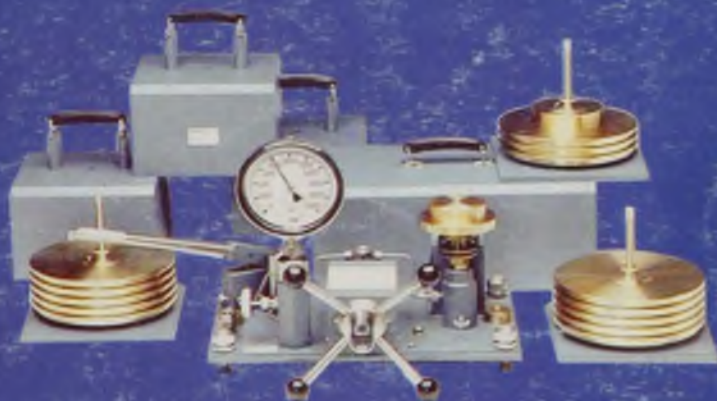


VU TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP - DẠY NGHỀ

GIÁO TRÌNH ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN VÀ KHÔNG ĐIỆN

SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

NGUYỄN VĂN HOÀ

GIÁO TRÌNH
ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG
ĐIỆN VÀ KHÔNG ĐIỆN

SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP

(Tái bản lần thứ hai)

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRUNG TÂM HỌC LIỆU

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

$\frac{6C2}{GD-04}$ 1750/166-03

Mã số : 7K562T4-KHO

Lời giới thiệu

Việc tổ chức biên soạn và xuất bản một số giáo trình phục vụ cho đào tạo các chuyên ngành Điện – Điện tử, Cơ khí – Động lực ở các trường THCN – DN là một sự cố gắng lớn của Vụ Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề và Nhà xuất bản Giáo dục nhằm từng bước thống nhất nội dung dạy và học ở các trường THCN trên toàn quốc.

Nội dung của giáo trình đã được xây dựng trên cơ sở kế thừa những nội dung được giảng dạy ở các trường, kết hợp với những nội dung mới nhằm đáp ứng yêu cầu nâng cao chất lượng đào tạo phục vụ sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa. Đề cương của giáo trình đã được Vụ Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề tham khảo ý kiến của một số trường như : Trường Cao đẳng công nghiệp Hà Nội, Trường TH Việt – Hung, Trường TH Công nghiệp II, Trường TH Công nghiệp III v.v... và đã nhận được nhiều ý kiến thiết thực, giúp cho tác giả biên soạn phù hợp hơn.

Giáo trình do các nhà giáo có nhiều kinh nghiệm giảng dạy ở các trường Đại học, Cao đẳng, THCN biên soạn. Giáo trình được biên soạn ngắn gọn, dễ hiểu, bổ sung nhiều kiến thức mới và biên soạn theo quan điểm mở, nghĩa là, đề cập những nội dung cơ bản, cốt yếu để tùy theo tính chất của các ngành nghề đào tạo mà nhà trường tự điều chỉnh cho thích hợp và không trái với quy định của chương trình khung đào tạo THCN.

Tuy các tác giả đã có nhiều cố gắng khi biên soạn, nhưng giáo trình chắc không tránh khỏi những khiếm khuyết. Vụ Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề đề nghị các trường sử dụng những giáo trình xuất bản lần này để bổ sung cho nguồn giáo trình đang rất thiếu hiện nay, nhằm phục vụ cho việc dạy và học của các trường đạt chất lượng cao hơn. Giáo trình này cũng rất bổ ích đối với đội ngũ kỹ thuật viên, công nhân kỹ thuật để nâng cao kiến thức và tay nghề cho mình.

Hy vọng nhận được sự góp ý của các trường và bạn đọc để những giáo trình được biên soạn tiếp hoặc lần tái bản sau có chất lượng tốt hơn. Mọi góp ý xin gửi về NXB Giáo dục – 81 Trần Hưng Đạo – Hà Nội.

VỤ THCN – DN

Mở đầu

Giáo trình đo lường các đại lượng điện và không điện được biên soạn theo đề cương do vụ THCN – DN, Bộ Giáo dục & Đào tạo xây dựng và thông qua. Nội dung được biên soạn theo tinh thần ngắn gọn, dễ hiểu. Các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ lôgic 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 lí thuyết với những vấn đề thực tế thường gặp trong sản xuất, đời sống để giáo trình có tính thực tiễn cao.

Nội dung của giáo trình được biên soạn với dung lượng 60 tiết, gồm :

Mở đầu Chương 1. Các khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường ;Chương 2. Đo dòng điện và điện áp ; Chương 3. Đo công suất và năng lượng ; Chương 4. Đo tần số góc pha và khoảng thời gian ; Chương 5. Đo thông số của mạch điện; Chương 6. Dao động kí (Oscilloscope) ; Chương 7. Đo đại lượng không điện ; Chương 8. Ứng dụng quang học trong kỹ thuật đo lường ;

Trong quá trình sử dụng, tùy theo yêu cầu cụ thể có thể điều chỉnh số tiết trong mỗi chương. 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 tôi thiếu nói chung cũng không ít hơn thời lượng học lí thuyết của mỗi môn.

Giáo trình được biên soạn cho đối tượng là học sinh THCN, Công nhân lành nghề bậc 3/7 và nó cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên Cao đẳng kỹ thuật cũng như Kỹ thuật viên đang làm việc ở các cơ sở kinh tế với 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 Nhà XBGD – 81 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

TÁC GIẢ

Chương I

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

1.1. CÁC ĐỊNH NGHĨA VÀ KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG

1.1.1. Định nghĩa về đo lường, đo lường học và kỹ thuật đo lường

a) **Đo lường**: là một quá trình đánh giá định lượng về đại lượng cần đo để có được kết quả bằng số so với đơn vị đo.

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng

$$A = \frac{X}{X_0} \text{ và ta có } X = A \cdot X_0 \quad (1-1)$$

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

Ví dụ : $I = 5A$; I- dòng điện; 5 - con số đo; A - đơn vị đo

b) **Đo lường học**: là ngành khoa học chuyên nghiên cứu để đo các đại lượng khác nhau, nghiên cứu mẫu và đơn vị đo.

c) **Kỹ thuật đo lường**: là ngành kỹ thuật chuyên môn nghiên cứu để áp dụng thành quả của đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống.

1.1.2. Khái niệm về tín hiệu đo và đại lượng đo

a) Tín hiệu mang thông tin về giá trị của đại lượng đo lường được gọi là tín hiệu đo lường.

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

c) Đại lượng đo được phân thành hai loại : Đại lượng đo tiền định là đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian của chúng. Đại lượng đo ngẫu nhiên là đại lượng đo mà sự thay đổi theo thời gian không theo một quy luật nhất định.

1.1.3. Thiết bị đo và phương pháp đo

a) *Thiết bị đo*: là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát.

Thiết bị đo gồm nhiều loại : thiết bị mẫu, các chuyển đổi đo lường, các dụng cụ đo, các tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường.

b) *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 có thể có nhiều nhưng thực tế người ta chia thành hai loại: phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo so sánh.

1.2. PHÂN LOẠI PHƯƠNG PHÁP ĐO

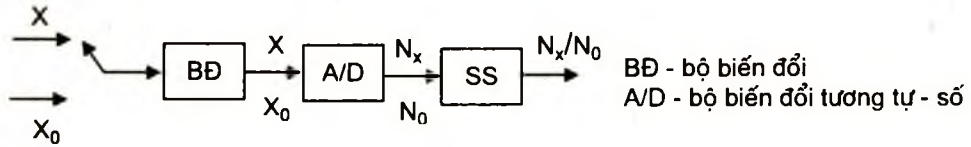
1.2.1. Phương pháp đo biến đổi thẳng

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

Đại lượng cần đo X được đưa qua các khâu biến đổi và biến thành con số N_x . Đơn vị của đại lượng đo X_0 cũng được biến đổi thành N_0 , sau đó được so sánh giữa đại lượng cần đo với đơn vị qua bộ so sánh (SS). Quá trình được thực hiện bằng một phép chia N_x/N_0 .

Kết quả đo được thể hiện bằng biểu thức dưới dạng

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

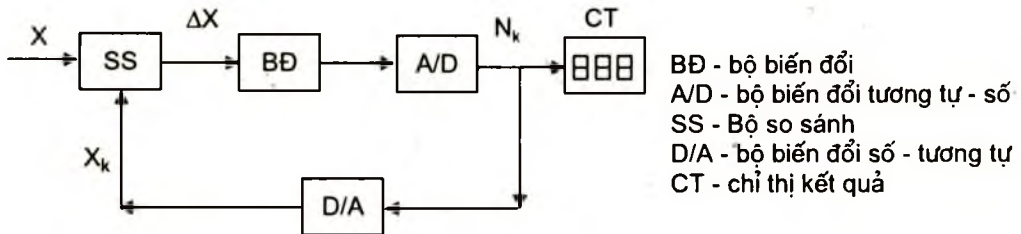


Hình 1 - 1

Quá trình đo là quá trình biến đổi thẳng. Thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị biến đổi thẳng.

1.2.2. Phương pháp đo kiểu so sánh

Là sơ đồ có cấu trúc mạch vòng nghĩa là có khâu phản hồi 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 các phương pháp sau:

a) So sánh cân bằng: là phép so sánh mà đại lượng cần đo X và đại lượng mẫu X_k được so sánh với nhau sao cho $\Delta X = 0$ và $X - X_k = 0$, $X = X_k = N_k X_0$ (1 - 3) (X_0 - đơn vị đo).

Như vậy X_k là một đại lượng thay đổi sao cho khi X thay đổi luôn được kết quả như (1 - 3). Phép so sánh luôn ở trạng thái cân bằng. Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ chính xác của X_k và độ nhạy của thiết bị chỉ thị cân bằng. Các dụng cụ đo theo phương pháp so sánh cân bằng như cầu đo, điện thế kế v.v..

b) So sánh không cân bằng

Nếu X_k là đại lượng không đổi, lúc đó ta có:

$$X - X_k = \Delta X \quad (1 - 4)$$

$$X = X_k + \Delta X.$$

Kết quả của phép đo được đánh giá qua ΔX , Với X_k là đại lượng biết trước. Phương pháp này được sử dụng đo các đại lượng không điện như đo nhiệt độ (dùng mạch cầu không cân bằng).

c) So sánh không đồng thời: là phương pháp đo mà các giá trị đo X được thay bằng đại lượng mẫu X_k . Các giá trị đo X và giá trị mẫu được đưa vào thiết bị không cùng một thời gian, thông thường giá trị mẫu X_k được đưa vào khác độ trước, sau đó qua các vạch khắc độ để xác định giá trị của đại lượng đo. Thiết bị đo theo phương pháp này là các thiết bị đánh giá trực tiếp như vônmet, ampe mét kim chỉ.

d) So sánh đồng thời: là phương pháp so sánh cùng một lúc đại lượng đo X và đại lượng mẫu X_k . Khi X và X_k trùng nhau, qua X_k xác định được giá trị đại lượng X .

1.3. PHÂN LOẠI CÁC THIẾT BỊ ĐO

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, thường gồm có : Mẫu, dụng cụ đo, chuyển đổi đo lường, hệ thống thông tin đo lường.

a) Mẫu: là thiết bị đo để khôi phục một đại lượng vật lí nhất định. Thiết bị mẫu phải đạt 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 đó dưới dạng con số, đồ thị hoặc 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).

*Dụng cụ đo tương tự là dụng cụ mà kết quả đo là một hàm liên tục của quá trình thay đổi của đại lượng đo. Các loại dụng cụ này gồm dụng cụ đo kim chỉ và tự ghi.

*Dụng cụ đo số là loại kết quả đo được thể hiện bằng số.

c) Chuyển đổi 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.

Có hai loại chuyển đổi :

- Chuyển đổi các đại lượng điện thành các đại lượng điện khác như các bộ chuyển đổi tương tự - số (A/D) hoặc số - tương tự (D/A) v.v...

- Chuyển đổi các đại lượng không điện thành các đại lượng điện. Đó là các bộ biến đổi sơ cấp và là bộ phận chính của đầu đo hay cảm biến.

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 từ nhiều nguồn khác nhau, truyền các thông tin đo lường qua khoảng cách theo kênh liên lạc và chuyển nó về một dạng dễ tiện cho việc đo và điều khiển.

Hệ thống thông tin đo lường được phân thành nhiều nhóm: hệ thống đo lường, hệ thống kiểm tra tự động, hệ thống chuẩn đoán kỹ thuật và hệ tổ hợp đo lường tính toán.

1.4. ĐƠN VỊ ĐO, CHUẨN VÀ MẪU

1.4.1. 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” là điện trở của cột thủy ngân thiết diện 1mm^2 dài 106,300 cm ở 0°C có khối lượng 14,4521 gam.

Chuẩn “Ampe” là dòng điện có thể giải phóng 0,00111800 gam bạc khỏi dung dịch nitrat trong thời gian 1 giây.

Cấp chính xác của các chuẩn này cỡ 0,001%.

1.4.2. 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 đo cơ bản thể hiện qua các biểu thức.

Ngày nay các nước thường sử dụng hệ thống đơn vị thống nhất đó là hệ thống đơn vị quốc tế SI là hệ thống 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), K (nhiệt độ), mol (đơn vị số lượng vật chất), Cd (cường độ ánh sáng).

Ngoài bảy đơn vị cơ bản trên còn có các đơn vị kéo theo trong các lĩnh vực cơ, điện, từ và quang học. Bảng 1.1 giới thiệu các đơn vị đo cơ bản và kéo theo trong các lĩnh vực cơ, điện, từ và quang học.

		Bảng 1.1
<i>Các đại lượng</i>	<i>Tên đơn vị</i>	<i>Kí hiệu</i>
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	Niutơn	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	Ω.m
Hệ số điện môi tuyệt đối	Fara trên mét	F/m
4. Các đại lượng từ		
Từ thông	Vebe	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

1.4.3. Các 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 $1/299792458$ giây (CGPM * lần thứ 17, 1983. *CGPM tên viết tắt tiếng Pháp của đại hội cân đo quốc tế).

b) Chuẩn đơn vị khối lượng

Kilogram(kg) - là đơn vị khối lượng bằng 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 xê-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 3 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} héc và có cường độ bức xạ theo phương đó là $1/683$ oát 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.

1.5. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA DỤNG CỤ ĐO

1.5.1. 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. Phép so sánh được diễn ra sau các chuyển đổi sơ cấp.

b) Theo phương pháp so sánh, đại lượng đo 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 so sánh với nó để cho ra kết quả đo.

*Dụng cụ đo kiểu so sánh : là dụng cụ đo 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, đó là dụng cụ có số chỉ là một hàm liên tục của đại lượng đo.

Dụng cụ đo tương tự gồm: Dụng cụ đo có kim chỉ, dụng cụ đo kiểu 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 Vonmét, Ampemét, Ômmét v.v....

1.5.2. Sơ đồ khối của dụng cụ đo

a) Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo

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).



CĐSC - Chuyển đổi sơ cấp
MĐ - Mạch đo
CT - Cơ cấu chỉ thị

Hình 1-3. Cấu trúc chung của dụng cụ đo

- Trong đó 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 mạch điện tử vì xử lý để nâng cao đặc tính của dụng cụ đo.

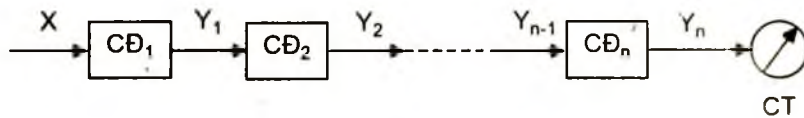
- Cơ cấu chỉ thị là khâu cuối cùng của dụng cụ thể hiện kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị :

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 cấu trúc như hình 1-4. Việc biến đổi thông tin đo chỉ xảy ra trên một đường thẳng, tức là không có khâu phản hồi.

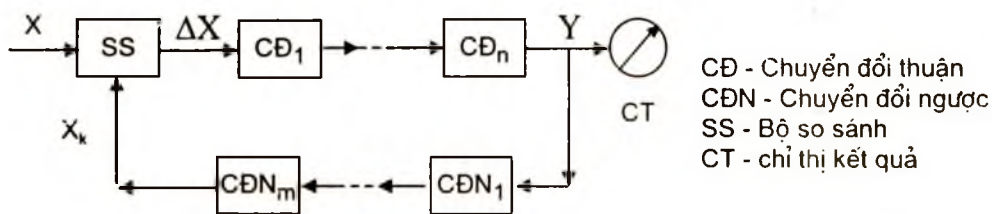


Hình 1-4. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ biến đổi thẳng

Theo sơ đồ này, đại lượng đo X được đưa qua các khâu chuyển đổi. CD_1 (sơ cấp), CD_2 CD_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 cấu trúc như hình 1-5. Đó là dụng cụ có mạch phản hồi với các bộ chuyển đổi ngược (CDN) để tạo ra tín hiệu X_k so sánh với tín hiệu đo X. Mạch đo là một vòng khép kín. Sau bộ so sánh ta có tín hiệu $\Delta X = X - X_k$.



CD - Chuyển đổi thuận
 CDN - Chuyển đổi ngược
 SS - Bộ so sánh
 CT - chỉ thị kết quả

Hình 1 - 5

Khi $\Delta X = 0$ ta có dụng cụ so sánh cân bằng, với $\Delta X \neq 0$ là dụng cụ so sánh không cân bằng.

1.6. CÁC ĐẶC TÍNH CƠ BẢN CỦA DỤNG CỤ ĐO

Dụng cụ đo có nhiều loại tùy theo chức năng của chúng, nhưng đều có những đặc tính cơ bản sau :

1.6.1. 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: Đó là sai số cơ bản mà giá trị của nó luôn không đổi hoặc thay đổi có quy luật. Sai số này về nguyên tắc có thể loại trừ 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 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 và giá trị thực X_{th} (là giá trị đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó nhờ các dụng cụ mẫu).

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

* 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 :

$$\gamma_x \% = \frac{\Delta X}{X_t} 100\% = \frac{\Delta X}{X} 100\% \quad (\text{vì } X_t \approx X) \quad (1 - 6)$$

* 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 :

$$\gamma_{qdx} \% = \frac{\Delta X_m}{X_m} 100\% \quad (1 - 7)$$

ΔX_m - sai số tuyệt đối cực đại

X_m - giá trị lớn nhất của thang đo

1.6.2. Độ nhạy

Độ nhạy của dụng cụ đo tính bằng

$$S = \frac{dY}{dX} = F(X) \quad Y - \text{đại lượng ra; } X - \text{đại lượng vào. (1 - 8)}$$

Đại lượng $C = \frac{1}{S}$ là hằng số của dụng cụ đo.

Nếu một dụng cụ gồm nhiều khâu biến đổi, mỗi khâu có độ nhạy riêng

thì độ nhạy của toàn dụng cụ : $S = S_1.S_2.....S_n = \prod_{i=1}^n S_i$ (1 - 9)

1.6.3..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 vào của dụng cụ đo phải phù hợp với điện trở đầu ra của khâu trước đó của chuyển đổi sơ cấp.

Khi đo điện áp của một nguồn điện hoặc điện áp rơi trên phụ tải điện trở của Vonmét càng lớn càng tốt. Ngược lại khi đo dòng điện qua phụ tải yêu cầu điện trở của Ampemét càng nhỏ 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.

1.6.4. 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 4s. Đối với dụng cụ số có thể đo được hàng nghìn điểm đo trong 1 giây.

1.6.5. 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- Nêu các định nghĩa về đo lường, đo lường học và kỹ thuật đo lường.

2- Thế nào là tín hiệu đo và đại lượng đo ?

Phân biệt sự khác nhau và giống nhau về tín hiệu đo lường và đại lượng đo.

Phân loại đại lượng đo.

3- Thiết bị đo là gì? Phân loại chung về thiết bị đo.

4- Phương pháp đo là gì? Có mấy loại phương pháp đo?

5- Đơn vị đo là gì? Thế nào là đơn vị tiêu chuẩn? Có mấy nhóm đơn vị chuẩn?

6- Dụng cụ đo là gì? Nêu cấu trúc chung của dụng cụ đo. Phân loại dụng cụ đo.

7- Nêu các đặc tính cơ bản của một dụng cụ đo. Cấp chính xác của dụng cụ đo là gì? Phân biệt sai số đo của dụng cụ và cấp chính xác khác nhau ở chỗ nào ?

Chương II

ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP

2.1. ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP BẰNG CÁC DỤNG CỤ ĐO TƯƠNG TỰ

2.1.1. Khái niệm chung

Dụng cụ đo tương tự (Analog) là loại dụng cụ đo mà số chỉ của nó (là đại lượng liên tục) tỷ lệ với đại lượng đo. Trong các dụng cụ đo tương tự người ta thường dùng các chỉ thị cơ điện, tín hiệu vào là dòng điện hoặc điện áp, còn tín hiệu ra là góc quay của phần động (kim chỉ) hoặc di chuyển của bút ghi trên giấy (dụng cụ tự ghi). Những dụng cụ này chính là dụng cụ đo biến đổi thẳng. Đại lượng cần đo như dòng điện, điện áp, tần số, góc pha v.v... được biến đổi thành góc quay của phần động, tức là biến năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học: $\alpha = F(X)$, X - đại lượng điện; α - góc quay.

2.1.2. Nguyên lý làm việc của các chỉ thị cơ điện

Khi cho dòng điện vào một cơ cấu chỉ thị cơ điện, do tác động của từ trường lên phần động của cơ cấu đo sẽ tạo ra một mômen quay M_q . Độ lớn của mômen này tỷ lệ với độ lớn của dòng điện đưa vào cơ cấu.

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

W_e - Năng lượng điện từ trường; α - Góc quay phần động .

Nếu đặt vào trục của phần động một lò xo cản; khi phần động quay lò xo bị xoắn lại sinh ra mômen cản (M_c) . Mômen này tỷ lệ thuận với góc lệch α và được biểu diễn dưới biểu thức :

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

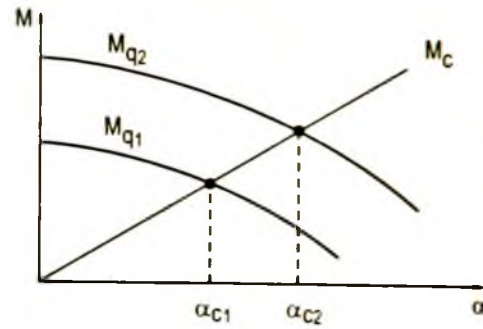
D - Hệ số phụ thuộc vào kích thước và vật liệu chế tạo lò xo.

Khi mômen cân bằng mômen quay, phần động của cơ cấu dừng lại ở vị trí cân bằng : $M_q = M_c$. Từ (2-1) và (2-2) ta có:

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

Đây là phương trình đặc tính thang đo từ đó ta biết được đặc tính của thang và tính chất của cơ cấu chỉ thị.

Vị trí cân bằng α_c có thể xác định bằng đồ thị như hình 2-1. Ứng với các dòng điện khác nhau ta có các góc lệch khác nhau (Với dòng I_1 ta có α_{c1} , với dòng I_2 ta có α_{c2}).



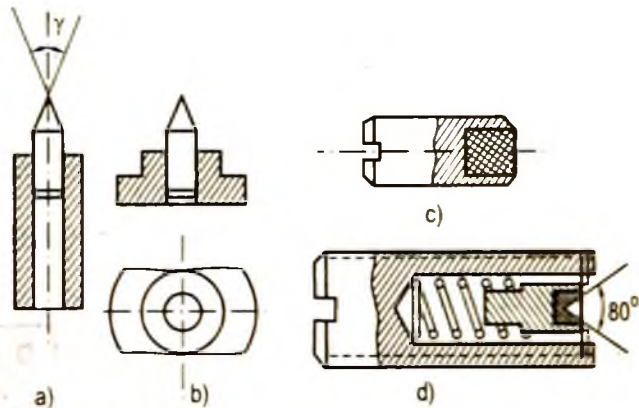
Hình 2 - 1

2.1.3. Những bộ phận chính và chi tiết chung của cơ cấu chỉ thị cơ điện

a) Trục và trụ

Là bộ phận đảm bảo cho phần động quay trên trục như khung dây, kim chỉ, lò xo cân v.v...

Trục làm bằng thép tròn có đường kính từ 0,8 ÷ 1,5 mm, đầu trục hình chóp với góc đỉnh $\gamma = 45 \div 60^\circ$ và đỉnh bán cầu có bán kính 0,05 ÷ 0,3 mm (hình 2-2). Trụ được chế tạo bằng loại thép cứng pha iridi hoặc osimi. Trụ đỡ làm bằng đá cứng (agate hay cacbua rundum).



Hình 2 - 2. a,b - Trục c,d - Trụ đỡ

b) Lò xo phản kháng

Là chi tiết thực hiện hai nhiệm vụ: tạo ra mômen cân và dẫn dòng điện vào khung dây. Lò xo được chế tạo thành hình xoắn ốc (hình 2-3) từ đồng berili hoặc đồng photpho để có độ đàn hồi tốt và dễ hàn.



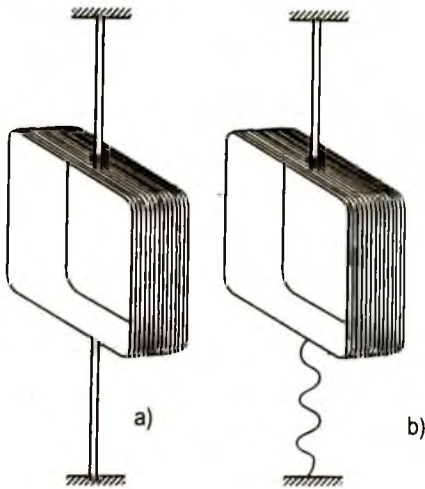
Hình 2 - 3.
Lò xo phản kháng

c) Dây căng và dây treo

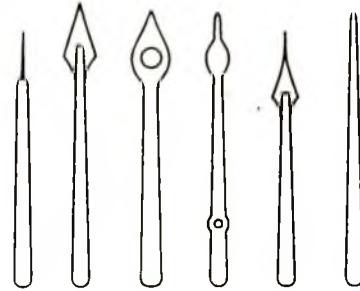
Khi cần giảm mômen cản để tăng độ nhạy của cơ cấu chỉ thị người ta thay lò xo bằng dây căng hoặc dây treo (hình 2-4). Dây căng và dây treo là các đoạn dây phẳng, có thiết diện hình chữ nhật được làm bằng đồng berili hoặc đồng photpho. Mômen phản kháng của dây căng và dây treo nhỏ và tránh được ma sát.

d) Kim chỉ

Kim chỉ là chi tiết được chế tạo bằng nhôm hoặc hợp kim nhôm, với dụng cụ có cấp chính xác cao kim được làm bằng thủy tinh. Hình dáng của kim phụ thuộc vào cấp chính xác của dụng cụ đo và vị trí đặt dụng cụ để quan sát. Hình 2-5 là một số loại kim chỉ thường dùng.



Hình 2 - 4. Dây căng và dây treo

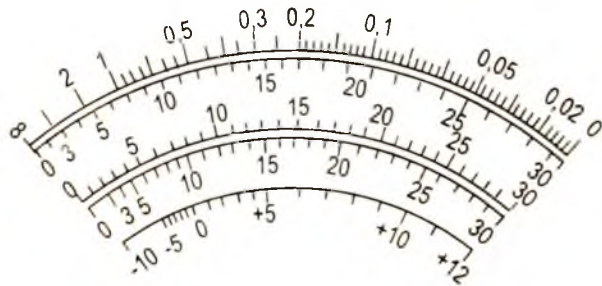


Hình 2 - 5. Các dạng kim chỉ thị

e) Thang đo

Thang đo là bộ phận để khắc độ các giá trị của đại lượng. Có nhiều loại thang đo khác nhau tùy thuộc vào cấp chính xác và bản chất của cơ cấu chỉ thị. Thang đo thường được chế tạo từ nhôm lá, trên mặt khắc vạch chia độ. Để tránh sai số khi đọc đôi khi người ta đặt gương phản chiếu phía dưới thang đo.

Hình 2-6 là một loại thang đo thường dùng.

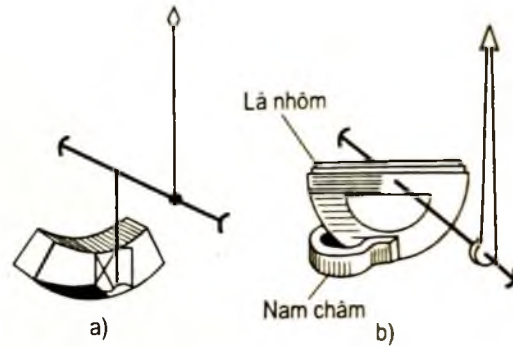


Hình 2 - 6. Thang đo

f) **Bộ phận cản diu:** là bộ phận để giảm quá trình dao động của phần động và xác định vị trí cân bằng

được nhanh chóng. Cân địn được phân thành 2 loại : cân địn không khí và cân địn cảm ứng từ .

+ Cân địn không khí có cấu tạo như hình 2-7a gồm một hộp kín trong đó có lá nhôm chuyển địn gắn liền với trục quay. Khi phần địn của cơ cấu chỉ thị chuyển địn, lá nhôm chuyển địn theo tạo nên lực cản làm giảm quá trình dao địn.



Hình 2 - 7. a) Cân địn không khí
b) Cân địn cảm ứng từ

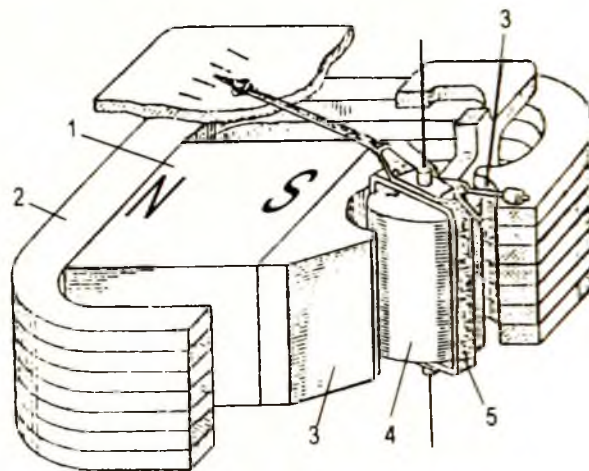
+ Cân địn cảm ứng từ gồm 1 lá nhôm mỏng có dạng hình quạt đi chuyển trong khe hở của nam châm vĩnh cửu (hình 2-7b). Khi lá nhôm chuyển địn, từ trường xuyên qua lá nhôm tạo nên dòng cảm ứng trong lá nhôm chống lại sự đi chuyển đó.

2.1.4. Cơ cấu chỉ thị từ địn

a) Cấu tạo

Cơ cấu chỉ thị từ địn gồm có hai phần cơ bản : phần tĩnh và phần địn (hình 2-8).

* Phần tĩnh gồm có : Nam châm vĩnh cửu 1, mạch từ 2, cực từ 3 và lõi sắt 4 hình thành mạch từ kín. Giữa cực từ 3 và lõi 4 có khe hở không khí.



Hình 2 - 8. Cơ cấu chỉ thị từ địn

* Phần địn gồm có : khung dây 5 được quấn bằng dây đồng có đường kính $0,03 \pm 0,07$ mm. Khung dây được gắn vào trục (hoặc dây căng, dây treo), quay và đi chuyển trong khe hở không khí giữa cực từ 3 và lõi 4.

Nam châm được chế tạo bằng các hợp kim vonfram, alnicô, hợp kim crôm v.v... Có trị số từ cảm từ $0,1 \div 0,12$ Tesla và từ $0,2 \div 0,3$ Tesla.

b) Nguyên lý làm việc

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 :

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} \quad (2-4)$$

W_e - năng lượng điện từ tỷ lệ với độ lớn của từ thông trong khe hở không khí và dòng điện chạy trong khung dây

$$W_e = \Phi I \quad (2-5) \quad \text{mà } \Phi = BSW\alpha \quad (2-6)$$

B - Độ từ cảm của nam châm vĩnh cửu

S - Tiết diện khung dây

W - Số vòng của khung

α - Góc lệch của khung khỏi vị trí ban đầu

Thay (2-5) vào (2-4) ta có :

$$M_q = \frac{d(\Phi I)}{d\alpha} = \frac{d(BSW\alpha I)}{d\alpha} = BSWI \quad (2-7)$$

Ở vị trí cân bằng, mômen quay bằng mômen cản

$M_q = M_c$, từ (2 - 2) và (2 - 7) ta có:

$$BSWI = D\alpha \text{ và } \alpha = \frac{1}{D} BSWI = S_1 I \quad (2-8)$$

Do B,S,W,D là hằng số nên góc lệch α tỷ lệ bậc nhất với dòng điện I.

Từ biểu thức (2-8) ta thấy cơ cấu từ điện chỉ có thể đo được dòng điện một chiều, thang đo đều nhau, độ nhạy $S_1 = \frac{1}{D} BWS$ là một hằng số không đổi. Cơ cấu từ điện dùng để chế tạo ampemét, vônmet, ômmét nhiều thang đo và có dải đo rộng; độ chính xác cao (cấp 0,1÷0,5).

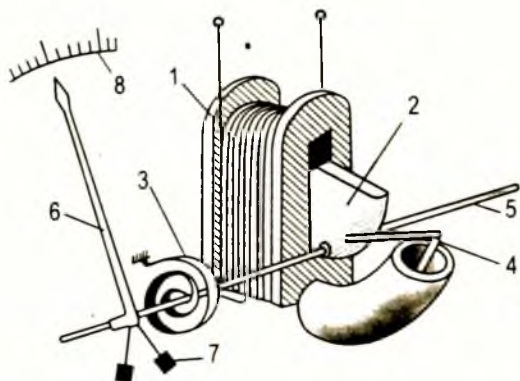
2.1.5. Cơ cấu chỉ thị điện từ

a) Cấu tạo

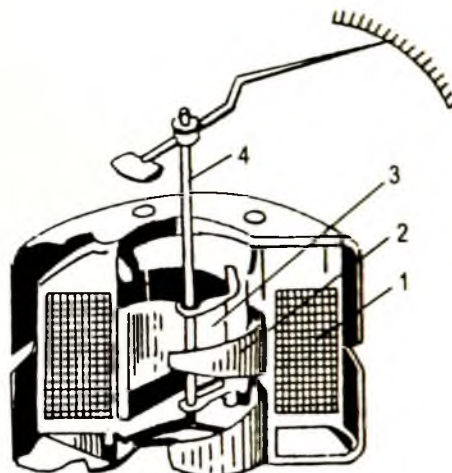
Cơ cấu chỉ thị điện từ được phân thành 2 loại : cuộn dây dẹt và cuộn dây tròn.

* Cuộn dây dẹt: phần tĩnh là một cuộn dây phẳng 1, bên trong có khe hở không khí (hình 2-9a). Phần động là: lõi thép 2 được gắn trên trục 5, lõi thép có thể quay tự do trong khe hở không khí.

* Cuộn dây tròn : phần tĩnh là cuộn dây có mạch từ khép kín 1 (hình 2-9b), bên trong bố trí tấm kim loại cố định 2, tấm động 3 gắn với trục quay.



Hình 2 - 9a. Cơ cấu chỉ thị từ điện cuộn dây dẹt
1-Cuộn dây dẹt. 2-Lõi thép. 3-Lò xo cân. 4-Cân dẹt.
5-Trục quay. 6-Kim chỉ. 7-Đổi trọng. 8-Thang đo.



Hình 2 - 9b. Cơ cấu chỉ thị từ điện cuộn dây tròn
1-Cuộn dây. 2-Tấm kim loại tĩnh.
3-Tấm kim loại động.

b) Nguyên lý làm việc

* Đối với cuộn dây dẹt: khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ tạo thành một nam châm điện hút lõi 2 vào khe hở không khí tạo thành mômen quay (M_q).

* Đối với cuộn dây tròn: 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 xuất hiện mômen quay (M_q).

$$\text{Ta có } M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

$$\text{trong đó } W_e = \frac{LI^2}{2} \quad (2-9)$$

L - điện cảm cuộn dây; I - là dòng điện chạy trong cuộn dây.

$$\text{Do đó } M_q = \frac{d\left(\frac{LI^2}{2}\right)}{d\alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad (2-10)$$

Khi ở vị trí cân bằng : $M_q = M_c$

$$\text{Ta có : } \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} = D\alpha$$

$$\text{và } \alpha = \frac{1}{2D} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad (2-11)$$

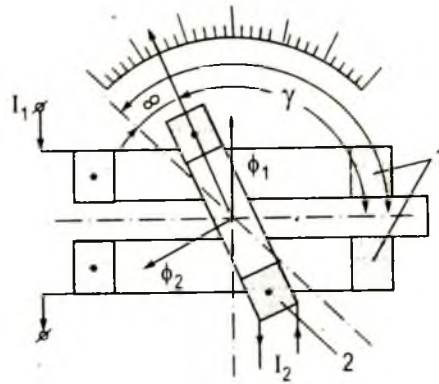
Từ biểu thức (2-11) ta thấy góc quay α của cơ cấu không phụ thuộc vào chiều dòng điện nên có thể đo được dòng điện một chiều và xoay chiều, thang đo không đều, tiêu thụ công suất lớn, độ chính xác không cao.

Cơ cấu chỉ thị điện từ được dùng chế tạo vônmet, amperemét trong mạch điện xoay chiều tần số công nghiệp với độ chính xác cấp I + 2.

2.1.6. Cơ cấu chỉ thị điện động

a) Cấu tạo

Cơ cấu chỉ thị điện động gồm có cuộn dây phân tĩnh 1 (hình 2-10) được chia thành hai phần nối tiếp nhau để tạo ra từ trường đều khi có dòng điện chạy qua. Phần động là khung dây 2 đặt trong cuộn dây tĩnh và gắn trên trục quay. Hình dáng cuộn dây có thể tròn hoặc vuông. Cả phần động và tĩnh được bọc kín bằng màn chắn từ để tránh ảnh hưởng của từ trường ngoài đến sự làm việc của cơ cấu chỉ thị.



Hình 2 - 10. Cơ cấu chỉ thị điện động

b) Nguyên lý làm việc: khi cho dòng điện chạy qua cuộn dây tĩnh, trong cuộn dây xuất hiện từ trường. Từ trường tác động lên dòng điện chạy trong khung dây và tạo nên mômen quay làm phần động quay đi một góc α :

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

Nếu dòng điện đi vào các cuộn dây là dòng một chiều I_1 và I_2 thì

$$W_e = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M_{12} I_1 I_2 \quad (2-12)$$

L_1, L_2 - điện cảm của cuộn dây tĩnh và động

M_{12} - Hố cảm giữa hai cuộn dây

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

Do L_1 và L_2 không thay đổi khi khung dây quay trong cuộn dây tĩnh do đó đạo hàm của chúng theo góc α bằng không và ta có :

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \quad (2-13)$$

Khi ở vị trí cân bằng $M_q = M_c$

$$I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = D\alpha, \quad \alpha = \frac{1}{D} I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (2-14a)$$

Khi cuộn dây tĩnh và cuộn dây động mắc nối tiếp nhau ta có $I_1 = I_2 = I$. Từ

$$(2-14a) \text{ ta có : } \alpha = \frac{1}{D} I^2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (2-14b)$$

* Với i_1 và i_2 là dòng xoay chiều ta có mômen quay tức thời

$$m_{qt} = i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (2-15)$$

và mômen quay trung bình trong một chu kì được tính theo biểu thức :

$$M_{qtb} = \frac{1}{T} \int_0^T m_{qt} dt \quad (2-16)$$

Nếu $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$, $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \varphi)$. Từ (2-15) và (2-16) ta có :

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

$$M_q = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi \quad (2-17)$$

φ - Góc lệch giữa I_1 và I_2 .

Ở điều kiện cân bằng $M_q = M_c$

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

$$\alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi \quad (2 - 18)$$

Từ (2 - 14a), (2-14b) và (2 - 18) ta thấy rằng cơ cấu điện động có thể dùng trong mạch một chiều và xoay chiều, thang đo không đều, có thể dùng để chế tạo vonmét, ampemét và oátmét có độ chính xác cao, với cấp chính xác 0,1 ÷ 0,2. Nhược điểm là tiêu thụ công suất lớn.

2.1.7. Ampemét một chiều

Ampemét một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Dòng cho phép qua cơ cấu đo từ $10^{-1} \div 10^{-2} A$. Điện trở của cơ cấu từ $20\Omega \div 2000\Omega$. Vì vậy,

khi sử dụng cơ cấu này để đo dòng điện lớn hơn dòng cho phép qua cơ cấu chỉ thị người ta phải mắc thêm một điện trở sun nối song song với cơ cấu chỉ thị. Sơ đồ cấu tạo như hình 2 - 11.

Điện trở sun được tính theo công thức

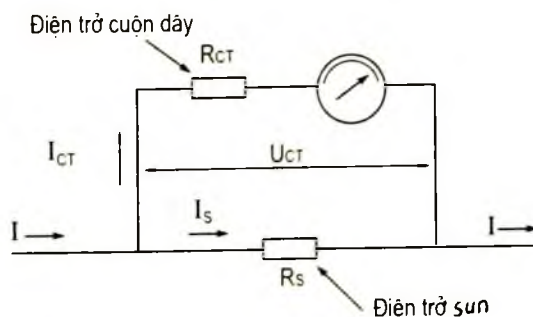
$$R_s = \frac{R_{ct}}{n - 1} \quad (2 - 19)$$

R_{ct} - điện trở của cơ cấu chỉ thị

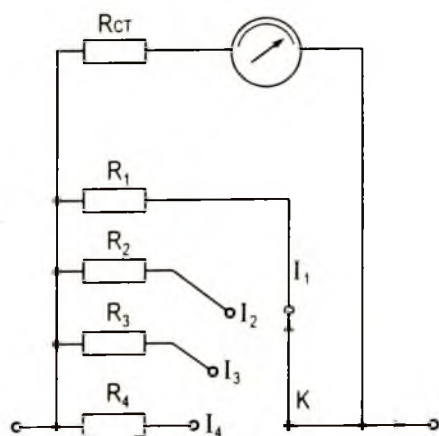
$n = \frac{I}{I_{ct}}$ - Hệ số mở rộng thang đo; I - dòng cần đo; I_{ct} - dòng cực

đại mà cơ cấu đo chịu được.

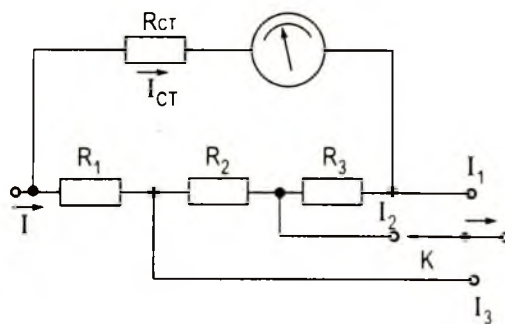
Khi ampemét có nhiều thang đo (hình 2-12), người ta mắc các điện trở R_1, R_2, R_3 như hình 2-12a hoặc hình 2-12b. Việc tính R_1, R_2, R_3 ứng với các dòng điện cần đo theo công thức (2-19). Các điện trở sun được chế tạo bằng Manganin có độ ổn định cao và độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu đo ít nhất là 1 cấp. (Ví dụ cơ cấu đo có độ chính xác cấp 0,5 thì sun phải có độ chính xác cấp 0,2).



Hình 2 - 11. Sơ đồ cấu tạo ampemét một chiều

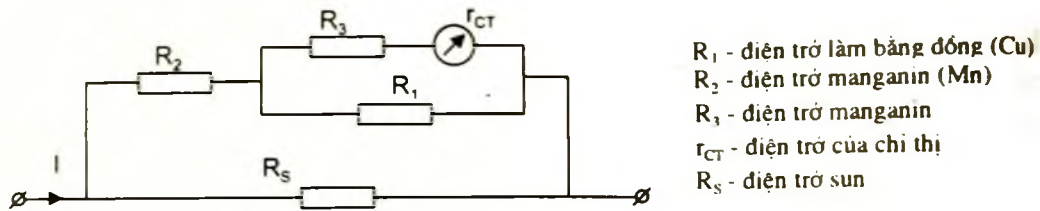


Hình 2 - 12a



Hình 2 - 12b

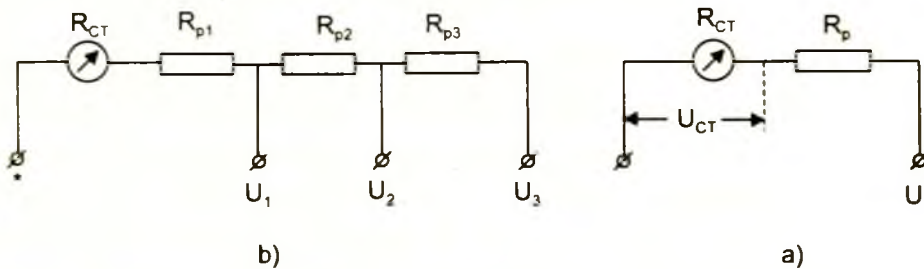
Do cuộn dây đồng của cơ cấu chỉ thị được quấn bằng dây đồng mảnh, điện trở của nó thay đổi đáng kể khi nhiệt độ của môi trường thay đổi, mặt khác do dòng điện chạy qua cuộn dây làm nung nóng cũng gây nên sự thay đổi điện trở. Để giảm ảnh hưởng của sự thay đổi điện trở cuộn dây khi nhiệt độ môi trường thay đổi người ta mắc thêm các điện trở bù bằng manganin hoặc constantan với cuộn dây cơ cấu đo như hình 2-13.



Hình 2 - 13

2.1.8. Vônmet một chiều

Vônmet một chiều được chế tạo cũng dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Điện áp định mức của chỉ thị vào khoảng $50 \div 75\text{mV}$. Muốn tạo thành vônmet có giới hạn đo lớn hơn người ta mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị những điện trở phụ bằng manganin (hình 2-14a).



Hình 2- 14. Vônmet nhiều thang đo

Giá trị của điện trở phụ được tính theo công thức

$$R_p = R_{ct} (m-1) \quad (2-20)$$

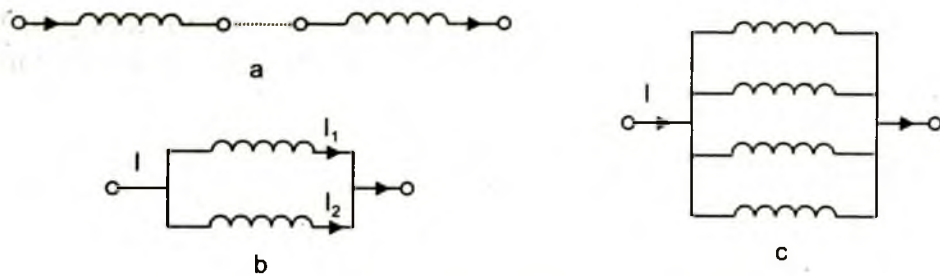
$$m = \frac{U}{U_{ct}} \quad \text{hệ số mở rộng thang đo.}$$

Để tạo thành vônmet có nhiều thang đo người ta mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị các điện trở phụ R_{p1}, R_{p2}, R_{p3} (hình 2 - 14b).

2.1.9. Các ampemét xoay chiều

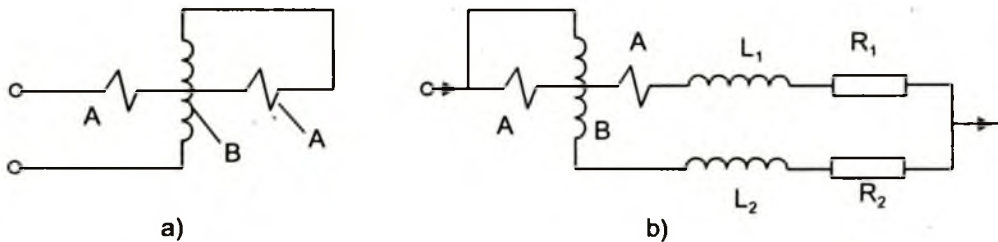
Để đo dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp, người ta thường dùng ampemét điện từ, điện động, sắt điện động và từ điện chỉnh lưu.

a) 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 cuộn dây tròn có $IW = 200\text{A}$ vòng, cuộn dẹt có $IW = 100 \div 150\text{A}$ vòng) do đó khi mở rộng thang đo chỉ cần thay đổi sao cho IW là hằng số bằng cách chia cuộn dây thành nhiều đoạn bằng nhau và thay đổi cách nối ghép các đoạn đó như hình 2-15a - đo dòng điện nhỏ, hình 2-15b - đo dòng điện trung bình, hình 2-15c đo dòng điện lớn.



Hình 2 - 15. Mở rộng thang đo của ampe mét điện từ

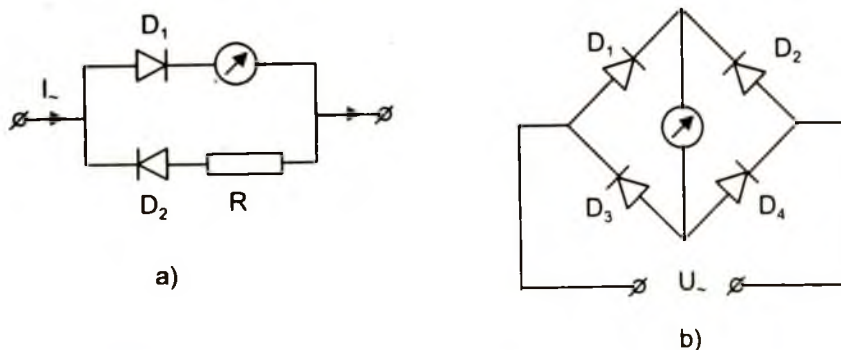
b) Ampe mét điện động: thường sử dụng đo dòng điện ở tần số 50 Hz hoặc cao hơn (400 ÷ 2000Hz) với độ chính xác cao (cấp 0,5 ÷ 0,2). Tùy theo dòng điện đo mà cuộn dây tĩnh và động được mắc nối tiếp hoặc song song hình 2-16.



Hình 2 - 16

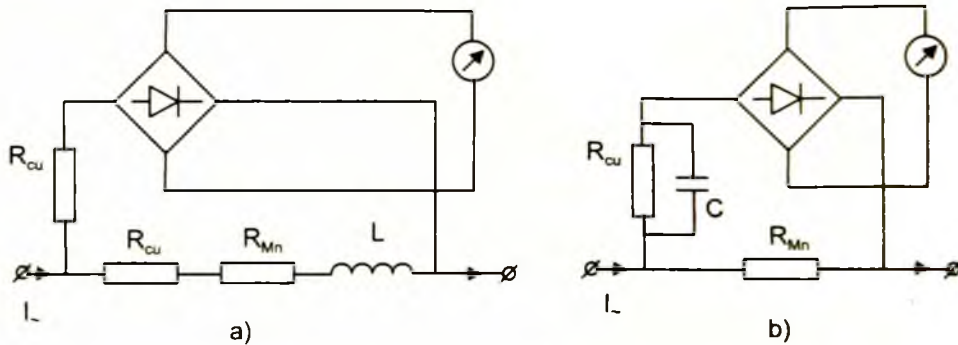
Với dòng điện nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn dây động và cuộn dây tĩnh (hình 2-16a), khi dòng lớn hơn 0,5A cuộn dây tĩnh và cuộn dây động được ghép song song như hình 2 - 16b. Ampe mét điện động có độ chính xác cao nên được sử dụng làm dụng cụ mẫu. Các phần tử R,L trong sơ đồ dùng để bù sai số tần số và tạo cho dòng điện ở hai cuộn dây trùng pha nhau.

c) Ampe mét chỉnh lưu: là dụng cụ đo dòng điện xoay chiều kết hợp giữa cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diốt. Hình 2-17a là mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ và 2-17b là mạch chỉnh lưu hai nửa chu kỳ.



Hình 2 - 17. a) Chỉnh lưu nửa chu kỳ; b) Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ

Nói chung các ampe mét chỉnh lưu có độ chính xác không cao do hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ, và thay đổi theo tần số vì vậy cần phải bù nhiệt độ và bù tần số. Hình 2-18 là các sơ đồ bù tần số của các ampe mét chỉnh lưu bằng cuộn cảm L và tụ C.



Hình 2 - 18. Các phương pháp bù tần số của ampe mét chỉnh lưu

Mặt khác các ampe mét từ điện chỉnh lưu được tính toán với dòng điện có dạng hình sin, hệ số hình dáng $k_{hd} = 1,1$

$$\alpha = \frac{BSW}{Dk_{hd}} I$$

Khi đo với các dòng điện không phải hình sin sẽ gây sai số. Ưu điểm của dụng cụ này là độ nhạy cao, tiêu thụ công suất nhỏ, có thể làm việc được với tần số từ 500 Hz ÷ 1 kHz. Nhược điểm là độ chính xác thấp (cấp chính xác 1 ÷ 1,5).

d) Ampe mét nhiệt điện: là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện như hình 2-19a. Cặp nhiệt điện gồm 2 thanh kim loại khác nhau được hàn với nhau tại một đầu gọi là đầu làm việc (t_1), 2 đầu kia được nối với milivôn mét gọi là đầu tự do (t_0).

Một số vật liệu được sử dụng làm cặp nhiệt điện là sắt - constantan, đồng - constantan, crom - alumen và platin - platin/ rôdi. Khi nhiệt độ đầu làm việc (t_1) khác nhiệt độ đầu tự do (t_0), cặp nhiệt điện sinh ra một sức điện động:

$$E_t = k_1 \theta^\circ \text{ với } \theta^\circ = t_1 - t_0 \text{ là hiệu nhiệt độ giữa 2 đầu } t_1 \text{ và } t_0. \quad (2 - 21)$$

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

$$\theta^\circ = k_2 I_x^2 \quad (2 - 22)$$

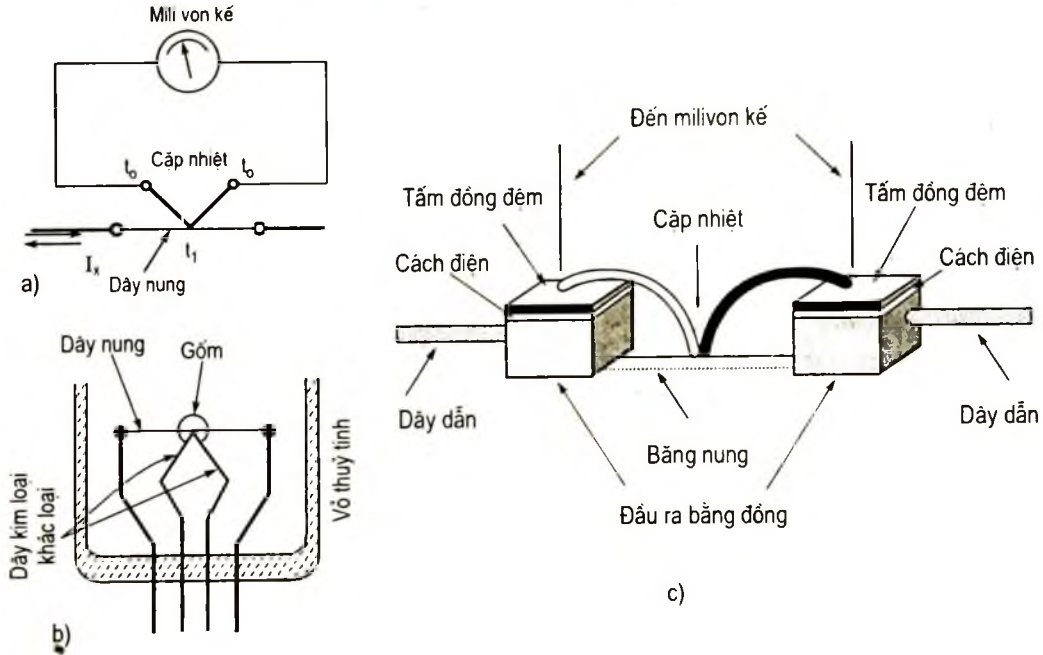
Từ (2-22) thay vào (2-21) ta được

$$E_t = k_1 k_2 I_x^2 = k I_x^2 \quad (2-23)$$

Sức điện động E_t được đo bằng milivôn-mét từ điện khi đó góc quay α được biểu diễn bằng biểu thức :

$$\alpha = kI_x^2$$

Hình 2-19b,c là cấu tạo của hai cặp nhiệt điện khác nhau. Hình 2-19b là cặp nhiệt được đặt trong một ống chân không để bảo vệ chỗ nối khỏi bị tổn hao nhiệt. Hình 2-19c là cặp nhiệt với vật dẫn nung phẳng, nhờ tấm đồng đệm và cách điện làm cho cặp nhiệt ít bị ảnh hưởng do nhiệt độ của môi trường.



Hình 2 - 19. a) Ampemét nhiệt điện. b,c) Cấu tạo cặp nhiệt điện

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.

2.1.10. Các vôn-mét xoay chiều

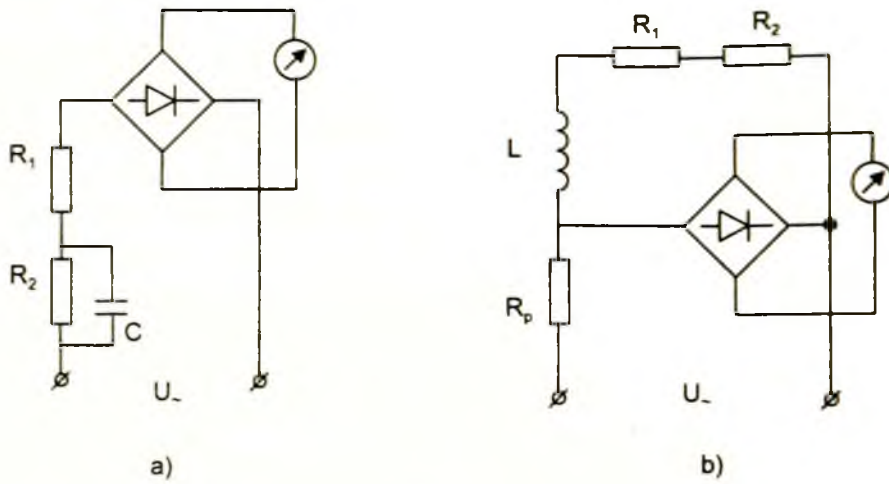
a) *Vôn-mét từ điện chỉnh lưu đo điện áp xoay chiều*: là dụng cụ được phối hợp mạch chỉnh lưu với cơ cấu từ điện (hình 2-20a,b).

Trong đó: R_1 - điện trở bù nhiệt độ làm bằng dây đồng.

R_2 - điện trở manganin.

L và C - điện cảm và điện dung bù tần số.

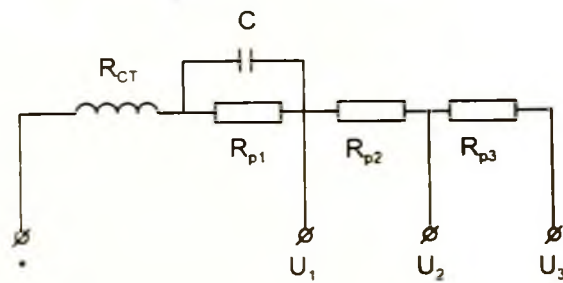
R_p - điện trở phụ.



Hình 2 - 20

Mở rộng thang đo ở vônmet từ điện chỉnh lưu cũng tương tự như vônmet từ điện một chiều.

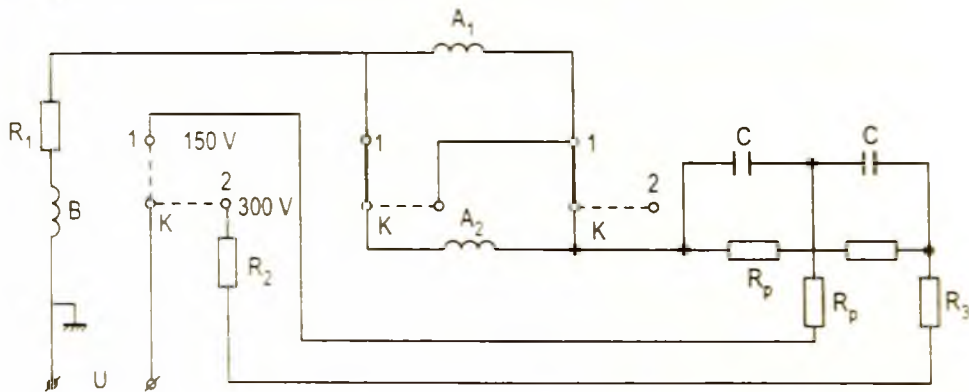
b) Vônmet điện từ: là dụng cụ dùng để đo điện áp xoay chiều tần số công nghiệp. Cuộn dây phân tinh có số vòng lớn từ 1000 ÷ 6000 vòng. Để mở rộng thang đo người ta mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ hình 2-21. Tụ C dùng để bù tần số khi đo ở tần số cao hơn tần số công nghiệp.



Hình 2 - 21

c) Vônmet điện động

Cấu tạo của vônmet điện động giống ampe mét điện động nhưng số vòng cuộn dây tinh lớn hơn, tiết diện dây nhỏ hơn.



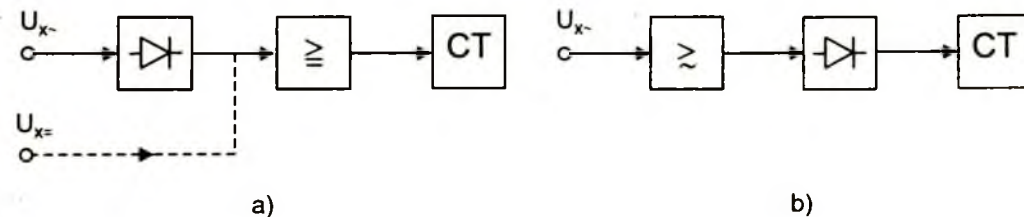
Hình 2 - 22 Vônmet điện động

Trong vônmet điện động cuộn dây tĩnh và cuộn dây động được mắc nối tiếp nhau. Cuộn dây tĩnh được chia thành 2 phần A_1 và A_2 (hình 2-22).

Khi đo điện áp nhỏ hơn hoặc bằng 150V ($U \leq 150V$) 2 đoạn A_1 và A_2 được mắc song song với nhau. Nếu điện áp $U > 150V$, các đoạn A_1 và A_2 được mắc nối tiếp nhau.

2.1.11. Vônmet và ampemét điện tử tương tự

Ngày nay nhờ sự phát triển của các mạch điện tử như khuếch đại tranzito, các bộ khuếch đại IC - opamp. Các dụng cụ đo được kết hợp giữa các bộ khuếch đại trên với các chỉ thị cơ điện đã khắc phục được các nhược điểm như tăng độ nhạy, tăng điện trở đầu vào, cấu tạo nhỏ gọn. Các thiết bị như vậy gọi là các dụng cụ điện tử. Về cấu trúc vônmet và ampemét điện tử gồm có bộ chỉnh lưu, khuếch đại và cơ cấu chỉ thị từ điện.



Hình 2 - 23 . Sơ đồ khối của các vônmet và ampemét điện tử

Hình 2-23a là sơ đồ vônmet một chiều và xoay chiều. Ưu điểm của sơ đồ này là dải tần rộng (20Hz ÷ MHz), nhược điểm là độ ổn định kém.

Hình 2 - 23b có ưu điểm độ ổn định cao nhưng dải tần làm việc bị hạn chế.

a) Hoạt động của tranzito

Tranzito là một linh kiện điện tử có ba đầu ra, có thể khuếch đại những điện áp nhỏ và có cấu tạo như hình 2-24 loại npn. Các đầu ra của tranzito là emitơ (E), bazơ (B) và colectơ (C), các dòng tương ứng với 3 đầu ra là dòng emitơ (I_E), dòng bazơ (I_B) và dòng colectơ (I_C); chiều của các dòng điện được qui ước như hình vẽ. Thông thường điện áp bazơ-emitơ (U_{BE}) là 0,7V với loại silic và 0,3 V đối với gecmani và điện áp giữa colectơ-emitơ (U_{CE}) từ 3 ÷ 15V.

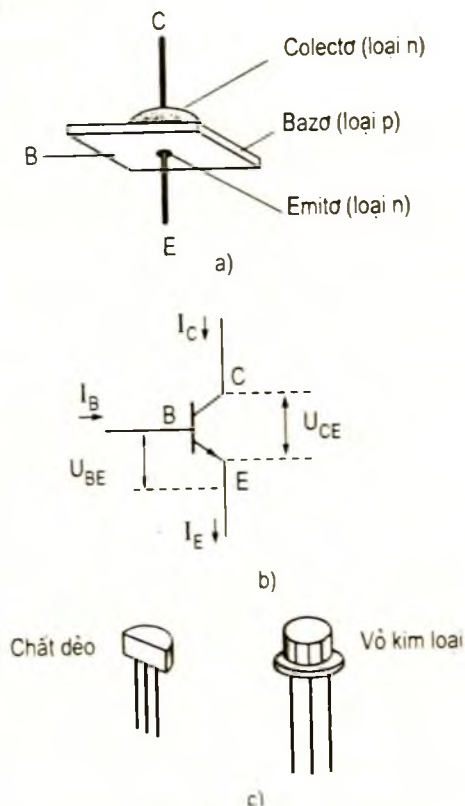
Dòng colectơ lớn hơn dòng bazơ 50 đến 200 lần

$$I_C = h_{FE} I_B \quad (2-24)$$

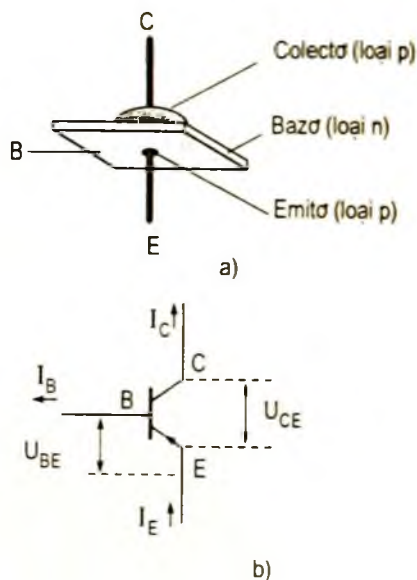
Với h_{FE} - hệ số khuếch đại dòng emitơ chung bằng 50 ÷ 200 lần .

$$I_E = I_C + I_B \text{ hoặc } I_E \approx I_C \quad (2-25)$$

Dòng I_C và I_E có thể thay đổi từ $100\mu A \div 10mA$, I_B thông thường trong khoảng $5\mu A \div 100\mu A$.



Hình 2 - 24 . Tranzito loại npn
 a) Cấu tạo của tranzito loại npn.
 b) Kí hiệu các đầu ra.
 c) Hình dáng thực của tranzito



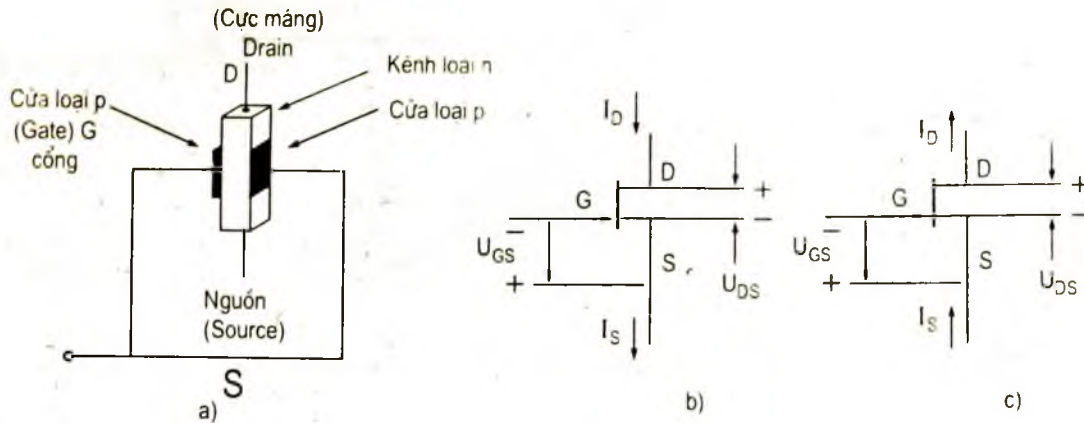
Hình 2 - 25 . Tranzito loại pnp
 a) Sơ đồ cấu tạo.
 b) Kí hiệu.

Hình 2-25 là cấu tạo và ký hiệu của tranzito loại pnp. Tranzito loại này hoạt động giống như loại npn nhưng chiều dòng điện và điện áp đều đảo lại.

b) Tranzito hiệu ứng trường (FET)

Cấu tạo của một FET kênh n như hình 2-26a. Các đầu ra gồm có cực máng (D), cực nguồn (S) và cực cửa (G) và ký hiệu của nó (hình 2-26b).

Khi cực G của FET hở, cực D dương hơn so với cực nguồn S, dòng I_D chạy theo chiều qui ước từ D đến S. Cũng dòng đó ra khỏi cực S và gọi là I_S . Nếu đầu ra của cực G được định thiên âm so với D thì I_D giảm dần khi U_{GS} tăng lên. Do cực G là đầu vào nên U_{GS} điều khiển I_D và I_S . Với loại FET dòng nhỏ U_{DS} thường từ $5 \div 25V$; I_D và I_S trong khoảng $100\mu A \div 10mA$ trong khi đó U_{GS} thay đổi từ $0 \div -8V$.



Hình 2 - 26 . Tranzito loại trường. a) Cấu tạo
 b) Tranzito trường kênh n c) Tranzito trường kênh p

Ở điều kiện làm việc bình thường dòng I_G vào khoảng $50\mu A$. Từ đó cho thấy FET có điện trở vào lớn. Một loại tranzito trường khác (MOSFET) có điện trở vào còn lớn hơn. Cũng như tranzito, FET có thể có kênh p và kênh n (hình 2-26b và c).

c) Vônmet bán dẫn một chiều

* Hình 2-27a là sơ đồ một vônmet đơn giản có mạch gánh emitơ. Đầu vào là một tranzito được cung cấp bằng nguồn điện một chiều. Cực dương của nguồn nối với colectơ của tranzito, đầu âm nối với chỉ thị và emitơ.

Điện trở R_p và điện trở R_{ct} là điện trở phụ và điện trở của chỉ thị. Điện áp E (cần đo) được mắc vào bazơ của tranzito (cực dương) và cực âm nối đất.

Giả sử $U_{cc} = 20V$; $R_p + R_{ct} = 9,3 k\Omega$ và $I_{ct} = 1mA$ (toàn thang đo). Điện áp cần đo $E = 10V$. Ta có $U_{BE} = 0,7V$ (tranzito silic) như chiều mũi tên (hình 2-27a), như vậy áp đầu ra emitơ của tranzito thấp hơn áp ở bazơ là $0,7V$.

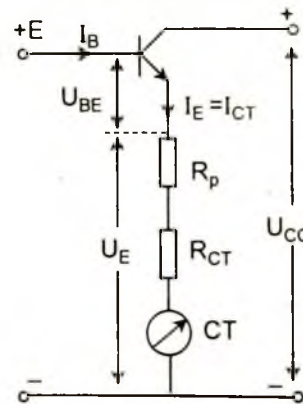
$$U_E = E - U_{BE} \quad (2-26)$$

$$U_E = 10V - 0,7V = 9,3V.$$

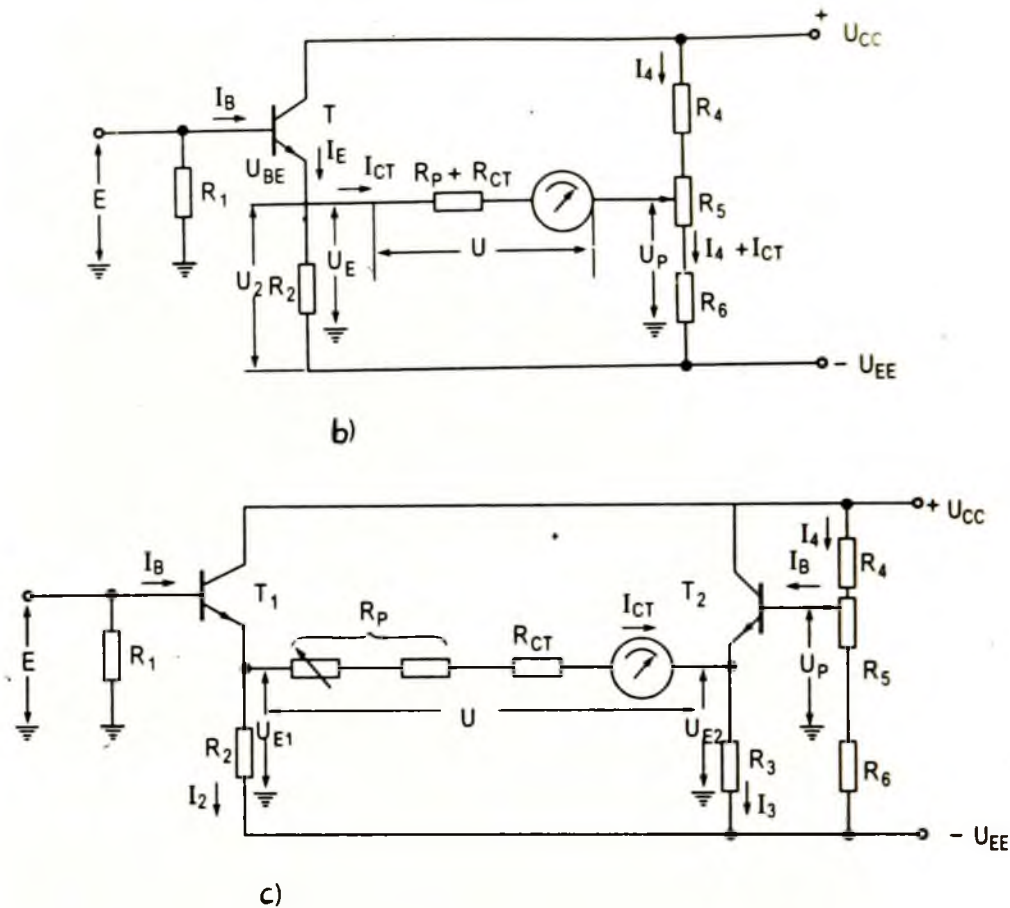
Dòng chỉ thị I_{ct} là dòng emitơ (I_E) ta có

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

Từ (2-24) và (2-25) suy ra $I_B \approx \frac{I_E}{h_{EF}}$



Hình 2-27a



Hình 2 - 27 . Vônmet bán dẫn một chiều

Giả thiết rằng $h_{EF} = 100$ ta có $I_B = \frac{1mA}{100} = 10\mu A$

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

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

Từ đó thấy rằng điện trở của vôn kế khi dùng mạch gánh emitter được tăng lên đáng kể.

Trong thực tế để tránh độ sụt áp U_{BE} của tranzito gây nên sai số ở vôn kế hình 2-27a người ta sử dụng mạch như hình 2-27b, c. Ở đây các điện trở R_6, R_5, R_4 dùng để tạo thành bộ phân áp cho điện áp U_p điều chỉnh được. T_1 và T_2 là 2 tranzito giống nhau mắc colectơ chung nối với cực dương của nguồn U_{CC} . R_1 - điện trở định thiên đảm bảo cho bazơ của T_1 ở thế đất khi điện áp vào $E = 0$.

R_2, R_3 - điện trở gánh emitor của T_1 và T_2 (hình 2-27c); R_p - điện trở điều chỉnh thang đo của chỉ thị, R_{ct} - điện trở của chỉ thị.

Nguồn cung cấp là nguồn lưỡng cực ($+U_{cc}$ và U_{EE}), $U_{cc} = 12V$; $U_{EE} = -12V$ là những nguồn điện áp thông thường, nguyên lý làm việc của mạch như sau:

Khi không có điện áp vào ($E=0$) bazơ của T_1 ở thế đất $U_{B1} = 0$ điện áp emitor của T_1 là: $U_{E1} = U_{B1} - U_{BE} = -U_{BE}$ (2 - 27)

Và $U_{R2} = U_{E1} - U_{EE} = -U_{BE} - (-U_{EE}) = -U_{BE} + U_{EE}$ (2 - 28)

Tiếp điểm tại R_5 được điều chỉnh để $U_p = U_{B1} = U_{B2} = 0V$ (ở thế đất), T_1 và T_2 là 2 tranzito giống nhau nên $U_{E1} = U_{E2}$ do đó $U_{R2} = U_{R3}$ và điện áp

$$U = U_{E1} - U_{E2} = 0.$$

Bây giờ giả sử điện áp đo E khác 0. Điện áp rơi trên emitor của T_1 là :

$$U_{E1} = E - U_{BE} \quad (2 - 29) \text{ và điện áp rơi trên điện trở } R_2$$

$$U_{R2} = U_{E1} - U_{EE} \quad (2 - 30)$$

Do $U_{E1} > U_{E2}$ (U_{E2} không đổi). Nên điện áp rơi trên chỉ thị $U = U_{E1} - U_{E2} > 0$ và tỷ lệ với điện áp đo E .

Ưu điểm của vônmet loại này là tăng được điện trở đầu vào, điện trở ra của vônmet thấp nhưng không tăng độ nhạy của dụng cụ.

* Để đo những điện áp nhỏ hơn (mV) người ta thường sử dụng vônmet khuếch đại vi sai (hình 2 - 28). Các tranzito T_1 và T_2 và các điện trở R_2, R_5, R_4 tạo thành một bộ khuếch đại vi sai, R_3 dùng để điều chỉnh không ban đầu. Khi cả hai bazơ T_1 và T_2 đều ở mức không thì độ sụt áp trên điện trở R_4 là:

$$U_{R4} = 0 - U_{BE} - (-U_{EE})$$

$$\text{Dòng điện qua } R_4 \text{ là } I_{E1} + I_{E2} = \frac{U_{R4}}{R_4}$$

Các dòng emitor I_{E1} và I_{E2} bằng nhau khi $E = 0$ vì $I_C \approx I_E$

$$I_{C1} = I_{C2} \approx (I_{E1} + I_{E2})/2$$

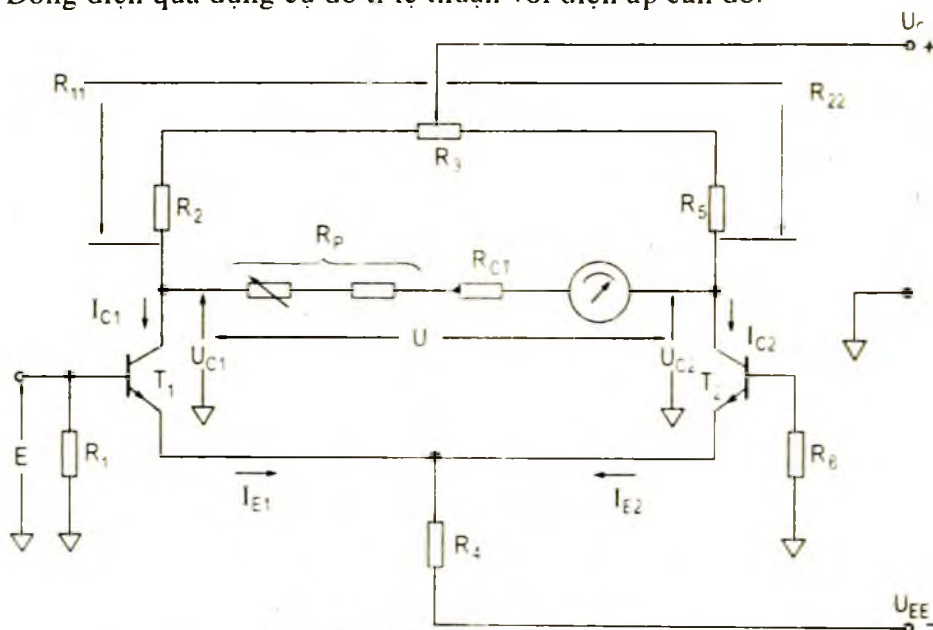
Độ sụt áp trên R_{11} và R_{22} : $U_{R11} = I_{C1}R_{11}$ và $U_{R22} = I_{C2}R_{22}$

$$\text{trong đó } R_{11} = (R_2 + \frac{R_3}{2}) \text{ và } R_{22} = (R_5 + \frac{R_3}{2})$$

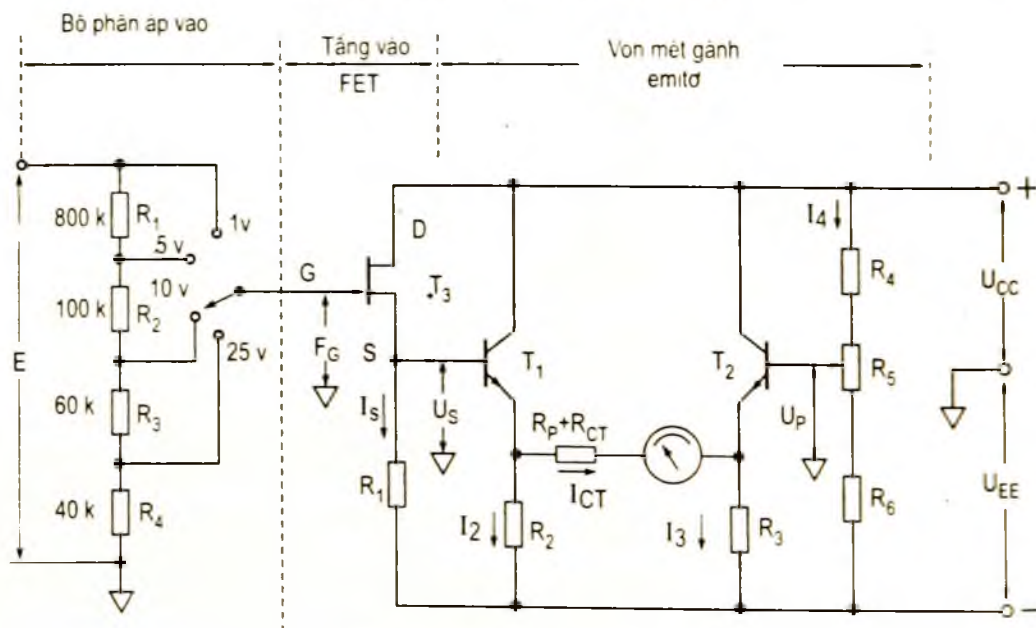
Điện áp colectơ mỗi tranzito là: $U_{C1} = U_{CC} - I_{C1}R_{11}$ và $U_{C2} = U_{CC} - I_{C2}R_{22}$

Và điện áp rơi trên chỉ thị là : $U = U_{C1} - U_{C2}$

Khi $E = 0$, $I_{C1} = I_{C2}$ và $U_{C1} = U_{C2}$ do đó $U = 0$. Khi $E \neq 0$ dòng điện qua T_1 tăng lên và dòng qua T_2 giảm đi, I_{C1} tăng khiến cho $I_{C1}R_{11}$ tăng và làm cho U_{C1} giảm. Tương tự I_{C2} giảm làm cho U_{C2} tăng do đó U tỉ lệ với điện áp vào E . Dòng điện qua dụng cụ đo tỉ lệ thuận với điện áp cần đo.



Hình 2 - 28 . Vônmet khuếch đại vi sai.

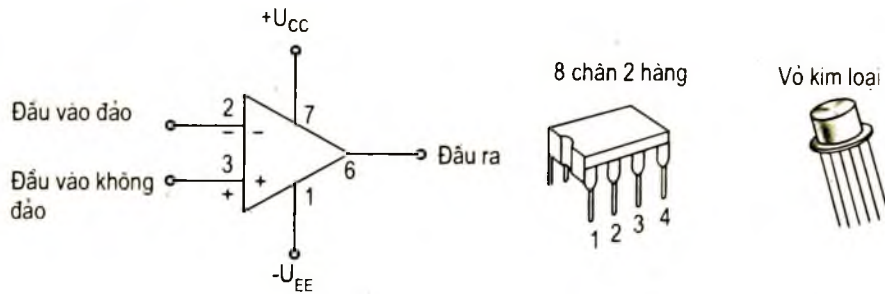


Hình 2 - 29 . Vônmet có tăng vào FET.

Khi cần tăng điện trở đầu vào của vônmet người ta sử dụng 1 tranzito trường (FET) mắc ở đầu vào của vônmet như hình 2-29. Bởi vì dòng cực G của FET nhỏ hơn $50 \mu\text{A}$ nên điện trở tối đa $1 \text{ M}\Omega$ thường được dùng để định thiên cực G của FET tới mức điện áp bằng không.

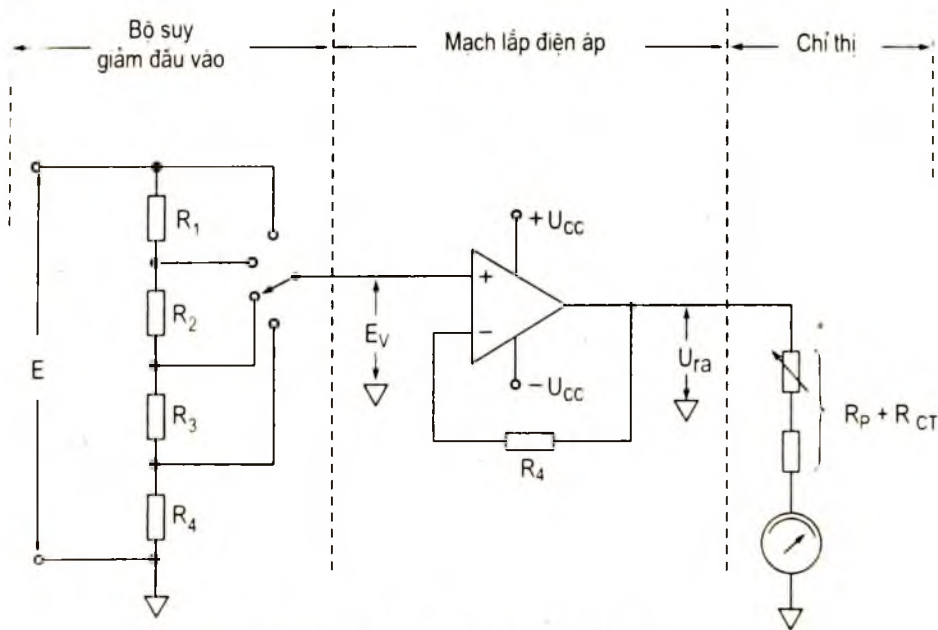
d) Von mét 1 chiều dùng IC-opamp

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 rất thấp và hệ số khuếch đại rất lớn cỡ 200.000, dòng điện đầu vào cỡ $0,2 \mu\text{A}$ hoặc nhỏ hơn. Nguồn cung cấp $\pm 5\text{V} \div \pm 22\text{V}$. Hình 2-30 là kí hiệu mạch IC-opamp thông thường.



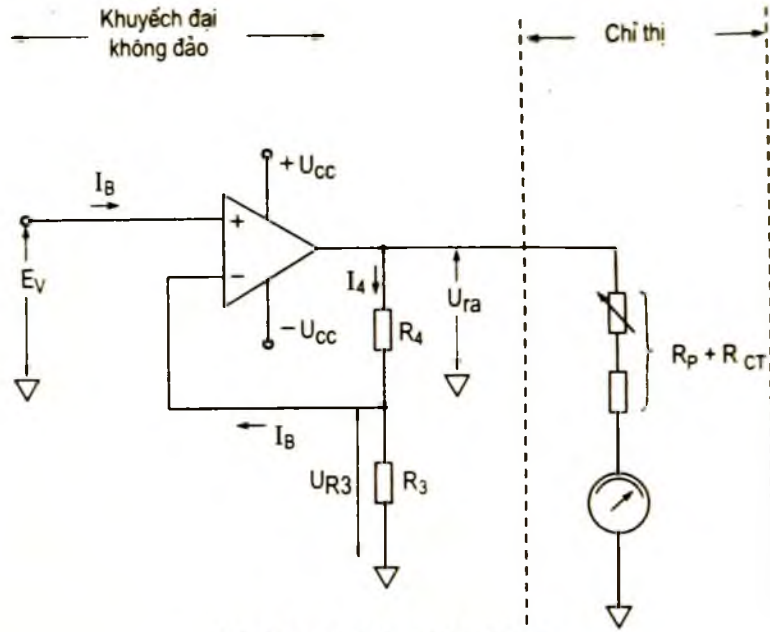
Hình 2 - 30 . IC-opamp và kí hiệu

Hình 2-31 là sơ đồ của 1 vôn mét mạch lặp lại điện áp, sử dụng IC có hệ số khuếch đại 200.000. Điện áp trực tiếp tác động ở đầu vào không đảo lớn nhất $E = 1\text{V}$.



Hình 2 - 31 . Vônmet mạch lặp điện áp.

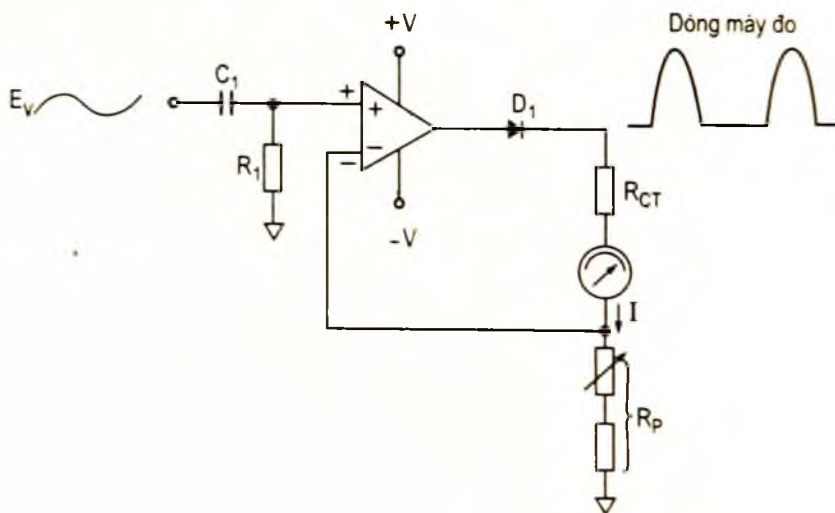
Để đo những điện áp nhỏ hơn người ta dùng loại vôn mét khuếch đại IC-opamp như hình 2-32.



Hình 2 - 32 . Vôn mét khuếch đại.

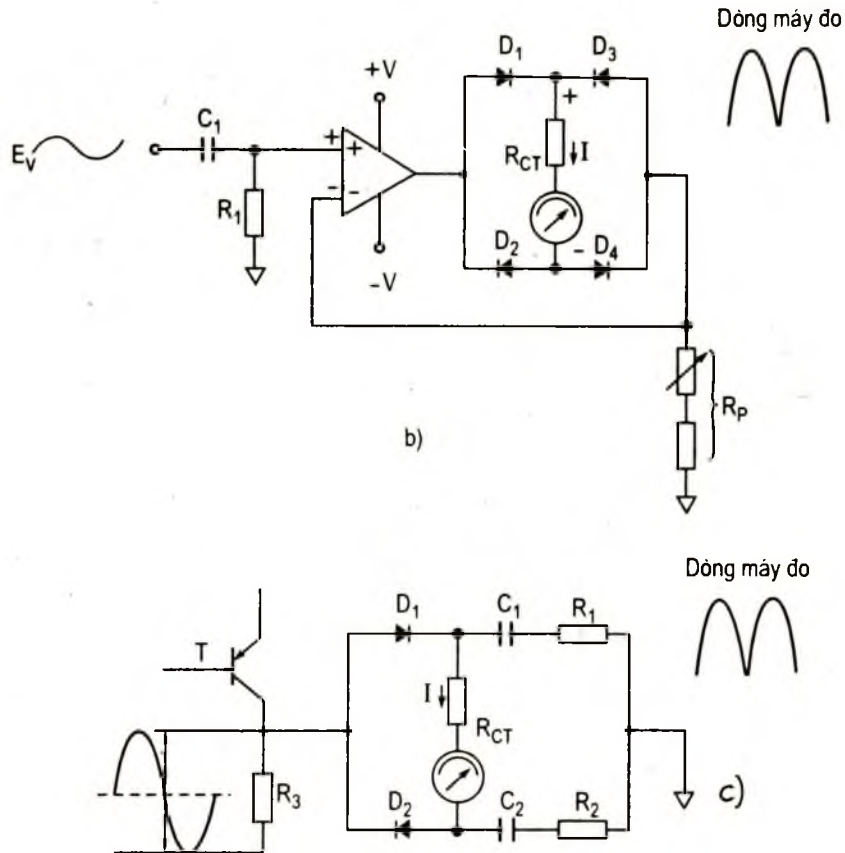
e) Vôn mét điện tử dòng xoay chiều

Khi cần đo điện áp xoay chiều ta có thể sử dụng các mạch chỉnh lưu trước khi đưa vào dụng cụ đo. Chỉnh lưu có thể thực hiện chỉnh lưu nửa chu kỳ và cả chu kỳ. Hình 2-33 là mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ (a) và cả chu kỳ (b,c) dùng cho vôn mét điện tử xoay chiều.



Hình 2-33a. Chỉnh lưu nửa chu kỳ

Nguyên lí làm việc của các vônmet xoay chiều hoàn toàn giống như các vônmet điện tử một chiều. Đặc điểm và dải đo cũng tương tự như loại dụng cụ một chiều. Nhược điểm của các dụng cụ điện tử là độ chính xác không cao (cấp 1 ÷ 1,5), dải tần hẹp và độ ổn định thấp do đặc tính làm việc phi tuyến của các điốt và do ảnh hưởng nhiệt độ môi trường.



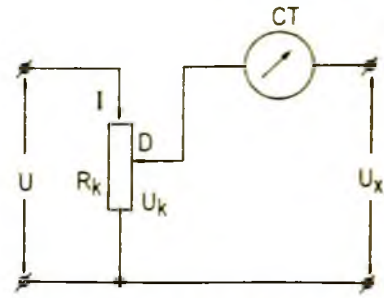
Hình 2 - 33b,c. Chính lưu cả chu kì

2. 2. 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 (Còn gọi là phương pháp bù). Nguyên lí cơ bản của phương pháp được mô tả như hình (2 - 34). Điện áp U_k (điện áp mẫu) có độ chính xác cao được tạo bởi dòng điện I (ổn định) qua điện trở mẫu R_k : $U_k = IR_k$. Chỉ thị không là dụng cụ phát hiện sự chênh lệch điện áp $\Delta U = U_x - U_k$ (có độ nhạy cao). Khi ΔU khác không điều chỉnh con

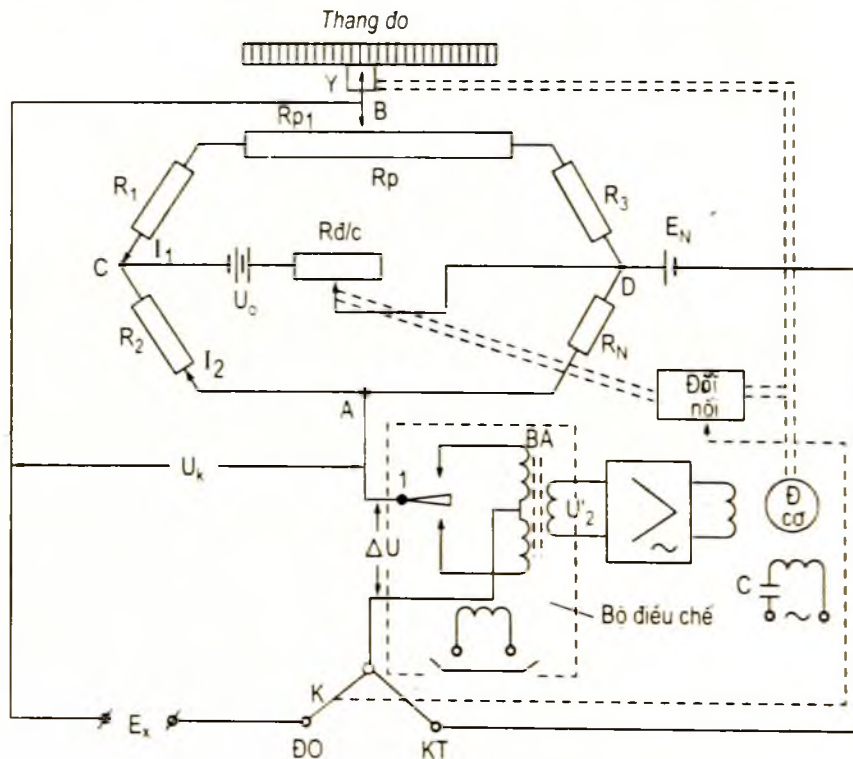
chạy D của điện trở mẫu R_k sao cho $U_x = U_k$ tức là $\Delta U = 0$. Trên điện trở mẫu R_k người ta khắc độ giá trị điện áp đo.

Các dụng cụ đo điện áp bằng phương pháp so sánh gọi là điện thế kế. Có nhiều loại điện thế kế nhưng trong thực tế người ta thường dùng điện thế kế một chiều tự động cân bằng để đo sức điện động của các cặp nhiệt điện đo nhiệt độ (hình 2 - 35).



Hình 2 - 34 . Mạch so sánh điện áp

Mạch chính của điện thế kế là mạch cầu gồm có R_p là biến trở, R_N - điện trở mẫu có độ chính xác cao và các điện trở R_1, R_2, R_3 . Cầu được cung cấp bằng nguồn U_0 và điều chỉnh dòng làm việc qua điện trở điều chỉnh $R_{d/c}$. Ngoài ra mạch còn có bộ điều chế thực hiện biến điện áp một chiều ở đầu ra của cầu (ΔU) thành điện áp xoay chiều. Động cơ thuận nghịch hai chiều để kéo con chạy R_p . Trước khi đo khóa K được đặt ở vị trí kiểm tra (KT). Khi đó dòng điện I_2 chạy qua điện trở mẫu R_N và điện áp ra $\Delta U = E_N - I_2 R_N$ thông qua bộ điều chế và đưa đến khuếch đại xoay chiều cung cấp cho động cơ thuận nghịch.



Hình 2 - 35 . Điện thế kế một chiều tự động

Động cơ này quay và kéo con chạy của điện trở điều chỉnh ($R_{d/c}$) làm thay đổi dòng điện I_2 cho đến khi $\Delta U = 0$. Mặt khác động cơ điện cũng kéo theo con chạy của R_p để đưa con chạy và kim chỉ trên thang đo về vị trí cân bằng ban đầu.

Khi đo khóa K đặt về vị trí ĐO. Do đó điện áp ra:

$$\Delta U = E_x - U_k$$

$$\text{mà } U_k = I_1(R_1 + R_{p1}) - I_2R_2 \quad (U_k - \text{điện áp mẫu})$$

Nếu $E_x > U_k$, $\Delta U > 0$; điện áp ΔU được đưa đến động cơ thuận nghịch để kéo con chạy R_p và tăng điện áp U_k lên cho đến khi $\Delta U = E_x - U_k = 0$ (trường hợp $U_k > E_x$ động cơ sẽ quay ngược lại). Vị trí của con chạy và kim chỉ xác định giá trị của điện áp đo E_x .

Việc điều chỉnh dòng làm việc chỉ thực hiện một lần và không thay đổi trong suốt quá trình làm việc. Ưu điểm của dụng cụ này là thực hiện tự động quá trình đo và tự ghi, do đó có thể theo dõi và ghi lại kết quả đo trong một thời gian dài.

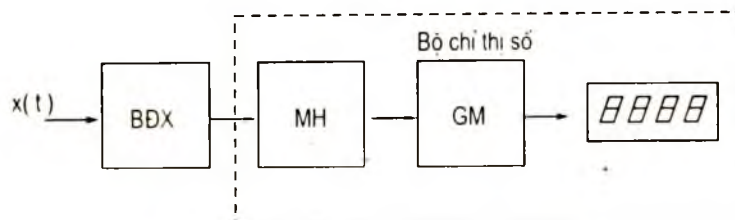
2.3. VÔNMÉT SỐ

Vônmét số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng các con số. Tùy thuộc vào phương pháp biến đổi người ta phân thành :

- Vônmét số chuyển đổi thời gian.
- Vônmét số chuyển đổi tần số.
- Vônmét số chuyển đổi bù.

2.3.1. Chỉ thị số

a) Nguyên lí của chỉ thị số



Hình 2 - 36 . Sơ đồ khối của bộ chỉ thị số

Hình 2 - 36 là sơ đồ khối của bộ chỉ thị số. Đại lượng đo $x(t)$ qua bộ biến đổi thành xung (BĐX), số xung N tỉ lệ với độ lớn $x(t)$ được đưa vào 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.

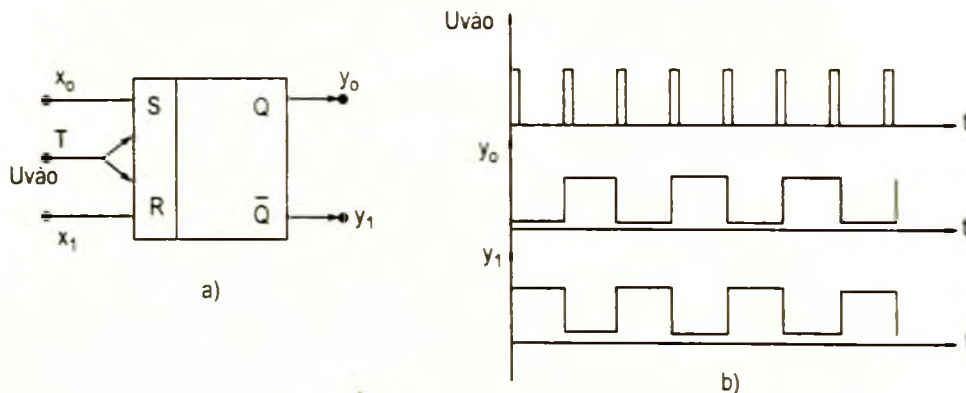
b) Mã số

Mã số là những kí hiệu về một tập hợp số, từ tổ hợp của các kí hiệu ta có thể đọc được bất kì số nào.

Có các loại mã số sau :

- Mã cơ số 10, đó là hệ đếm thập phân có 10 kí tự từ 0,1,2...9.
- Mã cơ số 2 là loại mã có 2 trạng thái được kí hiệu 0 và 1 (còn gọi là mã nhị phân).
- Mã 2-10 (còn gọi là mã BCD) là sự liên hệ giữa mã cơ số 2 và mã cơ số 10 để dễ quan sát và dễ đọc.

Để thực hiện mã số người ta thường dùng các bộ trigơ. Hình 2-37 là sơ đồ của một trigơ gồm 2 đầu vào S và R, và 1 đầu vào chung T, 2 đầu ra Q và \bar{Q} với tín hiệu ra y_0 và y_1 .



Hình 2 - 37 . a) Trigơ b) Tín hiệu vào ra của trigơ

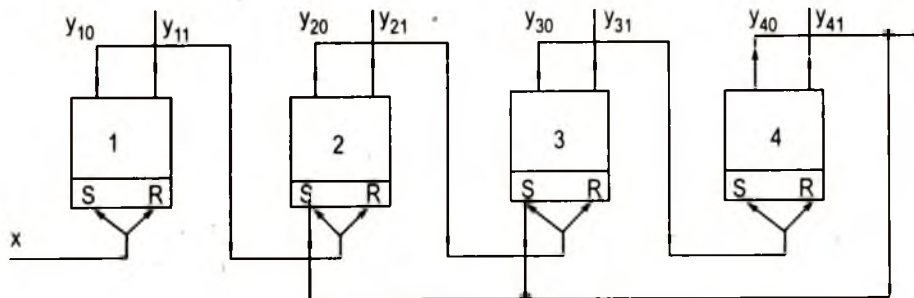
c) Mạch đếm

Có nhiều loại mạch đếm như mạch đếm thang mười sáu, mạch đếm thang mười v.v, trong thực tế với các chỉ thị số 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 2-38a.

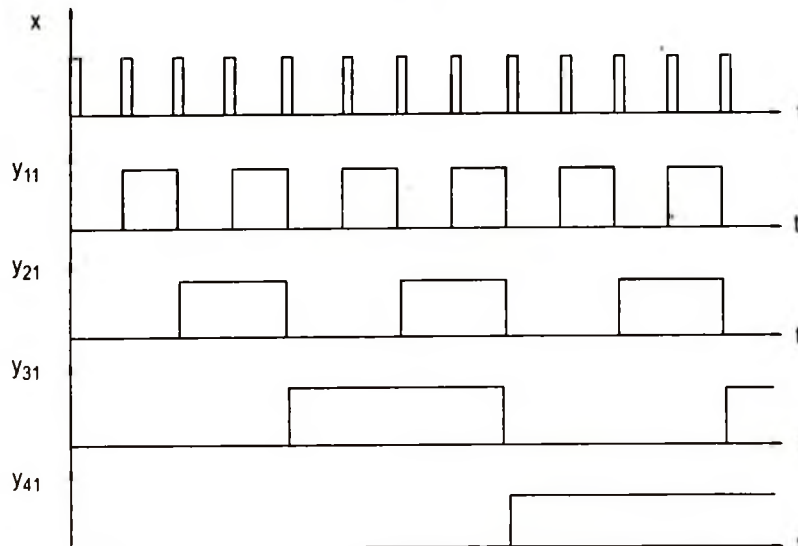
Do mắc 4 trigơ nối tiếp, nếu thực hiện đếm bình thường có thể tới 16 số, để chỉ đạt tới 10 số với 4 trigơ cần phải thêm khâu phản hồi, khi đếm đến 9 xung tất cả các trigơ đều chuyển về trạng thái 1 và ở xung thứ 10, các trigơ trở về 0. Bảng 2-1 cho thấy trạng thái ở đầu ra của các trigơ với mạch đếm 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



a)



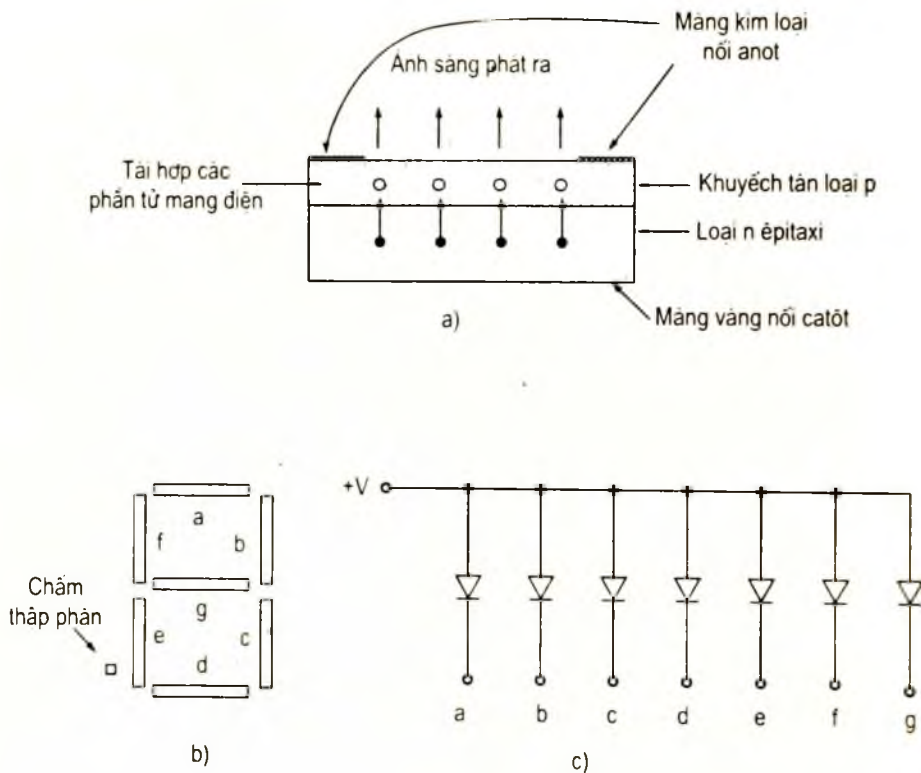
b)

Hình 2 - 38 . Sơ đồ logic của bộ đếm thập phân và biểu đồ các đầu ra

d) Bộ hiện số (chỉ thị số)

+ Hiện số bằng diot phát quang

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 ở 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 diot phát quang, LED). Hình 2 - 39a là mặt cắt của LED thông thường và hình 2 - 39b là cách bố trí bộ hiện số LED bảy thanh. Các đèn LED này có anốt chung hình 2 - 39c (hoặc tất cả các catốt chung). Độ sụt áp trên LED định thiên thuận là 1,2V và dòng điện thuận khoảng 20mA.



Hình 2 - 39 . Bộ hiện số bảy thanh.

+ Đèn hiện số tinh thể lỏng (LCD)

Hình 2 - 40 là cấu tạo của đèn hiện số tinh thể lỏng.

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

tủa ở mặt trong. Dòng toàn phần dùng để kích hoạt tinh thể lỏng khoảng $300\mu A$, nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều (hình sin hoặc vuông).



Hình 2 - 40 . Cấu tạo ô tinh thể lỏng và bộ hiển số bảy thanh
 a) Cấu tạo b) Bộ hiển số bảy thanh

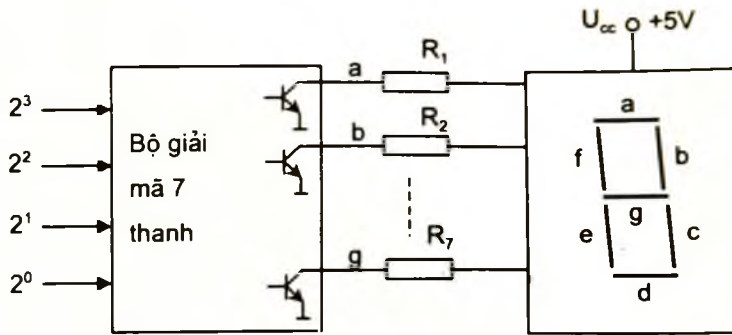
e) Bộ giải mã: là thiết bị dùng để biến đổi từ mã cơ số 2 hoặc mã 2 - 10 thành mã cơ số 10, nghĩa là thể hiện ra dưới dạng số thập phân. Ngày nay các bộ giải mã được chế tạo dưới dạng vi mạch (hình 2 - 41).

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

Bảng 2 - 2 minh họa sự làm việc của bộ giải mã bảy thanh.

Bảng 2-2

Chữ số	Đầu vào mã nhị phân				Đầu ra LED bảy thanh						
	2^3	2^2	2^1	2^0	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
6	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
7	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
8+Ph	1	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> 1 1 </div>		0	1	1	1	1	1	1	1
		Ph									
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

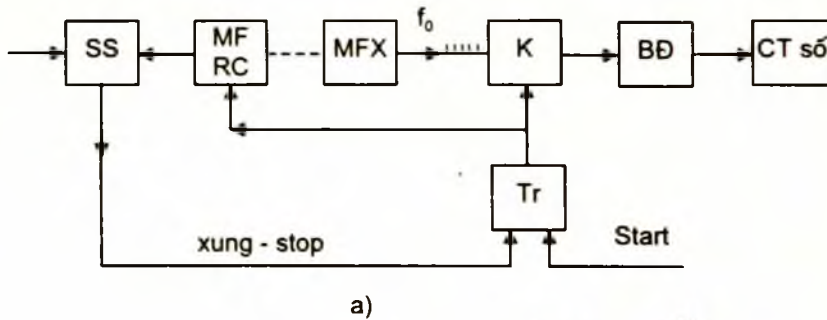


Hình 2 - 41 . Bộ giải mã bảy thanh.

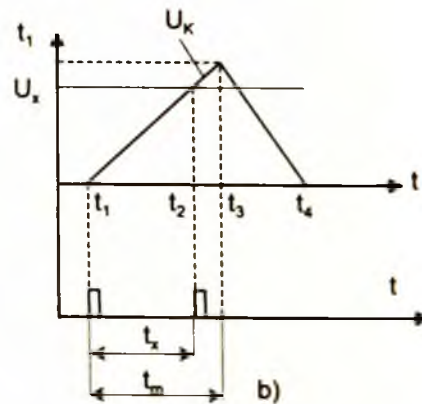
2-3-2. Vôn mét số

a) *Vôn mét số chuyển đổi thời gian*: đó là các loại vôn mét biến đổi điện áp cần đo (U_x) thành khoảng thời gian (t) sau đó lấp đầy khoảng thời gian t bằng các xung có tần số chuẩn (f_0). Bộ đếm được dùng để đếm số lượng xung (N) tỉ lệ với U_x để suy ra U_x .

Hình 2-42a là sơ đồ khối của vôn mét chuyển đổi thời gian - xung và biểu đồ điện áp hình 2 - 42b.



- SS - bộ so sánh
- MFRC - máy phát xung răng cưa
- MFX - máy phát xung chuẩn
- K - Khoá điện tử
- BĐ - Bộ đếm
- Tr - Trigơ



Hình 2 - 42 . a) Sơ đồ khối của vôn mét chuyển đổi thời gian - xung
b) Biểu đồ điện áp

Nguyên lí làm việc như sau :

Khi mở máy (start) xung khởi động tác động lên trigơ để mở khoá K và khởi động máy phát xung răng cưa (MFRC) làm việc. Tại thời điểm t_1 khoá K thông, máy phát xung tần số chuẩn (MFX) đưa các xung có tần số f_0 qua khoá K đến bộ đếm (BĐ) và chỉ thị số (CT số). Mặt khác máy phát xung răng cưa cũng đưa điện áp U_K đến bộ so sánh (SS) để so sánh với điện áp U_x cần đo.

Đến thời điểm t_2 khi $U_x = U_K$, thiết bị so sánh phát xung tác động lên trigơ đóng khoá K. Với thời gian từ t_1 đến t_2 tương ứng với t_x , bộ đếm đếm được N xung.

$$N = \frac{t_x}{T_0} \quad (2 - 31)$$

T_0 - chu kỳ của các xung chuẩn.

$$\text{Và } N = f_0 \cdot t_x \left(f_0 = \frac{1}{T_0} \right) \quad (2 - 32)$$

$$\text{Mặt khác từ hình 2 - 35b ta có } \frac{t_x}{t_m} = \frac{U_x}{U_m} \quad (2 - 33)$$

t_m - thời gian lớn nhất để $U_K = U_{\max}$

U_m - điện áp lớn nhất của máy phát xung răng cưa.

$$\text{Do đó } t_x = \frac{t_m}{U_m} \cdot U_x \quad (2 - 34)$$

Từ (2 - 34) thay vào (2 - 31) ta được

$$N = \frac{f_0 \cdot t_m}{U_m} \cdot U_x \quad (2 - 35)$$

Do f_0 , t_m , U_m là đại lượng không đổi, từ (2 - 35) ta thấy rằng số xung đếm được N tỉ lệ với điện áp U_x cần đo.

Sai số của dụng cụ chủ yếu gồm những nguyên nhân sau:

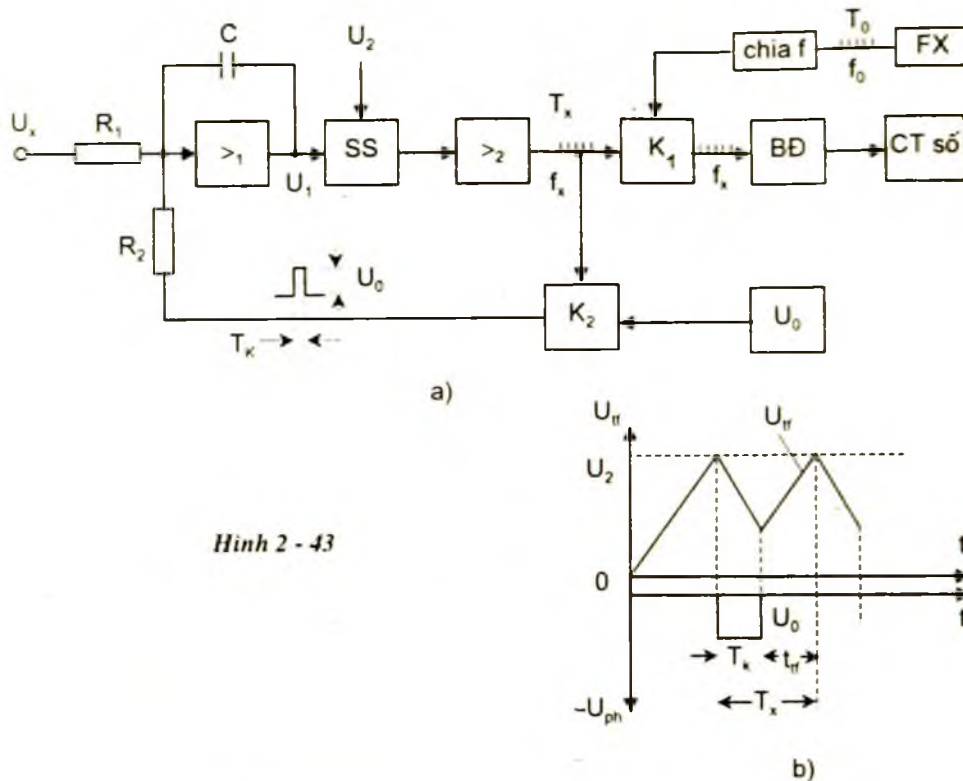
- Sai số lượng tử phụ thuộc $\frac{t_x}{T_0}$

- Sai số do máy phát răng cưa không ổn định.

Sai số của loại vônmet biến đổi thời gian đạt tới $\pm 0,05\%$.

b) Vônmet số chuyển đổi tần số: Đó là loại vônmet dựa trên cơ sở biến đổi điện áp đo U_x thành tần số f_x sau đó đo tần số f_x để suy ra U_x .

Hình 2-43 là sơ đồ khối của vônmet số biến đổi tần số (a) và đồ thị điện áp (b).



Hình 2 - 43

Nguyên lí làm việc như sau:

Điện áp đo U_x qua R_1 được đưa vào bộ tích phân để tạo thành điện áp U_1 sau đó đưa vào bộ so sánh để so sánh với điện áp chuẩn U_2 (có độ ổn định cao).

Khi $U_1 = U_2$ bộ so sánh phát xung qua khuếch đại 2 để mở khoá K_2 đồng thời đưa các xung có tần số f_x qua khoá K_1 đến bộ đếm và chỉ thị số.

Khi K_2 thông, điện áp U_0 (ngược dấu với U_1) qua K_2 đến bù với U_1 (tụ C phóng điện) trong khoảng thời gian T_K . Khi U_0 bù hoàn toàn với U_1 quá trình lại được lập lại và ta có :

$$\frac{1}{\tau_1} \int_0^{t_{tr}} U_x dt = \frac{1}{\tau_2} \int_0^{T_K} U_0 dt - \frac{1}{\tau_1} \int_0^{T_K} U_x dt = U_2$$

$$\frac{1}{\tau_1} U_{xtb} t_{tr} = \frac{1}{\tau_2} U_0 T_K - \frac{1}{\tau_1} U_{xtb} T_K = U_2 \quad \text{Với } \tau_1 = R_1 C \text{ và } \tau_2 = R_2 C.$$

Ta có :
$$\frac{1}{R_1 C} U_{xtb} t_{if} = \frac{1}{R_2 C} U_0 T_K - \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} T_K$$

$$\frac{1}{R_1 C} U_{xtb} (t_{if} + T_K) = \frac{1}{R_2 C} U_0 T_K$$

Trong đó $t_{if} + T_K = T_x$ (chu kỳ của tín hiệu U_x)

$$\frac{1}{R_1 C} T_x U_x = \frac{1}{R_2 C} U_0 T_K$$

$$T_x = \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 T_K}{U_x} \quad \text{và} \quad f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_K} = K_1 U_x$$

Mặt khác để điều khiển cho khoá K_1 thông người ta dùng máy phát xung chuẩn có tần số f_0 qua bộ chia tần để tạo khoảng thời gian thông khoá K_1 ($T_{mở}$).

Khi K_1 thông các xung có tần số f_x (chu kì T_x) được đưa vào bộ đếm. Trong thời gian $T_{mở}$ bộ đếm đếm được N xung.

$$\text{Ta có } N = \frac{T_{mở}}{T_x} = \frac{k_2 T_0}{T_x} = \frac{k_2}{f_0} f_x$$

Mà $f_x = k_1 U_x$ do đó

$$N = \frac{k_2 k_1}{f_0} U_x = K U_x$$

Sai số của vônmet loại này do khâu biến đổi điện áp U thành tần số f ($\pm 0,2\%$) và do sai số lượng tử khoảng $0,01\%$.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

LÝ THUYẾT

- 1- Thế nào là dụng cụ đo tương tự ?
- 2- Nêu nguyên lí làm việc của chỉ thị cơ điện và các chi tiết chung của cơ cấu chỉ thị cơ điện.
- 3- Có mấy loại chỉ thị cơ điện ?
Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động và đặc điểm, ứng dụng của các chỉ thị từ điện, điện từ, điện động.
- 4- Nêu cấu tạo của Ampemét một chiều. Các phương pháp mở rộng thang đo của ampemét một chiều.

5- Nêu cấu tạo của vônmet một chiều. Phương pháp mở rộng thang đo của vônmet một chiều.

6- Trình bày cấu tạo và đặc điểm của vônmet và ampemét từ điện chỉnh lưu.

7- Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động và phương pháp thay đổi thang đo của ampemét điện từ và điện động.

8- Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động của ampemét nhiệt điện.

9- Nêu cấu tạo, phương pháp mở rộng thang đo của vônmet điện từ và vônmet điện động. Đặc điểm của các vônmet trên.

10- Trình bày cấu tạo của các vônmet bán dẫn một chiều (khuyếch đại tranzito và IC opvamp). Đặc điểm của các loại vônmet trên.

11- Vônmet điện từ xoay chiều khác với vônmet điện từ một chiều thế nào? Vẽ sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lí, đặc điểm của các vônmet trên.

12- Nêu nguyên lí cơ bản của phương pháp đo điện áp bằng so sánh.

Trình bày nguyên lí làm việc của điện thế kế tự động cân bằng.

13- Phân loại vônmet số.

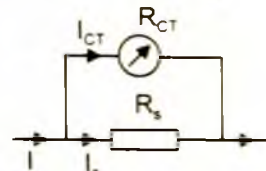
Nêu cấu tạo, nguyên lí làm việc và đặc điểm của các vônmet số biến đổi thời gian và vônmet số chuyển đổi tần số.

BÀI TẬP

1- Một cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng điện định mức $I_{dm} = 250\mu A$ (với độ lệch toàn thang đo) và sai số $\pm 1\%$. Tính giới hạn trên và dưới của dòng cần đo và sai số phần trăm khi đo với các giá trị của dòng : $I_1 = 250\mu A$; $I_2 = 125\mu A$; $I_3 = 2,5\mu A$.

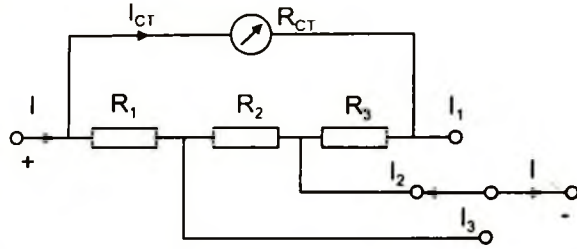
2- Một ampemét từ điện (hình 2-44) có dòng điện định mức qua chỉ thị $I_{ct} = 0,1mA$; điện trở của khung dây chỉ thị $R_{ct} = 99\Omega$. Điện trở shunt $R_s = 1\Omega$. Xác định dòng điện toàn phần chạy qua ampemét khi kim của ampemét

- Lệch toàn thang đo;
- Lệch 1/2 thang đo và
- Lệch 1/4 thang đo.



Hình 2 - 44

3 - Một ampe mét có 3 thang đo như hình 2-45 có : các điện trở $R_1 = 0,05\Omega$; $R_2 = 0,45\Omega$; $R_3 = 4,5\Omega$. Điện trở của chỉ thị $R_{ct} = 1k\Omega$, dòng điện định mức của chỉ thị $I_{ct} = 50\mu A$. Tính các giá trị I_1, I_2, I_3 .

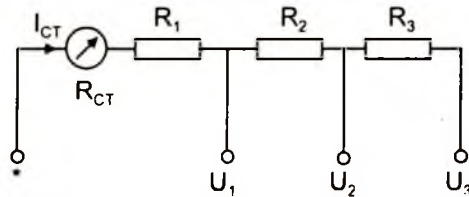


Hình 2 - 45

4- Một miliampemét từ điện có thang đo 150 vạch, với giá trị độ chia $C_I = 0,1mA$. Điện trở của cơ cấu chỉ thị $R_{ct} = 100\Omega$. Tính các giá trị điện trở sun tương ứng để đo dòng điện 1A; 2A và 5A. Vẽ sơ đồ mạch.

5- Một cơ cấu đo từ điện có dòng định mức $I_{ct} = 20mA$. Người ta mắc thêm vào cơ cấu một điện trở sun $R_s = 0,2\Omega$ sẽ đo được dòng cực đại là 200mA. Tính các điện trở phụ nối với cơ cấu mới này để đo điện áp 100V; 300V và 600V. Vẽ sơ đồ mạch điện.

6- Một cơ cấu đo từ điện có dòng định mức $I_{ct} = 10mA$. Điện trở của cơ cấu chỉ thị $R_{ct} = 100\Omega$. Người ta sử dụng cơ cấu trên để chế tạo một vôn mét có 3 thang đo. Biết rằng các điện trở $R_1 = 4900 \Omega$; $R_2 = 5000 \Omega$; $R_3 = 20000\Omega$. Xác định các giá trị điện áp U_1, U_2 và U_3 (hình 2 - 46).



Hình 2-46

Chương III

ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG

3.1. 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 người ta 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 của công suất từ $10^{-20}W \div 10^{10}W$ và giải tần từ $0 \div 10^9Hz$.

- Đối với mạch điện một chiều công suất thực được tính theo biểu thức:

$$P = UI; P = I^2R \text{ và } P = \frac{U^2}{R} \quad (3 - 1)$$

Với mạch xoay chiều một pha

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (3 - 2) \text{ với } p, u, i \text{ là các giá trị tức thời.}$$

Nếu dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì

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

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

- Khi tính công suất phản kháng ta có

$$Q = UI \sin \varphi \quad (3 - 4)$$

Ngoài đo công suất của mạch điện, một thông số quan trọng nữa là năng lượng (W). Năng lượng W được tính theo biểu thức:

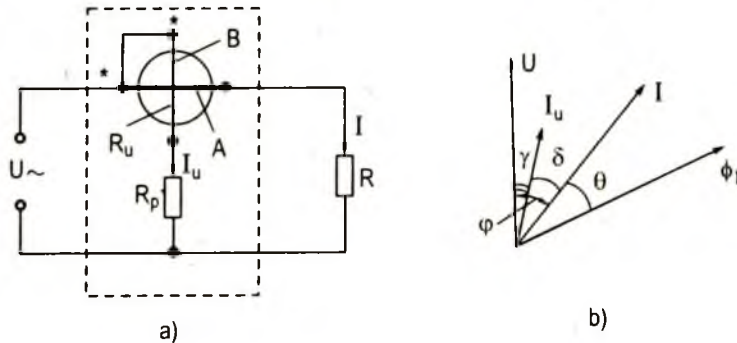
$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} UI \cos \varphi dt \quad (3 - 5)$$

Đó là công suất tiêu thụ của mạch điện trong khoảng thời gian $t_1 \div t_2$.

3.2. DỤNG CỤ ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG TRONG MẠCH ĐIỆN MỘT PHA

3.2.1. Oátmét điện động

Oátmét điện động (hoặc sắt điện động) là dụng cụ cơ điện dùng để đo công suất thực trong mạch điện một chiều hoặc xoay chiều một pha. Cấu tạo chủ yếu của oátmét điện động là cơ cấu chỉ thị điện động (xem mục 2.1.6). Hình 3 - 1a là sơ đồ nguyên lý của oátmét điện động, trong đó cuộn dây tĩnh (A) được mắc nối tiếp với phụ tải R, cuộn dây phân động (B) nối song song với nguồn cung cấp, R_p là điện trở phụ.



Hình 3 - 1. Oátmét điện động và biểu đồ vectơ.

Khi có điện áp U đặt lên cuộn dây phân động và dòng điện I đi qua phụ tải, dưới tác động của trường điện từ kim của oátmét lệch đi một góc α . Từ biểu thức 2 - 14 đối với mạch điện một chiều ta có :

$$\alpha = \frac{1}{D} \frac{UI}{R_u + R_p} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (3 - 6)$$

Giả sử $\frac{dM_{12}}{d\alpha} = \text{const}$ ta có

$$\alpha = KUI = KP \quad (3 - 7)$$

$K = \frac{1}{D(R_u + R_p)} \frac{dM_{12}}{d\alpha}$ là hệ số của oátmét với dòng một chiều

Đối với mạch điện xoay chiều, từ biểu thức (2-18) ta có:

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I \cdot I_u \cos \delta \frac{dM_{12}}{d\alpha}, \quad \delta = \varphi - \gamma \quad (\text{hình 3-1b})$$

Trong đó I_u là dòng điện trong mạch song song của oátmét.

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_p} \cos \gamma, \quad \text{với} \quad \frac{dM_{12}}{d\alpha} = \text{const} \quad \text{ta có}$$

$$\alpha = KUI \cos(\varphi - \gamma) \cos \gamma \quad (3-8)$$

$$\text{Khi } \gamma = \varphi \text{ thì } \alpha = KUI \cos \varphi = KP \quad (3-9)$$

Từ 3-9 ta thấy rằng số chỉ của oátmét tỉ lệ với công suất tiêu thụ trên phụ tải.

Do oátmét điện động có cực tính, khi đảo pha của một trong hai cuộn dây, oátmét quay ngược vì vậy các cuộn dây được đánh dấu (*) ở đầu cuộn dây. Khi nối cần phải nối các đầu dây có dấu * với nhau.

Oátmét điện động thường có nhiều thang đo theo dòng và áp. Giới hạn đo theo dòng là 5A và 10A, theo áp là 150V và 300V. Giải tần từ 0 ÷ KHz. Cấp chính xác có thể đạt 0,1 ÷ 0,2% ở tần số dưới 200 Hz.

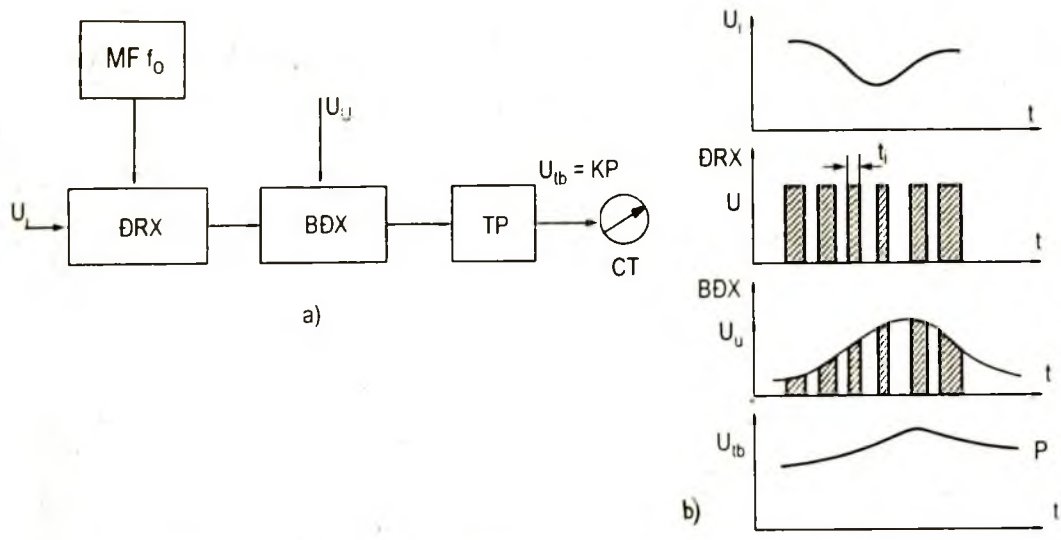
3.2.2. Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

Giả sử U_u là tín hiệu tỉ lệ với điện áp U rơi trên phụ tải và U_i là tín hiệu tỉ 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 (BĐX). Hình 3-2a là sơ đồ cấu trúc của oátmét dựa trên phương pháp điều chế độ rộng xung và biên độ xung và hình 3-2b là biểu đồ thời gian.

Nguyên lí làm việc của oátmét như sau :

Máy phát tần số chuẩn MF_{f_0} 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 3-2b). Đầu ra của bộ điều chế độ rộng xung có các xung với độ rộng $t_1 = k_1 U_i$; k_1 là hệ số. Các xung có độ rộng khác nhau này được đặt vào bộ điều chế biên độ xung, chúng được điều chế biên độ nhờ tín hiệu U_u (hình 3-2b) do đó diện tích của mỗi xung ở đầu ra của bộ điều chế biên độ xung tỉ lệ với công suất tức thời.

$$S(t) = k_2 U_u t_1 = k_1 k_2 U_u U_i = k U_u U_i, \quad \text{với } t_1 - \text{độ rộng xung.}$$



Hình 3 - 2. a) Oátmét theo phương pháp điều chế xung (ĐRX - BDX).
b) Biểu đồ thời gian.

Điện áp ra của bộ tích phân (TP) tỉ lệ với công suất trung bình tiêu thụ trên tải (hình3-2b); $U_{tb} = kP$. Oátmét được chế tạo dựa trên phương pháp này có sai số khoảng $\pm 0,1\%$.

3.2.3. Oátmét cặp nhiệt điện

Các dụng cụ đo dùng cặp nhiệt điện có thể hoạt động ở tần số rất cao, nên oátmét dùng cặp nhiệt điện khá hữu ích để đo công suất ở những tần số ngoài khoảng đo của các oátmét điện động.

Mạch cơ bản của oátmét cặp nhiệt như hình 3-3. Trong đó biến dòng dùng để tạo dòng thứ cấp i_i tỉ lệ với dòng tải I. Điện áp thứ cấp của biến áp tỉ lệ với điện áp U và tạo ra dòng i_u tỉ lệ với điện áp. Với cách mắc như hình 3-3 ta có dòng điện dùng để đốt nóng cặp nhiệt điện R_1 là tổng của 2 dòng điện ($i_i + i_u$) và dòng đốt nóng cặp nhiệt R_2 là hiệu của 2 dòng ($i_i - i_u$). Từ biểu thức (2 - 23) ta có :

$$e_1 = k (i_i + i_u)^2 \quad \text{và} \quad e_2 = k (i_i - i_u)^2$$

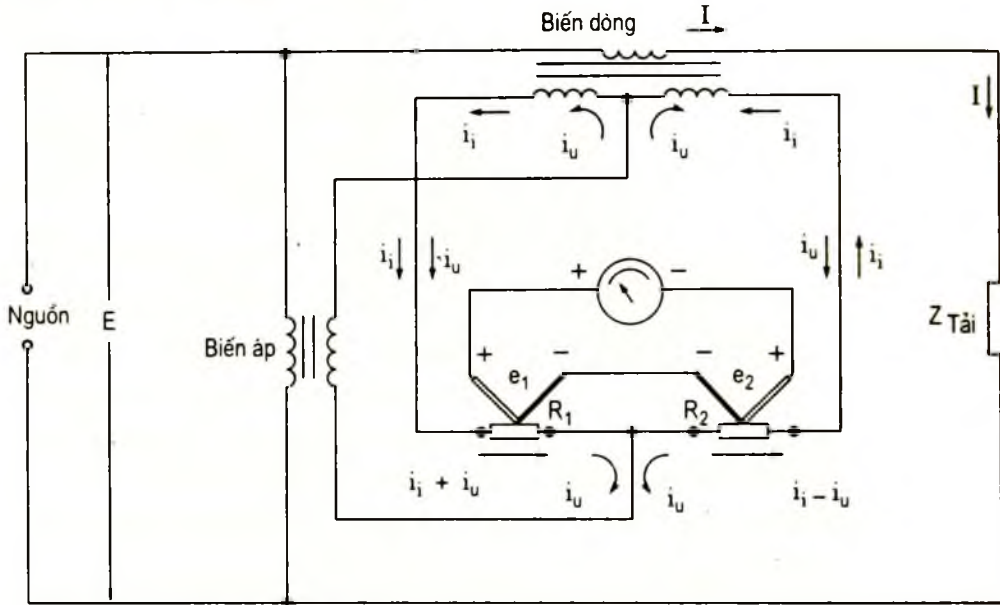
Do 2 cặp nhiệt điện mắc xung đối nhau nên số chỉ của milivonmét là $E_{ra} = e_1 - e_2$

$$\text{Ta có } E_{ra} = e_1 - e_2 = k (i_i + i_u)^2 - k (i_i - i_u)^2 = k4i_i i_u \quad (3-10)$$

Bộ biến đổi nhiệt điện có quán tính nhiệt cao nên thành phần xoay chiều bị loại ra do đó:

$$E_{ra} = KUI\cos\varphi = KP \quad (3-11)$$

Người ta đã chế tạo được oátmét nhiệt điện có sai số cơ bản $\pm 1\%$ với các thang đo điện áp từ $10mV \div 300V$, dòng điện I từ $100\mu A \div 3mA$, $\cos\varphi = 0,1 \div 1$ và tần số từ $20Hz \div 100kHz$.



Hình 3 - 3. Oátmét dùng cặp nhiệt điện.

3.2.4. Công tơ một pha đo năng lượng

a) **Khái niệm chung:** Năng lượng điện trong mạch xoay chiều một pha được tính theo biểu thức (3-5):

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

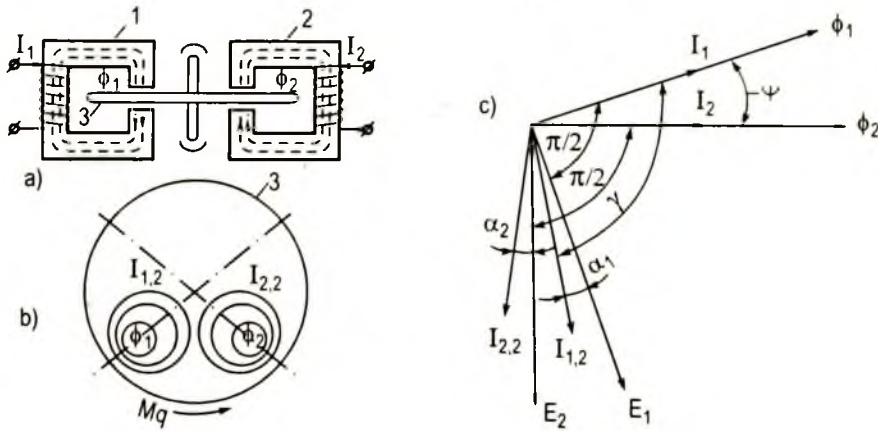
Trong đó: P - công suất tiêu thụ trên phụ tải

$t = t_2 - t_1$ (khoảng thời gian tiêu thụ công suất); K - hệ số.

Dụng cụ để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng (hình 3 - 4). Cấu tạo gồm hai phần : phần tĩnh và phần động. Phần tĩnh là 2 cuộn dây quấn trên lõi thép 1 và 2 (hình 3 - 4a). Khi có dòng điện đi qua các cuộn dây tạo ra từ trường móc vòng qua lõi thép và phần động. Phần động là một đĩa nhôm 3 được gắn trên trục quay.

Khi có dòng điện I_1 và I_2 đi vào các cuộn dây phần tĩnh, chúng tạo ra từ thông Φ_1 và Φ_2 , các từ thông này xuyên qua đĩa nhôm làm xuất hiện trong đĩa nhôm các sức điện động tương ứng E_1, E_2 lệch pha với Φ_1 và Φ_2 một góc $\pi/2$

và các dòng điện xoáy I_{12}, I_{22} . Do sự tác động tương hỗ giữa từ thông Φ_1, Φ_2 và dòng điện xoáy I_{12}, I_{22} tạo thành mômen làm quay đĩa nhôm (hình 3 - 4b).



Hình 3 - 4. a,b) Chỉ thị kiểu cảm ứng
c) Biểu đồ vectơ

Mômen quay M_q là tổng của các mômen thành phần :

$$M_q = C_1 \Phi_1 I_{22} \sin \psi + C_2 \Phi_2 I_{12} \sin \psi \quad (3 - 12)$$

ψ - góc lệch giữa Φ_1 và Φ_2 ; C_1, C_2 - hệ số.

Nếu dòng điện tạo ra Φ_1 và Φ_2 là hình sin và đĩa có cấu tạo đồng nhất thì các dòng xoáy I_{12}, I_{22} tỉ lệ với tần số f và từ thông sinh ra nó:

$$I_{12} = C_3 f \Phi_1 \text{ và } I_{22} = C_4 f \Phi_2 \quad (3 - 13)$$

f - tần số biến thiên của từ thông ; C_3, C_4 - hệ số.

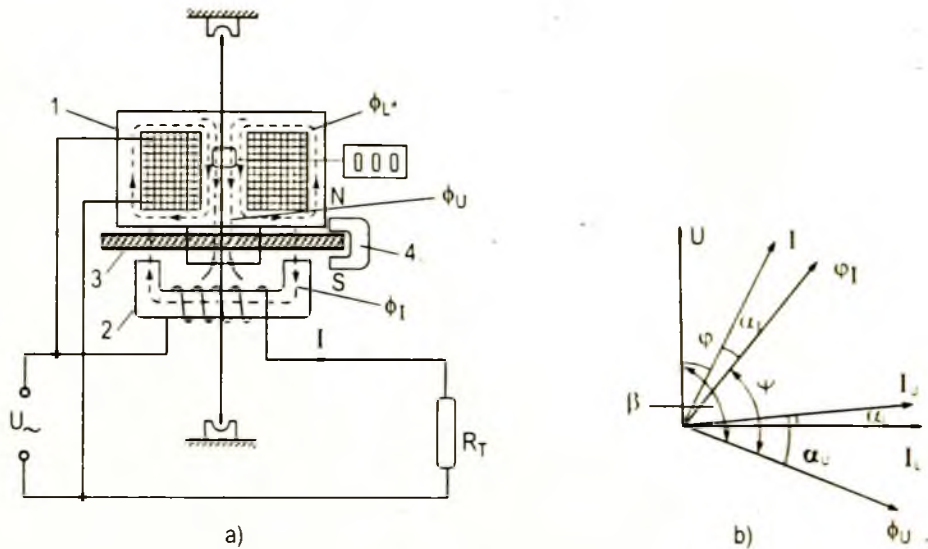
Thay (3 - 13) vào (3 - 12) ta được :

$$M_q = C f \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi \quad (3 - 14) \text{ với } C = C_2 C_3 + C_1 C_4$$

b) Cấu tạo công tơ một pha

Hình 3 - 5a là cấu tạo của công tơ một pha bao gồm hai cuộn dây tạo thành hai nam châm điện 1 và 2. Cuộn dây 1 mắc song song với phụ tải có số vòng dây lớn và tiết diện dây nhỏ gọi là cuộn áp. Cuộn dây 2 mắc nối tiếp với phụ tải có ít vòng, đường kính dây từ 1 ÷ 2mm gọi là cuộn dòng.

Đĩa nhôm 3 gắn trên trục có thể quay tự do giữa cuộn dây 1 và 2. Trên trục gắn hộp số cơ khí để chỉ thị. Nam châm 4 có nhiệm vụ tạo mômen hãm do từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm khi đĩa quay.



Hình 3 - 5. a) Cấu tạo của công tơ một pha
b) Biểu đồ vectơ

Khi có dòng điện I chạy qua phụ tải và qua cuộn dòng sẽ tạo ra từ thông Φ_I cắt đĩa nhôm hai lần. Điện áp U được đặt vào cuộn áp, dòng I_u tạo thành 2 từ thông Φ_u xuyên qua đĩa nhôm và Φ_L không xuyên qua đĩa nhôm (hình 3 - 5a).

$$\text{Ta có } \Phi_I = k_I I \quad (3 - 15)$$

$$\Phi_u = k_u I_u = k_u \frac{U}{Z_u} \quad (3 - 16)$$

U - điện áp đặt lên cuộn áp.

Z_u - tổng trở của cuộn áp ; k_I, k_u - hệ số tỉ lệ.

Do cuộn áp có điện trở thuần nhỏ so với điện kháng nên có thể coi

$$Z_u \approx X_u = 2\pi f L_u$$

L_u - điện cảm của cuộn dây; f - tần số.

$$\text{Do đó : } \Phi_u = \frac{k_u U}{2\pi f L_u} = k_u \frac{U}{f} \quad (3 - 17)$$

$$\text{Trong đó } k_u = \frac{k_u}{2\pi L_u}$$

Từ biểu thức (3 - 14) ta có mômen quay của cơ cấu chỉ thị cảm ứng :

$$M_q = C f \Phi_I \Phi_2 \sin \psi$$

Nếu ta coi $\Phi_1 \approx \Phi_I$; $\Phi_2 \approx \Phi_u$ thì

$$M_q = C_f \Phi_I \Phi_u \sin \psi \quad (3 - 18)$$

Từ biểu thức (3 - 15) và (3 - 17) thay vào (3 - 18) ta được

$$M_q = C k_i k_u U I \sin \psi$$

$$\text{và} \quad M_q = K U I \sin \psi \quad (3 - 19)$$

$$K = C k_i k_u ; \quad \psi - \text{góc lệch giữa } \Phi_I \text{ và } \Phi_u.$$

Từ biểu đồ vectơ (hình 3 - 5b) ta có

$$\psi = \beta - \alpha_1 - \varphi$$

Nếu thực hiện $\beta - \alpha_1 = \pi/2$

Thì $\psi = \pi/2 - \varphi$ và từ biểu thức (3 - 19) ta nhận được :

$$M_q = K U I \cos \varphi = K P \quad (3 - 20)$$

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

Để có thể thực hiện được $\beta - \alpha_1 = \pi/2$ người ta điều chỉnh góc β , tức là điều chỉnh Φ_u bằng cách thay đổi vị trí sun từ của cuộn áp hoặc điều chỉnh góc α_1 nghĩa là thay đổi Φ_I bằng cách thêm hoặc bớt vòng ngắn mạch của cuộn đồng.

Mômen quay M_q làm cho đĩa nhôm quay, khi đĩa nhôm quay trong từ trường của nam châm vĩnh cửu, nó bị cản lại bởi mômen cản M_c do từ trường của nam châm khi xuyên qua đĩa nhôm tạo nên.

$$M_c = k_1 \Phi_M I_M \quad (3 - 21)$$

Φ_M - từ thông do nam châm sinh ra

I_M - dòng điện xoáy sinh ra trong đĩa nhôm

Trong đó $I_M = k_2 \Phi_M n_0$; n_0 - tốc độ quay đều của đĩa nhôm khi mômen quay bằng mômen cản. Nên ta có

$$M_c = k_1 k_2 \Phi_M^2 n_0$$

$$\text{và } M_c = k_3 \Phi_M^2 n_0 \quad (3 - 22) \text{ với } k_1, k_2, k_3 - \text{hệ số.}$$

Khi cân bằng giữa mômen quay và mômen cản ta có

$$M_q = M_c$$

$$\text{và } KP = k_3 \Phi_M^2 n_0 \quad (3 - 23)$$

Trong khoảng thời gian $t = t_2 - t_1$ đĩa quay được N vòng, vì vậy

$$n_0 = \frac{N}{t}, \text{ thay } n_0 \text{ vào (3 - 23) ta được}$$

$$N = C_p Pt = C_p W \quad C_p - \text{hằng số của công tơ}$$

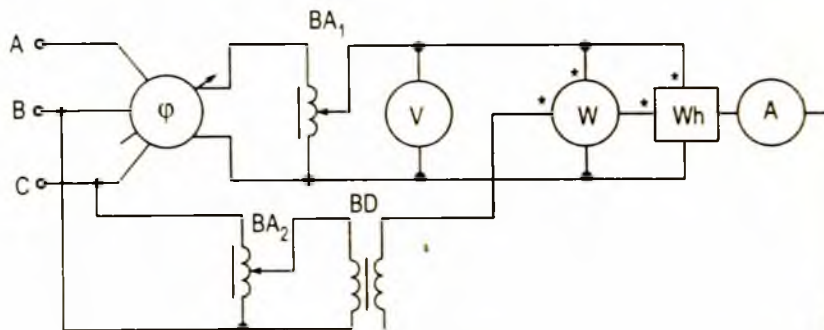
$$C_p = \frac{N}{W} \text{ [vòng/kWh]} \quad (3 - 24)$$

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

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

c) Kiểm tra công tơ

Để công tơ chỉ được chính xác, trước khi đem sử dụng người ta phải kiểm tra và hiệu chỉnh công tơ. Sơ đồ kiểm tra công tơ được mắc như hình 3 - 6. Đây là sơ đồ mắc theo kiểu tải ảo (không có điện trở phụ tải). Sự thay đổi dòng điện qua ampemét, oátmét và công tơ được thực hiện nhờ biến dòng (BD) và biến áp tự ngẫu (BA₂). Điện áp cung cấp cho cuộn áp qua vônmet được thay đổi nhờ biến áp (BA₁). Bộ chỉnh pha có thể thay đổi được góc pha từ $0 \div 360^\circ$.



Hình 3 - 6. Sơ đồ kiểm tra công tơ.

Kiểm tra công tơ được thực hiện theo các bước sau :

+ *Hiệu chỉnh tự quay của công tơ:*

Như ta đã biết mômen ma sát của công tơ do phải quay hộp số và do ma sát giữa trục và trụ là rất lớn, mômen này gây nên sai số của công tơ. Để khử mômen ma sát trên cần phải tạo ra một mômen bù ban đầu (M_b) bằng cách gây ra một từ thông lệch trong không gian và trong thời gian với Φ_u bằng một lá sắt từ đặt trong mạch từ của cuộn áp : $M_b = k\Phi_u\Phi_k\sin\psi_k$

Để thay đổi mômen bù ta thay đổi vị trí của lá sắt từ (bằng một vít chỉnh vị trí). Thường mômen bù lớn hơn mômen ma sát. Khi chỉnh tự quay ta điều chỉnh biến áp (BA_1) sao cho điện áp bằng điện áp định mức $U = U_{dm}$.

Dòng điện đi qua oátmét, công tơ và ampemét bằng không ($I = 0$) lúc này oátmét chỉ không và công tơ phải đứng yên. Nếu công tơ quay đó là hiện tượng tự quay, ta phải điều chỉnh vị trí của vít chỉnh cho đến khi công tơ đứng yên.

+ *Hiệu chỉnh góc $\beta - \alpha_1 = \pi/2$ (hiệu chỉnh góc φ)*

Đặt $U = U_{dm}$, dòng điện bằng dòng định mức $I = I_{dm}$ và điều chỉnh góc lệch pha $\varphi = \pi/2$ tức là $\cos\varphi = 0$. Khi đó oátmét chỉ "0", công tơ đứng yên. Nếu công tơ vẫn quay tức là $\beta - \alpha_1 \neq \pi/2$.

Để điều chỉnh β (Φ_U) ta điều chỉnh bộ phân nhánh từ của cuộn áp hoặc điều chỉnh α_1 (Φ_I) bằng cách điều chỉnh vòng ngắn mạch của cuộn dòng cho đến khi công tơ đứng yên.

+ *Kiểm tra hằng số công tơ:*

Để kiểm tra hằng số công tơ C_p người ta điều chỉnh sao cho $I = I_{dm}$; $U = U_{dm}$; hệ số $\cos\varphi = 1$ (tức là $\varphi = 0$), lúc đó $P = U_{dm}I_{dm}$

Trong khoảng thời gian t công tơ sẽ quay được N vòng và ta có:

$$C_p = \frac{N}{U_{dm}I_{dm}t} = \frac{N}{P_{dm}t}$$

Hằng số này không đổi đối với mỗi loại công tơ và được ghi trên mặt công tơ (ví dụ : 1kWh - 1500 vòng). Nếu hằng số C_p không bằng giá trị định mức đã ghi trên mặt công tơ người ta điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng (hoặc giảm) mômen cản M_c cho đến khi C_p đạt được giá trị định mức thì thôi.

Sai số của công tơ được tính như sau:

$$\gamma\% = \frac{C_{dm} - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100\%$$

3.3. ĐO CÔNG SUẤT TRONG MẠCH 3 PHA

3.3.1. Nguyên lý chung

Trong mạch điện 3 pha, phụ tải thường được mắc theo hai cách : mắc phụ tải hình sao và hình tam giác.

Công suất thực trong mạch điện 3 pha được tính :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P_1 dt = U_{f1} I_{f1} \cos \varphi_1 + U_{f2} I_{f2} \cos \varphi_2 + U_{f3} I_{f3} \cos \varphi_3 \quad (3 - 25)$$

Nếu mạch điện 3 pha hoàn toàn đối xứng ta có

$$P_{\Sigma} = 3U_f I_f \cos \varphi = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (3 - 26)$$

Trong đó : U_f, I_f - điện áp và dòng điện pha.

U_d, I_d - điện áp và dòng điện dây.

φ - góc lệch giữa điện áp pha và dòng điện.

Tuy nhiên trong hệ thống điện 3 pha thực tế , phụ tải thường không đối xứng. Để thực hiện phép đo công suất tổng trong mạch 3 pha ta hãy xét trường hợp chung, đó là mạch 3 pha 3 dây với tải hình sao không có dây trung tính (hình 3 - 7a) với tải bất kì.

Trong đó: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} là các giá trị tức thời của điện áp dây.

U_{AN}, U_{BN}, U_{CN} là các giá trị tức thời của điện áp pha.

i_A, i_B, i_C - là các dòng tức thời của các pha.

Có thể viết các phương trình sau :

$$\text{Tại N ta có} \quad i_A + i_B + i_C = 0 \quad (3 - 27)$$

$$P_{\Sigma} = U_{AN} i_A + U_{BN} i_B + U_{CN} i_C \quad (3 - 28)$$

Từ (3 - 27) ta có $i_C = -i_A - i_B$

$$\begin{aligned} \text{Thay vào (3 - 28)} \quad P_{\Sigma} &= U_{AN} i_A + U_{BN} i_B - U_{CN} i_A - U_{CN} i_B \\ &= (U_{AN} - U_{CN}) i_A + (U_{BN} - U_{CN}) i_B \end{aligned}$$

$$P_{\Sigma} = U_{AC} i_A + U_{BC} i_B \quad (3 - 29a)$$

Dựa vào kết quả trên, công suất của mạch 3 pha có thể tính theo một trong

3 biểu thức :

$$P_{\Sigma} = U_{AC} i_A + U_{BC} i_B$$

$$P_{\Sigma} = U_{AB} i_A + U_{CB} i_C \quad (3 - 29b)$$

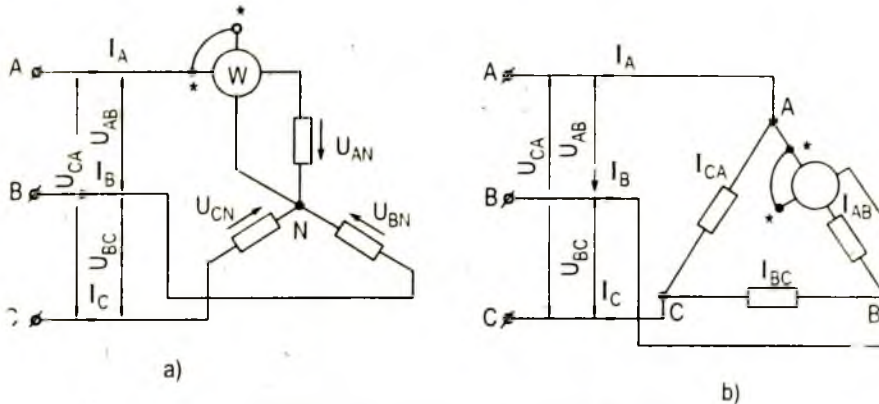
$$P_{\Sigma} = U_{BA} i_B + U_{CA} i_C$$

3.3.2. Các phương pháp đo công suất trong mạch 3 pha

a) Phương pháp dùng 1 oátmét

* Nếu mạch 3 pha có phụ tải hình sao đối xứng (hình 3 - 7a) ta chỉ cần đo công suất ở một pha sau đó nhân 3 lúc đó : $P_{3f} = 3P_f$.

* Nếu mạch 3 pha phụ tải hình tam giác đối xứng ta cũng chỉ cần đo công suất ở một nhánh phụ tải sau đó nhân 3 lần (hình 3 - 27b) ta được công suất tổng.



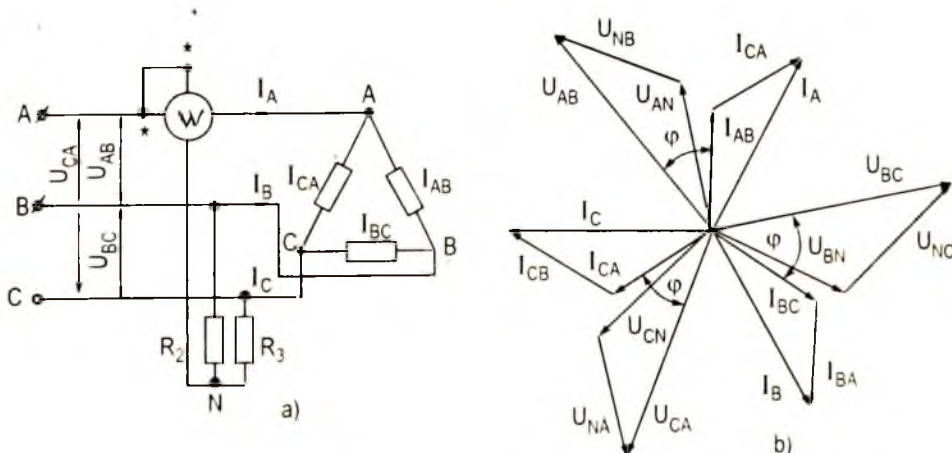
Hình 3 - 7. a) Đo công suất với tải mắc hình sao.
b) Đo công suất tải mắc theo hình tam giác.

* Trong trường hợp khi mạch điện nối tam giác hoặc hình sao không có điểm trung tính ta có thể tạo trung tính giả (hình 3 - 8a) bằng các điện trở phụ R_2 và R_3 với điều kiện $R_2 = R_3 = R_u$ (R_u điện trở mạch song song của oátmét). Hình 3 - 8b là sơ đồ vectơ dòng và áp của mạch 3 pha phụ tải nối tam giác. Từ sơ đồ này ta có :

$$I_A = I_{AB} + I_{AC} \quad (3 - 30)$$

Công suất chỉ của oátmét là

$$P_A = U_{AN} I_A \cos(\angle U_{AN} I_A) = U_{AN} I_A \cos \varphi$$



Hình 3 - 8. a) Đo công suất mạch 3 pha tạo trung tính giả
b) Sơ đồ vectơ dòng và áp của mạch 3 pha phụ tải nối tam giác

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

$$\text{Ta có } P_A = U_{AB} I_{AB} \cos \varphi \quad (3 - 31)$$

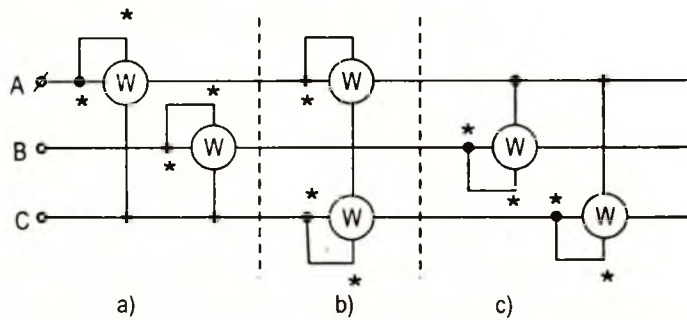
Công suất tổng của cả mạch 3 pha là

$$P_{\Sigma} = 3P_A = 3U_{AB} I_A \cos \varphi \quad (3 - 32)$$

b) Phương pháp dùng 2 oátmét

Phương pháp này được dùng trong mạch điện 3 pha không đối xứng.

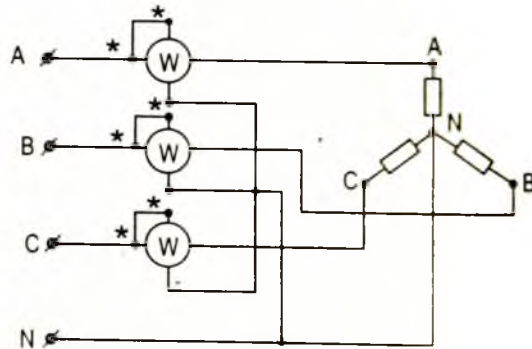
Dựa trên các biểu thức (3 - 29a,b) ta có thể đo công suất mạch 3 pha bằng 2 oátmét mà không bị phụ thuộc vào dạng phụ tải (đối xứng hay không đối xứng, sao hay tam giác) như hình 3 - 9.



Hình 3 - 9. Đo công suất bằng 2 oátmét..

c) Đo công suất bằng 3 oátmét

Trong trường hợp mạch 3 pha có phụ tải hình sao với dây trung tính không đối xứng để đo công suất tổng ta phải sử dụng 3 oátmét và công suất mạch 3 pha bằng tổng công suất của từng pha đo bằng oátmét. Sơ đồ mắc như hình 3 - 10. Cuộn áp của oátmét mắc vào điện áp pha U_{AN} , U_{BN} , U_{CN} các cuộn dòng mắc nối tiếp với các dòng điện pha I_A , I_B , I_C .



Hình 3 - 10. Đo công suất bằng 3 oátmét..

Dây trung tính NN là dây chung, ta có $P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$

d) Công tơ 3 pha đo năng lượng

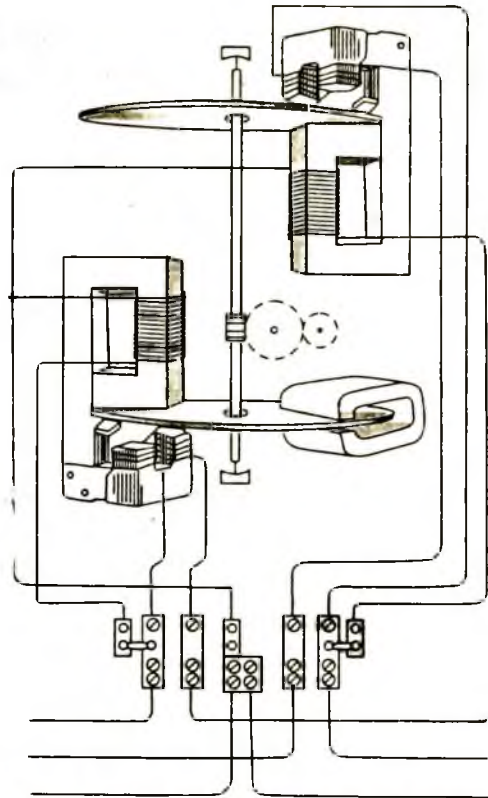
Giống như trường hợp đo công suất, đo năng lượng trong mạch 3 pha có thể thực hiện bằng một công tơ, hai công tơ hoặc ba công tơ, tùy theo mạch

đối xứng hay không đối xứng. Tuy nhiên trong thực tế người ta thường sử dụng công tơ 3 pha 2 phần tử hoặc 3 phần tử.

Hình 3 - 11 là sơ đồ cấu tạo của một công tơ gồm có 2 phần tử.

Trong đó phần động gồm 2 đĩa nhôm được gắn vào cùng một trục. Mỗi đĩa nhôm đều nằm trong từ trường cuộn áp và cuộn dòng của các pha tương ứng. Các cuộn áp được mắc song song với phụ tải, cuộn dòng mắc nối tiếp với phụ tải.

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



Hình 3 - 11. Công tơ 3 pha đo năng lượng.

3.4. ĐO CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Công suất phản kháng là loại 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

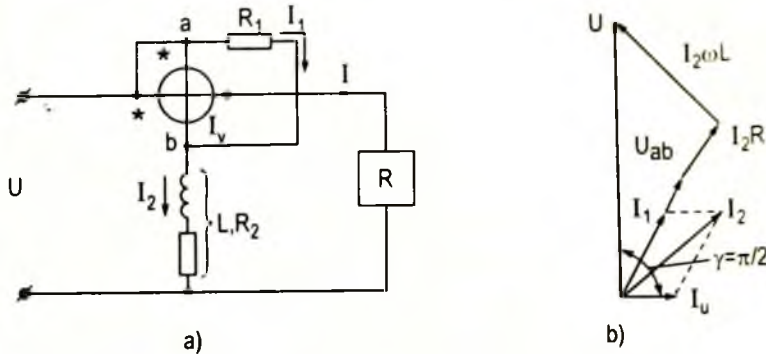
$$Q = UI \sin \phi \quad (3 - 33)$$

3.4.1. Đo công suất phản kháng trong mạch một pha

Các cơ cấu điện động và sắt điện động có thể sử dụng để chế tạo dụng cụ đo công suất phản kháng.

Khác với công suất tác dụng, công suất phản kháng tỉ lệ với $\sin \phi$. Để tạo ra được góc $\sin \phi$ phải làm sao tạo được góc lệch $\gamma = \pi/2$ giữa vectơ dòng và áp của cuộn dây điện áp trong oátmét. Muốn vậy người ta mắc thêm một điện trở R_1 song song với cuộn áp (tại 2 điểm a,b) sau đó mắc nối tiếp cuộn dây điện cảm L_2 và điện trở R_2 (hình 3 - 12a). Với cách mắc trên đã tạo ra được góc

lệch pha giữa điện áp U và dòng điện I_u trong cuộn áp một góc $\gamma = \pi/2$ (hình 3 - 12b) bằng cách chọn các thông số của mạch thích hợp.



Hình 3 - 12. a) Oátmét điện động đo công suất phản kháng
b) Biểu đồ vectơ

Khi đó góc lệch α của oátmét là :

$$\alpha = k I_u I_c \cos(\pi/2 - \varphi) = k \frac{U}{Z_U} I \sin \varphi = S Q \quad (3 - 34)$$

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

3.4.2. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha

Công suất phản kháng của mạch 3 pha có thể coi là tổng các công suất phản kháng của từng pha.

$$Q = U_{fA} I_{fA} \sin \varphi_A + U_{fB} I_{fB} \sin \varphi_B + U_{fC} I_{fC} \sin \varphi_C \quad (3-35)$$

a) Khi tải đối xứng ta có

$$Q = 3 U_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (3-36)$$

Để đo công suất phản kháng của mạch 3 pha tải đối xứng, ta có thể sử dụng oátmét đo công suất tác dụng nhưng mắc theo sơ đồ hình 3-13a. Trong đó cuộn dòng của oátmét mắc vào pha A, cuộn áp mắc vào pha B và pha C (hình 3-13a).

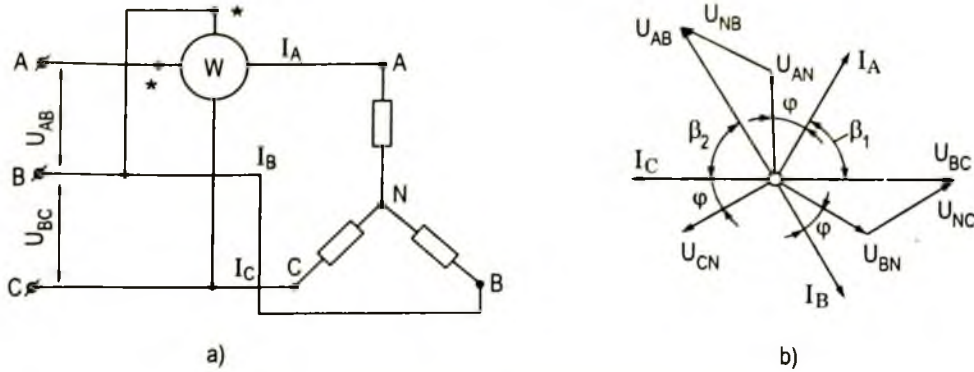
Trong trường hợp này ta có :

$$Q_A = U_{BC} I_A \cos(\widehat{I_A U_{BC}}) = U_d I_d \cos(\frac{\pi}{2} - \varphi) = U_d I_d \sin \varphi$$

Theo sơ đồ vectơ (hình 3-13b) ta có góc $\widehat{I_A U_{BC}} = \frac{\pi}{2} - \varphi$

Công suất phản kháng trong mạch 3 pha đối xứng được tính

$$Q_{3f} = \sqrt{3} Q_A = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (3-37)$$



Hình 3 - 13. a) Đo công suất phản kháng bằng oátmét thường
b) Biểu đồ vectơ

b) Phương pháp dùng 2 oátmét

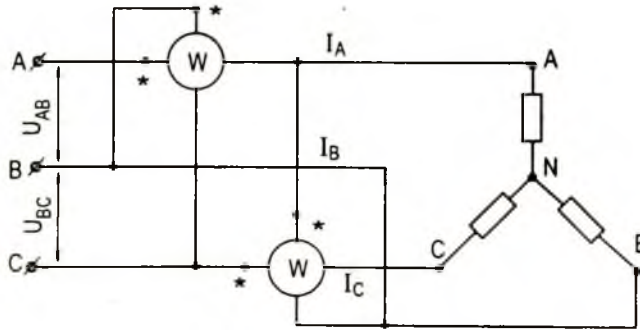
Nếu đo công suất mạch 3 pha dùng 2 oátmét có thể mắc như hình 3-14. Từ hình 3-14 ta có công suất tổng của mạch 3 pha là

$$P_1 + P_2 = U_{BC}I_A \cos\beta_1 + U_{AB}I_C \cos\beta_2$$

Ta có $\beta_1 = \beta_2 = \frac{\pi}{2} - \varphi$ và $P_1 + P_2 = 2U_d I_d \sin\varphi$

Để nhận được giá trị thực cả công suất phản kháng trong mạch 3 pha ta chỉ cần nhân với hệ số $\frac{\sqrt{3}}{2}$ và ta có :

$$Q_{3f} = (P_1 + P_2) \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi \quad (3-38)$$



Hình 3 - 14. Đo công suất phản kháng bằng 2 oátmét

c) Phương pháp dùng 3 oátmét

Khi phụ tải của mạch nối sao hoặc tam giác không đối xứng ta có thể dùng 3 oátmét và mắc như hình 3-15a.

Tổng công suất của mạch được tính như sau:

$$P_1 + P_2 + P_3 = U_{BC}I_A \cos\gamma_1 + U_{CA}I_B \cos\gamma_2 + U_{BA}I_C \cos\gamma_3$$

Từ biểu đồ véc tơ (h3-15) ta có :

$$\gamma_1 = \frac{\pi}{2} - \varphi_1 ; \gamma_2 = \frac{\pi}{2} - \varphi_2 ; \gamma_3 = \frac{\pi}{2} - \varphi_3$$

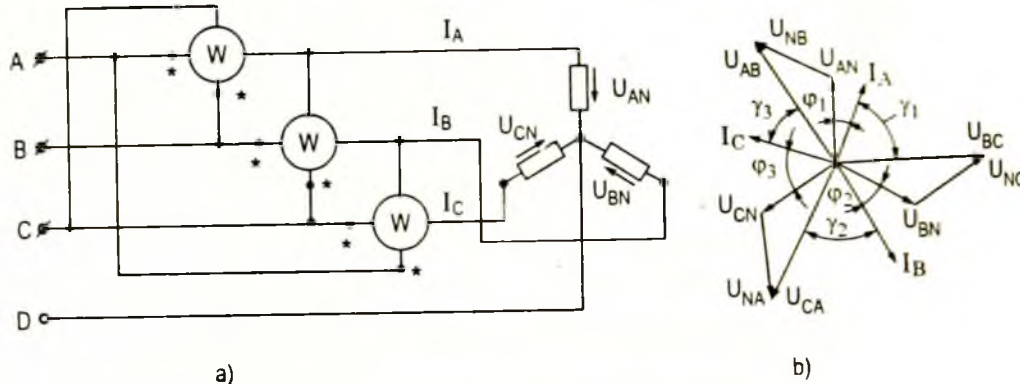
Giả sử $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$ thì

$$P_1 + P_2 + P_3 = U_d (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3)$$

Và công suất sẽ là

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3)$$

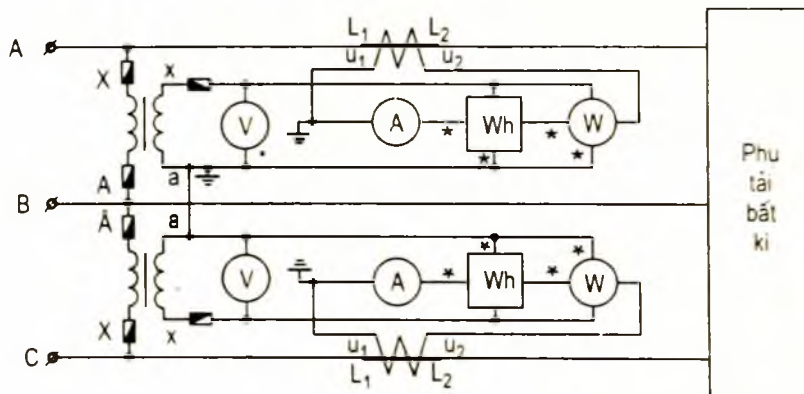
Để đo năng lượng phản kháng cho mạch 3 pha 3 dây hoặc 4 dây ta cũng có thể thực hiện tương tự đo công suất phản kháng ở trên.



a) **Hình 3 - 15.** a) Đo công suất phản kháng bằng 3 óátmét.
b) Biểu đồ vector.

3.5. ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG TRONG MẠCH CAO ÁP

Khi đo công suất và năng lượng trong mạch cao áp ta có thể sử dụng biến áp và biến dòng đo lường.



Hình 3 - 16. Đo công suất và năng lượng trong mạch 3 pha cao áp.

Khi mắc các biến áp và biến dòng đo lường ta 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 3-16).
- Ngắn mạch thứ cấp của biến dòng và hở mạch thứ cấp của biến áp.
- Nối đất mạch thứ cấp biến áp và biến dòng để đảm bảo an toàn khi đo (hình 3-16).

Kết quả đo được của dụng cụ được nhân với hệ số biến dòng và biến áp.

$$P = k_I k_U UI \cos \varphi$$

k_I, k_U - hệ số biến dòng và biến áp.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

LÝ THUYẾT

- 1- Nêu cấu tạo, nguyên lý hoạt động của oátmét điện động, các đặc điểm của nó.
- 2- Vẽ sơ đồ khối, biểu đồ thời gian và nêu nguyên tắc hoạt động của oátmét đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu.
- 3- Nêu cấu tạo, nguyên lý hoạt động và đặc điểm của oátmét cặp nhiệt điện.
- 4- Nêu cấu tạo, nguyên lý hoạt động và ứng dụng của công tơ một pha. Trước khi sử dụng công tơ cần thực hiện kiểm tra và hiệu chỉnh công tơ như thế nào? Nêu các bước hiệu chỉnh công tơ.
- 5- Có mấy cách mắc phụ tải trong mạch điện 3 pha. Nêu các phương pháp đo công suất thực trong mạch điện 3 pha đối xứng và không đối xứng.
- 6- Công tơ 3 pha đo năng lượng. Nêu cấu tạo và nguyên lý hoạt động.
- 7- Công suất phản kháng và công suất thực khác nhau ở chỗ nào? Nêu các phương pháp đo công suất phản kháng trong mạch điện 1 pha và mạch điện 3 pha.
- 8- Nêu phương pháp đo công suất và năng lượng trong mạch điện cao áp.

BÀI TẬP

- 1- Để đo công suất của một phụ tải thuần trở được mắc vào một nguồn điện $U = 220V$, người ta dùng 1 oátmét điện động có $U_{dm} = 220V$; $I_{dm} = 10A$; điện trở của cuộn dây dòng điện $R_A = 1\Omega$; dòng điện đi qua cuộn dây điện áp

R_V là $I_V = 50\text{mA}$. Mắc sơ đồ đo oátmét trên như thế nào để khi đo đạt được độ chính xác cao biết rằng điện trở của phụ tải $R = 500\Omega$.

2- Người ta sử dụng một vônmet và một ampemét để đo công suất của một phụ tải thuần trở. Vônmet có thang đo 220V , cấp chính xác $1,0$. Ampemét có thang đo 30A , cấp chính xác $1,5$. Khi đo vônmet chỉ 220V ; Ampemét chỉ 20A . Tính công suất tiêu thụ của phụ tải. Sai số tương đối lớn nhất của phép đo.

3- Người ta dùng 1 ampemét có thang đo 10A ; vônmet có thang đo 300V và một oátmét có thang đo $U_{dm} = 300\text{V}$; $I_{dm} = 15\text{A}$ để đo công suất của 1 phụ tải trong mạch 1 pha. Khi đo ampemét chỉ 8A ; vônmet chỉ 220V . Xác định công suất tiêu thụ của phụ tải và số chỉ trên oátmét biết rằng thang đo của oátmét có 150 vạch chia. Hệ số $\cos\varphi = 0,95$.

4- Để đo công suất của một phụ tải trong mạch 3 pha cao áp người ta sử dụng 2 vônmet mẫu có $U_{dm} = 100\text{V}$ và 2 ampemét mẫu có $I_{dm} = 5\text{A}$ với 2 oátmét có $U_{dm} = 120\text{V}$, $I_{dm} = 5\text{A}$; cấp chính xác của oátmét là $1,0$. Thang đo của oátmét có 120 vạch. Khi đo 2 vônmet chỉ 100V . Ampemét 1 chỉ 4A , ampemét 2 chỉ 3A .

a) Xác định công suất tiêu thụ thực của phụ tải.

b) Xác định số chỉ của oátmét 1 và oátmét 2 (đã tính đến sai số của oátmét).

Biết rằng hệ số biến đổi $k_1 = 100/5$; $k_V = 6000/100$, $\cos\varphi_1 = 0,9$ và $\cos\varphi_2 = 0,95$.

5- Một công tơ một pha trên mặt thang đo có ghi $1\text{kWh} - 1500$ vòng. Trong thời gian 4 phút công tơ quay được 100 vòng. Tính công suất tiêu thụ của hộ gia đình có công tơ trên.

6- Để kiểm tra một công tơ một pha, trên mặt thang đo có ghi $1\text{kWh} - 2500$ vòng. Người ta dùng một oátmét điện động có $U_{dm} = 300\text{V}$; $I_{dm} = 20\text{A}$. Thang chia độ có 150 vạch. Khi kiểm tra kim oátmét lệch đi 100 vạch. Trong 3 phút đĩa của công tơ quay được 490 vòng. Xác định công suất thực của phụ tải và sai số của công tơ.

Chương IV

ĐO TẦN SỐ, GÓC PHA VÀ KHOẢNG THỜI GIAN.

4.1. 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 các 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 nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó và thoả 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 :

$$f = \frac{1}{T} \quad (4 - 1)$$

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

$$\omega = 2\pi f \quad (4 - 2)$$

Dải của tần số được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như trong vô tuyến điện, tự động hoá, thông tin liên lạc và thay đổi từ một phần Hz đến GHz. Việc lựa chọn phương pháp đo tần số được xác định tùy theo khoảng đo, độ chính xác yêu cầu, dạng đường cong, công suất của nguồn tín hiệu v.v...

Để đo tần số ta có thể thực hiện theo 2 phương pháp: phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp so sánh. Các dụng cụ dùng để đo tần số được gọi là tần số kế. Tần số, chu kỳ và góc pha liên quan chặt chẽ với nhau theo biểu

thức: $\varphi = \frac{\tau}{T} 2\pi \quad (4 - 3)$

Với : φ - góc lệch pha giữa 2 tín hiệu.

τ - khoảng thời gian lệch nhau giữa hai tín hiệu.

Vì vậy việc đo tần số góc và pha được qui về đo tần số f và khoảng thời gian τ .

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

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

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

X_m - biên độ của dao động; ω_1, ω_2 - tần số góc của dao động.

$\omega t + \varphi$ - pha của dao động (trong đó φ - góc lệch ban đầu)

Ta có góc lệch pha của 2 tín hiệu trên được tính như sau :

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \text{ khi } \omega_1 = \omega_2 \quad (4 - 4)$$

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

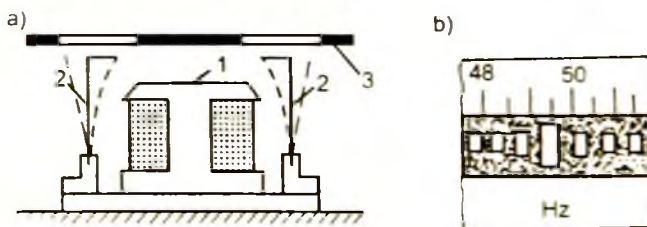
$$\text{hoặc } \varphi = -\varphi_2 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \varphi_1$$

Thông thường góc lệch pha được tính bằng đơn vị gradian hoặc độ. Khoảng thời gian được tính bằng đơn vị giây (s). Có 2 phương pháp đo góc lệch pha đó là phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp bù.

4.2. TẦN SỐ KẾ CỘNG HƯỞNG ĐIỆN TỬ

Tần số kế cộng hưởng điện tử bao gồm nam châm điện 1 (hình 4 - 1), các thanh rung 2 làm bằng các lá thép có tần số riêng khác nhau. Tần số riêng của mỗi thanh bằng hai lần tần số của nguồn điện cần đo. Các thanh rung được gắn chặt một đầu còn đầu kia dao động tự do. Phía trên các thanh rung là thang đo 3.

Dưới tác động của từ trường nam châm điện, các thanh rung bị hút vào nam châm 2 lần trong một chu kỳ do đó tạo nên dao động. Khi đo tần số, thanh rung nào có tần số dao động riêng phù hợp với tần số đo thì biên độ dao động sẽ lớn nhất qua đó có thể xác định được tần số cần đo.



Hình 4 - 1. Tần số kế cộng hưởng cơ khí

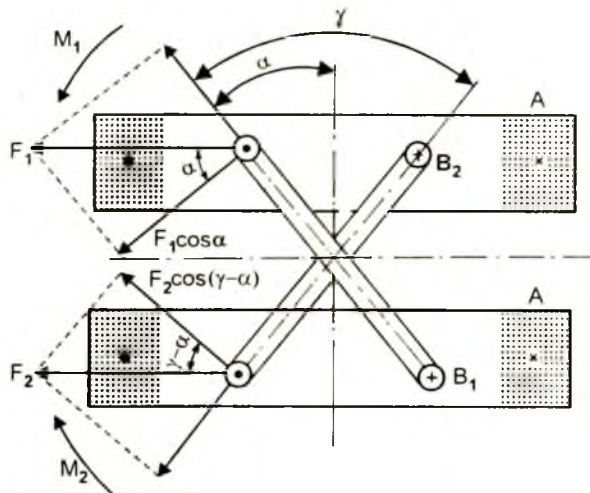
Ưu điểm của dụng cụ này là cấu tạo đơn giản, rẻ và độ tin cậy cao. Nhược điểm là giới hạn đo hẹp ($45 \div 55\text{HZ}$) hoặc ($450 \div 550 \text{ Hz}$), sai số của phép đo lớn $\pm 1,5 \div 2,5\%$. Không sử dụng được ở nơi có độ rung lớn và các thiết bị đang di chuyển.

4.3. TẦN SỐ KẾ CƠ ĐIỆN

4.3.1. Tần số kế điện động và sắt điện động

Tần số kế điện động và sắt điện động là dụng cụ đo tần số dựa trên cơ cấu lògômmét điện động và sắt điện động. Hình 4 - 2 là cấu tạo của cơ cấu lògômmét điện động.

Phần động của cơ cấu gồm 2 cuộn dây B_1 và B_2 gắn chặt với nhau với góc γ . Phần tĩnh là cuộn dây A được tách thành 2 phần. Khi có dòng điện I chạy vào cuộn tĩnh A và dòng I_1, I_2 đi vào các cuộn dây B_1 và B_2



Hình 4 - 2. Lògômmét điện động

do tác động của trường điện từ chúng sẽ tạo thành 2 mômen quay ngược chiều nhau.

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

$$M_2 = I \cdot I_2 \cos(\widehat{I, I_2}) \cos(\gamma - \alpha) \frac{dM_{AB_2}}{d\alpha} \quad (4 - 7)$$

Ở vị trí cân bằng ta có $M_1 = M_2$ và nếu thực hiện được

$$\frac{dM_{AB_1}}{d\alpha} = \frac{dM_{AB_2}}{d\alpha} \quad \text{thì} \quad \frac{I_1 \cos(\widehat{I, I_1})}{I_2 \cos(\widehat{I, I_2})} = \frac{\cos(\gamma - \alpha)}{\cos \alpha} \quad (4 - 8)$$

$$\text{Và } \alpha = F\left(\frac{I_1 \cos(\widehat{I, I_1})}{I_2 \cos(\widehat{I, I_2})}\right) \quad (4 - 9)$$

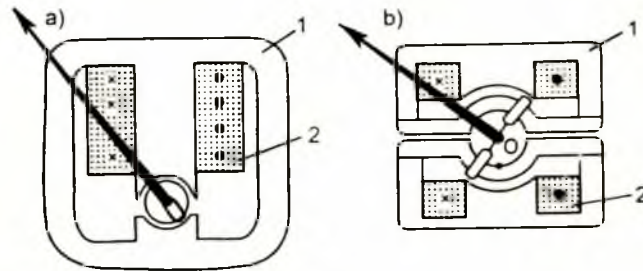
Như vậy góc lệch α tỉ lệ với tỉ số của 2 dòng điện I_1 và I_2 và $\cos(\widehat{I, I_1}); \cos(\widehat{I, I_2})$.

Nhược điểm của lògômmét điện động là độ nhạy thấp. Để tăng độ nhạy của cơ cấu người ta cho thêm lõi thép vào và được gọi là cơ cấu chỉ thị sắt điện động (hình 4 - 3). Mômen quay của cơ cấu sắt điện động khi cho dòng điện i_1 vào cuộn dây tĩnh và i_2 vào cuộn dây động được tính theo biểu thức:

$$M_t = BS_2W_2i_2 \quad (4 - 10)$$

B - độ từ cảm của khe hở không khí, được tạo bởi dòng điện i_1 .

S_2, W_2 - diện tích và số vòng của cuộn dây động 2.



Hình 4 - 3. Chi tiết sắt điện động
1-Lõi thép 2-Cuộn dây tĩnh

Mômen quay trung bình được tính

$$M_q = \frac{1}{T} \int_0^T M_t dt = BS_2W_2I_2 \cos(\widehat{B, I_2}) \quad (4 - 11)$$

Nếu sử dụng đoạn tuyến tính của đường cong từ hoá thì

$B = k_1 I_1$ (k_1 - hệ số) và $(\widehat{B, I_2}) = (\widehat{I_1, I_2})$ do đó :

$$M_q = k_1 S_2 W_2 I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1, I_2}) \quad (4 - 12)$$

Khi mômen quay bằng mômen cản ta có :

$$M_q = M_c$$

$$k_1 S_2 W_2 I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1, I_2}) = D\alpha$$

$$\alpha = \frac{k_1}{D} S_2 W_2 I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1, I_2}) \quad (4 - 13)$$

Dựa trên cơ cấu điện động và sắt điện động người ta đã chế tạo dụng cụ đo tần số.

Cấu tạo của tần số kế điện động như hình 4 - 4a; trong đó cuộn dây phần tĩnh A được mắc nối tiếp với cuộn dây phần động B₂ và các phần tử R₂, L₂ và C₂. Cuộn dây phần động B₁ nối tiếp với tụ C₁.

Từ sơ đồ vectơ (hình 4 - 4b) ta thấy rằng góc lệch giữa U_x và dòng điện I_1 là 90^0 . Nếu trong mạch điện gồm có cuộn dây phân tính A nối tiếp với cuộn dây động B₂ và các phần tử R_2, L_2, C_2 được chọn sao cho tạo được cộng hưởng điện áp với tần số f_{x0} bằng giá trị trung bình của dải tần cần đo

$$f_{x0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

Thì góc lệch α của cơ cấu được tính theo biểu thức

$$\alpha = F\left(\frac{I_1 \cos \Psi_1}{I_2 \cos \Psi_2}\right) \quad (4 - 14)$$

Trong đó ψ_1 và ψ_2 là góc lệch giữa I và I_1 , I và I_2 trong cuộn dây phân tính và phân động.

Từ hình 4 - 4b ta có : $\psi_2 = 0$ nên $\cos \psi_2 = 1$.

Với $I = I_2$ và $\cos \psi_1 = \cos(90^0 - \varphi_2) = \sin \varphi_2$

$$\text{Trong đó : } \sin \varphi_2 = \frac{X_2}{Z_2} \quad \text{và} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (4 - 15)$$

X_2, Z_2 - điện kháng và tổng trở của mạch có dòng I_2

Z_1 - tổng trở trong mạch dòng I_1

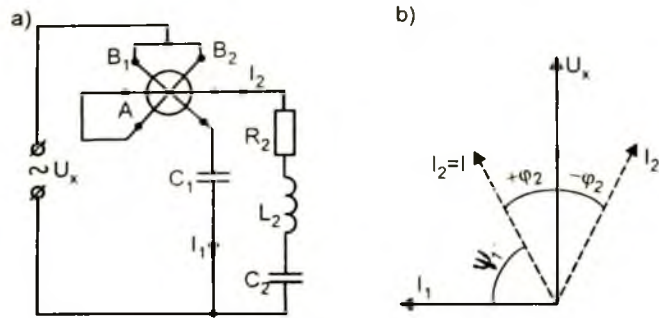
Từ (4 - 15) thay vào (4 - 14) ta được

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2} \cos \Psi_1\right) = F\left(\frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{X_2}{Z_2}\right) = F\left(\frac{X_2}{Z_1}\right)$$

$$\text{với } Z_1 \approx X_1 \text{ (vì có } C_1) \text{ nên } \alpha = F\left(\frac{X_2}{X_1}\right) \quad (4 - 16)$$

$$X_1 = \frac{1}{\omega_x C_1}; \quad X_2 = \omega_x L_2 - \frac{1}{\omega_x C_2} \quad \text{và} \quad \omega_x = 2\pi f_x.$$

Nên $\alpha = F(f_x)$, do đó 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 dụng cụ đo tần số cao hơn đến 2500Hz .



Hình 4 - 4. Tần số kế điện động.

4.3.2. Tần số kế điện từ

Là dụng cụ đo tần số sử dụng cơ cấu lôgômmét điện từ. Cấu tạo của lôgômmét điện từ gồm 2 cuộn dây tĩnh A và B với 2 lõi thép động được gắn lên cùng một trục quay hình 4 - 5a. Khi có dòng điện I_1 và I_2 đi vào các cuộn dây A và B chúng tạo ra 2 mômen quay M_1 và M_2 ngược chiều nhau.

Khi ở vị trí cân bằng $M_1 = M_2$ theo (2 - 10) ta có

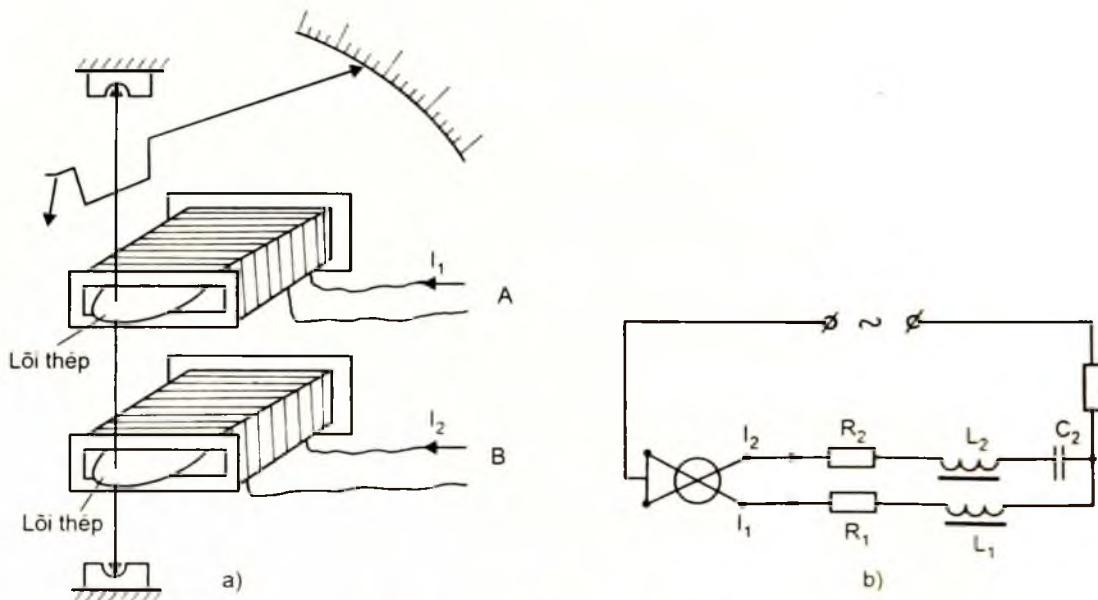
$$\frac{1}{2} I_1^2 \frac{dL_1}{d\alpha} = \frac{1}{2} I_2^2 \frac{dL_2}{d\alpha}$$

$$\text{và } \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2 = \frac{dL_2/d\alpha}{dL_1/d\alpha} = f(\alpha) \quad \text{suy ra } \alpha = \bar{F} \left[\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2 \right]$$

Trên cơ sở lôgômmét điện từ, tần số kế điện từ có cấu tạo như hình 4 - 5b.

Trong đó cuộn A được nối với điện trở R_1 và điện cảm L_1 . Cuộn B nối với R_2, L_2, C_2 . Hai cuộn dây có đặc tính tần khác nhau. Khi tần số của tín hiệu cần đo thay đổi, các dòng điện I_1 và I_2 thay đổi theo. Giả sử khi f_x tăng dòng I_1 giảm nhưng I_2 tăng lên và góc α thay đổi theo tỉ số $\frac{I_1}{I_2}$ tức là tỉ lệ với tần số đo.

Tần số kế loại này có dải đo từ 450 ÷ 550Hz hoặc 45 ÷ 55Hz.

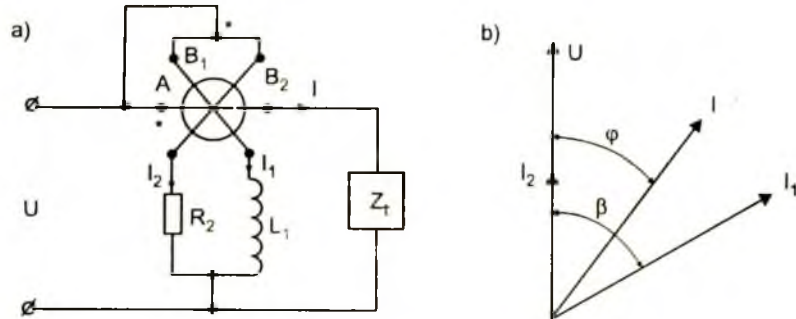


Hình 4 - 5. a) Cơ cấu lôgômmét điện từ
b) Tần số kế điện từ

4.4. FAZÔMÉT ĐIỆN ĐỘNG

Fazômét điện động là dụng cụ đo góc pha và hệ số $\cos\varphi$ sử dụng cơ cấu chỉ thị lôgômét điện động.

Hình 4 - 6 là sơ đồ nguyên lí của một fazômét điện động.



Hình 4 - 6. a) Fazômét điện động
b) Biểu đồ vectơ

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

Từ công thức (4 - 9) và sơ đồ vectơ hình 4 - 6b ta có :

$$f(\alpha) = F \left(\frac{I_1 \cos(\widehat{I, I_1})}{I_2 \cos(\widehat{I, I_2})} \right)$$

Nếu $I_1 = I_2$ và tính toán sao cho $\beta = \gamma$

$$f(\alpha) = F \left(\frac{I_1 \cos(\beta - \varphi)}{I_2 \cos \varphi} \right) = F \left(\frac{I_1 \cos(\gamma - \alpha)}{I_2 \cos \alpha} \right) \quad (4 - 17)$$

Từ (4 - 17) ta suy ra $\alpha = \varphi$ (4 - 18)

Từ (4 - 18) ta thấy góc quay α của phân động tỉ lệ với góc φ , do đó trên thang đo có thể khắc độ góc φ hoặc $\cos\varphi$.

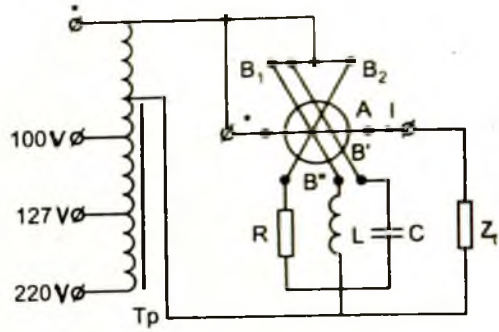
Nhược điểm của loại dụng cụ này là chỉ dùng cho 1 cấp điện áp, khi điện áp thay đổi phải thay đổi các điện trở R_2 và điện cảm L_1 do đó góc β cũng thay đổi.

Để khắc phục nhược điểm trên có thể thực hiện bằng cách sử dụng mạch phân áp và chia cuộn dây phân động B_2 thành 2 cuộn nối song song với nhau. Một cuộn nối với điện dung C và cuộn kia nối với cuộn cảm L sao cho :

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Để khi tần số tăng điện kháng X_L tăng còn X_C giảm và điện kháng của toàn mạch không thay đổi (hình 4 - 7)

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

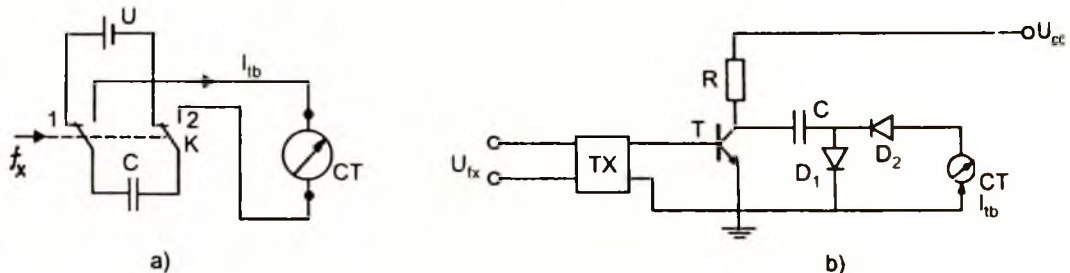


Hình 4 - 7. Fazômét điện động

4.5. TẦN SỐ KẾ ĐIỆN TỬ.

Tần số kế điện tử là dụng cụ để đo tần số âm tần và cao tần mà các tần số kế cơ điện không đo được, đó là dụng cụ phối hợp giữa cơ cấu đo từ điện với các bộ biến đổi để thực hiện biến đổi tần số thành dòng điện một chiều. Hình 4 - 8a là sơ đồ nguyên lí của một tần số kế điện tử.

Khi khoá K ở vị trí 1 tụ C được nạp điện đến điện áp U của nguồn điện. Điện tích nạp $Q=CU$ (4 - 19). Khi khoá K chuyển sang vị trí 2 tụ C phóng điện qua cơ cấu từ điện (CT). Nếu vị trí của khoá K được thay đổi với tần số bằng tần số đo f_x thì giá trị dòng điện trung bình đi qua cơ cấu đo $I_{tb} \approx Qf_x = CUf_x$ (4 - 20).



Hình 4 - 8

Từ biểu thức (4 - 20) nếu C và U là đại lượng không đổi ta thấy rằng dòng điện đi qua dụng cụ đo tỉ lệ với tần số cần đo và có thể khắc độ trực tiếp theo đơn vị tần số. Trong các tần số kế điện tử khoá K được thay bằng khoá điện tử nhờ một tranzito (hình 4 - 8b). Điện áp có tần số cần đo U_{fx} được đưa qua bộ tạo xung TX. Khi chưa có xung đặt vào bazơ của tranzito, tranzito ở chế độ khoá và tụ C được nạp đến điện áp U với điện tích $q = CU$. Khi có xung vào

bazơ của tranzito T, tranzito làm việc ở chế độ thông, tụ C được phóng điện qua T, diốt D₂ và cơ cấu đo (CT) chỉ thị được khắc độ giá trị tần số.

Tần số kế loại này được dùng để đo tần số tín hiệu hình sin từ 10Hz ÷ 500kHz với sai số ±2%. Nếu tín hiệu xung có thể đo với dải tần từ 10Hz ÷ 20kHz, sai số ±2%.

4.6. FAZÔMÉT ĐIỆN TỬ

Fazômét điện tử dựa trên việc biến đổi góc lệch pha φ giữa 2 tín hiệu điện thành dòng điện hay điện áp, sau đó đưa vào cơ cấu đo từ điện. Hình 4-9a là sơ đồ nguyên lí của fazômét điện tử.

Tín hiệu điện áp hình sin U_1 và U_2 được đưa vào bộ tạo xung TX₁ và TX₂. Khi các tín hiệu đi qua 0 từ âm sang dương sẽ tạo ra các xung U_3 và U_4 (hình 4 - 9b). Các xung này được đưa đến để điều khiển khoá điện tử K, K đóng khi đưa xung từ bộ TX₁ vào và ngắt khi đưa xung từ bộ TX₂ đến.

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 khoá K thông sẽ có dòng điện I đi qua cơ cấu đo (CT).

Giá trị dòng trung bình đi qua cơ cấu đo được tính :

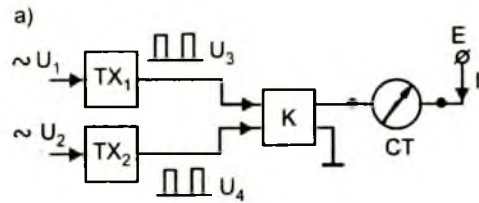
$$I_{tb} = I_m \frac{\tau}{T} = I_m \frac{\varphi_x}{360^\circ} \quad (4 - 21)$$

Do đó góc lệch của kim chỉ

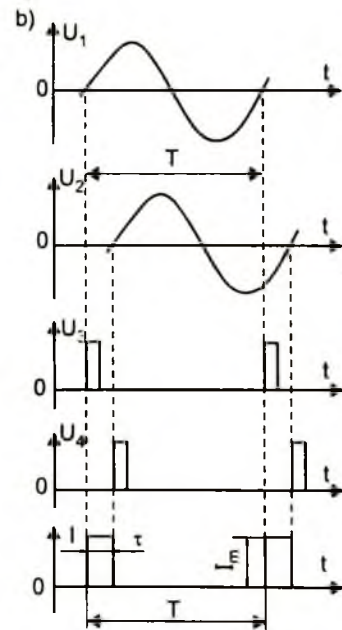
$$\alpha = S_I I_m \frac{\varphi_x}{360^\circ} \quad (4 - 22)$$

I_m - giá trị biên độ lớn nhất của dòng điện I.

S_I - độ nhạy của cơ cấu đo.



Hình 4 - 9a



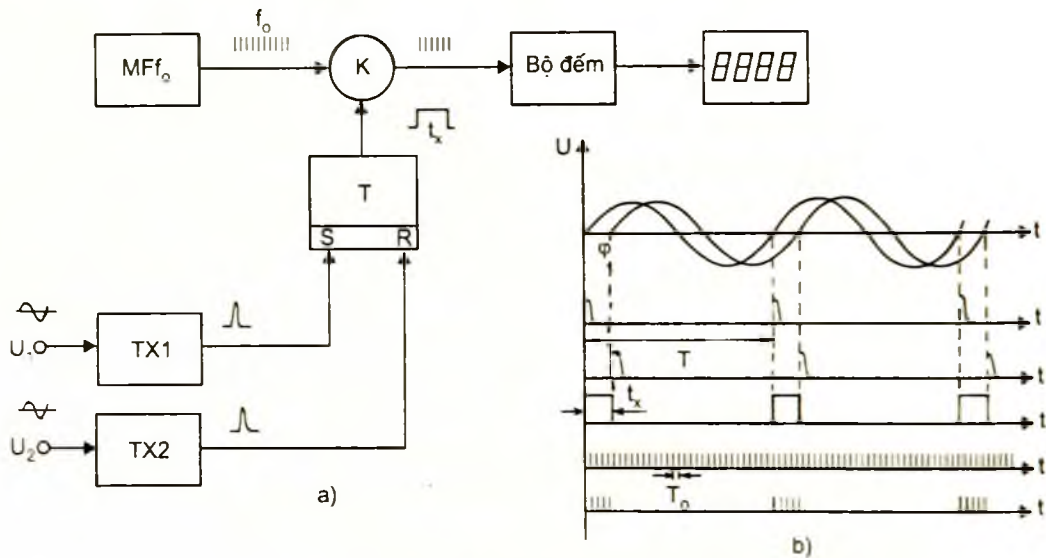
Hình 4 - 9b

Thang đo của dụng cụ được khắc độ trực tiếp góc lệch pha. Fazômét điện tử loại này dùng để đo góc lệch pha từ $0 \div 180^0$ (360^0), cấp chính xác $1 \div 1,5$ và dải tần từ $20\text{Hz} \div 200\text{kHz}$.

4.7. FAZÔMÉT CHỈ THỊ SỐ

Nguyên lí làm việc của fazômét chỉ thị số là biến đổi góc lệch pha cần đo giữa 2 tín hiệu thành khoảng thời gian t_x sau đó lấp đầy khoảng thời gian đó bằng các xung có tần số đã biết trước. Số xung đếm được tỉ lệ với góc lệch φ_x của 2 tín hiệu.

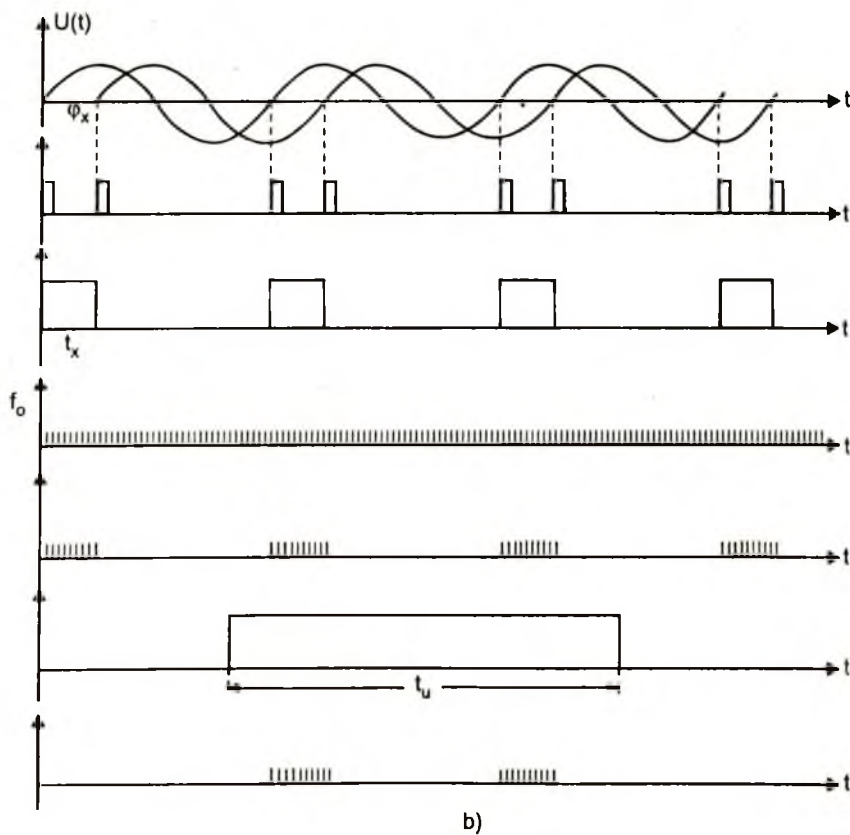
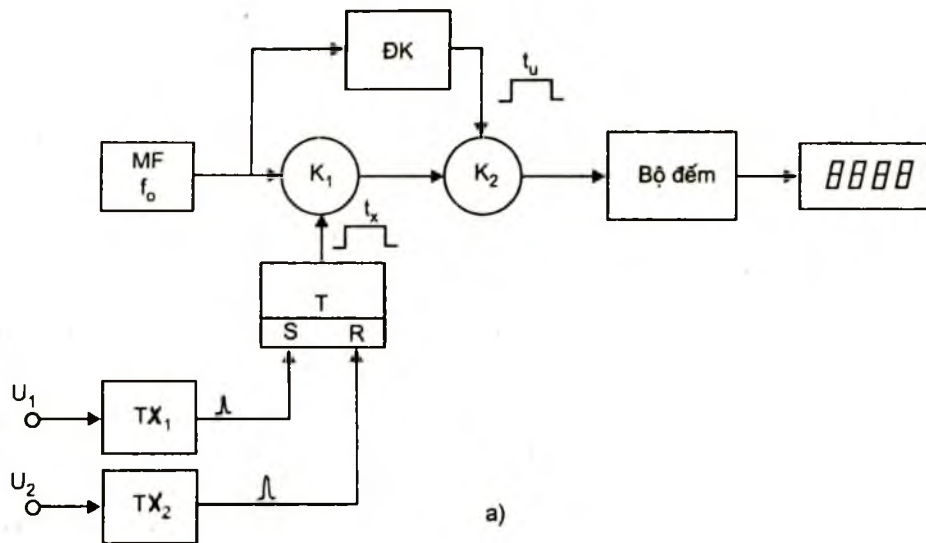
Sơ đồ fazômét số như hình 4 - 10. Các tín hiệu U_1, U_2 có dạng hình sin được đưa vào các bộ tạo xung TX₁ và TX₂. Các xung xuất hiện khi tín hiệu đi qua "0" biến thiên từ âm sang dương.



Hình 4 - 10. Fazômét số

Các xung này được đưa đến các đầu vào S - R của trigơ do đó ở đầu ra của trigơ sẽ xuất hiện các xung đóng mở khoá K với khoảng thời gian t_x .

Khi K mở, máy phát tần số chuẩn đưa các xung có tần số f_0 (hay chu kì $T_0 = \frac{1}{f_0}$) qua khoá K vào bộ đếm và đến chỉ thị.



Hình 4 - 11. a) Fazômet số b) Biểu đồ thời gian

$$\text{Số xung đếm được ở bộ đếm là : } N = \frac{t_x}{T_0} = t_x f_0 \quad (4 - 23)$$

$$\text{Từ công thức (4 - 3) ta có : } \frac{t_x}{T_x} = \frac{\varphi_x}{360^\circ} \quad \text{và} \quad t_x = \frac{T_x}{360^\circ} \varphi_x$$

$$N = \frac{T_x}{360^\circ} f_0 \varphi_x = \frac{f_0}{360^\circ f_x} \varphi_x \quad (4 - 24)$$

Từ (4 - 24) ta thấy rằng với f_x và f_0 là những đại lượng không đổi số xung đếm được tỉ lệ thuận với φ_x . Nếu f_0 và f_x thay đổi sẽ gây nên sai số. Để khắc phục nhược điểm của sơ đồ trên người ta sử dụng sơ đồ (hình 4 - 11a). Cấu tạo của sơ đồ (hình 4 - 11a) chỉ khác sơ đồ (hình 4 - 10a) là có thêm một bộ điều khiển (ĐK) để đóng mở khoá K_2 trong khoảng thời gian $t_u = kT_0$. Trong sơ đồ này số xung được đếm không những chỉ trong khoảng thời gian t_x mà là một số khoảng t_x nằm trong khoảng thời gian đo t_u (hình 4 - 11b). Khoảng thời gian t_u được tạo ra nhờ bộ điều khiển lấy từ máy phát tần số chuẩn f_0 .

Từ biểu đồ thời gian (hình 4 - 11b) ta thấy rằng trong khoảng thời gian K_2 mở (t_u) số xung đếm được là :
$$N = \frac{t_u}{T_x} \cdot \frac{t_x}{T_0} = \frac{kT_0}{T_x} \cdot \frac{T_x}{T_0 360^\circ} \varphi_x = \frac{k}{360^\circ} \varphi_x \quad (4 - 25)$$

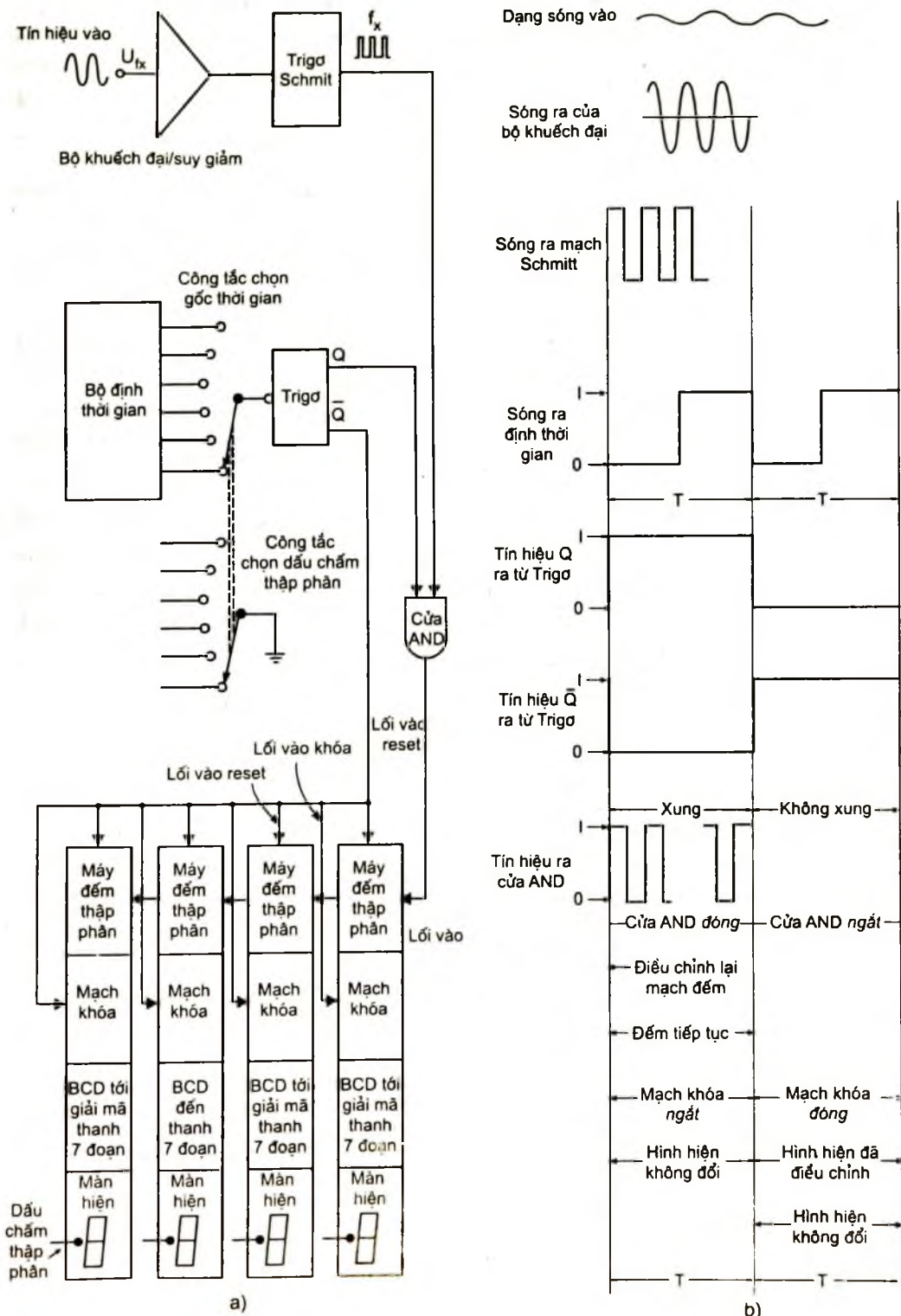
Từ (4 - 25) ta thấy số xung không phụ thuộc vào tần số f_0 và f_x tránh được nhược điểm của sơ đồ trên (hình 4 - 10) và phép đo chính xác hơn. Sai số của dụng cụ chỉ còn phụ thuộc vào hệ số K của bộ điều khiển để tạo ra khoảng thời gian t_u .

Fazômét số loại này có thể làm việc trong khoảng tần số từ vài Hz đến vài MHz với sai số $\pm 0,1 \div 0,2\%$.

4.8. TẦN SỐ KẾ CHỈ THỊ SỐ

Hình 4 - 12a là sơ đồ khối của tần số kế chỉ thị số có bốn chỉ số và các dạng sóng điện áp (hình 4 - 12b).

Tín hiệu có tần số cần đo được đưa vào khuếch đại hoặc làm 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 và dùng để khởi động các mạch đếm. Trước khi vào mạch đếm các xung phải qua cửa VÀ (AND).



Hình 4 - 12. a) Sơ đồ khối của tần số kế số
 b) Các dạng sóng đối với máy đo tần số hiện số

Các xung vuông trên chỉ đi vào mạch đếm khi đầu ra 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 4 - 12b) đầu ra của mạch trigơ luân phiên ở mức 1 trong 1s và mức 0 trong một giây. Do đó cửa VÀ luân phiên đóng trong 1 giây và ngắt trong 1 giây.

Tức là cửa VÀ luân phiên đưa các xung ra của trigơ schmitt tới các mạch đếm trong một giây và sau đó chặn chúng trong 1 giây. Các xung vào được đếm trong thời gian cửa VÀ đóng ($T=1s$) cũng là số tần số cần đo. Bộ định thời gian đo (Bộ chia tần) có 6 mức nhờ chuyển mạch bằng tay hoặc tự động.

Đầu ra \bar{Q} của trigơ ngược pha với Q. Các tín hiệu ra từ \bar{Q} dùng để reset các mạch đếm và để mở và đóng các mạch khoá.

Khi bắt đầu thời gian đếm, đầu ra \bar{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. Vì đầu ra \bar{Q} ở logic 0 trong thời gian đếm nên đảm bảo cho các mạch khoá đều ngắt do đó trong thời gian đếm sẽ không có tín hiệu đi qua mạch khoá. Ở cuối thời gian đếm, dạng sóng cấp cho các đầu vào của mạch khoá chuyển sang mức logic 1 và làm cho mạch khoá đóng. Trong thời gian mạch khoá đóng, cửa VÀ ngắt và bộ đếm ngừng đếm. Các số hiện trên chỉ thị được giữ không đổi trong suốt thời gian đếm do mạch khoá ngắt. Giả sử thời gian đếm là T_{do} , số xung đếm được là :

$$N = \frac{T_{do}}{T_x} = \frac{kT_0}{T_x} = \frac{k}{f_0} f_x \quad (4 - 26)$$

Nếu thời gian đo là 1 giây thì số xung đếm được N sẽ bằng tần số f_x

$$f_x = N \quad (4 - 27)$$

Sai số cơ bản của tần số kế số 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 :

$$\gamma_{fx} = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} \quad (4 - 28)$$

Trong đó $\frac{\Delta N}{N}$ phụ thuộc vào tỉ số giữa thời gian đo và chu kì 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 kì. Nếu $T_{do} = nT_x$ thì sai số $\Delta N = 0$, 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_0 . Sai số này cỡ 10^{-7} và được tính :

$$\frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{\Delta f_0}{f_0} = \gamma_{f_0} \quad (4 - 29)$$

Ta có sai số của phép đo tần số là :

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{1}{N} + \gamma_{f_0} = \frac{1}{f_x T_{do}} + \gamma_{f_0} \quad (4 - 30)$$

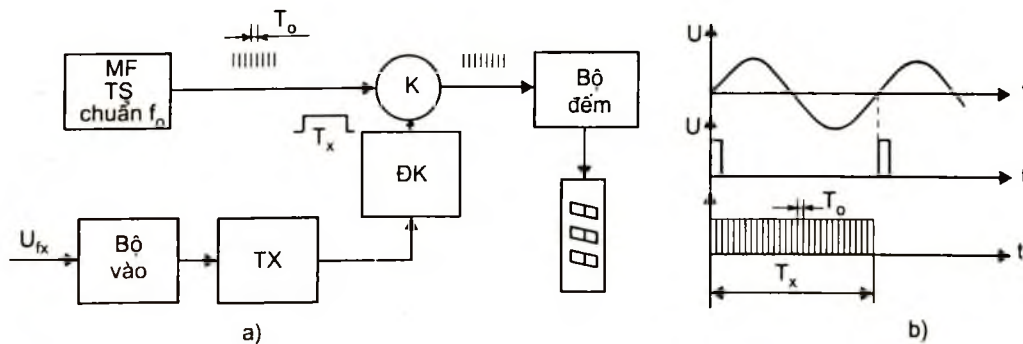
Với máy phát tần số là thạch anh ta có $\gamma_{f_0} = 10^{-7}$ do đó

$$\gamma_{f_x} \% = \frac{\Delta f_x}{f_x} 100\% = \pm \left(\frac{1}{f_x T_{do}} + 10^{-7} \right) \cdot 100\% \quad (4 - 31)$$

f_x - tính đơn vị Hz

Từ (4 - 31) ta thấy rằng sai số của phép đo tỉ lệ nghịch với độ lớn của tần số cần đo. Nếu f_x càng lớn thì sai số càng nhỏ và sai số sẽ lớn khi đo ở tần số thấp. 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 hiện tượng sai số lớn khi đo tần số thấp người ta có thể thực hiện một số biện pháp như tăng khoảng thời gian đo (T_{do}) hoặc sử dụng bộ nhân tần số cần đo lên 10^n lần hoặc chuyển phép đo tần số sang đo thời gian một chu kì T_x của tín hiệu đo : $f_x = \frac{1}{T_x}$. Hình 4 - 13 là sơ đồ đo tần số bằng phương pháp đo chu kì T_x (phương pháp đếm nghịch đảo).



Hình 4 - 13. Tần số kế đo bằng phương pháp nghịch đảo

Tín hiệu có tần số cần đo f_x qua thiết bị "đầu vào" và qua bộ tạo xung để tạo ra các xung có chu kỳ T_x là chu kỳ của tín hiệu cần đo. Các xung đó đưa vào bộ điều khiển để đóng mở khoá K, thời gian khoá K mở là khoảng thời gian T_x cũng là thời gian đo T_{do} .

Khi khoá K mở, các xung có tần số f_0 từ máy phát xung chuẩn được đưa vào bộ đếm và chỉ thị.

Số xung đếm được :

$$N = \frac{T_x}{T_0} = \frac{f_0}{f_x} \quad (4 - 32)$$

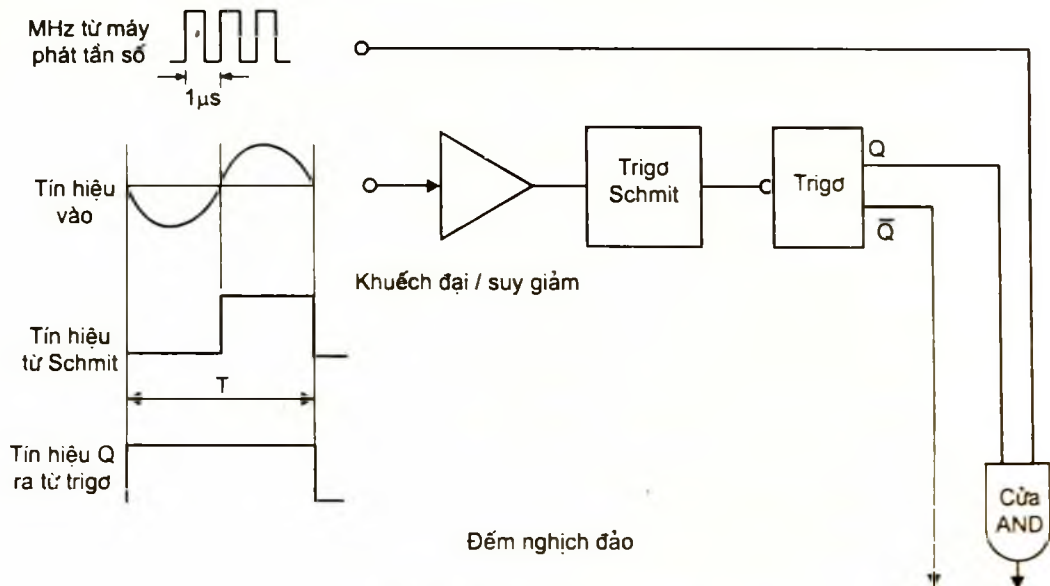
Để số xung tỉ lệ với tần số cần đo người ta thực hiện phép biến đổi nghịch đảo :

$$f_x = \frac{f_0}{N} \quad (4 - 33)$$

Sai số được tính theo biểu thức

$$\gamma_{T_x} \% = \pm \left[\gamma_{f_0} + \frac{T_0}{NT_x} \right] \cdot 100\%$$

Hình 4 - 14 là 1 ví dụ về tần số kế đo tần số thấp, trong đó tín hiệu có tần số cần đo f_x được đưa qua bộ khuếch đại hoặc suy giảm sau đó đưa vào trigơ Schmit để tạo xung. Các xung ở đầu ra của mạch Schmit được chuyển đến mạch trigơ và tới đầu vào của VÀ.



Hình 4-14. 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 VÀ thay cho mạch Schmit (hình 4 - 12). Với cách bố trí như trên (hình 4 - 14) bộ VÀ chuyển sang đóng trong thời gian tần số được đo và các xung từ máy phát tần số chuẩn được đếm trong thời gian đó.

Trong thời gian đo số xung đếm được

$$N = \frac{T_x}{T_0} = \frac{f_0}{f_x} \quad (4 - 32) \quad \text{và} \quad f_x = \frac{f_0}{N} \quad (4 - 33) \quad \text{sau khi đã nghịch đảo.}$$

Ví dụ : khi tần số cần đo là 100 Hz, cửa VÀ đóng trong khoảng thời gian $\frac{1}{100}$ Hz = 10ms. Các xung từ máy phát chuẩn có chu kì $T_0 = \frac{1}{10^6}$ Hz = 1 μ s. Do đó

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 100.00Hz (sau khi đã nghịch đảo).

Độ chính xác của phép đo tần số 100Hz bây giờ là ± 1 số đếm trên 10000, hoặc $\frac{100\text{Hz}}{10000} = 0,01 \text{ Hz}$.

$$\gamma_{\%f_x} = \frac{0,01\text{Hz}}{100\text{Hz}} \cdot 100\% = \pm 0,01\%$$

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 1- Nêu các định nghĩa về tần số và chu kì của một tín hiệu.
- 2- Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động của tần số kế cộng hưởng cơ khí.
- 3- Cấu tạo và nguyên lí hoạt động của tần số kế điện từ và điện động và nêu đặc điểm của nó.
- 4- Trình bày cấu tạo và nguyên lí làm việc của phazômét điện động và đặc điểm của nó.
- 5- Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động của tần số kế và phazômét điện từ và các đặc điểm.
- 6- Vẽ sơ đồ khối và trình bày nguyên tắc hoạt động của tần số kế số và phazômét số và các nguyên nhân gây sai số, cách khắc phục.

Chương V

ĐO THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN

Thông số của mạch điện bao gồm điện trở R, điện cảm L, điện dung C, góc tổn hao của tụ điện tgδ và hệ số phẩm chất của cuộn dây Q. Phương pháp đo các thông số mạch điện tùy theo yêu cầu có thể thực hiện bằng các thiết bị và các phương pháp đo trực tiếp hoặc gián tiếp.

Phương pháp đo gián tiếp là phương pháp đo điện áp U bằng vônmet, dòng điện I bằng ampemét thông qua các phương trình và các định luật để xác định thông số cần đo.

Ví dụ : đo điện trở $R = \frac{U}{I}$ (theo định luật Ôm)

Phương pháp đo trực tiếp là phương pháp dùng các thiết bị xác định trực tiếp các thông số cần đo như ôm mét, faradomet, henrimét...

5.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN TRỞ

5.1.1. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp

a) Đo điện trở bằng vônmet và ampemét

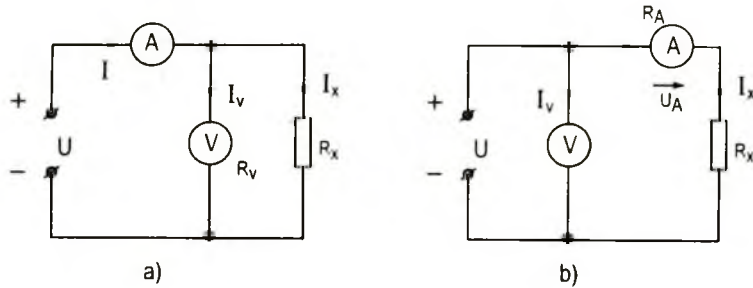
Hình 5-1 a, b là sơ đồ đo điện trở R dựa trên định luật Ôm $R = \frac{U}{I}$. Mặc dù có thể sử dụng các dụng cụ đo chính xác nhưng giá trị điện trở nhận được bằng phương pháp này có thể có sai số lớn. Tùy theo cách mắc ampemét và vônmet mà giá trị R_x đo được sẽ khác nhau.

Từ hình 5-1a ta có :

$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} \quad (5-1)$$

Với hình 5-1b ta có

$$R_x = \frac{U - U_A}{I_x} = \frac{U - I_x R_A}{I_x} \quad (5-2)$$



Hình 5 - 1. Đo điện trở bằng vônmet và ampemét

Qua đó ta có thể xác định sai số của phép đo điện trở phụ thuộc vào vônmet và ampemét.

- Sai số của phép đo điện trở theo sơ đồ a

$$\beta\% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} 100\% \quad (5-3)$$

trong đó $R'_x = \frac{U}{I}$ (5-4) là giá trị điện trở đo được theo vônmet và ampemét.

R_x giá trị điện trở thực.

Nếu $R_v \gg R_x$

từ (5-4) và (5-1) ta tính được :

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

- Sai số của phép đo điện trở theo sơ đồ b

$$\beta\% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} 100\%$$

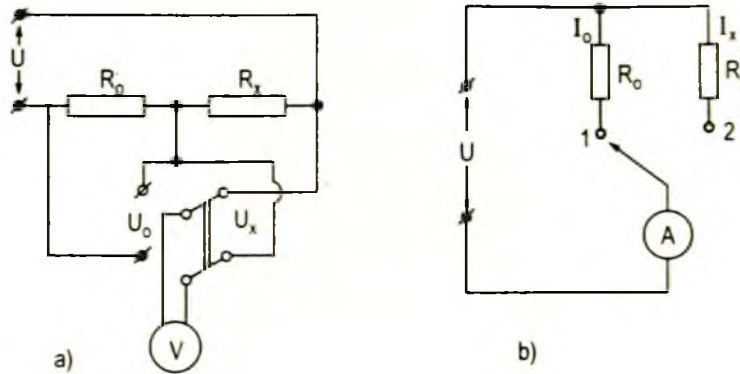
Thay biểu thức (5-2) và (5 - 4) vào biểu thức (5 - 3) ta có :

$$\beta\% = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100\% \quad (5 - 6).$$

Từ các biểu thức (5 - 5) và (5 - 6) ta thấy rằng : để đo điện trở nhỏ có thể dùng sơ đồ hình 5-1a, khi điện trở R lớn nên dùng sơ đồ hình 5-1b.

b) Đo điện trở bằng phương pháp so với điện trở mẫu

Để đạt độ chính xác cao của phép đo điện trở, ta có thể sử dụng phương pháp so sánh điện trở đo với điện trở mẫu.



Hình 5 - 2. Đo điện trở bằng cách so sánh với điện trở mẫu

+ Điện trở đo và điện trở mẫu mắc nối tiếp (hình 5-2a)

Trong đó điện áp rơi trên điện trở mẫu R₀ là U₀, điện áp rơi trên điện trở đo R_x là U_x. Với dòng điện I không đổi ta có

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x} \quad R_x = \frac{U_x}{U_0} R_0 \quad (5-7)$$

Sai số của phép đo bằng tổng sai số của điện trở mẫu và sai số của vônmet.

+ Điện trở đo và điện trở mẫu mắc song song (hình 5 - 2b). Dòng điện đi qua điện trở mẫu là I₀ và dòng điện qua điện trở đo là I_x. Với điện áp cung cấp ổn định ta có :

$$I_0 R_0 = I_x R_x \quad R_x = \frac{I_0}{I_x} R_0 \quad (5-8)$$

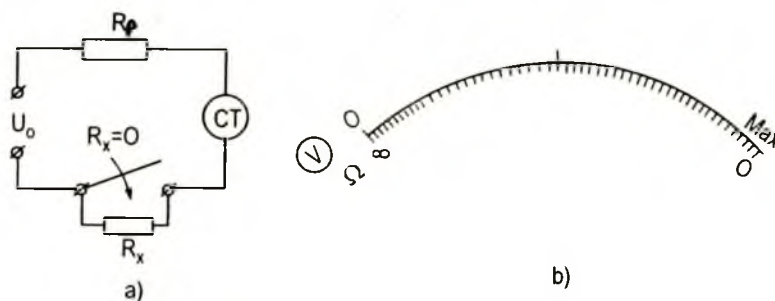
Sai số của phép đo bằng tổng sai số của điện trở mẫu R₀ và sai số của ampe mét.

5.1.2. Đo điện trở trực tiếp bằng ômmét

Ômmét là dụng cụ đo từ điện 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 thay đổi, thì dòng điện I qua mạch đo sẽ thay đổi khi điện trở thay đổi. Trên cơ sở đó có thể chế tạo các ômmét đo điện trở.

Tùy thuộc vào cách mắc sơ đồ mạch đo, người ta chia ômmét thành 2 loại: ômmét mắc nối tiếp và ômmét mắc song song.

a) Ômmét nối tiếp: là ômmét trong đó điện trở đo R_x mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị (hình 5-3a).



Hình 5 - 3. Mạch nguyên lí của ômmét

Các ômmét nối tiếp thường dùng đo các điện trở từ cỡ ôm trở lên. Trong đó R_p là các điện trở phụ đảm bảo sao cho khi $R_x = 0$ dòng điện qua cơ cấu đo là lớn nhất (lệch hết thang chia độ) và để bảo vệ cơ cấu chỉ thị.

Điện trở trong của ômmét được tính như sau

$$R_{\Omega} = R_{CT} + R_p = \frac{U_0}{I_{CTmax}} \quad (5-9)$$

R_{CT} - điện trở của chỉ thị

I_{CTmax} - dòng định mức của cơ cấu chỉ thị

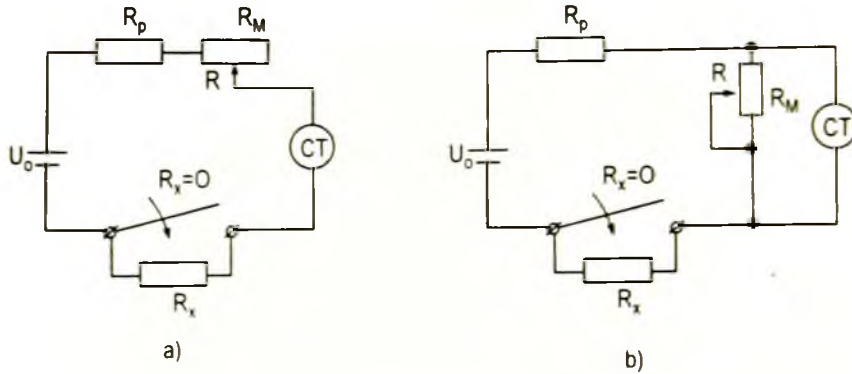
$$\text{Khi } R_x = 0 \quad I_{CTmax} = \frac{U_0}{R_{CT} + R_p} \quad (5-10)$$

$$\text{Khi } R_x \neq 0 \quad I_{CT} = \frac{U_0}{R_{CT} + R_p + R_x} \quad (5-11)$$

Với $R_x = \infty$ thì $I_{CT} = 0$

Từ các biểu thức trên ta thấy rằng thang chia độ của ômmét ngược với thang chia độ của vôn-mét (h5-3b). Mặt khác ta cũng thấy số chỉ của ômmét phụ thuộc vào nguồn cung cấp. Nếu nguồn cung cấp thay đổi sẽ gây sai số lớn do đó để khắc phục các sai số do nguồn cung cấp thay đổi người ta mắc thêm một chiết áp hoặc biến trở R_M để chỉnh zêrô (khi $R_x = 0$) như hình vẽ 5-4a và 5-4b. Cách chỉnh như sau : Mỗi lần sử dụng ômmét, trước hết phải ngắt mạch các đầu ra ($R_x=0$) sau đó điều chỉnh R_M để kim của chỉ thị chỉ zêrô trên thang đo.

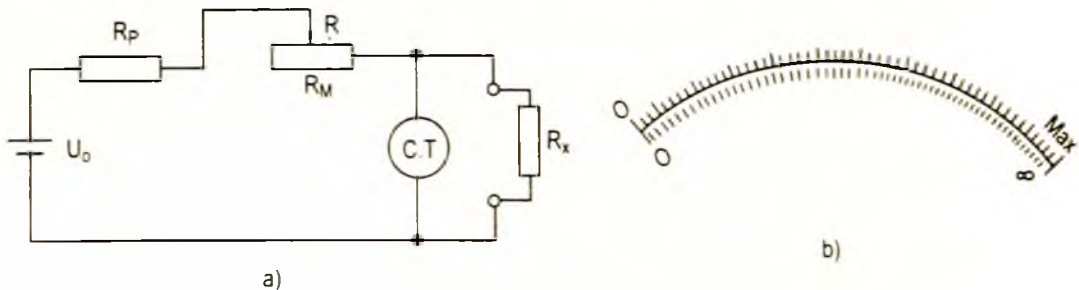
Với cách hiệu chỉnh như vậy khi điện áp cung cấp của pin giảm xuống dưới mức ban đầu của nó thang đo vẫn đúng.



Hình 5 - 4. Ômmét chỉ thị mắc nối tiếp

b) Ômmét mắc song song

Là loại dụng cụ đo trong đó R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị hình 5-5a. Ưu điểm của ômmét loại này là có thể đo được điện trở tương đối nhỏ (cỡ $k\Omega$ trở lại) và điện trở vào của ômmét R_Ω nhỏ khi dòng điện từ nguồn cung cấp không lớn lắm. Do R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị nên khi $R_x = \infty$ (chưa có R_x) dòng điện qua chỉ thị là lớn nhất ($I_{CT} = I_{CTmax}$) với $R_x = 0$ dòng điện qua chỉ thị $I_{CT} \approx 0$. Thang đo được khắc độ giống như vôn-mét hình 5 - 5b.

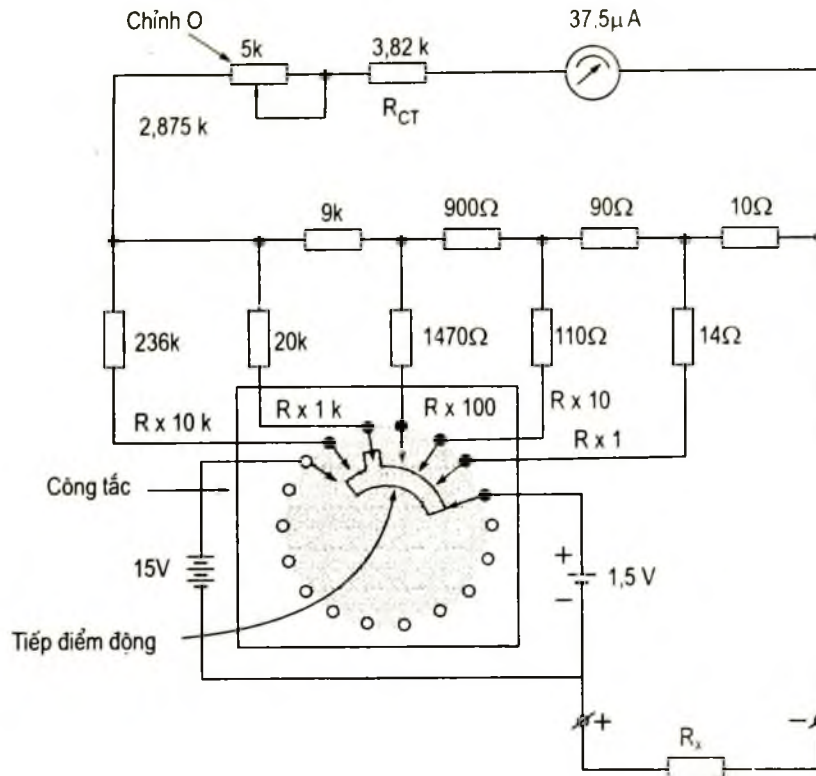


Hình 5 - 5. Ômmét chỉ thị mắc song song

Điều chỉnh thang đo của ômmét trong trường hợp nguồn cung cấp thay đổi cũng dùng một biến trở R_M và điều chỉnh ứng với $R_x = \infty$. Xác định R_p và R_M giống như sơ đồ ômmét mắc nối tiếp.

b) Ômmét nhiều thang đo

Ômmét nhiều thang đo thực hiện theo nguyên tắc chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở vào của ômmét với một

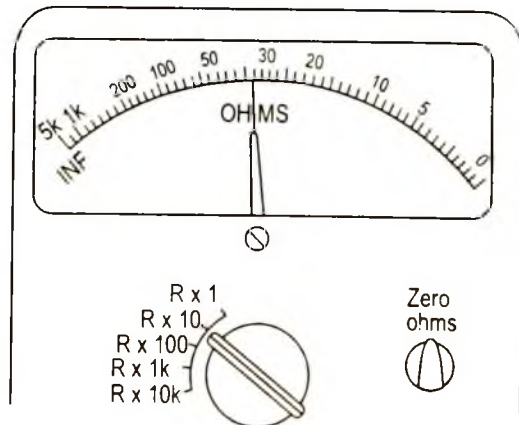


Hình 5 - 6a . Ômmét nhiều thang đo

số lần nhất định sao cho khi $R_x = 0$ kim chỉ thị vẫn đảm bảo lệch hết thang đo (nghĩa là dòng qua cơ cấu đo bằng giá trị định mức đã chọn).

Để mở rộng giới hạn đo của ômmét có thể thực hiện bằng cách dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân dòng (điện trở sun) cho các thang đo khác nhau. Hình 5-6 là sơ đồ ômmét nhiều thang đo dùng 2 nguồn cung cấp với các điện trở sun tương ứng có chất lượng tốt.

Thiết bị có dòng chỉ thị định mức $I_{CT} = 37,5 \mu A$, điện trở của chỉ $R_{CT} = 3,82 k\Omega$. Điều chỉnh zêrô là một biến trở $5k\Omega$ (với $R=2,875k\Omega$ khi pin có điện áp ở mức bình thường). Pin 1,5 V dùng cho tất cả các khoảng đo $R \times 1$; $R \times 10$; $R \times 100$ và $R \times 1k\Omega$ pin 15V dùng cho khoảng đo $R \times 10k\Omega$. R_x được mắc vào các đầu ra của



Hình 5 - 6b. Núm điều chỉnh ômmét

mạch (+, -).

Công tắc do có phần tiếp xúc động có thể xoay từng nấc cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ (hình 5-6a). Hình 5-6b minh họa ômmét thường dùng và núm điều chỉnh ôm mét.

5.1.3 Cấu đo điện trở

Cầu đo điện trở thường được chia thành hai loại: Cầu đơn và cầu kép (cầu Wheatstone và cầu Kelvin)

a) Cầu đơn: (cầu Wheatstone)

Cầu đơn là một thiết bị dùng để đo điện trở rất chính xác. Mạch cầu hình 5-7 gồm hai điện trở cố định R_2 và R_3 và điện trở điều chỉnh được R_1 , điện trở cần đo R_x và điện kế chỉ không (CT). Cầu được cung cấp bằng nguồn điện một chiều U_0 . Các điện trở R_1 , R_2 , R_3 được chế tạo bằng điện trở Manganin có độ ổn định và độ chính xác cao.

Để xác định điện trở chưa biết R_x người ta điều chỉnh biến trở R_1 cho tới khi điện kế chỉ zero, lúc đó cầu đang ở chế độ cân bằng nghĩa là điện thế tại hai điểm $V_a = V_b$ ($U_{ab} = 0$). Do dòng điện không đi qua điện kế nên I_1 sẽ chạy qua R_1 , R_2 và I_2 chạy qua R_3 , R_x , ta có :

$$I_1 R_2 = I_2 R_3 \quad (5-12)$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_x \quad (5-13)$$

Chia biểu thức (5-12) cho (5-13) ta được

$$\frac{I_1 R_2}{I_1 R_1} = \frac{I_2 R_3}{I_2 R_x} \quad \text{hay} \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_x} \quad (5-14)$$

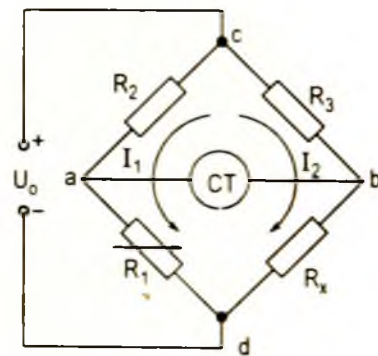
$$\text{và } R_x R_2 = R_1 R_3$$

Từ đó tính được điện trở chưa biết

$$R_x = \frac{R_3}{R_2} R_1 \quad (5-15)$$

Với R_3 và R_2 là các điện trở cố định do đó tỷ số $\frac{R_3}{R_2} = k$; k là hệ số nhân.

Nếu thay đổi điện trở R_3 bằng một số các điện trở có giá trị lớn hơn nhau 10 lần

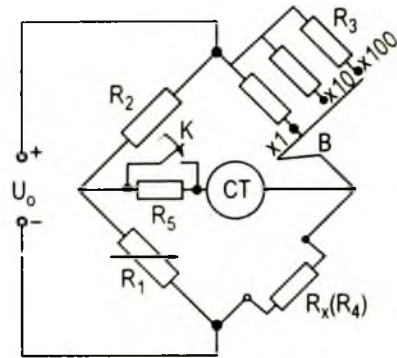


Hình 5 - 7. Cầu đơn

và giữ nguyên điện trở R_2 thì ta sẽ có các hệ số nhân khác nhau. Nên có thể mở rộng thang đo của cầu như hình 5-8.

Điện trở R_5 (hình 5-8) dùng để điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị chỉ không. Trước khi đo khoá K được mở ra để chỉnh thô (bảo vệ quá dòng điện cho chỉ thị). Khi cầu đã tương đối cân bằng người ta đóng khoá K lại để chỉnh tinh cho đến khi cầu cân bằng hoàn toàn.

Độ chính xác của cầu cân bằng phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị và điện áp cung cấp, vì vậy chỉ thị chỉ không cần có độ nhạy cao, nguồn cung cấp đảm bảo dòng qua chỉ thị không vượt quá dòng cho phép.



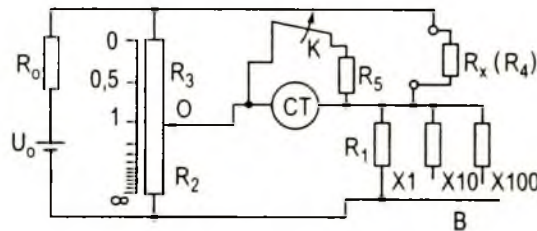
Hình 5 - 8. Cầu hộp

Ngoài cầu hộp như hình 5-8 người ta còn sử dụng cầu biến trở (hình 5-9). Trong cầu biến trở, điện trở R_2 và R_3 là một biến trở có thể thay đổi được trị số, R_1 là một dãy các điện trở có trị số lớn hơn nhau 10 lần. Khi đó, điện trở R_x được mắc vào mạch và điều chỉnh tỷ số R_3/R_2 cho đến khi chỉ thị chỉ zero (cầu đã cân bằng)

Giá trị điện trở cần đo R_x được xác định theo công thức

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

Mở rộng giải đo của cầu bằng cách chế tạo điện trở R_1 thành nhiều điện trở có giá trị khác nhau và thông qua chuyển mạch B để thay đổi các giá trị đó.



Hình 5 - 9. Cầu biến trở

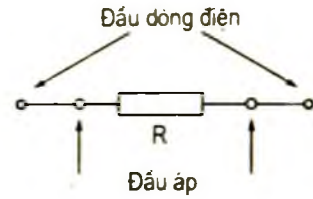
Ưu điểm của cầu biến trở là chế tạo gọn nhẹ nhưng độ chính xác không cao do sai số của biến trở và con chạy.

Cấp chính xác của cầu đơn đo điện trở thuần phụ thuộc vào giới hạn đo. Ví dụ : giải đo $R = 50 \div 10^5 \Omega$ cấp chính xác 0,05% với giải đo $R = 10^5 \div 10^6 \Omega$ đạt cấp 0,5%.

b) Cầu kép (Cầu Kelvin)

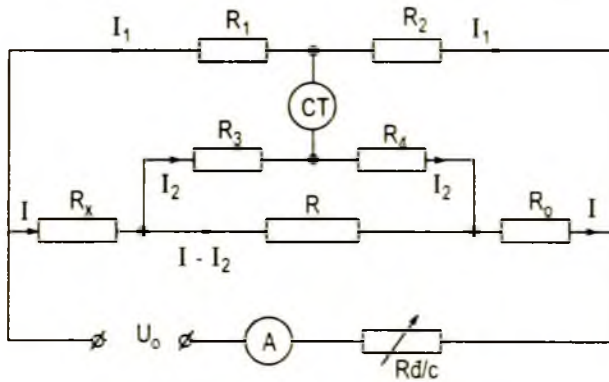
Cầu kép là thiết bị đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà các cầu đơn trong quá trình đo không thuận tiện và có sai số lớn do điện trở nối dây và điện trở tiếp xúc.

Các điện trở có trị số nhỏ như điện trở sun của ampemét phải có các đầu ra điện trở xác định chính xác. Để tránh những sai số do tiếp xúc khi chịu những dòng điện lớn gây ra, các điện trở trên thường được chế tạo bốn đầu, hai đầu dòng và hai đầu áp (hình 5-10). Các đầu ra dòng lớn hơn và nằm ở các đầu mút ngoài của điện trở. Đầu ra áp nằm giữa 2 đầu dòng và những đầu ra đó thường dùng với các dòng điện nhỏ cỡ μA hoặc mA nên không có sự sụt áp do tiếp xúc tại các đầu ra điện áp. Điện trở được xác định đúng bằng điện trở tồn tại giữa các đầu điện áp.

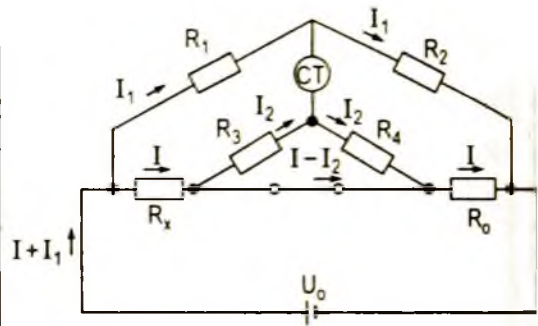


Hình 5 - 10. Điện trở nhỏ 4 đầu

Để đo các điện trở nhỏ người ta thường dùng cầu kép, hình 5-11. Cầu kép khác với cầu đơn ở chỗ có thêm một số điện trở, trong đó R_0 là điện trở chuẩn có giá trị nhỏ và R_1, R_2, R_3, R_4 là những điện trở điều chỉnh được.



Hình 5 - 11. Mạch nguyên lý của cầu kép



Hình 5 - 12. Cầu kép thông thường

Nếu tỉ số R_3/R_4 giống như R_1/R_2 thì sai số do độ sụt áp trên R được bỏ qua. Giả sử khi chỉ thị chỉ zêrô (không có dòng điện qua chỉ thị) và điện áp đầu ra của chỉ thị là $U_{CT} = 0$ (hình 5-11). Với điều kiện trên ta có dòng I_1 sẽ chạy qua R_1 và R_2 , dòng I chạy qua R_x, R_0 , dòng I_2 qua R_4 và R_3 và $I - I_2$ chạy qua R.

Do cầu cân bằng ($U_{CT}=0$) nên điện áp rơi trên R_2 bằng tổng các điện áp rơi trên R_0 và R_4 :

$$I_1 R_2 = I_2 R_4 + I R_0$$

Ta có

$$I R_0 = I_1 R_2 - I_2 R_4$$

hoặc

$$I R_0 = R_2 \left(I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right) \quad (5-16)$$

Cũng như vậy, điện áp rơi trên R_1 bằng tổng điện áp rơi trên R_3 và R_x

$$I_1 R_1 = I_2 R_3 + I R_x$$

Ta có
$$IR_x = I_1 R_1 - I_2 R_3$$

hoặc
$$IR_x = R_1(I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1}) \quad (5-17)$$

Chia phương trình (5-17) cho (5-16) ta được :
$$\frac{IR_x}{IR_0} = \frac{R_1(I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1})}{R_2(I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2})}$$

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 có:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{và} \quad R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (5-18)$$

Trong quá trình đo người ta điều chỉnh R_1, R_2, R_3, R_4 sao cho luôn giữ được tỉ số $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$. Khi đó giá trị của điện trở R_x được xác định qua biểu thức 5-18.

Hình 5-12 cho thấy cách biểu diễn cầu kép thông thường trong đó R_0 và R_x là các điện trở có 4 đầu ra và R_1, R_2, R_3, R_4 được mắc vào các đầu ra điện áp của chúng. Khoảng đo của cầu kép thông thường từ $10\mu\Omega$ (hoặc $10^{-5}\Omega$) đến 1Ω . Tuỳ thuộc vào độ chính xác của linh kiện mà độ chính xác của phép đo có thể đạt đến $\pm 0,2\%$.

5.1.4. Đo điện trở lớn

a) Đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp

Phương pháp gián tiếp (vônmet và ampe mét) có thể đo các điện trở lớn $10^5 \div 10^{10}\Omega$ như điện trở cách điện. Trong quá trình đo cần loại trừ dòng điện rò qua dây dẫn hoặc qua cách điện của thiết bị. Muốn tránh dòng điện rò cần phải sử dụng màn chắn tĩnh điện hoặc dây dẫn bọc kim.

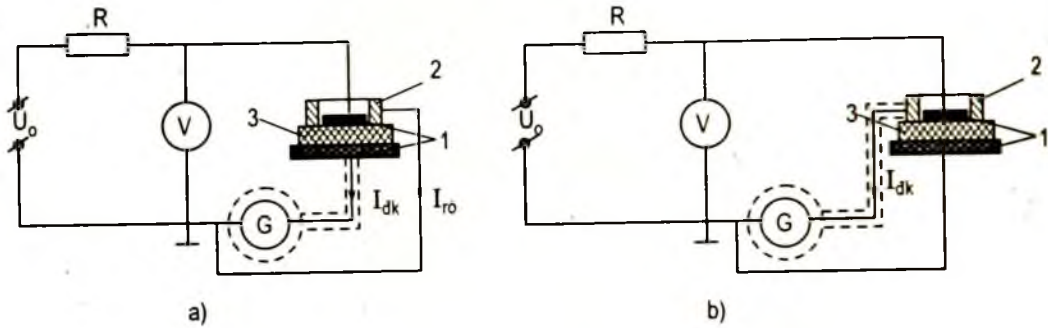
Một vấn đề xuất hiện khi đo những điện trở rất lớn là có hai thành phần điện trở : điện trở khối và điện trở rò bề mặt. Trong thực tế điện trở bề mặt và điện trở khối tổ hợp lại đó là điện trở hiệu dụng của lớp cách điện. Tuy nhiên trong một số trường hợp phải tách riêng hai điện trở đó ra. Để tách hai thành phần điện trở người ta sử dụng các điện cực đo và cực phụ hình 5-13.

Khi đo điện trở cách điện khô mạch đo được bố trí như hình 5-13a trong đó điện kế G đo dòng điện xuyên qua khối cách điện (cỡ μA), còn

dòng điện rò trên bề mặt vật liệu qua điện cực phụ nối đất. Điện trở cần đo được xác định qua vônmet và điện kế G.

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

Nguồn điện áp cung cấp cho mạch đo cỡ kilôvôn, điện trở R khoảng $1M\Omega$.



Hình 5-13. a) Sơ đồ đo điện trở khối b) Sơ đồ đo điện trở mặt
1 - Hai điện cực đo 2- Cực phụ 3- Tấm cách điện

Để đo điện trở cách điện mặt sơ đồ mạch được bố trí như hình 5-13b, trong đó dòng điện rò trên bề mặt của vật liệu được đo bằng điện kế G, dòng điện xuyên qua khối vật liệu được nối qua cực chính xuống đất. Điện trở cũng được xác định qua vônmet và điện kế G.

b) Mègôm mét

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

Dụng cụ gồm có nguồn cao áp cung cấp từ máy phát điện quay tay, điện áp có thể có trị số 500 V hoặc 1000V và chỉ thị là 1 lôgôm mét từ điện. Chỉ thị lôgôm mét (hình 5 - 14a) gồm hai khung dây, một khung tạo mômen quay và một khung dây tạo mômen phản kháng. Góc quay α của cơ cấu đo tỷ lệ với tỷ số của hai dòng điện chạy qua hai khung dây trong đó dòng điện I_1 đi qua khung dây W_1 , điện trở R_1 , dòng điện I_2 qua khung dây W_2 , điện trở R_2 , R_x và R_3 .

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

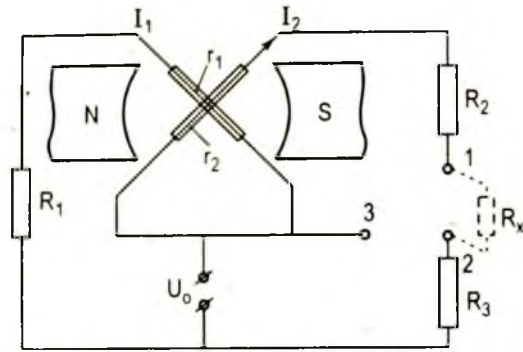
$$I_2 = \frac{U_0}{R_2 + r_2 + R_x + R_3} \quad r_1, r_2 \text{ điện trở của khung dây}$$

Dưới tác động của lực điện từ giữa từ trường và dòng điện qua các khung sẽ tạo ra mômen quay M_1 và mômen cản M_2 .

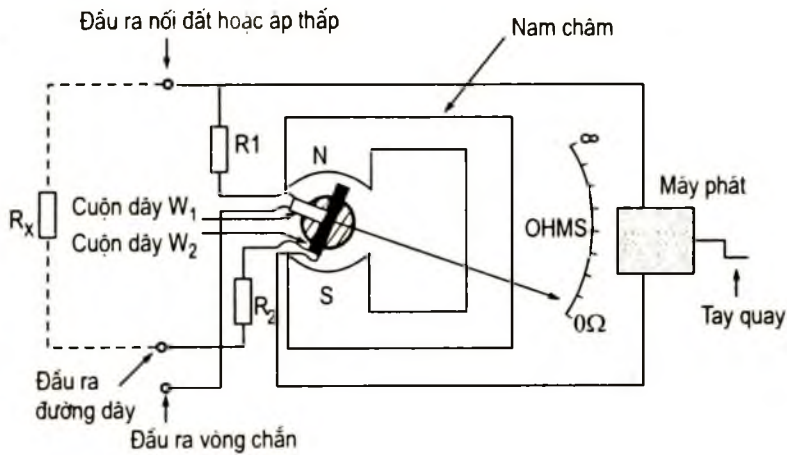
Ở tại thời điểm cân bằng $M_1 = M_2$ ta có :

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = F\left(\frac{R_2 + R_3 + r_2 + R_x}{R_1 + r_1}\right) \quad (5-19)$$

Các giá trị R_1, R_2, R_3 và r_1, r_2 là hằng số nên góc quay α tỷ lệ với R_x và không phụ thuộc vào điện áp cung cấp. Hình 5-14b là sơ đồ của Mègôm-mét thường dùng.



Hình 5 - 14a. Mạch nguyên lí mègôm-mét

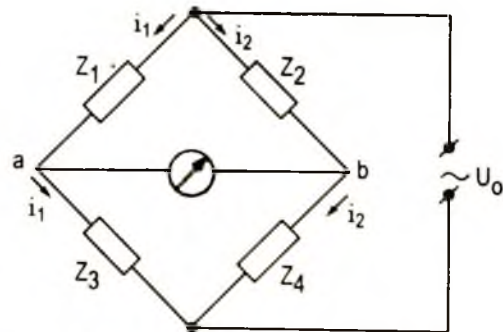


Hình 5 - 14b. Mègôm-mét thông thường

5.2. CẦU DÒNG XOAY CHIỀU

5.2.1. Cầu đo dòng xoay chiều

Các cầu dòng xoay chiều là loại dựa trên cầu đơn dùng để đo điện cảm, đo điện dung, góc tổn hao tgδ và hệ số phẩm chất Q của cuộn dây. Nguồn cung cấp cho mạch cầu là một nguồn điện xoay chiều có tần số 50Hz hoặc tần số âm tần và cao tần lấy từ một máy phát tần số. Chỉ thị chỉ không (zêrô) là một dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng v.v...



Hình 5 - 15. Mạch cầu dòng xoay chiều

Với một cầu dòng xoay chiều, điều kiện cân bằng cầu phải đạt được hai thành phần đó là cân bằng về biên độ và cân bằng về pha. Mạch tổng quát của mạch cầu dòng xoay chiều vẽ trên hình 5-15. Trong đó Z_1, Z_2, Z_3 và Z_4 là các tổng trở. Khi cầu cân bằng ta có $U_{Z1}=U_{Z2}$ và $U_{Z3}=U_{Z4}$

$$\text{Nên } i_1 Z_1 = i_2 Z_2 \quad (5-20)$$

$$i_1 Z_3 = i_2 Z_4 \quad (5-21)$$

Chia phương trình (4-20) cho (4-21) ta được

$$\frac{i_1 Z_1}{i_1 Z_3} = \frac{i_2 Z_2}{i_2 Z_4} \text{ do đó } \frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4} \quad (5-22)$$

$$\text{hoặc } Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

Do $Z = R + jX$, để cân bằng cầu cần phải đạt điều kiện

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (5-23) \text{ (thành phần thực)}$$

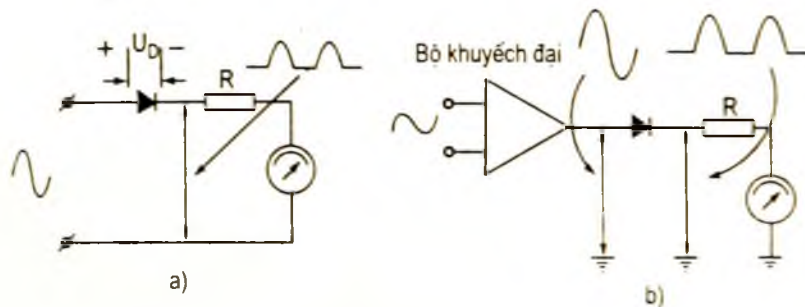
$$X_1 X_4 = X_2 X_3 \quad (5-24) \text{ (thành phần ảo)}$$

5.2.2. Dụng cụ chỉ không dùng (zêrô) dùng cho cầu xoay chiều

Các dụng cụ chỉ không dùng cho cầu xoay chiều có thể thực hiện nhờ một điện kế từ điện chỉnh lưu như hình 5-16

Trong đó hình 5-16a là một điện kế từ điện chỉnh lưu và hình 5-16b sử dụng thêm bộ khuếch đại để tăng độ nhạy cho chỉ thị. Giới hạn tần số cho phép của cầu từ 20Hz ÷ 1MHz.

Với các tần số thay đổi trong một dải rộng như vậy, máy hiện sóng điện tử là bộ chỉ báo mức không tốt nhất vì có thể quan sát để điều chỉnh cân bằng cầu tới mức đạt tối đa.



Hình 5 - 16. Chỉ thị không dòng xoay chiều
a) Không khuếch đại b) Có khuếch đại

5.3. ĐO ĐIỆN DUNG VÀ GÓC TỔN HAO TỤ ĐIỆN

5.3.1. 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 sự tổn hao công suất.

Sự tổn hao công suất này rất nhỏ và để đánh giá sự tổn hao của tụ người ta thường đo góc tổn hao (tgδ).

Tụ điện được biểu diễn dưới dạng một tụ lý tưởng nối tiếp với một điện trở (tụ tổn hao ít hình 5-17a) hoặc nối song song với một điện trở (tụ tổn hao nhiều - hình 5-17b).

Với tụ điện tổn hao nhỏ (hình 5 - 17a), dựa vào biểu đồ vectơ ta xác định góc tổn hao như sau :

$$U_R = I.R ; \quad U_C = \frac{I}{\omega C}$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{I.R}{I/\omega C} \quad \text{và} \quad \operatorname{tg}\delta = R\omega C \quad (5 - 25)$$

δ - góc tổn hao của tụ điện

Với tụ điện tổn hao nhiều (hình 5 - 17b) ta có :

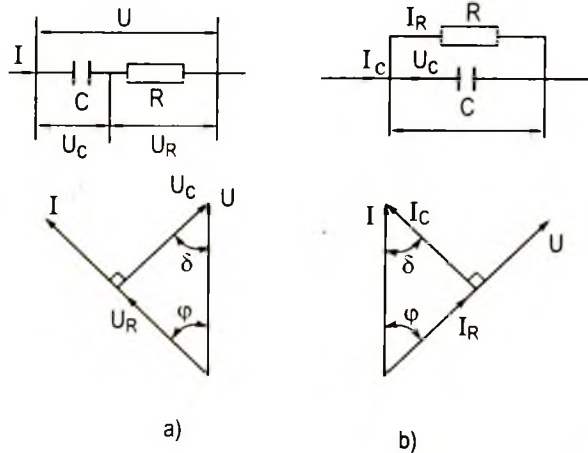
$$I_R = \frac{U}{R} ; \quad I_C = U\omega C$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{U/R}{U\omega C} \quad \text{và} \quad \operatorname{tg}\delta = \frac{1}{R\omega C} \quad (5 - 26)$$

5.3.2. Cầu xoay chiều đo điện dung

a) Cầu đo tụ điện tổn hao nhỏ

Hình 5 - 18 là sơ đồ cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ. Cầu gồm có 4 nhánh trong đó R_1, R_2 là thuần trở các nhánh còn lại là C_x, R_x và điện trở mẫu R_M, C_M điều chỉnh được. Đường chéo cầu được mắc điện kế G chỉ cân bằng và nguồn cung cấp xoay chiều $U \sim$.



Hình 5 - 17. a) Tụ điện có tổn hao nhỏ
b) Tụ điện có tổn hao nhiều

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ :

$$R_2 \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) = R_1 \left(R_M + \frac{1}{j\omega C_M} \right) \quad (5 - 27)$$

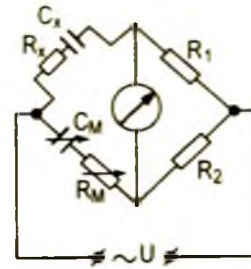
$$R_2 R_x + \frac{R_2}{j\omega C_x} = R_1 R_M + \frac{R_1}{j\omega C_M} \quad (5 - 28)$$

Cân bằng thành phần thực và kháng ta được

$$R_2 R_x = R_1 R_M \rightarrow R_x = R_M \frac{R_1}{R_2} \quad (5 - 29)$$

$$\frac{R_2}{j\omega C_x} = \frac{R_1}{j\omega C_M} \rightarrow C_x = \frac{R_2}{R_1} C_M \quad (5 - 30)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_x C_x = \omega R_M C_M \quad (5 - 31)$$



Hình 5 - 18. Cầu xoay chiều đo tụ điện có tổn hao ít

b) Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

Hình 5 - 19 là sơ đồ mạch cầu đo tụ điện có tổn hao lớn, trong đó R_1, R_2 là các điện trở thuần, C_M mắc song song với R_M là điện dung và điện trở mẫu; R_x, C_x là điện trở và điện dung của tụ điện cần đo.

Khi cầu cân bằng ta có :

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

trong đó $Z_1 = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$

$$Z_2 = R_1; Z_3 = R_2$$

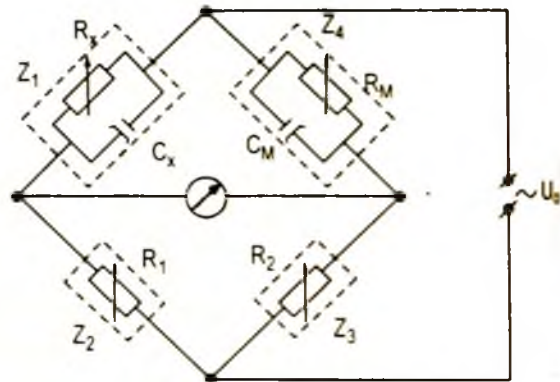
$$Z_4 = \frac{1}{1/R_M + j\omega C_M}$$

Thế vào phương trình trên ta có :

$$\frac{1}{1/R_x + j\omega C_x} R_2 = \frac{1}{1/R_M + j\omega C_M} R_1 \quad (5 - 32)$$

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

Cân bằng phần phần thực và phần ảo ta có :



Hình 5 - 19. Cầu xoay chiều đo tụ điện có tổn hao lớn

$$\frac{R_2}{R_M} = \frac{R_1}{R_x} \rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} R_M \quad (5 - 33)$$

$$R_2 j\omega C_M = R_1 j\omega C_x \Rightarrow C_x = \frac{R_2}{R_1} C_M \quad (5 - 34)$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega R_M C_M} = \frac{1}{\omega R_x C_x} \quad (5 - 35)$$

5.4. CẦU ĐO ĐIỆN CẢM VÀ HỆ SỐ PHẨM CHẤT CỦA CUỘN DÂY

5.4.1. Khái niệm chung

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

$$Q = \frac{X_L}{R_L} \quad (5-36)$$

Để đo các thông số X_L , R_L và Q người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều bốn nhánh.

5.4.2. Các mạch cầu đo thông số cuộn cảm

a) Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

Mạch cầu so sánh điện cảm như hình 5-20, trong đó L_x , R_x là các thông số điện cảm và điện trở cần xác định; R_M, L_M là các cuộn dây điện cảm và điện trở chuẩn. Hai nhánh còn lại là các điện trở R_1 và R_2 cũng là các điện trở có độ chính cao. Khi đo người ta điều chỉnh các điện trở R_M và R_1, R_2 để đạt được cân bằng cầu.

Ở chế độ cân bằng ta có :

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

$$Z_1 = R_M + j\omega L_M \quad Z_3 = R_2$$

$$Z_2 = R_x + j\omega L_x \quad Z_4 = R_1$$

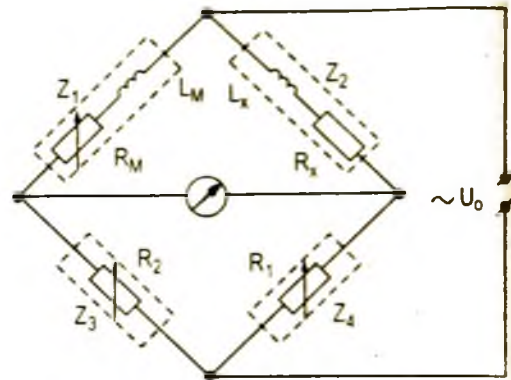
Từ các biểu thức trên ta nhận được

$$R_1(R_M + j\omega L_M) = R_2(R_x + j\omega L_x)$$

Cân bằng các thành phần thực và ảo ta có:

$$R_1 R_M = R_2 R_x \rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} R_M \quad (5-37)$$

$$j R_1 \omega L_M = j R_2 \omega L_x \rightarrow L_x = \frac{R_1}{R_2} L_M$$



Hình 5 - 20. Cầu đo điện cảm

b) Cầu điện cảm Maxwell

Các tụ điện chuẩn chính xác dễ chế tạo hơn các cuộn dây điện cảm chuẩn, do đó người ta thường dùng điện dung chuẩn để đo điện cảm hơn là sử dụng các cuộn điện cảm chuẩn. Cầu có tụ điện như vậy được gọi là cầu Maxwell (hình 5-21).

Trong mạch cầu, tụ điện chuẩn C_3 mắc song song với điện trở R_3 , các nhánh còn lại là điện trở R_1 và R_4 . Các điện trở R_3 , R_1 , R_4 là các điện trở có thể điều chỉnh được R_x và L_x biểu diễn cuộn cảm cần đo. Khi mạch cầu cân bằng ta có :

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

Trong đó :

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

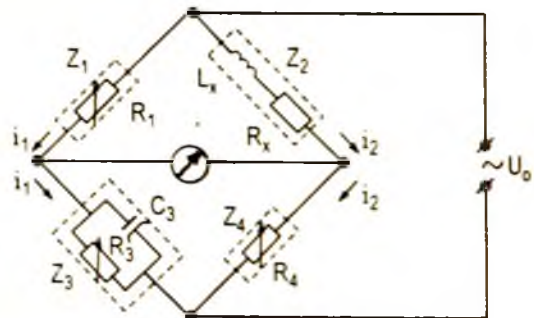
$$Z_2 = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_4 = R_4$$

Thế vào phương trình cân bằng ta được:

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



Hình 5 - 21. Cầu điện cảm Maxwell

Hoặc
$$\frac{R_1}{R_3} + j\omega C_3 R_1 = \frac{R_x + j\omega L_x}{R_4} = \frac{R_x}{R_4} + j \frac{\omega L_x}{R_4} \quad (5-38)$$

Cân bằng các thành phần thực và ảo ta có

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_x}{R_4} \rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_3} R_4 \quad (5-39)$$

$$\omega C_3 R_1 = \frac{\omega L_x}{R_4} \rightarrow L_x = C_3 R_1 R_4 \quad (5-40)$$

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

Cầu điện cảm Hay tương tự như cầu Maxwell chỉ khác ở chỗ điện trở R_3 được mắc nối tiếp tụ C_3 (hình 5-22) và điện cảm L_x và R_x được biểu diễn dưới dạng mạch song song và R_x, L_x đo được là các thành phần của mạch song song.

Khi cầu ở trạng thái cân bằng ta

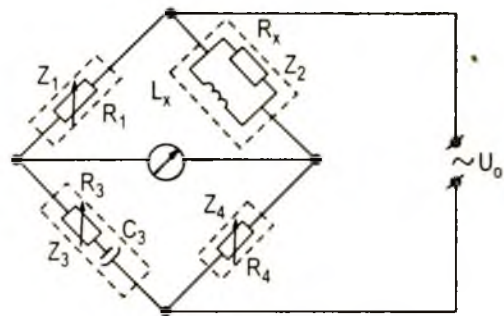
có: $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$

Trong đó :

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

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

$$Z_1 = R_1 \quad Z_4 = R_4$$



Hình 5 - 22. Cầu điện cảm Hay

Thế vào phương trình cân bằng ta được :

$$R_1 \cdot R_4 = \left(\frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega L_x}} \right) \left(R_3 + \frac{1}{j\omega C_3} \right) \quad (5 - 41)$$

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

và ta có :
$$\frac{R_4}{R_x} - j \frac{R_4}{\omega L_x} = \frac{R_3}{R_1} - j \frac{1}{\omega C_3 R_1}$$

Cân bằng phần thực và phần ảo ta được :

$$\frac{R_4}{R_x} = \frac{R_3}{R_1} \rightarrow R_x = \frac{R_1 R_4}{R_3} \quad (5-42)$$

$$\frac{R_4}{\omega L_x} = \frac{1}{\omega C_3 R_1} \rightarrow L_x = C_3 R_4 R_1 \quad (5-43)$$

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

Ngoài các mạch cầu giới thiệu trên người ta còn dùng một số loại mạch cầu khác như cầu Owen (hình 5-23) dùng để đo điện cảm (L_x và R_x) trong đó Z_1 được thay bằng tụ C_1 có thể điều chỉnh được. Khi cầu cân bằng ta xác định được các giá trị của điện cảm L_x và R_x .

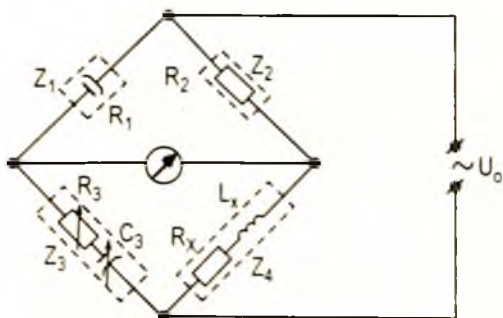
$$L_x = C_1 R_2 R_3 \quad (5-44)$$

$$R_x = \frac{C_1 R_2}{C_3} \quad (5-45)$$

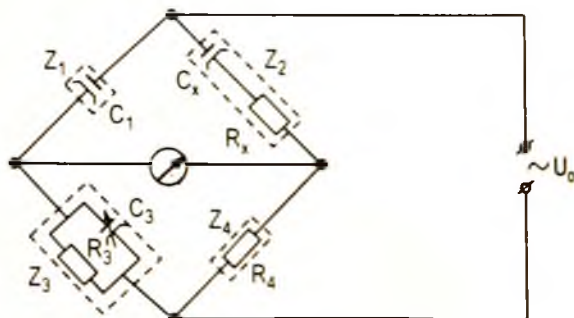
Cầu Schering hình 5-24 dùng để đo các tụ điện có điện dung nhỏ và các tụ cao áp. Trong đó tụ điện C_3 có thể thay đổi được trị số. Khi cầu cân bằng ta xác định được :

$$C_x = \frac{C_1 R_3}{R_4} \quad (5-46)$$

$$R_x = \frac{C_3 R_4}{C_1} \quad (5-47)$$



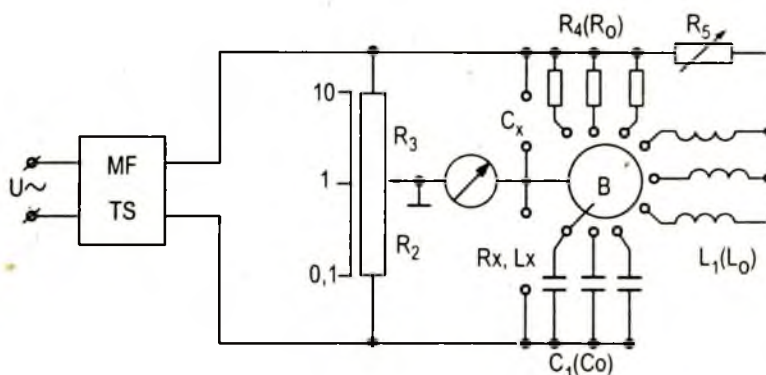
Hình 5 - 23. Cầu điện cảm Owen



Hình 5 - 24. Cầu Schering

5.5. CẦU VẠN NĂNG ĐO THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN.

Trong thực tế khi yêu cầu đo các thông số điện trở R , điện cảm L và điện dung C với độ chính xác không cao trên cùng một thiết bị đo người ta thường sử dụng cầu vạn năng như hình vẽ 5-25. Cầu được cung cấp bằng một nguồn điện lấy từ máy phát tần số (MFTS) có tần số 1KHz. Chỉ thị cân bằng là MicroAmpemét xoay chiều. Điện trở R_2 và R_3 được tạo bởi biến trở dây quấn có con chạy. Khi thay đổi con chạy sẽ thay đổi tỷ số $\frac{R_2}{R_3}$ để điều chỉnh cân bằng cầu.



Hình 5 - 25. Cầu vạn năng đo R, L, C

Tỷ số được khắc độ trên biến trở và thay đổi từ 0,1 đến 10.

Đại lượng cần đo A_x được xác định khi cầu cân bằng là tích giữa tỷ số $\frac{R_2}{R_3}$

đọc được trên biến trở và giá trị của đại lượng chuẩn A_0 xác định qua vị trí chuyển mạch B. Trong đó A_x có thể là R_x , L_x hoặc C_x còn A_0 có thể là R_0 , L_0 và C_0 và ta có :

$$A_x = A_0 \frac{R_2}{R_3} \quad (5-48)$$

Ví dụ : $R_x = R_0 \frac{R_2}{R_3}; C_x = C_0 \frac{R_2}{R_3}$

Điện trở R_5 dùng để bù góc pha và cân bằng cầu khi đo điện cảm. Cầu vạn năng trên có thể đo được các thông số mạch điện với sai số $\pm 1,5\% \div 5\%$.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

LÍ THUYẾT

1- Nêu phương pháp đo điện trở bằng vônmet và ampemét. Tính sai số của phương pháp đo, vẽ sơ đồ theo hai cách mắc vôn và ampemét. Giả sử rằng điện trở đo $R = 400\Omega$, ampemét có điện trở $R_A = 0,5\Omega$, vônmet có $R_V = 10k\Omega$. Mắc theo sơ đồ nào cho sai số nhỏ hơn, vẽ mạch đo và tính toán.

2- Nêu các phương pháp đo điện trở bằng cách so sánh với điện trở mẫu.

3- Đo điện trở bằng ômmét. Nêu cấu tạo và nguyên tắc hoạt động. Để chế tạo ômmét nhiều thang đo thực hiện như thế nào? Vẽ sơ đồ.

4- Có mấy loại cầu đo điện trở. Vẽ sơ đồ và nêu nguyên lý hoạt động của từng loại và đặc điểm của chúng. Khi nào dùng cầu đơn và khi nào dùng cầu kép.

5- Nêu các phương pháp đo điện trở lớn. Vẽ sơ đồ và nói nguyên tắc hoạt động.

6- Thế nào là cầu dòng xoay chiều? Sự khác nhau giữa cầu dòng xoay chiều và cầu một chiều.

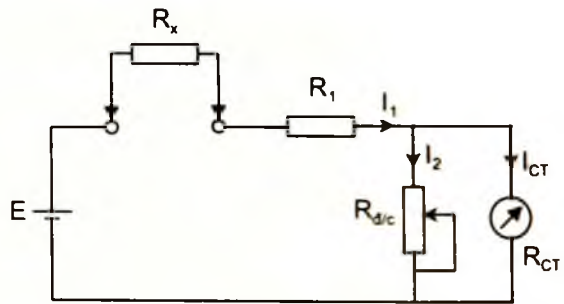
7- Góc tổn hao của tụ điện là gì? Nêu phương pháp đo điện dung và góc tổn hao của tụ điện, vẽ sơ đồ.

8- Đặc trưng của độ phẩm chất của cuộn dây là gì? Trình bày phương pháp đo điện cảm và độ phẩm chất cuộn dây. Vẽ sơ đồ đo.

BÀI TẬP

1- Mạch ômmét như hình vẽ có:
 $E = 1,5V$; $R_1 = 15k\Omega$; $R_{CT} = 50\Omega$;
 $R_{d/c} = 50\Omega$; $I_{CT} = 50\mu A$.

Xác định các giá trị điện trở đo được khi kim lệch hết thang đo, kim lệch 1/2 thang đo và 3/4 thang đo.



2- Với ômmét như hình vẽ trên. Khi điện áp của pin E giảm xuống còn $E = 1,3V$. Cần phải điều chỉnh $R_{d/c}$ có trị số bằng bao nhiêu để giá trị của các thang đo không thay đổi. Tính giá trị của điện trở khi kim chỉ ở các vị trí 1/3 thang đo và 1/4 thang đo.

Chương VI

DAO ĐỘNG KÝ (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 hai tín hiệu và đo tần số v.v...

Ống phóng tia điện tử là một đèn chân không, trong đó các điện tử được phát ra từ Katốt bị nung nóng và tạo thành một chùm tia hẹp, chúng được gia tốc về phía màn huỳnh quang. 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 trên các phiến làm lệch. Thông thường chùm tia được quét ngang màn hình bằng một điện áp răng cưa tạo ra 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 có khả năng hiện hình đồng thời một hoặc hai hoặc nhiều hơn các dạng sóng tín hiệu.

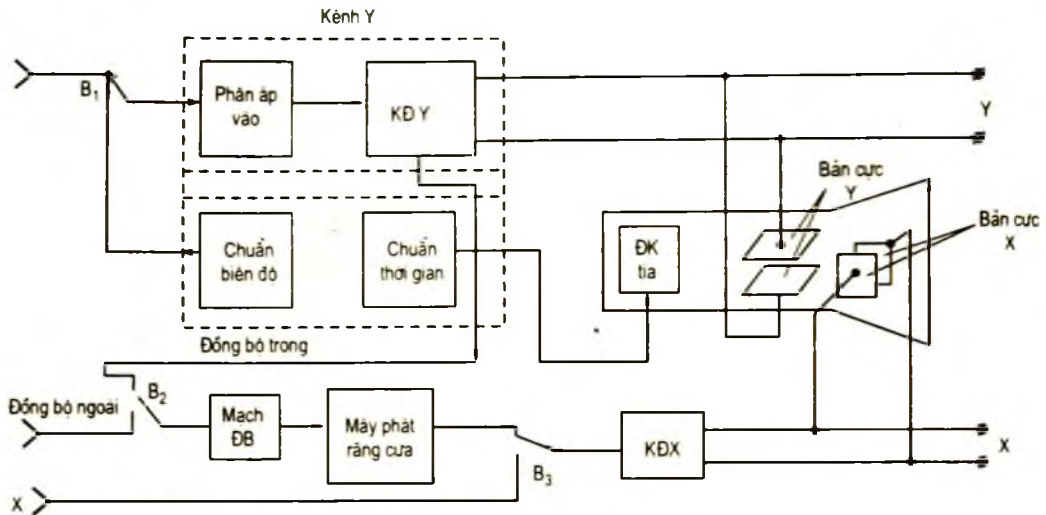
6.1. SƠ ĐỒ KHỐI CỦA DAO ĐỘNG KÝ THÔNG DỤNG

Dao động ký điện tử cơ bản bao gồm các bộ phận chính như hình vẽ 6-1

Tín hiệu Y được đưa vào qua bộ phân áp đến khuếch đại Y (KĐY) và được đưa thẳng vào hai bản cực Y. Mặt khác tín hiệu từ bộ KĐY được đưa qua mạch đồng bộ (ĐB) để kích thích máy phát răng cưa (Máy phát quét) sau đó qua bộ khuếch đại X (KĐX) đưa vào bản cực X, cũng có thể đưa trực tiếp tín hiệu X vào bộ KĐX và nối với bản cực X thông qua công tắc B_3 .

Nếu sử dụng mạch đồng bộ ngoài, qua B_2 tín hiệu được đưa vào mạch đồng bộ để kích cho máy phát quét làm việc. Khi đo điện áp, công tắc B_1 chuyển sang khâu chuẩn biên độ và quan sát độ lệch của tia khỏi đường "0" ứng với biên độ chuẩn. Sau đó chuyển B_1 sang vị trí tín hiệu Y để tính biên độ

cực đại của tín hiệu đo xem gấp bao nhiêu lần biên độ chuẩn và tính độ lớn của tín hiệu Y theo chuẩn.



Hình 6-1. Sơ đồ khối của dao động ký

Khi đo chu kỳ cần phải chuẩn thời gian, người ta sử dụng bộ chuẩn thời gian bằng cách đánh dấu từng khoảng thời gian ứng với giá trị chuẩn trên toàn tín hiệu.

6.2. ỐNG PHÓNG TIA ĐIỆN TỬ

Cấu tạo cơ bản của ống phóng tia điện tử như hình vẽ 6-2 bao gồm một ống thủy tinh đã rút hết không khí, màn hình được quét một lớp photpho sao cho chùm tia điện tử do katốt phát ra đập vào màn hình làm phát sáng. Bên trong ống thủy tinh được gắn hệ thống các điện cực. Ống phóng tia điện tử bao gồm triot và tấm làm lệch.

6.2.1. Cấu tạo của triot

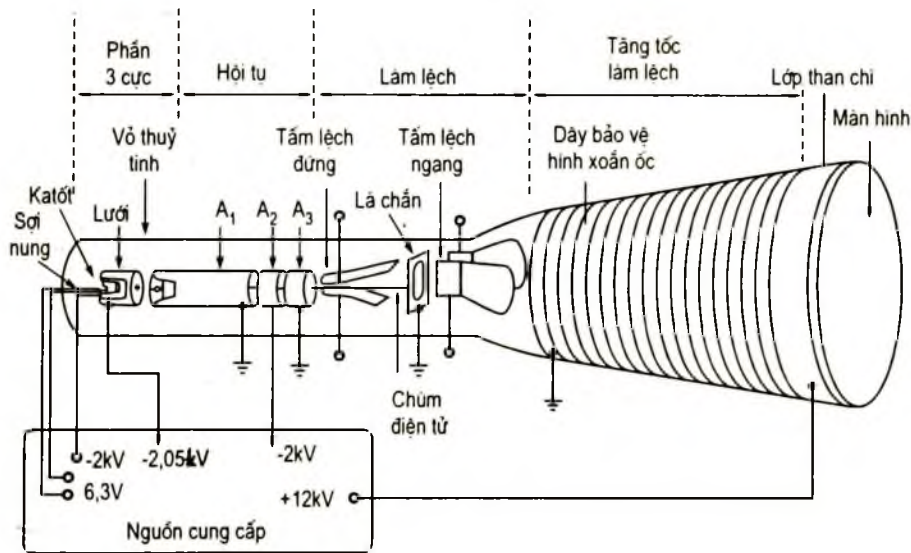
a) **Lưới**: là chiếc cốc niken có lỗ ở đáy hình 6 - 2 và bao lấy katốt.

b) **Katốt** : Cũng được làm bằng Niken, hình trụ, mặt đáy phẳng phủ lớp ôxít 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 $-2kV \div -2,05kV$. Điện thế lưới điều khiển dòng điện tử từ katốt hướng tới màn hình.

c) **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.

Ngoài anốt A_1 ống phóng điện tử 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 của A_2 được giữ ổn định $-2kV$ do đó tạo ra được các đường đẳng thế và các điện tử chuyển động qua các anốt với tốc độ ổn định.



Hình 6-2. Ống phóng tia điện tử

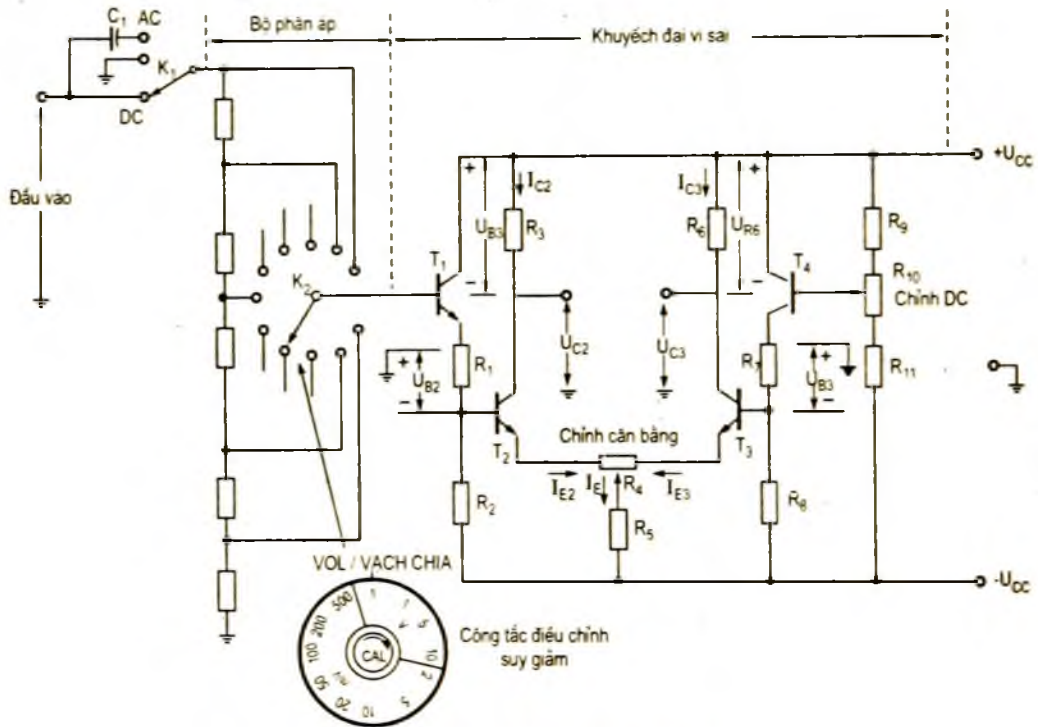
6.2.2. Tấm làm lệch (phiên làm lệch)

Trong ống phóng tia điện tử còn bố trí các cặp bản cực để làm lệch các tia điện tử về phía ngang (theo trục X) và phía thẳng đứng (theo trục Y). Các cặp bản cực đó được gọi là tấm lệch đứng và tấm lệch ngang. Đặt giữa các tấm lệch đứng và lệch ngang là tấm chắn cách điện ngăn không cho điện trường của cặp tấm này ảnh hưởng tới cặp kia (hình 6-2).

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 các tấm làm lệch là E . Các điện tử (mang điện âm) bị hút về phía tấm dương và bị đẩy khỏi tấm âm làm cho chùm tia điện tử bị lệch đi. Nếu tác động một điện áp xoay chiều lên các tấm làm lệch thì các chùm tia luôn bị đổi hướng tạo thành một đường thẳng.

6.3. BỘ KHUẾCH ĐẠI LÀM LỆCH

Một điện áp bất kỳ nào đó dùng để làm lệch tia điện tử cũng đều phải 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 6-3.



Hình 6-3. Bộ khuếch đại làm lệch

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 bazơ của T_1 ở mức đất và nếu bazơ của T_4 cũng điều chỉnh ở mức đất thì các bazơ 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 và chúng được mắc trực tiếp với các tấm lái tia (U_{C2} và U_{C3})

Con trượt của chiết áp R_4 thường nằm ở điểm giữa và giữ vai trò điện trở điều chỉnh cân bằng các đầu ra vi sai của khuếch đại. Khi điện áp vào khác không, qua bộ phân áp đặt vào bazơ của tranzito T_1 lúc đó $I_{E1} \neq 0$, dòng I_{E1}

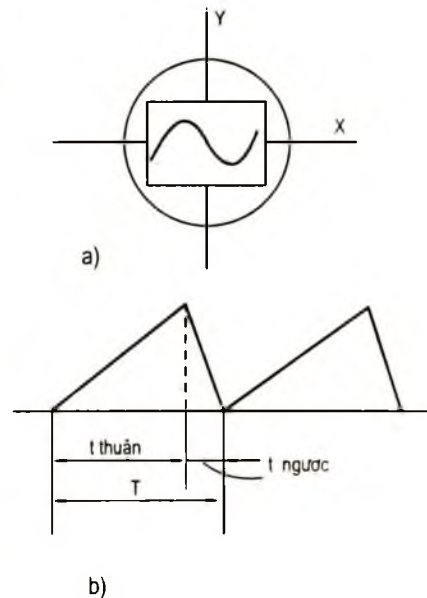
qua R_1 và R_2 tạo thành điện áp đặt vào tranzito T_2 khiến cho dòng I_{C2} tăng và I_{C3} giảm. Khi I_{C2} tăng, điện áp ra U_{C2} giảm xuống mặt khác I_{C3} giảm, điện áp U_{C3} tăng.

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 và $\Delta U_{C2} > 0$ và $\Delta U_{C3} < 0$. Thông thường điện áp qua phân áp nhỏ nhất là 2 mV tương ứng với 1 vạch chia độ lệch trên màn hình còn điện áp vào lớn nhất là 10V tương ứng với 1 vạch chia độ lệch. Chiết áp R_{10} (hình 6-3) làm nhiệm vụ điều chỉnh điện áp Bazơ của T_4 để dịch chuyển chùm tia điện tử lên hoặc xuống khỏi tâm màn hình.

6.4. TÍN HIỆU QUÉT

Hình vẽ 6.4 biểu diễn dạng sóng trên màn hình Khi ta đặt tín hiệu cần quan sát vào hai bản cực Y, tia điện tử 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 hai bản cực X và gọi là tín hiệu quét ngang. Tín hiệu này có dạng sóng răng cưa (hoặc sóng dốc lặp đi lặp lại). 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 kì tín hiệu quan sát.

Nếu tỉ số các tần số đó là một số nào đó của hai 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 một núm điều chỉnh trên mặt dao động kí.

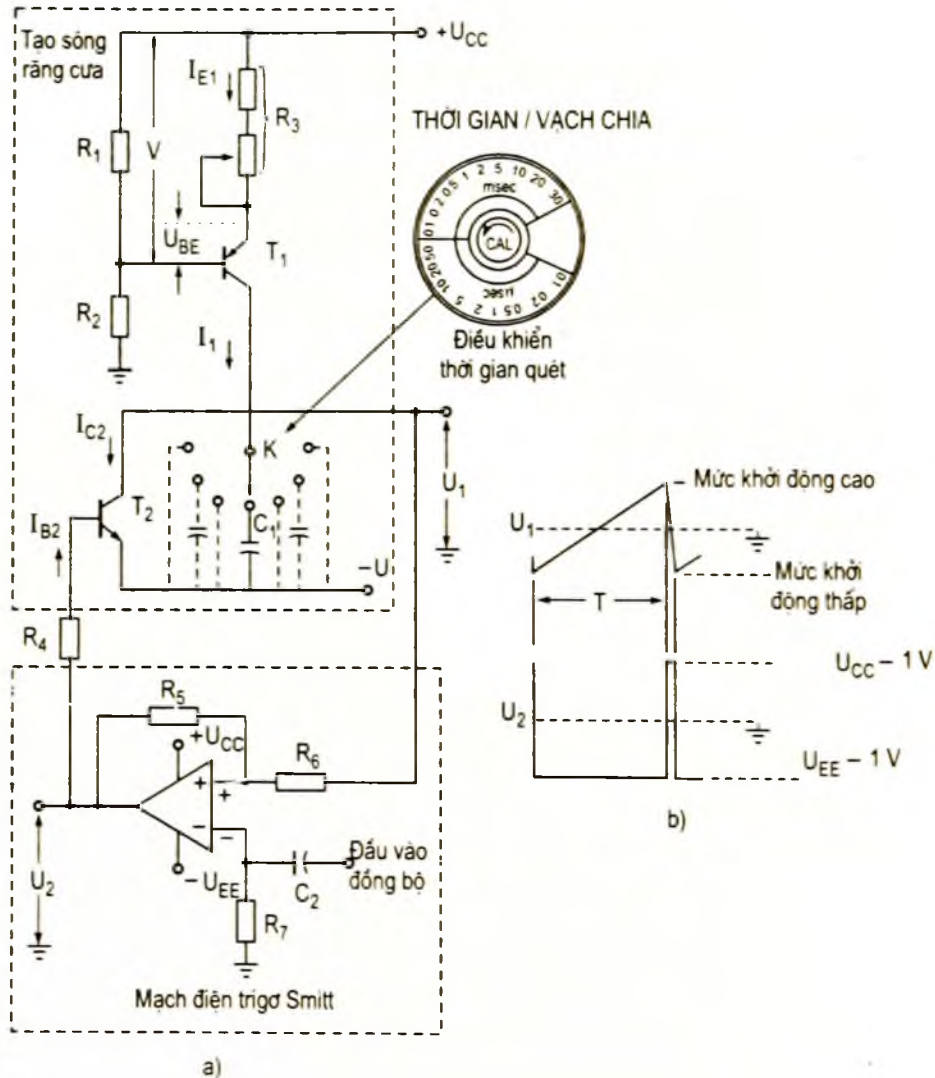


Hình 6-4. Tín hiệu quét

6.5. BỘ TẠO GỐC THỜI GIAN (BỘ TẠO SÓNG QUÉT NGANG)

Máy phát quét thường dùng là máy phát răng cưa như hình vẽ 6.5. Trong đó có hai bộ phận chính là bộ tạo sóng răng cưa và mạch trigơ schmitt không đảo.

Đầu vào của bộ op-amp được nối đất qua điện trở R_7 . Bỏ qua tụ C_2 , điện áp vào của trigơ schmitt là điện áp ra U_1 của bộ tạo sóng răng cưa được đưa vào trigơ qua điện trở R_6 . Do khuếch đại op-amp có hệ số khuếch đại điện áp rất lớn (khoảng 200.000) nên chỉ cần một sự chênh lệch nhỏ giữa đầu vào của op-amp cũng đủ làm cho đầu ra trigơ schmitt bão hoà. Điều này có nghĩa là điện áp ra rất gần với điện áp nguồn dương hoặc âm.



Hình 6-5. Bộ tạo góc thời gian

Thông thường điện áp ra bão hoà là: $U_2 = (U_{CC} - 1V)$ hoặc $U_2 = (-U_{EE} - 1V)$

Giả sử đầu vào của trigơ schmitt ở mức tối thiểu (tức là điện áp đầu không đảo của op-amp dưới mức đầu đảo do tiếp đất) thì đầu ra của op-amp giữ bão

hoà theo chiều âm. Điện thế tại bazơ T_2 là âm và T_2 ở trạng thái ngắt, dòng điện I_1 chạy vào nạp cho tụ C_1 , điện áp của tụ tăng lên. Khi điện áp U_1 tăng lên đủ lớn, trigơ chuyển trạng thái và đầu ra ở mức bão hoà dương.

Tại thời điểm này dòng bazơ (I_{B2}) chạy tới T_2 qua R_4 làm cho điện thế bazơ của T_2 tăng lên và T_2 chuyển sang trạng thái đóng, dòng colectơ I_{C2} chạy qua T_2 tới nguồn U . Tụ C_1 phóng điện. Quá trình phóng nạp tụ tạo nên các xung răng cưa

Phương trình cho điện áp răng cưa là:

$$\Delta U_1 = \frac{I_1 T}{C_1} \quad (6-1)$$

ΔU - độ biến thiên điện áp của tụ trong thời gian T

T - chu kì của xung răng cưa; C_1 - điện dung của tụ

Chu kì (T) của xung răng cưa phụ thuộc vào dòng điện I_1 và tụ C_1 . I_1 có thể thay đổi như điện trở R_3 và C_1 thay đổi được giá trị qua núm chuyển mạch K .

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

- Chế độ liên tục là chế độ quét bình thường như đã trình bày ở trên.
- Chế độ chờ là chế độ 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.

6.6. DAO ĐỘNG KÍ ĐIỆN TỬ HAI TIA

Về cấu tạo của dao động ký hai tia cũng giống như dao động ký một tia, để tạo ra hai tia có thể thực hiện theo hai phương pháp

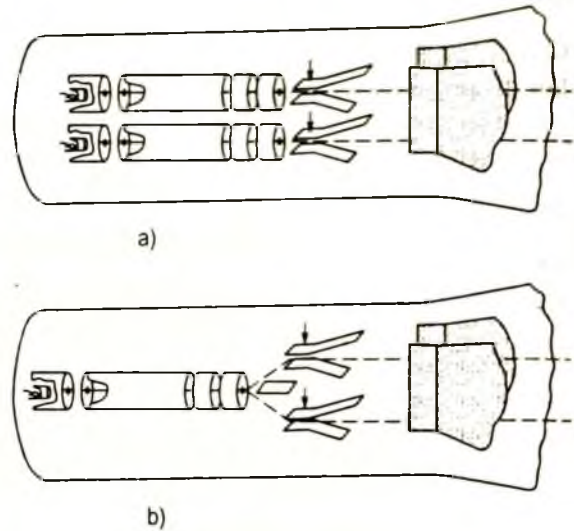
a) Dùng hai súng phóng tia điện tử riêng biệt, mỗi chùm cho một dạng sóng (hình 6-6a).

b) Dùng một súng phóng tia điện tử nhưng chùm tia được tách thành hai phần riêng biệt trước khi đi qua các tấm làm lệch (hình 6.6b).

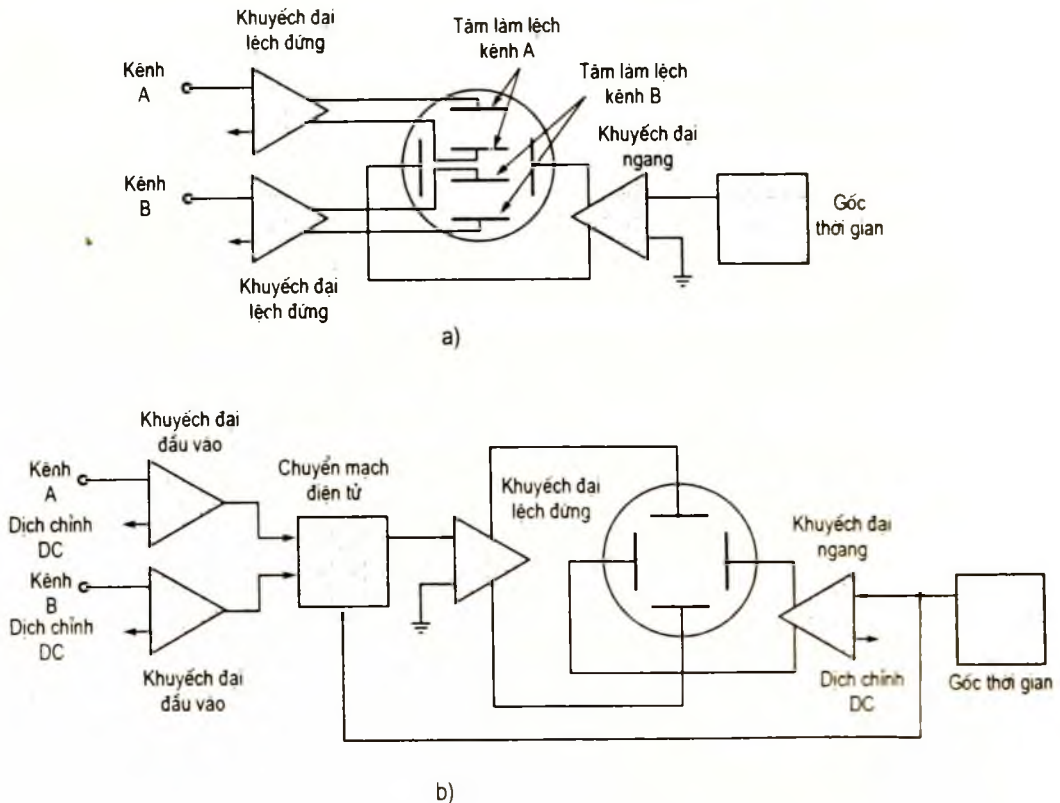
Thiết bị sử dụng hai phương pháp trên đều chỉ dùng một bộ tấm làm lệch ngang. Dạng sóng răng cưa từ bộ tạo gốc thời gian được đưa vào bộ tấm làm lệch ngang và cả hai chùm được làm lệch để quét ngang màn hình một cách đồng thời

Hình 6-7 là sơ đồ các hệ thống lái tia đối với máy hiện sóng hai chùm và máy hiện sóng một chùm tách thành hai phần. Hình 6-7a cho thấy máy hiện sóng có hai lối vào riêng biệt, kênh A và kênh B. Mỗi kênh đều có mạch khuếch đại làm lệch riêng để nuôi cấp làm lệch đứng và bộ tạo góc thời gian điều khiển đồng thời cả hai tia với tấm làm lệch ngang.

Hình 6-7b là hệ thống lái tia đối với máy hiện sóng một chùm tách thành hai phần. Trong đó các tín hiệu vào kênh A và B được qua hai bộ khuếch đại. 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 điều khiển bởi mạch tạo góc thời gian.



Hình 6-6. Dao động kí điện tử hai tia



Hình 6-7. Hệ thống lái tia đối với máy hiện sóng hai chùm và một chùm tách thành hai phần

6.7. ỨNG DỤNG CỦA DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ

6.7.1. Đo điện áp và tần số của tín hiệu.

Để 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

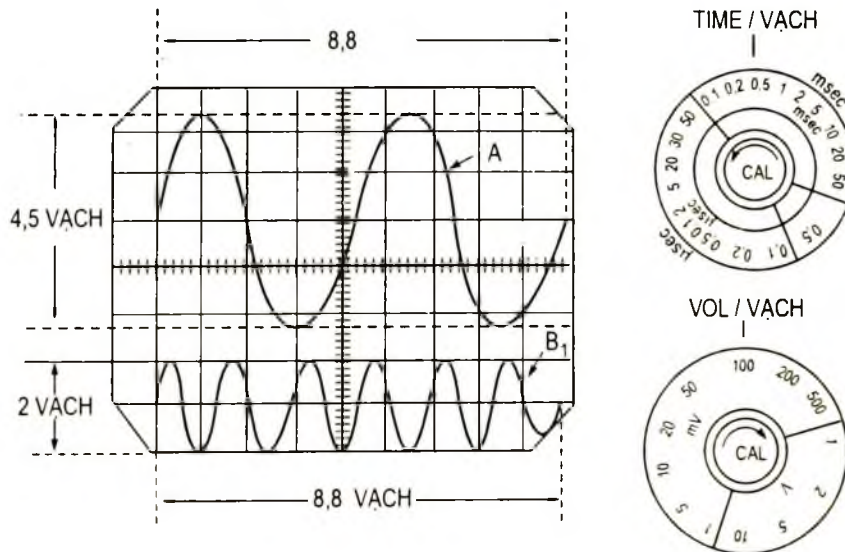
$$L_Y = S_V \cdot 2 U_{\max} \quad (6.2)$$

$$U_{\max} = \frac{L_Y}{2S_V} \quad (6.3)$$

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 qua công tắc B_1 (Hình 6-1)



Hình 6-8

Hình 6-8 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 như hình 6.8 điện áp đỉnh tới đỉnh của mỗi sóng là

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

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

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

$$T = (\text{số vạch ngang} / \text{chu kì}) \times \text{TIME/VẠCH.}$$

Từ hình vẽ 6 - 8 ta xác định được chu kì và tần số của mỗi sóng như sau :

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

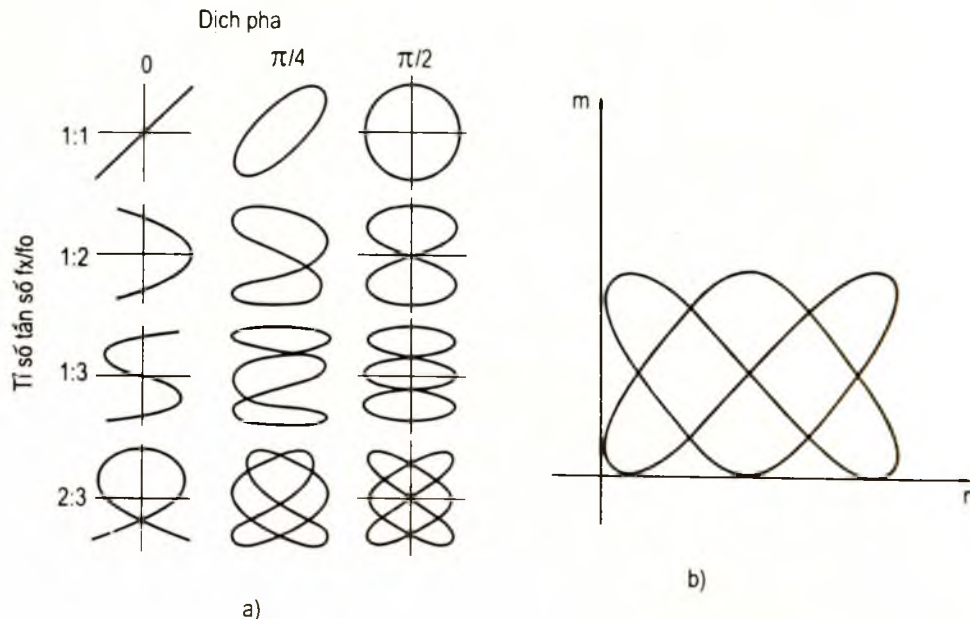
$$\text{Sóng B : } T = \frac{8,8 \text{ vạch} \times 0,5 \text{ ms}}{6 \text{ chu kì}} = 0,73 \text{ ms} ; f = \frac{1}{0,73 \text{ ms}} = 1,36 \text{ kHz}$$

6.7.2. Đo tần số bằng phương pháp so sánh.

Phương pháp đo tần số bằng dao động ký có thể thực hiện bằng cách so sánh tín hiệu cần đo f_x với tín hiệu chuẩn có tần số f_0 . Trong đó tín hiệu f_x được đưa vào bản cực Y (đưa trực tiếp hoặc khuếch đại). Trên màn hình sẽ xuất hiện một đường cong phức tạp ta gọi là đường Lissajou (hình 6 - 9a). Nếu tần số đo là một bội hoặc ước chẵn của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một Lissajou đứng yên như hình 6 - 9a. Nếu gọi n là số múi ngang và m là số múi

dọc ta có
$$\frac{f_x}{f_0} = \frac{m}{n} \quad (6 - 4a)$$

do đó
$$f_x = \frac{m}{n} f_0 \quad (6 - 4b)$$



Hình 6-9. Các dạng đường Lissajou

Phương pháp hình Lissajou được dùng để đo tần số trong khoảng từ 10Hz đến MHz (tùy thuộc loại dao động ký). Ví dụ hình (6 - 9b), với góc lệch pha là 180^0 và $\frac{f_x}{f_0} = \frac{2}{3}$ ta có $f_x = \frac{2f_0}{3}$.

6.7.3. 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.

a) Đo góc lệch pha bằng dao động ký hai tia

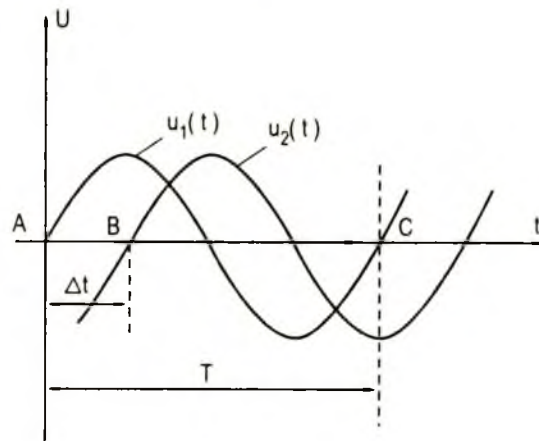
Với chế độ quét tuyến tính và tần số của hai tín hiệu như nhau phương pháp đo được thực hiện như sau :

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

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

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 6 - 10). Ta thấy rằng A và C là điểm qua zêrô của tín hiệu $u_1(t)$, B là điểm



Hình 6 - 10

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.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^0 = \left(\frac{AB}{AC}\right) \cdot 360^0 \quad (6 - 5)$$

b) **Đo góc pha sử dụng hình Lissajou:** thực hiện bằng cách đưa điện áp $u_1(t)$ vào bản cực Y và điện áp $u_2(t)$ vào bản cực X. Trên màn hình sẽ xuất hiện một hình elíp. Điều chỉnh cho tâm elíp trùng với gốc tọa độ.

Tìm điểm cắt của hình elíp với trục hoành và hoành độ lớn nhất của elíp. Khi $t = 0$ hoặc $t = \frac{\pi}{2}$, điện áp đặt vào bản cực Y là $U_1 = 0$ và trên bản cực X có $U_2 = U_{2m} \sin \varphi$ hay $U_2 = -U_{2m} \sin \varphi$. Đoạn thẳng ab của elíp tỉ lệ với $2U_{2m} \sin \varphi$, còn

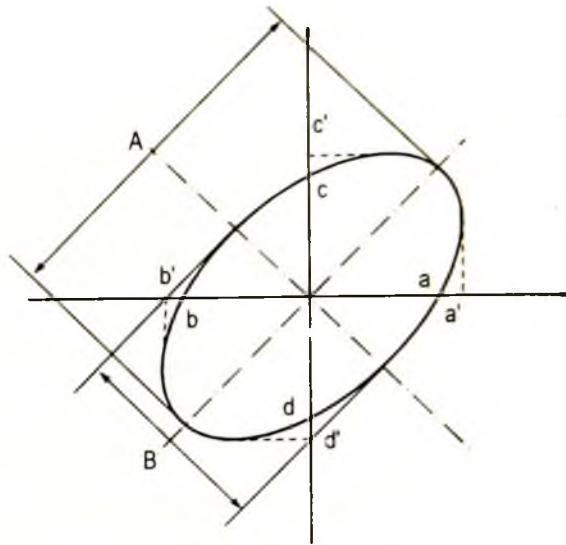
$a'b'$ tỉ lệ với $2U_{2m}$ (Tương ứng với độ lệch lớn nhất của tia điện tử theo chiều nằm ngang - hình 6 - 11a).

Ta có góc lệch pha :

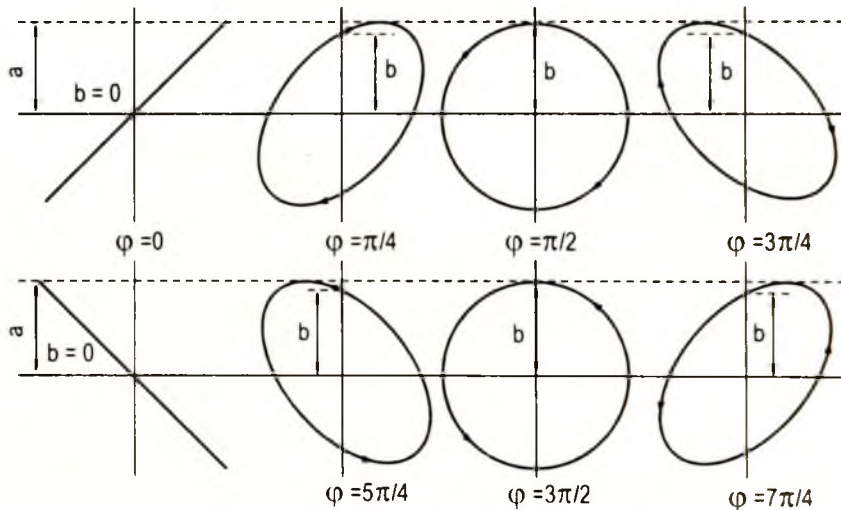
$$\varphi = \arcsin\left(\frac{ab}{a'b'}\right)$$

Hay $\varphi = \arcsin\left(\frac{A}{B}\right)$ (6 - 6)

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



Hình 6-11a



Hình 6-11b

6.8. CÁC LOẠI DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ

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

6.8.1 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.

6.8.2. 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 giải điện áp từ vài chục microvon đến hàng trăm von.

6.8.3. 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.

6.8.4. 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.

6.8.5. 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.

6.8.6. Dao động ký cài đặt μ p : là loại thiết bị thông minh. Các chức năng thiết bị đều do μ p điều khiển như tự động chọn thang đo, tính giá trị khoảng thời gian và điện áp. Tự động cho ra thông tin dưới dạng số v.v....

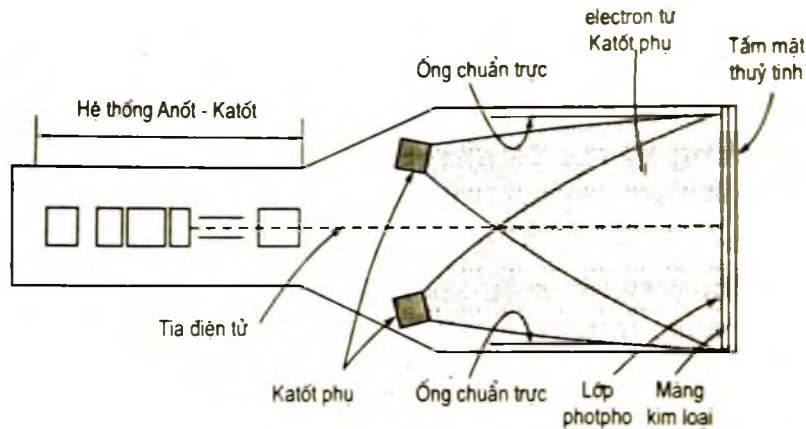
Dao động ký cài đặt μ p có thể ghép nối với máy tính, lưu giữ số liệu và in được các dạng sóng và đồ thị của các tín hiệu do đó thiết bị này đang được ứng dụng và ngày càng phát triển.

6.9. DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ NHỚ TƯƠNG TỰ

Như ta đã biết vật liệu phốtpho 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 thoả 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. Muốn vậy cấu tạo của ống phóng tia điện tử cần có cấu tạo đặc biệt.

Hình 6-12 biểu diễn cấu tạo của ống phóng tia 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 phốtpho 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 tủa giữa lớp kính của màn hình và lớp nhớ. Ống chuẩn trực là màng kim loại kết tủa quanh cổ ống phóng.



Hình 6-12. Cấu tạo ống phóng tia điện tử

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 tia điện tử có nhỡ còn được bố trí thêm hai katốt phụ để tạo ra những điện tử có năng lượng thấp (hình 6-12). 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 photpho 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 được vạch ra ở lớp nhớ có hình dạng 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 màng kim loại. Khi qua lớp nhớ các điện tử làm cho photpho tiếp tục phát sáng. Nhờ hiện tượng chuyển tiếp nên các hình được hiện lên một cách liên tục.

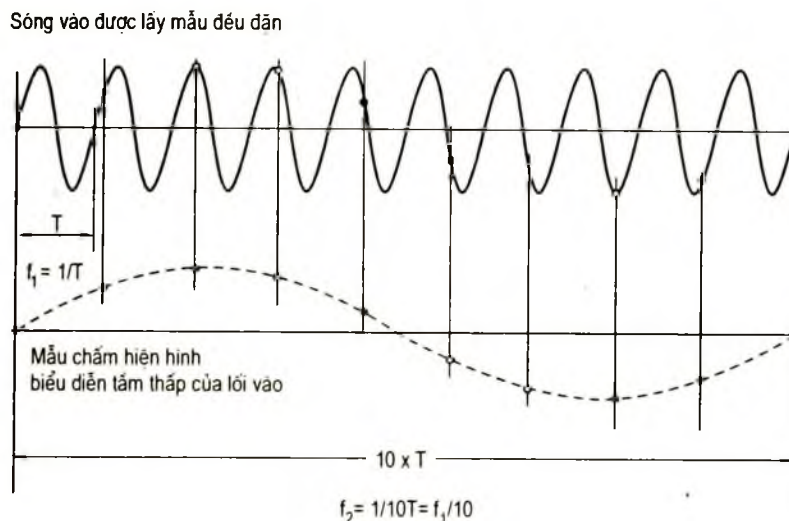
Muốn xoá hình hiện người ta làm cho màng kim loại trở nên âm và chúng đẩy các điện tử quay ngược trở lại lớp nhớ, ở đó chúng tích tụ lại và làm cho mức điện thế ở các điểm giống như xung quanh và hình không hiện lên nữa.

6.10. DAO ĐỘNG KÝ LẤY MẪU

Các dao động ký thông thường có tần số giới hạn trên trong khoảng đo từ $20\text{MHz} \div 50\text{MHz}$. 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 vệt 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 6-13 là một dạng sóng tần số cao với 10 chu kỳ cần được hiện trên màn hình.



Hình 6-13

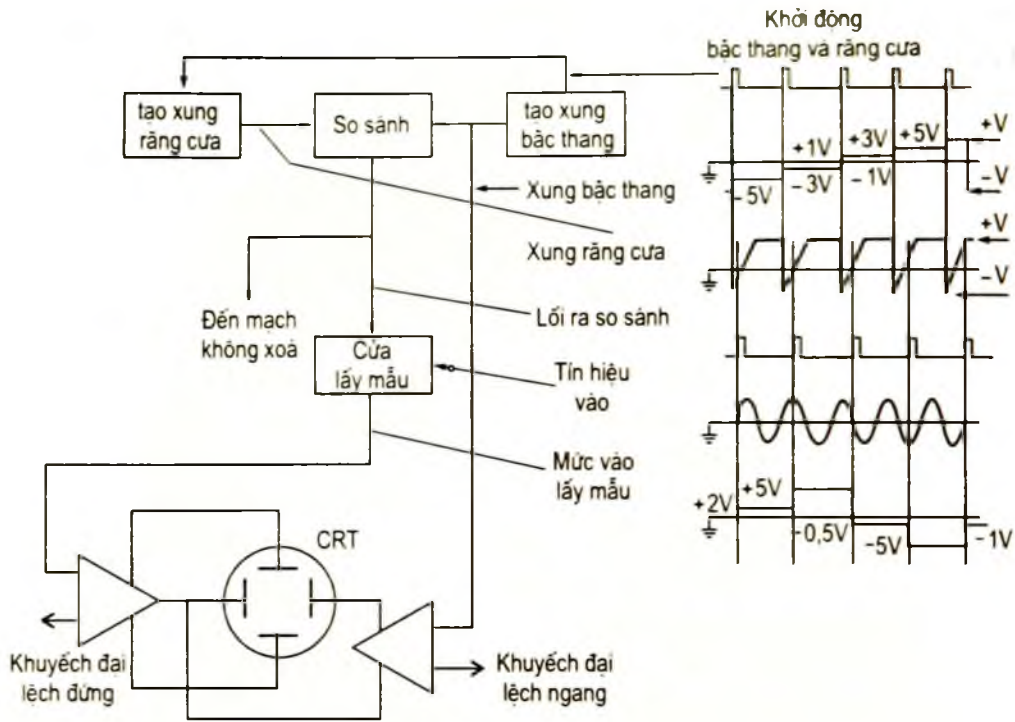
Các mẫu biên độ được lấy ở những thời điểm kế tiếp nhau và chậm hơn ở mỗi chu kỳ. Chuỗi các dấu chấm hợp thành sẽ tạo được dạng sóng ban đầu nhưng ở tần số thấp hơn. Giả sử tín hiệu ban đầu có chu kỳ $T = 0.01\mu s$. Tần số $f_1 = \frac{1}{0,01\mu s} = 100\text{MHz}$. Hình hiện bằng các dấu chấm có chu kỳ $T = 10 \times 0,01\mu s$ và

$$\text{tần số } f_2 = \frac{100\text{MHz}}{10} = 10\text{MHz}$$

Như vậy tín hiệu có tần số 100MHz được biến đổi thành dạng sóng có tần số 10MHz. Hình 6-14 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.

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.



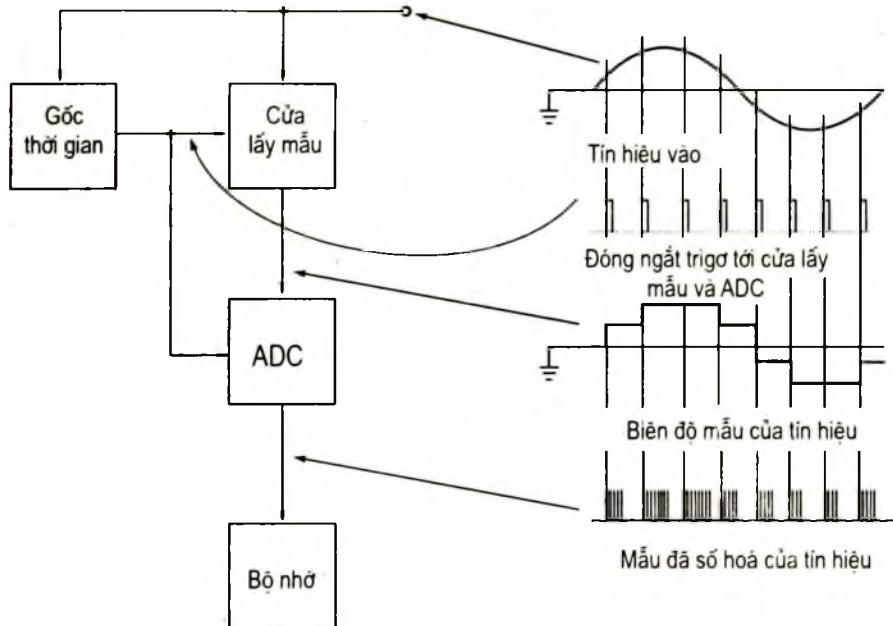
Hình 6-14. Sơ đồ khởi và các dạng sóng đối với dao động ký lấy mẫu

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 xoá 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.

6.11. DAO ĐỘNG KÝ ĐIỆN TỬ NHỚ SỐ

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

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



Hình 6-15. Hệ thống lấy mẫu và nhớ cơ bản dùng cho một dao động ký số

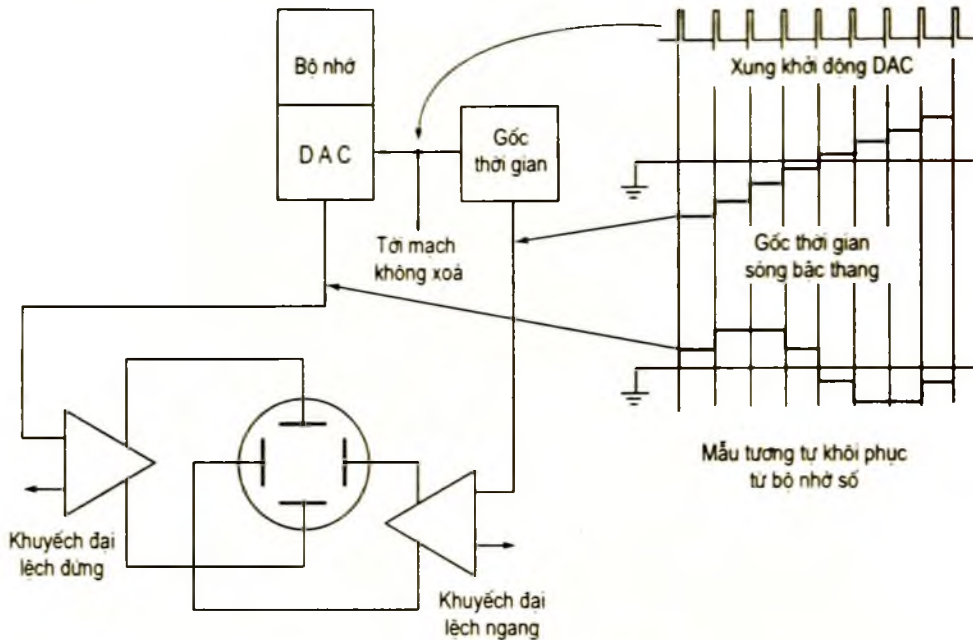
Hình 6-15 biểu diễn hệ thống lấy mẫu và nhớ cơ bản dùng cho một dao động ký số. Trong đó bộ tạo gốc thời gian tạo ra các xung có tần số lấy mẫu cần thiết. Mỗi xung tác động khiến cho cửa lấy mẫu thông trong trong một khoảng thời gian ngắn. Theo cách đó, tạo ra được một chuỗi các mẫu biên độ. Mỗi mẫu như vậy sẽ được bộ ADC biến đổi thành một dãy xung ngắn. Số xung tỷ lệ thuận với biên độ đã lấy mẫu. Các nhóm xung được đưa vào bộ nhớ, ở đó chúng được lưu giữ.

Hình 6.16 là hệ thống khôi phục lại các thông tin đã được lưu giữ từ bộ nhớ.

Các mẫu dưới dạng số từ bộ nhớ qua bộ DAC được biến đổi thành dạng tương tự và tạo thành dạng sóng bậc thang (hình 6.16). Trong khi đó bộ tạo gốc thời gian cũng tạo ra điện áp hình 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 dạng bậc thang (từ bộ tạo gốc thời gian) được cung cấp cho khuếch đại và đặt vào phiên làm lệch ngang.

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



Hình 6-16. Hệ thống khôi phục lại các thông tin đã được lưu giữ từ bộ nhớ

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

CÂU HỎI ÔN TẬP

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

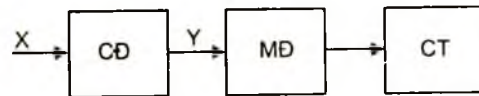
Chương VII

ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

Đại lượng không điện là những đại lượng vật lí như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, nồng độ vật chất v.v. Các đại lượng này chiếm đa phần trong các hệ thống thông tin đo lường và điều khiển tự động.

Xu thế chung của các hệ thống đo lường và điều khiển ngày nay là thực hiện các hệ tập trung, các tín hiệu được truyền đi xa trên các kênh liên lạc, các đại lượng vật lí không điện cần được biến đổi thành các tín hiệu điện để thuận tiện cho việc thực hiện các yêu cầu trên do vậy thiết bị đo các đại lượng không điện có sơ đồ khối như hình 7 – 1.

Các đại lượng không điện được các chuyển đổi đo lường (CD) biến đổi thành các đại lượng điện, sau đó đưa vào mạch đo (MĐ) để tính toán, gia công tín tức và đưa kết quả ra chỉ thị thể hiện kết quả đo (CT). Dưới đây là một số phương pháp đo, các đại lượng không điện thường gặp.



Hình 7 - 1. Sơ đồ khối của thiết bị đo
CD - Chuyển đổi đo lường
MĐ - Mạch đo lường CT - Chỉ thị

7.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP VÀ DỤNG CỤ ĐO NHIỆT ĐỘ

7.1.1. Khái niệm chung

Phương pháp đo nhiệt độ dựa trên hiện tượng truyền nhiệt (nhiệt dẫn, đối lưu và bức xạ nhiệt)

Các phương pháp đo nhiệt độ có thể rất khác nhau tùy theo yêu cầu về kĩ thuật, về dải đo nhiệt độ và có thể thực hiện bằng 2 phương pháp : đo trực tiếp và đo gián tiếp.

Đo trực tiếp là phương pháp đo trong đó các chuyển đổi nhiệt điện được đặt trực tiếp ở môi trường cần đo. Đối với nhiệt độ cao đo bằng phương pháp gián tiếp, dụng cụ đặt ở ngoài môi trường đo và còn gọi là phương pháp không tiếp xúc. Bảng 7-1 cho biết các dụng cụ và phương pháp đo nhiệt độ với các dải đo khác nhau.

Bảng 7 - 1

Nhiệt kế	Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$					
	-270	0	1000	2000	3000	100000
Nhiệt điện trở						
- Platin	=====					
- Niken	=====					
- Đồng	=====					
- Bán dẫn	=====					
Cặp nhiệt điện						
- Vật liệu quý			=====			
- Vật liệu thường		=====				
Hoả quang kế						
- Bức xạ			=====			
- Màu sắc			=====			
- Cường độ sáng			=====			

7.1.2. Đo nhiệt độ bằng phương pháp trực tiếp

a) Nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu

Phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu là phương pháp được sử dụng rộng rãi và thuận lợi. Cấu tạo của nhiệt kế nhiệt ngẫu như hình 7 - 2 gồm hai thanh kim loại a, b được hàn với nhau tại một đầu đó là đầu làm việc t_1 . Hai đầu còn lại t_0 là đầu tự do.

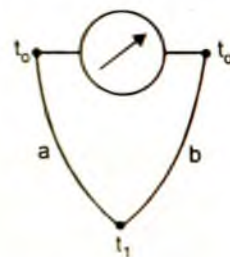
Nguyên lí làm việc của cặp nhiệt ngẫu dựa trên hiệu ứng Thomson và hiệu ứng Seebeck đó là : khi nhiệt độ ở đầu t_1 khác với nhiệt độ đầu t_0 chúng tạo nên một sức điện động:

$$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - E_{ab}(t_0) \quad (7 - 1)$$

Nếu giữ cho nhiệt độ t_0 không thay đổi và t_1 phụ thuộc vào môi trường đo nhiệt độ thì ta có :

$$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - C = f(t_1) \quad (7 - 2)$$

C - hằng số



Hình 7 - 2. Sơ đồ nhiệt kế nhiệt ngẫu

Sức điện động E_{ab} phụ thuộc vào nhiệt độ t_1 và t_0 cũng như phụ thuộc vào vật liệu để chế tạo các thanh kim loại a và b. Bảng 7 - 2 cho biết một số cặp nhiệt điện thông dụng.

Bảng 7 - 2

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

Trong thực tế các cặp nhiệt ngẫu được chế tạo thành một thiết bị có cấu tạo như hình 7 - 3. Trong đó các dây kim loại được lồng vào ống sứ cách điện, bên ngoài là vỏ thép không rỉ và chịu được nhiệt độ cao. Đầu dây ra được nối vào hộp đấu nối. Mạch đo của nhiệt kế nhiệt ngẫu là một milivonmet như hình 7 - 4.

Điện trở đường dây được qui định là 5Ω, khi điện trở đường dây có giá trị nhỏ hơn 5Ω người ta dùng điện trở điều chỉnh $R_{d/c}$ để bù vào điện trở đường dây. Trong quá trình đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu thường gặp những nguyên nhân gây nên sai số đó là :

- Điện trở mạch đo thay đổi khi nhiệt độ môi trường thay đổi. Từ hình 7 - 4 ta thấy điện áp đo được trên milivonmet được tính

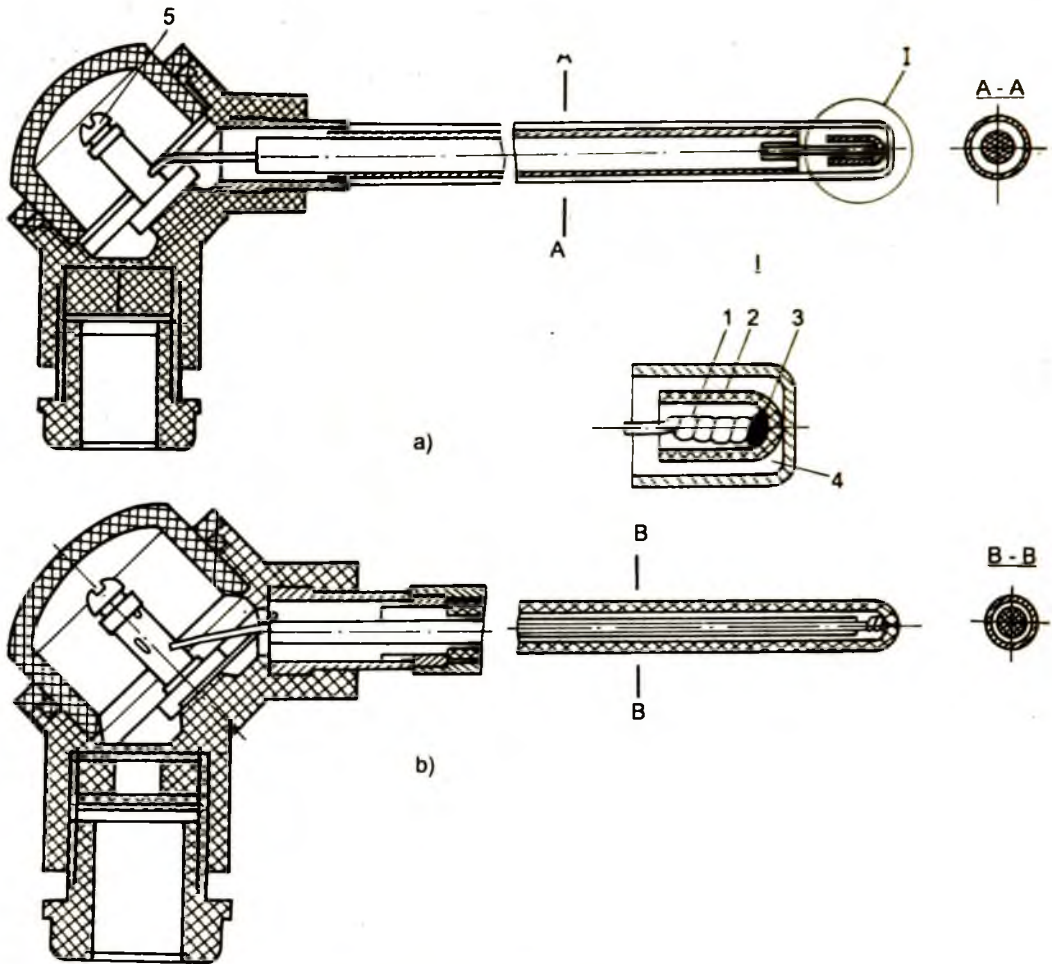
$$U_{MN} = I \cdot R_V \quad (7 - 3) \quad R_V - \text{điện trở của milivonmet}$$

$$\text{Mà } I = \frac{E_t}{2R_d + R_{d/c} + R_{AB} + R_V} \quad (7 - 4) \quad R_{AB} - \text{điện trở cặp nhiệt}$$

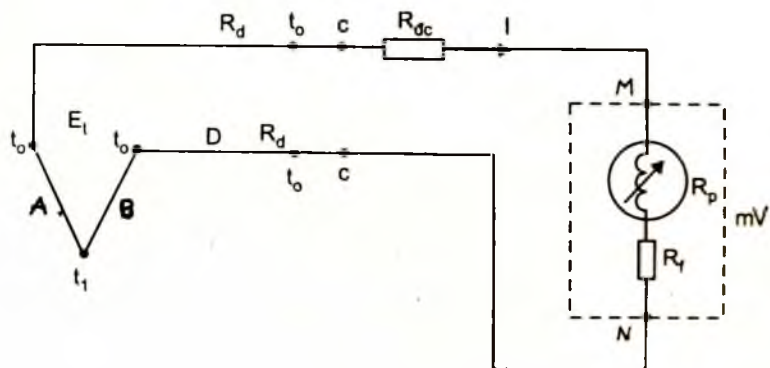
Từ (7 - 4) thế vào (7 - 3) ta được :

$$U_{MN} = \frac{E_t}{2R_d + R_{d/c} + R_{AB} + R_V} \cdot R_V \quad (7 - 5)$$

$$U_{MN} = \frac{E_t}{R_{md} + R_V} \cdot R_V \quad (7 - 6)$$



Hình 7 - 3. Cấu tạo của cặp nhiệt ngẫu
 1 - Dây kim loại 2 - ống sứ cách điện 3 - Đầu hàn 4 - Vỏ thép 5 - Đầu nối ra



Hình 7 - 4. Mạch đo của cặp nhiệt ngẫu với chỉ thị milivonmét

R_d - Điện trở đường dây $R_{d/c}$ - Điện trở điều chỉnh

Ta cũng có

$$U_{MN} = \frac{E_t}{1 + R_{md}/R_V} \quad (7 - 7)$$

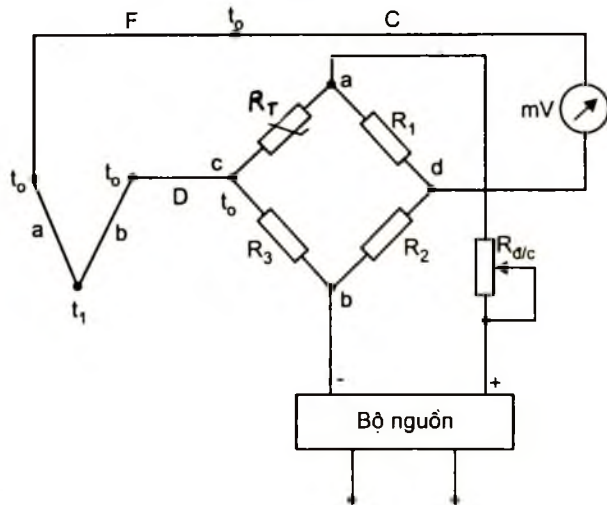
Với $R_{md} = 2R_d + R_{d/c} + R_{AB}$ - điện trở mạch đo

$$\text{Mặt khác ta có : } U_{MN} = IR_V = E_t - IR_{md} \quad (7 - 8)$$

Điện áp U_{MN} luôn nhỏ hơn sức điện động E_t do có điện áp rơi trên điện trở mạch đo. Từ công thức (7 - 7) ta thấy rằng muốn cho sai số phép đo giảm thì R_V càng lớn càng tốt. Thông thường điện trở của milivonmet lớn hơn (40 ÷ 50) lần điện trở mạch đo và sai số chủ yếu do điện trở của milivonmet thay đổi.

- *Mặt khác khi khác độ cặp nhiệt ngẫu:* nhiệt độ đầu tự do (t_0) được duy trì ở nhiệt độ chuẩn 0°C nhưng trong thực tế nhiệt độ ở môi trường (t_0) thường khác với nhiệt độ đầu tự do (t_0) do đó sức điện động E_t đo được thường nhỏ hơn sức điện động E_t chuẩn. Khắc phục sai số trên người ta thực hiện ổn định nhiệt độ đầu tự do bằng phương pháp giữ nhiệt độ đầu tự do ở vùng nước đá đang tan hoặc dùng thiết bị bù nhiệt độ đầu tự do như hình 7 - 5.

Thiết bị bù là một mạch cầu gồm có các điện trở R_1, R_2, R_3 làm bằng Manganin, R_T là điện trở đồng. Cầu được hiệu chỉnh cân bằng ở nhiệt độ chuẩn $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$. Khi nhiệt độ môi trường khác với nhiệt độ chuẩn điện trở R_T thay đổi làm cho mạch cầu mất cân bằng. Tại hai điểm cd suất hiện điện áp U_{cd} . Điện áp này bù vào sức điện động nhiệt bị thay đổi khi $t_0 \neq t_0$ và ta có :



Hình 7 - 5. Sơ đồ mạch đo của cặp nhiệt ngẫu có thiết bị bù nhiệt độ

$$E_{AB}(t_1, t_0) = E_{AB}(t_1, t_0) + U_{CD} \quad (7 - 9)$$

Sai số bù của cầu khi nhiệt độ t_0 thay đổi trong phạm vi từ $0 + 50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
 Sức điện động E_t được đo theo hai phương pháp :

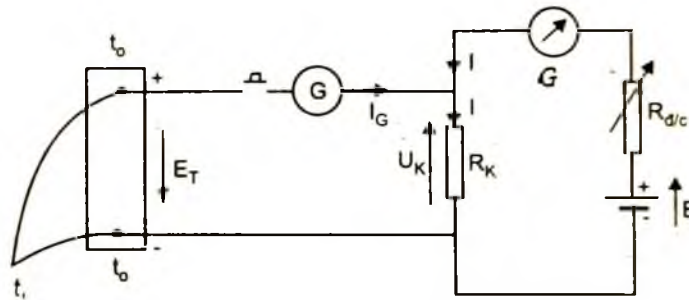
+ *Đo bằng milivonmét có điện trở trong lớn*: để giảm sụt thế trên mạch đo như hình 7 - 4. Từ công thức (7 - 7) ta có

$$U_{MN} = \frac{E_t}{1 + R_{md}/R_V}$$

nghĩa là
$$E_t = U_{MN} \left(1 + \frac{R_{md}}{R_V}\right)$$

để giảm sai số người ta chọn $R_V \gg R_{md}$

+ *Đo bằng phương pháp bù* : như hình 7- 6 trong đó điện áp U_K được 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 và ta có $E_t = R_K I$. Với điều kiện nguồn cung cấp E ổn định, R_K là điện trở có độ chính xác cao phép đo sẽ đạt được độ



Hình 7 - 6. Đo nhiệt độ bằng phương pháp bù

chính xác.

Trong các ngành công nghiệp hiện nay để đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt điện người ta còn sử dụng các điện thế kế một chiều tự động tự ghi như hình 2 - 35 (chương 2) để đo sức điện động E_t . Phương pháp này rất thuận lợi và có thể đo, theo dõi nhiệt độ trong một thời gian dài liên tục.

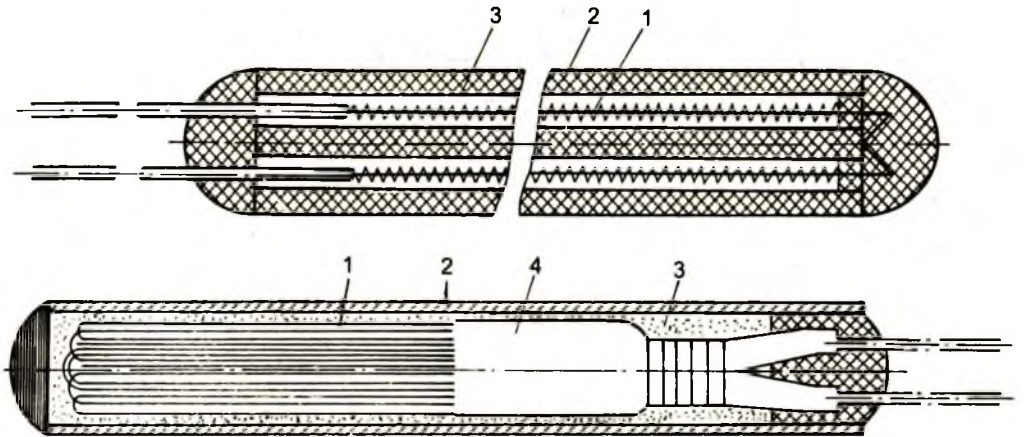
b) Nhiệt kế nhiệt điện trở

Nhiệt kế nhiệt điện trở là nhiệt kế sử dụng chuyển đổi nhiệt điện trở. Chuyển đổi nhiệt điện trở là một thiết bị biến đổi nhiệt độ thành sự thay đổi thông số điện trở R : $R_T = f(t)$; (t - nhiệt độ).

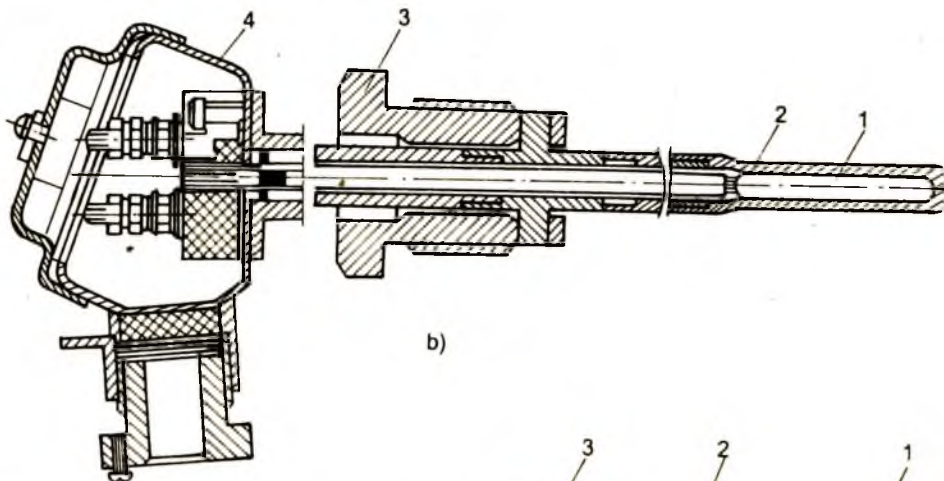
Nhiệt điện trở được phân thành : nhiệt điện trở kim loại và nhiệt điện trở bán dẫn.

+ *Nhiệt điện trở kim loại*

Nhiệt kế kim loại được chế tạo dưới dạng dây kim loại hoặc màng mỏng kim loại có điện trở suất thay đổi theo nhiệt độ. Các nhiệt điện trở kim loại thường làm bằng platin, Niken và đồng. Chúng được chế tạo theo hai dạng :



a)



b)

Hình 7 - 7

a) Nhiệt điện trở dây quấn

- 1- Dây nhiệt điện trở
- 2- Ống sứ cách điện
- 3- Bột ôxít nhôm
- 4- Vỏ bọc

b) Nhiệt điện trở công nghiệp

- 1- Dây nhiệt điện trở
- 2 - Ống thép bảo vệ
- 3- Ô đờ
- 4- Hộp đấu ra

quấn dây trên lõi cách điện hoặc đặt vào một ống thép không rỉ, chịu được nhiệt độ cao và được cách điện bằng các ống sứ (hình 7-7).

Quan hệ giữa nhiệt độ và điện trở được biểu diễn bằng biểu thức :

$$R_T = R_0(1 + \alpha t) \quad (7 - 10)$$

R_0 - điện trở ở nhiệt độ chuẩn

α - hệ số nhiệt độ ; t - nhiệt độ môi trường

Đối với đồng : $\alpha_{Cu} = 4,3 \cdot 10^{-3} (1/^\circ C)$

Đối với niken : $\alpha_{Ni} \approx 5 \cdot 10^{-3} (1/^\circ C)$

Đối với Platin : $\alpha_{Pt} \approx 4,3 \cdot 10^{-3} (1/^\circ C)$

Dải nhiệt độ sử dụng:

Từ $-195^\circ C \div 260^\circ C$ đối với Ni

Từ $-260^\circ C \div 1400^\circ C$ đối với Pt

Từ $-50^\circ C \div 200^\circ C$ đối với đồng Cu



Hình 7 - 8

Hình 7 - 8 là một nhiệt kế bề mặt dùng để đo nhiệt độ trên bề mặt vật rắn được chế tạo bằng phương pháp quang hóa. Vật liệu sử dụng là Ni, Fe - Ni hoặc Pt. Chiều dày cỡ vài μm và có diện tích cỡ $1 cm^2$.

+ *Nhiệt điện trở bán dẫn* : là điện trở chế tạo từ hỗn hợp các oxit bán dẫn đa tinh thể như : MgO ; $MgAl_2O_4$; Mn_2O_3 ; Co_2O_3 ; NiO ; $ZnTiO_4$. Các bột oxit này được trộn với nhau theo một tỉ lệ thích hợp, sau đó nén định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ $1000^\circ C$. Các nhiệt điện trở được chế tạo với hình dáng khác nhau (đĩa, hình trụ, vòng v.v..) như hình 7 - 9.

Đặc tính quan trọng của loại điện trở này là có độ nhạy nhiệt rất cao, gấp hàng chục lần nhiệt điện trở kim loại và chia thành 2 loại.

- Nhiệt điện trở có hệ số nhiệt độ dương

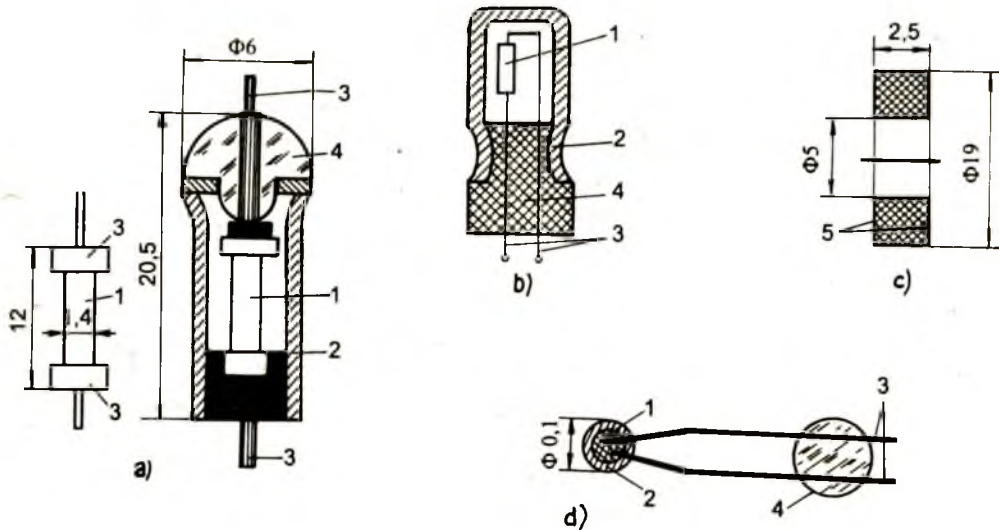
- Nhiệt điện trở có hệ số nhiệt độ âm

Dải nhiệt độ làm việc có thể thay đổi từ vài độ tuyệt đối ($^\circ K$) đến $300^\circ C$.

Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ được tính theo biểu thức :

$$R_T = R_0 \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (7 - 11)$$

R_0 là điện trở ở nhiệt tuyệt đối T_0



Hình 7 - 9. Nhiệt điện trở bán dẫn

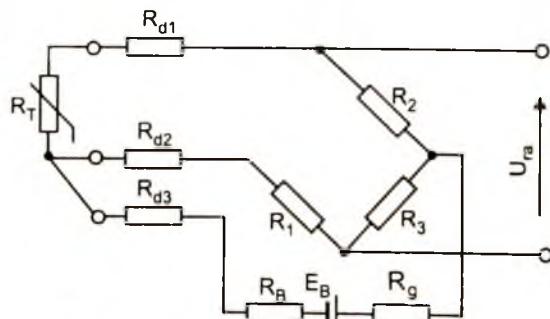
B – Hệ số nằm trong khoảng $3000 \div 5000K$

Độ nhạy nhiệt độ có dạng : $\alpha_R = -B/T^2$ (7 - 12)

Điện trở của các nhiệt điện trở bán dẫn có trị số từ $50\Omega \div 500\Omega$ tùy theo loại.

Mạch đo sử dụng với các nhiệt điện trở thường là các mạch cầu kết hợp với các mạch khuếch đại để tăng độ nhạy của thiết bị. Hình 7 - 10 là sơ đồ của mạch đo thường dùng trong công nghiệp.

Để tránh sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi làm cho điện trở đường dây thay đổi khi đo người ta thường sử dụng mạch cầu 3 dây. Hình 7 - 11 là nguyên lí mạch cầu

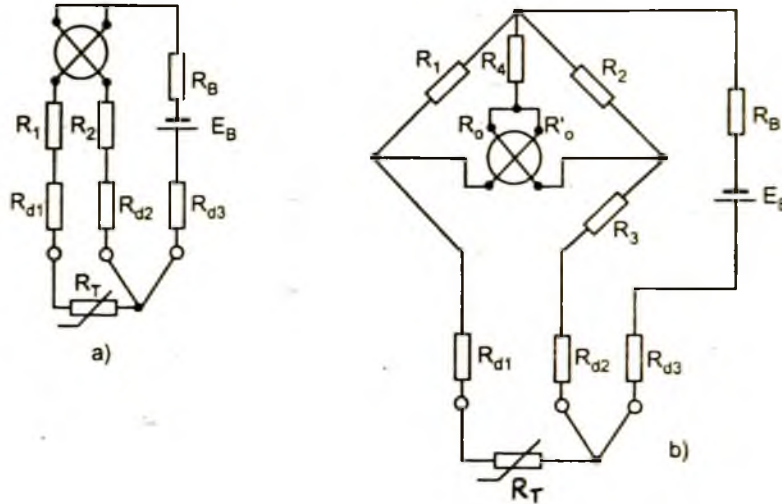


Hình 7 - 10. Mạch đo nhiệt điện trở

không cân bằng, chỉ thị lôgômét từ điện, trong đó R_1, R_2, R_3, R_T là các điện trở của mạch cầu (R_T – nhiệt điện trở).

R_0, R_0' - điện trở của lôgômét

R_4 - điện trở bù nhiệt độ; R_d - điện trở đường dây.



Hình 7 - 11. Sơ đồ mạch đo với chỉ thị lôgômét
a) Đo trực tiếp b) Dùng mạch cầu

Mạch cầu được điều chỉnh cân bằng ở nhiệt độ chuẩn (t_0). Khi đo R_T thay đổi theo nhiệt độ môi trường và cầu mất cân bằng. Chỉ thị lôgômét được khắc độ theo nhiệt độ. Sơ đồ trên có khả năng loại trừ được sai số khi điện áp nguồn cung cấp thay đổi.

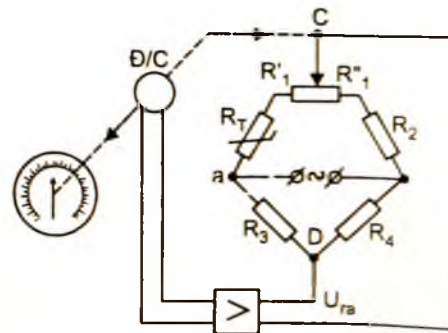
Các hệ thống đo nhiệt độ trong công nghiệp hiện nay được thực hiện trên mạch cầu tự động ghi, có độ chính xác cao như hình (7 - 12). Cầu làm việc ở chế độ cân bằng.

Trong sơ đồ R_1 và R_1' được thay đổi nhờ con chạy liên quan đến động cơ thuận nghịch (Đ/C).

R_2, R_3, R_4 - điện trở làm bằng Manganin.

R_T - Nhiệt điện trở đo nhiệt độ.

Cầu được điều chỉnh cân bằng ở



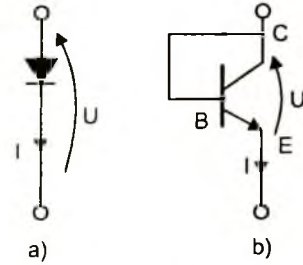
Hình 7 - 12. Cầu tự động đo nhiệt độ

hiệt độ chuẩn (t_0) $R_1 = R_1''$. Điện áp giữa hai điểm CD bằng không ($U_{CD} = 0$). Khi nhiệt độ thay đổi điện trở R_T thay đổi, cầu mất cân bằng. Điện áp ra (U_{ra}) qua khuếch đại được đặt vào động cơ làm cho động cơ quay kéo theo 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 cần đo. Sai số đạt đến $\pm 0,5\%$.

+ Đo nhiệt độ bằng diot và tranzito

Linh kiện điện tử rất nhạy cảm với nhiệt độ, do đó có thể sử dụng một số linh kiện bán dẫn như diot hoặc tranzito nối theo kiểu diot (nối bazo với colector) như hình 7 - 13. Khi đó điện áp giữa 2 cực U là hàm của nhiệt độ. Độ nhạy nhiệt của diot hoặc tranzito được xác định theo biểu thức :



$$S = \frac{dU}{dT} \quad (7-13)$$

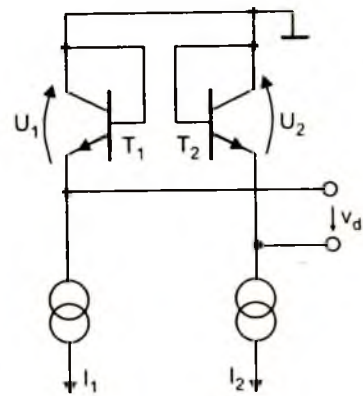
Hình 7 - 13

Độ nhạy có giá trị $-2,5mV/^{\circ}C$. Để tăng độ tuyến tính, độ ổn định và khả năng thay thế người ta mắc theo sơ đồ hình 7 - 14.

Khi nhiệt độ thay đổi ta có

$$U_d = E_{BE1} - E_{BE2} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{c1}}{I_{c2}} \quad (7-14)$$

với $\frac{I_{c1}}{I_{c2}} = \text{const}$ thì U_d tỉ lệ với nhiệt độ T mà không cần đến nguồn ổn định.



$$\text{Độ nhạy nhiệt } S = \frac{d(U_1 - U_2)}{dT} \quad (7-15) \quad \text{Hình 7 - 14. Sơ đồ mạch IC đo nhiệt độ}$$

Với K - hệ số; T- nhiệt độ K; q - điện tích ; I_{c1} , I_{c2} - dòng colector.

Sau đây là một số chuyển đổi nhiệt độ dựa trên bán dẫn tranzito ứng dụng đo nhiệt độ thấp (bảng 7-3).

Bảng 7-3

Loại	Độ nhạy	Giải đo	Sai số
AD592CN	$1\mu A/^{\circ}K$	$-25^{\circ}C \div 105^{\circ}C$	$0,3^{\circ}C$
LM35	$\pm 10mV/^{\circ}K$	$-55^{\circ}C \div 150^{\circ}C$	$\pm 0,25^{\circ}C$
MMB - TS102	$-2,25mV/^{\circ}K$	$-40^{\circ}C \div 150^{\circ}C$	$\pm 2^{\circ}C$
REF - 02A	$2,1mV/^{\circ}K$	$-55^{\circ}C \div 125^{\circ}C$	$\pm 0,5^{\circ}C$

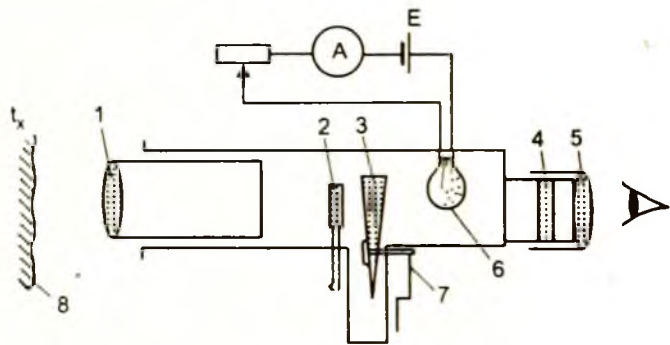
7.1.3. Đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc

a) **Hoà 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 sảy ra trên một đơn vị độ dài sóng. Quan hệ đó được biểu diễn bằng biểu thức :

$$E_\lambda = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \quad (7 - 16)$$

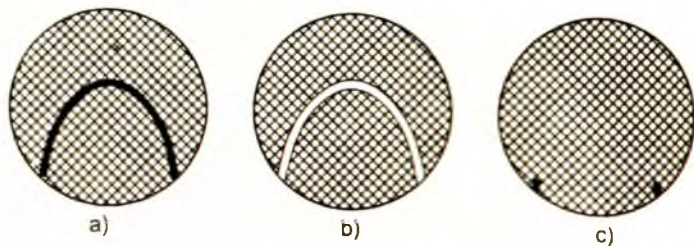
Với C_1, C_2 – Hằng số; λ - độ dài sóng; T - nhiệt độ tuyệt đối.

Hình 7 - 15 là cấu tạo của một hoà kế quang học. Ống ngắm gồm kính vật 1, thị kính 5 qua đó có thể ngắm được đối tượng đo 8. Trước thị kính 5 có bộ lọc ánh sáng đỏ 4, sợi đốt 6 của bóng đèn chuẩn được ngắm trực tiếp. Cường độ sáng của đối tượng đo 8 được chắn và làm yếu đi nhờ bộ chắn quang học 3. Góc quay của bộ chắn 3 tương ứng với cường độ sáng được tính bằng thang 7.



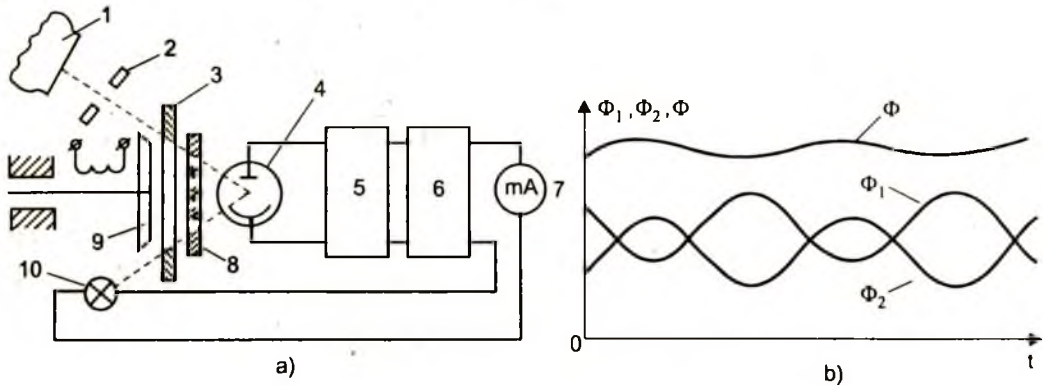
Hình 7 - 15. Sơ đồ hoà kế quang học

Sau bộ chắn quang học 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 (hình 6 - 16a). Nếu độ sáng của đối tượng yếu hơn độ sáng dây đốt ta thấy dây sáng trên nền tối (hình 7 - 16b). Khi độ sáng của đối tượng đo và độ sáng của đèn bằng nhau hình dây sẽ biến mất (hình 6 - 16c). 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 7 - 16

Hình 7 – 17a là sơ đồ nguyên lí của hoá 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 7 – 17b) 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. Khi ánh sáng của đèn và đối tượng đo ổn định miliampemét cho ta biết nhiệt độ của đối tượng đo.



Hình 7 - 17. a) Sơ đồ hoá kế quang học tự cân bằng b) Biểu đồ ánh sáng

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

b) Hoá kế phát xạ

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

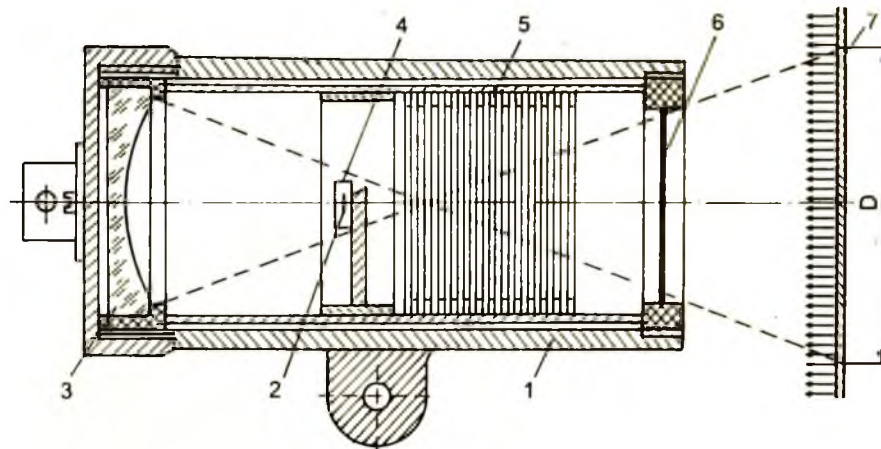
$$E_T = \sigma T^4 \quad (7 - 17)$$

Trong đó : σ - hệ số ($\sigma = 4,96.10^{-2} \text{ J/m}^2\text{sgrad}^4$); T - nhiệt độ của vật.

Hình 7 – 18 là cấu tạo của hoá 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 thuỷ tinh 6. Nhiệt điện trở được mắc vào mạch cầu tự cân bằng cung cấp từ nguồn điện xoay chiều tần số 50Hz.

Hoá 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 chụm hết tâm nhìn của ống kính (đường kính D).



Hình 7 - 18. Sơ đồ hoá kế phát xạ

Nhược điểm của hoá 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.

7.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO LỰC, ỨNG SUẤT VÀ ÁP SUẤT

7.2.1. Khái niệm chung

Quá trình đo lực, ứng suất và áp suất chiếm một khối lượng tương đối lớn trong các xí nghiệp có hệ thống đo và điều khiển tự động cũng như trong quá trình nghiên cứu cơ lí tính của các vật chịu lực trong chế tạo máy.

Phạm vi đo lực rất rộng từ $10^{-12}N$ ÷ 10^8N . Lực có thể là những đại lượng không đổi (lực tĩnh) đến những lực có tốc độ biến thiên nhanh (lực động). Thường lực được chia thành những giải đo khác nhau, mỗi giải đo có thể sử dụng các phương pháp và thiết bị khác nhau.

Đối với áp suất, giải đo từ 0 ÷ $10^{10}N/m^2$. Ngưỡng nhạy của thiết bị đo từ $0,1$ ÷ $0,01 N/m^2$. Các dụng cụ đo áp suất được chia thành nhiều dải đo khác nhau. Đo ứng suất của các loại vật liệu thường nằm trong khoảng đo 0 ÷ $150.10^7N/m^2$. Mục đích là để xác định sức bền của vật liệu.

Phương pháp đo lực, ứng suất và áp suất có thể thực hiện theo hai cách: đo trực tiếp và đo gián tiếp:

+ *Phương pháp đo trực tiếp*: là phương pháp sử dụng các chuyển đổi có đại lượng vào tương ứng với lực, ứng suất cần đo. Đại lượng ra được biến đổi thành các tín hiệu điện. Mạch đo và chỉ thị cho kết quả đo không thông qua hệ dẫn truyền trung gian.

+ *Phương pháp đo gián tiếp*: trong đó sử dụng các phân tử đàn hồi, các hệ dẫn truyền, biến lực, ứng suất, áp suất thành di chuyển. Các chuyển đổi đo các lượng di chuyển, từ đó suy ra đại lượng cần đo.

Các phương pháp trên được sử dụng rộng rãi. Sử dụng phương pháp nào là tùy thuộc yêu cầu và nhiệm vụ thực hiện chúng.

Đo lực, ứng suất và áp suất phân lớn có thể đưa về phép đo Δl hoặc $\frac{\Delta l}{l}$ vì:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}; l - \text{chiều dài của đối tượng đo}$$

Δl - độ biến thiên theo chiều dài

σ - ứng suất cơ của vật liệu

E - môđun đàn hồi.

Mạch đo thường là mạch cầu, kết hợp với các tầng khuếch đại và chỉnh lưu. Chỉ thị là các dụng cụ chỉ thị cơ điện, tự ghi, điện tử và các dụng cụ số.

7.2.2. Các phương pháp và dụng cụ đo lực

a) *Đo lực bằng phương pháp đo trực tiếp*

+ *Lực kế kiểu áp điện*

Áp điện là một loại chuyển đổi phát điện, nguyên lí làm việc dựa trên hiệu ứng áp điện. Có một số vật liệu như thạch anh, titanat Bari (BaTiO_3), muối seignette v.v... Khi chịu lực tác động biến thiên, trên bề mặt của chúng xuất hiện các điện tích. Khi lực ngừng tác động các điện tích cũng biến mất. Hiện tượng trên được gọi là hiệu ứng áp điện. Chuyển đổi áp điện được dùng rộng rãi là thạch anh. Tinh thể thạch anh được cắt thành từng phiến có độ rộng Y và chiều dày X (hình 7 - 19).

Khi tác động 1 lực vào trục X , điện tích xuất hiện được tính theo biểu thức:

$$q = d_1 F_x \quad d_1 - \text{hệ số áp điện.} \quad (7 - 18)$$

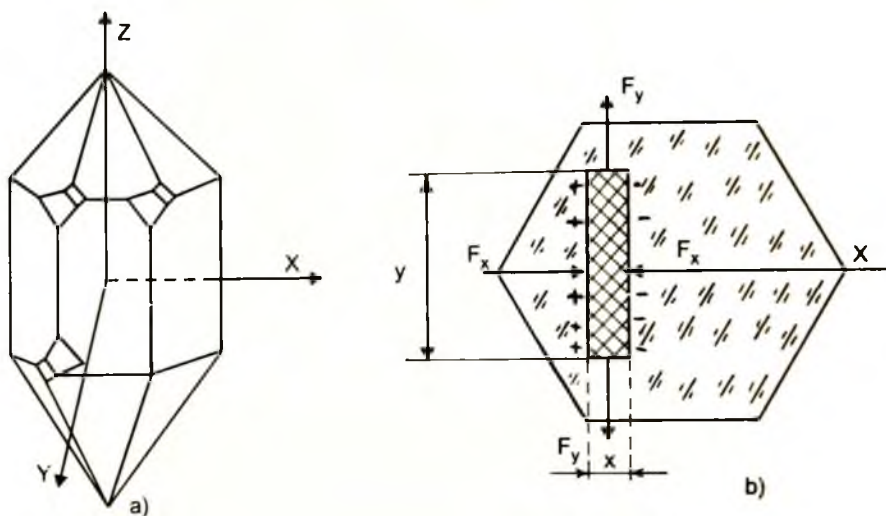
Nếu tác động lực theo trục Y ta có

$$q = - d_1 (Y/X) \cdot F_y \quad (7 - 19)$$

Y,X – kích thước của chuyển đổi.

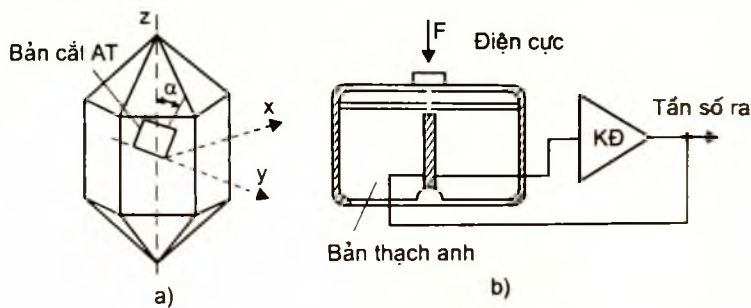
Thạch anh có : - Hằng số điện môi $\epsilon = 39,8 \cdot 10^{-12} \text{F/m}$.

- Hệ số áp điện $d_1 = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{C/N}$
- Ứng suất cho phép $\sigma = 70 \div 10 \text{ N/mm}^2$
- Điện trở suất $\rho = 10^{12} \Omega\text{m}$
- Môđun đàn hồi $E = 80 \cdot 10^9 \text{ N.m}^{-2}$



Hình 7 - 19. a) Sơ đồ cấu tạo tinh thể thạch anh b) Chuyển đổi áp điện

- Hình 7 – 20 trình bày cấu tạo của lực kế áp điện thạch anh. Trong đó phiến thạch anh hình chữ nhật có một cạnh được cắt song song với trục X, bề mặt được cắt với góc $\alpha \approx 35^0$ so với trục Z (hình 7 – 20a). Sơ đồ khối của chuyển đổi như hình 7 – 20b, trong đó khuyết đại có phản hồi dương. Tinh thể thạch anh dao động với tần số cơ bản f_0 và độ lệch tần số Δf khi chịu lực F.



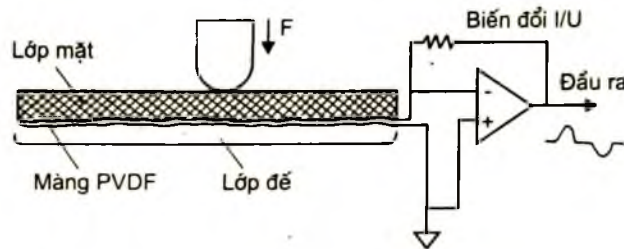
Hình 7 - 20. Áp điện thạch anh

$$\Delta f = \frac{k f_0^2 n}{D} F \quad (7 - 20)$$

F – lực tác động; k – hằng số;
D – kích thước chuyển đổi; n – hệ số

Để tăng độ nhạy, chuyển đổi có thể được ghép bằng nhiều phiên song song với nhau.

- Hình 7 – 21 là cấu tạo của lực kế áp điện (PVDF).



Hình 7 - 21. Lực kế áp điện

Chuyển đổi gồm 3 lớp màng Polyvinylidenefluorid (PVDF) được dát mỏng giữa là cao su silicon và lớp ép. Lớp ép là màng chất dẻo. Khi chịu lực tác dụng màng PVDF hình thành các điện tích trên bề mặt, điện tích thay đổi làm biên độ của điện áp ra thay đổi tỉ lệ với lực tác động.

+ *Lực kế điện trở lực căng (điện trở tenxơ)*

Điện trở lực căng là loại chuyển đổi mà nguyên lí làm việc dựa trên sự thay đổi điện trở khi bị biến dạng. Các vật liệu có tính chất trên là một số kim loại hoặc bán dẫn. Với các vật liệu kim loại thường là constantan, nichrome, Platin – Vonfram.

Quan hệ giữa biến dạng và sự thay đổi điện trở được biểu diễn bằng biểu thức :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (7 - 21)$$

K – hệ số phụ thuộc vào vật liệu và hình dạng của chuyển đổi.

K = 2,1 đối với constantan

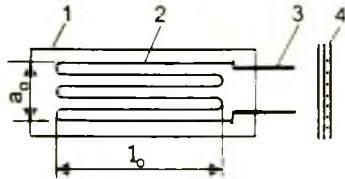
K = 2,5 với Nichrome

K = 4,1 với Platin – Vonfram

Hình 7 – 22 là cấu tạo của chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh. Dây điện trở có đường kính $\phi = 0,02 \div 0,03\text{mm}$ được uốn thành hình răng lược có

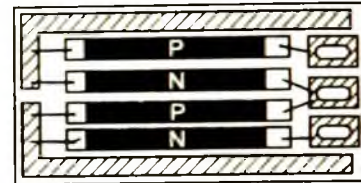
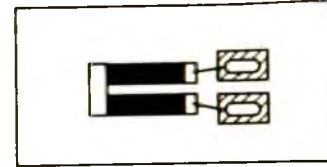
chiều dài tác dụng $l_0 = 8 \div 15\text{mm}$, độ rộng $a_0 = 3 \div 10\text{mm}$. Điện trở thay đổi trong khoảng $10\Omega \div 150\Omega$.

- Với bán dẫn thường là silic đơn tinh thể pha tạp được cắt thành từng miếng như hình 7 - 23, chiều dài $l = 0,1\text{mm}$ đến vài milimét, chiều dày cỡ 10^{-2}mm .



Hình 7 - 22. Chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh

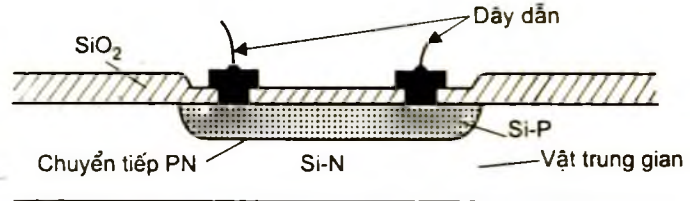
1 - Tấm giấy mỏng
2 - Dây điện trở 3 - Dây dẫn



Hình 7 - 23. Sơ đồ cấu tạo chuyển đổi điện trở lực căng dạng cắt

Hoặc loại khuyếch tán như hình 7 - 24, điện trở của đầu đo được tạo nên bằng cách khuyếch tán tạp chất vào một phần của đế đơn tinh thể silic đã pha tạp.

Đặc điểm của điện trở bán dẫn là hệ số K rất lớn, có thể lớn hơn gấp 10 ÷ vài chục lần hệ số K của kim loại. Tuy nhiên khi nhiệt độ thay đổi hệ số K giảm đi.



Hình 7 - 24. Cấu tạo chuyển đổi điện trở lực căng dạng khuyếch tán

Hình 7 - 25a là cấu tạo của lực kế sử dụng điện trở lực căng loại dây mảnh trong đó thanh đàn hồi 1 được dán hai điện trở 2. Khi có lực tác dụng, thanh đàn hồi bị biến dạng làm cho các điện trở bị biến dạng theo và điện trở của chúng bị thay đổi. Các điện trở này được mắc trên mạch cầu hai nhánh hoạt động (hình 7 - 25b). Điện áp ra của cầu tỉ lệ với lực tác động. Giới hạn đo của thiết bị trên với lực tác động từ $10^3 \div 10^4\text{N}$. Sai số có thể đạt tới $\pm 0,2 \div 0,5\%$.

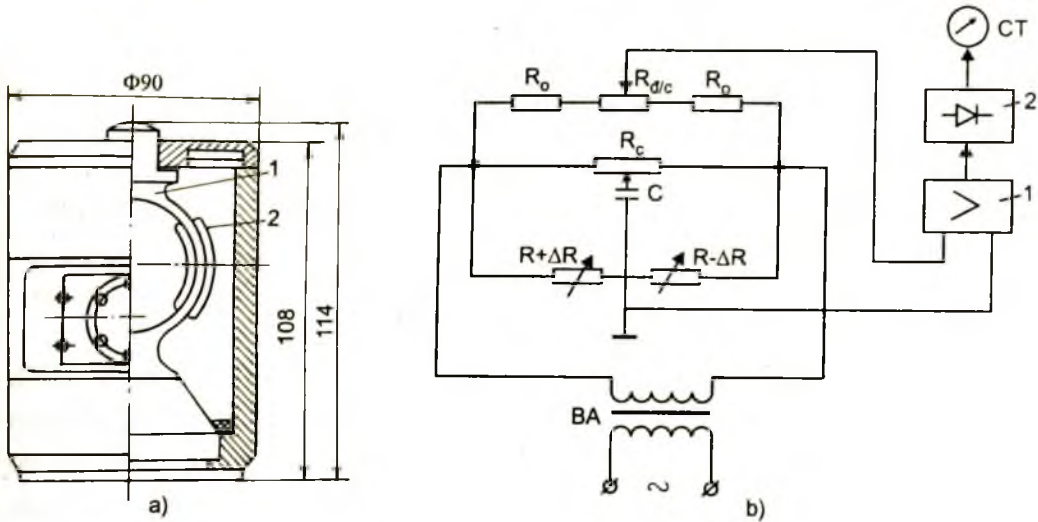
Trong đó :

R_0 - điện trở cố định; $R_{d/c}$ - điện trở cân bằng về biên độ.

$R_1 + \Delta R, R_2 - \Delta R$: điện trở lực căng.

R_c, C - điện trở và điện dung cân bằng pha.

1 - Khuếch đại ; 2 - Chỉnh lưu (Mạch đo).

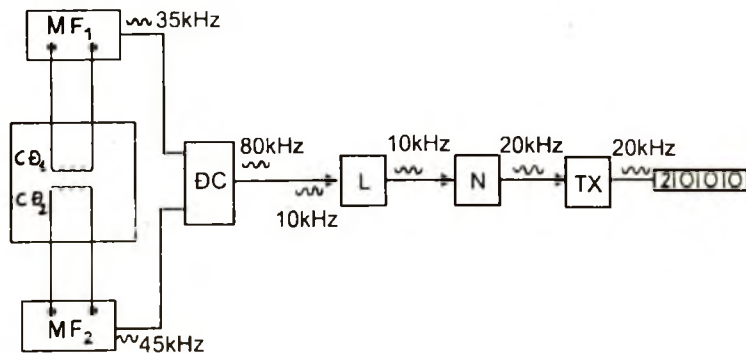


Hình 7 - 25. a) Cấu tạo lực kế điện trở lực căng b) Mạch đo

b) Đo lực bằng phương pháp gián tiếp

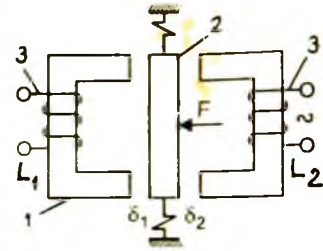
Phương pháp đo gián tiếp là phương pháp biến lực thành di chuyển qua khâu dẫn truyền sau đó đo di chuyển để xác định lực.

Các chuyển đổi sử dụng để đo lực theo phương pháp trên là các loại chuyển đổi điện cảm, hồ cảm, điện dung, điện trở v.v ... Dưới tác động của lực đo các phần động của các chuyển đổi bị di chuyển và biến thành tín hiệu điện, sau đó ta đo tín hiệu điện để xác định lực. Hình 7 - 26 vẽ sơ đồ cấu trúc của lực kế chỉ thị số sử dụng chuyển đổi điện cảm.



Hình 7 - 26. Sơ đồ cấu trúc của lực kế chỉ thị số

Máy phát tần số (MFTS1 và MFTS2) là loại máy phát LC trong đó hai chuyển đổi điện cảm L_1 và L_2 được mắc theo kiểu vi sai hình 7 – 27. Khi chưa có lực tác động lên lõi thép phân động 2 của chuyển đổi, điện cảm của chúng bằng nhau $L_1 = L_2$ và 2 máy phát tần số đều phát cùng tần số 40 kHz. Khi có lực tác động lên phần động 2 khe hở không khí δ_1 và δ_2 của chuyển đổi 1 và 2 thay đổi do đó điện cảm của cuộn dây L_1 khác với điện cảm L_2 .



Hình 7 - 27. Chuyển đổi điện cảm mắc vi sai
1- Mạch từ; 2 - Lõi thép phân động; 3- Cuộn dây điện cảm

Máy phát tần số phụ thuộc vào điện cảm L mà L_1 và L_2 khác nhau nên tần số phát của MFTS1 khác với MFTS2. (Ví dụ : MFTS1 phát tần số 35 kHz, MFTS2 là 45 kHz). Chúng được đưa vào bộ điều chế tần số (ĐC). Tần số ra sau bộ điều chế là tần số tổng 80 kHz và tần số hiệu 10kHz. Tần số 10kHz là tần số phản ánh lực đo được đưa qua bộ lọc và bộ nhân. Bộ nhân tần để tăng tần số với mục đích làm giảm sai số trong quá trình đo, tần số nhân được đưa vào bộ tạo xung và bộ đếm để chỉ thị kết quả đo. Dải đo của thiết bị trên là 20kN. Độ nhạy 1000Hz/N. Sai số phi tuyến 0,3%, sai số trễ 0,03%.

7.2.3. Đo ứng suất và biến dạng

Đo ứng suất và đo biến dạng thực tế là một, đó là đo Δl hay $\Delta l/l$. Đo ứng suất và biến dạng có thể dùng các chuyển đổi khác nhau, thông thường dùng chuyển đổi điện trở lực căng.

Phạm vi đo biến dạng tương đối $\Delta l/l$ bằng các chuyển đổi điện trở lực căng từ 0,005 ÷ 0,02% hoặc từ 1,5 ÷ 2%.

Ưu điểm của các chuyển đổi điện trở lực căng là quán tính nhỏ, dải tần rộng 0 ÷ 100kHz.

Trong quá trình đo ứng suất và biến dạng cần quan tâm đến một số khâu như chọn vị trí, dán chuyển đổi v.v... Khi nghiên cứu trạng thái ứng suất theo một hướng nào đó, chuyển đổi được dán theo hướng tác dụng của ứng suất. Sự biến dạng của chi tiết và ứng suất được tính theo biểu thức :

$$\epsilon_l = \frac{\epsilon_R}{k} \quad (7 - 22)$$

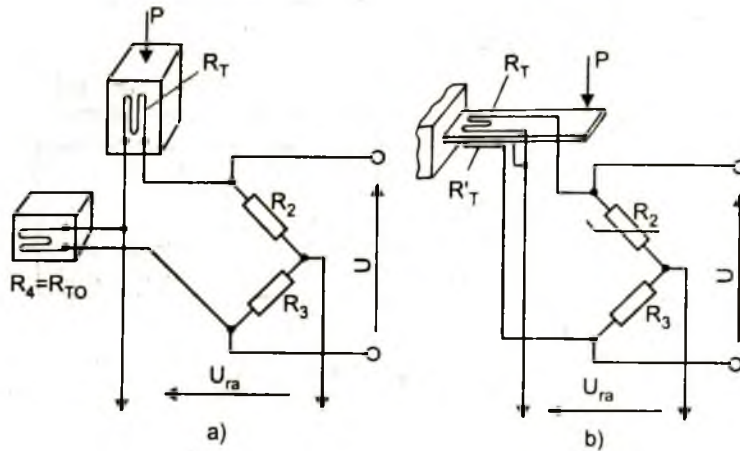
$$\epsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\sigma = E \epsilon_l = E \frac{\epsilon_R}{k} \quad (7 - 23)$$

$$\epsilon_R = \frac{\Delta R}{R}$$

Trong đó : k – hệ số; E – môđun đàn hồi và biến dạng.

Hình 7 – 28 là sơ đồ mạch đo ứng suất và biến dạng của một dầm chịu lực và phương pháp dán các chuyển đổi. Khi đối tượng đo, không có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau, để hiệu chỉnh sai số nhiệt độ có thể dán một chuyển đổi lên đối tượng đo, còn chuyển đổi kia dán lên một mẫu cùng loại, mẫu này đặt trong cùng điều kiện nhiệt độ hình 7 – 28a.

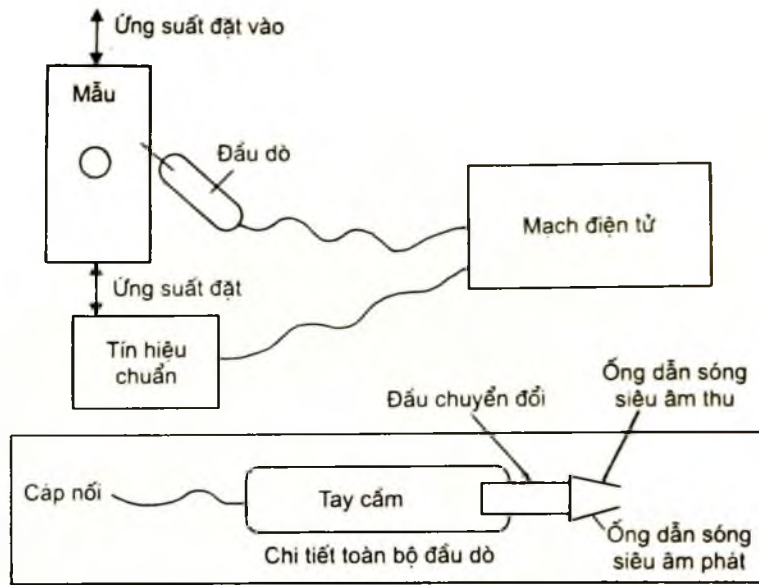


Hình 7 - 28. Sơ đồ mạch đo biến dạng và ứng suất dùng chuyển đổi điện trở lực căng

Trường hợp khi đo biến dạng như hình 7 – 28b ta dán một chuyển đổi ở phía trên dầm còn chuyển đổi kia dán phía dưới. Khi có lực tác dụng chuyển đổi phía trên chịu lực kéo, chuyển đổi dưới chịu lực nén. Khi cầu mất cân bằng điện áp ra có trị số lớn hơn khi mạch cầu chỉ có một chuyển đổi biến dạng và có khả năng loại trừ được sai số do nhiệt độ môi trường gây nên.

Hình 7 – 29 là thiết bị đo ứng suất động trong vật liệu bằng phương pháp siêu âm. Thiết bị đo bao gồm đầu dò, mạch điện tử và nguồn tín hiệu chuẩn. Khối dò gồm có tay cầm, bộ chuyển đổi, máy phát siêu âm, máy thu, ống dẫn sóng máy phát và máy thu để biến đổi tín hiệu điện thành chuyển động cơ học và ngược lại, cáp nối đầu dò với mạch điện tử.

Khi chạm vào mẫu, máy phát siêu âm tạo nên sóng âm truyền qua mẫu tới máy thu sóng siêu âm, các sóng này được biến đổi thành tín hiệu điện. Sự lan truyền âm bị thay đổi khi ứng suất trong mẫu thay đổi. Đầu dò có thể di chuyển xung quanh mẫu để vẽ trường ứng suất và khi quay đầu dò ta có thể xác định được chiều của ứng suất. Thiết bị được ứng dụng rộng rãi trong việc chế tạo và kiểm tra cấu trúc tàu vũ trụ, kết cấu ô tô khi thử ứng suất và đánh giá thiết kế.



Hình 7 - 29. Thiết bị đo ứng suất bằng siêu âm

7.2.4. Các phương pháp đo áp suất

Khái niệm về áp suất

Áp suất là tỉ số giữa lực tác dụng vuông góc lên một mặt với diện tích của nó. Áp suất là một đại lượng cơ bản để xác định trạng thái nhiệt động học của các chất. Sự vận hành của các quá trình công nghệ, tình trạng các thiết bị công nghệ và chế độ vận hành của chúng được xác định bằng áp suất.

Đơn vị áp suất là Pascal (Pa) ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$)

Dải đo áp suất từ $10^{-12} \div 10^{11}$ Pa.

Các dụng cụ đo áp suất được phân loại theo áp suất cần đo và nguyên lý tác dụng :

- Áp kế đo áp suất dư.
- Khí áp kế đo áp suất khí quyển.
- Áp kế tuyệt đối để đo áp suất tính từ độ 0 tuyệt đối.
- Chân không kế.

Theo nguyên lý làm việc có thể phân thành : Đo trực tiếp và đo gián tiếp.

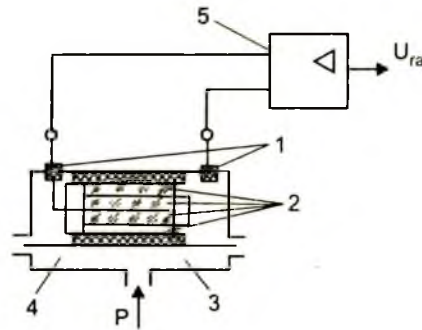
Sau đây là một số dụng cụ đo áp suất được sử dụng rộng rãi trong các quá trình công nghệ:

a) Đo áp suất bằng phương pháp trực tiếp : áp kế điện

Hình 7 – 30 là sơ đồ nguyên lí của áp kế áp điện. Dưới tác dụng của áp suất P màng đàn hồi 4 tạo nên một lực nén lên áp điện thạch anh 2 có đường kính 5mm, bề dày 1mm. Điện tích q xuất hiện ở điện cực 1 được đưa vào bộ khuếch đại điện tử 5 có tổng trở vào cỡ $10^{13}\Omega$. Quan hệ giữa điện tích q và áp suất P là :

$$q = kFP \quad (7 - 24) \quad \text{với } F - \text{diện tích hữu ích của màng; } k - \text{hệ số.}$$

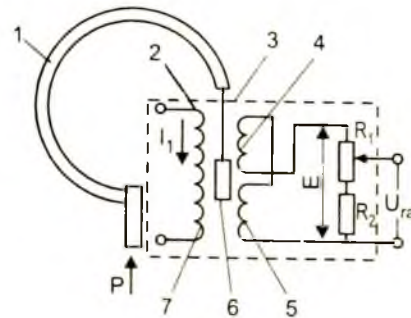
Để giảm quán tính của thiết bị người ta giảm thể tích của buồng 3. Vì tần số dao động riêng của hệ thống màng chuyển đổi khoảng hàng chục kHz nên có đặc tính động học cao và được sử dụng rộng rãi để đo và kiểm tra áp suất trong hệ thống có dòng chảy nhanh. Giới hạn đo của thiết bị trong khoảng $2,5 \div 100\text{MPa}$. Cấp chính xác $1,5 \div 2$.



Hình 7 - 30. Áp kế áp điện

b) Đo áp suất bằng phương pháp gián tiếp

Đó là các thiết bị dưới tác dụng của áp suất, nhờ các khâu dẫn động áp suất biến thành di chuyển, các chuyển đổi đo di chuyển sẽ xác định được áp suất cần đo. Các phần tử dẫn động có thể là lò xo ống, ống xiphông và màng đàn hồi hoặc màng dẻo. Hình 7 – 31 là sơ đồ nguyên lí của áp kế hồ cảm vi sai hay còn gọi là áp kế biến áp vi sai. Thiết bị gồm có khâu dẫn động 1 là một lò xo ống kim loại được uốn cong, một đầu giữ cố định còn đầu kia để tự do. Chuyển đổi 2 là một biến áp vi sai với cuộn dây sơ cấp 7 và hai cuộn thứ cấp 4 và 5. Giữa các cuộn dây đặt lõi thép 6 gắn với đầu tự do của lò xo ống. Cuộn dây 4 và 5 đấu ngược chiều nhau. Đầu ra của cuộn thứ cấp được nối với điện trở R_1 và R_2 để thay đổi giới hạn đo trong khoảng $\pm 25\%$. Khi có dòng điện I_1 chạy qua cuộn sơ cấp sẽ tạo ra một từ thông móc vòng qua 2 cuộn dây thứ cấp 4 và 5 làm xuất hiện các sức điện động cảm ứng



Hình 7 - 31. Áp kế hồ cảm vi sai

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 và ta có :

$$e_1 = 2\pi f I_1 M_1 ; e_2 = 2\pi f I_1 M_2 \quad (7 - 25)$$

Do hai cuộn thứ cấp đấu ngược chiều nhau nên :

$$E = e_1 - e_2 = 2\pi f I_1 (M_1 - M_2) = 2\pi f M I_1 \quad (7 - 26)$$

Với R_1 và R_2 là các điện trở cố định, điện áp ra được tính :

$$U_{ra} = 2\pi f I_1 M_{ra} \quad (7 - 27)$$

M_{ra} là giá trị hồ cảm phụ thuộc vào độ di chuyển X của lõi thép 6 :

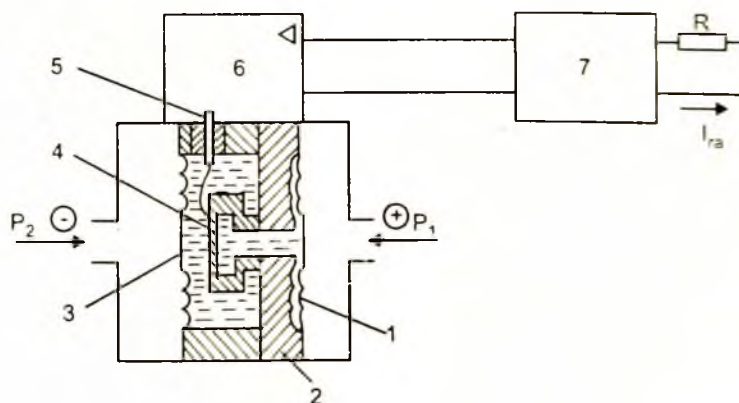
$$M_{ra} = M_{max} \frac{X}{X_{max}} \quad (7 - 28)$$

M_{max} là giá trị hồ cảm lớn nhất của chuyển đổi khi lõi thép di chuyển lớn nhất X_{max} . Thay (7 - 28) vào (7 - 27) ta được :

$$U_{ra} = \frac{2\pi f I_1 M_{max}}{X_{max}} X \quad (7 - 29)$$

Chiều dài toàn phần của lõi từ 1,6 ÷ 4mm . Điện áp ra của thiết bị thay đổi từ $-1V \div 1V$ tùy theo sự thay đổi pha của tín hiệu, tương ứng với sự thay đổi hồ cảm M của chuyển đổi từ $-10 \div 10mH$.

Ngoài ra, để đo áp suất ta có thể sử dụng áp kế kiểu điện trở lực căng (còn gọi là điện trở tenxơ). Hình 7 - 32 là sơ đồ thiết bị đo áp suất kiểu điện trở lực căng. Các môđun tenxơ là một màng mỏng kim loại 4 trên đó có gắn bốn điện trở tenxơ silic, tạo thành mạch cầu không cân bằng. Môđun tenxơ gắn trên đế



Hình 7 - 32. Áp kế dùng chuyển đổi tenxơ

2 chia môi trường đo thành hai phần nhờ hai màng kim loại 1 và 3. Hiệu số áp suất đo $P = P_1 - P_2$ tác dụng lên các tenxơ qua màng đàn hồi và chất lỏng giữa hai phần môi trường làm cho tenxơ biến dạng. Tín hiệu ra của mạch cầu được lấy ra từ điện cực 5 và nối với khuếch đại 6. Cung cấp cho mạch cầu là bộ nguồn 7. Tín hiệu ra được chuẩn hoá với dòng điện từ 4 – 20mA.

Với thiết bị trên có thể đo được áp suất dư từ $0 \div 10^3$ kPa đến $0 \div 60$ MPa, áp suất chân không $10 \div 0$ kPa, áp suất tuyệt đối từ $0 \div 2,5$ kPa hoặc $0 \div 2,5$ MPa.

Cấp chính xác đạt được đến 0,6; 2,0; 1,5. Thời gian tín hiệu ra xác lập khi có sự thay đổi áp suất từ 0,5 ÷ 2,5 giây.

7.3. ĐO LƯU LƯỢNG VÀ THỂ TÍCH CHẤT LỎNG, KHÍ VÀ HƠI

7.3.1. Khái niệm chung

Lưu lượng là một trong các tham số quan trọng của quá trình công nghệ. Muốn nâng cao chất lượng sản phẩm và hiệu quả của các hệ điều khiển tự động các quá trình công nghệ cần phải đo chính xác lưu lượng và thể tích các chất. Lưu lượng vật chất là số lượng chất đó chảy qua tiết diện ngang của ống dẫn trong một đơn vị thời gian. Đơn vị đo được tính m^3/s hoặc m^3 /giờ.

Lưu lượng được phân thành lưu lượng trung bình và lưu lượng tức thời.

Lưu lượng trung bình được tính :

$$Q_{tb} = V(t_2 - t_1) \quad (7 - 30)$$

Trong đó V – thể tích vật chất

$t_2 - t_1$ là thời gian đo.

Lưu lượng tức thời được tính theo công thức :

$$Q = dV/dt \quad (7 - 31)$$

Thiết bị đo lưu lượng được gọi là lưu lượng kế. Ta có thể suy ra :

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \quad \text{và} \quad m = \int_{t_1}^{t_2} G dt \quad (7 - 32)$$

m – khối lượng vật chất.

G – lưu lượng khối tức thời : $G = dm/dt$.

7.3.2. Các thiết bị đo lưu lượng và lưu tốc

a) Lưu lượng kế cánh quạt

Nguyên lí làm việc của lưu lượng kế cánh quạt dựa trên số vòng quay của tuabin trong một đơn vị thời gian tỉ lệ với tốc độ dòng chảy.

$$n = k.v \quad (7 - 33)$$

k – hệ số tỉ lệ

$k = 2\pi r F \cot \alpha$ (r – bán kính trung bình của cánh tuabin; α – góc lệch giữa cánh và trục tuabin)

v – tốc độ dòng chảy qua tiết diện F của ống dẫn.

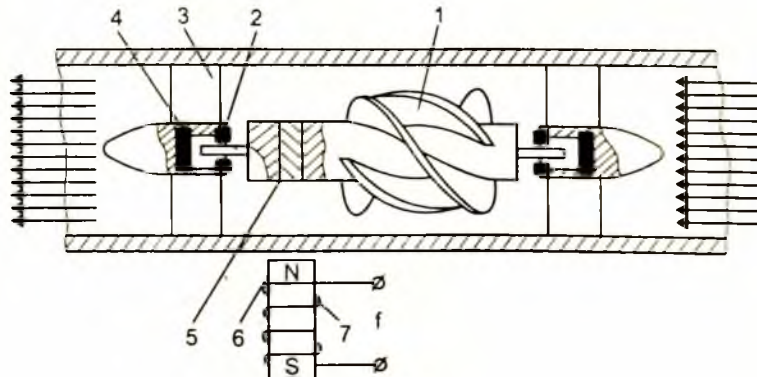
Lưu lượng thể tích qua cánh quạt được tính bằng :

$$Q = v.F \quad (7 - 34)$$

Từ phương trình (7 – 33) và (7 – 34) ta có:

$$n = \frac{k.Q}{F} \quad (7 - 35)$$

Hình 7 – 33 là sơ đồ của một lưu lượng kế cánh quạt. Trong đó cánh quạt 1 giống như cánh tuabin, quay trên giá đỡ 2 được gắn vào tấm đỡ 3 trong ống dẫn. Ổ đỡ 4 có tác dụng hạn chế độ di chuyển của cánh quạt. Trục cánh quạt làm bằng vật liệu không dẫn từ trong đó gắn lõi thép 5 bằng vật liệu dẫn từ. Bên ngoài ống đặt nam châm vĩnh cửu 6 trên nó quấn cuộn dây cảm ứng 7.



Hình 7 - 33. Sơ đồ cấu tạo lưu lượng kế cánh quạt

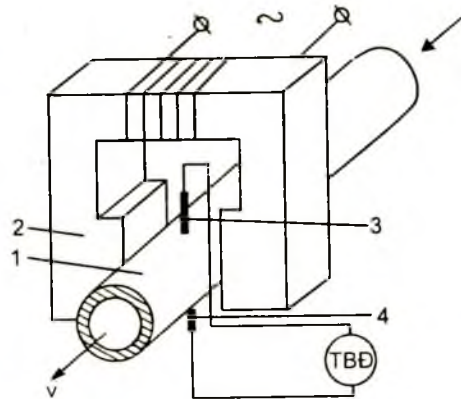
Khi cánh quạt quay, từ thông của nam châm sẽ tăng lên khi lõi 5 nằm dọc trục của nam châm và giảm đi khi lõi thép 5 nằm vuông góc với nó.

Khi từ thông móc vòng trong cuộn dây cảm ứng thay đổi sẽ xuất hiện một sức điện động cảm ứng $E = -W \frac{d\phi}{dt}$. Mỗi vòng quay 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.

Đo tốc độ vòng quay bằng một tần số kế có thể xác định được lưu lượng cần đo. Với phương pháp trên sai số đạt được từ $1 \div 0,3\%$, phạm vi đo $0,3 \text{ m}^3/\text{h} \div 36000 \text{ m}^3/\text{h}$ với chất khí và $0,01 \text{ m}^3/\text{h} \div 14000 \text{ m}^3/\text{h}$ với chất lỏng.

b) Lưu lượng kế từ điện

Nguyên lí hoạt động của lưu lượng kế từ điện dựa trên định luật cảm ứng điện từ của Faraday. Khi có dây dẫn chuyển động trong từ trường cắt các đường sức, trong dây dẫn cảm ứng một sức điện động tỉ lệ với tốc độ di 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 tỉ lệ với tốc độ dòng chảy hay tỉ lệ với lưu lượng cần đo.



Hình 7 - 34. Sơ đồ cấu tạo lưu lượng kế từ điện

Hình 7 - 34 là sơ đồ của lưu lượng kế từ điện. Ống dẫn dung dịch 1 được chế tạo bằng vật liệu không dẫn từ có chất lỏng dẫn điện chảy qua. Từ trường biến thiên do nam châm điện 2 tạo nên xuyên qua dòng chất lỏng cảm ứng một sức điện động và được lấy ra trên hai điện cực 3 và 4 để đưa vào thiết bị đo (TĐĐ).

Độ lớn của sức điện động được tính :

$$E = k\omega Bdv \quad (7 - 36)$$

Trong đó : 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 :

$$E = \frac{4k\omega}{\pi d} BQ \quad (7 - 37)$$

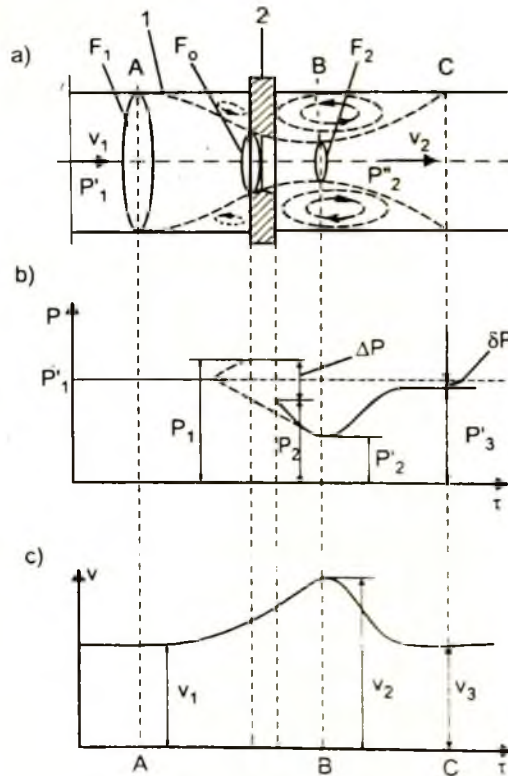
với $Q = \frac{v\pi d^2}{4}$ là lưu lượng dòng chảy.

Lưu lượng kế trên có ưu điểm là không có quán tính do đó có thể đo lưu lượng biến thiên theo thời gian. Chỉ thị của dụng cụ không phụ thuộc vào thông số vật lí của chất lỏng (áp suất, nhiệt độ, mật độ, độ nhớt) và không phụ thuộc vào sức cản phụ đối với dòng chảy. Thiết bị cho phép đo lưu lượng trong phạm vi rộng từ $1 \div 2500 \text{m}^3/\text{giờ}$ cho các ống dẫn có đường kính từ $10 \div 1000 \text{mm}$ với tốc độ chuyển động từ $0,6 \div 10 \text{ m/s}$. Cấp chính xác đạt được từ $1 \div 2,5$.

c) Đo lưu lượng bằng cách thay đổi độ giảm áp suất

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 trong một ống dẫn có đặt một thiết bị thu hẹp (hình 7 - 35) tốc độ của nó tăng lên so với tốc độ trước lỗ thu hẹp do đó áp suất dòng chảy ở cửa ra của lỗ thu hẹp giảm xuống tạo nên sự chênh lệch áp suất phía trước và phía sau lỗ thu hẹp, từ đó có thể đo được lưu lượng của dòng chảy.

Hình 7 - 35a là sơ đồ của dòng chảy lý tưởng và biểu đồ phân bố áp suất (hình 7 - 35b) và tốc độ dòng chảy (hình 7 - 35c). Nếu gọi P_1 là áp suất ở thành ống 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 :



Hình 7 - 35

ta có quan hệ giữa lưu lượng khối G và lưu lượng Q của dòng chảy được biểu diễn như sau :

$$G = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (7 - 38)$$

$$Q = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)} \quad (7 - 39)$$

Trong đó : α - hệ số lưu lượng

d - đường kính lỗ thu hẹp

ρ - mật độ dòng chảy.

Để đo độ chênh lệch áp suất có thể sử dụng các áp kế thông thường như áp kế màng đàn hồi, áp kế điện dung, điện trở lực căng, áp kế biến áp vi sai.v.v.....

Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, chắc chắn, dễ chế tạo hàng loạt, đo được ở bất kỳ môi trường, nhiệt độ và áp suất nào, giá thành hạ.

7.3.3. Đo mức

a) Khái niệm chung

Mức là chiều cao diễn đầy các chất lỏng hay các hạt trong các thiết bị công nghệ. Bằng phép đo mức có thể nhận được thông tin về khối lượng chất lỏng chứa trong các bể. Đơn vị đo mức là đơn vị chiều dài. Đo mức được phân thành : đo mức môi trường làm việc, đo khối lượng chất lỏng, truyền tín hiệu mức của môi trường làm việc. Theo phạm vi đo chia thành phạm vi đo rộng (giới hạn từ 0,5 ÷ 20m) và phạm vi đo hẹp (giới hạn từ 0 ÷ 100mm) hoặc (0 ÷ 450 mm) dùng trong hệ thống điều chỉnh tự động. Hiện nay phép đo mức được sử dụng nhiều trong các lĩnh vực công nghiệp với những nguyên lý hoạt động khác nhau nhưng phổ biến nhất là phép đo mức bằng cột nước thủy tĩnh và các chuyển đổi điện.

b) Đo mức bằng phương pháp đo áp suất thủy tĩnh

Thực chất của phương pháp là đo áp suất thủy tĩnh P của cột chất lỏng có độ cao h và tỉ trọng ρ không đổi.

$$P = \rho gh \quad (7 - 40)$$

Đo áp suất thủy tĩnh có thể thực hiện theo hai cách:

+ Áp kế đặt ở mức thấp nhất của chất lỏng.

+ Áp kế vi sai với một phía đặt ở mức thấp nhất của chất lỏng và phía kia nối với phân chứa không khí phía trên mức chất lỏng.

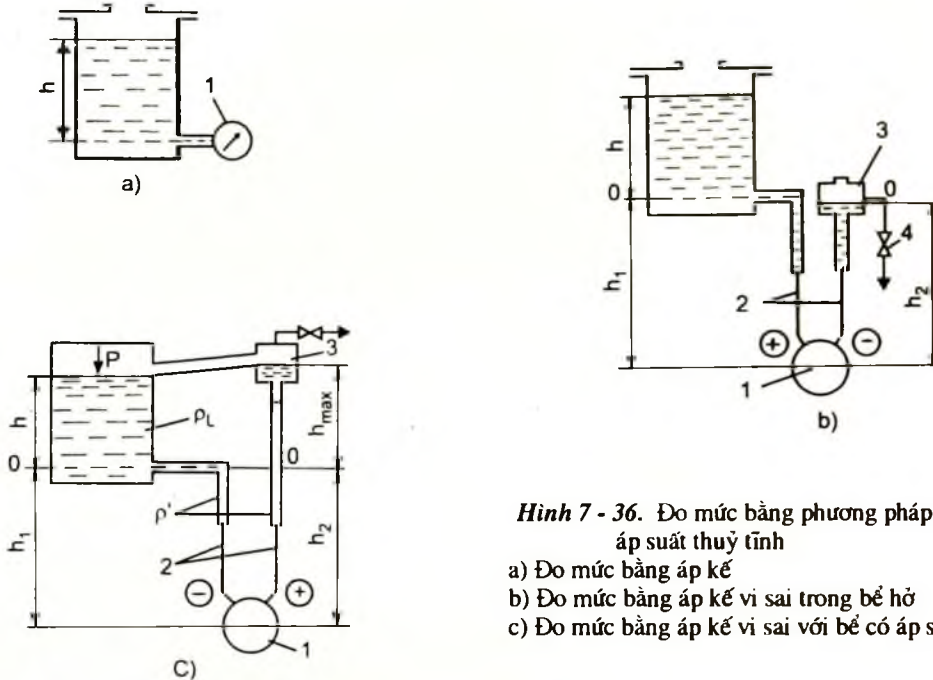
Hình 7 – 36a là sơ đồ đo mức bằng áp kế. Áp suất đo được từ áp kế liên quan đến chiều cao h của mức : $P = \rho gh$.

Hình 7 – 36b là sơ đồ đo mức bằng áp kế vi sai trong các bể hở. Áp kế vi sai 1 được nối qua ống dẫn 2 nối với bể chứa và bình so sánh 3. Bình cân bằng 3 dùng để bù áp suất tĩnh tạo ra do cột chất lỏng h_1 trong ống dẫn. Trong quá trình đo bình cân bằng giữ không đổi van 4 dùng để duy trì mức không đổi

trong bình 3. Khi trọng lượng riêng không đổi với $h_1 = h_2$ ta có độ giảm áp suất đo được bằng áp kế vi sai là

$$\Delta P = \rho gh$$

(7 - 41)



Hình 7 - 36. Đo mức bằng phương pháp đo áp suất thủy tĩnh
 a) Đo mức bằng áp kế
 b) Đo mức bằng áp kế vi sai trong bể hở
 c) Đo mức bằng áp kế vi sai với bể có áp suất

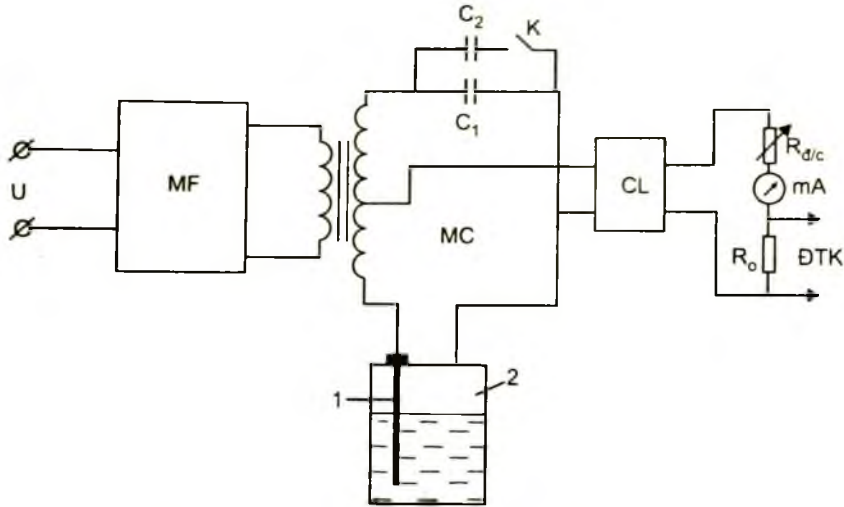
Khi đo mức trong các thiết bị chịu áp suất ta sử dụng sơ đồ h7 - 36c. Bình cân bằng 3 đặt tương ứng với mức cao nhất và nối vào thiết bị. Áp suất tĩnh P được đưa vào cả hai ống dẫn và độ giảm áp suất được tính như sau :

$$\Delta P = \rho' gh_{\max} - \rho_L gh$$

Khi $h = 0$, $\Delta P = \Delta P_{\max}$, khi $h = h_{\max}$ thì $\Delta P = 0$.

c) Đo mức bằng điện dung

Hình 7 - 37 là sơ đồ thiết bị đo mức bằng chuyển đổi điện dung, trong đó chuyển đổi điện dung 1 là thanh kim loại thẳng, phủ lớp chống ăn mòn hoá học đặt giữa thùng kim loại đựng chất lỏng 2. Khi thùng rỗng, điện dung của thùng là 8pF , lúc đầy chất lỏng điện dung tăng lên đến 30pF . Chuyển đổi điện dung được mắc vào một nhánh của mạch cầu không cân bằng (MC), nhánh thứ hai gồm tụ C_1 có điện dung 8pF và tụ C_2 mắc song song với C_1 có điện dung 22pF qua khoá K. Hai nhánh khác của mạch cầu là các cuộn dây thứ cấp của máy biến áp. Cầu được cung cấp bằng một máy phát cao tần (MF) có tần số $1 \div 10 \text{ MHz}$. Điện áp ra của mạch cầu được chỉnh lưu qua bộ chỉnh lưu.



Hình 7 - 37. Sơ đồ thiết bị đo mức dùng chuyển đổi điện dung

Để điều chỉnh cho chỉ thị có giá trị cực đại thực hiện bằng cách đóng khoá K và điều chỉnh điện trở $R_{d/c}$. Chỉ thị có thể là một miliampemét, điện thế kế tự động hoặc dụng cụ số. Thiết bị có thể đo được mức ở nhiệt độ 100°C và áp suất của bình từ $0 \div 10^6 \text{ N/m}^2$. Sai số của thiết bị đạt được độ tuyến tính trong khoảng đo lớn, giải đo từ mm ÷ 5m.

7.4. ĐO VẬN TỐC VÀ GIA TỐC

7.4.1 Khái niệm chung

Vận tốc thường được chia thành hai dạng, tốc độ chuyển động tịnh tiến và tốc độ chuyển động quay, chuyển động dao động. Quan hệ giữa tốc độ, gia tốc và khoảng di chuyển là những phép vi tích phân đơn giản. Nếu gọi khoảng di chuyển 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 rồi bằng tích phân tốc độ theo thời gian và chỉ cần đo một trong ba thông số trên ta có thể xác định được các thông số khác.

Đối với các chuyển động dao động, cũng vậy, ví dụ với dao động điều hoà $X = A \sin \omega t$, tốc độ dao động $\dot{X} = \omega A \cos \omega t$ và gia tốc $\ddot{X} = -\omega^2 A \sin \omega t$. Giá trị biên độ của dao động X, tốc độ dao động \dot{X} và gia tốc \ddot{X} có thể xác định được bằng cách đo tần số ω và biên độ dao động A.

Ta có $X = A$; $\dot{X} = \omega A$ và $\ddot{X} = \omega^2 A$.

Ngược lại biên độ dao động A có thể xác định được thông qua tần số và các giá trị X , \dot{X} , \ddot{X} . Giải đo thông số của chuyển động rất rộng. Ví dụ tốc độ chuyển động của tàu vũ trụ từ 8000 ÷ 12000 m/s, tốc độ của máy bay từ 30 ÷ 1000 m/s, các phương tiện giao thông từ 10 ÷ 60 m/s hoặc các thiết bị công nghiệp từ 10 ÷ 0,01 m/s. Khi đo vận tốc dài thường chuyển sang đo tốc độ quay. Đối với tốc độ quay của các máy móc và các động cơ từ vài phần trăm vòng đến 300.000 v/phút. Khoảng đo gia tốc có thể từ 20000 m/s² đến 10⁻⁵ m/s². Chọn phương pháp và dụng cụ nào tùy thuộc vào yêu cầu thực tế và các yêu cầu kĩ thuật. Dưới đây là một số thiết bị đo cụ thể.

7.4.2. Đo tốc độ quay

a) Máy phát tốc

Máy phát tốc là dụng cụ đo tốc độ quay của động cơ. Đó là các máy phát điện một chiều và xoay chiều, trục quay của máy phát được nối với trục quay của động cơ. Khi động cơ quay máy phát điện một chiều tạo ra sức điện động tỉ lệ với tốc độ quay.

Trong máy phát tốc độ xoay chiều, quan hệ giữa sức điện động và tốc độ quay giống máy phát điện một chiều nhưng điện áp ra là điện áp xoay chiều có tần số tỉ lệ với tốc độ quay:

$$f = \frac{a n}{60} \quad (7 - 42)$$

Trong đó : a – số đôi cực; n – tốc độ quay; f – tần số.

Đo điện áp U hoặc tần số f có thể xác định được tốc độ. Do độ chính xác thấp và cấu tạo phức tạp nên phương pháp này ít được sử dụng.

b) Đo tốc độ bằng phương pháp đếm xung

Nguyên lí làm việc của phương pháp là biến tốc độ quay của đối tượng đo thành các xung. Tần số xung phụ thuộc vào tốc độ quay của đối tượng, do tần số ta có thể xác định được tốc độ quay.

Hình 7 – 38 là sơ đồ thiết bị đo tốc độ quay bằng chuyển đổi cảm ứng. Bộ biến đổi tốc độ – tần số gồm có bánh răng 1, cuộn dây cảm ứng 2. Đó là phân tử nhảy với số lượng răng là $p = 1; 6; 60; 180; 200; 250$ và 600 để có tần số thấp nhất là 10Hz.

Khi bánh răng quay, phân tử nhảy tạo thành các xung.

Tần số lớn nhất có thể nhận được khi đo là

$$f_{\max} = \frac{p \cdot n_{\max}}{60} \quad (7 - 43)$$

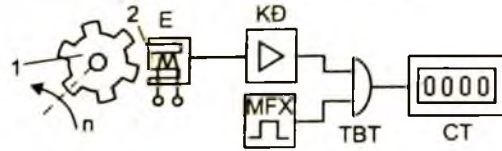
Trong đó số răng không nhỏ hơn $p = 600/n_{\min}$

n_{\max} – tốc độ quay lớn nhất.

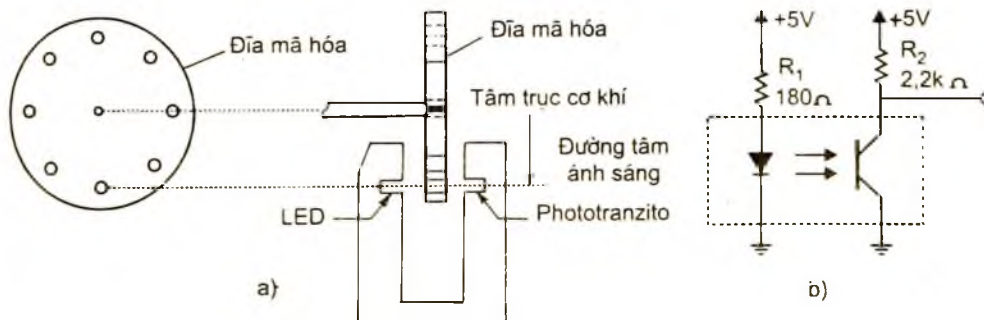
n_{\min} – tốc độ quay nhỏ nhất.

Theo sơ đồ như hình vẽ 7 – 38 với $P = 60$, 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 tần số từ phần tử nhạy được đưa qua bộ khuếch đại vào thiết bị tính và đưa ra chỉ thị số. Sai số của bộ đếm là ± 1 xung.

Ngoài chuyển đổi cảm ứng ta có thể sử dụng chuyển đổi quang điện với đĩa mã hoá như hình 7 – 39a. Chuyển đổi quang điện gồm có diốt phát quang LED cung cấp nguồn tia hồng ngoại cho đầu thu là một phototranzito hình 7 – 39b. Giữa diốt phát quang và phototranzito đặt một đĩa mã hoá gắn trên trục động cơ gồm các lỗ. Khi đĩa quay phototranzito sẽ chuyển mạch khi ánh sáng của đèn LED chiếu qua lỗ đến tranzito, lúc đó tranzito thông, điện áp rơi trên R_2 ở mức thấp. Khi đĩa ngăn ánh sáng, phototranzito khoá và điện áp ra ở mức cao do đó khi đĩa quay điện áp ra trên R_2 sẽ tạo được các xung. Tần số xung phụ thuộc vào tốc độ đĩa, do tần số ta xác định được tốc độ quay của động cơ.



Hình 7 - 38. Sơ đồ thiết bị đo mức dùng chuyển đổi điện dung



Hình 7 - 39. Sơ đồ thiết bị đo tốc độ quay bằng phương pháp quang

7.4.3. Đo gia tốc và biên độ rung (chấn động)

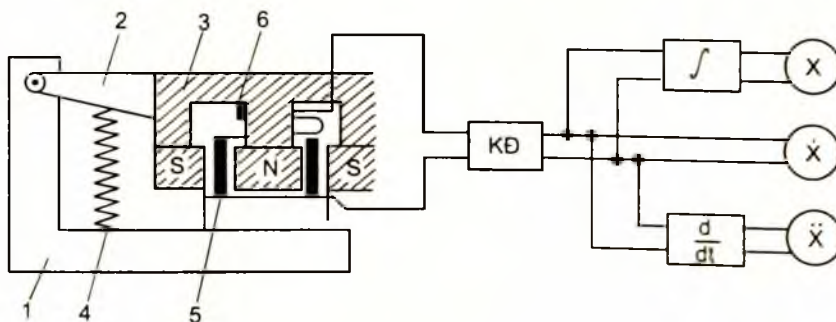
Cấu trúc chung của dụng cụ gồm có khối quán tính gắn với hệ lò xo. Do quán tính lớn nên giữa khối quán tính và đế của dụng cụ có sự di chuyển tương đối với nhau khi có rung. Đo độ di chuyển có thể suy ra biên độ rung hay gia tốc. Các chuyển đổi sử dụng trong dụng cụ đo gia tốc hoặc đo rung là các chuyển đổi điện trở, điện từ, áp điện, điện dung v.v.... Vấn đề là chọn hệ quán tính và chuyển đổi như thế nào để khi đo không gây ra các sai số phụ về tần số.

Quan hệ giữa tần số cộng hưởng của hệ thống cơ và dải tần cần đo của dụng cụ thường tỉ lệ nghịch với nhau.

Tần số của các chuyển đổi trong dụng cụ đo chấn động phải thấp hơn một số lần giới hạn dưới của dải tần cần đo. Với các dụng cụ đo gia tốc thì ngược lại, tần số của chuyển đổi phải lớn hơn một số lần giới hạn trên của dải tần cần đo. Dải tần đo các thông số rung trong khoảng $20 \div 3000\text{Hz}$ vì vậy tần số của hệ thống cơ trong dụng cụ đo độ rung nằm trong khoảng $2 \div 7\text{Hz}$. Với gia tốc - tần số nằm trong khoảng $10 \div 15\text{kHz}$ và lớn hơn. Các dụng cụ đo độ chấn động được gọi là chấn động kế, đo gia tốc gọi là gia tốc kế.

a) Chấn động kế kiểu cảm ứng

Hình 7 – 40 là sơ đồ cấu tạo của chấn động kế cảm ứng. Thiết bị gồm có giá đỡ bằng kim loại không dẫn từ 1 gắn lên đối tượng đo. Trên giá đỡ có thanh dao động 2, nam châm 3 và lò xo 4 tạo thành khối quán tính. Bình thường, dưới tác dụng của trọng lượng, khối quán tính và lực đẩy của lò xo ở trạng thái cân bằng, cuộn dây cảm ứng 5 đặt giữa khe hở không khí của nam châm đứng yên.

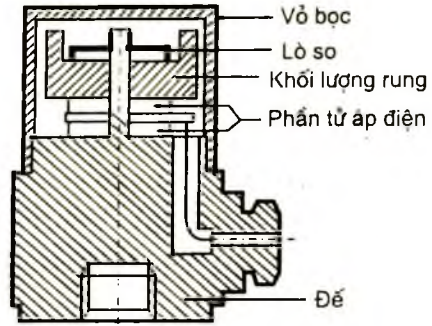


Hình 7 - 40. Chấn động kế cảm ứng

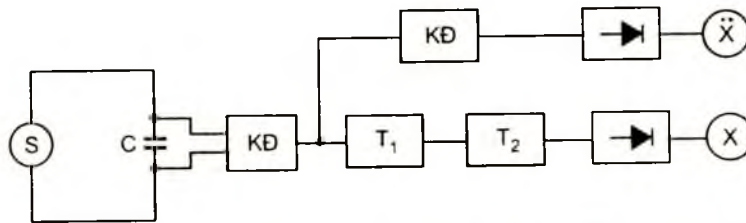
Khi có chấn động, nam châm và cuộn dây di chuyển tương đối với nhau làm cho từ thông móc vòng qua cuộn dây thay đổi, tạo ra sức điện động cảm ứng. Sức điện động này tỉ lệ với biên độ rung và được đưa vào khuếch đại và

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 6 có số vòng bằng cuộn dây 5 nhưng được đấu với chiều ngược lại. Sức điện động do nhiễu sinh ra trong cuộn dây 5 và 6 sẽ khử lẫn nhau và đầu ra chỉ còn lại sức điện động do cuộn dây cảm ứng 5 tạo ra khi đi chuyển trong khe hở không khí. Nhờ bộ vi phân và tích phân, thiết bị có thể đo được độ rung với biên độ X , tốc độ \dot{X} và gia tốc \ddot{X} .

Để đo độ rung với tần số cao hơn ($10 \div 20\text{kHz}$) người ta sử dụng chuyển đổi áp điện hình 7 - 41. Chuyển đổi 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. Tất cả được bọc trong một vỏ bọc kín. Khi có rung, khối lượng rung tác động lên phần tử áp điện và chúng tạo nên các điện tích tỉ lệ với phần lực, tức là với sự chuyển động của khối lượng rung.



Hình 7 - 41. Chấn động kế áp điện



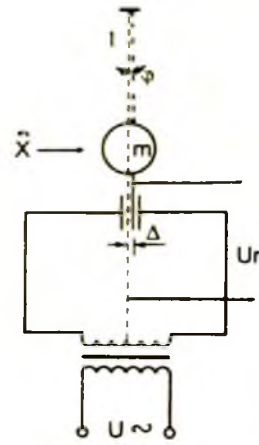
Hình 7 - 42. Sơ đồ khối thiết bị đo biên độ và gia tốc với chuyển đổi áp điện

Tín hiệu được đưa ra ngoài và đo bằng dụng cụ đo. Hình 7 - 42 là sơ đồ khối dụng cụ vạn năng dùng chuyển đổi áp điện đo biên độ rung, gia tốc. Để nhận được điện áp xoay chiều tỉ lệ với gia tốc nhưng không phụ thuộc vào tần số rung, chuyển đổi áp điện được nối song song với tụ C. Trở kháng $X_c = \frac{1}{\omega C}$, với giải tần làm việc ta cần có điện trở thực rất nhỏ ở đầu vào của bộ 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 có khuếch đại, chỉnh lưu và chỉ thị chỉ gia tốc \ddot{X} , kênh còn lại tín hiệu được đưa qua hai bộ tích phân T_1 và T_2 và chỉnh lưu để chỉ biên độ rung X . Với thiết bị trên dải tần làm việc từ $20 \text{ Hz} \div 10 \text{ kHz}$. Sai số qui đổi $\pm 5\%$. Thiết bị có bốn giới hạn đo gia tốc $20, 100, 400$ và 2000 m/s^2 . Bốn giới hạn đo độ rung $0,05; 0,25; 1$ và 5 mm .

b) Gia tốc kế

Để đo gia tốc không thay đổi người ta sử dụng gia tốc kế con lắc. Hình 7 - 43 là sơ đồ nguyên lí của gia tốc kế con lắc với chuyển đổi điện dung. Dưới tác dụng của gia tốc, con lắc có chiều dài l và khối quán tính m bị lệch đi một góc φ , bản cực giữa của chuyển đổi điện dung mắc kiểu vi sai di chuyển một khoảng Δ do đó điện dung của hai tụ điện có giá trị khác nhau. Mạch cầu (gồm hai nửa cuộn dây thứ cấp của biến áp và hai tụ điện C_1, C_2) mất cân bằng. Điện áp ra của mạch cầu tỉ lệ với gia tốc dc . Gia tốc kế con lắc dùng đo gia tốc nhỏ hơn $0,1g$ (g - gia tốc trọng trường). Với gia tốc lớn hơn, góc lệch φ quá lớn gây sai số do độ phi tuyến.



Hình 7 - 43. Sơ đồ gia tốc kế con lắc

CÂU HỎI ÔN TẬP

1- Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động và ứng dụng của nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu.

2- Phân loại nhiệt kế nhiệt điện trở.

Nêu cấu tạo, nguyên lí hoạt động và ứng dụng của các nhiệt điện trở dây, nhiệt điện trở bán dẫn, diot và tranzito nhiệt độ.

3- Nêu các phương pháp đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc.

4- Trình bày cấu tạo, nguyên lí hoạt động của các loại hoả kế cường độ sáng và hoả kế bức xạ.

5- Nêu các phương pháp đo lực, ứng suất và áp suất.

6- Trình bày nguyên lí hoạt động của các loại lực kế áp điện, điện trở lực căng và đo lực bằng phương pháp số.

7- Nêu các phương pháp đo áp suất.

Cho một vài ví dụ về phương pháp đo áp suất, vẽ sơ đồ và nêu nguyên lí làm việc.

8- Nêu các phương pháp đo lưu lượng.

Vẽ sơ đồ và trình bày nguyên lí làm việc của lưu lượng kế cánh quạt, lưu lượng kế từ điện và đo lưu lượng bằng cách thay đổi độ giảm áp suất.

9- Nêu phương pháp và nguyên lí hoạt động của các dụng cụ đo mức bằng chuyển đổi điện dung, phương pháp thủy tĩnh.

10- Trình bày các phương pháp đo tốc độ quay bằng

- Máy phát tốc
- Chuyển đổi cảm ứng
- Chuyển đổi quang điện

11- Trình bày cấu tạo và nguyên lí hoạt động của các chấn động kế cảm ứng, gia tốc kế áp điện và điện dung.

Chương VIII

ỨNG DỤNG QUANG HỌC TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

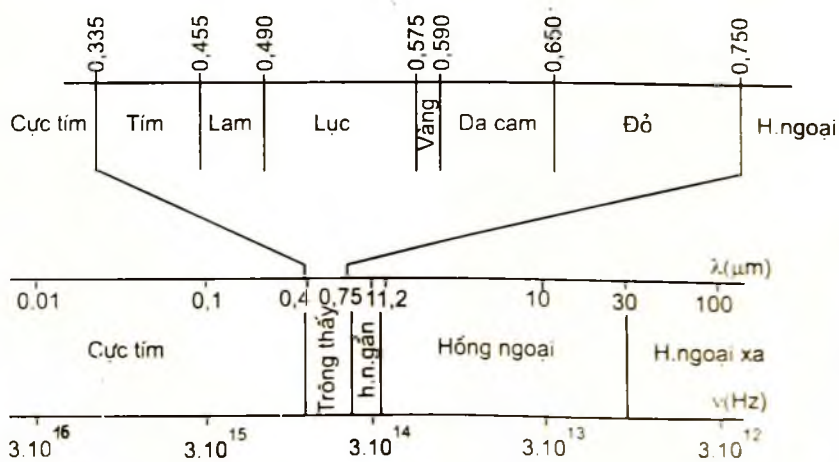
8.1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ÁNH SÁNG

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 $c = 299792 \text{ km/s}$. 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

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (8-1)$$

$$\text{Trong chân không : } \lambda = \frac{c}{\nu} \quad (8-2)$$

Hình 8 - 1 biểu diễn phổ ánh sáng và các dải màu của phổ.



Hình 8 - 1. Phổ ánh sáng

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.

$$W_\phi = h\nu \quad (8 - 3)$$

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

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 $W_\phi \geq W_l$.

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

$$\lambda = \frac{hc}{W_l} = \frac{1,237}{W_l(\text{ev})} \quad (8 - 4)$$

ev - 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 lí cơ bản của các cảm biến quang.

Dưới tác dụng của ánh sáng, hiệu ứng quang điện tỉ 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

$$n = \frac{\phi}{h\nu} = \frac{\lambda\phi}{hc} \quad (8 - 5)$$

và số photon bị hấp thụ trong một giây

$$n_{\text{ht}} = (1 - R) n = (1 - R) \frac{\lambda\phi}{hc} \quad (8 - 6)$$

thì số điện tử được giải phóng trong một giây

$$G = \eta \cdot n_{ht} = \eta (1 - R) \frac{\lambda \Phi}{hc} \quad (8 - 7)$$

Trong đó : η - hiệu suất ; R - hệ số phản xạ
 Φ - thông lượng ánh sáng (quang thông)

8.2. CÁC ĐƠN VỊ ĐO QUANG

8.2.1. 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.

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

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

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (8 - 9)$$

- Độ chói năng lượng L : là tỉ số giữa cường độ ánh sáng phát ra bởi một phần tử bề mặt dA 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.m²

$$L = \frac{dI}{dA_n} \quad (8 - 10)$$

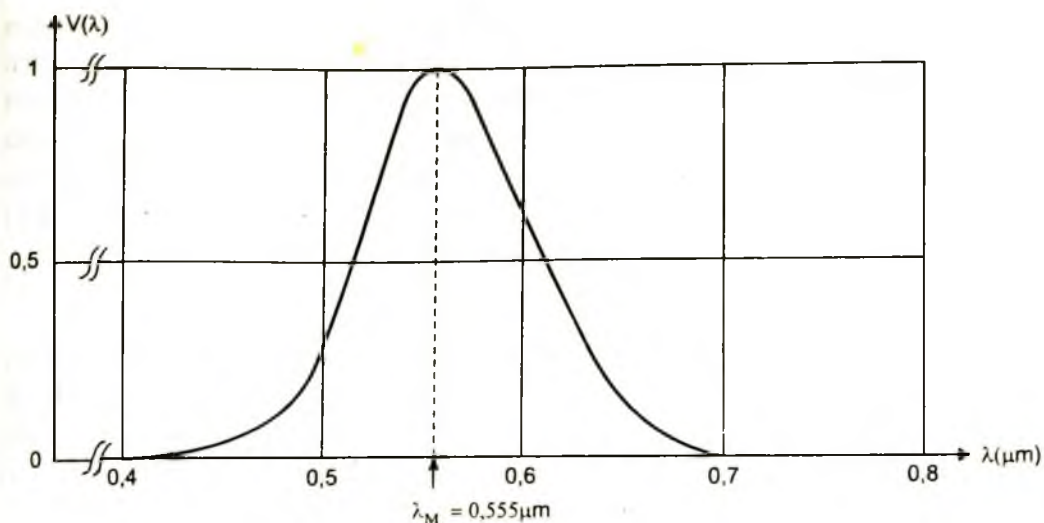
- Độ rọi E : là tỉ số giữa quang thông thu được bởi một phần tử bề mặt và diện tích của phần tử đó, có đơn vị là W/m²

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (8 - 11)$$

8.2.2. Đơn vị đo thị giác

Mắt người cảm nhận được ánh sáng có phổ từ 0,38 μ m đến 0,76 μ m với độ nhạy tương đối phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

Độ nhạy của mắt cực đại ở bước sóng $\lambda = 0,555\mu$ m và giảm về hai phía, hình 8 - 2.



Hình 8 - 2. Đường cong độ nhạy tương đối của mắt người

Bảng 8 - 1 cho ta biết các đơn vị đo quang cơ bản.

Bảng 8 - 1

	Đơn vị thị giác	Đơn vị 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.S (lm.s)	Jun (J)

8.2.3. 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:

a) 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 giải phổ rộng nhưng hiệu suất phát quang thấp, quán tính nhiệt lớn, tuổi thọ và độ bền cơ học thấp.

b) 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 phân 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.

c) Laze

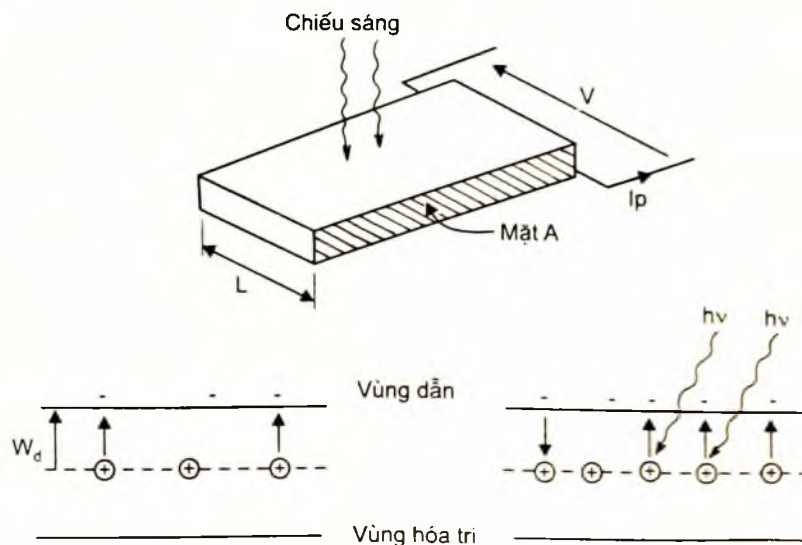
Laze là nguồn sáng đơn sắc có định hướng và đặc biệt là tính liên kết mạnh (cùng phân cực, cùng pha) vì vậy khi chồng lên nhau chúng tạo thành một sóng duy nhất và xác định. Laze có bước sóng đơn sắc, thông lượng lớn với độ định hướng cao và truyền đi xa với khoảng cách lớn.

8.3. CHUYỂN ĐỔI QUANG ĐIỆN

Chuyển đổi 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 chúng.

8.3.1. Tế bào quang dẫn (quang điện trở)

a) Nguyên lí làm việc của quang điện trở là: sự phụ thuộc của điện trở vào thông lượng bức xạ và phổ bức xạ đó.



Hình 8 - 3. Tế bào quang dẫn và sự chuyển mức năng lượng của điện tử

Tế bào quang dẫn là chuyển đổi 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 .

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

$$\sigma_0 = q\mu n_0 \quad (8 - 12)$$

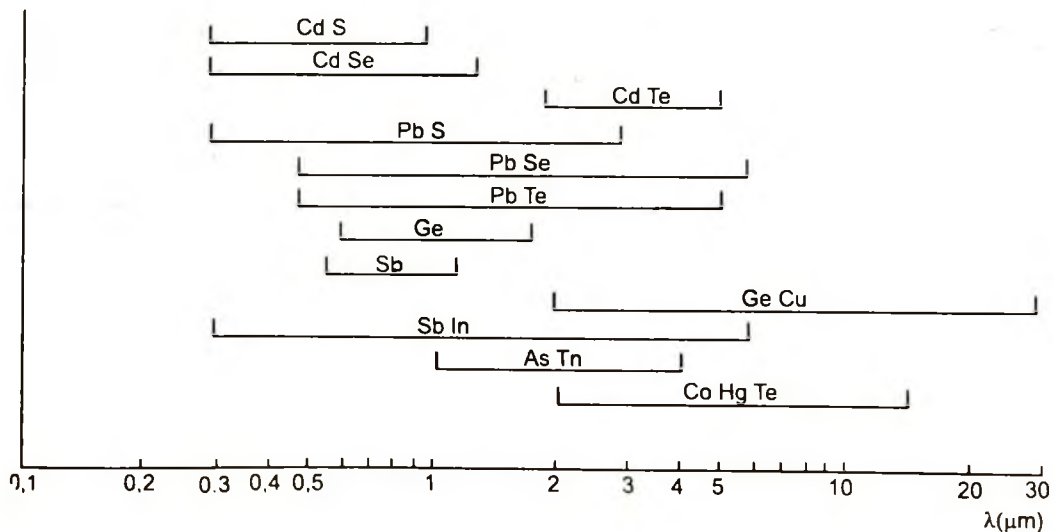
μ - độ linh động của điện tử.

q - giá trị tuyệt đối của điện tích của điện tử.

Khi chất bán dẫn bị chiếu sáng, các photon ánh sáng (năng lượng $h\nu \geq W_d$) ion hoá các nguyên tử donor và giải phóng các điện tử. Các điện tử này bổ xung 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 :

$$\sigma = q\mu n \quad (8 - 13)$$

b) Vật liệu để chế tạo chuyển đổi quang điện



Hình 8-4. Vùng phổ làm việc của các vật liệu

Chuyển đổi 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 : CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbTe.

- Đơn tinh thể : Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp Au, Cu, Sb, In, SbIn, AsIn, PIn v.v.

Vùng phổ làm việc của các vật liệu trên được biểu diễn như hình 8 – 4.

c) Các tính chất của chuyển đổi 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 chuyển đổi giảm rất nhanh như hình vẽ 8 – 5. Điện trở sáng của của tế bào quang dẫn phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng được biểu diễn bằng biểu thức :

$$R_s = a \Phi^{-\gamma} \quad (8 - 14)$$

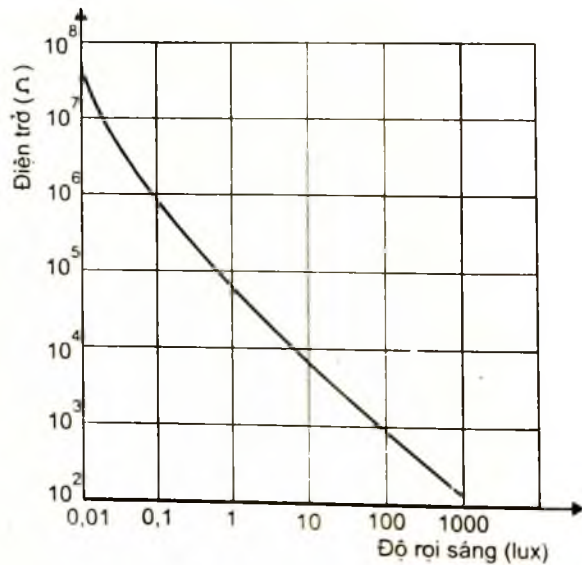
a - hệ số phụ thuộc vào vật liệu, nhiệt độ và phổ bức xạ ánh sáng.

γ - hệ số có giá trị từ $0,5 \div 1$.

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

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)} \quad (8 - 15)$$

Ví dụ : điện áp đặt $U = 10\text{V}$; diện tích bề mặt tế bào bằng 1cm^2 . Độ nhạy phổ khoảng $0,1 \div 10\text{A/W}$.



Hình 8-5

8.3.2. Phôtô điôt

a) Nguyên lí 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 8-6). Khi không có điện thế bên ngoài đặt lên phân chuyển tiếp ($V = 0$) dòng điện chuyển tiếp $I = 0$.

Khi đặt một điện áp lên diốt, nếu với điện áp ngược đủ lớn $U_d \gg U_{0.1}$, chiều cao của hàng rào thế tăng lên và trên diốt chỉ còn có dòng điện ngược $I_r = I_0$ (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.

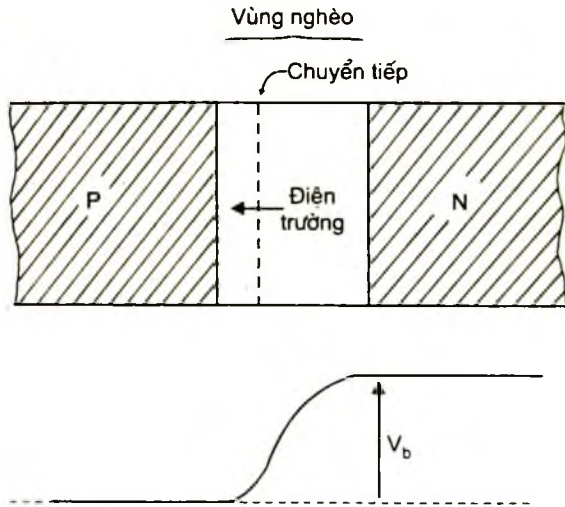
Các vật liệu dùng để chế tạo photodiốt là Si, Ge (vùng ánh sáng nhìn thấy) và GaAs; InAs; InSb (vùng hồng ngoại).

b) Chế độ hoạt động

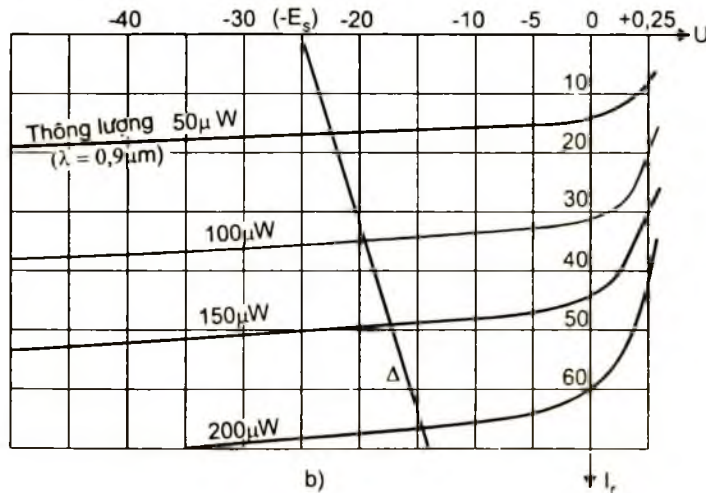
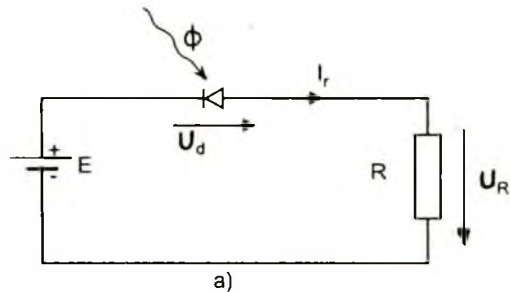
- Chế độ quang dẫn : sơ đồ nối photodiốt gồm nguồn E, phân cực ngược diốt và điện trở R (hình 7 - 8a).

Từ hình vẽ ta có :

$$E = U_R + U_d$$



Hình 8-6



Hình 8-7. Photodiốt

Trong đó $U_R = I_r \cdot R$ là đường thẳng tải hình 8 - 7b.

$$I_R = \frac{E - U_d}{R}$$

Điểm làm việc của điốt là điểm giao nhau giữa đường phụ tải Δ và đặc tuyến Von - Ampe ứng với quang thông tương ứng.

- Chế độ quang thế.

Trong chế độ này không có điện áp ngoài đặt vào điốt. Phôtodiốt hoạt động như một nguồn dòng. 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 :

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} \quad (8 - 16)$$

I_p - dòng điện sáng.

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

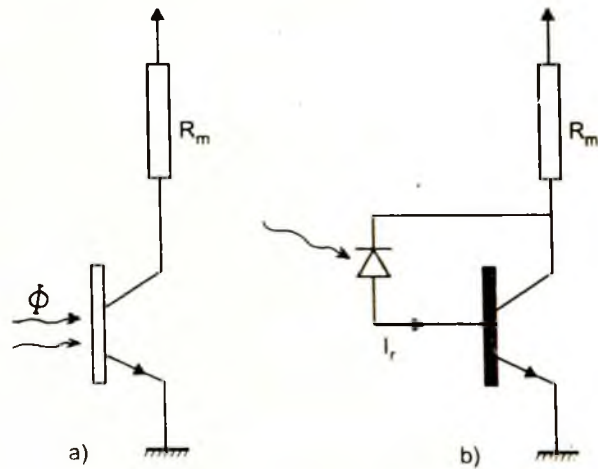
8.3.3. Phôtotranzito

Phôtotranzito 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 8 - 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 phân cực chuyển tiếp B - C được chiếu sáng, sự hoạt động của phôtotranzito giống như phôtodiốt ở chế độ quang dẫn với dòng ngược :

$$I_r = I_0 + I_p \quad (8 - 17)$$

I_r - dòng điện ngược.



Hình 8-8. Phôtotranzito

I_0 - dòng điện tối ; I_p - dòng điện sáng.

Dòng I_r đóng vai trò dòng bazơ, nó gây nên dòng collector I_c

$$I_c = (\beta + 1)I_r \quad (8 - 18)$$

β - hệ số khuếch đại với emitter chung.

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

8.3.4. Chuyển đổi phát xạ (tế bào quang điện)

a) *Nguyên lí hoạt động của chuyển đổi phát xạ*: là biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện nhờ hiện tượng phát xạ điện tử ở điện cực catot khi có thông lượng ánh sáng chiếu vào. Số lượng điện tử phát xạ tỉ lệ với số photon chiếu vào cực catot.

Chuyển đổi phát xạ được phân thành :

- + Tế bào quang điện chân không.
- + Đèn ion khí
- + Bộ nhân quang điện.

Cơ chế hoạt động của tế bào quang điện như sau :

Khi có thông lượng ánh sáng chiếu vào, catot hấp thụ photon và giải phóng điện tử , các điện tử này di chuyển lên bề mặt và thoát ra ngoài.

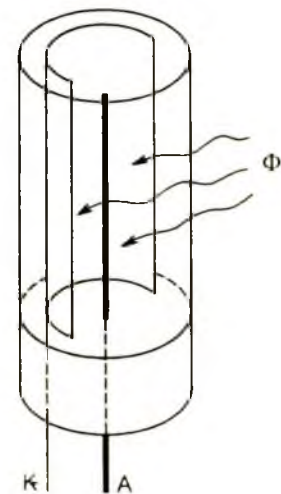
Các vật liệu sử dụng làm photocatot là :

- + AgOCs : nhạy với vùng hồng ngoại.
- + Cs_2Sb ; K_2CsSb : nhạy với vùng ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại.
- + Cs_2Te , Rb_2Te và CsT : chỉ nhạy với vùng tử ngoại.

b) Tế bào quang điện chân không

Tế bào quang điện chân không là một ống hình trụ được hút chân không tới áp suất $10^{-6} \div 10^{-8}$ mmHg. Trong ống đặt một catot có khả năng phát xạ khi được chiếu sáng và một anot (hình 8 - 9).

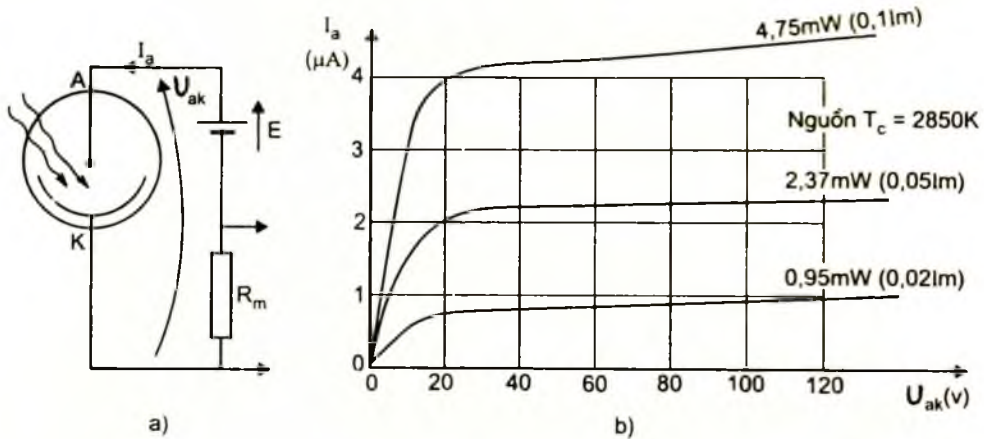
Hình 8 - 10a biểu diễn sơ đồ mạch điện và đặc tính von - ampe của nó hình 8 - 10b. Đường cong biểu



Hình 8-9. Tế bào quang điện chân không

đặc tính có hai vùng rõ rệt. Vùng dòng điện tăng mạnh khi điện áp tăng, trong vùng này, các điện tử di chuyển tăng khi điện áp tăng ($U \leq 20V$). Vùng bão hoà đặc trưng cho sự phụ thuộc không đáng kể của dòng vào điện áp. trong vùng này dòng I_a chỉ phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng chiếu tới.

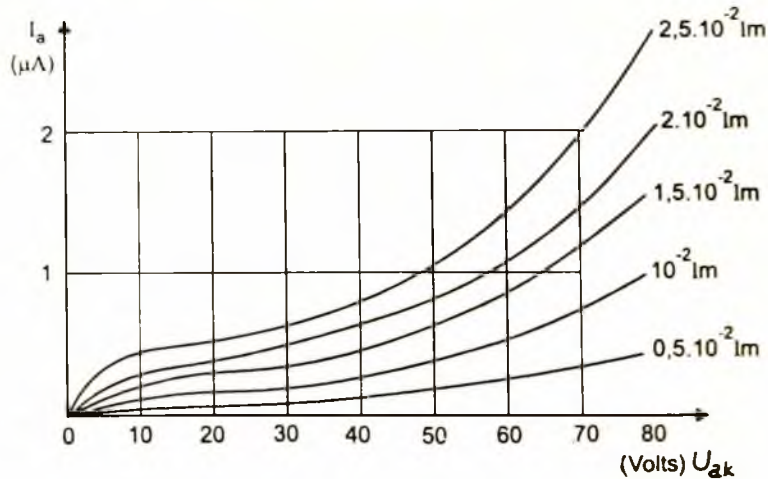
Điện trở trong của tế bào quang điện chân không rất lớn cỡ $10^{10}\Omega$; độ nhạy từ $10 \div 100mA/W$.



Hình 8-10. a) Sơ đồ mạch điện tế bào quang điện b) Đặc tính von-ampe

c) Tế bào quang điện có khí

Tế bào quang điện có 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 8-11. Đặc tính von-ampe của tế bào quang điện có khí

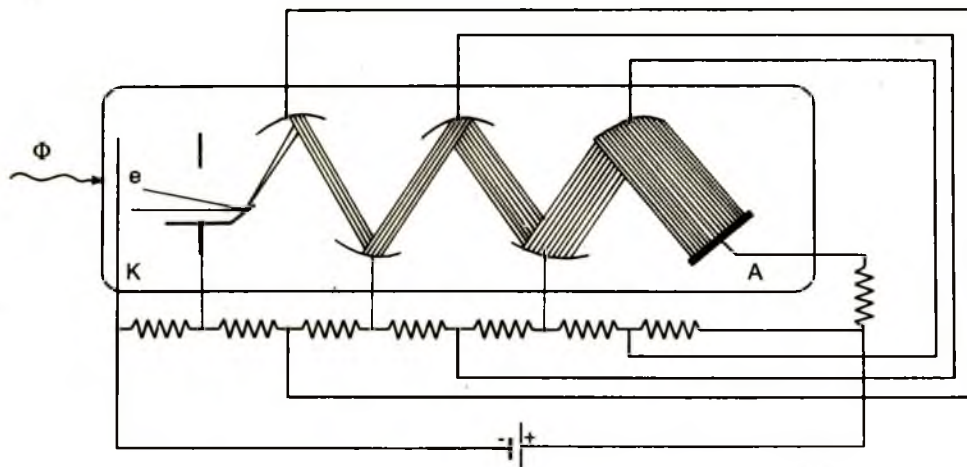
Hình 8 - 11 là đặc tuyến von - ampe của tế bào quang điện có khí. Khi điện áp U_{ak} thấp ($U_{ak} \leq 20V$) đặc tính có dạng giống như tế bào quang điện

chân không. Khi điện áp U_{ak} lớn, các điện tử chuyển động với tốc độ cao làm ion hoá (do va chạm) các nguyên tử khí do đó dòng anot tăng lên từ $5 \div 10$ lần.

d) Bộ nhân quang

Khi bề mặt vật 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 được ứng dụng làm thiết bị nhân quang.

Hình 8 - 12 là sơ đồ 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 tụ (bằng phương pháp tĩnh điện) trên điện cực thứ nhất của dây 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.



Hình 8-12. Sơ đồ thiết bị nhân quang

Số điện tử được phát xạ thứ cấp

$$M = \delta^n \quad (8 - 19)$$

δ - số điện tử được giải phóng ở mỗi điện cực.

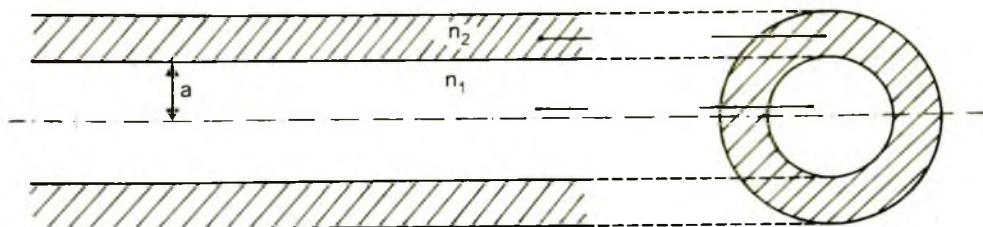
n - số điện cực.

e) Cáp quang

Hình 8 - 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 :

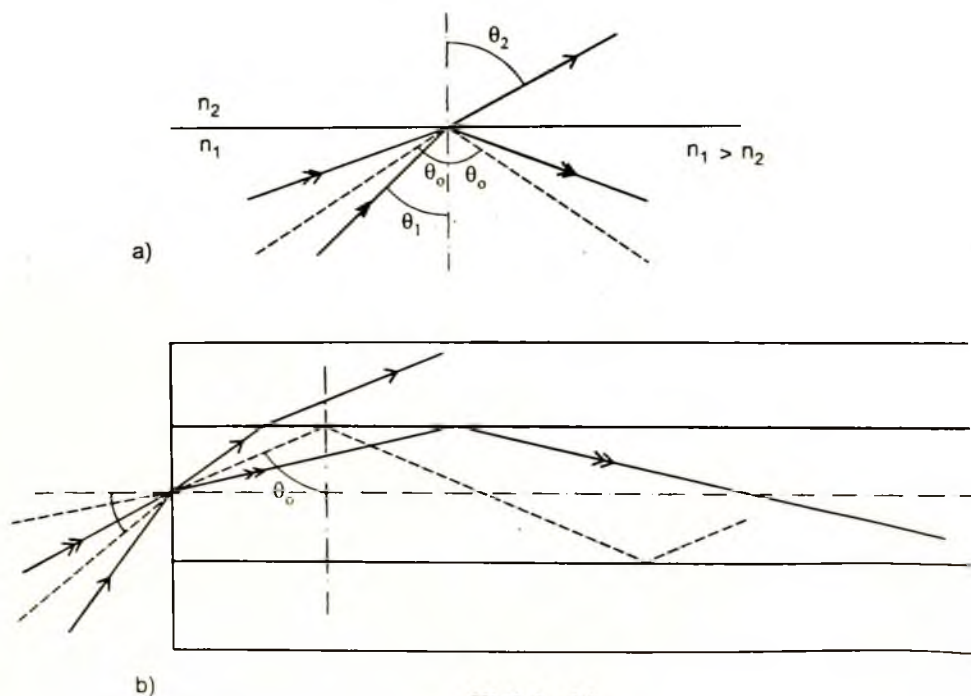
- SiO₂ tinh khiết hoặc pha tạp.
- Thủy tinh, thành phần của SiO₂ và phụ gia Na₂O₃, B₂O₃.
- Polime (một số trường hợp).



Hình 8-13

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 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

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (8 - 20)$$



Hình 8 - 14

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

$$\theta_1 > \arcsin \left[\frac{n_2}{n_1} \right] = \theta_0 \quad (8 - 21) \quad \text{với } \theta_0 - \text{góc tới hạn.}$$

Ví dụ : $n_1 = 1,51$ và $n_2 = 1,50$ góc tới hạn $\theta_0 = 83^{\circ}30'$

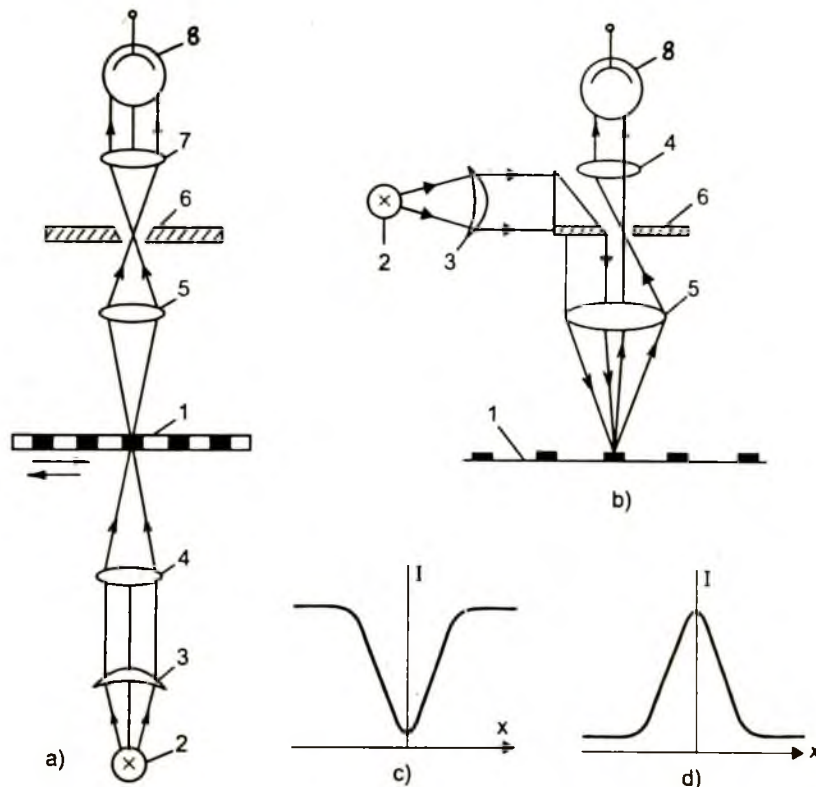
Với điều kiện như vậy tia sáng sẽ bị giam giữ trong lõi và được truyền đi bằng phản xạ liên tục nối tiếp nhau hình 8 - 14.

8.4. CÁC ỨNG DỤNG QUANG HỌC TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

8.4.1. Ứng dụng chuyển đổi quang học đo di chuyển

a) Đo di chuyển bằng thước khắc vạch

Bằng các biện pháp khác nhau người ta khắc lên thước di động các vạch chia độ. Vạch chia có thể là vạch đen, trắng, ánh sáng xuyên qua, có thể là vạch phản xạ, ánh sáng phản xạ trên các vạch khắc độ (hình 8 - 15).



Hình 8-15. 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

Mỗi lần có vạch sáng tối đi qua, 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 :

$$D_x = Nd_0 \quad (8 - 22)$$

Trong : D_x - khoảng di chuyển.

N - số xung đếm được.

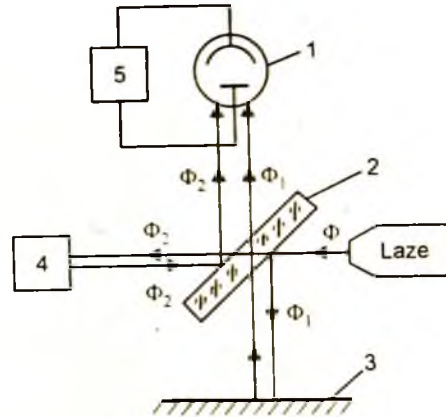
d_0 - giá trị của vạch chia độ.

Với kỹ thuật hiện nay người ta có thể thực hiện được 200vạch/mm.

b) Đo di chuyển và khoảng cách bằng tia laze

Hình 8 - 16 là sơ đồ nguyên lí của thiết bị đo di chuyển bằng tia laze. 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 di chuyển của đối tượng đo, k là số chu kì của tia laze, λ độ dài bước sóng của ánh sáng ta có quan hệ :

$$L_x = k \frac{\lambda}{2} \quad (8 - 23)$$



Hình 8-16. Sơ đồ nguyên lí thiết bị đo di chuyển bằng tia laze

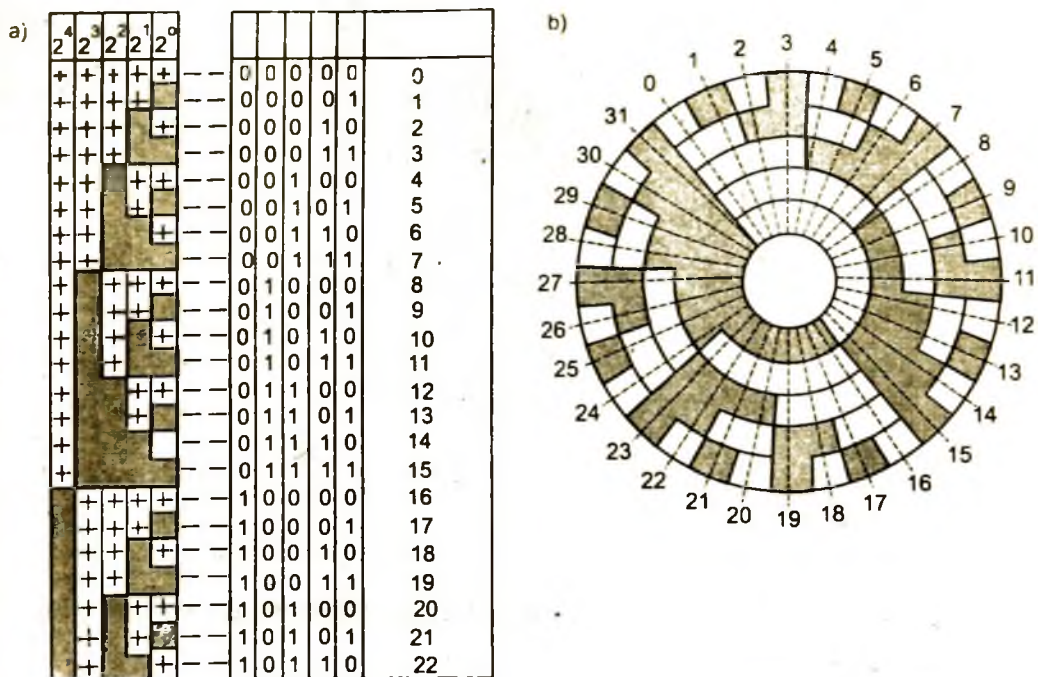
Thiết bị trên khi đo di chuyển cỡ 1m sai số từ $0,1 \div 1 \mu\text{m}$.

c) Đo di chuyển bằng thước mã hoá

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 di chuyển theo một phía mà không đo được di chuyển theo hai chiều.

Để giải quyết nhược điểm trên người ta sử dụng thước mã hoá. Đó là một thước gồm nhiều giải khắc vạch, quan hệ với nhau theo một mã nhất định. Thường người ta sử dụng mã nhị phân. Thước mã hoá mã nhị phân được bố trí như sau : phần bôi đen là số "1", phần không bôi đen là "0" hình 8 - 17a. Bên phải của thước mã hoá là bảng số trong hệ thống nhị thập phân tương ứng với

các vị trí khác nhau theo trục nằm khi có sự di chuyển của thước theo trục đứng tương ứng với thiết bị tính.



Hình 8-17. Đo di chuyển bằng thước mã hóa

Hình 8 - 17b là hình vẽ thước mã hoá đo di chuyển góc, thước chỉ đánh dấu số thập phân tương ứng với sự di chuyển góc của thước mã hoá. Hình 8 - 18 là sơ đồ thiết bị dùng chuyển đổi quang điện và thước mã hoá đo di chuyển góc. Thước mã hoá có dạng đĩa với các phần đen, trắng khác nhau. Chùm tia sáng 2 được tập trung qua thấu kính 3 tạo thành các tia nhỏ hẹp xuyên qua đĩa mã hoá 1 tới chuyển đổi quang điện 4. Khi đĩa mã hoá quay các tia sáng tác động vào chuyển đổi quang điện tạo thành các xung điện. Các tín hiệu điện được đưa đến thiết bị tính 5 để xác định góc quay.

Khoảng di chuyển được tính :

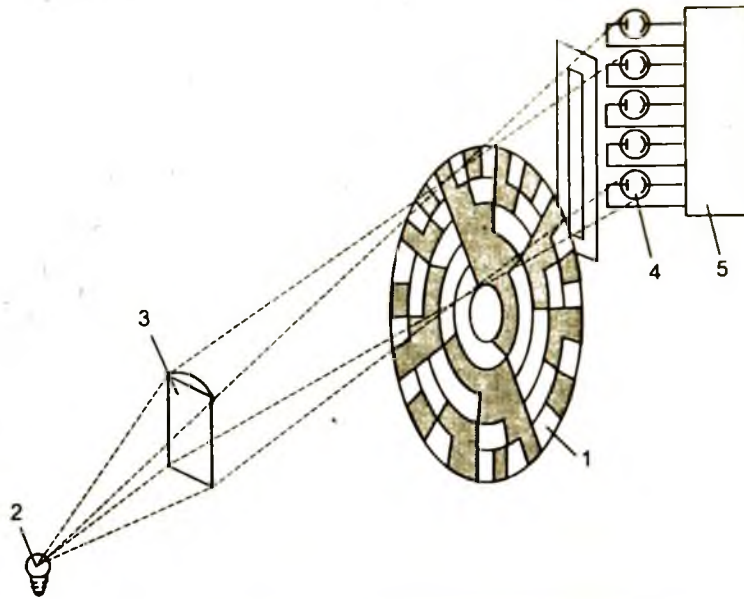
$$D_x = (N_2 - N_1)d_0 \quad (8 - 24)$$

N_1 - số chỉ bởi số mã ở vị trí ban đầu.

N_2 - số chỉ bởi thước mã hoá ở vị trí sau di chuyển.

d_0 - giá trị của vạch chia độ.

Ưu điểm của phương pháp đo di chuyển bằng thước mã hoá là đạt độ chính xác cao, nếu kết hợp với bộ phận xác định chiều chuyển động có thể đo được di chuyển hai chiều.

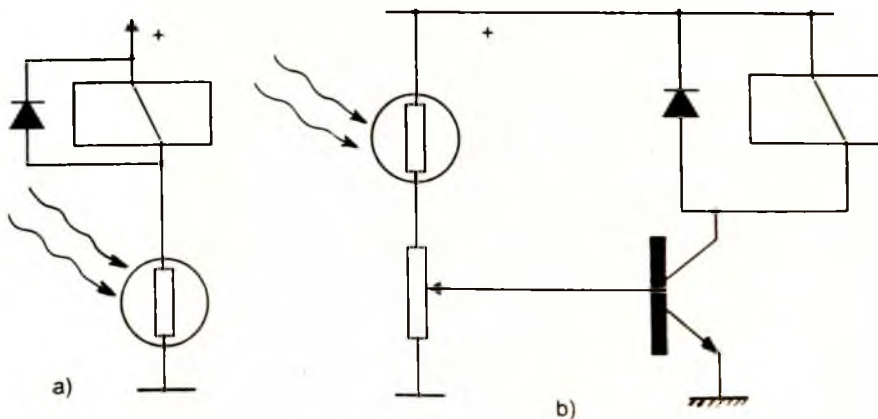


Hình 8-18. Thiết bị mã hoá đo di chuyển góc

8.4.2. Ứng dụng chuyển đổi quang điện để điều khiển rơ le và đo các đại lượng vật lí

a) Dùng tế bào quang dẫn để điều khiển rơ le

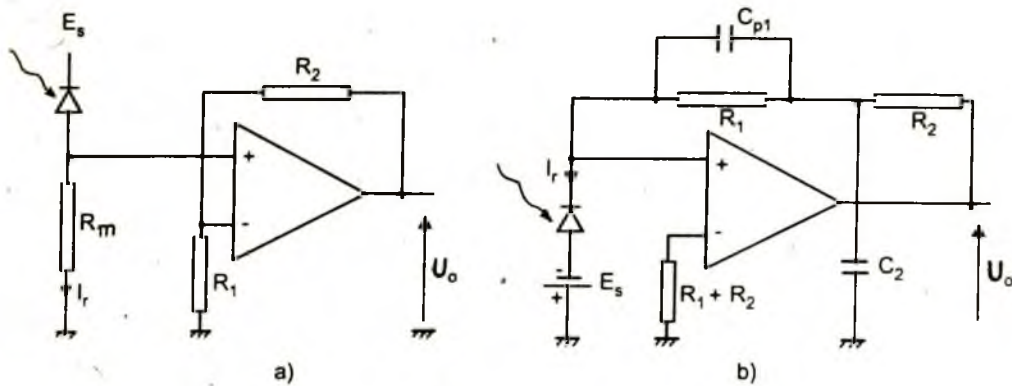
Sơ đồ hình 8 - 19a dùng điều khiển trực tiếp rơ le, hình 8 - 19b điều khiển thông qua tranzito khuếch đại. Nguyên lí làm việc của hệ điều khiển là, khi chưa có ánh sáng chiếu vào tế bào quang dẫn, dòng điện qua quang dẫn và rơ le rất nhỏ chưa đủ để rơ le tác động. Khi bị chiếu sáng, điện trở của quang dẫn giảm đi rất nhanh, dòng điện qua quang dẫn tăng lên đủ lớn để rơ le tác động.



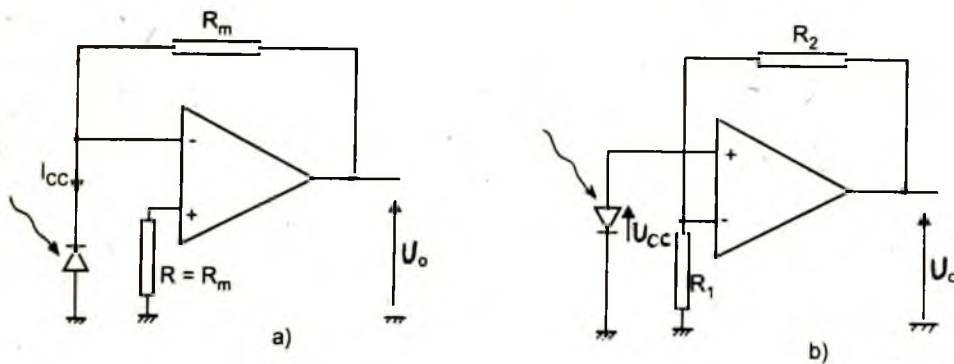
Hình 8-19. Dùng tế bào quang dẫn điều khiển rơ le

b) Ứng dụng photodiode và phototransistor trong đo lường điều khiển

Tùy thuộc vào mục đích sử dụng photodiode và phototransistor 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 (hình 7 - 39), đếm số lượng vật, đo cường độ ánh sáng, điều khiển đóng mở các rơle v.v... Hình 8 - 20 là sơ đồ mạch đo trong chế độ quang dẫn và hình 8 - 21 là mạch đo ở chế độ quang thế.

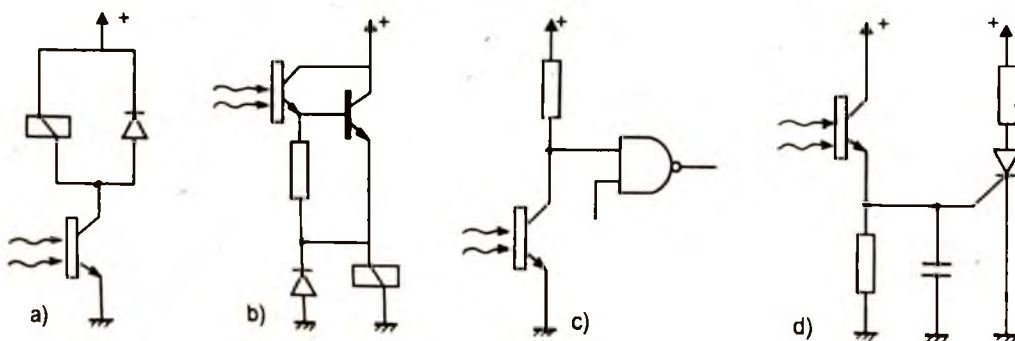


Hình 8-20. Sơ đồ mạch đo trong chế độ quang dẫn



Hình 8-21. Mạch đo ở chế độ quang thế

Hình 8 - 22 là sơ đồ ứng dụng phototransistor trong chế độ chuyển mạch để điều khiển.



Hình 8-22

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 khoá hoặc thông cho phép điều khiển trực tiếp (hình 8-22a) hoặc qua khuếch đại như một role (hình 8-22b), điều khiển cổng logic hoặc thyristo (hình 8-22b,c). Ngoài ra có thể ứng dụng phototranzito để chế tạo dụng cụ đo ánh sáng (luxmét) như hình 8 - 23.

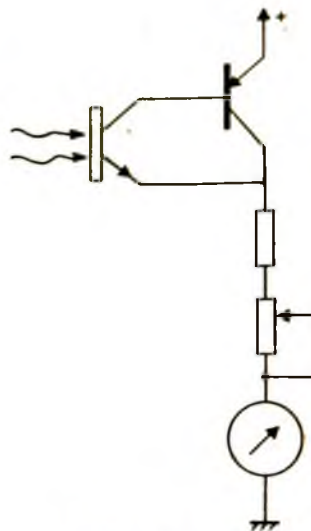
Phototranzito làm việc trong chế độ tuyến tính và có thể đo được ánh sáng không đổi hoặc thay đổi.

c) Ứng dụng cáp quang và các chuyển đổi quang điện để quan sát và đo lường

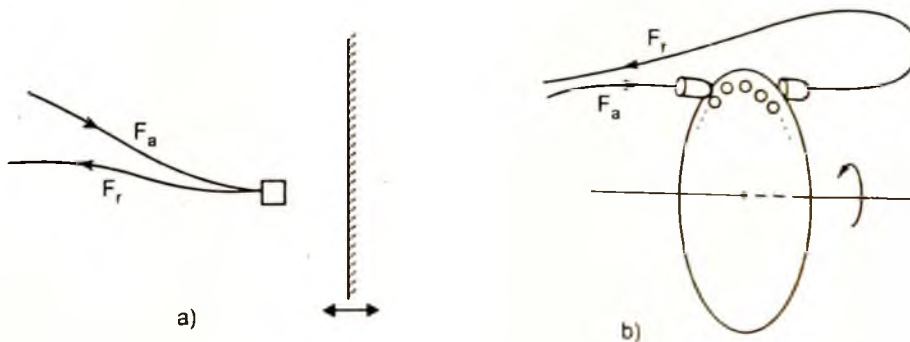
Cáp quang cho phép quan sát hoặc đo các đại lượng vật lí bằng các phương pháp quang ở những chỗ khó tiếp cận hoặc trong các môi trường độc hại. Sử dụng cáp quang có thể dẫn ánh sáng đến những vị trí mà trong điều kiện bình thường ánh sáng không thể chiếu tới được.

Nguồn sáng phát ra bức xạ, trong một số trường hợp dưới dạng xung để đảm bảo phân biệt nó với ánh sáng môi trường. Bức xạ này được dẫn đến khu vực đo bằng cáp F_a (hình 8 - 24a). Các đại lượng đo có thể là vị trí của một vật thể (phản xạ hoặc hấp thụ ánh sáng), tốc độ quay, thành phần hoá học của môi trường, nhiệt độ, khối v.v... Trong khu vực đo, tia bức xạ bị thay đổi và sự thay đổi phụ thuộc vào đại lượng đo. Tùy từng trường hợp mà ta thu được những thay đổi khác nhau của tia bức xạ. Ví dụ :

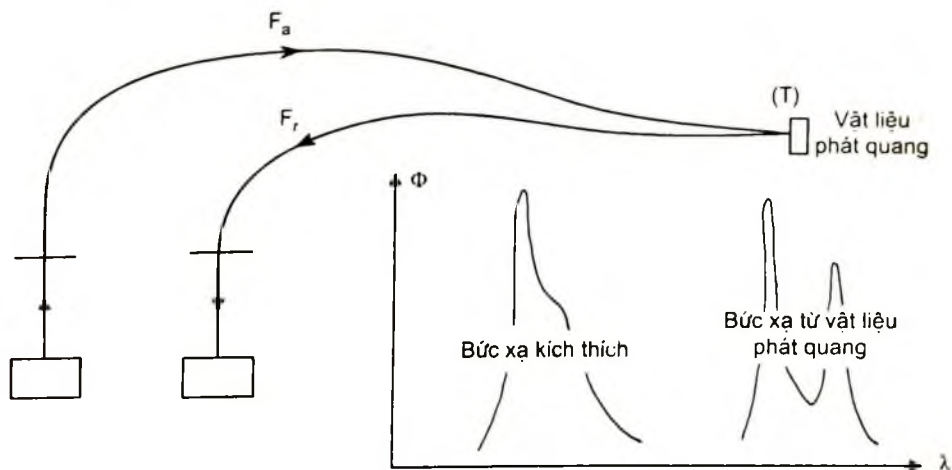
- Thay đổi cường độ sáng khi đo vị trí (hình 8 - 24a).
- Điều biến thành tần số tỉ lệ với tốc độ quay (hình 8 - 24b).
- Thay đổi bước sóng trong trường hợp đo nhiệt độ (hình 8 - 25).



Hình 8-23. Luxmet



Hình 8-24



Hình 8-25. Thay đổi bước sóng trong trường hợp do nhiệt độ

Khi ánh sáng tới làm phát sáng vật liệu, ánh sáng do vật liệu bức xạ ra có phổ phụ thuộc vào nhiệt độ. Các tia phản xạ hoặc các tia mới phát xạ ra được thu lại bằng cáp F_r và được đưa đến chuyển đổi quang điện. Chuyển đổi sẽ cung cấp tín hiệu điện chứa thông tin về đại lượng cần đo.

d) Ứng dụng quang học đo dòng điện và điện áp ở đường dây siêu cao áp (Phương pháp sử dụng hiệu ứng góc quay phân cực của ánh sáng)

Nguyên lí hoạt động của phương pháp dựa trên hiệu ứng Faraday và hiệu ứng Keer.

- Hiệu ứng Faraday được tóm tắt như sau : khi có dòng điện chạy trong dây dẫn tạo ra từ trường xung quanh nó. Từ trường này có tác dụng làm cho góc phân cực của sóng ánh sáng thay đổi khi đi qua từ trường tạo bởi dòng điện. Quan hệ đó được biểu diễn bằng biểu thức :

$$\theta = C_B B l \quad (8 - 25)$$

Trong đó C_B - hằng số;
 l - độ dài của đường sáng;
 B - cảm ứng từ.

$$B = \mu H \text{ và } H = \frac{I}{2\pi d} \text{ nên ta có } B = \frac{\mu}{2\pi d} \cdot I \quad (8 - 26)$$

H - Cường độ từ trường.

d - khoảng cách từ dây dẫn đến điểm đo.

Từ (8 - 26) thay vào (8 - 25) ta được :

$$\theta = \frac{C_B \mu}{2\pi d} \cdot I = K I \quad (8 - 27)$$

- Hiệu ứng Keer được phát biểu như sau : Khi ánh sáng xuyên qua vùng có cường độ điện trường lớn, cường độ sáng của nó bị thay đổi. Cường độ sáng ở đầu ra của chuyển đổi Keer được tính bằng biểu thức :

$$J_K = J_0 \sin^2 \frac{(\pi C_K l_K U^2)}{d^2} \quad (8 - 28)$$

Trong đó : J_K - cường độ sáng ở đầu ra của chuyển đổi

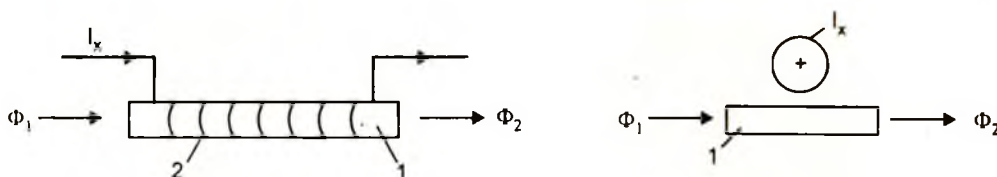
J_0 - cường độ ánh sáng ở đầu vào

d - khoảng cách giữa hai bản cực đặt điện áp

U - điện áp đo

l_K - độ dài của bản cực chuyển đổi; C_K - hệ số

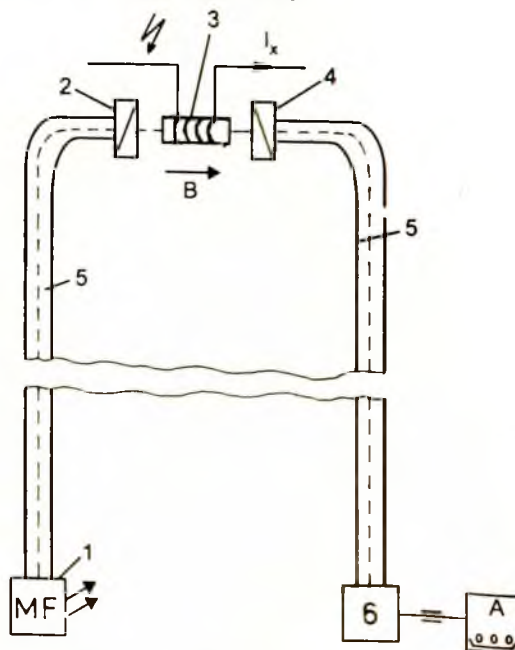
Hình 8 - 26 vẽ sơ đồ các phương pháp tạo ra các chuyển đổi Faraday. Trong đó I_x là dòng điện chạy trong dây dẫn, Φ_1 và Φ_2 là thông lượng ánh sáng ở đầu vào và đầu ra của chuyển đổi.



Hình 8-26. Sơ đồ các phương pháp tạo chuyển đổi Faraday

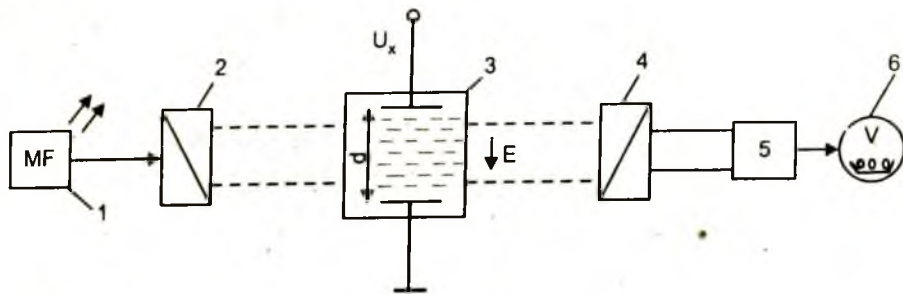
Hình 8 - 27 là sơ đồ giới thiệu phương pháp đo dòng điện bằng hiệu ứng Faraday. Ánh sáng laser được phát ra từ bộ phát (1) dưới mặt đất và được truyền đi bằng dây dẫn quang và bộ lọc ánh sáng (2). Ánh sáng đi qua chuyển đổi và làm cho góc phân cực của sóng ánh sáng thay đổi. Ánh sáng được thu về qua bộ lọc phân cực 4 và đường dẫn quang 5. Bộ thu và biến đổi 6 xác định góc quay phân cực từ đó suy ra dòng điện cần đo.

Để đo điện áp rất cao người ta sử dụng hiệu ứng Keer. Hình 8 - 28 là sơ đồ vonmét dùng hiệu ứng Keer



Hình 8-27. Sơ đồ giới thiệu phương pháp đo dòng điện bằng hiệu ứng Faraday

với tinh thể Dihydrophosphat amoni ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) hoặc hydrophosphat kali (KH_2PO_4).



Hình 8-28. Sơ đồ vôn-mét dùng hiệu ứng Keer

Ánh sáng được phát ra từ nguồn sáng 1 được đi qua bộ lọc phân cực 2 và xuyên qua chuyển đổi 3 tạo ra điện trường E. Điện trường này phụ thuộc điện áp U_x đặt vào hai bản cực. Khi ánh sáng xuyên qua điện trường, cường độ ánh sáng bị thay đổi, qua bộ lọc phân cực 4, ánh sáng được thu về qua thiết bị 5 và thể hiện kết quả đo trên chỉ thị 6.

Với các phương pháp trên quá trình đo không gây nguy hiểm cho người sử dụng và thuận lợi.

Nhược điểm của phương pháp là thiết bị đo tương đối phức tạp.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 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.
 - Photodiôt.
 - Tế bào quang điện.
- 4- Nêu các ứng dụng của chuyển đổi quang
 - Đo di chuyển.
 - Điều khiển các rơle.
 - Đo lường các đại lượng vật lí.
 - Đo dòng điện và điện áp lớn.

Mục lục

	Trang
Lời giới thiệu	3
Mở đầu	4
Chương I. Các khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường (4 tiết)	5
1.1. Các định nghĩa và khái niệm chung về đo lường	5
1.2. Phân loại phương pháp đo	6
1.3. Phân loại các thiết bị đo	8
1.4. Đơn vị đo, chuẩn và mẫu.	9
1.5. Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo	12
1.6. Các đặc tính cơ bản của dụng cụ đo	14
Câu hỏi ôn tập	16
Chương II. Đo dòng điện và điện áp (10 tiết)	17
2.1. Đo dòng điện và điện áp bằng các dụng cụ đo tương tự	17
2.2. Đo điện áp bằng phương pháp so sánh.	39
2.3. Vôn-mét số	41
Câu hỏi ôn tập và bài tập	49
Chương III. Đo công suất và năng lượng (6 tiết)	52
3.1. Khái niệm chung	52
3.2. Dụng cụ đo công suất và năng lượng trong mạch điện một pha	53
3.3. Đo công suất trong mạch 3 pha	61
3.4. Đo công suất phản kháng	65
3.5. Đo công suất và năng lượng trong mạch cao áp	68
Câu hỏi kiểm tra và bài tập	69
Chương IV. Đo tần số, góc pha và khoảng thời gian (6 tiết)	71
4.1. Khái niệm chung	71
4.2. Tần số kế cộng hưởng điện từ	72
4.3. Tần số kế cơ điện	73
4.4. Fazômét điện động	77
4.5. Tần số kế điện tử.	78
4.6. Fazômét điện tử	79
4.7. Fazômét chỉ thị số	80
4.8. Tần số kế chỉ thị số	82
Câu hỏi ôn tập	87
Chương V. Đo thông số của mạch điện (8 tiết)	88
5.1. Các phương pháp đo điện trở	88
5.2. Cầu dòng xoay chiều	99
5.3. Đo điện dung và góc tổn hao tụ điện	101
5.4. Cầu đo điện cảm và hệ số phẩm chất của cuộn dây	103

5.5. Cầu vạn năng đo thông số mạch điện.	107
Câu hỏi ôn tập và bài tập	108
Chương VI. Dao động ký (Oscilloscope) (6 tiết)	109
6.1. Sơ đồ khối của dao động ký thông dụng	109
6.2. Ống phóng tia điện tử	110
6.3. Bộ khuếch đại làm lệch	112
6.4. Tín hiệu quét	113
6.5. Bộ tạo gốc thời gian (Bộ tạo sóng quét ngang)	113
6.6. Dao động kí điện tử hai tia	115
6.7. Ứng dụng của dao động ký điện tử	117
6.8. Các loại dao động ký điện tử	120
6.9. Dao động ký điện tử nhớ tương tự	121
6.10. Dao động ký lấy mẫu	122
6.11. Dao động ký điện tử nhớ số	124
Câu hỏi ôn tập	126
Chương VII. Đo các đại lượng không điện (14 tiết)	127
7.1. Các phương pháp và dụng cụ đo nhiệt độ	127
7.2. Các phương pháp đo lực, ứng suất và áp suất	140
7.3. Đo lưu lượng và thể tích chất lỏng, khí và hơi	151
7.4. Đo vận tốc và gia tốc	157
Câu hỏi ôn tập	162
Chương VIII. Ứng dụng quang học trong kỹ thuật đo lường (6 tiết)	164
8.1. Khái niệm cơ bản về ánh sáng	164
8.2. Các đơn vị đo quang	166
8.3. Chuyển đổi quang điện	168
8.4. Các ứng dụng quang học trong kỹ thuật đo lường	177
Câu hỏi ôn tập	185

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

Biên tập lần đầu và tái bản :

TRẦN TRỌNG TIẾN

Trình bày bìa :

QUANG TUẤN

Sửa bản in :

NGUYỄN THÙY LINH

Chế bản :

THANH THẨM

GIÁO TRÌNH ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN VÀ KHÔNG ĐIỆN

Mã số: 7K562T4-KHO

In 1.000 cuốn, khổ 16 x 24 cm tại Công ty Cổ phần IN KHÁNH HỘI (27 Hoàng Diệu, P12, Q4 - Tp. Hồ Chí Minh). Số ĐKKHXB: 1750/CXB - 166. Giấy TNKHXB: 2712/GPTN ngày 11.10.2004. In xong và nộp lưu chiểu tháng 11/2004.

