏ, có thể đọc các số dễ dàng ở khoảng cách xa và tín hiệu ra là tín hiệu điện.

Vì vậy các vạn năng kế số hiện nay được sử dụng khá rộng rãi để đo dòng điện, điện áp và điện trở một chiều và xoay chiều.

Hình 3-35a là sơ đồ khối của một vạn năng kế chỉ thị số. Dụng cụ có thể đo điện áp (ac và dc), đo dòng điện (dc) và đo điện trở.

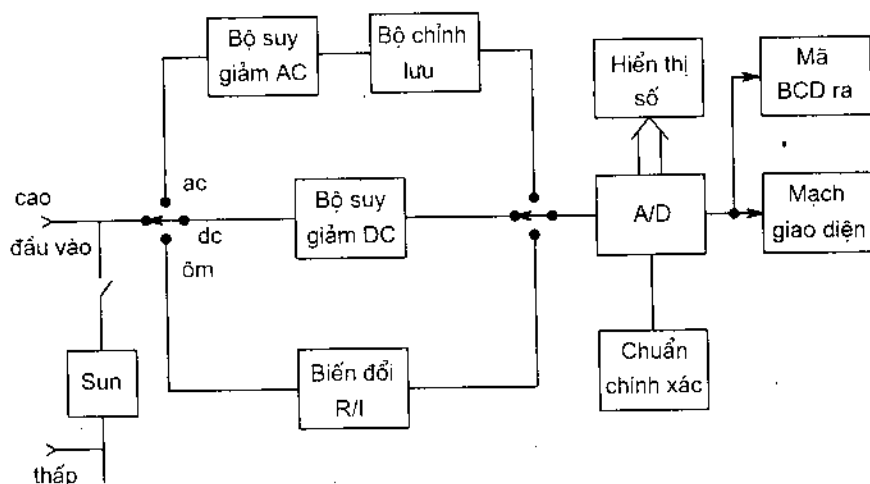
Nguyên tắc hoạt động của tần số kế số là biến các đại lượng đo như dòng điện, điện trở và điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều, chỉ thị số thể hiện kết quả dưới các dạng tương ứng với tín hiệu đo.

Để đo dòng ta thực hiện bằng mạch biến đổi dòng thành áp khi cho dòng điện qua một điện trở, điện áp rơi trên điện trở tỷ lệ với dòng đo.

Khi đo điện trở bằng cách ngược lại cho một dòng điện cố định qua điện trở đo, điện áp rơi trên điện trở tỷ lệ với giá trị điện trở cần đo.

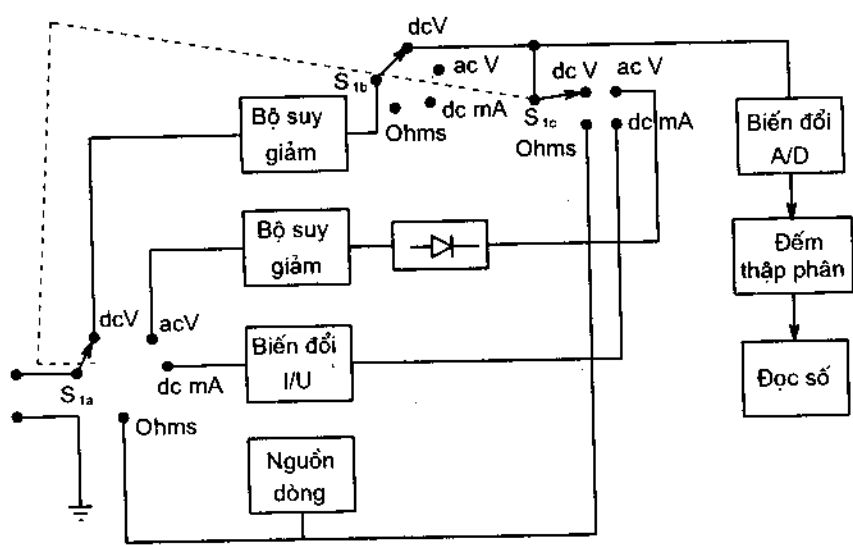
Điện áp xoay chiều qua chỉnh lưu biến thành điện áp một chiều tỷ lệ với điện áp đo xoay chiều.

Quá trình đo được thực hiện qua bộ đổi nối (hình 3-35a)



Hình 3-35a. Sơ đồ khối của vạn năng kế số.

Hình 3-35b là sơ đồ mô tả một vạn năng kế số thông dụng.



Hình 3-35b. Sơ đồ vạn năng kế số thông dụng.

Nguyên lý hoạt động như sau.

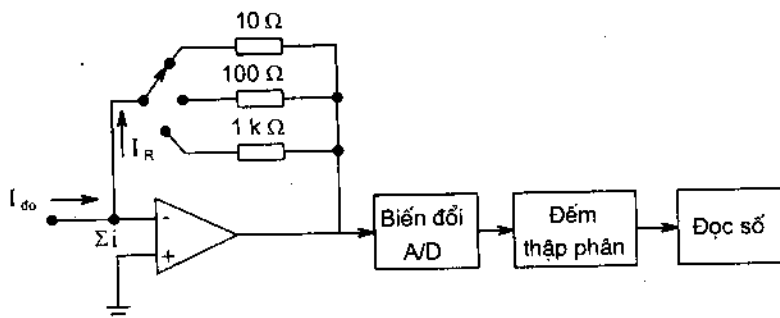
* Đo điện áp một chiều các khóa đổi nối S_{1a} ; S_{1b} ; S_{1c} đặt ở vị trí V(dc). Điện áp đo qua bộ suy giảm đầu vào đưa đến bộ biến đổi A/D và chỉ thị số.

* Với điện áp xoay chiều đổi nối S_{1a} ; S_{1b} ; S_{1c} quay về vị trí V(ac). Tín hiệu đo được đưa đến bộ suy giảm, chỉnh lưu và biến đổi A/D.

* Dòng điện đo một chiều qua bộ biến đổi dòng thành áp (I/V) và A/D đến chỉ thị.

* Để đo điện trở người ta sử dụng nguồn dòng để tạo một dòng điện không đổi cho qua điện trở đo, điện áp rơi được đưa đến A/D và chỉ thị.

Hình 3-36 là thiết bị biến đổi dòng thành áp thông dụng.



Hình 3-36. Sơ đồ bộ biến đổi dòng điện thành điện áp

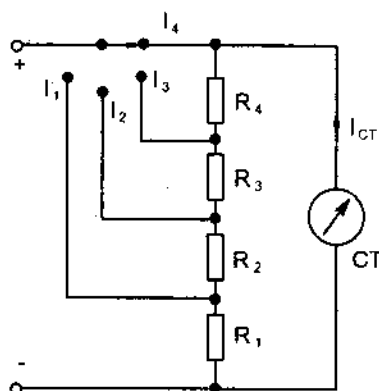
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 3

I. Lý thuyết

1. Nêu cấu tạo, nguyên lý làm việc, đặc điểm của ampe mét một chiều và các phương pháp mở rộng thang đo.
2. Trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của ampe mét nhiệt điện
3. Nêu cấu tạo của vôn mét một chiều, phương pháp mở rộng thang đo.
4. Trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của vôn mét bán dẫn tranzito, IC - opamp đo điện áp một chiều.
5. Trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của vôn mét xoay chiều với cơ cấu từ điện chỉnh lưu, vôn mét điện tử, vôn mét điện động.
6. Cấu tạo, nguyên lý làm việc của vôn mét xoay chiều đo giá trị trung bình và giá trị đỉnh.
7. Thế nào là vôn mét điều biến? Trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm.
8. Trình bày nguyên tắc đo điện áp bằng phương pháp so sánh, vẽ sơ đồ và nêu đặc điểm.
9. Trình bày nguyên lý làm việc của Ômmét và dụng cụ vạn năng kế.
10. Nêu đặc điểm của vôn mét số?
11. Trình bày cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của vôn mét số biến đổi thời gian và biến đổi tần số.

II. Bài tập

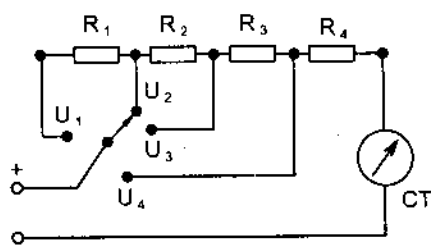
1. Một cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng điện định mức $I_{dm} = 500 \mu A$ (với độ lệch toàn thang) với sai số $\pm 0,5\%$.
- Tính giới hạn trên và dưới của dòng cần đo và sai số phần trăm khi đo các giá trị $I_1 = 500 \mu A$, $I_2 = 250 \mu A$, $I_3 = 5 \mu A$.
2. Một ampe mét có 4 thang đo như hình vẽ (3-37). Các điện trở $R_1 = 5 \Omega$; $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, $R_4 = 50 \Omega$. Dòng điện lớn nhất qua cơ cấu chỉ thị $I_{CT} = 100 \mu A$, điện trở của chỉ thị $R_{CT} = 1 K \Omega$. Tính các giá trị I_1 , I_2 , I_3 , I_4 .



Hình 3-37

3. Một Micro ampemét có thang đo 150 vạch với giá trị độ chia $C_1 = 2\mu A$. Điện trở của chỉ thị $R_{CT} = 1K\Omega$.

Tính các giá trị sun tương ứng để đo dòng điện với các thang đo: 0 - 100mA; 0 - 300 mA; 0 ÷ 500mA; 0 ÷ 1A.



Hình 3-38

4. Một cơ cấu đo từ điện có dòng định mức $I_{dm} = 5mA$, điện trở của cơ cấu đo $R_{CT} = 100 \Omega$. Để mở rộng với các thang đo 0 ÷ 10V; 0 ÷ 100V; 0 ÷ 250V và 0 ÷ 600V.

- Tính các điện trở phụ tương ứng (Hình 3-38).

5. Một cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng lệch toàn thang đo $I_{CT} = 50\mu A$, Điện trở $R_{CT} = 500 \Omega$. Chỉ thị trên được chế tạo thành 1 vôn-mét với thang đo 100V.

a. Tính giá trị điện trở phụ tương ứng.

b. Tính độ nhạy của vôn-mét: $S = \frac{1}{I_{CT}} \left(\frac{\Omega}{V} \right)$

c. Nếu đo điện áp rơi trên điện trở R_2 tính số chỉ của vôn-mét (hình 3-39).

6. Có 2 vôn-mét khác nhau dùng để đo điện áp rơi trên điện trở R_b như hình vẽ (3-40)
Vôn-mét 1 có: $S = 1K\Omega/V$; $R_{CT} = 0,2K\Omega$, giải đo 0 - 10V.

Vôn-mét 2 có: $S = 20K\Omega/V$; $R_{CT} = 1,5K\Omega$, giải đo 0 - 10V. Tính:

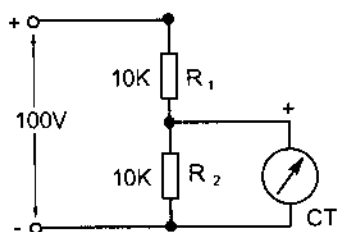
a) Giá trị điện áp rơi trên điện trở R_b khi chưa mắc vôn-mét.

b) Điện áp rơi trên R_b khi đo bằng vôn-mét 1.

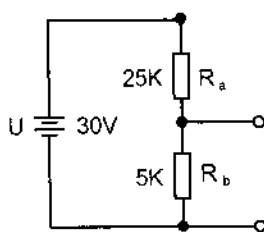
c) Điện áp rơi trên R_b khi đo bằng vôn-mét 2.

d) Sai số ở mỗi vôn-mét khi đo.

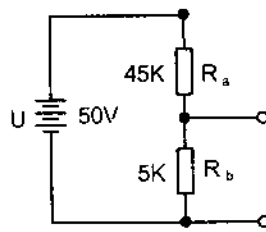
7. Xác định số chỉ của vôn-mét và sai số % đối với mỗi thang đo của vôn-mét: thang 5V; thang 10V và thang 30V nếu độ nhạy của thiết bị $S = 20K\Omega/V$ khi vôn-mét mắc trên điện trở R_b như hình vẽ (3-41).



Hình 3-39



Hình 3-40



Hình 3-41

0.00
0.00g

CHƯƠNG IV

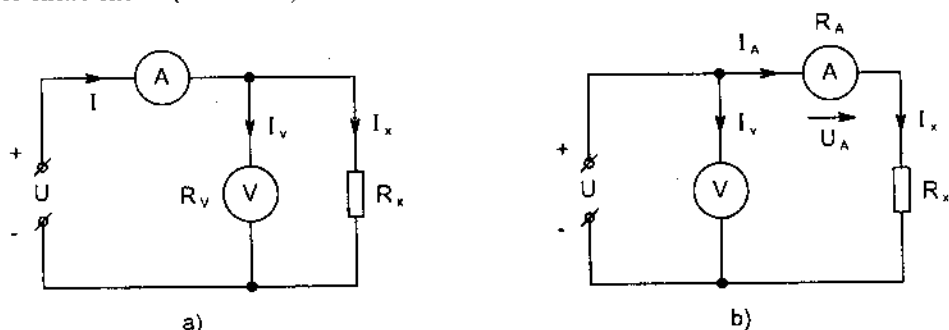
ĐO THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN

4-1. Đo điện trở

4-1-. Đo R bằng vônmet và ampemét

Hình 4-1 là sơ đồ đo điện trở R dựa trên định luật Ôm.

$R = \frac{U}{I}$. Tùy theo cách mắc Ampemét và vônmet, giá trị R_x đo được có thể khác nhau (hình 4-1).



Hình 4-1. Đo điện trở bằng vônmet và Ampemét

Từ hình 4-1a ta có:

$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} \quad (4-1)$$

Với hình 4-1b:

$$R_x = \frac{U - U_A}{I_x} = \frac{U - I_x \cdot R_A}{I_x} \quad (4-2)$$

qua đó có thể xác định được sai số của phép đo tùy theo cách mắc các dụng cụ.

- Sai số của phép đo theo sơ đồ a

$$\beta\% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} 100\% \quad (4-3)$$

trong đó

$$R'_x = \frac{U}{I} \quad (4-4)$$

là giá trị điện trở đo theo von và Ampe mét.

$R'_x = R_x // R_v$; R_x - giá trị thực

Nếu $R_v \gg R_x$ từ (4-1) và (4-4) ta tính được

$$\beta\% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} 100\% \approx -\frac{R_x}{R_v} 100\% \quad (4-5)$$

- Sai số theo sơ đồ b:

$$\beta\% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} 100\% \quad \text{với} \quad R'_x = R_x + R_A = \frac{U}{I_x}$$

ta có

$$\beta\% = \frac{R_A}{R_x} 100\% \quad (4-6)$$

Từ biểu thức (4-5) và (4-6) ta thấy rằng:

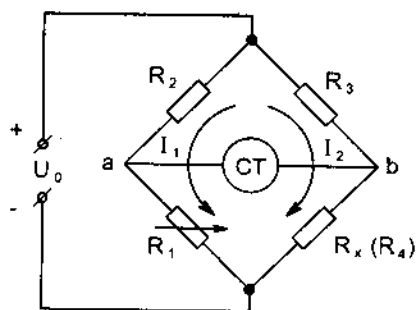
Với điện trở nhỏ có thể sử dụng sơ đồ 4-1a, khi điện trở lớn nên dùng sơ đồ 4-1b.

4-1-2. Cầu đo điện trở

Cầu đo điện trở thường chia thành 2 loại: Cầu đơn (Wheastone) và cầu kép (Kelvin)

1. Cầu đơn (Wheastone)

Cầu đơn là thiết bị dùng đo điện trở có độ chính xác cao. Mạch cầu hình 4-2 gồm 2 điện trở cố định R_2, R_3 điện trở điều chỉnh được R_1 và điện trở đo R_x .



Hình 4-2. Cầu đo điện trở

Điện kế chỉ không (CT) là một μ ampemét từ điện có độ nhạy cao. Cầu được cung cấp bằng nguồn điện một chiều U_0 . Các điện trở R_1, R_2, R_3 là điện trở manganin có độ chính xác cao và rất ổn định.

Để xác định R_x ta điều chỉnh điện trở R_1 sao cho điện kế chỉ zêrô. Lúc đó cầu ở chế độ cân bằng nghĩa là điện thế tại 2 điểm $V_a = V_b$ ($U_{ab} = 0$) do I_1 đi qua R_1, R_2 và I_2 qua R_3, R_x .

Ta có:

$$I_1 R_2 = I_2 R_3 \quad (4-7)$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_x \quad (4-8)$$

Chia (4-7) cho (4-8) ta được
$$\frac{I_1 R_2}{I_1 R_1} = \frac{I_2 R_3}{I_2 R_x}$$

Hay

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_x} \quad (4-9)$$

và $R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$.

$$R_x = \frac{R_3}{R_2} \cdot R_1 \quad (4-10)$$

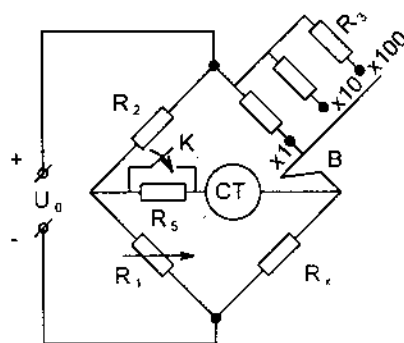
do R_3 và R_2 là các điện trở cố định nên tỷ số $\frac{R_3}{R_2} = K$; K - hệ số nhân.

Nếu thay đổi R_3 bằng một số các điện trở có trị số lớn hơn nhau 10 lần và giữ nguyên R_2 ta sẽ có các hệ số k khác nhau và có thể mở rộng thang đo như hình 4-3.

Điện trở R_5 (h4-3) điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị.

Trước khi đo khóa K được mở ra để chỉnh thô (bảo vệ quá tải) sau đó đóng K để chỉnh tinh.

Độ chính xác của cầu cân bằng phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị và điện áp



Hình 4-3. Cầu hộp đo điện trở

nguồn cung cấp, do đó yêu cầu chỉ thị “không” cần có độ nhạy cao, nguồn cung cấp đảm bảo để dòng qua chỉ thị không vượt quá dòng cho phép.

Giải đo của cầu đơn khi đo điện trở $R = 50 \div 10^5 \Omega$.

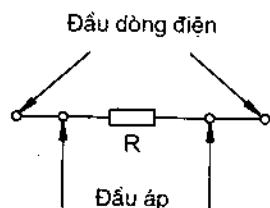
Sai số $\pm 0,05\%$ với $R = 10^5 \div 10^6 \Omega$ sai số $\pm 0,5\%$.

2. Cầu kép (Kelvin)

Cầu kép là thiết bị đo điện trở nhỏ mà các cầu đơn trong quá trình đo không thuận lợi và có sai số lớn do điện trở nối dây và điện trở tiếp xúc.

Để tránh sai số do tiếp xúc khi đo các dòng điện lớn gây ra, các điện trở trên thường được chế tạo 4 đầu, hai đầu dòng và hai đầu áp (hình 4-4)

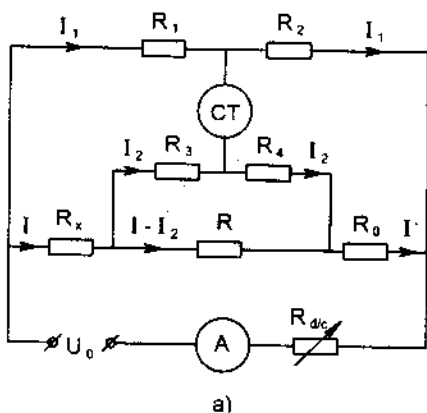
Đầu dòng nằm ở phía ngoài, các đầu áp nằm phía trong. Do điện trở đo rất nhỏ nên điện áp rơi trên các điện trở rất nhỏ, dòng điện ở đầu áp đi vào dụng cụ đo cỡ $\mu A \div mA$ nên tránh được sự sụt áp do tiếp xúc.



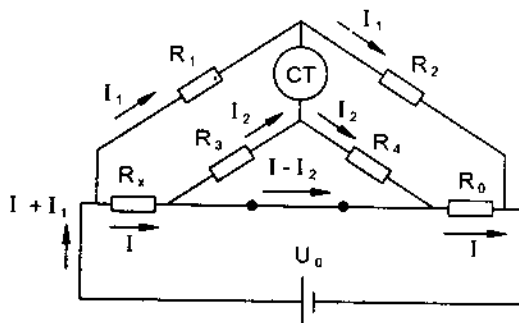
Hình 4-4. Điện trở 4 đầu

Hình 4-5a là sơ đồ nguyên lý của cầu kép.

Trong đó R_0 là điện trở mẫu có trị số nhỏ, R_1, R_2, R_3, R_4 là những điện trở nhánh cầu.



a)



b)

Hình 4-5. Cầu kép đo điện trở nhỏ

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Sơ đồ thực tế

Nếu tỷ số R_3/R_4 giống như R_1/R_2 thì sai số do độ sụt áp qua R được bỏ qua.

Giả sử chỉ thị chỉ zêrô ($I_{CT} = 0$), điện áp rơi trên chỉ thị $U_{CT} = 0$ ta có dòng I_1 đi qua R_1, R_2 , dòng I_2 đi qua R_3, R_4 và $I - I_2$ qua R, mặt khác dòng điện I đi qua điện trở R_x và R_0 .

Từ hình 4-5a ta có (theo luật Kirchhof):

$$\begin{aligned} I_1 R_2 &= I_2 R_4 + IR_0 \\ IR_0 &= I_1 R_2 - I_2 R_4 \\ IR_0 &= R_2 \left(I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (4-11)$$

Mặt khác ta cũng có:

$$\begin{aligned} I_1 R_1 &= I_2 R_3 + IR_x \\ IR_x &= I_1 R_1 - I_2 R_3 = R_1 \left(I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (4-12)$$

ta chia (4-12) cho (4-11) ta được:

$$\frac{IR_x}{IR_0} = \frac{R_1 \left(I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1} \right)}{R_2 \left(I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right)}$$

với điều kiện $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$ hoặc $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$ ta nhận được:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \text{ và } R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (4-13)$$

Trong quá trình đo các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 luôn giữ được tỷ số $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$. Khi đó điện trở R_x được xác định theo biểu thức (4-13).

Hình 4-5b là sơ đồ cầu thông thường R_x, R_0 là các điện trở 4 đầu. Giải đo của cầu kép khoảng $10^{-6} \div 10\Omega$.

Tùy thuộc vào độ chính xác của linh kiện sai số của phép đo có thể đạt $\pm 0,2\%$.

4-1-3. Đo điện trở lớn

1. Đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp

Phương pháp gián tiếp có thể đo điện trở lớn $10^5 \div 10^6\Omega$ như điện trở cách điện. Trong quá trình đo cần loại trừ dòng điện rò qua dây dẫn hoặc

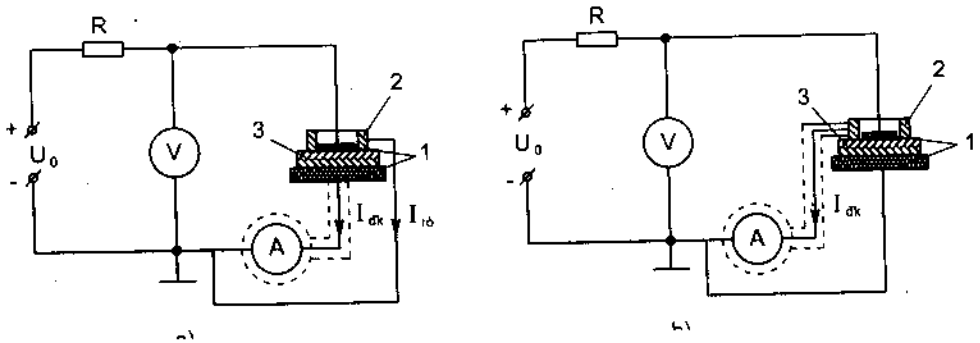
qua cách điện của thiết bị. Muốn tránh dòng điện rò cần phải sử dụng màn chắn tĩnh điện hoặc dây dẫn bọc kim.

Khi đo điện trở lớn thường xuất hiện hai thành phần điện trở: Điện trở khối và điện trở rò bề mặt. Trong thực tế điện trở khối và điện trở bề mặt tổ hợp lại đó là điện trở hiệu dụng của lớp cách điện. Tuy nhiên trong một số trường hợp phải tách riêng 2 trường hợp. Để tách hai thành phần điện trở người ta dùng các điện cực đo và cực phụ hình 4-6a và b.

Khi đo điện trở cách điện khối của mạch đo được bố trí như hình 4-6a. Điện kế G đo dòng xuyên qua khối cách điện (cỡ μA), dòng điện rò trên bề mặt vật liệu qua điện cực phụ nối đất. Điện trở cần đo được xác định qua vônmet và điện kế G (μA mpe mét):

$$R_x = \frac{U}{I_{dk}}$$

Nguồn cung cấp cho mạch khoảng 1kV, điện trở R_x cỡ $1M\Omega$. Để đo điện trở mặt sơ đồ mạch bố trí như hình 4-6b.



Hình 4-6. Đo điện trở lớn bằng vônmet và Ampemét

a) Đo điện trở khối; b) Đo điện trở bề mặt

1. Hai điện cực đo; 2. Cực phụ; 3. Tấm cách điện

trong đó dòng điện rò được đo bằng điện kế G, dòng điện xuyên quá khối cách điện nối qua cực chính xuống đất.

Trong thực tế khi đo điện trở của sợi cáp điện ta phải tính điện trở theo cả 2 sơ đồ hình 4-6a, b.

2. Mègôm mét

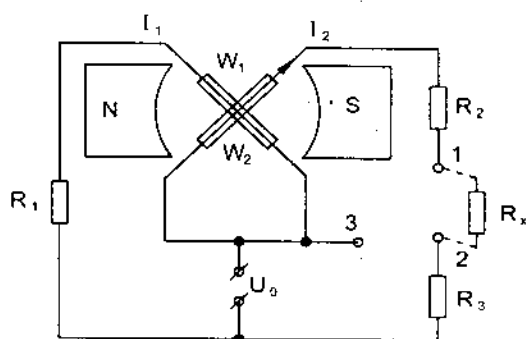
Mègôm mét là dụng cụ xách tay dùng để kiểm tra điện trở cách điện của cáp điện, các động cơ, máy phát và biến áp điện lực.

Dụng cụ gồm có nguồn cao áp cung cấp từ máy phát điện quay tay, điện áp từ 500 ÷ 1000V. Chỉ thị là một lògôm mét từ điện hình 4-7 gồm hai khung dây, một khung tạo mômen quay và một khung tạo mômen cản. Góc quay α của cơ cấu đo tỷ lệ với tỷ số của hai dòng điện I_1 và I_2 qua cuộn dây W_1 , W_2 , điện trở R_2 , R_x và R_3 hình 4-7.

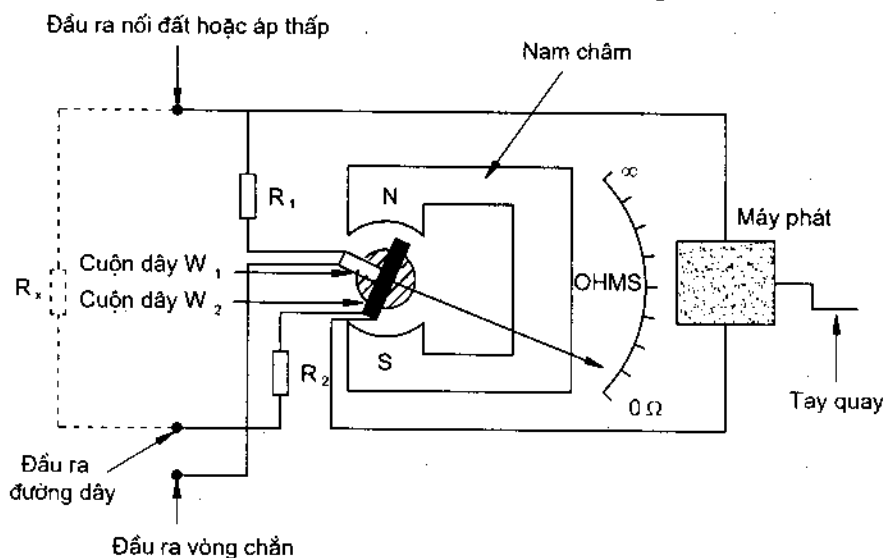
$$\text{Ta có } I_1 = \frac{U_0}{R_1 + r_1}$$

$$I_2 = \frac{U_0}{R_1 + R_x + r_2 + R_3}$$

r_1 và r_2 - điện trở của khung. Dưới tác động của lực điện từ giữa từ trường và các dòng điện qua khung tạo ra mômen quay M_1 và M_2 .



Hình 4-7. Mègôm mét từ điện



Hình 4-8. Sơ đồ cấu tạo của mègôm mét từ điện

Tại thời điểm cân bằng $M_1 = M_2$ ta có:

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = F\left(\frac{R_2 + R_3 + r_2 + R_x}{R_2 + r_1}\right) \quad (4-14)$$

do R_1, R_2, R_3, r_1 và r_2 là hằng số nên góc quay α tỷ lệ với R_x và không phụ thuộc vào điện áp nguồn cung cấp.

Hình 4-8 là sơ đồ của Mêgômét thông thường.

4.2. Cầu xoay chiều

4.2-1. Cầu đo dòng xoay chiều

Cầu dòng xoay chiều là loại dựa trên cầu đơn dùng để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao tg δ và hệ số phẩm chất Q của cuộn dây. Nguồn cung cấp cho mạch cầu là nguồn xoay chiều có tần số 50Hz hoặc tần số âm tần và cao tần lấy từ máy phát tần số. Chỉ thị không là một dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng v.v... Với cầu xoay chiều, điều kiện cân bằng phải đạt được hai thành phần là cân bằng về biên độ và cân bằng về pha.

Mạch tổng quát của cầu dòng xoay chiều vẽ trên hình 4-9 trong đó Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 là các tổng trở.

Khi cầu cân bằng ta có $U_{r_1} = U_{r_2}$; $U_{r_1} = U_{r_4}$

Do đó:

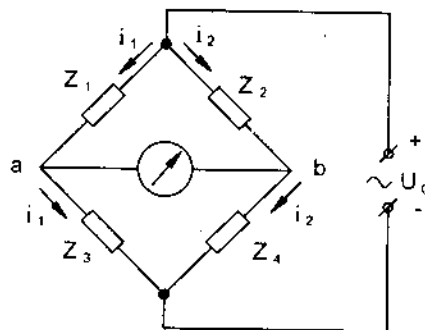
$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \quad (4-15)$$

$$I_1 Z_3 = I_2 Z_4 \quad (4-16)$$

Chia (4-15) cho (4-16) ta được

$$\frac{I_1 Z_1}{I_1 Z_3} = \frac{I_2 Z_2}{I_2 Z_4} \text{ và } \frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4} \quad (4-17)$$

Do $Z = R + jX$ nên cầu cân bằng phải đạt điều kiện



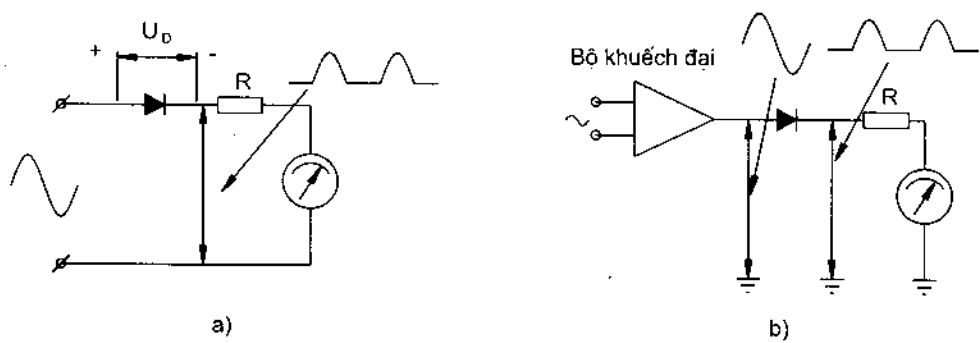
Hình 4-9. Cầu xoay chiều

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (R - \text{thành phần thực}) \quad (4-18)$$

$$X_1 X_4 = X_2 X_3 \quad (X - \text{thành phần ảo}). \quad (4-19)$$

4-2-2. Dụng cụ chỉ không dùng cho cầu xoay chiều

Dụng cụ chỉ không cho cầu xoay chiều có thể thực hiện bằng một điện kế từ điện chỉnh lưu ($\mu\text{Ampemét}$) như hình 4-10.



Hình 4-10. Chỉ thị chỉ không xoay chiều

Trong đó hình 4-10a là điện kế từ điện chỉnh lưu và hình 4-10b sử dụng thêm bộ khuếch đại để tăng độ nhạy, giới hạn tần số cho phép của mạch cầu từ 20 Hz ÷ 1MHz.

Với giải tần rộng như trên tốt nhất ta có thể sử dụng máy hiện sóng điện tử để chỉ không vì có thể quan sát được chính xác.

4-3. Đo điện dung và góc tổn hao tụ điện

4-3-1. Khái niệm về điện dung và góc tổn hao

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không đi qua tụ), nhưng trong thực tế do có lớp điện môi nên vẫn có dòng điện nhỏ đi qua từ cực này đến cực kia vì vậy trong tụ có tổn hao công suất.

Sự tổn hao công suất là rất nhỏ và để đánh giá sự tổn hao đó người ta đo góc tổn hao $\text{tg}\delta$.

Tụ điện được biểu diễn dưới dạng một tụ lý tưởng nối tiếp với một điện trở (tụ tổn hao ít hình 4-11a) hoặc nối song song với điện trở (tụ tổn hao nhiều hình 4-11b).

Với tụ điện tổn hao nhỏ, dựa vào biểu độ vectơ ta xác định được góc tổn hao.

Ta có $U_R = IR$; $U_c = \frac{I}{\omega C}$

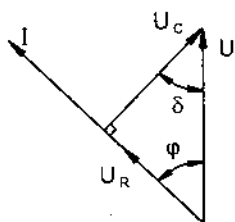
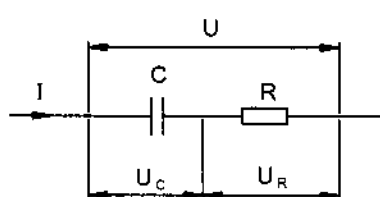
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_c} = \frac{IR}{I/\omega C} \Rightarrow \operatorname{tg} \delta = R\omega C \quad (4-20)$$

δ - góc tổn hao.

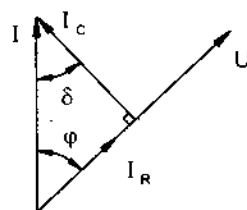
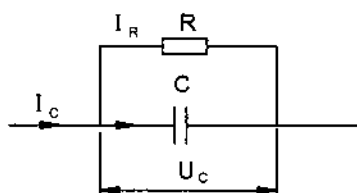
Với tụ có tổn hao nhiều ta có:

$$I_R = \frac{U}{R}; I_c = U\omega C$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_c} = \frac{U/R}{U\omega C} \quad \text{và} \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{I}{R\omega C} \quad (4-21)$$



a)



b)

Hình 4-11

a) Tụ điện có tổn hao nhỏ;

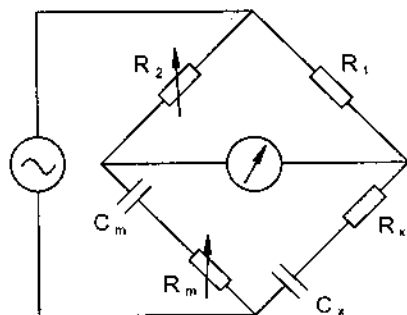
b) Tụ điện có tổn hao lớn.

4-3-2. Cầu xoay chiều đo điện dung

a) Cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ.

Hình 4-12 là sơ đồ cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ.

Cầu gồm 4 nhánh trong đó R_1 , R_2 là thuần trở, các nhánh còn lại C_x , R_x và R_m , C_m là điện trở mẫu, điện dung mẫu có thể điều chỉnh được. Điện kế G xoay chiều là dụng cụ chỉ không, cầu được cung cấp bằng nguồn xoay chiều U_Z . Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ:



Hình 4-12. Cầu xoay chiều đo tụ điện tổn hao nhỏ

$$R_2 \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) = R_1 \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) \quad (4-22)$$

$$R_2 R_x + \frac{R_2}{j\omega C_x} = R_1 R_m + \frac{R_1}{j\omega C_m}$$

Cân bằng phần thực và kháng ta được

$$R_2 R_x = R_1 R_m \rightarrow R_x = R_m \frac{R_1}{R_2} \quad (4-23)$$

$$\frac{R_2}{j\omega C_x} = \frac{R_1}{j\omega C_m} \Rightarrow C_x = \frac{R_2}{R_1} C_m \quad (4-24)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_x C_x = \omega R_m C_m$$

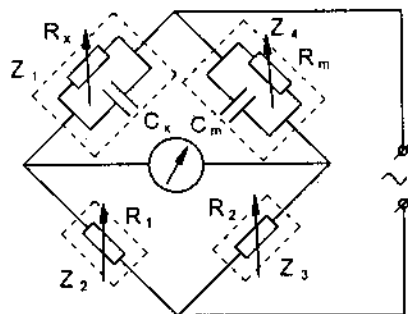
b) Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

Hình 4-13 là sơ đồ mạch cầu đo tụ điện có tổn hao lớn, trong đó R_1 , R_2 thuần trở. R_m mắc song song với C_m (điện trở và điện dung mẫu), R_x , C_x - điện dung đo.

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \quad (4-25)$$

$$Z_1 = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}; Z_2 = R_1; Z_3 = R_2;$$



Hình 4-13. Cầu xoay chiều đo tụ điện tổn hao lớn

$$Z_4 = \frac{1}{I_1 R_m + j\omega C_m}$$

Từ (4-25) ta được:

$$R_2 \cdot \frac{1}{I_1 R_x + j\omega C_x} = R_1 \cdot \frac{1}{I_1 R_m + j\omega C_m} \quad (4-26)$$

$$\Rightarrow R_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right) = R_1 \left(\frac{1}{R_x} + j\omega C_x \right) \quad (4-27)$$

Cân bằng phần thực và phần ảo ta có:

$$\frac{R_2}{R_m} = \frac{R_1}{R_x} \Rightarrow R_x = R_m \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (4-28)$$

$$R_2 \cdot j\omega C_m = R_1 \cdot j\omega C_x$$

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_m \quad (4-29)$$

$$\text{tg} \delta = \frac{1}{\omega R_m C_m} = \frac{1}{\omega R_x C_x} \quad (4-30)$$

c) Cầu Schering đo điện dung.

Hình 4-14 là sơ đồ mạch cầu Schering dùng đo điện dung.

Từ sơ đồ ta có:

$$Z_1 = \frac{1}{I_1 R_1 + j\omega C_1}$$

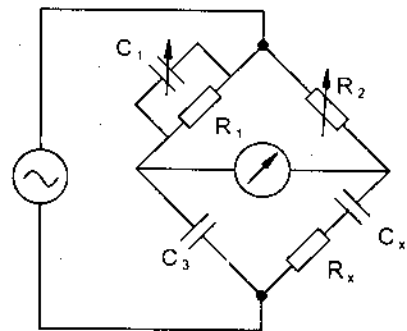
$$Z_2 = R_2; \quad Z_3 = \frac{1}{j\omega C_3};$$

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

Khi cầu cân bằng:

$$Z_1 \cdot Z_x = Z_3 \cdot Z_2$$

$$\frac{1}{I_1 R_1 + j\omega C_1} \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) = R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_3}$$



Hình 4-14. Cầu Shering đo điện dung

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) j\omega C_3 = \frac{R_2}{R_1} + R_2 j\omega C_1$$

$$j\omega R_x C_3 + \frac{C_3}{C_x} = \frac{R_2}{R_1} + j\omega R_2 C_1$$

Cân bằng phần thực và phần ảo ta được

$$C_x = C_3 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (4-31)$$

$$R_x = R_2 \cdot \frac{C_1}{C_3} \quad (4-32)$$

4-4. Cầu đo điện cảm và hệ số phẩm chất cuộn dây

4-4-1. Khái niệm chung

Cuộn cảm lý tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần kháng ($X_L = \omega L$) hoặc thuần khiết điện cảm, nhưng trong thực tế các cuộn dây ngoài thành phần kháng X_L còn có điện trở cuộn dây R_L . Điện trở R_L càng lớn độ phẩm chất cuộn dây càng kém. Nếu gọi Q là độ phẩm chất của cuộn dây thì Q được đặc trưng bởi tỷ số giữa điện kháng X_L và điện trở của cuộn dây đó.

$$Q = \frac{X_L}{R_L} \quad (4-33)$$

Để đo X_L và R_L , Q ta dùng cầu xoay chiều.

4-4-2. Các mạch cầu đo thông số cảm mẫu

a) Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

Hình 4-15 là sơ đồ mạch cầu đo điện cảm trong đó R_m , L_m là điện cảm mẫu; L_x , R_x là điện cảm cần đo; R_1 , R_2 thuần trở. Ở chế độ cân bằng ta có:

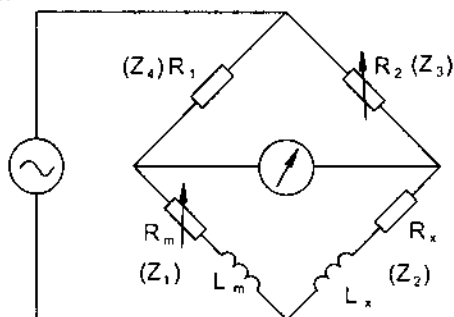
$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad (4-34)$$

trong đó $Z_1 = R_m + j\omega L_m$

$$Z_2 = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_3 = R_2$$

$$Z_4 = R_1$$



Hình 4-15. Cầu đo điện cảm

Từ (4-34) ta có:

$$(R_m + j\omega L_m) (R_1) = (R_x + j\omega L_x) R_2.$$

Cân bằng phần thực và ảo ta được:

$$R_m \cdot R_1 = R_x \cdot R_2 \Rightarrow R_x = R_m \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (4-35)$$

$$j\omega R_1 L_m = j\omega R_2 L_x \Rightarrow L_x = L_m \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (4-36)$$

b) Cầu điện cảm Maxwell

Cầu maxwell được mô tả như hình 4-16. Trong đó C_3 là tụ mẫu, R_1 , R_4 , R_3 là các điện trở điều chỉnh được.

Khi cầu cân bằng ta có:

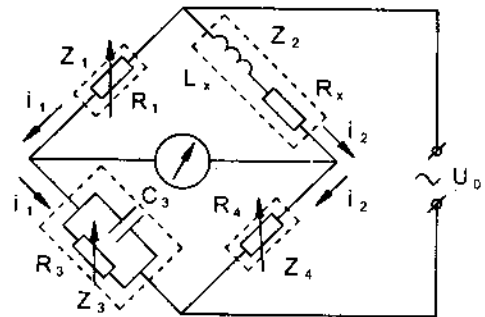
$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

$$\text{Mà } Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_3}$$

$$Z_4 = R_4.$$



Hình 4-16. Cầu điện cảm Maxwell

Từ phương trình cân bằng cầu ta được:

$$R_1 \cdot R_4 = (R_x + j\omega L_x) \frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_3}$$

$$\frac{R_1}{R_3} + j\omega C_3 \cdot R_1 = \frac{R_x + j\omega L_x}{R_4} = \frac{R_x}{R_4} + \frac{j\omega L_x}{R_4}$$

Cân bằng phần thực và ảo ta có:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_x}{R_4} \Rightarrow R_x = R_4 \cdot \frac{R_1}{R_3} \quad (4-37)$$

$$j\omega C_3 R_1 = \frac{j\omega L_x}{R_4} \Rightarrow L_x = C_3 \cdot R_1 \cdot R_4 \quad (4-38)$$

Cầu maxwell chỉ thích hợp khi đo các cuộn cảm có hệ số phẩm chất Q thấp (ωL_x không lớn hơn nhiều R_x).

c) *Cầu điện cảm Hay.*

Hình 4-17 mô tả cầu điện cảm hay đo điện cảm cuộn dây. Trong đó

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega L_x}}$$

$$Z_3 = R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}$$

$$Z_4 = R_4$$

Khi cầu cân bằng $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$.

Và ta có:

$$R_1 R_4 = \left(\frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega L_x}} \right) \left(R_3 + \frac{1}{j\omega C_3} \right)$$

hay

$$R_4 \cdot \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega L_x} \right) = \frac{R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}}{R_1}$$

và ta có:

$$\frac{R_4}{R_x} + \frac{R_4}{j\omega L_x} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{1}{j\omega C_3 R_1}$$

Cân bằng phần thực và ảo ta được:

$$\frac{R_4}{R_x} = \frac{R_3}{R_1} \Rightarrow R_x = R_1 \frac{R_4}{R_3} \quad (4-39)$$

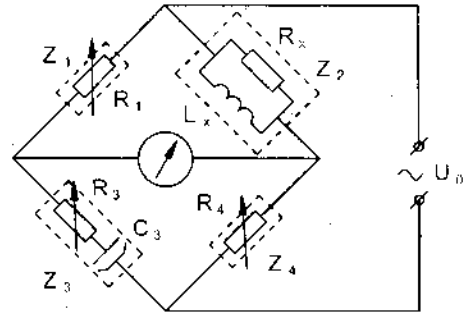
$$\frac{R_4}{j\omega L_x} = \frac{1}{j\omega C_3 R_1} \Rightarrow L_x = C_3 R_1 R_4$$

Cầu điện cảm Hay được sử dụng đo cuộn dây có độ phẩm chất cao.

4-5. Cầu đo R - L - C (cầu Skeleton)

4-5-1. Giới thiệu chung

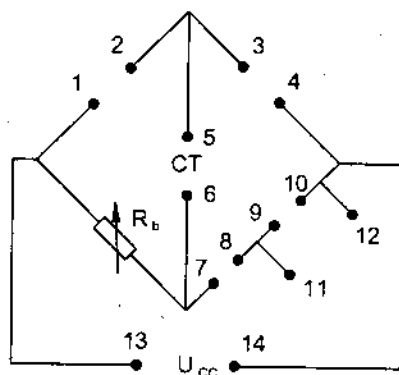
Trong thực tế để thuận lợi và dễ sử dụng trong các phòng thí nghiệm cũng như ngoài hiện trường khi đo R, L, C người ta dùng loại dụng cụ gọi là cầu đo R-C-L (cầu Skeleton).



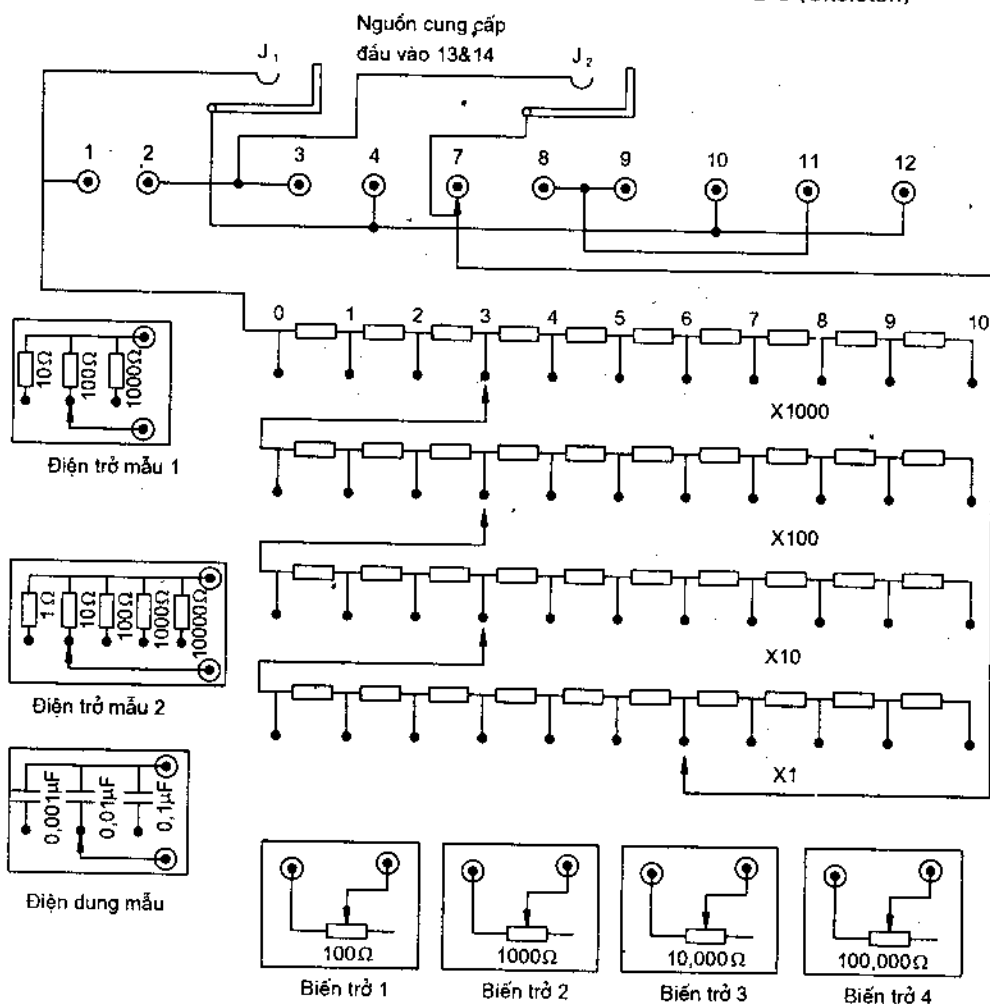
Hình 4-17. Cầu điện cảm Hay

Hình 4-18a là sơ đồ nguyên lí của mạch cầu trong đó điện trở R_b là hộp điện trở mẫu gồm có 3 decade ($\times 10$; $\times 100$ và $\times 1000$). Các decade được nối tiếp nhau và qua các chuyển mạch (h4-18b) tạo thành một nhánh cầu. Các nhánh còn lại là các điện trở, điện dung và các thông số cần đo R_x , L_x và C_x được mắc vào các cực 1-2; 3-4; 7-8; 9-10 và 11-12.

Chỉ thị chỉ không và nguồn cung cấp được nối với các cực 5-6 và 13-14. Cầu này có thể dùng cho cả dòng một chiều và xoay chiều.



Hình 4-18a. Sơ đồ nguyên lí cầu đo R-L-C (Skeleton)



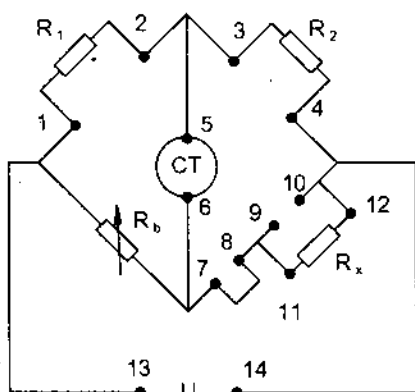
Hình 4-18b. Hộp điện trở mẫu

Để đo các thông số khác nhau có thể thực hiện cách mắc như sau:

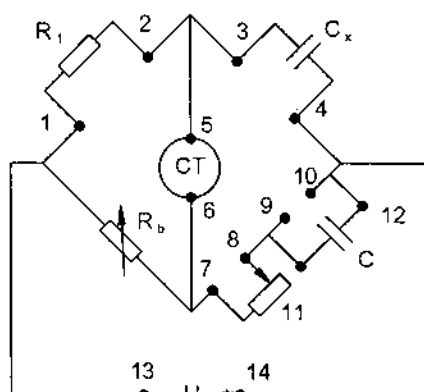
- Hình 4-19a là dạng cầu Wheaston dùng đo các điện trở (ac và dc).
- Hình 4-19b - mạch cầu đo điện dung C.
- Hình 4-19c - cầu Maxwell đo điện cảm L.

Giải đo của cầu Skeleton:

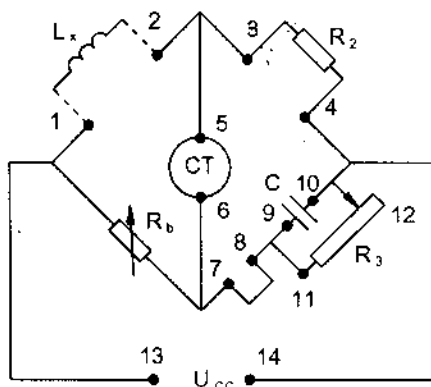
- Đo điện trở từ $10^{-3}\Omega \div 11,11 \mu\Omega$
- Đo điện dung từ $1\text{pF} \div 1111 \mu\text{F}$.
- Đo điện cảm từ $1 \mu\text{H} \div 111,1\text{H}$.



a)



b)



c)

Hình 4-19.

- a) Cầu đo điện trở
- b) Cầu đo điện dung
- c) Cầu Maxwell đo điện cảm

Các thiết bị phụ kèm theo gồm có:

- Hai hộp điện trở mẫu:

Hộp 1 có các điện trở 10 - 100 - 1000 Ω .

Hộp 2 là các điện trở 1 - 10 - 100 - 1000 - $10^4 \Omega$

- Một hộp điện dung mẫu với các trị số: 0,001 - 0,01 - 0,1 μF .

- Bốn biến trở mẫu có trị số 100 - 1K - 10K - 100K.

Nguồn cung cấp là dòng một chiều (dc) có điện áp 1,5 ÷ 7,5V nối với cực 13 - 14.

Chỉ thị chỉ không (50 - 0 - 50 hoặc 100 - 0 - 100 μA một chiều) nối với cực 5-6.

Để đo dòng xoay chiều của R, L, C người ta sử dụng một máy phát với tần số 1KHz và cũng nối với cực 13 - 14.

Chỉ thị chỉ không là một điện kế xoay chiều hoặc tai nghe nối với cực 5-6.

4-5-2. Các phương pháp đo R-L-C với cầu Skeleton

1. Đo điện trở

- Nối điện trở mẫu R_1 (1000 Ω) với cực 1 - 2

- Nối R_2 (1 Ω) với cực 3 - 4

- Điện trở R_x nối với cực 11 - 12

- Biến trở 1 R_b (điều chỉnh thô) nối cực 7 - 8

- Cực 9 - 10 để hở

- Nguồn cung cấp được nối với cực 13 - 14 (chỉ thị là Micro Ampemét 1 chiều dùng với nguồn 1 chiều, khi nguồn cung cấp là điện áp xoay chiều dùng chỉ thị chỉ không xoay chiều).

- Điều chỉnh các điện trở R_b , R_1 , R_2 v.v... sao cho chỉ thị chỉ không (cầu cân bằng)

- Khi cầu cân bằng ta có.

$$R_x = R_b \frac{R_2}{R_1}$$

Bảng 4-1 cho biết giải đo R_x ứng với các điện trở R_1 và R_2

09.10.09.1

Bảng 4-1:

Điện trở 1 (Ω)	Điện trở 2 (Ω)	Thang đo (Ω)
1000	1	0.001 ÷ 11.11
1000	10	0.01 ÷ 111.11
1000	100	0.1 ÷ 1111
1000	1000	1 ÷ 11110
1000	10000	10 ÷ 111100
100	10000	100 ÷ 1111000
10	10000	1000 ÷ 11110000

2. Đo điện dung

- Điện trở R_1 ($1k\Omega$) nối với cực 1 - 2.
 - Nối điện dung mẫu C ($0,001 \mu F$) với cực 11 - 12
 - Tụ C_x với cực 3 - 4
 - Cực 9-10 để hở
 - Biến trở R_b 100Ω nối cực 7-8.
 - Nguồn cung cấp xoay chiều nối với cực 13 - 14 và tai nghe (headphone) hoặc chỉ thị không xoay chiều nối với cực 5-6.
 - Điều chỉnh các điện trở và tụ điện sao cho chỉ thị chỉ zêrô (cầu cân bằng)
- Khi cầu cân bằng ta có:

$$C_x = C \cdot \frac{R_b}{R_1} (\mu F)$$

R_b, R_1 là Ω ; C tính theo μF .

Bảng 4-2 là giải đo C_x ứng với R_1 và tụ mẫu C.

Bảng 4-2:

Điện trở 1 (Ω)	Điện trở 2 (Ω)	Thang đo (Ω)
1000	0.001	1 ÷ 11.110
1000	0.01	10 ÷ 0.1111
100	0.01	100 ÷ 1.1111
1000	1.00	0.001 ÷ 11.11
100	1.00	0.01 ÷ 111.1
10	1.00	0.1 ÷ 1111

3. Đo điện cảm

- Nối tụ điện chuẩn C (0,01 μ F) với cực 9-10
- Điện trở R_2 (100 Ω) nối với cực 3-4
- Biến trở R_b 100 Ω nối với cực 11-12
- Ngắn mạch cực 7-8
- Cuộn cảm L_x nối với cực 1-2
- Nguồn cung cấp xoay chiều nối với cực 13-14 và chỉ thị không với cực

5-6.

- Điều chỉnh R_b , R_2 , C và biến trở để cầu cân bằng và ta có $L_x = CR_bR_2(H)$;

trong đó: R_2 , R_b tính bằng Ω ; C – (F).

Giải đo điện cảm L_x cho trên bảng 4-3 ứng với R_2 và tụ C.

Bảng 4-3

Điện trở	Điện dung mẫu (F)	Thang đo
100 Ω	0.01	1 μ H ÷ 11.11mH
1000 Ω	0.01	10 μ H ÷ 11.11mH
10k Ω	0.01	100 μ H ÷ 1.111H
10k Ω	1.0	10 μ H ÷ 1.111H

4-6. Đo R-L-C bằng dụng cụ số

Nguyên lí hoạt động của phương pháp số là biến đổi các điện trở, điện cảm và điện dung thành điện áp trước khi đo sau đó đưa vào vôn-mét số. Thang đo của dụng cụ được khắc độ với các giá trị tương ứng. Hình 4-20 minh họa phương pháp trên.

Trong hình 4-20a một điện áp xoay chiều được đưa vào đầu không đảo của opamp. Dòng điện ra của opamp qua cuộn cảm L và điện trở R_1 có trị số $I = U_{R_1}/R_1$ và sụt áp trên cuộn cảm $U_L = IX_L$.

Giả sử với $I = U_{R_1}/R_1 = \frac{1,592V}{1k\Omega} = 1,592mA$; $f = 1kHz$, $R_1 = 1k\Omega$ và

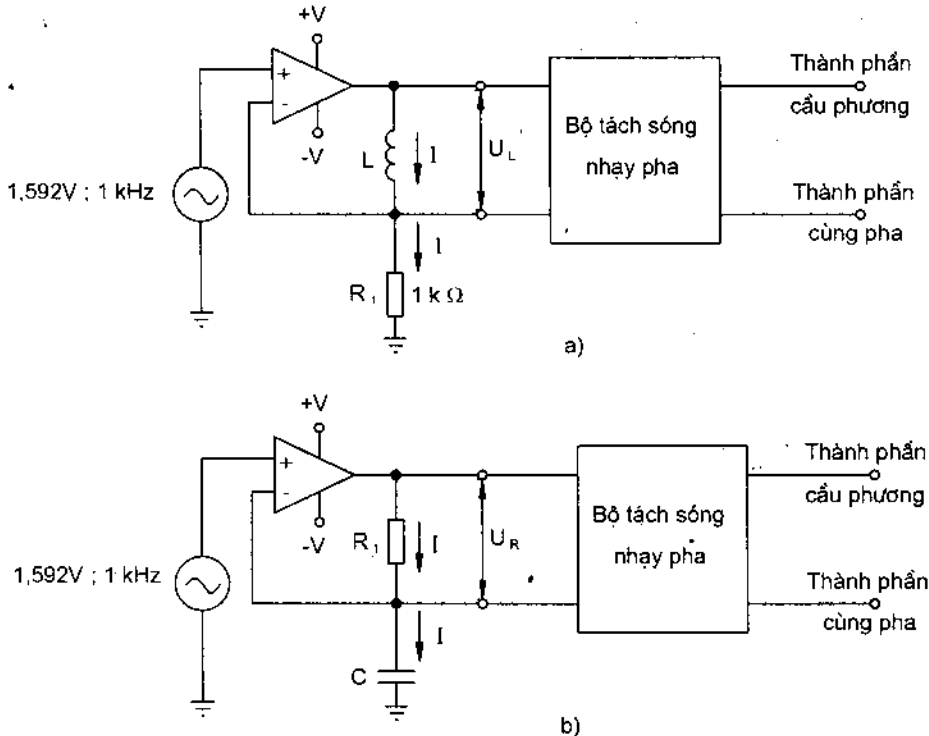
$L = 100mH$. Ta có $U_L = I \cdot \omega L = 1,592 \cdot 2\pi \cdot 1kHz \cdot 100mH = 1V$.

Khi $L = 200mH$; $U_L = I \cdot \omega L = 1,592mA \cdot 2\pi \cdot 1kHz \cdot 200mH = 1V$.

Khi $L = 300mH$ thì $U_L = 3V...$

Điện áp rơi trên L tỷ lệ với trị số của X_L

Điện áp U_L được đưa qua chỉnh lưu nhạy pha sau đó đưa vào dụng cụ.



Hình 4-20. Đo điện cảm (a) và điện dung (b) bằng dụng cụ số

Hình 4-20b là sơ đồ mạch đo điện dung của tụ điện tương tự như phương pháp đo điện cảm. Ở đây điện áp đo là độ sụt áp trên điện trở R_1 . Trong trường hợp này ta có:

$$I = \frac{U_c}{X_c} \text{ và } U_R = I.R_1$$

Nếu $U_c = 1,592V$, $f = 1kHz$; $R_1 = 1k\Omega$; $C = 0,1\mu F$

$I = \frac{U_c}{X_c} = U_c (\omega C) = 1,592V \cdot 2\pi \cdot 1kHz \cdot 0,1 \mu F = 1mA$ và $U_R = IR_1 = 1mA \cdot 1k\Omega = 1V$. Với $C = 0,2 \mu F$, $U_R = 2V$; khi $C = 0,3 \mu F$ thì $U_R = 3V...$

Điện áp trên tỷ lệ với dung kháng, được đưa qua chỉnh lưu nhạy pha và đưa vào dụng cụ đo.

Chỉ thị được khắc độ các thang đo R, L, C riêng rẽ với các nút điều khiển hoặc tự động.

Giải đo điện trở từ $2\Omega \div 2M\Omega$; điện cảm từ $200\mu H \div 200H$; điện dung từ $200pF \div 2000\mu F$ với độ chính xác $\pm [0,25\% + (1 + 0,002R, L \text{ hoặc } C \text{ chữ số})]$.

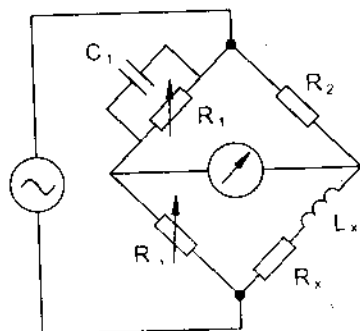
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

I. Lý thuyết

- Nêu phương pháp đo điện trở bằng vônmet và ampe-mét, tính sai số và vẽ sơ đồ.
Với $R = 1k\Omega$, điện trở của Ampemét $R_A = 1\Omega$, vônmet có $R_V = 20K\Omega$. Tính sai số theo hai cách mắc
- Phân loại cầu đo và đặc điểm của từng loại.
- Để đo điện trở với giới hạn đo $R = 1\Omega \div M\Omega$ và $R = 10^{-5}\Omega \div 1\Omega$.
Chọn mạch cầu đo tương ứng. Vẽ sơ đồ và nói nguyên lý làm việc.
- Trình bày các phương pháp đo điện trở lớn ($R \geq M\Omega$) và sơ đồ.
- Trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của cầu đo dòng xoay chiều.
Ứng dụng đo điện dung và điện cảm vẽ sơ đồ.
- Trình bày nguyên lý làm việc của dụng cụ vạn năng tương tự và số đo R-L-C.

II. Bài tập

- Người ta sử dụng 1 mạch cầu Maxwell như hình 4-21 để đo điện cảm của 1 cuộn dây.
Biết rằng $C_1 = 0,01\mu F$, $R_1 = 470k\Omega$;
 $R_2 = 5,1k\Omega$ và $R_3 = 100k\Omega$.
Xác định tổng trở của cuộn dây khi cầu cân bằng
- Hình 4-22 là mạch cầu Hay đo tổng trở của một cuộn dây điện cảm. Tính R_x và L_x khi cầu ở trạng thái cân bằng. Biết rằng $R_1 = 2k\Omega$;
 $R_2 = 10k\Omega$; $R_3 = 1k\Omega$ và $C_1 = 1\mu F$ và $\omega = 3000 \text{ rad/s}$.

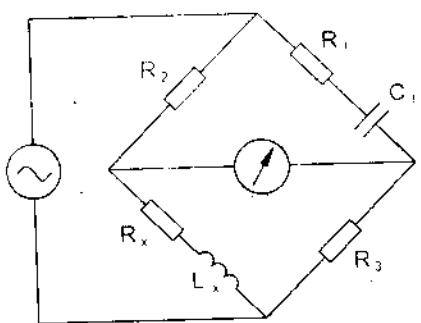


Hình 4-21

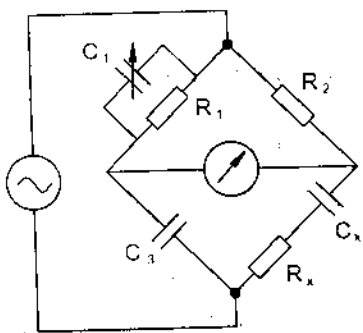
8.008.

3. Hình 4.23 là mạch cầu Schering đo điện dung của 1 tụ điện. Xác định giá trị R_x và C_x khi cầu cân bằng.

Biết rằng:
 $C_1 = 0,5 \mu F$; $R_1 = 1 k\Omega$
 $R_2 = 2 k\Omega$
 $C_3 = 0,5 \mu F$
 $F = 1 kHz$



Hình 4-22



Hình 4-23

CHƯƠNG V

ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG

5-1. Khái niệm chung

Công suất và năng lượng là các đại lượng cơ bản của hệ thống điện. Các đại lượng này có liên quan nhiều đến nền kinh tế quốc dân, vì vậy việc xác định công suất và năng lượng là nhiệm vụ rất quan trọng.

Trong thực tế công suất được phân thành các loại:

- Công suất thực (công suất hữu công): P .
- Công suất phản kháng (công suất vô công): Q .
- Công suất biểu kiến (công suất danh định): S .

Giải đo công suất từ $10^{-6} \div 10^{10} \text{W}$ và giải tần từ $0 \div 10^9 \text{Hz}$.

- Đối với công suất của mạch điện một chiều và thuần trở được tính theo biểu thức:

$$P = U \cdot I; P = I^2 R; P = \frac{U^2}{R} \quad (5-1)$$

- Với mạch xoay chiều 1 pha:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (5-2)$$

p, u, i - là các giá trị tức thời.

Nếu dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì

$$P = UI \cos \varphi \quad (5-3)$$

U, I - giá trị hiệu dụng; $\cos \varphi$ - hệ số công suất.

- Khi tính công suất phản kháng ta có:

$$Q = UI \sin \varphi \quad (5-4)$$

Ngoài đo công suất của mạch điện ta cần phải đo điện năng tiêu thụ của tải trong một khoảng thời gian (W)

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} UI \cos \phi dt \quad (5-5)$$

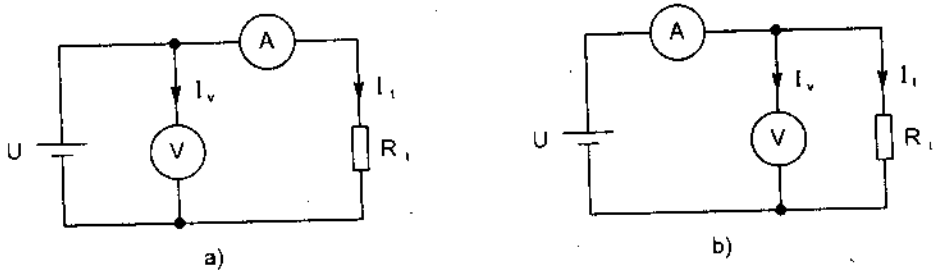
$t_1 \div t_2$ - khoảng thời gian tiêu thụ công suất P.

5-2. Đo công suất trong mạch một pha

5-2-1. Đo công suất một chiều

Phương pháp dùng vônmet và Ampemét

Ta đã biết công suất tiêu thụ của tải trong mạch một chiều và thuần trở $P = UI$, do đó có thể sử dụng vônmet và Ampemét để đo. Sơ đồ thực hiện như hình 5-1. Tùy theo cách mắc, sai số của phép đo có thể khác nhau.



Hình 5-1. Sơ đồ đo công suất bằng vônmet và Ampemét

Với hình 5-1a ta có:

$$P_{do} = P_A + P_t = I^2 R_A + I^2 R_t = I^2 (R_A + R_t) \quad (5-6)$$

$$P_t = I^2 R_t \quad (5-7)$$

Sai số % của phép đo:

$$\gamma_p \% = \frac{P_{do} - P_t}{P_t} \cdot 100\% \quad (5-8)$$

Từ (5-6) và (5-7) ta tính được:

$$\gamma_p \% = \frac{I^2 (R_A + R_t) - I^2 R_t}{I^2 R_t} \cdot 100\% = \frac{R_A + R_t - R_t}{R_t} 100\% = \frac{R_A}{R_t} 100\% \quad (5-9)$$

- Từ hình 5-1b:

$$P_{do} = P_v + P_t = \frac{U^2}{R_v} + \frac{U^2}{R_t} \quad (5-10)$$

$$P_t = \frac{U^2}{R_t} \quad (5-11)$$

$$\gamma_p \% = \frac{P_{do} - P_t}{P_t} 100\% = \frac{U^2 \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_t} \right) - U^2 \frac{1}{R_t}}{U^2 \frac{1}{R_t}} 100\%$$

$$\gamma_p \% = \frac{\left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_t} \right)}{1/R_t} 100\% = \frac{R_t}{R_v} 100\% \quad (5-12)$$

Từ công thức (5-9) và (5-12) ta thấy rằng với tải có điện trở lớn nên mắc theo sơ đồ 5-1a, khi tải có điện trở nhỏ nên sử dụng sơ đồ 5-1b.

5-2-2. Oátmét điện động

Như tiết 2-1-4 đã giới thiệu cơ cấu chỉ thị điện động, trong đó góc quay α của chỉ thị theo biểu thức (2-11). Ta có:

$$\alpha = \frac{1}{D} I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Nếu tính toán và thiết kế sao cho $I_1 = k_1 I$; $I_2 = k_2 U$ (k_1, k_2 - hệ số và U, I - điện áp rơi trên tải và dòng điện qua tải)

Từ biểu thức trên ta được:

$$\alpha = \frac{1}{D} k_1 k_2 U I \frac{dM_{12}}{d\alpha} = k \cdot U I \quad (5-13)$$

góc quay α của cơ cấu chỉ thị điện động tỷ lệ với công suất rơi trên phụ tải. Từ cơ cấu chỉ thị trên ta chế tạo thành Oátmét điện động đo công suất P .

Sơ đồ của dụng cụ được mô tả như hình 5-2.

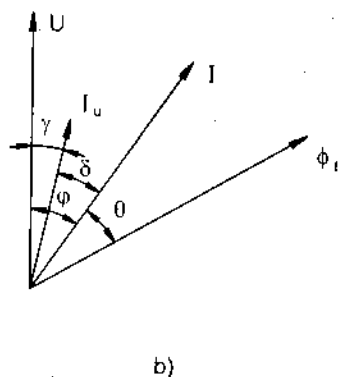
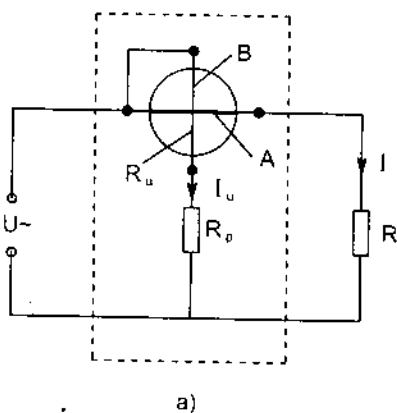
Giống như phương pháp vôn - ampe đo công suất. Tùy theo cách mắc các cuộn dòng và áp mà ta có sai số khác nhau.

Khi có điện áp V đặt lên cuộn dây phân động và dòng điện đi qua phụ tải, dưới tác động của trường điện từ kim của oátmét lệch đi một góc α . Từ (5-13) với mạch một chiều và thuần trở ta có

$$\alpha = \frac{1}{D} I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

$$\alpha = kUI = kP \quad (5-14)$$

k - hệ số



Hình 5-2. a) Oátmét điện động; b) Biểu đồ véc tơ

Khi dòng điện là xoay chiều đi qua cuộn dây động và cuộn dây tĩnh của cơ cấu chỉ thị, ta có mômen quay tức thời M_{qt}

$$M_{qt} = i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (5-15)$$

i_1, i_2 - dòng điện qua cuộn dây tĩnh và động.

Mômen quay trung bình trong 1 chu kỳ được tính:

$$M_{q_{tb}} = \frac{1}{T} \int_0^T M_{qt} dt \quad (5-16)$$

nếu $i_1 = I_{1m} \cos \omega t$; $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \varphi)$, từ (5-15) và (5-16) ta có:

$$M_{q_{tb}} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{1m} I_{2m} \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt$$

$$M_q = \frac{dM_{l2}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi \quad (5-17)$$

φ - góc lệch giữa I_1 và I_2 ; I_1, I_2 - giá trị hiệu dụng.

Ở điều kiện cân bằng $M_q = M_c$; $M_c = D\alpha$ (Mômen cản), ta được:

$$I_1 I_2 \frac{dM_{l2}}{d\alpha} \cos \varphi = D\alpha$$

$$\alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{l2}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi \quad (5-18)$$

D - hệ số cản; α - góc quay của cuộn dây động

Nếu $I_1 = k_1 I$ (dòng qua phụ tải và cuộn dây tĩnh); $I_2 = k_2 U$ (điện áp rơi trên phụ tải), ta có:

$$\alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{l2}}{d\alpha} k_1 k_2 UI \cos \varphi$$

$$\alpha = k UI \cos \varphi = kP \quad (5-19)$$

k_1, k_2, k - hệ số.

Từ (3-19) ta thấy rằng cơ cấu chỉ thị điện động cũng có thể sử dụng làm oátmét đo công suất của phụ tải xoay chiều vì góc quay α , tỷ lệ với công suất tiêu thụ trên phụ tải.

Oátmét điện động có dải đo với dòng $I = 5 \div 20A$, đo áp với $V = 220V \div 380V$, tần số $50Hz \div KHz$ và sai số $\pm 0,5 \div 1\%$.

5-3. Đo công suất tải 3 pha

5-3-1. Nguyên lí chung

Trong các mạch điện 3 pha, phụ tải thường được mắc theo hai cách: mắc phụ tải hình sao và hình tam giác (h5-3)

Công suất thực trong mạch điện 3 pha được tính:

$$P_M = \frac{1}{T} \int_0^T P_M dt = U_{t1} I_{t1} \cos \varphi_1 + U_{t2} I_{t2} \cos \varphi_2 + U_{t3} I_{t3} \cos \varphi_3 \quad (5-20)$$

I_t, U_t - dòng điện và điện áp pha.

Nếu tải hoàn toàn đối xứng ta có:

$$P_{3f} = 3U_l I_l \cos \varphi = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (5-21)$$

I_d, U_d - dòng điện và điện áp dây; φ - góc lệch giữa U và I ($\angle UI$)

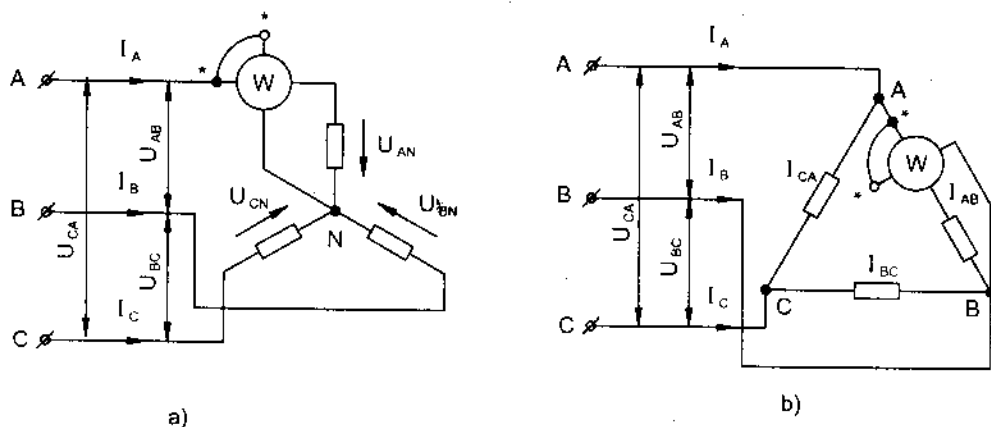
Tuy nhiên trong thực tế các phụ tải trong hệ thống điện thường không đối xứng. Để thực hiện đo công suất trong mạch 3 pha ta hãy xét trường hợp chung, đó là mạch 3 pha nối tải hình sao không có dây trung tính với phụ tải bất kỳ hình 5-3.

trong đó:

U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} - điện áp dây

U_{AN}, U_{BN}, U_{CN} - điện áp pha

I_A, I_B, I_C - dòng điện pha



Hình 5-3. Sơ đồ mắt Oátmét trong mạch điện 3 pha

a) Tải hình sao; b) Tải hình tam giác

Tại nút N:

$$I_A + I_B + I_C = 0 \quad (5-22)$$

$$P_{3f} = U_{AN} I_A + U_{BN} I_B + U_{CN} I_C \quad (5-23)$$

Từ (5-22) ta có $I_C = -I_A - I_B$.

Thay vào (5-23) ta được:

$$\begin{aligned} P_{3f} &= U_{AN} I_A + U_{BN} I_B + U_{CN} I_A - U_{CN} I_B \\ &= (U_{AN} - U_{CN}) I_A + (U_{BN} - U_{CN}) I_B \\ P_{3f} &= U_{AC} I_A + U_{BC} I_B \end{aligned} \quad (5-24)$$

5-3-2. Các phương pháp đo công suất mạch 3 pha

1. Phương pháp 1 oátmét

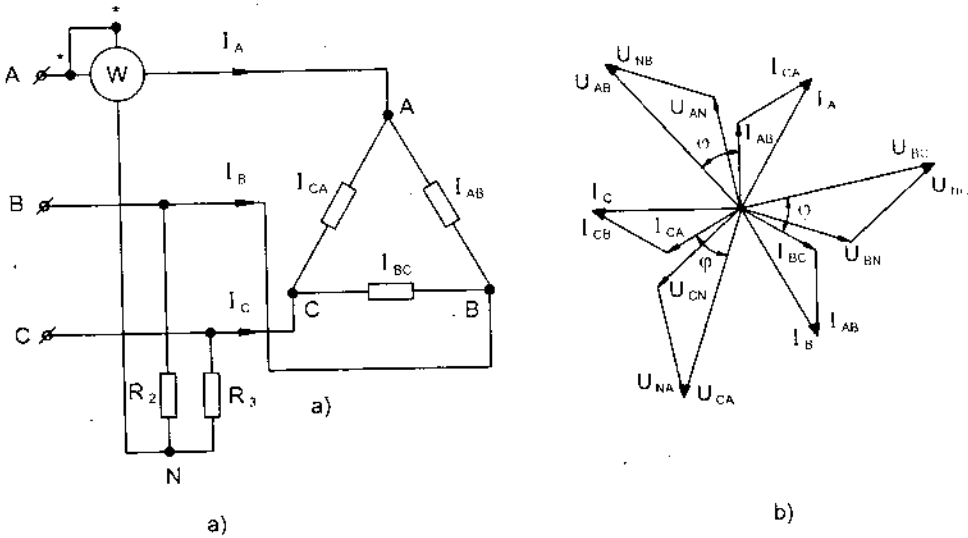
- Nếu mạch 3 pha có phụ tải hình sao đối xứng (hình 5-3a) ta chỉ cần đo công suất một pha sau đó nhân 3.

$$P_{3\phi} = 3P_{\phi} \quad (5-25)$$

- Với mạch 3 pha phụ tải tam giác đối xứng (hình 5-3b) ta cũng đo công suất 1 pha và nhân với hệ số 3 được công suất tổng.

- Trường hợp khi mạch điện nối tam giác hoặc hình sao không có điểm trung tính ta có thể tạo trung tính giả (hình 5-4a) bằng các điện trở phụ R_2 và R_3 với điều kiện $R_2 = R_3 = R_v$ (R_v - điện trở mạch song song của Oátmét).

Hình 5-5b là biểu đồ vec tơ dòng và áp của mạch 3 pha nối tam giác.



Hình 5-4. a) Đo công suất mạch 3 pha trung tính giả; b) Sơ đồ vectơ

Ta có:

$$I_A = I_{AB} + I_{AC}$$

$$P_A = U_{AN} I_A \cos(\angle U_{AN} I_A) = U_{AN} I_A \cos \varphi \quad (5-26)$$

$$\text{Do } U_{AN} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} ; I_A = \sqrt{3} I_{AB}$$

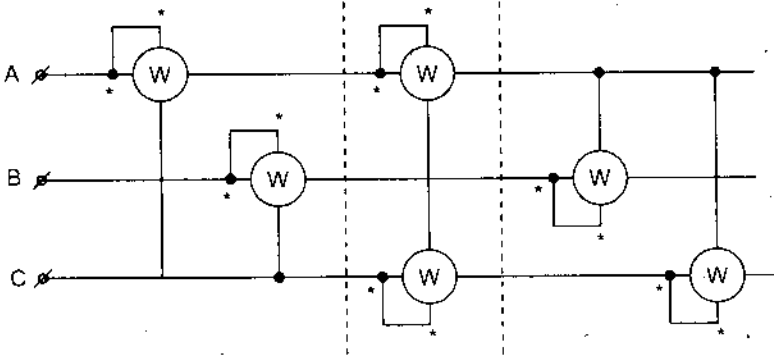
nên ta tính được: $P_A = U_{AB} I_{AB} \cos \varphi$.

$$P_{3f} = 3P_A = 3 U_{AB} I_A \cos \varphi \quad (5-27)$$

2. Phương pháp 2 9 oátmét:

Phương pháp này có thể sử dụng trong mạch 3 pha dựa trên công thức (5-25)

Hình 5-5 cho thấy khả năng mắc 2 Oátmét để đo công suất trong mạch 3 pha với phụ tải mắc tam giác hoặc hình sao.



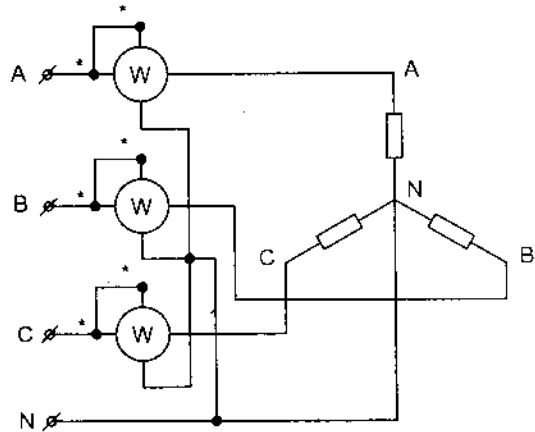
Hình 5-5. Sơ đồ mắc 2 oátmét đo công suất mạch 3 pha

3. Phương pháp 3 oátmét.

Trong trường hợp khi mạch 3 pha có phụ tải hình sao với dây trung tính để đo công suất tổng ta phải sử dụng 3 Oátmét và công suất P_{3f} bằng tổng công suất của mạch một pha.

Sơ đồ mắc như hình 5-6, và ta có

$$P_{3f} = P_{fA} + P_{fB} + P_{fC}$$



Hình 5-6. Phương pháp 3 oátmét đo công suất mạch 3 pha

5-4. Đo công suất phản kháng

Công suất phản kháng là công suất vô công, do mất mát năng lượng điện trong đường dây tải điện, trong các máy phát, biến áp và động cơ điện làm ảnh hưởng đến giá thành của đơn vị công suất điện.

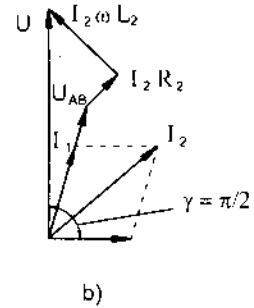
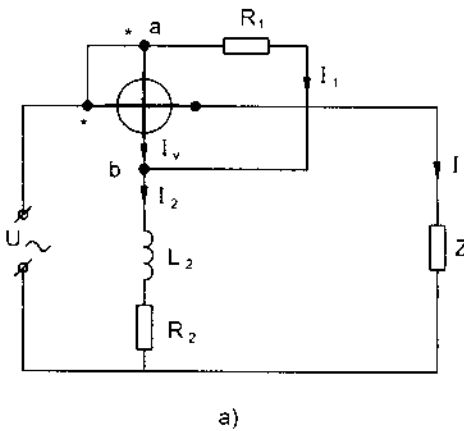
Công suất phản kháng được tính theo biểu thức:

$$Q = UI \sin \varphi.$$

5.4.1. Đo công suất phản kháng trong mạch 1 pha

Khác với công suất tác dụng, công suất phản kháng tỷ lệ với $\sin \varphi$. Để tạo được góc $\sin \varphi$ phải thực hiện được góc lệch $\gamma = \pi/2$ giữa vec tơ dòng và áp sao cho $\cos(\gamma - \varphi) = \cos(\pi/2 - \varphi) = \sin \varphi$.

Muốn vậy ta có thể sử dụng cơ cấu chỉ thị điện động để chế tạo oátmét phản kháng bằng cách mắc thêm điện trở R_1 song song với cuộn áp (tại 2 điểm a, b) và nối tiếp cuộn dây điện cảm L_2 và điện trở R_2 như hình (5-7a).



Hình 5-7. a) Oátmét đo công suất phản kháng; b) Biểu đồ vectơ

Do cách mắc như trên đã tạo ra được góc lệch pha giữa điện áp U và dòng điện I_v đi qua cuộn áp góc $\gamma = \pi/2$ (hình 5-7b) bằng cách chọn các thông số thích hợp. Từ biểu thức (5-19)

Ta có: $\alpha = k I_v \cos(\pi/2 - \varphi)$

$$\alpha = k \cdot \frac{U}{Z_v} \cdot I \sin \varphi = SQ \quad (5-28)$$

$S = \frac{k}{Z_v}$ - độ nhạy của oátmét phản kháng.

5-4-2. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha

Công suất phản kháng trong mạch 3 pha được tính

$$Q_{3f} = Q_{f1} + Q_{f2} + Q_{f3}$$

$$= U_{f1} I_{f1} \sin \varphi_A + U_{f2} I_{f2} \sin \varphi_B + U_{f3} I_{f3} \sin \varphi_C \quad (5-29)$$

1. Khi tải đối xứng

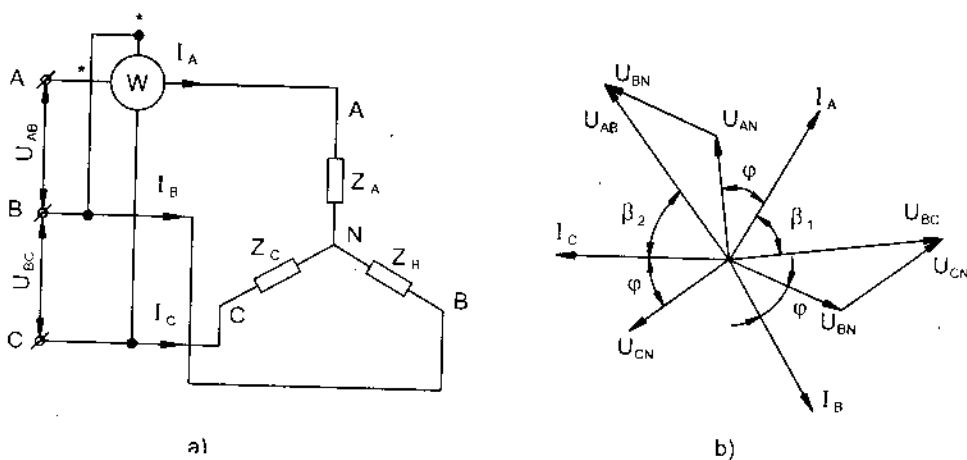
$$Q_{3f} = 3U_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (5-30)$$

Để đo công suất phản kháng của mạch 3 pha đối xứng, ta có thể sử dụng oátmét đo công suất thực nhưng mắc theo sơ đồ (hình 5-8). Trong đó cuộn dòng của oátmét mắc nối tiếp với pha A, cuộn áp nối với pha B và C (hình 5-8a).

Ta có $Q = U_{BC} I_A \cos(I_A U_{BC}) = U_d I_d \cos(\pi/2 - \varphi)$
 $Q = U_d I_d \sin \varphi$

Từ biểu đồ vec tơ (hình 5-8b) góc $I_A U_{BC} = \pi/2 - \varphi$. Do đó công suất phản kháng trong mạch 3 pha đối xứng được tính

$$Q_{3f} = \sqrt{3} Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (5-31)$$



Hình 5-8. a. Công suất phản kháng 1 oát mét; b. Biểu đồ vectơ

2. Phương pháp 2 oátmét:

Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha với 2 oátmét có thể mắc như hình 5-9.

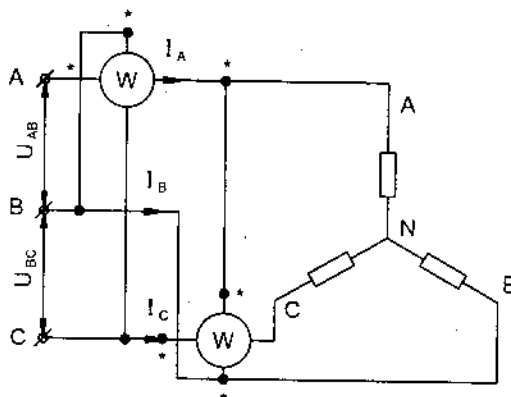
Ta có $P_1 + P_2 = U_{BC} I_A \cos \beta_1 + U_{AB} I_C \cos \beta_2$.

Ta đã biết $\beta_1 = \beta_2 = \pi/2 - \varphi$.

Do đó $P_1 + P_2 = 2 U_d I_d \sin \varphi$.
 Để nhận được giá trị thực của công suất phản kháng trong mạch 3 pha ta chỉ cần nhân thêm với hệ số $\frac{\sqrt{3}}{2}$ và ta được

$$Q_{3f} = (P_1 + P_2) \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$Q_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (5-32)$$

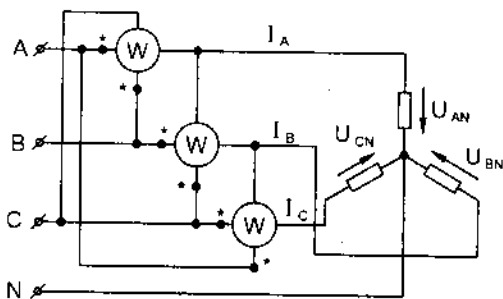


Hình 5-9. Phương pháp 2 oátmét đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha

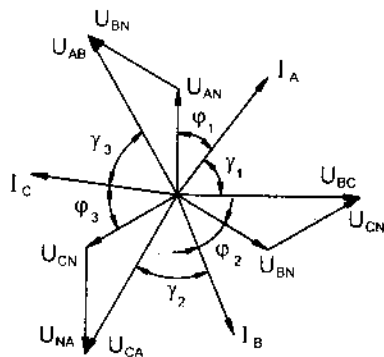
3. Phương pháp 3 oátmét

Khi phụ tải không đối xứng ta phải sử dụng 3 oátmét như hình 5-10a.

$$P_{3f} = P_1 + P_2 + P_3 = U_{BC} I_A \cos \gamma_1 + U_{CA} I_B \cos \gamma_2 + U_{AB} I_C \cos \gamma_3.$$



a)



b)

Hình 5-10. Phương pháp 3 oátmét đo công suất phản kháng

Từ biểu đồ vec tơ (hình (5-10b)) ta có

$$\gamma_1 = \pi/2 - \varphi_1 ; \gamma_2 = \pi/2 - \varphi_2 ; \gamma_3 = \pi/2 - \varphi_3.$$

Giả sử $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$ thì

$$P_1 + P_2 + P_3 = U_d (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3)$$

Và công suất tổng:

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3) \quad (5-33)$$

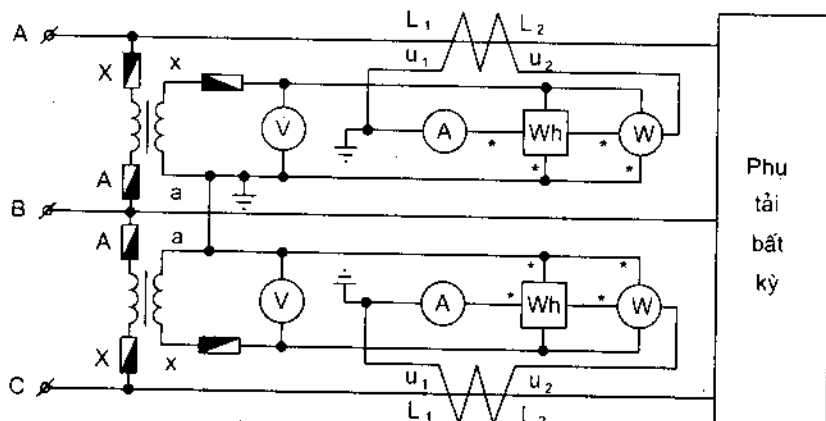
5-5. Đo công suất trong mạch điện cao áp

Đo công suất trong mạch cao áp người ta sử dụng thêm các biến dòng và biến áp đo lường.

Khi mắc biến dòng và biến áp đo lường cần chú ý.

- Dòng trong mạch dụng cụ đo cùng hướng với dòng điện khi không có biến áp.

- Các đầu của biến áp và biến dòng phải được đánh dấu



Hình 5-11. Đo công suất 3 pha trong mạch điện cao áp

- Ngắn mạch thứ cấp của biến dòng và hở mạch thứ cấp biến áp khi không sử dụng

- Nối đất mạch thứ cấp biến áp và biến dòng để đảm bảo an toàn khi đo

Kết quả đo được của dụng cụ nhân với hệ số biến dòng và biến áp.

$$P = k_I k_V UI \cos \varphi \quad (5-34)$$

k_I, k_V - hệ số biến dòng và biến áp.

Hình 5-11 mô tả cách mắc oátmét trong mạch 3 pha cao áp sử dụng 2 oátmét.

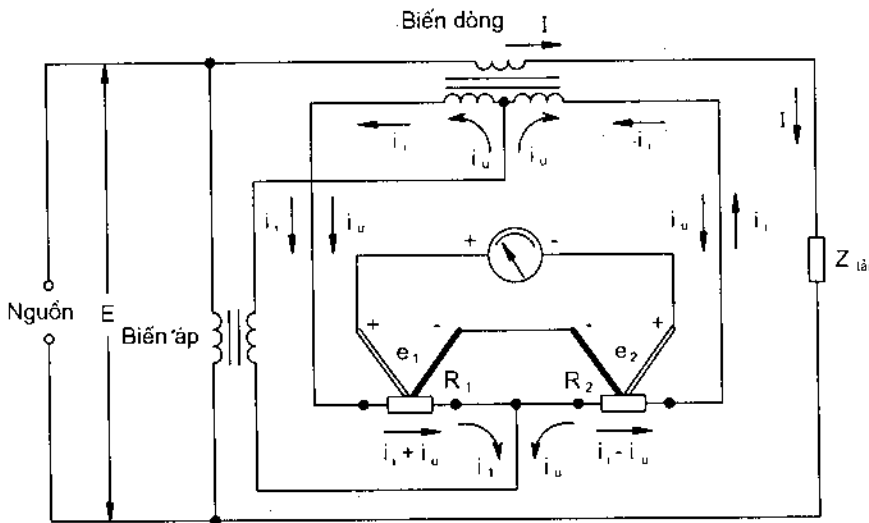
5-6. Oátmét nhiệt điện

Trong thực tế oátmét điện động được sử dụng khá hữu hiệu trong giới hạn tần số từ 0 ÷ kHz. Khi cần đo công suất ở tần số cao hơn, oátmét điện động không đáp ứng được vì vậy ta có thể sử dụng oátmét cặp nhiệt điện hoạt động ở tần số cao.

Mạch cơ bản của oátmét nhiệt điện như hình 5-12. Trong đó biến dòng dùng để tạo dòng thứ cấp I_1 tỉ lệ với dòng tải I .

Điện áp thứ cấp của biến áp U tạo dòng I_u tỉ lệ với điện áp đo. Với cách mắc như hình 5-12 ta có dòng điện để đốt nóng cặp nhiệt điện R_1 là tổng của hai dòng điện ($I_1 + I_u$) và đốt nóng cặp nhiệt điện R_2 là hiệu của hai dòng ($I_1 - I_u$). Từ biểu thức (3-5) ta có:

$$e_1 = k(I_1 + I_u)^2 \text{ và } e_2 = k(I_1 - I_u)^2.$$



Hình 5-12. Sơ đồ nguyên lí của oátmét nhiệt điện

Do 2 cặp nhiệt điện mắc xung đối nhau nên số chỉ của milivônmet là

$$E_r = e_1 - e_2 = k(I_1 + I_u)^2 - k(I_1 - I_u)^2 = 4kI_1I_u \quad (5-35)$$

Bộ biến đổi nhiệt điện có quán tính cao nên thành phần xoay chiều bị loại ra do đó ta có:

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

Oát mét 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 $f = 20\text{Hz} \div 100\text{kHz}$.

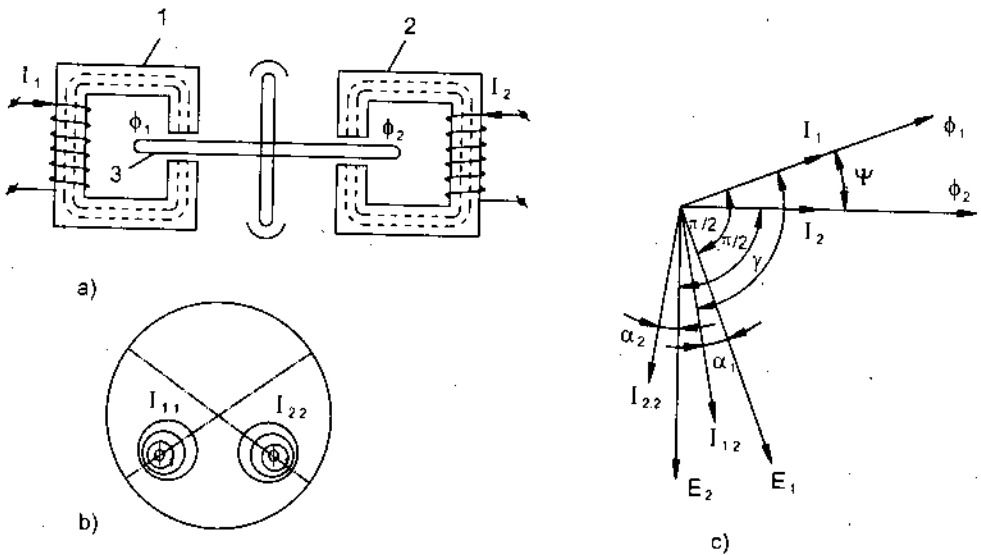
5-7. Công tơ đo điện năng

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.

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

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 β tức là điều chỉnh ϕ_{U1} bằng thay đổi vị trí sun từ của cuộn áp hoặc điều chỉnh góc α_1 tức là thay đổi ϕ_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.

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

ϕ_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

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

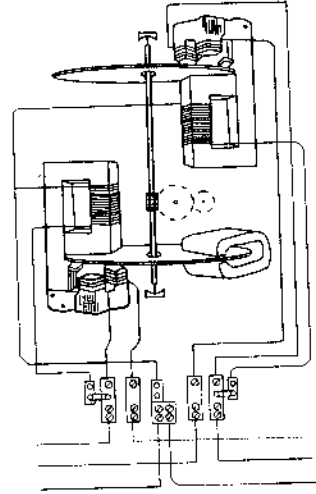
Đó là số vòng công tơ quay khi tiêu hao công suất 1kW trong 1 giờ. Số chỉ này chỉ được thực hiện ở hộp số trên mặt công tơ.

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.

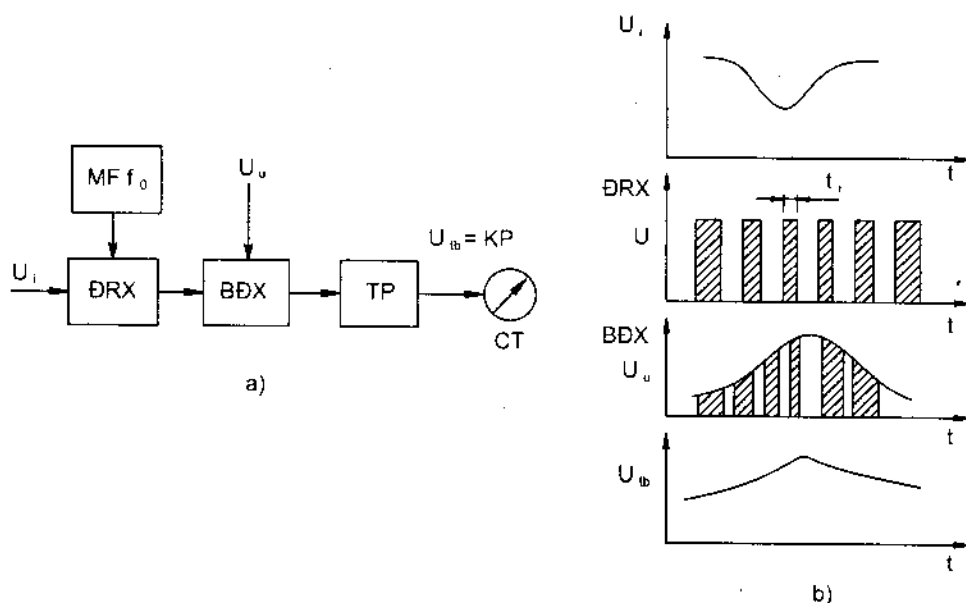
5-8 Đo công suất và điện năng bằng oátmét và công tơ điện tử

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_1 tỷ lệ với nó.

$$U_1 = K_1 I$$

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 $U_3 = k_3 U_1 U_2 = k_1 k_2 k_3 U_1 U_2 = KP$.

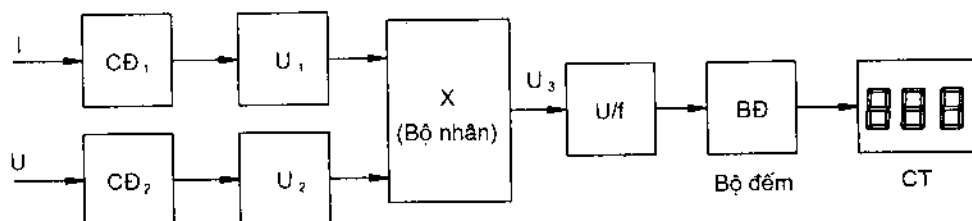
Điện áp này sau khi qua bộ biến đổi áp - tần (Hoặc A/D) đưa vào bộ đếm. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số tỷ lệ với điện năng tiêu thụ của tải trong khoảng thời gian đo.

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: φ - góc lệch pha giữa 2 tín hiệu; τ - khoảng thời gian lệch nhau giữa 2 tín hiệu.

Vì vậy việc đo tần số góc (ω) 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; ω_1, ω_2 - tần số góc; $\omega t + \varphi$ - pha dao động (φ - 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

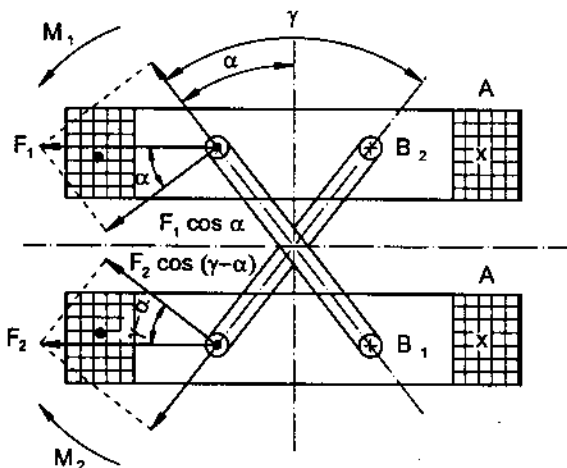
Tần số kế điện động là dụng cụ đo tần số dựa trên cơ cấu lôgôm mét điện động và sắt điện động. Hình 6-1 là cấu tạo của cơ cấu lôgôm mét điện động.

Phần động gồm 2 cuộn dây B_1 và B_2 gắn lệch nhau một góc γ . 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).

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

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



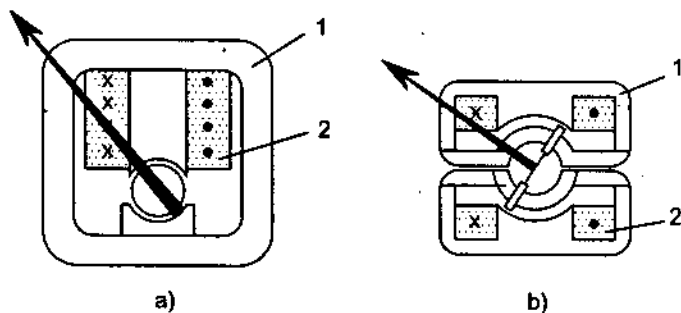
Hình 6-1. Lôgôm mét điện động

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 γ 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° ($\widehat{U_x, I_1} = 90^\circ$). 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 α được tính:

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

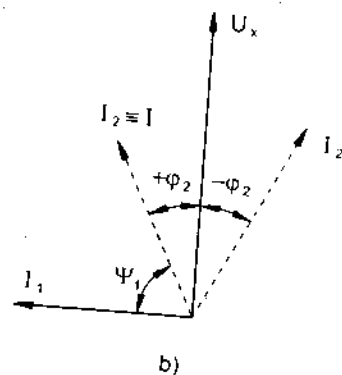
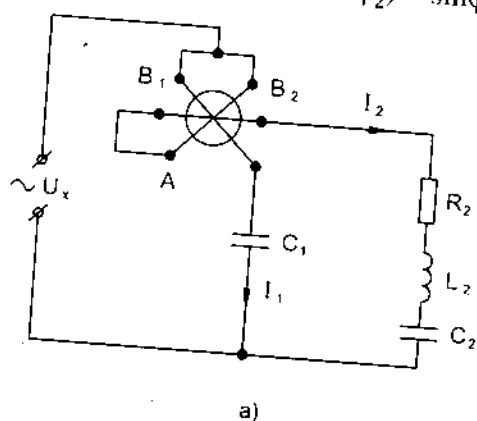
Ψ_1 , Ψ_2 - góc lệch giữa I_1 và I_2 .

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:

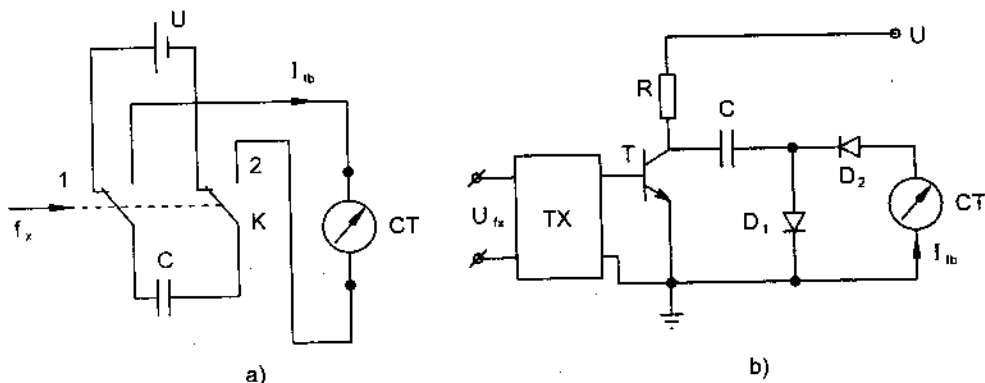
$$\alpha = F(fx)$$

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.

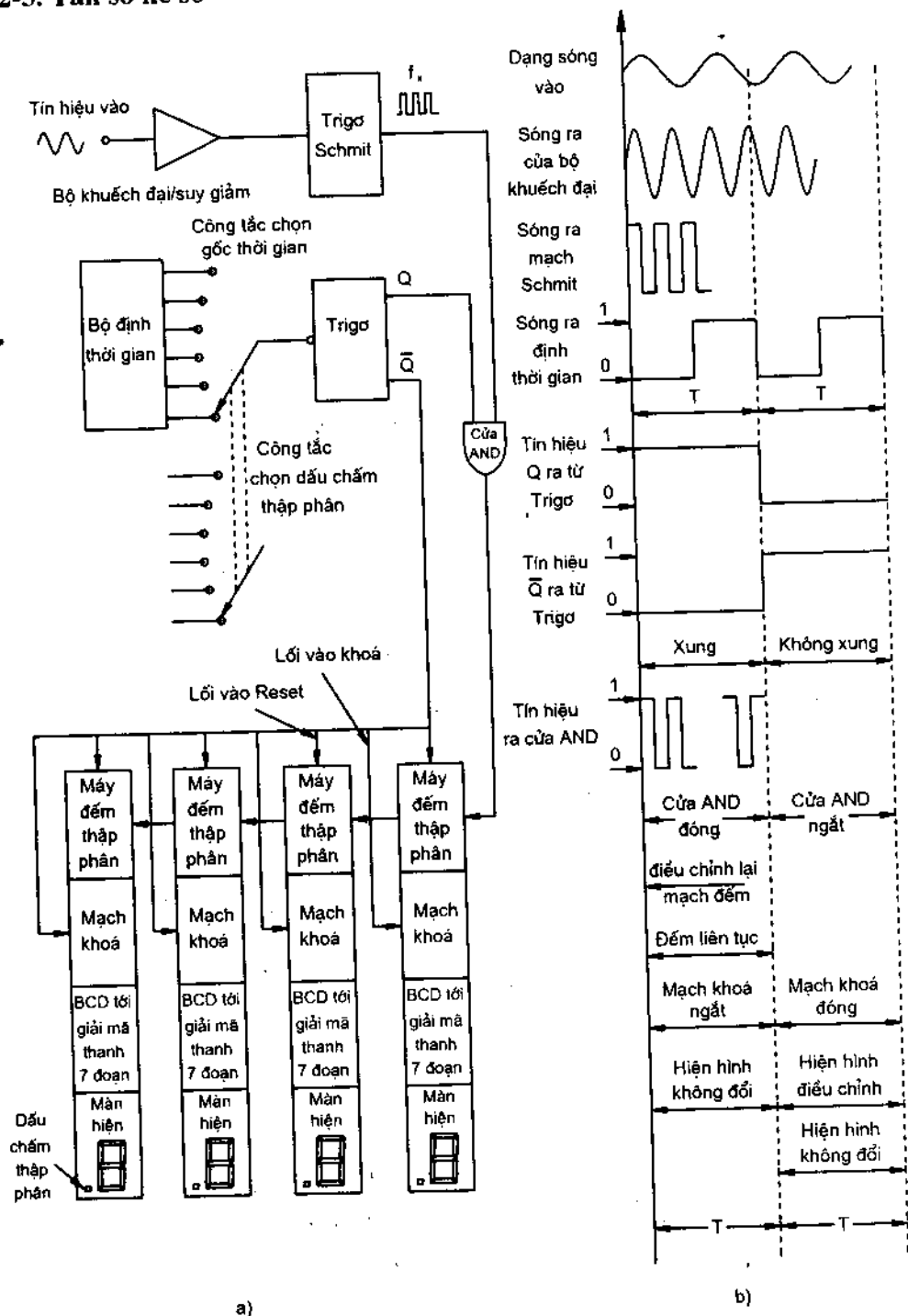
Trong các tần số kế điện tử khóa K được thay bằng khóa điện tử (ví dụ Tranzito, (hình 4-6b).

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 Schmitt để tạo thành các xung vuông. Đầu ra của mạch Schmitt 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:

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

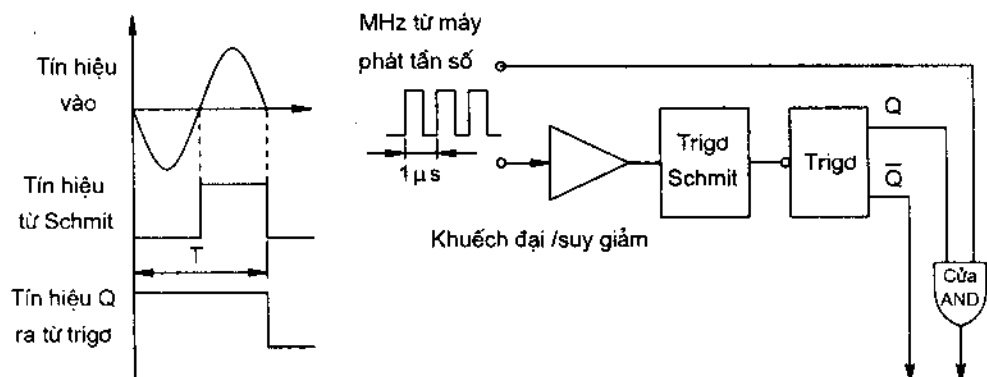
f_x – lấy đơn vị Hz.

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 ± 1 số đếm trên 10000; Hoặc $100\text{Hz}/10000 = 0,01\text{ Hz}$.

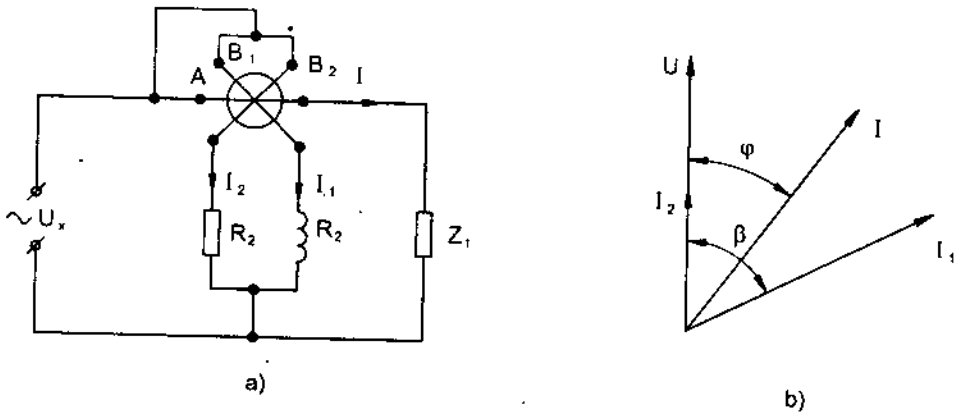
$$\text{Sai số } \gamma\%_{fx} = \frac{0,01\text{Hz}}{100\text{Hz}} \cdot 100\% = \pm 0,01\%$$

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 α của phần động tỷ lệ với góc φ , do đó trên thang đo có thể khắc độ góc φ hoặc $\cos\varphi$.

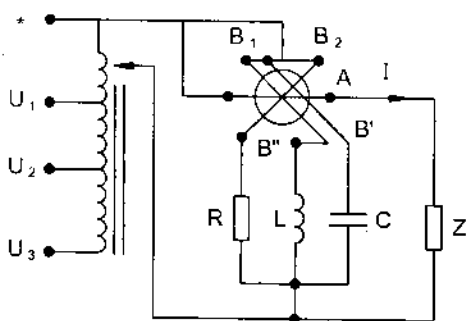
Nhược điểm của dụng cụ là chỉ dùng cho 1 cấp điện áp. Khi điện áp thay đổi các điện trở R_2 và điện cảm L_1 phải thay đổi do đó góc β cũng thay đổi.

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

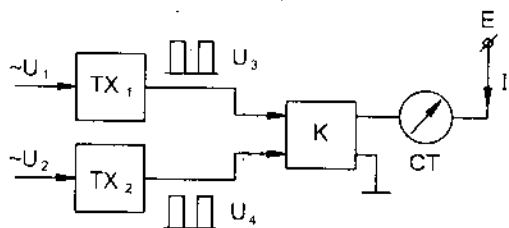
$\omega L = \frac{1}{\omega C}$. Khi tần số tăng, điện kháng X_L tăng và X_C giảm, điện kháng

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 $0,2 \div 0,5$.



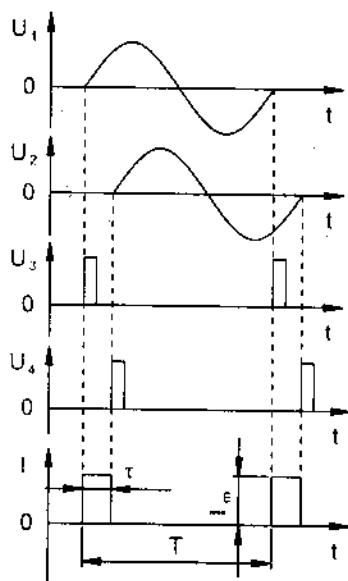
Hình 6-8. Fazômét điện động có bù tần số và điện áp thay đổi



6-3-2. Phazômét điện tử

Phazômét điện tử dựa trên việc biến đổi góc lệch pha φ 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 6-9. 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 τ . 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° ; cấp chính xác đạt $1 \div 1,5$, dải tần từ 20Hz ÷ 200KHz.

6-3-3. Phazômét số

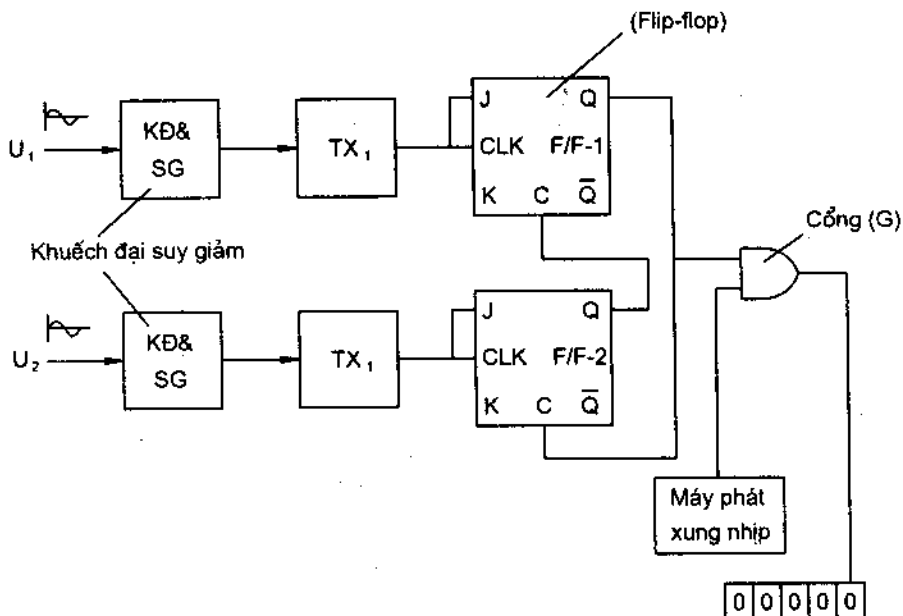
Nguyên lí hoạt động của phazômét số là biến đổi góc lệch pha giữa hai tín hiệu thành khoảng thời gian, sau đó lắp đầy bằng các xung có tần số đã biết vào khoảng thời gian đó. Số xung đếm được tỷ lệ với góc lệch pha của hai tín hiệu.

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

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.

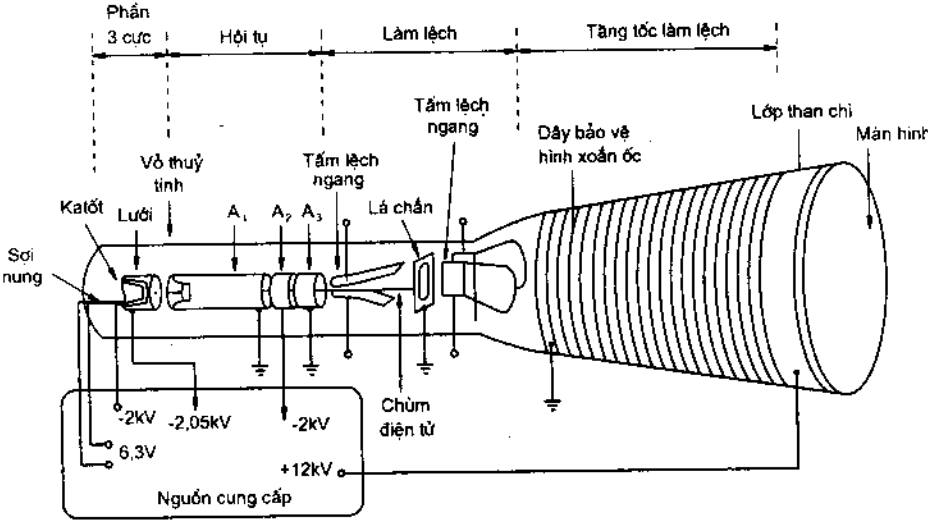
7-2-1. Cấu tạo của Triot

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 kV ÷ 2,05 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.

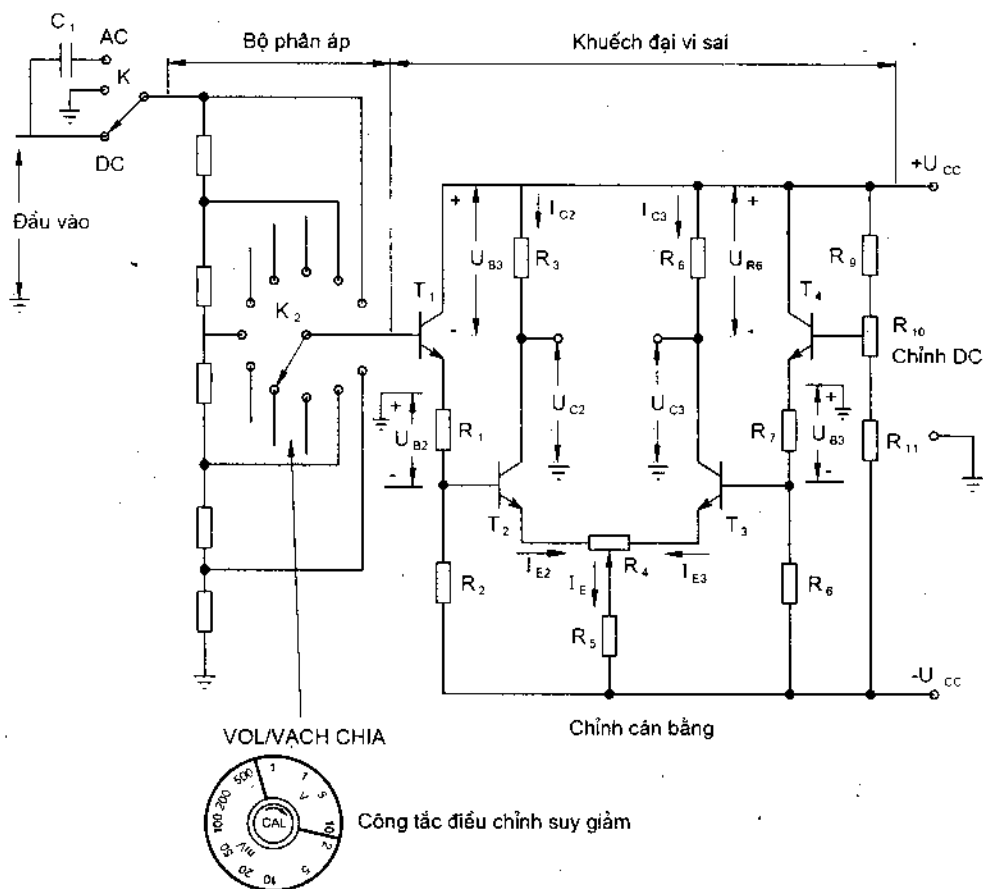
Mạch khuếch đại như vậy vẽ trên hình 7-3.

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 $\Delta U_{C3} < 0$.

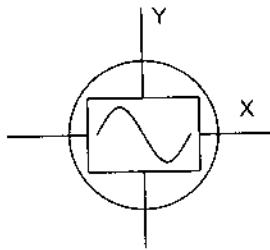
Thông thường điện áp qua phân áp nhỏ nhất là $2mV$ tương ứng 1 vạch chia trên màn hình. Khi điện áp vào lớn nhất là $10V$ cũng tương ứng với 1 vạch chia.

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

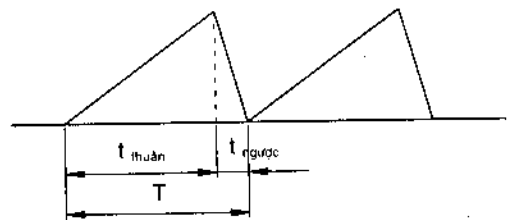
Chiết áp R_{10} điều chỉnh điện áp Bazơ của T_4 để dịch chuyển chùm tia điện tử lên hoặc xuống khỏi tâm màn hình.

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

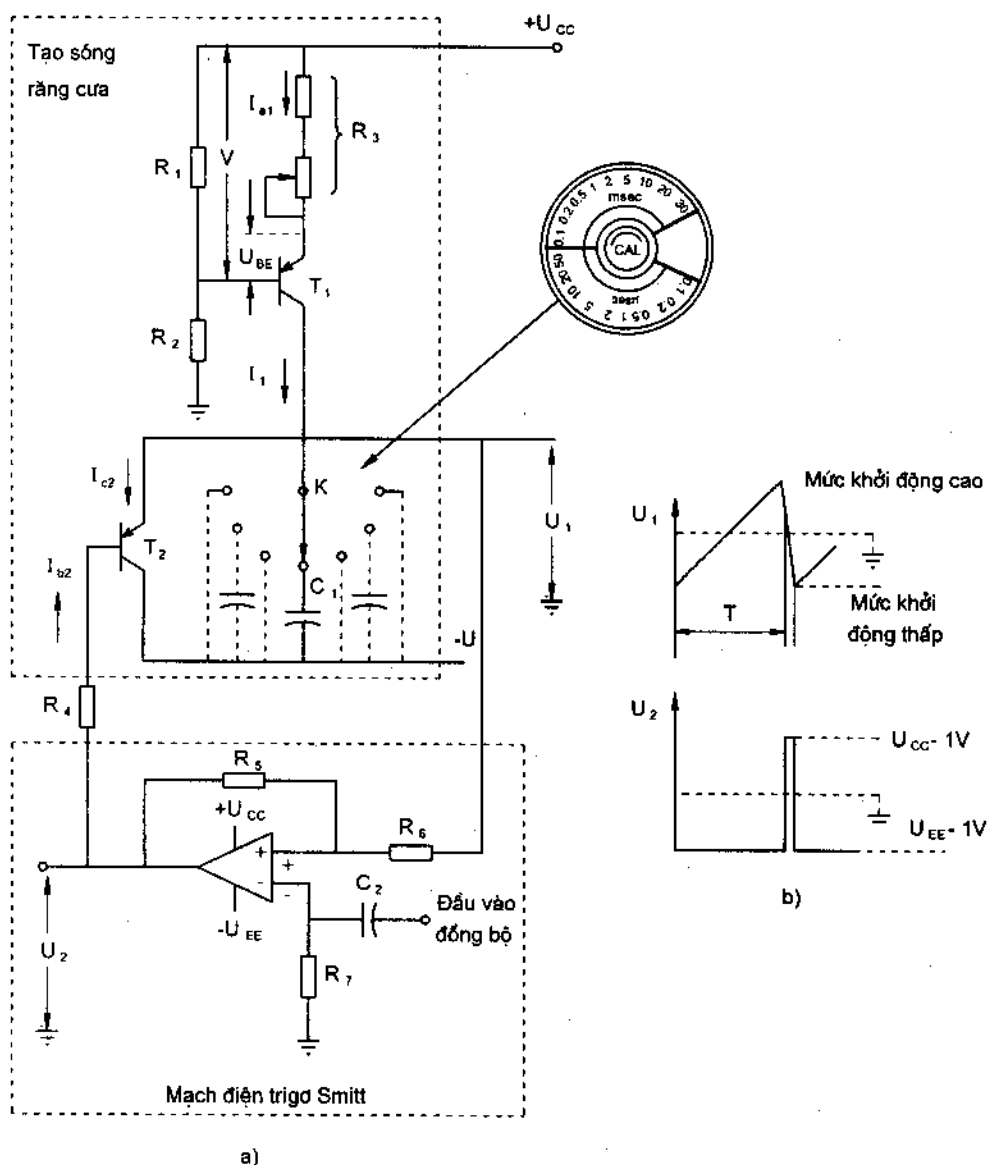
Nếu tần số của tín hiệu cần quan sát lớn hơn n lần tần số tín hiệu quét thì trên màn hình sẽ nhìn thấy n chu kỳ tín hiệu quan sát. Nếu tỷ số các tần số đó là một số nguyên thì trên màn hình xuất hiện dạng đường cong đứng yên. Nếu ngược lại đường cong sẽ chuyển động và không quan sát được vì vậy cần thiết 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: ΔU - độ biến thiên điện áp của tụ trong thời gian T ;

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

Chu kì 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 .

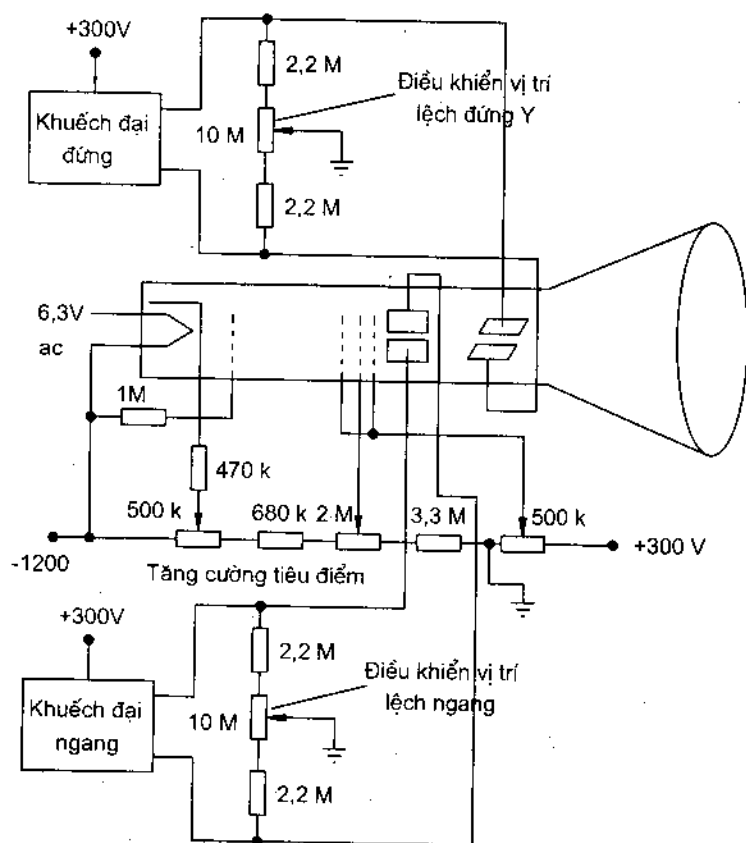
Máy phát quét có thể làm việc ở hai chế độ: chế độ liên tục và chờ.

- 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

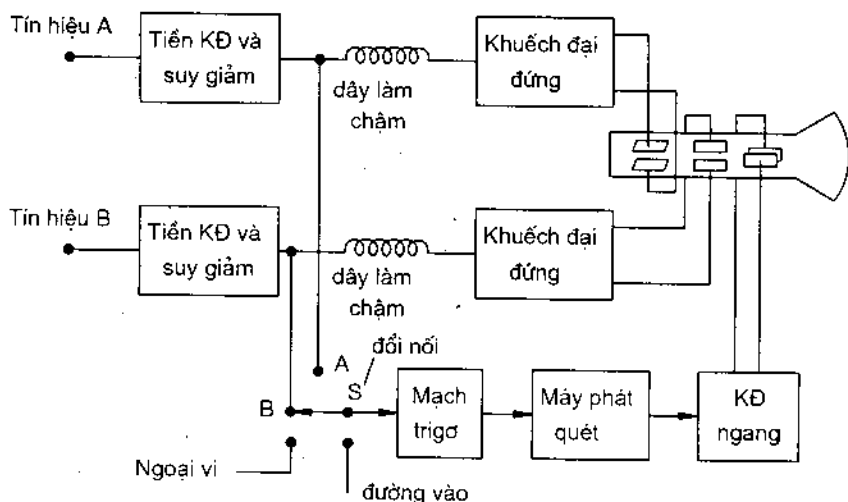
7-7. Dao động ký điện tử 2 tia

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.

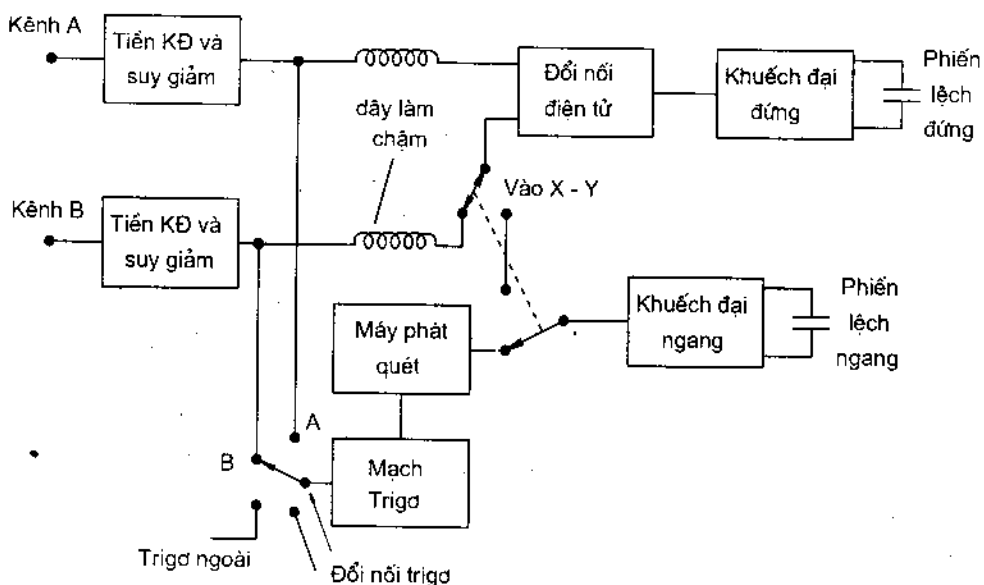
* Dùng một súng phóng tia điện tử nhưng chùm tia được tách thành hai phần riêng biệt trước khi qua các phiến làm lệch. Thiết bị sử dụng 2 phương pháp trên đều chỉ dùng một bộ phiến làm lệch ngang. Dạng sóng răng cưa từ bộ tạo gốc thời gian được đưa vào phiến làm lệch ngang và cả hai chùm được làm lệch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

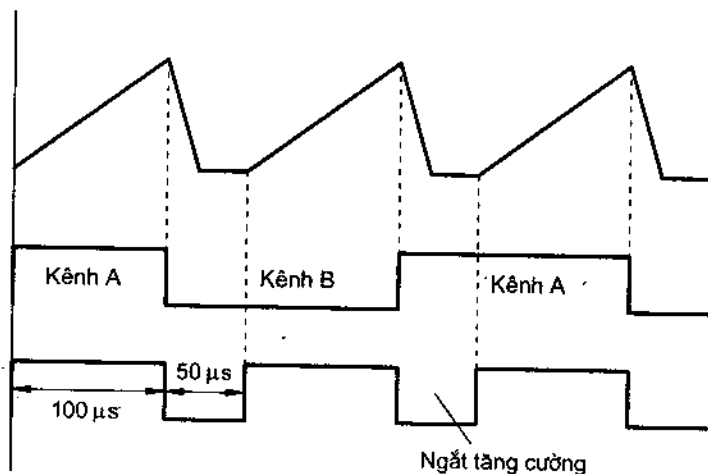
Trong hình 7-7a cho thấy máy hiện sóng có 2 lối vào riêng biệt mỗi kênh đều có mạch khuếch đại làm lệch riêng để nuôi cấp làm lệch đứng và bộ tạo gốc thời gian điều khiển đồng thời cả hai tia với tấm làm lệch ngang. Chuyển mạch điện tử làm nhiệm vụ đưa hai tín hiệu A và B vào hai phiên làm lệch như hình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

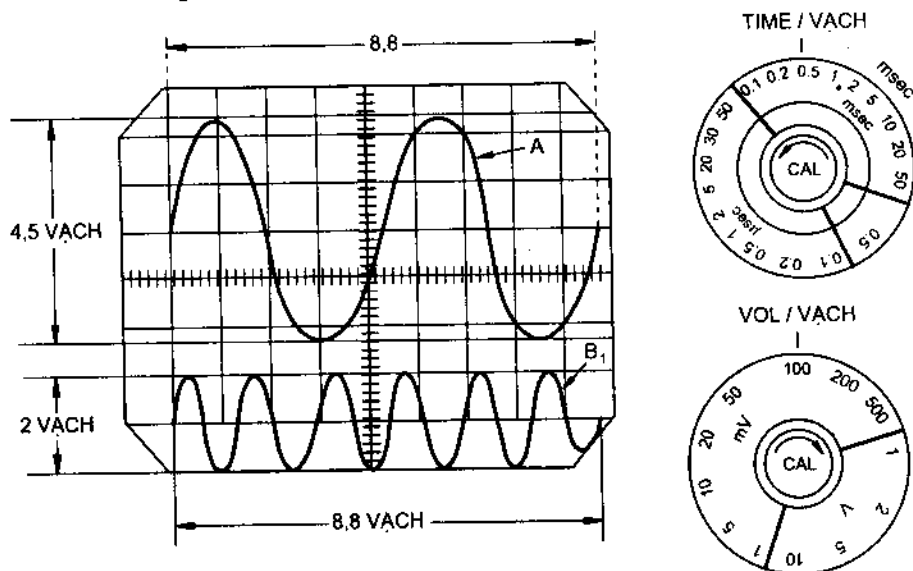
Điện áp chuẩn có thể thực hiện bằng thiết bị chuẩn biên độ bên trong dao động ký hoặc điện áp chuẩn đưa từ ngoài vào.

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.

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

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

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

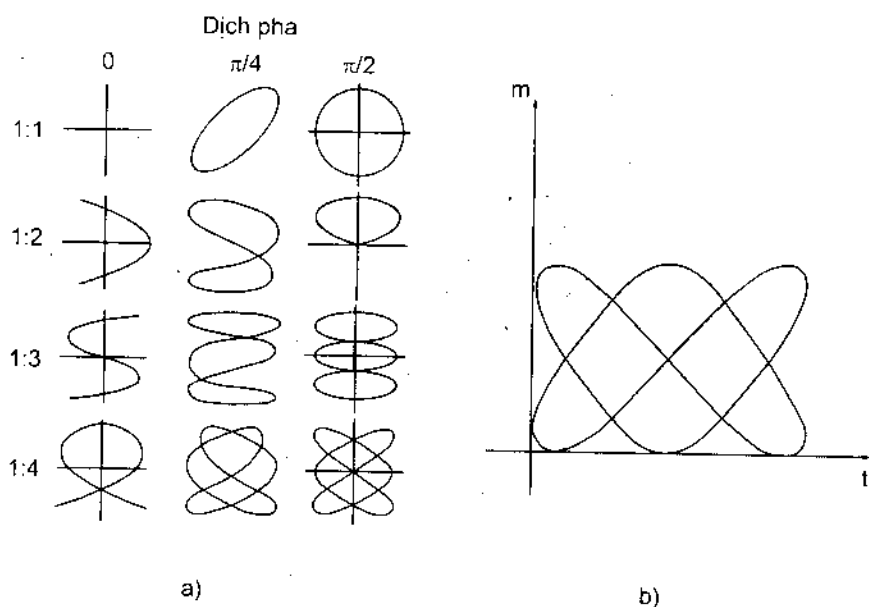
7-8-2. Đo tần số bằng phương pháp so sánh

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 múi ngang và m là số múi 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° 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

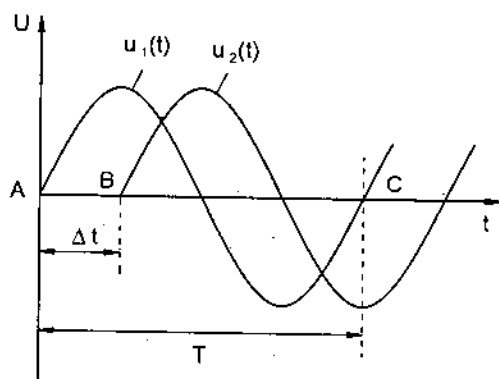
$$u_1(t) = u_{1m} \sin \omega t$$

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

φ - 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 Δt 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 $- U_{2m} \cdot \sin \varphi$.

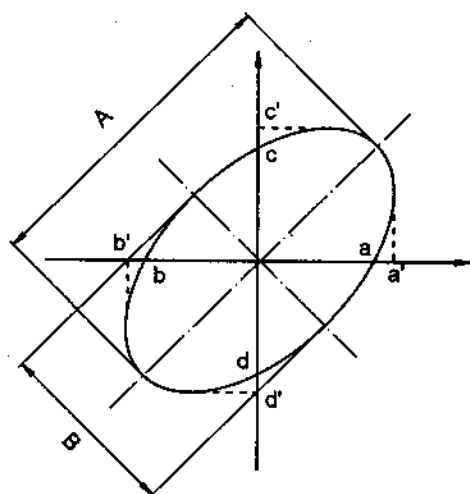
Đoạn thẳng ab của Elip tỷ lệ với $2U_{2m} \sin\varphi$, còn $a'b'$ tỷ lệ với $2U_{2m}$ (tương ứng với độ lệch lớn nhất của tia điện từ theo chiều nằm ngang) (hình 7-12b).

Ta có góc lệch pha:

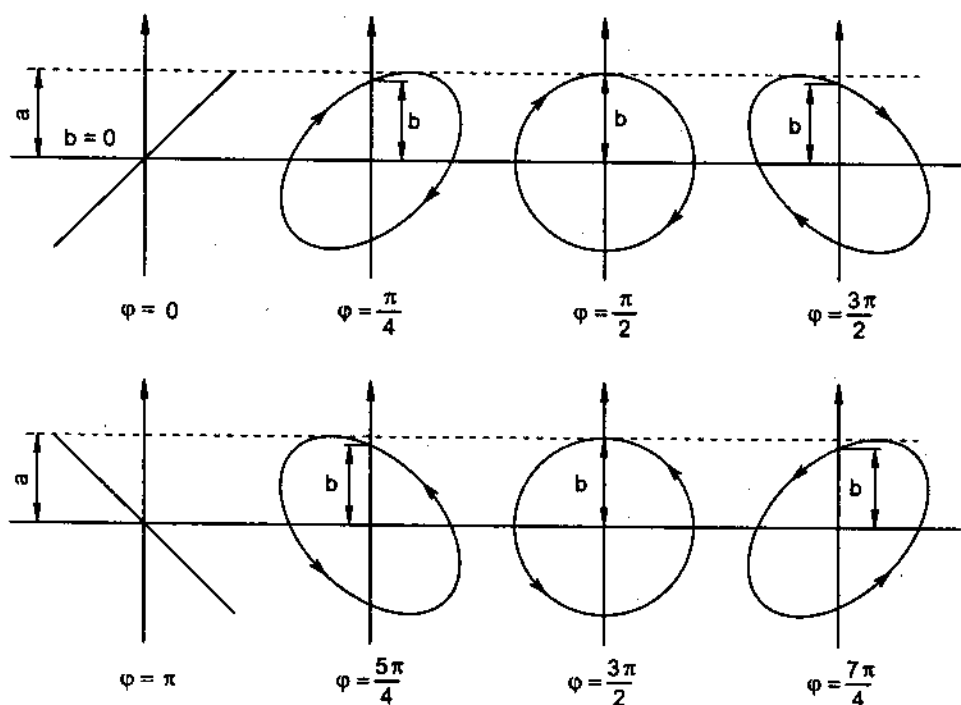
$$\varphi = \arcsin\left(\frac{ab}{a'b'}\right) \text{ hay}$$

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

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 tự động: là loại thiết bị “thông minh”. Các chức năng của thiết bị đều do tự động 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 tự động 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

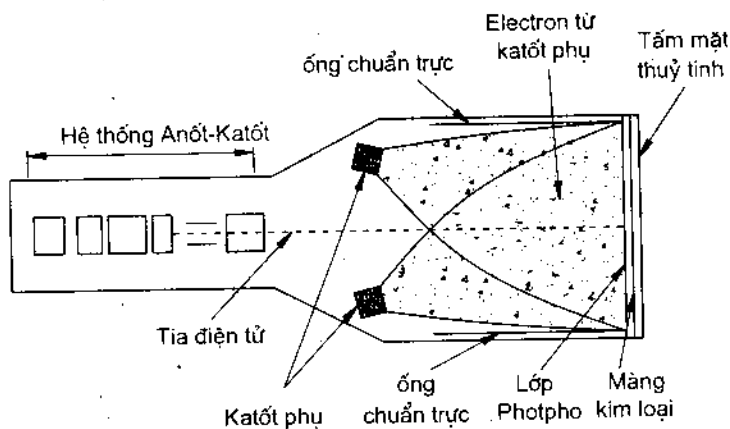
Như ta đã biết vật liệu photpho dùng trên màn hình của máy hiện sóng thông thường chỉ phát sáng trong khoảng thời gian cỡ miligiây (gọi là sự lưu sáng). Hiện tượng trên có thể thỏa mãn với các tín hiệu có tần số đủ lớn. Khi tín hiệu đưa vào thiết bị có tần số thấp do sự lưu sáng ngắn nên đồ thị được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

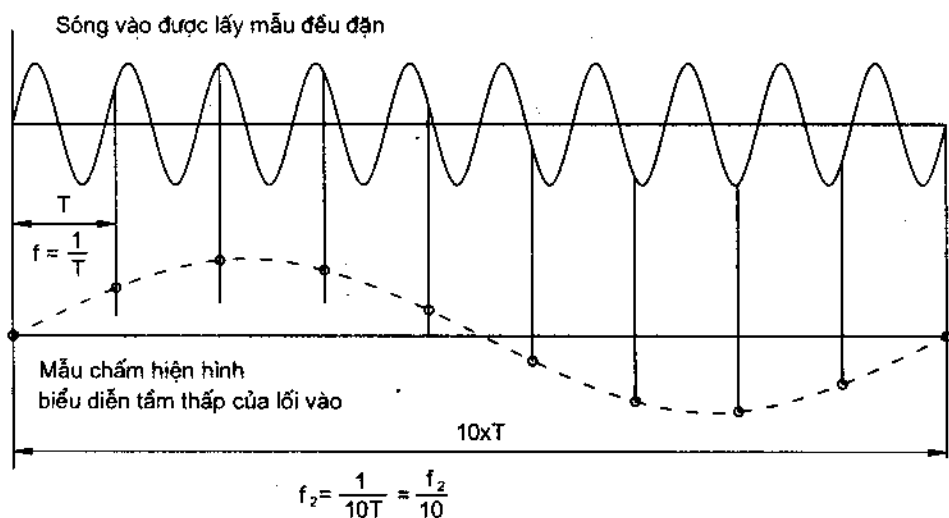
Mỗi điểm xuất hiện sự phát xạ thứ cấp trên màn hình lại trở thành điểm tích điện dương và các điện tử đã bị rời đi khỏi đó. Như vậy một đường tích điện dương được vạch ra ở lớp nhớ có hình dáng của sóng đưa vào. Do tính chất cách điện cao của lớp nhớ nên đường tích điện dương có thể lưu lại hàng giờ. 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

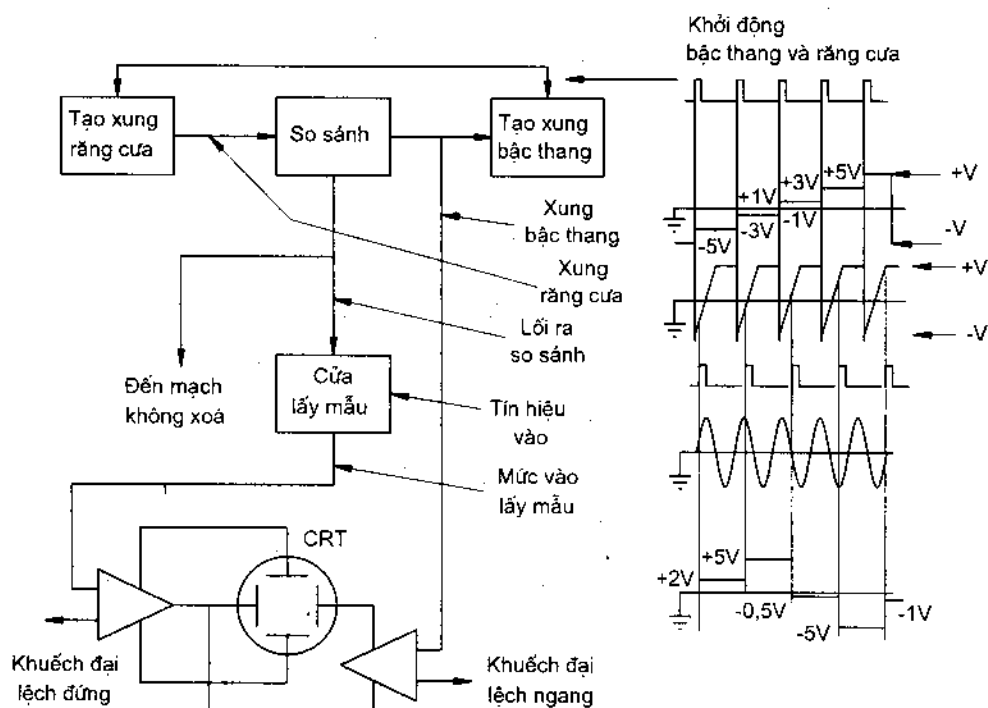
$$T = 10 \times 0,01 \mu s \text{ và tần số } f_2 = \frac{100\text{MHz}}{10} = 10\text{MHz}.$$

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

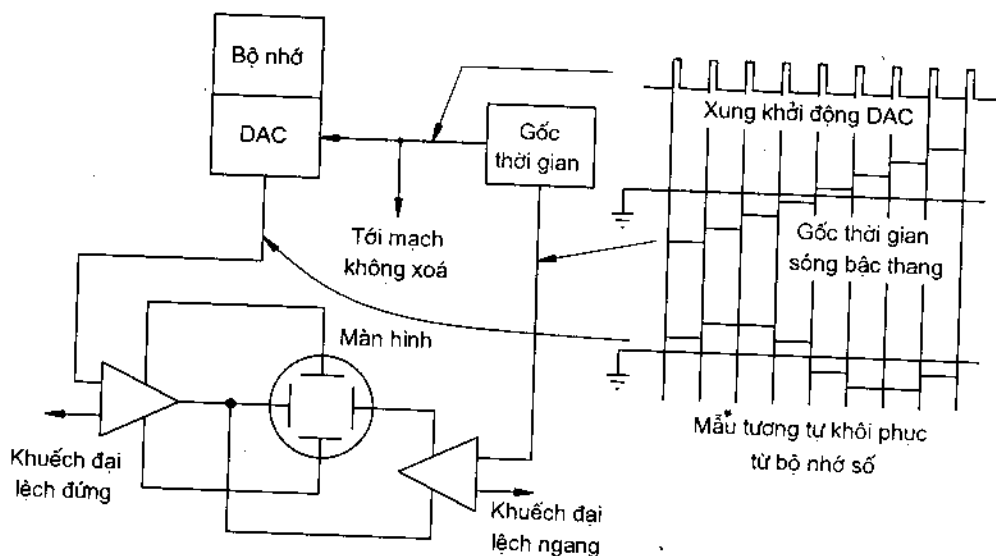
Mặt khác điện áp ra của bộ tạo xung bậc thang được đưa vào 1 đầu của bộ so sánh. Ở đây điện áp dạng bậc thang được so sánh với điện áp răng cưa.

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.

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.

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.

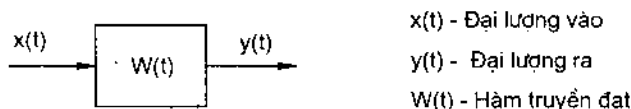
Cơ sở vật lý của chuyển đổi đo lường là biến đổi và truyền đạt năng lượng (biến đổi từ dạng năng lượng này thành dạng năng lượng khác).

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.

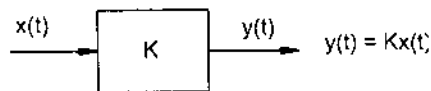
8-2-3. Phân loại theo tính chất nguồn điện

- 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)

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

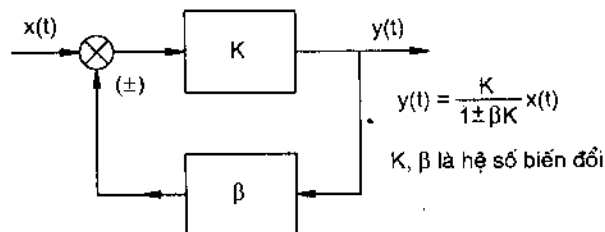


Hình 8-2. Cảm biến kiểu bù

- Cảm biến kiểu bù: (h 8-3)

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

- K, β 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.

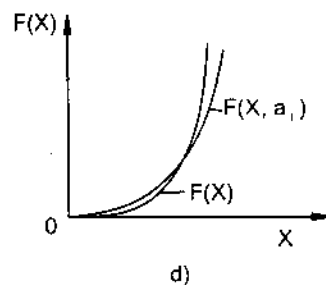
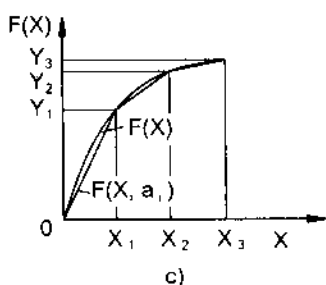
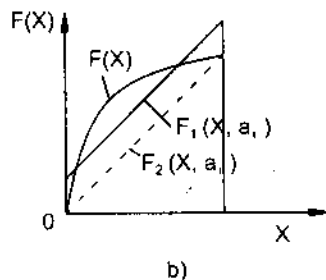
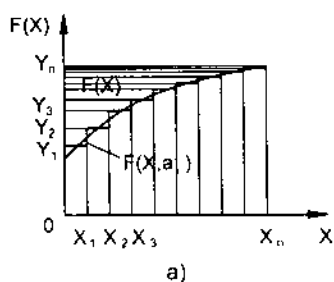
* Sai số ngẫu nhiên là sai số không theo một quy luật nhất định khi đo nhiều lần một đại lượng. Giá trị và dấu của sai số ngẫu nhiên không xác định do nhiều nguyên nhân mà tác động của chúng không giống nhau trong mỗi lần đo.

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

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

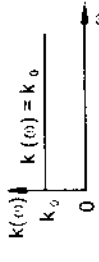
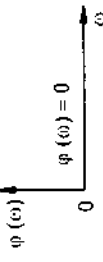
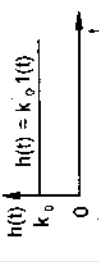
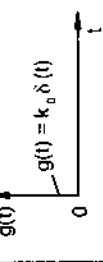
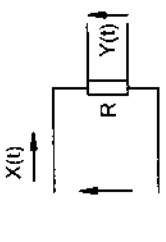
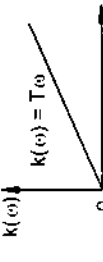
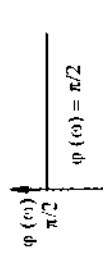
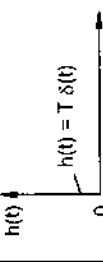
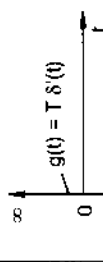
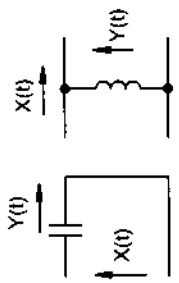
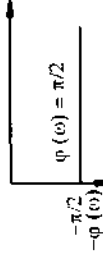
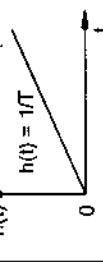
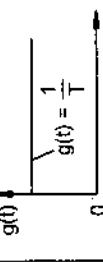
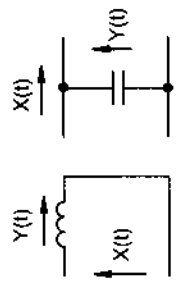
$$W(p) = \frac{b_0}{a_1 p + a_0} = k_0 \frac{1}{T p + 1} \quad (8-21)$$

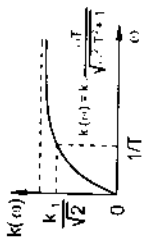
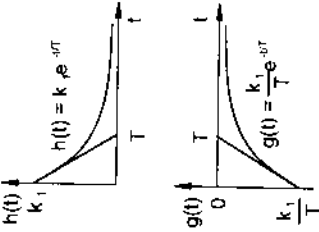
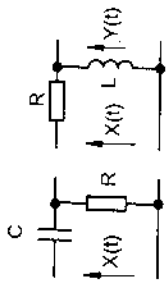
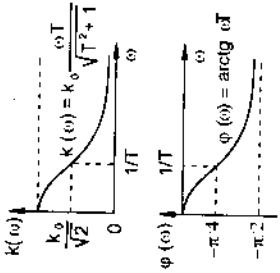
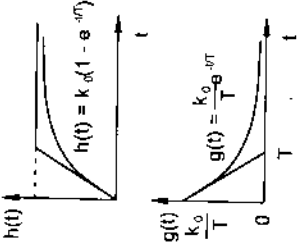
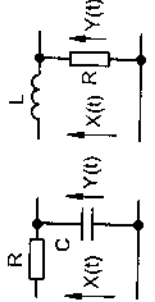
$$T = \frac{a_1}{a_0}$$

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

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.

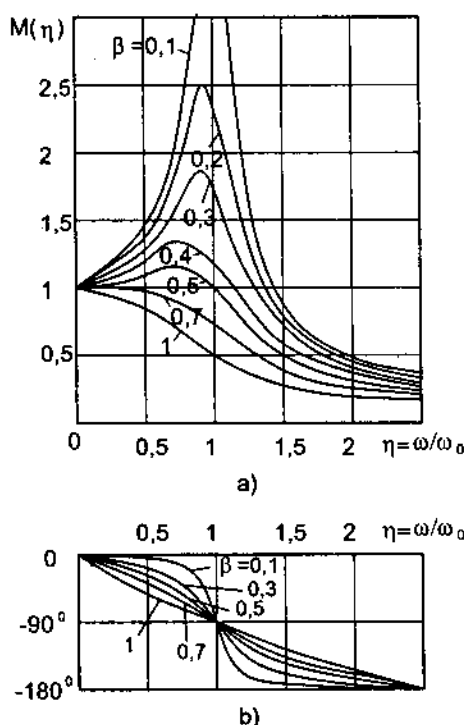
$$\varphi(\eta) = -\text{artg} \frac{2\beta\eta}{1 - \eta^2} \quad (8-29)$$

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

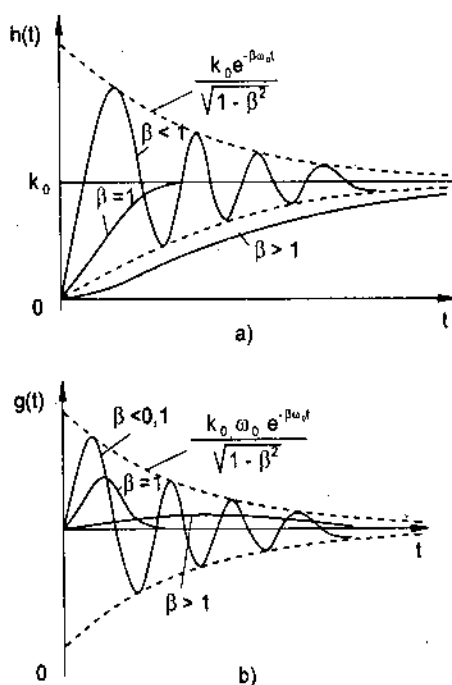
Nếu đặt $\mu(\eta) = \frac{A(\eta)}{k_0}$ ta có đặc tính biên tần và pha tần của cảm biến dao động bậc 2 như hình 8-5a, b.

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

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

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

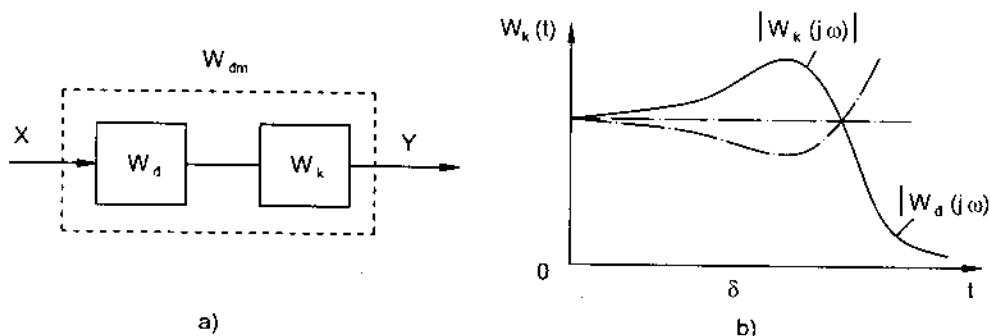
Trong thực tế đặc tính làm việc của cảm biến thường lệch khỏi đặc tính định mức và là nguồn gốc gây nên sai số ở chế độ động. Hiệu chỉnh đặc tính động được tiến hành bằng cách hiệu chỉnh Hàm truyền $W_d(p)$ nhờ các khâu phụ có hàm truyền $W_k(p)$ và ta có:

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

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

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; θ – 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.

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

γ_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

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

α_k – Hệ số dẫn nhiệt; $\Delta\theta$ – Hiệu nhiệt độ môi trường và vật dẫn; S – Tiết diện bề mặt vật; γ_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

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

α_b – Hệ số bức xạ nhiệt khối; γ_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 (α) lớn, bền hóa học với tác dụng của môi trường.

Điện trở suất (ρ) 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: α – 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°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

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

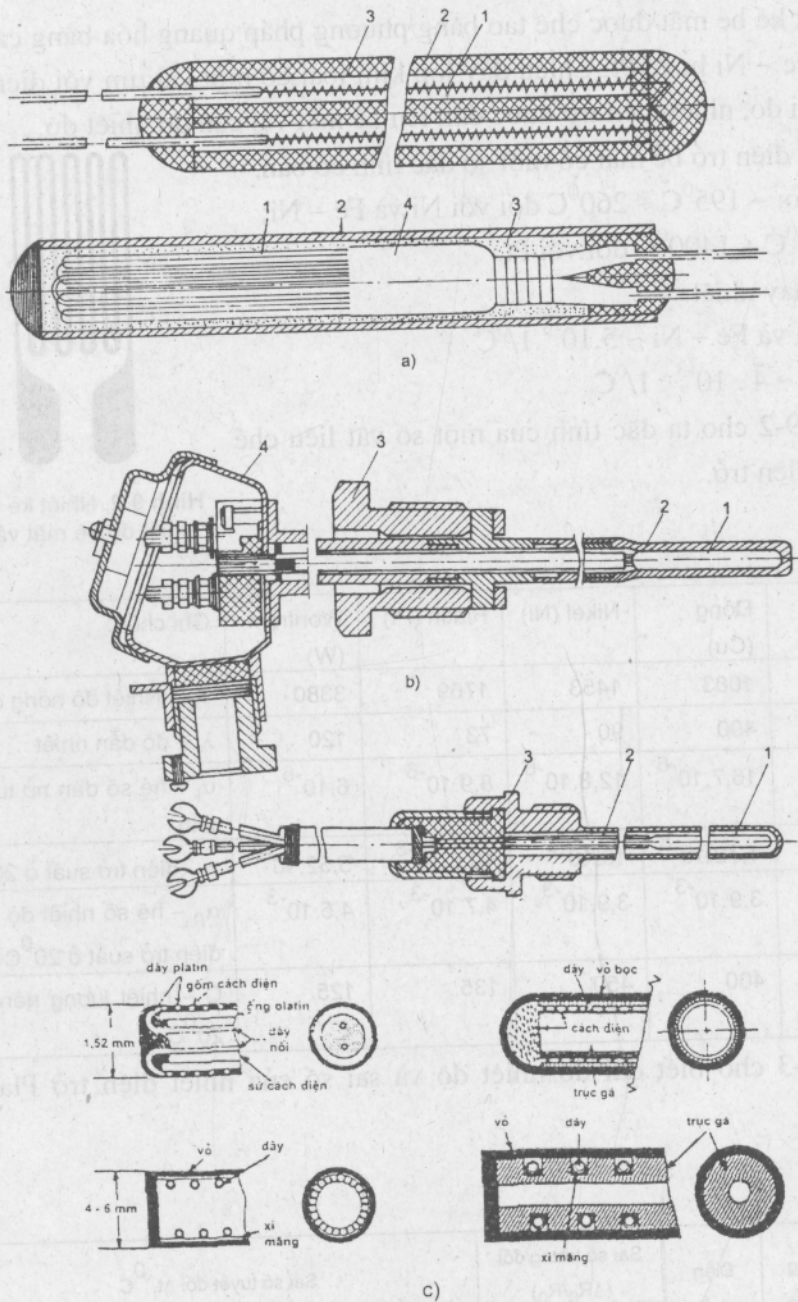
$$\alpha_{pt} \approx 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}.$$

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 oxit 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.



– 260⁰C ÷ 1400⁰C đối với Pt.

với Ni và Fe – Ni $\sim 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1/^\circ\text{C}$

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	λ_t – độ dẫn nhiệt
$\alpha_l(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$16,7 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	α_l – hệ số giãn nở tuyến tính
$\rho(\Omega\text{m})$	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$5,52 \cdot 10^{-8}$	ρ – điện trở suất ở 20°C
$\alpha_{\rho}(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	α_{ρ} – hệ số nhiệt độ của điện trở suất ở 20°C
$C(\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{kg}^{-1})$	400	450	135	125	C – nhiệt lượng riêng ở 20°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 ⁻³ t) ±(0,15±4,5.10 ⁻³ t)	±0,3±4,5.10 ⁻³ t ±(0,3±3,5.10 ⁻³ t)	- -
Đồng	-50÷180	53; 100	± 0,05	±0,1	-	± (0,3±3,5.10 ⁻²	±(0,3±6,10 ⁻³ 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: μ_n , μ_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 ; β – Hệ số nhiệt độ phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn

Độ nhạy nhiệt của cảm biến

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

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

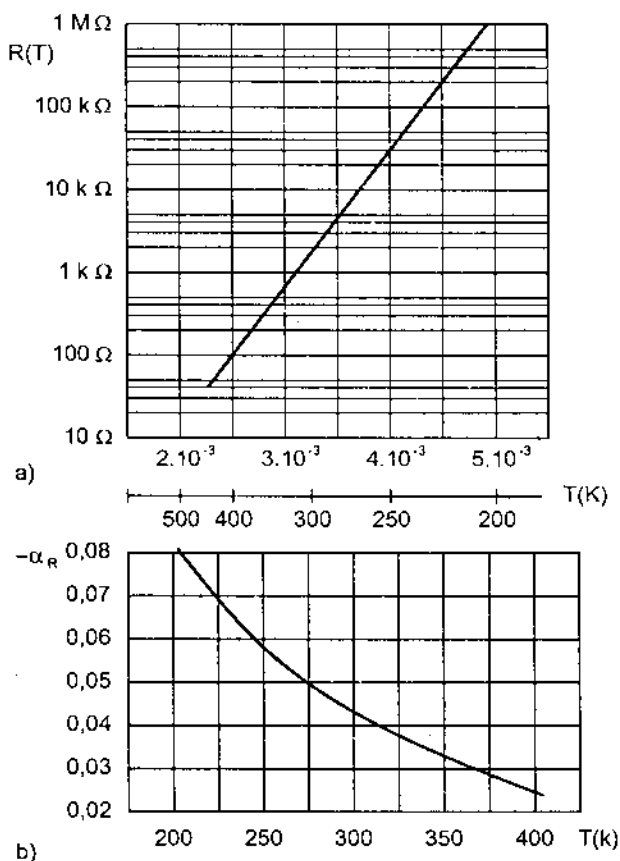
T_1 – nhiệt độ tương ứng với R_1 .

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 500Ω 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.

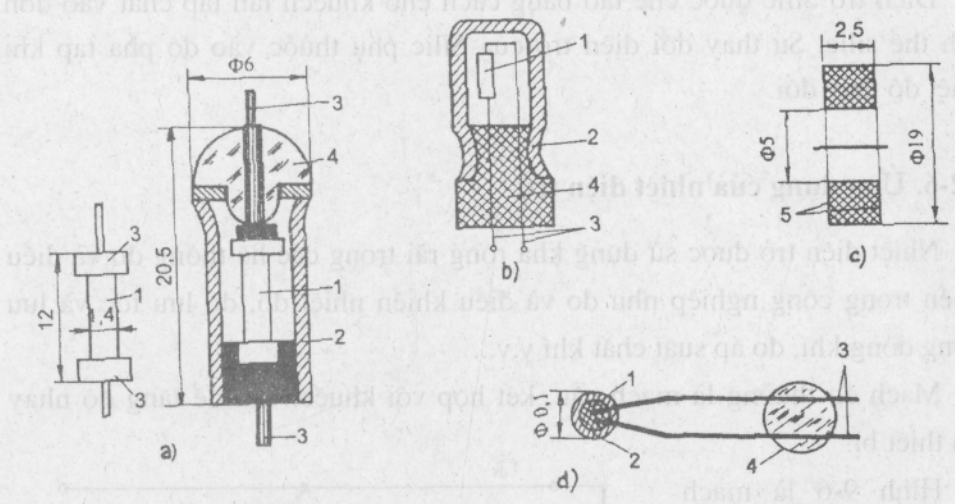
Hình 9-3 biểu diễn đặc tính của một loại nhiệt điện trở tương ứng với $B = 320K \div 4200K$ và hình 9-4 là cấu tạo của một số loại nhiệt điện trở bán dẫn thường gặp với các thông số cơ bản (Bảng 9-4)



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

Bảng 9-4

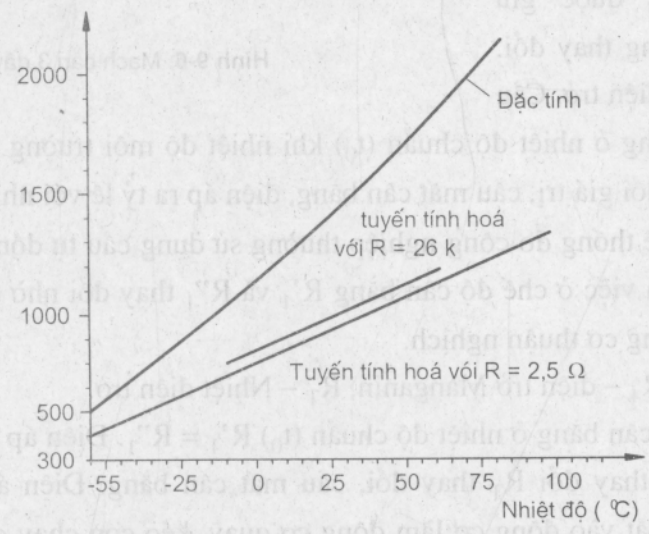
Loại NDT	Hệ số nhiệt điện trở % trên $1^{\circ}C$	Điện trở ban đầu	Nhiệt độ làm việc lớn nhất $^{\circ}C$	Hằng số thời gian (s)	Lĩnh vực ứng dụng
MMT-1;4 KHT-1;4	-2,4÷3,4	1-200	+200	85÷115	Đo nhiệt độ
MMT-9	-2,4÷-3,4	0,01 ÷ 5	+ 120	85 - 115	Hiệu chỉnh nhiệt độ
KMT-10	-4,5÷ -60	0,5 ÷ 3	+120	-	Đo nhiệt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

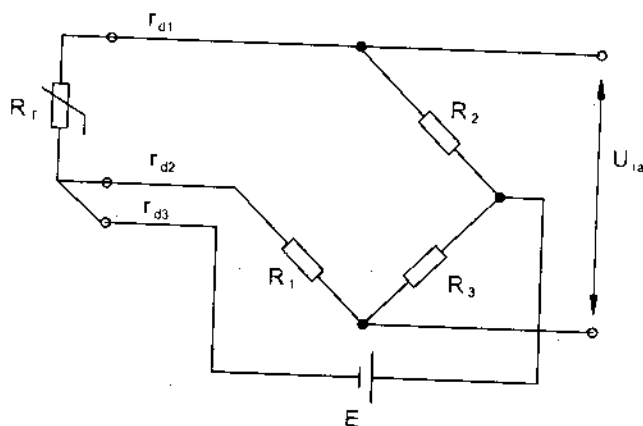
9-2-6. Ứng dụng của nhiệt điện trở

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

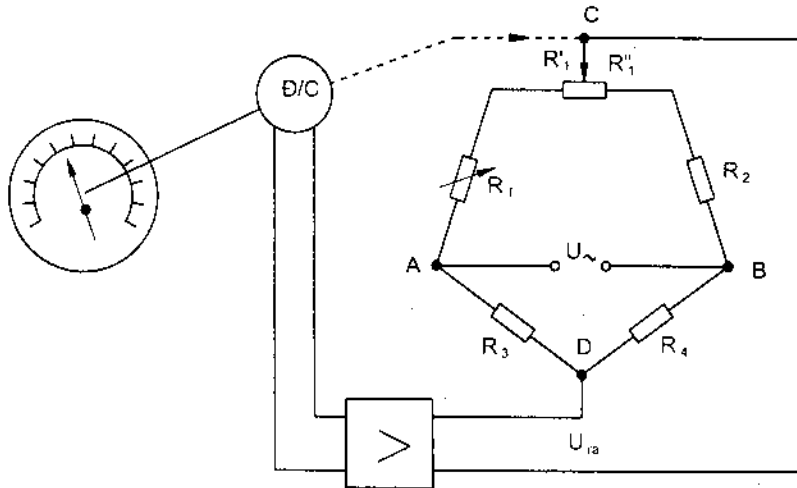
được cân bằng ở nhiệt độ chuẩn (t_0) khi nhiệt độ môi trường thay đổi điện trở R_T thay đổi giá trị, cầu mất cân bằng, điện áp ra tỷ lệ với nhiệt độ.

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 $\pm 0,5\%$.



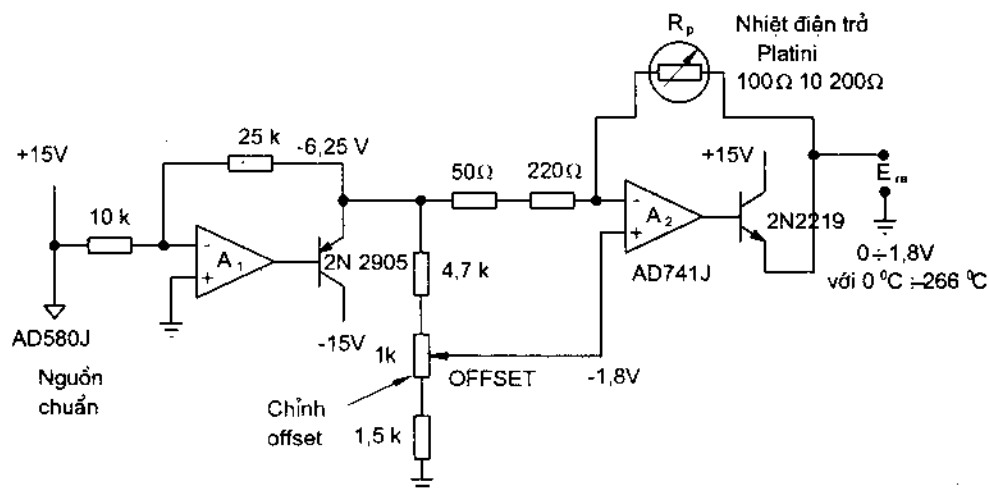
Hình 9-7. Cầu cân bằng tự động đo nhiệt độ

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.

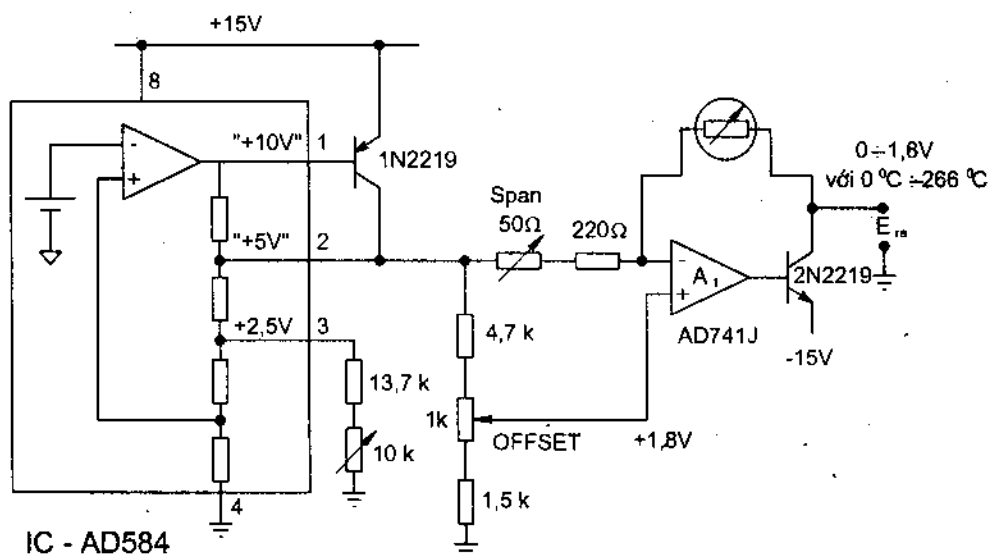
Nhiệt điện trở Platin $R_T = 100\Omega \div 200\Omega$ được sử dụng làm mạch phản hồi cho AD741J và 2N2219.

Khi nhiệt độ đo thay đổi, R_T thay đổi và điện áp ra thay đổi từ 0 ÷ 1,8V tương ứng với 0 ÷ 266⁰C.

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.

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

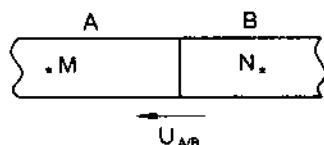
* *Hiệu ứng Thomson:*

Trong một vật dẫn đồng nhất A.

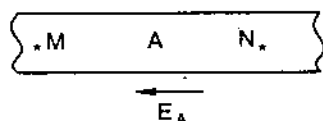
Nếu ở hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau (hình 9-10) sẽ sinh ra một sức điện động. Sức điện động này phụ thuộc vào bản chất vật dẫn và nhiệt độ tại hai điểm :

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

σ_A – Hệ số Thomson.



Hình 9-9

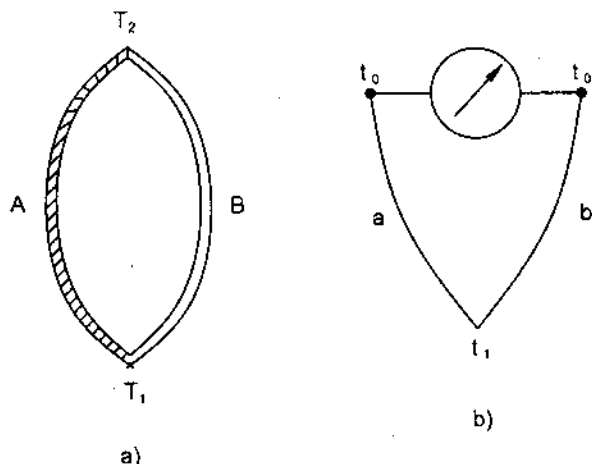


Hình 9-10

* *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

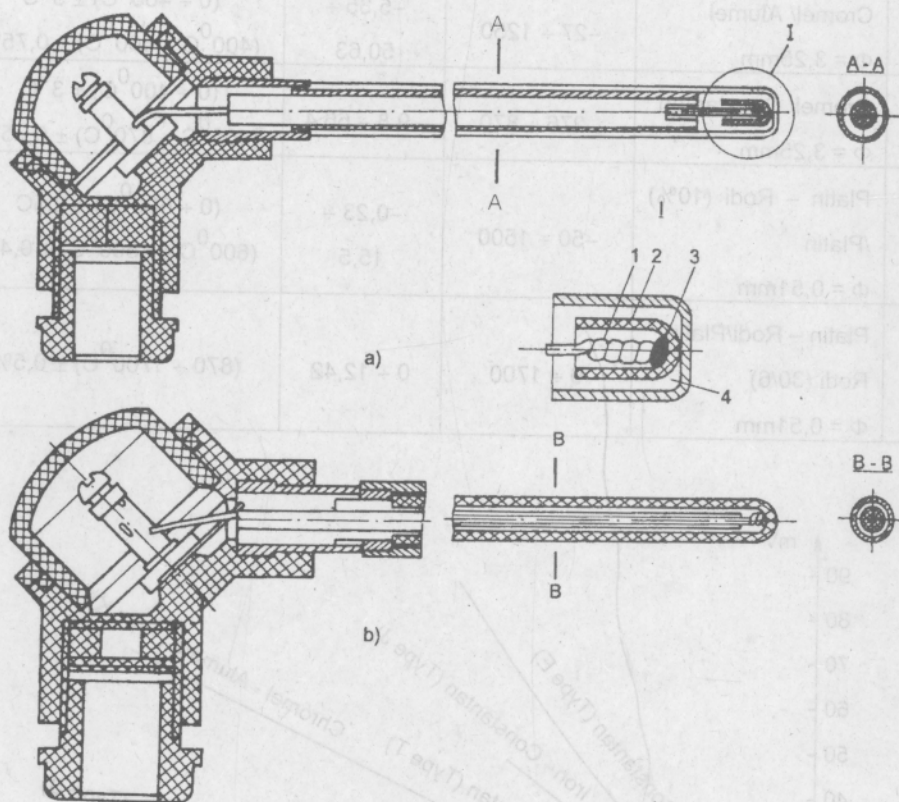
9-3-2. Vật liệu chế tạo cặp nhiệt

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.

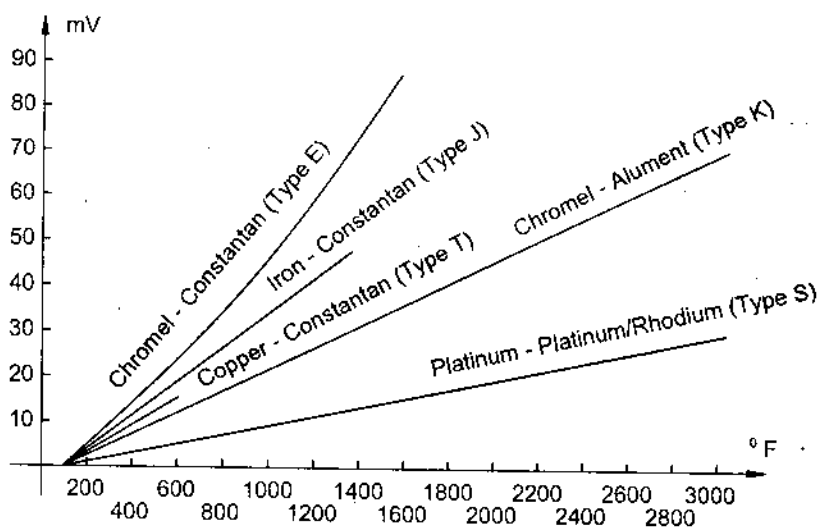
9-3-3. Các loại cặp nhiệt thường dùng

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) $\Phi = 0,51\text{mm}$	$0 \div 1700$	$0 \div 12,42$	$(870 \div 1700^{\circ}\text{C}) \pm 0,5\%$



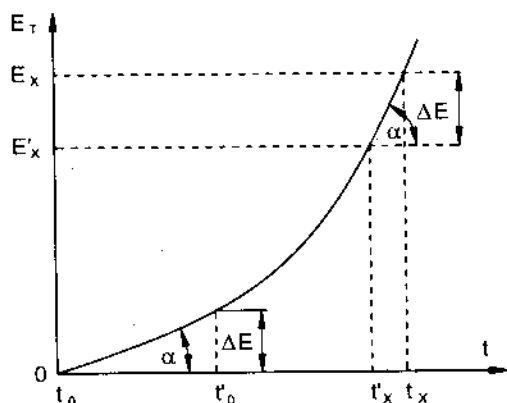
Hình 9-13. Đặc tính của một số cặp nhiệt

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°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°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°C .

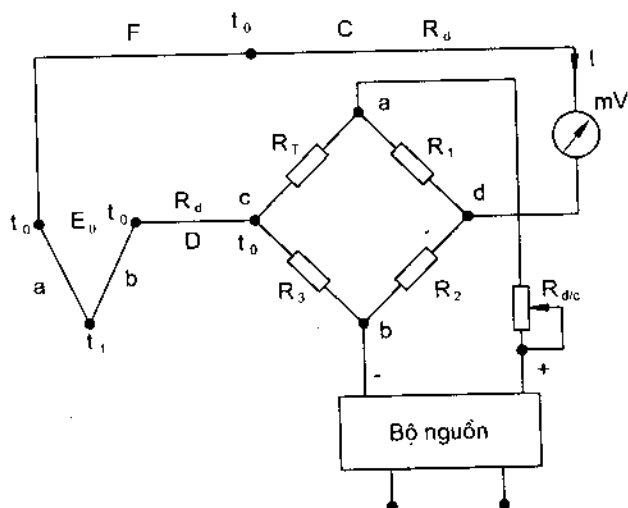
Các hệ số K được lập bảng.

$K = 0,8 \div 1$ 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°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 xuất hiện điện áp ΔU . Điện áp này bù vào ΔE 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

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

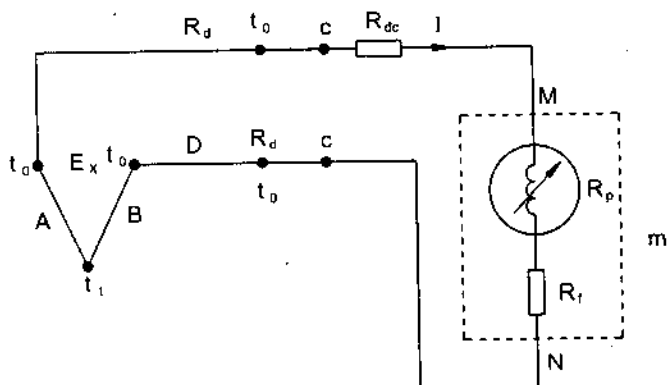
trong đó: E_0 – sức điện động; R_v – điện trở của thiết bị đo (mV); R_{ND} – điện trở cặp nhiệt; R_d – điện trở dây nối.

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.

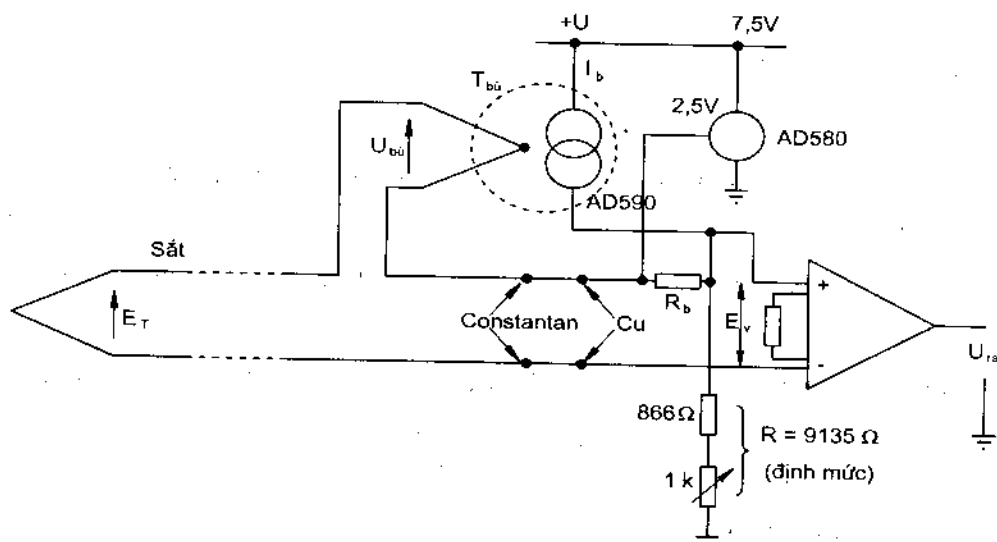
$$U_v = \frac{E_\theta}{R_l + R_d + R_v} \cdot R_v$$

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

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

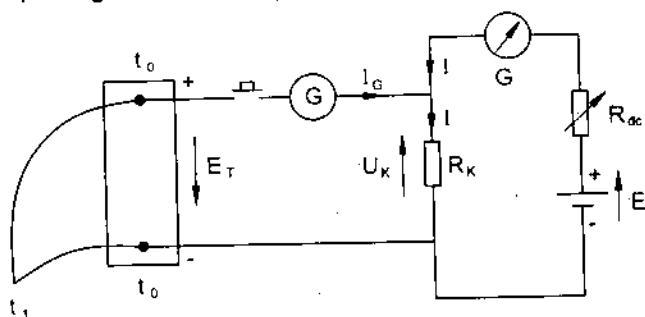
$$E_v = E_T - U_b + \frac{52,3\Omega \cdot I_b}{1 + \frac{52,3\Omega}{R}} = 2,5\text{c} \approx E_T$$

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

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

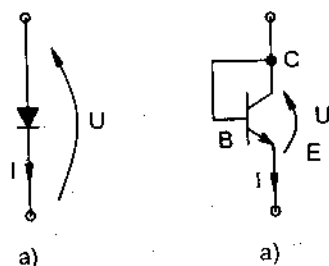
9-4. Cảm biến vi mạch bán dẫn đo nhiệt độ

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 :

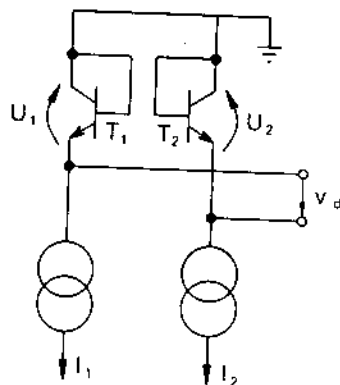
$$U_d = U_1 - U_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{c1}}{I_{c2}} \quad (9-27)$$

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.

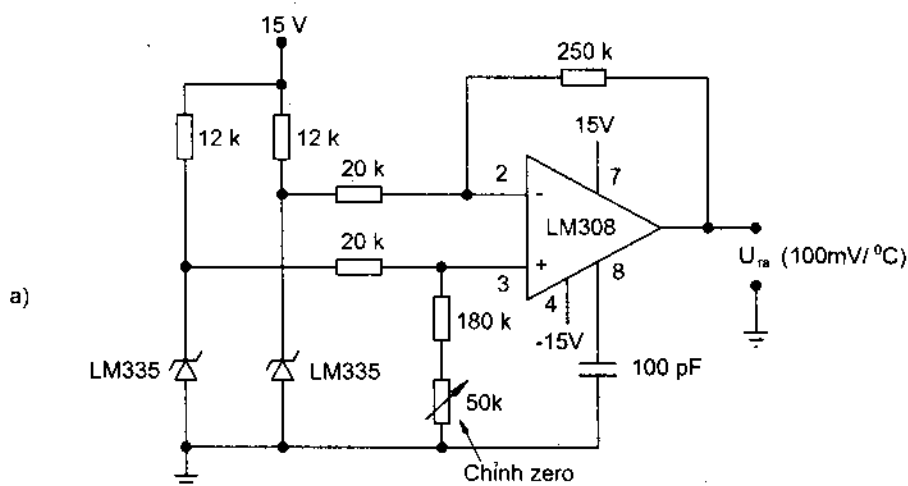
Hai cảm biến LM335 và hai điện trở $12k\Omega$ được mắc thành mạch cầu với nguồn cung cấp $15V$. Biến trở $50K$ dùng hiệu chỉnh “0” ban đầu.

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

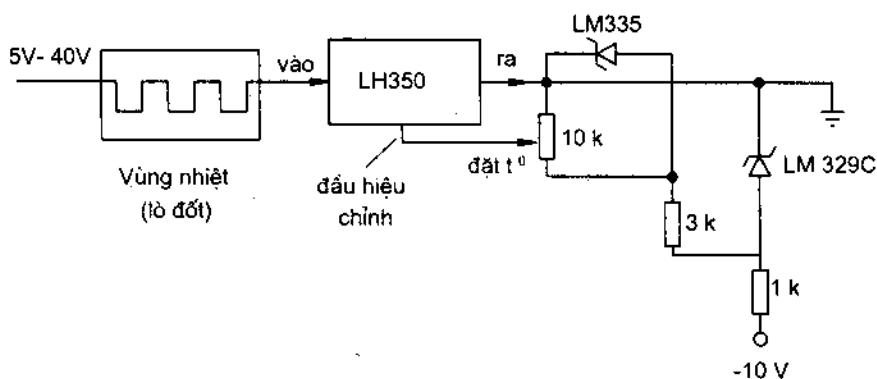
Khi đó, do nhiệt độ ở hai cảm biến khác nhau, cầu mất cân bằng. Tín hiệu ra được khuếch đại và đưa vào chỉ thị.

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

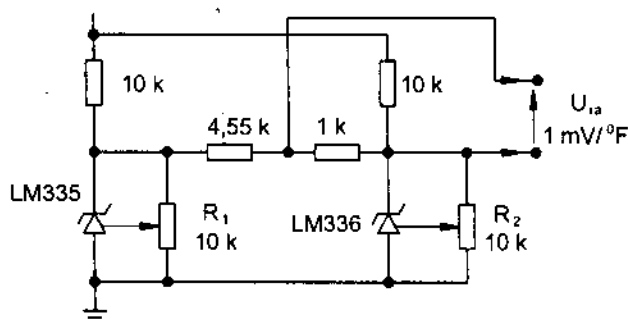
Hình 9-21c biểu diễn sơ đồ của nhiệt kế Fahrenheit ứng dụng nhiệt điện trở LM335 và LM336.



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 Fabrenheit ứng dụng LM335 và LM336

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

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

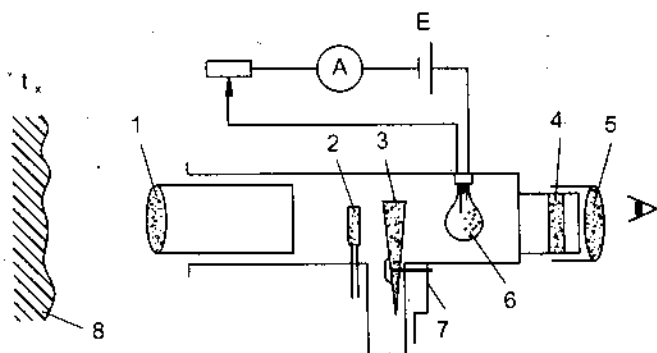
9-5. Đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc

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_λ , 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 :

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

λ – 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

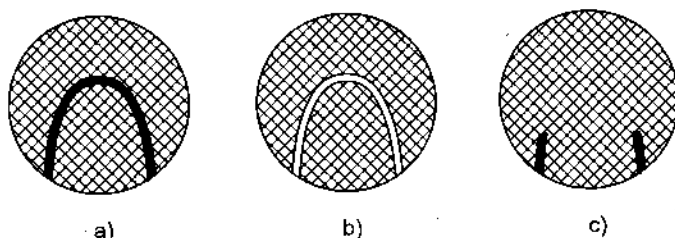


Hình 9-22. Sơ đồ hỏa kế quang học

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 chặn 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.

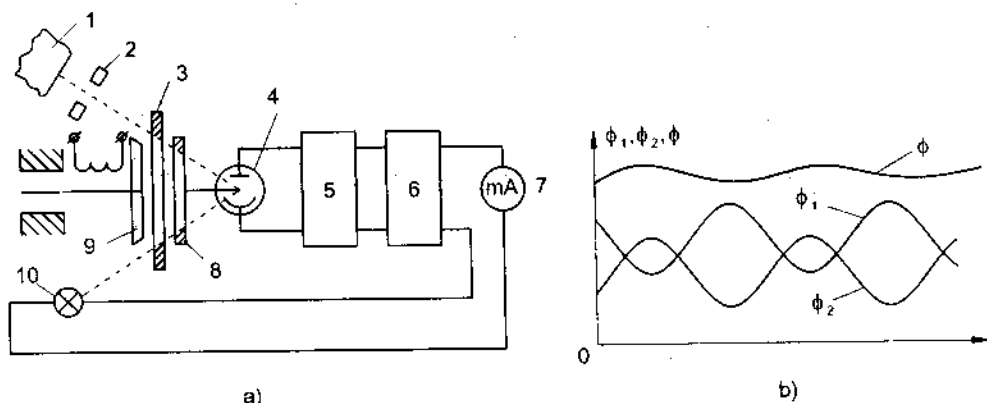
Sau bộ chắn quang là bộ lọc ánh sáng 2. Cường độ sáng của đối tượng đo và đèn sợi đốt được so sánh bằng mắt. Nếu cường độ sáng đối tượng đo lớn hơn độ sáng của sợi đốt ta sẽ thấy sợi đen trên nền sáng (h 9-23a). Nếu độ sáng của đối tượng yếu hơn độ sáng dây đốt ta thấy dây sáng trên nền tối (h 9-23b). 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 ϕ_1 và ϕ_2 của đèn và đối tượng lệch pha nhau 180° (hình 9-24b) và ϕ là hiệu của dòng ánh sáng ϕ_1 và ϕ_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

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

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

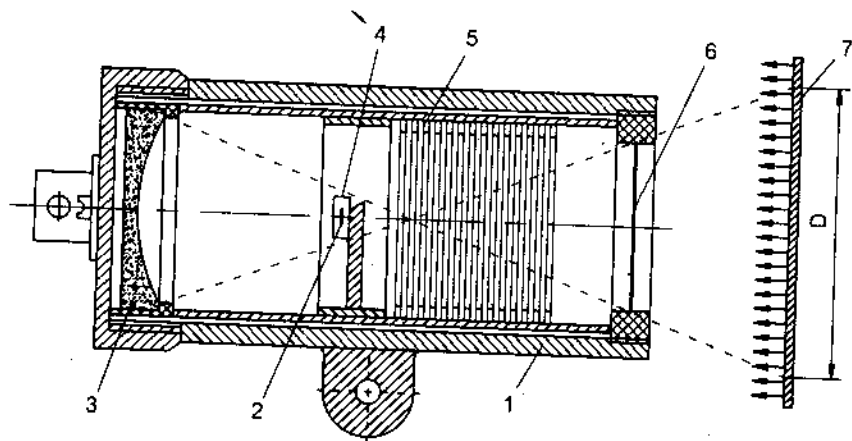
Hình 9-25 là cấu tạo của hỏa kế phát xạ, trong đó gồm có ống kim loại mỏng 1, phía cuối gắn gương cầu lõm 3.

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

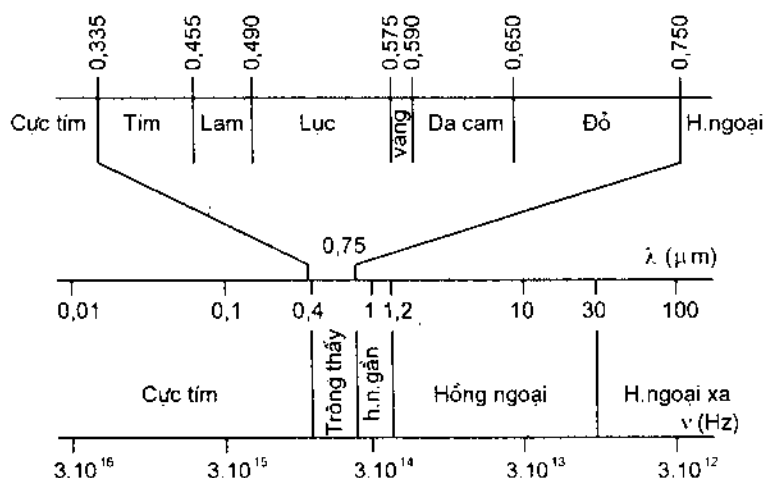
Ánh sáng có tính chất sóng và hạt. Dạng sóng ánh sáng là sóng điện từ. Ánh sáng lan truyền trong chân không với vận tốc $v = 299792 \text{ km/s}$. Trong vật chất ánh sáng có vận tốc $v = \frac{c}{n}$, n là chiết suất của môi trường. Tần số ν và bước sóng λ của ánh sáng liên hệ với nhau bằng biểu thức

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

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_ϕ 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 $W_\phi \geq W_e$.

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

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

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: η – hiệu suất; R – hệ số phản xạ; ϕ – 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 ϕ* : 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

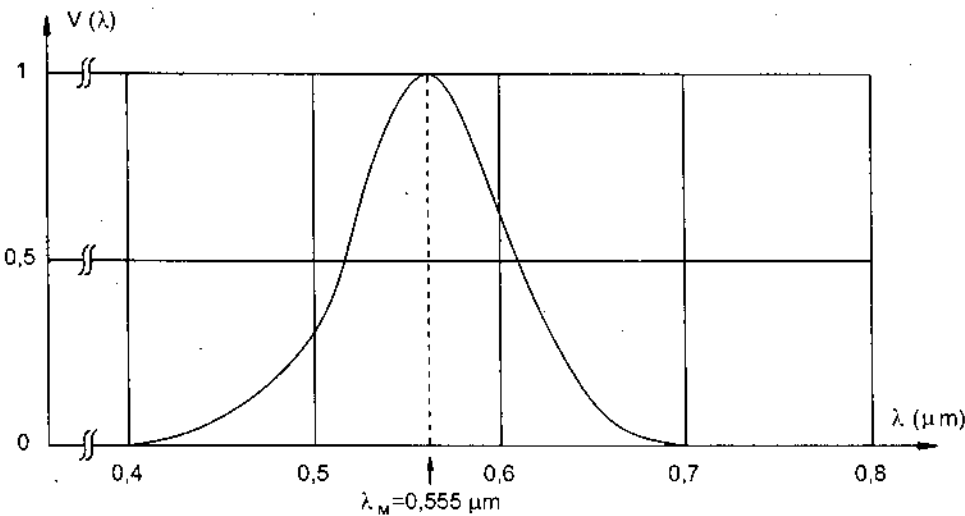
Mắt người cảm nhận được ánh sáng có phổ từ 0,38 μm đến 0,76 μm với độ nhạy tương đối phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

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 ² (cd/m ²)	oat/Sr.m ² (W/Sr.m ²)
Độ rọi	lumen/m ² (lux)	W/m ²
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

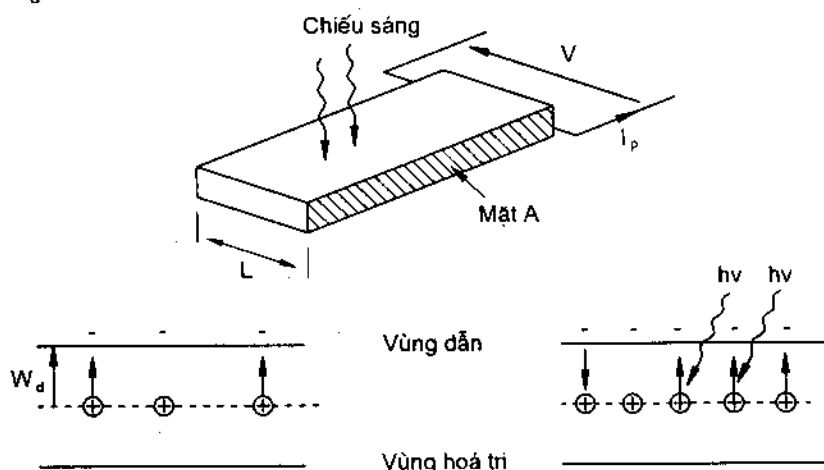
Cảm biến quang điện thực chất là các linh kiện quang điện, chúng thay đổi tính chất khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào bề mặt của chúng.

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:

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

μ – 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:

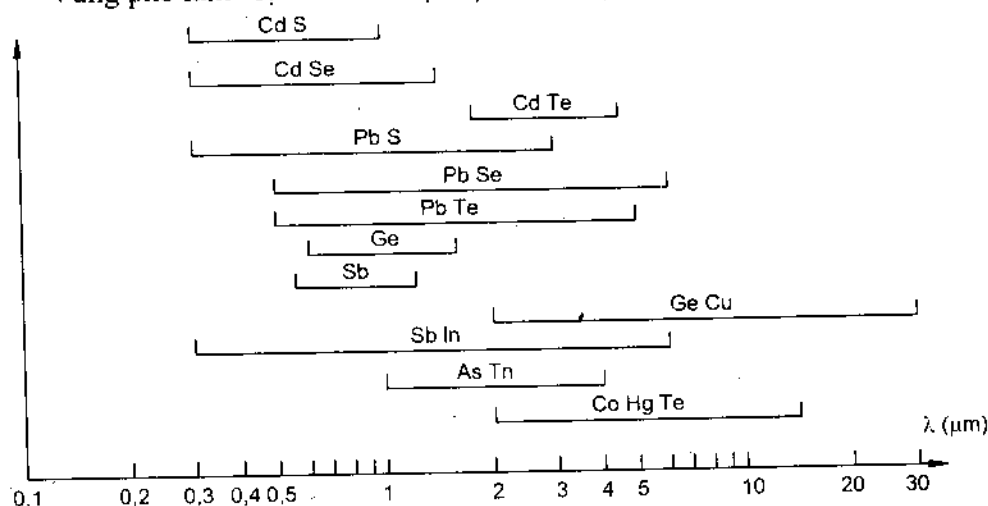
$$\sigma = q\mu n \quad (10-13)$$

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°C

SbIn, SbAs có điện trở tối từ $10\Omega \div 10^3\Omega$ ở 25°C .

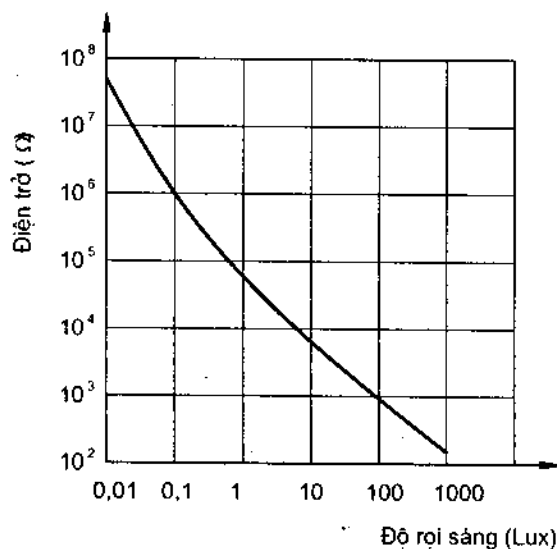
Khi chiếu sáng điện trở của cảm biến giảm rất nhanh như hình 10-5.

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;

γ – 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 1cm^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

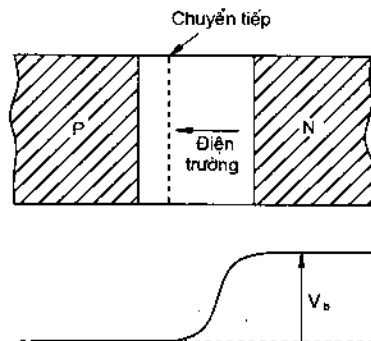
Từ hình vẽ ta có:

$$E = U_R - U_d$$

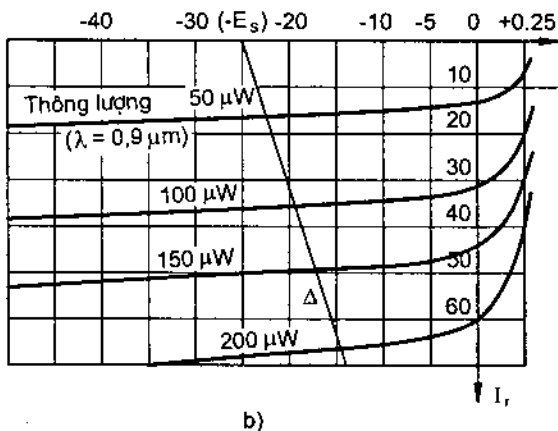
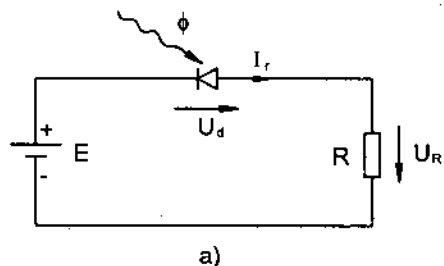
trong đó $U_R = I_r \cdot R$ là đường thẳng tải hình 10-7b.

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

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

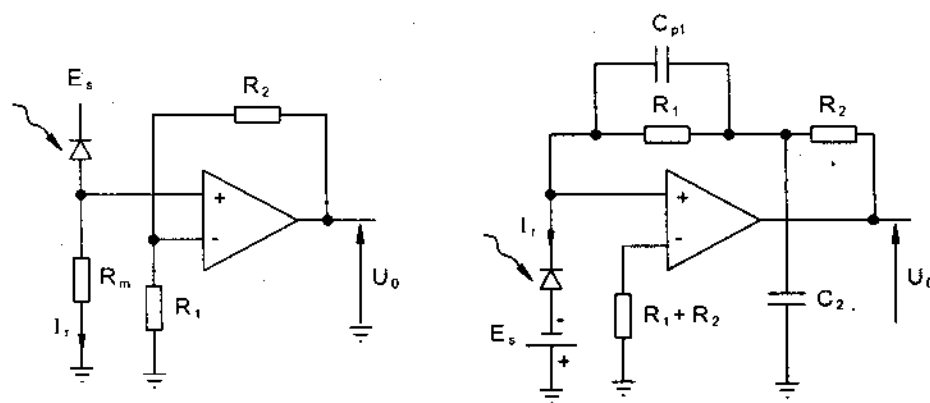


Hình 10-6. Cấu tạo của photodiode



Hình 10-7. Photodiode

0081008

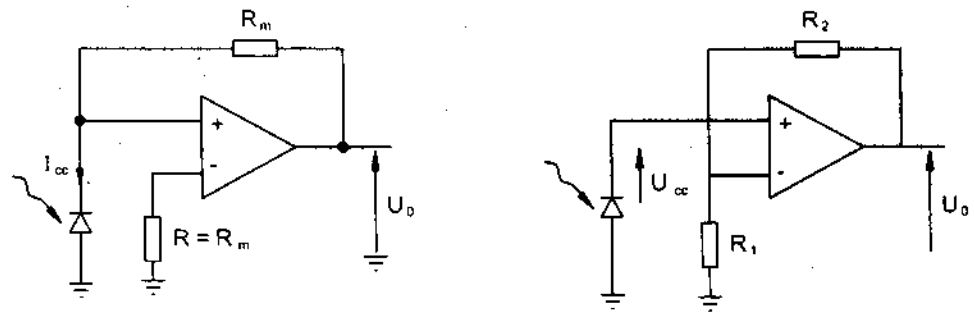


c)

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 diốt. 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:

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

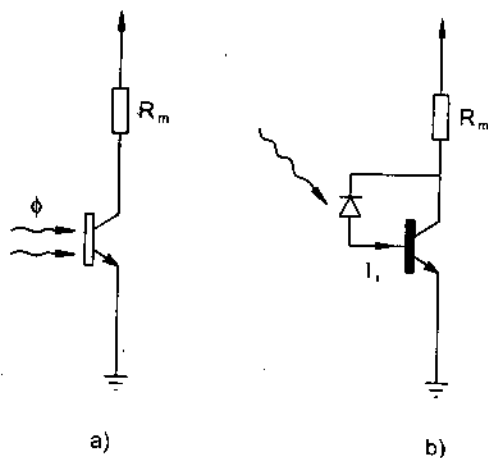
I_r – dòng điện ngược; I_0 – dòng điện tối; I_p – dòng điện sáng;

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

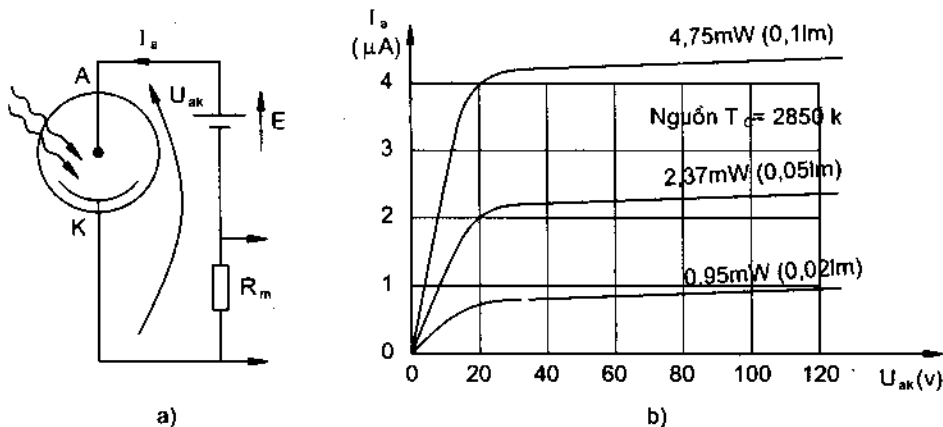
$$I_c = (\beta + 1) I_r. \quad (10-18)$$

β - 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. Phototranzito



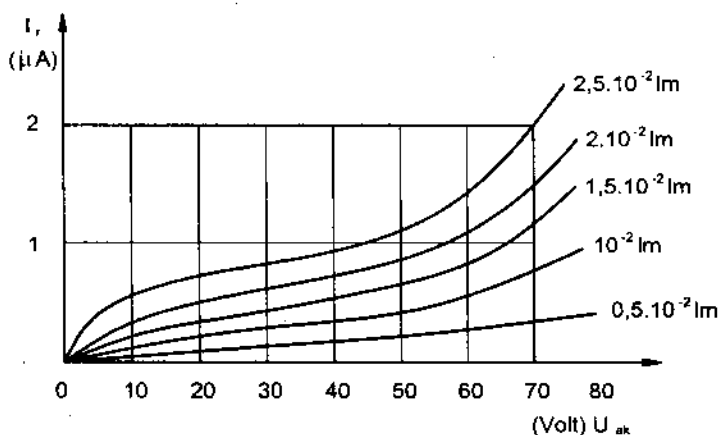
Hình 10 – 10. a) Sơ đồ mạch điện tế bào quang điện; b) Đặc tính von-ampe

3. Tế bào quang điện có khí

Tế bào quang điện cơ khí cấu tạo tương tự như chân không, bên trong đèn được điền đầy khí trơ (argon), với áp suất cỡ $10^{-1} \div 10^{-2}$ mmHg.

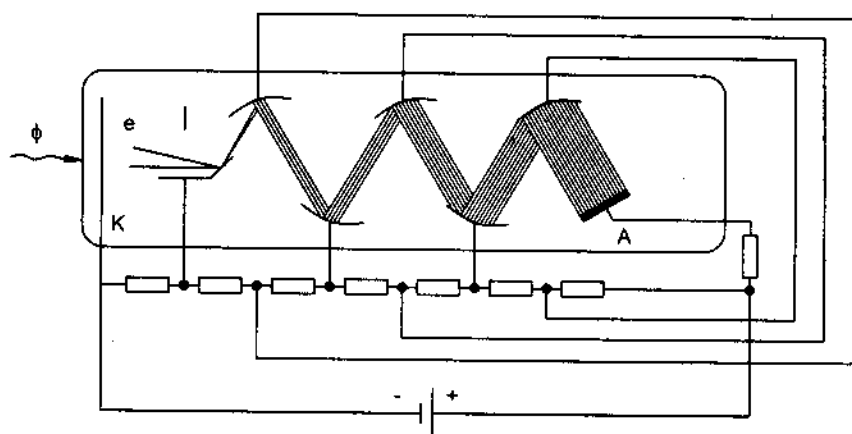
Hình 10-11 là đặc tuyến von-ampe của tế bào quang điện có khí. Khi điện áp U_{ak} thấp ($U_{ak} \leq 20V$) đặc tính có dạng giống như tế bào quang điện chân không.

Khi điện áp U_{ak} lớn, các điện tử chuyển động với tốc độ cao làm ion hóa (do va chạm) các nguyên tử khí, do đó dòng anot tăng lên từ 5-10 lần.



Hình 10-11. Đặc tính von-ampe của tế bào quang điện có khí

4. Bộ nhân quang



Hình 10-12. Sơ đồ thiết bị nhân quang

Khi bề mặt chất rắn bị bắn phá bởi các điện tử có năng lượng đủ lớn, nó có thể phát xạ các điện tử (phát xạ thứ cấp).

Nếu số điện tử phát xạ thứ cấp lớn hơn số điện tử tới sẽ có khả năng khuếch đại tín hiệu. Sự khuếch đại này ứng dụng làm thiết bị nhân quang.

Các điện tử tới (điện tử sơ cấp) được phát xạ từ một photocatot đặt trong chân không bị chiếu sáng. Chúng được tiêu thụ (bằng phương pháp tĩnh điện) trên điện cực thứ nhất của dãy các điện cực. Bề mặt các điện cực được phủ vật liệu có khả năng phát xạ thứ cấp. Các điện cực mắc nối tiếp nhau với điện thế tăng dần thông qua các điện trở sao cho các điện tử bị hút liên tiếp bởi các điện cực tiếp theo làm số điện tử thứ cấp tăng lên.

Số điện tử được phát xạ thứ cấp

$$M = \delta^n \quad (10-19)$$

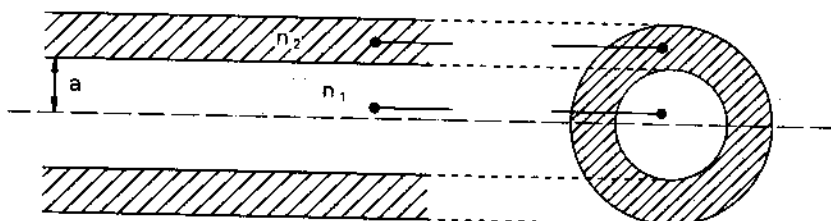
δ – số điện tử được giải phóng ở mỗi điện cực; n – số điện cực

5. Cáp quang

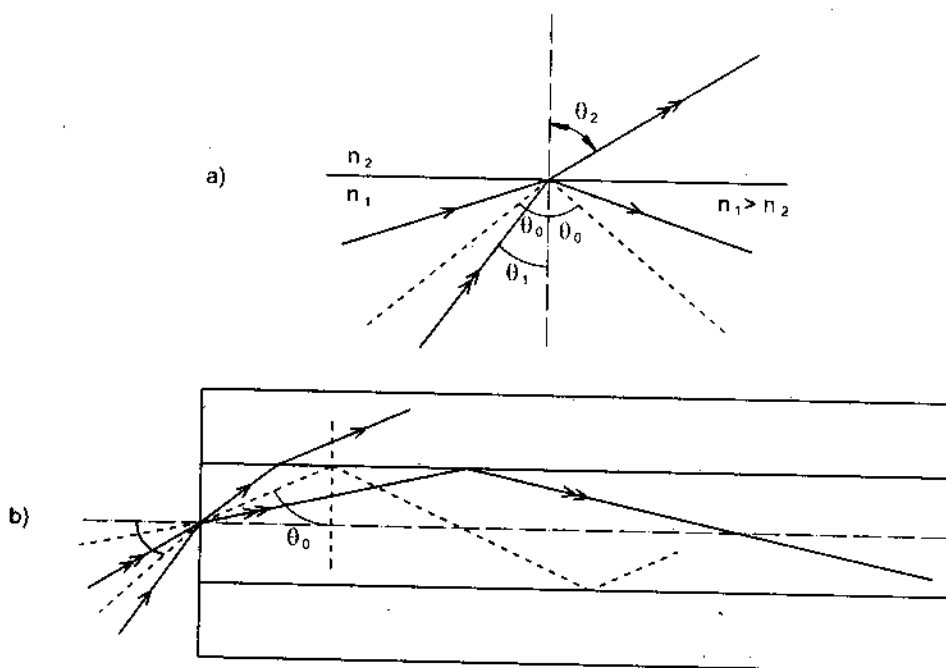
Hình 10-13 biểu diễn dạng cáp quang đơn giản gồm có một lõi với chiết suất n_1 , bán kính d ($10 \div 100\mu\text{m}$) và vỏ có chiết suất $n_2 < n_1$ có độ dày $50\mu\text{m}$.

Vật liệu chế tạo cáp quang là:

- SiO_2 tinh khiết hoặc pha tạp;
- Thủy tinh, thành phần của SiO_2 và phụ gia Na_2O_3 , B_2O_3
- Polime (một số trường hợp).



Hình 10 - 13



Hình 10 - 14. a) Sơ đồ cấu tạo của cáp quang ; b) Đường đi của ánh sáng.

Khi chiếu một tia sáng vào mặt phân cách giữa 2 môi trường có chiết suất n_1 và n_2 sẽ bị phân tách thành hai tia: tia phản xạ và tia khúc xạ, chúng cùng nằm trong mặt phẳng tới với góc phản xạ bằng góc tới và góc khúc xạ được xác định theo định luật Snell.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2. \quad (10-20)$$

Nếu $n_1 < n_2$ thì $\theta_1 > \theta_2$ tia khúc xạ gãy về phía gần pháp tuyến. Khi $n_1 > n_2$ thì $\theta_1 < \theta_2$, nếu tăng θ_1 thì θ_2 cũng tăng và sẽ xảy ra phản xạ toàn phần nếu :

$$\theta_1 > \arcsin \left[\frac{n_2}{n_1} \right] = \theta_0 \quad (10-21)$$

θ_0 – góc tới hạn

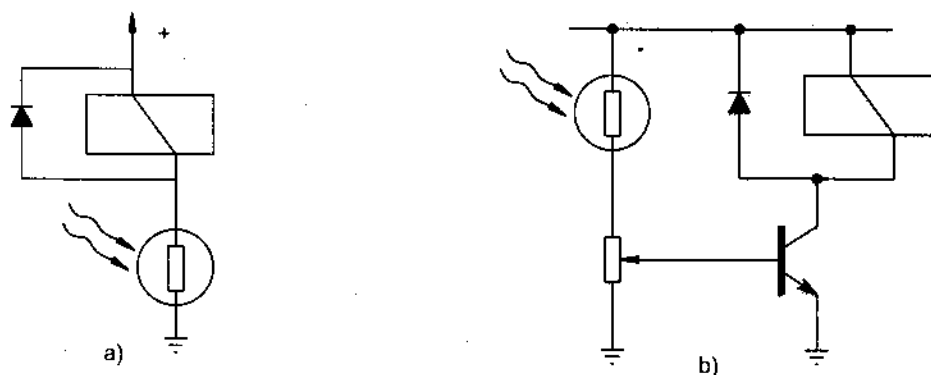
Ví dụ: $n_1 = 1,51$ và $n_2 = 1,50$ góc tới hạn $\theta_0 = 83^{\circ}30'$

Với điều kiện như vậy tia sáng sẽ bị giam giữ trong lõi và được truyền đi bằng phản xạ liên tục nối tiếp nhau hình 10-14.

10-4. Ứng dụng của cảm biến quang

10-4-1. Dùng tế bào quang dẫn để điều khiển role

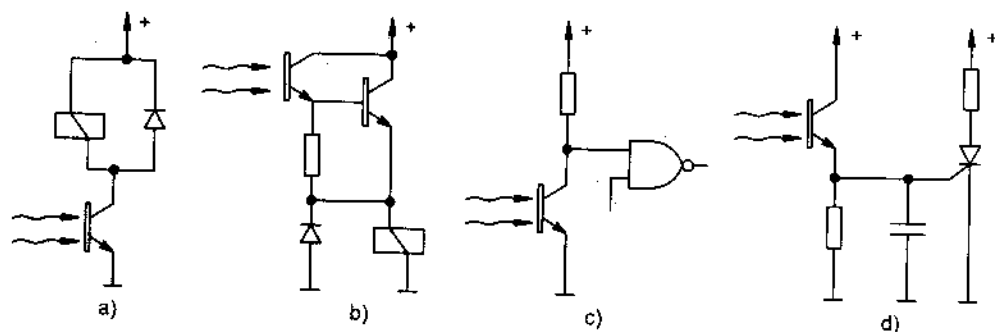
Sơ đồ hình 10-15a dùng điều khiển trực tiếp role, hình 10-15b điều khiển thông qua tranzito khuếch đại. Nguyên lý làm việc của hệ điều khiển là khi chưa có ánh sáng chiếu vào tế bào quang dẫn, dòng điện qua quang dẫn và role rất nhỏ chưa đủ để role tác động. Khi bị chiếu sáng, điện trở của quang dẫn giảm đi rất nhanh, dòng điện qua quang dẫn tăng lên đủ lớn để role tác động.



Hình 10-15. Dùng tế bào quang dẫn điều khiển role

10-4-2. Ứng dụng photodiốt và tranzito trong điều khiển

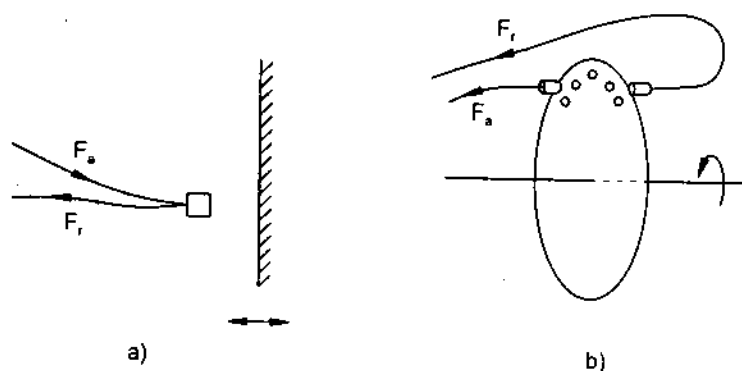
Tùy thuộc vào mục đích sử dụng photo diốt và photo tranzito ta có thể thực hiện đo các đại lượng khác nhau hoặc điều khiển trong quá trình sản xuất như đo tốc độ quay của động cơ đếm số lượng vật, đo cường độ ánh sáng, điều khiển đóng mở các role v.v...



Hình 10 – 16. Ứng dụng tranzito quang đóng mở role (hình 10-16a,b);

Hình 10-16 là sơ đồ ứng dụng photo tranzito trong chế độ chuyển mạch để điều khiển.

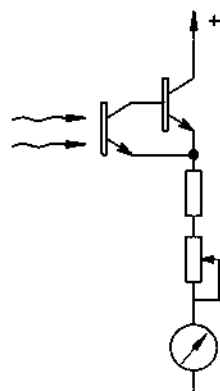
Trong trường hợp này người ta sử dụng thông tin dưới dạng nhị phân: có hay không có ánh sáng hoặc ánh sáng lớn hơn hay nhỏ hơn ngưỡng chiếu sáng. Tranzito khóa hoặc thông cho phép điều khiển trực tiếp hoặc qua khuếch đại như một role, điều khiển cổng logic hoặc thyristo. Hình 10-17 ứng dụng cấp quang và cảm biến quang đo di chuyển và tốc độ quay.



Hình 10 – 17. Ứng dụng cấp quang và cảm biến quang đo di chuyển (h.10-17a)

Ngoài ra có thể ứng dụng photo tranzito để chế tạo dụng cụ đo ánh sáng (luxmét) như hình 10-18.

Các Phototranzito làm việc trong chế độ tuyến tính và có thể đo được ánh sáng không đổi hoặc thay đổi.



Hình 10-18. Luxmét

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 10

1. Trình bày khái niệm cơ bản về ánh sáng và các đơn vị đo ánh sáng.
2. Phân loại các nguồn tạo ánh sáng và các đặc điểm của chúng.
3. Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động của các phần tử:
 - Tế bào quang dẫn (quang điện trở).
 - Photôđiôt.
 - Tế bào quang điện.
4. Nêu các ứng dụng của cảm biến quang điện:
 - Đo độ dịch chuyển.
 - Điều khiển các Role.

CHƯƠNG XI

CẢM BIẾN VỊ TRÍ VÀ DỊCH CHUYỂN

Đo vị trí và dịch chuyển của đối tượng vật lý rất cần thiết trong hệ thống điều khiển tự động, hệ thống giao thông, hệ thống bảo vệ và các Robot kỹ thuật.

Vị trí là thuật ngữ chỉ tọa độ của một đối tượng với chuẩn chọn trước. Dịch chuyển là sự chuyển động của đối tượng từ vị trí này đến vị trí khác với một khoảng cách hoặc một góc nào đó.

Có hai phương pháp cơ bản để xác định vị trí và dịch chuyển. Phương pháp thứ nhất: cảm biến cung cấp tín hiệu ra là hàm phụ thuộc vào vị trí của một trong các phần tử của cảm biến mà phần tử này liên quan đến đối tượng cần xác định dịch chuyển.

Phương pháp thứ hai: khi đối tượng dịch chuyển với một khoảng cách nhất định (đã định trước) cảm biến sẽ phát ra một xung. Việc xác định vị trí và khoảng dịch chuyển dựa trên các xung tín hiệu đã phát ra.

Ngoài ra trong thực tế người ta còn xác định vị trí và dịch chuyển dựa trên mối quan hệ giữa đối tượng và cảm biến bằng từ trường, điện trường và ánh sáng.

Khi thiết kế hoặc lựa chọn cảm biến vị trí và dịch chuyển cần lưu ý đến một số yêu cầu sau:

- Khoảng cách dịch chuyển và loại dịch chuyển (thẳng, góc).
- Độ chính xác và sai số yêu cầu.
- Đối tượng đo được làm bằng vật liệu gì? (kim loại, Plastic, vật liệu sắt từ v.v...).
- Điều kiện môi trường như thế nào? (độ ẩm, nhiệt độ, độ rung v.v...).
- Khả năng nguồn cung cấp cho cảm biến?
- Giá thành của cảm biến cùng loại.

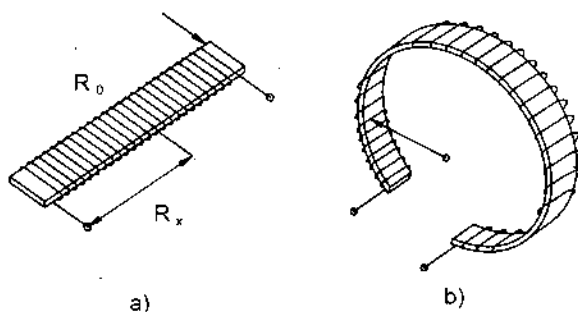
Các cảm biến được sử dụng đo vị trí và dịch chuyển thường là cảm biến điện trở, điện từ, điện dung, cảm biến quang, siêu âm v.v...

11-1. Cảm biến kiểu biến trở

Là loại cảm biến được sử dụng rộng rãi đo dịch chuyển và vị trí. Ưu điểm của nó là nguyên lý đơn giản, tín hiệu ra lớn, không đòi hỏi mạch đặc biệt để xử lý tín hiệu.

11-1-1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Cấu tạo của biến trở gồm có lõi làm bằng vật liệu cách điện như gốm, sứ, ba kê lit hoặc đồng, nhôm phủ lớp cách điện với các hình dạng khác nhau và chia làm hai loại. Biến trở di chuyển thẳng (h. 11-1a) và loại tròn (h. 11-1b), trên lõi quấn dây điện trở hoặc băng dẫn điện.



Hình 11-1. Cảm biến kiểu điện trở.
a) Dịch chuyển thẳng ; b) Loại tròn.

Dây điện trở là các hợp kim Niken, Crôm, constantan, manganin, Vonfram v.v... Có đường kính từ $0.02 \div 0.1\text{mm}$. Điện trở dây thay đổi từ vài chục Ω đến $\text{M}\Omega$. Dây được bọc lớp êmay cách điện nên có thể quấn từng vòng sát nhau.

Trên lõi và dây quấn có con chạy chế tạo bằng hợp kim Platin-Iridi hoặc Platin-berin để có độ đàn hồi và tiếp xúc tốt. Lực tì giữa con chạy và dây rất nhỏ cỡ $0.01 \div 0.1\text{ N}$.

Điện trở dạng băng được chế tạo bằng chất dẻo trộn với bột dẫn điện như cacbon hoặc kim loại và có kích thước hạt cỡ $10^{-2}\text{ }\mu\text{m}$. Do các hạt sắp xếp không sát nhau nên cấu tạo không liên tục, độ phân giải bị hạn chế. Nguyên lý làm việc của cảm biến dựa trên biểu thức:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (11-1)$$

trong đó: R – điện trở dây; l – chiều dài dây; ρ – điện trở suất; S – tiết diện dây.

Với ρ và S không thay đổi, điện trở của cảm biến phụ thuộc vào độ dài l .

$$R = K \cdot l \quad (11-2)$$

K – hệ số.

Dưới tác động của đại lượng đo làm con chạy dịch chuyển một khoảng và điện trở của dây thay đổi.

Quan hệ giữa đại lượng ra của cảm biến và đại lượng đo được biểu diễn dưới dạng biểu thức :

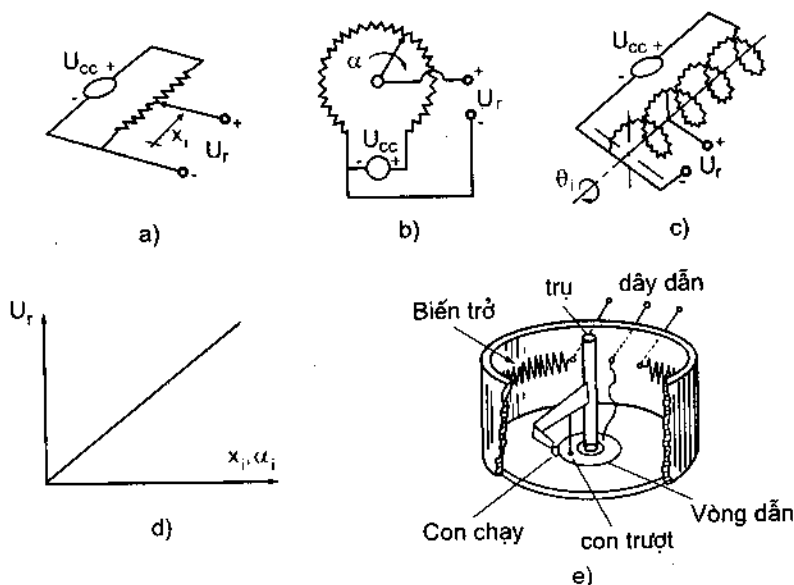
$$R_x = f(X_v) \quad (11-3)$$

X_v – đại lượng đo.

Với biến trở di chuyển thẳng (h. 11-1a)

$$R_x = \frac{x}{l} \cdot R_0 \quad (11-4)$$

x – khoảng di chuyển; l – chiều dài của biến trở; R_0 – điện trở toàn phần



Hình 11-2. Sơ đồ mạch của cảm biến biến trở:

- a - Biến trở di chuyển thẳng
- b - Biến trở di chuyển góc
- c - Biến trở di chuyển góc nhiều vòng
- d - Đặc tính $U = f(x)$ và $U = f(\alpha)$ của biến trở
- e - Cấu trúc của một biến trở di chuyển góc

Biến trở loại tròn:

$$R_{\alpha} = \frac{\alpha_x}{\alpha} \cdot R_0 \quad (11-5)$$

α_x – góc di chuyển; α – góc quay toàn phần.

Hình 11-2 là sơ đồ nguyên lý của biến trở di chuyển thẳng và di chuyển góc.

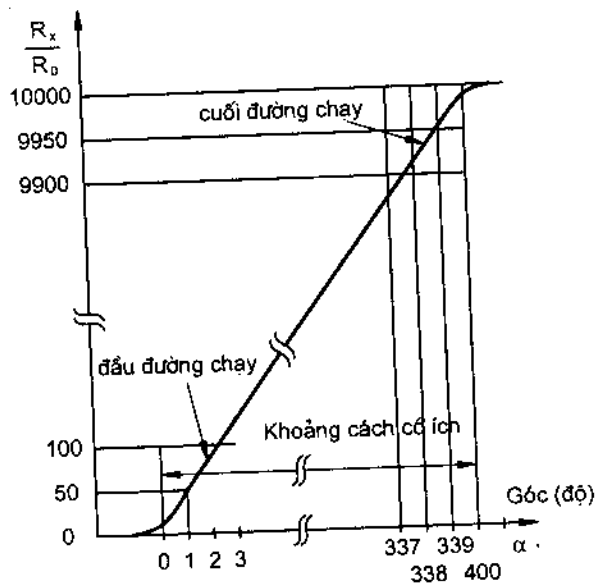
11-1-2. Đặc điểm của cảm biến

* Các biến trở dây chỉ cho ta phát hiện sự biến thiên điện trở bằng điện trở của một vòng dây, tương ứng với dịch chuyển giữa 2 vòng dây. Nếu điện trở toàn phần là R_0 , số vòng dây W , điện trở nhỏ nhất có thể phát hiện được là

$$r_n = \frac{R_0}{W};$$

r_n – ngưỡng nhảy của cảm biến.

Với chiều dài của biến trở là l , độ di chuyển có thể phát hiện được là $x_n = \frac{l}{W}$.



Hình 11-3. Sự thay đổi của tỷ số điện trở phụ thuộc vào vị trí của con chạy

Thông thường điện trở ở hai đầu biến trở không ổn định do độ không ổn định của con chạy, các mối nối tiếp xúc v.v... Vì vậy các biến trở chỉ làm việc trong khoảng x mà tại đó $R(x)$ là hàm tuyến tính với độ dịch chuyển (hình 11-3)

* Sai số của cảm biến được phân thành:

Sai số rời rạc và sai số phi tuyến.

– Sai số rời rạc được tính bằng biểu thức:

$$\gamma = \frac{\Delta R}{2R_0} = \frac{1}{2W} \quad (11-6)$$

ΔR – điện trở của một vòng dây; R_0 – điện trở toàn phần; W – số vòng dây.

– Sai số phi tuyến từ $0,1 \div 0,03\%$ do độ mòn của con chạy và dây điện trở. Sai số nhiệt độ $0,1\%/1^{\circ}\text{C}$.

Với các băng dẫn, độ phân giải tốt hơn tùy thuộc vào kích thước hạt và có thể đạt tới $0,1 \mu\text{m}$.

Bảng 11-1 cho thấy một số đặc điểm của cảm biến thông dụng.

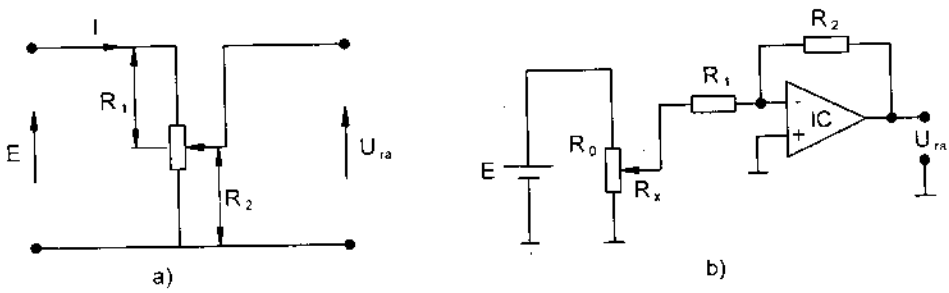
Bảng 11 - 1

Thông số	Di chuyển thẳng	Di chuyển góc
- Dải đo	2 mm ÷ 8m	$10^0 \div 60$ vòng
- Độ phân giải	50 μm	$2^0 \div 0,2^0$
- Công suất	0,1 ÷ 50w	
- Hệ số nhiệt độ	20 ÷ 1000 phần/ $10^6/^{\circ}\text{C}$	
- Tần số	3 Hz	
- Độ bền	đến 4×10^8 chu kỳ dịch chuyển	

11-1-3. Mạch đo

Có thể thực hiện theo các dạng sau:

1. Mạch phân áp



Hình 11-4. Mạch đo kiểu phân áp
a) Đo trực tiếp ; b) Qua khuếch đại.

Từ hình 11-4a ta có:

$$\frac{E}{U_{ra}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (11-7)$$

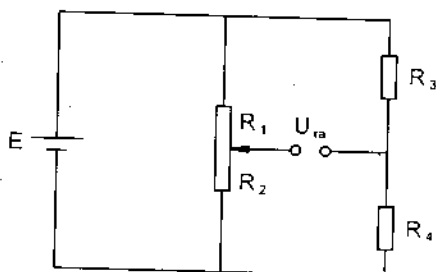
E – nguồn cung cấp

Hình 11-4b là sơ đồ dùng khuếch đại khi tín hiệu ra nhỏ.

2. Mạch cầu phân áp:

Từ hình 11-5 ta có:

$$\frac{U_{ra}}{E} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (11-8)$$



Hình 11-5. Mạch phân áp kiểu cầu

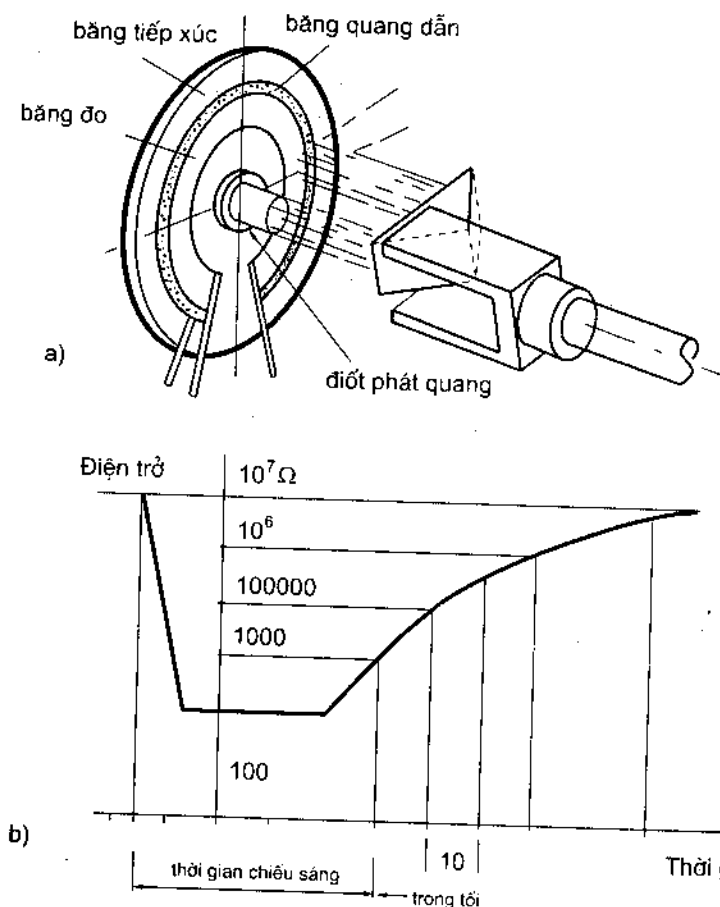
11-2. Biến trở quang dẫn

Nhược điểm cơ bản của biến trở con chạy cơ học là sự ma sát và tiếp xúc, chúng gây tiếng ồn và đặc tính không liên tục, để khắc phục người ta sử dụng biến trở loại quang dẫn. Đó là một băng điện trở được chế tạo từ vật liệu quang dẫn như Si, Ge, PbTe, CdSe v.v... Các chất này khi được chiếu sáng điện trở của chúng thay đổi.

Hình 11-6a là cấu tạo của cảm biến quang dẫn, trong đó con chạy được thay bằng con trở quang là một điốt phát quang, ngoài ra có băng tiếp xúc, băng đo và quang dẫn.

Giữa băng đo và băng tiếp xúc là băng quang dẫn mỏng (CdSe) trên đó con trở quang di chuyển khi trục quay. Điện trở vùng quang dẫn giảm đáng kể trong khu vực bị chiếu sáng do vậy khi con trở quang di chuyển, điện trở của cảm biến thay đổi. Hình 11-6b cho thấy sự thay đổi điện trở của vùng quang dẫn dưới tác dụng của ánh sáng.

Thời gian hồi đáp của cảm biến cỡ vài chục ms và nó quyết định đến tần số di chuyển cực đại của con trở.



Hình 11-6. Biến trở quang dẫn dùng con trở quang
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Sự thay đổi của điện trở của vùng quang dẫn dưới tác dụng của hiệu ứng chiếu sáng đột ngột

11-3. Cảm biến quang đo dịch chuyển

11-3-1. Đo dịch chuyển bằng thước khắc vạch (Encoder tăng)

Bằng các biện pháp khác nhau người ta khắc lên thước di động các vạch chia độ. Vạch chia có thể là vạch đen, hoặc trắng, ánh sáng xuyên qua hoặc phản xạ trên các vạch khắc độ (hình 11-7).

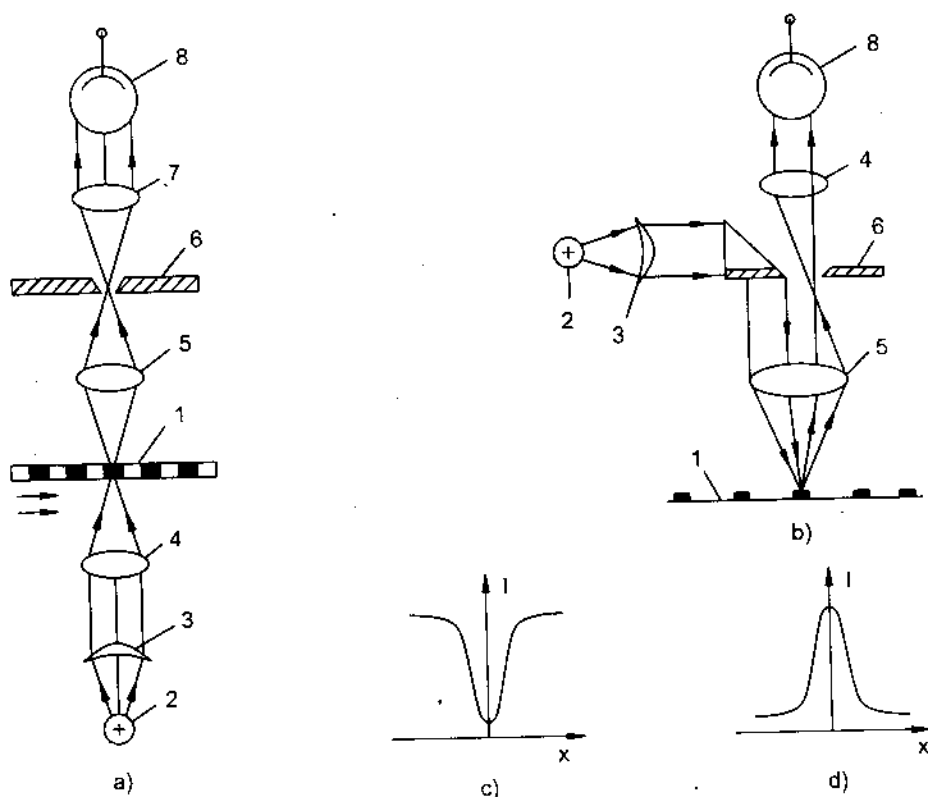
Mỗi lần qua 1 vạch, tế bào quang điện nhận được một xung ánh sáng và tạo ra một xung điện.

Đếm số xung ta có thể suy ra di chuyển và ta có:

$$D_x = Nd_0. \quad (11-9)$$

D_x – khoảng dịch chuyển; N – số xung đếm được; d_0 – giá trị của vạch chia độ.

Với kỹ thuật hiện nay người ta có thể thực hiện được 200 vạch/mm.



Hình 11-7. Đo di chuyển bằng thước khắc vạch
1. Thước khắc vạch; 2. Nguồn sáng; 3, 4, 5, 7. Thấu kính;
6. Tấm chắn ánh sáng; 8. Tế bào quang điện

11-3-2. Đo di chuyển và khoảng cách bằng tia laze

Hình 11-8 là sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo dịch chuyển. Nguồn Laze bức xạ thành dòng ánh sáng ϕ được phân thành hai tia ϕ_1 và ϕ_2 , nhờ gương lệch 2.

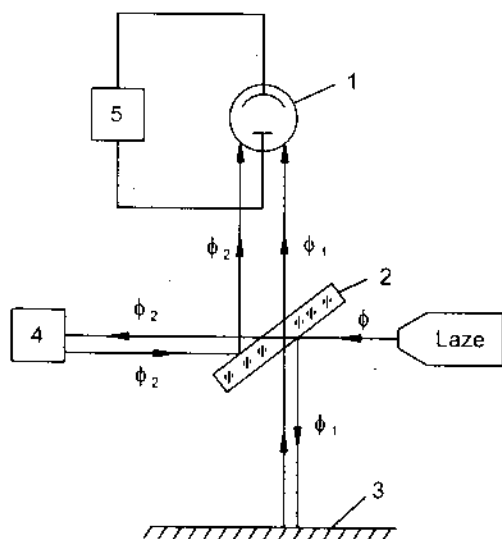
Tia sáng ϕ_1 phản xạ từ gương 2 đến gương 3 và phản xạ trở lại chiếu vào tế bào quang điện 1.

Tia sáng ϕ_2 cũng đi qua gương 2 đến đối tượng đo 4 và phản xạ lại qua gương 2 đến tế bào quang điện 1. Tại tế bào quang điện, hai tia ϕ_1 và ϕ_2 được xếp chồng. Khi đối tượng đo 4 di chuyển, tổng cường độ sáng của hai tia laze thay đổi. Nhờ thiết bị tính 5 có thể xác định được khoảng dịch chuyển của đối tượng đo 4.

Nếu gọi L_x là khoảng dịch chuyển của đối tượng đo, k là số chu kỳ của tia laze, λ độ dài bước sóng của ánh sáng ta có quan hệ :

$$L_x = k \frac{\lambda}{2} . \quad (11-10)$$

Thiết bị trên khi đo dịch chuyển cỡ 1m sai số từ $0,1 \div 1 \mu m$.



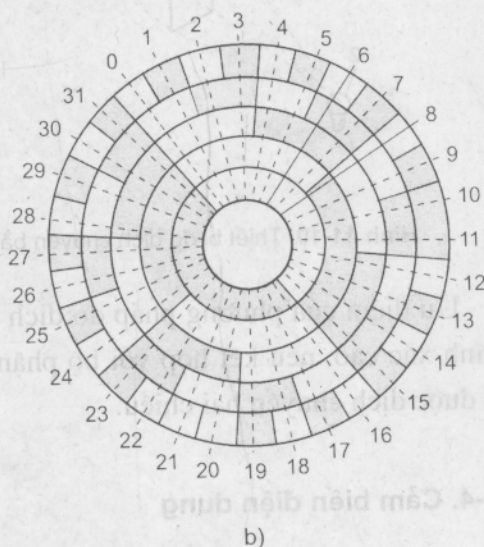
Hình 11-8. Sơ đồ nguyên lý thiết bị đo dịch chuyển bằng tia laze

11-3-3. Đo dịch chuyển bằng thước mã hóa (Encoder tuyệt đối)

Phương pháp thước khắc vạch có ưu điểm là kết cấu gọn, chỉ sử dụng một tế bào quang điện đếm xung, nhưng có nhược điểm là chỉ đo dịch chuyển theo một phía mà không đo được dịch chuyển theo hai chiều.

Để giải quyết nhược điểm trên người ta sử dụng thước mã hóa. Đó là một thước gồm nhiều dải khắc vạch, quan hệ với nhau theo một mã nhất định. Thường người ta sử dụng mã nhị phân. Thước mã hóa mã nhị phân được bố trí như sau.

2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
+	+	+	+	+	0
+	+	+	+		1
+	+	+			2
+	+	+			3
+	+				4
+	+	+	+	+	5
+	+	+			6
+	+		+		7
+	+				8
+		+	+	+	9
+		+	+		10
+		+			11
+			+	+	12
+			+		13
+				+	14
+					15
	+	+	+	+	16
	+	+	+		17
	+	+		+	18
	+		+	+	19
		+	+		20
			+		21
				+	22



Hình 11-9. Đo di chuyển bằng thước mã hóa

Khoảng dịch chuyển được tính

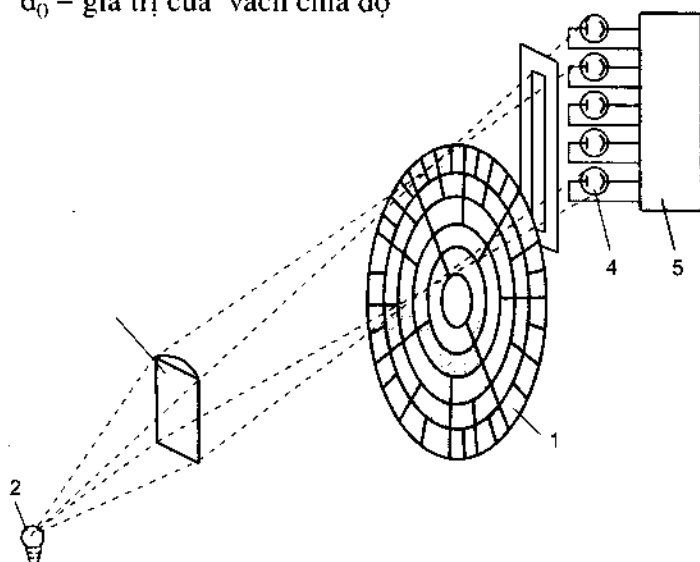
$$D_x = (N_2 - N_1) \text{ do.} \quad (11-11)$$

Trong đó :

N_1 – Con số chỉ bởi số mã ở vị trí ban đầu;

N_2 – số chỉ bởi thước mã hóa ở vị trí sau dịch chuyển;

d_0 – giá trị của vạch chia độ



Hình 11-10. Thiết bị đo dịch chuyển bằng thước mã hóa (Encoder tuyệt đối)

Ưu điểm của phương pháp đo dịch chuyển bằng thước mã hóa là đạt độ chính xác cao, nếu kết hợp với bộ phận xác định chiều chuyển động có thể đo được dịch chuyển hai chiều.

11-4. Cảm biến điện dung

11-4-1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cảm biến điện dung thực chất là một tụ điện gồm hai điện cực, giữa chúng chứa chất điện môi.

Hình 11-11 là một số loại cảm biến điện dung thường gặp.

Giả sử cảm biến là một tụ phẳng có tiết diện bản cực S , khoảng cách giữa hai bản cực δ và chứa chất điện môi ϵ . Điện dung của tụ được biểu diễn bằng biểu thức :

$$C = \frac{\epsilon S}{\delta} \quad (11-12)$$

Nguyên lý hoạt động của cảm biến dựa trên sự thay đổi các thông số ϵ , S , δ làm cho C thay đổi. Cảm biến thực hiện ở dạng đơn hoặc kép (vì sai) như hình 11-11.

Cảm biến điện dung chia thành hai nhóm lớn là cảm biến máy phát và thông số.

Đại lượng ra của cảm biến máy phát là điện áp U , loại này dùng đo các đại lượng cơ. Cảm biến thông số có tín hiệu ở đầu vào là độ dịch chuyển của bản cực, tín hiệu ra là điện dung C .

Khi một trong ba thông số ϵ , S , δ thay đổi, điện dung của tụ sẽ thay đổi. Với sự thay đổi nhỏ ta có phương trình.

$$\Delta C = \frac{S_0}{\delta_0} \Delta \epsilon + \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \Delta S - \frac{\epsilon_0 S_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta$$

Hoặc:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\Delta S}{S_0} - \frac{\Delta \delta}{(1 + \Delta \delta / \delta_0)^2} \quad (11-13)$$

$$C_0 - \text{điện dung ban đầu, } C_0 = \frac{\epsilon_0 S_0}{\delta_0}.$$

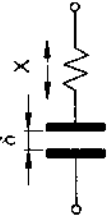
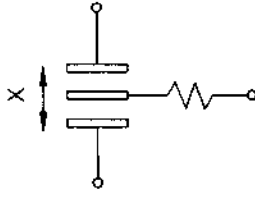
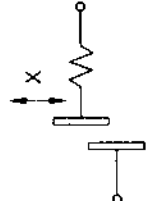
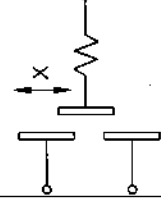
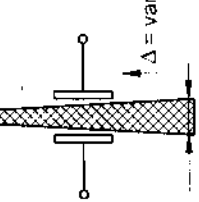
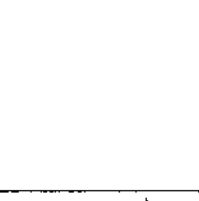
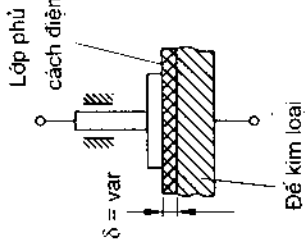
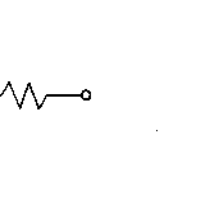
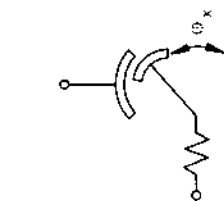
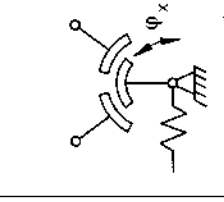
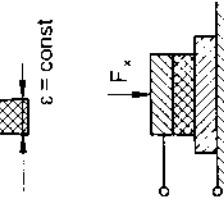
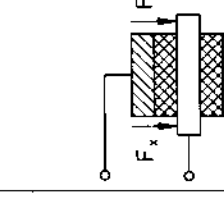
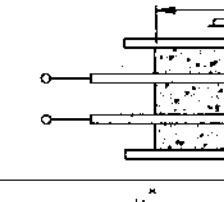
Từ (11-14) ta xác định được độ nhạy của cảm biến.

* Khi δ thay đổi: (ϵ , $s = \text{const}$)

$$S_\delta = \frac{\Delta c / C_0}{\Delta \delta / \delta_0} = - \frac{1}{(1 + \Delta \delta / \delta_0)^2} \quad (11-14)$$

* Độ nhạy theo S : (δ , $\epsilon = \text{const}$)

$$S_s = \frac{\Delta c / C_0}{\Delta S / S_0} = 1. \quad (11-15)$$

Khe khí δ thay đổi		Tiết diện s thay đổi		Hằng số điện môi thay đổi		Với sự thay đổi tổng hao điện môi
Đơn	Vi sai	Đơn	Vi sai	Đơn	Vi sai	
						
						

Hình 11-11. Một số loại cảm biến điện dung thường gặp

* Độ nhạy theo ε ($\delta, S = \text{const}$)

$$S_\varepsilon = \frac{\Delta C/C_0}{\Delta \varepsilon/\varepsilon_0} = 1 \quad (11-16)$$

Khi xét đến dung kháng: $X_c = \frac{1}{\omega C}$ với $\omega = \text{const}$ ta có độ nhạy:

$$S'_\delta = \frac{\Delta X_c/X_{c0}}{\Delta \delta/\delta_0} = 1 \quad (11-17)$$

$$S'_\varepsilon = \frac{\Delta X_c/X_{c0}}{\Delta \varepsilon/\varepsilon_0} = -\frac{1}{(1 + \Delta \varepsilon/\varepsilon_0)^2} \quad (11-18)$$

$$S'_s = \frac{\Delta X_c/X_{c0}}{\Delta S/S_0} = -\frac{1}{(1 + \Delta S/S_0)^2} \quad (11-19)$$

trong đó: $X_{c_0} = \frac{1}{\omega C_0}$

Từ các biểu thức trên ta thấy độ nhạy của cảm biến điện dung là tuyến tính khi tiết diện S và điện môi ε thay đổi và độ nhạy là phi tuyến khi khoảng cách giữa hai bản cực δ thay đổi.

Khi sử dụng tính chất dung kháng $X_c = \frac{1}{\omega C}$ thì độ nhạy sẽ ngược với tính chất trên.

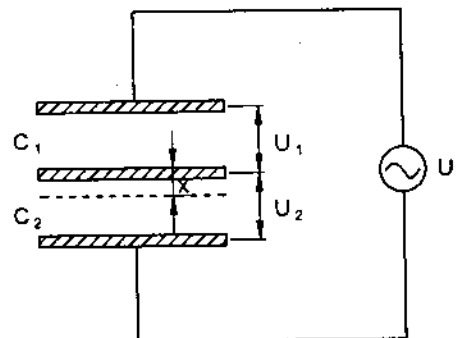
11-4-2. Tụ điện kép (vi sai)

Với cảm biến điện dung mắc vi sai (h. 11-12) gồm hai tụ điện trong đó

$$C_1 = \frac{\varepsilon S}{\delta + x} \quad (11-20)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon S}{\delta - x} \quad (11-21)$$

x - độ dịch chuyển của bản cực giữa



Hình 11-12. Tụ điện mắc vi sai

Nếu gọi U_1, U_2 là điện áp rơi trên tụ C_1 và C_2 , ta có:

$$U_1 = \frac{U}{(1 + j\omega C_1) + (1 + j\omega C_2)} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} = U \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (11-22)$$

$$U_2 = \frac{U}{(1 + j\omega C_1) + (1 + j\omega C_2)} \cdot \frac{1}{j\omega C_1} = U \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad (11-23)$$

Từ (11-20); (11-21) ta nhận được:

$$U_1 = U \frac{1/(\delta - x)}{1/(\delta + x) + 1/(\delta - x)} = U \frac{\delta + x}{2\delta} \quad (11-24)$$

$$U_2 = U \frac{1/(\delta + x)}{1/(\delta + x) + 1/(\delta - x)} = U \frac{\delta - x}{2\delta} \quad (11-25)$$

$$U_1 - U_2 = U \left(\frac{\delta + x}{2\delta} - \frac{\delta - x}{2\delta} \right) = U \frac{x}{\delta} \quad (11-26)$$

11-4-3. Mạch đo

Mạch đo thông thường là các mạch cầu không cân bằng cung cấp bằng nguồn điện xoay chiều.

Tổng trở vào và ra của mạch cầu cần lớn, dây dẫn được bọc kim tránh ảnh hưởng của điện trường ngoài.

Tần số nguồn cung cấp lớn để công suất ra đạt được độ lớn cần thiết. Tần số có thể tới MHz.

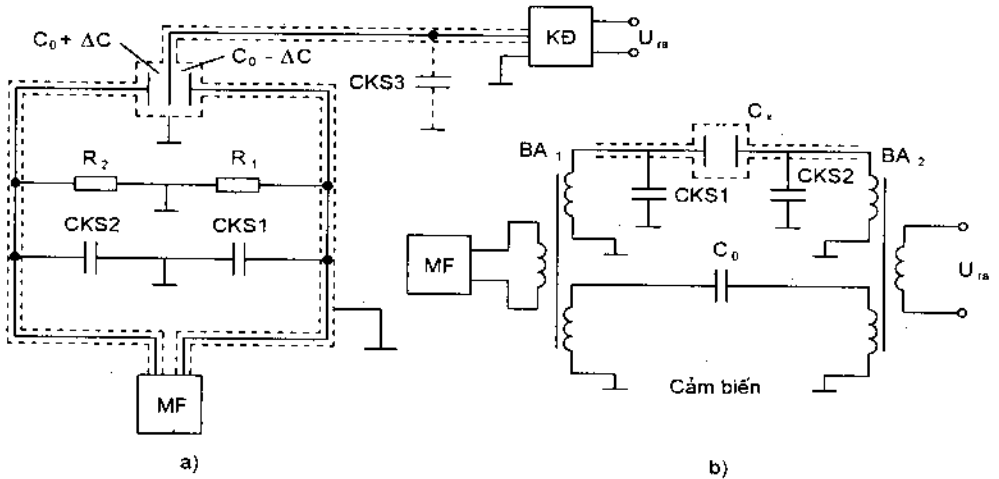
Hình 11-13a, b là sơ đồ cầu đo trong đó có 2 nhánh là tụ điện vì sai, hai nhánh khác là R_1, R_2 . Do điện dung của tụ có trị số nhỏ (chục μF) để có công suất ra lớn cần dùng khuếch đại có độ nhạy cao.

Ngoài ra người ta còn dùng mạch đo với các đại lượng biến thiên như hình 11-14.

Từ sơ đồ trên ta có phương trình

$$U_0 = iR_t + \frac{1}{C} \int i dt \quad (11-27)$$

$$\text{với } C = \frac{\epsilon S}{\delta} \text{ và } \epsilon, S = \text{const.}$$



Hình 11-13. Các mạch điện đo thường dùng với các cảm biến điện dung

- a) Mạch cầu với 2 tụ điện và điện trở R_1, R_2, C_{KS} – tụ kí sinh
b) Mạch cầu với 2 vù và BA_1, BA_2 ; BA_1 – Biến áp đầu vào; BA_2 – Biến áp ra

Nếu độ dịch chuyển $\Delta\delta \ll \delta_0$, một cách gần đúng ta được

$$U_{ra} = \frac{U_0}{\delta_0} \cdot \frac{j\omega\tau\delta}{1+j\omega\tau} \quad (11-28)$$

U_0 – điện áp cung cấp; δ_0 – khoảng cách ban đầu giữa 2 điện cực; ω – tần số biến thiên; $\tau = R.C$ – hằng số thời gian.

Độ nhạy phức có dạng:

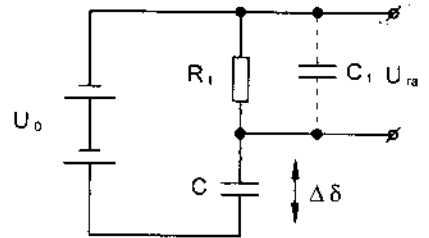
$$S = \frac{U_{ra}}{\delta} = \frac{U_0}{\delta_0} \cdot \frac{j\omega\tau}{1+j\omega\tau} \quad (11-29)$$

Biên độ độ nhạy:

$$|S| = S'_0 \frac{\omega\tau}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} \quad (11-30)$$

$S'_0 = \frac{U_0}{\delta_0}$, nếu $\omega\tau \gg 1$ ta có $S = S'_0$, từ đó ta thấy mạch đo hình 11-14 sẽ

làm việc tốt khi $\omega \gg$ hoặc $\tau = R_c \gg$.



Hình 11-14. Mạch đo dịch chuyển của cảm biến

11-5. Cảm biến điện từ

Cảm biến điện từ là nhóm các cảm biến với nguyên lý hoạt động dựa trên quy luật điện từ. Đại lượng cần đo làm thay đổi giá trị điện cảm (L), hồ cảm (M), từ thông (ϕ) hoặc độ từ thẩm (μ) của lõi thép và cuộn dây

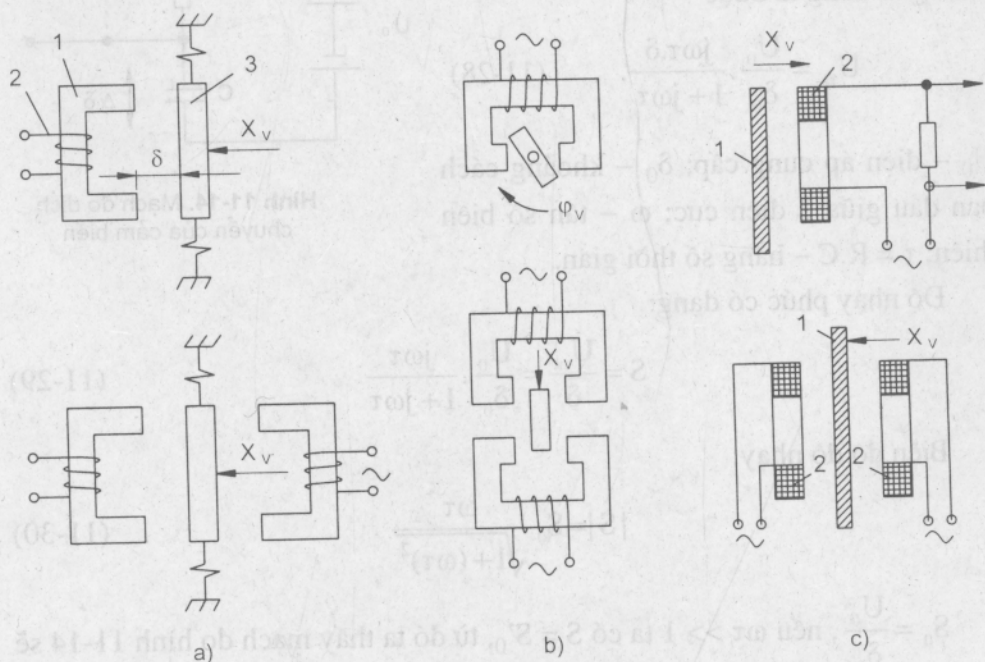
Cảm biến điện từ được phân thành: Cảm biến điện cảm, cảm biến kiểu biến áp và cảm biến cảm ứng.

11-5-1. Cảm biến điện cảm

1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cảm biến điện cảm là một cuộn dây bằng đồng có đường kính từ 0,02 mm ÷ 0,1 mm được quấn trên lõi thép có khe hở không khí (mạch từ hở) với các dạng khác nhau (hình 11-15).

Dưới tác động của đại lượng đo (X_v) (hình 11-15a) phản ứng 3 dịch chuyển làm cho khe hở không khí δ thay đổi kéo theo từ trở của mạch từ (R_m) thay đổi và điện cảm L (hoặc tổng trở Z) cũng thay đổi theo.



Hình 11-15. Một số dạng của chuyển đổi điện cảm

1) Lõi sắt từ; 2) Cuộn dây; 3) Phản ứng di động được; δ là khe hở không khí

Mạch từ được làm bằng thép dẫn từ như Ferit, Pecmaloi hoặc thép kỹ thuật điện.

Nếu bỏ qua điện trở thuần của cuộn dây và từ trở của lõi thép (do $R_m \ll R_\delta$) ta có:

$$L = \frac{W^2}{R_\delta} = \frac{W^2 \mu_0 S}{\delta} \quad (11-31)$$

W – số vòng cuộn dây; $R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 S}$ – từ trở của khe hở không khí;

δ – độ rộng khe hở không khí; S – tiết diện thực của khe hở không khí;
 μ_0 – độ từ thẩm không khí.

Với lượng thay đổi hữu hạn của δ và S ta có biểu thức:

$$\Delta L = \frac{W^2 \mu_0}{\delta_0} \Delta S - \frac{W^2 \mu_0 S_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \quad (11-32)$$

S_0, δ_0 – Giá trị ban đầu của S và δ khi $X_v = 0$.

Độ nhạy của cảm biến:

* Khi khe hở δ thay đổi ($S = \text{const}$) :

$$S_\delta = \frac{\Delta L}{\Delta \delta} = - \frac{L_0}{\delta_0 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right)^2} \quad (11-33)$$

* Khi S thay đổi ($\delta = \text{const}$)

$$S_S = \frac{\Delta L}{\Delta S} = \frac{L_0}{S_0} \quad (11-34)$$

$$L_0 = \frac{W^2 \mu_0 S_0}{\delta_0} - \text{giá trị điện cảm ban đầu}$$

Nếu tổng trở $Z = \omega L$

$$\text{ta có :} \quad Z = \omega L = \omega \frac{W^2 \mu_0 S}{\delta} \quad (11-35)$$

thì độ nhạy tương đối theo tổng trở.

$$S'_\delta = \frac{\Delta z \cdot z_0}{\Delta \delta \cdot \delta_0} = - \frac{1}{1 + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right)^2} \quad (11-36)$$

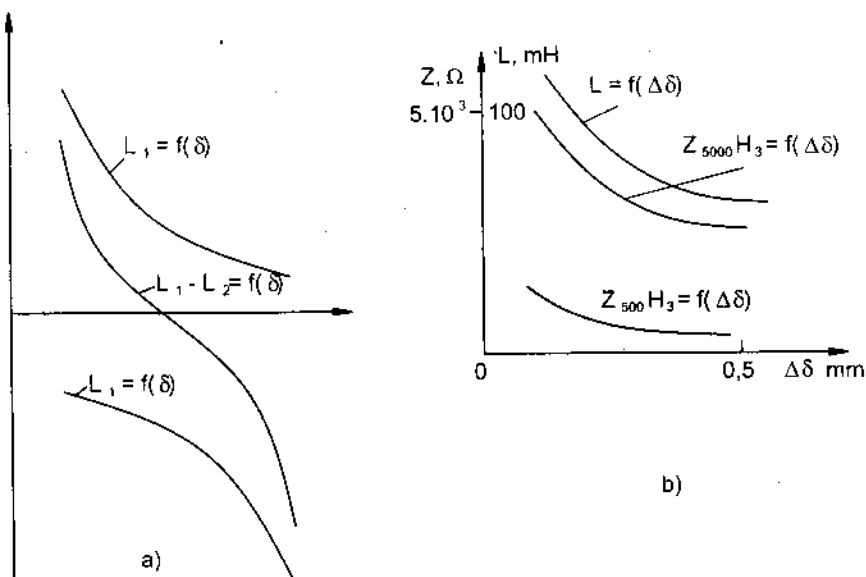
$$S'_s = \frac{\Delta z / z_0}{\Delta s \cdot s_0} = 1 \quad (11-37)$$

Z_0 – tổng trở ban đầu

Từ (11-36) cho thấy độ nhạy của cảm biến phi tuyến khi khe hở δ thay đổi và tuyến tính khi S thay đổi.

Các cảm biến điện cảm với δ thay đổi, tỷ số $\frac{\Delta \delta}{\delta_0}$ không vượt quá 0,2 đối với loại đơn và 0,4 với cảm biến mắc vi sai và độ phi tuyến không vượt quá 1%.

Hình 11-16 là đặc tính của cảm biến $L = f(\delta)$ và $Z = f(\delta)$ với các tần số của nguồn kích thích khác nhau.



Hình 11-16. a) Đặc tính của cảm biến điện cảm $L = f(\delta)$

2. Cảm biến có lõi từ dịch chuyển

Hình 11-17a là cấu tạo của cảm biến có lõi thép dịch chuyển gồm mạch từ 1 dạng hình ống, cuộn dây 2 quấn phía ngoài và lõi thép 3. Nguyên lý hoạt động của cảm biến cũng giống như trên. Khi có đại lượng đo tác động, lõi 3 dịch chuyển và điện cảm của cuộn dây thay đổi

$$L = L_0 + L_1 + 2M. \quad (11-38)$$

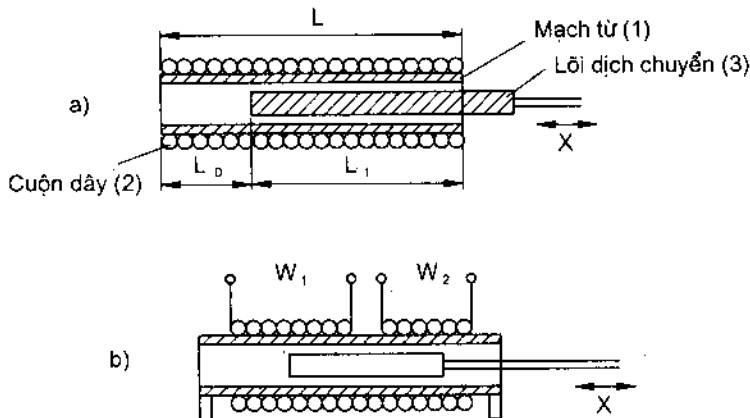
trong đó L – điện cảm toàn phần; L_0 – điện cảm phần không có lõi thép; L_1 – điện cảm phần có lõi thép; M – hệ số. $M = k\sqrt{L_0 \cdot L_1}$; k – hệ số ghép nối $0 \leq k \leq 1$.

Với
$$L_0 = \mu_0 \cdot \frac{W^2}{l^2} S_0 l_0 = \mu_0 \frac{W^2}{l^2} S_0 (l - l_1) \quad (11-39)$$

$$L_1 = \mu_0 \cdot \frac{W^2}{l^2} \{S_0 + (\mu_t - 1)S\} l_1$$

ta có

$$L = \mu_0 \cdot \frac{W^2}{l^2} \left[S_0 l + (\mu_t - 1)S l_1 + 2k \sqrt{S_0 [S_0 + (\mu_t - 1)S]} \cdot \sqrt{(l - l_1) l_1} \right] \quad (11-40)$$



Hình 11-17. a) Cấu tạo của cảm biến điện cảm đơn; b) Điện cảm mắc vi sai

Với độ dịch chuyển Δl_1 của lõi 3 làm cho điện cảm thay đổi một lượng ΔL . Điện cảm phụ thuộc vào độ dài l_1 và là hàm phi tuyến của Δl_1 . Để

tăng độ tuyến tính của đặc tính người ta thường sử dụng phương pháp mắc vi sai như hình 11-17b.

11-5-2. Cảm biến hồ cảm (Biến áp)

1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cảm biến hồ cảm giống như điện cảm về cấu tạo mạch từ và hình dạng, chỉ khác ở chỗ ngoài cuộn dây kích thích (sơ cấp) còn có thêm cuộn dây đo (thứ cấp) như hình 11-18. Nguyên lý hoạt động của cảm biến dựa trên hiện tượng điện từ. Khi có đại lượng vật lý tác động, làm cho lõi động di chuyển, khe hở không khí δ thay đổi và từ trở R_m thay đổi do đó từ thông ϕ móc vòng qua cuộn dây thứ cấp (W_2) thay đổi tạo nên sức điện động hồ cảm

$$e = -W_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (11-41)$$

W_2 – số vòng cuộn thứ cấp; ϕ – từ thông móc vòng qua W_2

$$\phi = \frac{iW_1}{R_\delta} = \frac{W_1\mu_0 S}{\delta} i \quad (11-42)$$

i – dòng điện kích thích đi qua cuộn W_1 ; W_1 – cuộn sơ cấp.

Mà $i = I_m \sin \omega t$, ta có:

$$e = -W_2 \frac{d\phi}{dt} = \frac{-W_2 \cdot W_1 \mu_0 S}{\delta} \omega I_m \cos \omega t \quad (11-43)$$

Giá trị hiệu dụng của sức điện động

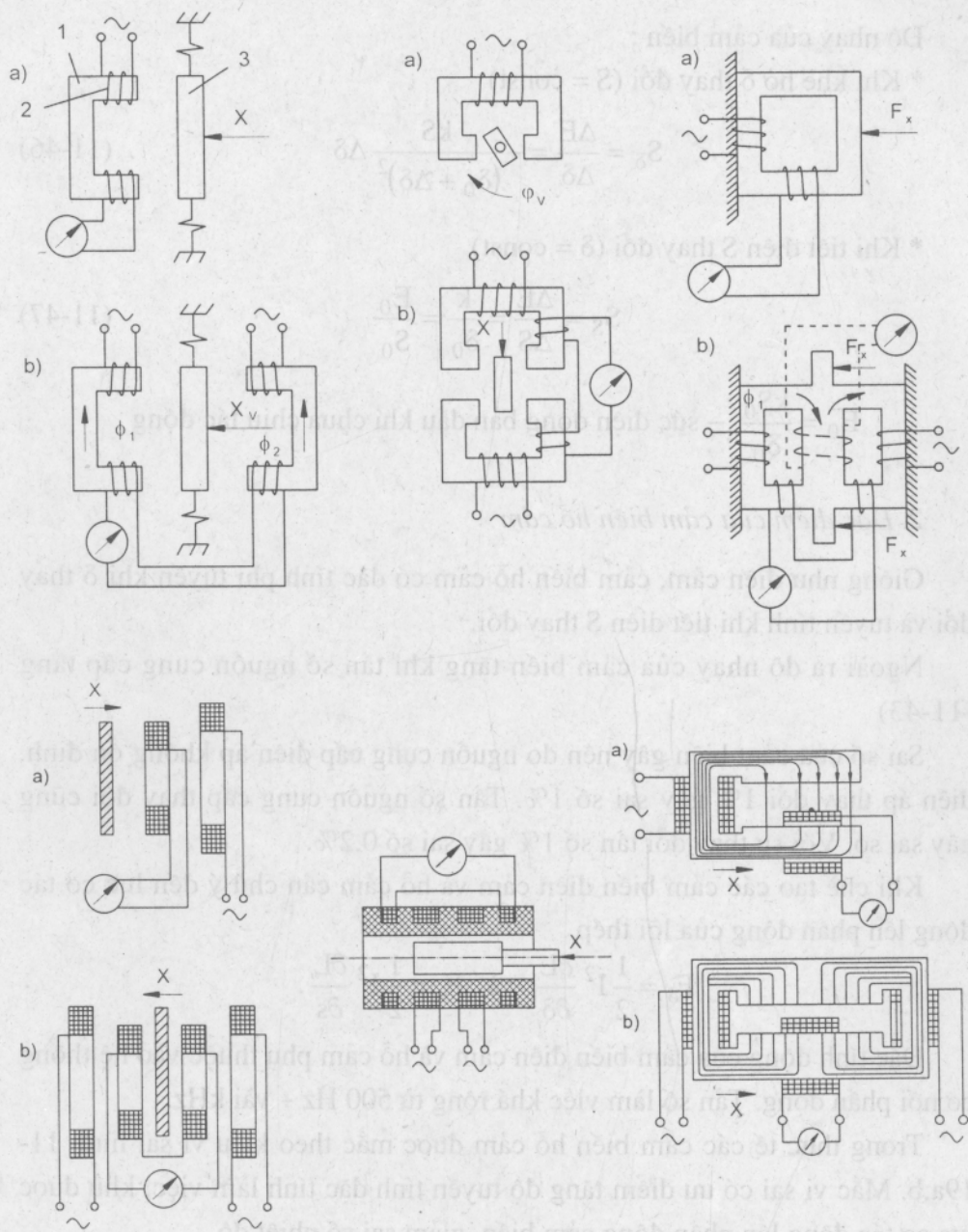
$$E = \frac{W_2 \cdot W_1 \mu_0 \omega I S}{\delta} = k \frac{S}{\delta} \quad (11-44)$$

$k = W_2 \cdot W_1 \mu_0 \cdot \omega I$ – hệ số;

S – tiết diện cực từ (khe hở không khí); δ – độ rộng khe hở.

Với sự thay đổi của S và δ do tác động của đại lượng đo ta có biểu thức

$$\Delta E = k \frac{\Delta S}{\delta_0} - k S \frac{\Delta \delta}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \quad (11-45)$$



Hình 11-18. Các cảm biến kiểu hồ cảm
a) Các cảm biến đơn; b) Kiểu vi sai

100-30300

* Khi khe hở δ thay đổi ($S = \text{const}$)

$$S_{\delta} = \frac{\Delta E}{\Delta \delta} = - \frac{kS}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \quad (11-46)$$

* Khi tiết diện S thay đổi ($\delta = \text{const}$)

$$S_S = \frac{\Delta E}{\Delta S} = \frac{k}{\delta_0} = \frac{E_0}{S_0} \quad (11-47)$$

$$E_0 = \frac{kS_0}{\delta_0} - \text{sức điện động ban đầu khi chưa chịu tác động}$$

2. Đặc điểm của cảm biến hồ cảm

Giống như điện cảm, cảm biến hồ cảm có đặc tính phi tuyến khi δ thay đổi và tuyến tính khi tiết diện S thay đổi.

Ngoài ra độ nhạy của cảm biến tăng khi tần số nguồn cung cấp tăng
(11-43)

Sai số của cảm biến gây nên do nguồn cung cấp điện áp không ổn định, điện áp thay đổi 1% gây sai số 1%. Tần số nguồn cung cấp thay đổi cũng gây sai số. Với sự thay đổi tần số 1% gây sai số 0,2%.

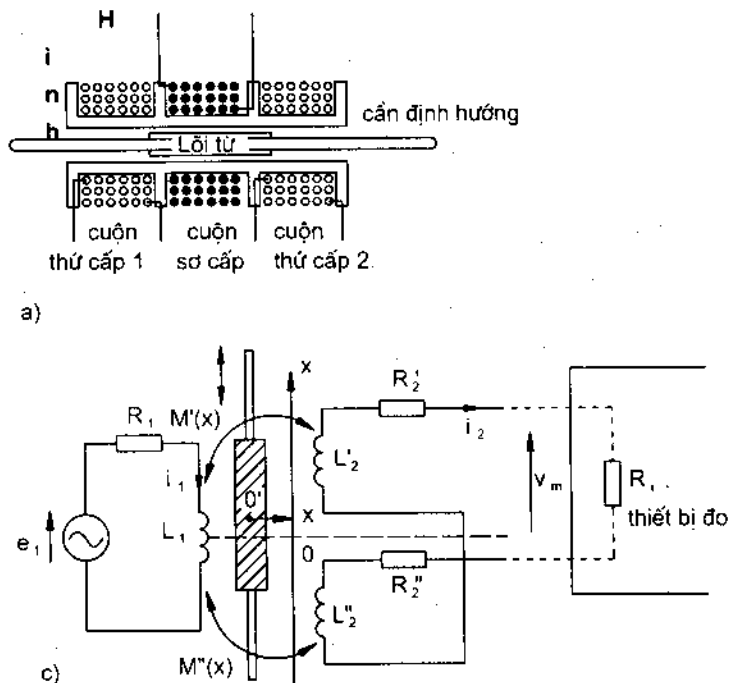
Khi chế tạo các cảm biến điện cảm và hồ cảm cần chú ý đến lực cơ tác động lên phần đông của lõi thép.

$$F_{\delta} = \frac{1}{2} I^2 \frac{\partial L}{\partial \delta} \quad \text{và} \quad F_s = \frac{1}{2} I^2 \frac{\partial L}{\partial s}.$$

Đặc tính động của cảm biến điện cảm và hồ cảm phụ thuộc vào hệ thống cơ nối phân động. Tần số làm việc khá rộng từ 500 Hz ÷ vài kHz.

Trong thực tế các cảm biến hồ cảm được mắc theo kiểu vi sai hình 11-19a,b. Mắc vi sai có ưu điểm tăng độ tuyến tính đặc tính làm việc, khử được lực cơ tác động lên phần động cảm biến, giảm sai số nhiệt độ.

Hai cuộn dây thứ cấp W_2 và W'_2 được mắc ngược cực nhau để sức điện động sinh ra e_2 và e'_2 triệt tiêu nhau.



Hình 11-19. Nguyên lý cấu tạo của cảm biến hồ cảm vi sai

- a) Dạng dịch chuyển thẳng
- b) Dạng dịch chuyển quay tròn
- c) Sơ đồ mạch điện tương đương

Nếu gọi e_1 là nguồn áp sơ cấp

$$e_1 = E_{1m} \cos \omega t. \quad (11-48)$$

Khi lõi thép nằm giữa hai cuộn W_2 và W'_2 ($X_v = 0$) sức điện động sinh ra $e_2 = e'_2$ và $U_{ra} = e_2 - e'_2 = 0$.

Khi lõi thép dịch chuyển một đoạn x làm thay đổi từ thông móc vòng vào W_2 và W'_2 . Từ sơ đồ 11-19c ta có phương trình biểu diễn quan hệ giữa mạch sơ cấp và thứ cấp như sau:

$$E_1 = (R_1 + j\omega L_1)i_1 + j\omega(M'_{(x)} - M''_{(x)})i_2. \quad (11-49)$$

và

$$\left[R'_2 + R''_2 + R_L + j\omega(L'_2 + L''_2) \right] i_2 + j\omega(M'_{(x)} - M''_{(x)})i_1 = 0 \quad (11-50)$$

ta có

$$U_{ra} = i_2 R_t \quad (11-51)$$

Từ (11-49) và (11-50) thay vào (11-51) ta được

$$U_{ra} = \frac{j\omega R_t [M''_{(x)} - M'_{(x)}] e_1}{R_1(R_2 + R_1) + j\omega [L_2 R_1 + L_1(R_2 + R_1)] - \omega^2 [L_1 L_2 + (M'_{(x)} - M''_{(x)})^2]} \quad (11-52)$$

Khi $R_t > 50k\Omega$, điện áp ra tuyến tính với $M''_{(x)} - M'_{(x)}$ và không phụ thuộc vào điện trở tải (R_1) do đó

$$U_{ra} = \frac{j\omega (M''_{(x)} - M'_{(x)}) e_1}{R_1 + j\omega L_1} \quad (11-53)$$

trong đó $R_2 = R'_2 + R''_2$; $L_2 = L'_2 + L''_2$.

Nếu $M'_{(x)}$ và $M''_{(x)}$ biểu diễn dưới dạng

$$M'_{(x)} = M_{(0)} + ax + bx^2 + \dots$$

$$M''_{(x)} = M_{(0)} - ax + bx^2 + \dots$$

ta có $M''_{(x)} - M'_{(x)} = -2ax$ và

$$U_{ra} = \frac{-j\omega a e_1}{R_1 + j\omega L_1} x \quad (11-54)$$

x – độ dịch chuyển của lõi thép; a – hệ số.

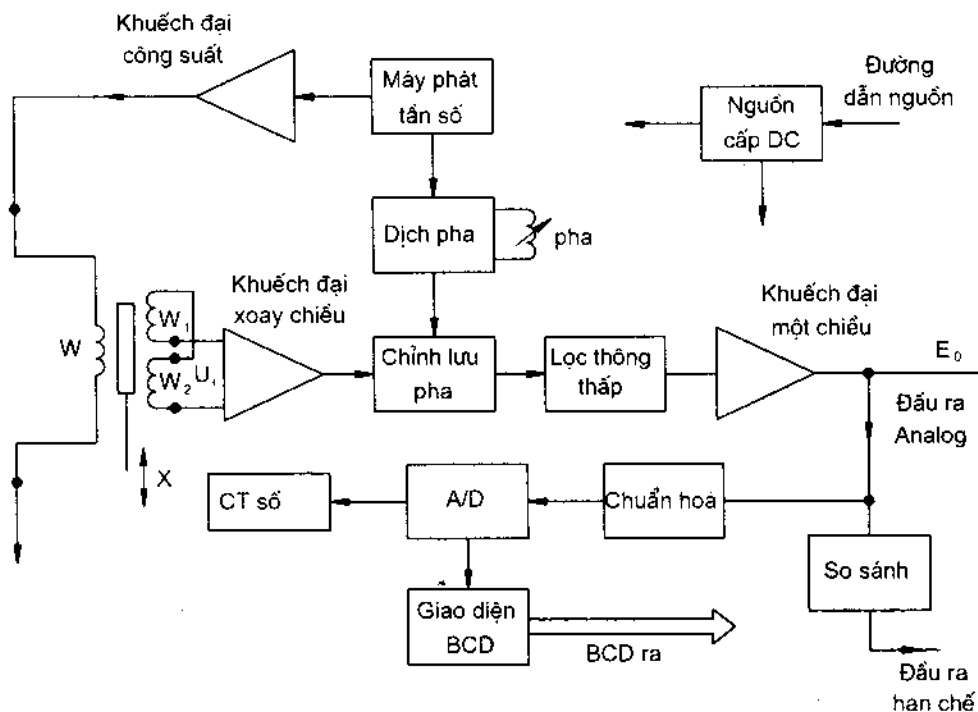
11-5-3. Ứng dụng của cảm biến điện cảm và hồ cảm

Do đặc điểm và cấu tạo của hai loại cảm biến điện cảm và hồ cảm giống nhau nên chúng được ứng dụng đo các đại lượng vật lý như nhau. Sau đây là một số ứng dụng thường gặp.

1. Đo độ dịch chuyển:

Hình 11-20 mô tả sơ đồ ứng dụng cảm biến hồ cảm đo dịch chuyển. Cung cấp điện áp cho mạch sơ cấp cảm biến là một máy phát hình sin tần số

1.5 kHz. Điện áp ra của cảm biến được đưa vào khuếch đại xoay chiều sau đó qua chỉnh lưu nhảy pha và lọc thông thấp để được điện áp một chiều.



Hình 11-20. Sơ đồ khối mạch ứng dụng cảm biến hồ cảm đo dịch chuyển

Tín hiệu một chiều được khuếch đại để tăng độ lớn với điện áp E_0 đưa ra chỉ thị Analog.

Nếu thể hiện kết quả dưới dạng số, tín hiệu ra được đưa qua mạch chuẩn hóa đến bộ biến đổi A/D và hiển thị dưới dạng số, mặt khác có thể gửi tín hiệu đo được qua một hệ thống khác với mạch giao tiếp dạng BCD (hình 11-20).

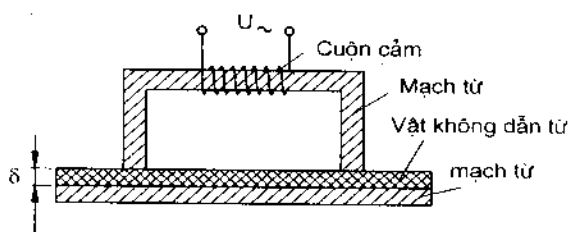
Bộ so sánh thực hiện điều khiển "dịch chuyển/không dịch chuyển" với hai giới hạn điều chỉnh được cho hệ thống.

2. Đo độ dày của vật không dẫn từ

Hình 11-21 là sơ đồ nguyên lý của cảm biến điện cảm đo độ dày của vật không dẫn từ. Trong đó độ dày được xác định như khe hở giữa hai phần mạch từ (δ) và điện cảm L được xác định như công thức (11-31)

$$L = \frac{W^2 \cdot \mu_c S}{\delta}$$

μ_c – độ từ thẩm của vật liệu không dẫn từ; δ – chiều dày của vật

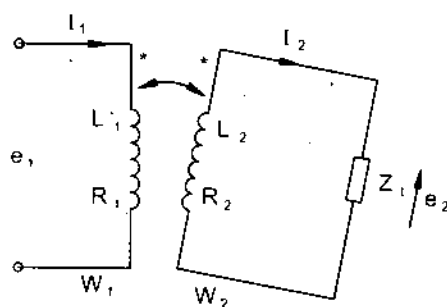


Hình 11-21. Ứng dụng cảm biến điện cảm đo độ dày vật không dẫn từ

11-5-4. Cảm biến điện từ đo vị trí: Synchro, Resolver

1. Synchro

Synchro là một loại cảm biến đo vị trí và độ dịch chuyển. Giống như cảm biến hồ cảm (biến áp), Synchro gồm có cuộn dây sơ cấp và thứ cấp, cấu tạo được thực hiện như một motor xoay chiều. Cuộn sơ cấp quấn trên rôto có thể quay quanh trục, các cuộn thứ cấp quấn trên stator ở các vị trí lệch nhau 120° .



Hình 11-22. Sơ đồ nguyên lý của synchro 1 pha

Nguyên lý làm việc của Synchro dựa trên hiện tượng điện từ trường. Hình 11-22 là sơ đồ nguyên lý cơ bản của cảm biến Synchro, trong đó có cuộn sơ cấp và thứ cấp. Giả sử cuộn sơ cấp được cung cấp một điện áp xoay chiều e_1 , giữa hai cuộn dây dưới tác động của điện trường sẽ tạo ra một hồ cảm

$$M_{12} = W_2 \frac{d\phi_2}{dI_1}$$

W_2 – số vòng cuộn thứ cấp; ϕ_2 – từ thông móc vòng qua cuộn thứ cấp;

I_1 – dòng điện kích thích qua cuộn thứ cấp.

Mà

$$\phi_2 = B \cdot S = BS \cos \alpha = \mu HS \cos \alpha = \mu \cdot \frac{W_1 I_1}{l} S \cos \alpha \quad (11-55)$$

S – tiết diện cuộn sơ cấp; W_1 – số vòng dây cuộn sơ cấp;

l – chiều dài cuộn dây W_1 ; μ – độ từ thẩm của lõi;
 α – góc lệch giữa cuộn W_1 và W_2 , do đó

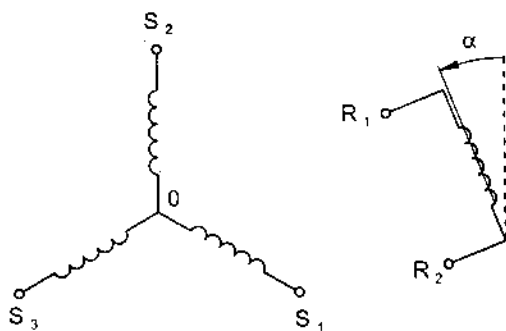
$$M_{12} = W_2 \cdot W_1 \cdot \frac{\mu}{l} S \cdot \cos \alpha = M \cos \alpha \quad (11-56)$$

Khi cuộn thứ cấp hở mạch và nguồn cung cấp cho cuộn sơ cấp là điện áp hình sin có tần số ω , ta có sức điện động ở cuộn thứ cấp là:

$$E_2 = I_1 \cdot M_{12} \omega = \omega I_1 M \cos \alpha \sin \omega t = k \cos \alpha \sin \omega t. \quad (11-57)$$

Từ (11-57) ta thấy điện áp ra có cùng tần số với điện áp kích thích nhưng biên độ phụ thuộc góc lệch giữa các cuộn dây.

Trong công nghiệp và các hệ thống điều khiển người ta thường thực hiện trong mạch điện 3 pha. Cấu tạo gồm có rôto làm bằng vật liệu sắt từ, stato được quấn 3 cuộn dây lệch nhau 120° . Dòng điện đưa vào Rôto qua vành trượt hoặc chổi tiếp xúc.



Hình 11-23. Sơ đồ nguyên lý của Synchro 3 pha

Thường điện áp cung cấp có tần số 50 Hz, 60Hz, 400Hz hoặc

260Hz. Hình 11-23 là sơ đồ nguyên lý của một Synchro 3 pha.

Điện áp tạo ra ở mỗi cuộn dây Stator khi có điện áp kích thích đặt vào rôto là:

$$e_{s10} = k_1 \cos(\omega t + \phi_1) \cos(\alpha + 120^\circ) \quad (11-58)$$

$$e_{s20} = k_2 \cos(\omega t + \phi_2) \cos(\alpha) \quad (12-59)$$

$$e_{s30} = k_3 \cos(\omega t + \phi_3) \cos(\alpha + 120^\circ) \quad (11-60)$$

giả sử $\phi_1 = \phi_2 = \phi_3$ và $k_1 = k_2 = k_3$ thì:

$$e_{s13} = e_{s30} - e_{s10} = \sqrt{3} \cos \omega t \sin \alpha \quad (11-61)$$

$$e_{s32} = e_{s20} - e_{s30} = \sqrt{3} \cos \omega t \sin(\alpha + 120^\circ) \quad (11-62)$$

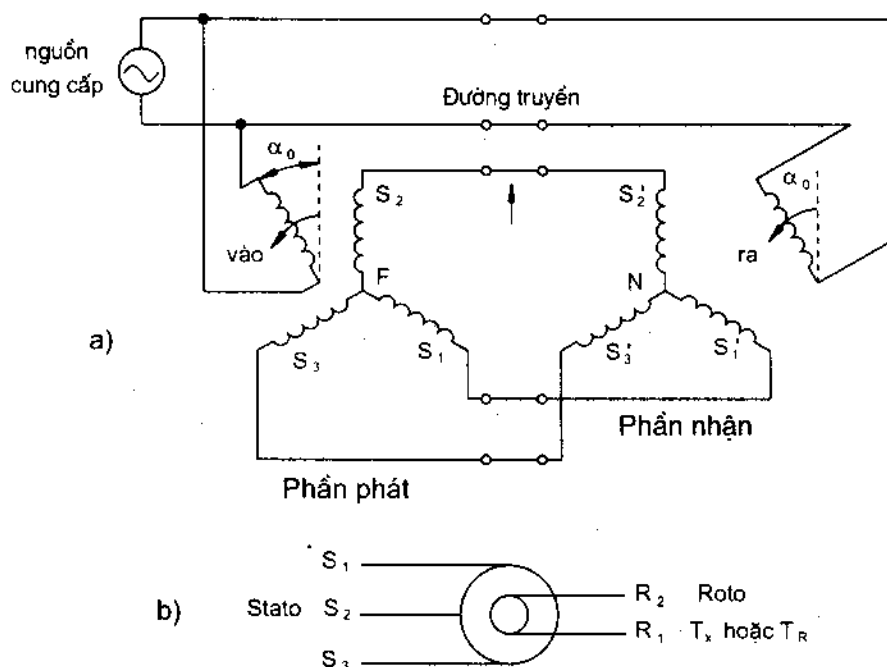
$$e_{s21} = e_{s10} - e_{s20} = \sqrt{3} \cos \omega t \sin(\alpha + 240^\circ) \quad (11-63)$$

Từ các công thức trên ta thấy điện áp ra giữa các pha có biên độ tỷ lệ với góc lệch α của cuộn rôto.

Bảng 11-2. Cho thấy đặc tính của Synchro 26V – 08 CX4C.

Bảng 11-2

Thông số	Số	Đơn vị
Tần số	400	Hz
Điện áp vào (Rôto)	26	v
dòng vào max	133	mA
công suất vào max	0,7	w
Tổng trở vào với đầu ra hở mạch	192/79	Ω^0
Tổng trở ra với đầu vào hở mạch	39,3/70,5	Ω^0
U/ áp ra	11,8	v
Tỷ số biến đổi	$0,454 \pm 0,009$	-
Độ nhảy	206	mV/ 0
Độ dịch pha	8,5	0
U/ áp ra ở vị trí zêro	30	mV
Sai số lớn nhất	7	phút



Hình 11-24. Sơ đồ nguyên lý của Synchro đo mômen quay

Trong hệ thống đo lường người ta thường dùng hai loại: Synchro mômen quay và Synchro điều khiển.

Với Synchro đo mômen quay cấu tạo gồm hai phần, cách nối phần phát và phần nhận mômen như hình 11-24a và ký hiệu của nó hình 11-24b.

Các rôto phát và nhận đều được cung cấp với một điện áp và có cùng dòng điện chạy qua, do vậy điện áp trên các cuộn stato của synchro phát và nhận giống nhau. Khi rôto của Synchro phát quay đi 1 góc α , với tác động lực điện từ rôto của Synchro nhận cũng quay đi một góc tương ứng

2. Resolver

Resolver là loại cảm biến giống như synchro nhưng các cuộn dây quấn trên rôto và stato đặt lệch nhau 90° (1 cuộn dây rôto và 2 cuộn stato).

Tùy thuộc vào cách nối, chúng được dùng với mục đích khác nhau và được phân thành hai loại: Resolver vectơ và Resolver điện.

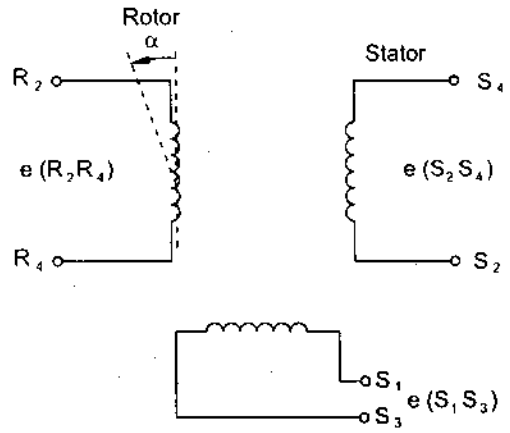
* Resolver vectơ có sơ đồ nguyên lý như hình 11-25.

Trong đó cuộn dây Rotor hoạt động như cuộn sơ cấp và cuộn Stator là cuộn thứ cấp.

Điện áp ra ở cuộn thứ cấp

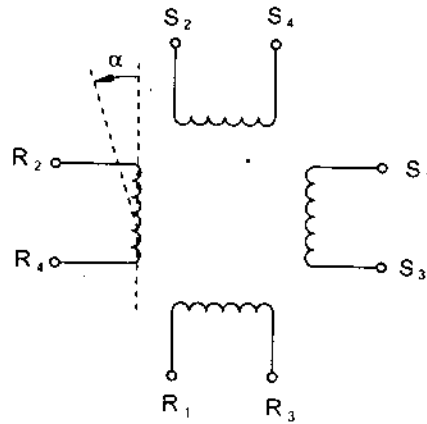
$$e_{S13} = K \cos \omega t \sin \alpha. \tag{11-64}$$

$$e_{S24} = K \cos \omega t \cos \alpha. \tag{11-65}$$



Hình 11-25. Sơ đồ nguyên lý của Resolver vectơ

* Resolver phát điện có 2 cuộn rôtor và 2 cuộn Stator. Các cuộn dây trên đều lệch nhau 1 góc 90° .



Hình 11-26. Sơ đồ nguyên lý của Resolver phát điện

Nó có thể chỉ dùng 1 cuộn sơ cấp hoặc 1 cuộn thứ cấp.

Thông thường 1 cuộn trên stator được ngắn mạch. Từ hình 11-26 ta có điện áp ra:

$$e_{R24} = K(e_{S13}\cos\alpha + e_{S24}\sin\alpha) \quad (11-66)$$

$$e_{R13} = K(e_{S24}\cos\alpha + e_{S13}\sin\alpha) \quad (11-67)$$

Resolver loại này được sử dụng để đo góc và biến đổi từ tọa độ cực (M, α) sang dạng vuông góc (x, y) bằng cách ngắn mạch cuộn stato (S_2, S_4) .

Từ hình 11-26 ta có

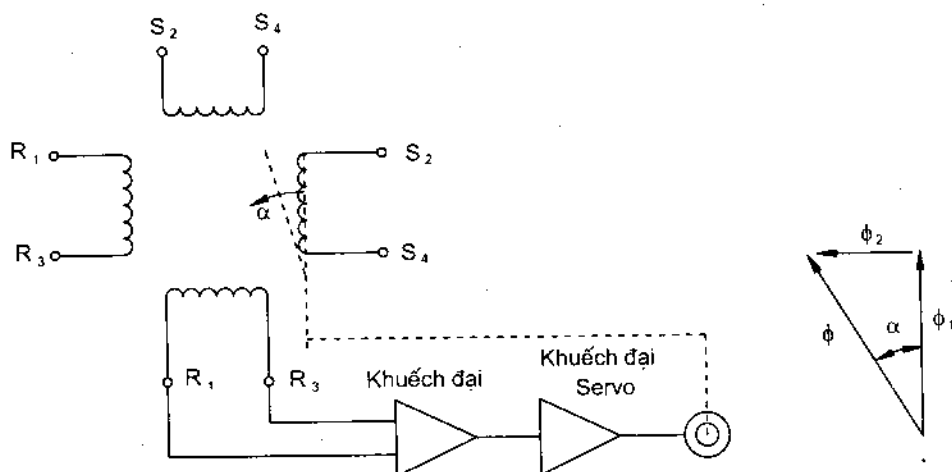
$$e_{R13} = -E_1\sin\alpha. \quad (11-68)$$

$$e_{R24} = E_1\cos\alpha. \quad (11-69)$$

nếu $E_1 = E_{1m}\cos\omega t$ (E_m tỷ lệ với M) lúc đó biên độ lớn nhất của điện áp trong Rotor chuyển thành số với x và y .

Sức điện động trong cuộn dây ngắn mạch bằng zêrô.

Trong thực tế để biến đổi từ tọa độ vuông góc (x, y) sang (M, α) cần có hệ thống phản hồi như hình 11-27.



Hình 11-27. Resolver thay đổi tọa độ vuông góc sang tọa độ cực

Điện áp ra được biểu diễn dưới dạng

$$e_{S13} = E \cos \alpha. \quad (11-70)$$

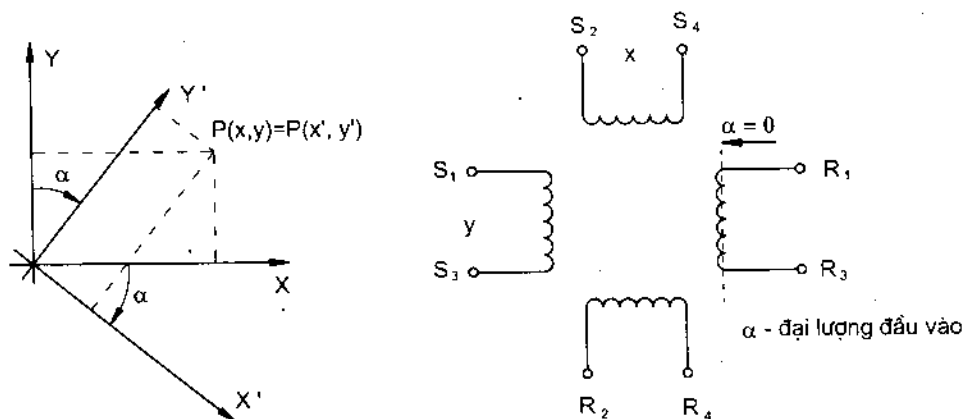
$$e_{S24} = E \sin \alpha. \quad (11-71)$$

ở cuộn dây $R_1 = R_3$ điện áp được tạo ra cho đến khi vị trí của nó vuông góc với từ thông ϕ do stato sinh ra, lúc đó cuộn dây rôto kia ($R_2 - R_4$) nhận được trị số $\phi_{\max}$ và sức điện động có giá trị lớn nhất E .

$$e_{R24} = e_{S13} \cos \alpha + e_{S24} \sin \alpha = E \quad (11-72)$$

để đạt được góc α ở dạng điện cần sử dụng một cảm biến để phát hiện trục quay.

Một ứng dụng khác nữa là dịch tọa độ



Hình 11-28. Resolver kiểu dịch tọa độ.

Từ hình 11-28 sau khi quay trục một góc α , tọa độ mới với điểm cho trước là

$$x' = x \cos \alpha - y \sin \alpha. \quad (11-73)$$

$$y' = x \sin \alpha + y \cos \alpha. \quad (11-74)$$

Do điện áp tỷ lệ với x và y của cuộn dây stator, khi quay rôto một góc α ta có điện áp tỷ lệ với x' ở một cuộn rôto và tỷ lệ với y' ở rôto khác.

Một ứng dụng khác là dịch pha thời gian với điện áp hình sin.

Giả sử điện áp của cuộn dây stato $e_{s13} = E \sin \omega t$ và cuộn kia là $e_{s24} = E \cos \omega t$ khi rôto quay đi 1 góc α . Điện áp tạo ra trên các rôto là

$$e_{R24} = E \sin(\omega t + \alpha) \quad (11-75)$$

và
$$e_{R13} = E \cos(\omega t - \alpha). \quad (11-76)$$

Bảng 11-3 cho ta một số đặc tính của Resolver loại 08RS109.

Bảng 11-3

Thông số	Số	Đơn vị
Tần số	400	Hz
Điện áp vào (rôto)	26	V
Dòng vào lớn nhất	44	mA
Công suất vào	0,41	W
Tỷ số biến đổi	1000	
Độ dịch pha	16	
Điện áp lớn nhất ở vị trí zêrô	46	mV
Mômen quán tính của rôto	80	Mg.m ²

11-6. Cảm biến Hall

11-6-1. Hiệu ứng Hall

Hiệu ứng Hall được phát hiện vào năm 1879 ở trường đại học Johns Hopkins do giáo sư E-H-Hall tìm ra.

Cảm biến Hall được sử dụng để nghiên cứu về từ trường, đo vị trí và độ dịch chuyển của các đối tượng. Hiệu ứng Hall dựa trên sự ảnh hưởng lẫn

nhau (tác động qua lại) giữa các điện tích chuyển động và từ trường bên ngoài. Khi một electron chuyển động qua từ trường sẽ tạo ra một lực

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (11-77)$$

trong đó:

q – điện tích của điện tử ($q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$);

$\vec{v}$ – tốc độ chuyển động của electron;

$\vec{B}$ – độ từ cảm; đơn vị là Tesla = 1 Newton/Ampermet = 10^4 gauss.

$\vec{F}$ – hướng lực và độ lớn phụ thuộc vào B và tốc độ v .

Hình 11-29 là cấu tạo của một cảm biến Hall. Trong đó AB là đầu dòng điện, CD là đầu áp.

Cảm biến được đặt trong từ trường B .

Do có từ trường B xuyên qua cảm biến tạo nên lực kéo các điện tử chuyển động về một phía (phía bên phải) của thanh dẫn tạo nên điện thế âm hơn phía bên trái và hiệu điện thế U_H được thiết lập.

Độ lớn của U_H phụ thuộc cường độ từ trường và hướng đi của từ trường và dòng điện. Với nhiệt độ cố định

$$U_H = hIB \sin \alpha \quad (11-78)$$

α – góc lệch giữa vector $\vec{B}$ và bề mặt của cảm biến (hình 11-30);

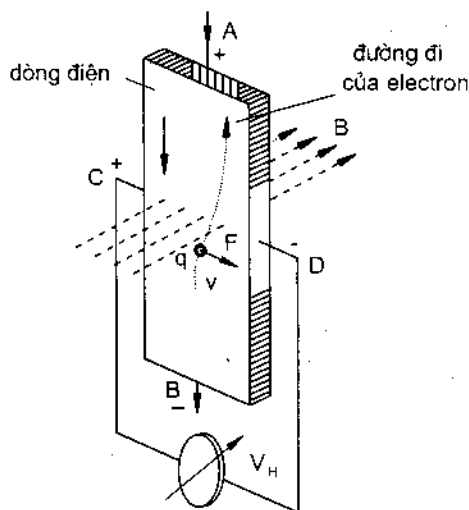
h – hệ số phụ thuộc vật liệu của cảm biến, kích thước và nhiệt độ

Độ nhạy của cảm biến phụ thuộc vào số điện tử tự do của vật liệu

Hệ số Hall được tính:

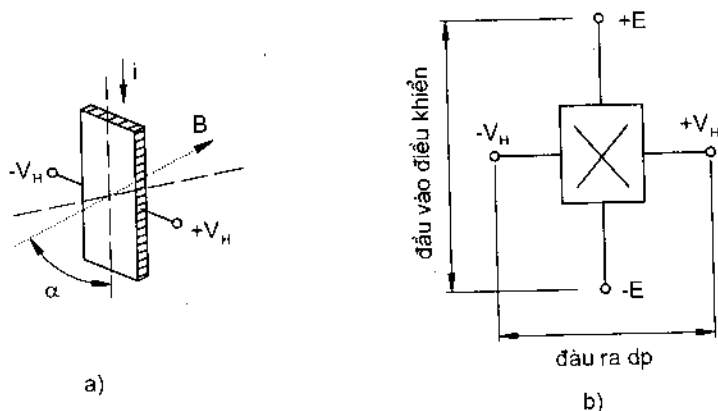
$$H = \frac{1}{Ncq} \quad (11-79)$$

N – số điện tử tự do trên đơn vị thể tích;



Hình 11-29. Cấu tạo của cảm biến Hall

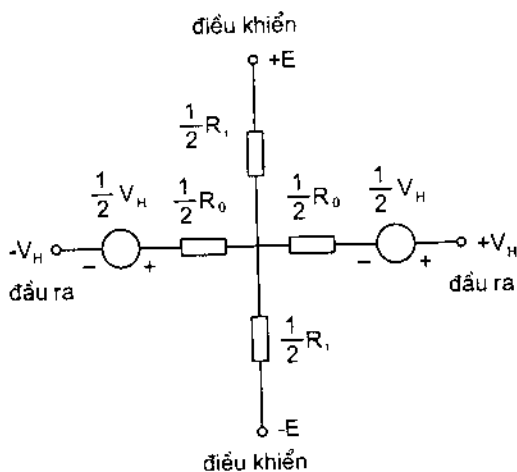
c – tốc độ ánh sáng ; q – điện tích.



Hình 11-30. Sơ đồ ký hiệu của cảm biến Hall

Tùy thuộc vào cấu trúc của vật liệu mà sự di chuyển có thể là các điện tử (negative) hoặc lỗ trống (positive) do đó hiệu ứng Hall có thể là negative hoặc positive.

Cảm biến Hall thường được bọc kín có 4 đầu ra. Hai đầu nối với nguồn cung cấp được gọi là đầu dòng và gọi là đầu điều khiển. Điện trở giữa chúng gọi là điện trở điều khiển R_i (hình 11-31). Hai đầu kia là 2 đầu điện áp, điện trở giữa chúng gọi là điện trở ra (R_0)



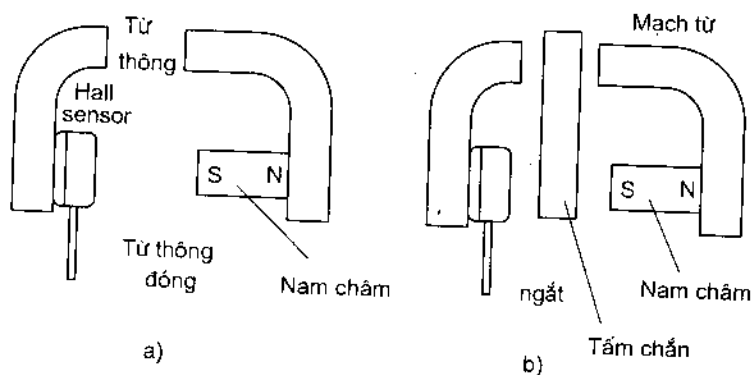
Hình 11-31. Sơ đồ mạch tương đương của cảm biến Hall

Mạch điện (hình 11-31) là mạch tương đương của cảm biến.

11-6-2. Ứng dụng

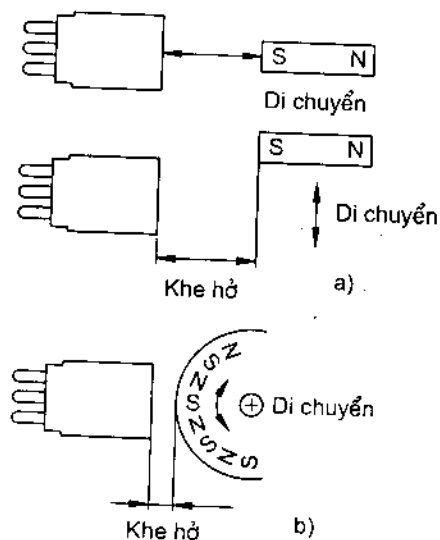
1. Ứng dụng cảm biến Hall trong thiết bị đóng ngắt mạch điện. Hình 11-32 là sơ đồ ứng dụng cảm biến Hall làm thiết bị đóng ngắt mạch điện.

180-3-802
 200-8-001



Hình 11-32. Ứng dụng của cảm biến Hall đóng cắt mạch điện

Trong đó gồm cảm biến Hall, nam châm vĩnh cửu để tạo từ thông ϕ , mạch từ và tấm chắn làm bằng vật liệu không dẫn từ. Tấm chắn có thể quay quanh trục hoặc dịch chuyển thẳng. Khi tấm lá chắn quay ra khỏi vùng nam châm, từ thông ϕ do nam châm tạo ra xuyên qua cảm biến, lúc đó có dòng điện và điện áp ra đóng role tiếp điểm, thiết bị ở trạng thái đóng (h. 11-32a). Khi là chắn dịch chuyển chắn dòng từ thông ϕ qua cảm biến lúc đó thiết bị ở trạng thái ngắt (hình 11-32b)



Hình 11-33. Ứng dụng cảm biến Hall.
 a) Đo dịch chuyển thẳng ; b) Đo dịch chuyển góc

Hình 11-33 cho ta thấy ứng dụng của cảm biến Hall đo dịch chuyển (h. 11-33a) và đo tốc độ quay của một vật (h. 11-33b). Bảng 11-3 cho một số đặc tính của cảm biến Hall thường dùng.

Bảng 11-3. Đặc tính của cảm biến Hall

Bảng 11-3

Dòng điều khiển	3 mA
Điện trở điều khiển, R_i	2,2 K Ω
Điện trở ra vi sai	4,4 K Ω
Điện áp offsetra	5.0 mV (với B = 0gaus)
Độ nhạy	60 μ V/ gaus
Mật độ từ thông max, B	Không hạn chế.
Độ nhạy theo nhiệt độ	+ 0,1% / $^{\circ}$ C

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 11

1. Trình bày cấu tạo, nguyên lí làm việc của cảm biến kiểu biến trở
2. Nêu đặc điểm của cảm biến kiểu biến trở và các mạch đo ứng dụng
3. Trình bày cấu tạo của cảm biến quang dẫn và ưu nhược điểm của cảm biến
4. Trình bày ứng dụng của cảm biến quang đo độ dịch chuyển:
 - Đo dịch chuyển bằng thước khắc vạch (Encodertăng)
 - Đo độ dịch chuyển bằng tia laze
 - Đo độ dịch chuyển bằng thước mã hoá (encoder tuyệt đối)
5. Nêu cấu tạo, nguyên lí làm việc, đặc điểm và mạch đo của cảm biến điện dung
6. Phân loại cảm biến điện từ. Trình bày cấu tạo, nguyên lí làm việc của cảm biến điện cảm và hồ cảm
7. Nêu đặc điểm và các ứng dụng của cảm biến điện cảm, hồ cảm.
8. Trình bày nguyên lí làm việc và ứng dụng của cảm biến Synchro, Resolver để đo vị trí và độ dịch chuyển.
9. Cảm biến Hall: Nêu cấu tạo, nguyên lí làm việc và các ứng dụng.

CHƯƠNG XII

CẢM BIẾN ĐO BIẾN DẠNG, LỰC, TRỌNG LƯỢNG VÀ ÁP SUẤT

Trong quá trình nghiên cứu cơ lý tính của các vật, các kết cấu cơ học đối với ngành chế tạo máy cũng như các ngành khác, quá trình đo biến dạng, lực, ứng suất và áp suất chiếm một khối lượng tương đối lớn.

Các đại lượng trên có thể thực hiện với các phương pháp đo giống nhau vì vậy các cảm biến đo biến dạng không chỉ giới hạn ở việc đo ứng lực cơ học mà qua đó có thể xác định các đại lượng cơ học khác như lực, áp suất, trọng lượng v.v...

Chương này sẽ trình bày nguyên lý chung của các cảm biến đo biến dạng, lực, ứng suất và áp suất.

12-1. Đo biến dạng

12-1-1. Khái niệm chung

- *Độ biến dạng* là tỷ số giữa sự biến thiên kích thước Δl và kích thước ban đầu l của vật.

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} \quad (12-1)$$

- *Biến dạng gọi là đàn hồi* khi ứng lực mất đi thì biến dạng cũng không còn.

- *Giới hạn đàn hồi* là ứng lực tối đa không gây nên biến dạng cố định có giá trị lớn hơn 0,2%. Độ lớn của giới hạn đàn hồi được đo bằng Kg lực/mm².

Đối với thép, giới hạn đàn hồi từ 20 ÷ 80, đồng từ 3 ÷ 12 và chì từ 0,4 ÷ 1.

1.009.50.

- Theo định luật Hooke, trong vùng giới hạn đàn hồi, ứng lực tỷ lệ với biến dạng do nó gây nên.

Modun đàn hồi E xác định biến dạng theo phương của ứng lực

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \quad (12-2)$$

với

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (12-3)$$

Trong đó σ - ứng lực; F - lực tác động (Kg lực); S - diện tích (mm²)
Đơn vị đo môđun đàn hồi là kg lực/mm².

Ví dụ: Thép 1800 ÷ 29000
Đồng 9900 ÷ 14000
Chì 500 ÷ 14000.

Phép đo biến dạng và ứng lực thực tế là một, đó là đo Δl hoặc $\frac{\Delta l}{\epsilon_1}$ Đo

ứng lực và biến dạng có thể sử dụng các cảm biến khác nhau, thông thường dùng cảm biến áp trở.

Phạm vi đo biến dạng tương đối $\Delta l/l$ bằng cảm biến áp trở từ 0,005 ÷ 0,02% hoặc từ 1,5 ÷ 2%.

12-1-2. Cảm biến áp trở

1. Nguyên lý hoạt động

Khi vật dẫn chịu biến dạng cơ học mà điện trở của nó thay đổi, hiện tượng đó được gọi là hiệu ứng áp trở (Piezo resistive effect). Cảm biến có nguyên lý hoạt động dựa trên hiệu ứng đó gọi là cảm biến áp trở.

Như ta đã biết, điện trở của một vật dẫn được biểu diễn bằng biểu thức

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (12-4)$$

Do chịu ảnh hưởng của biến dạng nên điện trở của cảm biến bị thay đổi một lượng ΔR . Ta có:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho} - \frac{\Delta S}{S} \quad (12-5)$$

Nếu gọi

$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R}$ – lượng biến thiên tương đối của điện trở khi bị biến dạng

$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$ – lượng biến thiên tương đối theo chiều dài.

$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta \rho}{\rho}$ – lượng biến thiên tương đối theo điện trở suất.

$\varepsilon_S = \frac{\Delta S}{S}$ – lượng biến thiên tương đối theo tiết diện.

ta có thể viết lại dưới dạng

$$\varepsilon_R = \varepsilon_l + \varepsilon_\rho - \varepsilon_S. \quad (12-6)$$

Trong cơ học ta đã biết

$$\varepsilon_S = -2k_p \varepsilon_l \quad (12-7)$$

(k_p – hệ số poisson) và

$$\varepsilon_\rho = c \varepsilon_v \quad (12-8)$$

c – hệ số Bridman; v – thể tích;

$\varepsilon_v = \frac{\Delta v}{v}$ – lượng biến thiên tương đối theo thể tích

Mặt khác

$$\varepsilon_v = (1 + 2k_p) \varepsilon_l \quad (12-9)$$

do đó

$$\varepsilon_\rho = c(1 + 2k_p) \varepsilon_l = m \varepsilon_l \quad (12-10)$$

m – hệ số.

Từ các biểu thức (12-6), (12-7) và (12-10) ta được

$$\varepsilon_R = \varepsilon_l (1 + 2k_p + m) = K \varepsilon_l. \quad (12-11)$$

K – hệ số và gọi là độ nhạy của cảm biến áp trở.

- Với vật liệu lỏng (Thủy ngân, chất điện phân), nếu gọi $V = l \cdot S$ không thay đổi trong quá trình biến dạng, với $k_p = 0,5$ và bỏ qua hệ số m (do m có giá trị rất nhỏ) ta có $K = 2$.

- Với kim loại: $k_p = 0,24 \div 4$ ta có hệ số $K = 0,5 \div 4$.

- Với chất bán dẫn: quan hệ giữa điện trở suất ρ và ứng lực σ được biểu diễn bằng biểu thức

$$\varepsilon_p = k_1 \sigma = k_1 E \varepsilon_l = m \varepsilon_l. \quad (12-12)$$

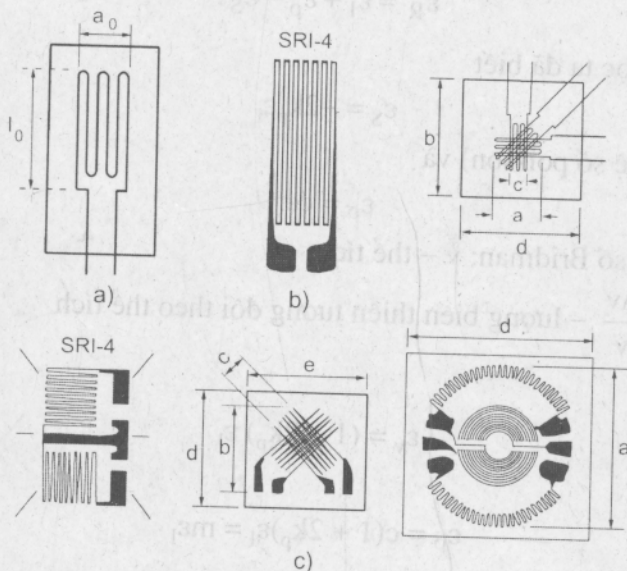
k_1 – hệ số; E – môđun đàn hồi.

Do hệ số m rất lớn ở các điện trở bán dẫn nên hệ số $k = 1 + k_p + m$ cỡ từ 100 ÷ 200 trong điều kiện bình thường.

Cảm biến áp trở được chia thành hai dạng cơ bản là áp trở kim loại và bán dẫn.

2. Cảm biến áp trở kim loại

Hình 12-1 là cấu tạo của cảm biến áp trở kim loại, chúng được phân thành dây mảnh, lá mỏng và màng mỏng.



Hình 12-1. Cấu tạo của cảm biến áp trở.

a) Loại dây mảnh ; b) Loại lá mỏng ; c,d) Loại màng mỏng

a. Cảm biến áp trở dây mảnh (hình 12-1a), gồm có dây điện trở uốn hình răng lược, dây có đường kính từ 0,02 ÷ 0,03mm. Hai đầu dây hàn với 2 lá đồng Berin hoặc đồng phốt pho để nối với mạch đo. Hai phía dán hai tấm giấy mỏng cỡ 0,1 mm hoặc nhựa polymide (0,03 mm) để cố định hình dáng dây, chiều dài dây $L = n l_0$ (l_0 – độ dài một đoạn dây, n – số đoạn); $n = 10 \div 20$. Bình thường $l_0 = 8 \div 15\text{mm}$ và có thể tới 100mm hoặc có thể nhỏ hơn ($l_0 = 2,5\text{mm}$). Chiều rộng $a_0 = 3 \div 10\text{mm}$.

Điện trở dây $R = 10 \div 150 \Omega$ và có thể tới $800 \Omega \div 1000 \Omega$.

b. Cảm biến áp trở là mỏng (h. 12-1b) là một lá rất mỏng có độ dày $4 \div 12 \mu\text{m}$ làm từ hợp kim Constantan, chế tạo theo phương pháp ăn mòn quang học. Ưu điểm của loại lá mỏng là có kích thước nhỏ, hình dáng linh hoạt có độ nhạy (k) lớn ít chịu biến dạng ngang do chế tạo và điện trở lớn.

c. Cảm biến áp trở màng mỏng (h. 12-1c) được chế tạo bằng phương pháp bốc hơi kim loại có độ nhạy cao bám vào một khung có hình dáng định trước. Ưu điểm của loại màng mỏng là có thể chế tạo với hình dáng phức tạp, kích thước nhỏ, điện trở ban đầu lớn, độ nhạy cao.

d. Yêu cầu vật liệu chế tạo điện trở

* Độ nhạy: Thông thường độ nhạy k nằm trong khoảng $1.8 \div 2.35 \pm 0.1$, với hợp kim platin – vonfram $k = 4.1$.

* Hệ số nhiệt độ cần nhỏ vì điện trở của kim loại phụ thuộc vào nhiệt độ. $R_T = R_0 [1 + \alpha_1(T - T_0)]$ trong đó R_0 là điện trở ở nhiệt độ chuẩn T_0 , do đó α_1 nhỏ sẽ làm cho cảm biến ít bị thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.

* Điện trở suất:

Điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn phải đủ lớn để giảm kích thước và độ dài dây.

* Vật liệu chọn cần chịu được ứng lực lớn để tránh đứt khi chế tạo và sử dụng. Ứng lực tối đa không gây nên biến dạng cố định có trị số lớn hơn 0,2% (Độ lớn của giới hạn đàn hồi đo bằng kg/cm^2)

Ví dụ: thép $20 \div 80$; đồng $3 \div 12$; chì $0.4 \div 1$.

Bảng 12-1 cho ta thấy đặc tính của một số vật liệu chế tạo cảm biến áp trở kim loại.

Bảng 12-1

Vật liệu	Thành phần	K	Hệ số α $10^{-6} 1/^{\circ}\text{K}$	$\rho(\text{mm}^2/\text{m})$	Hệ số β $10^{-6} 1/^{\circ}\text{K}$
Constantan	60%Cu, 40%Ni	1,9 - 2,1	± 50	$0,46 \div 0,5$	$14 \div 15$
NiChrome	80%Ni, 20%Cr	$2,1 \div 2,5$	$150 \div 170$	$0,9 \div 1,7$	14
Platin		$5,1 \div 5,5$	1700	0,2	-
Manganin	84% Cu, 12%Mn 4% Ni	0,47-0,5	± 10	$0,4 \div 0,45$	16 - 18
Karma	74%Ni; 20%Cr 3%Cu; 3% Fe	2,1			
Platin-Vonfram	92%pt, 8%W	4,1			

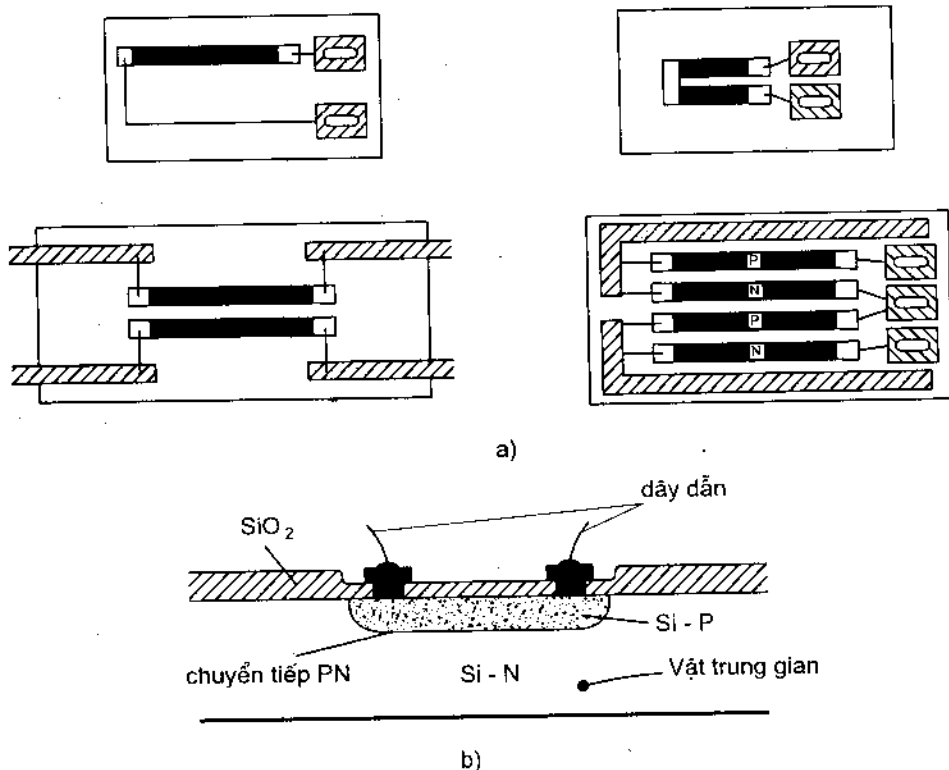
3. Cảm biến áp trở bán dẫn

Cảm biến áp trở bán dẫn được chế tạo từ các chất bán dẫn như Silic, Germani, Asenua v.v...

a. Cấu tạo

Các cảm biến áp trở bán dẫn chia thành 2 loại, loại cắt và loại khuếch tán (h. 12-2a,b).

- Loại cắt (h 12-2a) là một mẫu cắt từ tấm đơn tinh thể pha tạp. Các mẫu cắt này được gắn lên một giá đỡ bằng nhựa có chiều dài $l = 0,1 \div 5\text{mm}$, độ dày 10^{-2}mm .



Hình 12-2. Cảm biến áp trở bán dẫn.

a) Loại cắt ; b) Loại khuếch tán.

- Loại khuếch tán (h. 12-2b)

Điện trở được tạo nên bằng cách khuếch tán tạp chất như Sb , Ga , n v.v... vào một phần của đế đơn thể Silic đã pha tạp. Tùy theo loại tạp chất khuếch tán mà ta có áp trở loại N hoặc loại P.

b. Nguyên lý hoạt động

Bình thường các điện tử phân bố trong tinh thể bán dẫn bằng nhau, độ dẫn điện không thay đổi. Khi bị biến dạng, các điện tử phân bố trong tinh thể bán dẫn bị thay đổi do đó độ dẫn điện thay đổi và điện trở bị thay đổi theo.

Ví dụ: Tinh thể silic loại N có cấu trúc lập phương theo 3 trục X, Y, Z, hình 12-3a. Vì đối xứng nên số điện tử tự do ở mỗi vùng trong trục bằng nhau.

Độ dẫn điện theo 1 trục nào đó được biểu diễn bằng biểu thức

$$\sigma = qn (\mu_s + 2\mu_v) \quad (12-13)$$

q – điện tích; n – mật độ điện tử trong mỗi vùng tương ứng; μ_s độ linh động của điện tử dọc trục; μ_v độ linh động của điện tử $\perp$ với 2 trục khác.

$$\mu_s \ll \mu_v.$$

Khi có lực tác động làm biến dạng, kích thước các ô mạng tinh thể thay đổi làm thay đổi nồng độ điện tử trong vùng do đó độ dẫn bị thay đổi theo (h 12-3b,c).

Độ pha tạp và loại chất pha tạp quyết định đến tính chất của cảm biến. Khi độ pha tạp tăng hệ số k giảm, độ nhạy nhiệt giảm nhưng độ tuyến tính tăng và ngược lại.

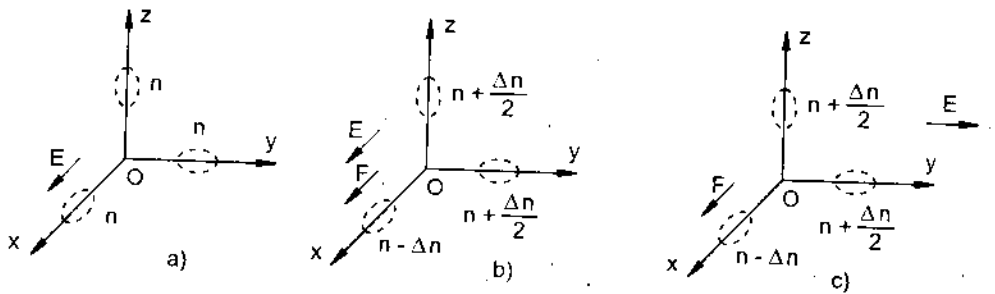
Ưu điểm của loại bán dẫn là độ nhạy cao $k = -200 \div +800$, kích thước nhỏ (2.5mm), Dải nhiệt độ làm việc từ $-250^{\circ}\text{C} \div +250^{\circ}\text{C}$.

Nhược điểm là độ bền cơ học kém.

Bảng 12-2 cho biết một số đặc tính của áp trở bán dẫn

Bảng 12-2.

Vật liệu	Độ nhạy K	Môđun E (Kg lực/mm ²)	Hệ số α (10 ⁻⁶ 1/°C)	Điện trở suất (S)	Hệ số β (10 ⁻⁶ 1/°C)
Germani (Ge) (dendrite)					
Loại n	-150	155	150	$0,25 \cdot 10^4$	0,1÷6
Loại P	+ 100	155	3000÷ 8000	$1,1 \cdot 10^4$	0,1÷6
Silic (S)					
Loại n	-130	130	6000	$0,35 \cdot 10^4$	0÷4
Loại P	+170	190	1300	$7,8 \cdot 10^4$	0÷4



Hình 12-3. Cấu trúc của áp trở bán dẫn

Bảng 12-3 cho một số thông số của cảm biến áp trở

Bảng 12-3

Các thông số	Kim loại	Bán dẫn
Dải đo: ($1\mu\epsilon = 10^{-6} \text{ m/m}$)		
$\mu\epsilon$ – đơn vị biến dạng	$1 \div 40.000\mu\epsilon$	$0,001 \div 3000\mu\epsilon$
Độ nhạy K	$1,8 \div 4$	$50 \div 200$
Điện trở (Ω)	$120; 150; 600 \div 5.10^3$	$10^3 \div 5.10^3$
Kích thước (mm)	$0,4 \div 150$	$1 \div 5$
	chuẩn: $3 \div 10$	

4. Một số đặc điểm của cảm biến áp trở

a. Độ nhạy k của các cảm biến áp trở kim loại thường bị giảm so với lý thuyết do phần uốn của các răng lược bị biến dạng ngang khi bị biến dạng, điện trở bằng tổng điện trở của đoạn dây dọc và ngang: $R = R_l + R_n$.

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_l}{R} + \frac{\Delta R_n}{R}$$

ΔR_l – độ gia tăng điện trở theo hướng dọc; ΔR_n – độ gia tăng R theo chiều uốn ngang. Mà

$$\frac{\Delta R_l}{R} = k \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{\Delta R_n}{R} = k \frac{\Delta l_n}{l}$$

Do đó độ nhạy giảm từ $25 \div 30\%$. Khắc phục nhược điểm trên, các điện trở lá mỏng và màng mỏng được tăng tiết diện tại các vị trí uốn.

b. Hệ số dẫn nở của cảm biến và đối tượng đo khác nhau, do cảm biến được gắn với đối tượng, khi nhiệt độ thay đổi gây nên hiện tượng biến dạng phụ không mong muốn.

c. Mật độ dòng cho phép trong các cảm biến áp trở phụ thuộc vào độ dẫn nhiệt, kích thước của đối tượng đo và đường kính dây.

Đối với dây Constantan, dòng cho phép tương ứng với kích thước

$\phi = 50\mu\text{m}$	$I_{cf} = 100 \text{ mA}$
$\phi = 25 \mu\text{m}$	$I_{cf} = 35 \text{ mA}$
$\phi = 12\mu\text{m}$	$I_{cf} = 12,5 \text{ mA}$

Với tải ngắn hạn I_{cf} có thể tăng $30 \div 50\%$

d. Sai số của cảm biến:

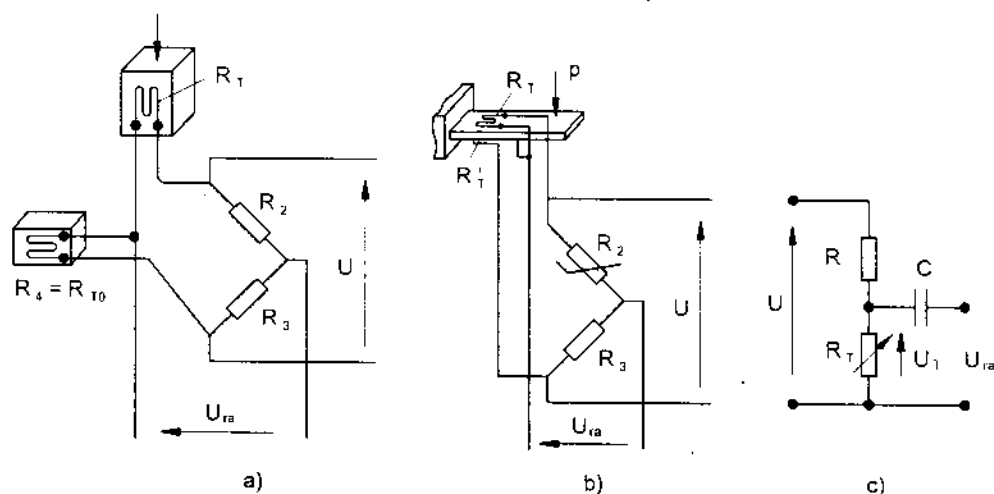
- Sai số do chuẩn ban đầu. Nếu chuẩn hàng loạt sai số có thể tới $1 \div 5\%$. Khi chuẩn trực tiếp trong quá trình đo sai số giảm xuống $0,2 \div 0,5\%$ do tĩnh và $1 \div 1,5\%$ khi đo biến dạng động.

- Sai số do vị trí chọn không chính xác.

- Sai số do biến dạng dư của keo dán khi sấy khô hoặc sự dẫn nở khác nhau giữa đối tượng dán và cảm biến.

5. Mạch đo và ứng dụng

Mạch đo có thể dùng mạch cầu 2 hoặc 4 nhánh hoạt động mà các áp trở là điện trở nhánh kết hợp với khuếch đại và chỉ thị. Hình 12-4.



Hình 12-4. Sơ đồ mạch đo của cảm biến áp trở.

Với cầu một nhánh hoạt động (h. 12-4a), giả sử $R_1 = R_2 = R_3 = R_x = R$. Khi đo biến dạng, R_x thay đổi 1 lượng ΔR

$$R'_x = R_x + \Delta R.$$

Ta có

$$U_{ra} = \frac{U_0}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (12-14)$$

Với cầu có 2 nhánh hoạt động ta có

$$U_2 = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (12-15)$$

Khi cầu có 4 nhánh hoạt động

$$U_{ra} = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (12-16)$$

Khi cần đo biến dạng động với tần số lớn hơn 1kHz (biến dạng do va đập). Người ta dùng mạch đo như hình 12-4c. Điện áp ra được đo trên R_T mắc nối tiếp với R . Để loại bỏ thành phần 1 chiều người ta mắc thêm tụ C .

Điện áp rơi trên áp trở: $U_T = U \cdot \frac{R_T}{R + R_T}$. Khi có biến dạng với tần số ω

$$U_T = U \cdot \frac{R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)}{R + R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)}$$

với $\varepsilon_R \ll 1$ ta có:

$$U_T = U \left[\frac{R_T}{R + R_T} + \frac{R_T \varepsilon_R \sin \omega t}{R + R_T} \right]$$

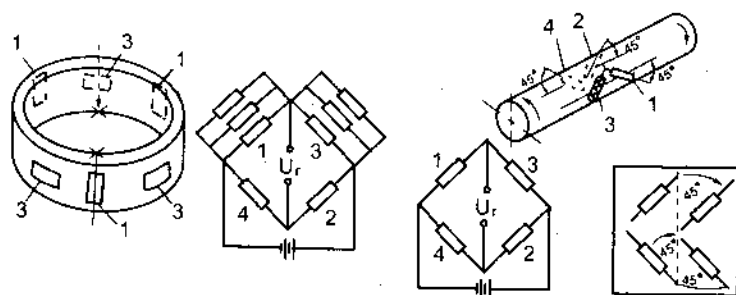
Điện áp ra chỉ lấy thành phần xoay chiều ta có

$$U_{ra} = U \cdot \frac{R_T}{R + R_T} \varepsilon_R \sin \omega t \quad (12-17)$$

Trong quá trình đo biến dạng và ứng lực cần quan tâm đến một số khâu như chọn vị trí, công nghệ dán, làm mát. Khi đo ứng lực theo một hướng nào đó, cảm biến được dán theo hướng tác động của ứng lực.

Ưu điểm của cảm biến áp trở là quán tính nhỏ, dải tần rộng từ $0 \div 100$ KHz.

Hình 12-5 là sơ đồ ứng dụng cảm biến áp trở đo biến dạng.



Hình 12-5. Sơ đồ mạch cầu ứng dụng cảm biến áp trở đo biến dạng

12-2. Đo lực

Theo định luật cơ bản của động lực học ta có $F = ma$, trong đó m là khối lượng (kg) của vật chịu tác động, lực (F) tính bằng Newton gây nên gia tốc a (ms^{-2}).

Phạm vi đo lực rất rộng, từ phép đo tĩnh mà các lực tác động là những đại lượng không đổi đến những xung lực tác động với tốc độ rất cao. Dải đo lực từ $10^{-12}\text{N} \div 10^8\text{N}$ vì vậy khi đo lực người ta thường chia thành nhiều dải đo khác nhau, thông thường có hai phương pháp đo.

Đo trực tiếp là phương pháp sử dụng các cảm biến có đại lượng vào là lực F tác động trực tiếp lên nó và đại lượng ra là tín hiệu điện.

Đo gián tiếp là phương pháp đo sử dụng các phần tử đàn hồi, các hệ dẫn truyền, biến lực đo thành độ dịch chuyển. Các cảm biến đo độ dịch chuyển suy ra lực tác động. Tùy thuộc vào dải đo và tần số biến thiên của lực tác động mà chọn loại cảm biến đo cho phù hợp và ít gây nên sai số.

12-2-1. Cảm biến áp điện đo lực (piezo electric)

1. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý làm việc của cảm biến dựa vào hiệu ứng áp điện. Đó là hiện tượng sinh điện tích trên bề mặt chất điện môi khi bị tác động. Điện tích trên

bề mặt sẽ biến mất khi lực tác động ngừng lại. Những chất có hiện tượng trên là thạch anh, Titanat, Bari, Muối xecnet, các loại gốm v.v...

Ví dụ: Nguyên lý hoạt động của cảm biến áp điện thạch anh có thể giải thích bằng mô hình sau

Thạch anh là tinh thể SiO_2 có dạng hình thoi.

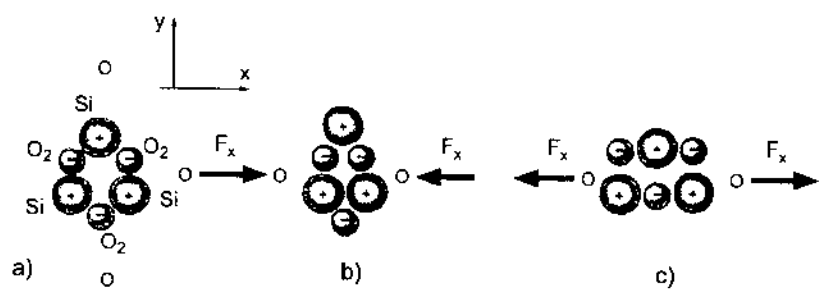
Hình 12-6 biểu diễn mặt cắt vuông góc với trục quang của ba phân tử SiO_2 , ba phân tử này cấu thành mạng cơ sở của thạch anh.

Khi không có ứng lực các trọng tâm $G+$ và $G-$ của các điện tích dương và âm trùng nhau nên tổng mômen lưỡng cực bằng không (h. 12-6a).

Khi có lực tác động lên cấu trúc, ví dụ lực nén theo hướng trục OX. Cấu trúc của thạch anh bị biến dạng, co lại theo OX và giãn ra theo trục OY. Các trọng tâm $G+$ của các điện tích dương (Si) và $G-$ của điện tích âm O_2 không trùng nhau (h. 12-6b) tạo nên mômen lưỡng cực và hình thành điện tích trên bề mặt. Đó là hiệu ứng áp điện. Hình 12-6c cho thấy lực kéo theo trục OX. Hình 12-7a vẽ cấu tạo của tinh thể thạch anh, nó có 3 trục chính: trục quang OZ, trục điện OX và trục cơ OY. Nếu cắt tinh thể thành một khối có 3 cạnh tương ứng với ba trục điện, cơ và quang, ta được cảm biến áp điện (h. 12.7b). Khi tác động 1 lực theo trục OX (F_x) sẽ gây nên hiệu ứng áp điện dọc với điện tích $q = d_1 F_x$ (12-18). Điện tích tạo ra không phụ thuộc vào kích thước hình học của cảm biến mà chỉ phụ thuộc vào cường độ của lực. Dấu của điện tích thay đổi nếu thay đổi chiều của lực tác động. Khi tác động một lực theo trục OY (F_y) hiệu ứng áp điện ngang sẽ tạo nên điện tích.

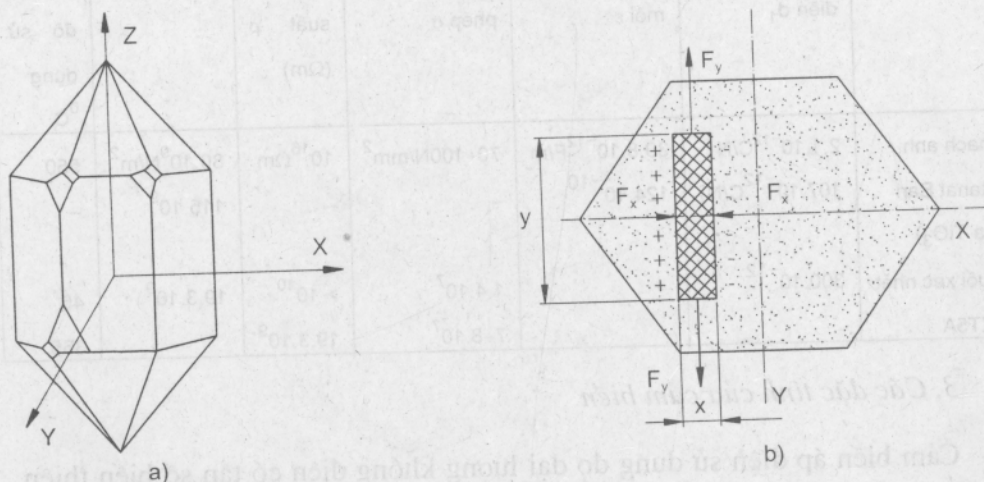
$$q = -d_1(y/x) F_y \quad (12-19)$$

d_1 - hằng số áp điện; y, x - kích thước của cảm biến.



Hình 12-6. Sơ đồ mặt cắt vuông góc với trục quang của 3 phân tử SiO_2 của thạch anh

Điện tích trên phụ thuộc vào kích thước hình học của cảm biến. Dấu của điện tích q khi tác động theo trục OX và OY ngược nhau.



Hình 12-7. a) Cấu tạo tinh thể thạch anh ; b) Cảm biến áp điện.

2. Vật liệu chế tạo cảm biến và tính chất

Trong các vật liệu chế tạo cảm biến áp điện, thạch anh được sử dụng nhiều do tính ổn định, có độ cứng cao. Ngoài ra còn dùng các vật liệu như gốm PZT, chúng được chế tạo bằng cách nung kết hỗn hợp các ôxít chì, Zircon và Titan với công thức $PbTi_xZr_{1-x}O_3$ ($x \sim 0,5$). Ưu điểm của gốm PZT là có độ nhạy cao, độ thấm thấu điện môi lớn nên cảm biến có điện dung lớn, ít chịu ảnh hưởng của điện dung ký sinh và có thể nén định dạng với các hình dáng khác nhau. Độ bền cơ học cao, có thể điều chỉnh nhiệt độ curie bằng cách thay đổi tỷ lệ các thành phần.

Nhược điểm của nó là độ thấm thấu điện môi phụ thuộc vào nhiệt độ, hằng số áp điện thấp. Đặc tính của gốm phụ thuộc vào chế độ nhiệt khi nung kết.

Ngoài ra người ta còn dùng một số vật liệu khác như Titanat Bari ($BaTiO_3$), muối xerit.

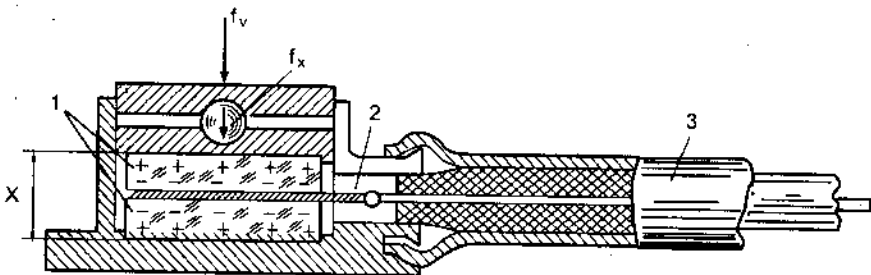
Bảng 12-4 cho các thông số vật lý của một số vật liệu áp điện thường dùng.

Bảng 12-4

Vật liệu	Hằng số áp điện d_1	Hằng số điện môi ϵ	Ứng lực cho phép σ	Điện trở suất ρ (Ωm)	Môđun E	Nhiệt độ sử dụng $^{\circ}C$
Thạch anh	$2,1 \cdot 10^{-12} C/N$	$39,8 \cdot 10^{-12} F/m$	$70 \div 100 N/mm^2$	$10^{16} \Omega m$	$80 \cdot 10^9 N/m^2$	550
Titanat Bari (Ba TiO ₃)	$107 \cdot 10^{-12} C/N$	$124 \cdot 10^{-10}$	—	—	$115 \cdot 10^9$	—
Muối xec nhét	$300 \cdot 10^{-12}$	—	$1,4 \cdot 10^7$	$> 10^{10}$	$19,3 \cdot 10^9$	45
PZT5A	—	—	$7-8 \cdot 10^7$	$19,3 \cdot 10^9$		365

3. Các đặc tính của cảm biến

Cảm biến áp điện sử dụng đo đại lượng không điện có tần số biến thiên do đó giới hạn dưới của tần số được quyết định bởi tham số điện của bản thân cảm biến và của mạch đo. Công suất ra nhỏ vì vậy tổng trở vào của mạch đo cỡ từ $10^8 \div 10^9 \Omega$. Dây nối từ cảm biến đến mạch đo cần được bọc kim để loại bỏ điện tích rò. Hình 12-8 vẽ sơ đồ cấu tạo của cảm biến áp điện dùng đo lực tác động.



Hình 12-8. Cấu tạo của cảm biến điện áp đo lực.

1 - Phần tử áp điện ; 2 - Thanh dẫn ; 3 - Cáp bọc kim.

Hai phần tử áp điện đặt sao cho điện tích phân cực ngược nhau khi bị tác động lực. Điện tích lấy ra trên thanh dẫn đặt giữa hai phần tử áp điện, dây dẫn là cáp bọc kim

Hình 12-9b là sơ đồ tương đương của thiết bị. Trong đó C_{td} – điện dung tương đương; R_{td} – điện trở tương đương.

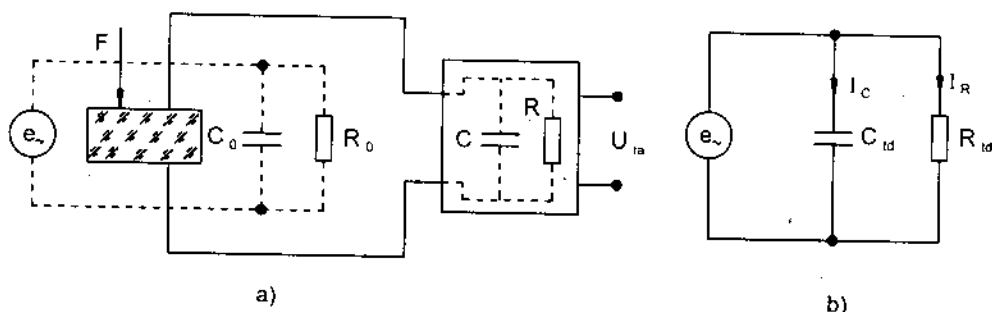
803.803
803.803
803.803

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (12-20)$$

Từ hình 12-9b ta có:

$$i = i_c + i_R = \frac{U}{R_{td}} + C_{td} \frac{dU}{dt}. \quad (12-21)$$

U – điện áp rơi trên tụ và điện trở



Hình 12-9. Sơ đồ tương đương.

Từ công thức (12-18) $q = d_1 Fx$ và (12-20); (12-21) ta tính được

$$i = \frac{dq}{dt} = d_1 \frac{dF_x}{dt} = \frac{U}{R_{e1}} + C_{td} \frac{dU}{dt}. \quad (12-22)$$

Đặt $\tau = R_{td} \cdot C_{td}$ - Hằng số thời gian

Từ phương trình (12-22) đưa về dạng toán tử ta được

$$\frac{d_i}{C_{ui}} \tau_p F_x = U(1 + \tau_p). \quad (12-23)$$

Độ nhạy toán tử của cảm biến

$$S(p) = \frac{U}{F_x} = \frac{d_l}{C_{ld}} \cdot \frac{\tau_p}{\tau_{p+1}}. \quad (12-24)$$

Độ nhay phức có dạng:

$$|\dot{S}| = \frac{|\dot{U}|}{|\dot{F}_x|} = \frac{d_1}{C_w} \cdot \frac{\omega\tau}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} = S_0 \cdot \frac{\omega\tau}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}}$$

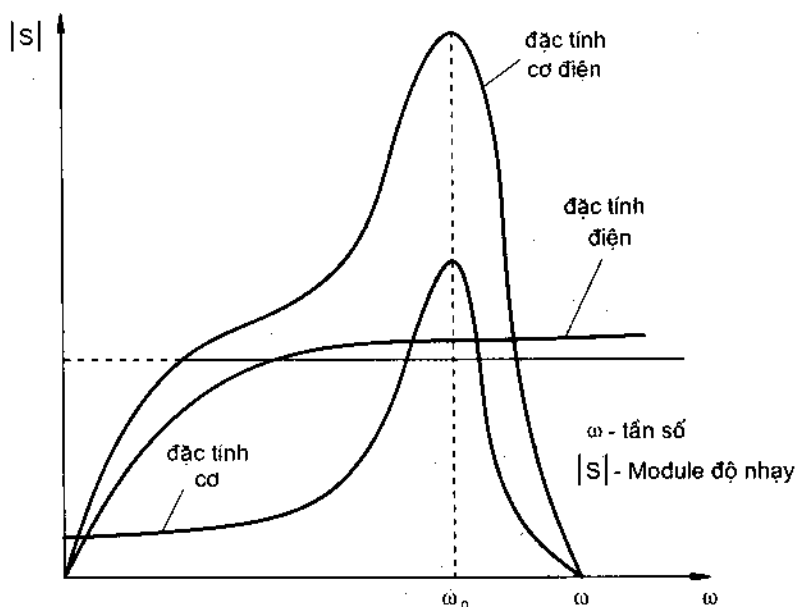
S_0 = độ nhay ban đầu.

Nếu $\omega\tau \gg 1$ ta có $S = S_0$ và $S = 0$ khi $\omega = 0$.

Từ đó ta thấy cảm biến áp điện chỉ làm việc với lực tác động biến thiên.

Trong thực tế lực đo không tác động trực tiếp lên cảm biến mà qua một lớp đệm do đó độ nhạy cảm biến bị giảm so với tính toán.

Hình 12-10 biểu diễn đường cong đặc tính biên tần của cảm biến theo độ nhạy.



Hình 12-10. Đặc tính biên tần của cảm biến theo độ nhạy.

4. Sai số của cảm biến

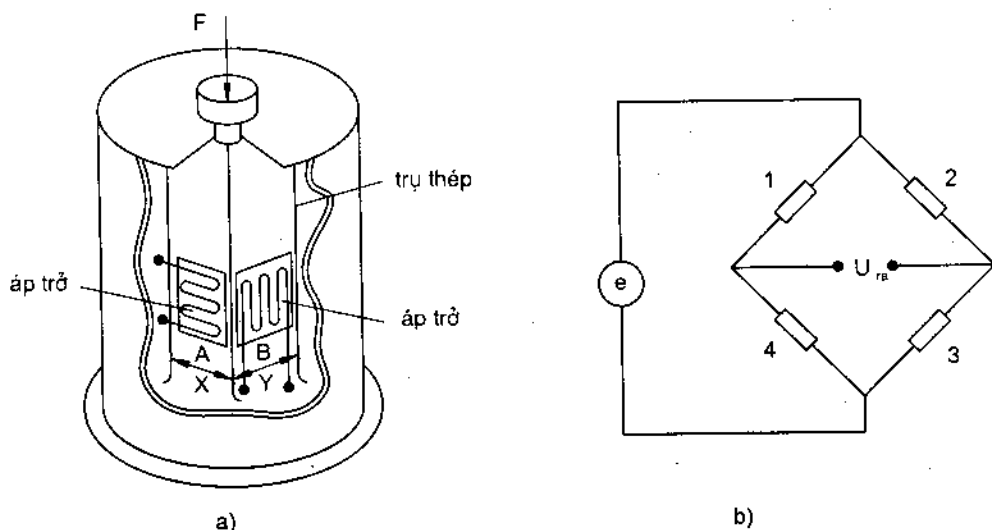
- Do nhiệt độ môi trường thay đổi làm hệ số áp điện d_1 thay đổi
- Sai số khi làm việc ở tần số thấp, sai số do hiệu ứng cấp điện và vị trí đặt.

5. Ứng dụng cảm biến áp điện đo lực, áp suất, gia tốc v.v...

- Dải đo đến 10.000N; áp suất tới 100N/mm², gia tốc đến 1000g
- Dải tần từ 0.5Hz ÷ 100KHz.

12-2-2. Cảm biến áp trở đo lực và trọng lượng

Hình 12-11a trình bày cấu tạo của cảm biến áp trở đo lực và trọng lượng, gồm có trụ thép, chịu tác động trực tiếp của lực hoặc trọng lượng, trên trụ thép gắn 4 áp trở (h. 12-11a). Khi trụ thép chịu lực tác động sẽ bị giãn nở theo trục X và Y làm cho các áp trở bị biến dạng. Áp trở A điện trở tăng lên một lượng ΔR và áp trở B bị giảm một lượng ΔR . Các áp trở trên được nối thành mạch cầu 4 nhánh (h. 12-11b)



Hình 12-11. a) Cấu tạo cảm biến áp điện đo lực; b) Mạch đo.

Điện áp ra (U_{ra}) tỷ lệ với lực F tác động.

Sai số của cảm biến từ $0,3 \div 0,1\%$ toàn thang đo. Dải đo từ $10^4 \div 10^5 N$

12-2-3. Cảm biến áp từ đo lực và trọng lượng (cảm biến từ giảo)

1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cảm biến áp từ là một dạng của cảm biến điện cảm và hồ cảm nhưng có mạch từ kín. Nguyên lý hoạt động, dựa trên hiệu ứng áp từ. Khi bị tác động cơ học, cảm biến bị biến dạng, độ từ thẩm μ và các tính chất khác của vật liệu sắt từ thay đổi. Hình 12-12 là cấu tạo của 2 loại cảm biến.

Cảm biến áp từ kiểu điện cảm và hồ cảm

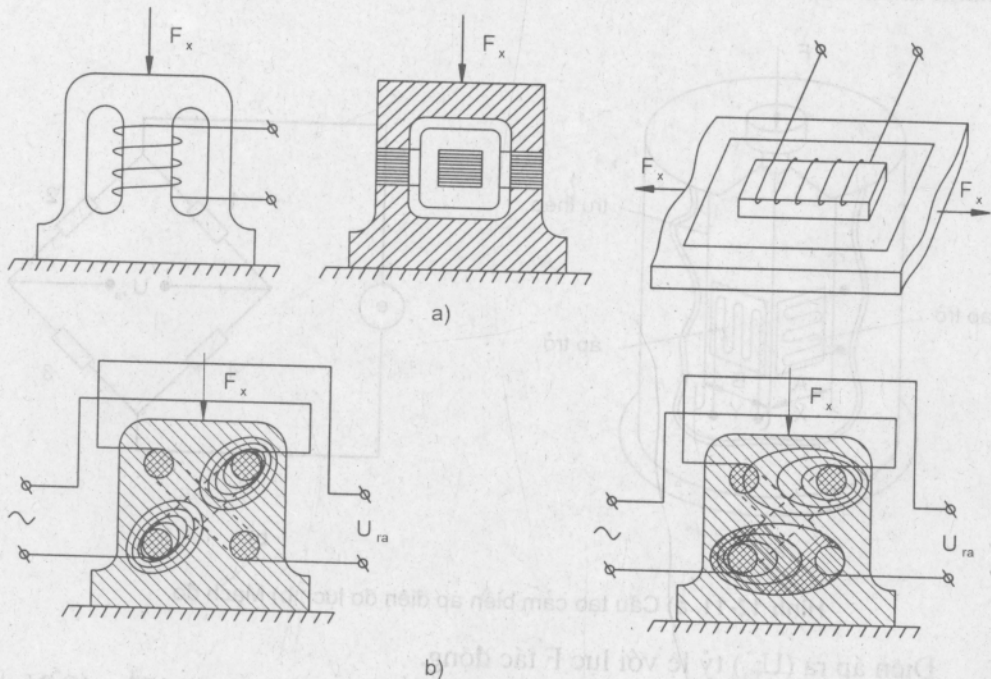
Giả sử cảm biến áp từ là điện cảm (h. 12-12a), dưới tác động của ứng lực cơ, lõi thép bị biến dạng. Nếu bỏ qua tổn hao dòng xoáy và từ trễ, điện cảm L được tính

$$L = \frac{W^2}{R_M} \quad (12-25)$$

Trong đó $R_M = \frac{l}{\mu S} \quad (12-26)$

R_M – từ trở của mạch từ; l – chiều dài các đoạn;

W – số vòng cuộn cảm; μ – độ từ thẩm; S – tiết diện



Hình 12-12. Cấu tạo của cảm biến áp từ.
a) Kiểu điện cảm ; b) Kiểu hồ cảm.

Từ (12-25) thay vào (12-26) ta được

$$L = \frac{W^2 \mu S}{l} \quad (12-27)$$

Nếu $W = \text{const}$ với lượng thay đổi $\Delta\mu$, ΔS và Δl

Ta có:
$$\Delta L = L_0 \left(\frac{\Delta\mu}{\mu} + \frac{\Delta S}{S} - \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right)^2} \right) \quad (12-28)$$

L_0 – điện cảm ban đầu khi chưa có lực tác động.

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta \mu}{\mu} + \frac{\Delta S}{S} - \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right)^2} \quad (12-29)$$

như trên ta đã biết, với $\frac{\Delta S}{S} = -2kp \frac{\Delta l}{l}$ và $\frac{\Delta l}{l} \ll 1$ trong giới hạn biến dạng đàn hồi do đó độ nhạy tương đối của cảm biến khi chịu tác động lực.

$$S_L = \frac{\Delta L/L_0}{\Delta l/l} = \left[\frac{\Delta \mu}{\mu} - (2kp + 1) \right] \quad (12-30)$$

$$S_L = S_\mu - (2kp + 1). \quad (12-31)$$

$S_\mu = \frac{\Delta \mu}{\mu}$ – Độ nhạy áp từ, đặc trưng cho vật liệu mạch từ. Do $S_\mu \gg (2kp + 1)$ nên có thể coi độ nhạy tương đối của cảm biến

$$S_l = \frac{\Delta \mu/\mu}{\Delta l/l} = S_\mu. \quad (12-32)$$

Trong thực tế ta có thể dùng khái niệm độ nhạy tương đối S_σ đối với ứng lực cơ (σ)

$$S_\sigma = \frac{\Delta Z/z}{\sigma} = \frac{\Delta Z/z}{E(\Delta l/l)} = \frac{S_z}{E} \quad (12-32)$$

Z – tổng trở của cảm biến ($Z = \omega L$);

$\frac{\Delta Z}{z}$ – độ biến thiên tương đối của tổng trở; E – môđun đàn hồi.

2. Sai số và ứng dụng

Sai số của các cảm biến áp từ do hiện tượng trễ không trùng lặp trạng thái khi tăng và giảm. Sự phân tán các giá trị $\Delta \mu/\mu = f(F)$ ở các chu kỳ đầu khi tăng giảm tải khoảng 10%. Sai số do dòng điện từ hóa không ổn định làm thay đổi độ từ thẩm ban đầu và thay đổi độ lớn của hiệu ứng áp từ. Sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi làm điện trở cuộn dây, độ từ thẩm và hiệu ứng áp từ thay đổi theo.

Khi điện áp nguồn thay đổi 1% sai số từ $0,3 \div 0,4\%$

Khi nhiệt độ thay đổi 10^0C gây sai số $0,5 \div 1,5\%$.

Mặc dù độ chính xác thấp ($3 \div 5\%$) nhưng do cấu trúc đơn giản, độ tin cậy cao nên được ứng dụng đo lực, trọng lượng, mômen v.v...

Hình 12-13 vẽ sơ đồ cấu tạo của một cảm biến áp từ đo lực và sơ đồ mạch đo của nó.

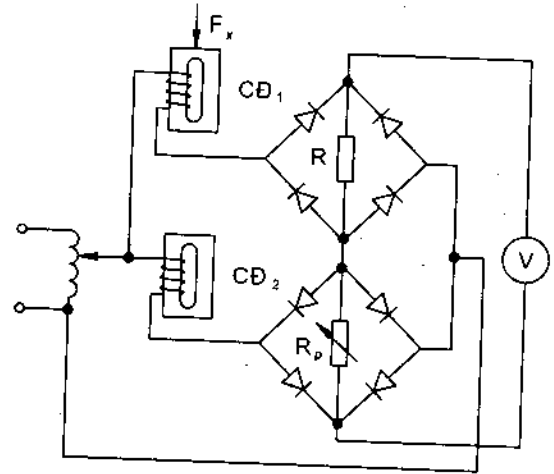
Trong đó cảm biến 1 chịu lực F. Còn cảm biến 2 không chịu lực tác động và làm nhiệm vụ bù điện cảm ban đầu và các yếu tố

ảnh hưởng khác như nhiệt độ, tần số nguồn cung cấp thay đổi v.v...

Hai cảm biến được mắc với hai điện trở R thành mạch cầu.

Điện áp đo trên chỉ thị tỷ lệ với lực tác động.

Dải đo của cảm biến từ $10^5 \div 10^6\text{N}$.



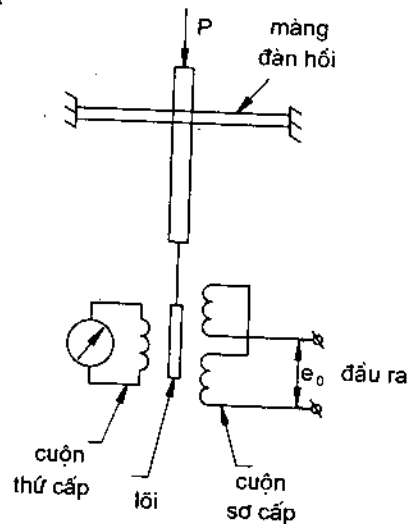
Hình 12-13. Mạch đo của cảm biến áp từ

12-2-4. Đo lực bằng phương pháp đo di chuyển

Như đã trình bày ở trên, ngoài phương pháp đo lực trực tiếp người ta còn đo bằng phương pháp gián tiếp đó là sử dụng các phần tử phụ như màng đàn hồi, thanh dẫn để biến đổi lực đo F thành di chuyển và các cảm biến thực hiện đo độ dịch chuyển để suy ra lực tác động.

Các cảm biến thực hiện nhiệm vụ trên là các cảm biến điện từ, cảm biến điện dung, biến trở v.v...

Hình 12-14 là nguyên lý làm việc của cảm biến hồ cảm đo lực. Trong đó màng đàn



Hình 12-14. Sơ đồ nguyên lý của cảm biến hồ cảm đo lực bằng phương pháp đo dịch chuyển

hồi được gắn với thanh dẫn và nối với lõi thép động của cảm biến. Cuộn dây sơ cấp và hai cuộn thứ cấp được bố trí như hình vẽ.

Bình thường khi chưa có lực tác động, lõi thép nằm giữa 2 cuộn dây, do đầu ngược cực nhau và có sức điện động bằng nhau nên điện áp ra $e_0 = 0$.

Khi có lực tác động, màng đàn hồi và thanh dẫn bị dịch chuyển làm lõi thép của cảm biến bị dịch chuyển theo do đó sức điện động của 2 cuộn thứ cấp không bằng nhau và điện áp ra e_0 tỷ lệ với độ dịch chuyển của lõi thép và cũng tỷ lệ với lực tác động.

12-3. Đo mômen xoắn và năng lượng

Ta đã biết quan hệ giữa năng lượng và mômen xoắn được biểu diễn dưới dạng biểu thức -

$$P = \omega M \quad (12-34)$$

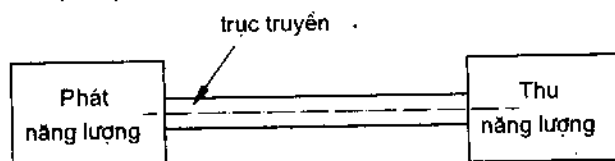
Trong đó P – năng lượng (W); M – mômen xoắn (Nm) và ω – tốc độ góc (rad/s).

Vấn đề khó khăn khi đo mômen xoắn trên bộ phận quay là đưa tín hiệu đo ra ngoài do tiêu hao công suất trên các khâu tiếp xúc.

Để đo mômen xoắn và năng lượng ta có thể sử dụng các cảm biến như áp trở, điện từ với phương pháp tiếp xúc và không tiếp xúc.

Hình 12-15 vẽ sơ đồ khối của hệ thống đo, gồm khối phát năng lượng và khối thu năng lượng, giữa hai khối gắn trực truyền năng lượng.

Cảm biến được đặt trên trục truyền để phản ánh mômen đo.

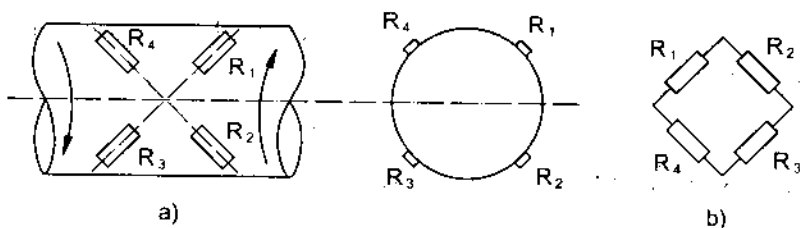


Hình 12-15

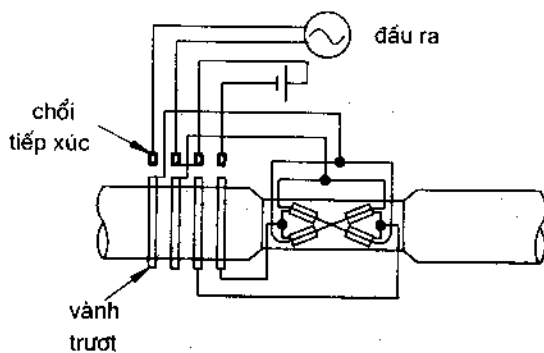
12-3-1. Cảm biến áp trở đo mômen xoắn

Hình 12-16 là sơ đồ bố trí các áp trở trên trục quay hình tròn hoặc vuông với độ lệch nhau 45° và phương pháp lấy tín hiệu ra từ trục quay (h. 12-17)

Các áp trở được mắc theo mạch cầu có 4 nhánh hoạt động, nguồn cung cấp từ ngoài và tín hiệu lấy ra từ mạch cầu được thông qua các vành trượt và chổi tiếp xúc, khi chưa có mômen xoắn mạch cầu ở trạng thái cân bằng, điện áp ra của mạch cầu $U_r = 0$. Khi có mômen xoắn, các điện trở mạch cầu bị biến dạng, cầu mất cân bằng. Điện áp ra của cầu tỷ lệ với mômen cần đo. Dải đo của cảm biến từ $100 \div 10^4 \text{ Ncm}$.



Hình 12-16. Sơ đồ bố trí áp trở trên trục quay đo mômen xoắn



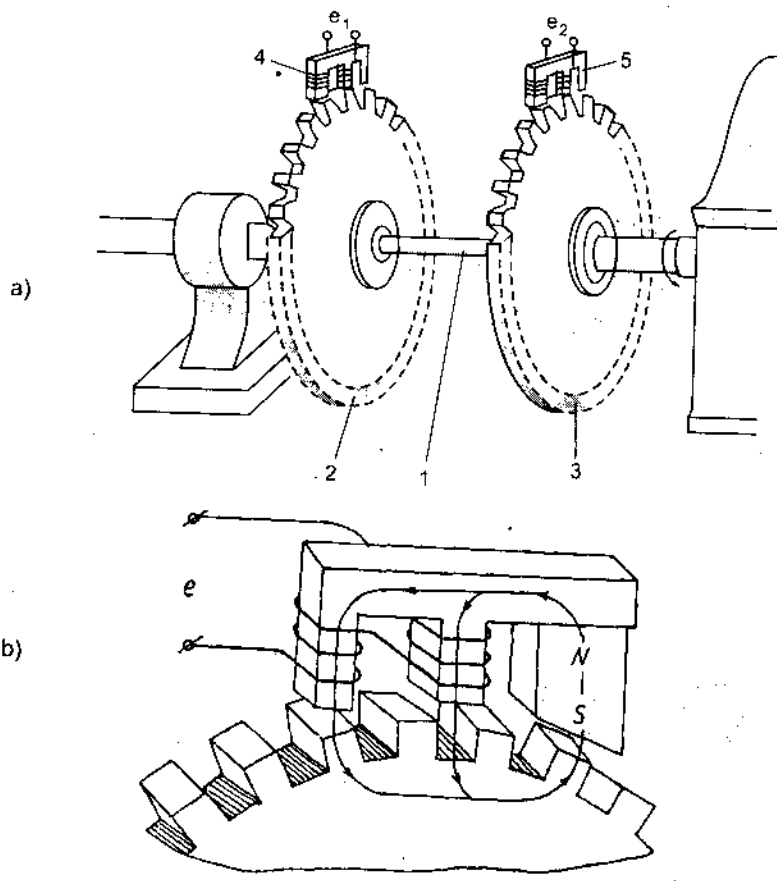
Hình 12-17. Phương pháp lấy tín hiệu ra từ trục quay.

12-3-2. Cảm biến điện từ đo mômen xoắn

Đó là loại cảm biến đo mômen không tiếp xúc có cấu tạo như hình 14-18a. Trong đó hai đĩa sắt từ có bánh răng được gắn lên trục quay. Cảm biến được bố trí tương ứng với bánh răng, đó là cuộn dây cảm ứng với mạch từ và nam châm vĩnh cửu (h. 14-18b), đường sức từ đi vòng qua đĩa răng. Khi mạch từ nằm đối diện với răng của đĩa, khe hở mạch từ là nhỏ nhất. Khi bánh răng quay, khe hở không khí tăng lên, từ thông Φ móc vòng qua cuộn dây thay đổi và tạo ra một sức điện động cảm ứng với tần số

$$f = \frac{n_a}{60}$$

n – tốc độ của đĩa quay, a – số răng.



Hình 12-18. a) Thiết bị đo mômen xoắn không tiếp xúc ;
b) Cảm biến điện từ đo tốc độ và mômen xoắn.

Khi chưa có mômen xoắn, răng của 2 đĩa đặt song song với nhau, sức điện động cảm ứng của 2 cuộn dây e_1 và e_2 trùng pha nhau. Khi bị xoắn, hai đĩa lệch nhau 1 góc do đó sức điện động e_1 và e_2 cũng lệch nhau 1 góc tỷ lệ với mômen xoắn:

$$\varphi = \frac{\alpha}{2\pi} a . \quad (12-35)$$

α – góc lệch nhau giữa 2 đĩa mà

$$\alpha = k.M. \quad (12-36)$$

suy ra

$$\varphi = \frac{a}{2\pi} k.M. \quad (12-37)$$

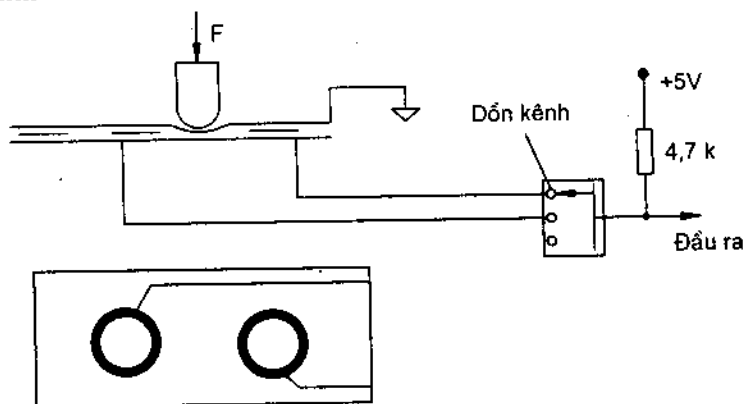
trong đó

$$M = \frac{\varphi \cdot 2\pi}{k_a} = K\varphi. \quad (12-38)$$

φ , K – Hệ số; M – Mômen xoắn.

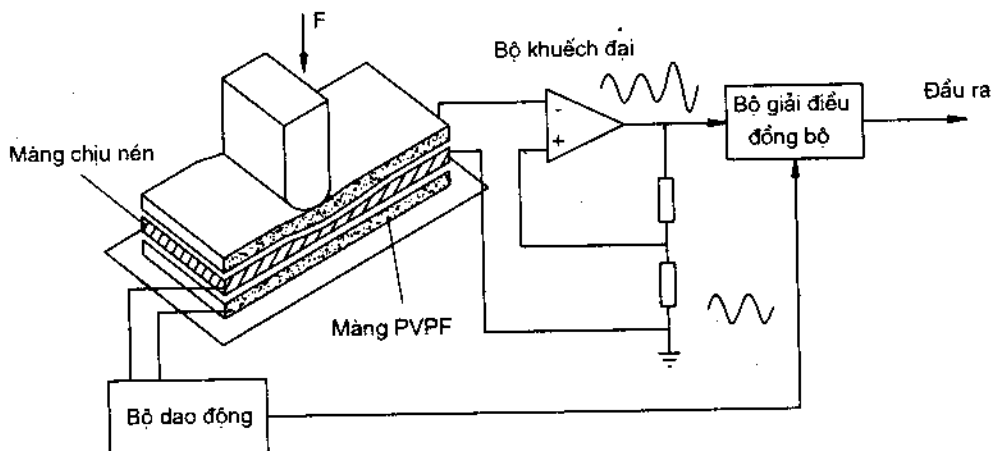
12-4. Cảm biến xúc giác

Cảm biến xúc giác dùng đo lực, áp suất, chúng có chiều dày rất mỏng và được sử dụng trong các hệ thống tự động, làm bàn phím và trong các lĩnh vực y sinh.



Hình 12-19

Cấu tạo của cảm biến gồm hai lá mỏng dẫn điện, ở giữa là một tấm đệm cách điện có lỗ hình tròn hoặc với hình dáng thích hợp (hình 12-29). Một lá được nối đất còn lá kia được nối với điện trở. Chúng tạo thành một lưới dẫn điện.



Hình 12-20. Cấu tạo cảm biến xúc giác đo lực.

Khi ngoại lực tác động vào lá dẫn trên, do bị uốn cong chạm vào lá dẫn dưới tạo nên tiếp xúc điện.

Lá dẫn có thể chế tạo bằng mạch in. Các tín hiệu điện được dẫn qua bộ dẫn kênh đưa ra ngoài.

Hình 12-20 trình bày bộ cảm biến xúc giác kiểu áp điện.

Lớp phía trên và dưới làm bằng màng florit polyvinylidene (PVDF). Lớp giữa là một màng cao su silicon chịu nén. Độ mềm của lớp giữa quyết định độ nhạy và dải làm việc của cảm biến. Màng áp điện dưới (màng phát) được kích thích bằng một điện áp xoay chiều từ máy phát dao động. Tín hiệu kích thích gây nên ứng suất cơ với màng áp điện dưới (do hiệu ứng áp điện ngược), chúng tác động qua màng chịu nén lên lớp màng phía trên (màng thu). Do chịu tác động cơ với tần số dao động, lớp màng phía trên tạo thành điện tích khi bị lực F tác động.

Tín hiệu ra được khuếch đại và đưa đến bộ giải điều chế đồng bộ với độ nhạy cả về biên độ và pha. Tín hiệu ra phụ thuộc tuyến tính vào lực tác động. Cảm biến trên được sử dụng để đo di chuyển nhỏ với độ chính xác $\pm 2\mu\text{m}$ (trong giải đo cỡ vài milimét).

12-5. Cảm biến đo áp suất

Áp suất là tỷ số giữa lực tác dụng vuông góc lên một mặt có diện tích S .

$$P = \frac{F}{S} \quad (12-39)$$

Đơn vị áp suất (Hệ SI) là Pascal (Pa).

1Pa là áp suất được tạo bởi lực 1 Newton phân bố đều trên diện tích 1m^2 và vuông góc với pháp tuyến

Dải đo áp suất từ $10^{-12} \div 10^{10}$ Pa.

Theo nguyên lý làm việc, các thiết bị đo áp suất có thể chia thành áp suất chất lỏng và áp suất chất khí, chúng được đo theo phương pháp trực tiếp hoặc gián tiếp giống như đo lực nên các cảm biến đo lực có thể sử dụng đo áp suất. Trong thực tế, các nhu cầu đo áp suất rất đa dạng đòi hỏi các cảm biến phải đáp ứng tốt nhất với từng trường hợp vì vậy các cảm biến đo áp suất cũng cần đa dạng.

Bảng 12-5 trình bày quan hệ giữa các đơn vị áp suất thường dùng

Bảng 12-5

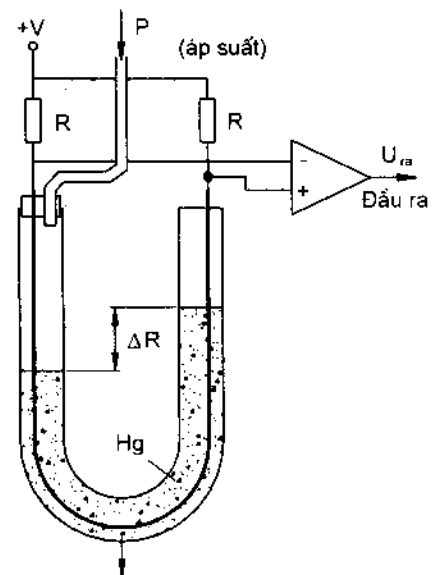
Đơn vị đo áp suất	Pascal (Pa)	Bar (b)	Kg/cm ²	Atmosphe	cm cột nước	mmHg	mbar
1 pascal	1	10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻⁵	0,9869.10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻²	0,75.10 ⁻²	10 ⁻²
1 bar	10 ⁵	1	1,02	0,9869	1020	750	1000
1kh/cm ²	98.10 ³	0,980	1	0,986	1000	735	980
1atmosphe	101325	1,013	1,033	1	1033	760	1013
1 gam/cm ²	98	98.10 ⁻⁵	10 ⁻³	0,986.10 ⁻³	1	0,735	0,98
1mmHg	133,3	13,33.10 ⁻⁴	1,36.10 ⁻³	1,315.10 ⁻³	136	1	1,333
1mbar	100	1.10 ⁻³	1,02.10 ⁻³	0,9869.10 ⁻³	1,02	0,750	1

12-5-1. Đo áp suất bằng phương pháp trực tiếp

Đó là phương pháp đo mà áp suất tác động trực tiếp lên cảm biến. Tín hiệu ra của cảm biến phản ánh áp suất cần đo. Những cảm biến thực hiện theo phương pháp trên như cảm biến áp điện, cảm biến áp từ, áp trở v.v... dưới đây ta khảo sát một số cảm biến thường gặp.

1. Cảm biến áp suất thủy ngân

Hình 12-21 là sơ đồ cảm biến thủy ngân đo áp suất chất khí gồm một ống thủy tinh hoặc ống cách điện hình chữ U, bên trong đặt một sợi dây điện trở trong thủy ngân. Chiều cao cột thủy ngân làm ngắn mạch dây điện trở. Với cách mắc như hình vẽ, sợi dây tạo thành 2 điện trở, chúng được mắc với 2 điện trở R thành mạch cầu 4 nhánh với nguồn cung cấp V. Bình thường khi chưa có áp suất, chiều cao của hai cột thủy ngân bằng nhau nên hai điện trở đặt trong ống chữ U có trị số bằng nhau và mạch cầu cân bằng.



Hình 12 - 21.

Khi có áp suất, khí nén đưa vào một trong 2 ống dẫn chúng ép thủy ngân làm cho hai cột thủy ngân bị chênh nhau 1 đoạn và tạo nên độ chênh điện trở ΔR giữa hai cột, cầu mất cân bằng. Điện áp ra tỷ lệ với ΔR và cũng tỷ lệ với độ chênh áp suất giữa 2 ống chữ U.

$$U_{ra} = \frac{V \cdot \Delta R}{2R} = V \cdot \beta \cdot \Delta p \quad (12-40)$$

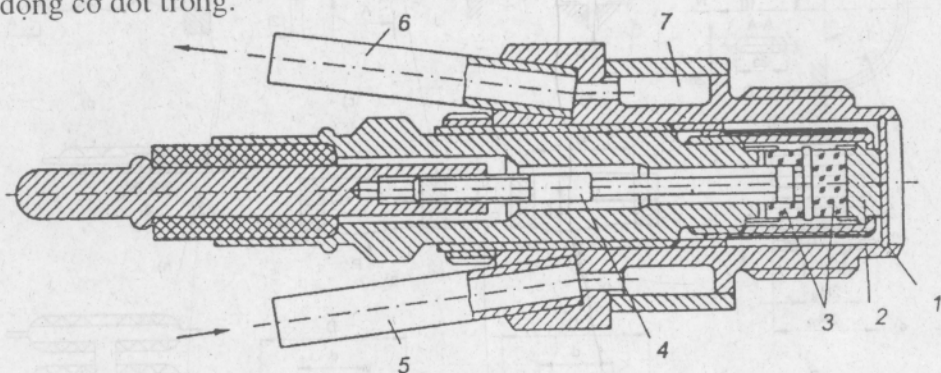
β – hệ số.

Cảm biến trên có thể khắc độ trực tiếp, chế tạo đơn giản nhưng có nhược điểm không chịu được rung, lắc, làm bẩn khí đo do thủy ngân bốc hơi và dải đo bị hạn chế với chiều cao của ống dẫn chữ U.

2. Cảm biến áp điện đo áp suất

Cảm biến áp điện có ưu điểm là đo được áp suất biến thiên nhanh, dùng đo áp suất trong dải đo $0 \div 15 \text{ MN/m}^2$, giải tần từ vài chục Hz đến hàng trăm kHz.

Hình 12-22 vẽ sơ đồ cảm biến áp điện đo áp suất khí nén trong xilanh của động cơ đốt trong.



Hình 12-22. Cảm biến áp điện đo áp suất.

1 - Màng mỏng ; 2 - Đệm kim loại ; 3 - Phần tử áp điện ; 4 - Điện cực ; 5,6,7 - Lỗ toả nhiệt.

Cấu tạo của cảm biến gồm một màng mỏng để nhận trực tiếp áp suất của xilanh. Tần số riêng của màng được chọn thích hợp với tốc độ biến thiên của áp suất.

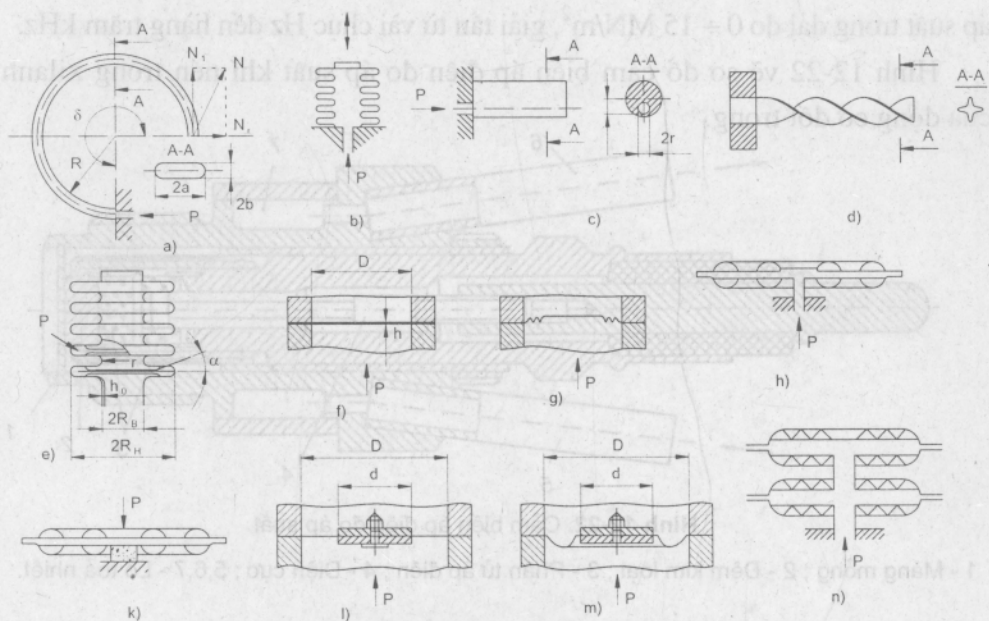
Áp suất nén được truyền qua đệm kim loại và đến phần tử áp điện, phía trên của phần tử áp điện, các điện tích được lấy ra trên điện cực và vỏ của cảm biến.

Do độ nhạy của thạch anh chỉ không thay đổi ở nhiệt độ dưới 200°C nhưng nhiệt độ trong xilanh lớn hơn nhiều do vậy cảm biến được chế tạo một sơ mi tỏa nhiệt trong đó có các lỗ dẫn nước chảy qua.

Điện trở của cảm biến rất lớn $10^9 \div 10^{11} \Omega$ nên đòi hỏi điện trở cách điện của dây dẫn và điện trở đầu vào của khuếch đại cũng phải lớn. Với một dải tần rộng, tốc độ biến thiên áp suất nhanh nên các thiết bị kèm theo cần thích ứng và có độ nhạy cao.

12-5-2. Đo áp suất bằng phương pháp gián tiếp

Đó là phương pháp biến áp suất đo thành độ dịch chuyển nhờ các khâu dẫn động như lò xo ống, thanh dẫn, ống xiphông, màng đàn hồi v.v... sau đó đo độ dịch chuyển suy ra áp suất. Hình 12-23 là sơ đồ của một số khâu dẫn động thường dùng.



Hình 12-23. Các khâu dẫn động thường dùng.

* Lò xo ống (h. 12-23a) là 1 ống kim loại được uốn cong, một đầu giữ cố định, đầu kia được tự do. Tiết diện ống hình ôvan. Khi chịu áp suất, lò xo ống bị giãn ra làm góc ở tâm lò xo bị thay đổi. Độ dịch chuyển của đầu tự do tỷ lệ với áp suất cần đo. Với áp suất cao $P = 1000 \text{ MPa}$ người ta dùng lò xo ống có dạng hình 12-23c.

Dải đo từ 5MPa ÷ 1000MPa tùy theo kim loại sử dụng.

* Ống xiphông

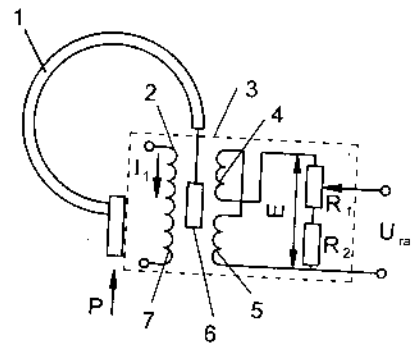
Xiphông là các vỏ hình trụ xếp nếp đặt theo chiều ngang (h. 12-23b) có khả năng co, giãn dưới tác dụng của áp suất. Xiphông được chế tạo bằng kim loại như đồng, thép, hợp kim nhôm với đường kính 8 ÷ 80mm hoặc đến 100mm độ dày ống từ 0,1 ÷ 0,3mm.

* Màng đàn hồi.

Màng đàn hồi có dạng phẳng, tròn hay uốn nếp (h. 12-23f, g, e, k) có khả năng chịu uốn dưới tác dụng của áp suất. Màng được chế tạo từ các loại thép khác nhau. Màng đàn hồi để đo áp suất lớn. Ngoài ra người ta còn sử dụng màng dẻo đo áp suất nhỏ và hiệu áp suất. Màng dẻo được chế tạo từ vải cao su hoặc teflon giống như màng đàn hồi, màng dẻo có thể phẳng hoặc uốn nếp. (hình 12-23l,m,n)

1. Cảm biến hồ cảm đo áp suất

Hình 12-24 là sơ đồ của cảm biến hồ cảm đo áp suất. Cấu tạo gồm có khâu dẫn động là một lò xo ống được uốn cong. Một đầu giữ cố định còn đầu kia để tự do, cảm biến là một biến áp mắc vi sai với cuộn dây sơ cấp, và hai cuộn thứ cấp. Giữa các cuộn dây đặt lõi thép gắn với đầu tự do của lò xo ống. Hai cuộn dây thứ cấp được mắc ngược cực nhau. Đầu ra của cuộn thứ cấp mắc hai điện trở R_1 và R_2 để thay đổi giới hạn đo.



Hình 12-24. Áp kế hồ cảm vi sai

Khi có dòng điện I_1 chạy qua cuộn sơ cấp tạo nên một từ thông ϕ móc vòng qua 2 cuộn thứ cấp và làm xuất hiện các sức điện động hồ cảm e_1, e_2 . Độ lớn của chúng phụ thuộc vào hồ cảm M_1 và M_2 giữa cuộn sơ cấp và các cuộn thứ cấp

$$e_1 = \omega I_1 M_1 = 2\pi f I_1 M_1 \quad (12-41)$$

$$e_2 = \omega I_2 M_2 = 2\pi f I_2 M_2 \quad (12-42)$$

ω – tần số góc; f – tần số nguồn cung cấp; M_1, M_2 – hệ số hồ cảm.

Do hai cuộn thứ cấp có số vòng bằng nhau, lõi thép đặt giữa 2 cuộn dây nên sức điện động

$$E = e_1 - e_2 = 2\pi f I_1 (M_1 - M_2) = 2\pi f M I_1. \quad (12-43)$$

Với R_1 và R_2 là các điện trở cố định, điện áp ra được tính :

$$U_{ra} = 2\pi f M I_1. \quad (12-43')$$

M là giá trị hồ cảm phụ thuộc vào độ dịch chuyển x của lõi thép:

$$M = M_{\max} \frac{x}{x_{\max}}. \quad (12-44)$$

$M_{\max}$ – giá trị lớn nhất ứng với độ di chuyển $x_{\max}$.

Từ (12-43) thay vào (12-43') ta được :

$$U_{ra} = \frac{2\pi f I_1 M_{\max}}{x_{\max}} \cdot x. \quad (12-45)$$

Khi có áp suất lò xo ống bị dẫn nở một góc α làm đầu tự do của ống dịch chuyển và lõi thép của cảm biến bị dịch chuyển theo. Độ dịch chuyển x của lõi phụ thuộc vào áp suất P do vậy U_{ra} thay đổi tùy thuộc vào áp suất đo.

Độ dài toàn phần của lõi cảm biến từ 1,6 ÷ 4mm. Điện áp ra thay đổi từ -1V ÷ +1V tùy theo sự thay đổi pha của tín hiệu, tương ứng với sự thay đổi của M từ -10 ÷ 10mH.

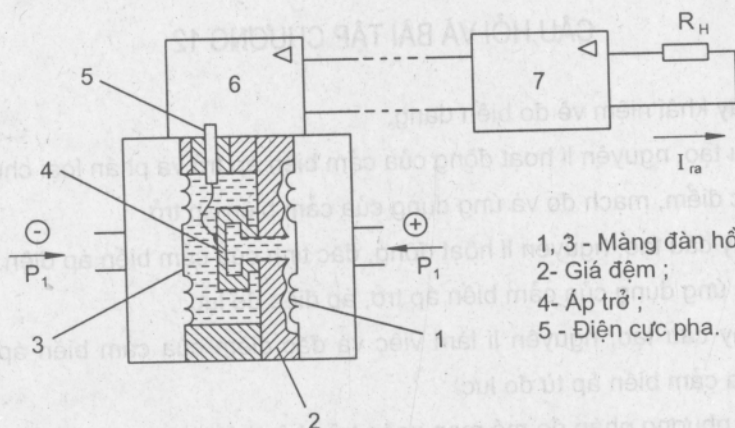
2. Cảm biến áp trở đo áp suất

Hình 12-25 là sơ đồ cấu tạo của cảm biến đo áp suất kiểu áp trở. Mô đun áp trở là một màng mỏng kim loại trên đó gắn bốn áp trở dạng silic, tạo thành mạch cầu không cân bằng. Toàn bộ mô đun được gắn trên đế chia môi trường đo thành hai phần nhờ hai màng kim loại. Hiệu số áp suất $P = P_1 - P_2$ tác động lên các áp trở qua màng đàn hồi và chất lỏng giữa hai phần môi trường làm cho các áp trở bị biến dạng. Tín hiệu ra của mạch cầu được lấy ra từ điện cực và nối với khuếch đại chuẩn hóa.

$$\text{Điện áp ra } U = \begin{cases} 0 \div 5V \\ 0 \div 10V \end{cases}, I = 4 - 20mA.$$

Cảm biến trên có thể đo được áp suất từ 0 ÷ 10³ kPa hoặc 0 ÷ 60MPa.

Cấp chính xác đạt được đến 0,6 ÷ 2.



Hình 12-25. Cảm biến áp trở đo áp suất.

3. Cảm biến áp suất kiểu biến trở

Hình 12-26 là sơ đồ mô tả cảm biến kiểu biến trở đo áp suất.

Trong đó gồm có biến trở, con chạy của biến trở nối với buồng có màng dẫn nở. Biến trở được cung cấp bằng nguồn điện có sức điện động E_0 . Điện áp ra giữa con chạy và một đầu điện trở được biểu diễn bằng biểu thức.

$$U_{ra} = E_0 \cdot \frac{R_x}{R_0} \quad (12-46)$$

E_0 – Điện áp nguồn cung cấp; R_0 – điện trở của biến trở ;

R_x – điện trở đo khi màng đàn hồi di chuyển một đoạn x ;

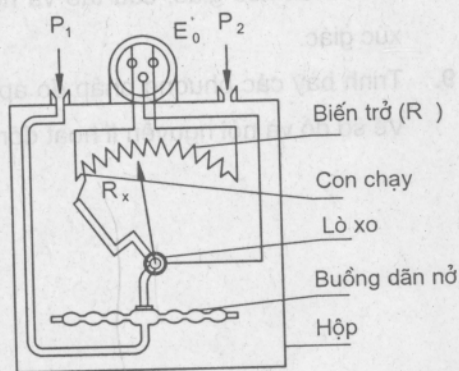
Khi có độ chênh giữa áp suất P_1 và P_2 ($P = P_1 - P_2$), buồng dẫn nở bị biến dạng kéo theo con chạy bị dịch chuyển một đoạn x tỷ lệ với áp suất P . Do đó quan hệ giữa điện áp ra và áp suất P có thể mô tả dưới dạng biểu thức:

$$U_r = k \cdot E_0 \cdot P \quad (12-47)$$

K – hệ số tỷ lệ; P – áp suất đo.

Ưu điểm của cảm biến trên là chế tạo đơn giản, tín hiệu ra lớn.

Độ phân giải cỡ 0,03% dải đo. Độ tuyến tính 0,5 ÷ 1% toàn thang. Nhược điểm của cảm biến chỉ có thể đo áp suất tĩnh hoặc biến thiên chậm (0 ÷ 3Hz). Thời gian hồi đáp chậm 15 ÷ 100ms.



Hình 12-26. Cảm biến áp suất kiểu biến trở

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 12

1. Trình bày khái niệm về đo biến dạng.
2. Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động của cảm biến áp trở và phân loại chúng.
3. Nêu đặc điểm, mạch đo và ứng dụng của cảm biến áp trở.
4. Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động, đặc tính của cảm biến áp điện.
5. Nêu các ứng dụng của cảm biến áp trở, áp điện đo lực.
6. Trình bày cấu tạo, nguyên lí làm việc và đặc điểm của cảm biến áp từ. Ứng dụng của cảm biến áp từ đo lực.
7. Nêu các phương pháp đo mô men xoắn trên bộ phận quay.
8. Cảm biến xúc giác, cấu tạo và nguyên lí hoạt động. Ứng dụng của cảm biến xúc giác.
9. Trình bày các phương pháp đo áp suất và các cảm biến ứng dụng đo áp suất. Vẽ sơ đồ và nói nguyên lí hoạt động.

CHƯƠNG XIII

ĐO VẬN TỐC, GIA TỐC VÀ ĐỘ RUNG

13-1. Khái niệm chung

Vận tốc, gia tốc và độ rung là những thông số chuyển động. Quan hệ giữa chúng là những phép vi tích phân đơn giản. Nếu ta gọi giá trị tức thời của khoảng rời là x thì giá trị tức thời của tốc độ là $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$ và gia tốc

$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$. Vì vậy muốn tìm được tốc độ ta chỉ cần tích phân gia tốc hoặc tính khoảng rời bằng tích phân tốc độ theo thời gian do đó chỉ cần đo 1 trong 3 thông số trên ta có thể xác định được các thông số khác.

Trong công nghiệp, việc đo vận tốc thông thường được đưa về đo tốc độ quay vì vậy các cảm biến đo vận tốc góc giữ vai trò quan trọng trong lĩnh vực đo tốc độ.

Để đo vận tốc, gia tốc, độ rung có thể sử dụng các loại cảm biến khác nhau như cảm biến điện từ, điện dung, áp điện, biến trở v.v... Việc sử dụng loại cảm biến nào tùy thuộc vào yêu cầu của phép đo như độ chính xác, tần số biến thiên, biên độ tín hiệu và những điều kiện liên quan khác, vì vậy khi thực hiện phép đo ta cần chú ý thỏa mãn các yêu cầu đặt ra.

Giải đo các thông số trên rất rộng, thông thường người ta chia thành những khoảng nhỏ.

Ví dụ: tốc độ của tên lửa hoặc tàu vũ trụ từ $8000 \div 12.000$ m/s; tốc độ của máy bay từ $30 \div 1000$ m/s. Tốc độ của các phương tiện giao thông $10 \div 60$ m/s. Tốc độ của các thiết bị công nghiệp từ $10 \div 0,01$ m/s v.v...

Đối với tốc độ quay của các thiết bị từ vài trăm vòng phút đến 300.000 v/phút. Với phép đo gia tốc khoảng đo từ 20.000 m/s^2 đến 10^{-5} m/s^2 .

Phương pháp đo vận tốc, gia tốc và biên độ rung có thể thực hiện biến đổi trực tiếp đại lượng đo thành các tín hiệu điện như sức điện động, dòng điện, điện tích q hoặc các thông số điện R, L, C để suy ra đại lượng đo.

Phương pháp có độ chính xác cao là biến đổi các đại lượng đo thành tần số, đo tần số suy ra đại lượng đo.

Dưới đây là một số cảm biến ứng dụng đo các đại lượng trên

13-2. Đo vận tốc

13-2-1. Máy phát tốc một chiều

Máy phát tốc độ một chiều là máy phát điện một chiều có sức điện động ra tỷ lệ với tốc độ quay.

Cấu tạo gồm có stato (hình 13-1) là một nam châm vĩnh cửu có hai cực Nam và Bắc.

Rôto là một lõi thép gồm nhiều lớp ghép lại có các rãnh quấn dây. Trục rôto được ghép với trục đối tượng đo. Khi rôto quay do cảm ứng điện từ chúng tạo ra sức điện động cảm ứng :

$$e_{cu} = -W \frac{d\phi}{dt} \quad (13-1)$$

ϕ - từ thông xuyên qua cuộn dây;

$$\phi = BS \quad (13-2)$$

B - độ từ cảm; S - tiết diện cuộn dây; W - số vòng cuộn Roto.

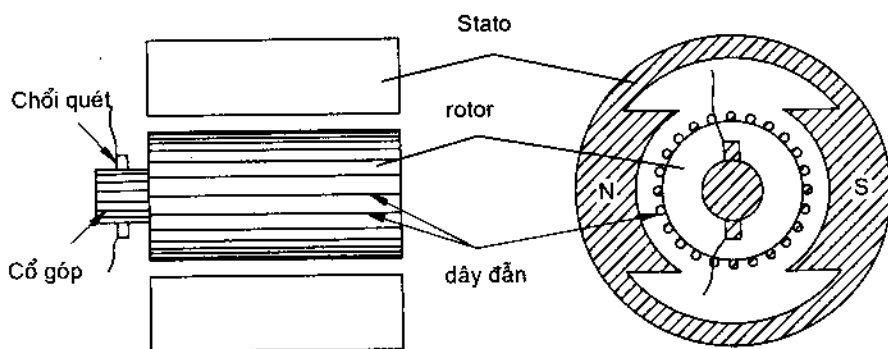
Do phương pháp nối dây và nếu tính toán theo vận tốc góc sức điện động ra có dạng :

$$E_n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot W\phi_0 = N \cdot W\phi_0 = KN \quad (13-3)$$

$$N = \frac{\omega}{2\pi}$$

trong đó ω - vận tốc góc; ϕ_0 - từ thông ban đầu của nam châm; k - hệ số; N - số vòng quay trong một giây.

Sức điện động được lấy ra qua các chổi than tiếp xúc với vành góp. Ứng dụng đo tốc độ quay của động cơ, máy phát điện có dải đo từ vài trăm ÷ 3000v/f



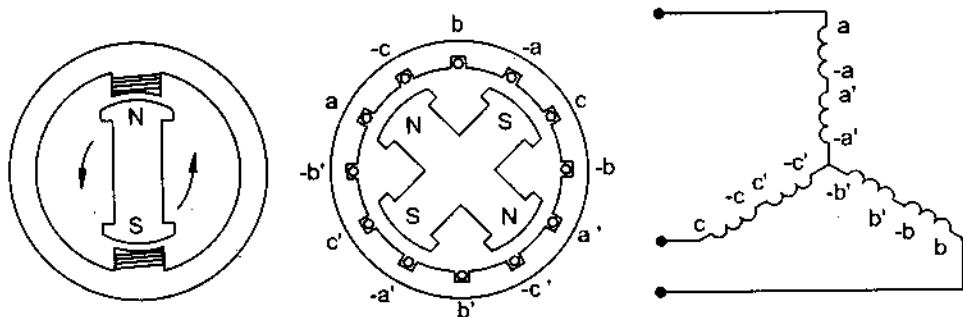
Hình 13-1. Cấu tạo của máy phát tốc một chiều

13-2-2. Máy phát tốc xoay chiều

Đó là một máy phát điện xoay chiều trong đó rôto là một nam châm (hình 13-2). Stato gồm các cuộn dây cảm ứng quấn trên lõi thép. Khi rôto quay, tín hiệu ra là điện áp xoay chiều có tần số tỷ lệ với tốc độ quay.

$$f = \frac{a \cdot n}{60} \quad (13-4)$$

a – số đôi cực; n – tốc độ quay; f – tần số.



Hình 13-2. Sơ đồ cấu tạo máy phát tốc xoay chiều.

Đo điện áp ra hoặc tần số f có thể xác định được tốc độ quay. Thông thường chỉ thị kèm theo thường là tần số kế vì đo tần số có sai số nhỏ và không bị phụ thuộc vào cấu tạo của máy phát mà chỉ phụ thuộc vào cách bố trí số lượng các cực. Máy phát tốc xoay chiều có thể là 1 pha hoặc 3 pha.

13-2-3. Đo tốc độ bằng phương pháp đếm xung (encoder)

Phương pháp đếm xung đo tốc độ quay là phương pháp đo được sử dụng nhiều do chúng có những ưu điểm mà các phương pháp khác không đạt được, đó là độ chính xác cao, chống nhiễu tốt, thực hiện được dưới dạng số, kết cấu đơn giản và độ tin cậy cao.

Các cảm biến đo tốc độ quay thường là cảm biến cảm ứng, cảm biến Hall và cảm biến quang v.v... kết hợp với một đĩa gắn liền với trục quay. Đĩa dạng tròn và được chia thành p phần bằng nhau. Mỗi phần có thể thực hiện dưới dạng lỗ, rãnh hoặc răng.

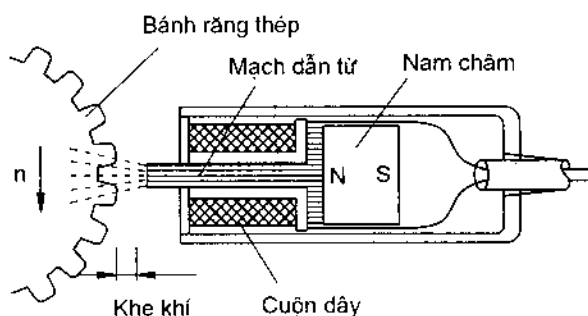
Tần số của các tín hiệu xung được tính theo công thức

$$f = P \cdot N \quad (13-5)$$

P – số phần trên đĩa; N – số vòng quay của đĩa trong 1 giây;

1. Cảm biến cảm ứng đo tốc độ

Hình 13-3 mô tả cấu tạo của cảm biến cảm ứng đo tốc độ quay gồm bánh răng làm bằng vật liệu sắt từ, cuộn dây cảm ứng đặt đối diện với đĩa quay và nam châm vĩnh cửu. Số lượng răng của đĩa $p = 1; 6; 60; 180; 200; 250$ và 600 để có tần số thấp nhất là 10Hz .



Hình 13-3. Sơ đồ cấu tạo cảm biến cảm ứng đo tốc độ.

Khi bánh răng quay, do tác động của trường điện từ và từ trở của mạch từ biến thiên tạo thành sức điện động $e_{cu} = -W \frac{d\phi}{dt}$.

Tần số của các xung tạo thành:

$$f_{\max} = \frac{p \cdot n_{\max}}{60} \quad (13-6)$$

Trong đó số răng không nhỏ hơn

$$p = 600/n_{\min}$$

$n_{\max}$ – tốc độ quay lớn nhất; $n_{\min}$ – tốc độ quay nhỏ nhất.

Từ hình 13-3 giả sử $p = 60$, thời gian đo là 1 giây. Thiết bị có thể chỉ thị trực tiếp tần số quay thành tốc độ.

Chỉ thị là dụng cụ số trong đó các xung được đưa qua khuếch đại vào thiết bị tính và chỉ thị.

Biên độ của xung (sức điện động e_{cu}) phụ thuộc vào khoảng cách giữa cuộn dây và đĩa. Thông thường khoảng cách này không vượt quá vài mm. Mật khác sức điện động còn phụ thuộc vào tốc độ quay của đĩa và khoảng cách giữa đĩa và cảm biến) do vậy cần chọn khe hở sao cho thích hợp.

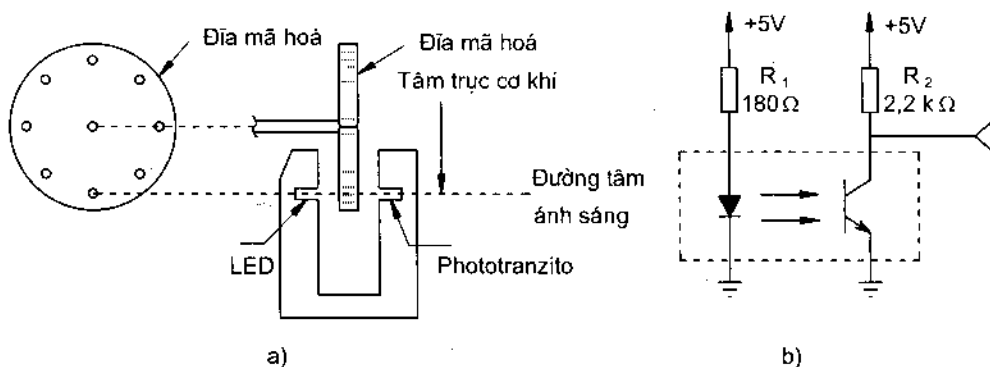
Dài đo của cảm biến phụ thuộc vào số răng P của đĩa.

Số răng P càng lớn tốc độ có thể đo được càng nhỏ và ngược lại.

Ví dụ: $P = 60$ dải tốc độ đo được từ 50 v/phút ÷ 500 v/phút, $P = 15$ dải tốc độ trong khoảng 500 v/phút ÷ 10000v/phút, Sai số của bộ đếm là ± 1 xung.

2. Cảm biến quang đo tốc độ

Cấu tạo của biến quang đo tốc độ gồm điốt phát quang (LED) cung cấp nguồn sáng cho đầu thu là một photo tranzito hình 13-4. Giữa điốt và photo tranzito đặt một đĩa mã hóa gắn trên trục động cơ gồm các lỗ. Khi đĩa quay nếu ánh sáng của LED chiếu qua lỗ đến tranzito, lúc đó tranzito thông và có điện áp rơi trên R_2 , khi đĩa ngăn ánh sáng, photo tranzito khóa và điện áp rơi trên R_2 bằng 0. Các điện áp rơi trên R_2 tạo ra các xung. Tần số xung phụ thuộc vào tốc độ quay của đĩa. Đo tần số ta có thể xác định được tốc độ quay của động cơ.



Hình 13-4. a) Cảm biến quang đo tốc độ ; b) Sơ đồ nguyên lý.

Dải đo của cảm biến phụ thuộc vào số lượng lỗ trên đĩa và dải thông của mạch điện tử và có thể đo với tốc độ quay từ 10^{-1} vòng/phút ÷ 10^5 vòng/phút.

Các cảm biến trên được chế tạo thành thiết bị và gọi là optron có bán trên thị trường.

12-2-4. Cảm biến điện từ đo vận tốc dài

Như ta đã biết khi độ dịch chuyển của đối tượng đo lớn, việc đo vận tốc dài được chuyển thành đo vận tốc góc qua hệ thống biến đổi trung gian. Trong trường hợp độ dịch chuyển có biên độ nhỏ ta có thể sử dụng cảm biến điện từ để đo. Hình 13-5a là cấu tạo của cảm biến cảm ứng đo tốc độ dịch chuyển nhỏ

Trong đó gồm nam châm vĩnh cửu và cuộn dây cảm ứng gắn với đối tượng đo qua hệ thống dẫn động.

Khi có sự chuyển động tương đối giữa cuộn dây và nam châm trong cuộn dây xuất hiện một sức điện động cảm ứng

$$e_{cv} = 2\pi r WBv = kv. \quad (13-7)$$

r – bán kính cuộn dây; W – số vòng cuộn dây; B – cảm ứng từ;
 k – hệ số; v – vận tốc dịch chuyển cuộn dây.

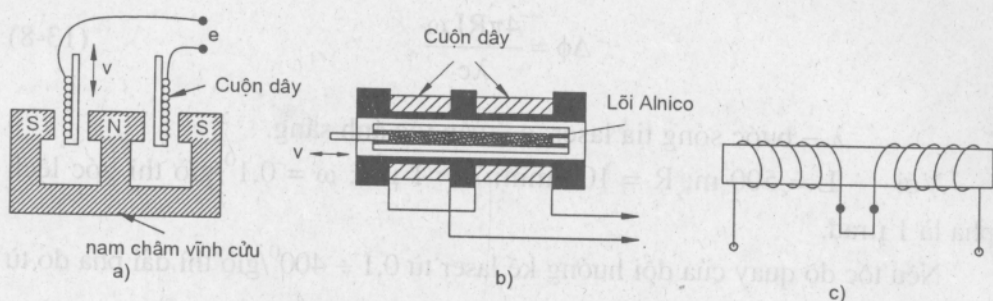
Khoảng đo độ dịch chuyển cỡ vài mm với độ nhạy 1 v/m/s. Với độ dịch chuyển lớn hơn ta sử dụng nam châm di chuyển trong hai cuộn dây, chúng được đấu ngược cực nhau (h. 12-5b) khi lõi nam châm nằm giữa 2 cuộn dây sức điện động tạo ra $e_1 = e_2$ và hiệu của chúng $\Delta E = e_1 - e_2 = 0$.

Khi lõi chuyển động, do từ thông ϕ móc vòng qua hai cuộn dây khác nhau nên sức điện động $e_1 \neq e_2$.

Do đó $\Delta E = e_1 - e_2 \neq 0$ và tỷ lệ với tốc độ dịch chuyển của lõi nam châm
 Bảng 13-1 mô tả đặc tính của cảm biến điện từ đo tốc độ.

Bảng 12-1

Đặc tính	Số
Khoảng di chuyển (inch/s)	0,5 ÷ 24
Độ nhạy (mV trên inch/s)	35 ÷ 500
Độ trở cuộn dây (kΩ)	2 ÷ 45
Độ tự cảm của cuộn dây (henry)	0,06 ÷ 7,5
đáp ứng tần số (Hz)	500 ÷ 1500
Trọng lượng (g)	20 ÷ 1500



Hình 13-5. Cảm biến điện từ đo vận tốc dài

13-2-5. Tốc độ kế sợi quang

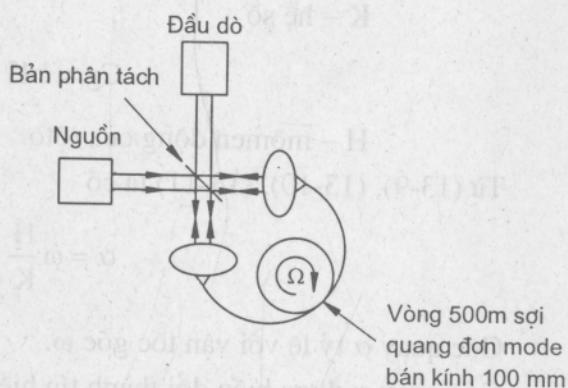
Tốc độ kế sử dụng hiệu ứng Doppler là dụng cụ đo tốc độ của các đối tượng bằng cách chiếu tia laser vào chúng. Ánh sáng khuếch tán từ đối tượng tuân theo hiệu ứng Doppler đó là tần số của ánh sáng khuếch tán khác với tần số ánh sáng của nguồn. Độ lệch tần số này phụ thuộc vào tốc độ dịch chuyển của vật.

Dải đo rất rộng từ $10^{-6} \div 10^5 \text{ m/s}$. Thiết bị này thường được sử dụng đo tốc độ của các đối tượng như tên lửa, máy bay, tốc độ dòng chảy v.v...

13-2-6. Đối hướng kế sợi quang

Đối hướng kế sợi quang là thiết bị sử dụng cảm biến quang đo tốc độ của đối tượng dịch chuyển trong lĩnh vực hàng không và quân sự, đó là một sợi quang có chiều dài L tạo thành một vòng tròn bán kính R và quay với vận tốc ω .

Nếu cho 2 chùm tia xuất phát từ cùng một nguồn laser nhưng truyền theo hai hướng ngược nhau trong sợi quang trên (hình 13-6). Khi ra khỏi cáp, hai tia giao thoa bị dịch pha. Bằng cách đếm số vân giao thoa $\Delta\phi$ bị dịch chuyển do cáp quay có thể tính được tốc độ quay:



Hình 13-6. Cấu tạo của đối hướng kế sợi quang

$$\Delta\phi = \frac{4\pi RL\omega}{\lambda c} \quad (13-8)$$

λ – bước sóng tia laser; c – vận tốc ánh sáng.

Với $L = 500$ m; $R = 100$ mm; $\lambda = 1$ μ m; $\omega = 0,1^0$ /giờ thì góc lệch pha là 1 μ rad.

Nếu tốc độ quay của đổi hướng kế laser từ $0,1 \div 400^0$ /giờ thì dải pha đo từ $10^{-7} \div 10$ rad.

13-2-7. Đổi hướng kế con quay hồi chuyển

Con quay hồi chuyển gồm một rôto lắp trên một khung động và quay quanh trục YY' nhờ một động cơ với tốc độ cỡ 10^4 v/f (h. 13-7). Tốc độ quay cần đo ω theo trục ZZ' vuông góc với trục YY' làm xuất hiện ngẫu lực C_g (tỷ lệ với ω) theo hướng XX' vuông góc với YY' và ZZ' và có xu hướng làm cho khung động của con quay hồi chuyển quay theo. Ngẫu lực C_g cân bằng với ngẫu lực đàn hồi C_r do hai lò xo gây nên và có giá trị tỷ lệ với góc quay α của khung ở trạng thái cân bằng

$$C_g = C_r \quad (13-9)$$

với
$$C_r = K\alpha \quad (13-10)$$

K – hệ số

$$C_g = \omega H \quad (13-11)$$

H – mômen động của rôto.

Từ (13-9), (13-10), (13-11) ta có

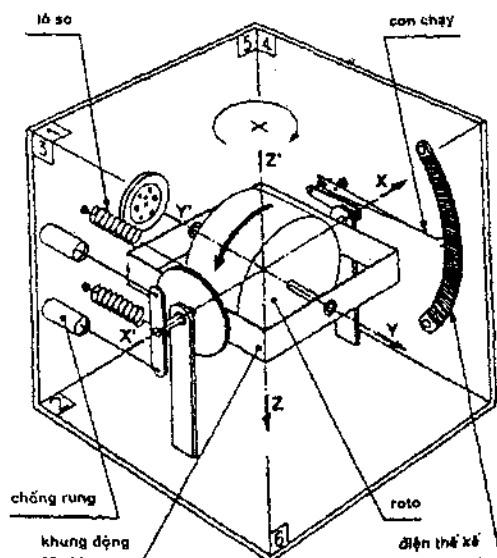
$$\alpha = \omega \frac{H}{K} \quad (13-12)$$

Góc quay α tỷ lệ với vận tốc góc ω .

Góc quay α được biến đổi thành tín hiệu điện nhờ một biến trở.

Dải đo của thiết bị từ $\pm 7^0/s \div \pm 360^0/s$.

Sai số $\pm 1,5\%$ của dải đo.



Hình 13-7. Sơ đồ cấu tạo đối hướng kế con quay hồi chuyển.

13-3. Cảm biến gia tốc và rung

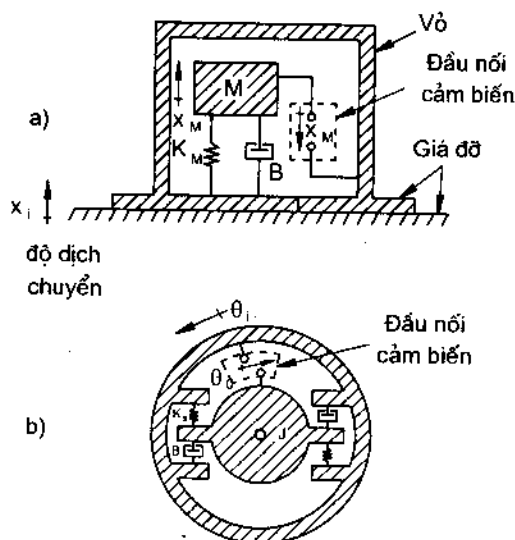
13-3-1. Đo độ rung trong công nghiệp có tầm quan trọng đặc biệt vì rung động gây nên tiếng ồn có hại cho sức khỏe, giảm tuổi thọ và năng suất của các thiết bị, làm mài mòn và gây mỏi cho các chi tiết cơ khí. Vì vậy trong các quy định người ta giới hạn biên độ rung động cho các thiết bị cụ thể theo chuẩn quốc gia. Độ rung được đặc trưng bởi độ dịch chuyển, tốc độ hoặc gia tốc tại các điểm xác định nào đó trên thiết bị.

Tùy theo dải tần, cảm biến rung được cấu tạo khác nhau cho phù hợp.

Cấu trúc chung của cảm biến đo biên độ rung, tốc độ rung, lắc và gia tốc gồm có khối quán tính M (hình 13-8), lò xo cản K_M , hệ thống cân dọi B kết hợp với một cảm biến điện như tinh thể áp điện, biến trở, cuộn dây cảm ứng v.v... chúng được đặt trong 1 hộp kín. Chuyển động rung của khối quán tính M được chuyển thành tín hiệu điện cần đo và đưa ra ngoài.

Quan hệ giữa tần số cộng hưởng của hệ thống cơ và dải tần cần đo thường tỷ lệ nghịch với nhau. Tần số của các cảm biến khi đo độ rung cần thấp hơn một số lần giới hạn dưới của dải tần cần đo. Khi đo gia tốc, tần số của cảm biến cần lớn hơn một số lần giới hạn trên của dải tần cần đo.

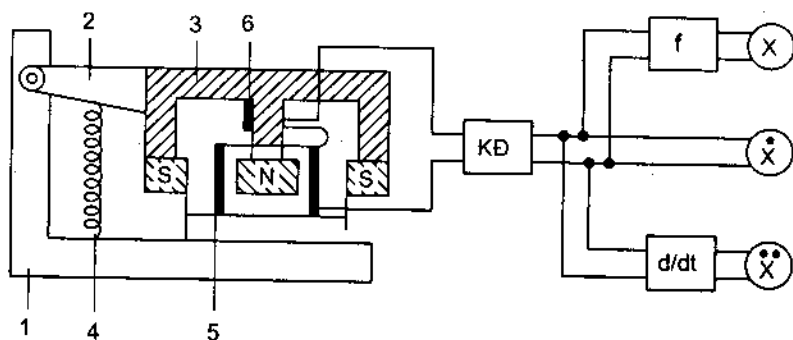
Dải tần đo độ rung nằm trong khoảng $20 \div 3000 \text{ Hz}$ vì vậy hệ thống cơ cần có tần số nằm trong khoảng $2 \div 7 \text{ Hz}$. Khi đo gia tốc, tần số nằm trong khoảng $10 \div 15 \text{ kHz}$.



Hình 13-8. Cấu trúc chung của cảm biến đo rung (a), đo lắc (b)

13-3-2. Chấn động kế cảm ứng

Hình 13-9 là sơ đồ của cảm biến đo chấn động kiểu cảm ứng. Trong đó gồm giá đỡ bằng kim loại không dẫn từ gắn lên đối tượng đo. Trên giá đỡ là thanh dao động, nam châm vĩnh cửu và lò xo tạo thành khối quán tính.



Hình 13-9. Sơ đồ chấn động kế kiểu cảm ứng.

1 - Giá đỡ ; 2 - Thanh dao động ; 3 - Mạch từ ; 4 - Lò xo cảm ứng ; 5 - Cuộn dây cảm ứng ; 6 - Cuộn bù nhiệt độ.

Bình thường dưới tác dụng của trọng lượng, khối quán tính và lực đẩy của lò xo ở trạng thái cân bằng, cuộn dây của lò xo ở trạng thái cân bằng, cuộn dây cảm ứng đặt giữa khe hở không khí của nam châm đứng yên.

Khi có chấn động (độ rung), giữa nam châm và cuộn dây di chuyển tương đối với nhau làm cho từ thông, móc vòng qua cuộn dây thay đổi, tạo ra sức điện động cảm ứng.

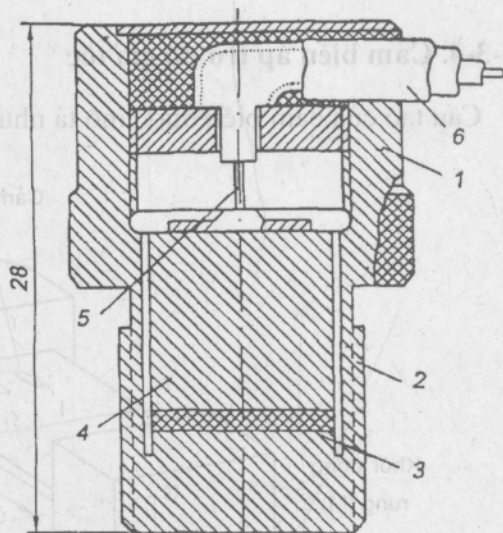
Sức điện động này tỷ lệ với biên độ rung và được đưa ra mạch đo và chỉ thị. Sức điện động cảm ứng có thể bị nhiễu do từ trường bên ngoài, để khử nhiễu người ta quấn thêm cuộn dây bù có số vòng bằng cuộn dây cảm ứng nhưng được đấu ngược chiều. Sức điện động do nhiễu sinh ra trong 2 cuộn dây sẽ khử lẫn nhau.

Kết hợp với các mạch đo, cảm biến có thể đo được biên độ rung, tốc độ và gia tốc.

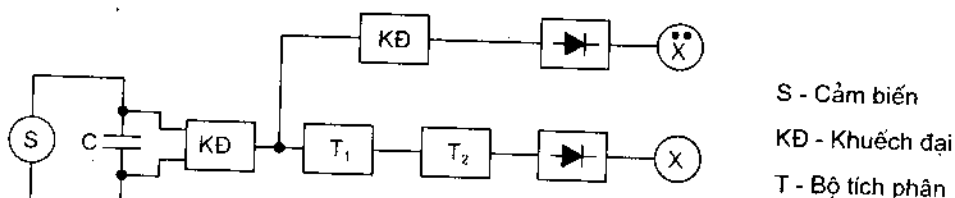
13-3-3. Cảm biến áp điện đo gia tốc

Để đo độ rung có tần số cao ($10 \div 20$ kHz) thường sử dụng cảm biến áp điện.

Cấu tạo của cảm biến áp điện gồm có phần tử áp điện được bố trí giữa khối rung và đế gắn lên đối tượng đo. Phía trên khối rung là lò xo cân bằng (h. 13-10). Tất cả được bọc trong một vỏ bọc kín. Khi đo, khối rung tác động lên phần tử áp điện và chúng tạo nên các điện tích tỷ lệ với phản lực, tức là với sự chuyển động của khối rung. Tín hiệu được đưa ra ngoài và đo bằng dụng cụ đo. Hình 13-11 là sơ đồ khối của dụng cụ vạn năng dùng cảm biến áp điện đo biên độ rung và gia tốc.



Hình 13 - 10. Cảm biến áp điện đo gia tốc
1 - Vỏ bọc ; 2 - Ren lắp ; 3 - Phần tử áp điện ;
4 - Khối quán tính ; 5 - Dây dẫn ; 6 - Cáp bọc kim



Hình 13-11. Sơ đồ khối gia tốc kế áp điện

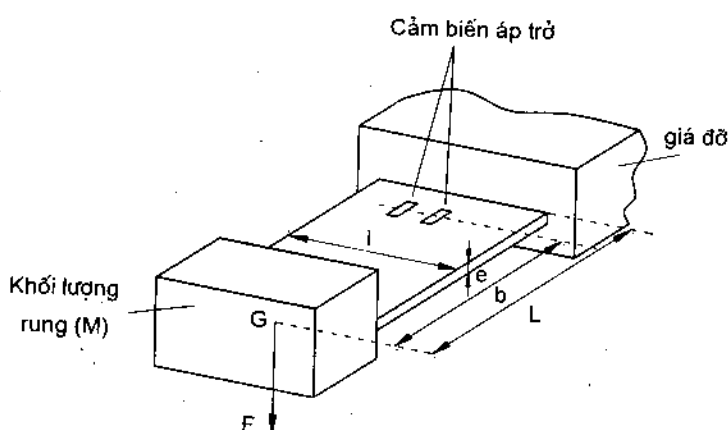
Để nhận được điện áp xoay chiều tỷ lệ với gia tốc nhưng không phụ thuộc vào tần số rung, cảm biến được nối song song với tụ C. Trở kháng $X_c = \frac{1}{\omega c}$ với giả tần làm việc cần có điện trở thực rất nhỏ ở đầu vào của khuếch đại để hạn chế giới hạn dưới của dải tần làm việc.

Điện áp ra sau khuếch đại được tách thành hai kênh song song. Một kênh gồm khuếch đại, chỉnh lưu và chỉ thị gia tốc. Kênh còn lại tín hiệu được đưa qua hai bộ tích phân và chỉnh lưu để chỉ biên độ rung.

Dải tần làm việc của cảm biến và thiết bị từ 20Hz ÷ 10 kHz. Sai số quy đổi $\pm 5\%$. Với mạch đo trên thiết bị có bốn giới hạn đo gia tốc 20, 100, 400 và 2000m/s². Bốn giới hạn đo biên độ rung 0,05; 0,25; 1 và 5mm.

13-3-4. Cảm biến áp trở đo gia tốc

Cấu tạo của cảm biến được mô tả như hình 13-12



Hình 13-12. Sơ đồ cấu tạo cảm biến áp trở đo gia tốc

Trong đó gồm khối quán tính M được gắn với một tấm đàn hồi mỏng trên đó gắn 2 hoặc 4 áp trở mắc thành mạch cầu Wheatsstone. Tấm đàn hồi được gắn liền với giá trị đỡ (h. 13-12).

Dưới tác dụng của gia tốc, khối quán tính M dịch chuyển làm tấm đàn hồi bị uốn cong gây nên biến dạng các áp trở.

Bình thường khi chưa có gia tốc, tấm đàn hồi đứng yên, các áp trở có trị số xác định và mạch cầu ở trạng thái cân bằng. Khi có gia tốc các áp trở biến dạng và điện trở của chúng thay đổi làm cho cầu ở trạng thái mất cân bằng, điện áp ra của cầu được xác định (với 4 điện trở làm việc)

$$U_r = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (13-13)$$

$\frac{\Delta R}{R}$ – độ biến thiên tương đối của điện trở. Mà

$$\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon \quad (13-14)$$

và

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

k – hằng số; ε – độ biến dạng tương đối;

l – độ dài của điện trở lực căng; U_0 – điện áp cung cấp cho cầu

Từ (13-13) và (13-14) ta có

$$U_{ra} = U_0 \cdot k\varepsilon = S \cdot \varepsilon. \quad (13-15)$$

S – độ nhạy của cảm biến.

Thông thường hệ số $k = 1,8 \div 2,4$ đối với kim loại

$k = 50 \div 200$ đối với bán dẫn

$R = 300 \div 600 \Omega$ và lớn hơn.

Ngoài các cảm biến trình bày ở trên, ngày nay người ta còn sử dụng các cảm biến tụ điện, cảm biến biến trở để chế tạo thành các gia tốc kế.

Chọn loại cảm biến nào tùy thuộc vào yêu cầu của phép đo mà quyết định.

13-4. Đặc điểm của các cảm biến đo rung và gia tốc

1. Tần số riêng

Tần số riêng (f_0) của cảm biến là đại lượng đặc trưng giống như khái niệm tần số riêng của con lắc.

Tần số riêng được biểu diễn bằng biểu thức

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{M_g + M_d} \right)} \quad (13-16)$$

trong đó: k – hệ số phản kháng; M – khối quán tính;
 M_g – khối giá đỡ; M_d – khối chuyển động.

2. Tần số cộng hưởng (f_c)

Tần số cộng hưởng là tần số tại đó đặc tính có biên độ cực đại. Tần số cộng hưởng được tính:

$$f_c = f_0 \sqrt{1 - 2\xi^2} \quad (13-17)$$

ξ – hệ số tắt dần; f_c – tần số cộng hưởng

Ví dụ: $f_0 = 28\text{kHz}$, $M_g = 25\text{g}$; $M = 29\text{g}$; $M_d = 300\text{g}$

$f_c = 19,8\text{kHz}$. (Máy đo gia tốc áp điện của Bruel & Kjaer)

3. Ảnh hưởng của cảm biến đến đối tượng đo

Như ta đã biết, các gia tốc kế đều có khối lượng lớn (M_a), khi gắn lên đối tượng đo các gia tốc kế sẽ làm thay đổi sự chuyển động của đối tượng đo đó làm ảnh hưởng đến kết quả đo.

Lực tác dụng lên đối tượng đo được biểu diễn bằng công thức

$$F = M_d \cdot a. \quad (13-18)$$

M_d – khối chuyển động (đối tượng đo); a – gia tốc.

Khi có gắn gia tốc kế, lực tác động không thay đổi

$$F = (M_d + M_a) \cdot a'. \quad (13-19)$$

M_a – Khối lượng của gia tốc kế;

a' – gia tốc khi đã gắn gia tốc kế.

CHƯƠNG XIV

CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG - VẬN TỐC CHẤT LƯU VÀ MỨC

14-1. Đo lưu lượng và vận tốc

14-1-1. Khái niệm chung

Chất lưu là loại vật chất ở dạng lỏng hoặc khí tồn tại ở điều kiện nhiệt độ, áp suất nhất định. Dưới tác động của ngoại lực hoặc có độ chênh áp suất chất lưu có thể chuyển động.

Lưu lượng, vận tốc chất lưu là các tham số quan trọng của quá trình công nghệ. Muốn nâng cao chất lượng các sản phẩm và hiệu quả của hệ thống điều khiển tự động cần đo chính xác các tham số đó.

Để đáp ứng được yêu cầu trên các cảm biến được sử dụng có cấu tạo đa dạng và phương pháp đo cũng khác nhau. Thực tế chuyển động của chất lưu được đặc trưng bởi dòng chảy. Để mô tả tính chất vật lý của dòng chảy cần đo vận tốc, khối lượng riêng, áp suất và nhiệt độ ở các vị trí khác nhau của lưu chất.

Dòng chảy có thể là một pha hoặc nhiều pha trong đó số lượng vật chất được xác định bằng khối lượng hoặc thể tích tương ứng với các đơn vị (kg, tấn) hoặc (lít, m³).

Lưu lượng vật chất là số lượng chất đó chảy qua tiết diện ngang của ống dẫn trong một đơn vị thời gian.

- Lưu lượng tức thời được tính theo công thức:

$$Q = \frac{dv}{dt} \quad (14-1)$$

- Lưu lượng khối tức thời:

200.000

$$G = \frac{dm}{dt} \quad (14-2)$$

V – thể tích; m – khối lượng

- Lưu lượng trung bình được tính:

$$Q_{tb} = v(t_2 - t_1) \quad (14-3)$$

Từ (14-1) và (14-2) ta có

Thể tích:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q_{dt} \quad (14-4)$$

và khối lượng:

$$m = \int_{t_1}^{t_2} G_{dt} \quad (14-5)$$

t_1 – thời điểm đầu; t_2 – thời điểm cuối.

- Đơn vị đo theo thể tích: m^3/s ; $m^3/giờ$

- Đơn vị đo theo khối lượng: kg/s ; $kg/giờ$; $tấn/giờ$.

14-1-2. Đo lưu lượng bằng phương pháp đếm xung

Nguyên lý làm việc dựa trên số vòng quay của tua bin trong một đơn vị thời gian tỷ lệ với tốc độ dòng chảy.

$$n = k \cdot v \quad (14-6)$$

n – số vòng quay của tua bin; k – hệ số;

v – tốc độ dòng chảy qua tiết diện của ống dẫn.

Lưu lượng thể tích qua ống dẫn được tính theo công thức

$$Q = v.S. \quad (14-7)$$

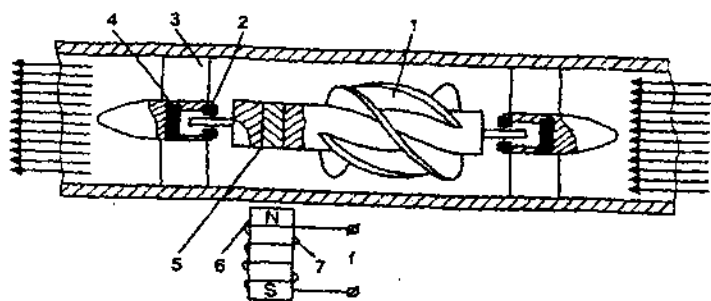
Từ (14-6) thay vào (14-7) ta được

$$Q = \frac{S}{k} \cdot n = kn \quad (14-8)$$

S – tiết diện dòng chảy;

k – hệ số phụ thuộc vào đặc tính và cấu tạo của cảm biến

Hình 14-1 là sơ đồ thiết bị đo trong đó gồm có tuabin cánh quạt quay trên giá đỡ và được gắn với tấm đỡ đặt trong ống dẫn. Ổ đỡ có tác dụng hạn chế độ dịch chuyển của cánh tuabin. Trục tua bin làm bằng vật liệu không dẫn từ, trong đó gắn lõi thép làm bằng vật liệu dẫn từ.



Hình 14 - 1. Lưu lượng kế tua bin.

1 - Cánh tua bin ; 2, 4 - Ổ đỡ ; 3 - Giá đỡ tua bin ;
5 - Lõi thép ; 6 - Nam châm ; 7 - Cuộn dây cảm ứng.

Bên ngoài ống là một cảm biến cảm ứng gồm nam châm vĩnh cửu và cuộn dây cảm ứng.

Khi tuabin quay, từ thông của nam châm sẽ tăng lên khi lõi thép nằm dọc trục của nam châm và giảm đi khi lõi thép nằm vuông góc với nó.

Khi từ thông móc vòng trong cuộn dây thay đổi (lõi thép nằm dọc trục nam châm) sẽ xuất hiện một sức điện động cảm ứng $E = -W \frac{d\phi}{dt}$. Mỗi vòng quay của tuabin từ thông tăng giảm hai lần và tần số cảm ứng f trong cuộn dây cũng tăng gấp 2 lần số vòng quay của tuabin.

Do tốc độ vòng quay có thể thực hiện theo hai phương pháp.

* Biến đổi tần số thành điện áp ($f \rightarrow V$), chỉ thị điện áp tỷ lệ với số vòng quay và xác định được lưu lượng cần đo.

* Đo tốc độ vòng quay bằng tần số kế (đếm xung) để xác định lưu lượng cần đo.

Với phương pháp trên sai số đạt được từ $\pm 1 \div 0,3\%$.

Phạm vi đo từ $0,5 \div 150000$ lít/phút với chất lỏng và $5 \div 100000$ lít/phút đối với chất khí.

14-1-3. Đo lưu lượng bằng phương pháp chênh áp

Một trong những phương pháp phổ biến để đo lưu lượng chất lỏng, khí và hơi là phương pháp thay đổi độ giảm áp suất qua ống thu hẹp.

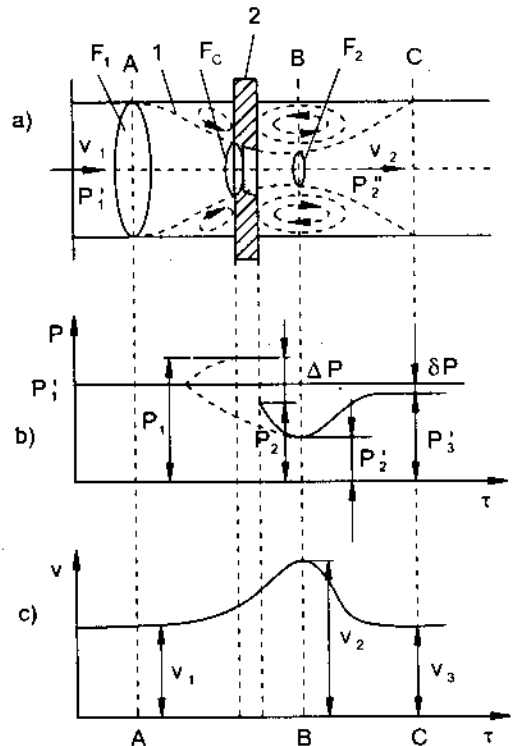
Khi dòng chảy qua một ống dẫn có đặt một thiết bị thu hẹp (hình 14.2a) tốc độ của dòng chảy sau lỗ thu hẹp sẽ tăng lên so với tốc độ phía trước lỗ thu hẹp vì vậy áp suất ở phía sau của thiết bị thu hẹp bị giảm xuống tạo nên sự chênh lệch áp suất phía trước và phía sau thiết bị thu hẹp. Độ lệch áp suất phụ thuộc vào tốc độ của dòng chất lưu mà lưu lượng của nó lại phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy do đó lưu lượng qua thiết bị thu hẹp tỷ lệ với độ chênh áp suất. Hình 14-2a là sơ đồ của dòng chảy lý tưởng với biểu đồ phân bố áp suất (h. 14-2b) và tốc độ dòng chảy (hình 14-2c).

Nếu gọi P_1 là áp suất ở thành ống phía trước thiết bị thu hẹp và P_2 là áp suất sau thiết bị thu hẹp, ta có quan hệ giữa lưu lượng khối G và lưu lượng Q của dòng chảy được biểu diễn như sau:

$$G = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad (14-9)$$

$$Q = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)} \quad (14-10)$$

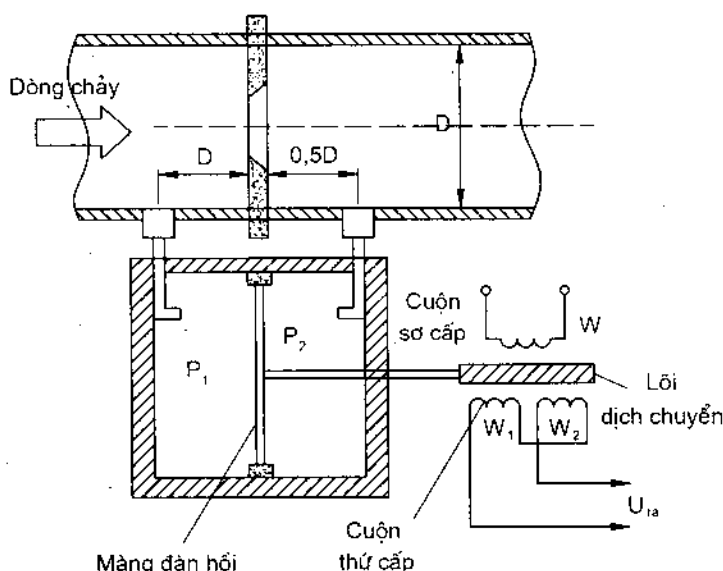
trong đó: α – hệ số; d – đường kính lỗ thu hẹp;
 ρ – mật độ dòng chảy.



Hình 14-2. Phân bố áp suất của dòng chảy có thiết bị thu hẹp

Để đo độ chênh áp có thể sử dụng các cảm biến thông thường như cảm biến áp trở, biến áp vi sai, điện dung v.v... kết hợp với các khâu trung gian như màng đàn hồi, thanh dẫn, ống xi phông tương tự như đo áp suất.

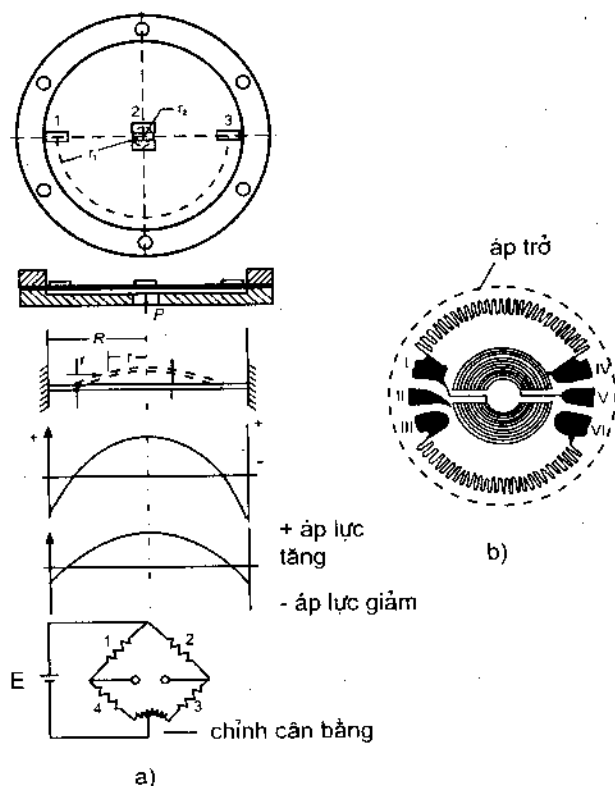
Hình 14-3 là sơ đồ dùng cảm biến biến áp đo lưu lượng bằng phương pháp chênh áp.



Hình 14-3. Sơ đồ đo lưu lượng bằng phương pháp chênh áp

Áp suất P_1 và P_2 qua ống dẫn được đưa vào hai phía của màng đàn hồi. Cảm biến hồ cảm có lõi thép di chuyển được gắn với màng. Bình thường khi chưa có dòng chảy, áp suất $P_1 = P_2$ màng đàn hồi đứng yên, lõi thép nằm giữa hai cuộn dây thứ cấp của biến áp do đó tín hiệu ra bằng không. Khi có dòng chảy qua thiết bị thu hẹp áp suất P_1 tăng và P_2 giảm tạo nên độ chênh áp suất $\Delta P = P_1 - P_2$ làm cho màng đàn hồi di chuyển kéo theo lõi của biến áp vi sai di chuyển theo do đó sức điện động ở đầu ra của cảm biến tăng tỷ lệ với độ chênh áp suất. Đo sức điện động có thể xác định được lưu lượng của dòng chảy.

Trong thực tế các cảm biến đo độ chênh áp suất có thể thực hiện bằng áp trở. Màng đàn hồi được gắn bốn áp trở loại silicon màng mỏng, chúng được mắc thành mạch cầu (hình 14-4). Khi màng biến dạng, điện trở của các áp trở thay đổi, tín hiệu ra tỷ lệ với lưu lượng cần đo.

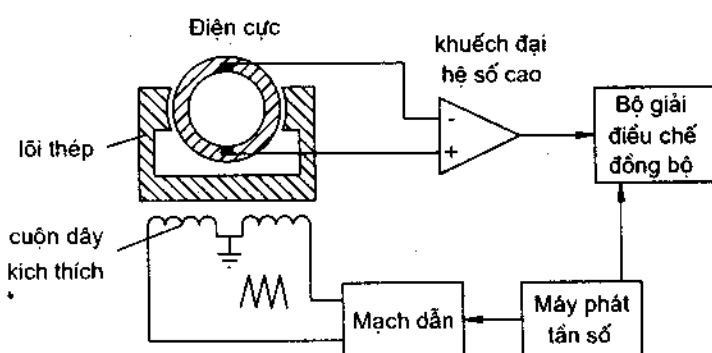


Hình 14-4. Sơ đồ bố trí áp trở trên màng đàn hồi và mạch đo.

14-1-4. Lưu lượng kế từ điện

Nguyên lý hoạt động của thiết bị dựa trên định luật cảm ứng điện từ của Faraday. Khi có một dây dẫn chuyển động trong từ trường cắt các đường sức, trong dây dẫn cảm ứng một sức điện động tỷ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây dẫn. Nếu ta dùng một chất lỏng dẫn điện chảy qua giữa hai cực của một nam châm, sức điện động sinh ra trong chất lỏng sẽ tỷ lệ với tốc độ dòng chảy hay tỷ lệ với lưu lượng cần đo.

Hình 14-5 là sơ đồ của cảm biến từ điện đo lưu lượng. Ống dẫn dung dịch được chế tạo bằng vật liệu không dẫn từ có chất lỏng dẫn điện chảy qua. Từ trường biến thiên do nam châm điện tạo nên xuyên qua dòng chất lỏng cảm ứng một sức điện động và được lấy ra trên hai điện cực và đưa ra ngoài.



Hình 14-5. Sơ đồ cấu tạo của lưu lượng kế kiểu cảm ứng.

Độ lớn của sức điện động được tính

$$E = k\omega Bdv \quad (14-11)$$

k – hệ số; ω – tần số góc của từ thông do nam châm tạo ra;

B – độ cảm ứng từ; d – đường kính trong của ống;

v – tốc độ trung bình của chất lỏng.

Sức điện động biểu diễn qua lưu lượng:

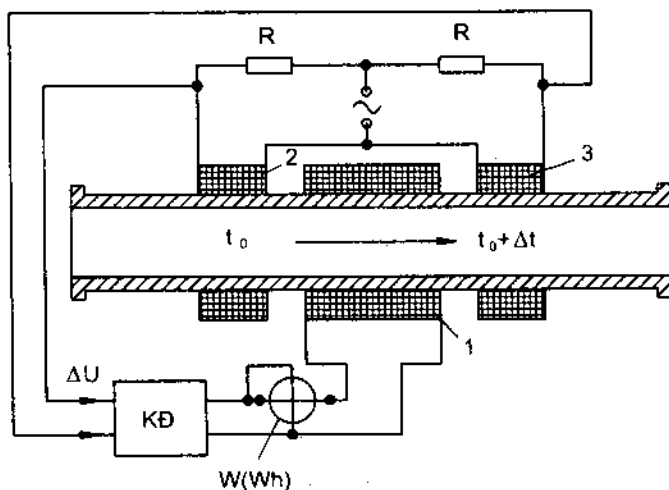
$$E = \frac{4k\omega}{\pi d} \cdot B \cdot Q \quad (14-12)$$

với $Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v$ là lưu lượng dòng chảy.

Ưu điểm của thiết bị là không có quán tính nên có thể đo lưu lượng biến thiên theo thời gian. Chỉ thị của dụng cụ không phụ thuộc vào thông số vật lý của chất lỏng (áp suất, nhiệt độ, mật độ, độ nhớt) và không phụ thuộc vào sức cản phụ của dòng chảy. Dải đo trong phạm vi rộng từ $1 \div 2000 \text{ m}^3/\text{giờ}$ với đường kính ống từ $10 \div 1000 \text{ mm}$ với tốc độ dòng chảy từ $0,6 \div 10 \text{ m/s}$. Sai số $\pm 1 \div 2,5\%$.

14-1-5. Lưu lượng kế nhiệt

Lưu lượng kế nhiệt là thiết bị đo lưu tốc chất khí trong đó cảm biến là một ống dẫn, bên ngoài quấn cuộn dây đốt nóng, phía trước và sau cuộn dây đốt là 2 cuộn dây nhiệt điện trở làm bằng đồng hoặc Niken kết hợp với hai điện trở R tạo thành một mạch cầu 4 nhánh (hình 14-16), nguồn cung cấp là nguồn điện áp xoay chiều hoặc một chiều.



Hình 14-6. Lưu lượng kế nhiệt. 1 - Cuộn dây đốt; 2, 3 - Nhiệt điện trở.

Khi chưa có dòng khí đi qua hai cuộn dây nhiệt điện trở đều có cùng giá trị R_0 , mạch cầu được điều chỉnh cân bằng, điện áp ra bằng không ($U_r = 0$). Khi có dòng khí đi qua ống dẫn, chúng được gia nhiệt qua cuộn đốt nóng làm nhiệt độ của nhiệt điện trở của không khí đốt nóng đi qua cũng tăng theo $(t_0 + \Delta t)$. Cầu mất cân bằng, điện áp ra tỷ lệ với tốc độ dòng khí và cũng tỷ lệ với lưu lượng chất khí qua ống dẫn. Ưu điểm của cảm biến lưu lượng kế nhiệt là dải đo rộng, sai số $\pm 1 \div 2\%$, nhược điểm của nó là cần phải duy trì tốc độ ở trạng thái ổn định.

14-2. Phong tốc kế khí

Phong tốc kế khí là thiết bị dùng để đo vectơ tốc độ của không khí trong môi trường tự do.

Chúng được phân thành phong kế dây và màng mỏng, phong kế ion, phong kế chén và cánh quạt.

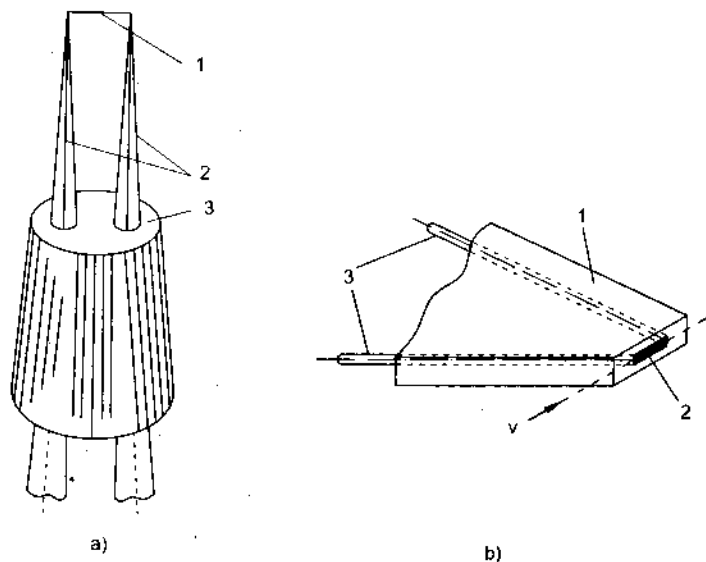
14-2-1. Phong kế dây và màng mỏng

1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Trong các phong kế dây và màng mỏng cảm biến là một dây kim loại có đường kính cỡ vài micrô mét dùng làm nhiệt điện trở và hàn lên hai đầu của thanh dẫn Manganin, phía cuối của thanh dẫn được gắn với giá cách điện.

(hình 14-17a). Vật liệu chế tạo dây là Platin - Iridi có đường kính $\phi = 2 - 3 \mu\text{m}$ với chiều dài từ $3 \div 5\text{mm}$.

Kích thước dây ảnh hưởng lớn đến đặc tính động của cảm biến vì vậy đường kính dây không được vượt quá $20 \div 30 \mu\text{m}$.



Hình 14-7. Cấu tạo của phong kế.

- a) Dây mảnh ;
1 - Dây mảnh
2 - Thanh dẫn
3 - Giá đỡ

- b) Màng mỏng
1 - Giá đỡ
2 - Màng mỏng
3 - Dây dẫn

Để tăng cường sức bền của cảm biến, khi đo tốc độ nhanh có thể dùng màng mỏng (h. 14-17b). Trên giá cách điện, chịu nhiệt người ta gắn 1 lớp rất mỏng platin có độ dày $1 \mu\text{m}$, chiều rộng $0,2\text{mm}$ và độ dài 1mm . Khi đo màng mỏng được đặt theo hướng vectơ của tốc độ dòng không khí. Nguyên lý làm việc của cảm biến dựa trên hiện tượng trao đổi nhiệt do đối lưu. Dây nhiệt điện trở hoặc màng mỏng được đốt nóng bằng dòng điện và đặt vào môi trường cần đo. Tổn hao nhiệt của dây là hàm số của tốc độ dòng chảy, vì vậy nếu hệ số nhiệt độ của nhiệt điện trở khác không, điện trở của nó sẽ phụ thuộc vào tốc độ của dòng chảy. Theo định luật Niuton ta có:

$$Q = \xi S(T_d - T_{m}) = I^2 R_t. \quad (14-13)$$

Trong đó: ξ – hệ số truyền nhiệt; S – bề mặt truyền nhiệt; T_d, T_{mt} – nhiệt độ dây và nhiệt độ môi trường; I – dòng điện qua cảm biến; R_l – điện trở của dây ở nhiệt độ T_d ; Q – Nhiệt lượng.

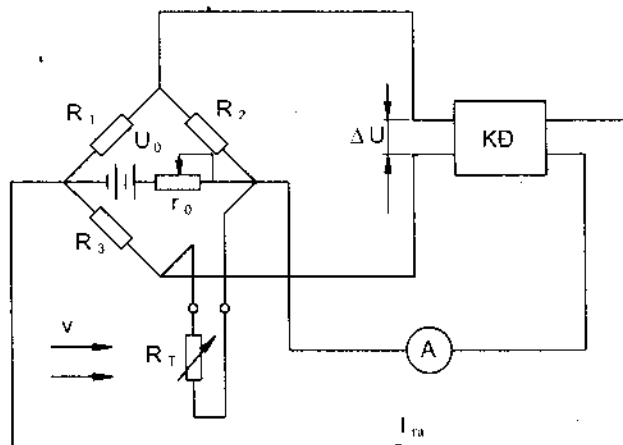
Giá trị ξ - phụ thuộc vào tốc độ chuyển động của môi trường, nhiệt độ môi trường và bản thân dây và thông số vật lý của môi trường đo (độ nhớt, mật độ v.v...)

Việc thiết kế cảm biến rất khó khăn do nhiều yếu tố chưa biết nên cảm biến thường được hiệu chỉnh và khắc độ qua thực nghiệm.

2. Mạch đo

Mạch đo của thiết bị được thực hiện như hình 14-8. Cảm biến nhiệt điện trở được mắc vào một nhánh cầu. Khi đo ở môi trường có tốc độ không thay đổi, điện áp ra được đưa trực tiếp vào chỉ thị và khắc độ theo tốc độ dòng chảy. Khi cần quan sát, ghi tốc độ tức thời, điện áp ra của mạch cầu được đưa vào khuếch đại và chỉ thị là các dao động ký điện tử.

Khi tốc độ dòng chảy biến thiên ta có thể thực hiện bằng cách giữ nhiệt điện trở R_T với trị số không đổi nhờ mạch phản hồi (h. 14-8)



Hình 14-8. Sơ đồ mạch đo của phong kế

Thật vậy, khi chưa có dòng khí đi qua, cầu được chỉnh ở trạng thái cân bằng. Khi có dòng khí đi qua nhiệt độ của R_T bị giảm đi, mạch cầu mất cân bằng, điện áp ra của cầu U_{ra} được đưa vào khuếch đại, tín hiệu ra của khuếch đại được phản hồi về nguồn cung cấp làm tăng dòng điện trong nhiệt điện

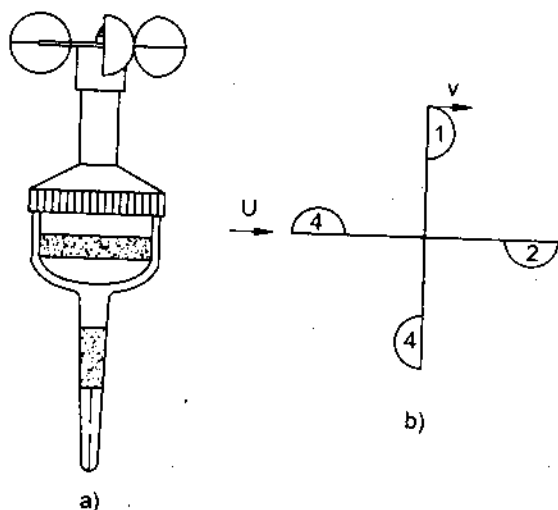
trở, nhiệt độ của R_T lại tăng lên cho đến khi cầu cân bằng trở lại. Với hệ số khuếch đại đủ lớn, dòng điện I (hoặc điện áp V) của khuếch đại tỷ lệ với lưu tốc dòng khí cần đo.

Nhờ mạch phản hồi, quán tính nhiệt giảm xuống vài chục lần và có thể đo tốc độ biến thiên với tần số đến 100 kHz. Trong khi đó phong tốc kế khí không có phản hồi chỉ dùng với giải tần $5 \div 10$ kHz.

14-2-2. Phong kế chén

Hình 14-9a là sơ đồ cấu tạo của phong kế chén gồm 3 hoặc 4 chén dạng bán cầu gắn lên cánh tay đòn và có thể quay trên trục.

Khi có dòng khí thổi qua, các chén bán cầu quay quanh trục. Giả sử hai bán cầu 1 và 3 đặt vuông góc với vận tốc v của dòng khí (hình 14-9b) và coi lực tác dụng lên bán cầu 2 và 4 như nhau. Khi đó lực cân đối với các bán cầu 1 và 3 được biểu diễn bởi các biểu thức.



Hình 14-9. Sơ đồ cấu tạo của phong kế chén

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho k_1 S (v - n)^2 \quad (14-14)$$

$$F_3 = \frac{1}{2} \rho k_2 S (v + n)^2 \quad (14-15)$$

trong đó ρ – khối lượng riêng của dòng khí; k_1, k_2 – hệ số lực cản của 2 bán cầu; S – tiết diện mặt cản của bán cầu; n – vận tốc của bán cầu 1 và 3 ở thời điểm xét; v – vận tốc dòng khí

Do $F_1 = F_3$ từ (14-14) và (14-15) ta có

$$\frac{1}{2} \rho k_1 S (v - n)^2 = \frac{1}{2} \rho k_2 S (v + n)^2 \quad (14-16)$$

Hay
$$v = n \frac{\sqrt{k_1} + \sqrt{k_2}}{\sqrt{k_1} - \sqrt{k_2}} \quad (14-17)$$

Nếu $k_1 = 1,42$ và $k_2 = 0,38$ ta nhận được

$$v = 3,1n.$$

Để đo tốc độ quay của trục ta có thể thực hiện bằng các cảm biến quang hoặc điện từ tương tự như đo tốc độ quay của động cơ bằng phương pháp đếm xung. Với phương pháp trên có thể đo được tốc độ dòng khí từ $0,1 \div 30\text{m/s}$ hoặc $0,05 \div 10\text{m/s}$ đối với chất lỏng.

14-3. Đo mức

Mức là chiều cao điền đầy các chất lỏng hay hạt có tiết diện không thay đổi trong các thiết bị công nghệ và là tham số cần xác định để kiểm tra chế độ làm việc của thiết bị, điều khiển các quá trình sản xuất. Mặt khác nhờ đo mức ta có thể đánh giá được khối lượng của các chất lỏng chứa trong bồn xăng, dầu v.v... Đơn vị đo mức là đơn vị đo chiều dài.

Đo mức có thể thực hiện đo liên tục hoặc xác định theo ngưỡng.

Đo liên tục là quá trình đo trong đó tín hiệu đo cho biết thể tích chất lưu còn lại trong bồn chứa.

Khi đo theo ngưỡng, cảm biến đưa ra tín hiệu dưới dạng nhị phân để phát hiện tình trạng mức có đạt hay không để điều khiển quá trình làm việc của bồn chứa.

Có hai phương pháp đo mức là phương pháp thủy tĩnh và phương pháp điện.

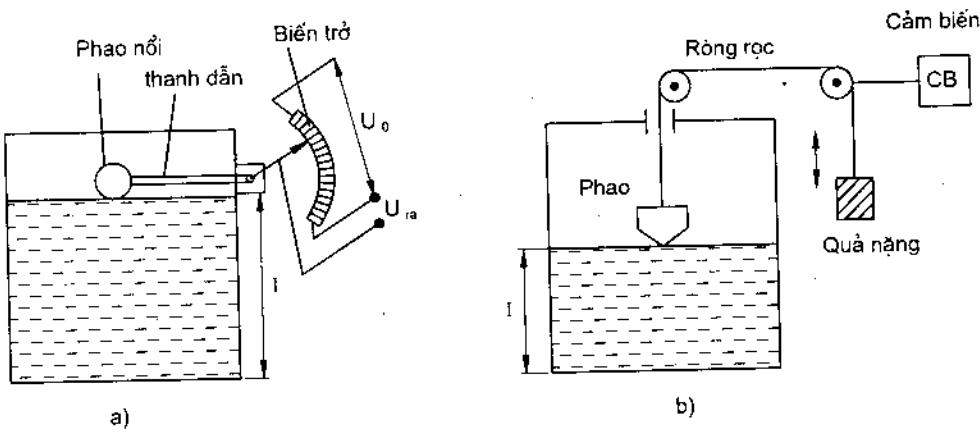
14-3-1. Phương pháp thủy tĩnh

Là phương pháp mà tín hiệu ra của cảm biến là hàm liên tục tỷ lệ với chiều cao của chất lưu chứa trong bình.

1. Đo mức bằng phao

Hình 14-10 vẽ sơ đồ thiết bị đo mức bằng phao gồm một phao nổi làm bằng thép không gỉ, phao được gắn với một thanh dẫn ở một đầu còn đầu kia

được nối với cảm biến đo dịch chuyển (hình 14-10a) hoặc được gắn bằng dây mềm qua hệ thống ròng rọc (h. 14-10b) và nối với một cảm biến vị trí.



Hình 14-10. Đo mức bằng phương pháp thủy tĩnh kiểu phao.
a) Sử dụng áp kế; b) Phương pháp vi sai

2. Đo mức bằng phương pháp đo áp suất thủy tĩnh.

Đó là phương pháp đo áp suất P của một cột chất lỏng có chiều cao h với tỷ trọng không đổi

$$P = \rho \cdot g \cdot h.$$

ρ – tỷ trọng chất lỏng; g – gia tốc trọng trường; h – chiều cao cột chất lỏng

Hình 14-11a là sơ đồ đo mức bằng áp kế trong đó cảm biến được đặt tại vị trí thấp nhất của chất lỏng. Ta có

$$P = \rho \cdot g \cdot h.$$

Tùy theo chiều cao của mức nước mà P thay đổi

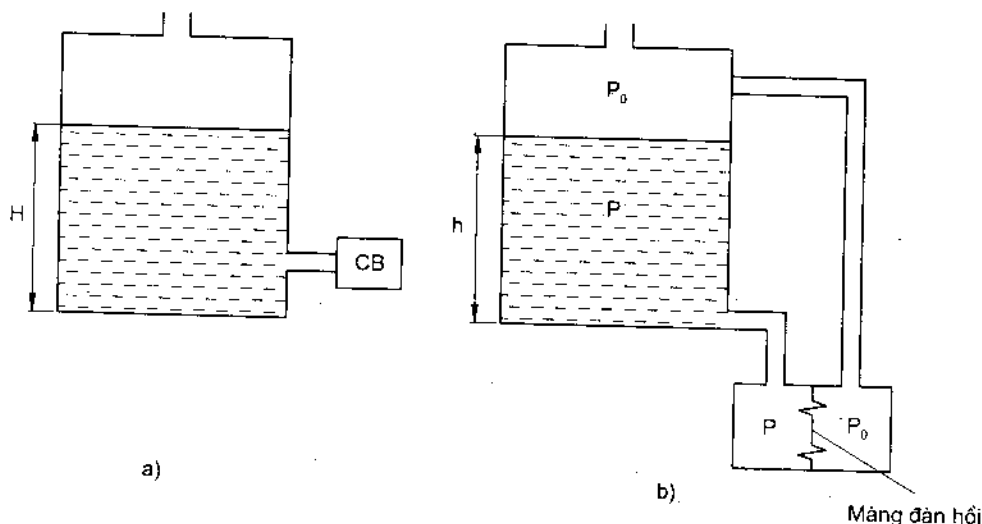
$$P = f(h)$$

Hình 14-11b là phương pháp đo áp suất vi sai trong đó cảm biến đặt ở đáy bình chứa và áp suất tại đáy bình được tính theo biểu thức

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h. \tag{14-18}$$

Trong đó P_0 – áp suất ở đỉnh bình chứa
 $\rho \cdot g \cdot h$ – áp suất thủy lực tại đáy bình.

Cảm biến là một màng mỏng, một phía của màng chịu tác động của áp suất P và mặt kia chịu tác động áp suất P_0 . Do độ chênh áp suất giữa P và P_0 làm cho màng dịch chuyển. Độ dịch chuyển được biến thành tín hiệu điện nhờ cảm biến và có độ lớn tỷ lệ với chiều cao h của chất lỏng chứa trong bình.



Hình 14-11. Đo mức bằng phương pháp đo chênh áp.
a) Sử dụng áp kế ; b) Phương pháp vi sai.

14-3-2. Đo mức bằng cảm biến điện dung

Phương pháp này có ưu điểm là đạt được độ tuyến tính trong khoảng đo lớn, dùng đo mức của các chất lỏng dễ bay hơi, dễ nổ và ăn mòn, khoảng đo từ 0 ÷ 5m. Trong đó cảm biến điện dung là một trụ kim loại thẳng phủ lớp chống ăn mòn hóa học, đặt giữa thùng kim loại chứa chất lỏng (hình 14-12).

Điện dung C được tính theo công thức

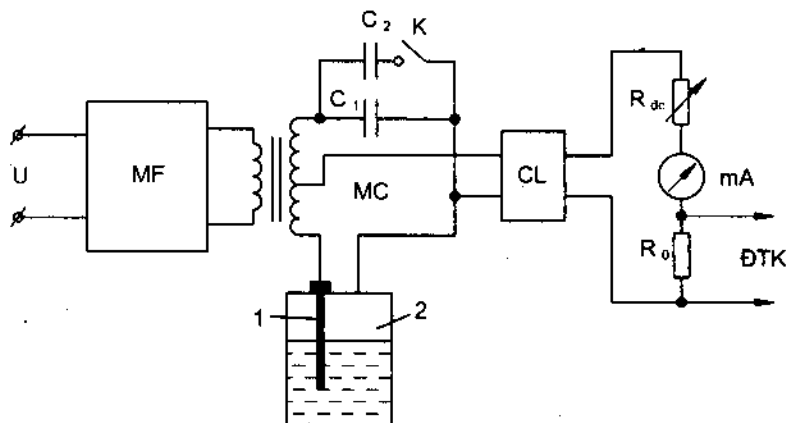
$$C = C_0 + C_1 = \frac{2\pi(H_0\epsilon_0 + H\epsilon)}{\ln R_1/R_2} \quad (14-19)$$

ϵ – hằng số điện môi (chất lỏng) điện đầy giữa hai điện cực; ϵ_0 – hằng số điện môi của không khí; H_0 – chiều cao phần không khí; R_1 – bán kính của thùng; R_2 – bán kính của trụ kim loại; H – chiều cao mức chất lỏng

Hình 14-12 là sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo mức bằng cảm biến điện dung.

Cảm biến được mắc vào một nhánh cầu không cân bằng, nhánh thứ 2 gồm tụ C_1 có điện dung 8 pF và tụ C_2 có điện dung 22 pF nối với khóa K. Hai nhánh còn lại của mạch cầu là cuộn thứ cấp của máy biến áp BA.

Cầu được cung cấp bằng 1 máy phát điện cao tần MF ($1 \div 10\text{MHz}$)



Hình 14-12. Sơ đồ nguyên lý thiết bị đo mức bằng cảm biến điện dung.

1 - Điện cực ; 2 - Vỏ thùng ; MC - Mạch cầu ; CL - Chính lưu.

Điện áp ra của cầu được đưa qua bộ điều chế tạo thành điện áp một chiều.

Với thùng rỗng điện dung là 8 pF; lúc đầy chất lỏng điện dung đạt đến 30pF.

Khi hiệu chỉnh, để chỉ thị có thể đạt giá trị cực đại, khóa k được đóng lại và điều chỉnh điện trở R.

Kết quả đo được thể hiện dưới dạng kim chỉ, tự ghi hoặc chỉ thị số.

Cảm biến điện dung đo mức có thể sử dụng được ở nhiệt độ 100°C và áp suất trong thùng chứa từ $0 \div 10^6\text{N/m}^2$ với sai số của toàn thiết bị $\pm 2,5\%$.

14-3-3. Đo mức bằng cảm biến siêu âm và quang

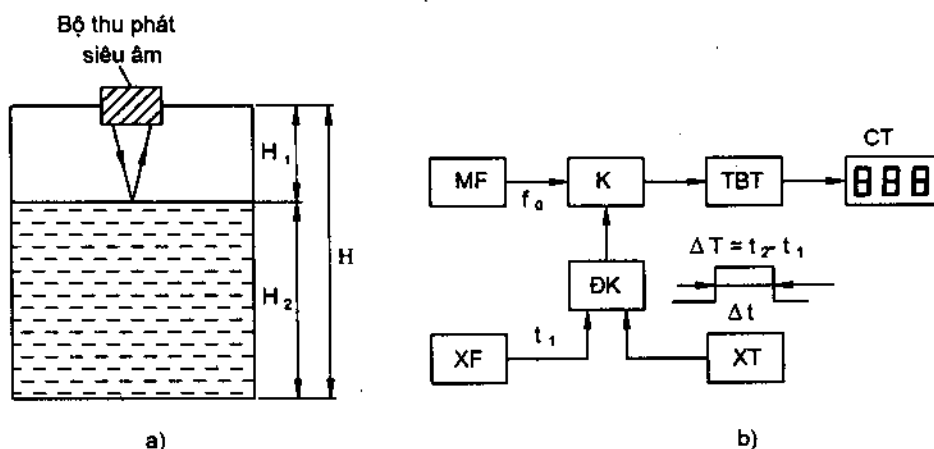
1. Đo mức bằng cảm biến siêu âm

Như ta đã biết sóng siêu âm có tốc độ lan truyền từ 6320m/s đến 1500m/s tùy theo môi trường là chất lỏng, không khí hoặc kim loại. Do vậy ta có thể sử dụng sóng siêu âm để kiểm tra các khuyết tật trong kim loại, đo độ sâu của đáy biển hoặc mức chất lỏng trong các bồn chứa. Cảm biến siêu âm thực chất là một máy phát sóng và một thiết bị thu sóng được chế tạo bằng gốm áp điện hoặc máy phát sóng điện tử.

Với máy phát thạch anh, sóng siêu âm có tần số cỡ 40kHz và máy phát sóng điện từ có tần số 10kHz.

Sóng có tần số 10kHz ít bị suy giảm nên được sử dụng đo khoảng cách lớn (10 ÷ 50m) với sóng siêu âm có tần số 40 kHz bị suy giảm mạnh khi tiếp xúc với đối tượng đo nên được sử dụng để đo ở những khoảng cách nhỏ.

Để đo mức chất lỏng trong các bồn chứa cảm biến được đặt trên đỉnh bồn. Sóng siêu âm được phát dưới dạng xung đến mặt phân cách giữa 2 môi trường không khí và chất lỏng, sóng một phần được phản xạ trở lại, một phần lan truyền trong chất lỏng và bị suy giảm dần. Sóng phản xạ trở lại được bộ thu biến thành tín hiệu điện. Khoảng thời gian từ t_1 (phát xung) đến thời gian t_2 (nhận xung) tỷ lệ với khoảng cách từ cảm biến đến bề mặt chất lỏng, qua đó xác định được mức trong bình chứa.



Hình 14-13. Đo mức bằng cảm biến siêu âm.
MF - Máy phát tần số ; K - Khoá ; TBT - Thiết bị tính ;
ĐK - Bộ điều khiển ; XF - Xung phát ; XT - Xung thu.

Nếu gọi H_1 – khoảng không khí; H_2 – chiều cao của mức; H – chiều cao của bồn chứa, Ta có

$$H_1 = \frac{\Delta t \cdot v}{2} \quad (14-20)$$

$\Delta t = t_2 - t_1$: khoảng thời gian phát và thu sóng siêu âm;

v – tốc độ sóng siêu âm và $H_2 = H - H_1$.

Hình 14-13a là sơ đồ đo mức nước bằng cảm biến siêu âm và hình 14-13b là sơ đồ khối của thiết bị đo.

Xung phát và thu lệch nhau khoảng thời gian $\Delta T = t_2 - t_1$.

Các xung trên tác động lên bộ điều khiển để đóng, mở khóa K. Thời gian K mở (ΔT) Máy phát xung chuẩn đưa các xung có tần số f_0 và chu kỳ T_0 vào thiết bị tính (đếm và giải mã) chỉ thị thể hiện mức của chất lỏng cần đo.

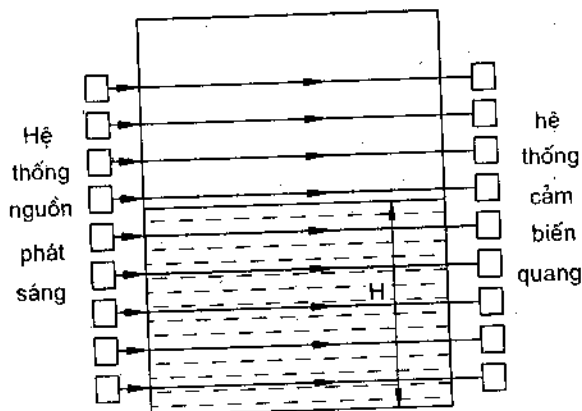
2. Đo mức bằng cảm biến quang

Hình 14-14 là sơ đồ đo mức bằng cảm biến quang.

Dọc theo thành của bồn chứa người ta bố trí một dãy các nguồn sáng từ trên xuống dưới và một dãy các cảm biến quang (quang điện trở, photô diốt v.v...)

Tùy theo mức nước trong bồn, một số cảm biến quang được chiếu sáng và một số cảm biến bị mức nước che làm độ sáng suy giảm. Thiết bị thu và tính toán sẽ cho ta biết mức nước có trong bình và thể hiện kết quả đo trên chỉ thị hoặc qua hệ thống điều khiển.

Nhược điểm của phương pháp là phải sử dụng một số lượng khá lớn cảm biến khi cần đo với độ chính xác cao. Ưu điểm của phương pháp có thể thực hiện dự báo mức cho hệ điều khiển rất thuận tiện.



Hình 14-14. Đo mức bằng cảm biến quang

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 14

1. Nêu các khái niệm về lưu lượng và vận tốc chất lưu
2. Trình bày phương pháp đếm xung đo lưu lượng
3. Đo lưu lượng bằng phương pháp chênh áp. Trình bày nguyên lý hoạt động và ứng dụng
4. Lưu lượng kế điện từ: Cấu tạo và nguyên lý hoạt động, đặc điểm của phương pháp này.
5. Lưu lượng kế nhiệt: Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và đặc điểm
6. Trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động của phong tốc kế dây, màng mỏng và kiểu chén
7. Trình bày các phương pháp đo mức. Ứng dụng của cảm biến cho các phương pháp trên

CHƯƠNG XV

CẢM BIẾN ĐO ĐỘ ẨM VÀ ĐIỆN HÓA

15-1. Cảm biến đo độ ẩm

15-1-1. Khái niệm chung

1. *Độ ẩm* là một thông số quan trọng tác động trực tiếp đến con người đến thiết bị máy móc và các quá trình lý hóa.

Độ ẩm thay đổi trong một dải rộng 30% ÷ 70% với độ ẩm nhỏ hơn 35% bộ máy tiêu hóa bị kích thích nếu lớn hơn 75% sự ra mồ hôi giảm nghiêm trọng.

Trong công nghiệp, các thiết bị, máy móc, độ ẩm ảnh hưởng trực tiếp đến chúng nhất là các thiết bị điện, điện tử. Do vậy việc đo, xác định độ ẩm và chống ẩm là nhiệm vụ rất quan trọng trong các quá trình công nghệ, điều khiển và thiết kế chế tạo các thiết bị.

2. Một số định nghĩa cơ bản

* Nếu không khí ẩm có thể tích V , ở nhiệt độ T thì khối lượng M của không khí ẩm chứa trong thể tích V sẽ là tổng của khối lượng không khí khô (m_k và khối lượng của hơi nước (m_h) và ta có

$$M = m_k + m_h. \quad (15-1)$$

* Nếu gọi P là tổng áp suất riêng phần của không khí khô (P_k) và của hơi nước (P_h) ta có

$$P = P_k + P_h. \quad (15-2)$$

* Tỷ lệ trộn: r (kg/kg)

Tỷ lệ trộn r là tỷ số giữa khối lượng hơi nước (m_h) và khối lượng không khí khô (m_k) mà hơi nước trộn trong đó

$$r = \frac{m_h}{n_k} \quad (15-3)$$

* Áp suất hơi bão hòa:

Áp suất hơi bão hòa ($P_{bh}(T)$) đo bằng đơn vị Pa là áp suất hơi nước ở trạng thái cân bằng với nước lỏng ở nhiệt độ T. Lớn hơn áp suất này sẽ xảy ra hiện tượng ngưng tụ.

* Độ ẩm tương đối

Độ ẩm tương đối (U%) là tỷ số giữa áp suất riêng phần của hơi nước và áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ T

$$U\% = \frac{P_h}{P_{bh}(T)} 100\% \quad (15-4)$$

* Nhiệt độ hóa sương

Nhiệt độ hóa sương $T_{hs}(^{\circ}\text{C})$ là nhiệt độ cần phải làm lạnh không khí ẩm xuống tới đó để đạt được trạng thái bão hòa. (Tỷ số trộn r không thay đổi trong quá trình làm lạnh). Đó chính là nhiệt độ sao cho :

$$P_h = P_{bh}$$

* Nhiệt độ ẩm

Nhiệt độ ẩm $T_a(^{\circ}\text{C})$ là nhiệt độ cân bằng của một khối lượng nước hóa hơi và không khí trong trường hợp khi nhiệt lượng cần thiết để hóa hơi chỉ được trích từ không khí.

15-1-2. Phân loại cảm biến đo độ ẩm

Thông thường người ta phân thành hai loại.

Loại thứ nhất dựa trên hiện tượng vật lý cho phép xác định độ ẩm (ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế điện ly).

Loại thứ hai dựa trên tính chất của vật có liên quan đến độ ẩm (ẩm kế trở kháng).

15-2-3. Ẩm kế biến thiên trở kháng

Đó là các cảm biến điện trở và tụ điện mà các phần tử nhạy là các chất hút ẩm. Tính chất điện (điện trở, điện dung) của các cảm biến phụ thuộc vào

độ ẩm của môi trường. Cảm biến độ ẩm dựa trên nguyên lý biến thiên trở kháng được phân thành ẩm kế điện trở và ẩm kế tụ điện.

1. Ẩm kế điện trở là các thiết bị đo độ ẩm dựa trên các cảm biến điện trở, chúng được phân thành hai loại:

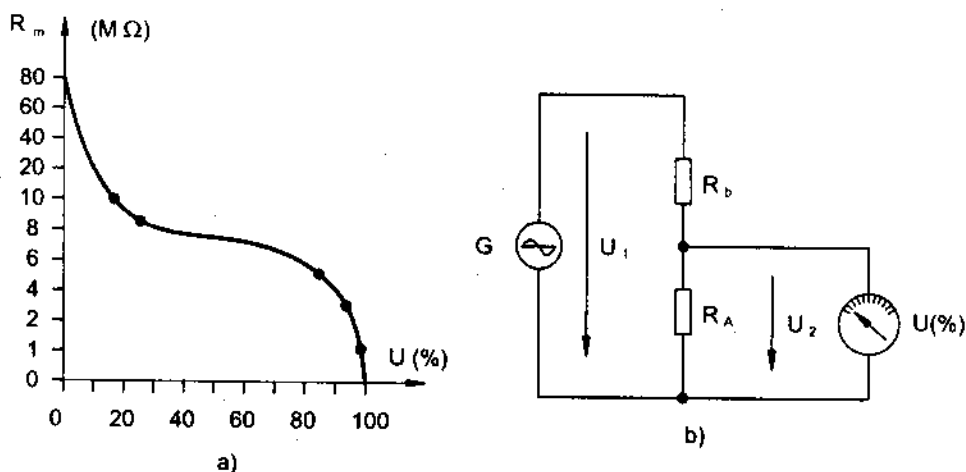
* Điện trở kim loại: là một đế có kích thước nhỏ (vài mm^2) được phủ chất hút ẩm và gắn 2 điện cực bằng kim loại không bị ăn mòn và bị oxy hóa. Giá trị điện trở đo được giữa hai cực phụ thuộc vào hàm lượng nước (tỷ số giữa khối lượng nước hấp thụ với khối lượng chất khô) và vào nhiệt độ chất hút ẩm. Hàm lượng nước lại phụ thuộc vào độ ẩm tương đối và nhiệt độ.

* Chất điện phân: là những chất dẫn điện. Điện trở của chúng phụ thuộc vào thể tích trong đó thể tích bị thay đổi theo hàm lượng nước, do đó có thể biến đổi độ ẩm tương đối thành tín hiệu điện.

Hình 15-1a là đường cong đặc trưng cho sự phụ thuộc của điện trở với độ ẩm tương đối của cảm biến điện trở.

Trong thực tế điện trở R_m phụ thuộc đồng thời cả độ ẩm tương đối và cả nhiệt độ. Ảnh hưởng của nhiệt độ có thể sử dụng mạch bù như hình 15-1b. Trong đó điện trở R_A và R_B có hệ số nhiệt độ α_T giống nhau.

Với cảm biến điện trở có thể sử dụng với dải đo từ $5 \div 95\%$ và dải nhiệt độ $-10^\circ\text{C} \div 50$ hoặc 60°C . Thời gian hồi đáp cỡ 10 giây và sai số $\pm 2 \div 5\%$.



Hình 15-1. Ẩm kế điện trở.
a) Sự phụ thuộc của điện trở vào độ ẩm ; b) Mạch đo.

2. Ẩm kế tụ điện

Giả sử một tụ điện giữa hai bản cực là không khí có thể coi như cảm biến đo độ ẩm do hơi ẩm trong không khí làm thay đổi hằng số điện môi và được biểu diễn theo biểu thức:

$$\varepsilon = 1 + \frac{211}{T} \left(P + \frac{48P_{bh}}{T} U \right) 10^{-6} \quad (15-5)$$

trong đó: T – nhiệt độ tuyệt đối ($^{\circ}K$); P – áp suất của khí ẩm (mmHg);

P_{bh} – áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ T (mmHg);

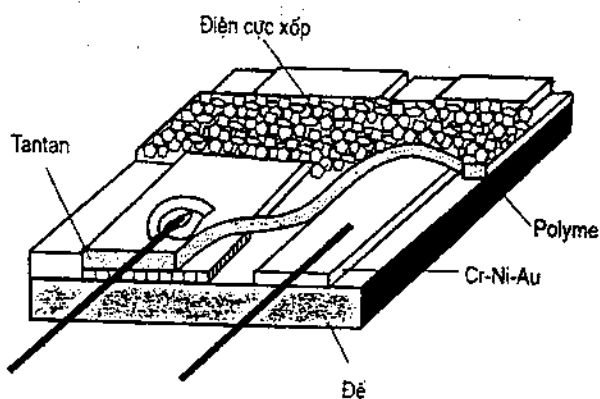
U – độ ẩm tương đối (%)

Từ biểu thức (15-5) ta thấy rằng hằng số điện môi của khí ẩm tức là điện dung của tụ tỷ lệ với độ ẩm tương đối.

Nếu ta thay không khí bằng một chất điện môi khác giữa hai tấm cực của tụ điện ta có thể tạo ra một cảm biến đo độ ẩm.

a) Ẩm kế tụ điện Polyme.

Hình 15-2 là cảm biến tụ điện Polyme gồm một màng Polyme có độ dày 6-12 μm có khả năng hấp thụ hơi nước. Lớp Polyme được phủ trên điện cực thứ nhất là Tantan sau đó phủ tiếp lên Polyme một lớp Crôm dày 100 $\text{\AA}$ ÷ 10.000 $\text{\AA}$ làm điện cực thứ 2. Lớp



Hình 15-2. Ẩm kế tụ điện Polyme

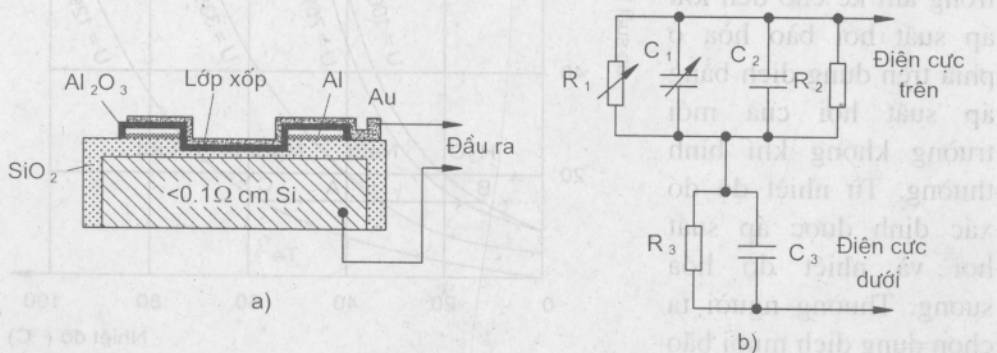
Crôm gây nên các vết nứt làm tăng khả năng tiếp xúc của lớp này với không khí. Thời gian hồi đáp của tụ phụ thuộc vào độ dày của lớp điện môi.

Với cảm biến tụ điện polyme có thể đo độ ẩm trong dải 0% ÷ 100%

Dải nhiệt độ làm việc từ $-40^{\circ}C$ ÷ $100^{\circ}C$. Sai số từ 2 ÷ 3%.

Thời gian hồi đáp cỡ vài giây.

b) Ẩm kế tụ điện Al_2O_3 là một tụ điện trong đó Al_2O_3 là chất điện môi được chế tạo bằng phương pháp Anot hóa bản thân tấm nhôm làm điện cực thứ nhất của tụ.



Hình 15-3. a) Ẩm kế tụ điện Al_2O_3 ; b) Sơ đồ tương đương.

Điện cực thứ 2 là một màng kim loại mỏng được tạo thành trên mặt kia của lớp điện môi. Chiều dày lớp Al_2O_3 nhỏ hơn hoặc bằng $0,3 \mu\text{m}$. Sự thay đổi trở kháng của tụ phụ thuộc vào áp suất riêng phần của hơi nước và không phụ thuộc vào nhiệt độ. Quá trình Anot hóa được thực hiện bằng điện phân dung dịch H_2SO_4 với tấm nhôm làm Anot. Ôxy hình thành trên Al và ôxy hóa bề mặt tạo thành Al_2O_3 . Lớp ôxyt nhôm có cấu trúc xốp nên tiếp xúc tốt với không khí ẩm.

Điện cực thứ 2 phủ lên lớp Al_2O_3 có thể dùng đồng, vàng platin, Niken – Crôm và Nhôm. Hình 15-3 là sơ đồ cấu trúc và mạch tương đương của cảm biến. Cảm biến tụ điện Al_2O_3 cho phép đo nhiệt độ hóa sương T_s trong phạm vi thay đổi từ $80^\circ\text{C} \div +70^\circ\text{C}$. Với dải áp suất từ $0 \div 100 \text{ Pa}$. Thời gian hồi đáp cỡ vài giây.

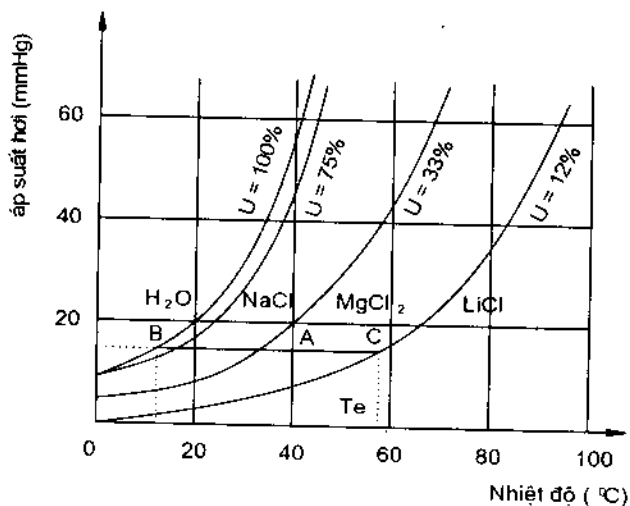
Cảm biến trên có nhược điểm không sử dụng được trong môi trường chứa chất ăn mòn như NaCl , lưu huỳnh v.v...

15-1-4. Ẩm kế hấp thụ

1. Nguyên lý làm việc

Nguyên lý làm việc của cảm kế hấp thụ dựa trên sự hấp thụ hơi nước của một số chất như Clorua liti (LiCl) hoặc Anhidrit photphoric P_2O_5 . Các chất trên khi ở trạng thái khô điện trở của chúng rất cao, lúc hút ẩm hơi nước ở môi trường xung quanh, điện trở giảm một cách đáng kể qua đó xác định được độ ẩm của môi trường cần đo.

Quá trình đo độ ẩm bằng cách nung nóng dung dịch muối chứa trong ẩm kế cho đến khi áp suất hơi bão hòa ở phía trên dung dịch bằng áp suất hơi của môi trường không khí bình thường. Từ nhiệt độ đó xác định được áp suất hơi và nhiệt độ hóa sương. Thường người ta chọn dung dịch muối bão hòa sao cho ở một nhiệt độ cho trước, áp suất hơi càng nhỏ càng tốt.



Hình 15-4. Đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa

Hình 15-4 là các đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa

Bảng 15-1 cho ta các giá trị áp suất hơi bão hòa trên mặt nước và trên dung dịch muối Clorua liti bão hòa ở những nhiệt độ khác nhau

Bảng 15-1

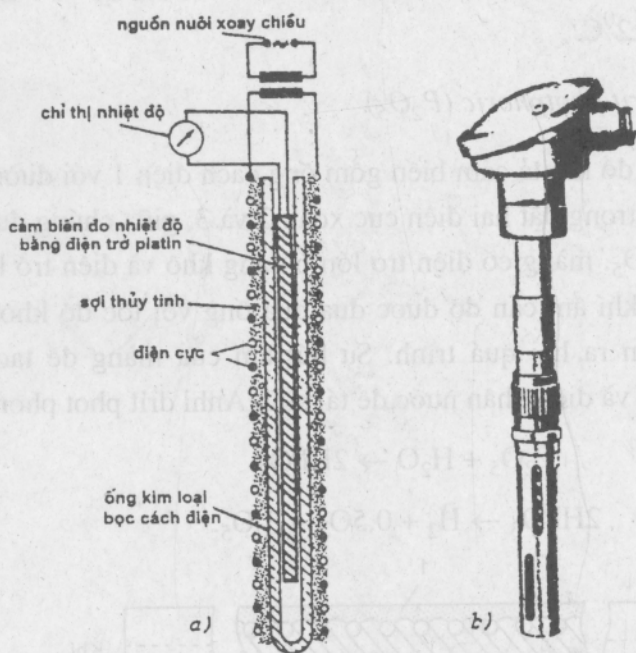
Nhiệt độ dung dịch T; °C	Áp suất hơi trên mặt nước $P_{H_2O(T, P_a)}$	Áp suất hơi trên mặt LiCl. (T, Pa)	Độ ẩm tương đối $U = \frac{P_{H_2O(T)}}{P_{LiCl(T)}} \%$
5	872,47	119,2	13,7
10	1227,94	157,6	12,8
15	1705,32	203,6	11,9
20	2338,54	260,6	11,1
25	3168,74	353,9	11,1
30	4245,20	473,9	11,2
35	5626,20	628,7	11,2
40	5626,45	823,6	11,2
45	7381,27	1066,1	11,1
50	9589,84	1364,6	11,1
55	12344,78	1727,5	11,0
60	15752,26	2163,4	10,9
65	25023,74	2681,1	10,7

Đường cong áp suất hơi gần tương ứng với đường cong độ ẩm tương đối 12%. Ví dụ: Cùng một giá trị áp suất hơi tương ứng $P = 2163\text{Pa}$. Nhiệt độ hóa sương của nước là $18,8^{\circ}\text{C}$ nhưng nhiệt độ cân bằng của dung dịch Clorua lity (licl) bão hòa là 60°C .

2. Ẩm kế clorua Liti (Licl)

Cảm biến có cấu tạo gồm một ống được bao bọc bởi một lớp vải tẩm dung dịch clorua liti trên đó quán hai điện cực bằng kim loại không bị ăn mòn như hình 15-5.

Các điện cực được đốt nóng bằng một nguồn cung cấp để làm bay hơi nước.



Hình 15-5. a) Ẩm kế clorua liti; b) Cấu tạo

Khi nước bay hơi hết, điện trở của cảm biến tăng và dòng điện giữa các điện cực giảm đáng kể. Khi đo ở môi trường có không khí ẩm clorua liti hấp thụ hơi nước ở môi trường xung quanh nên độ ẩm tăng, điện trở của nó giảm và dòng điện tăng làm cho nhiệt độ của cảm biến lại tăng. Tại một thời điểm

nào đó sẽ đạt được sự cân bằng giữa muối clorua liti và độ ẩm. Sự cân bằng này xảy ra ở nhiệt độ liên quan đến áp suất hơi và đồng thời đến nhiệt độ hóa sương T_s . Qua đó ta có thể xác định được nhiệt độ hóa sương T_s .

Đặc điểm của cảm biến clorua liti là có thể đo nhiệt độ hóa sương với độ chính xác cao. Quá trình đo nhiệt độ cân bằng thực hiện bằng đốt nóng nên đơn giản, có độ tin cậy cao và giá thành hạ.

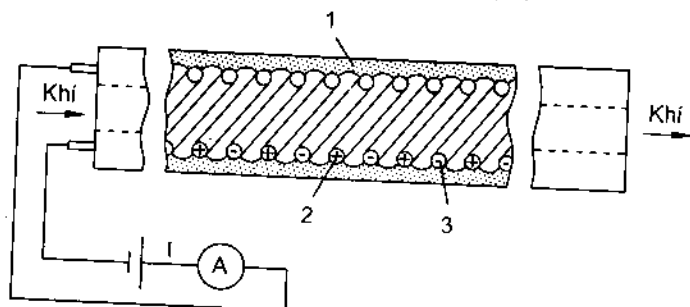
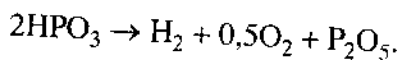
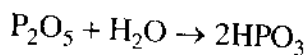
Độ chính xác có thể đạt tới $\pm 0,2^\circ\text{C}$ tùy thuộc vào cảm biến nhiệt độ, cấu tạo của cảm biến và điều kiện sử dụng

Thời gian hồi đáp cỡ mười phút. Phạm vi đo nhiệt độ hóa sương của các chất từ $-10^\circ\text{C} \div 60^\circ\text{C}$

Ví dụ: Với nhiệt độ hóa sương $-10^\circ\text{C} \leq T_s \leq 34^\circ\text{C}$ và $41^\circ\text{C} \leq T_s \leq 65^\circ\text{C}$. Độ chính xác đạt được $\pm 1^\circ\text{C}$ với dải đo $-34^\circ\text{C} \leq T_s \leq 41^\circ\text{C}$ độ chính xác $\pm 2^\circ\text{C}$.

3. Ẩm kế Anhidrit photphoric (P_2O_5)

Hình 15-6 là sơ đồ mô tả cảm biến gồm ống cách điện 1 với đường kính không lớn lắm, mặt trong đặt hai điện cực xoắn 2 và 3, giữa chúng được phủ một màng mỏng P_2O_5 , màng có điện trở lớn ở dạng khô và điện trở bị giảm khi hút ẩm. Không khí ẩm cần đo được đưa qua ống với tốc độ không đổi. Khi đó liên tục diễn ra hai quá trình. Sự hút ẩm của màng để tạo thành Anhidrit photphoric và điện phân nước để tái sinh Anhi drit phot phoric:



Hình 15-6. Ẩm kế Anhidrit photphoric

Trong quá trình đo dòng điện đi qua chỉ thị tỷ lệ với độ ẩm tuyệt đối của không khí

$$I = \frac{Fzq.P}{M} \quad (15-6)$$

F – hằng số Fareday ; Z – độ kiềm ; q – lưu tốc chất khí (m^3/s);

M – trọng lượng phân tử của H_2O ; P – độ ẩm tuyệt đối (g/m^3);

Với cảm biến trên có thể cho phép đo hơi nước với dải đo từ $10^{-4} \div 1\%$ theo khối lượng và có sai số $\pm(5 \div 10\%)$

Ngoài ra có thể đo độ ẩm của Nitơ, hydro, CO_2 , metan v.v...

15-1-5. Ẩm kế quang

1. Nguyên lý hoạt động

Như đã trình bày ở trên, nhiệt độ hóa sương T_s là nhiệt độ cần phải làm lạnh không khí ẩm xuống tới đó để đạt trạng thái bão hòa. Đó chính là nhiệt độ để sao cho áp suất hóa hơi (P_h) bằng áp suất hơi bão hòa [$P_{bh}(T)$]. Tại nhiệt độ độ ẩm tuyệt đối có thể được xác định từ nhiệt độ này trong quá trình đo với áp suất đã biết trước.

Từ đó cho ta thấy nguyên lý hoạt động cơ bản của ẩm kế quang là sử dụng một gương phản chiếu mà nhiệt độ bề mặt của nó được điều chỉnh chính xác nhờ 1 thiết bị điện cung cấp nhiệt độ. Nhiệt độ gương được điều chỉnh tại ngưỡng (T_s). Không khí cần đo độ ẩm được dẫn qua bề mặt gương và hệ thống điều khiển làm lạnh gương (dựa vào hiệu ứng Peltier hoặc nitơ lỏng) cho đến khi xuất hiện sự ngưng tụ. Khi xuất hiện lớp sương trên bề mặt gương, ánh sáng bị tán xạ đến đầu thu quang và kích thích bộ phát tín hiệu làm nung nóng gương thông qua hệ điều khiển. Khi nhiệt độ gương tăng, lớp sương biến mất và chấm dứt hiện tượng tán xạ ánh sáng, chu kỳ sau làm lạnh lại bắt đầu. Với sự hiệu chỉnh thích hợp ta nhận được lớp ngưng tụ với độ dày xác định và tạo được trạng thái cân bằng giữa hơi nước và lớp ngưng tụ. Cảm biến nhiệt độ đặt sau gương cho phép xác định nhiệt độ gương. Hình 15-7 là sơ đồ khối đơn giản của ẩm kế gương loại nhỏ.

Trong đó gồm một bơm nhiệt dựa vào hiệu ứng Peltier. Bơm chuyển nhiệt đến bề mặt gương mỏng đã gắn cảm biến nhiệt độ. Cảm biến này là

một phần của cặp nhiệt số để chỉ nhiệt độ của gương. Mạch của ẩm kế được mắc kiểu vi sai.

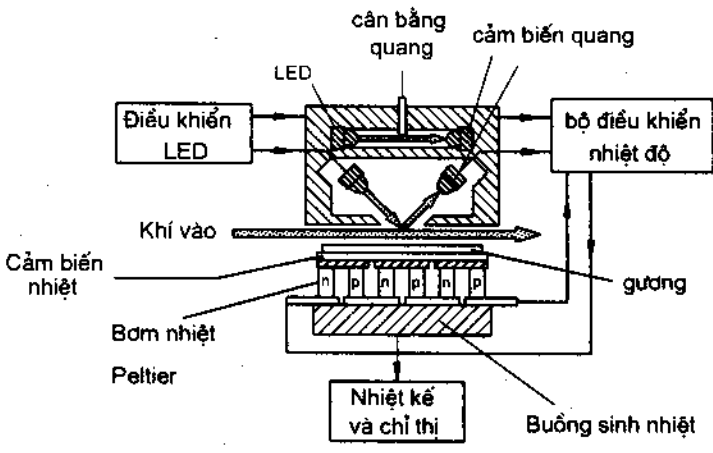
Với hệ thống optocoupler phía trên gồm đèn LED và Photo tranzito (Bộ thu quang) dùng để bù trôi. Hệ thống optocoupler phía dưới để đo độ phản chiếu của gương.

Cảm biến được cân bằng quang nhờ bộ chắn ánh sáng của hệ optocoupler phía trên (Hình 15-7)

Các đèn LED và bộ thu quang của optocoupler phía dưới được bố trí một góc lệch 45^0 .

Bơm nhiệt điều khiển nhiệt độ của gương ở phía dưới. Tại thời điểm nước ngưng tụ, đặc tính gương giảm bất ngờ tạo nên sự thay đổi dòng ánh sáng ở bộ thu quang. Tín hiệu của bộ thu quang qua bộ điều khiển điều chỉnh dòng điện qua bơm nhiệt để duy trì nhiệt độ bề mặt gương ở mức điểm sương cho đến trạng thái ổn định. Quá trình hoạt động như đã nói ở trên.

Ưu điểm của ẩm kế quang là có phạm vi đo rộng $-70^0C \div 100^0C$. Độ chính xác cao $\pm 0,2^0C$, có thể làm việc trong môi trường ăn mòn.



Hình 15-7. Ẩm kế gương.

Nhược điểm của thiết bị là cấu tạo phức tạp, giá thành đắt và phải hiệu chỉnh thường xuyên.

Thiết bị này được dùng trong các phòng thí nghiệm.

15-2. Cảm biến điện hóa

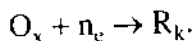
Cảm biến điện hóa là các cảm biến dựa trên các hiện tượng hóa điện xảy ra khi cho dòng điện đi qua bình điện phân hoặc do quá trình ôxy hóa khử các điện cực, các hiện tượng trên phụ thuộc vào tính chất của các điện cực, bản chất, nồng độ của các dung dịch. Cảm biến điện hóa cũng là một vật dẫn đặt trong môi trường nghiên cứu nơi sẽ xảy ra quá trình trao đổi điện tích giữa các hạt tích điện có mặt trong môi trường và cảm biến, kết quả được chuyển thành tín hiệu điện.

Cảm biến điện hóa được phân thành: Cảm biến điện thế cực, cảm biến điện dẫn, cảm biến dòng điện và cảm biến chọn lọc ion trên cơ sở tranzito hiệu ứng trường.

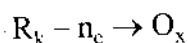
15-2-1. Cảm biến điện thế cực

1. Nguyên lý hoạt động

Khi nhúng một điện cực kim loại vào nước hoặc dung dịch, giữa điện cực và dung dịch xuất hiện một điện thế gọi là điện thế cực do điện tử được trao đổi giữa điện cực và dung dịch gây nên phản ứng điện hóa. Sau một thời gian sẽ đạt tới trạng thái cân bằng trong đó có phản ứng trao đổi



xảy ra cùng tốc độ với phản ứng trao đổi ngược lại



Trong đó O_x - chất ô xy hóa; R_k - chất khử; n_e - số điện tử.

Khi nồng độ của dung dịch nhỏ, các nguyên tử kim loại ở dạng ion dương có một phần đi vào dung dịch làm cho dung dịch tích điện dương, trên điện cực còn lại các điện tử thừa nên điện cực tích điện âm đối với dung dịch. Khi nồng độ của dung dịch lớn thì ngược lại, các ion dương được tách ra ngay tại điện cực làm cho điện cực có thể dương so với dung dịch.

Vào thời điểm cân bằng thành phần dung dịch ở gần điện cực không thay đổi và điện cực đạt được thế cân bằng E.

Thực tế điện thế cực của một kim loại bất kỳ được quy ước xác định đối với thế của một điện cực chuẩn là điện cực Hydrô. Song do không thể chế tạo điện cực bằng khí hydrô được, người ta đã chế tạo “điện cực hydrô kim loại” bằng cách chế tạo tấm platin hấp thụ khí hydrô trên bề mặt của nó.

Thế điện cực này được quy ước bằng zêrô (điện cực chuẩn).

Điện thế cực của các chất khác nhau đối với cực chuẩn không vượt quá $\pm 3V$. Ví dụ: Điện thế cực của kali $E_0 = 2,92V$, kẽm $E_0 = -0,76V$, đồng $E_0 = +0,31V$.

Các giá trị E_0 nói trên được gọi là điện thế chuẩn của điện cực được đo ở điều kiện nhiệt độ quy chuẩn ($+18^0C$), nồng độ quy chuẩn (1 gam – mol/lit)

Điện thế cực ở nhiệt độ và nồng độ bất kỳ được xác định theo quan hệ sau (định luật Nernst)

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln f_c. \quad (15-7)$$

Trong đó E_0 – thế chuẩn của điện cực (v); n – hóa trị của ion ;
 R – hằng số khí ($R = 8,317d/k$) ; T – nhiệt độ tuyệt đối ;
 F – hằng số Fara day ($F = 96522$ culon/gam mol) ;
 f – hệ số hoạt động của dung dịch.

Đo điện thế là phương pháp dựa trên việc đo sự khác nhau về thế giữa hai điện cực đặt trong 2 dung dịch. Mỗi điện cực được gọi là bán phần tử. Sức điện động giữa hai bán phần tử được tính bằng các điện thế cực của chúng.

$$E_{12} = E_1 - E_2 = E_{01} - E_{02} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (15-8)$$

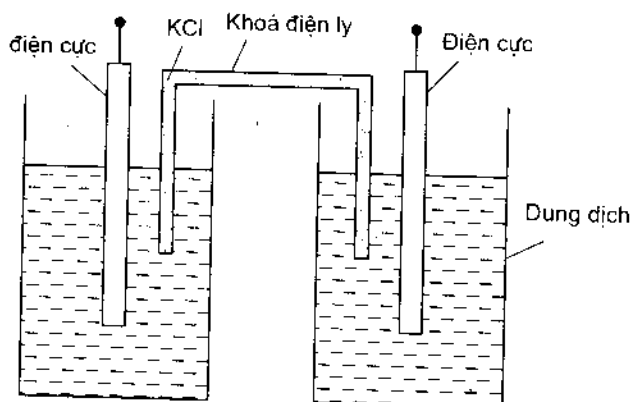
trong đó $a_1 = f_1 c_1$; $a_2 = f_2 c_2$ – hoạt độ của dung dịch

Như vậy, hiệu điện thế của hai bán phần tử không chỉ phụ thuộc vào vật liệu làm điện cực mà còn phụ thuộc vào độ hoạt động hóa học của chúng $\frac{a_1}{a_2}$. Nếu ta sử dụng hai điện cực giống nhau đặt trong 2 dung dịch cùng loại

chỉ khác nhau về nồng độ thì ta có:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{f_1 C_1}{f_2 C_2}. \quad (15-9)$$

Ngoài thế điện cực, trên biên của hai dung dịch còn có một hiệu thế gọi là điện thế biên (khoảng một vài milivon đến vài chục milivon) tùy nồng độ của dung dịch. Để giảm sức điện động được tạo ra trên biên của 2 dung dịch người ta sử dụng khóa điện ly trong đó sử dụng một số loại dung dịch như KCl hoặc KNO_3 .



Hình 15-8. Sơ đồ nối khóa điện ly giữa 2 cảm biến điện thế cực.

Các cảm biến điện thế cực được sử dụng để đo nồng độ các ion trong chất điện phân, các quá trình oxy hóa khử diễn ra trên các điện cực. Cảm biến điện thế cực được sử dụng đo hoạt độ của các ion Hydrô qua đó có thể xác định được thành phần tính chất của các dung dịch cần nghiên cứu.

Sự phân ly của nước diễn ra như sau:



Nếu gọi a_{H^+} ; a_{OH^-} và $a_{\text{H}_2\text{O}}$ thứ tự là hoạt độ của các ion H^+ ; OH^- và nước, ta có

$$K = \frac{a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{OH}^-}}{a_{\text{H}_2\text{O}}}$$

K là một hằng số do đó $K \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}$ cũng là một hằng số (ở một nhiệt độ không đổi) gọi là hằng số phân ly.

Trong các dung dịch loãng $K \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}$ không đổi nên ta có

$$K \cdot a_{\text{H}_2\text{O}} = K_{\text{H}_2\text{O}} = a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{OH}^-}$$

ở nhiệt độ 22°C , $K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-14}$. Trong nước tinh khiết hoặc dung dịch trung tính

$$a_{\text{H}^+} = a_{\text{OH}^-} = \sqrt{K_{\text{H}_2\text{O}}} = 10^{-7}.$$

Với một dung dịch bất kỳ (Axit hoặc Bazơ) các ion H^+ và OH^- có thể khác nhau nhưng hệ số $K_{H_2O} = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$ không thay đổi.

Do vậy ta chỉ cần xác định hoạt độ của một trong hai loại trên (ví dụ a_{H^+}) là có thể biết được tính chất của dung dịch cần nghiên cứu. Với dung dịch Axit $a_{H^+} > 10^{-7}$, dung dịch Bazơ $a_{H^+} < 10^{-7}$.

Để tiện cho việc tính toán và thể hiện kết quả đo người ta sử dụng đơn vị mới là độ PH.

$$pH = -\lg a_{H^+} \quad (15-11)$$

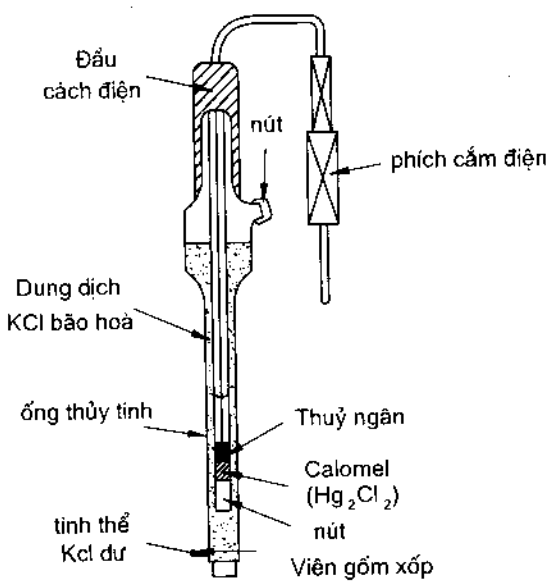
do a_{H^+} thay đổi từ $10^0 \div 10^{-14}$ nên độ pH thay đổi từ 0 ÷ 14. Các thiết bị đo độ pH được gọi là pH mét.

2. Điện cực so sánh

Thực tế không thể đo điện thế của điện cực một cách trực tiếp mà chỉ có thể xác định hiệu điện thế giữa hai điện cực bằng cách đo hiệu điện thế giữa điện cực đo lường và điện cực chuẩn (có điện thế không đổi).

Theo quy ước, người ta sử dụng điện cực chuẩn hydro để xác định điện thế không. Đó là điện cực platin đặt trong dung dịch chứa các ion H^+ có hoạt độ bằng 1 có dòng khí hydro (bằng áp suất của khí quyển) chảy qua và tiếp xúc với platin.

Hiệu điện thế giữa điện cực này với dung dịch được giữ ở giá trị không. Tuy nhiên do độ phức tạp trong sử dụng và bảo quản nên thông thường người ta thay thế điện cực Hydro bằng một điện cực dễ sử dụng và có điện thế xác định chính xác đó là điện cực Calomel (hình 15-9) hoặc clorua bạc, Brom – Bạc.

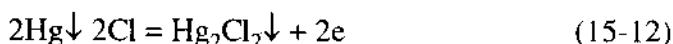


Hình 15-9. Điện cực so sánh Calomel

* Điện cực so sánh Calomel gồm một ống thủy tinh điền đầy dung dịch clorua kali bão hòa. Phía dưới được gắn bằng gốm xốp cho phép tiếp xúc trực tiếp với dung dịch cần nghiên cứu và thiết lập mối quan hệ về điện.

Trong ống thủy tinh đặt phần tử so sánh là thủy ngân tiếp xúc với clorua thủy ngân $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{KCl}$ bão hòa.

Sự cân bằng ở điện cực Calomel dựa trên phản ứng



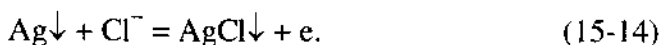
và điện thế của nó chỉ phụ thuộc vào hoạt độ của các ion Cl^-

$$E = E_0 - 0,058 \log |\text{Cl}^-| \quad (15-13)$$

Khi điện cực được điền đầy clorua kali, điện thế của nó bằng 244,4mV ở 25°C so với điện cực chuẩn hydro.

* Điện cực so sánh dùng bạc – clorua bạc là 1 dây bạc được phủ lớp clorua bạc đặt trong dung dịch chứa ion clo.

Sự hoạt động của điện cực dựa trên phản ứng



Điện thế bằng:

$$E = E_0 - 0,058 \log (\text{Cl}^-). \quad (15-15)$$

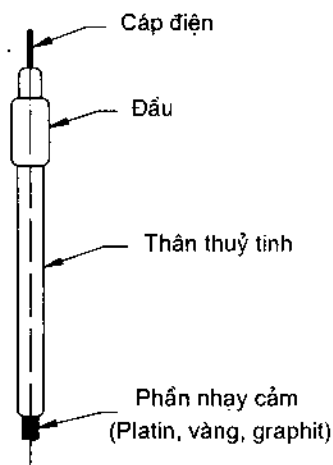
Điện thế này cũng phụ thuộc vào hoạt độ của ion clo trong điện cực.

3. Điện cực đo thế oxy hóa khử

Để đo điện thế oxy hóa khử người ta sử dụng loại điện cực không bị ăn mòn.

Khi điện cực này đặt trong dung dịch chứa hệ oxy hóa khử cần nghiên cứu thì nó sẽ có một giá trị điện thế E xác định.

Nếu nồng độ chất oxy hóa và chất khử thay đổi thì việc đo điện thế cực sẽ cho phép theo dõi sự diễn biến của phản ứng có kèm theo sự thay đổi nồng độ của một trong các thành phần tham gia phản ứng.



Hình 15-10. Điện cực đo thế oxy hoá khử.

Để đo hiệu điện thế giữa điện cực đo và điện cực so sánh (chuẩn) được thực hiện bằng milivonmét có trở kháng vào lớn.

Các điện cực đo thường là điện cực kim loại không bị ăn mòn như vàng, platin, bạc v.v... hoặc graphit, cacbon thủy tinh.

Cấu tạo điện cực đo gồm một que bằng platin (vàng hoặc graphit) đặc trong một ống thủy tinh bảo vệ sao cho phần dưới có thể tiếp xúc với dung dịch. Điện cực được nối ra ngoài bằng cáp điện (Hình 15-10).

Điện cực platin sử dụng đo điện thế từ $-0,1V \div 0,9V$, điện cực vàng có điện thế $-1V \div +0,3V$. Điện cực bạc chỉ được sử dụng ở trong dung dịch mà bạc không tham gia phản ứng điện hóa (dung dịch không chứa Ag^+).

4. Điện cực đo độ pH

Độ pH thể hiện tính axit của dung dịch và được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp hóa học, hóa dầu, nông nghiệp, dược, y sinh v.v...

Để đo độ pH ta thường dùng điện cực thủy tinh do thủy tinh là chất dẫn điện yếu, điện thế trên mặt phân cách giữa thủy tinh và dung dịch phụ thuộc vào độ pH theo biểu thức:

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln a_{H^+} \quad (15-16)$$

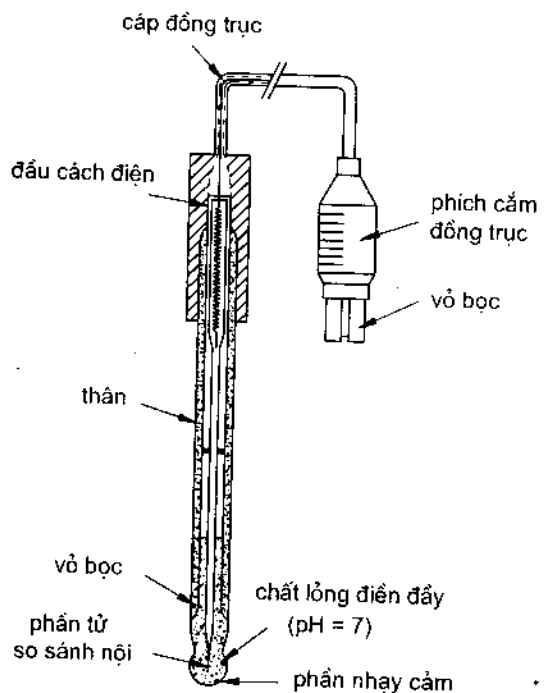
E_0 – điện thế chuẩn;

a_{H^+} – hoạt độ theo ion H^+ của

dung dịch nghiên cứu.

Hình 15-11 vẽ cấu tạo của điện cực thủy tinh.

Trong đó gồm một bầu thủy tinh mỏng dạng hình cầu làm bằng loại thủy tinh có thành phần đặc biệt. Bên trong chứa dung dịch có độ pH xác định ($pH = 7$) và đặt một phân tử so sánh nội (AgCl).

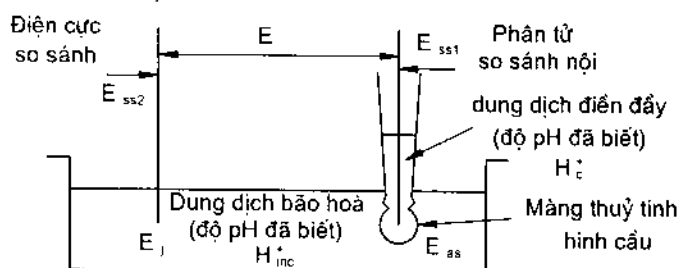


Hình 15-11. Điện cực thủy tinh đo độ pH.

Khi đo độ pH của dung dịch, điện cực thủy tinh được đặt vào dung dịch và đo hiệu điện thế suất hiện giữa phần tử so sánh nội của nó với điện cực so sánh ngoài cùng nằm trong dung dịch với một pH mét có điện trở vào lớn ($R_v \geq 10^{12} \Omega$). (Hình 15-12) và ta được

$$E = E_0 - \frac{2,3RT}{F} \text{pH} \quad (15-17)$$

E_0 – điện thế chuẩn của điện cực thủy tinh



Hình 15-12. Sơ đồ đo độ pH

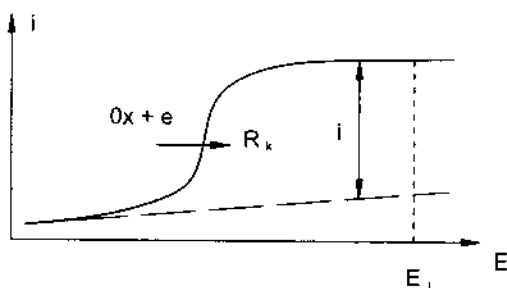
15-2-2. Cảm biến dòng điện

1. Nguyên lý hoạt động

Cảm biến loại này hoạt động nhờ dòng điện chạy qua mạch đo khi đặt hiệu điện thế giữa hai điện cực, thường một điện cực kim loại và 1 điện cực chuẩn.

Cường độ dòng điện chạy giữa hai điện cực là hàm của mật độ các hạt điện tích trong dung dịch và điện áp đặt giữa hai điện cực.

Hình 15-13 cho ta thấy đặc tính Von – Ampe khi điện phân một dung dịch nào đó. Nếu ta giữ một điện thế E_A không đổi giữa 2 điện cực, tương ứng với giới hạn khuếch tán thì dòng điện đo được tỷ lệ với nồng độ ô xy hóa hay chất khử trên điện cực đo.

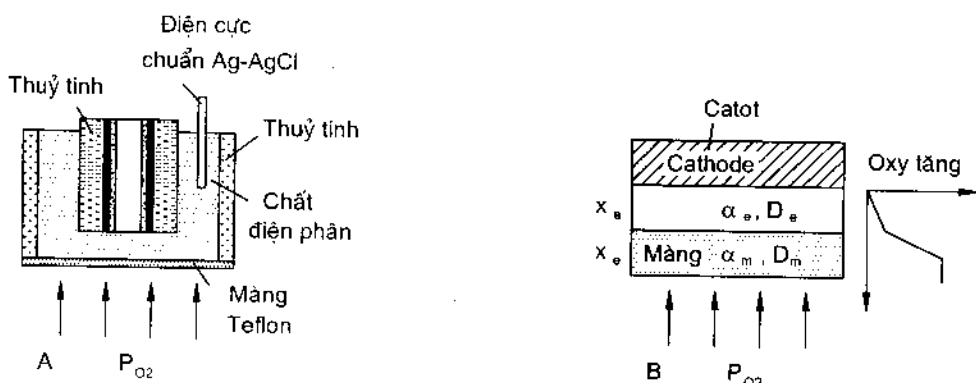


Hình 15-13

Giá trị dòng đo được cỡ từ vài picoampe đến vài chục miliampe và phụ thuộc vào số lượng các hạt tác động lên điện cực đo và vào bề mặt điện cực.

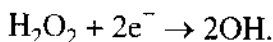
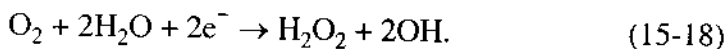
2. Cảm biến dòng điện đo chất khí

Các cảm biến dòng điện đo chất khí thường được sử dụng để phát hiện ôxy.



Hình 15-14. Cảm biến dòng điện đo ôxy

Cảm biến đo ôxy được cấu tạo từ hai điện cực có khả năng phân cực: Catot làm bằng platin và Anot làm bằng bạc phủ clorua bạc (Hình 15-14). Cả hai điện cực được đặt vào dung dịch clorua kali (KCl). Hệ thống điện cực này được ngăn cách với môi trường bằng một màng cho ôxy thấm qua. Dưới tác dụng của điện áp phân cực 650mV đặt vào giữa 2 điện cực, ôxy khuếch tán qua màng sẽ bị khử tại catot theo phản ứng.



Dòng điện chạy giữa hai điện cực do phản ứng điện hóa tỷ lệ với hàm lượng ô xy trong dung dịch

$$I = \frac{4FA\alpha_m D_m P_o}{X_m} \quad (15-19)$$

A – diện tích bề mặt điện cực; α_m – độ hòa tan của ô xy trong màng;

F – hằng số Fara day; D_m – hằng số khuếch tán;

X_m – độ dày của màng ; P_o – áp suất riêng phần của ô xy.

Độ nhạy của cảm biến được biểu diễn bằng biểu thức

$$S = \frac{I}{P_0} \quad (15-20)$$

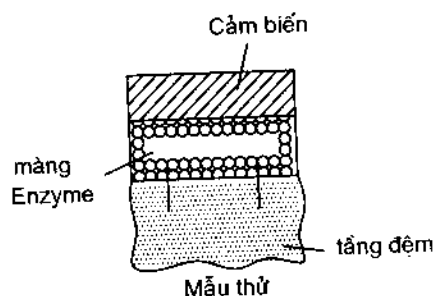
Ví dụ: độ dày của màng là 25 μ m, tiết diện của catot là 2.10⁻⁶ cm² thì độ nhạy tương ứng 10⁻¹² A/mmHg.

3. Cảm biến có điện cực Enzim

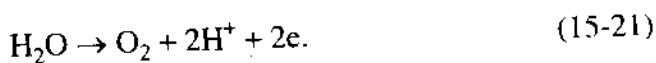
Các điện cực Enzim được chế tạo dưới dạng một màng enzim. Một mặt của màng tiếp xúc với môi trường nghiên cứu, mặt kia tiếp xúc với buồng đo.

Màng của điện cực enzim dùng để đo hàm lượng glucoza là vật chứa glucoza oxy daza. Sự có mặt của glucoza oxydaza làm cho glucoza cần đo bị oxy hóa.

Buồng đo dòng điện gồm 2 điện cực có khả năng phân cực, catot làm bằng bạc phủ clorua bạc và Anot là platin tiếp xúc với màng (hình 15-15). Cả hai đều được nhúng vào chất điện phân đệm có pha thêm clorua kali. Điện áp phân cực được đặt giữa hai điện cực. Dưới tác dụng của điện áp phân cực, nước oxy già được giải phóng sẽ bị oxy hóa ở mặt phân cách giữa Anot và màng theo phản ứng.



Hình 15-15. Cấu tạo cảm biến có điện cực Enzim.



Dòng điện thu được tỷ lệ với lượng nước oxy già bị oxy hóa tức là tỷ lệ với hàm lượng glucoza cần đo

Dải đo của thiết bị từ 10⁻³ ÷ 10⁻⁷M trong dải đo này cảm biến có đặc tính tuyến tính và độ nhạy cỡ 1,5 μ A/milimét/lit glucoza. Thời gian hồi đáp 30 ÷ 45s.

15-2-3. Cảm biến điện dẫn

1. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý hoạt động của cảm biến điện dẫn là dựa vào quan hệ giữa độ dẫn điện của dung dịch với nồng độ và thành phần chất điện phân cũng như

diện tích tác dụng S và khoảng cách l giữa các điện cực. Quan hệ đó được biểu diễn dưới dạng biểu thức

$$G = \gamma \left(\frac{S}{l} \right). \quad (15-22)$$

G – điện dẫn (Simen – S); l – khoảng cách giữa 2 điện cực (cm); γ – hệ số đặc trưng cho chất điện phân và gọi là độ dẫn (s.cm^{-1}); S – diện tích mặt cắt của điện cực (cm^2).

Cấu tạo của cảm biến gồm hai điện cực có diện tích bề mặt S được nhúng vào dung dịch cần đo và cách nhau một khoảng l .

Thông thường cảm biến được chuẩn bằng cách đo độ dẫn điện G_0 của chất điện phân đã biết trước độ dẫn γ_0 với S và l không thay đổi

$$K = S/l$$

ta có $\gamma = kG$. (15-23)

qua đó ta thấy khi đo độ dẫn điện G của một chất điện phân có thể xác định được độ dẫn γ của nó.

Để tránh hiện tượng phân cực trong quá trình đo và sự điện phân làm thay đổi điện trở người ta sử dụng nguồn xoay chiều với tần số thích hợp (50 Hz ÷ Hàng chục kHz) để loại trừ các nhiễu gây sai số.

Ví dụ:

- Dung dịch dẫn điện yếu ($\leq$ vài chục microsimen)

$$f = 50\text{Hz} \div 62,5 \text{ Hz.}$$

- Dung dịch dẫn điện tốt ($\geq$ vài milisimen)

$$f = 4 \div 16 \text{ kHz}$$

- Dung dịch dẫn điện trung bình

$$f = 10^2 \div 10^3 \text{ Hz.}$$

Ngoài ra độ dẫn còn phụ thuộc vào nhiệt độ và được biểu diễn bằng biểu thức.

$$\gamma_t = \gamma_0 (1 + \alpha (t - t_0)) \quad (15-24)$$

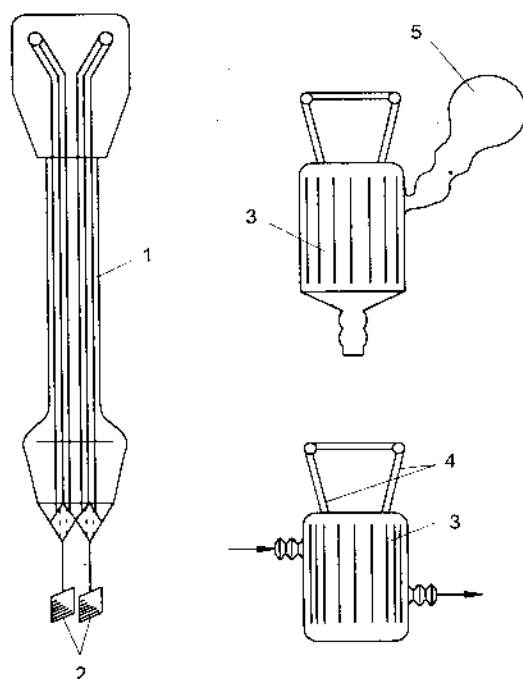
γ_t – độ dẫn ở nhiệt độ t ; γ_0 – độ dẫn ở nhiệt độ chuẩn; t_0 – nhiệt độ chuẩn; α – hệ số nhiệt độ của độ dẫn.

2. Các loại cảm biến điện dẫn

Tùy thuộc vào mục đích sử dụng, môi trường hoạt động ta có thể dùng các loại cảm biến khác nhau

Cảm biến dùng trong phòng thí nghiệm gồm một ống thủy tinh trong đó chứa hai tấm platin được phủ lớp platin dạng xấp để tránh hiện tượng phân cực (hình 15-16). Đầu ra làm bằng chất cách điện có dây cáp dẫn điện.

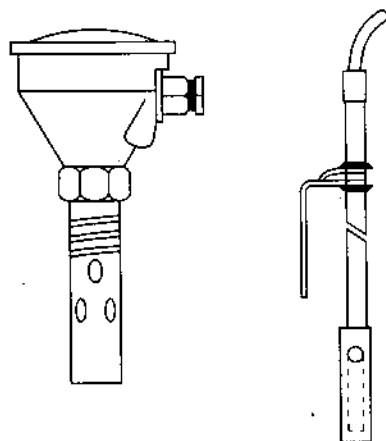
Các cảm biến điện dẫn khác nhau chủ yếu ở kích thước thân điện cực và kích thước các tấm hoặc vòng platin.



Hình 15 – 16. Cảm biến điện dẫn trong phòng thí nghiệm

Khi đo dung dịch có độ dẫn nhỏ cần sử dụng loại cảm biến có hệ số k lớn và ngược lại với độ dẫn lớn chỉ cần sử dụng loại có hệ số k nhỏ để điện dẫn G không quá lớn. Khi đo độ dẫn của các dung dịch axit hoặc kiềm đậm đặc các điện cực được chế tạo bằng vật liệu không bị ăn mòn như vàng, platin, than v.v...

Hình (15-17) là các cảm biến điện dẫn dùng trong công nghiệp.



Hình 15 – 17. Cảm biến điện dẫn dùng trong công nghiệp

15-2-4. Vi cảm biến điện hóa

1. Nguyên lý hoạt động

Một trong những cảm biến điện hóa được ứng dụng rộng rãi hiện nay là sử dụng các cảm biến dựa trên tranzito trường (MOSFET).

Như ta đã biết dòng điện mắng I_D của một MOSFET kênh n ở vùng tuyến tính ($V_{GS} > V_T$; $V_{DS} < V_{GS} - V_T$) được biểu diễn dưới dạng:

$$I_D = \beta V_{DS} \left(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2} \right) \quad (15-25)$$

Sự cân bằng tương ứng khi ở trạng thái bão hòa ($V_{GS} > V_T$; $V_{DS} > V_{GS} - V_T$). Dòng điện I_D có dạng

$$I_D = \beta \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2} \quad (15-26)$$

trong đó

$$\beta = \mu C_{ox} W/L. \quad (15-27)$$

V_{GS} – hiệu điện thế đặt giữa cực gốc và cực nguồn; V_{GS} – hiệu điện thế đặt giữa cực mắng và nguồn; V_T – điện áp ngưỡng (Trên điện áp ngưỡng sẽ có sự đảo ngược lại); I_D – dòng điện mắng; μ – độ linh động của điện tử trong kênh; C_{ox} – điện dung của cực cổng trên đơn vị diện tích; W – độ rộng của kênh; L – chiều dài kênh.

Giá trị của V_T khoảng 1 ÷ 6V và được tính bởi công thức:

$$V_T = \frac{\phi_M - \phi_S}{q} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} + 2\phi_f - \frac{Q_B}{C_{ox}} \quad (15-28)$$

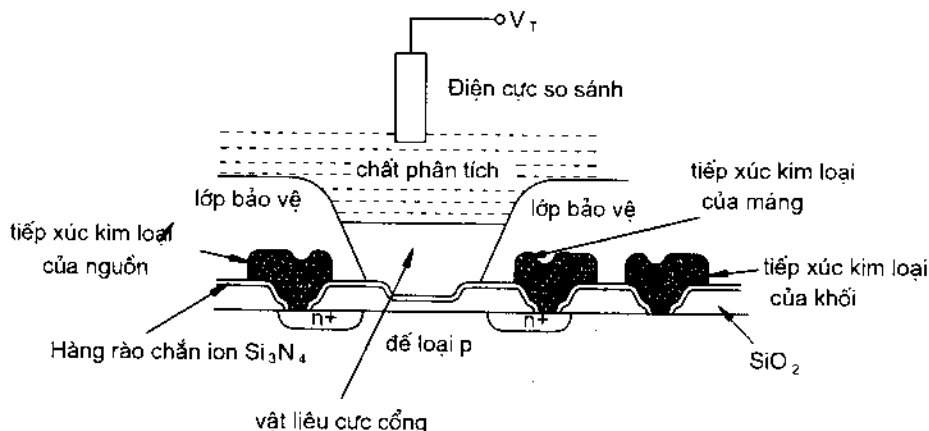
$\phi_M - \phi_S$ là hiệu suất công thoát của kim loại và bán dẫn – Silicon (Công thoát là năng lượng tối thiểu để có thể chuyển một điện tử từ mức Fermi đến vô cùng); ϕ_f – mức Fermi cho chất bán dẫn; Q_{ss} – điện tích mật độ chứa; Q_B – Mật độ chứa trong vùng phân tán; q – điện tích của điện tử.

Khi MOSFET được dùng như một thành phần mạch điện và nếu coi các thông số trong công thức (15-25) và (15-26) là hằng số thì ta có thể xác định được quan hệ giữa tín hiệu vào và ra của V_G và I_D với quan hệ đó ta có thể sử

dụng để đo các thông số điện hóa khác nhau với sự cấu tạo khác nhau của cực cổng (G)

2. ISFET

Cảm biến chọn lọc ion dựa trên cơ sở MOSFET được gọi là ISFET (Ion Sensitive Field Transistor)



Hình 15-18. Sơ đồ cấu tạo của cảm biến ISFET

Hình 15-8 là cấu trúc của một ISFET trong đó lớp kim loại của MOSFET được thay thế bằng màng nhạy với hóa chất khi tiếp xúc với dung dịch nghiên cứu.

Điện áp ngưỡng V_T phụ thuộc vào đặc tính điện hóa của dung dịch.

Ứng dụng của cảm biến trên dùng để đo độ pH của dung dịch.

Màng nhạy có thể là oxit silic (SiO_2), Al_2O_3 , Ta_2O_5 hoặc Si_3N_4 v.v...

12-2-5. Cảm biến đo thành phần khí

Ngày nay việc đo nồng độ của một thành phần trong hỗn hợp khí chiếm vai trò rất quan trọng trong công nghiệp và để giảm ô nhiễm môi trường do vậy các cảm biến đo thành phần khí phát triển mạnh. Chúng được nghiên cứu, chế tạo để phát hiện và đo các phân tử khí được tiêu thụ hoặc sản sinh trong quá trình oxy hóa nhiên liệu như O_2 , CO_2 , H_2O , CO , SO_2 v.v...

Trong số các cảm biến đo thành phần khí, cảm biến đo nồng độ oxy chiếm vị trí đặc biệt, đó là các cảm biến sử dụng chất điện phân rắn. Loại cảm biến này phân tích nhanh và chính xác thành phần oxy do đó được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như hóa chất, luyện kim, chế biến thực phẩm, hóa sinh. Ngoài các sản phẩm phân tích có quá trình oxy hóa, các cảm biến trên còn có khả năng phân tích các loại khí khác như Cl_2 , HCl , H_2S , H_2 v.v...

Các cảm biến đo thành phần khí có thể phân thành các loại: Cảm biến điện hóa dùng chất điện phân rắn cảm biến điện, xúc tác, cảm biến quang...

Dưới đây ta xét một số cảm biến thông dụng.

1. Cảm biến dùng chất điện phân rắn

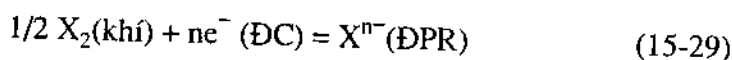
* Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Hình 15-19 là sơ đồ cấu trúc của cảm biến điện hóa dùng chất điện phân rắn.

Trong đó điện phân rắn được làm bằng vật liệu không thấm thấu chất khí, dẫn điện bằng ion và chứa các ion X^{n-} .

Hai phía của chất điện phân rắn là hai điện cực dẫn điện bằng điện tử, trở về hóa học và có cùng bản chất. Chất khí phân tích dưới dạng nguyên chất hoặc hòa tan trong chất lỏng hoặc ở trạng thái cân bằng với hệ khí hóa học. Chất khí phân tích được dẫn đến 2 phía của chất điện phân rắn với áp suất P và P_c .

Ở mỗi điện cực sẽ xảy ra phản ứng dưới dạng

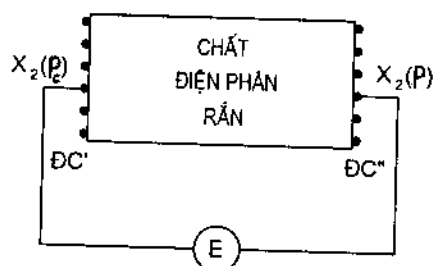


X_2 – chất khí phân tích; n – số điện tử trao đổi khi phản ứng với điện cực (ĐC); X^{n-} – các ion chứa trong chất điện phân rắn (ĐPR)

Trong điều kiện lý tưởng giữa hai điện cực suất hiện một sức điện động E

Biểu diễn dưới dạng:

$$E = \frac{RT}{2nF} \ln \frac{P}{P_c} \quad (15-30)$$



Hình 15 – 19. Sơ đồ cấu trúc của cảm biến điện hóa dùng chất điện phân rắn

R – hằng số khí ($R = 8,317 \text{ Jmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; F – hằng số Faraday (965000 C/g mol); n – số điện tử; T – nhiệt độ K; $P - P_c$ – áp suất ở 2 phía của điện cực.

Thay số vào (15-30) ta được:

$$E = 0,9926 \cdot 10^{-4} \frac{T}{n} \log \frac{P}{P_c} \quad (15-31)$$

Từ biểu thức (15-31) nếu biết nhiệt độ T, áp suất riêng phần ở điện cực chuẩn (P_c) ta có thể đo được áp suất chất khí cần đo (P).

Giá trị của E trong khoảng vài chục đến hàng trăm milivol.

* Yêu cầu đối với chất điện phân rắn phải thỏa mãn một số đáp ứng như: tổng trở của chất điện phân lớn (cỡ $1 \text{ M}\Omega$) và điện trở này phụ thuộc vào thành phần và bản chất của chất điện phân rắn. Nó bị giảm khi nhiệt độ tăng.

Tính chất hóa lý ổn định, tính cơ học ổn định

Trơ về hóa học đối với các chất khí và vật liệu khi tiếp xúc.

* Điện cực so sánh (chuẩn)

Hệ thống so sánh cần đảm bảo duy trì được chế độ cân bằng nhiệt động trong quá trình sử dụng. Hệ so sánh có thể là chất khí (nguyên chất hoặc hòa tan trong khí trơ) hoặc một hỗn hợp các chất khí hoặc hỗn hợp các chất rắn

Ví dụ: O_2 , không khí, $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$; Co/Co_2 (chất khí)

Hoặc $\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{O}$; Ni/NiO ; Pd/PdO , Ag/AgCl (kim loại)

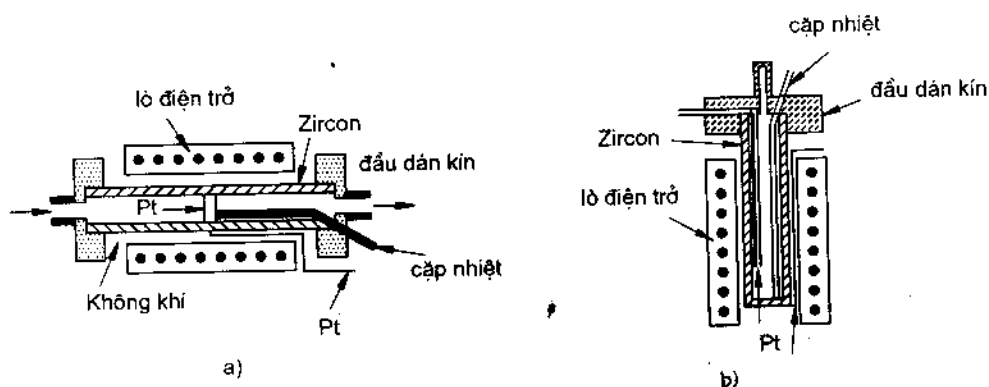
Hoặc một chất khí được hình thành khi phân hủy một hợp chất rắn:
 $\text{MgSO}_4 = \text{MgO} + \text{SO}_3$.

* Điện cực đo

Điện cực đo là vật dẫn điện tử, trơ hóa học đối với chất điện phân và chất khí phân tích ngoài ra phải có tính chất xúc tác đối với các phản ứng điện cực để tăng độ nhạy và giảm thời gian hồi đáp của cảm biến.

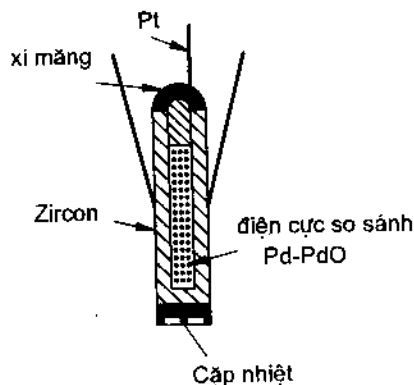
Các điện cực đo được làm bằng platin hoặc bạc.

Hình 15-20 là sơ đồ cấu tạo cảm biến oxy sử dụng chất điện phân rắn Zirconi. Trong đó không khí được dùng làm khí so sánh, điện cực đo chế tạo bằng platin, đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt. Chất điện phân rắn chế tạo dưới dạng ống hở 2 đầu (15-20a) hoặc một đầu hở (h. 15-21b)



Hình 15-20. Cảm biến oxy dùng chất điện phân rắn Zircon
 a) Hai đầu trở; b) Một đầu kín

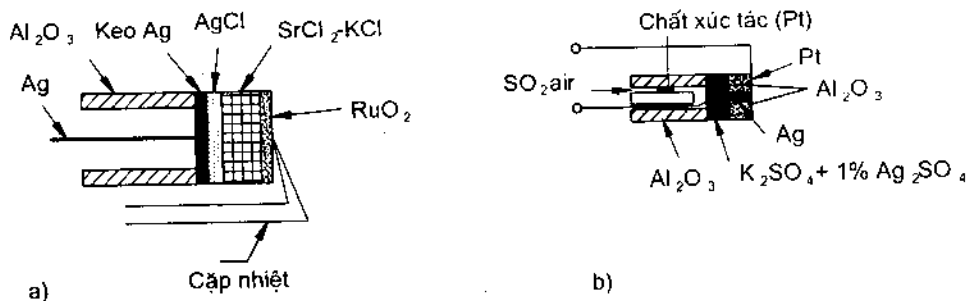
Hình 15-21 là dạng khác của cảm biến ô xy dùng hệ thống so sánh nội. Trong đó hệ thống điện cực so sánh là hỗn hợp $Pd - PdO$. Ưu điểm của cảm biến là kích thước nhỏ, chống được ra đập, bền vững dưới áp suất cao 400 bar. Công suất tiêu thụ (nung nóng cảm biến) nhỏ cỡ 10W và có thể đo trực tiếp khí cần phân tích.



Hình 15-21. Cảm biến oxy dùng phương pháp so sánh nội

Hỗn hợp $Pd - PdO$ có thể làm việc tốt trong dải áp suất riêng phần của ô xi từ $10 \div 10^{-6}$ atm với nhiệt độ $500 \div 600^{\circ}C$.

Hình 15-22 cho ta biết cấu tạo của cảm biến clo (15-22a) và cảm biến đo Anhydrit sun furic (15-22b).



Hình 15-22. Cấu tạo của cảm biến Clo (a) và cảm biến Anhydrit Sulfuric (b)

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 15

1. Trình bày các khái niệm về độ ẩm và các định nghĩa
2. Phân loại các cảm biến đo độ ẩm và trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động, đặc điểm của các cảm biến:
 Ẩm kế biến thiên trở kháng
 Ẩm kế tụ điện
 Ẩm kế hấp thụ (clorualiti, Anhidrit photphoric)
3. Trình bày cấu tạo, nguyên lý hoạt động của ẩm kế quang
4. Thế nào là một cảm biến điện hoá? Phân loại. Trình bày nguyên lý hoạt động của cảm biến điện thế cực.
5. Nêu cấu tạo của các điện cực so sánh (Calomel), điện cực đo thế oxy hoá khử và điện cực thuỷ tinh đo độ PH.
6. Nêu nguyên lý hoạt động của cảm biến dòng điện và cấu tạo của các cảm biến dòng điện đo chất khí.
7. Trình bày nguyên lý hoạt động của cảm biến điện dẫn và cấu tạo của các loại cảm biến điện dẫn.
8. Nêu nguyên lý hoạt động của cảm biến vi điện hoá và cấu tạo của chúng (Mosfet - Transistor và ISFET).
9. Trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của cảm biến điện phân rắn.

CHƯƠNG XVI

CẢM BIẾN THÔNG MINH

16-1. Khái niệm chung

Cảm biến thông minh (Intelligent Sensor) là sự kết hợp giữa μ p và các mạch vi điện tử với cảm biến thông thường để thực hiện được các chức năng mới mà các cảm biến thông thường không thực hiện được, chúng có thể thu thập số liệu từ nhiều đại lượng đo khác nhau, gia công sơ bộ kết quả theo các thuật toán đã định trước, có khả năng bù sai số do ảnh hưởng của môi trường bên ngoài (nhiệt độ, độ ẩm) qua đó hiệu chỉnh được sai số của phép đo mặt khác nhờ có các mạch vi điện tử các cảm biến thông minh có khả năng mã hóa tín hiệu đo, ghép nối được với các thiết bị ngoại vi, ghép nối với bộ nhớ để lưu giữ số liệu. Kết hợp với μ P chúng có khả năng thực hiện các phép tính đại số, có thể điều khiển quá trình đo với các khâu kết hợp như A/D, các bộ dồn kênh MUX (Multiplexer) v.v...

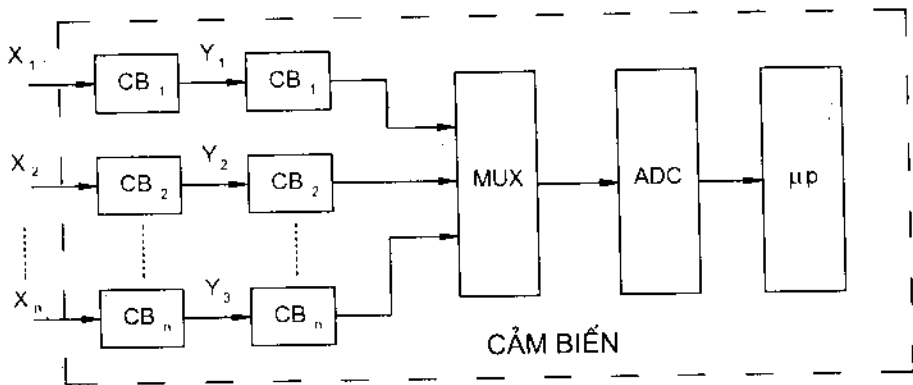
Ngày nay do việc sử dụng các cảm biến thông minh với các μ P và các bộ vi điều khiển, các thiết bị đo, hệ thống thông tin đo lường và các hệ điều khiển tự động đã có những tiến bộ vượt bậc như tự động chọn thang đo, tự động xử lý thông tin, tự động bù sai số và có khả năng đo nhiều đại lượng với các khoảng cách khác nhau theo một chương trình đã định sẵn giúp cho quá trình đo và điều khiển thuận lợi hơn và đạt độ chính xác cao.

Mặt khác để nâng cao tính năng các cảm biến người ta đã đưa công nghệ vi điện tử vào các chuyển đổi sơ cấp, điển hình hóa chúng và nâng cao đặc tính kỹ thuật để làm phần tử cơ bản cho cảm biến thông minh như chế tạo các nhiệt điện trở, các điện trở chính xác và các cầu đo bằng vi điện tử hoặc cảm biến áp trở được thực hiện bằng công nghệ vi điện tử, nuôi cấy đa tinh thể trên đơn tinh thể sử dụng để đo lực, trọng lượng, áp suất.

Với công nghệ vi điện tử có thể chế tạo các photo diot, optron, quang điện trở với kích thước nhỏ để đo tốc độ quay chế tạo các quang phổ kế, các thiết bị so màu đo độ đục v.v... qua đó thấy rằng các cảm biến thông minh có tính năng kỹ thuật tốt hơn hẳn các cảm biến thông thường và sẽ ngày càng phát triển và hoàn thiện.

16-2. Sơ đồ cấu trúc của cảm biến thông minh

Hình 16-1 là sơ đồ cấu trúc của cảm biến thông minh



Hình 16-1. Sơ đồ cấu trúc Cảm biến

trong đó $X_1 \dots X_n$ – các đại lượng đo; $CB_1 \dots CB_n$ – cảm biến thông thường; $CH_1 \dots CH_n$ – các bộ chuẩn hóa; MUX – Multiplexer (bộ dồn kênh); ADC – chuyển đổi tương tự số; μP – vi xử lý.

Nguyên lý hoạt động của cảm biến như sau:

Các đại lượng đo $X_1 \dots X_n$ được đưa vào các cảm biến $CB_1 \dots CB_n$ để biến đổi thành các tín hiệu điện sau đó đưa qua các bộ chuẩn hóa để chuẩn hóa tín hiệu thành dòng hoặc áp.

Bộ dồn kênh (MUX) làm nhiệm vụ chuyển các tín hiệu điện theo chương trình định trước đến ADC, biến đổi tín hiệu dạng tương tự sang tín hiệu số và đưa qua μP (bộ vi xử lý). μP điều khiển MUX và ADC làm việc theo chương trình.

16-3. Các khâu cơ bản của cảm biến thông minh

16-3-1. Chuyển đổi chuẩn hóa

Chuẩn hóa là khâu làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện sau cảm biến thành tín hiệu chuẩn dưới dạng điện áp từ $0 \div 5V$ hoặc $0 \div 10V$ hay dòng điện từ $0 \div 20mA$ hoặc $4 \div 20mA$. Tín hiệu ra của cảm biến có thể khác nhau về dải đo sau khi qua chuẩn hóa chúng được biến đổi tương ứng với một giới hạn nhất định sao cho tương thích với các A/D và μP . Các bộ chuẩn hóa có thể thực hiện với từng cảm biến hoặc một số cảm biến giống nhau về loại và khoảng đo.

Do tín hiệu ra của các bộ chuẩn hóa là điện áp hoặc dòng điện một chiều nên chúng thường được thực hiện dưới dạng khuếch đại áp ($K > 1$) hoặc dạng suy giảm ($K < 1$) hay nguồn dòng. Đặc tính ra của chuyển đổi chuẩn hóa thường tuyến tính, đó là một khâu biến đổi tỷ lệ.

Đại lượng vào sau cảm biến có thể trong khoảng đo $x_1 \div x_2$ nhưng tín hiệu ra của chuẩn hóa phải là $0 \div y$ do đó chúng được thực hiện bằng cách trừ giá trị ban đầu $x_1 \neq X_1$ để tín hiệu ra có giá trị $y = 0$ nhờ các mạch bù. (X_1 - giá trị bù)

16-3-2. Bộ dồn kênh MUX (Multiplexer)

Nhiệm vụ của bộ dồn kênh là đưa các tín hiệu song song từ các cảm biến thành dạng nối tiếp vào A/D và μP . Ngày nay các bộ dồn kênh được sản xuất dưới dạng IC chúng được thực hiện theo 2 chế độ

- * Chế độ chu trình: Các tín hiệu từ cảm biến qua chuyển đổi chuẩn hóa sẽ được lần lượt đưa vào A/D theo một chu trình.

- * Chế độ địa chỉ: Các tín hiệu được đưa đến A/D theo chương trình định trước.

Để đảm bảo sai số cho phép các MUX được chế tạo với số lượng kênh thích hợp

16-3-3. Bộ chuyển đổi tương tự - số: (A/D)

Là thiết bị dùng để biến đổi các tín hiệu liên tục (tương tự) thành tín hiệu rời rạc (số). Ngày nay các bộ chuyển đổi tương tự số được chế tạo rất đa dạng theo công nghệ CMOS với số lượng các kênh vào và ra khác nhau.

Ví dụ: Bộ A/D của hãng Motorola MC 14433 có 1 đầu vào (DC Input) và đầu ra số 4 bit hoặc A/D 0809 có đầu vào 8 kênh, đầu ra 8 bit với 3 bit địa chỉ ABC để chốt và giải mã chọn kênh khi kết hợp với μP hay μC .

16-3-4. Một số thuật toán xử lý của cảm biến thông minh

Trong quá trình sử dụng các cảm biến có nhiều yếu tố làm ảnh hưởng đến tính năng của chúng cần khắc phục phương trình của cảm biến được biểu diễn dưới dạng

$$Y = f(x, a, b, c)$$

trong đó X – đại lượng đo (đại lượng chủ); $a, b, c, \dots$ các đại lượng nhiễu.

Thực tế ta mong muốn quan hệ giữa tín hiệu vào và ra của cảm biến có quan hệ

$$Y = f(x)$$

quan hệ này được lặp lại với giá trị chính xác để từ tín hiệu ra Y ta có thể suy ra x với sai số yêu cầu.

Tuy nhiên các cảm biến thông thường khó đạt được những đòi hỏi trên do vậy các cảm biến thông minh đã sử dụng khả năng xử lý kết quả đo nhờ các bộ vi xử lý hay vi tính đơn giản để nâng cao đặc tính kỹ thuật.

Một số khả năng xử lý đó là:

1. Xử lý khắc độ

Phương trình đặc tính cơ bản của cảm biến là

$$Y = f(x) \quad (16-1)$$

Với giá trị lần thứ i ta có

$$Y_i = K_i X_i \quad (16-2)$$

Trong đó K_i không thay đổi

Khi khắc độ cần xác định K_i với sai số lớn nhất là $\left| \frac{\Delta K_i}{K_i} \right| \leq \gamma_{K_i}$ Trường

hợp có nhiều tác động, K_i được xác định bằng phương pháp thống kê.

$$\overline{k_j} = \frac{\sum_{i=1}^m k_{ij}}{m}, \quad (16-3)$$

giá trị $\overline{k_i}$ được lưu giữ làm hệ số biến đổi tại điểm x_i và

$$X_i = \frac{Y_i}{k_i} \quad (16-4)$$

Sai số tuyệt đối ngẫu nhiên của k_i được tính với giả thiết phân bố xác suất là phân bố student.

$$\Delta k_i = k_{si} \cdot \delta \cdot \bar{x}_i \quad (16-5)$$

Δk_i – sai số tuyệt đối của k_i có tính ngẫu nhiên; k_{st} – hệ số tra ở bảng student; $\sigma^* \bar{x}_i$ – độ bình quân phương

$$\sigma^2 \bar{X}_1 = \frac{(X_1 - \bar{X}_1)^2}{n(n-1)} \quad (16-6)$$

Các hệ số $\bar{k}_i$ và Δk_i được tính và ghi nhớ vào EPROM của vi tính đơn phiên với bộ lập phương trình.

2. Xử lý tuyến tính từng đoạn

Số khoảng tuyến tính hóa đặc trưng bằng k_1 được chọn tùy theo đặc tính phi tuyến.

Vi xử lý hay vi tính đơn giản làm nhiệm vụ tuyến tính hóa từng đoạn đặc tính đó.

Giá trị đo X qua cảm biến được biến thành Y_x và được số hóa. Tìm giá trị Y_x với $Y_i < Y_x < Y_{i+1}$ ứng với $X_i < X < X_{i+1}$ và thực hiện phép nội suy tuyến tính

Ta được

$$X = X_i + \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) (Y_x - Y_i) \quad (16-7)$$

Các giá trị X , k_i và $\gamma_{k_i} = \frac{\Delta k_i}{k_i}$ được ghi nhớ trong RAM và chuyển về

trung tâm khi yêu cầu.

3. Bù sai số cộng tính

Sai số cộng tính gây ra do độ trễ của cảm biến, do nhiều, mà sát do đó phương trình đặc tính có dạng

$$Y_x = K_x X + \Delta Y. \quad (16-8)$$

$$K_x = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} \quad (16-9)$$

ΔY không thay đổi khi X thay đổi và gọi là sai số cộng tính.

Để loại trừ sai số trên thực hiện bằng một bộ trừ khi cho 1 giá trị X_i qua cảm biến

$$Y_i = k_i X_i + \Delta Y. \quad (16-10)$$

Thực hiện phép trừ và sau khi biến đổi ta được:

$$X - X_i = (Y_x - Y_i) \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} \quad (16-11)$$

Từ đó ta loại trừ được thành phần sai số cộng tính.

4. Bù sai số nhân tính:

Khi có sai số nhân tính, phương trình đặc tính của cảm biến có dạng:

$$Y_x + Xk_x (1 + \gamma_k) \quad (16-12)$$

γ_k - sai số nhân tính.

Muốn bù sai số nhân tính có thể thực hiện phép chia.

Với đại lượng vào là X_0 ta có phương trình đặc tính

$$Y_0 = X_0 k_0 (1 + \gamma_k) \quad (16-13)$$

Do đó

$$\frac{Y_x}{Y_0} = \frac{Xk_x(1 + \gamma_k)}{X_0k_0(1 + \gamma_k)} = \frac{Xk_x}{X_0k_0}$$

$$X = \frac{Y_x k_0}{Y_0 k_x} \cdot X_0 \quad (16-14)$$

Từ (16-14) ta loại trừ được sai số nhân tính γ_k .

5. Bù sai số do các yếu tố ảnh hưởng

Các yếu tố ảnh hưởng thường đa dạng và không xác định nên rất khó loại trừ, mặt khác cùng một loại cảm biến nhưng yếu tố ảnh hưởng cũng khác nhau.

Từ phương trình đặc tính của cảm biến ta có thể viết được sai số

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial F}{\partial b} \Delta b + \dots \quad (16-15)$$

$\frac{\partial F}{\partial a} \Delta a$ là ảnh hưởng của yếu tố a đến kết quả đo Y.

với khả năng xử lý của máy tính ta có thể sai phân hóa sai số trên và nội suy tuyến tính. Mặt khác từ thực nghiệm ta lập ra một bảng về các yếu tố ảnh hưởng. Khi muốn bù ảnh hưởng của 1 yếu tố nào đó chỉ cần tra bảng để xác định ảnh hưởng của yếu tố đó và căn cứ vào giá trị đo được thực hiện phép bù bằng nội suy tuyến tính để loại bỏ sai số do sự ảnh hưởng của yếu tố đó.

6. Xử lý thống kê

Khi bản thân đối tượng đo biến đổi, các thông tin đo mang nhiều tính ngẫu nhiên, cảm biến thông minh có thể xử lý thống kê bằng cách đo nhiều lần với tốc độ cao sau đó lấy giá trị trung bình, tính sai số thống kê của kết quả đo và lưu giữ hoặc truyền lên máy tính

$$\sum_{i=1}^m X_i$$

Giá trị trung bình $\bar{X} = \frac{i=1}{m}$; Sai số $\Delta x = \pm k_{st} \sigma^* \bar{X}$. Kết quả đo lần thứ i sẽ nằm giữa

$$(\bar{X} - \Delta X) < x_i < (\bar{X} + \Delta X).$$

16-4. Ví dụ về cảm biến thông minh 4301 đo áp suất

Hình 16-2 biểu diễn sơ đồ khối của một cảm biến thông minh kiểu điện dung mắc vi sai. Trong đó áp suất P_1 và P_2 tác động lên hai phía của màng. Bình thường điện dung C_1 và C_2 có giá trị bằng nhau với $P_1 = P_2$. Khi làm việc giả sử $P_1 > P_2$ điện cực ở giữa của 2 tụ điện bị tác động lúc đó giá trị

điện dung $C_1 > C_2$. Tín hiệu ra của cảm biến được đưa qua mạch chuẩn hóa và biến đổi thành tần số. Qua mạch cách ly bằng photo diốt tín hiệu được đưa vào CPU. Để hiệu chỉnh sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi người ta dùng thêm cảm biến nhiệt độ. Các tín hiệu trên được đưa qua MUX, A/D và μP v.v... trong CPU.

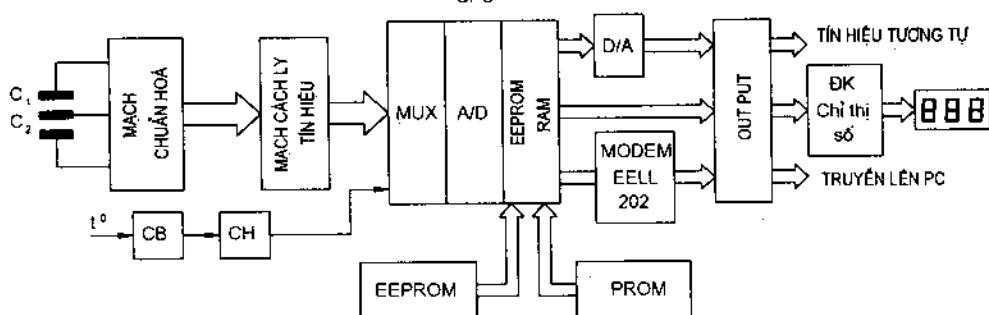
Nhiệm vụ của CPU là quản lý mọi thao tác của các khâu và truyền tín hiệu ra ngoài (Điều khiển, chỉ thị số đưa vào máy tính). Ngoài CPU người ta còn sử dụng EEPROM và PROM để ghi, đọc và lưu giữ thông tin.

Với cảm biến thông minh trên có thể đo áp suất, mức, lưu lượng v.v...

Tùy thuộc vào cách sử dụng

Cảm biến trên có thể thực hiện được các chức năng sau:

- Đo trực tiếp đại lượng đo như đo áp suất, đo mức
- Đo lưu lượng với cảm biến mắc vi sai
- Đo lưu lượng một kênh nước mở có tiết diện hình thang hoặc hình chữ nhật.



Hình 16-2. Sơ đồ khối của cảm biến thông minh

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 16

1. Thế nào là một cảm biến thông minh. Vẽ sơ đồ cấu trúc của 1 cảm biến thông minh và nói nguyên lý hoạt động
2. Trình bày các khâu cơ bản của 1 cảm biến thông minh:
 - Chuyển đổi chuẩn hoá
 - Bộ dồn kênh (MUX)
 - Bộ chuyển đổi tương tự - số (A/D)
3. Nêu một số khâu toán xử lý của cảm biến thông minh
4. Nêu ví dụ về 1 cảm biến thông minh

CHƯƠNG XVII

MẠCH ĐO VÀ CHUẨN HOÁ TÍN HIỆU

Như ta đã biết, ngày nay trong các hệ thống thông tin đo lường và điều khiển tự động, các tín hiệu đo và các hệ thu thập số liệu thường được chuẩn hoá dưới dạng dòng điện và điện áp. Để thống nhất hoá, dòng điện được quy định với khoảng thay đổi từ $0 \div 20\text{mA}$ hoặc $4 \div 20\text{mA}$. Điện áp từ $0 \div 5\text{V}$ hoặc $0 \div 10\text{V}$. Các mạch đo và chuẩn hoá tín hiệu có nhiệm vụ thực hiện biến đổi tín hiệu sau cảm biến thành các tín hiệu chuẩn.

Các tín hiệu trước khi đưa vào các chuyển đổi A/D; PLC và μp hoặc máy tính đều phải qua các chuyển đổi chuẩn hoá để với bất kỳ dải đo nào của các đại lượng đo cũng tương ứng với khoảng thay đổi của chuyển đổi chuẩn hoá.

Vì vậy ta cần xem xét để hiểu được các tính năng và nguyên lý hoạt động của chúng.

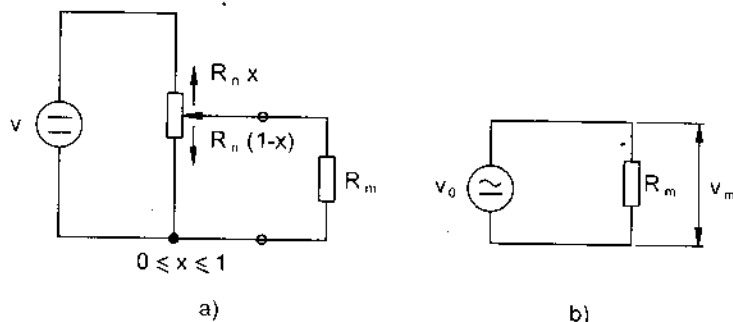
17-1. Chuẩn hoá tín hiệu đối với cảm biến điện trở

Cảm biến điện trở là loại cảm biến có cấu tạo dưới dạng điện trở như biến trở, áp trở, nhiệt trở v.v... khi chịu tác động của các đại lượng không điện (di chuyển, lực, áp suất, nhiệt độ) điện trở của chúng bị thay đổi. Các mạch đo và chuẩn hoá đối với cảm biến điện trở thường sử dụng mạch phân áp, mạch cầu kết hợp với các bộ khuếch đại.

17.1.1. Mạch phân áp

1- Phân áp kiểu biến trở

Hình 17-1a mô tả mạch chuẩn tín hiệu đơn giản với một biến trở có điện trở định mức R_n để đo di chuyển thẳng hoặc góc và sơ đồ tương đương (hình 17-1b) với thiết bị đo điện áp có điện trở vào R_m .



Hình 17-1

Ta có:

$$V_n = V (1-x); \quad (17-1)$$

$$R_n = R_n (1-x) \cdot x; \quad (17-2)$$

V_n - điện áp khi chưa mắc thiết bị đo;

R_n - điện trở ra;

x - độ dịch chuyển của con chạy

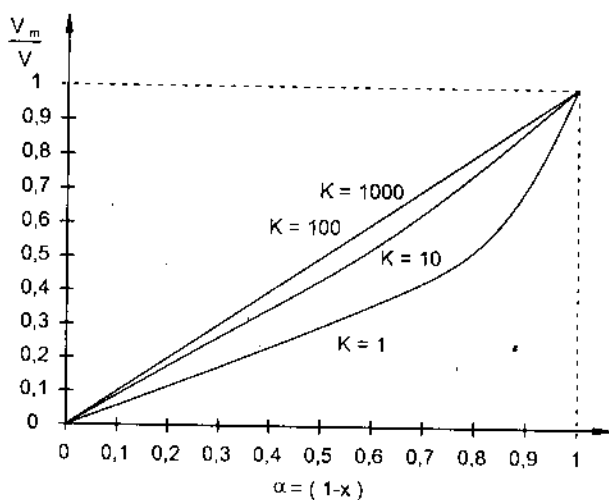
Từ 2 hình trên ta tính được:

$$V_m = \frac{V(1-x)}{R_n \cdot x \cdot (1-x) + R_m} \cdot R_m = \frac{V\alpha}{\alpha(1-\alpha) \cdot K + 1} \quad (17-3)$$

$$K = \frac{R_m}{R_n}; \quad \alpha = 1 - x$$

Từ biểu thức (17 - 3) cho thấy quan hệ giữa điện áp đo và độ dịch chuyển của con chạy là tuyến tính khi K lớn và yêu cầu thiết bị đo có điện trở vào lớn hơn nhiều lần so với điện trở của biến trở.

Hình 17 - 2 là biểu đồ đặc tính điện áp tương ứng với vị trí của con chạy khi K thay đổi.



Hình 17-2

2- Mạch phân áp

Hình 17-3 là sơ đồ mạch phân áp đo điện trở lớn.

Giả sử điện trở của vôn mét rất lớn hơn R_x

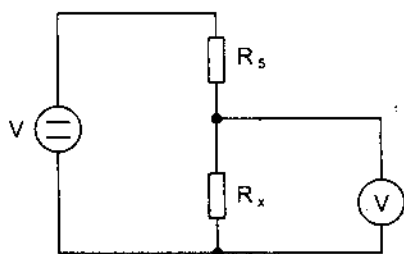
Ta có

$$V_x = \frac{V \cdot R_x}{R_s + R_x} \quad (17 - 4)$$

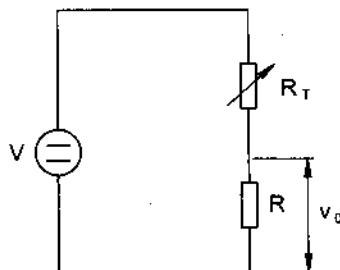
Và

$$R_x = \frac{V_x \cdot R_s}{V - V_x} \quad (17 - 5)$$

ưu điểm của mạch đo trên là có thể đo điện trở lớn và sử dụng được cả trong trường hợp điện trở đo có đặc tính phi tuyến như điện trở Thermistor. Hình 17-4.



Hình 17 - 3



Hình 17 - 4

Như ta đã biết điện trở của Thermistor được viết dưới dạng

$$R = R_o \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right] = R_o f(T) \quad (17 - 6)$$

T - Nhiệt độ Kenvin

Từ hình 17 - 4 và theo công thức (17 - 4) ta có

$$V_o = V \cdot \frac{R}{R_T + R} = \frac{V}{1 + \frac{R_T}{R}} \quad (17-7)$$

Từ (17 - 6) ta có

$$\frac{R_T}{R} = \frac{R_o}{R} f(T) \quad (17 - 8)$$

$$\frac{R_T}{R} = S \cdot f(T); S = \frac{R_0}{R}$$

S- Hằng số

Từ (17 - 7) Ta có thể viết lại

$$V_o = \frac{V}{1 + S \cdot f(T)} = V \cdot F(T) \quad (17 - 9)$$

ở đây $F(T)$ phụ thuộc vào loại vật liệu và phụ thuộc vào S. Do đó điện áp đo V_o có thể tuyến tính khi chọn khoảng đo của T và giá trị của S thích hợp.

3- Đo ở chế độ động

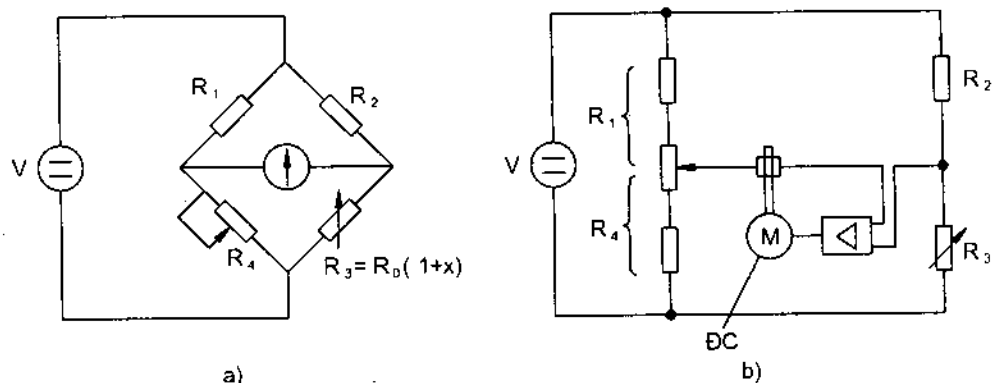
Trong trường hợp khi độ dịch chuyển x thay đổi theo chu kỳ hoặc không chu kỳ và ta chỉ quan tâm đến thành phần xoay chiều thì có thể sử dụng mạch phân áp như hình 17-3 cả với trường hợp độ dịch chuyển x nhỏ.

Trong trường hợp này tín hiệu ra có thể được nối với thiết bị đo bằng một tụ điện để tạo thành bộ lọc thông cao cùng với điện trở vào của thiết bị đó. Độ nhạy được tính theo biểu thức:

$$S = \frac{dV_x}{dR_x} = V \frac{R_x}{(R_s + R_x)} \quad (17 - 10)$$

Với giá trị R_s thích hợp ($R_s = R_x$) ta có $S = \frac{V}{4R_s}$

17-1-2. Cầu Wheatstone làm việc ở chế độ cân bằng



Hình 17 - 5

Hình 17-5 là sơ đồ mạch cầu Wheatstone đo theo phương pháp cân bằng.

Với sơ đồ 17-5a điện trở R_1 và R_2 có giá trị không thay đổi, R_3 là một cảm biến điện trở và R_4 có thể thay đổi được trị số (điện trở mẫu)

Nguyên lý làm việc dựa trên sự cân bằng cầu thể hiện qua chỉ thị “không”. Khi R_3 thay đổi cầu mất cân bằng và nếu điều chỉnh R_4 sao cho cầu cân bằng trở lại lúc ta có

$$R_3 = R_4 \frac{R_2}{R_1} \quad (17-11)$$

Do $\frac{R_2}{R_1}$ không thay đổi nên

$$\frac{R_2}{R_1} = k \text{ và } R_3 = kR_4 \quad (17-12)$$

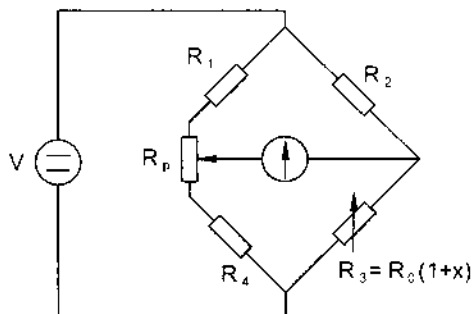
Trên R_4 có thể khắc độ giá trị điện trở qua đó xác định được R_3 .

Hình 17-5b mô tả mạch cầu cân bằng tự động. Khi có tác động lên điện trở R_3 giá trị của nó thay đổi, cầu mất cân bằng. Điện áp ra trên đường chéo cầu được đưa vào động cơ thuận nghịch làm động cơ quay kéo con chạy di chuyển và thay đổi giá trị của R_1 , R_4 cho đến khi cầu cân bằng trở lại, độ dịch chuyển của con chạy biến trở tỷ lệ với đại lượng đo.

Hình 17-6 là một dạng khác của cầu cân bằng để hạn chế hiệu ứng điện trở tiếp xúc.

Cân bằng cầu là một biến trở R_p có khắc độ thể hiện kết quả đo.

Khi các cảm biến điện trở đặt ở xa mạch cầu, để tránh sai số nhiệt độ do điện trở đường dây thay đổi có thể dùng phương pháp Siemens hoặc mạch cầu 3 dây như hình 17 - 7.



Hình 17 - 6

Với hình 17-7a, dây R_{dt} và R_{dt} giống nhau và đặt cùng trong vùng nhiệt độ thay đổi.

Còn dây 2 không cần quan tâm do khi cầu cân bằng không có dòng điện đi qua nó.

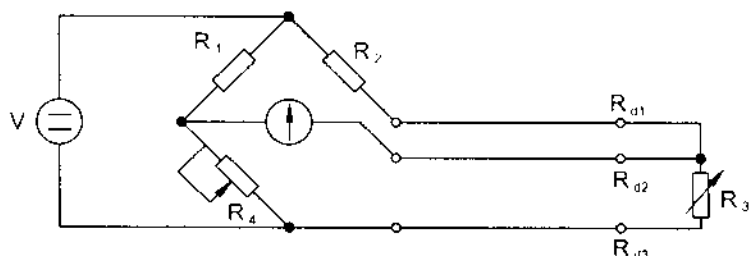
Sai số tương đối được tính theo biểu thức:

$$\gamma = \frac{R_3 - R_4 R_2 R_1}{R_3} = \frac{R_d}{R_3} \left(\frac{R_4}{R_1} - 1 \right) \quad (17-13)$$

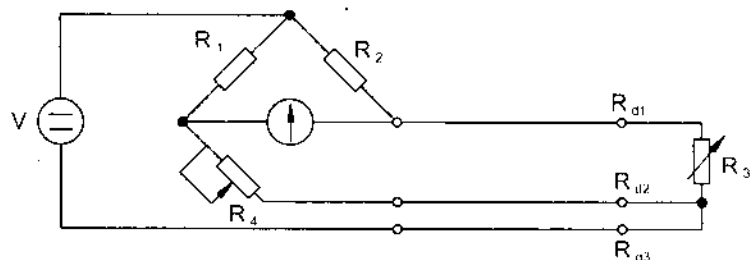
Hình 17-7b là sơ đồ trong đó R_{d1} và R_{d2} có ảnh hưởng đến mạch đo. Sai số tương đối giống như sơ đồ trên.

Cả hai sơ đồ sai số sẽ giảm khi R_1 lớn hơn R_4 .

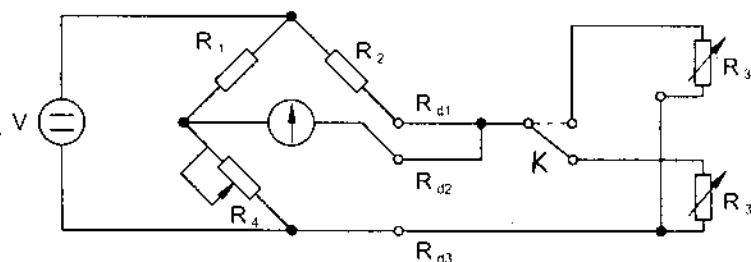
Hình 17 - 7c mô tả sơ đồ sử dụng nhiều cảm biến với một mạch cầu 3 dây qua khoá đổi nối.



a)



b)



c)

Hình 17 - 7

17-1-3. Cầu Wheatstone đo theo phương pháp không cân bằng

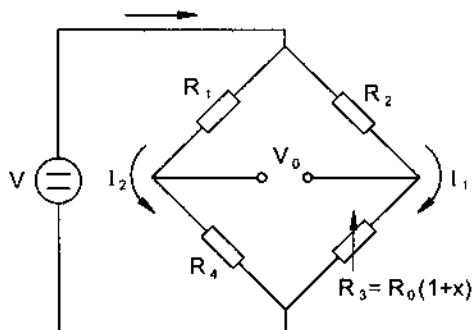
1. Độ nhạy và độ tuyến tính

Nguyên lý hoạt động của mạch cầu không cân bằng như sau: khi chưa làm việc ($x=0$) (hình 17-8) cầu ở chế độ cân bằng và ta có:

$$K = \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (17-14)$$

$R_3 = R_0(1+x)$; K- hệ số

Khi đo do R_3 thay đổi ($x \neq 0$) điện áp rơi trên đường chéo cầu được tính theo biểu thức



Hình 17 - 8

$$V_o = V \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right) = V \frac{Kx}{(K+1)(K+1+x)} \quad (17-15)$$

Như vậy điện áp ra tỷ lệ với sự thay đổi điện trở chỉ đạt được khi $x \ll K + 1$. Nếu coi điện áp ra tỷ lệ với sự thay đổi của điện trở R_3 . Độ nhạy thực được xác định:

$$S = \frac{V_o}{xR_o} = \frac{V_k}{R_o} \frac{1}{(K+1)(K+1+x)} \quad (17-16)$$

Giá trị lớn nhất cho độ nhạy đạt được khi $\frac{d_s}{d_k} = 0$ và lúc đó

$$K^2 = 1 + x \quad (17-17)$$

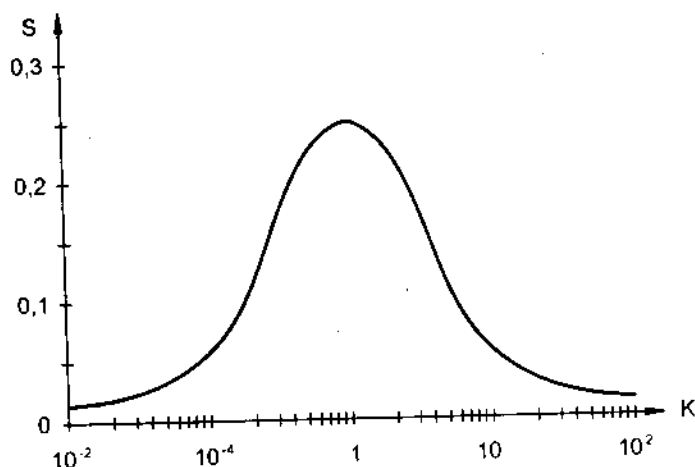
Nếu tín hiệu ra là dòng điện qua đường chéo cầu hoặc cầu được cung cấp với dòng điện hay điện áp không đổi độ nhạy lớn nhất sẽ khác nhau tùy thuộc vào hệ số K. Đặc biệt độ nhạy sẽ lớn nhất khi $K = 1$.

Hình 17 - 9 là sơ đồ cho thấy độ nhạy của mạch khi $K = 1$ tương ứng với $x = 0,001$.

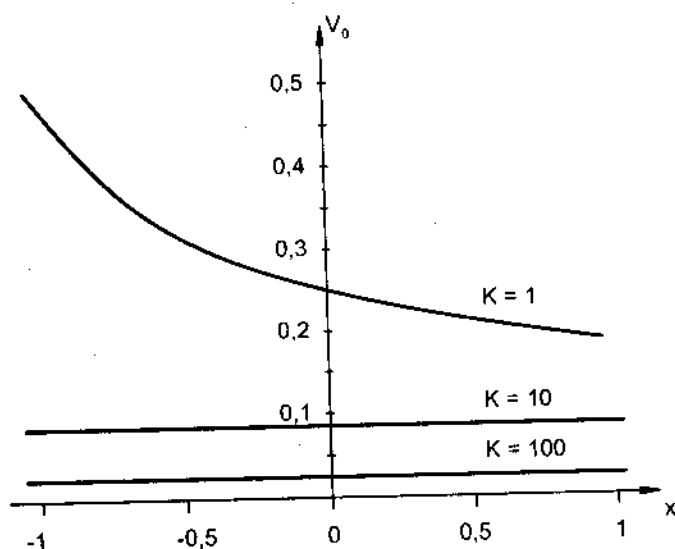
Nếu cầu được cung cấp với dòng điện I không đổi điện áp ra của cầu được tính.

$$V_0 = IR_0 \frac{Kx_0}{2(K+1)+x} \quad (17-18)$$

Tín hiệu ra đạt được gần tuyến tính với $x \ll 2(K+1)$



Hình 17- 9



Hình 17 - 10

Và $x \ll 4$ khi $K = 1$. Tuy nhiên để tạo được dòng điện ổn định rất khó thực hiện khi không sử dụng mạch điện tử và điều đó không phải lúc nào cũng làm được. Trường hợp sử dụng cảm biến áp trở, x ít khi vượt quá 0,01

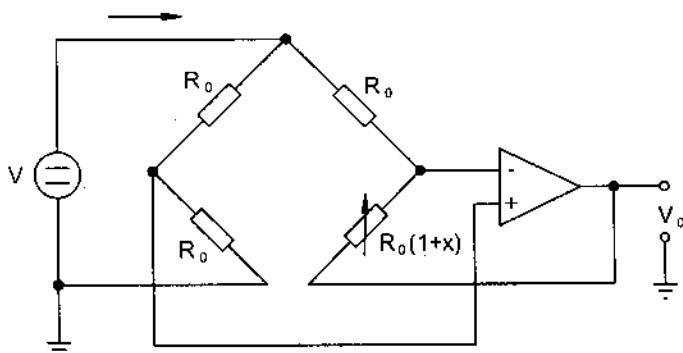
do đó giá trị của x trong biểu thức (17-15) có thể bỏ qua nhưng với các cảm biến nhiệt điện trở giá trị x lớn ví dụ, nhiệt điện trở Pt-100 điện trở thay đổi từ 100Ω (ở 25°C) đến 140Ω (ở 125°C) do đó ta phải lựa chọn bằng cách :

- Hạn chế dải đo trong khoảng hẹp.
- Tăng hệ số $K=10$ và hơn nữa để tăng độ nhạy mạch đo bằng cách tăng điện áp cung cấp cho mạch cầu.
- Tuyến tính điện áp ra của cầu bằng kỹ thuật Analog hoặc digital.

Hình 17-10 chỉ cho ta thấy hiệu quả của hệ số K đến độ tuyến tính của cầu ở hình (17-8) với $-1 < x < +1$.

2- Tuyến tính hoá với mạch cầu mắc cảm biến trở

Để tạo được điện áp ra tỷ lệ với sự thay đổi của một trong các điện trở trong mạch cầu Wheatston ta có thể thay đổi cấu trúc của mạch cầu hoặc gia công điện áp đầu ra.



Hình 17-11

Hình 17-11 vẽ sơ đồ có khả năng thực hiện được yêu cầu trên. Cầu được mở ở một mối nối có cảm biến điện trở. Điện áp ra của khuếch đại được tính:

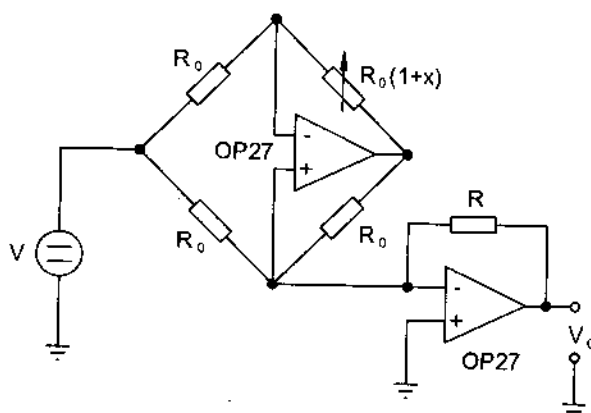
$$V_0 = -V \frac{x}{2} \quad (17-19)$$

nhược điểm của mạch cầu trên là nguồn cung cấp bị hạn chế do năng lượng tiêu tán trên các điện trở.

Hình 17-12 là sơ đồ có thể tuyến tính hoá bằng cách sử dụng 2 khuếch đại. Điện áp ra của cầu:

$$V_0 = V \cdot \frac{R}{R_0} \cdot x \quad (17-20)$$

Trong đó khuếch đại cần có điện áp và dòng offset thấp và ít trôi do tín hiệu được khuếch đại ở đầu ra của cầu.



Hình 17-12

17-1-4. Cầu nhiều nhánh hoạt động

Để tăng độ nhạy của mạch cầu và bù sai số nhiệt độ có thể sử dụng cầu có 2 hoặc 4 nhánh hoạt động.

Hình 17-13 là sơ đồ mạch cầu có 2 nhánh hoạt động liên kế.

Khi điện trở thay đổi, điện áp ra được tính theo biểu thức

$$V_0 = V \frac{K(x_1 - x_2)}{(K+1+x_1)(K+1+x_2)} \quad (17-21)$$

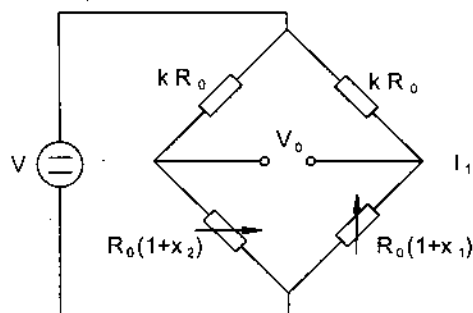
Trong đó $x_1, x_2 \ll K+1$

Một cách gần đúng ta có:

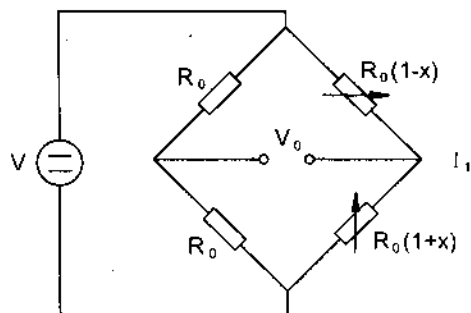
$$V_0 \approx V \frac{K}{(K+1)^2} (x_1 - x_2) \quad (17-22)$$

Sơ đồ trên có thể sử dụng đối với cảm biến nhiệt độ để đo nhiệt độ khác nhau và có thể tính gradient nhiệt độ hoặc nhiệt độ tiêu tan trong đường ống.

Hình 17-14 là sơ đồ mạch cầu với 2 cảm biến điện trở mắc xung đối nhau (áp trở). Trong đó một nhánh có điện trở $R = R_0(1-x)$ và một nhánh có $R = R_0(1+x)$.



Hình 17-13



Hình 17-14

Điện áp ra được tính theo biểu thức:

$$V_0 = V \frac{x}{2} \quad (17-23)$$

Từ (17-23) ta thấy điện áp lớn hơn 2 lần so với cầu có 1 nhánh hoạt động và tuyến tính tốt hơn.

Khi sử dụng mạch cầu có 4 nhánh hoạt động (hình 17-15) lúc đó điện áp ra.

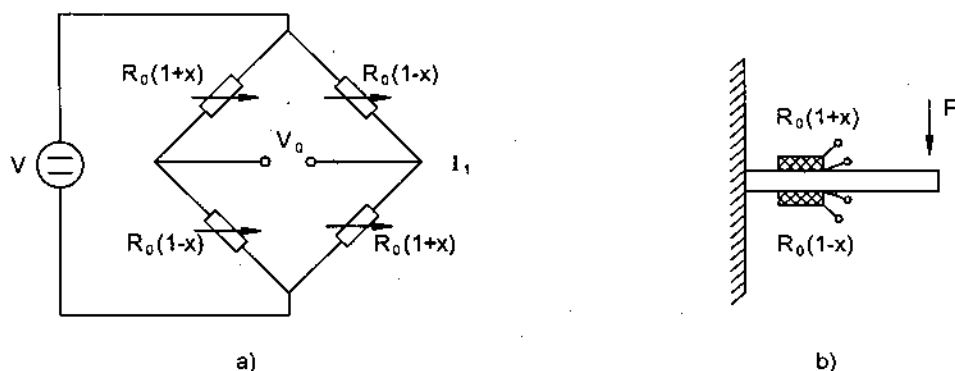
$$V_0 = Vx \quad (17-24)$$

Độ nhạy của mạch cầu tăng gấp 4 lần so với cầu có 1 nhánh hoạt động.

Bảng 17-1 cho thấy điện áp ra của mạch cầu với một nhánh, hai nhánh và bốn nhánh hoạt động (Hình 17-8) cung cấp bởi điện áp và dòng điện không đổi.

Bảng 17-1

R_1	R_2	R_3	R_4	$V = \text{const}$	$I = \text{const}$
R_0	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V \cdot \frac{x}{2(2+x)}$	$IR_0 \cdot \frac{x}{4+x}$
$R_0(1+x)$	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V \cdot \frac{x}{2+x}$	$IR_0 \cdot \frac{-x^2}{4}$
R_0	R_0	$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$V \cdot \frac{2x}{4-x^2}$	$I_0 \cdot \frac{x}{2}$
R_0	$R_0(1-x)$	$R_0(1+x)$	R_0	$V \cdot \frac{-x^2}{4-x^2}$	$I_0 \cdot \frac{x}{2}$
$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	Vx	$IR_0 \cdot x$



Hình 17 – 15. Cầu 4 nhánh hoạt động (a) và cách mắc các áp trở trên dầm consol (b)

17-1-5 Nguồn cung cấp cho cầu Wheastone

Để đảm bảo tín hiệu ra của cầu tương ứng với sự thay đổi của I hoặc nhiều nhánh hoạt động ta cần phải cung cấp cho cầu một điện áp hoặc dòng điện (dc hoặc ac) ổn định theo thời gian và nhiệt độ. Khi nguồn cung cấp cho mạch cầu thay đổi, điện áp ra sẽ thay đổi theo và gây nên sai số. Bảng 17-2 cho ta biết một số phần tử có thể cung cấp điện áp ổn định.

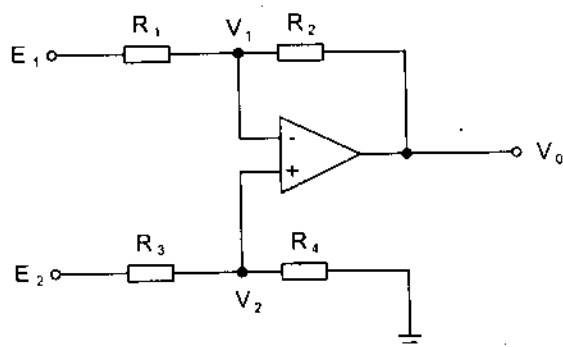
Bảng 17-2

Tên Độ trôi	AD580	2B35	Rt F01	LM399A
Thời gian	$25 \cdot 10^{-6}/100h$	-	-	$25 \cdot 10^{-5}/100h$
Nhiệt độ	$3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$	$5 \cdot 10^{-4}/^{\circ}C$	$5 \cdot 10^{-7}/^{\circ}C$	$10^{-6}/^{\circ}C$
Điện áp cung cấp	$50 \cdot 10^{-6}V$	$8 \cdot 10^{-4}V$	$12 \cdot 10^{-5}V$	$4,2mV/mA$

17-2 Mạch khuếch đại đo lường

17-2-1 Khuếch đại vi sai

Khuếch đại vi sai có những ưu điểm là trở kháng vào lớn, hạn chế nhiễu đồng pha, thích hợp khi sử dụng với mạch cầu do điện trở không có điểm nối đất, độ ổn định cao, trôi ít và tổng trở ra thấp. Hình 17-16 vẽ sơ đồ đơn giản của khuếch đại vi sai.



Hình 17-16. Sơ đồ khuếch đại vi sai

Giả thiết op-amp là lý tưởng ($V_1 = V_2$) ta có điện áp ra:

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot E_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} E_2 \quad (17-25)$$

Nếu ta gọi :

$$E_d = E_2 - E_1 \quad (17-26)$$

$$E_c = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad (17-27)$$

Từ (17-25); (17-26 và (17-27) ta có:

$$V_0 = G_c E_c + G_d E_d \quad (17-28)$$

G_c và G_d - Hệ số

Theo đó sơ đồ 17-16 ta có thể tính được:

$$G_c = \frac{V_0}{E_c} \Big|_{E_d=0} = \frac{R_4 R_1 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)} \quad (17-29)$$

$$G_d = \frac{V_0}{E_d} \Big|_{E_c=0} = \frac{1}{2} \left[\frac{R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] \quad (17-30)$$

Trong các khuếch đại vi sai chúng ta muốn khuếch đại giữa các điện áp đầu vào E_d mà không có ($E_c = 0$) điều đó thỏa mãn khi :

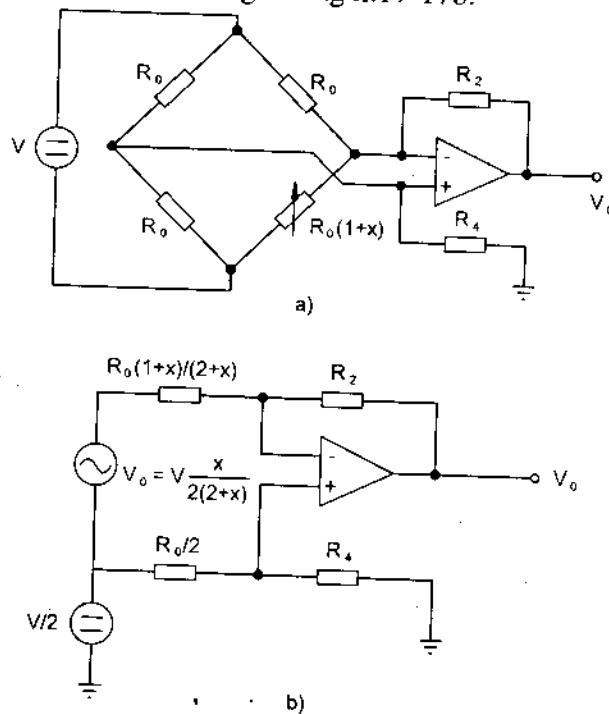
$$\frac{R_4}{R_1} = \frac{R_2}{R_3} = K \quad (17-31)$$

17-05
208.608.

do đó:

$$V_o = KE_d \quad (17-32)$$

Mạch 17-16 có thể sử dụng mắc trực tiếp với mạch cầu đo E_1 và E_2 là điện thế ở đầu ra của cầu hoặc có thể mắc trực tiếp đầu ra của cầu tại V_1 và V_2 như hình 17-17a và sơ đồ tương đương h.17-17b.



Hình 17-17. Sơ đồ mắc khuếch đại trực tiếp với cầu đo (a) và sơ đồ tương ứng (b)

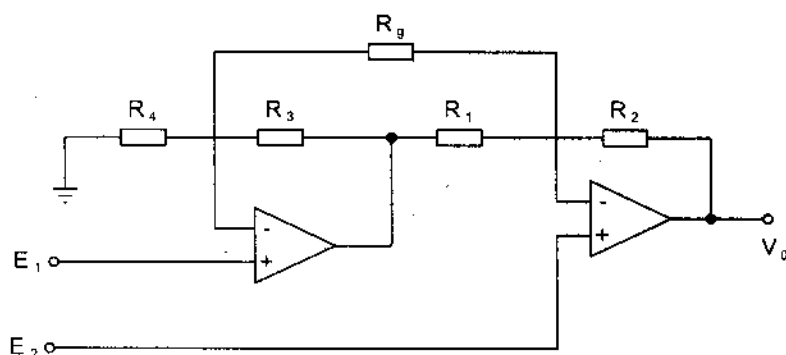
17-2-2. Khuếch đại sử dụng hai op-Amp

Khuếch đại đo lường có thể sử dụng 2 khuếch đại op - Amp như hình 17-18. Nếu coi các op - Amp là lý tưởng, từ các công thức (17-25) và (17-28) và thoả mãn điều kiện (17-31) ta có:

$$V_o = E_d \left(1 + K + \frac{R_2 + R_4}{R_g} \right) \quad (17-33)$$

$$E_d = E_1 - E_2$$

Ưu điểm của mạch này là có thể thay đổi hệ số khuếch đại qua R_g , nhược điểm của sơ đồ có thể gây bão hoà ở tầng khuếch đại đầu khi tín hiệu vào quá lớn.



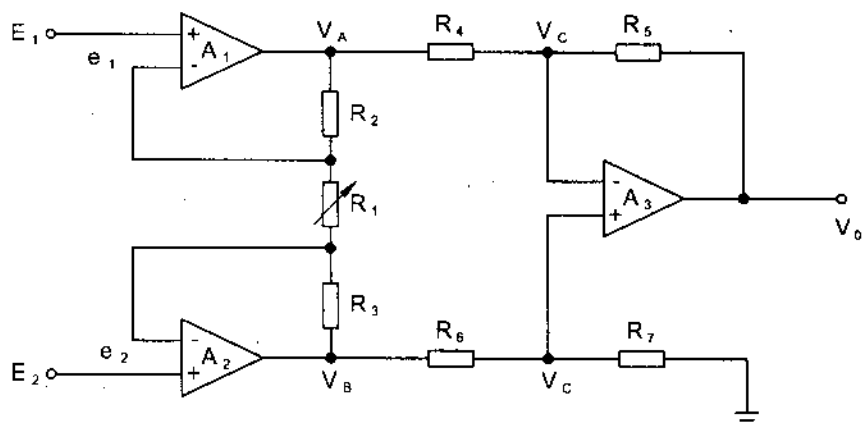
Hình 17-18. Khuếch đại vi sai sử dụng 2 op-Amp

Để tránh hiện tượng bão hoà mạch phải thoả mãn điều kiện

$$\left(|E_c| + \left| \frac{E_d}{2} \right| \right) \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) < V_{\text{bão hoà}} \quad (17-34)$$

17-2-3. Khuếch đại sử dụng 3 op - Amp

Hình 17-19 là sơ đồ khuếch đại đo lường có 3 phần tử op - Amp, loại mạch này có sẵn dưới dạng khối có vỏ bọc, các điện trở cố định có độ chính xác cao và các hệ số khuếch đại của các đường tín hiệu tách riêng được.



Hình 17-19

Do op-Amp là loại chất lượng cao, độ cân bằng thực hiện tinh vi nên tỷ số triệt kiểu chung có trị số cao (120dB) và điện trở đầu vào cao.

Nếu coi $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$ ta có:

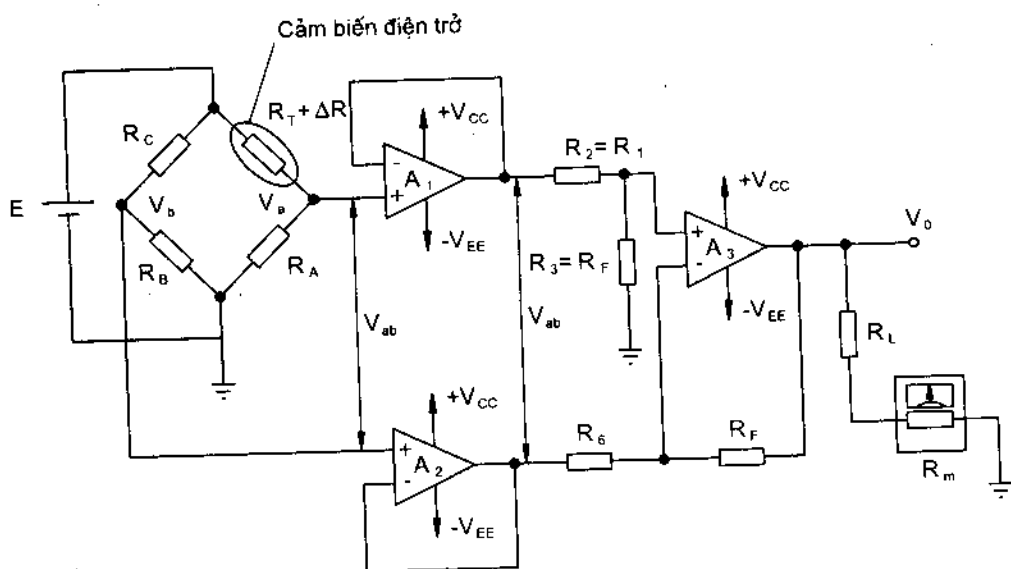
$$V_A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) E_1 - \frac{R_2}{R_1} E_2 \quad (17-35)$$

$V_0 = V_B - V_A$ ở đây e_1 tín hiệu vào khuếch đại A_1 ; e_2 tín hiệu vào khuếch đại A_2 ; nếu $R_2 = R_3$ điện áp ra có dạng:

$$V_0 = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (E_2 - E_1) \quad (17-36)$$

Hình 17-20 là ứng dụng của một khuếch đại đo lường vi sai với mạch cầu điện trở.

Trong đó tín hiệu ra của cầu V_A và V_B được nối với khuếch đại.



Hình 17-20

Cầu làm việc ở chế độ không cân bằng gồm các điện trở R_A, R_B, R_C là các điện trở cố định và 1 nhánh được mắc cảm biến điện trở $R_T \pm \Delta R$

Ban đầu cầu được thiết kế cân bằng (khi chưa có tác động lên R_T). Với điều kiện cân bằng $V_A = V_B$ và từ hình 17-20 ta có:

$$\frac{E}{R_B + R_C} \cdot R_B = \frac{E}{R_A + R_T} \cdot R_A \quad (17-37)$$

Khi có tác động lên cảm biến, R_T thay đổi một lượng $R_T + \Delta R$. Khi đó

$$V_A = \frac{E}{R_A + (R_T + \Delta R)} \cdot R_A \text{ và } V_B = \frac{E}{R_B + R_C} \cdot R_B \quad (17-38)$$

Điện áp ra của mạch cầu:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{E}{R_A + (R_T + \Delta R)} - \frac{E}{R_B + R_C} \cdot R_B$$

nếu $R_A = R_B = R_C = R_T = R$ thì

$$\begin{aligned} V_{AB} &= \frac{E}{2R + \Delta R} \cdot R - \frac{E}{2R} \cdot R = E \left(\frac{R}{2R + \Delta R} - \frac{1}{2} \right) \\ V_{AB} &= E \left(\frac{2R - 2R - \Delta R}{2(2R + \Delta R)} \right) = \frac{-\Delta R}{2(2R + \Delta R)} \cdot E \end{aligned} \quad (17-39)$$

sau khi khuếch đại ta được

$$V_0 = V_{AB} \frac{R_F}{R_1} = \frac{-\Delta R}{2(2R + \Delta R)} \cdot E \times \frac{R_F}{R_1} \quad (17-40)$$

Chỉ thị khắc độ theo giá trị thay đổi của R_T

17-3. Chuẩn hoá tín hiệu với cảm biến phát điện

Cảm biến phát điện là loại cảm biến khi chịu tác động của các đại lượng vật lý, bản thân chúng tạo ra điện áp, dòng điện hoặc điện tích q (cảm biến cặp nhiệt độ, cảm biến áp điện, cảm biến điện từ v.v...). Khác với các cảm biến điện trở, tín hiệu ra của các cảm biến phát điện rất khác nhau với dải rộng. Dòng điện từ 10^{-9} ÷ vài chục mA; điện áp từ mV ÷ chục Vôn; tổng trở ra của cảm biến có thể tới 10^{-9} ÷ $10^{11} \Omega$ tần số thay đổi từ vài chục Hz đến hàng trăm kHz.

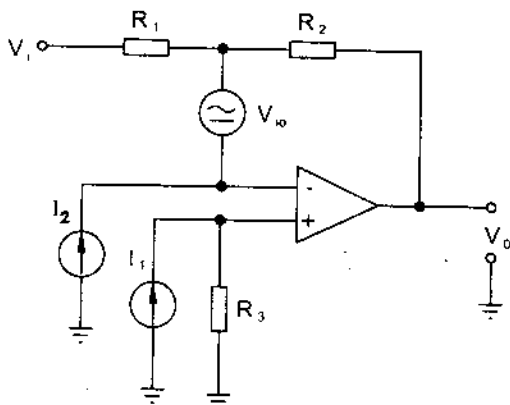
Điều đó đòi hỏi các mạch chuẩn hoá phải thoả mãn được một số yêu cầu như điện áp và dòng lệch vào thấp, độ trôi ở khuếch đại 1 chiều ít theo thời

gian và do sự thay đổi nhiệt độ của môi trường. Tổng trở đầu vào lớn, chống được ồn khuếch đại và hạn chế các điện dung ký sinh.

Sau đây ta xét một số khuếch đại dùng với cảm biến phát điện.

1- Điện áp và dòng lệch trong khuếch đại

Với khuếch đại op - Amp lý tưởng, điện áp ra (DC) phải bằng không khi điện áp vào (DC) bằng không. Tuy nhiên trong thực tế với các khuếch đại, khi điện áp vào bằng không nhưng vẫn có một điện áp ở đầu ra. Độ lệch tín hiệu tùy thuộc vào mức của tín hiệu và rất quan trọng khi phải khuếch đại các tín hiệu nhỏ. Độ lệch gây sai số trong quá trình đo.



Hình 17-21

Ta có thể phân tích hiệu quả của độ lệch áp và dòng qua một khuếch đại đơn giản hình 17-21. Từ hình vẽ ta có.

Điện áp ra

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_i + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{io} - I_1 R_2 + I_2 R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (17-41)$$

Nếu điện trở R_3 được tính: $R_3 = R_1 // R_2$ từ (17-41) ta có

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_i + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{io} + I_{10} R_2 \quad (17-42)$$

Trong đó: V_{io} - điện áp; I_1 - dòng định thiên ở đầu vào không đảo; I_2 - dòng định thiên ở đầu vào đảo; $I_{10} = I_2 - I_1$ là độ lệch của 2 dòng I_2 và I_1

Nếu ta coi sai số ở đầu vào, từ (17-42) ta có thể viết lại:

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} (V_i - V_{io} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - I_{10} R_1) \quad (17-43)$$

Từ đó ta thấy rằng sai số sẽ tăng nếu tổng trở vào lớn và hệ số khuếch đại được quyết định bởi R_1 và $\frac{R_2}{R_1}$.

Nếu tất cả các điện trở đều giảm đi do một yếu tố nào đó sai số chủ yếu do I_{i0} thay đổi.

Từ (17-43) cho thấy giới hạn sai số phụ thuộc vào độ lệch điện áp V_{i0} và dòng I_{i0} . Điều đó còn phụ thuộc vào công nghệ và chất lượng của op – Amp.

Bảng 17-3 cho ta các thông số của một số op – Amp thông dụng.

Bảng 17 - 3

Thông số	Đơn vị	$\mu A741$	TL071C	ADOP-07	AD707C
V_{0max} ở $25^\circ C$	mV	6	10	0,075	0,015
$I_{1, I_2 max}$ ở $25^\circ C$	nA	500	0,2	1	1
I_{i0} ở $25^\circ C$	nA	200	0,05	3,8	1
$\Delta V_{i0} / \Delta T$	$\mu V / ^\circ C$	15	10	1,3	0,1
$\Delta I / \Delta T$	$\rho A / ^\circ C$	-	$\times 2$ mỗi $10^\circ C$	35	25
$\Delta I_{i0} / \Delta T$	$\rho A / ^\circ C$	10	$\times 2$ mỗi $10^\circ C$	35	25

Hiệu quả của điện áp và dòng lệch pha trong hệ thống đo rất khác nhau, ví dụ nếu dùng một op – Amp $\mu A741C$ để đo tín hiệu của một cặp nhiệt điện loại J có độ nhạy $50 \mu V / ^\circ C$ thì khi đó kết quả sẽ bị giảm đi $0,3^\circ C$ ứng với sự thay đổi $1^\circ C$.

Mặt khác độ trôi của khuếch đại theo nhiệt độ còn phụ thuộc vào sự chế tạo và độ trôi thay đổi không tuyến tính theo nhiệt độ. Điện áp và dòng lệch cũng thay đổi theo thời gian.

Để khắc phục một phần những nhược điểm trên của các khuếch đại op – Amp một chiều ta có thể thực hiện bằng cách mắc thêm các điện trở và hiệu chỉnh chúng để bù điện áp và dòng lệch ở các bộ khuếch đại.

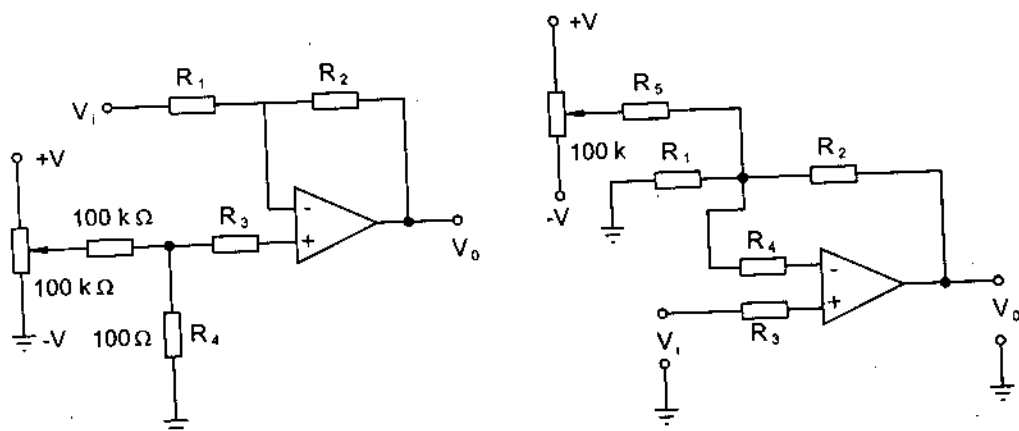
Hình 17-22 là 2 sơ đồ có khả năng thực hiện được như vậy.

Hình 17-22a ta chọn

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} - R_4 \quad (17-44)$$

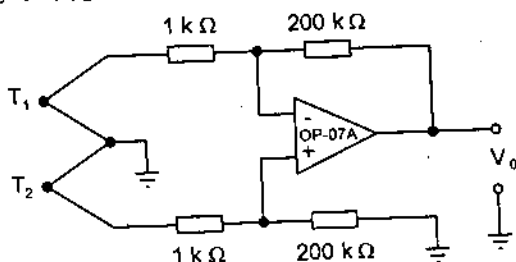
và sơ đồ 17-22b ta chọn

$$R_4 = R_3 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} - R_4 \quad (17-45)$$



Hình 17-22. Sơ đồ mắc thêm điện trở bù điện áp và dòng lệch

Hình 17-23 là mạch đo nhiệt độ sử dụng với cặp nhiệt độ có độ nhạy $5 \mu V/^{\circ}C$ với sai số $0,05^{\circ}C/năm$ và sai số $1^{\circ}C$ khi nhiệt độ của op - Amp thay đổi từ $-25^{\circ}C \div +75^{\circ}C$.



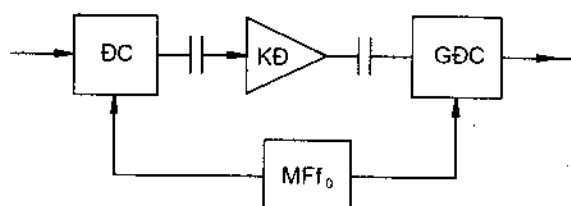
Hình 17-23. Ứng dụng khuếch đại op-amp với cặp nhiệt điện

2- Khuếch đại điều chế (Chopper Amplifier)

Để tránh hiện tượng trôi điểm không và độ lệch điện áp ra do sự không ổn định của nguồn cung cấp người ta sử dụng khuếch đại điều chế như hình 17-24.

Nguyên lý làm việc như sau:

Tín hiệu vào 1 chiều được qua bộ điều chế để biến đổi thành tín hiệu xoay chiều. Sau đó đưa qua khuếch đại xoay chiều để tăng độ lớn. Tín hiệu xoay chiều sau khuếch đại được biến đổi lại thành tín hiệu một chiều nhờ bộ giải điều chế. Để điều khiển đóng mở khoá điện tử ở đầu vào và ra là một máy phát tần số (MFf_0).



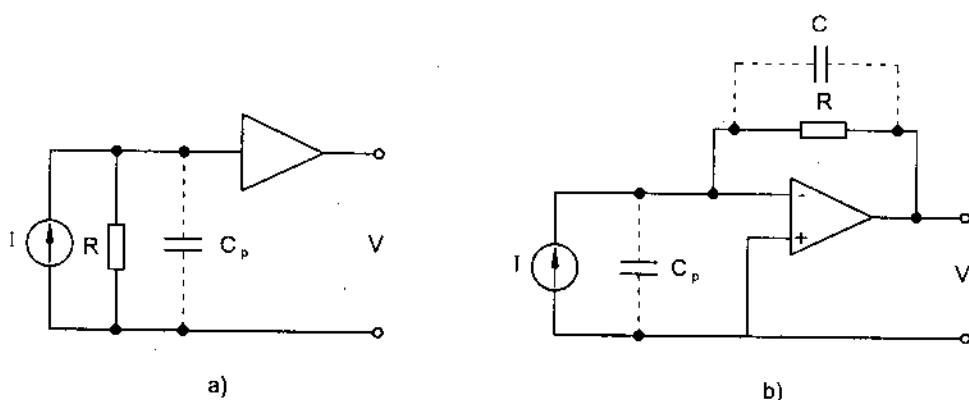
Hình 17-24. Sơ đồ cấu trúc của khuếch đại điều chế; ĐC – Bộ điều chế; KĐ – Khuếch đại; GĐC – Bộ giải điều chế

Nhờ sử dụng khuếch đại điều chế có thể giảm các sai số do độ trôi trong các khuếch đại ví dụ: độ trôi $0,1 \div 1 \mu V/^{\circ}C$ và $1 \mu V$ tháng với điện áp lệch và $1 pA/^{\circ}C$ với dòng lệch.

3- Khuếch đại tĩnh điện (Electrometer Amplifier)

Trong một số các cảm biến thường gặp (phân tử quang điện, cảm biến áp điện, ống nhân quang điện v.v...) yêu cầu một thiết bị đo với dòng điện rất thấp hoặc tín hiệu ra có tần số thấp nên các bộ biến đổi dòng thành áp cần sử dụng khuếch đại có độ trôi ít vì vậy người ta dùng các khuếch đại tĩnh điện để có thể đáp ứng được các yêu cầu trên.

Khuếch đại tĩnh điện là một thiết bị có điện trở đầu vào rất cao cỡ $1T \Omega$ và dòng điện đầu vào cỡ $1 pA$.



Hình 17-25. Sơ đồ khuếch đại tĩnh điện
a) Đo điện áp rơi trên điện trở; b) Biến đổi dòng thành áp

Dòng điện nhỏ được dùng với khuếch đại tĩnh điện theo 2 phương pháp. Do điện áp rơi trên một điện trở có trị số lớn (hình 17-25a) hoặc biến đổi dòng thành áp dựa trên khuếch đại tĩnh điện (hình 17-25b).

Ở phương pháp đầu được sử dụng khi R có trị số lớn nhưng không đo được ở tần số cao do điện dung của cảm biến cùng với điện dung của cáp và do khuếch đại tín hiệu đầu vào lớn nên hạn chế đáp ứng nhanh.

Ví dụ: $R = 1T\Omega$ và $C_p = 100pF$ thì hệ thống có đáp ứng với tần số $f = 1/(2\pi C_p) = 1,6 \cdot 10^{-3} Hz$.

Tổng số thời gian $T = 0,35/f = 220s$.

Phương pháp sau có khả năng đáp ứng nhanh hơn

Từ sự biến đổi ta có:

$$\frac{V}{I} = \frac{-R}{1 + R \left(C + \frac{C_p}{A} \right)} \quad (17-46)$$

trong đó: A – hệ số khuếch đại vòng hở; C – điện dung ký sinh song song với R

Khi ở tần số thấp $A \gg 1$ một cách gần đúng ta có:

$$\frac{V}{I} = - \frac{R}{1 + RC}$$

trong trường hợp này $f = 1/2\pi RC$. Nếu $R = 1T\Omega$, $C = 1pF$ thì hằng số thời gian là 2,2s nhanh gấp 100 lần so với phương pháp trên.

4- Khuếch đại điện tích:

Khuếch đại điện tích thực chất là một bộ biến đổi điện tích thành điện áp mà tổng trở vào của nó là một tụ điện có giá trị rất cao với tần số thấp.

hình 17-26a là sơ đồ mạch của một khuếch đại điện tích.

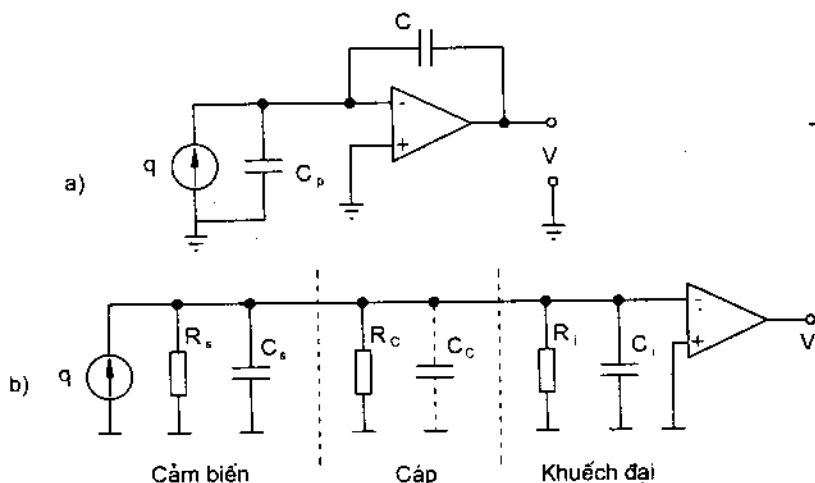
Trong đó gồm một op-Amp với một tụ điện phản hồi.

Hình 17-26b cho thấy ví dụ về khuếch đại điện tích được ghép nối với cảm biến áp điện (gia tốc kế áp điện)

Từ sơ đồ ta có:

$$\frac{V}{q} = \frac{S_q}{C} \cdot \frac{RC_s}{1 + RC_s} \quad (17-47)$$

trong đó $R = R_v/R_u/R_i$; $C = C_s+C_c+C_i$; C_vR – điện dung và điện trở tương đương; C_s, R_s – điện dung và điện trở của cảm biến; C_cR_c – điện dung và điện trở của cáp; R_i – điện trở khuếch đại; S_q – độ nhạy của gia tốc (C/g)



Hình 17-26. Sơ đồ cấu tạo khuếch đại điện tích (a) và ghép nối với cảm biến áp điện (b)

Từ công thức 17-47 ta thấy:

- Độ nhạy của cảm biến bị giảm tùy thuộc độ dài cáp nối.
- Đáp ứng tần số cao và phụ thuộc độ dài, độ cách điện của cáp và có thể thay đổi do nhiệt độ và độ ẩm ở môi trường xung quanh.

17-4. Chuẩn hoá tín hiệu với cảm biến điện kháng

Cảm biến điện kháng là các cảm biến tụ điện và cuộn cảm, chúng được phân thành hai nhóm:

Cảm biến đơn là loại chỉ có một tụ hoặc một cuộn cảm trong đó trị số điện dung là $C_0 \pm \Delta C$ và điện cảm $L_0 \pm \Delta L$.

Cảm biến kép là loại gồm 2 cảm biến đơn mắc vì sai có các giá trị điện dung $C_0 + \Delta C$ và $C_0 - \Delta C$ hoặc $L_0 + \Delta L$ và $L_0 - \Delta L$.

Để có được một tín hiệu ra khi có tác động, các cảm biến cần có một nguồn cung cấp. Đối với cảm biến tụ điện số điện dung thường nhỏ hơn 100pF nên tần

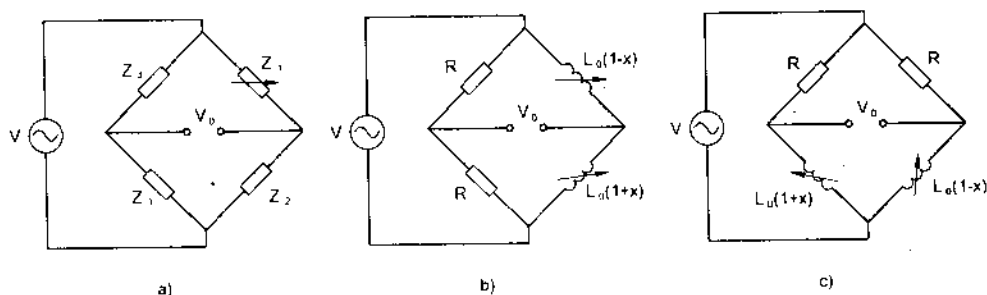
số nguồn cung cấp phải đủ lớn từ 10 Hz đến 100 Hz, cáp dẫn cần được bọc kim để tránh điện dung ký sinh làm giảm độ nhạy của cảm biến.

Các mạch chuẩn hoá với cảm biến điện kháng bao gồm mạch cầu, khuếch đại xoay chiều, khuếch đại sóng mang, các bộ tách sóng và máy phát tần số. Ta xét lần lượt các thiết bị trên.

17-4-1. Cầu xoay chiều

Đó là mạch điện gồm 4 nhánh tổng trở, nguồn cung cấp cho mạch là điện áp xoay chiều. Tổng trở của cảm biến có dạng $Z = Z_0(1+x)$; x – độ dịch chuyển của bản cực tụ điện hoặc lõi thép của cuộn cảm.

Cầu có thể gồm 1 nhánh hoạt động, 2 nhánh hoạt động như hình 17-27.



Hình 17 – 27. Sơ đồ mạch cầu xoay chiều

a) Một nhánh hoạt động; b) Hai nhánh hoạt động

Với sơ đồ 17-27a điện áp ra có dạng:

$$V_o = V \frac{x}{2(2+x)} \quad (17-48)$$

Với hình 17-27b và 17-27c sử dụng cho các cảm biến mắc vi sai, độ nhạy và độ tuyến tính cao hơn. Nguồn cung cấp cho cầu là một máy phát tần số. Mặt khác ta có thể sử dụng các cuộn dây thứ cấp của biến áp cung cấp tạo thành 2 nhánh cầu. Hai nhánh còn lại là các cảm biến. (hình 17-28 a,b).

Hình 17-28 c là sơ đồ tương đương trong đó Z_d là tổng trở vào của bộ tách sóng 2, v_s và z_s là điện áp nguồn và tổng trở tương ứng với sơ đồ dạng Thevenin.

Nếu số vòng cuộn thứ cấp $N_3 = N_4$

Ta có $Z_s = Z_1 // Z_2$ và

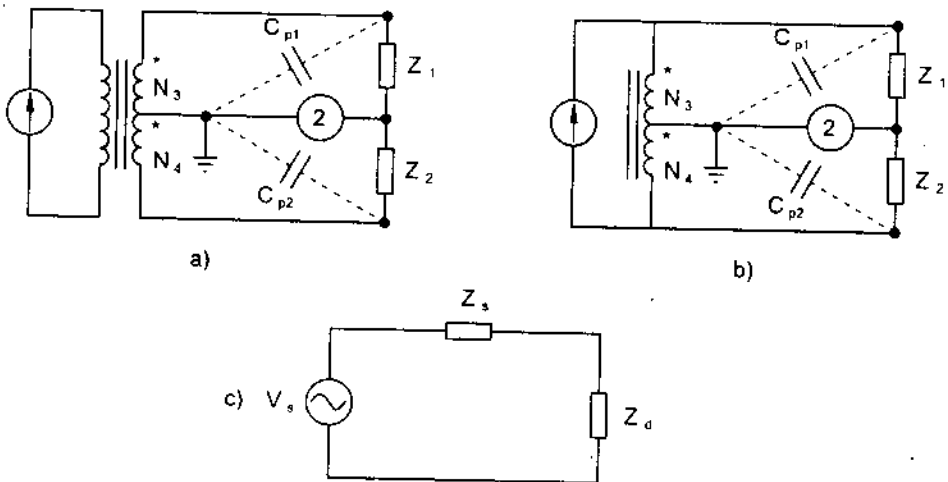
$$V_s = \frac{V}{2} \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (17-49)$$

Giả sử tổng trở là tuyến tính với cảm biến tụ điện vì sai dựa trên sự dịch chuyển của bản cực $Z_1 = Z_0 (1-x)$; $Z_2 = Z_0 (1+x)$ và với tổng trở vào của bộ tách sóng lớn thì điện áp ra:

$$V_0 = V_s = V \frac{x}{2} \quad (17-50)$$

Ngược lại nếu cảm biến tụ điện vì sai có tổng trở $Z_1 = \frac{Z_0}{1-x}$, $Z_2 = \frac{Z_0}{1+x}$ tốt hơn là dùng bộ tách sóng có tổng trở vào thấp vì

$$I_0 = -\frac{V_x}{Z_0} \quad (17-51)$$



Hình 17-28. Sơ đồ mạch cầu sử dụng cuộn thứ cấp biến áp làm 2 nhánh cầu (a, b) và sơ đồ tương đương (c)

17-4-2. Tuyển tính hóa cầu tụ điện

Khi cảm biến là một tụ điện đơn (hình 17-29a), sơ đồ mạch có thể tạo được điện áp ra tuyến tính khi chọn được 1 tụ điện có sự thay đổi thích hợp. Ta có:

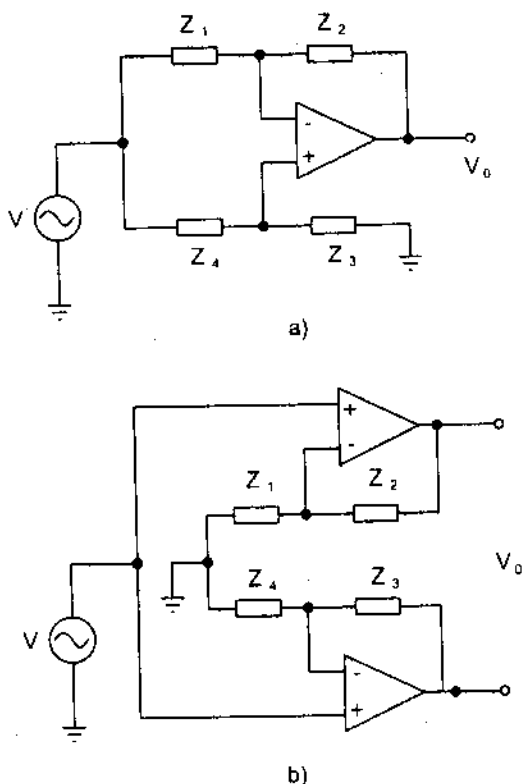
$$V_o = V \frac{Z_3/Z_4 - Z_2/Z_1}{1 + Z_3/Z_4} \quad (17-52)$$

Khi cần đo độ dịch chuyển cảm biến là Z_2 ; khi đo hằng số điện môi cảm biến đặt ở Z_1 . Trong cả hai trường hợp tín hiệu ra đều tuyến tính do Z_1 và Z_2 đều là tụ điện (một là cố định và cảm biến kia dùng để đo).

Hình 17-29b có ưu điểm lớn hơn do tín hiệu ra có dạng vi sai.

$$V_0 = V \frac{Z_2}{Z_1} - \frac{Z_3}{Z_4} \quad (17-53)$$

Nếu Z_1 hoặc Z_2 là tụ điện có thể thay đổi được thì một trong hai tổng trở Z_1 và Z_4 hoặc Z_2 và Z_3 tạo thành một tụ vi sai. Điện áp ra tuyến tính với độ dịch chuyển x .



Hình 17-29. Sơ đồ mạch đo ứng dụng
a) Với tụ đơn; b) Tụ có dạng vi sai

17-4-3. Khuếch đại xoay chiều

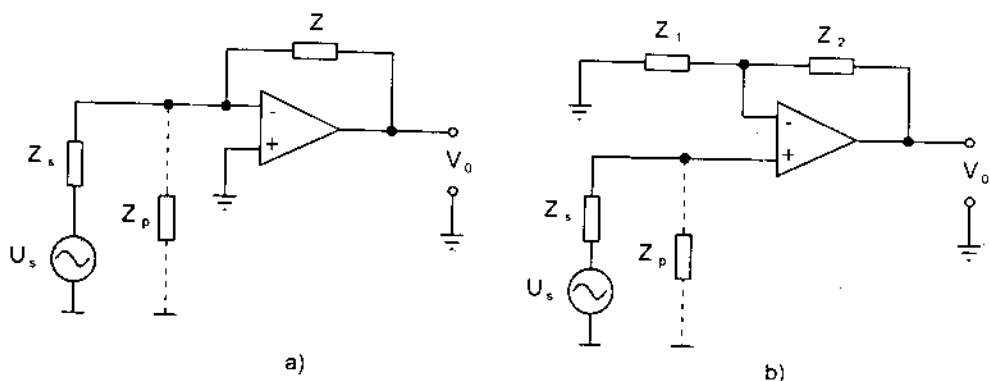
Khuếch đại xoay chiều được dùng với các mạch cầu có các nhánh là cảm biến tụ điện hoặc cuộn cảm với tần số cỡ 10 KHz trở lại.

Khuếch đại có thể phân thành: Khuếch đại đảo dấu và không đảo dấu.
 Hình 17-30a là sơ đồ khuếch đại đảo dấu dùng với cầu xoay chiều. Ta có

$$V_o = -V_s \frac{Z_t}{Z_s} \quad (17-54)$$

Trong đó: V_s - điện áp đầu vào; Z_s - điện trở vào.

Từ (17-54) ta thấy điện áp ra phụ thuộc vào v_s và Z_s và có đặc tính phi tuyến. Hình 17 - 30 b cho ta sơ đồ khuếch đại không đảo dấu.



Hình 17-30. Sơ đồ mạch khuếch đại xoay chiều dùng IC op-amp
 a) Đảo dấu; b) Không đảo dấu

Điện áp ra:

$$V_o = \frac{Z_p}{Z_s + Z_p} \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right) \quad (17-55)$$

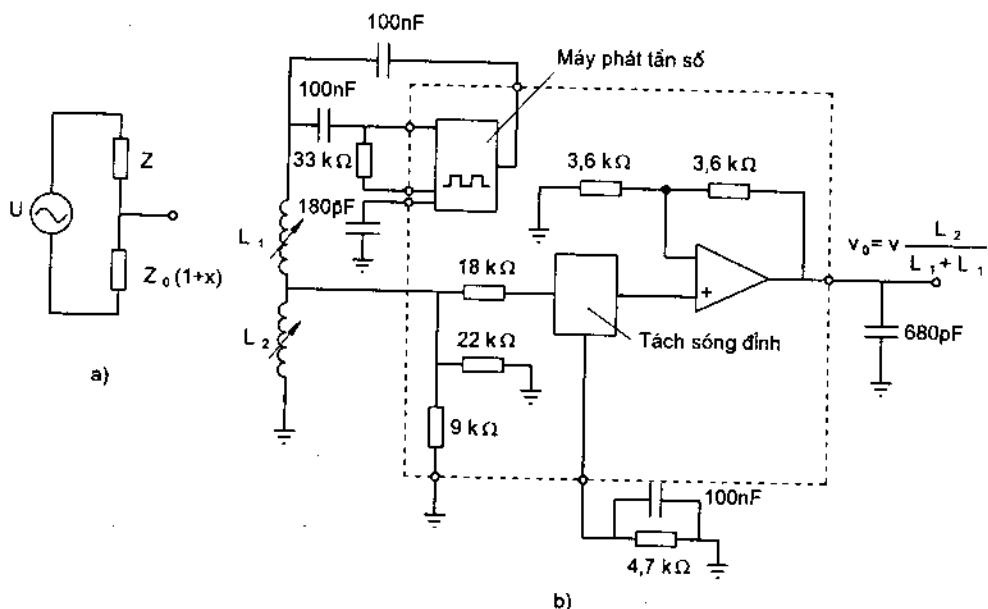
Z_p - điện dung ký sinh

Từ (17-55) ta thấy nếu tổng trở vào $Z_s \gg$ thì v_o sẽ không phụ thuộc vào Z_s do đó nếu v_s tuyến tính với sự thay đổi của x , điện áp ra v_o cũng tuyến tính theo x . Dù ở trường hợp nào ta cũng cần chọn tổng trở để đạt được dải thông phù hợp với tín hiệu khuếch đại và đạt được độ ổn cho phép.

Hình 17-31 là sơ đồ ứng dụng mạch đo với cảm biến điện cảm vi sai.

Cảm biến được cung cấp điện áp từ một máy phát tần số. Tín hiệu ra được chỉnh lưu và đưa vào khuếch đại. Điện áp ra:

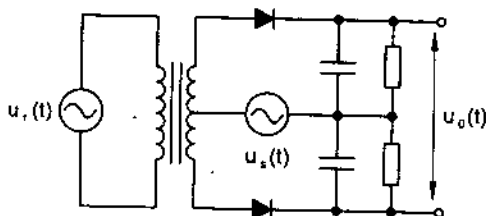
$$V_o = V \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$



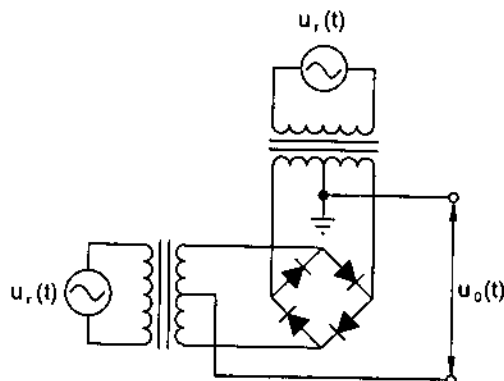
Hình 17-31. Sơ đồ mạch đo ứng dụng với cảm biến điện cảm mắc vi sai
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Sơ đồ thực

17-4-4 Chỉnh lưu nhảy pha

Chỉnh lưu nhảy pha là loại chỉnh lưu có khả năng phát hiện sự thay đổi của tín hiệu.



Hình 17-32. Chỉnh lưu nhảy pha.



Hình 17 – 33. Chỉnh lưu nhảy pha kiểu cầu

Hình 17-32 là mạch chỉnh lưu dựa trên 2 diốt đấu ngược nhau. Các diốt cần phải có đặc trưng giống nhau, điều đó khó đạt được do vậy người ta

dùng sơ đồ như hình 17-33 mắc kiểu cầu. Sự hoạt động của mạch phụ thuộc vào biên độ tín hiệu có nhỏ hơn 25mV nếu không cần phải nối thêm với mỗi điôt một điện trở có trị số lớn hơn điện trở thuận của điôt. Dải đo của thiết bị rất rộng do sử dụng biến áp với tần số làm việc nhỏ hơn 500Hz.

Ở tần số thấp có thể thực hiện như sơ đồ hình 17-34.

Mạch sử dụng một cặp Trangzito mắc vi sai.

Nếu ta dùng ký hiệu hình 17-34 với mẫu Fbers-Moll ở vùng hoạt động và $I_E \gg I_{ES}$ thì ta có

$$I_E = -I_{ES} \exp\left(\frac{qV_{BE}}{KT}\right) \quad (17-56)$$

$$I_C = -\alpha_F I_E \quad (17-57)$$

Trong đó: α_F - hệ số khuếch đại dòng colecto - emitto; $q/KT = 25$ mV ở 25°C

$$\begin{aligned} I_0 &= -(I_{E1} - I_{E2}) = \\ &= I_{ES} \left[\exp\left\{\frac{qV_{BE1}}{KT}\right\} \right] \cdot \left[1 + \exp\left\{\frac{q(V_{BE1} - V_{BE2})}{KT}\right\} \right] \\ I_0 &= -I_{C1} \left[1 + \exp\left\{\frac{q(V_{BE1} + V_{BE2})}{\alpha_F KT}\right\} \right] \end{aligned} \quad (17-58)$$

Nếu $V_{BE1} - V_{BE2} = V_r$ ta có:

$$I_{C1} = \frac{\alpha_F I_0}{1 + \exp(qV_r/KT)} \quad (17-59)$$

và
$$I_{C2} = \frac{\alpha_F I_0}{1 + \exp(-qV_r/KT)} \quad (17-60)$$

ở đây ta coi cả 2 mặt trangzito giống nhau và α_F như nhau nên I_0 (ở trangzito thứ 3) là

$$I_0 = \frac{\alpha_F (V_S - V_{cc})}{R_E} \quad (17-61)$$

Điện áp ra ở Colecto Q_1 và Q_2 là

$$V_{o1} = V_{cc} - I_{C1} R_c \quad (17-62)$$

$$V_{o2} = V_{cc} - I_{C2} R_c \quad (17-63)$$

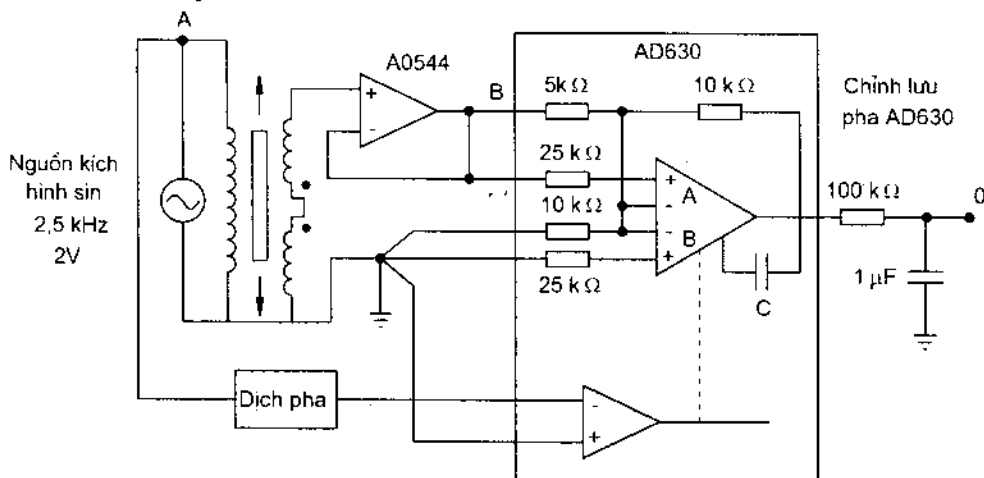
Tín hiệu ra có dạng vi sai

$$V_{0(v)} = V_{01} - V_{02} = (I_{c2} - I_{c1}) R_c$$

Trong thực tế người ta đã chế tạo các mạch trên thành mạch tổ hợp như CA3028 và NE510.

Các mạch chỉnh lưu trên được sử dụng với cảm biến hồ cảm mắc vi sai như hình 17-35 và 17-36.

Trong mạch hình 17-36 người ta sử dụng bộ giải điều chế nhạy pha dựa trên mạch tích phân AD630.



Hình 17-36. Mạch chuẩn hóa tín hiệu của cảm biến hồ cảm sử dụng chỉnh lưu pha bằng AD630

17-5. Ghép nối cảm biến với thiết bị xử lý và máy tính

17-5-1. Chuyển đổi tương tự - số (A/D)

Để có thể đưa các tín hiệu đo vào μP hoặc PLC hoặc máy tính ta phải biến đổi tín hiệu tương tự thành số đó là các bộ biến đổi A/D.

Các chuyển đổi A/D có thể thực hiện theo các phương pháp sau:

1- Phương pháp song song

Đó là phương pháp sử dụng các bộ so sánh có các điện áp chuẩn khác nhau. Tín hiệu tương tự được đưa vào các bộ so sánh. Mỗi bộ so sánh cho ra

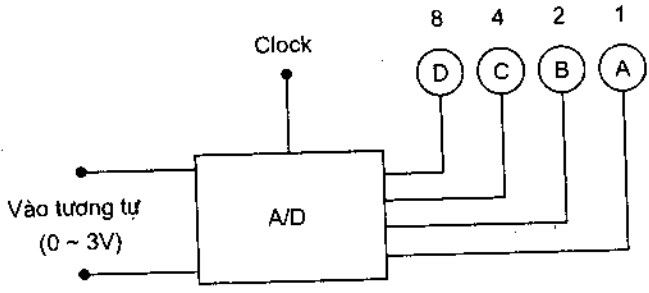
một tín hiệu có biên độ khác nhau. Phương pháp này cần nhiều bộ so sánh nên sơ đồ có cấu trúc phức tạp và giá thành cao nhưng tác động nhanh.

2- Phương pháp trọng số

Việc so sánh diễn ra với từng bit số nhị phân. Đầu tiên xác định xem điện áp vào có vượt điện áp chuẩn của bit giả. Nếu vượt thì kết quả có giá trị "1" và lấy điện áp vào trừ đi điện áp chuẩn. Phần dư đem so sánh với các bit tiếp theo, như vậy có bao nhiêu bit trong một số nhị phân cần bấy nhiêu bước so sánh và bấy nhiêu điện áp chuẩn.

3- Phương pháp số

Phương pháp này tính số lượng của tổng số điện áp chuẩn các bit dùng để đạt điện áp vào. Nếu số lượng cực đại là n cần phải có n bước để nhận kết quả. phương pháp này có tốc độ chậm.

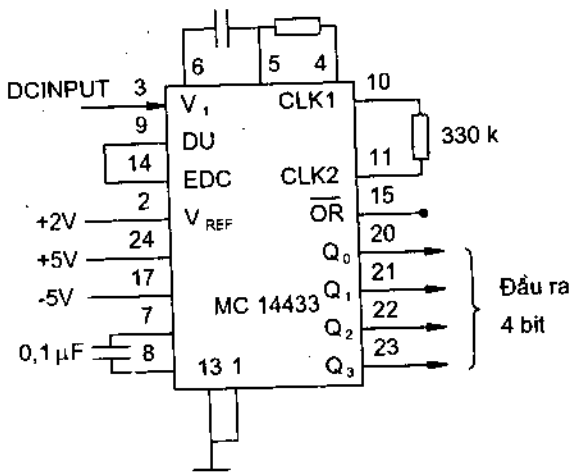


Hình 17-37. Sơ đồ nguyên lý của A/D 4bit

Hình 17-37 mô tả sơ đồ nguyên lý của một bộ A/D 4 bit.

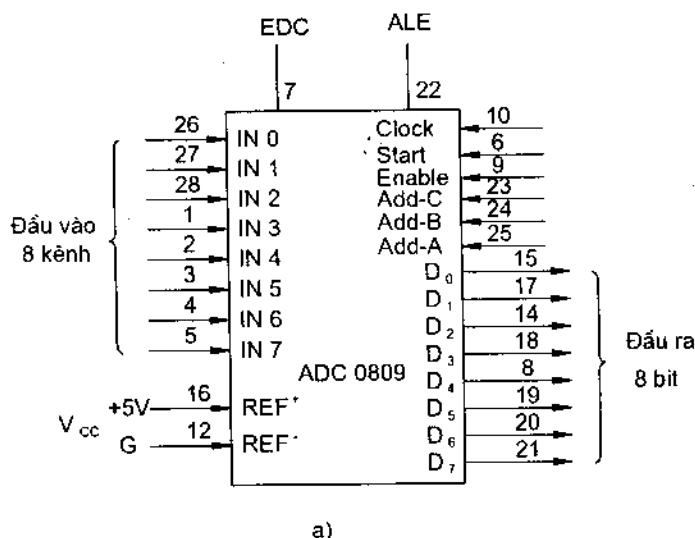
Điện áp vào biến đổi liên tục $0 \div 3V$. Đầu ra nhị phân sẽ hiện số nhị phân giữa 0000 và 1111. Mạch được điều khiển bằng máy phát xung nhịp. Mỗi một giá số điện áp vào 0,2V bộ đếm nhị phân tăng một đơn vị.

Ngày nay các bộ chuyển đổi A/D rất đa dạng ví dụ hãng Motorola sản xuất A/D theo công nghệ CMOS ký hiệu MC 14433 có điện áp vào một chiều và đầu ra là số 4 bit (hình 17-38). Hoặc ADC 0809



Hình 17-38. Sơ đồ A/D loại MC 14433

có tám kênh đầu vào một chiều ($0 \div 5V$) và đầu ra có 8 bit số liệu. Chuyển đổi A/D được kết hợp với bộ MUX bên trong (hình 17-39)_a. Trong ADC 0809 có 3 bit địa chỉ A, B, C được chốt và giải mã để chọn kênh và dễ dàng ghép nối với μP hoặc μC .



Hình 17-39 a. Sơ đồ ADC 0809

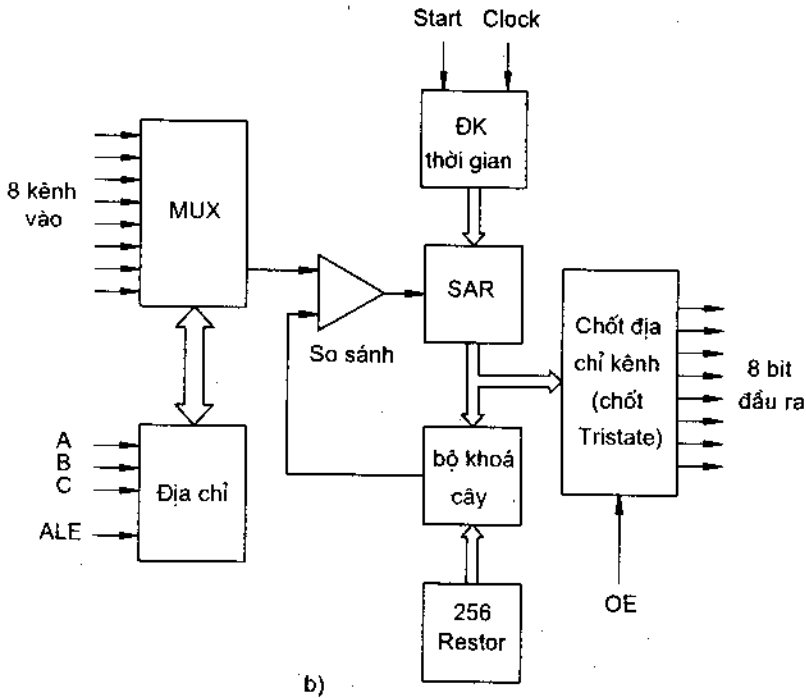
Ưu điểm của ADC 0809 là các tốc độ và độ chính xác cao, ít phụ thuộc vào nhiệt độ, tiêu thụ công suất nhỏ.

Hình 17-39b là sơ đồ khối của ADC 0809.

Để điều khiển hoạt động của A/D, ba bit địa chỉ A, B, C được chốt và giải mã để chọn 1 trong 8 kênh đường tín hiệu tương tự và bộ so sánh. Khi có xung START và xung nhịp (CLOCK) quá trình so sánh bắt đầu. Điện áp vào được so sánh với điện áp do bộ khoá hình cây và bộ 256R tạo ra. Khi quá trình biến đổi kết thúc, bộ điều khiển phát tín hiệu EDC (End of Converter). Số liệu được đưa ra thành ghi đệm và chốt lại. μP muốn đọc số liệu từ A/D thì phải phát ra tín hiệu tới chân OE (output-enable) quá trình đọc được tiến hành.

Bộ chuyển đổi ADC 0809 là một chip 28 chân chế tạo theo công nghệ CMOS và không cần mạch bù zêrô và mạch chỉnh full-scale. Nó dễ dàng ghép nối với μP và μC vì được cung cấp chốt địa chỉ kênh và chốt TTL-TRISTATE ở đầu ra.

ADC0809 có tốc độ cao, độ chính xác cao ít phụ thuộc vào nhiệt độ, tiêu thụ công suất nhỏ.



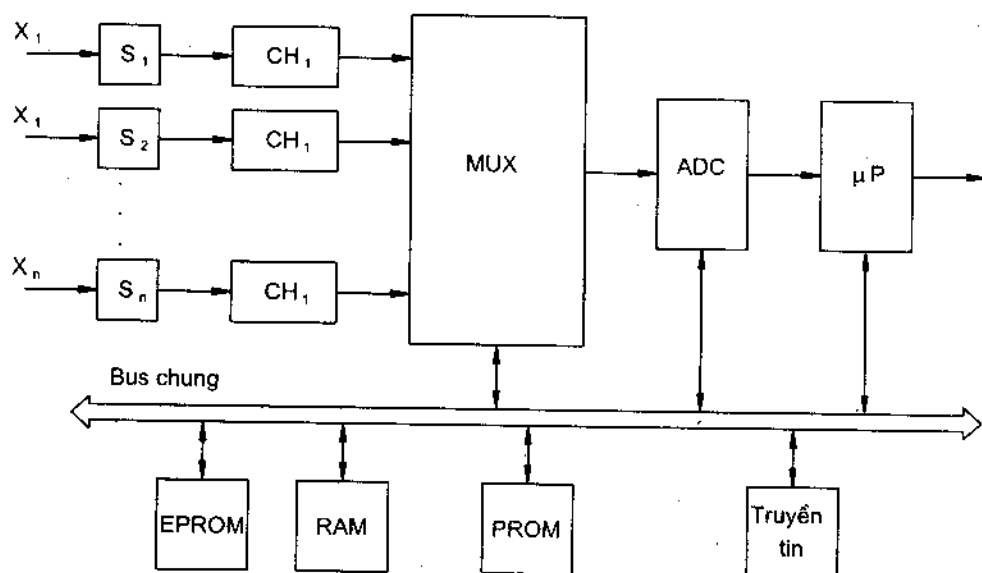
Hình 17-39b: Sơ đồ khối ADC 0809

17-5-2. Ghép nối với vi xử lý (MICROPROCESSOR)

Trong các hệ thống đo lường và điều khiển, số lượng các điểm đo và điều khiển rất lớn vì vậy người ta thường sử dụng các bộ vi xử lý μP và vi điều khiển μC (MICROCONTROLLER) ghép nối với hệ thống đo để điều khiển quá trình làm việc. Nhờ có các thiết bị xử lý (μP) và vi điều khiển (μC), các hệ thống đo lường và điều khiển hoạt động rất hiệu quả và có thể đo được nhiều điểm đo trên nhiều kênh một cách tự động. Mặt khác do sự phát triển của μP và μC các dụng cụ đo được kết hợp với μP và μC để tạo thành dụng cụ đo thông minh.

Ưu điểm của các dụng cụ đo và hệ thống thông tin đo lường khi sử dụng kỹ thuật vi xử lý là có thể thực hiện quá trình làm việc theo một chương trình định trước, có thể tự động hoá quá trình đo, tự động chuyển thang đo, gia

công kết quả đo, bù sai số, có thể ghép nối với máy tính, ghi lại quá trình đo, lưu giữ số liệu và thể hiện kết quả đo dưới dạng số và trên màn hình v.v...



Hình 17-40. Sơ đồ hệ thống đo cài đặt μP

Các bộ vi xử lý (μP) và vi điều khiển (μC) ngày nay được phát triển rất nhanh từ loại μP 4004 của Hãng INTEL (1971) đến μP 8080, 8086, 80286 và μC 8051, DSP 56000 v.v... từ 4 bit ÷ 64 bit và hơn nữa, với tần số làm việc 300 MHz ÷ 1GHz.

Hình 17-40 là sơ đồ khối của hệ thống đo có cài đặt μP .

Tín hiệu từ các bộ cảm biến S được chuẩn hoá dưới dạng dòng hoặc áp. Các tín hiệu này đưa qua bộ đổi nối tương tự MUX (Multiplexer) sau đó đưa đến bộ chuyển đổi ADC (Analog-digital convertor) và đưa vào μP . Trong đó, μP kết hợp với các bộ nhớ cố định như ROM, PROM, EPROM và bộ nhớ thay đổi RAM và qua kênh (Bus), μP điều khiển quá trình làm việc của các khâu trong hệ thống. Đầu ra của μP có thể ghép nối với máy tính (PC), chỉ thị kết quả đo dưới dạng số, máy ghi v.v...

17-5-3. Ghép nối với máy tính (PC)

Trong các hệ thống đo và thu thập số liệu, các tín hiệu sau cảm biến được chuẩn hoá và biến đổi thành tín hiệu số nhờ các bộ A/D sau đó đưa vào

máy tính để xử lý và thể hiện kết quả đo hoặc điều khiển. Khi ghép nối với máy tính ta có thể thực hiện theo các cách sau.

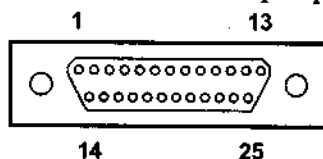
- Ghép nối trực tiếp qua cổng song song hoặc nối tiếp
- Dùng Card ghép nối qua rãnh cắm ISC, PIC.

1- Ghép nối qua cổng song song

Đây là ổ cắm 25 chân ở phía sau máy tính dùng để nối máy in với máy tính và sử dụng máy tính vào mục đích đo lường và điều khiển.

Qua cổng này dữ liệu được truyền đi song song với tốc độ truyền đạt đến mức khá cao.

Tất cả các đường dẫn của cổng này đều tương thích TTL tức là chúng đều cung cấp một mức điện áp nằm giữa 0 và 5V nên mức điện áp đưa vào không được quá lớn. Hình 17-41 là sơ đồ và cách sắp xếp các chân của ổ cắm.



Hình 17-41

Bảng 17.1

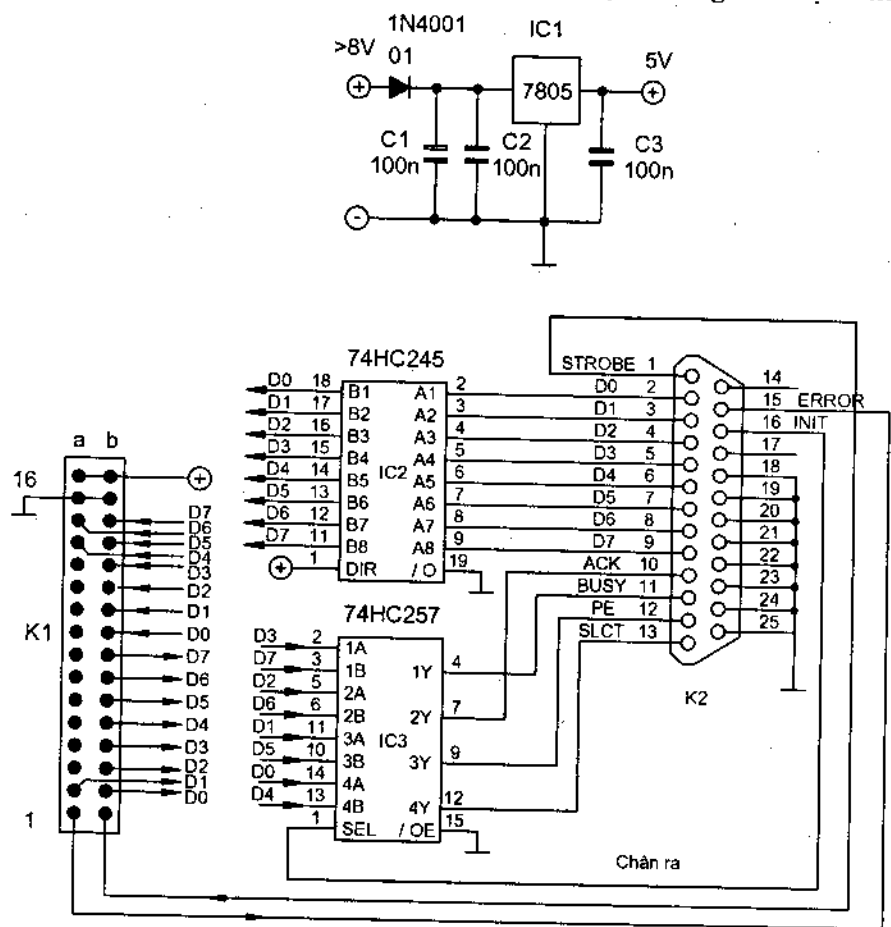
Chân	Ký hiệu	Vào/ra	Mô tả
1	STOBE	Lối ra (output)	U : Byte được in
2	D0	Lối ra	Đường dữ liệu D0
3	D1		D1
⋮	⋮	⋮	⋮
9	D7		Đường dữ liệu D7
10	ACK	Lối vào (input)	Xác nhận (Acknowledge)
11	BUSY	Lối vào	1: Máy in bận
12	PE	----	Hết giấy
13	SLCT	----	Lựa chọn (Select)
14	AF	Lối ra	Tự nạp (Auto Feed)
15	ERROR	Lối vào	Lỗi (ERROR)
16	INIT	Lối ra	0: Đặt lại máy in
17	SLCTIN	----	Select in
18 ÷ 25	GND	----	nối đất

Trong ổ cắm song song gồm có 17 đường dẫn trong đó có 5 đường dẫn vào và 12 đường dẫn ra vì vậy khi sử dụng với mục đích đo lường và điều khiển người ta lắp thêm một mạch phụ.

Hình 17-42 là sơ đồ mạch nối trực tiếp với cổng song song. Modul này có thể gửi ra 8 bit và đọc vào 8 bit.

Các đường dẫn dữ liệu đi tới bộ đếm 74 HC 245, vì mạch này tách các dữ liệu đã đến của máy tính PC từ modul ghép nối. Để đọc vào 8 bit dữ liệu, vì mạch 74 HC 247 được sử dụng, vì mạch này chứa 4 bộ quét động (dồn kênh, MUX) với 2 lối vào và 1 lối ra. Chu trình đọc vào được chia làm 2 nửa. Khi chân SEL = 0 có tác dụng làm cho các bit dữ liệu D0,D1,D2 và D3 đến được máy tính PC. Khi SEL =1 các bit còn lại D4, D5, D6 và D7 được đọc vào. Bit điều khiển INIT có tác dụng chuyển mạch đối với SEL.

Nguồn nuôi cho modul này là điện áp +5V ổn định. Dòng tiêu thụ cỡ mA.

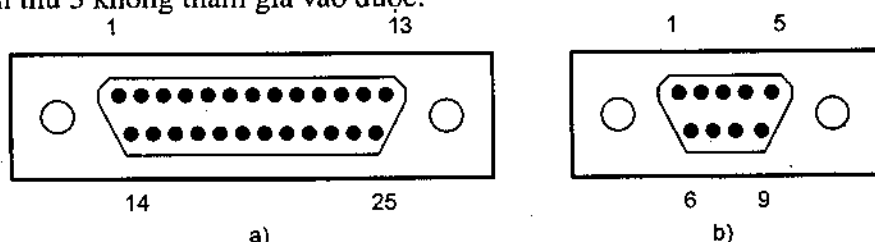


Hình 17-42. Sơ đồ nối mạch trực tiếp với cổng song song vào ra 8 bit

2- Cổng nối tiếp RS232

Cổng nối tiếp RS232 là giao diện phổ biến và còn được gọi là cổng COM. Do cổng nối tiếp RS232 sử dụng rất thuận tiện để đo lường và điều khiển.

Các dữ liệu được truyền qua cổng RS232 theo dạng nối tiếp nghĩa là các bit dữ liệu được gửi đi nối tiếp nhau theo một đường dẫn. Ưu điểm của loại này là có thể truyền số liệu với khoảng cách lớn do ít bị nhiễu. Nó cho phép tạo ra giao tiếp điểm giữa 2 máy khi trao đổi thông tin với nhau và thành viên thứ 3 không tham gia vào được.



Hình 17-43. Sơ đồ bố trí chân RS232
a) Loại 22 chân; b) Loại 9 chân

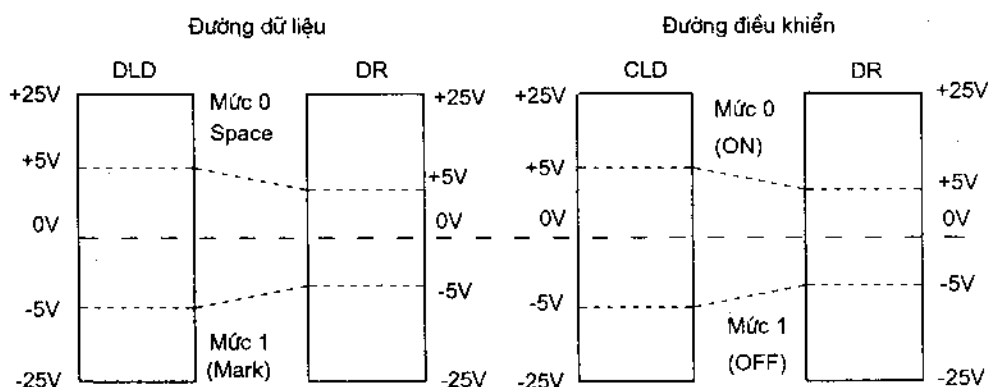
Hình 17 - 43 là sơ đồ bố trí chân của RS232 ở máy tính PC.

Loại 9 chân	Loại 25 chân	Chức năng	
1	8	DCD - Data carrier Detect	Lối vào
2	3	RxD - Receive Data	
3	2	TxD - Transmit Data	Lối ra
4	20	DTR - Data Terminal ready	
5	7	GND - nối đất	
6	6	DSR - Data Set Ready	Lối vào
7	4	RTS - Request to Send	Lối ra
8	5	CTS - Clear to Send	Lối vào
9	22	RI - Ring Indicator	Lối vào

RS232 có đường dẫn không kể đường nối đất và có loại 9 chân và 25 chân, nó khác với cổng song song là ổ cắm ở đây sử dụng phích cắm nhiều chân. Việc truyền dữ liệu được tiến hành trên đường dẫn.

Từ chân TxD (Transmit Data) Máy tính gửi các dữ liệu đến máy khác. Các dữ liệu mà máy tính nhận được qua chân RxD (Receive Data). Các tín hiệu khác đóng vai trò hỗ trợ khi trao đổi thông tin. RS232 sử dụng phương

thức truyền số liệu không đối xứng. Điện áp dao động trong khoảng $-25V \div +25V$. Với thiết bị nhận quy định mức logic 1 ứng với điện áp từ $-25V \div -3V$ và mức logic "0" ứng với khoảng điện áp từ $3V \div 25V$. Trong khoảng $-3V \div +3V$ không được định nghĩa, đây là khoảng chuyển tiếp giữa các mức logic. Biểu diễn các mức điện áp tương ứng với các mức logic được trình bày như 17-44.



Hình 17 – 44. Sơ đồ biểu diễn mức điện áp tương ứng với mức logic

Một số đặc điểm của RS 232.

- Khoảng cách truyền cho phép $\leq 20m$
- RS 232 làm việc ở chế độ truyền song công (full-duplex)
- Tốc độ dữ liệu max khoảng 20 Kb/s.
- Chế độ truyền không đồng bộ
- Hầu hết dữ liệu truyền trong RS 232 là mã ASCII mặc dù không phải là mã chuẩn.

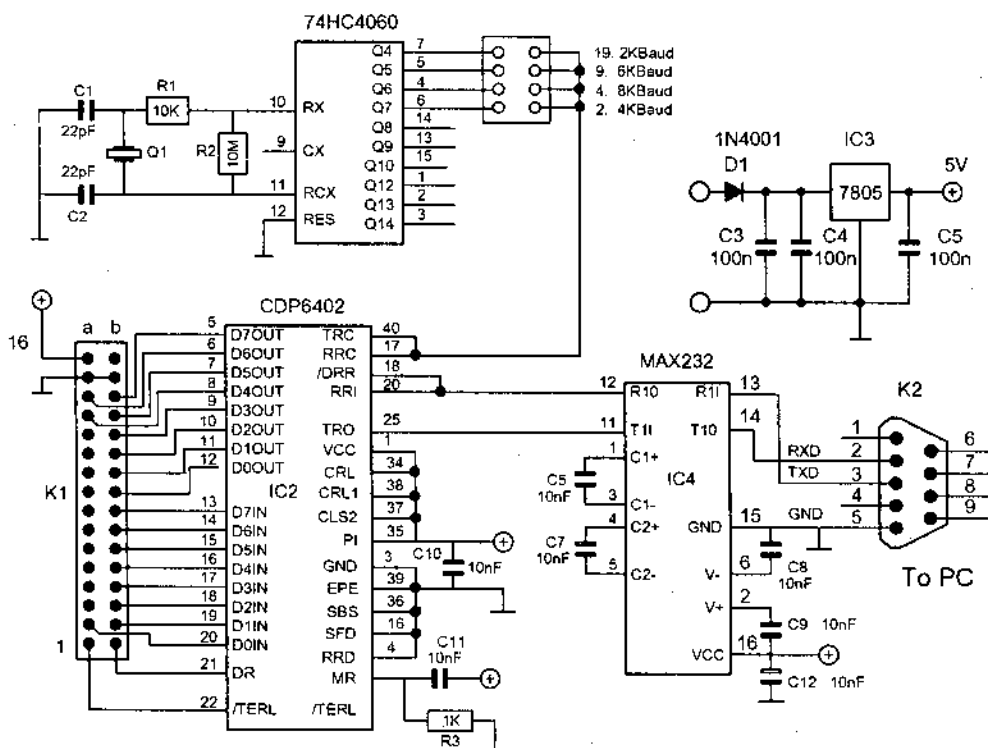
Các yêu cầu của chuẩn RS 232 với phần tạo dạng phát.

- Đầu ra phải chịu đựng được trạng thái ngắn mạch hoặc không tải
- Điện trở khi ngắn mạch nguồn lớn hơn 300Ω
- Điện áp cực đại khi ngắn mạch là 500 mA

Thời gian chuyển tín hiệu giữa 2 mức tín hiệu phải nhỏ hơn 1 ms.

- Tốc độ tăng hay giảm tín hiệu không nhỏ hơn 30 V/ms.
- Tải của bộ kích thích lớn hơn $3k\Omega$.
- Điện trở vào từ $3000\Omega \div 7000\Omega$
- Điện dung ký sinh nhỏ hơn $2500\mu F$

Hình 17-45 là sơ đồ mô tả Môđun cơ sở vào/ra 8 bit với MAX232. Môđun này ra 8 tín hiệu TTL qua giao diện nối tiếp của máy tính PC.



Hình 17-45. Sơ đồ mạch môđun cơ sở dùng với MAX232

Môđun này có khả năng ghép nối với A/D, D/A, bộ đếm và các bộ phận ngoại vi khác.

Sơ đồ mạch gồm có vi mạch UART CDP 6402 là bộ phát nhận không đồng bộ, vi mạch 74 HC 4060 là bộ đếm nhị phân và MAX 232 của Hãng MAXIM để thích ứng tín hiệu ở mức (+12V; -12V) trên giao diện RS 232.

Vì mạch này nhận mức RS 232 đã được gửi từ máy tính PC và biến đổi tín hiệu này thành tín hiệu TTL để sau đó dẫn tới bộ VART CDP 6402. Tín hiệu từ bộ UART được biến đổi thành mức +12V/-12V và gửi tới máy tính PC.

Theo phương pháp này khoảng cách giữa máy tính PC và mô đun có cơ sở có thể đạt tới 20m.

Ưu điểm của môđun trên là có khả năng thiết lập tốc độ band bằng cách sử dụng bộ đếm nhị phân 74 HC 4060 bộ đếm này có những lối vào phụ để nối trực tiếp với bộ công hưởng thạch anh.

Với sự thay đổi vị trí cầu nối (jumper) có thể đặt chính xác các giá trị 2.400; 4.800; 9.600 và 19.200 baud. Nguồn nuôi được sử dụng với bộ ổn áp 7805 để có điện áp 5V ổn định ở lối ra. ở lối vào cần một điện áp trên 7,5V được lấy từ bộ nắn dòng hoặc nguồn 1 chiều 9V.

3- Ghép nối với máy tính qua rãnh cắm PC.

Thông thường khi ghép nối với máy tính qua rãnh cắm người ta sử dụng vi mạch ghép nối 8255 gắn trên tấm Card cắm thêm vào máy tính PC để thu thập số liệu đo lường, xuất và nhập dữ liệu số và điều khiển quá trình biến đổi A/D.

Vi mạch 8255 có 40 chân như hình 17-46. Trong đó có 24 đường dẫn vào/ra được xếp thành 3 cổng song song (A, B và C). Qua một thanh ghi điều khiển, người sử dụng xác định loại hoạt động và cổng nào cần được sử dụng vào hoặc ra.

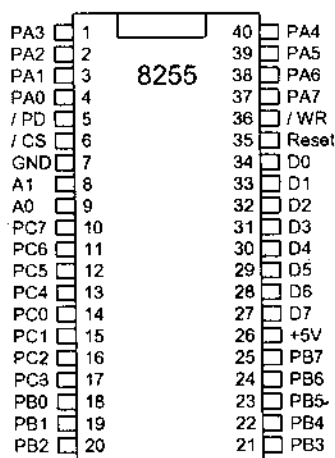
Các chân ra DO÷D7 tạo nên bus dữ liệu 2 hướng, rộng 8 bit, các dữ liệu khi truy nhập ghi hoặc đọc đều được dẫn qua các đường dẫn này. Trạng thái logic ghi/đọc được nhận biết qua các tín hiệu điều khiển /CS, /RD, /WR và địa chỉ A0, A1

Bảng chân lý dưới đây cho ta biết trạng thái ghi/đọc sẽ truy nhập lên cổng nào.

A1	A0	/RD	/WR	/CS	Chức năng
0	0	0	1	0	Cửa (Port) A=> Bus dữ liệu
0	1	0	1	0	Cửa B => Bus dữ liệu
1	0	0	1	0	Cửa C => Bus dữ liệu
0	0	1	0	0	Bus dữ liệu => Cửa A
0	1	1	0	0	Bus dữ liệu => Cửa B
1	0	1	0	0	Bus dữ liệu => Cửa C
1	1	1	0	0	Ghi vào từ điều khiển
x	x	x	x	1	Đường dẫn dữ liệu ở trạng thái điện trở cao (Tristate)
x	x	1	1	0	Đường dẫn dữ liệu ở trạng thái điện trở cao (Tristate)

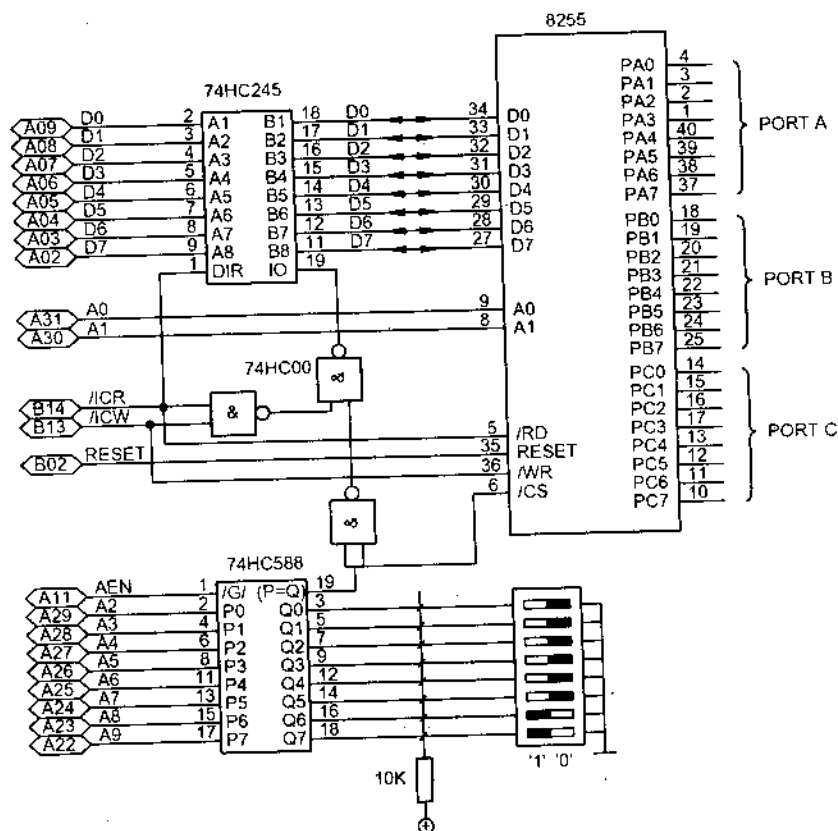
Hình 17-47 là sơ đồ giao diện vào/ra 24 bit trên rãnh cắm PC.

Trong đó gồm có mạch ghép nối 8255, bộ đếm 74 HC 245 và bộ giải mã địa chỉ 74 HC 688.



Hình 17 – 46. Sơ đồ chân vi mạch ghép nối 8255

008-008



Hình 17-47. Giao diện vào/ra 24bit trên rãnh cắm PC

Các tín hiệu ghi và đọc /IOW và /IOR có thể được nối trực tiếp với các tín hiệu tương ứng ở vi mạch 8255. Còn chính đường dẫn reset của rãnh cắm PC dẫn đến vi mạch 8255 công cần khối logic phụ thêm. Địa chỉ cơ bản mà ở địa chỉ này mạch điện trao đổi được thiết lập ở bộ chuyển mạch DIP trong đó đã ghi tên 4 địa chỉ bắt đầu bằng địa chỉ cơ bản của vùng Vào/Ra của máy tính PC.

Ví dụ:	Địa chỉ Vào/ ra	Chức năng
Địa chỉ cơ bản (Hex)	Chẳng hạn \$ 300	Cửa (Port) A
----- + 1	----- \$ 301	Cửa B
----- + 2	----- \$ 302	Cửa C
----- + 3	----- \$ 303	Thanh ghi điều khiển

Khi có sự đồng nhất giữa địa chỉ ?? bản được thiết lập và các địa chỉ đang xếp hàng ở rãnh cắm PC, vi mạch 74 HC 688 tạo ra ở chân 19 một tín hiệu LOW kích hoạt 8255 qua đường dẫn CS tạo ra khả năng trao đổi thông tin.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Electronic Instrumentation and Measurements.
David A-Bell.
2. Electronic Instrumentation (Second Edition)
HS Kalsi (St. Xavier's Technical Institute Mumbai). 2003
3. Seurous and Signal Conditioning
Ramon Pallas- Areny and John G-Webster. 1999.
4. AIP Handbook of Modern Sensor.
Jacob Fraden (ALT. Labrary). 1993.
5. Instrumentation, Measurement and Analysis (Second Edition)
BC Nakra - KK Chaudhry (Tata Mc Graw Hill 2004)
6. Measurement Systems (Applicationtimand Design)
Ernest O- Doebelin. Mc Graw Hill, 2003.
7. Les Capteurs en instrumentation industriell. Dunod. 1978
8. Interfacing Sensors to the IBM[®] PC.
Willis J Tompkins and John G Webster. 2000
9. Instrumentation Reference Book
B.E. Noltink
10. Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý (Tái bản lần 2)
Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quốc, Nguyễn Văn Hoà, NXB Giáo dục 2003.
11. Operational Amplifiers with Linear Intergated Circuits
William D-Stanley.
12. Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển.
Lê Văn Danh, Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Văn Hoà, Võ Thạch Sơn, Đào Văn Tân. NXB Khoa học Kỹ thuật, 2001.
13. Giáo trình cảm biến
Phạm Quốc Phổ, Nguyễn Đức Chiến. NXB Khoa học Kỹ thuật, 2000.
14. Đo lường và điều khiển bằng máy tính.
Ngô Diên Tập. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1999.

MỤC LỤC

Mở đầu.....	3
-------------	---

PHẦN 1. ĐO LƯỜNG ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN VÀ THIẾT BỊ ĐO

Chương I. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG	7
1-1. Khái niệm chung về đo lường và thiết bị đo	7
1-2. Đơn vị đo, chuẩn và mẫu	10
1-3. Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo	12
1-4. Các đặc tính cơ bản của dụng cụ đo	15
Chương II. CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ	20
2-1. Cơ cấu chỉ thị của dụng cụ đo tương tự	20
2-2. Chỉ thị số	25
Chương III. ĐO ĐIỆN ÁP VÀ DÒNG ĐIỆN	34
3-1. Ampemét	34
3-2. Vônmet và đồng hồ vạn năng (vạn năng kế)	40
3-3. Vônmet số	57
Chương IV. ĐO THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN	67
4-1. Đo điện trở	67
4-2. Cầu xoay chiều	74
4-3. Đo điện dung và góc tổn hao tụ điện	75
4-4. Cầu đo điện cảm và hệ số phẩm chất cuộn dây	79
4-5. Cầu đo R - L - C (cầu Skeleton)	81
4-6. Đo R-L-C bằng dụng cụ số	86
Chương V. ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG	90
5-1. Khái niệm chung	90
5-2. Đo công suất trong mạch một pha	91
5-3. Đo công suất tải 3 pha	94
5-4. Đo công suất phản kháng	97
5-5. Đo công suất trong mạch điện cao áp	101
5-6. Oátmet nhiệt điện	102
5-7. Công tơ đo điện năng	103
5-8. Đo công suất và điện năng bằng oátmet và công tơ điện tử	107

Chương VI. ĐO TẦN SỐ, GÓC PHA VÀ KHOẢNG THỜI GIAN..... 111

6-1. Khái niệm chung	111
6-2. Tần số kế	112
6-3. Đo góc pha và khoảng thời gian.....	121

Chương VII. DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ (OSCILLOSCOPE) 126

7-1. Sơ đồ khối của dao động ký.....	126
7-2. Ống phóng tia điện tử	127
7-3. Bộ khuếch đại làm lệch.....	129
7-4. Tín hiệu quét	131
7-5. Bộ tạo gốc thời gian (tạo sóng quét ngang)	131
7-6. Sơ đồ nối của ống phóng tia điện tử.....	133
7-7. Dao động ký điện tử 2 tia	134
7-8. Ứng dụng của dao động ký	136
7-9. Các loại dao động ký điện tử.....	141
7-10. Dao động ký điện tử nhớ tương tự.....	142
7-11. Dao động ký lấy mẫu.....	143
7-12. Dao động ký điện tử nhớ số	146

PHẦN 2. THIẾT BỊ CẢM BIẾN VÀ ỨNG DỤNG

Chương VIII. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ CẢM BIẾN..... 151

8-1. Các khái niệm cơ bản và định nghĩa	151
8-2. Phân loại các bộ cảm biến.....	152
8-3. Đặc tính cơ bản của cảm biến ở chế độ tĩnh	153
8-4. Đặc tính của cảm biến ở chế độ động	156

Chương IX. CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ..... 164

9-1. Khái niệm cơ bản	164
9-2. Cảm biến nhiệt điện trở.....	166
9-3. Cặp nhiệt điện	177
9-4. Cảm biến vi mạch bán dẫn đo nhiệt độ	185
9-5. Đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc	188

Chương X. CẢM BIẾN QUANG..... 192

10-1. Khái niệm cơ bản về ánh sáng.....	192
10-2. Các đơn vị đo quang	194
10-3. Cảm biến quang điện	196
10-4. Ứng dụng của cảm biến quang	207

Chương XI. CẢM BIẾN VỊ TRÍ VÀ DỊCH CHUYỂN..... 210

11-1. Cảm biến kiểu biến trở.....	211
11-2. Biến trở quang dẫn.....	215
11-3. Cảm biến quang đo dịch chuyển	216

11-4. Cảm biến điện dung	220
11-5. Cảm biến điện từ	226
11-6. Cảm biến Hall	242
Chương XII. CẢM BIẾN ĐO BIẾN DẠNG, LỰC, TRỌNG LƯỢNG VÀ ÁP SUẤT	247
12-1. Đo biến dạng	247
12-2. Đo lực	257
12-3. Đo mômen xoắn và năng lượng	267
12-4. Cảm biến xúc giác	270
12-5. Cảm biến đo áp suất	271
Chương XIII. ĐO VẬN TỐC, GIA TỐC VÀ ĐỘ RUNG	279
13-1. Khái niệm chung	279
13-2. Đo vận tốc	280
13-3. Cảm biến gia tốc và rung	287
13-4. Đặc điểm của các cảm biến đo rung và gia tốc	292
Chương XIV. CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG - VẬN TỐC CHẤT LƯU VÀ MỨC	294
14-1. Đo lưu lượng và vận tốc	294
14-2. Phong tốc kế khí	301
14-3. Đo mức	305
Chương XV. CẢM BIẾN ĐO ĐỘ ẨM VÀ ĐIỆN HÓA	311
15-1. Cảm biến đo độ ẩm	311
15-2. Cảm biến điện hóa	321
Chương XVI. CẢM BIẾN THÔNG MINH	338
16-1. Khái niệm chung	338
16-2. Sơ đồ cấu trúc của cảm biến thông minh	339
16-3. Các khâu cơ bản của cảm biến thông minh	340
16-4. Ví dụ về cảm biến thông minh 4301 đo áp suất	344
Chương XVII. MẠCH ĐO VÀ CHUẨN HOÁ TÍN HIỆU	346
17-1. Chuẩn hoá tín hiệu đối với cảm biến điện trở	346
17-2. Mạch khuếch đại đo lường	357
17-3. Chuẩn hoá tín hiệu với cảm biến phát điện	362
17-4. Chuẩn hoá tín hiệu với cảm biến điện kháng	368
17-5. Ghép nối cảm biến với thiết bị xử lý và máy tính	376
Tài liệu tham khảo	388
Mục lục	389

Chịu trách nhiệm xuất bản :
Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Biên tập nội dung :
TRẦN TRỌNG TIẾN

Trình bày bìa :
BÙI QUANG TUẤN

Sửa bản in :
ĐỨC LƯƠNG

Chế bản:
ĐẶNG ĐỨC THÁI

GIÁO TRÌNH ĐO LƯỜNG ĐIỆN VÀ CẢM BIẾN ĐO LƯỜNG

Mã số: 7B612M5-DAI

In 1.000 cuốn, khổ 16 x 24 cm, tại Công ty In & Văn hóa phẩm.
Giấy phép xuất bản số : 89/94-05.
In xong và nộp lưu chiểu quý IV năm 2005.