

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

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

(SÁCH DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC TRƯỜNG CAO ĐẲNG)



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

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

GIÁO TRÌNH ĐO LƯỜNG ĐIỆN VÀ CẢM BIẾN ĐO LƯỜNG

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

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Mở đầu

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

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

Nội dung của giáo trình gồm 2 phần :

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

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

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

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

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

Tác giả

008.608.

1

ĐO LƯỜNG ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN VÀ THIẾT BỊ ĐO

CHƯƠNG I

KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG

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

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

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng:

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

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

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

V - đơn vị đo

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

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

Thông thường đại lượng đo được phân thành:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1-1-5. Phương pháp đo

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

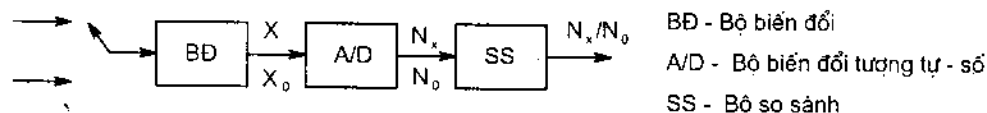
- Thao tác xác định mẫu và thành lập mẫu
- Thao tác so sánh.
- Thao tác biến đổi
- Thao tác thể hiện kết quả hay chỉ thị.

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

Phương pháp đo được phân thành hai loại.

a) *Phương pháp đo biến đổi thẳng*

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



Hình 1-1

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

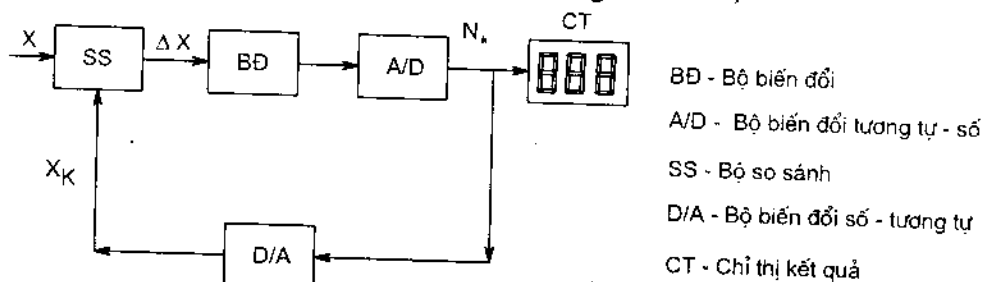
Quá trình được thực hiện bằng phép chia N_x/N_0

Kết quả đo thể hiện bằng biểu thức dưới dạng

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

b) Phương pháp đo kiểu so sánh

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



Hình 1-2

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

$$X - X_k = \Delta X$$

Tùy thuộc vào cách so sánh ta có.

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

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

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

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

$$X - X_k = \Delta X$$

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

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

1-2. Đơn vị đo, chuẩn và mẫu

1-2-1. Khái niệm chung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

a) *Chuẩn đơn vị độ dài*

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

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

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

Bảng 1-1.

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

b) Chuẩn đơn vị khối lượng

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

c) Chuẩn đơn vị thời gian

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

d) Chuẩn đơn vị dòng điện

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

e) Chuẩn đơn vị nhiệt độ

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

f) Chuẩn đơn vị cường độ ánh sáng

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

g) Đơn vị số lượng vật chất

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

1-3. Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo

1-3-1. Phân loại dụng cụ đo

Dụng cụ đo được phân loại như sau:

a) Theo cách biến đổi có thể phân thành

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

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

b) Theo phương pháp so sánh được phân thành

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

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

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

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

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

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

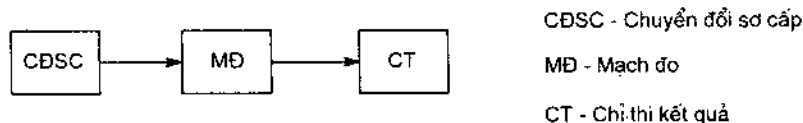
d) Theo đại lượng đo:

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

1-3-2. Sơ đồ khối của dụng cụ đo

a) Sơ đồ cấu trúc chung.

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



Hình 1-3

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

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

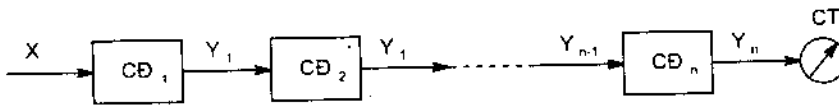
- Cơ cấu chỉ thị là khâu cuối cùng của dụng cụ đo thể hiện kết quả dưới dạng con số so với đơn vị.

Có ba cách thể hiện kết quả đo:

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

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

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



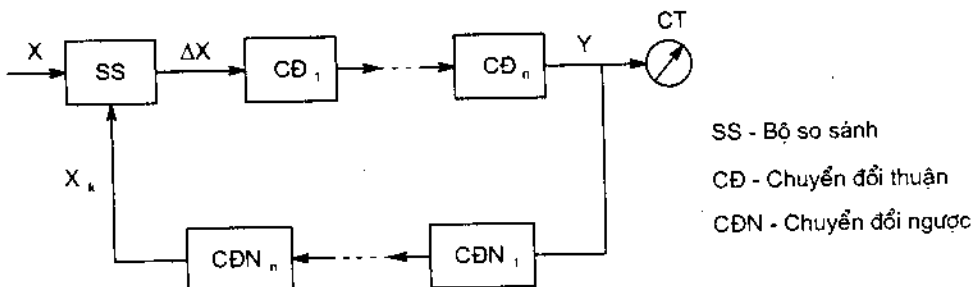
Hình 1-4. Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo biến đổi thẳng.

Theo sơ đồ này, đại lượng đo X được đưa qua các khâu chuyển đổi CD_1 (chuyển đổi sơ cấp), $CD_2 \dots CD_n$ 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 như hình 1-5.

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



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

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

1-4-1. Sai số của dụng cụ đo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

* Độ chính xác tương ứng được tính theo biểu thức

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

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

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

hoặc

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

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

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

Bài giải:

Sai số tuyệt đối của phép đo

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

Sai số tương đối của phép đo

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

Độ chính xác tương ứng của phép đo

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

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

Độ chính xác tính theo phần trăm

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

Hoặc

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

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

Tính chính xác được biểu diễn bởi biểu thức

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

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

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

Bảng 1-2.

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

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

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

Từ biểu thức (1-10) ta có.

Độ chính xác của lần đo thứ 6 đạt được

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

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

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

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

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

1-4-2. Độ nhạy

Độ nhạy của dụng cụ đo tính bằng:

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

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

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

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

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

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

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

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

1-4-4. Độ tác động nhanh

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

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

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

1-4-5. Độ tin cậy

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

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

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

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

CÂU HỎI ÔN TẬP

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

CHƯƠNG II

CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ

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

2-1-1. Khái niệm chung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tại thời điểm cân bằng ($M_q = M_c$)

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

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

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

2-1-2. Cơ cấu chỉ thị từ điện

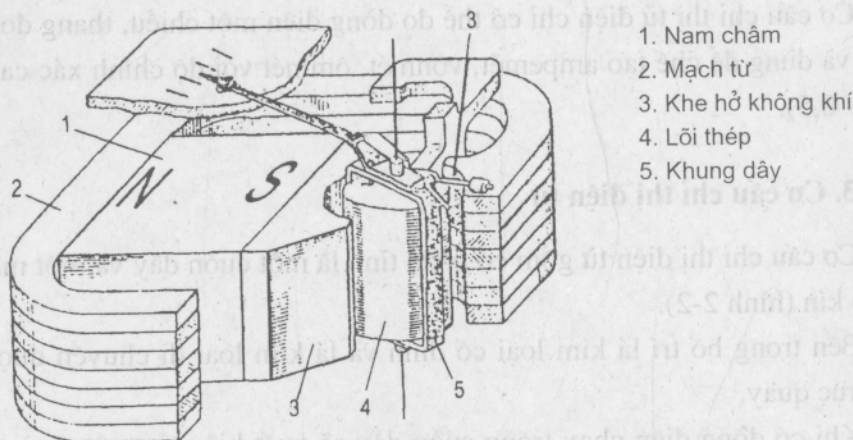
Cơ cấu chỉ thị từ điện gồm có hai phần cơ bản: Phần tĩnh và phần động (hình 2-1)

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

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

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

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



Hình 2-1. Cơ cấu chỉ thị từ điện

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

SECRET

$$W_e = \phi I. \quad (2-4)$$
$$\text{M}\alpha \quad \phi = \text{BWS}\alpha. \quad (2-5)$$

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

$$M_q = \frac{d(\phi I)}{d\alpha} = \frac{d(BWS\alpha I)}{d\alpha} = BWSI \quad (2-6)$$
$$\text{BWSI} = D\alpha \text{ và } \alpha = \frac{1}{D} \text{BWSI} = S_1 I \quad (2-7)$$

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

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

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

Khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ xuất hiện từ trường và từ hóa các tấm kim loại tĩnh và động để tạo thành nam châm. Giữa các tấm kim loại hình thành lực đẩy lẫn nhau và tạo nên mômen quay (M_0).

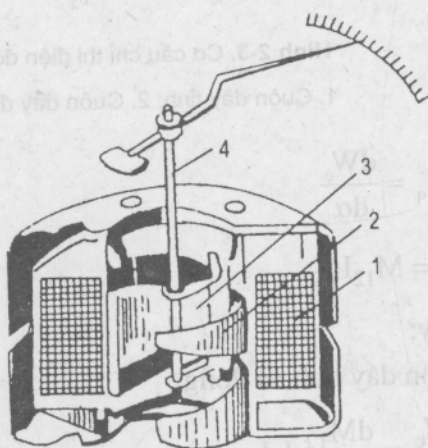
trong đó:

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

L - điện cảm của cuộn dây,

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

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



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

Hình 2-2. Cơ cấu chỉ thị điện từ

Khi ở vị trí cân bằng: $M_q = M_c$

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

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

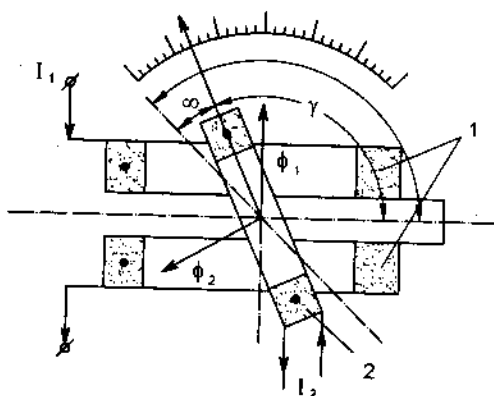
Thang đo của chỉ thị không đều, tiêu thụ công suất lớn và độ chính xác không cao (độ chính xác cấp 1 ÷ 2)

2-1-4. Cơ cấu chỉ thị điện động

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

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

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



Hình 2-3. Cơ cấu chỉ thị điện động
1. Cuộn dây tĩnh; 2. Cuộn dây động

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

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

M_{12} - Hồ cảm giữa hai cuộn dây;

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

ta có:

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

Ở vị trí cân bằng $M_q = M_c$

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

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

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

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

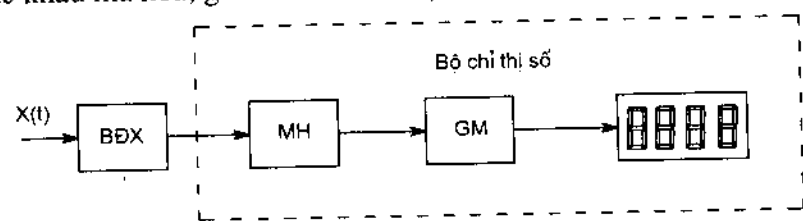
Thang đo của chỉ thị không đều, độ chính xác cao (đạt cấp 1 ÷ 0,5)

2-2. Chỉ thị số

2-2-1. Nguyên lý của chỉ thị số

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

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



Hình 2-4. Sơ đồ khối của chỉ thị số

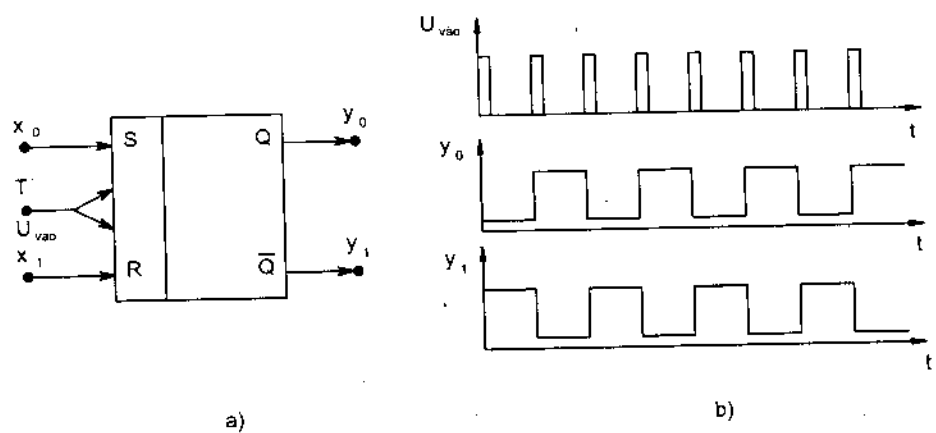
2-2-2. Mã số

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

Có các loại mã số sau:

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

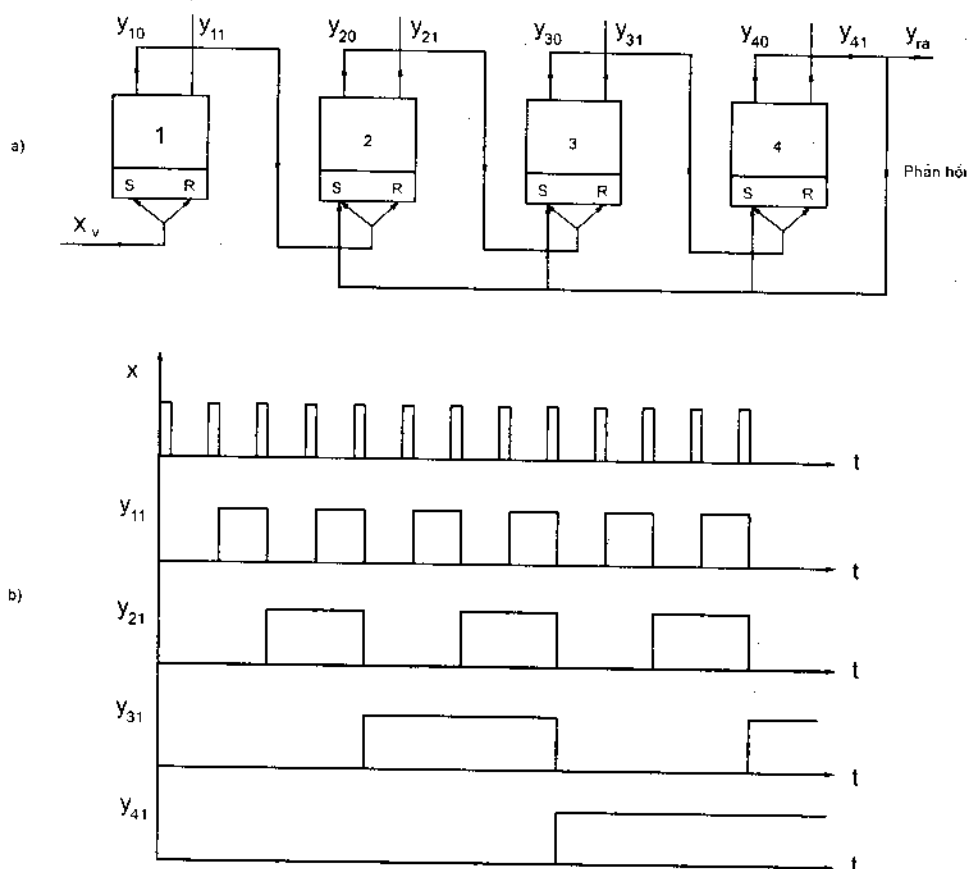
Hình 2-5 là sơ đồ của một trigơ gồm 2 đầu vào S và R và 1 đầu vào chung T. Hai đầu ra Q và \bar{Q} với tín hiệu ra y_0 và y_1 .



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

2-2-3. Mạch đếm

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



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

b) Biểu đồ thời gian các đầu ra

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

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

Bảng 2-1

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

2-2-4. Bộ hiện số

a) Hiện số bằng điốt phát quang (LED)

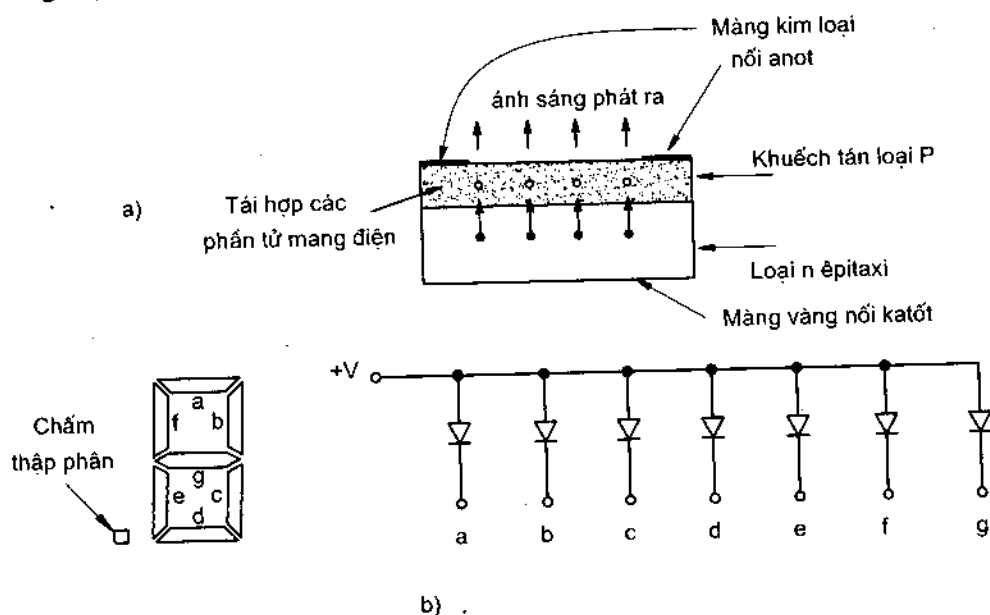
Khi có sự tái hợp các phân tử mang điện xuất hiện tại lớp tiếp xúc p-n định thiên thuận (như các điện tử từ n sang tái hợp với lỗ trống p). Chúng sẽ phát ra năng lượng dưới dạng nhiệt và ánh sáng. Nếu vật liệu bán dẫn trong suốt thì ánh sáng được phát ra và lớp tiếp xúc là nguồn sáng (gọi là điốt phát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

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

Ưu điểm của điốt phát quang (LED) là:

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

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



Hình 2-7.

b) Bộ hiện số tinh thể lỏng (LCD)

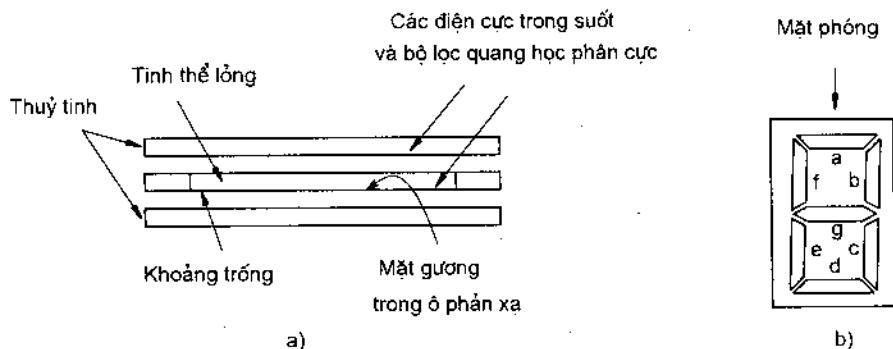
Các bộ hiện số bằng tinh thể lỏng được bố trí theo dạng bảy thanh giống như đèn LED. Mặt cắt của ô tinh thể lỏng kiểu hiệu ứng trường được biểu diễn trên hình 2-8a và bộ hiện số 7 thanh hình 2-8b.

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

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

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

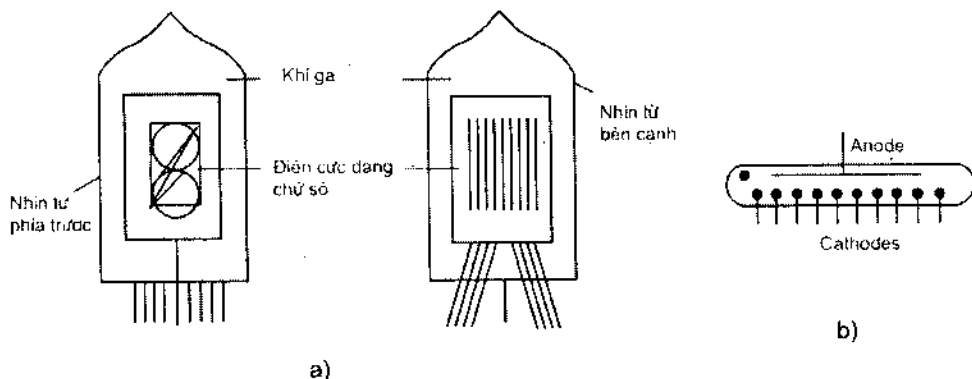
Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều hình sin hoặc xung vuông có tần số 60 Hz và điện áp khoảng 8V.



Hình 2-8

c) Đèn hiện số.

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



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

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

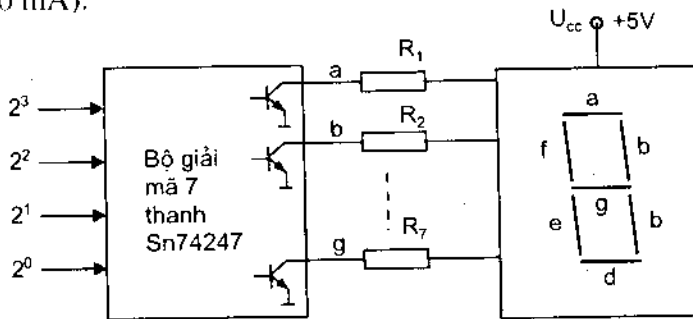
Nguyên lí hoạt động của đèn dựa trên hiện tượng ion hóa chất khí do va chạm khi đặt một điện áp đủ lớn vào Anot và Catốt. (100v ÷ 200v). Trong quá trình va chạm và tái hợp của các ion chúng phát ra ánh sáng do đó có thể nhìn được các chữ số.

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

2-2-5. Bộ giải mã

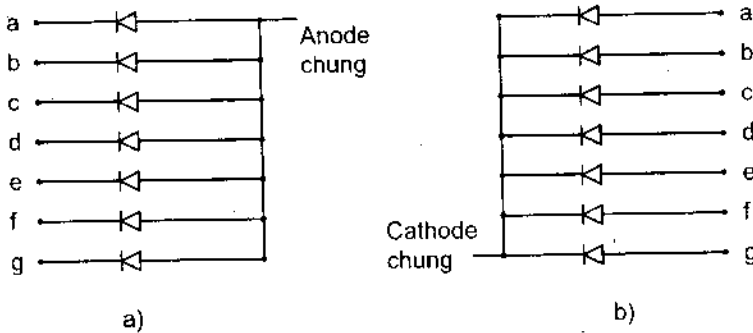
Các mạch giải mã thực hiện biến đổi từ mã cơ số 2 hoặc mã 2-10 thành mã cơ số 10, nghĩa là thể hiện kết quả dưới dạng số thập phân. Ngày nay các mạch giải mã được chế tạo dưới dạng vi mạch.

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



Hình 2-10. Bộ giải mã 7 thanh

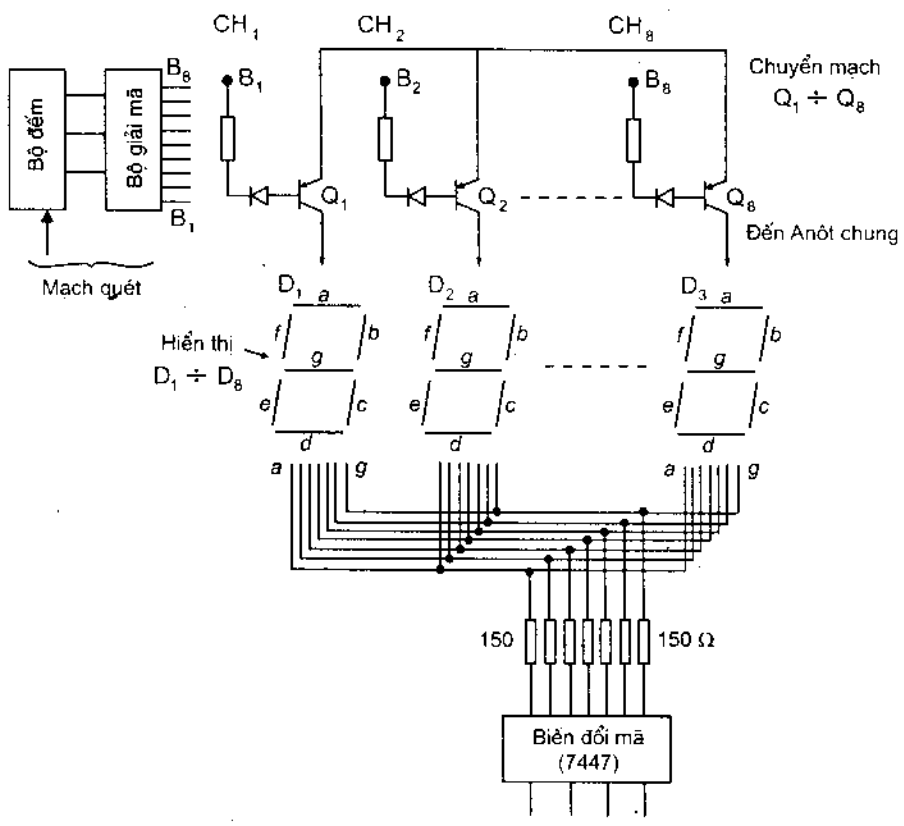
Trong các bộ hiển thị bảy thanh dùng đèn LED người ta mắc theo hai cách: Nối Anốt chung hoặc Catốt chung (hình 2-11a, b).



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

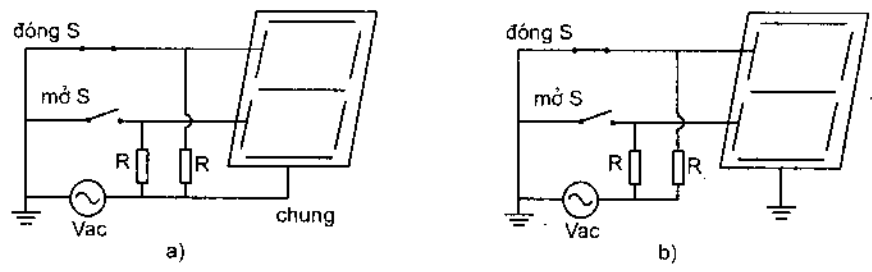
Với các bộ hiển số có nhiều chữ số được thực hiện theo sơ đồ hình 2-12.

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



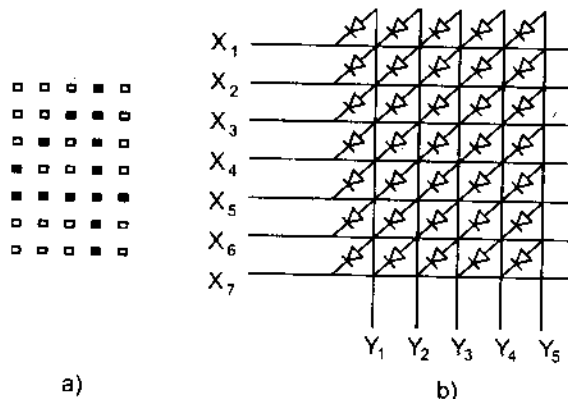
Hình 2-12. Bộ hiện số nhiều chữ số

Đối với mạch hiện số tinh thể lỏng LCD dùng sơ đồ kích hoạt như hình 2-13. Trong đó nguồn cung cấp (ac) là nguồn điện áp xoay chiều mắc theo kiểu điện cực chung (h2 - 13a) Hoặc với từng thanh riêng rẽ (h.2-13b). Các điện trở R có trị số lớn ($R > 1M\Omega$) để hạn chế dòng. Khi làm việc, bộ giải mã địa chỉ điều khiển chuyển mạch S đóng hoặc mở. Khi S đóng điện áp V_{ac} đặt lên thanh và điện cực chung kích hoạt cho thanh đó sáng lên.



Hình 2-13. Sơ đồ kích hoạt đèn hiện số tinh thể lỏng LCD;
a) Điện cực chung; b) Từng thanh riêng rẽ

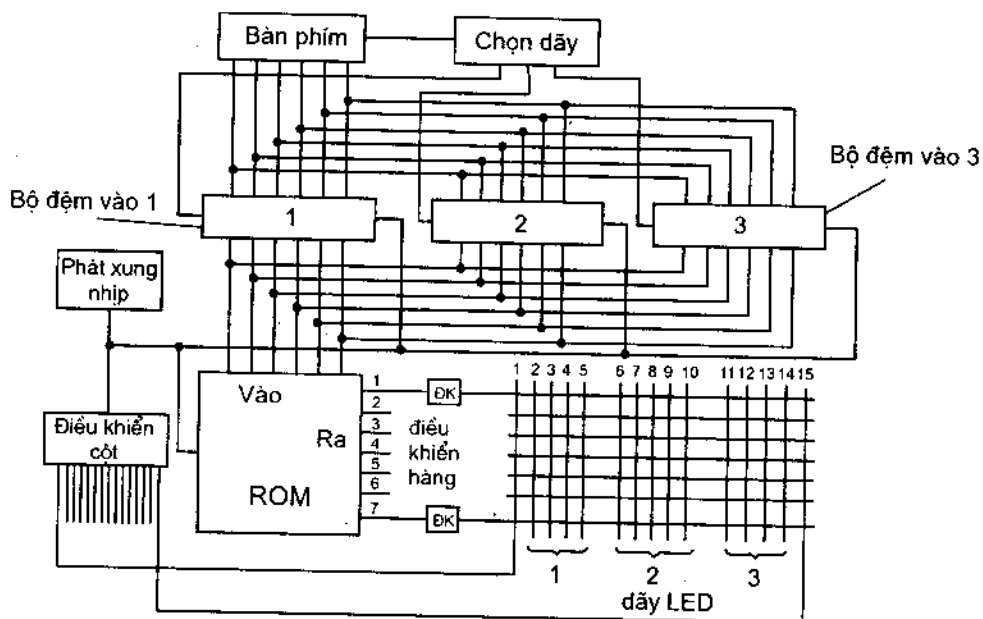
Các thanh còn lại điện áp giữa chúng và điện cực chung bằng zêrô.
 Ngoài ra hiển thị số còn sử dụng bảng ma trận điểm mà mỗi đèn LED là một vị trí điểm.
 Hình 2-14 là sơ đồ lắp bảng ma trận điểm thường gặp với dạng 5×7 có anot chung trong đó X - Y là các đường nối các điểm của ma trận.



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

Hình 2-14

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



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

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG II

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

CHƯƠNG III

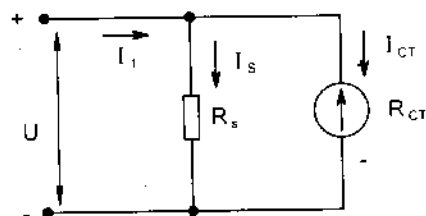
ĐO ĐIỆN ÁP VÀ DÒNG ĐIỆN

3-1. Ampemét

3-1-1. Ampemét một chiều (DC)

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

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



Hình 3-1

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

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

Điện trở sun được tính theo công thức:

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

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

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

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

14.0
08.00%

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

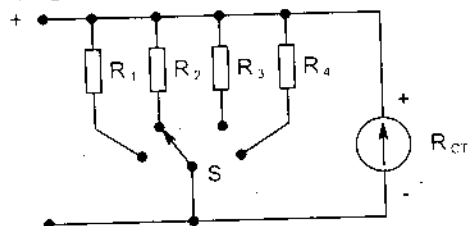
Các điện trở sun được chế tạo từ Manganin hoặc constantan và có trị số rất nhỏ. Vật liệu chế tạo điện trở sun cần thỏa mãn các yêu cầu sau:

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

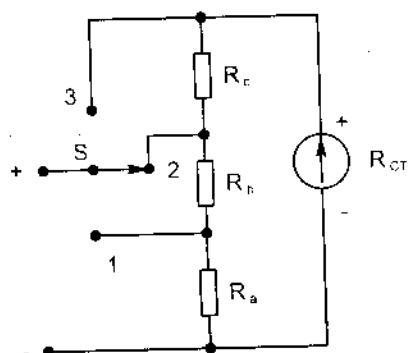
Các điện trở sun sử dụng với dòng điện nhỏ được gắn bên trong Ampemét nhưng với các dòng lớn (200A), các sun được ghép song song với nhau.

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

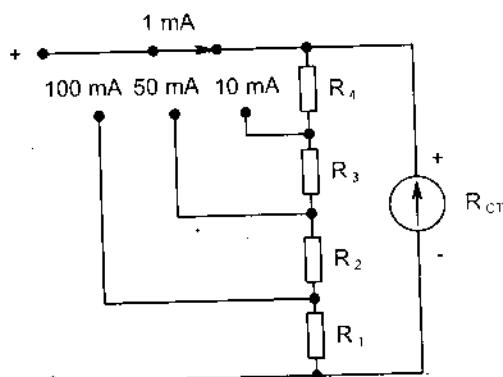
Các điện trở $R_1 \div R_4$ ứng với dòng điện đo được tính theo công thức (3-1) và (3-2).



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



a)



b)

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

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

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

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

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

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

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

với $I_2 = 10 \text{ mA}$

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

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

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

với $I_3 = 50 \text{ mA}$

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

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

với $I_4 = 100 \text{ mA}$

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

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

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

Giải ra được:

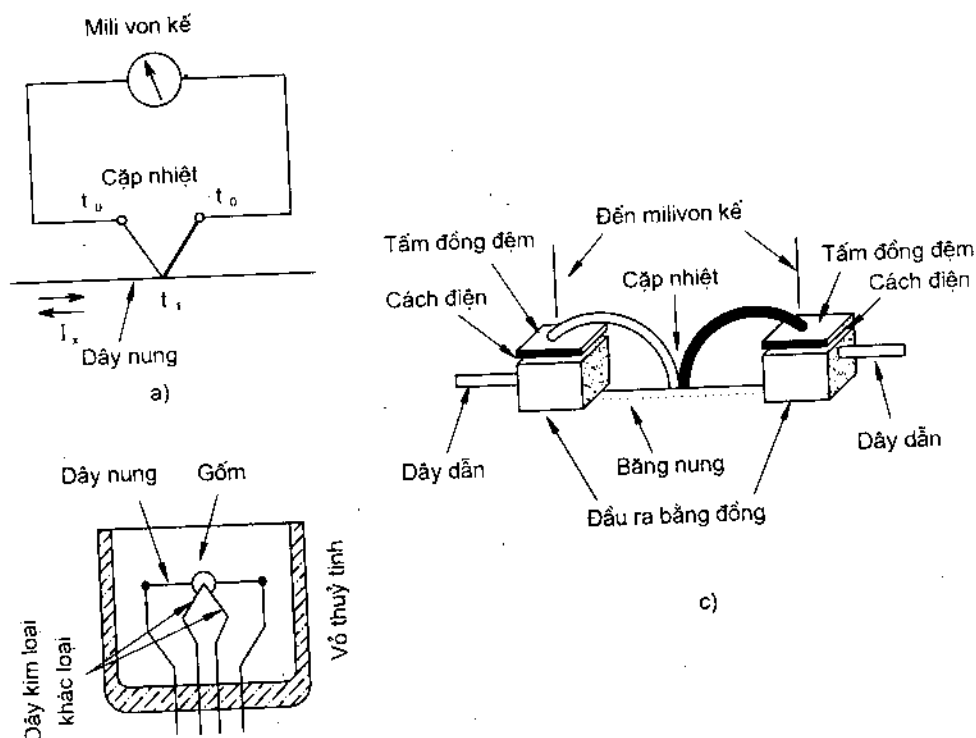
$$\begin{aligned} R_1 &= 0,05263\Omega; & R_2 &= 0,05263\Omega \\ R_3 &= 0,4147\Omega; & R_4 &= 4,74\Omega. \end{aligned}$$

3-1-2. Khi sử dụng Ampemét cần chú ý

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

3-1-3. Ampemét nhiệt điện

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Từ (3-4) thay vào (3-3) ta được:

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

k_1, k_2, k_3 - Hằng số.

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

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

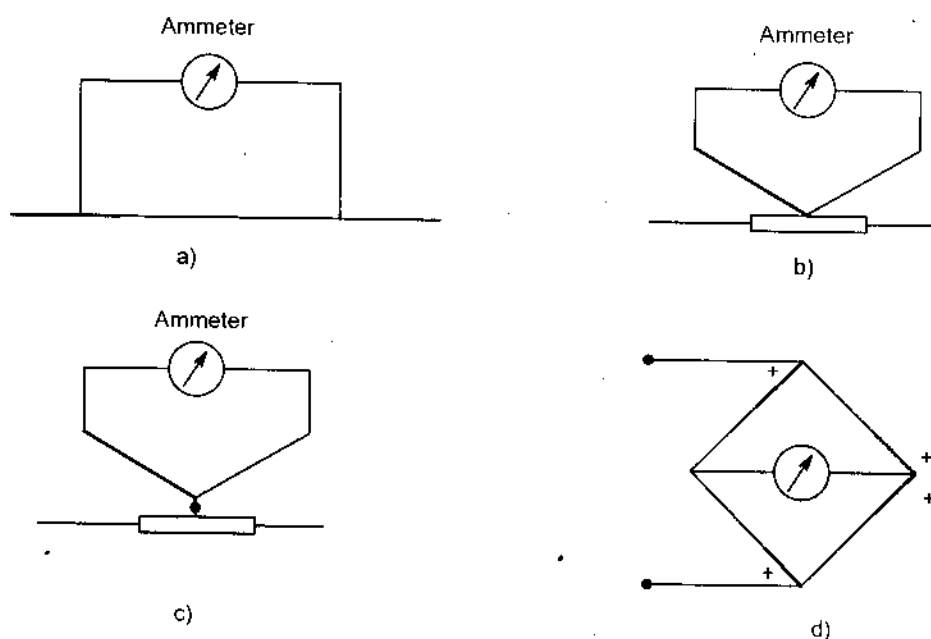
Hình 3-4 b, c vẽ cấu tạo của hai loại cặp nhiệt điện khác nhau.

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

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

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

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



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

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

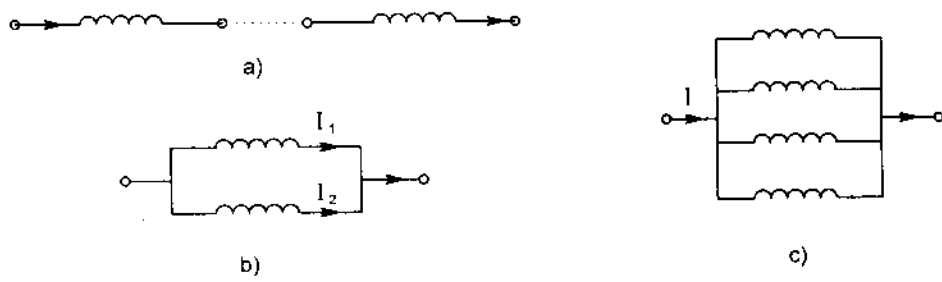
Ampemét nhiệt điện có sai số lớn do tiêu hao công suất, khả năng quá tải kém nhưng có thể đo được.

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

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

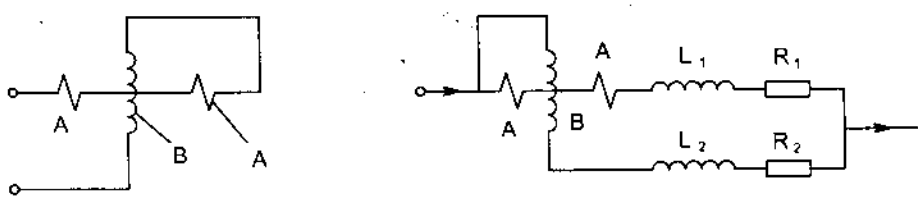
3-1-5. Ampemét điện động

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



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

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



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

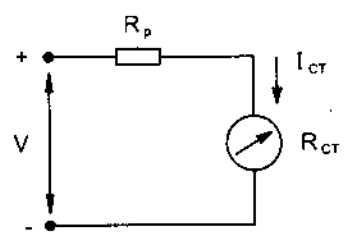
3-2. Vôn-mét và đồng hồ vạn năng (vạn năng kế)

3-2-1. Giới thiệu chung

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

3-2-2. Vôn-mét một chiều

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



Hình 3-8

08.008.1

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

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

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

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

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

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

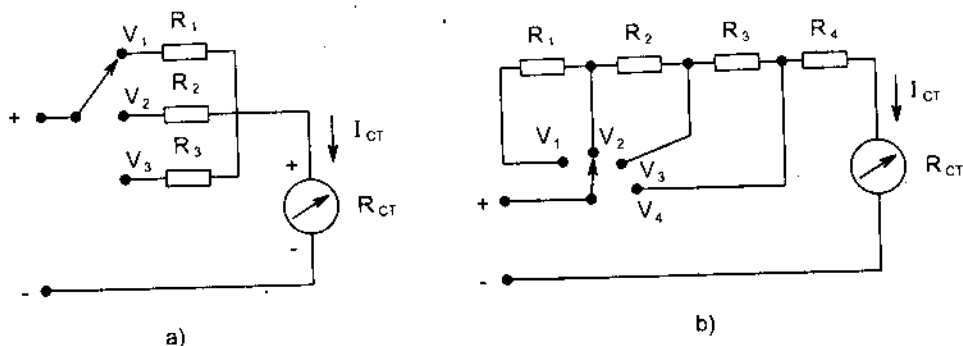
Ta có: $R_p = R_{CT}(m - 1)$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

- Với thang 50V (U_3)

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

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

- Với thang đo 100V (U_2)

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

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

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

- Với thang 250V (U_1)

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

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

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

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

I_t - dòng lệch toàn thang đo.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

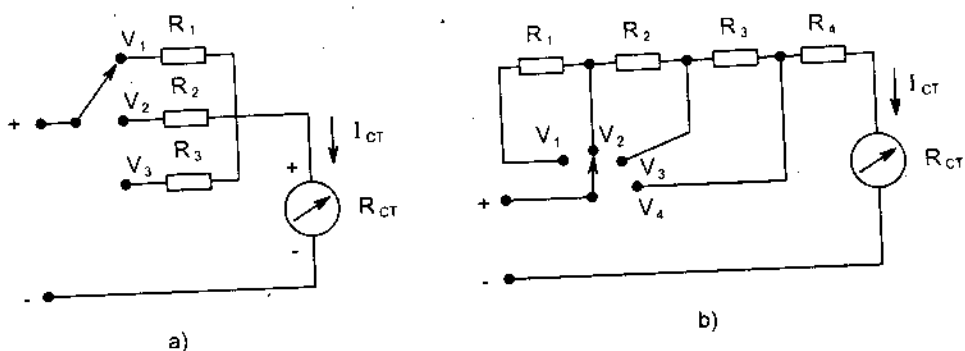
Ta có: $R_p = R_{CT}(m-1)$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

3-2-3. Vônmet điện tử

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

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

a) Vônmet Tranzito:

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

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

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

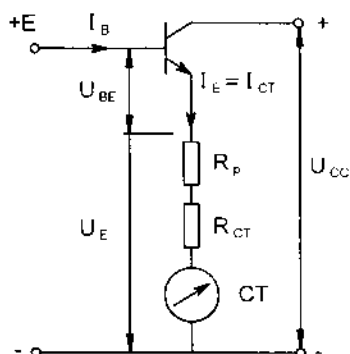
Giả sử điện áp đo $E = 10V$.

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

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

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

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



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

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

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

Giả sử $h_{EF} = 100$, ta có:

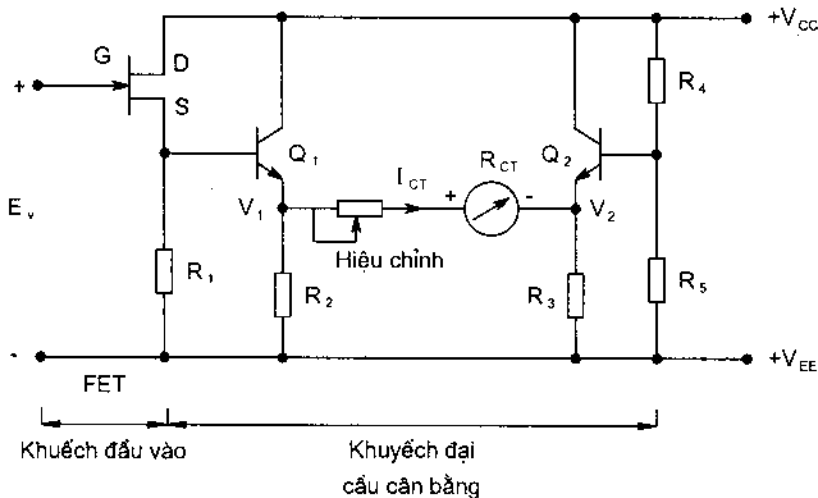
$$I_B = \frac{1mA}{100} = 10\mu A.$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

R_2, R_3 - điện trở gánh emittơ.

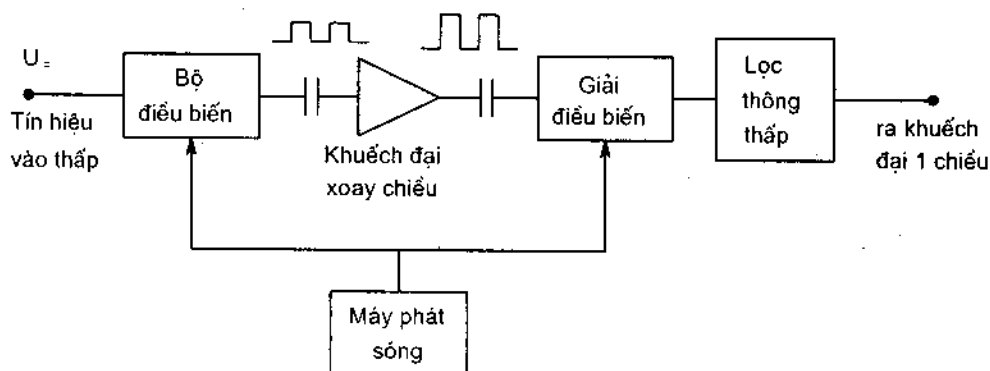
Khi điện áp vào $E_v = 0$ điện thế $V_1 = V_2$, cầu ở trạng thái cân bằng dòng điện đi qua chỉ thị $I_{CT} = 0$.

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

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

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

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

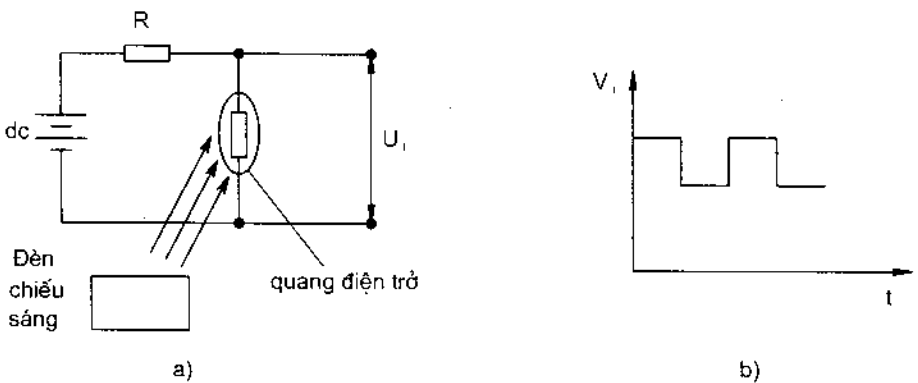


Hình 3-12. Sơ đồ khối của vôn-mét khuếch đại điều biến.

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

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

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



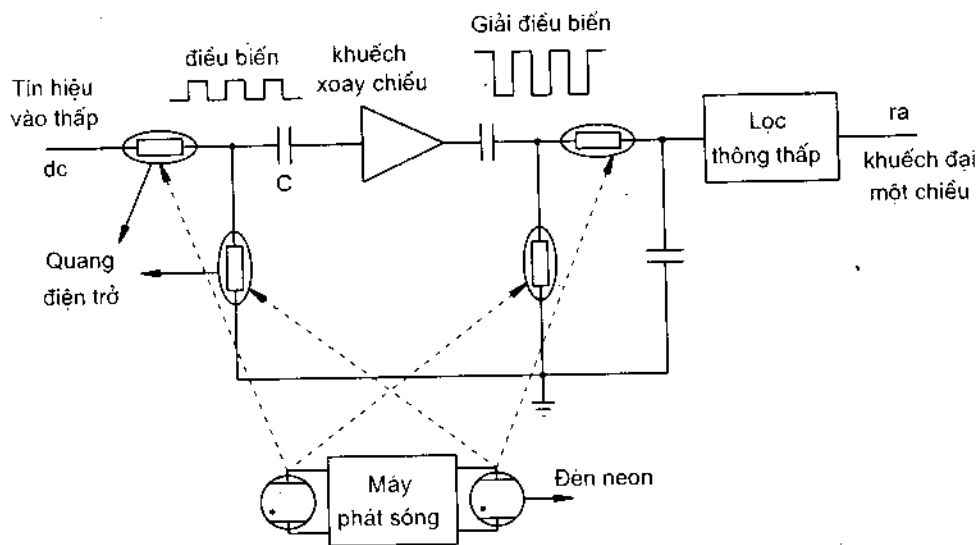
Hình 3-13. a) Nguyên lý cơ bản của bộ điều biến điện tử; b) Sóng điện áp ra

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

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

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

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



Hình 3-14. Vônmet điều biến

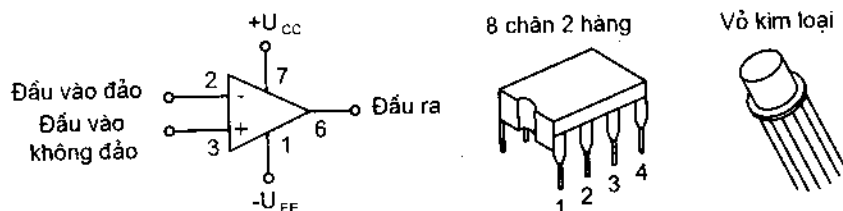
Tín hiệu một chiều qua bộ điều biến tạo thành các xung vuông có biên độ tỷ lệ với tín hiệu đưa vào và có tần số tương ứng với tần số dao động. Các xung này được đưa qua khuếch đại xoay chiều sau đó qua bộ giải điều biến để trở lại thành một chiều. Bộ lọc thông thấp có nhiệm vụ loại bỏ các thành phần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

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

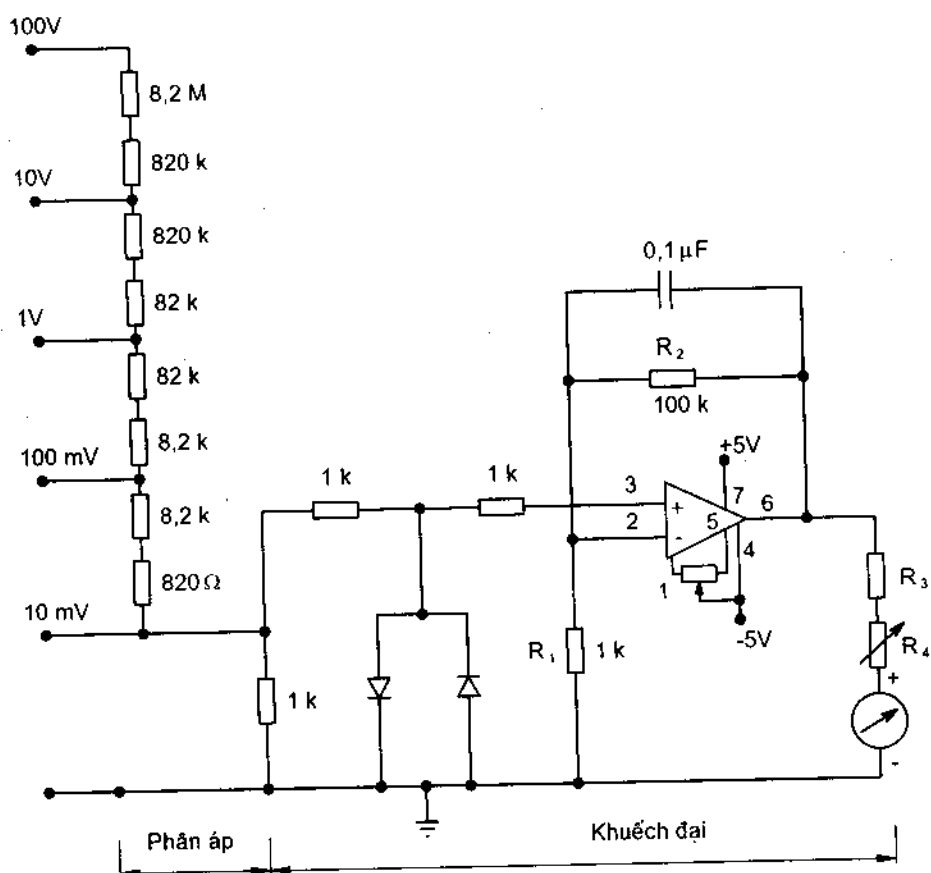
IC - opamp là một mạch tích hợp có 2 đầu vào và một đầu ra. Các đầu vào được phân biệt là đầu vào đảo và đầu không đảo.

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

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



Hình 3-15a. IC. Opamp và ký hiệu

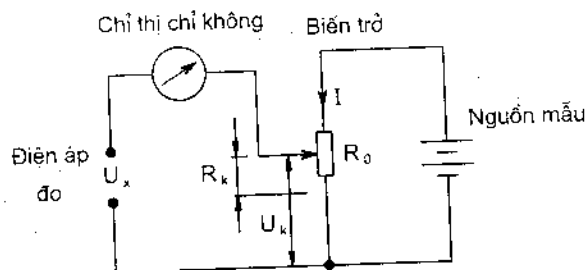


Hình 3-15b

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

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

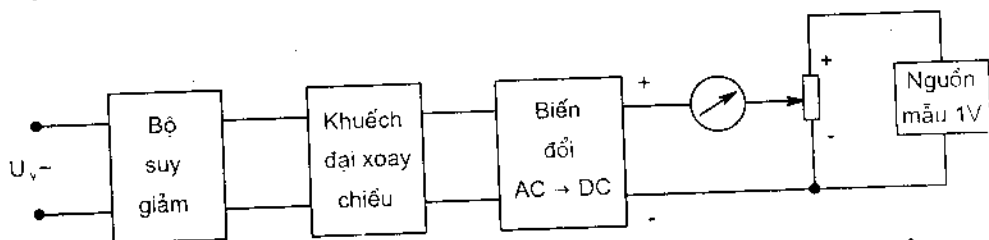
phương pháp được mô tả như hình 3-16. Điện áp U_k (điện áp mẫu) có độ chính xác cao được tạo bởi dòng điện I (ổn định) qua biến trở mẫu R_0 ; $U_k = I.R_k$. Nguồn U_x cần đo được mắc xung đối với nguồn mẫu qua biến trở R_0 . Chỉ thị "không" là điện kế 1 chiều hoặc xoay chiều có độ nhạy cao dùng để phát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



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

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

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



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

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

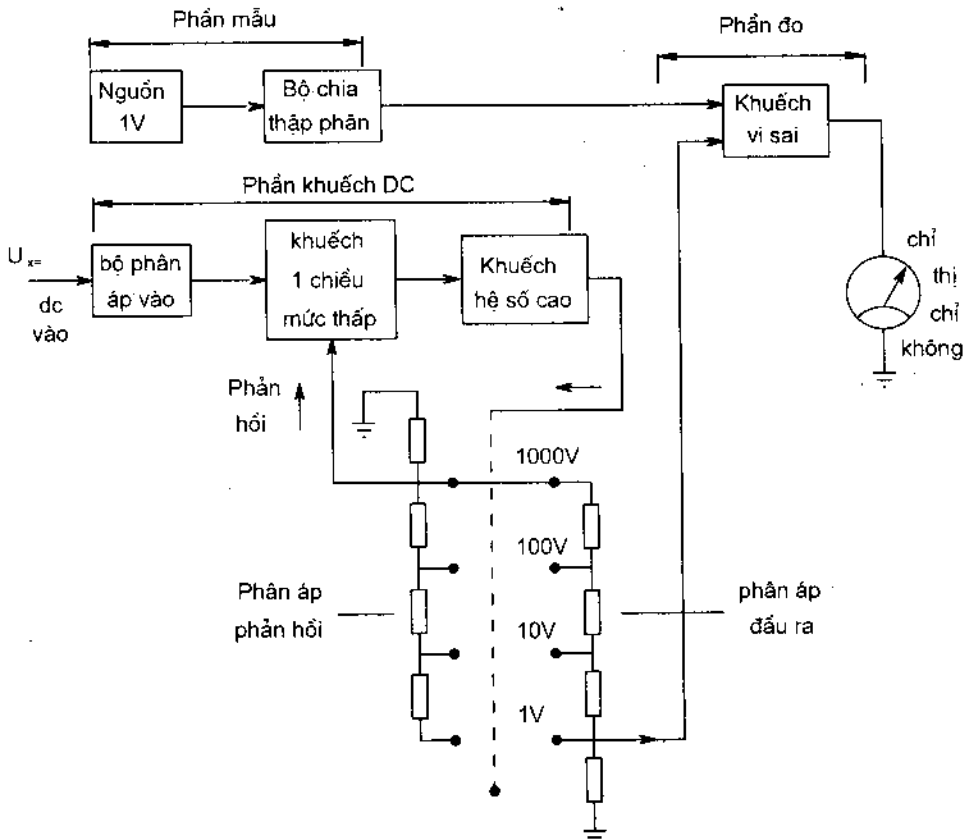
Đo điện áp 1 chiều bằng phương pháp so sánh có thể dùng vôn-mét vi sai như hình 3-18.

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

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

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

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



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

3-2-7. Vônmet xoay chiều

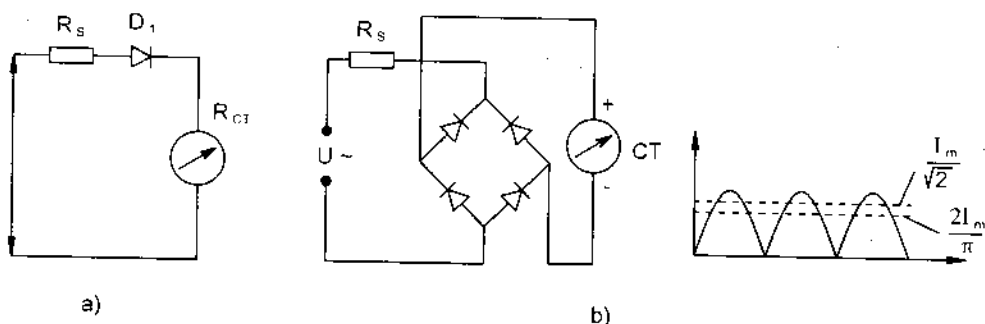
1. *Vônmet từ điện chỉnh lưu*: Là dụng cụ phối hợp giữa mạch chỉnh lưu và cơ cấu chỉ thị từ điện.

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

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

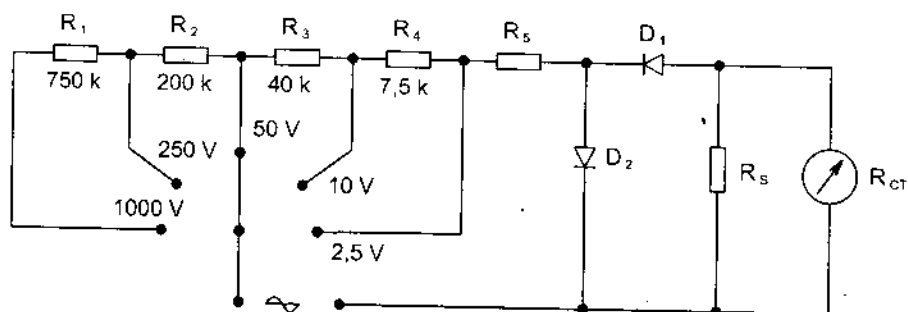
Đặc điểm của vôn-mét chỉnh lưu là độ chính xác không cao (cấp chính xác từ 1 ÷ 1,5), thang đo không đều do đặc tính phi tuyến của diot, các vôn-mét chỉnh lưu được chế tạo đo điện áp dạng hình sin với hệ số hình dáng $k_{hd} = 1,1$ do vậy khi đo với các tín hiệu khác sin sẽ gây nên sai số đo.

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



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

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

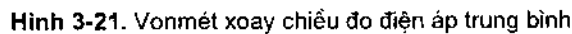


Hình 3-20. Vôn-mét chỉnh lưu mở rộng thang đo

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

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

73-803
N.Y.
9-1-56



3. Vônmet đo điện thế đỉnh

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

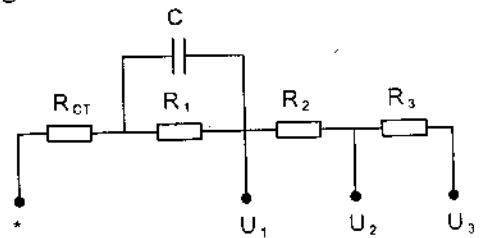


Hình 3-22a cho thấy điện áp một chiều tạo thành sau diot được so với đất vì vậy chỉ thị khác độ điện áp một chiều tương ứng với điện áp đo xoay chiều.

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

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

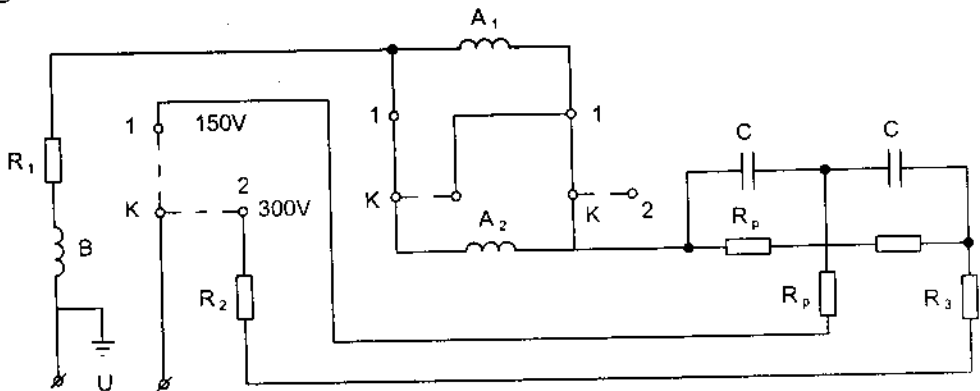
Giải đo của dụng cụ từ mV ÷ 600V; giải tần $f = 50\text{Hz} \div \text{kHz}$ và sai số cỡ $\pm 1 \div 2\%$.



Hình 3-23. Vônmet điện từ

5. *Vônmet điện động*

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

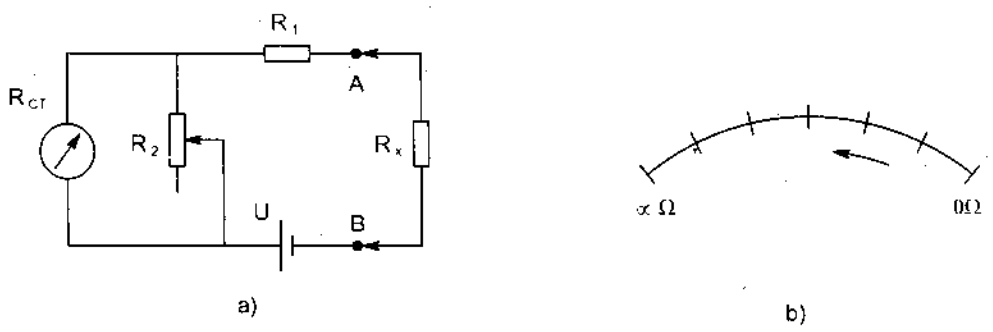


Vôn met điện động

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

3-2-8. Ôm mét

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



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

Từ sơ đồ hình 3-25 ta có:

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

R_{td} - điện trở của toàn mạch đo.

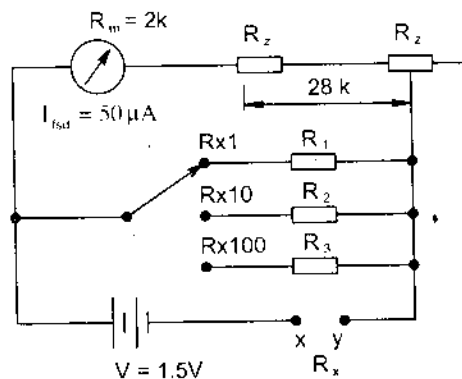
$$I = I_{max} = \frac{U}{R_{td}}$$

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

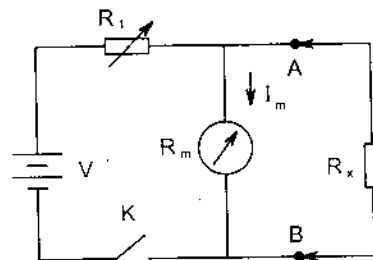
Thang đo của ôm mét được bố trí ngược với Ampemét và vônmet (hình 3 - 25b)

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

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



Hình 3-26. Ôm mét nhiều thang đo

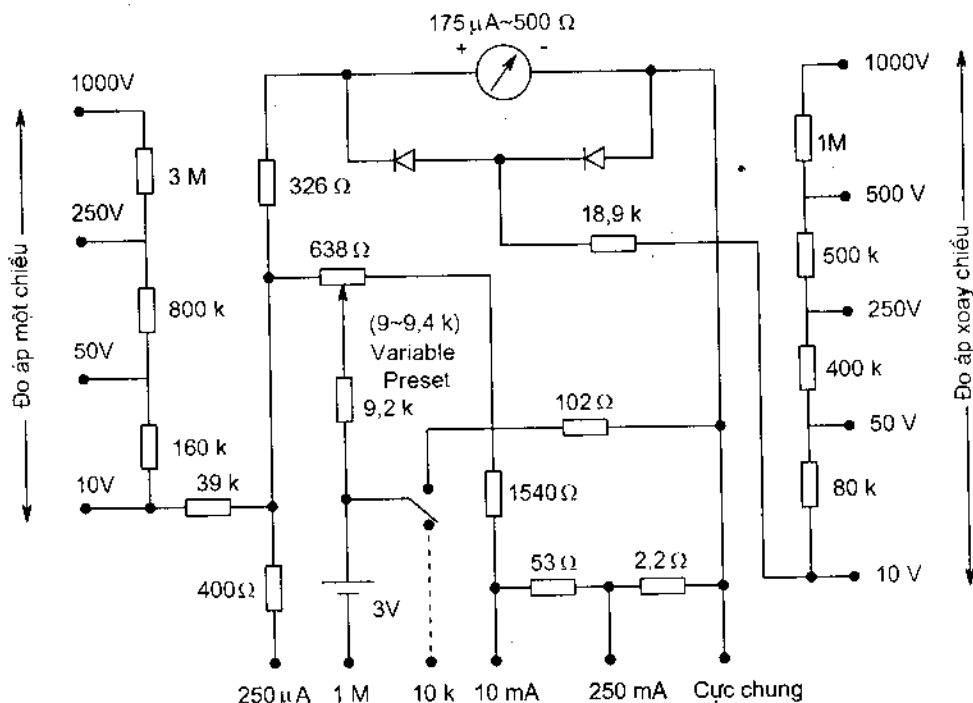


Hình 3-27. Ôm kế loại Sun

3-2-9. Vạn năng kế

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

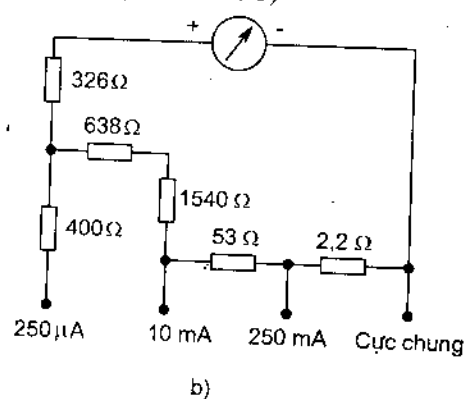
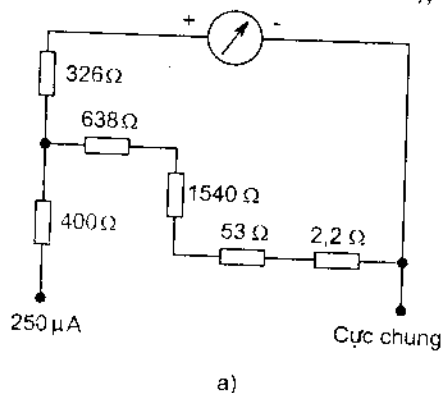
Hình 3-28 mô tả một vạn năng kế hoạt động như trên.



Hình 3-28. Vạn năng kế

Trong đó gồm các khối:

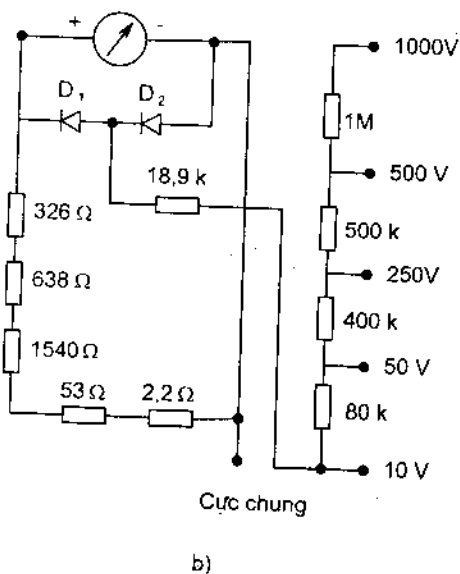
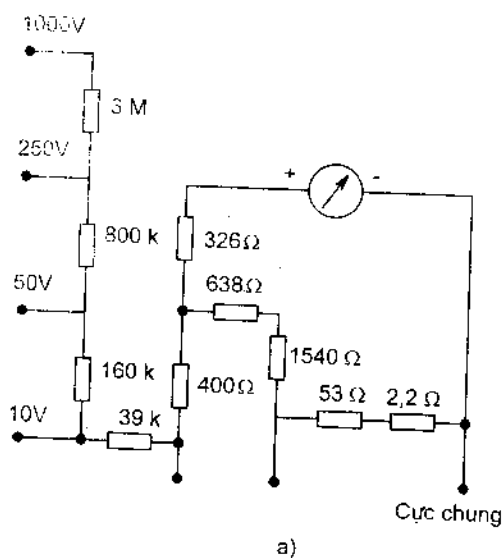
- Micro ampemét, (hình 3-29a); DC ampemét (Hình 3-29b)



Hình 3-29. a) Micro ampemét.

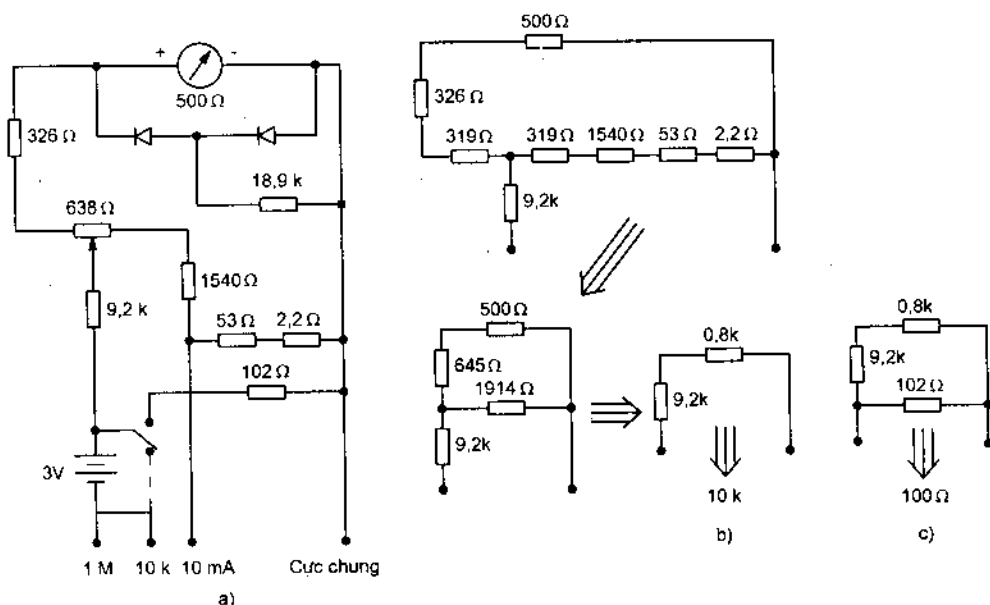
b) Ampemét 1 chiều

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



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

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



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

3-3. Vôn mét số

3.3.1. Giới thiệu chung

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

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

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

Đặc điểm của vôn mét số là:

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

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

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

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

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

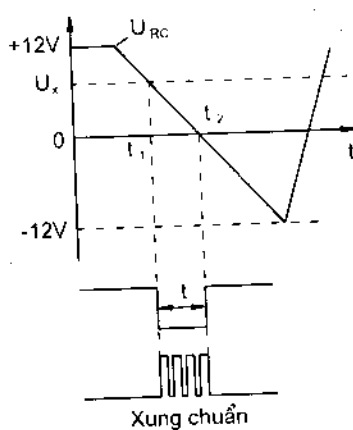
3-3-2. Vônmet số biến đổi thời gian

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

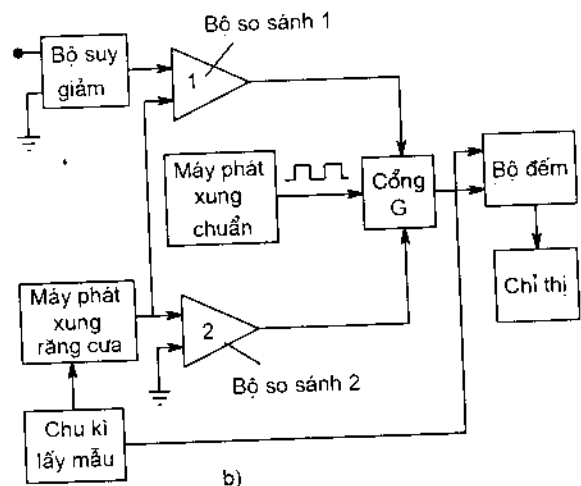
Hình 3-32a và 3-32b mô tả nguyên lí hoạt động và sơ đồ khối của loại vônmet trên.

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

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



a)



b)

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

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

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

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

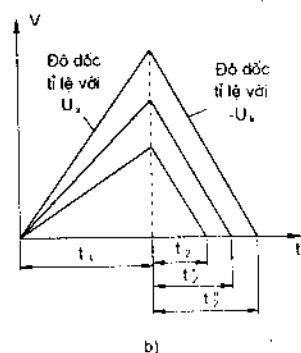
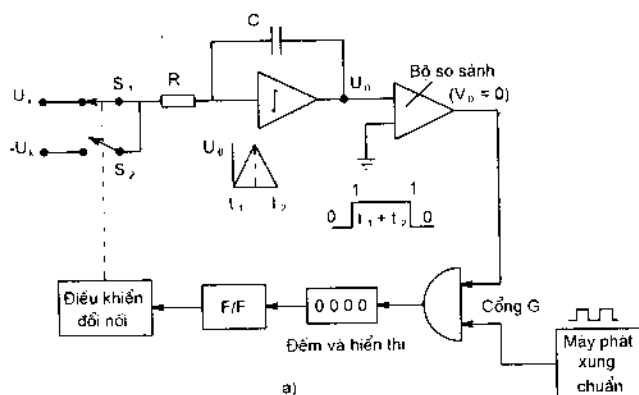
$$\text{Số xung đếm được } N = \frac{t}{T_0} = t \cdot f_0.$$

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

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

3-3-3. Vônmet số tích phân 2 nhịp

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



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

b) Biểu đồ thời gian

Nguyên lí hoạt động như sau.

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

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

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

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

Trong khoảng thời gian phóng của tụ (t_2):

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

Từ 3-11 và 3-12 ta nhận được:

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

Gọi T là chu kì của các xung chuẩn mà:

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

n_1 - số xung đếm trong thời gian t_1 và:

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

n_2 - số xung đếm trong thời gian t_2

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

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

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

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

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

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

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

3-3-4. Vôn mét số biến đổi tần số

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

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

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

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

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

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

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

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

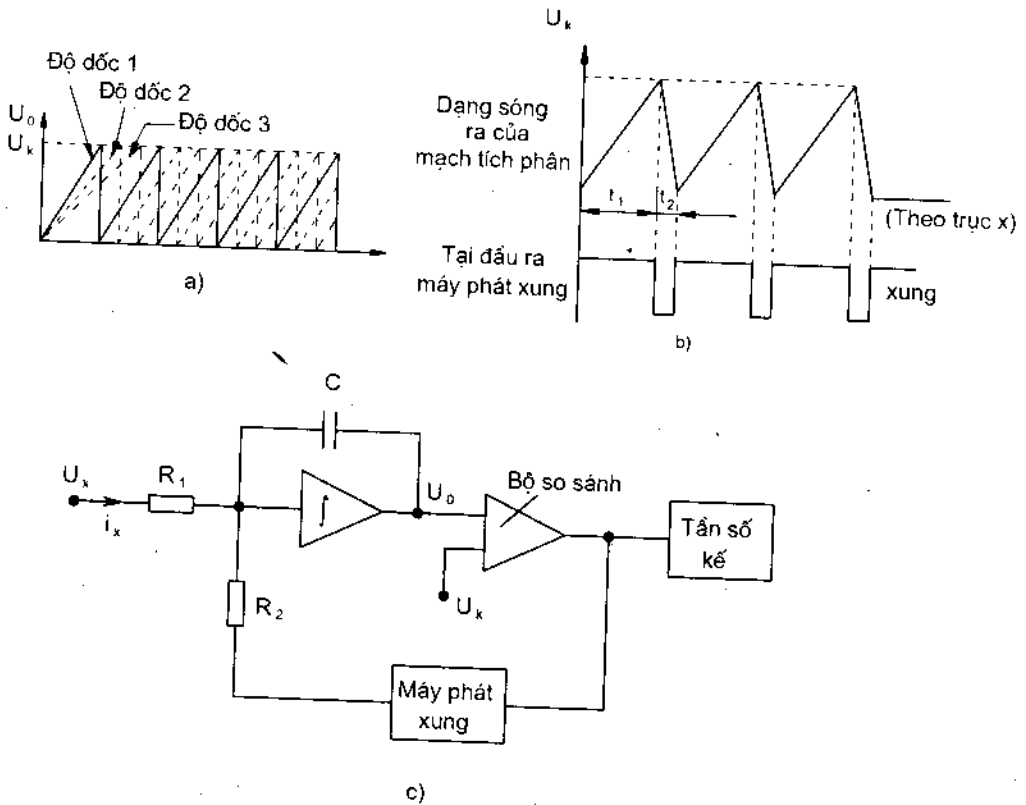
$$U_x = \frac{U_k t_2}{t_1}$$

t_1 - thời gian nạp.

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

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

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



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

3-3-5. Vạn năng kế số (A-V-O mét)

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

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

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

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

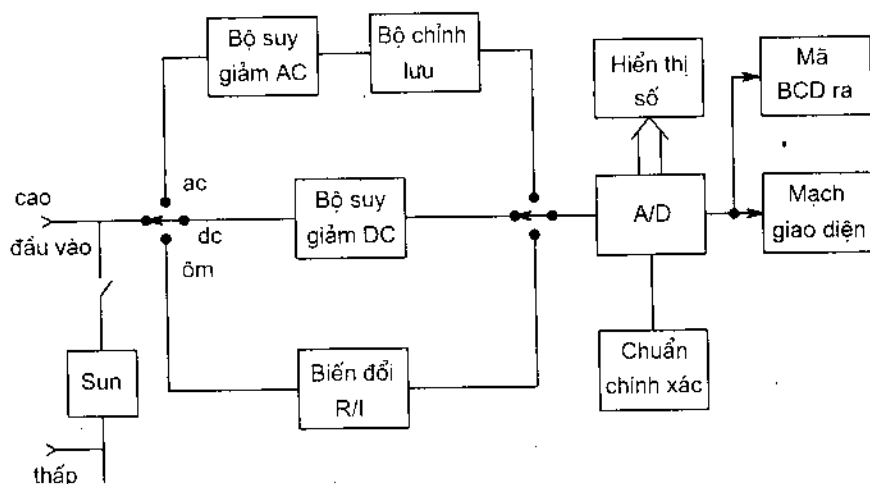
Nguyên tắc hoạt động của tần số kế số là biến các đại lượng đo như dòng điện, điện trở và điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều, chỉ thị số thể hiện kết quả dưới các dạng tương ứng với tín hiệu đo.

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

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

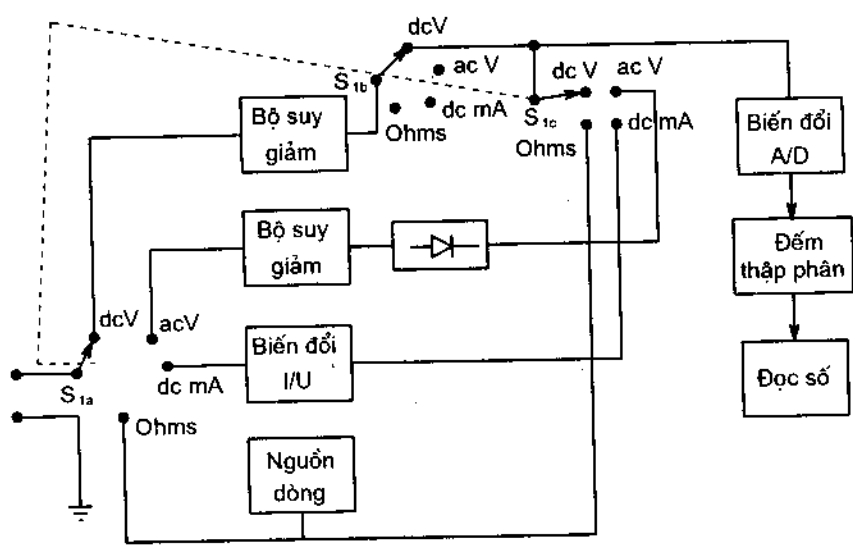
Điện áp xoay chiều qua chỉnh lưu biến thành điện áp một chiều tỷ lệ với điện áp đo xoay chiều.

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



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

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



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

Nguyên lý hoạt động như sau.

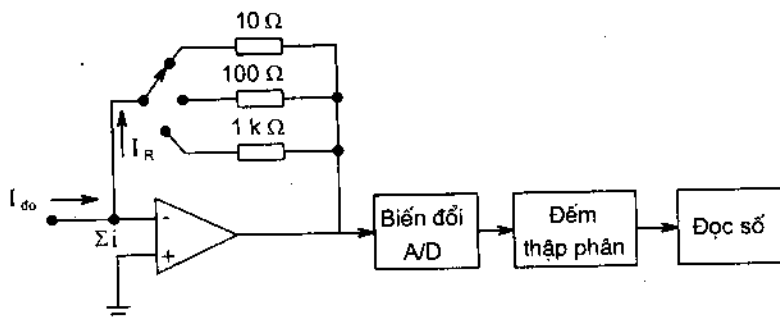
* Đo điện áp một chiều các khóa đổi nối S_{1a} ; S_{1b} ; S_{1c} đặt ở vị trí V(dc). Điện áp đo qua bộ suy giảm đầu vào đưa đến bộ biến đổi A/D và chỉ thị số.

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

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

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

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



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

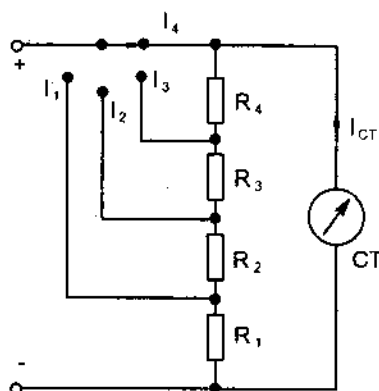
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 3

I. Lý thuyết

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

II. Bài tập

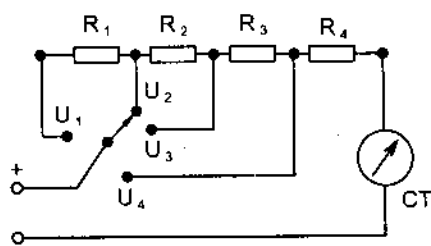
1. Một cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng điện định mức $I_{dm} = 500 \mu A$ (với độ lệch toàn thang) với sai số $\pm 0,5\%$.
- Tính giới hạn trên và dưới của dòng cần đo và sai số phần trăm khi đo các giá trị $I_1 = 500 \mu A$, $I_2 = 250 \mu A$, $I_3 = 5 \mu A$.
2. Một ampe mét có 4 thang đo như hình vẽ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



Hình 3-37

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

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



Hình 3-38

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

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

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

a. Tính giá trị điện trở phụ tương ứng.

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

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

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

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

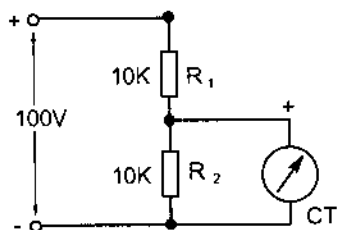
a) Giá trị điện áp rơi trên điện trở R_b khi chưa mắc vôn-mét.

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

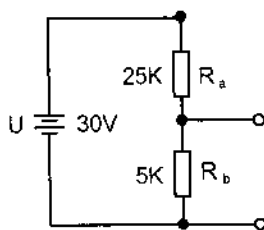
c) Điện áp rơi trên R_b khi đo bằng vôn-mét 2.

d) Sai số ở mỗi vôn-mét khi đo.

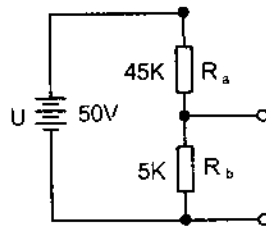
7. Xác định số chỉ của vôn-mét và sai số % đối với mỗi thang đo của vôn-mét: thang 5V; thang 10V và thang 30V nếu độ nhạy của thiết bị $S = 20K\Omega/V$ khi vôn-mét mắc trên điện trở R_b như hình vẽ (3-41).



Hình 3-39



Hình 3-40



Hình 3-41

0.00
0.00g

CHƯƠNG IV

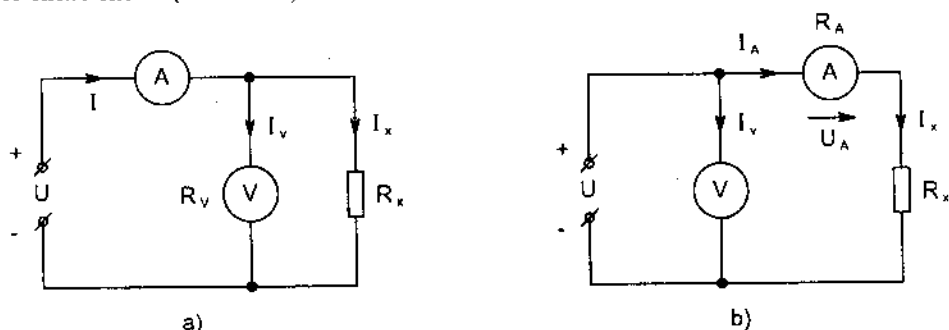
ĐO THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN

4-1. Đo điện trở

4-1-. Đo R bằng vônmet và ampemét

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

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



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

Từ hình 4-1a ta có:

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

Với hình 4-1b:

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

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

- Sai số của phép đo theo sơ đồ a

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

trong đó

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

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

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

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

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

- Sai số theo sơ đồ b:

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

ta có

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

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

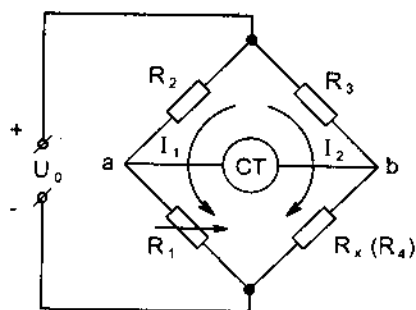
Với điện trở nhỏ có thể sử dụng sơ đồ 4-1a, khi điện trở lớn nên dùng sơ đồ 4-1b.

4-1-2. Cầu đo điện trở

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

1. Cầu đơn (Wheastone)

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



Hình 4-2. Cầu đo điện trở

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

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

Ta có:

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

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

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

Hay

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

và $R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$.

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

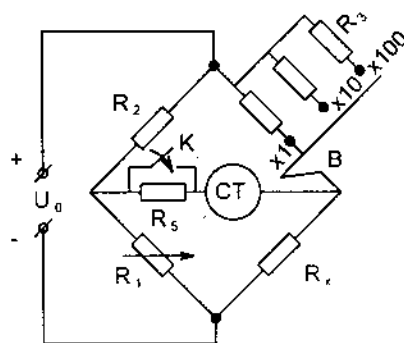
do R_3 và R_2 là các điện trở cố định nên tỷ số $\frac{R_3}{R_2} = K$; K - hệ số nhân.

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

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

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

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



Hình 4-3. Cầu hộp đo điện trở

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

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

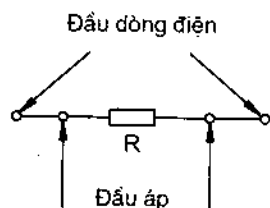
Sai số $\pm 0,05\%$ với $R = 10^5 \div 10^6 \Omega$ sai số $\pm 0,5\%$.

2. Cầu kép (Kelvin)

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

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

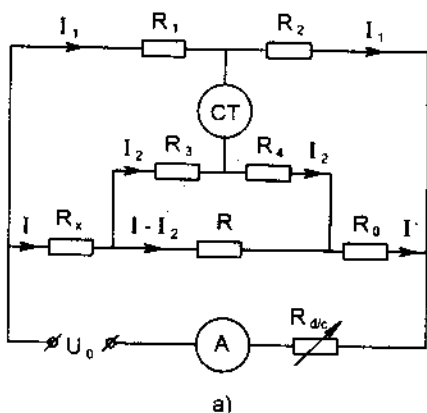
Đầu dòng nằm ở phía ngoài, các đầu áp nằm phía trong. Do điện trở đo rất nhỏ nên điện áp rơi trên các điện trở rất nhỏ, dòng điện ở đầu áp đi vào dụng cụ đo cỡ $\mu A \div mA$ nên tránh được sự sụt áp do tiếp xúc.



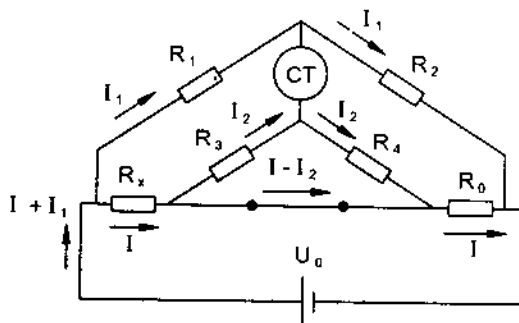
Hình 4-4. Điện trở 4 đầu

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

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



a)



b)

Hình 4-5. Cầu kép đo điện trở nhỏ

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Sơ đồ thực tế

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

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

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

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

Mặt khác ta cũng có:

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

ta chia (4-12) cho (4-11) ta được:

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

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

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

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

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

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

4-1-3. Đo điện trở lớn

1. Đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp

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

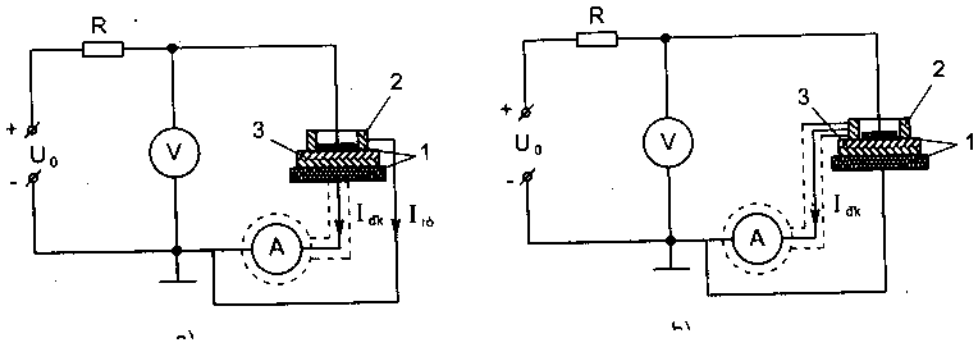
qua cách điện của thiết bị. Muốn tránh dòng điện rò cần phải sử dụng màn chắn tĩnh điện hoặc dây dẫn bọc kim.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

2. Mègôm mét

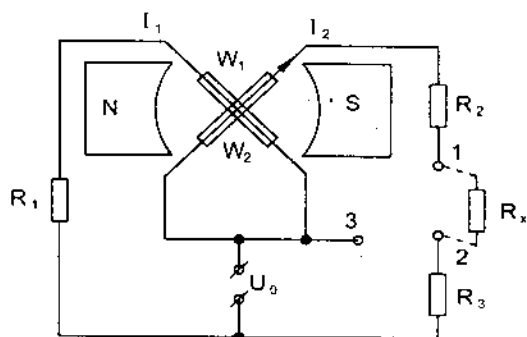
Mègôm mét là dụng cụ xách tay dùng để kiểm tra điện trở cách điện của cáp điện, các động cơ, máy phát và biến áp điện lực.

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

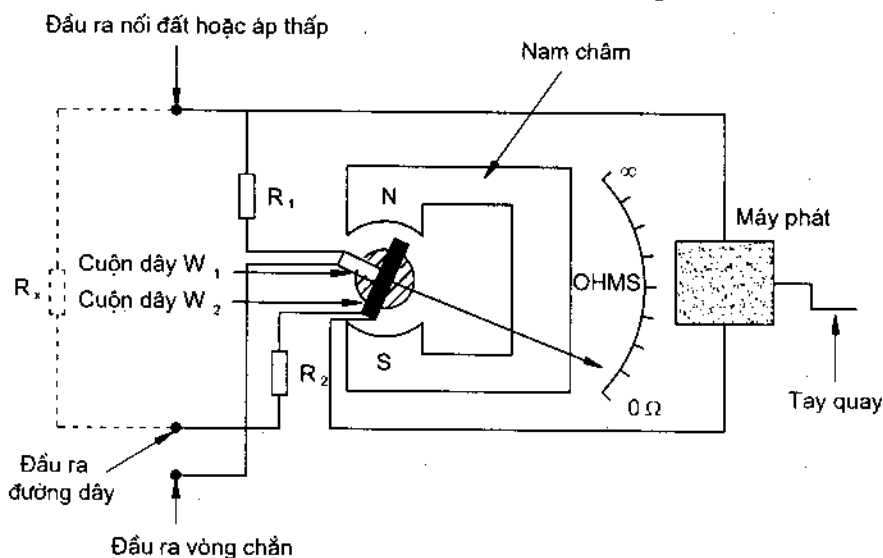
$$\text{Ta có } I_1 = \frac{U_0}{R_1 + r_1}$$

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

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



Hình 4-7. Mègôm mét từ điện



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

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

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

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

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

4.2. Cầu xoay chiều

4-2-1. Cầu đo dòng xoay chiều

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

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

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

Do đó:

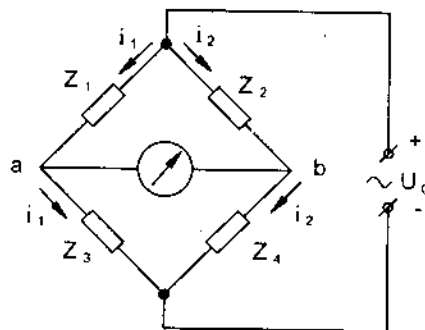
$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \quad (4-15)$$

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

Chia (4-15) cho (4-16) ta được

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

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



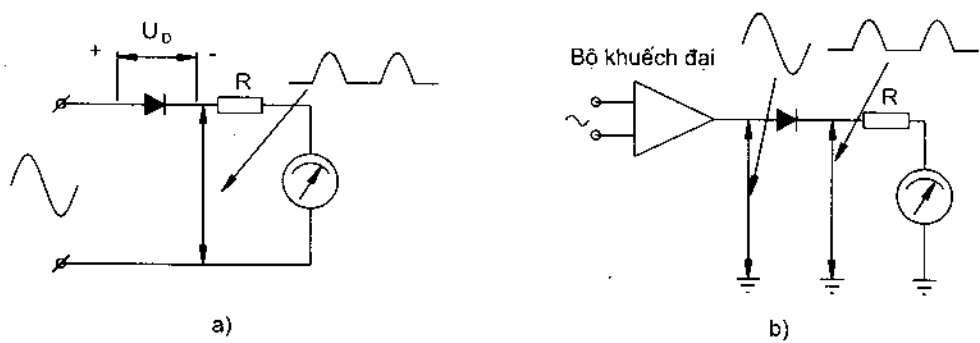
Hình 4-9. Cầu xoay chiều

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

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

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

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



Hình 4-10. Chỉ thị chỉ không xoay chiều

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

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

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

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

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

Sự tổn hao công suất là rất nhỏ và để đánh giá sự tổn hao đó người ta đo góc tổn hao tgδ.

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

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

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

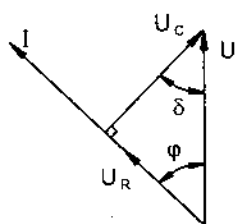
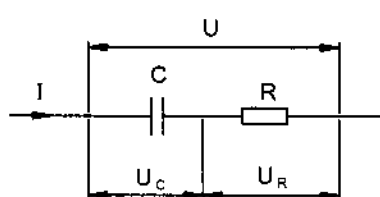
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_c} = \frac{IR}{I/\omega C} \Rightarrow \operatorname{tg} \delta = R\omega C \quad (4-20)$$

δ - góc tổn hao.

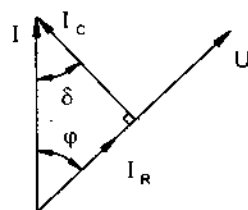
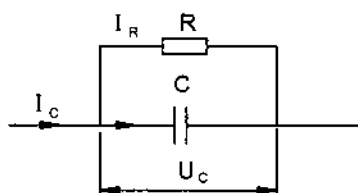
Với tụ có tổn hao nhiều ta có:

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

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



a)



b)

Hình 4-11

a) Tụ điện có tổn hao nhỏ;

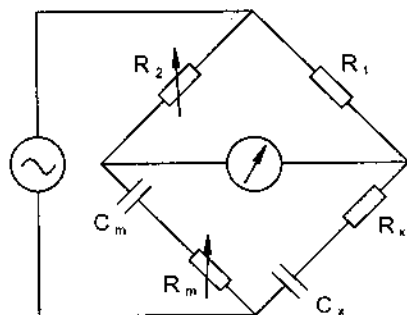
b) Tụ điện có tổn hao lớn.

4-3-2. Cầu xoay chiều đo điện dung

a) Cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ.

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

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



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

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

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

Cân bằng phần thực và kháng ta được

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

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

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

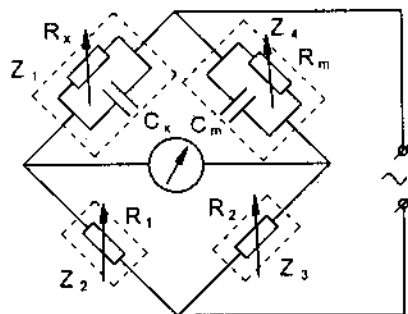
b) Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

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

Khi cầu cân bằng ta có:

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

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



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

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

Từ (4-25) ta được:

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

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

Cân bằng phần thực và phần ảo ta có:

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

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

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

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

c) Cầu Schering đo điện dung.

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

Từ sơ đồ ta có:

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

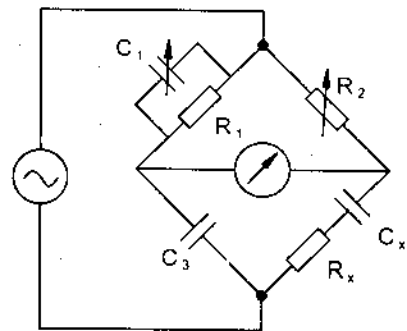
$$Z_2 = R_2; \quad Z_3 = \frac{1}{j\omega C_3};$$

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

Khi cầu cân bằng:

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

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



Hình 4-14. Cầu Shering đo điện dung

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

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

Cân bằng phần thực và phần ảo ta được

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

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

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

4-4-1. Khái niệm chung

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

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

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

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

a) Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

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

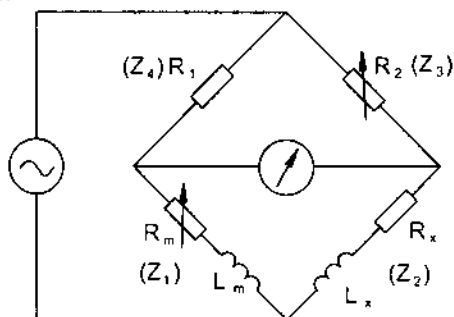
$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad (4-34)$$

trong đó $Z_1 = R_m + j\omega L_m$

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

$$Z_3 = R_2$$

$$Z_4 = R_1$$



Hình 4-15. Cầu đo điện cảm

Từ (4-34) ta có:

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

Cân bằng phần thực và ảo ta được:

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

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

b) Cầu điện cảm Maxwell

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

Khi cầu cân bằng ta có:

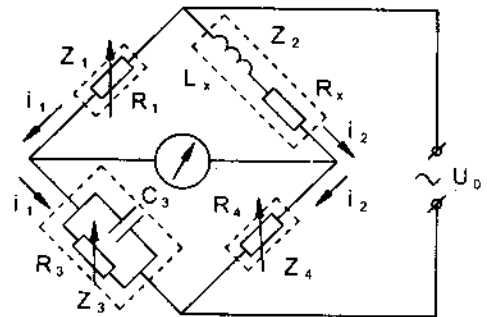
$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

$$\text{Mà } Z_1 = R_1$$

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

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

$$Z_4 = R_4.$$



Hình 4-16. Cầu điện cảm Maxwell

Từ phương trình cân bằng cầu ta được:

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

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

Cân bằng phần thực và ảo ta có:

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

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

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

c) Cầu điện cảm Hay.

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

$$Z_1 = R_1$$

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

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

$$Z_4 = R_4$$

Khi cầu cân bằng $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$.

Và ta có:

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

hay

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

và ta có:

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

Cân bằng phần thực và ảo ta được:

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

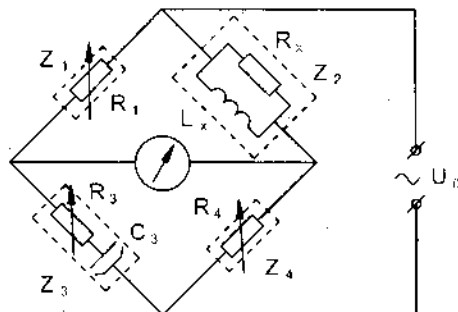
$$\frac{R_4}{j\omega L_x} = \frac{1}{j\omega C_3 R_1} \Rightarrow L_x = C_3 R_1 R_4$$

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

4-5. Cầu đo R - L - C (cầu Skeleton)

4-5-1. Giới thiệu chung

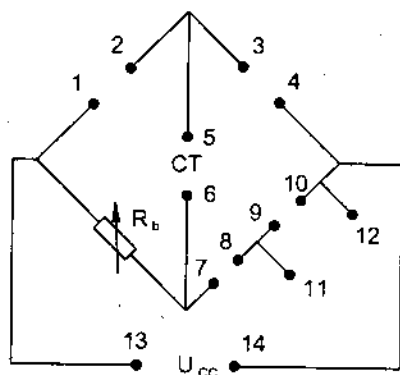
Trong thực tế để thuận lợi và dễ sử dụng trong các phòng thí nghiệm cũng như ngoài hiện trường khi đo R, L, C người ta dùng loại dụng cụ gọi là cầu đo R-C-L (cầu Skeleton).



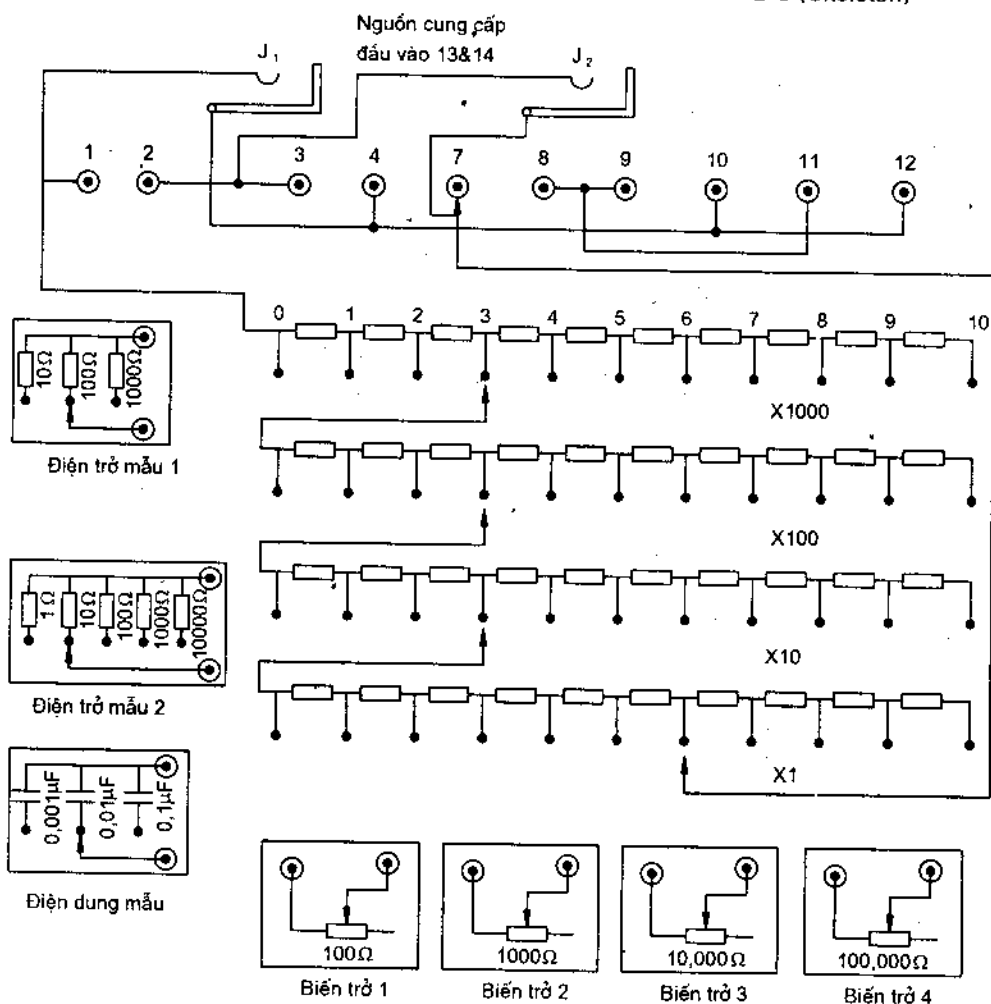
Hình 4-17. Cầu điện cảm Hay

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

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



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



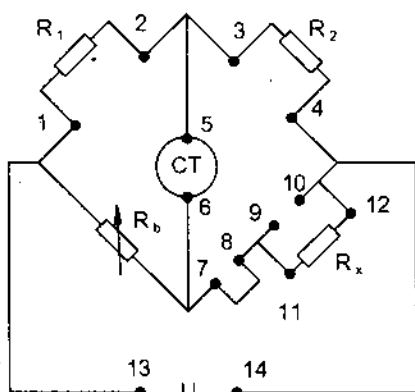
Hình 4-18b. Hộp điện trở mẫu

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

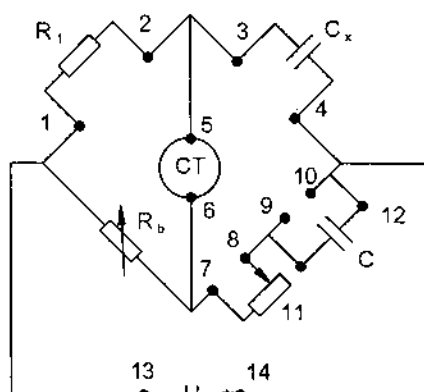
- Hình 4-19a là dạng cầu Wheaston dùng đo các điện trở (ac và dc).
- Hình 4-19b - mạch cầu đo điện dung C.
- Hình 4-19c - cầu Maxwell đo điện cảm L.

Giải đo của cầu Skeleton:

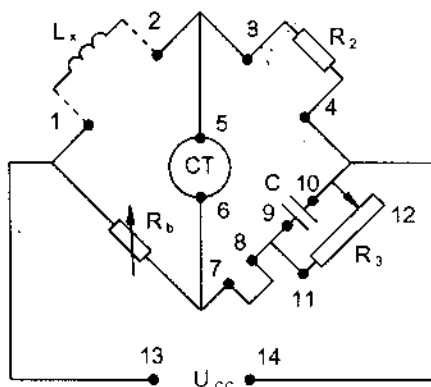
- Đo điện trở từ $10^{-3}\Omega \div 11,11 \mu\Omega$
- Đo điện dung từ $1\text{pF} \div 1111 \mu\text{F}$.
- Đo điện cảm từ $1 \mu\text{H} \div 111,1\text{H}$.



a)



b)



c)

Hình 4-19.

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

Các thiết bị phụ kèm theo gồm có:

- Hai hộp điện trở mẫu:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Đo điện trở

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

- Nối R_2 (1 Ω) với cực 3 - 4

- Điện trở R_x nối với cực 11 - 12

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

- Cực 9 - 10 để hở

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

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

- Khi cầu cân bằng ta có.

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

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

Bảng 4-1:

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

2. Đo điện dung

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

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

R_b, R_1 là Ω ; C tính theo μF .

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

Bảng 4-2:

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

3. Đo điện cảm

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

5-6.

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

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

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

Bảng 4-3

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

4-6. Đo R-L-C bằng dụng cụ số

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

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

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

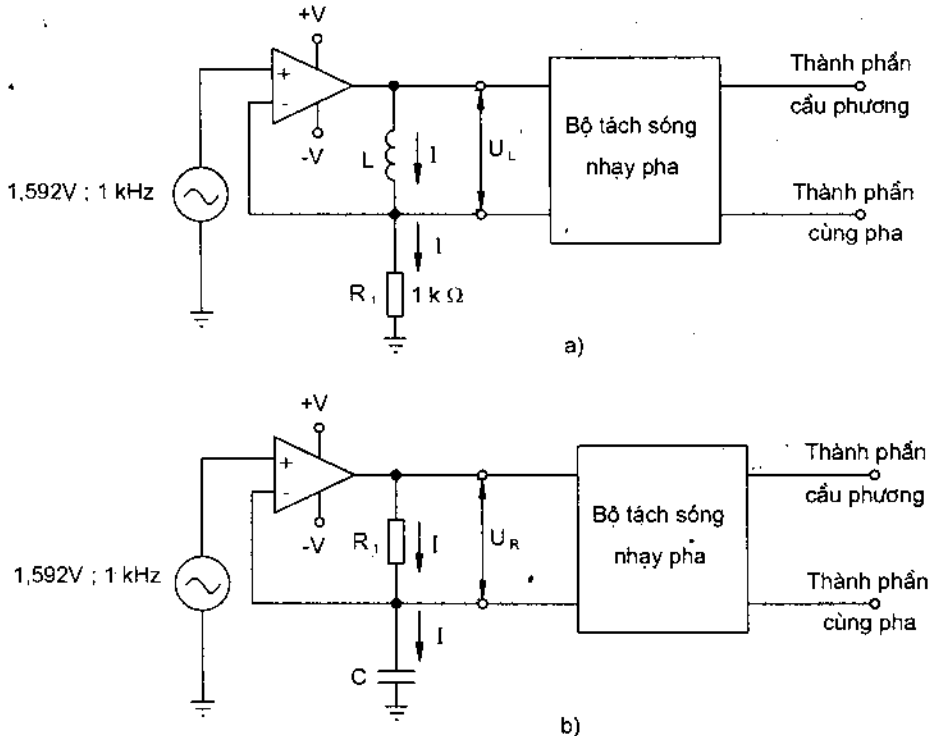
$L = 100mH$. Ta có $U_L = I \cdot \omega L = 1,592 \cdot 2\pi \cdot 1kHz \cdot 100mH = 1V$.

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

Khi $L = 300mH$ thì $U_L = 3V...$

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

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



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

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

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

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

$I = \frac{U_c}{X_c} = U_c (\omega C) = 1,592\text{V} \cdot 2\pi \cdot 1\text{kHz} \cdot 0,1\mu\text{F} = 1\text{mA}$ và $U_R = I.R_1 = 1\text{mA} \cdot 1\text{k}\Omega = 1\text{V}$. Với $C = 0,2\mu\text{F}$, $U_R = 2\text{V}$; khi $C = 0,3\mu\text{F}$ thì $U_R = 3\text{V}$...

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

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

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

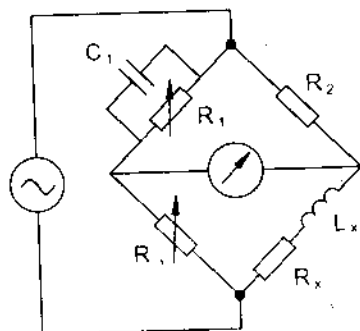
CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

I. Lý thuyết

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

II. Bài tập

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

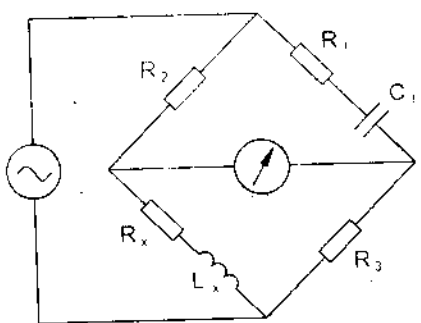


Hình 4-21

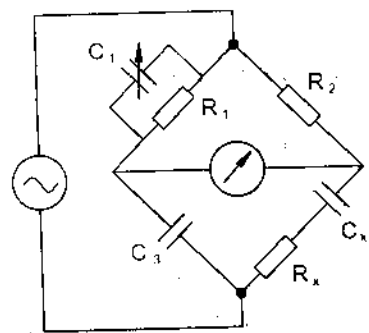
8.008.

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

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



Hình 4-22



Hình 4-23

CHƯƠNG V

ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG

5-1. Khái niệm chung

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

Trong thực tế công suất được phân thành các loại:

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

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

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

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

- Với mạch xoay chiều 1 pha:

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

p, u, i - là các giá trị tức thời.

Nếu dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì

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

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

- Khi tính công suất phản kháng ta có:

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

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

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

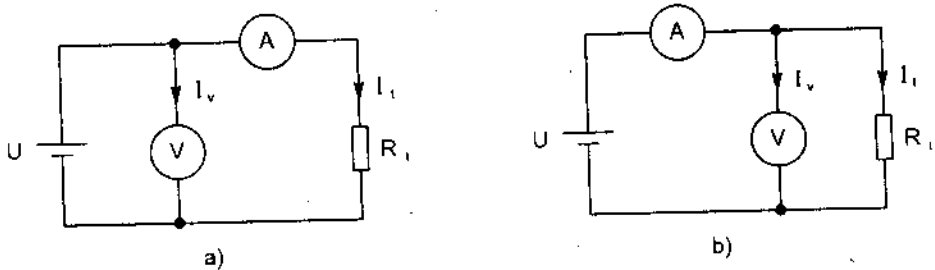
$t_1 \div t_2$ - khoảng thời gian tiêu thụ công suất P.

5-2. Đo công suất trong mạch một pha

5-2-1. Đo công suất một chiều

Phương pháp dùng vônmet và Ampemét

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



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

Với hình 5-1a ta có:

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

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

Sai số % của phép đo:

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

Từ (5-6) và (5-7) ta tính được:

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

- Từ hình 5-1b:

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

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

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

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

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

5-2-2. Oátmét điện động

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

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

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

Từ biểu thức trên ta được:

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

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

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

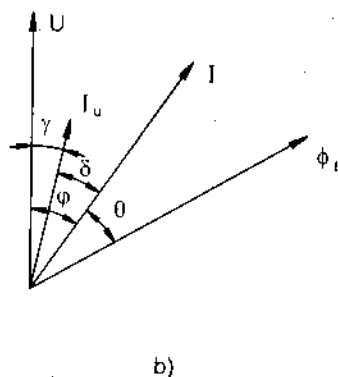
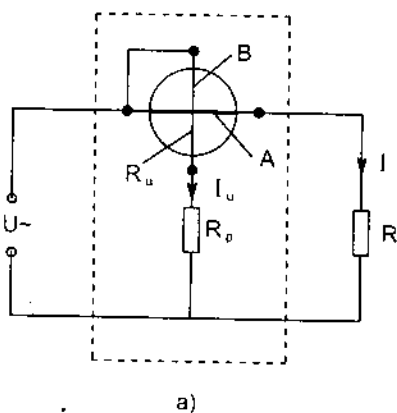
Giống như phương pháp vôn - ampe đo công suất. Tùy theo cách mắc các cuộn dòng và áp mà ta có sai số khác nhau.

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

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

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

k - hệ số



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

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

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

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

Mômen quay trung bình trong 1 chu kỳ được tính:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

k_1, k_2, k - hệ số.

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

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

5-3. Đo công suất tải 3 pha

5-3-1. Nguyên lí chung

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

Công suất thực trong mạch điện 3 pha được tính:

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

I_t, U_t - dòng điện và điện áp pha.

Nếu tải hoàn toàn đối xứng ta có:

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

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

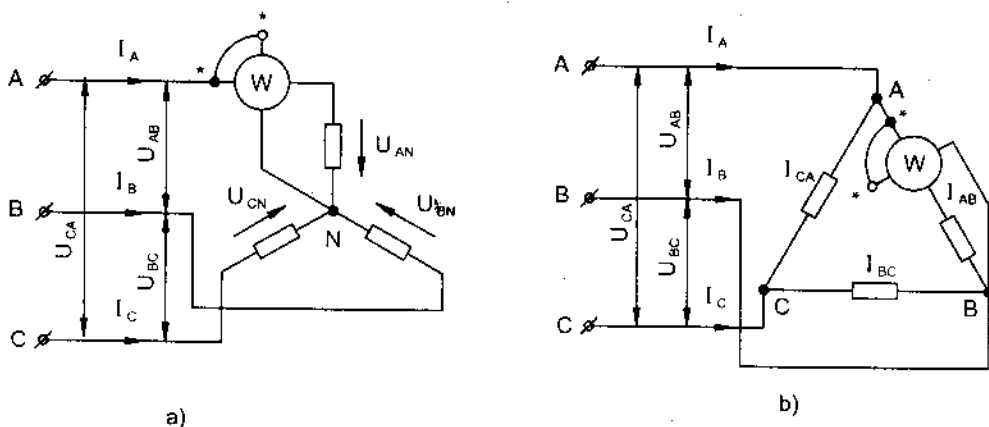
Tuy nhiên trong thực tế các phụ tải trong hệ thống điện thường không đối xứng. Để thực hiện đo công suất trong mạch 3 pha ta hãy xét trường hợp chung, đó là mạch 3 pha nối tải hình sao không có dây trung tính với phụ tải bất kỳ hình 5-3.

trong đó:

U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} - điện áp dây

U_{AN}, U_{BN}, U_{CN} - điện áp pha

I_A, I_B, I_C - dòng điện pha



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

a) Tải hình sao; b) Tải hình tam giác

Tại nút N:

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

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

Từ (5-22) ta có $I_C = -I_A - I_B$.

Thay vào (5-23) ta được:

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

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

1. Phương pháp 1 oátmét

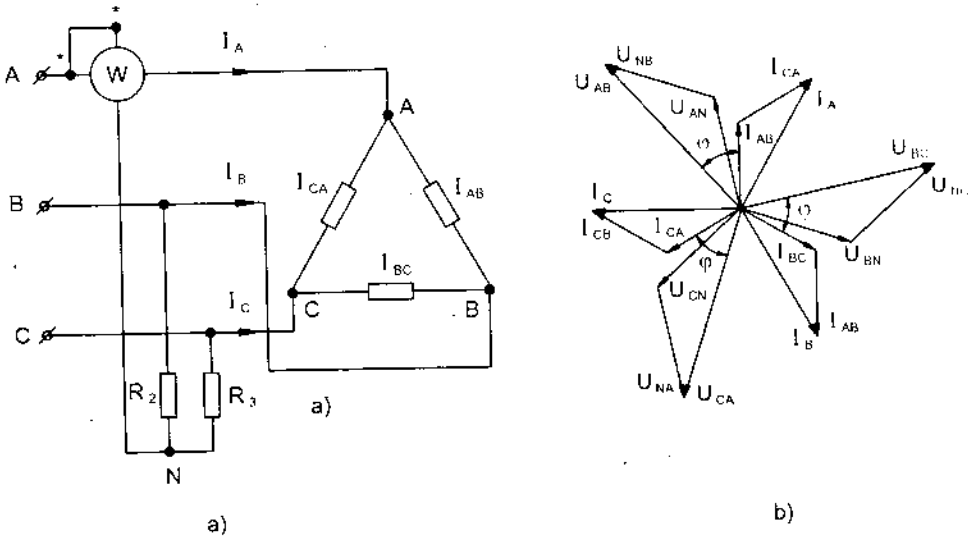
- Nếu mạch 3 pha có phụ tải hình sao đối xứng (hình 5-3a) ta chỉ cần đo công suất một pha sau đó nhân 3.

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

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

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

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



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

Ta có:

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

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

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

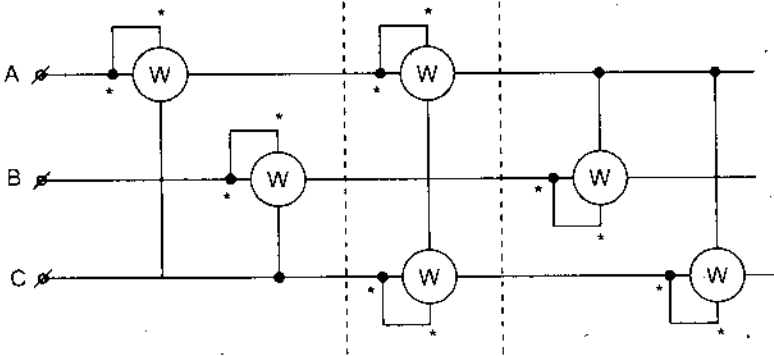
nên ta tính được: $P_A = U_{AB} I_{AB} \cos \varphi$.

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

2. Phương pháp 2 9 oátmét:

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

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



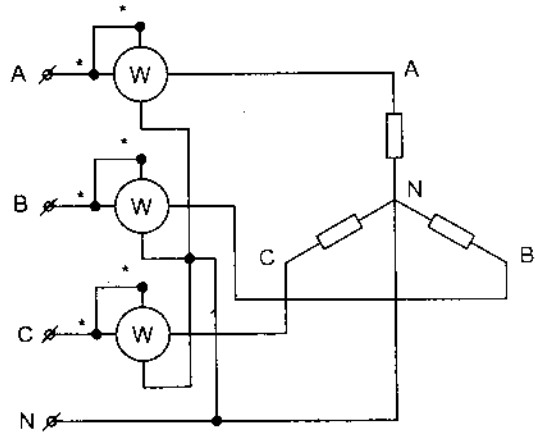
Hình 5-5. Sơ đồ mắc 2 oátmét đo công suất mạch 3 pha

3. Phương pháp 3 oátmét.

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

Sơ đồ mắc như hình 5-6, và ta có

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



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

5-4. Đo công suất phản kháng

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

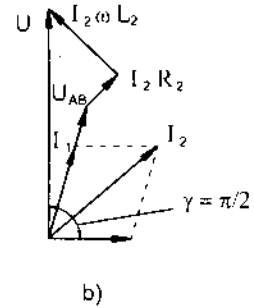
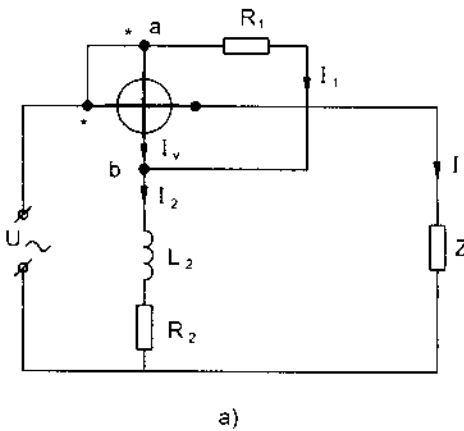
Công suất phản kháng được tính theo biểu thức:

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

5.4.1. Đo công suất phản kháng trong mạch 1 pha

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

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



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

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

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

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

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

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

Công suất phản kháng trong mạch 3 pha được tính

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

$$= U_{f_v} I_{f_q} \sin \varphi_A + U_{f_h} I_{f_h} \sin \varphi_B + U_{f_c} I_{f_c} \sin \varphi_C \quad (5-29)$$

1. Khi tải đối xứng

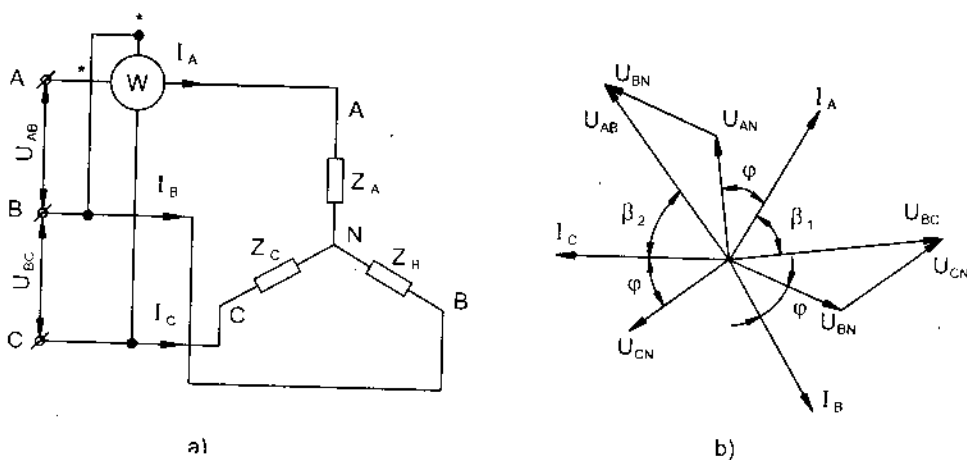
$$Q_{3f} = 3U_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3}U_d I_d \sin \varphi \quad (5-30)$$

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

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

Từ biểu đồ vec tơ (hình 5-8b) góc $I_A U_{BC} = \pi/2 - \varphi$. Do đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha đối xứng được tính

$$Q_{3f} = \sqrt{3}Q = \sqrt{3}U_d I_d \sin \varphi \quad (5-31)$$



Hình 5-8. a. Công suất phản kháng 1 oát mét; b. Biểu đồ vectơ

2. Phương pháp 2 oátmét:

Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha với 2 oátmét có thể mắc như hình 5-9.

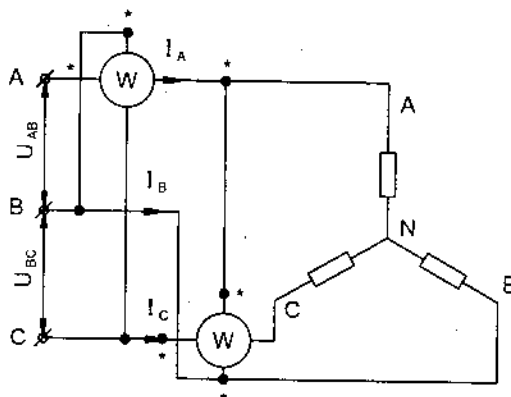
Ta có $P_1 + P_2 = U_{BC} I_A \cos \beta_1 + U_{AB} I_C \cos \beta_2$.

Ta đã biết $\beta_1 = \beta_2 = \pi/2 - \varphi$.

Do đó $P_1 + P_2 = 2 U_d I_d \sin \varphi$.
 Để nhận được giá trị thực của công suất phản kháng trong mạch 3 pha ta chỉ cần nhân thêm với hệ số $\frac{\sqrt{3}}{2}$ và ta được

$$Q_{3f} = (P_1 + P_2) \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$Q_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (5-32)$$

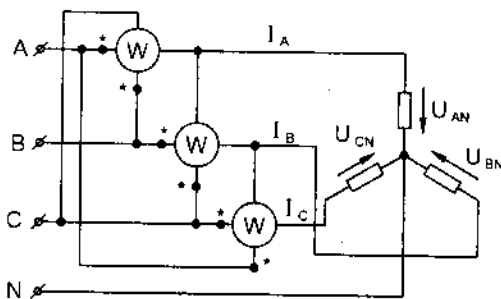


Hình 5-9. Phương pháp 2 oátmét đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha

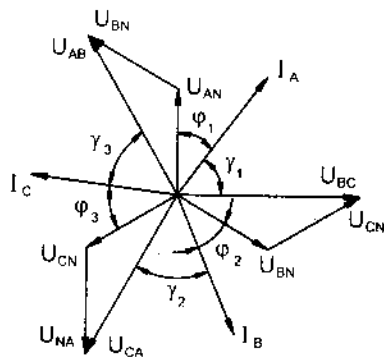
3. Phương pháp 3 oátmét

Khi phụ tải không đối xứng ta phải sử dụng 3 oátmét như hình 5-10a.

$$P_{3f} = P_1 + P_2 + P_3 = U_{BC} I_A \cos \gamma_1 + U_{CA} I_B \cos \gamma_2 + U_{AB} I_C \cos \gamma_3.$$



a)



b)

Hình 5-10. Phương pháp 3 oátmét đo công suất phản kháng

Từ biểu đồ vec tơ (hình (5-10b)) ta có

$$\gamma_1 = \pi/2 - \varphi_1; \gamma_2 = \pi/2 - \varphi_2; \gamma_3 = \pi/2 - \varphi_3.$$

Giả sử $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$ thì

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

Và công suất tổng:

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3) \quad (5-33)$$

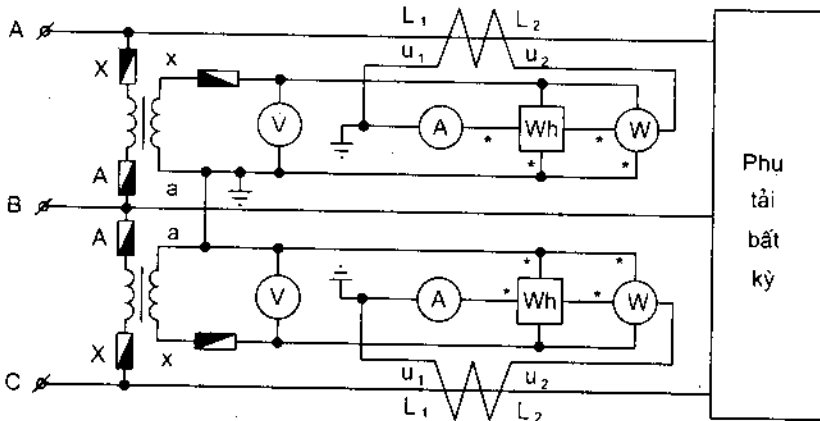
5-5. Đo công suất trong mạch điện cao áp

Đo công suất trong mạch cao áp người ta sử dụng thêm các biến dòng và biến áp đo lường.

Khi mắc biến dòng và biến áp đo lường cần chú ý.

- Dòng trong mạch dụng cụ đo cùng hướng với dòng điện khi không có biến áp.

- Các đầu của biến áp và biến dòng phải được đánh dấu



Hình 5-11. Đo công suất 3 pha trong mạch điện cao áp

- Ngắn mạch thứ cấp của biến dòng và hở mạch thứ cấp biến áp khi không sử dụng

- Nối đất mạch thứ cấp biến áp và biến dòng để đảm bảo an toàn khi đo
Kết quả đo được của dụng cụ nhân với hệ số biến dòng và biến áp.

$$P = k_I k_V UI \cos \varphi \quad (5-34)$$

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

Hình 5-11 mô tả cách mắc oátmét trong mạch 3 pha cao áp sử dụng 2 oátmét.