

CHƯƠNG 1.

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ ĐỊNH NGHĨA (2 LT)

1.1. Quá trình đo lường, định nghĩa phép đo.

Trong quá trình nghiên cứu khoa học nói chung và cụ thể là từ việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, thử nghiệm cho đến khi vận hành, sửa chữa các thiết bị, các quá trình công nghệ... đều yêu cầu phải biết rõ các thông số của đối tượng để có các quyết định phù hợp. Sự đánh giá các thông số quan tâm của các đối tượng nghiên cứu được thực hiện bằng cách đo các đại lượng vật lý đặc trưng cho các thông số đó.

- **Định nghĩa phép đo:** Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo.

Kết quả đo lường (A_x) là giá trị bằng số, được định nghĩa bằng tỉ số giữa đại lượng cần đo (X) và đơn vị đo (X_0):

$$A_x = X/X_0.$$

- **Quá trình đo lường:** quá trình đo là quá trình xác định tỉ số:

$$A_x = \frac{X}{X_0} \quad (1.1)$$

Từ (1.1) có phương trình cơ bản của phép đo: $X = A_x \cdot X_0$, chỉ rõ sự so sánh X so với X_0 , như vậy muốn đo được thì đại lượng cần đo X phải có tính chất là các giá trị của nó có thể so sánh được, khi muốn đo một đại lượng không có tính chất so sánh được thường phải chuyển đổi chúng thành đại lượng có thể so sánh được.

Ví dụ: đo được dòng điện $I=5A$, có nghĩa là: đại lượng cần đo là dòng điện I, đơn vị đo là A(ampe), kết quả bằng số là 5.

- **Đo lường học:** ngành khoa học chuyên nghiên cứu về các phương pháp để đo các đại lượng khác nhau, nghiên cứu về mẫu và đơn vị đo.

- **Kĩ thuật đo lường:** ngành kĩ thuật chuyên nghiên cứu và áp dụng các thành quả đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống.

Như vậy trong quá trình đo lường cần phải quan tâm đến: đại lượng cần đo X (các tính chất của nó), đơn vị đo X_0 và phép tính toán để xác định tỉ số (1.1) để có các phương pháp xác định kết quả đo lường A_x thỏa mãn yêu cầu.

1.2. Các đặc trưng của kỹ thuật đo.

Mục đích của quá trình đo lường là tìm được kết quả đo lường A_x , tuy nhiên để kết quả đo lường A_x thỏa mãn các yêu cầu đặt để có thể sử dụng được đòi hỏi phải nắm vững các đặc trưng của quá trình đo lường.

Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường gồm:

- Đại lượng cần đo
- Điều kiện đo
- Đơn vị đo
- Phương pháp đo
- Kết quả đo.
- Thiết bị đo
- Người quan sát hoặc các thiết bị thu nhận kết quả đo

1.2.1. Đại lượng đo.

- **Định nghĩa:** đại lượng đo là một thông số đặc trưng cho đại lượng vật lý cần đo.

Mỗi quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể chỉ quan tâm đến một thông số là một đại lượng vật lý nhất định.

Ví dụ: nếu đại lượng vật lý cần đo là dòng điện thì đại lượng cần đo có thể là giá trị biên độ, giá trị hiệu dụng, tần số ...

- **Phân loại đại lượng đo:** có thể phân loại theo bản chất của đại lượng đo, theo tính chất thay đổi của đại lượng đo, theo cách biến đổi đại lượng đo.

- **Phân loại theo bản chất của đổi tượng đo:**

- *Đại lượng đo điện:* đại lượng đo có tính chất điện, tức là có đặc trưng mang bản chất điện, ví dụ: diện tích, điện áp, dòng điện, trở kháng.
- *Đại lượng đo không điện:* đại lượng đo không có tính chất điện, ví dụ: nhiệt độ, độ dài, khối lượng ...
- *Đại lượng đo năng lượng:* là đại lượng đo mang năng lượng, ví dụ: sức điện động, điện áp, dòng điện, từ thông, cường độ từ trường ...
- *Đại lượng đo thông số:* là thông số của mạch điện, ví dụ: điện trở, điện cảm, điện dung ...
- *Đại lượng đo phụ thuộc thời gian:* chu kì, tần số ...

- **Phân loại theo tính chất thay đổi của đại lượng đo:**

- *Đại lượng đo tiền định:* đại lượng đo đã biết trước qui luật thay đổi theo thời gian.

Ví dụ: dòng điện dân dụng i là đại lượng tiền định do đã biết trước qui luật thay đổi theo thời gian của nó là một hàm hình sin theo thời gian, có tần số $\omega=2\pi f=314$ rad/s, biên độ I, góc pha ban đầu φ .

- *Đại lượng đo ngẫu nhiên:* đại lượng đo có sự thay đổi theo thời gian không theo qui luật.

Trong thực tế đa số các đại lượng đo là đại lượng ngẫu nhiên, tuy nhiên tùy yêu cầu về kết quả đo và tùy tần số thay đổi của đại lượng đo có thể xem gần đúng đại lượng đo ngẫu nhiên là tiền định hoặc phải sử dụng phương pháp đo lường thống kê.

- **Phân loại theo cách biến đổi đại lượng đo:**

- *Đại lượng đo liên tục (đại lượng đo tương tự-analog):* đại lượng đo được biến đổi thành một đại lượng đo khác tương tự với nó.

Tương ứng sẽ có dụng cụ đo tương tự, ví dụ: ampe mét có kim chỉ thị, vônmét có kim chỉ thị ...

- *Đại lượng đo số (digital):* đại lượng đo được biến đổi từ đại lượng đo tương tự thành đại lượng đo số.

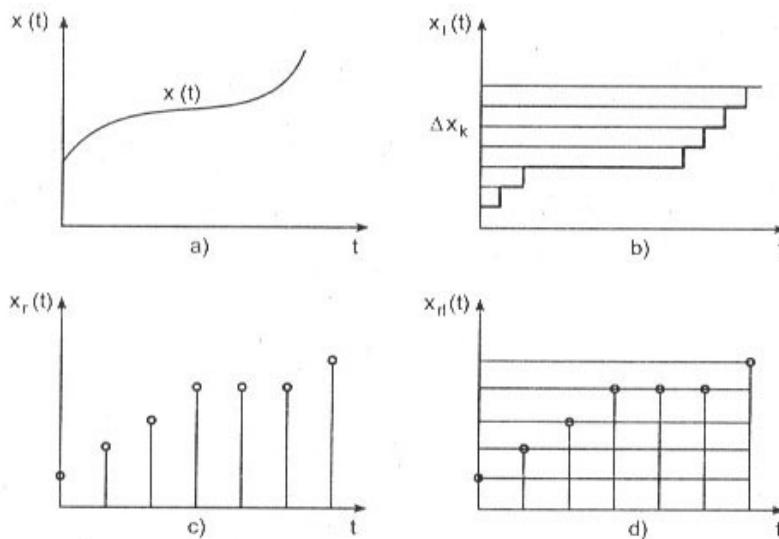
Tương ứng sẽ có dụng cụ đo số, ví dụ: ampe mét chỉ thị số, vônmét chỉ thị số...

Hầu hết các đại lượng đo sẽ được qua các công đoạn xử lý (bằng các phương tiện xử lý: sensor) để chuyển thành đại lượng đo điện tương ứng.

- **Tín hiệu đo:** Tín hiệu đo là loại tín hiệu mang đặc tính thông tin về đại lượng đo.

Trong trường hợp cụ thể thì tín hiệu đo là tín hiệu mang thông tin về giá trị của đại

lượng đo lường, trong nhiều trường hợp có thể xem tín hiệu đo là đại lượng đo.



Hình 1.1. Các dạng tín hiệu.

a. Liên tục; b. Lượng tử; c. Rời rạc; d. Rời rạc lượng tử (số).

1.2.2. Điều kiện đo.

Đại lượng đo chịu ảnh hưởng quyết định của môi trường sinh ra nó, ngoài ra kết quả đo phụ thuộc chặt chẽ vào môi trường khi thực hiện phép đo, các điều kiện môi trường bên ngoài như: nhiệt độ, độ ẩm của không khí, từ trường bên ngoài... ảnh hưởng rất lớn đến kết quả đo.

Để kết quả đo đạt yêu cầu thì phải thực hiện phép đo trong một điều kiện xác định, thường phép đo đạt kết quả theo yêu cầu nếu được thực hiện trong điều kiện chuẩn là điều kiện được qui định theo tiêu chuẩn quốc gia hoặc theo qui định nhà sản xuất thiết bị đo. Khi thực hiện phép đo luôn cần phải xác định điều kiện đo để có phương pháp đo phù hợp.

1.2.3. Đơn vị đo.

- **Định nghĩa:** 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.

Ví dụ: nếu đại lượng đo là độ dài thì đơn vị đo có thể là m (mét), inch, dặm...; đại lượng đo là khối lượng thì có các đơn vị đo là kg(kilogram), aoxo(ounce), pound... Trên thế giới người ta đã chế tạo ra những đơn vị tiêu chuẩn được gọi là các chuẩn.

Hệ thống đơn vị chuẩn quốc tế là hệ SI, thành lập năm 1960, các đơn vị được xác định: đơn vị chiều dài là mét(m); đơn vị khối lượng là kilogram(kg); đơn vị thời gian là giây(s); đơn vị cường độ dòng điện là ampe(A); đơn vị nhiệt độ là kelvin(K); đơn vị cường độ ánh sáng là nén candela(Cd); đơn vị số lượng vật chất là mol(mol).

Các đại lượng	Tên đơn vị	Kí hiệu
Độ dài	mét	m
Khối lượng	kilogram	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

1.2.4. Thiết bị đo và phương pháp đo.

- **Thiết bị đo:**

- **Định nghĩa:** thiết bị đo là thiết bị kĩ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát.

Những tính chất của thiết bị đo có ảnh hưởng đến kết quả và sai số của phép đo.

- **Phân loại:** gồm thiết bị mẫu, các chuyển đổi đo lường, các dụng cụ đo lường, các tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường..., mỗi loại thiết bị thực hiện những chức năng riêng trong quá trình đo lường.

- **Phương pháp đo:**

- **Định nghĩa:** phương pháp đo là việc phối hợp các thao tác cơ bản trong quá trình đo, bao gồm các thao tác: xác định mẫu và thành lập mẫu, so sánh, biến đổi, thể hiện kết quả hay chỉ thị.

Các phương pháp đo khác nhau phụ thuộc vào các phương pháp nhận thông tin đo và nhiều yếu tố khác như đại lượng đo lớn hay nhỏ, điều kiện đo, sai số, yêu cầu...

- **Phân loại:** trong thực tế thường phân thành hai loại phương pháp đo:
 - Phương pháp đo biến đổi thẳng.
 - Phương pháp đo so sánh.

1.2.5. Người quan sát.

- **Định nghĩa:** người quan sát là người thực hiện phép đo và gia công kết quả đo.

- **Nhiệm vụ của người quan sát khi thực hiện phép đo:**

- **Chuẩn bị trước khi đo:** phải nắm được phương pháp đo, am hiểu về thiết bị đo được sử dụng, kiểm tra điều kiện đo, phán đoán về khoảng đo để chọn thiết bị phù hợp, chọn dụng cụ đo phù hợp với sai số yêu cầu và phù hợp với môi trường xung quanh.

- **Trong khi đo:** phải biết điều khiển quá trình đo để có kết quả mong muốn.
- **Sau khi đo:** nắm chắc các phương pháp gia công kết quả đo để gia công kết quả đo. Xem xét kết quả đo đạt yêu cầu hay chưa, có cần phải đo lại hay phải đo nhiều lần theo phương pháp đo lường thống kê.

1.2.6. Kết quả đo.

- **Định nghĩa:** kết quả đo là những con số kèm theo đơn vị đo hay những đường cong ghi lại quá trình thay đổi của đại lượng đo theo thời gian.

Kết quả đo không phải là giá trị thực của đại lượng cần đo mà chỉ có thể coi là giá trị ước lượng của đại lượng cần đo, nghĩa là nó giá trị được xác định bởi thực nghiệm nhờ các thiết bị đo.

Giá trị này gần với giá trị thực mà ở một điều kiện nào đó có thể coi là giá trị thực. Để đánh giá sai lệch giữa giá trị ước lượng và giá trị thực người ta sử dụng khái niệm sai số của phép đo, là hiệu giữa giá trị thực và giá trị ước lượng. Từ sai số đo có thể đánh giá phép đo có đạt yêu cầu hay không.

Kết quả đo sẽ được gia công theo một thuật toán (angôrit) nhất định bằng tay hoặc bằng máy tính để có được kết quả mong muốn.

1.3. Phân loại phương pháp đo.

Tùy thuộc vào đối tượng đo, điều kiện đo và độ chính xác yêu cầu của phép đo mà người quan sát phải biết chọn các phương pháp đo khác nhau để thực hiện tốt quá trình đo lường.

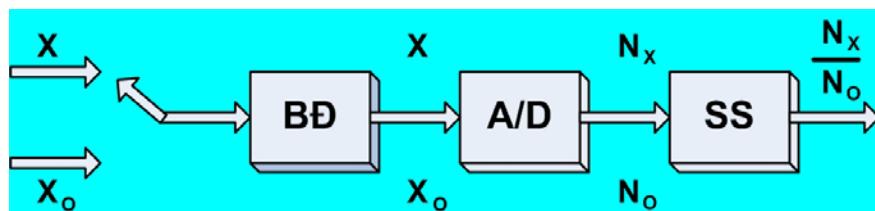
Có thể có nhiều phương pháp đo khác nhau nhưng trong thực tế thường phân thành 2 loại phương pháp đo chính là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo kiểu so sánh.

1.3.1. Phương pháp đo biến đổi thẳng.

- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu biến đổi thẳng, nghĩa là không có khâu phản hồi.

- **Quá trình thực hiện:**

- Đại lượng cần đo X qua các khâu biến đổi để biến đổi thành con số N_X , đồng thời đơn vị của đại lượng đo X_O cũng được biến đổi thành con số N_O .
- Tiến hành quá trình so sánh giữa đại lượng đo và đơn vị (thực hiện phép chia N_X/N_O),
- Thu được kết quả đo: $A_X = X/X_O = N_X/N_O$.



Hình 1.2. Lưu đồ phương pháp đo biến đổi thẳng.

Quá trình này được gọi là quá trình biến đổi thẳng, thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị đo biến đổi thẳng. Tín hiệu đo X và tín hiệu đơn vị X_O sau khi qua khâu biến đổi (có thể là một hay nhiều khâu nối tiếp) có thể được qua bộ biến đổi tương tự-số A/D để có N_X và N_O , qua khâu so sánh có N_X/N_O .

Dụng cụ đo biến đổi thẳng thường có sai số tương đối lớn vì tín hiệu qua các khâu biến đổi sẽ có sai số bằng tổng sai số của các khâu, vì vậy dụng cụ đo loại này thường được sử dụng khi độ chính xác yêu cầu của phép đo không cao lắm.

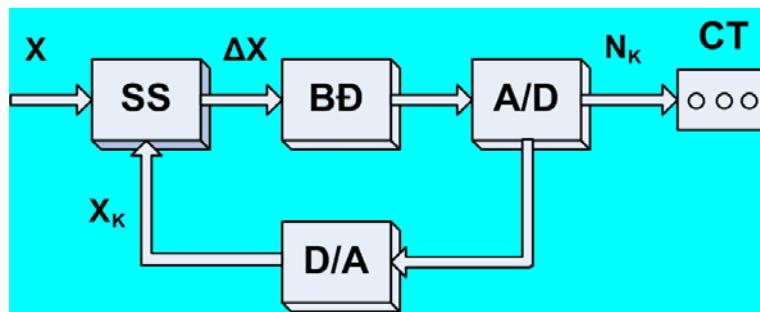
1.3.2. Phương pháp đo kiểu so sánh.

- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu mạch vòng, nghĩa là có khâu phản hồi.

- **Quá trình thực hiện:**

- Đại lượng đo X và đại lượng mẫu X_O được biến đổi thành một đại lượng vật lý nào đó thuận tiện cho việc so sánh.
- Quá trình so sánh X và tín hiệu X_K (tỉ lệ với X_O) diễn ra trong suốt quá trình đo, khi hai đại lượng bằng nhau đọc kết quả X_K sẽ có được kết quả đo.

Quá trình đo như vậy gọi là quá trình đo kiểu so sánh. Thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị đo kiểu so sánh (hay còn gọi là kiểu bù).



Hình 1.3. Lưu đồ phương pháp đo kiểu so sánh.

- **Các phương pháp so sánh:** bộ so sánh SS thực hiện việc so sánh величин đo X và величин тока với mẫu X_K , qua bộ so sánh có: $\Delta X = X - X_K$. Tùy thuộc vào cách so sánh mà sẽ có các phương pháp sau:

- **So sánh cân bằng:**

- *Quá trình thực hiện:* величина тока cần đo X và величина тока với mẫu $X_K = N_K \cdot X_0$ được so sánh với nhau sao cho $\Delta X = 0$, từ đó suy ra $X = X_K = N_K \cdot X_0$
⇒ suy ra kết quả đo:

$$A_X = X/X_0 = N_K.$$

Trong quá trình đo, X_K phải thay đổi khi X thay đổi để được kết quả so sánh là $\Delta X = 0$ từ đó suy ra kết quả đo.

- *Độ chính xác:* phụ thuộc vào độ chính xác của X_K và độ nhạy của thiết bị chỉ thị cân bằng (độ chính xác khi nhận biết $\Delta X = 0$).

Ví dụ: cầu đo, điện thế kế cân bằng ...

- **So sánh không cân bằng:**

- *Quá trình thực hiện:* величина тока với mẫu X_K là không đổi và biết trước, qua bộ so sánh có được $\Delta X = X - X_K$, do ΔX sẽ có được величина тока $X = \Delta X + X_K$ từ đó có kết quả đo:

$$A_X = X/X_0 = (\Delta X + X_K)/X_0.$$

- *Độ chính xác:* độ chính xác của phép đo chủ yếu do độ chính xác của X_K quyết định, ngoài ra còn phụ thuộc vào độ chính xác của phép đo ΔX , giá trị của ΔX so với X (độ chính xác của phép đo càng cao khi ΔX càng nhỏ so với X).

Phương pháp này thường được sử dụng để đo các величины không điện, như đo ứng suất (dùng mạch cầu không cân bằng), đo nhiệt độ...

- **So sánh không đồng thời:**

- *Quá trình thực hiện:* dựa trên việc so sánh các trạng thái đáp ứng của thiết bị đo khi chịu tác động tương ứng của величина тока X và величина тока với mẫu X_K , khi hai trạng thái đáp ứng bằng nhau suy ra $X = X_K$.

Đầu tiên dưới tác động của X gây ra một trạng thái nào đó trong thiết bị đo, sau đó thay X bằng величина тока X_K thích hợp sao cho cũng gây ra đúng trạng thái như khi X tác động, từ đó suy ra $X = X_K$. Như vậy rõ ràng là X_K phải thay đổi khi X thay đổi.

- *Độ chính xác:* phụ thuộc vào độ chính xác của X_K . Phương pháp này chính xác vì khi thay X_K bằng X thì mọi trạng thái của thiết bị đo vẫn giữ

nguyên.

Thường thì giá trị mẫu được đưa vào khắc độ trước, sau đó qua các vạch khắc mẫu để xác định giá trị của đại lượng đo X. Thiết bị đo theo phương pháp này là các thiết bị đánh giá trực tiếp như vômét, ampemét chỉ thị kim.

- **So sánh đồng thời:**

- *Quá trình thực hiện:* so sánh cùng lúc nhiều giá trị của đại lượng đo X và đại lượng mẫu X_K , căn cứ vào các giá trị bằng nhau suy ra giá trị của đại lượng đo.

Ví dụ: xác định 1 inch bằng bao nhiêu mm: lấy thước có chia độ mm (mẫu), thước kia theo inch (đại lượng cần đo), đặt điểm 0 trùng nhau, đọc được các điểm trùng nhau là: 127mm và 5 inch, 254mm và 10 inch, từ đó có được:

$$1 \text{ inch} = 127/5 = 254/10 = 25,4 \text{ mm}$$

Trong thực tế thường sử dụng phương pháp này để thử nghiệm các đặc tính của các cảm biến hay của thiết bị đo để đánh giá sai số của chúng.

Tùy các phương pháp đo trên có thể có các cách thực hiện phép đo là:

- **Đo trực tiếp:** kết quả có chỉ sau một lần đo
- **Đo gián tiếp:** kết quả có bằng phép suy ra từ một số phép đo trực tiếp
- **Đo hợp bộ:** như gián tiếp nhưng phải giả một phương trình hay một hệ phương trình mới có kết quả
- **Đo thống kê:** đo nhiều lần và lấy giá trị trung bình mới có kết quả

1.4. Phân loại thiết bị đo.

Thiết bị đo là phương tiện kỹ thuật để thực hiện quá trình đo. Thiết bị đo là sự thể hiện phương pháp đo bằng các khâu chức năng cụ thể.

Thiết bị đo được chia thành nhiều loại tùy theo chức năng, thường gồm có: mẫu, dụng cụ đo, chuyển đổi đo lường, hệ thống thông tin đo lường.

1.4.1. Mẫu.

- **Định nghĩa:** thiết bị đo để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định. Thiết bị mẫu phải có độ chính xác rất cao từ 0,001% đến 0,1% tùy theo từng cấp, từng loại.

1.4.2. Dụng cụ đo.

- **Định nghĩa:** thiết bị để gia công các thông tin đo lường và thể hiện kết quả đo dưới dạng con số, đồ thị hoặc bảng số.

1.4.3. Chuyển đổi đo lường.

- **Định nghĩa:** thiết bị biến đổi tín hiệu đo ở đầu vào thành tín hiệu ra thuận tiện cho việc truyền, biến đổi, gia công tiếp theo hoặc lưu giữ mà không cho kết quả ra trực tiếp.

- **Phân loại:** có hai loại chuyển đổi:

- **Chuyển đổi các đại lượng điện thành các đại lượng điện khác:** các bộ phân áp, phân dòng; biến áp, biến dòng; các bộ A/D, D/A...
- **Chuyển đổi các đại lượng không điện thành các đại lượng điện:** là các chuyển đổi sơ cấp- bộ phận chính của đầu đo (cảm biến - sensor): các chuyển đổi nhiệt điện trở, cặp nhiệt, chuyển đổi quang điện...

1.4.4. Hệ thống thông tin đo lường.

- **Định nghĩa:** là tổ hợp các thiết bị đo và những thiết bị phụ để tự động thu thập số liệu từ nhiều nguồn khác nhau, truyền các thông tin đo lường qua khoảng cách theo kênh liên lạc và chuyển nó về một dạng dễ tiện cho việc đo và điều khiển.

- **Phân loại:** có thể phân hệ thống thông tin đo lường thành nhiều nhóm:

- **Hệ thống đo lường:** là hệ thống để đo và ghi lại các đại lượng đo.
- **Hệ thống kiểm tra tự động:** là hệ thống thực hiện nhiệm vụ kiểm tra các đại lượng đo, cho ra kết quả lớn hơn, nhỏ hơn hay bằng chuẩn.
- **Hệ thống chẩn đoán kỹ thuật:** là hệ thống kiểm tra sự làm việc của đối tượng để chỉ ra chỗ hỏng hóc cần sửa chữa..
- **Hệ thống nhận dạng:** là hệ thống kết hợp việc đo lường, kiểm tra để phân loại đối tượng tương ứng với mẫu đã cho.
- **Tổ hợp đo lường tính toán:** có chức năng có thể bao quát toàn bộ các thiết bị ở trên, là sự ghép nối hệ thống thông tin đo lường với máy tính; có thể tiến hành đo, kiểm ra nhận dạng, chẩn đoán và cả điều khiển đối tượng.

Hệ thống thông tin đo lường có thể phục vụ cho đối tượng ở gần (khoảng cách dưới 2km) nhưng cũng có thể phục vụ cho đối tượng ở xa, khi đó cần phải ghép nối vào các kênh liên lạc. Một hệ thống như vậy gọi là hệ thống thông tin đo lường từ xa.

Bài tập:

Phần đọc thêm và tài liệu tham khảo cho sinh viên:

Phần chuẩn bị cho bài học tiếp:

1. Xem lại lý thuyết Xác suất thống kê: *luật phân bố xác suất chuẩn, luật phân bố xác suất Student.*

CHƯƠNG 2.

SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO VÀ XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO (2 LT)

Ngoài sai số của dụng cụ đo, việc thực hiện quá trình đo cũng gây ra nhiều sai số. Nguyên nhân của những sai số này gồm:

- Phương pháp đo được chọn.
- Mức độ cẩn thận khi đo.

Do vậy kết quả đo lường không đúng với giá trị chính xác của đại lượng đo mà có sai số, gọi là sai số của phép đo.

Như vậy muốn có kết quả chính xác của phép đo thì trước khi đo phải xem xét các điều kiện đo để chọn phương pháp phù hợp, sau khi đo cần phải gia công các kết quả thu được nhằm tìm được kết quả chính xác.

2.1. Sai số tuyệt đối, sai số tương đối, sai số hệ thống.

- **Sai số của phép đo:** là sai số giữa kết quả đo lường so với giá trị chính xác của đại lượng đo.

- **Giá trị thực X_{th} của đại lượng đo:** là giá trị của đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó (thường nhò các dụng cụ mẫu có cấp chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét).

Giá trị chính xác (giá trị đúng) của đại lượng đo thường không biết trước, vì vậy khi đánh giá sai số của phép đo thường sử dụng giá trị thực X_{th} của đại lượng đo.

Như vậy ta chỉ có sự đánh giá gần đúng về kết quả của phép đo. Việc xác định sai số của phép đo - tức là xác định độ tin tưởng của kết quả đo là một trong những nhiệm vụ cơ bản của đo lường học.

Sai số của phép đo có thể phân loại theo cách thể hiện bằng số, theo nguồn gây ra sai số hoặc theo qui luật xuất hiện của sai số.

Tiêu chí phân loại	Theo cách thể hiện bằng số	Theo nguồn gây ra sai số	Theo qui luật xuất hiện của sai số
Loại sai số	<ul style="list-style-type: none"> - Sai số tuyệt đối. - Sai số tương đối. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sai số phương pháp. - Sai số thiết bị. - Sai số chủ quan. - Sai số bên ngoài. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sai số hệ thống. - Sai số ngẫu nhiên.

Bảng 2.1. Phân loại sai số của phép đo.

- • **Sai số tuyệt đối ΔX :** là hiệu giữa đại lượng đo X và giá trị thực X_{th} :

$$\Delta X = X - X_{th}$$

- **Sai số tương đối γ_X :** là tỉ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị thực tính bằng phần trăm:

$$\gamma_X = \left| \frac{\Delta X}{X_{th}} \right| \cdot 100 (\%);$$

vì $X \approx X_{th}$ nên có thể có:

$$\gamma_X \approx \left| \frac{\Delta X}{X} \right| \cdot 100 \text{ (%)}$$

Sai số tương đối đặc trưng cho chất lượng của phép đo.

Độ chính xác của phép đo ε : đại lượng nghịch đảo của sai số tương đối: $\varepsilon =$

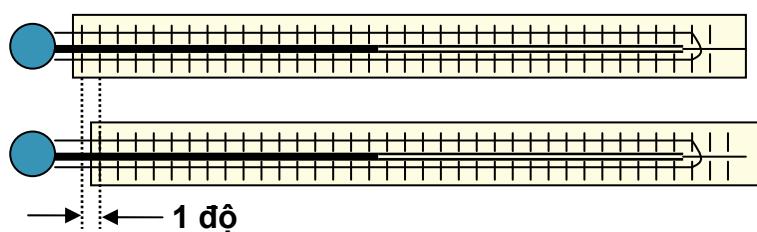
$$\left| \frac{X_{th}}{\Delta X} \right| = \frac{1}{\gamma_X}$$

- **Sai số hệ thống (systematic error)**: thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hoặc thay đổi có qui luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo.

Qui luật thay đổi có thể là một phía (dương hay âm), có chu kỳ hoặc theo một qui luật phức tạp nào đó.

Ví dụ: sai số hệ thống không đổi có thể là: sai số do khắc độ thang đo (vạch khắc độ bị lệch...), sai số do hiệu chỉnh dụng cụ đo không chính xác (chỉnh đường tâm ngang sai trong dao động ký...)...

Sai số hệ thống thay đổi có thể là sai số do sự dao động của nguồn cung cấp (pin yếu, ồn áp không tốt...), do ảnh hưởng của trường điện từ...



Hình 2.1. Sai số hệ thống do khắc vạch là 1 độ- khi đọc cần hiệu chỉnh thêm 1 độ.

2.2. Cấp chính xác.

- **Định nghĩa**: cấp chính xác của dụng cụ đo là giá trị sai số cực đại mà dụng cụ đo mắc phải.

Cấp chính xác của dụng cụ đo được qui định đúng bằng sai số tương đối qui đổi của dụng cụ đó và được Nhà nước qui định cụ thể:

$$\gamma_{qdX} = \left| \frac{\Delta X_m}{X_m} \right| \cdot 100 \text{ (%)}$$

với ΔX_m - sai số tuyệt đối cực đại, X_m - giá trị lớn nhất của thang đo.

Sau khi xuất xưởng chế tạo thiết bị đo lường sẽ được kiểm nghiệm chất lượng, chuẩn hóa và xác định cấp chính xác. Từ cấp chính xác của thiết bị đo lường sẽ đánh giá được sai số của kết quả đo.

Thường cấp chính xác của dụng cụ đo được ghi ngay trên dụng cụ hoặc ghi trong sổ tay kĩ thuật của dụng cụ đo.

2.3. Phương pháp loại trừ sai số hệ thống.

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của mỗi phép đo chính xác là phải phân tích các nguyên nhân có thể xuất hiện và loại trừ sai số hệ thống. Mặc dù việc phát hiện sai số hệ thống là phức tạp, nhưng nếu đã phát hiện thì việc loại trừ sai số hệ thống sẽ không khó khăn.

Việc loại trừ sai số hệ thống có thể tiến hành bằng cách:

- **Chuẩn bị tốt trước khi đo:** phân tích lý thuyết; kiểm tra dụng cụ đo trước khi sử dụng; chuẩn bị trước khi đo; chỉnh "0" trước khi đo...
- **Quá trình đo có phương pháp phù hợp:** tiến hành nhiều phép đo bằng các phương pháp khác nhau; sử dụng phương pháp thế...
- **Xử lý kết quả đo sau khi đo:** sử dụng cách bù sai số ngược dấu (cho một lượng hiệu chỉnh với dấu ngược lại); trong trường hợp sai số hệ thống không đổi thì có thể loại được bằng cách đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh:
 - *Lượng hiệu chỉnh:* là giá trị cùng loại với đại lượng đo được đưa thêm vào kết quả đo nhằm loại sai số hệ thống.
 - *Hệ số hiệu chỉnh:* là số được nhân với kết quả đo nhằm loại trừ sai số hệ thống.

Trong thực tế không thể loại trừ hoàn toàn sai số hệ thống. Việc giảm ảnh hưởng sai số hệ thống có thể thực hiện bằng cách chuyển thành sai số ngẫu nhiên.

2.4. Xử lý kết quả đo.

Như vậy sai số của phép đo gồm 2 thành phần: sai số hệ thống θ -không đổi hoặc thay đổi có quy luật và sai số ngẫu nhiên Δ -thay đổi một cách ngẫu nhiên không có quy luật. Trong quá trình đo hai loại sai số này xuất hiện đồng thời và sai số phép đo ΔX được biểu diễn dưới dạng tổng của hai thành phần sai số đó: $\Delta X = \theta + \Delta$.

Để nhận được các kết quả sai lệch ít nhất so với giá trị thực của đại lượng đo cần phải tiến hành đo nhiều lần và thực hiện gia công (xử lý) kết quả đo (các số liệu nhận được sau khi đo).

Sau n lần đo sẽ có n kết quả đo x_1, x_2, \dots, x_n là số liệu chủ yếu để tiến hành gia công kết quả đo.

2.4.1. Loại trừ sai số hệ thống.

Việc loại trừ sai số hệ thống sau khi đo được tiến hành bằng các phương pháp như mục 2.3:

- Sử dụng cách bù sai số ngược dấu,
- Đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh,
- ...

2.4.2. Tính toán sai số ngẫu nhiên.

Dựa vào số lớn các giá trị đo được có thể xác định quy luật thay đổi của sai số ngẫu nhiên nhờ sử dụng các phương pháp toán học thống kê và lý thuyết xác suất.

Nhiệm vụ của việc tính toán sai số ngẫu nhiên là chỉ rõ giới hạn thay đổi của sai số của kết quả đo khi thực hiện phép đo nhiều lần, như vậy phép đo nào có kết quả với sai số ngẫu nhiên vượt quá giới hạn sẽ bị loại bỏ.

- **Cơ sở toán học:** việc tính toán sai số ngẫu nhiên dựa trên giả thiết là sai số ngẫu nhiên của các phép đo các đại lượng vật lý thường tuân theo luật phân bố chuẩn (luật phân bố Gauxo-Gauss). Nếu sai số ngẫu nhiên vượt quá một giá trị nào đó thì xác suất xuất hiện sẽ hầu như bằng không và vì thế kết quả nào có sai số ngẫu nhiên như vậy sẽ bị loại bỏ.

- **Các bước tính sai số ngẫu nhiên:**

Xét n phép đo với các kết quả đo thu được là x_1, x_2, \dots, x_n .

1. Tính ước lượng kì vọng toán học m_X của đại lượng đo:

$$m_X = \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n},$$

chính là giá trị trung bình đại số của n kết quả đo.

2. Tính độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình v_i :

$$v_i = x_i - \bar{X}$$

v_i (còn gọi là sai số dư).

3. Tính khoảng giới hạn của sai số ngẫu nhiên: được tính trên cơ sở đường phân bố chuẩn: $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$; thường chọn: $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$ với :

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}},$$

với xác suất xuất hiện sai số ngẫu nhiên ngoài khoảng này là 34%.

4. Xử lý kết quả đo: những kết quả đo nào có sai số dư vi nằm ngoài khoảng $[\Delta_1, \Delta_2]$ sẽ bị loại.

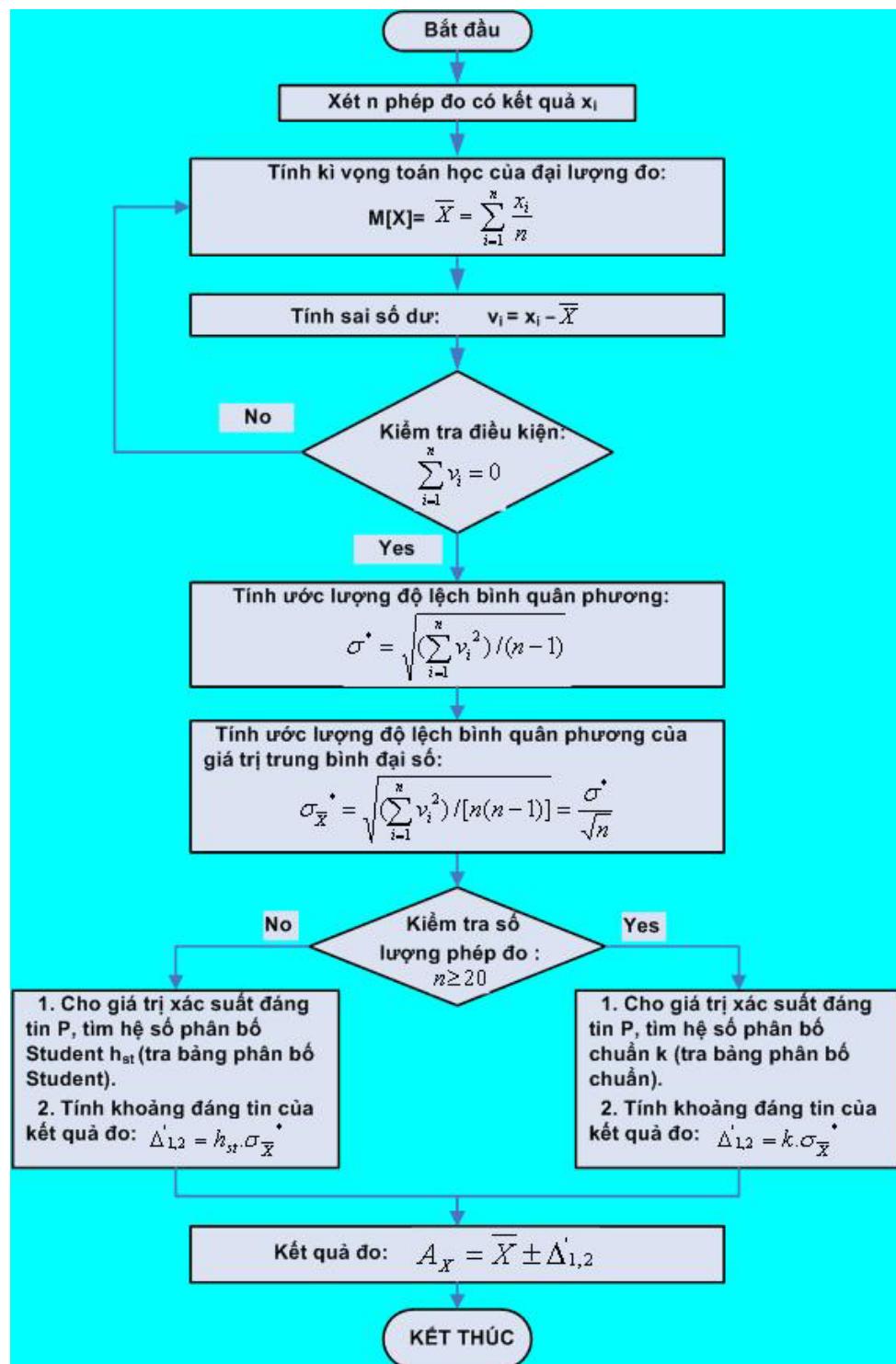
2.4.1. Tìm khoảng giá trị của kết quả đo với xác suất tin cậy P%.

- **Cơ sở toán học:** để gia công kết quả đo ta sử dụng công cụ toán học xác suất thống kê để tìm được kết quả đo trong khoảng $A_X \pm \Delta_{1,2}$ với xác suất tin cậy là P, với giả thiết nếu số phép đo $n \geq 20$ thì kết quả đo tuân theo luật phân bố xác suất chuẩn, còn nếu $2 < n < 20$ thì kết quả đo tuân theo luật phân bố xác suất Student.

- **Các bước gia công kết quả đo:**

1. Loại bỏ các kết quả đo có sai số quá lớn.
2. Loại trừ sai số hệ thống.
3. Loại trừ sai số ngẫu nhiên.
4. Thực hiện theo lưu đồ thuật toán như hình 2.2.

Kết quả sẽ nhận được kết quả đo A_X nằm trong khoảng $[\bar{X} - \Delta_{1,2}; \bar{X} + \Delta_{1,2}]$, với xác suất tin cậy P% (tức là chắc chắn P% rằng kết quả đo A_X nằm trong khoảng $[\bar{X} - \Delta_{1,2}; \bar{X} + \Delta_{1,2}]$).



Hình 2.2. Lưu đồ thuật toán quá trình gia công kết quả đo.

2.4.2. Xây dựng biểu thức giải tích của đường cong thực nghiệm.

Trong kỹ thuật đo lường thường phải thực hiện những thực nghiệm xác định đường cong qua hệ giữa hai đại lượng X và Y , hay nói cách khác là phải tìm biểu thức giải tích về mối quan hệ giữa chúng. Quá trình này còn gọi là quá trình hồi qui.

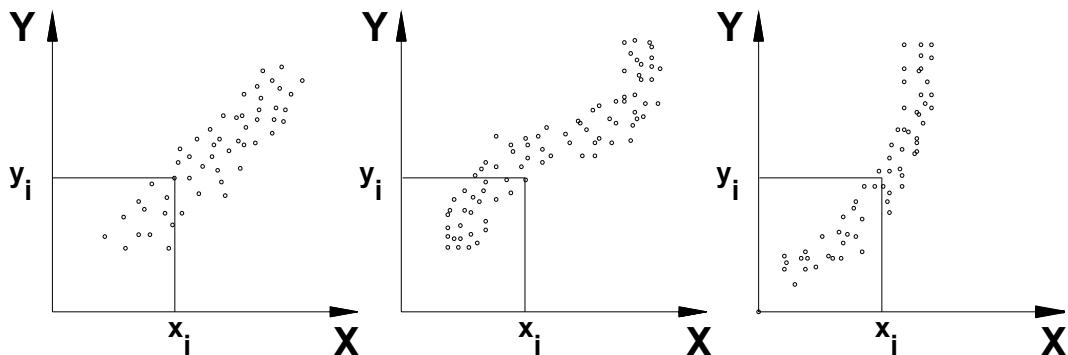
- **Tổng quan về phương pháp:** sau khi thực hiện n phép đo hai đại lượng X và Y sẽ có các kết quả đo được là x_i và y_i được xếp thành các cặp tương ứng (x_i, y_i) dưới dạng dãy số, bảng số hoặc đồ thị.

Từ các giá trị này đặc biệt là khi biểu diễn ở dạng đồ thị, bước đầu có thể đưa ra dự đoán về mối quan hệ giữa X và Y . Để rõ hơn có thể tính hệ số tương quan giữa

X và Y. Từ hệ số tương quan giữa X và Y có thể nhận xét quan hệ giữa X và Y là tuyến tính hay phi tuyến; nếu là tuyến tính thì tuyến tính mạnh hay yếu, tương quan dương hay âm; nếu là phi tuyến thì phi tuyến mạnh hay yếu, biểu thức đường cong quan hệ là bậc 2, bậc 3, bậc cao hoặc là hàm mũ, hàm lôgarit... từ đó chọn biểu thức thực nghiêm cho mối quan hệ giữa X và Y.

Dựa trên biểu thức thực nghiêm được chọn để tìm biểu thức cụ thể có thể sử dụng các phương pháp phù hợp: phương pháp bình phương cực tiểu, phương pháp kéo chỉ, phương pháp trung bình, phương pháp tuyến tính hóa... tùy yêu cầu về độ chính xác, khả năng tính toán...

$$y = f(x) ?$$



Hình 2.3. Xây dựng biểu thức giải tích của đường cong thực nghiêm.

- **Xác định hệ số tương quan giữa hai đại lượng:**

- **Vấn đề đặt ra:** xét hai đại lượng X và Y với các giá trị tương ứng biết trước là x_i và y_i được xếp thành các cặp tương ứng (x_i, y_i) . Cần xác định xem giữa đại lượng X và Y có mối tương quan nào không?
- **Phương pháp:** để xác định xem giữa đại lượng X và Y có mối tương quan nào không ta phải tìm hệ số tương quan giữa X và Y.

Từ giá trị tính được của hệ số tương quan sẽ rút ra các kết luận về mối tương quan giữa X và Y: có mối tương quan như giả thiết hay không, tương quan tuyến tính hay phi tuyến, tương quan tuyến tính mạnh hay yếu, tương quan dương hay âm...

(hướng dẫn sinh viên đọc thêm tài liệu [1], mục 3-7-1, trang 62).

- **Xây dựng phương trình và biểu thức thực nghiêm từ kết quả đo:** có các phương pháp thường dùng gồm:

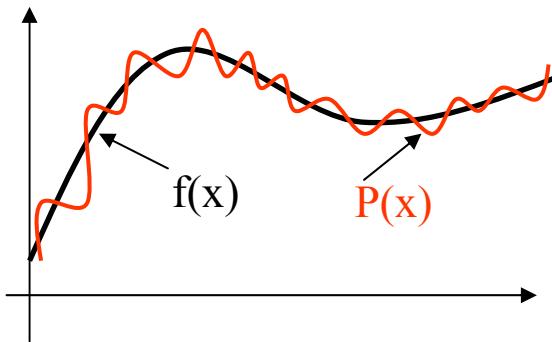
- Phương pháp bình phương cực tiểu.
- Phương pháp kéo chỉ.
- Phương pháp trung bình.
- Phương pháp tuyến tính hóa.

- **Phương pháp bình phương cực tiểu:**

- **Vấn đề đặt ra:** xét hai đại lượng X và Y với các giá trị tương ứng biết trước là x_i và y_i được xếp thành các cặp tương ứng (x_i, y_i) . Cần xác định hàm $y = f(x)$ biểu diễn mối quan hệ giữa đại lượng X và Y.

- **Phương pháp:** để xác định hàm $y = f(x)$ biểu diễn mối quan hệ giữa đại lượng X và Y ta sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu để tìm đa thức $P(x)$ thỏa mãn là đường cong gần đúng của $f(x)$ và phản ánh được quá trình vật

lý được nghiên cứu.



Các bước thực hiện:

- Chọn đa thức gần đúng $P(x)$ của $f(x)$ (dựa trên dạng đường cong thực nghiệm quan hệ X và Y, dựa trên hệ số tương quan giữa X và Y):

$$P(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m.$$

- Xác định các hệ số $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ của $P(x)$ từ điều kiện thỏa mãn $P(x)$ gần đúng với $f(x)$:

$$S = \sum_{k=1}^n [f(x_k) - P(x_k)]^2 = \sum_{k=1}^n [f(x_k) - (a_0 + a_1 x_k + a_2 x_k^2 + \dots + a_m x_k^m)]^2 = \min$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_0} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial S}{\partial a_m} = 0 \end{cases}$$

: là hệ phương trình đại số tuyến tính với $(m+1)$ ẩn (a_0 đến a_m) và $(m+1)$ phương trình, giải ra ta có giá trị của a_0, a_1, \dots, a_m từ đó suy ra $P(x)$.

- **Phương pháp kéo chỉ; Phương pháp trung bình:** áp dụng bằng cách dự đoán trước dạng đường cong quan hệ một cách tương đối chính xác sau đó tính các hệ số của đường cong. Các phương pháp này đơn giản, thuận tiện nhưng độ chính xác không cao bằng phương pháp bình phương cực tiểu.

- **Phương pháp tuyến tính hóa:** áp dụng khi đường cong thực nghiệm có dạng khác với các đa thức, ví dụ: dạng hàm mũ, dạng hàm lôgarit..., phương pháp này đưa chúng về dạng tuyến tính (đường thẳng) bằng cách đổi biến, thay các đổi số mới là một hàm của đổi số cũ, từ đó ứng dụng các phương pháp bình phương cực tiểu, kéo chỉ, trung bình để giải.

Quá trình tính toán có thể tiến hành bằng tay hoặc ứng dụng máy tính (PC) để giải bằng các chương trình tự viết hoặc bằng các phần mềm chuyên dụng: Matlab, Mathematica, Maple, Exel...

(Hướng dẫn sinh viên đọc thêm tài liệu [1], mục 3-7-2, trang 67).

Bài tập:

- Tính toán sai số tuyệt đối, sai số tương đối, cấp chính xác.**
- Gia công kết quả đo (chú ý công cụ Exel, Matlab).**

CHƯƠNG 3.

MẪU VÀ CHUẨN (2 LT)

3.1. Đơn vị đo.

- **Định nghĩa:** đơn vị đo là giá trị đơn vị tiêu chuẩn của một đại lượng đo nào đó được quốc tế qui định mà mỗi quốc gia đều phải tuân thủ.

Ví dụ: đơn vị đo chiều dài là mét(m), đơn vị đo dòng điện là ampe(A)...

- **Các hệ thống đơn vị đo:** hệ thống đơn vị đo bao gồm nhiều đơn vị đo khác nhau của nhiều đại lượng đo khác nhau để có thể tiến hành đo các đại lượng trong thực tế.

Hệ thống đơn vị đo bao gồm hai nhóm đơn vị:

- **Đơn vị cơ bản:** được thể hiện bằng các đơn vị chuẩn với độ chính xác cao nhất mà khoa học và kỹ thuật hiện đại có thể thực hiện được.
- **Đơn vị dẫn xuất:** là đơn vị có liên quan đến các đơn vị cơ bản bởi những qui luật thể hiện bằng các biểu thức.

Các đơn vị cơ bản được chọn sao cho với số lượng ít nhất có thể suy ra các đơn vị dẫn xuất cho tất cả các đại lượng vật lý.

Hiện nay có nhiều hệ thống đơn vị đo khác nhau được sử dụng tùy mỗi quốc gia, mỗi lĩnh vực áp dụng:

- Hệ SI (System International).
- Hệ CGS (Centimeter Gramme Second).
- Hệ Anh (English).
- Hệ MKS (Meter Kilogram Second).
- Hệ MKSA (Meter Kilogram Second Ampere).
- Hệ Á Đông (thước, tắc, yên, tạ, sào, mẫu...).
- Hệ phi tần (gang tay, sào đứng, bước chân...).

Nói chung trong kỹ thuật ta dùng hệ SI để thống nhất các qui định về đơn vị đo khi đánh giá kết quả cũng như chỉnh định các thông số trong dụng cụ đo.

Ví dụ: Các đơn vị cơ bản của hệ thống đơn vị đo SI:

Các đại lượng	Tên đơn vị	Kí hiệu
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	Canđêla	Cd

3.2. Thiết bị chuẩn.

- **Chuẩn:** Chuẩn là các đơn vị đo tiêu chuẩn: chuẩn độ dài, chuẩn thời gian, khối lượng, dòng điện, nhiệt độ, điện áp, điện trở, cường độ ánh sáng, số lượng vật chất (hoá học).

Tùy phạm vi áp dụng, nơi tạo ra chuẩn, độ chính xác có thể có chuẩn quốc tế, chuẩn quốc gia...

Ví dụ: - Đơn vị độ dài theo hệ đơn vị SI là mét (m), chuẩn quốc tế của nó là độ dài bằng 1650763,73 độ dài sóng phát ra trong chân không của nguyên tử Kripton 86, tương ứng với việc chuyển giữa các mức $2p^{10}$ và $5d^5$.

• *Đơn vị thời gian theo hệ đơn vị SI là giây(s), chuẩn của nó là khoảng thời gian của 9192631770 chu kì phát xạ, tương ứng với thời gian chuyển giữa hai mức gần nhất ở trạng thái cơ bản của nguyên tử Xesi (Cs) 133.*

- **Thiết bị chuẩn:** là các thiết bị đo tạo ra chuẩn.

3.3. Thiết bị mẫu.

- **Định nghĩa:** thiết bị mẫu là thiết bị đo để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định.

- **Đặc điểm:**

- Thiết bị mẫu phải có độ chính xác rất cao từ 0,001% đến 0,1% tùy theo từng cấp, từng loại.
- Mẫu chính là dụng cụ đo dùng để kiểm tra và chuẩn hoá các dụng cụ đo khác.
- Dụng cụ mẫu nói chung đắt tiền và yêu cầu bảo quản, vận hành rất nghiêm ngặt nên chỉ sử dụng khi cần thiết.
- Các dụng cụ mẫu có cấp chính xác thấp hơn dụng cụ chuẩn và thường dùng để kiểm định các dụng cụ đo sản xuất.

3.4. Cách truyền chuẩn.

Các thiết bị chuẩn có độ chính xác cao sẽ không có ý nghĩa nếu không truyền được cho các dụng cụ mẫu và dụng cụ làm việc. Vì vậy cơ quan đo lường của mỗi quốc gia đều phải quan tâm đến việc truyền chuẩn một đại lượng cho các dụng cụ mẫu hay dụng cụ đo làm việc.

- **Định nghĩa:** một hệ thống truyền chuẩn thường được thiết kế dưới dạng một hệ thống kiểm tra thiết bị đo. Nó bao gồm thiết bị, phương pháp và độ chính xác của việc truyền từ thiết bị chuẩn cho đến các thiết bị mẫu hay thiết bị làm việc.

- **Quá trình truyền chuẩn:**

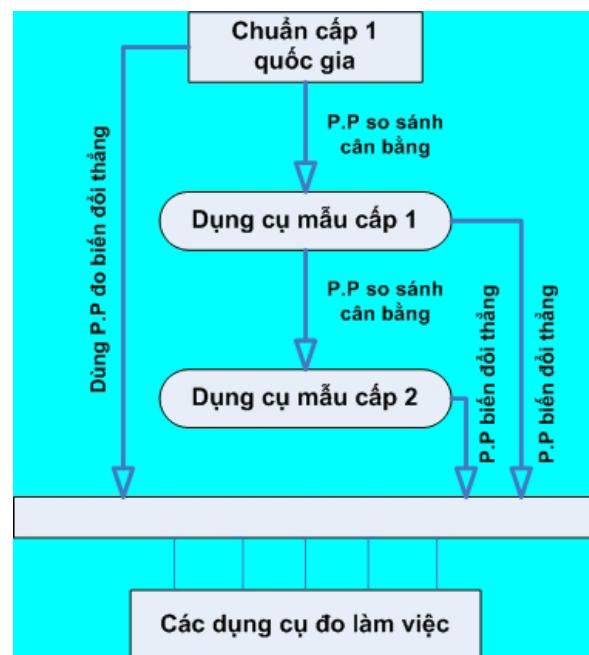
- *Từ chuẩn cấp 1 quốc gia truyền đến mẫu cấp 1 rồi đến mẫu cấp 2:* sử dụng phương pháp đo chính xác là phương pháp so sánh cân bằng, kết quả được mẫu có độ chính xác theo yêu cầu.
- *Từ chuẩn cấp 1 quốc gia đến các dụng cụ đo:* sử dụng phương pháp đo biến đổi thẳng từ chuẩn quốc gia hoặc từ thiết bị mẫu cấp 1 hoặc cấp 2, do yêu cầu về độ chính xác không cao.

Quá trình truyền chuẩn thực hiện như lưu đồ hình 3.1.

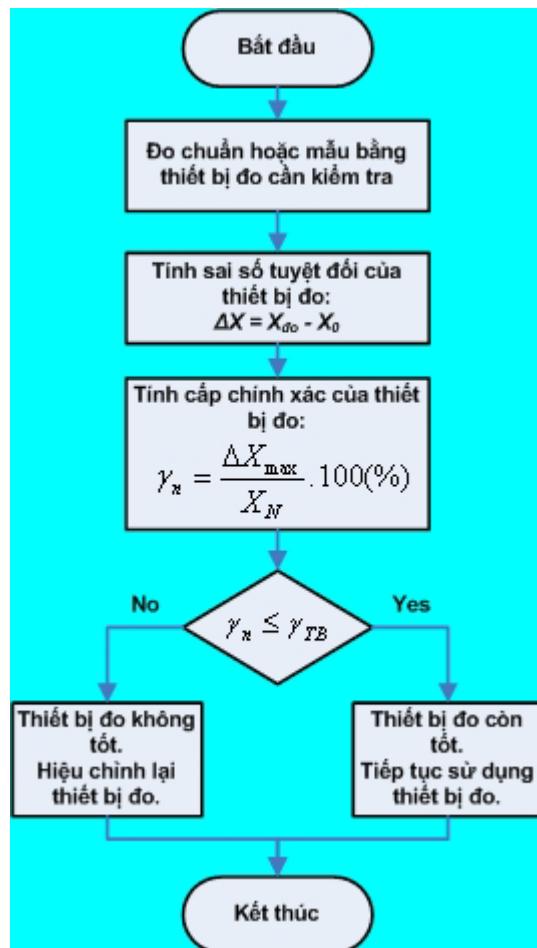
- **Kiểm tra thiết bị đo:** là quá trình xác định sai số của thiết bị đo và hiệu chỉnh chúng để đảm bảo độ chính xác khi đưa vào sử dụng.

Để kiểm tra thiết bị đo có thể áp dụng các phương pháp:

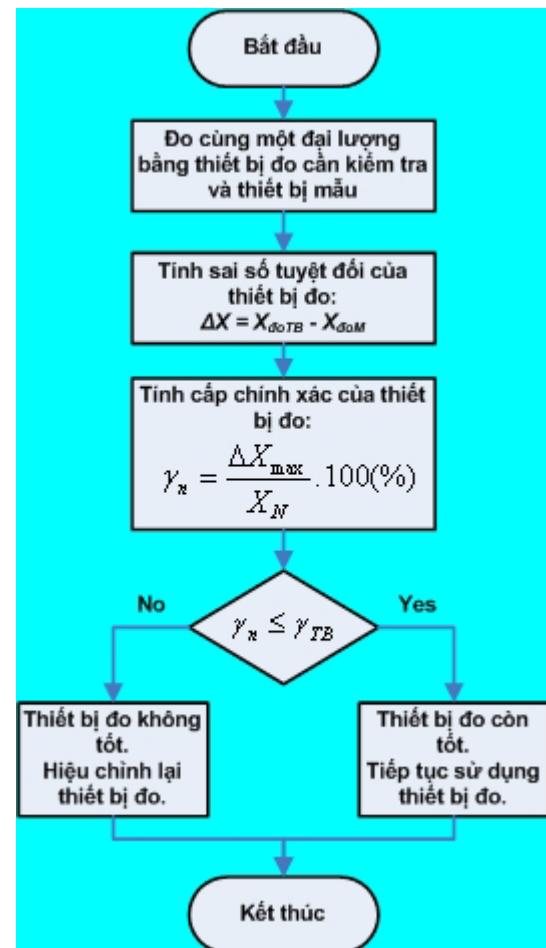
- So sánh với giá trị của chuẩn hay mẫu: đo chuẩn hay mẫu bằng thiết bị đo được kiểm tra, tính cấp chính xác của dụng cụ đo γ_n và so sánh với cấp chính xác ghi trên dụng cụ đo γ_{TB} từ đó suy ra thiết bị đo còn sử dụng được hay phải hiệu chỉnh. Quá trình kiểm tra như lưu đồ hình 3.2.
- Sử dụng dụng cụ đo với độ chính xác cao (thiết bị mẫu), so sánh chỉ số của dụng cụ được kiểm tra với thiết bị mẫu: sử dụng thiết bị cần kiểm tra và thiết bị mẫu (phải chính xác hơn thiết bị đo cần kiểm tra ít nhất 2 cấp) để đo cùng một đại lượng, tính cấp chính xác của dụng cụ đo γ_n và so sánh với cấp chính xác ghi trên dụng cụ đo γ_{TB} từ đó suy ra thiết bị đo còn sử dụng được hay phải hiệu chỉnh. Quá trình kiểm tra như lưu đồ hình 3.3.
- Sử dụng phương thức đo gián tiếp hay hợp bộ để tạo ra các số liệu hiệu chỉnh dụng cụ đo được kiểm tra.
- Sử dụng các hệ thống kiểm tra tự động.



Hình 3.1. Hệ thống truyền chuẩn.



Hình 3.2. Kiểm tra thiết bị đo sử dụng phương pháp so sánh với giá trị của chuẩn hay mẫu.



Hình 3.3. Kiểm tra thiết bị đo sử dụng phương pháp sử dụng dụng cụ đo với độ chính xác cao.

CHƯƠNG 5.

CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ (6 LT)

5.1. Cơ cấu chỉ thị của dụng cụ đo tương tự.

Dụng cụ đo tương tự có số chỉ là đại lượng liên tục tỉ lệ với đại lượng đo liên tục. Thường sử dụng các chỉ thị cơ điện có tín hiệu vào là dòng điện, tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ hoặc bút ghi trên giấy (dụng cụ tự ghi). Những dụng cụ đo này là dụng cụ đo biến đổi thẳng: đại lượng cần đo X như điện áp, dòng điện, tần số, góc pha ... được biến đổi thành góc quay α của phần động (so với phần tĩnh), tức là biến đổi từ năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học. Từ đó có biểu thức quan hệ:

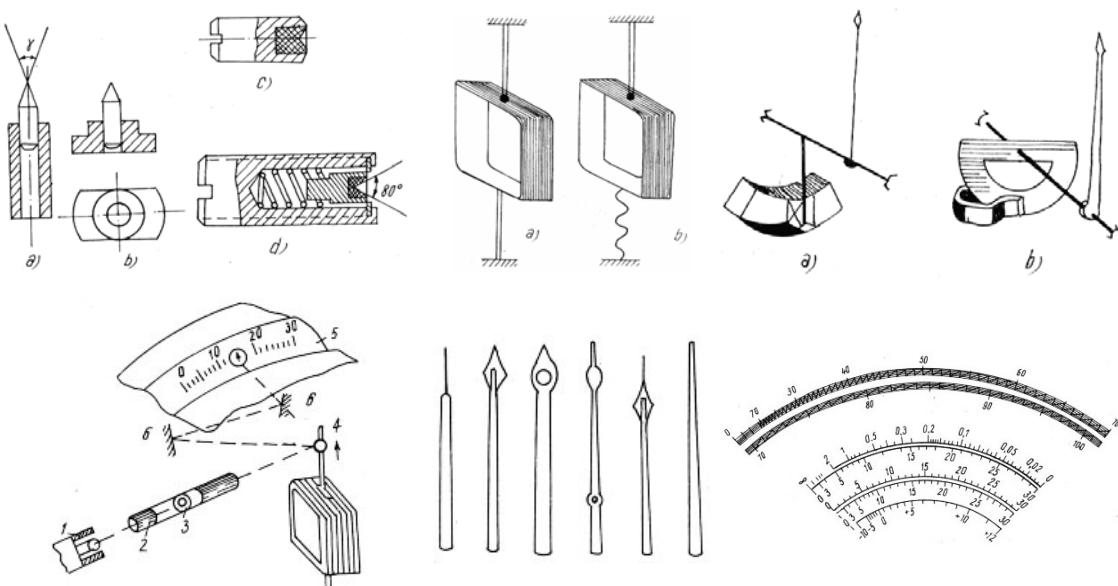
$$\alpha = f(X)$$

với X là đại lượng điện.

Các cơ cấu chỉ thị này thường dùng trong các dụng cụ đo các đại lượng: dòng điện, điện áp, công suất, tần số, góc pha, điện trở...của mạch điện một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp.

5.1.1. Cơ sở chung của các chỉ thị cơ điện.

a) Cấu tạo chung:



Hình 5.1. Các bộ phận và chi tiết chung của cơ cấu chỉ thị cơ điện.

- Trục và trụ: đảm bảo cho phần động quay trên trục như: khung dây, kim chỉ, lò xo cản...
- Lò xo phản kháng hoặc dây căng và dây treo: tạo ra mômen cản (có mômen cản riêng D) và dẫn dòng điện vào khung dây. Dây căng và dây treo được sử dụng khi cần giảm mômen cản để tăng độ nhạy của cơ cấu chỉ thị.
- Kim chỉ: được gắn vào trục quay, độ di chuyển của kim trên thang chia độ tỉ lệ với góc quay α .
- Thang đo: là mặt khắc độ khắc giá trị của đại lượng đo.

- Bộ phận cảm biến: có tác dụng rút ngắn quá trình dao động của phần động, xác lập vị trí cân bằng nhanh chóng.

(*hướng dẫn SV đọc thêm sách [1], tr. 86-90*).

b) Nguyên lý làm việc chung: khi cho dòng điện vào một cơ cấu chỉ thị cơ điện, do tác động của từ trường (do nam châm vĩnh cửu hoặc do dòng điện đưa vào sinh ra) lên phần động của cơ cấu đo sẽ sinh ra mômen quay M_q tỷ lệ với độ lớn của dòng điện I đưa vào cơ cấu:

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

trong đó: W_e : năng lượng điện từ trường

α : góc lệch của phần động

Nếu đặt vào trực của phần động một lò xo cảm, khi phần động quay lò xo bị xoắn lại sinh ra mômen cảm M_c tỷ lệ thuận với góc lệch α và được tính:

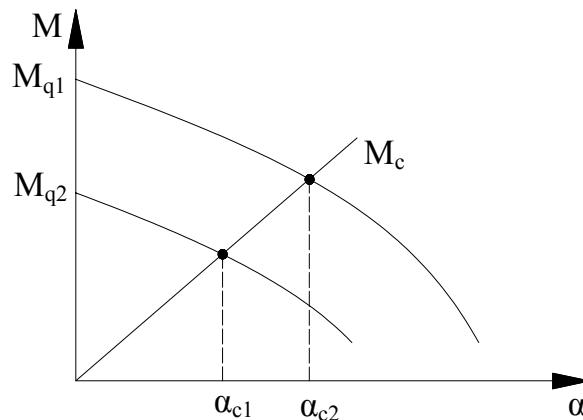
$$M_c = D \cdot \alpha$$

trong đó D là hệ số phụ thuộc vào vật liệu và kích thước lò xo.

Khi mômen cảm bằng mômen quay, phần động của cơ cấu dừng lại ở vị trí cân bằng:

$$\begin{aligned} M_q = M_c &\Leftrightarrow \frac{dW_e}{d\alpha} = D \cdot \alpha \\ &\Leftrightarrow \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{dW_e}{d\alpha} \quad (5.1) \end{aligned}$$

Phương trình (5.1) là phương trình đặc tính thang đo, cho biết đặc tính thang đo và tính chất của cơ cấu chỉ thị.



Hình 5.2. Xác định vị trí cân bằng α_c bằng đồ thị.

Vị trí cân bằng α_c có thể xác định bằng đồ thị như hình 5.2: ứng với các dòng điện I khác nhau có các góc lệch α khác nhau tương ứng với giá trị đo được.

Ngoài hai mômen cơ bản trên thực tế phần động của cơ cấu chỉ thị cơ điện còn chịu tác dụng của nhiều mômen khác: mômen ổn định, mômen ma sát, mômen cảm biến, mômen động lượng...với các tính chất và tác dụng khác nhau.

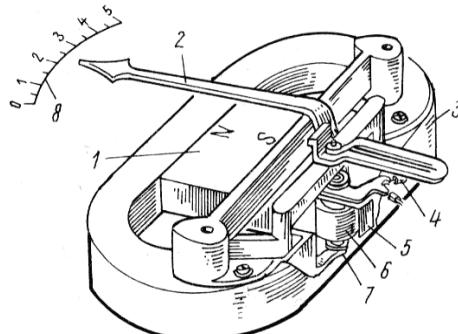
(*hướng dẫn SV đọc thêm sách [1], tr. 84-86*).

5.1.2. Cơ cấu chỉ thị từ điện, lôgômét từ điện (Permanent Magnet Moving Coil).

a) **Cấu tạo chung:** gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** gồm: nam châm vĩnh cửu 1; mạch từ và cực từ 3 và lõi sắt 6 hình thành mạch từ kín. Giữa cực từ 3 và lõi sắt 6 có có khe hở không khí đều gọi là khe hở làm việc, ở giữa đặt khung quay chuyển động.

- **Phần động:** gồm: khung dây quay 5 được quấn bằng dây đồng. Khung dây được gắn vào trục quay (hoặc dây căng, dây treo). Trên trục quay có hai lò xo cản 7 mắc ngược nhau, kim chỉ thị 2 và thang đo 8.



Hình 5.3. Cơ cấu chỉ thị từ điện.

b) Nguyên lý làm việc chung: khi có dòng điện chạy qua khung dây 5 (phần động), dưới tác động của từ trường nam châm vĩnh cửu 1 (phần tĩnh) sinh ra mômen quay M_q làm khung dây lệch khỏi vị trí ban đầu một góc α . Mômen quay được tính theo biểu thức:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = B.S.W.I$$

với

B: độ từ cảm của nam châm vĩnh cửu

S: tiết diện khung dây

W: số vòng dây của khung dây

Tại vị trí cân bằng, mômen quay bằng mômen cản:

$$M_q = M_c \Leftrightarrow B.S.W.I = D.\alpha \Leftrightarrow \alpha = \frac{1}{D}.B.S.W.I = S_I .I \quad (5.1)$$

Với một cơ cấu chỉ thị cụ thể do B, S, W, D là hằng số nên góc lệch α tỷ lệ bậc nhất với dòng điện I chạy qua khung dây.

c) Các đặc tính chung: từ biểu thức (5.1) suy ra cơ cấu chỉ thị từ điện có các đặc tính cơ bản sau:

- Chỉ đo được dòng điện một chiều.
- Đặc tính của thang đo đều.
- Độ nhạy $S_I = \frac{1}{D}.B.S.W$ là hằng số.

- **Ưu điểm:** độ chính xác cao; ảnh hưởng của từ trường ngoài không đáng kể (do từ trường là do nam châm vĩnh cửu sinh ra); công suất tiêu thụ nhỏ nên ảnh hưởng không đáng kể đến chế độ của mạch đo; độ cản dịu tốt; thang đo đều (do góc quay tuyến tính theo dòng điện).

- **Nhược điểm:** chế tạo phức tạp; chịu quá tải kém (do cuộn dây của khung quay nhỏ); độ chính xác của phép đo bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ, chỉ đo dòng một chiều.

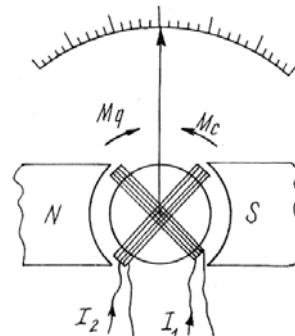
- **Ứng dụng:** cơ cấu chỉ thị từ điện dùng để chế tạo ampemét, ômmét

nhiều thang đo và có dải đo rộng; độ chính xác cao (cấp $0,1 \div 0,5$).

- Chế tạo các loại ampemét, vônmet, ômmét nhiều thang đo, dải đo rộng.
- Chế tạo các loại điện kế có độ nhạy cao có thể đo được: dòng đến $10^{-12} A$, áp đến $10^{-4} V$, đo điện lượng, phát hiện sự lệch điểm không trong mạch cần đo hay trong điện thế kế.
- Sử dụng trong các mạch dao động kí ảnh sáng để quan sát và ghi lại các giá trị tức thời của dòng áp, công suất tần số có thể đến 15kHz; được sử dụng để chế tạo các đầu rung.
- Làm chỉ thị trong các mạch đo các đại lượng không điện khác nhau.
- Chế tạo các dụng cụ đo điện tử tương tự: vônmet điện tử, tần số kế điện tử, pha kế điện tử...
- Dùng với các bộ biến đổi khác như chỉnh lưu, cảm biến cặp nhiệt để có thể đo được dòng, áp xoay chiều.

d) Lôgomét từ điện: là loại cơ cấu chỉ thị để đo tỉ số hai dòng điện, hoạt động theo nguyên lý giống cơ cấu chỉ thị từ điện, chỉ khác là không có lò xo cản mà thay bằng một khung dây thứ hai tạo ra mômen có hướng chống lại mômen quay của khung dây thứ nhất.

Nguyên lý làm việc: trong khe hở của từ trường của nam châm vĩnh cửu đặt phần động gồm hai khung quay đặt lệch nhau góc δ ($30^\circ \div 90^\circ$). Hai khung dây gắn vào một trục chung. Dòng điện I_1 và I_2 đưa vào các khung dây bằng các dây dẫn không mômen.



Hình 5.4. Lôgomét từ điện

$$\text{- Dòng } I_1 \text{ sinh ra mômen quay } M_q: \quad M_q = I_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{d\alpha}$$

$$\text{- Dòng } I_2 \text{ sinh ra mômen cản } M_c: \quad M_c = I_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{d\alpha}$$

với Φ_1, Φ_2 : từ thông của nam châm móc vòng qua các khung dây, thay đổi theo α .

Dấu của M_q và M_c ngược nhau. Các giá trị cực đại của các mômen lệch nhau góc δ .

Ở trạng thái cân bằng có:

$$M_q = M_c \Leftrightarrow I_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{d\alpha} = I_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{d\alpha}$$

$$\Leftrightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{d\Phi_2 / d\alpha}{d\Phi_1 / d\alpha} = \frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)} = f(\alpha)$$

với $f_1(\alpha), f_2(\alpha)$ là các đại lượng xác định tốc độ thay đổi của từ thông móc vòng.

Tùy biến thức trên có:

$$\alpha = F \left(\frac{I_1}{I_2} \right).$$

Đặc tính cơ bản: góc lệch α tỉ lệ với tỉ số của hai dòng điện đi qua các khung dây.

Ứng dụng: lôgômét từ điện được ứng dụng để đo điện trở, tần số và các đại lượng không điện.

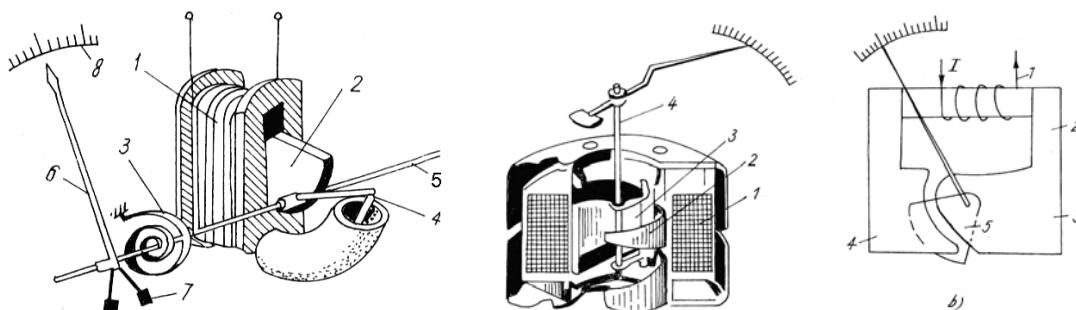
5.1.3. Cơ cấu chỉ thị điện từ, lôgômét điện từ.

a) *Cấu tạo chung:* gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- *Phần tĩnh:* là cuộn dây 1 bên trong có khe hở không khí (khe hở làm việc).

- *Phần động:* là lõi thép 2 được gắn lên trục quay 5, lõi thép có thể quay tự do trong khe làm việc của cuộn dây. Trên trục quay có gắn: bộ phận cảm ứng không khí 4, kim chỉ 6, đĩa trọng 7.

Ngoài ra còn có lò xo cảm 3, bảng khắc độ 8.



Hình 5.5. Cấu tạo chung của cơ cấu chỉ thị điện từ.

b) *Nguyên lý làm việc chung:* dòng điện I chạy vào cuộn dây 1 (phần tĩnh) tạo thành một nam châm điện hút lõi thép 2 (phần động) vào khe hở không khí với mômen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}, \text{ với } W_e = \frac{LI^2}{2}$$

với L là điện cảm của cuộn dây, suy ra:

$$M_q = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}.$$

Tại vị trí cân bằng có:

$$M_q = M_c \Leftrightarrow \alpha = \frac{1}{2D} \frac{dL}{d\alpha} I^2$$

là phương trình thể hiện đặc tính của cơ cấu chỉ thị điện từ.

c) *Các đặc tính chung:*

- Góc quay α tỉ lệ với bình phương của dòng điện, tức là không phụ thuộc vào chiều của dòng điện nên có thể đo trong cả mạch xoay chiều hoặc một chiều.

- Thang đo không đều, có đặc tính phụ thuộc vào tỉ số $dL/d\alpha$ là một đại lượng phi tuyến.

- Cảm biến thường bằng không khí hoặc cảm ứng.

- *Ưu điểm:* cấu tạo đơn giản, tin cậy, chịu được quá tải lớn.

- *Nhược điểm:* độ chính xác không cao nhất là khi đo ở mạch một chiều sẽ bị sai số (do hiện tượng từ trễ, từ dư...); độ nhạy thấp; bị ảnh hưởng của từ trường ngoài

(do từ trường của cơ cấu yếu khi dòng nhỏ).

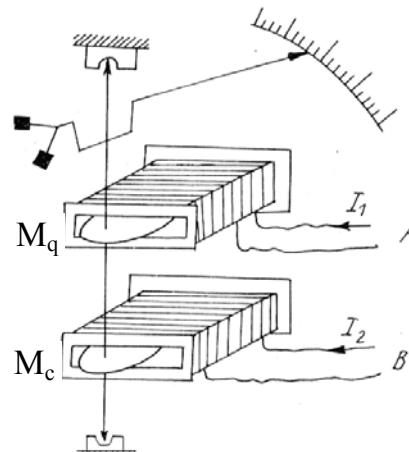
d) Ứng dụng: thường được sử dụng để chế tạo các loại ampemét, vônmet trong nạp xoay chiều tần số công nghiệp với độ chính xác cấp 1÷2. Ít dùng trong các mạch có tần số cao.

e) Lôgômét điện từ:

Nguyên lý làm việc: có nguyên tắc hoạt động giống lôgômét từ điện. Gồm hai cuộn dây tĩnh A và B, hai lõi động được gắn lên cùng một trục quay. Khi có dòng điện chạy qua cả hai cuộn dây thì cuộn A sinh ra mômen quay M_q , cuộn B sinh ra mômen cản M_c , ở vị trí cân bằng có:

$$\begin{aligned} M_q = M_c &\Leftrightarrow \frac{1}{2} \frac{dL_1}{d\alpha} \cdot I_1^2 = \frac{1}{2} \frac{dL_2}{d\alpha} \cdot I_2^2 \\ &\Leftrightarrow \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2 = \frac{dL_2 / d\alpha}{dL_1 / d\alpha} = f(\alpha) \\ &\Rightarrow \alpha = F \left[\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

Đặc tính cơ bản: góc lệch α tỉ lệ với bình phương tỉ số các dòng điện. Tỉ số này không thay đổi khi nguồn điện áp cấp cho hai cuộn dây thay đổi → loại trừ được sai số do sự biến đổi của nguồn cung cấp khi cần đo các đại lượng thụ động.



Hình 5.6. Cấu tạo của cơ cấu lôgômét điện từ.

Ứng dụng: đo các đại lượng như điện trở, điện cảm, điện dung (trong mạch xoay chiều), đo tần số, góc pha và các đại lượng không điện...

5.1.4. Cơ cấu chỉ thị điện động, lôgômét điện động.

a) **Cấu tạo chung:** như hình 5.7: gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** gồm: cuộn dây 1 (được chia thành hai phần nối tiếp nhau) để tạo ra từ trường khi có dòng điện chạy qua. Trục quay chui qua khe hở giữa hai phần cuộn dây tĩnh.

- **Phần động:** gồm một khung dây 2 đặt trong lõi cuộn dây tĩnh. Khung dây 2 được gắn với trục quay, trên trục có lò xo cản, bộ phận cản dịu và kim chỉ thị.

Cả phần động và phần tĩnh được bọc kín bằng màn chắn để ngăn chặn ánh sáng của từ trường ngoài.

b) **Nguyên lý làm việc chung:** khi có dòng điện I_1 chạy vào cuộn dây 1 (phần

tĩnh) làm xuất hiện từ trường trong lòng cuộn dây. Từ trường này tác động lên dòng điện I_2 chạy trong khung dây 2 (phản động) tạo nên mômen quay làm khung dây 2 quay một góc α .

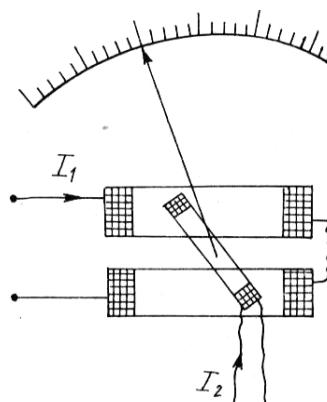
Mômen quay được tính:

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

với: W_e là năng lượng điện từ trường.

Có hai trường hợp xảy ra:

- I_1, I_2 là dòng điện một chiều: $\alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2$
với: M_{12} là hổ cảm giữa cuộn dây tĩnh và động.
 - I_1 và I_2 là dòng điện xoay chiều: $\alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi$
với: ψ là góc lệch pha giữa I_1 và I_2 .



Hình 5.7. Cấu tạo của cơ cấu chỉ thi điện động.

c) Các đặc tính chung:

- Có thể dùng trong cả mạch điện một chiều và xoay chiều.
 - Góc quay α phụ thuộc tích ($I_1 \cdot I_2$) nên thang đo không đều
 - Trong mạch điện xoay chiều α phụ thuộc góc lệch pha ψ giữa hai dòng điện

nên có thể ứng dụng làm Oátmet đo công suất.

 - *Ưu điểm cơ bản:* có độ chính xác cao khi đo trong mạch điện xoay chiều.
 - *Nhược điểm:* công suất tiêu thụ lớn nên không thích hợp trong mạch công suất nhỏ. Chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, muốn làm việc tốt phải có bộ phận chắn từ. Độ nhạy thấp vì mạch từ yếu.

d) **Ứng dụng:** chế tạo các ampemét, vônmét, óatmét một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp; các pha kế để đo góc lệch pha hay hệ số công suất $\cos\phi$.

Trong mạch có tần số cao phải có mạch bù tần số (đo được dải tần đến 20KHz).

e) *Lôgômét điện động*: có cấu tạo như hình 5.8: phần tĩnh giống lôgômét di

Ngoài ra, Ké lèm miêu đàng điện Jackson và mén Turk A sinh ra từ trường trọng

Nguyên lý làm việc: dòng điện I chạy vào cuộn tinh A sinh ra từ trường trong lòng cuộn dây, từ trường này tác động với dòng I_1 chạy trong cuộn dây động B_1 và dòng I_2 trong cuộn dây động B_2 sinh ra các mômen tương ứng là mômen quay M_q và mômen cản M_c .

Tại vị trí cân bằng $M_q = M_c$, tính được góc quay α là:

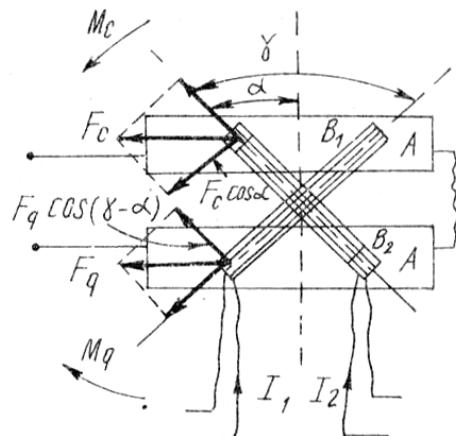
$$\alpha = F \left(\frac{I_1 \cdot \cos \psi_1}{I_2 \cdot \cos \psi_2} \right)$$

với: ψ_1 là góc lệch pha giữa I và I_1

ψ_2 là góc lệch pha giữa I và I_2

Trường hợp đặc biệt nếu $\psi_1 = \psi_2 = 0$, tức là dòng điện trong cuộn tĩnh và cuộn động cùng pha thì suy ra: $\alpha = F(I_1 / I_2)$: giống với lôgômét từ điện.

Đặc tính cơ bản: góc quay α tỉ lệ với tỉ số hai dòng điện và với góc lệch pha.

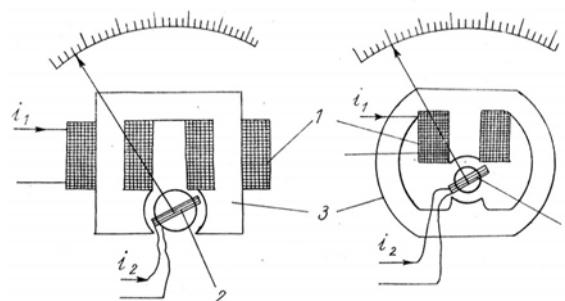


Hình 5.8. Lôgômét điện động.

Ứng dụng: chế tạo các loại dụng cụ đo các đại lượng thụ động như pha kế, tần số kế, điện dung kế... trong đó sự biến động của nguồn cung cấp không ảnh hưởng đến kết quả đo.

f) Cơ cấu chỉ thị sắt điện động:

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: có cấu tạo như hình 5.9: khắc phục được nhược điểm bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài của cơ cấu chỉ thị điện động. Có nguyên tắc hoạt động giống cơ cấu chỉ thị điện động, điểm khác là có thêm mạch từ ở cuộn dây tĩnh, mạch từ này còn có tác dụng làm màn chắn từ bảo vệ cơ cấu khỏi bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.



Hình 5.9. Cơ cấu chỉ thị sắt điện động.

- Phần tĩnh gồm: ngoài cuộn dây tĩnh 1 còn có thêm mạch từ 3 để tạo từ trường trong khe hở làm việc.

- Phần động gồm: khung dây quay 2 gắn với trục quay, kim chỉ thị, lò xo phản kháng và bộ phận cảm ứng.

Góc quay α của phần động được tính:

$$\alpha = \frac{k_1}{D} \cdot s_2 w_2 I_1 I_2 \cdot \cos(I_1, I_2)$$

với: s_2, w_2 là diện tích và số vòng dây của khung dây quay 2
 k_1 : hệ số phụ thuộc cách chọn hệ đơn vị và các thông số của cơ cấu đo.

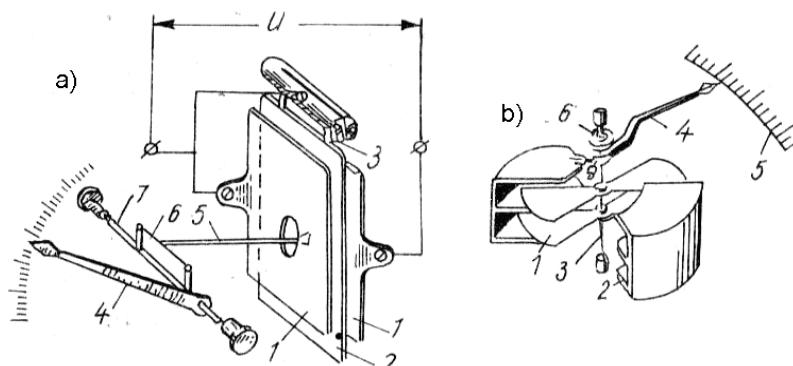
Ưu điểm: mômen quay lớn, ít bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.

Nhược điểm: độ chính xác thấp (do có sai số do hiện tượng từ xoáy, từ trễ... của lõi thép).

Ứng dụng: được ứng dụng trong các dụng cụ đo cần mômen quay lớn như các dụng cụ tự ghi. Thường không dùng trong mạch một chiều vì sai số lớn do hiện tượng từ dư trong lõi thép.

5.1.5. Cơ cấu chỉ thị tĩnh điện.

a) *Cấu tạo chung:* như hình 5.10: có hai hoặc nhiều bǎn cực, bao gồm các bǎn cực tĩnh (bǎn cực 1 ở hình (a), bǎn cực 2 ở hình (b)) và ít nhất một bǎn cực là phần động (bǎn cực 2 ở hình (a), bǎn cực 1 ở hình (b)) được gắn với trực quay, kim chỉ thị, lò xo phản kháng...



Hình 5.10. Cơ cấu chỉ thị tĩnh điện.

b) *Nguyên lý làm việc chung:* dựa trên sự tác động lẫn nhau giữa hai hay nhiều vật thể tích điện. Phần động của cơ cấu là một trong các vật thể đó, sự chuyển dịch của nó gây ra sự thay đổi năng lượng điện trường tạo bởi các vật thể tích điện.

Khi đặt vào hai bǎn cực tĩnh và động một điện áp U , giữa chúng sinh ra một điện trường có năng lượng W_e được tính:

$$W_e = C \cdot \frac{U^2}{2}$$

với C là điện dung giữa các điện cực.

Lực tĩnh điện tác động tương hỗ lên các điện cực tích điện tạo ra mômen quay làm quay điện cực động (phản động).

Mômen quay được tính:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$$

Mômen cần:

$$M_c = D \cdot \alpha$$

Ở trạng thái cân bằng $M_q = M_c$ tính được góc quay α của phản động:

$$\alpha = \frac{1}{2D} \cdot U^2 \cdot \frac{dC}{d\alpha} \quad (5.2)$$

c) **Các đặc tính chung:** từ phương trình (5.2) suy ra các đặc tính cơ bản của cơ cấu chỉ thị tĩnh điện:

- Góc lệch α tỉ lệ với U^2 .

- Đặc tính của thang đo không đều và phụ thuộc vào tỉ số $dC/d\alpha$ là một đại lượng phi tuyến.

- **Ưu điểm:** điện trở vào lớn; điện dung vào thay đổi nhỏ; công suất tiêu thụ nhỏ; có khả năng sử dụng trong cả mạch xoay chiều và một chiều; dài tầm rộng; số chỉ không phụ thuộc hình dáng đường cong tín hiệu đo.

- **Nhược điểm:** đặc tính thang đo không đều; độ nhạy thấp do điện trường yếu; độ chính xác không cao; có thể bị đánh thủng giữa các điện cực gây ngắn mạch vì thế cần có màn bảo vệ.

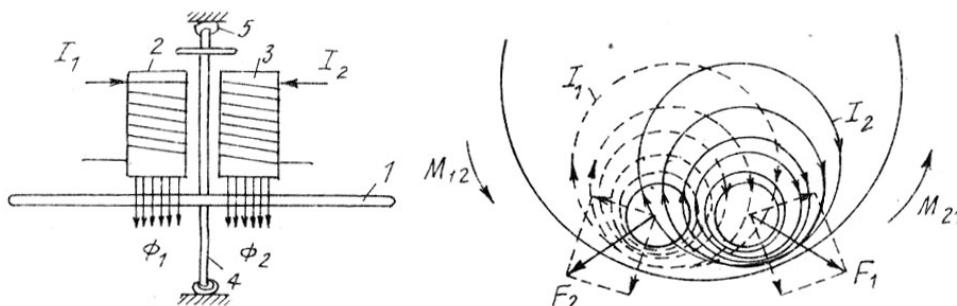
d) **Ứng dụng:** trong cả mạch một chiều và xoay chiều, chế tạo các vônmet và kilôvônmet với điện áp tối thiểu có thể đo là 10V. Thường sử dụng để đo điện áp cao thế. Sử dụng với khuếch đại điện tử để chế tạo các loại vônmet xoay chiều và các loại electrômét có độ nhạy cao.

5.1.6. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng.

a) **Cấu tạo chung:** như hình 5.11: gồm phần tĩnh và phần động.

- **Phần tĩnh:** các cuộn dây điện 2,3 có cấu tạo để khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ sinh ra từ trường mõm vòng qua mạch từ và qua phần động, có ít nhất là 2 nam châm điện.

- **Phần động:** đĩa kim loại 1 (thường bằng nhôm) gắn vào trục 4 quay trên trụ 5.



Hình 5.11. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng.

b) **Nguyên lý làm việc chung:** dựa trên sự tác động tương hỗ giữa từ trường xoay chiều (được tạo ra bởi dòng điện trong phần tĩnh) và dòng điện xoáy tạo ra trong đĩa của phần động, do đó cơ cấu này chỉ làm việc với mạch điện xoay chiều:

Khi dòng điện I_1, I_2 vào các cuộn dây phần tĩnh \rightarrow sinh ra các từ thông Φ_1, Φ_2 (các từ thông này lệch pha nhau góc ψ bằng góc lệch pha giữa các dòng điện tương ứng), từ thông Φ_1, Φ_2 cắt đĩa nhôm 1 (phần động) \rightarrow xuất hiện trong đĩa nhôm các sức điện động tương ứng E_1, E_2 (lệch pha với Φ_1, Φ_2 góc $\pi/2$) \rightarrow xuất hiện các dòng điện xoáy I_{x1}, I_{x2} (lệch pha với E_1, E_2 góc α_1, α_2).

Các từ thông Φ_1, Φ_2 tác động tương hỗ với các dòng điện $I_{x1}, I_{x2} \rightarrow$ sinh ra các lực F_1, F_2 và các mômen quay tương ứng \rightarrow quay đĩa nhôm (phần động).

Mômen quay được tính:

$$M_q = C \cdot f \cdot \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi$$

với:
 C là hằng số
 f là tần số của dòng điện I_1, I_2
 ψ là góc lệch pha giữa I_1, I_2

c) **Các đặc tính chung:**

- Điều kiện để có mômen quay là ít nhất phải có hai từ trường.
- Mômen quay đạt giá trị cực đại nếu góc lệch pha ψ giữa I_1, I_2 bằng $\pi/2$.
- Mômen quay phụ thuộc tần số của dòng điện tạo ra các từ trường.
- Chỉ làm việc trong mạch xoay chiều.
- Nhược điểm: mômen quay phụ thuộc tần số nên cần phải ổn định tần số.

d) **Ứng dụng:** chủ yếu để chế tạo côngtơ đo năng lượng; có thể đo tần số...

Bảng 5.1. Bảng tổng kết các loại cơ cấu chỉ thị cơ điện:

TT	Cơ cấu chỉ thị	Kí hiệu	Tín hiệu đo	Ứng dụng
1	Cơ cấu chỉ thị từ điện		$I =$	A, V, Ω , G
2	Lôgômét từ điện		$I_1 = / I_2 =$	Ω , đo không điện
3	Cơ cấu chỉ thị điện từ		$I^2 \approx$	A, V
4	Lôgômét điện từ		$(I_1 \approx / I_2 \approx)^2$	Tần số kế, ômkế, đo góc pha...
5	Cơ cấu chỉ thị điện động		$I_1 \cdot I_2 \approx$	A, V, Ω , W, $\cos\phi$, tần số kế...
6	Cơ cấu chỉ thị sắt điện động		$I_1 \cdot I_2 \approx$	A, V, Ω , tự ghi
7	Lôgômét điện động		$I_1 / I_2 \approx$	Ω , tần số kế, $\cos\phi$
8	Cơ cấu chỉ thị tĩnh điện		$U^2 \approx$	V, kV
9	Cơ cấu chỉ thị cảm ứng		$I_1, I_2 \approx$	Côngtơ

5.2. Cơ cấu chỉ thị tự ghi.

5.2.1. Cơ sở chung của các cơ cấu chỉ thị tự ghi.

a) **Mục đích sử dụng:** được sử dụng trong các dụng cụ tự động ghi nhằm ghi lại những tín hiệu đo thay đổi theo thời gian.

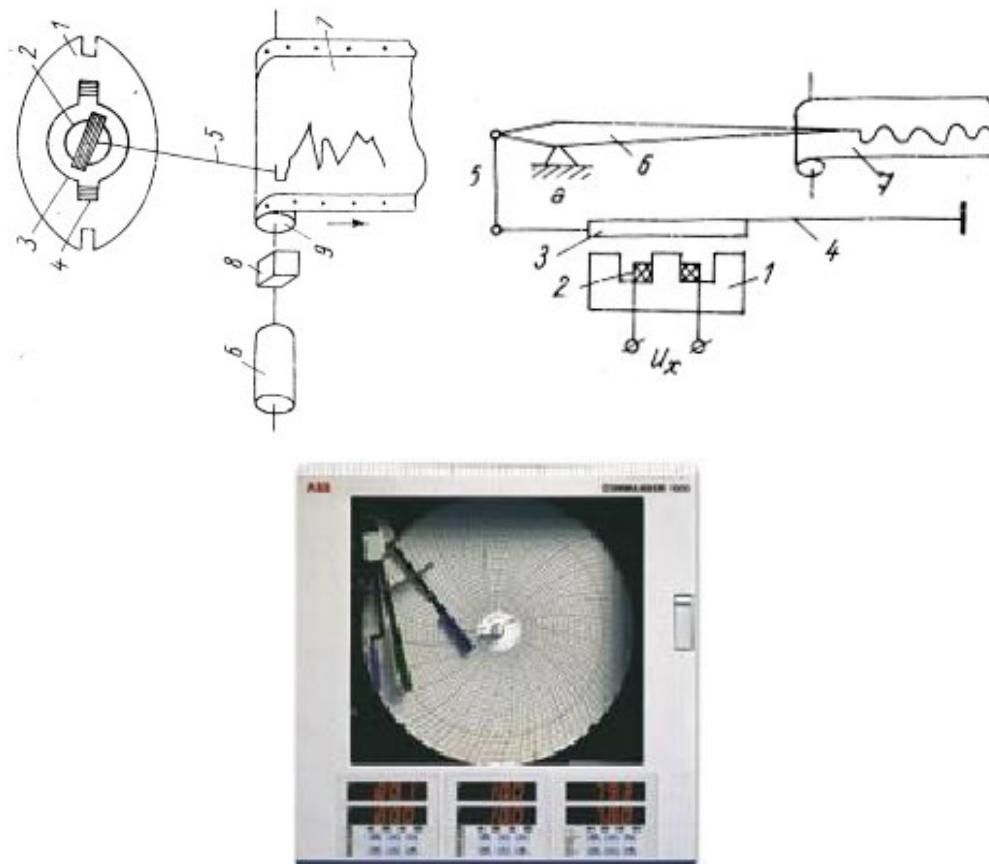
b) **Cấu tạo chung:** như hình 5.12: thường gồm hai phần:

- **Phần 1:** thực hiện chuyển động thể hiện quan hệ $y = \alpha = f(i)$: biến thiên của góc lệch α theo dòng điện tức thời (tức là biến thiên của góc lệch α theo giá trị tức thời của đại lượng đo). Bao gồm: cơ cấu chỉ thị cơ điện, bút ghi.

Thường sử dụng các chỉ thị cơ điện có mômen quay đủ lớn (để thăng lực ma sát do bút ghi tì lên giấy) như cơ cấu chỉ thị sắt điện động.

- **Phần 2:** thực hiện chuyển động thể hiện quan hệ $x = K(t)$: biến thiên của đại lượng đo theo thời gian.

Thường bao gồm: cơ cấu đồng hồ (thường là một động cơ đồng bộ), bộ giảm tốc, quả rulô, băng giấy.



Hình 5.12. Cơ cấu chỉ thị tự ghi.

c) **Nguyên lý hoạt động chung:** thường có đầu vào là dòng điện biến thiên theo thời gian $i(t)$, đầu ra là đường quan hệ $\alpha(t)$.

Đường ghi trên băng giấy là sự phối hợp giữa hai chuyển động:

- $y = \alpha = f(i)$: biến thiên của góc lệch α theo dòng điện tức thời: thường được thực hiện bởi các cơ cấu chỉ thị cơ điện.

- $x = K(t)$: biến thiên của đại lượng đo theo thời gian, được thực hiện bởi cơ cấu đồng hồ.

d) **Phân loại:**

- **Theo cách ghi:** ghi các đường cong liên tục, ghi các đường cong rời rạc, in số lên băng giấy. Có thể ghi bằng mực trên băng hắc đĩa giấy; ghi trên giấy nến hoặc giấy than do bút chì vạch nên; ghi bằng cách thay đổi vật chất phủ lên bề mặt vật mang (ghi lên băng hay đĩa từ, ghi bằng chụp ảnh, ghi bằng nhiệt làm cháy vật chất trên bề mặt vật mang...).

- **Theo tốc độ ghi:** tốc độ thấp, tốc độ trung bình, tốc độ cao.

e) **Các vấn đề cần giải quyết trong các cơ cấu chỉ thị tự ghi:**

- Nâng cao tốc độ ghi: phụ thuộc nhiều vào thiết bị ghi, yêu cầu phải có mômen quay đủ lớn (để thăng lực ma sát của bút ghi tì lên băng giấy).

- Có cách ghi vừa đơn giản, nhanh và đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu.

5.2.2. Cơ cấu chỉ thị tự ghi có tốc độ thấp.

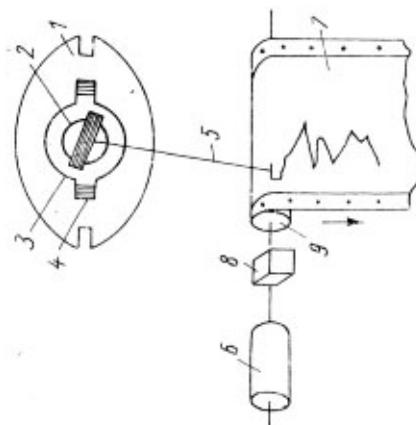
a) **Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** sử dụng cơ cấu sắt điện động hoặc cơ cấu điện từ có nam châm vĩnh cửu có kích thước lớn và có vòng từ khép kín (để có thể tạo mômen quay lớn). Có bút ghi vạch lên băng giấy chuyển động với tốc độ đều.

Cơ cấu chỉ thị tự ghi sử dụng cơ cấu sắt điện động (như hình 5.13a), gồm:

Phản 1: đo giá trị tức thời của đại lượng đo, là cơ cấu chỉ thị sắt điện động, gồm phần tĩnh là mạch từ 1 với cuộn dây 4, phần động là khung dây động 3 quấn quanh lõi từ 2 gắn với kim 5 (có gắn bút ghi).

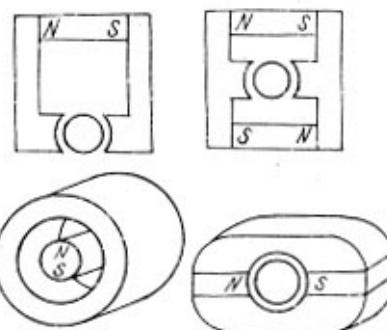
Phản 2: thể hiện sự biến thiên theo thời gian của đại lượng đo, gồm cơ cấu đồng hồ là động cơ đồng bộ 6, bộ giảm tốc 8, quả rulô 9, băng giấy 7.

b) **Ứng dụng:** khi tín hiệu đo có tần số thấp: dưới 10Hz.



Hình 5.13a. Cơ cấu chỉ thị tự ghi sử dụng

chỉ thị sắt điện động.



Hình 5.13b. Các dạng mạch từ của cơ cấu từ

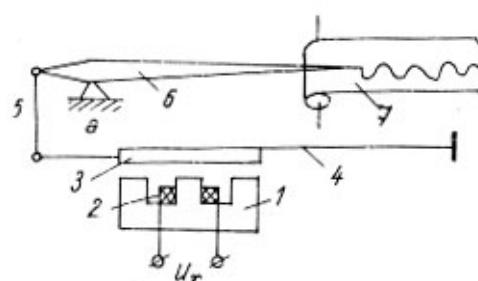
điện dùng trong dụng cụ tự ghi.

5.2.3. Cơ cấu chỉ thị tự ghi có tốc độ trung bình.

Ứng dụng khi tín hiệu đo có tần số trung bình: dưới 100Hz. Vẫn có thể sử dụng bút ghi lên băng giấy, thường sử dụng cơ cấu chỉ thị từ điện hoặc điện từ.

a) **Cơ cấu chỉ thị tự ghi có tốc độ trung bình sử dụng cơ cấu điện từ:**

Cấu tạo: như hình 5.14a, gồm:



Hình 5.14a. Chỉ thị tự ghi có tốc độ trung bình sử dụng cơ cấu điện từ

- Phản 1: đo giá trị tức thời của đại lượng đo: có phản tĩnh là mạch từ 1 với cuộn dây 2 để đưa dòng cần đo vào, phản động là lõi từ 3 gắn với lá mỏng đàn hồi 4, qua thanh truyền động 5 nối với kim 6 có gắn bút ghi.

- Phản 2: thể hiện sự biến thiên theo thời gian của đại lượng đo: gồm băng giấy 7 quay quanh rulô 8 được truyền động bởi động cơ đồng hồ.

Nguyên lý hoạt động: dòng điện cần đo vào cuộn dây 2 tạo ra từ trường hút lõi từ

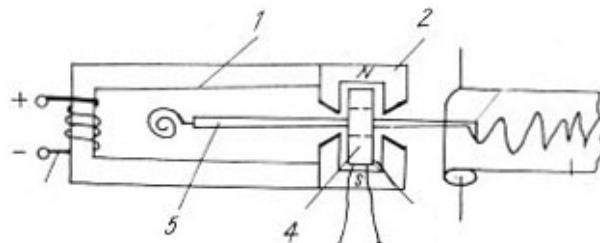
3, ở trạng thái cân bằng lực hút này cân bằng với lực đàn hồi của lá mỏng 4, sự dao động của dòng cảm biến sẽ được vẽ trên băng giấy.

Đặc tính: có độ nhạy cỡ 0,2mm/mA, độ lệch cực đại của bút ghi là 5mm, tần số riêng của phần động là 70Hz.

Ứng dụng: trong các thiết bị y tế như: điện tâm đồ, điện não đồ...; các thiết bị tự ghi trong công nghiệp.

b) Cơ cấu chỉ thị tự ghi có tốc độ trung bình sử dụng cơ cấu từ điện:

Cấu tạo: như hình 5.14b, gồm:



Hình 5.14b. Chỉ thị tự ghi có tốc độ trung bình sử dụng cơ cấu từ điện

- Phần 1: đo giá trị tức thời của đại lượng đo: có phần tĩnh là nam châm điện gồm mạch từ 1 có các cực từ 2, cuộn dây kích thích 3; phần động là cuộn dây (để đưa dòng cảm biến vào) quấn quanh lõi thép 4 và gắn với bộ phận động 5 mang bút ghi.

- Phần 2: thể hiện sự biến thiên theo thời gian của đại lượng đo: gồm băng giấy quay quanh rulô được truyền động bởi cơ cấu đồng hồ.

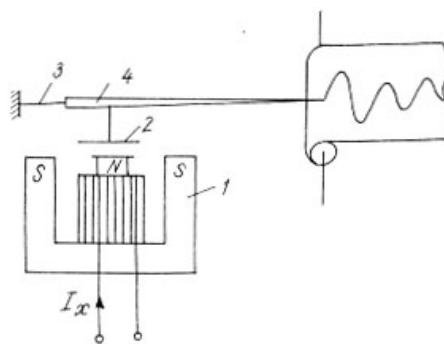
Nguyên lý hoạt động: dòng điện cảm biến đi vào cuộn dây 4 tác động tương hooke với từ trường trong khe hở sinh ra mômen làm quay phần động mang kim chỉ thi vạch lên băng giấy ghi lại giá trị tức thời của đại lượng đo, đồng thời băng giấy được cơ cấu đồng hồ quay quanh rulô ghi lại sự biến thiên theo thời gian của đại lượng đo.

Ứng dụng: có thể ghi các dòng điện với tần số 50Hz, độ rộng băng giấy lớn nhất có thể lên đến 17mm.

5.2.4. Cơ cấu chỉ thị tự ghi có tốc độ cao.

a) Sử dụng các cơ cấu cơ điện có tần số dao động riêng cao:

Cấu tạo: như hình 5.15, bao gồm: một nam châm vĩnh cửu 1 hình trụ ở giữa cực có đặt cuộn dây đo 2. Cuộn dây được gắn chặt với kim chỉ 4, kim được gắn với tấm đàn hồi 3.



Hình 5.15. Cơ cấu chỉ thị tự ghi tốc độ cao có tần số riêng 750Hz.

Nguyên lý hoạt động: dòng điện cảm biến I_x tác động tương hooke với từ trường nam châm vĩnh cửu sinh ra lực làm quay cuộn dây 2 và kim chỉ 4, ở trạng thái cân bằng

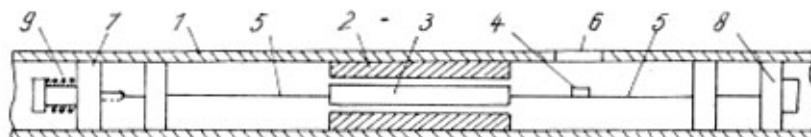
lực này cân bằng với lực đàn hồi của tấm đàn hồi 3.

Các đặc tính: độ nhạy đạt được cỡ 0,5mm/mA, độ dài thang đo cỡ 10mm. Có thể sử dụng để ghi các đại lượng thay đổi với tần số lớn.

Ứng dụng: ghi các đại lượng thay đổi với tần số lớn, có tần số dao động riêng đến 750Hz.

b) Dao động kí ảnh sáng:

Cấu tạo: có cấu tạo điển hình như hình 5.16. Gồm các bộ phận: phần động đặt trong ống 1 gồm: các đầu cực 2, khung dây 3 được gắn bằng dây cǎng 5 vào các đầu 7,8. Đầu trên của khung dây trên dây cǎng gắn một mảnh gương nhỏ 4, trên thành ống đối diện với gương có quét lỗ 6.



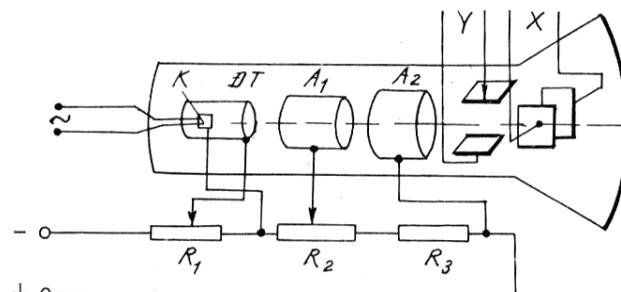
Hình 5.16. Điện kế từ điện chỉ thị ánh sáng.

Nguyên lý hoạt động: dòng điện cần đo đi vào khung dây 3 gây ra mômen quay làm lệch vị trí của gương 4, tia sáng qua lỗ 6 chiếu vào gương có tia phản chiếu sẽ bị lệch đi một góc α tỉ lệ với độ lớn của dòng điện cần đo. Tia sáng phản chiếu sẽ in lên băng giấy ánh (băng giấy nhạy với ánh sáng), băng giấy này chuyển động với tốc độ có thể thay đổi phụ thuộc vào tần số của tín hiệu cần đo.

Ứng dụng: có thể đo tín hiệu có tần số lên tới 800Hz.

c) Cơ cấu chỉ thị điện tử:

Cấu tạo: hình 5.17a,b: là ống phóng tia điện tử, phần chỉ thị của dao động kí điện tử.



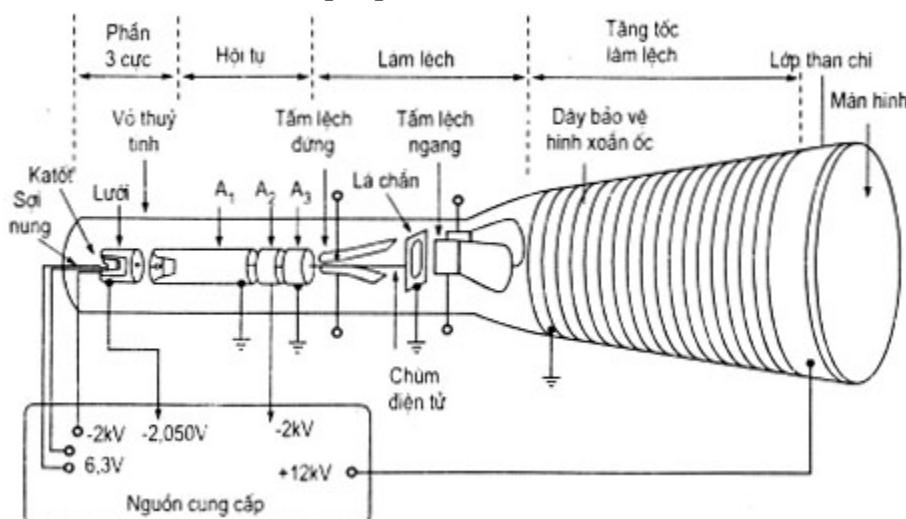
Hình 5.17a. Sơ đồ khối ống phóng tia điện tử

Bộ phận chính là súng phóng điện tử được đặt trong một ống phóng bằng thủy tinh đã hút khí tạo chân không, gồm: catốt K, cực điều khiển tia điện tử DT, annốt A₁ và A₂, bǎn cực điều chỉnh lệch phương thẳng đứng Y, cǎp bǎn cực điều chỉnh lệch phương ngang X, các điện trở điều chỉnh R₁ và R₂, màn hình phủ huỳnh quang.

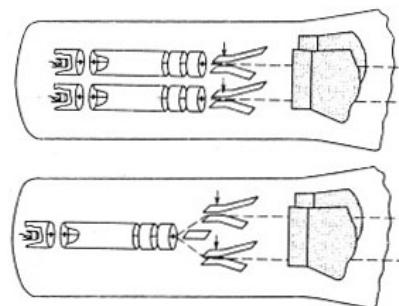
Nguyên lý hoạt động: điện tử sinh ra từ cực catốt K hội tụ tại cực điều khiển tia điện tử DT ($U_{DT} < U_K$ nên chùm tia điện tử hội tụ) sau đó được tăng tốc bởi điện trường của annốt A₁, A₂ bay về phía cǎp bǎn cực điều chỉnh lệch phương thẳng đứng Y, cǎp bǎn cực điều chỉnh lệch phương ngang X, bay đến đập vào màn hình (được phủ chất huỳnh quang) làm phát sáng màn hình tại những điểm có điện tử đập vào.

Các điện trở R₁ để điều chỉnh độ sáng, điện trở R₂ điều chỉnh tiêu cự của điểm sáng.

Điện áp cần đo thường được đưa vào bản cực Y còn bản cực X được đưa tín hiệu phụ tùy thuộc vào mục đích của phép đo.



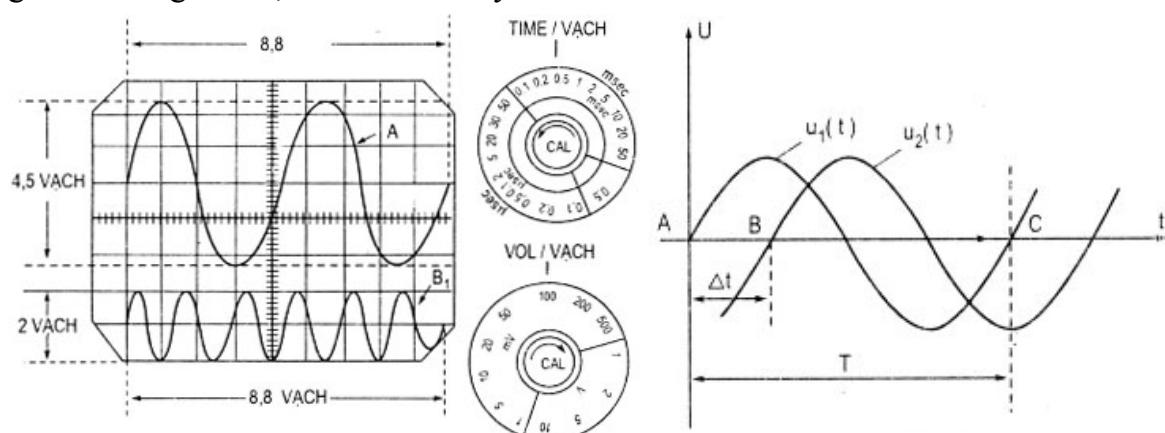
Hình 5.17b. Mô tả ống phóng tia điện tử.



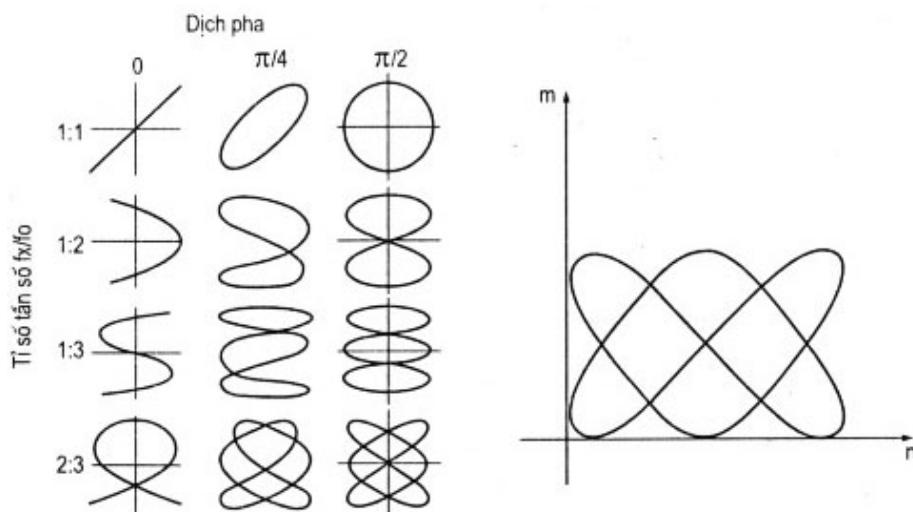
Hình 5.17c. Dao động ký điện tử hai tia.

Ứng dụng: được sử dụng khi cần đo rất cao (trên 800Hz) nhằm quan sát, nhớ và ghi lại tín hiệu cần đo, các dao động ký điện tử ngày nay có thể quan sát tín hiệu đến 10MHz. Dao động ký điện tử thường được ứng dụng để quan sát các loại tín hiệu khác nhau có dải tần rộng, ngoài ra có thể sử dụng để đo điện áp, tần số, tỉ số tần số, đo góc lệch pha...

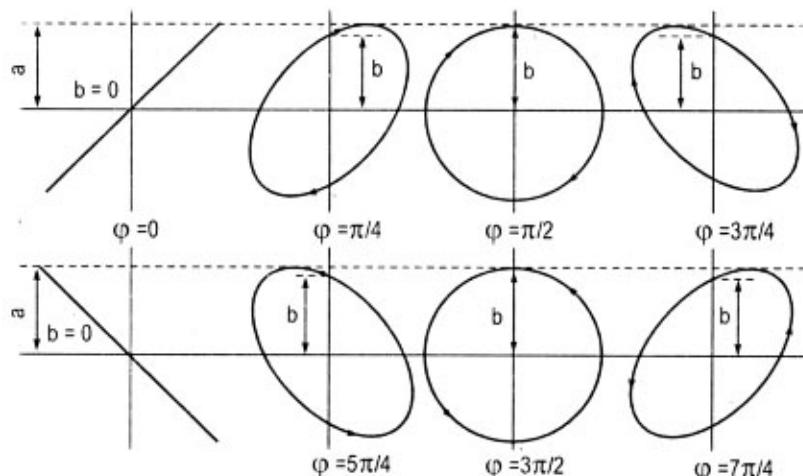
Dao động ký điện tử hiện đại có thể có hai hay nhiều tia điện tử, có cài đặt bộ vi xử lý để có thể nhớ lại một đoạn tín hiệu theo yêu cầu, có thể đưa tín hiệu ra máy in, ghi vào băng đĩa từ, kết nối với máy tính...



Hình 5.18a. Đo điện áp và tần số tín hiệu bằng dao động ký điện tử *Hình 5.18b. Đo góc lệch pha của hai tín hiệu bằng dao động ký điện tử*



Hình 5.18c. Đo tần số bằng phương pháp so sánh dựa trên các dạng đường Lissajou sử dụng DDKDT.

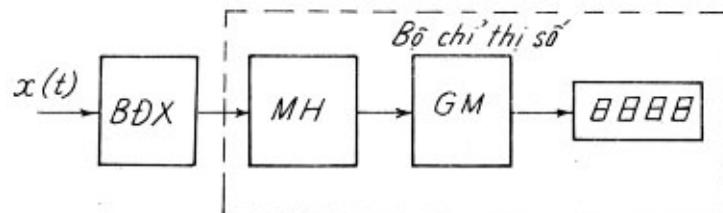


Hình 5.18d. Đo góc lệch pha bằng phương pháp so sánh dựa trên các dạng đường Lissajou sử dụng DDKDT.

5.3. Cơ cấu chỉ thị số.

5.3.1. Cơ sở chung của các cơ cấu chỉ thị số.

Cơ cấu chỉ thị số ứng dụng các kỹ thuật điện tử và kỹ thuật máy tính để biến đổi và chỉ thị đại lượng đo. Sơ đồ khối của một dụng cụ đo hiển thị số như hình 5.19:



Hình 5.19. Sơ đồ khối dụng cụ đo chỉ thị số.

Đại lượng đo $x(t)$ được biến đổi thành tín hiệu xung tương ứng sau khi qua bộ biến đổi xung BDX: số xung N đầu ra tỉ lệ với giá trị của $x(t)$. Số xung N được đưa vào bộ mã hóa MH (thường là bộ mã hóa 2-10 mã BCD), tín hiệu mã hóa đưa đến bộ

giải mã GM và đưa ra bộ hiện số. Tát cả 3 khâu: mã hóa-giải mã- hiển thị số cấu thành bộ chỉ thị số.

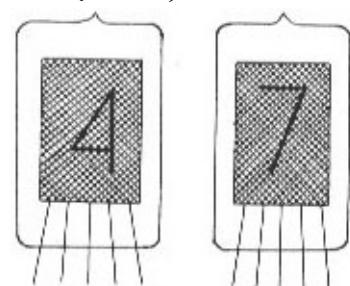
5.3.2. Thiết bị hiện số.

Có nhiều loại thiết bị hiện số khác nhau như: đèn sợi đốt, đèn điện tích, LED 7 thanh, màn hình tinh thể lỏng LCD, màn hình cảm ứng...

a) Cơ cấu chỉ thị số bằng đèn khí:

Thường thấy trong những thiết bị những năm 80. Đèn khí có cấu tạo gồm anốt là một cái lưới còn catốt là các con số từ 0-9 và các dấu +,-,V,A... Khi có điện áp catốt nào thì kí hiệu tương ứng sáng lên.

Nhược điểm của thiết bị hiện số bằng đèn khí là điện áp anốt cao (cỡ 200V) do vậy mà độ tin cậy thấp



Hình 5.20. Thiết bị hiện số bằng đèn khí

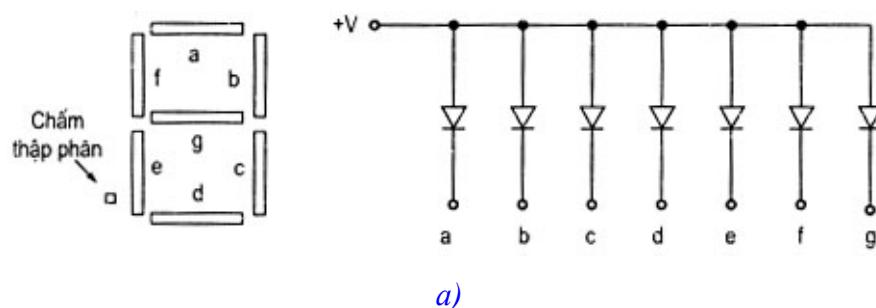
b) Cơ cấu chỉ thị số bằng LED 7 thanh:

Là loại thiết bị hiện số được sử dụng rất phổ biến vì chúng phù hợp với các vi mạch TTL và hoạt động tin cậy, giá thành hạ.

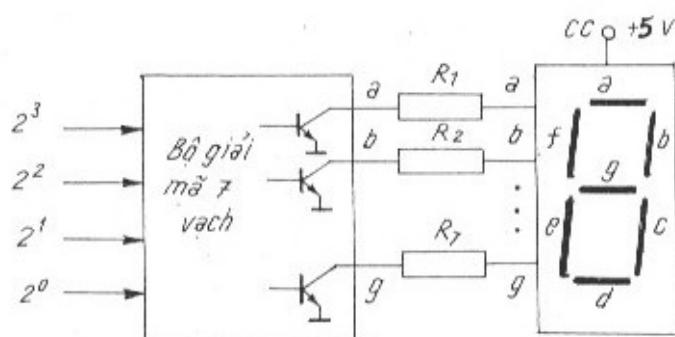
Về cấu tạo: gồm có bảy thanh hiển thị kí hiệu từ a-g được sắp xếp như hình 5.21a, mỗi thanh là một diode phát quang (LED), tương ứng có các đầu ra để cấp tín hiệu cho từng diode, các diode có thể nối anốt chung hay catốt chung. Khi có tín hiệu cho phép diode nào hoạt động thì diode đó sẽ sáng, phối hợp sự sáng tối của các diode sẽ cho ra các con số: 0-9, các ký hiệu, các ký tự...

Tùy mục đích sử dụng còn có các loại LED 7 thanh có thêm các thanh hiển thị dấu chấm (.) thập phân, loại có nhiều hơn 7 thanh sắp xếp theo những hình dạng khác nhau...

Hình 5.21b là một ví dụ về việc nối bộ hiển thị LED 7 thanh với bộ giải mã 7 vạch - thường là giải mã từ mã BCD sang mã 7 vạch, các bộ giải mã được chế thành các vi mạch: họ TTL là các vi mạch 7446, 7447; họ CMOS là các vi mạch 4511; các vi mạch 4543SN74247, TIL308...



a)

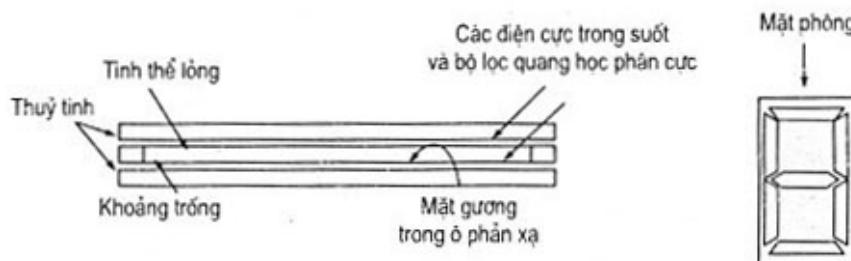


b)

Hình 5.21. Cơ cấu chỉ thị số bằng LED 7 thanh.

Điện áp thuận rơi trên mỗi điốt của mỗi thanh khoảng 1,2V và dòng thuận qua LED tương ứng với độ sáng thích hợp vào khoảng 20mA tùy độ lớn của LED. Nhược điểm chính của LED 7 thanh là yêu cầu dòng lớn.

c) Cơ cấu chỉ thị bằng màn hình tinh thể lỏng LCD:

*Hình 5.22. Cấu tạo ô tinh thể lỏng LCD và hiển thi số 7 thanh bằng LCD.*

Có cấu tạo như hình 5.22. 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 hợp tủa ở mặt trong.

Ở trạng thái bình thường không bị kích hoạt ô tinh thể lỏng trong suốt cho ánh sáng đi qua nên thanh hiển thị tương ứng trùng với mặt phông. Khi được kích hoạt (bởi điện áp xoay chiều hình sin hoặc xung vuông tần số khoảng 50-60Hz) ô tinh thể lỏng phản xạ lại ánh sáng và thanh hiển thị tương ứng sẽ nổi trên mặt phông.

Ưu điểm của thiết bị hiển thị tinh thể lỏng là tiêu thụ dòng rất nhỏ, cả 7 thanh của hiển thị tinh thể lỏng loại nhỏ chỉ yêu cầu dòng khoảng $80\mu A$.

CHƯƠNG 6.

MẠCH ĐO VÀ XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO (3 LT)

6.1. Khái niệm chung.

a) **Định nghĩa:** mạch đo là thiết bị kỹ thuật làm nhiệm vụ biến đổi, gia công thông tin tính toán, phối hợp các tín tức với nhau trong một hệ vật lý thống nhất.

b) **Phân loại:** theo chức năng có các loại mạch đo:

- **Mạch tỉ lệ:** thực hiện một phép nhân (hoặc chia) với một hệ số k, đại lượng vào là x thì đại lượng ra là k.x. Ví dụ: sun, phân áp, biến dòng, biến áp...

- **Mạch khuếch đại:** thực hiện một phép nhân (hoặc chia) với một hệ số k (gọi là hệ số khuếch đại) nhưng có công suất tín hiệu ra lớn hơn công suất tín hiệu vào (đại lượng vào điều khiển đại lượng ra).

- **Mạch gia công và tính toán:** thực hiện các phép tính: cộng, trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân, lôgarit, hàm mũ...

- **Mạch so sánh:** thực hiện so sánh giữa hai tín hiệu (thường là hai điện áp), thường được sử dụng trong các thiết bị đo dùng phương pháp so sánh.

- **Mạch tạo hàm:** tạo ra những hàm số theo yêu cầu của phép đo, nhằm mục đích tuyến tính hóa các đặc tính của tín hiệu đo ở đầu ra các bộ cảm biến.

- **Mạch biến đổi A/D, D/A:** biến đổi tín hiệu từ dạng tương tự sang dạng số và ngược lại, sử dụng cho kỹ thuật đo số và chế tạo các mạch ghép nối với máy tính.

- **Mạch đo sử dụng kỹ thuật vi xử lý:** mạch đo có cài đặt vi xử lý để tạo ra các cảm biến thông minh, khắc độ bằng máy tính, nhớ và gia công sơ bộ số liệu đo...

Mạch đo càng phức tạp khi thiết bị đo càng hiện đại, chức năng càng chính xác. Mạch đo có tác dụng làm tăng độ nhạy và độ chính xác của thiết bị đo và hệ thống đo.

6.2. Các đặc tính cơ bản của mạch đo.

Mỗi mạch đo đều có những đặc tính kỹ thuật cụ thể quyết định tính chất, tác dụng của mạch đo đó, tùy từng mạch đo sẽ có những đặc tính riêng biệt, tuy nhiên có thể xét những đặc tính cơ bản chung của các loại mạch đo khác nhau.

6.2.1. Chức năng và phạm vi làm việc:

- **Chức năng của mạch đo:** chức năng cơ bản của mạch đo là thực hiện các phép tính. Phương trình quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của mạch đo trong trường hợp đơn giản là tỉ số $W=Y/X$ với X là tập các đầu vào và Y là tập các đầu ra.

Trong trường hợp phức tạp thì W là một hàm của thời gian $W(t)$ gọi là hàm truyền đạt tương hối.

Dựa vào hàm truyền đạt W xác định được chức năng của mạch đo.

- **Phạm vi của mạch đo:** hàm truyền đạt W được xác định trong một phạm vi nào đó của đại lượng vào và đại lượng ra gọi là phạm vi làm việc của mạch đo, vượt ra ngoài phạm vi đó thì W không còn đảm bảo sai số cho phép.

6.2.2. Sai số:

Sai số trong mạch đo có thể chia làm hai loại:

- Sai số của chính bản thân mạch đo gây ra bởi những sự biến động về quan hệ tương hooke (hàm truyền đạt):

- Sai số do sự kết hợp các đại lượng vào

a) Sai số của chính bản thân mạch đo gây ra bởi những sự biến động về quan hệ tương hooke (hàm truyền đạt):

Hàm truyền đạt của mạch đo là:

$$W = \frac{Y}{X}$$

Giả sử khi đại lượng vào X không mắc sai số nhưng đầu ra Y mắc phải sai số ΔY , nguyên nhân là do sai số của hàm truyền đạt ΔW gây ra do ảnh hưởng của sự biến động các yếu tố ngoại lai hay nội tại đến mạch đo $\Delta \theta_i$.

Sai số này được đánh giá bằng:

$$K = \frac{\Delta W / W}{\Delta \theta / \theta} = \frac{\gamma_w}{\gamma_\theta}$$

với: γ_w : sai số tương đối của hàm truyền đạt.

γ_θ : độ biến động tương đối của các yếu tố ngoại lai hay nội tại tác động đến mạch đo.

Tương ứng có sai số ở đầu ra là:

$$\Delta Y = \gamma_w \cdot W \cdot X$$

b) Sai số do sự kết hợp các đại lượng vào: nếu một mạch đo có nhiều đại lượng vào thì có sự kết hợp với nhau vì vậy mà sai số sẽ bằng tổng các sai số:

$$\Delta(x_1 \pm x_2) = \Delta x_1 \pm \Delta x_2$$

Sai số tương đối của tích hai đại lượng bằng tổng sai số tương đối của chúng:

$$\gamma_{x_1 x_2} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} = \gamma_{x_1} + \gamma_{x_2}$$

6.2.3. Đặc tính động:

Khi đo các đại lượng biến thiên theo thời gian yêu cầu mạch đo phải đáp ứng được các đặc tính động yêu cầu.

Đặc tính động của mạch đo phải đảm bảo để cho sai số của mạch đo không vượt quá sai số cho phép của cả thiết bị đo. Do đó khi xét đặc tính động học ta phải xét đến hàm truyền đạt của mạch đo phụ thuộc vào tần số $W(p)$ như khi xét một mạng bốn cửa.

6.2.4. Công suất tiêu thụ:

Ngoài nhiệm vụ thực hiện các phép gia công, mạch đo còn có nhiệm vụ nối các khâu với nhau, hay nói cách khác là có nhiệm vụ phối hợp trở kháng đầu vào và đầu ra của các khâu.

Thường thì có gắng làm cho trở kháng đầu vào của mạch đo rất lớn so với trở kháng đầu ra của khâu trước đó, tức là công suất tiêu thụ của mạch đo nhỏ hơn so với công suất ra của khâu trước.

Sai số do công suất tiêu thụ của mạch đo gây nên khi mắc vào với khâu trước là:

$$\gamma_P = \frac{P}{P_{\max}}$$

với: P : công suất tiêu thụ ở đầu vào của mạch đo.

P_{\max} : công suất đầu ra cực đại của khâu trước.

Khi tính toán, sai số này được cộng thêm sai số của khâu trước nó.

Ngược lại ở đầu ra của mạch đo phải làm thế nào cho công suất ra lớn nhất, tức là: $P_{ra} = P_t$, với P_t là công suất của tải. Sai số được tính theo công thức:

$$\gamma_{ra} = \frac{P_{ra} - P_t}{P_{ra}}$$

(nếu tải biến thiên thì P_t được thay bằng công suất tải định mức P_{tN})

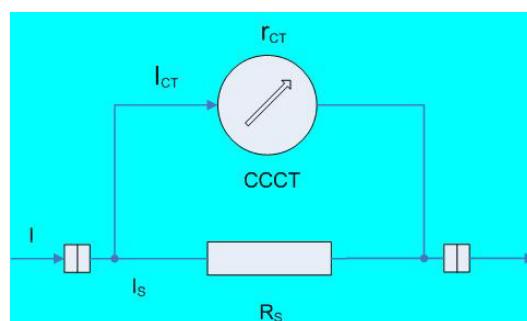
6.3. Mạch tỉ lệ.

Mạch tỉ lệ là mạch thông dụng nhất trong các mạch đo lường. Có thể chia thành mạch tỉ lệ về dòng và mạch tỉ lệ về áp.

6.3.1. Mạch tỉ lệ về dòng:

Là loại mạch thông dụng nhất. Đối với mạch một chiều thường dùng mạch sun, đối với mạch xoay chiều thường dùng biến dòng điện (BI).

a) **Sun:** là một điện trở mắc song song với cơ cấu chỉ thị (như hình 6.1):



Hình 6.1. Cách mắc điện trở sun

Các dòng điện chạy trong mạch gồm:

- Dòng chạy trong mạch chính là I
- Dòng chạy trong mạch chỉ thị là I_{CT}
- Dòng chạy qua sun là I_s

Các dòng điện này có các mối quan hệ:

$$I = I_{CT} + I_s \text{ và } \frac{I}{I_{CT}} = n$$

n gọi là hệ số chia dòng điện, thường $n > 1$.

Điện trở sun R_s được tính bằng:

$$R_s = \frac{r_{CT}}{n-1} \quad (6.1)$$

Cấu tạo của sun: có cấu tạo như điện trở 4 đầu, bao gồm 2 đầu dòng và 2 đầu áp như hình 6.2:

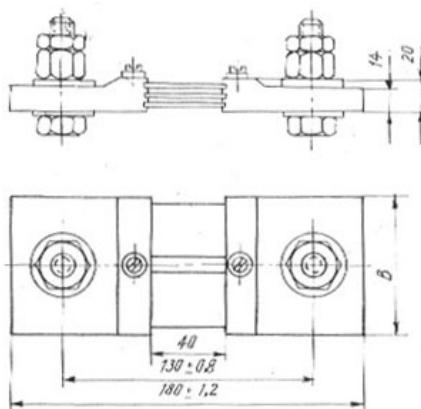
- 2 đầu dòng: để đưa dòng I_s vào.
- 2 đầu áp: lấy điện áp ra để đưa vào cơ cấu chỉ thị.

Trên sun thường có ghi dòng I_s có thể đi qua và điện áp ở đầu ra:

$$U_S = I_S \cdot R_S = (I - I_{CT}) \cdot R_S$$

Để đạt độ chính xác cao một sun thường chỉ làm việc với một chỉ thị nhất định và phải có dây nối đã xác định trước điện trở.

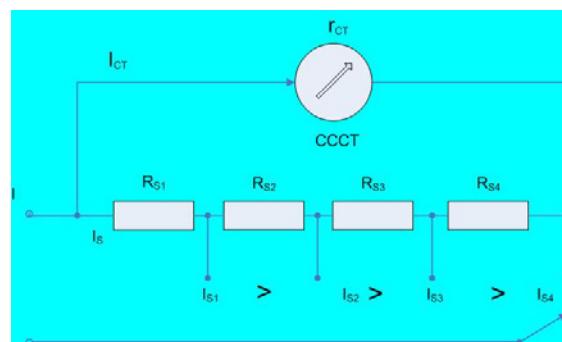
Để điều chỉnh điện trở sun có thể xé rãnh khác nhau.



Hình 6.2. Cấu tạo sun

Dùng sun có hệ số chia dòng khác nhau: muốn dùng sun với hệ số chia dòng khác nhau có thể dùng sun với nhiều cấp khác nhau như hình 6.3.

Hình thức này thường được ứng dụng để mở rộng thang đo trong ampemét một chiều.



Hình 6.3. Mắc sun nhiều cấp

Để tính các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 có thể dựa vào biểu thức (6.1), bằng cách lập hệ phương trình ứng với các dòng khác nhau:

$$R_{S4} = \frac{r_{CT}}{n_4 - 1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 ; \quad n_4 = \frac{I_4}{I_{CT}}$$

$$R_{S3} = \frac{r_{CT} + R_4}{n_3 - 1} = R_1 + R_2 + R_3 ; \quad n_3 = \frac{I_3}{I_{CT}}$$

$$R_{S2} = \frac{r_{CT} + R_4 + R_3}{n_2 - 1} = R_1 + R_2 ; \quad n_2 = \frac{I_2}{I_{CT}}$$

$$R_{S1} = \frac{r_{CT} + R_4 + R_3 + R_2}{n_1 - 1} = R_1 ; \quad n_1 = \frac{I_1}{I_{CT}}$$

Ta có 4 phương trình với 4 ẩn số, giải ra tìm được R_1, R_2, R_3, R_4 .

Trong công nghiệp sun được làm bằng vật liệu có điện trở không phụ thuộc nhiệt độ như manganin. Thường sun được chế tạo với dòng từ vài mA đến 10^4 A; điện áp sun cỡ 60, 75, 100, 150 và 300mV.

Ứng dụng của sun: sun được dùng chủ yếu trong mạch một chiều, mở rộng thang đo cho các ampemét một chiều. Trong mạch xoay chiều chỉ dùng sun khi tải là thuận trở còn khi tải là điện kháng thì mắc phải sai số về góc pha.

b) Biến dòng điện (BI): được sử dụng trong mạch xoay chiều để biến đổi dòng điện trong phạm vi rộng. Biến dòng điện là một biến áp mà thứ cấp ngắn mạch, sơ cấp nối tiếp với mạch có dòng điện chạy qua.

Nếu biến dòng làm việc lí tưởng (không có tổn hao) thì:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

với: K_I là hệ số biến dòng, có thể lớn hơn 1 (nhân dòng) hoặc bé hơn 1 (chia dòng);

I_1, I_2 là dòng điện sơ cấp và thứ cấp;

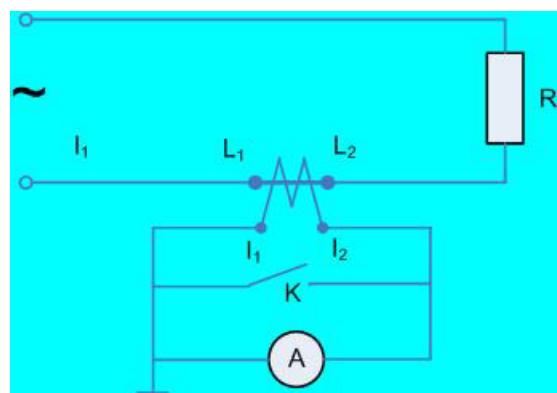
W_1, W_2 : số vòng dây quấn của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

Cấu tạo: giống biến áp: thường làm bằng lõi thép silic, chỉ khác là tiết diện dây quấn lớn hơn và số vòng bé hơn biến áp động lực.

Yêu cầu: phải có tổn hao lõi thép nhỏ, điện trở tải càng nhỏ càng tốt.

Đặc tính cơ bản cấu biến dòng BI:

- Chế độ làm việc bình thường là ngắn mạch thứ cấp. Khi thứ cấp bị hở mạch sẽ làm điện áp thứ cấp tăng vọt từ hàng chục volt đến vài kilovolt rất nguy hiểm cho người sử dụng, làm cháy biến dòng, đánh thủng cách điện. Vì vậy cuộn thứ cấp phải nối đất để phòng đánh thủng cách điện, không tiếp xúc với mạch cao áp (như hình 6.4):



Hình 6.4. Sơ đồ nối biến dòng với ampemét

Trong hướng dẫn sử dụng của biến dòng thường ghi rõ giá trị điện trở tối hạn để ngắn mạch thứ cấp

- Trong thực tế khi dòng sơ cấp I_1 thay đổi thì hệ số biến dòng K_I cũng thay đổi, vì vậy thường lấy hệ số K_{IN} - là hệ số biến dòng định mức làm hệ số biến dòng điện, khi đó mắc phải sai số về môđun là:

$$\gamma_I = \frac{K_{IN} - K_I}{K_{IN}} \cdot 100\%$$

- Có tổn hao trong lõi thép và ngoài tải thuận trở còn có tải điện cảm, vì vậy còn sai số về góc pha. Lõi thép càng tổn hao nhiều thì sai số góc pha càng lớn (biến thiên từ ± 2 phút đến ± 120 phút).

Biến dòng đo lường thường được chế tạo với điện áp định mức từ $0,5 \div 35$ kV.

Dòng sơ cấp định mức từ $0,1 \div 25000A$. Dòng thứ cấp định mức là $1A$ hoặc $5A$.

Cấp chính xác của biến dòng thường là: $0,05; 0,1; 0,2; 0,5$.

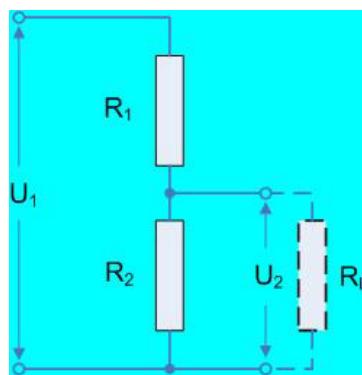
6.3.1. Mạch tỉ lệ về áp:

Thông dụng nhất là mạch phân áp và mạch biến áp.

a) Mạch phân áp: là mạch phân điện áp, thường có U_2 nhỏ hơn U_1 tức là công suất ra nhỏ hơn công suất vào.

Có một số mạch như sau:

- **Mạch phân áp điện trở:** các điện trở được nối như hình 6.5:



Hình 6.5. Mạch phân áp điện trở

Hệ số phân áp được tính là:

$$m = \frac{U_1}{U_2}$$

Có hai trường hợp xảy ra:

- Khi không có tải (hay $R_L \rightarrow \infty$) có:

$$m_o = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I(R_1 + R_2)}{I.R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

- Khi có tải R_L ta có:

$$\begin{aligned} m_L &= \frac{U_1}{U_2} = \frac{I.R_1 + I.(R_2 // R_L)}{I.(R_2 // R_L)} \\ &= 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_L} = m_o + \frac{R_1}{R_L} \end{aligned}$$

Khi tải là những cơ cấu chỉ thị có điện trở không đổi: thường R_2 là điện trở của bản thân chỉ thị, phân áp chỉ có R_1 (gọi là điện trở phụ)-hình 6.6 .

Điện trở phụ được tính như sau:

$$R_p = r_{CT}.(m - 1)$$

với $m = U_x / U_{CT}$ là tỉ số giữa điện áp cần đo và điện áp trên cơ cấu chỉ thị.

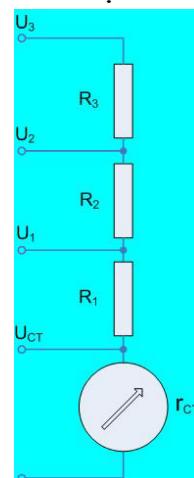
Nếu một vônmet có nhiều thang đo thì cách tính các điện trở phụ như sau:

$$R_{p1} = R_1 = r_{CT}.(m_1 - 1); \quad m_1 = \frac{U_1}{U_{CT}}$$

$$R_{p2} = R_1 + R_2 = r_{CT}.(m_2 - 1); \quad m_2 = \frac{U_2}{U_{CT}}$$

$$R_{p3} = R_1 + R_2 + R_3 = r_{CT}.(m_3 - 1); \quad m_3 = \frac{U_3}{U_{CT}}$$

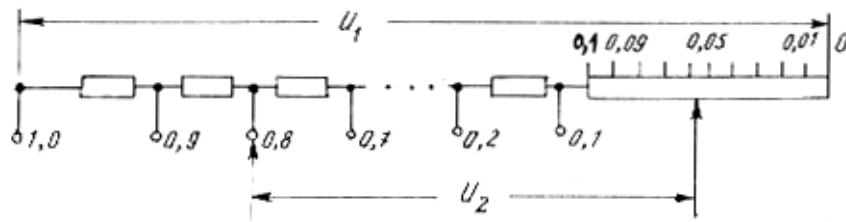
Với 3 phương trình 3 ẩn số, giải ra tìm được các giá trị R_1, R_2, R_3 .



Hình 6.6. Mở rộng thang đo của vônmet.

Phân áp có hệ số phân áp thay đổi tùy ý: thường là một biến trở trượt có gắn thêm một thang chia độ trên có khắc hệ số phân áp tương ứng với vị trí của nó, mạch này có độ chính xác không cao (thường từ 1÷5%).

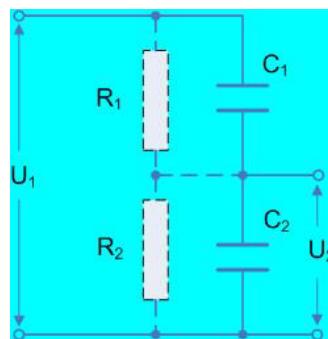
Các phân áp có cấp chính xác cao (0,05÷0,1): được chế tạo theo kiểu nhảy cấp hoặc bố trí thành từng cấp thập phân (hình 6.7), thường làm bằng dây điện trở maganin có hệ số nhiệt điện trở thấp. Điện áp vào U_1 cố định, điện áp ra biến thiên từ $0,0001U_1$ đến $0,9999U_1$.



Hình 6.7. Bộ phân áp có độ chính xác cao.

Ứng dụng của mạch phân áp điện trở: thường được sử dụng để chế tạo các hộp điện trở mẫu, các điện thế kế, các cầu đo...

- **Mạch phân áp điện dung:** có thể dùng trong mạch xoay chiều, gồm các tụ điện C_1, C_2 nối tiếp và được biểu diễn trong sơ đồ bằng điện dung C_1, C_2 cùng với các điện trở rò R_1, R_2 (hình 6.8):



Hình 6.8. Mạch phân áp điện dung

Hệ số phân áp là:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$$

$$= 1 + \frac{C_2(1 + \frac{1}{j\omega C_2 R_2})}{C_1(1 + \frac{1}{j\omega C_1 R_1})} = f(\omega) \quad (6.2)$$

Như vậy hệ số phân áp m của mạch phân áp điện dung phụ thuộc vào tần số ω .

Nếu ω lớn thì:

$$\frac{1}{\omega C_2 R_2} \text{ và } \frac{1}{\omega C_1 R_1} \ll 1 \Rightarrow m = 1 + \frac{C_2}{C_1} \quad (6.3)$$

Tức là m không phụ thuộc tần số, vì vậy mạch phân áp điện dung thường được sử dụng trong mạch có tần số cao.

Sử dụng mạch phân áp điện dung trong mạch có dải tần rộng: phải mắc song song thêm với những tụ điện các điện trở sao cho:

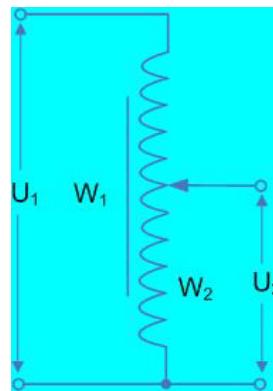
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_1}{C_2} \Leftrightarrow R_1 C_1 = R_2 C_2$$

Khi đó hệ số phân áp được tính:

$$m = 1 + \frac{C_2}{C_1} \quad \text{không phụ thuộc tần số.}$$

Ứng dụng: mạch phân áp điện dung thường được sử dụng để giảm áp trong các mạch xoay chiều ở đầu vào các vônmet điện tử xoay chiều hay các dao động kí điện tử.

- **Mạch phân áp điện cảm:** có đặc điểm là đầu vào và đầu ra được liên hệ với nhau bằng điện và bằng từ, có thể coi như một biến áp tự ngẫu như hình 6.9:



Hình 6.9. Mạch phân áp điện cảm.

Muốn phân áp có độ chính xác cao thì biến áp phải gần điều kiện lý tưởng, khi đó:

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \geq 1$$

với W_1, W_2 là số vòng dây để lấy các điện áp tương ứng U_1, U_2 .

Để đảm bảo điều kiện trên, lõi thép phải chế tạo đảm bảo: tổn hao từ thông nhỏ, từ thông móc vòng đều trên toàn cuộn dây phân áp, từ thông tản vừa nhỏ và đều.

Cuộn dây được chia thành nhiều phân đoạn ứng với số cấp của phân áp.

Ưu điểm: hệ số phân áp K_u ít thay đổi lúc tải đầu ra thay đổi.

Nhược điểm: có sai số tần số khi tần số thay đổi.

b) **Mạch biến điện áp đo lường (BU):** cũng là hình thức của mạch phân áp điện cảm, chỉ khác là K_u có thể lớn hay nhỏ hơn 1. Điện áp vào và ra có thể liên hệ với

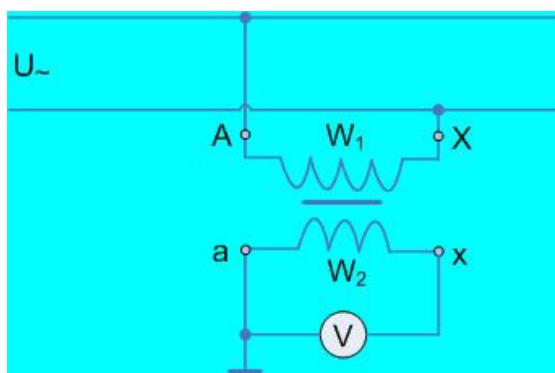
nhau cả bằng điện và từ (biến áp tự ngẫu) hoặc chỉ liên hệ với nhau về từ.

Hệ số biến áp:

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Trong hướng dẫn sử dụng của biến điện áp đo lường thường chỉ rõ: công suất định mức, điện áp vào U_1 , điện áp ra U_2 , hệ số biến điện áp K_u .

Ngược với biến dòng điện đo lường, biến điện áp đo lường sử dụng ở chế độ hở mạch cuộn thứ cấp, vì thế cuộn thứ cấp thường được nối với vônmet có điện trở vào lớn để đo điện áp U_2 sau đó nhân với hệ số K_u có được U_1



Hình 6.10. Mắc vônmet vào biến áp đo lường

Đặc điểm: Điện áp định mức của cuộn thứ cấp thường là 100V, điện áp định mức của cuộn sơ cấp chính là điện áp cần đo hay kiểm tra.

Sai số của biến điện áp: giống ở biến dòng, gồm sai số về môđun và sai số góc pha lúc điện áp đo và tải thay đổi.

Cấp chính xác của biến áp đo lường là: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.

Ứng dụng: biến áp đo lường thường được sử dụng trong mạch xoay chiều khi phải đo điện áp rất lớn mà không thể đo trực tiếp bằng vônmet được.

6.4. Mạch khuếch đại (Amplifier).

a) **Đặc điểm của mạch khuếch đại:** về phương diện gia công tin tức, mạch khuếch đại cũng được xem như một mạch tỉ lệ, nghĩa là:

$$X_r = K.X_v$$

Tuy nhiên ở mạch khuếch đại có đặc điểm ngược với mạch tỉ lệ là có công suất đầu ra lớn hơn công suất đầu vào, có thể coi đại lượng vào điều khiển đại lượng ra, đây là đặc điểm ưu việt của mạch điện tử. Nhờ có mạch khuếch đại, độ nhạy của thiết bị đo được tăng lên rất nhiều, cho phép đo những đại lượng đo rất nhỏ.

Mạch khuếch đại đo lường còn có khả năng mở rộng đặc tính tần số của thiết bị đo và đặc biệt là giảm rất nhiều công suất tiêu thụ của thiết bị đo lấy từ đối tượng đo.

Mạch khuếch đại được thực hiện bằng đèn điện tử, đèn bán dẫn và ngày nay chủ yếu sử dụng vi điện tử.

6.4.1. Mạch khuếch đại lắp lại:

a) **Tác dụng:**

- Trong các thiết bị đo, tín hiệu đo được lấy ra từ các bộ cảm biến (sensor) có công suất đầu ra rất nhỏ, muốn khuếch đại được những tín hiệu như vậy đòi hỏi điện trở vào của bộ khuếch đại phải rất lớn. Để tạo được điều kiện đó thường sử dụng

các mạch lặp lại ở đầu vào.

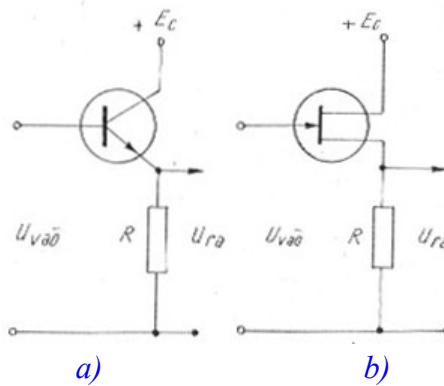
- Phối hợp tải giữa các tầng với nhau (impedance matching).

b) Mạch lặp sử dụng BJT: có điện trở vào lớn, điện trở ra nhỏ. Nhờ có phản hồi âm sâu nên hệ số khuếch đại về áp $K_u \approx 1$, hệ số khuếch đại về dòng khá lớn:

$$K_I = \frac{\Delta I_e}{\Delta I_b} = 1 + \beta$$

với β là hệ số khuếch đại dòng của BJT.

- c) Mạch lặp sử dụng JFET:** có trở vào lớn hơn so với mạch lặp dùng BJT.

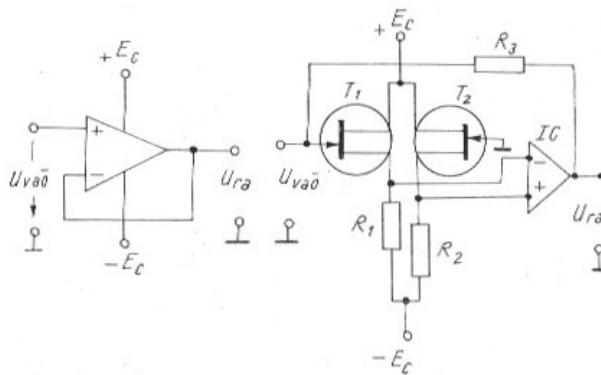


Hình 6.11a,b: Mạch lặp lại:

a) Dùng BJT; b) Dùng FET;

- d) Mạch lặp sử dụng KĐTT có phản hồi âm sâu:** có trở vào lớn.

e) Mạch lặp có trở vào rất lớn: sử dụng kết hợp giữa JFET và KĐTT mắc theo mạch cầu có phản hồi âm sâu.



Hình 6.11c,d: Mạch lặp lại:

c) Dùng KĐTT; d) Dùng FET kết hợp KĐTT

6.4.2. Mạch khuếch đại đo lường (Instrumentation Amplifier):

Trong các mạch đo lường thường sử dụng bộ KĐ đo lường, là mạch kết hợp các bộ lặp lại và các bộ khuếch đại điện áp.

Mạch khuếch đại đo lường gồm có hai tầng:

- **Tầng 1:** là hai bộ lặp lại dùng KĐTT có trở vào lớn do tín hiệu vào được đưa đến đầu vào không đảo. Hệ số khuếch đại tầng 1 là:

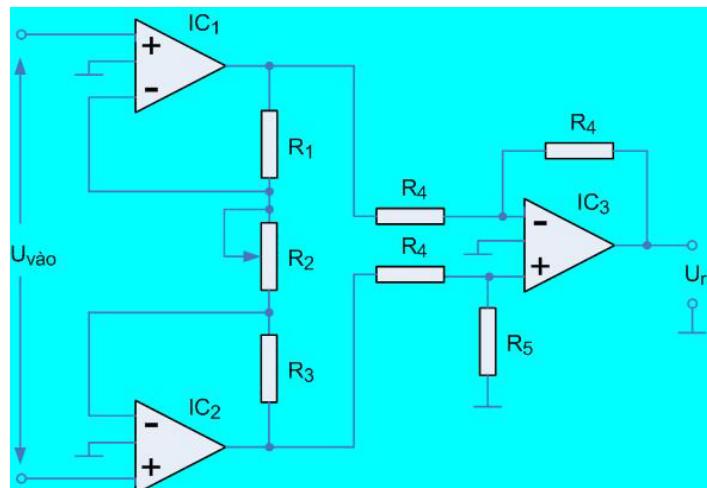
$$K_1 = 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2} : \text{có thể thay đổi bằng cách thay đổi } R_2$$

- **Tầng 2:** mạch khuếch đại áp sử dụng KĐTT, có hệ số khuếch đại là:

$$K_2 = \frac{R_5}{R_4}$$

Như vậy hệ số khuếch đại của cả mạch là:

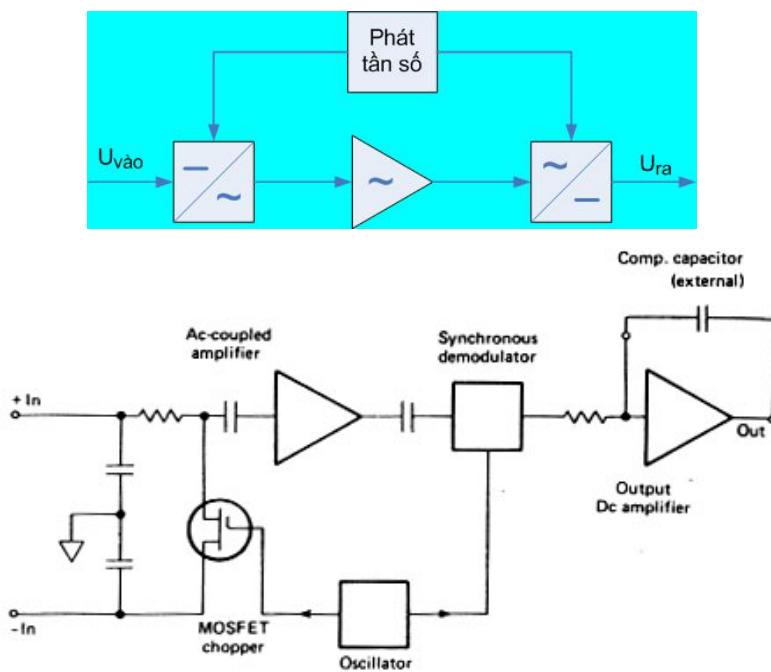
$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{R_5}{R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2}\right)$$



Hình 6.12. Mạch khuếch đại đo lường.

6.4.3. Mạch khuếch đại điều chế (Chopping Amplifier):

Để tránh hiện tượng trôi điểm không và sự lệch điện áp ra do sự tăng giảm của nguồn cung cấp ở KĐ một chiều, người ta dùng biện pháp biến tín hiệu một chiều đầu vào thành xoay chiều, sau đó cho qua bộ KĐ xoay chiều và cuối cùng biến đổi lại thành điện áp một chiều ở đầu ra, mạch như vậy gọi là mạch khuếch đại điều chế.



Hình 6.13. Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý của bộ khuếch đại điều chế

Bộ điều chế có tác dụng biến đổi tín hiệu một chiều thành xoay chiều. Ngược lại bộ giải điều chế có tác dụng biến đổi tín hiệu xoay chiều thành một chiều

Một ví dụ về bộ KĐ này là sử dụng một máy phát tần số để đóng mở hai khóa

điện tử ở đầu vào và đầu ra của bộ KĐ xoay chiều. Máy phát tần số thường là một bộ dao động đa hài.

6.4.4. Mạch khuếch đại cách ly:

Trong kỹ thuật đo cần phải đo những điện áp lớn có khi đến vài kilôvôn, tức là cao hơn nhiều so với điện áp cho phép. Để giải quyết vấn đề này cần phải tách mạch đo thành hai phần cách ly nhau về điện:

- Phần phát: làm việc dưới điện áp cần đo.
- Phần thu: làm việc dưới điện áp đủ thấp cho phép.

Để thực hiện một thiết bị như vậy yêu cầu đảm bảo phần cho phần có nguồn dòng riêng được cách ly so với đất.

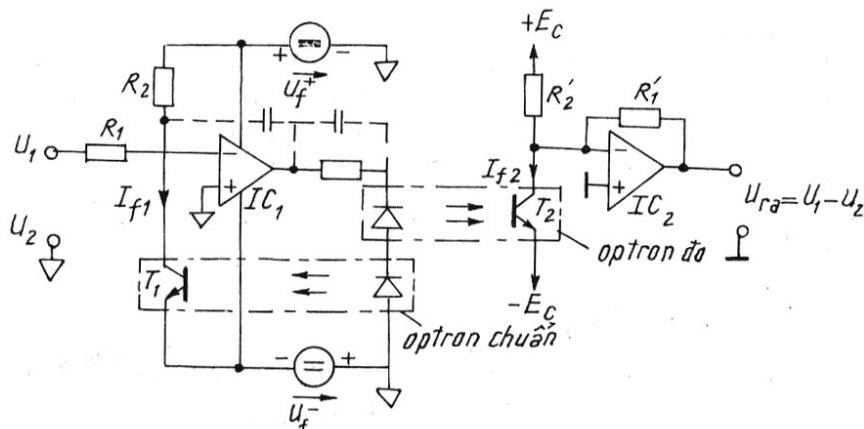
Việc truyền kết quả đo sang phần thu cách ly về điện cũng gặp phải những khó khăn nhất định. Có hai khả năng truyền:

- Ghép biến áp: không thể truyền trực tiếp điện áp một chiều. Điện áp một chiều phải được điều chế thành điện áp xoay chiều với tần số mang đủ cao (trong dải tần đến 100kHz - điều chế tần số hoặc biên độ).

- Ghép quang học: có thể truyền trực tiếp điện áp một chiều.

Khi đòi hỏi độ chính xác cao: có thể chuyển đổi tín hiệu analog trên phần phát thành tín hiệu số, sau đó truyền tín hiệu số sang phần thu bằng phương pháp quang học. Phương pháp này không bị ảnh hưởng do độ phi tuyến của việc ghép quang học.

Hình 6.14 minh họa việc truyền tín hiệu analog bằng phương pháp quang học. Để bù méo tuyến tính do các ôptrôn gây ra, dòng của phôtô điốt được điều chỉnh bằng bộ KDTT IC₁ sao cho dòng quang của ôptron chuẩn T₁ bằng một trị số cho trước.



Hình 6.14.Truyền tín hiệu đo analog bằng phương pháp quang học.

Các bộ khuếch đại cách ly ghép biến áp hay ghép quang học thường được chế tạo dưới dạng môđun. Ở phần phát bộ trí bộ khuếch đại đo hoặc bộ khuếch đại đảo pha. Đa số các môđun chứa bộ biến đổi điện áp một chiều trong phần phát đều là loại nguồn dòng cách ly với đất, do đó từ phía ngoài chỉ cần đấu thêm một nguồn dòng nối đất. Hiệu điện thế cho phép giữa phần phát và phần thu có thể vào khoảng vài kilôvôn.

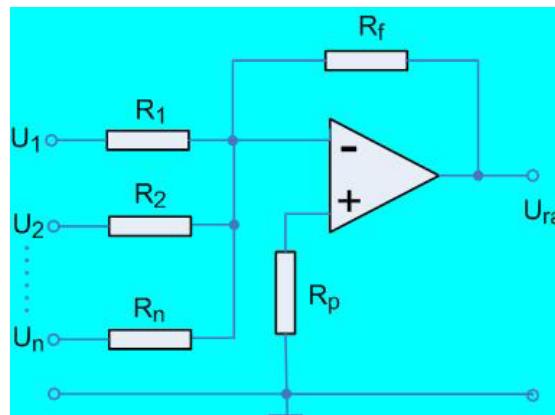
Ví dụ: các loại KĐ cách ly 3650, 3456 (hãng Burr-Brown); 275 (hãng Analog Devices)...

6.5. Mạch xử lý và tính toán.

6.5.1. Mạch cộng:

Là loại mạch thực hiện phép cộng (cộng các tín hiệu với nhau), thường là cộng điện áp.

a) Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ đảo đầu:



Hình 6.15. Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ đảo đầu.

Tín hiệu ra U_{ra} tỉ lệ với tổng đại số của các tín hiệu vào:

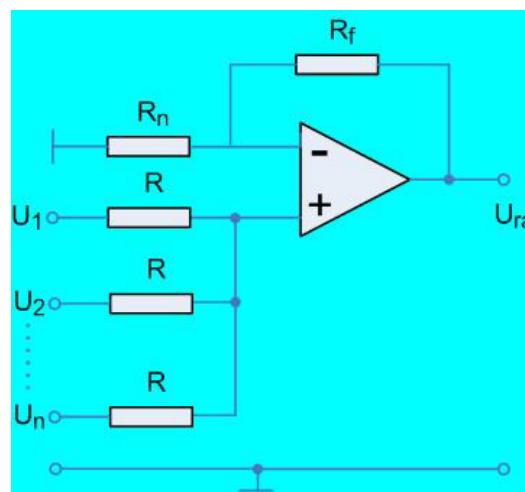
$$U_{ra} = -\frac{R_f}{R_1}U_1 - \frac{R_f}{R_2}U_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}U_n = \sum_{i=1}^n -\frac{R_f}{R_i}U_i$$

Nếu $R_f = R_1 = R_2 = \dots = R_n$ thì:

$$U_{ra} = -\sum_{i=1}^n U_i$$

Ưu điểm của mạch cộng đảo đầu là không bị ảnh hưởng bởi nhiễu của tín hiệu cần đo vì các tín hiệu này được cộng với nhau tại một điểm có thể bằng “0”, các tín hiệu vào độc lập với nhau do được nối với điểm đất ảo (đầu vào đảo). Các hệ số khuếch đại đối với từng tín hiệu vào có thể thay đổi được (bằng cách thay đổi trở vào tương ứng) mà không ảnh hưởng đến các tín hiệu vào khác.

b) Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ không đảo đầu:



Hình 6.16. Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ không đảo đầu

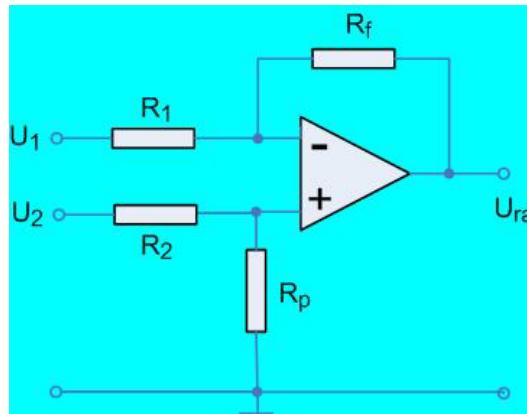
Tín hiệu ra U_{ra} tỉ lệ với tổng đại số của các tín hiệu vào:

$$U_{ra} = \frac{1}{n} \cdot (1 + \frac{R_f}{R_n}) \cdot (U_1 + U_2 + \dots + U_n) = \frac{1}{n} \cdot (1 + \frac{R_f}{R_n}) \cdot \sum_{i=1}^n U_i$$

Nếu $n = (1 + \frac{R_f}{R_n})$ thì: $U_{ra} = \sum_{i=1}^n U_i$

Nhược điểm của mạch cộng không đảo dấu là các tín hiệu vào không độc lập với nhau, việc thay đổi điện trở vào của bất kỳ tín hiệu vào nào đều ảnh hưởng đến hệ số khuếch đại của tất cả các tín hiệu còn lại.

6.5.2. Mạch trù:



Hình 6.17. Mạch trù sử dụng KĐTT

$$\text{Điện áp ra } U_{ra}: \quad U_{ra} = U_{ra}(U_1) + U_{ra}(U_2)$$

$$= -\frac{R_f}{R_1} U_1 + \frac{R_p \cdot (R_1 + R_f)}{R_1 \cdot (R_2 + R_p)} U_2 = -\frac{R_f}{R_1} U_1 + \frac{\frac{R_p}{R_2} \cdot (1 + \frac{R_f}{R_1})}{1 + \frac{R_p}{R_2}} U_2$$

$$\text{Đặt: } \frac{R_p}{R_2} = \alpha_p; \frac{R_f}{R_1} = \alpha_N, \text{ có: } U_{ra} = -\alpha_N U_1 + \frac{1 + \alpha_N}{1 + \alpha_p} \alpha_p U_2$$

$$\text{Trường hợp đặc biệt khi } \alpha_p = \alpha_N = 1, \text{ có: } U_{ra} = U_2 - U_1$$

6.5.3. Mạch nhân:

Có nhiều trường hợp phải sử dụng mạch nhân như khi đo công suất $P=U.I.\cos\phi$ hoặc khi cần nhân hai điện áp... vì thế mạch nhân rất quan trọng trong đo lường.

Các phần tử nhân thường dùng trong đo lường là:

- Phần tử điện động, phần tử sắt điện động: được dùng để chế tạo các wátmét đo công suất.

- Chuyển đổi Hall: sử dụng để đo công suất.

- Các bộ nhân điện tử: phép nhân tín hiệu tương tự có thể thực hiện bằng nhiều cách, ở đây chỉ xét hai cách phổ biến nhất là nhân bằng các phần tử logarit và nhân bằng phương pháp điều khiển độ dẫn của tranzito.

a) Bộ nhân sử dụng nguyên lý lấy logarit và đổi logarit:

- Các mạch (IC_1, T_1) và (IC_2, T_2) làm nhiệm vụ tạo hàm logarit:

$$U_{ra1} = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_x}{I_{ES} \cdot R_1}\right); \quad U_{ra2} = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES} \cdot R_2}\right)$$

với: U_T là thế nhiệt của tranzito: $U_T = \frac{K \cdot T}{q}$; $K = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$; $q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

I_{ES} là dòng điện ngược bão hòa của tiếp giáp EC, hệ số phụ thuộc nhiệt độ.

- IC₃ là mạch cộng:

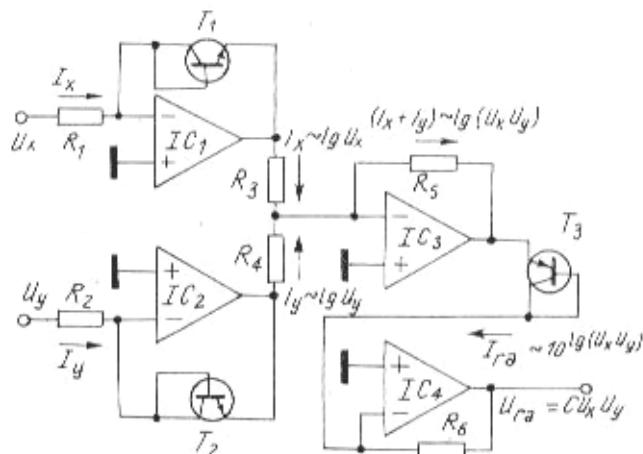
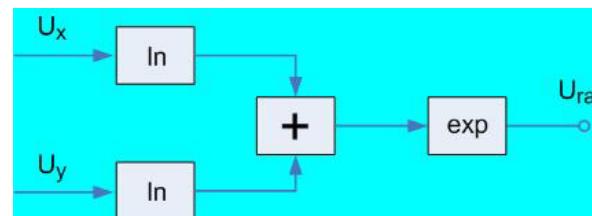
$$U_{ra3} = -\alpha \cdot (U_{ra1} + U_{ra2}) = \alpha \cdot U_T \left[\ln\left(\frac{U_x}{I_{ES} \cdot R_1}\right) + \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES} \cdot R_2}\right) \right]$$

chọn $\alpha = U_T$ $\Rightarrow U_{ra3} = \ln\left[\left(\frac{U_x}{I_{ES} \cdot R_1}\right)\left(\frac{U_y}{I_{ES} \cdot R_2}\right)\right]$

- Mạch (IC₄, T₄) là mạch đổi lôgarit (mạch hàm mũ):

$$\begin{aligned} U_{ra} &= \exp(U_{ra3}) = \exp\left\{\ln\left[\left(\frac{U_x}{I_{ES} \cdot R_1}\right)\left(\frac{U_y}{I_{ES} \cdot R_2}\right)\right]\right\} \\ &= C \cdot U_x \cdot U_y \end{aligned}$$

với $C = f(R_1, R_2)$



Hình 6.18. Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý mạch nhân dùng mạch khuếch đại lôgarit và đổi lôgarit sử dụng KDTT.

Ưu điểm của mạch nhân sử dụng mạch logarit là có thể sử dụng với tín hiệu vào có khoảng động lớn.

Ngày nay các mạch nhân được tích hợp trong một IC, các mạch nhân sử dụng nguyên lý này là: 755N (hãng Analog Devices), 433 (hãng Analog Devices), 4301 (hãng Burr Brown)...

b) **Bộ nhân bằng phương pháp điều khiển độ dân của tranzito:** sử dụng phương pháp thay đổi hệ số khuếch đại của KĐ vi sai dùng hai tranzito.

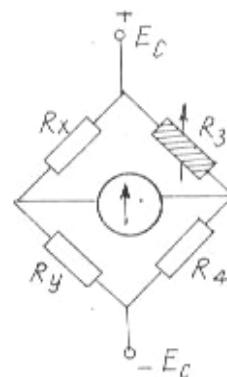
6.5.4. Mạch chia:

Mạch chia được sử dụng rộng rãi trong các phép đo gián tiếp. Kết quả phép đo có thể là một đại lượng hoặc là một giá trị không có thứ nguyên (thường đặc trưng cho phẩm chất).

Thông dụng nhất là cá phương pháp: lôgômét, mạch cầu, mạch chia điện tử...

a) **Mạch chia bằng cơ cầu chỉ thị lôgômét:** có góc quay của kim chỉ thị tỉ lệ với tỉ số của hai dòng điện.

b) Mạch chia dựa trên mạch cầu cân bằng: như hình 6.19: là mạch lấy tỉ số giữa hai điện trở của hai nhánh của cầu:



Hình 6.19. Mạch chia sử dụng mạch cầu cân bằng

Khi cầu cân bằng có phương trình:

$$R_x \cdot R_4 = R_y \cdot R_3$$

với R_3 thường là một biến trở có giá trị phụ thuộc vào góc quay α :

$$\alpha = f(R_3)$$

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{R_x}{R_y} \Rightarrow \alpha = f(R_3) = f\left(\frac{R_x}{R_y}\right)$$

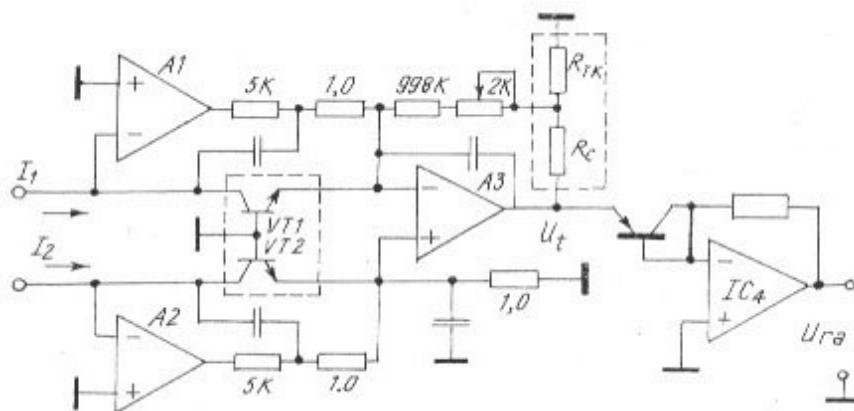
c) Bô chia điện tử: giống bô nhân điện tử, sử dụng hai bô khuếch đại lôgarit (IC_1, T_1) và (IC_2, T_2), sau đó tín hiệu được đưa vào mạch trừ bằng IC_3 . Sau bô trừ có:

$$U_t = K_1 \cdot \lg\left(\frac{I_x}{I_y}\right)$$

Tín hiệu này sau khi qua bô đổi lôgarit (IC_4, T_3) có:

$$U_{ra} = K_2 \left(\frac{I_x}{I_y}\right)$$

Trong kỹ thuật số việc nhân chia được thực hiện trong các mạch vi xử lý (μP) và các vi mạch tính toán nhỏ.



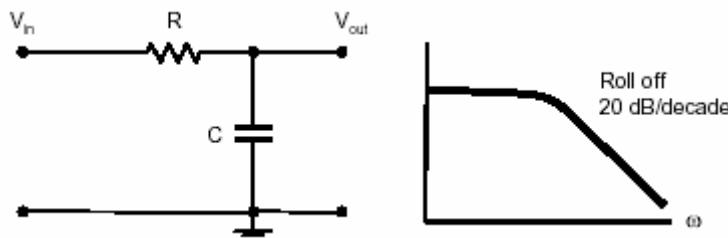
Hình 6.20. Mạch chia điện tử

6.5.5. Mạch tích phân (Integrator):

Trong kỹ thuật đo lường thường sử dụng các khâu tích phân. Ví dụ việc biến đổi

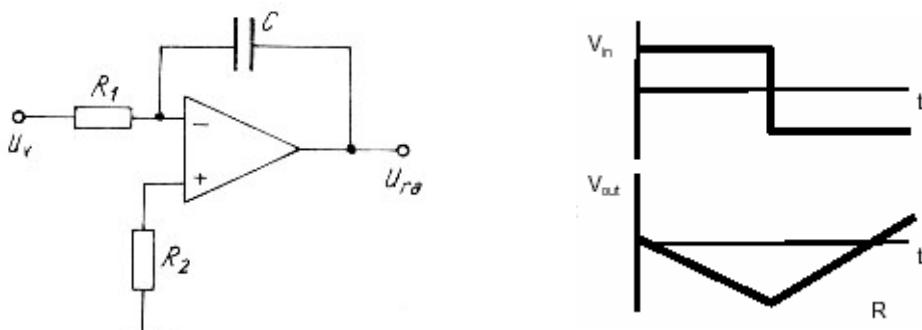
các tín hiệu rời rạc (discrete) thành tín hiệu liên tục (analog) để đưa tín hiệu vào dụng cụ đo tương tự hay trong mạch đo tần số...

Có nhiều loại mạch tích phân như: mạch RC, mạch LR...nhưng phổ biến nhất là mạch tích phân RC kết hợp với KĐTT.



Hình 6.21. Mạch tích phân RC và đặc tính tần số.

a) **Mạch tích phân RC kết hợp với KĐTT:** nhờ có mạch KĐTT có thể tạo ra phản hồi âm sâu làm tăng độ chính xác của mạch tích phân.



Hình 6.22. Mạch tích phân RC kết hợp với KĐTT

Quan hệ giữa điện áp vào và điện áp ra của mạch tích phân:

Viết phương trình dòng điện nút cho cực vào đảo của KĐTT :

$$\begin{aligned} u_N = u_P = 0 \Rightarrow i_1 + i_c = 0 &\Leftrightarrow \frac{u_1}{R} + C \frac{du_r}{dt} = 0 \\ \Leftrightarrow u_r = -\frac{1}{RC} \int u_1(t) dt &= -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^T u_1 dt + u_r(t=0) \end{aligned}$$

với $u_r(t=0)$ là điều kiện đầu của điện áp ra.

Trong mạch này tốc độ thay đổi điện áp ra tỉ lệ nghịch với hằng số thời gian $\tau = R_1 C$.

- *Khi tín hiệu vào thay đổi theo dạng bậc thang:* tốc độ thay đổi của tín hiệu ra là:

$$\frac{\Delta U_{ra}}{\Delta t} = -\frac{U_v}{R_1 C}$$

như thế đầu ra sẽ có tín hiệu tuyến tính tăng dần theo thời gian.

- *Khi tín hiệu vào là hình sin:* mạch tích phân là một bộ lọc thông thấp (low-pass filter) có hệ số khuếch đại tỉ lệ nghịch với tần số.

- *Bộ tích phân lý tưởng:* thỏa mãn điều kiện khi tín hiệu vào bằng 0 thì tín hiệu ra phải giữ nguyên không đổi. Muốn đưa về giá trị ban đầu phải ngắn mạch tụ C. Đặc tính này được sử dụng làm bộ nhớ động.

6.5.6. Mạch vi phân (Differentiator):

Mạch vi phân đơn giản có thể thực hiện bằng điện cảm hay điện dung.

a) **Mạch vi phân RL:** như hình 6.23a:

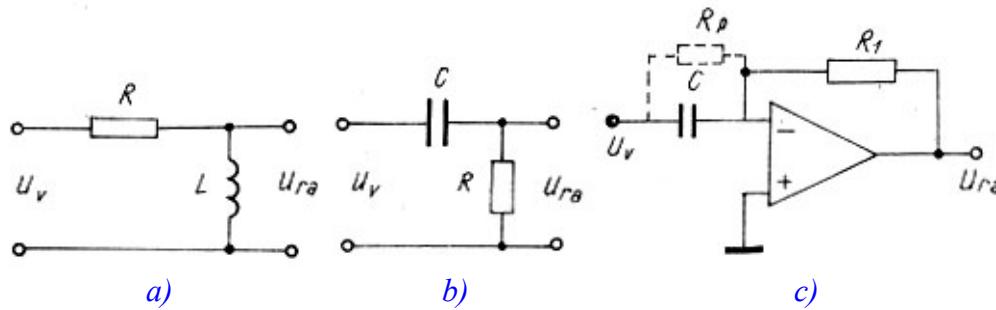
Phương trình điện áp ra là:

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

b) Mạch vi phân RC: như hình 6.23b:

Phương trình điện áp ra là:

$$i_c = C \frac{du_c}{dt}$$



Hình 6.23. Mạch vi phân

c) Mạch vi phân kết hợp mạch RC với KĐTT: trong thực tế để nâng cao độ chính xác thường phải kết hợp mạch RC với KĐTT như hình 6.23c: đây là mạch khuếch đại có phản hồi âm sâu bằng điện trở, hệ số phản hồi có thể xem bằng 1.

Điện áp ra của mạch là:

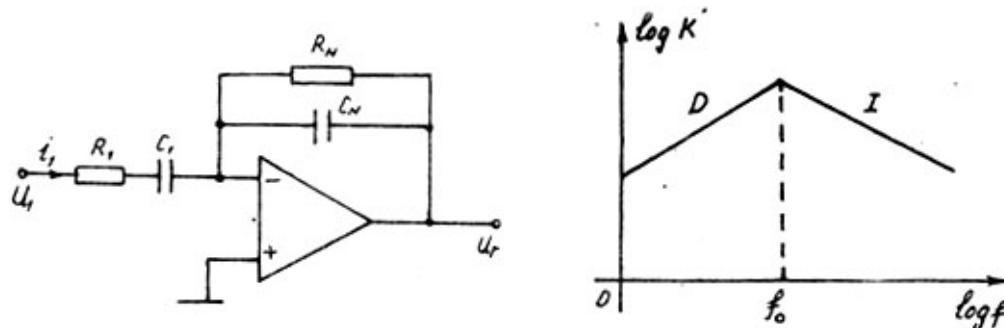
$$u_r = -R_f C \frac{du_v}{dt}$$

Khi tín hiệu vào là hình sin thì bộ vi phân có tác dụng như bộ lọc cao tần, có hệ số khuếch đại tỉ lệ thuận với tần số của tín hiệu vào.

Mạch vi phân này có những nhược điểm sau:

- Vì hệ số khuếch đại tăng khi tần số tín hiệu vào tăng nên mạch nhạy với tín hiệu ồn cao tần, ồn đầu ra có thể lấn át tín hiệu.
- Trở kháng vào của mạch $Z_v = 1/j\omega C$ giảm khi tần số tăng, do đó khi nguồn tín hiệu có trở kháng trong lớn thì chỉ một phần tín hiệu được vi phân, phần còn lại được khuếch đại. Ngoài ra ở tần số cao hệ số hồi tiếp của mạch giảm.
- Mạch kém ổn định.

d) Mạch vi phân thực: do các nhược điểm của các mạch vi phân trên nên trong thực tế thường dùng mạch vi phân thực như hình 6.24:



Hình 6.24. Mạch vi phân thực và đặc tính biên độ-tần số

Mạch chỉ hoạt động ở chế độ vi phân khi tín hiệu vào có tần số thỏa mãn:

$$f \ll f_o = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

khi đó có phương trình điện áp ra:

$$u_r = -R_N C_1 \frac{du_1}{dt}$$

6.6. Mạch so sánh (Comparator).

Mạch so sánh được sử dụng rất nhiều trong kỹ thuật đo lường, mạch có tác dụng phát hiện thời điểm bằng nhau của hai đại lượng vật lý nào đó (thường là giá trị điện áp). Trong phương pháp đo kiểu so sánh thường sử dụng mạch so sánh để phát hiện thời điểm không của điện áp.

Các mạch so sánh phổ biến là các mạch sử dụng KĐTT mắc theo kiểu một đầu vào hay hai đầu vào, hoặc có thêm phản hồi dương nhỏ để tạo ra đặc tính trễ của bộ so sánh. Cũng có thể sử dụng các điện trở mẫu như: mạch cầu, mạch điện thế kế với thiết bị chỉ thị lệch không với điện thế kế.

6.6.1. Bộ so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo mạch một đầu vào:

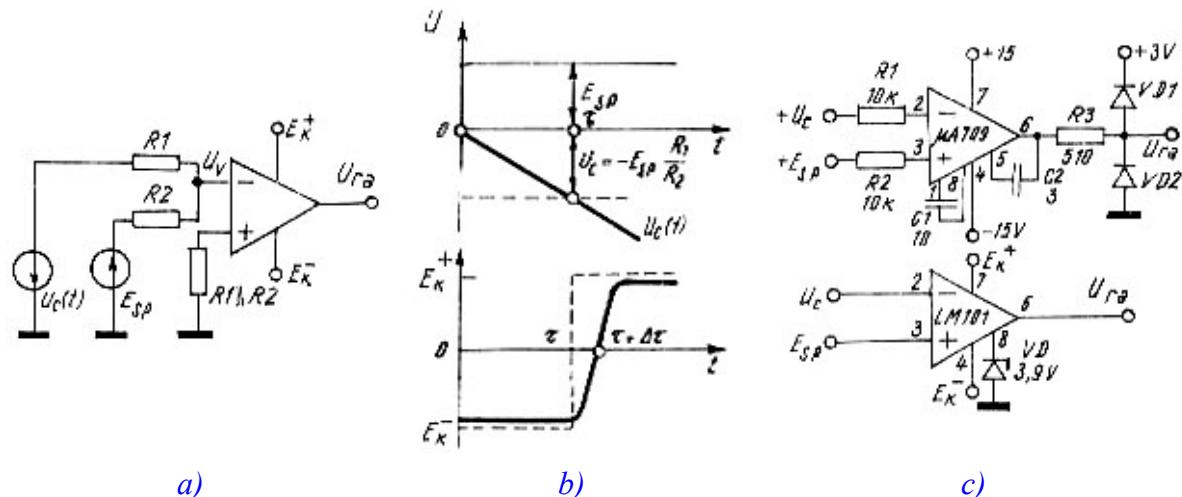
Bộ so sánh này được sử dụng để so sánh hai điện áp vào khác dấu, KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc:

$$\Delta u = u_p - u_n = 0 \rightarrow u_{ra} = 0$$

$$\Delta u = u_p - u_n > 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^+$$

$$\Delta u = u_p - u_n < 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^-$$

diện áp ra U_{ra} của mạch so sánh sẽ chuyển trạng thái tại thời điểm cân bằng.



Hình 6.25: a) Bộ so sánh một đầu vào;
b) Quá trình xảy ra ở bộ so sánh; c) Mạch thực tế

Với sơ đồ mạch này có $u_p = 0$. Quá trình chuyển trạng thái được biểu diễn trên hình 6.25b:

- Khi $0 < t < \tau : u_c < E_{sp} \rightarrow u_n > 0 \rightarrow \Delta u = u_p - u_n = -u_n < 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^-$
- Khi $t = \tau : u_c = -E_{sp} \frac{R_1}{R_2} \rightarrow u_n = 0 \rightarrow \Delta u = u_p - u_n = -u_n = 0 \rightarrow u_{ra}$ chuyển trạng thái sang $u_{ra} = E_K^+$ sau thời gian $\Delta\tau$.

Mạch so sánh một đầu vào có điện trở vào không lớn, tuy nhiên nó cho phép so

sánh các điện áp có biên độ lớn mà không mắc phải sai số đồng pha.

Ở cực không đảo (cực P) của KĐTT có mắc thêm điện trở có giá trị bằng R_1/R_2 để khử điện áp trôi (điện áp lệch không - offset voltage).

6.6.2. BỘ SO SÁNH CÁC TÍN HIỆU CÙNG DẤU BẰNG KĐTT MẮC THEO MẠCH HAI ĐẦU VÀO:

Mạch này được sử dụng để so sánh hai tín hiệu cùng dấu. Độ lớn của điện áp vào phải được giới hạn trong phạm vi cho phép của điện áp đồng pha E_{dp} của KĐTT đã chọn.

Xét mạch so sánh sử dụng KĐTT μA709 như hình 6.25a: KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc:

$$\Delta u = u_P - u_N = 0 \rightarrow u_{ra} = 0$$

$$\Delta u = u_P - u_N > 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^+$$

$$\Delta u = u_P - u_N < 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^-$$

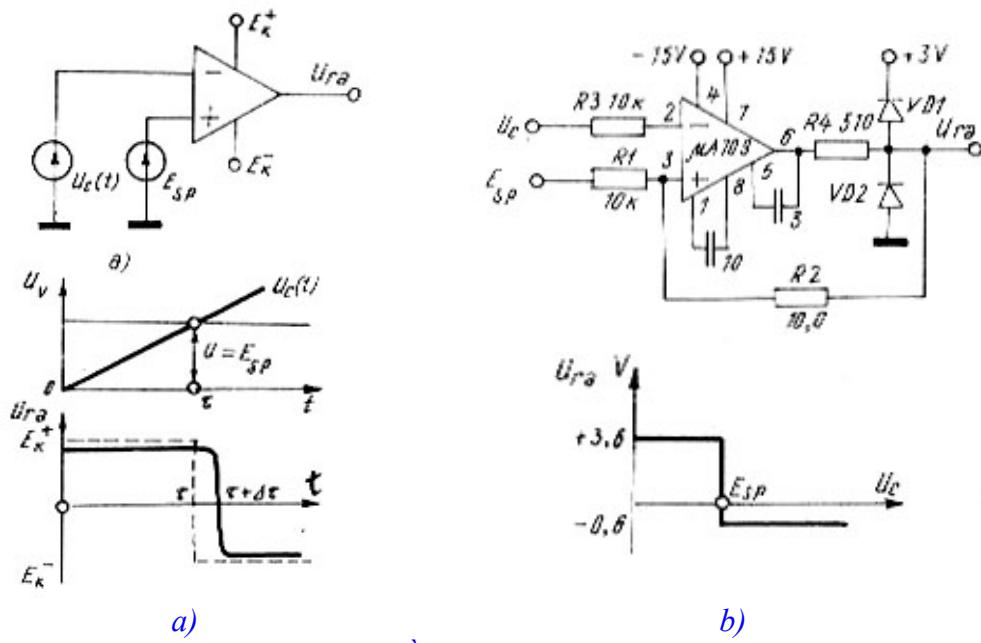
với $\Delta u = E_{sp} - u_c(t)$.

Tín hiệu chênh lệch nhỏ nhất mà mạch phát hiện được với KĐTT có hệ số khuếch đại vòng hở $K_0 = 4.10^4$ và $U_n = 2V$ là:

$$|\Delta u| = |E_{sp} - u_c(t)|_{\min} = \frac{U_n}{K_0} = 0,05mV$$

Đối với các mạch so sánh sử dụng các KĐTT tiêu chuẩn thì thời gian để điện áp ra tăng lên đến 4V khi hiệu $|\Delta u| = |E_{sp} - u_c(t)|$ bằng 10mV mất khoảng 0,5μs, thời gian trễ của tín hiệu ra cỡ 3-5μs.

Biên độ điện áp ra được giới hạn bởi mạch hạn chế gồm diode VD₁ (hạn chế trên) và VD₂ (hạn chế dưới), điện áp ra có thể đưa thẳng vào đầu của các IC số.

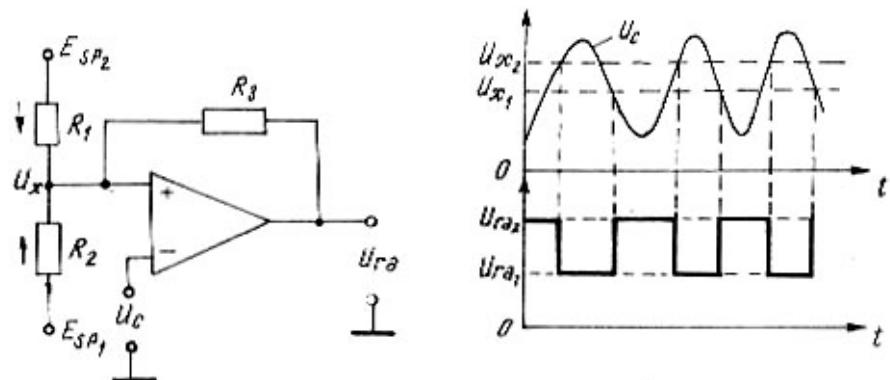


Hình 6.25. BỘ SO SÁNH HAI ĐẦU VÀO VÀ QUÁ TRÌNH XÂY RA Ở BỘ SO SÁNH

6.6.3. MẠCH SO SÁNH HAI MỨC:

Trong các hệ thống kiểm tra hay điều chỉnh tự động có lúc cần phải điều chỉnh một thông số nào đo luôn luôn phải nằm giữa hai mức cho trước, khi đó phải sử dụng mạch so sánh hai mức U_{x1}, U_{x2} được tạo bởi tổng hợp của 2 nguồn E_{sp1}, E_{sp2} .

Xét mạch ví dụ như hình 6.26 với $U_{x1} < U_{x2}$:



Hình 6.26. Mạch so sánh hai mức.

Tín hiệu đầu ra u_{ra} có hai trạng thái tương ứng với giá trị của tín hiệu vào u_c :

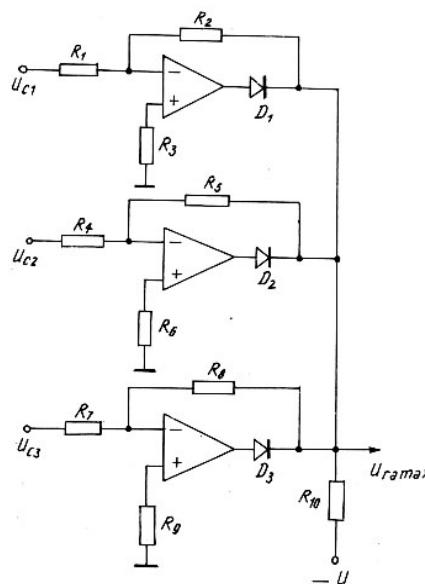
- Khi $u_c > U_{x2}$: $u_{ra} = U_{ra1}$, giữ nguyên khi u_c giảm.
- Khi $u_c = U_{x1}$ đầu ra thay đổi trạng thái: $u_{ra} = U_{ra2}$

Mạch hoạt động như một mạch Trigo Smit.

6.6.4. Mạch so sánh cực đại:

Ứng dụng khi cần so sánh những tín hiệu đo khác nhau và chỉ thị giá trị cực đại trong số các giá trị đo đó.

Mạch nguyên lý như hình 6.27:



Hình 6.27. Mạch so sánh cực đại

Các điện áp vào cần so sánh là u_{c1}, u_{c2}, u_{c3} , cho điện áp nền $-U$ (có giá trị tuyệt đối lớn hơn các u_c), khi có điện áp ở các đầu vào u_{c1}, u_{c2}, u_{c3} thì các diốt đều thông và ở đầu ra chỉ $u_{ra \max}$ của các điện áp đầu vào, lúc này chỉ có diốt tương ứng với u_{cmax} là thông còn các diốt khác sẽ bị khóa.

6.6.5. Mạch cầu đo:

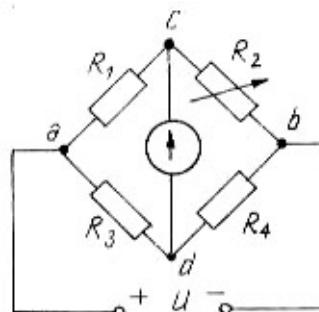
Mạch cầu được xem như là một mạch so sánh điện trở, tuy nhiên thực chất là biến thành sự so sánh hai điện thế.

Cấu tạo của mạch như hình 6.28:

Cầu cân bằng khi $u_c = u_d$, khi đó có quan hệ:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

Để đạt trạng thái cân bằng thường phải điều chỉnh một trong các điện trở, quá trình tìm cân bằng là quá trình điều chỉnh để so sánh hai điện thế u_c và u_d . Khi bằng nhau thì điện kế chỉ 0 và hệ thức trên không phụ thuộc vào điện áp nguồn.



Hình 6.28. Mạch cầu đo

Nếu sử dụng các điện trở chính xác (bằng vật liệu mangani) thì có thể sử dụng mạch cầu đo để đo điện trở với độ chính xác cao bằng cách: thay một điện trở của cầu (ví dụ R_1) bằng điện trở cần đo R_x , ở trạng thái cầu cân bằng có:

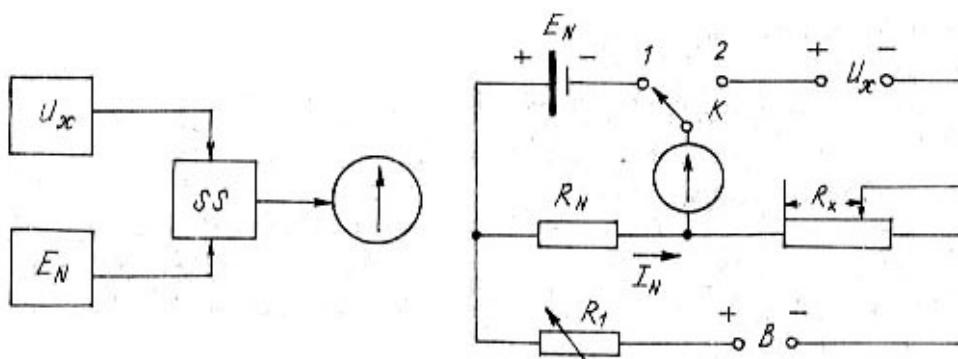
$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

nếu chọn $R_3 = R_4$ thì $R_x = R_2$ với R_2 là điện trở đã biết từ đó biết được giá trị của R_x . Đây là phép đo điện trở với độ chính xác cao dựa trên nguyên lý so sánh cân bằng.

6.6.6. Mạch điện thế kế:

Là mạch đo dựa trên phương pháp so sánh cân bằng giữa hai điện áp: điện áp cần đo U_x và điện áp mẫu E_N .

Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý của mạch như hình 6.29:



Hình 6.29. Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý mạch điện thế kế.

Điện áp cần đo U_x được so sánh với điện áp mẫu E_N , ở thời điểm bằng nhau đọc E_N sẽ biết được giá trị của U_x .

Cách thực hiện như sau: bật công tắc K sang vị trí 1, điều chỉnh R_1 sao cho kim điện kế chỉ 0, khi đó có:

$$E_N = I_N \cdot R_N \text{ hay } I_N = \frac{E_N}{R_N}$$

là các величин chính xác vì E_N là pin mẫu và R_N là điện trở mẫu.

Tiếp theo bật công tắc K sang vị trí 2, điều chỉnh R_x sao cho điện kế chỉ 0, khi đó có:

$$U_x = I_N \cdot R_x = \frac{E_N}{R_N} \cdot R_x$$

nếu chế tạo $\frac{E_N}{R_N} = 10^n$ thì sẽ có: $U_x = 10^n R_x$

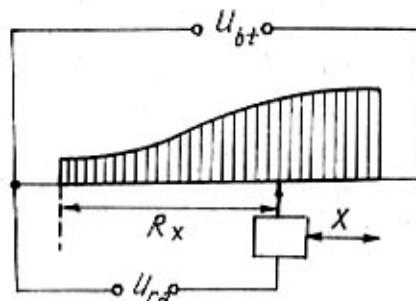
Đây là phép đo điện áp chính xác vì kết quả đo phụ thuộc vào độ chính xác của pin mẫu E_N và của các điện trở mẫu R_x, R_N . Độ chính xác của phép đo còn phụ thuộc vào độ nhạy của điện kế chỉ 0, thường phải chọn điện kế từ điện đủ nhạy (trong khoảng từ 10^{-6} - 10^{-9} A/vạch).

6.7. Mạch tạo hàm.

Mạch tạo hàm được sử dụng rất nhiều khi gặp trường hợp đặc tính ra của các chuyển đổi sơ cấp là phi tuyến, khi đó cần phải tuyến hóa đặc tính ra bằng cách sử dụng các hàm ngược bằng các mạch tạo hàm. Mạch tạo hàm còn được sử dụng trong các chuyển đổi ngược để tạo các hàm giống với hàm đặc tính ra của chuyển đổi sơ cấp.

6.7.1. Mạch tạo hàm bằng biến trở:

Biến trở của mạch tạo hàm có thiết kế được chế tạo theo hàm số mong muốn:



Hình 6.30a. Mạch tạo hàm bằng biến trở

Di chuyển của con chay tỉ lệ với đại lượng vào:

$$l = k_1 X$$

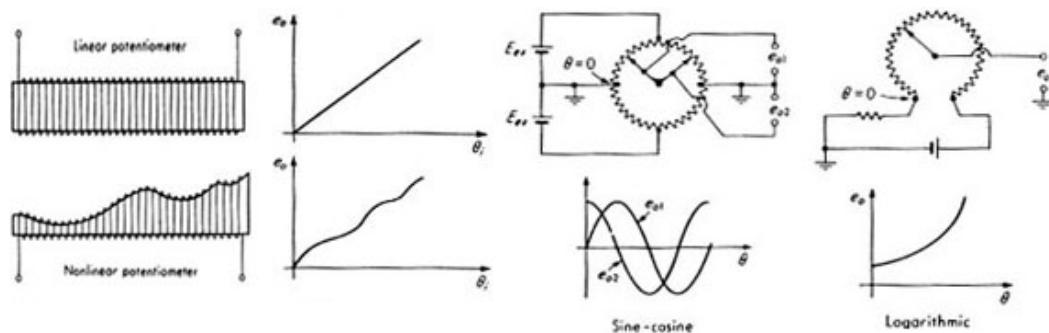
Lối của biến trở có hình dạng theo hàm số yêu cầu.

Gọi điện trở toàn bộ biến trở là R_{bt} , điện áp toàn bộ đặt lên nó là U_{bt} , điện áp ra sẽ là:

$$U_{ra} = \frac{U_{bt}}{R_{bt}} \cdot R_x = k \cdot R_x$$

nếu $R_x = f(l)$ thì $U_{ra} = k \cdot f(l)$

Nếu đặc tính ra của đại lượng cần đo X qua CDSC là hàm phi tuyến thì cần chế tạo biến trở có hàm đặc tính là hàm ngược lại để có đầu ra là hàm tuyến tính.

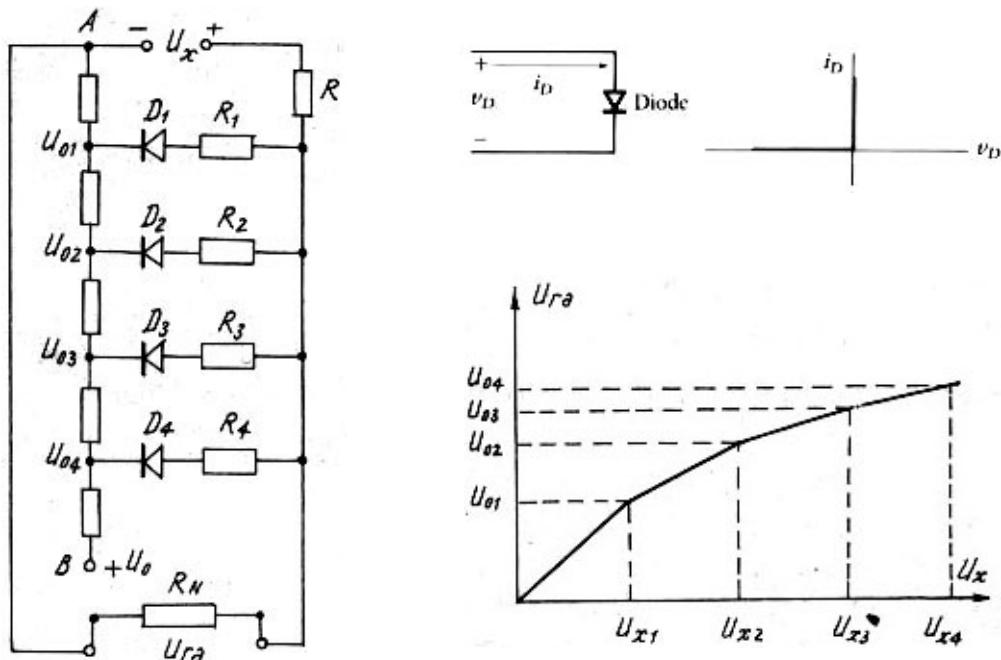


Hình 6.30b. Một số mạch tạo hàm bằng biến trở thông dụng

6.7.2. Mạch tạo hàm bằng diốt bán dẫn:

Điốt lý tưởng được xem như chỉ dẫn điện một chiều, điện trở ngược vô cùng lớn, điện trở thuận bằng 0.

Sơ đồ mạch tạo hàm đơn giản như hình 6.31:



Hình 6.31. Mạch tạo hàm bằng diốt bán dẫn.

Điện áp vào là U_x . Nhờ bộ phân áp AB trên dãy đặt điện áp nền U_0 , ở các catot của diốt có điện áp $U_{01}, U_{02} \dots$

Khi thay đổi giá trị điện áp vào U_x có thể phân tích như sau:

- **Khi $0 < U_x < U_{x1}$** : tất cả các diốt đều khóa, không có dòng điện đi qua mạch phân áp, điện áp U_x được đặt trên điện trở R và R_N nối tiếp nhau:

$$U_N = U_x \cdot \frac{R_N}{R + R_N}$$

- **Khi $U_{x1} < U_x < U_{x2}$** : diốt D_1 mở còn các diốt khác vẫn khóa, có:

$$I = U_x \left(R + \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N} \right)$$

$$U_N = U_x - IR = U_x - \frac{RU_x}{R + R_E} \text{ với } R_E = \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N}$$

Cũng như vậy, khi $U_{x2} < U_x < U_{x3}$, các diốt D_1, D_2 đều mở, dòng trong mạch chính tăng lên, điện áp rơi trên tải gồm những đoạn thẳng có góc α khác nhau nối lại với nhau. Kết quả nhận được đường cong theo hàm số mong muốn.

Để hiệu chỉnh độ cong có thể thay đổi các giá trị điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 cho phù hợp.

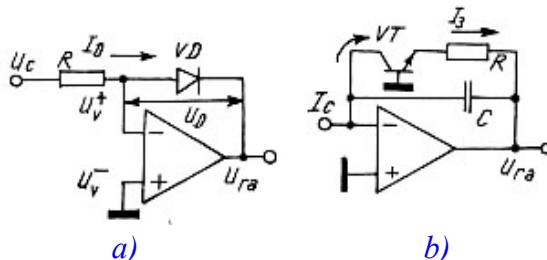
6.7.3. Mạch tạo hàm lôgarit:

Để tạo hàm lôgarit người ta sử dụng đặc tính vôn-ampe của tiếp giáp p-n. Đối với dụng cụ bán dẫn có chất lượng cao đặc tính đó có dạng:

$$U_D = N \cdot \lg \frac{I_D}{I_S}$$

với: U_D : điện áp rơi trên điốt;
 I_D : dòng điện qua điốt.
 I_S : dòng ngược của điốt; N : hệ số tỉ lệ

a) **Mạch tạo hàm lôgarit đơn giản:** xét mạch tạo hàm lôgarit đơn giản như hình 6.32a:



Hình 6.32. Mạch tạo hàm lôgarit đơn giản

Điện áp và dòng điện tính toán là:

$$I_D = \frac{U_c}{R}$$

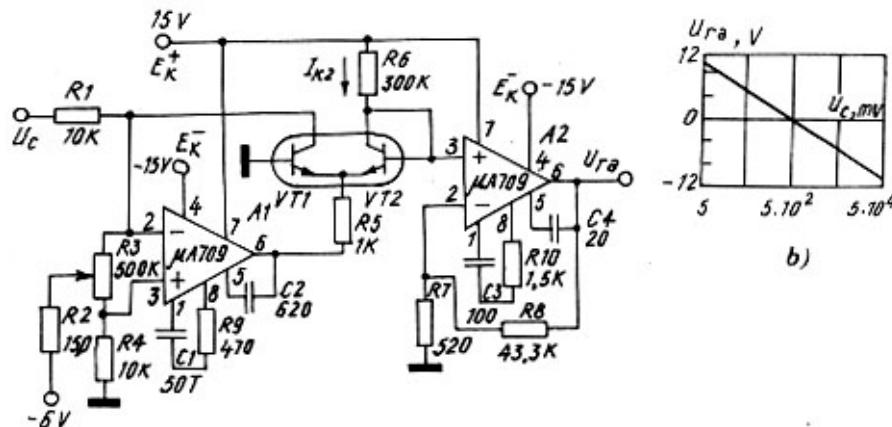
$$\begin{aligned} U_{ra} &= -U_D = -N \cdot \lg \frac{U_c}{R \cdot I_S} \\ &= -N \cdot \lg U_c + N \cdot \lg(R \cdot I_S) \end{aligned}$$

do I_S rất nhỏ nên có thể bỏ qua thành phần $N \cdot \lg(R \cdot I_S)$, suy ra:

$$U_{ra} = -N \cdot \lg U_c$$

Ngoài ra có thể sử dụng mạch tranzito-điốt như hình 6.32b làm việc trong khoảng 10^{-11} - 10^{-4} A

b) **Mạch tạo hàm lôgarit sử dụng môđun lôgarit:** trong thực tế để nâng cao hiệu quả của đặc tính lôgarit phải sử dụng môđun lôgarit bao gồm 2 tranzistor có chung cực phát (emitter) VT₁, VT₂ mắc với 2 KĐTT loại μA709 như hình 6.33:



Hình 6.33. Mạch tạo hàm lôgarit sử dụng môđun lôgarit

Đặc tính lôgarit được tạo ra nhờ sử dụng điện áp rơi trên tiếp giáp p-n còn hiệu điện áp gốc-phát xuất hiện nếu VT₁, VT₂ làm việc với dòng góp (colector) khác nhau I_{c1}, I_{c2} .

Điện áp ra của mạch tỉ lệ với lôgarit của điện áp vào U_c và nhiệt độ:

$$U_{ra} = \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) \cdot \varphi_T \cdot \ln \left(\frac{R_6}{R_1} \cdot \frac{U_c}{E_k^+} \right)$$

Đồ thị hàm truyền đạt và sơ đồ nguyên lý của mạch như hình 6.33. Khoảng động

của mạch này cỡ 80dB, sai số nhiệt độ khoảng 0,3%/1°C, khoảng nhiệt độ làm việc 0-50°C.

6.8. Mạch đo sử dụng vi xử lý (μ P - MicroProcessor).

6.8.1. Giới thiệu về mạch vi xử lý:

Mạch vi xử lý thực hiện chức năng tính toán nhỏ, ghi nhớ, trao đổi thông tin vào/ra, tạo nhịp... là bộ phận đầu não của máy vi tính. Nó thực hiện chức năng của một đơn vị xử lý trung tâm (CPU) trong máy tính.

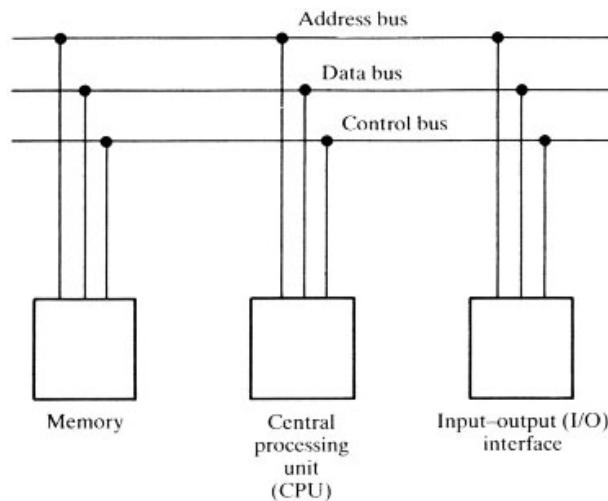
Trong kỹ thuật đo lường ngày nay μ P đang được sử dụng rộng rãi kết hợp với các thiết bị ngoại vi và các thiết bị ghép nối.

Thiết bị ghép nối: là hệ thống ghép nối các bộ phận với nhau của hệ thống đo lường thông tin như: hệ thu thập số liệu, kênh liên lạc, xử lí và thể hiện kết quả đo...

Sự ra đời của μ P mở ra một khả năng lớn trong công nghiệp chế tạo máy vi tính, trong đo lường và điều khiển các quá trình sản xuất, quản lí đời sống xã hội.

6.8.2. Cấu trúc của bộ vi xử lý:

Có rất nhiều loại μ P khác nhau từ đơn giản đến phức tạp tuy nhiên đều có một cấu trúc chung gần giống nhau (như hình 6.34a):



Hình 6.34a. Cấu trúc chung của một bộ vi xử lý

Gồm có các khối cơ bản:

- Khối xử lý trung tâm: CPU
- Khối giao tiếp vào - ra: I/O interface
- Khối bộ nhớ: Memory
- Khối bus: gồm bus điều khiển (Control bus), bus dữ liệu (Data bus) và bus địa chỉ (Address bus).

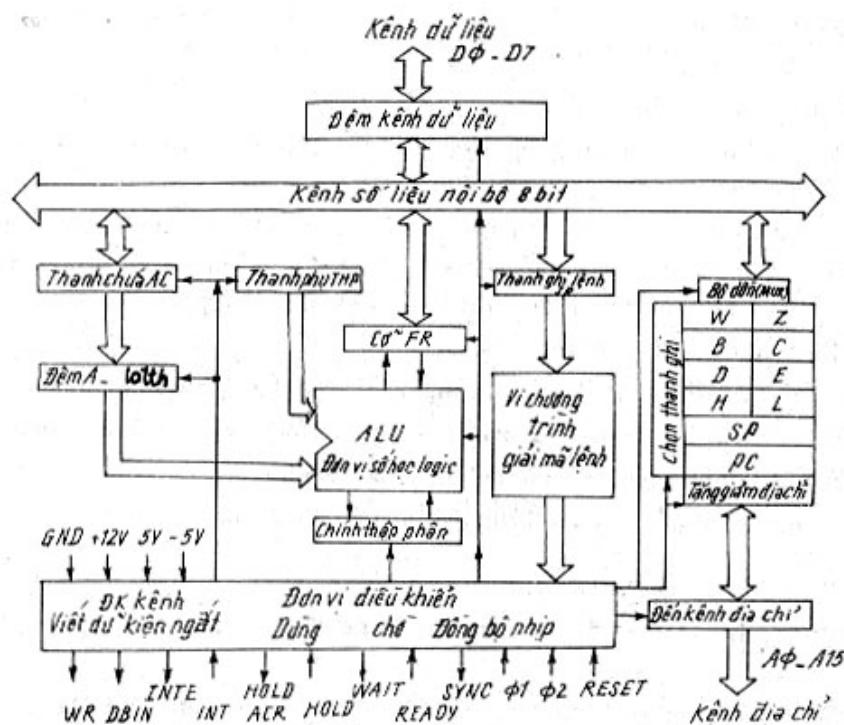
Bộ vi xử lý 8 bit của hãng INTEL - μ P 8088: dưới đây xét sơ đồ cấu trúc của bộ vi xử lý rất nổi tiếng và thông dụng nhất hiện nay đó là bộ vi xử lý 8 bit của hãng INTEL - μ P 8088 như hình 6.34b:

Cấu trúc của μ P gồm 4 bộ phận chính:

- **Đơn vị số học và lôgic (ALU):** thực hiện các phép tính số học, các phép lôgic với các dữ liệu được đưa vào.
- **Các thanh ghi (Register):** thực hiện việc lưu trữ tạm thời các dữ liệu và thông

số về trạng thái của μ P.

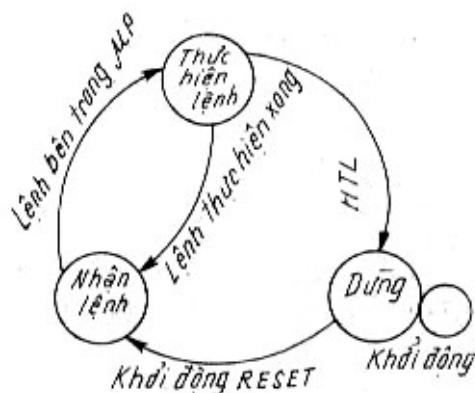
- *Bộ vi chương trình*: ghi tất cả các tập lệnh của hệ điều hành nhỏ của μ P.
- *Bộ điều khiển (CU)*: điều khiển việc lựa chọn các lệnh từ bộ nhớ và thực hiện chúng; thực hiện việc vào/ra kênh dữ liệu và kênh địa chỉ.



Hình 6.34b. Cấu trúc của bộ vi xử lý μ P8088.

6.8.3. Hoạt động của μ P:

Quá trình hoạt động của μ P là quá trình thực hiện các câu lệnh của chương trình đã được lập trình trước, các câu lệnh được thực hiện tuần tự. Để bắt đầu làm việc, ta đưa lệnh khởi động (RESET), lúc đó đơn vị điều khiển CU gán giá trị 0 cho thanh đếm chương trình PC (Program Counter), đó là ô nhớ chứa lệnh đầu tiên của chương trình được đưa ra thực hiện.



Hình 6.35. Các chu kỳ lệnh của μ

Địa chỉ đầu được đưa ra kênh địa chỉ, đơn vị điều khiển thực hiện lệnh đó abùng cách giữ nội dung của thanh ghi PC tới thanh ghi địa chỉ AR và bản thân PC tự động tăng lên 1 đơn vị để xác định ô lệnh tiếp theo của chương trình.

Đơn vị điều khiển tạo ra xung đọc để đưa nội dung ô nhớ đã được chỉ định trên AR vào bộ xử lý qua kênh số liệu vào thanh ghi lệnh IR. Byte đầu tiên của lệnh là

mã lệnh sẽ được chứa vào IR và lệnh được chuyển vào chương trình để phân tích và đưa ra các vi lệnh (các chỉ dẫn) cần thực hiện tương ứng với từng lệnh, mỗi lệnh yêu cầu một khoảng thời gian khác nhau để thực hiện.

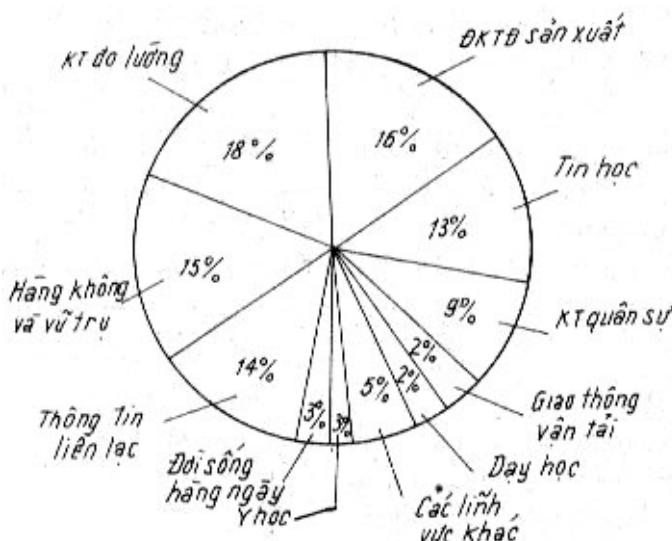
Trong quá trình thực hiện vi lệnh, μP phải sử dụng đến các thanh ghi, đơn vị xử lý số học ALU...tùy theo chỉ dẫn các phép tính hay các vi lệnh đã được chỉ định tương ứng với từng lệnh.

Các cờ (flag) sẽ được sử dụng để đưa ra các điều kiện thực hiện phép tính.

Kết thúc một lệnh, đơn vị điều khiển sẽ phát xung lệnh để bắt đầu một chu trình tương tự để thực hiện câu lệnh tiếp theo.

6.8.4. Ứng dụng của μP trong kỹ thuật đo lường:

Ngày nay vi xử lý được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực công nghiệp và đời sống, thống kê cho thấy tỉ lệ sử dụng vi xử lý trong các lĩnh vực như hình 6.36:



Hình 6.36. Lĩnh vực ứng dụng vi xử lý

Qua đó cho thấy lĩnh vực ứng dụng quan trọng nhất câu kĩ thuật vi xử lý là kĩ thuật đo lường và điều khiển tự động.

Trong kĩ thuật đo lường việc sử dụng vi xử lý và thiết bị ghép nối đã mở ra những tiến bộ vượt bậc trong việc chế tạo các dụng cụ đo từ phức tạp đến đơn giản và hệ thống thông tin đo lường.

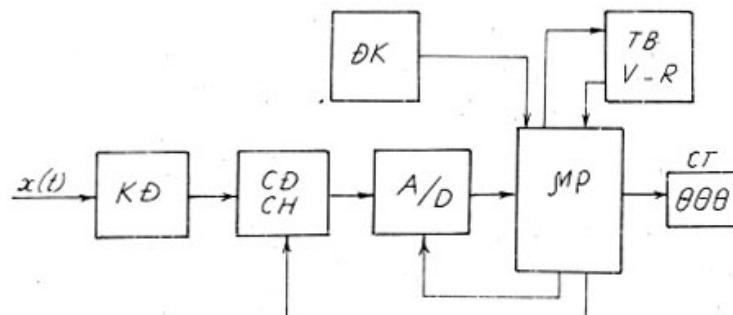
Các mạch vi xử lý thường được sử dụng trong các vômét số, các dụng cụ tự ghi, các máy phát tín hiệu, các dao động ký điện tử, các máy vẽ đồ thị, các dụng cụ đo vạn năng tự động, các dụng cụ đo trong y tế...

Vi xử lý được sử dụng trong các hệ thống thông tin đo lường, trong các thiết bị đo lường đòi hỏi các angôrit phức tạp và tính tự động hóa cao như:

- Các hệ thống kiểm tra tự động các thông số của đối tượng, kiểm tra phân loại sản phẩm.
- Hệ thống chẩn đoán kĩ thuật
- Hệ thống đo lường từ xa
- Các vômét tích phân, các tương quan kế, các máy phân tích phổ, đo các thông số của điện áp xoay chiều, đo các đại lượng phức, các nguồn ổn áp nhiều giá trị
- Các bộ chuyển đổi AD- DA và các thiết bị đo thông minh mà từ trước chưa

thể thực hiện được bằng các mạch đo thông thường.

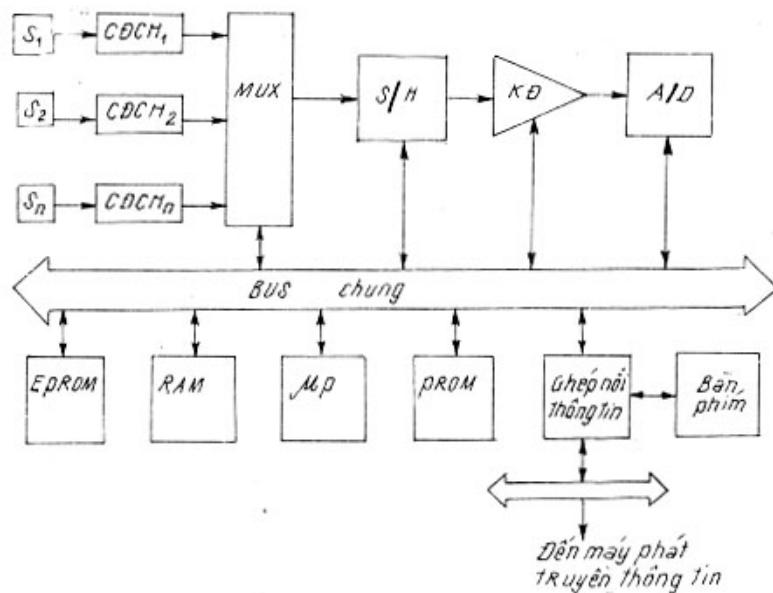
Trong các dụng cụ sử dụng μP thì mọi công việc thu nhận, gia công xử lý và cho ra kết quả đo đều do μP đảm nhận theo một thuật toán đã định sẵn.



Hình 6.37. Sơ đồ khái niệm của một dụng cụ đo chỉ thị có số sử dụng μP .

Một dụng cụ đo phức tạp sẽ tiến dần đến như một máy tính trong đó có sử dụng các kênh chung (BUS) thực hiện việc liên hệ với nhau, quản lý, ra lệnh và làm việc theo chương trình. Các thiết bị đo càng ngày càng có xu hướng trở thành một máy tính thực sự, việc đo, gia công xử lý sẽ được thực hiện bằng phần mềm một cách linh hoạt để đảm bảo quá trình đo lường, kiểm tra, lưu giữ và cả điều khiển quá trình sản xuất.

Một hệ thống thông tin đo lường có sử dụng μP có cấu trúc điển hình như hình 6.38:



Hình 6.38. Hệ thống thông tin đo lường sử dụng μP .

Hướng dẫn SV đọc thêm [1], trang 140-152.

CHƯƠNG 7.

CÁC CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SƠ CẤP (5 LT)

7.1. Khái niệm chung.

Chuyển đổi đo lường sơ cấp thực hiện quan hệ hàm đơn trị giữa hai đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định, trong đó đại lượng vào cần đo là đại lượng không điện và đại lượng ra là đại lượng điện, xử lý đại lượng điện này bằng các mạch đo để có được kết quả đo.

Các chuyển đổi đo lường sơ cấp thường dựa trên các hiệu ứng vật lý vì vậy *độ chính xác của nó phụ thuộc rất nhiều vào bản chất vật lý của chuyển đổi*. Để nâng cao độ chính xác của phép đo và dụng cụ đo cần nâng cao độ chính xác của chuyển đổi sơ cấp vì đây là khâu cơ bản trong thiết bị đo.

7.1.1. Các định nghĩa.

- **Chuyển đổi đo lường (tranducer):** là thiết bị thực hiện một quan hệ hàm đơn trị giữa hai đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định.

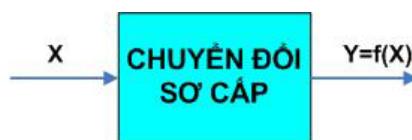
- **Chuyển đổi đo lường sơ cấp (primary tranducer):** là các chuyển đổi đo lường mà đại lượng vào là đại lượng không điện và đại lượng ra là đại lượng điện. Đa số các chuyển đổi đo lường sơ cấp đều dựa trên các hiệu ứng vật lý như: hiệu ứng nhiệt điện, quang điện, hóa điện, cộng hưởng từ hạt nhân...vì vậy mà độ chính xác, độ nhạy, độ tác động nhanh...đều phụ thuộc vào các thành tựu của ngành vật lý và phụ thuộc vào công nghệ chế tạo.

- **Đầu đo (sensor):** là chuyển đổi sơ cấp được đặt trong một hộp và có kích thước và hình dạng khác nhau phù hợp với chỗ đặt của điểm đo. Còn gọi là bộ cảm biến, xenxơ (sensor).

7.1.2. Các đặc tính của chuyển đổi sơ cấp.

Theo quan điểm mô hình mạch ta coi bộ cảm biến như một hộp đen, có quan hệ đáp ứng-kích thích được biểu diễn bằng phương trình của chuyển đổi sơ cấp là:

$$Y = f(X) \quad (7.1)$$



Hình 7.1. Mô hình mạch của chuyển đổi đo lường sơ cấp.

với X là đại lượng đầu vào (đại lượng không điện cần đo), Y là đại lượng ra (đại lượng điện sau chuyển đổi).

Trong thực tế mỗi quan hệ này thường được tìm thông qua thực nghiệm. Mỗi quan hệ (7.1) thường là phi tuyến, nhưng để nâng cao độ chính xác của thiết bị đo cần phải tìm cách tuyến tính hóa bằng các mạch điện tử hay sử dụng các thuật toán thực hiện khi gia công bằng máy tính.

Tín hiệu ra Y của chuyển đổi đo lường sơ cấp trong thực tế không chỉ phụ thuộc tín hiệu vào X mà còn phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài Z, tức là:

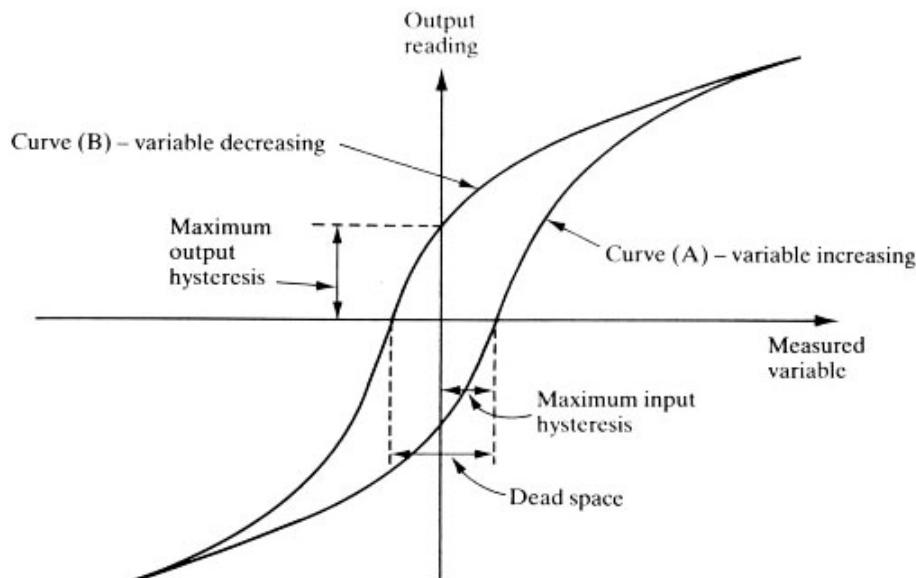
$$Y = f(X, Z)$$

như vậy muốn đảm bảo độ chính xác của chuyển đổi thì sự ảnh hưởng của điều kiện ngoài Z cần phải được chú ý loại trừ bằng các phương pháp thích hợp.

Quan hệ (7.1) được đặc trưng bằng nhiều đặc trưng cơ bản của bộ cảm biến. Khi đánh giá một chuyển đổi hay phải so sánh chúng với nhau cần phải chú ý những đặc tính cơ bản sau:

- Khả năng thay thế các chuyển đổi:** cần có nhiều chuyển đổi với các đặc tính tương tự để thay thế khi hư hỏng mà không bị mắc phải sai số.

- Chuyển đổi phải có đặc tính đơn trị:** nghĩa là với đường cong hồi phục của chuyển đổi ứng với một giá trị X chỉ có một giá trị Y.



Hình 7.2. Tính không đơn trị của đặc tính của chuyển đổi.

- Đường cong đặc tính của chuyển đổi phải ổn định:** nghĩa là không được thay đổi theo thời gian (không bị già hóa).

- Tín hiệu ra của chuyển đổi phải tiện cho việc ghép nối vào dụng cụ đo, hệ thống đo và máy tính:** hiện nay có 2 chuẩn tín hiệu ra phổ biến là tín hiệu điện áp 0-5V, 0-10V...; tín hiệu dòng điện 0-20mA, 4-20mA.

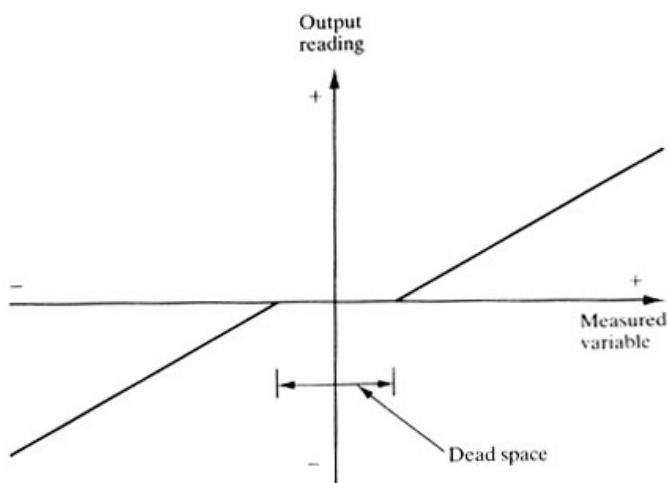
- Sai số:** là đặc tính quan trọng của chuyển đổi đo. Yêu cầu sai số phải thỏa mãn yêu cầu, giảm sai số càng nhỏ càng tốt. Khi xét theo nguyên nhân gây sai số thường có sai số cơ bản và sai số phụ:

- Sai số cơ bản:** sai số gây ra do nguyên lý hoạt động của chuyển đổi, sự không hoàn thiện của cấu trúc, công nghệ chế tạo không tốt...

- Sai số phụ:** sai số gây ra do sự biến động của điều kiện bên ngoài khác với điều kiện tiêu chuẩn.

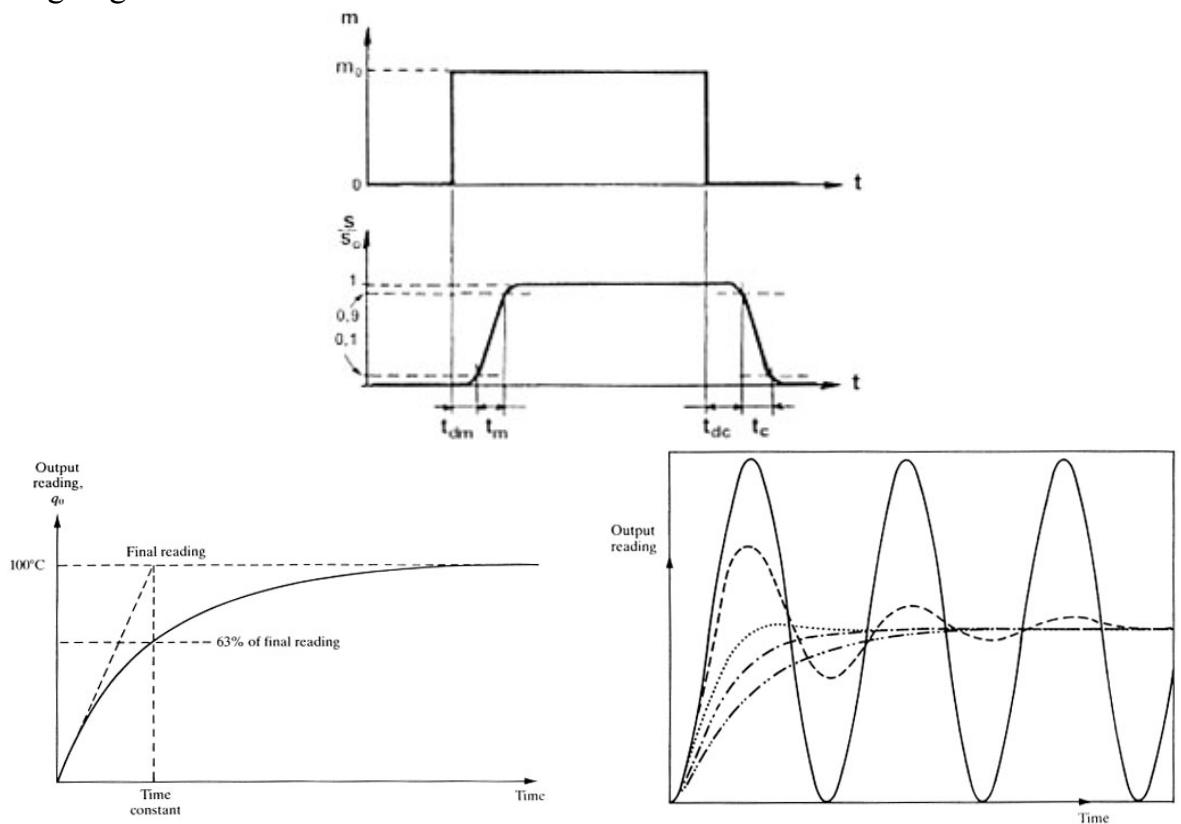
- Độ nhạy:** là một tiêu chuẩn quan trọng có tác dụng quyết định cấu trúc của mạch đo để đảm bảo cho phép đo có thể đo được những biến động nhỏ của đại lượng đo. Yêu cầu độ nhạy của chuyển đổi đối với đại lượng đo càng lớn càng tốt, tuy nhiên bên cạnh đó cũng yêu cầu độ nhạy của chuyển đổi với nhiễu phải thấp để hạn chế thấp nhất ảnh hưởng của nhiễu lên kết quả đo.

- Độ tuyến tính của đường đặc tính:** yêu cầu đường đặc tính quan hệ đại lượng đo và tín hiệu ra càng tuyến tính càng tốt.



Hình 7.3. Đặc tính thể hiện độ nhạy của chuyển đổi đo lường.

- **Đặc tính động:** khi tín hiệu đo X tác động vào chuyển đổi DLSC thường phải có quá trình quá độ (tương ứng với một khoảng thời gian τ_{qd}) mới có tín hiệu ra Y tương ứng ở đầu ra.



Hình 7.4. Đặc tính động của chuyển đổi đo lường.

Quá trình này có thể nhanh hay chậm phụ thuộc vào dạng chuyển đổi. Đặc tính này gọi là độ tác động nhanh: nếu độ tác động nhanh chậm tức là phản ứng của tín hiệu ra của chuyển đổi trễ so với sự thay đổi của tín hiệu vào, như vậy thiết bị đo có thể không đáp ứng được yêu cầu về tính năng thời gian thực.

Khi lựa chọn chuyển đổi phải lưu ý độ tác động nhanh của nó phải phù hợp với tốc độ thay đổi của đại lượng cần đo hoặc phải tính toán để bù lại ảnh hưởng do sự chênh lệch đó gây ra. Độ tác động nhanh của chuyển đổi có ảnh hưởng đến sai số của phép đo và tốc độ của phép đo.

- **Ảnh hưởng của chuyển đổi lên đại lượng đo:** khi đưa chuyển đổi vào hệ thống cân đo để xác định đại lượng đo thì chuyển đổi do và cả dụng cụ đo có ảnh hưởng nhất định đến hệ thống được đo trong đó có ảnh hưởng đến đại lượng đo, như vậy đầu ra của chuyển đổi cũng bị ảnh hưởng.

Các chuyển đổi đo lường và các thiết bị đo phải được chế tạo và sử dụng sao cho ít gây ảnh hưởng đến hệ thống được đo và đại lượng đo nhất, ví dụ: vônmet phải có điện trở trong rất lớn, ampermét phải có điện trở trong rất nhỏ...

- **Kích thước, khối lượng của chuyển đổi:** thường yêu cầu phải phù hợp với ứng dụng, thường càng nhỏ càng tốt, như vậy mới đưa được đầu đo vào những nơi nhỏ hẹp để nâng cao độ chính xác của phép đo.

7.1.3. Phân loại các chuyển đổi sơ cấp:

a) Theo nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích:

Hiện tượng	Loại chuyển đổi
Vật lý	Điện trở Điện từ Tĩnh điện Nhiệt điện Điện tử và ion Quang điện Quang từ Quang đàn hồi Tử điện Nhiệt từ Nhiệt quang ...
Hóa học	Biến đổi hóa học Điện hóa Phân tích phổ ...
Sinh học	Biến đổi sinh hóa Hiệu ứng trên cơ thể sống ...

b) Theo dạng kích thích:

Kích thích	Các đặc tính của kích thích
Âm thanh	biên pha, phân cực phổ tốc độ truyền sóng ..
Điện	điện tích, dòng điện điện thế, điện áp điện trường điện dẫn, hằng số điện môi ...
Tử	tử trường (biên độ, pha, phân cực, phổ) tử thông, cường độ tử trường độ tử thâm ...

Quang	bên, pha , phân cực, phỗ tốc độ truyền hệ số phát xạ, khúc xạ hệ số hấp thụ, hệ số bức xạ ...
Cơ	vị trí, vận tốc, gia tốc lực, mômen, áp suất ứng suất, độ cứng khối lượng, tỉ trọng vận tốc chất lưu, độ nhớt, lưu lượng ...
Nhiệt	nhiệt độ thông lượng nhiệt dung, tỉ nhiệt ..
Bức xạ	kiểu năng lượng cường độ ...

c) Theo tính năng của chuyển đổi:

độ nhạy độ chính xác độ phân giải độ chọn lọc độ tuyến tính công suất tiêu thụ dải tần	khả năng quá tải tốc độ đáp ứng độ trễ độ ổn định tuổi thọ điều kiện môi trường kích thước, trọng lượng
--	---

d) Theo phạm vi sử dụng của chuyển đổi:

công nghiệp nghiên cứu khoa học môi trường, khí tượng thông tin, viễn thông	nông nghiệp dân dụng giao thông quân sự, vũ trụ
--	--

e) Theo thông số của mô hình mạch thay thế:

- *Cảm biến tích cực*: có nguồn đầu ra là nguồn áp hoặc nguồn dòng.
- *Cảm biến thu động*: được đặc trưng bởi các thông số R, L, C, M...tuyến tính hoặc phi tuyến.

7.2. Các chuyển đổi điện trở.

Là loại chuyển đổi thực hiện chuyển đổi đại lượng không điện cần đo thành sự thay đổi điện trở của nó.

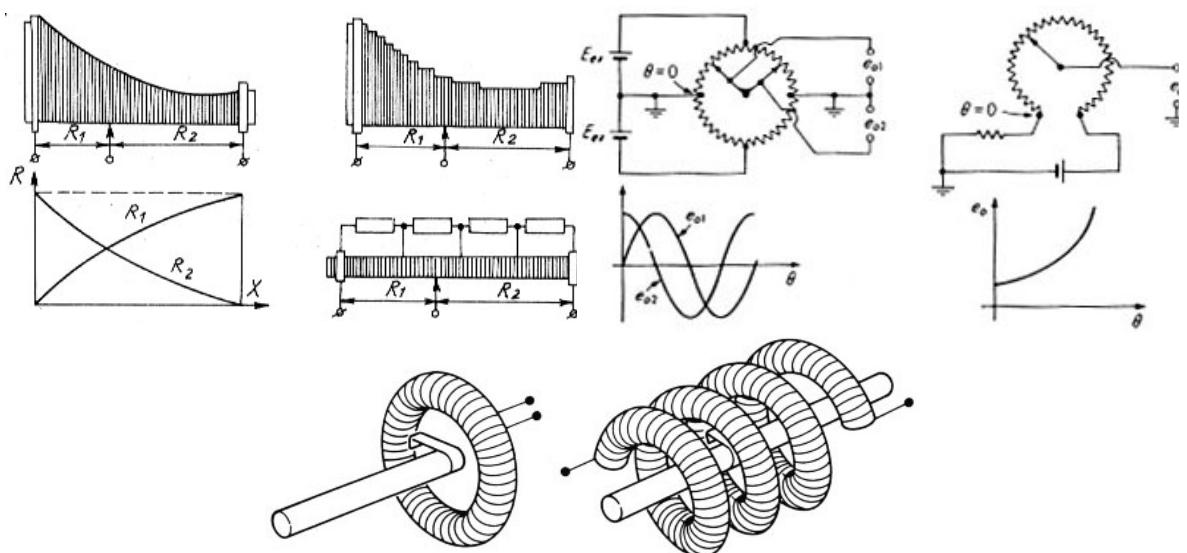
Có hai loại chuyển đổi điện trở chủ yếu:

7.2.1. Chuyển đổi biến trở.

a) *Cấu tạo và nguyên lý làm việc*: là một biến trở gồm có lõi băng vật liệu cách điện trên có quấn dây dẫn điện, dây quấn được phủ lớp cách điện. Trên lõi và dây quấn có con trượt, dưới tác dụng của đại lượng vào con trượt di chuyển làm cho điện trở thay đổi.

Quan hệ giữa đại lượng vào và ra được biểu diễn:

$$R = f(X_v)$$



Hình 7.5. Hình dáng một số loại biến trở và đặc tính của nó.

b) Các đặc tính cơ bản: chuyển đổi biến trở chỉ phát hiện sự thay đổi điện trở nhỏ nhất là bằng điện trở một vòng dây tương ứng với một di chuyển bằng khoảng cách giữa hai vòng dây.

- **Độ nhạy của chuyển đổi:** nếu điện trở toàn phần của chuyển đổi là R với số vòng là W thì độ nhạy của chuyển đổi (điện trở bé nhất có thể phát hiện) R_0 là:

$$R_0 = \frac{R}{W}$$

- **Độ di chuyển bé nhất có thể phát hiện:** gọi L là chiều dài của biến trở thì độ di chuyển bé nhất có thể phát hiện là:

$$X_0 = \frac{L}{W}$$

- **Sai số rời rạc của chuyển đổi đối với cuộn dây quấn như nhau:**

$$\gamma = \frac{\Delta R_{\min}}{2R} = \frac{R_0}{2R} = \frac{1}{2W}$$

với ΔR_{\min} là điện trở toàn phần của một vòng dây.

- Sai số phi tuyến: 0,1-0,03%
- Sai số nhiệt độ: 0,1% /10°C

c) Mạch đo: chuyển đổi biến trở là loại chuyển đổi thông số, các mạch thường dùng gồm: mạch biến trở, mạch phân áp, mạch cầu.

- **Mạch biến trở:** như hình 7.6a: đại lượng đầu ra là dòng điện trong mạch I:

$$I = \frac{U}{R_x + R_{CT}} = \frac{U}{R \cdot \frac{X}{l} + R_{CT}} = f(X)$$

với R_{CT} là điện trở của cơ cầu chỉ thị (ampemét). Dòng điện tỉ lệ nghịch với lượng di chuyển X.

Nhược điểm của mạch này là quan hệ $I=f(X)$ không tuyến tính, dòng điện không biến thiên được từ 0 trở đi ($I_{\min}=U/R > 0$).

- **Mạch phân áp:** như hình 7.6b: đại lượng ra là điện áp lấy trên một phần của

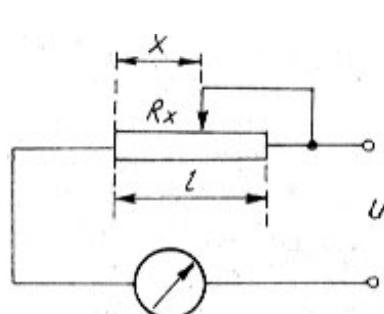
biến trở U_X :

$$U_X = I \cdot (R_X // R_V) = \frac{U}{(R - R_X) + (R_X // R_V)} \cdot (R_X // R_V)$$

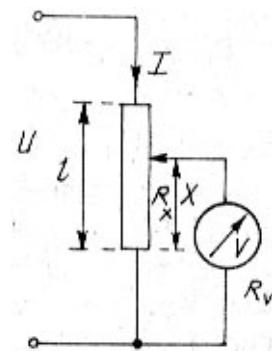
nếu $R_V \gg R_X \Rightarrow (R_X // R_V) \approx R_X$, có:

$$U_X = \frac{U}{(R - R_X) + R_X} R_X = U \cdot \frac{R_X}{R} = U \cdot \frac{1}{R} \cdot (R \cdot \frac{X}{l}) = U \cdot (\frac{X}{l}) = f(X)$$

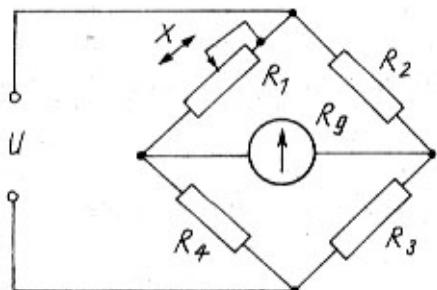
như vậy quan hệ giữa đại lượng ra U_X và đại lượng vào X là quan hệ tuyến tính, tỉ lệ thuận. U_X biến thiên từ $[0, U]$ khi X biến thiên từ $[0, l]$.



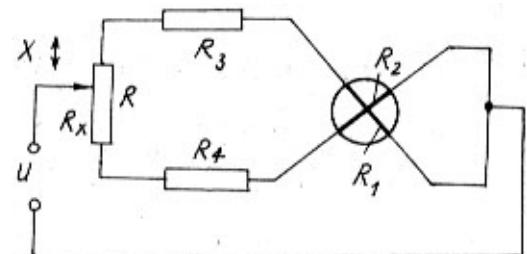
a) Mạch biến trở



b) Mạch phân áp



c) Mạch cầu



d) Mạch lôgômét

Hình 7.6. Cách mắc chuyển đổi biến trở trong mạch.

- *Mạch cầu*: như hình 7.6c: đại lượng ra là điện áp lấy trên cầu U_g ; với $R_g \gg R_1, R_2, R_3, R_4$ có:

$$U_g = U \cdot \left(\frac{R_4}{R_4 + R_X} - \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) \text{ với } R_X = R_1 \cdot \frac{X}{l}$$

với $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ có:

$$U_g = U \cdot \left(\frac{R_4}{R_4 + R_X} - \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) = \frac{U}{2} \cdot \frac{l - X}{l + X} = f(X)$$

như vậy quan hệ giữa đại lượng ra U_g và đại lượng vào X là quan hệ phi tuyến, tỉ lệ nghịch.

- *Mạch lôgômét*: như hình 7.6d: đại lượng ra là góc quay α của kim chỉ thị của lôgômét:

Khi con chay trượt lượng X làm R_X thay đổi, dòng điện I_1, I_2 thay đổi theo làm cho góc quay α của lôgômét thay đổi:

$$\alpha = f(I_1 / I_2) = f(X)$$

d) *Ứng dụng*: chuyển đổi biến trở thường được ứng dụng để đo các di chuyển

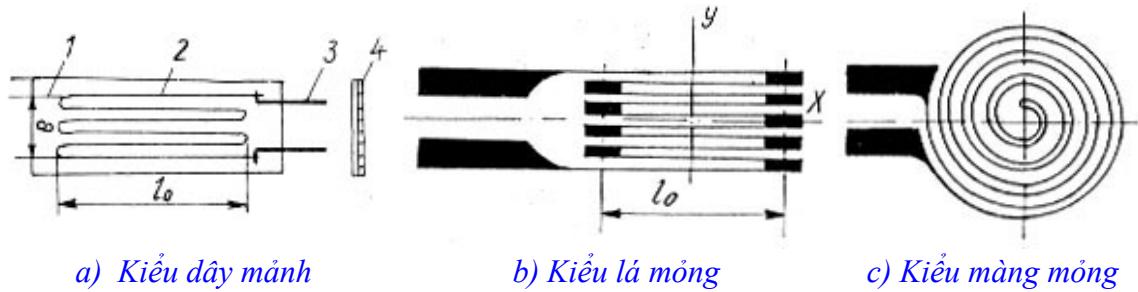
thẳng (2-3mm) hoặc di chuyển góc. Ngoài ra còn ứng dụng trong các dụng cụ đo lực, áp suất, gia tốc hoặc các chuyển đổi ngược trong mạch cầu, điện thế kế tự động. Chuyển đổi biến trở có thể dùng để đo các đại lượng biến thiên với tần số không lớn hơn 5Hz.

7.2.2. Chuyển đổi điện trở lực căng.

a) **Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** dựa trên hiệu ứng tenzô: khi dây dẫn chịu biến dạng thì điện trở của nó thay đổi, còn gọi là chuyển đổi điện trở tenzô.

Gồm có 3 loại chính: chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh, chuyển đổi điện trở lực căng lá mỏng và chuyển đổi điện trở lực căng màng mỏng.

Phổ biến nhất là chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh, có cấu tạo như hình 7.7a: trên tấm giấy mỏng bén 1 dán một sợi dây điện trở 2 (hình răng lược có đường kính từ 0,02-0,03mm; chế tạo bằng constantan, nicrôm, hợp kim platin-iriđi...). Hai đầu dây được hàn với lá đồng 3 dùng để nối với mạch đo. Phía trên được dán tấm giấy mỏng để cố định dây. Chiều dài l_0 là chiều dài tác dụng của chuyển đổi.



Hình 7.7. Cấu tạo của chuyển đổi điện trở lực căng.

Chuyển đổi được dán lên đối tượng đo, khi đối tượng đo bị biến dạng sẽ làm cho chuyển đổi tenzô biến dạng theo một lượng tương đối $\varepsilon_l = \Delta l / l$ và điện trở của nó thay đổi một lượng tương đối là $\varepsilon_R = \Delta R / R$ với:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = f(\varepsilon_l)$$

có được phương trình biến đổi tổng quát của biến trở lực căng là:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_l \cdot (1 + 2K_p + m) = K \cdot \varepsilon_l$$

với: K_p : hệ số Poisson, đối với kim loại $K_p=0,24-0,4$.

m : hệ số tỉ lệ, $m = \varepsilon_\rho / \varepsilon_l$, với $\varepsilon_\rho = \Delta \rho / \rho$ là biến thiên tương đối của điện trở suất đặc trưng cho sự thay đổi tính chất vật lý của chuyển đổi.

Độ nhạy của chuyển đổi là: $K = 1 + 2K_p + m$; $K=0,5-8$ đối với kim loại.

Để giảm kích thước của chuyển đổi, tăng điện trở tác dụng cũng như có thể chế tạo được chuyển đổi với hình dạng phức tạp hơn người ta chế tạo chuyển đổi kiểu màng mỏng và lá mỏng.

Chuyển đổi lực căng kiểu lá mỏng: được chế tạo từ một lá kim loại mỏng với chiều dày $0,004 \div 0,012$ mm. Nhờ phương pháp quang khắc hình dáng của chuyển đổi được tạo thành khác nhau như hình 7.7b.

Chuyển đổi lực căng kiểu màng mỏng: được chế tạo bằng cách cho bốc hơi kim loại lên một khung với hình dáng định trước.

Ưu điểm của hai kiểu chuyển đổi trên là điện trở lớn, tăng được độ nhạy, kích

thước giảm.

Ngoài ra các vật liệu bán dẫn như silic, gemanii, arsen... cũng được dùng để chế tạo các chuyển đổi điện trở lực căng. Ưu điểm của loại này là hệ số nhạy lớn ($K=200-800$), kích thước nhỏ, nhiệt độ làm việc từ $-250-250^{\circ}\text{C}$. Nhược điểm của chúng là độ bền cơ học kém.

b) Các đặc tính cơ bản:

- Yêu cầu đối với vật liệu chế tạo chuyển đổi: có độ nhạy lớn, dây điện trở có hệ số nhiệt α nhỏ, điện trở suất ρ lớn, sự thay đổi điện trở tương đối không vượt quá 1% khi đổi tượng đo chịu ứng suất lớn nhất (độ biến dạng tương đối ε_1 trong giới hạn đàn hồi không lớn hơn $2,5 \cdot 10^{-3}$ do đó ε_R vào khoảng 1,25-10).

- Độ nhạy của chuyển đổi dây mảnh khác với độ nhạy của vật liệu chế tạo ban đầu do có thêm phần bị uốn cong của chuyển đổi không chịu biến dạng theo hướng cần đo, điều này làm giảm độ nhạy cỡ 25-30%. Mặt khác các phần uốn còn gây ra sai số trong quá trình đo. Muốn tăng độ nhạy phải tăng chiều dài tác dụng l_0 .

- Hệ số nhiệt của chuyển đổi thường khác với hệ số nhiệt của đối tượng đo nên khi nhiệt độ thay đổi gây biến dạng phụ trong quá trình đo.

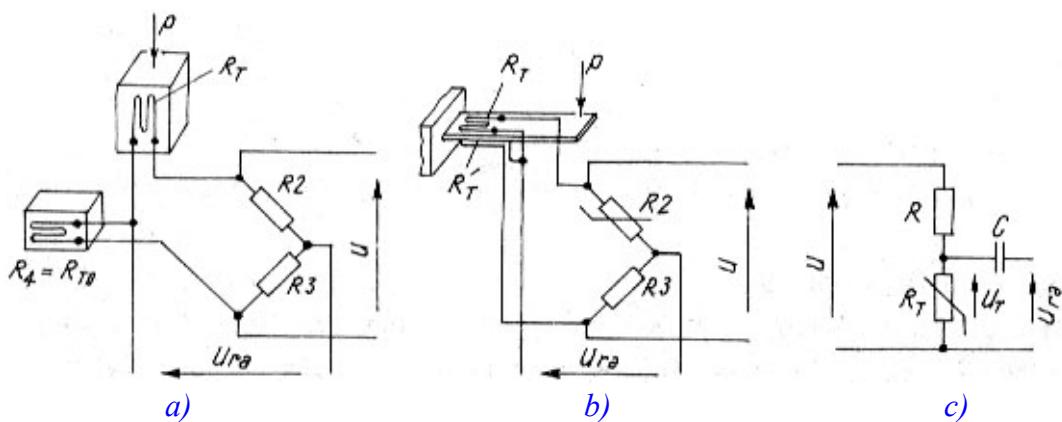
- Sai số của thiết bị đo dùng chuyển đổi tenzô chủ yếu do độ chính xác khắc độ của các chuyển đổi. Thường chúng được chế tạo hàng loạt và khắc chuẩn sơ bộ nên khi sử dụng phải khắc chuẩn trực tiếp chuyển đổi với mạch đo, khi đó sai số có thể giảm đến 0,2-0,5% khi đo biến dạng tĩnh và 1-1,5% khi đo biến dạng động.

- Ngoài ra còn có sai số do biến dạng dư của keo dán khi sấy khô, sự giãn nở khác nhau giữa chuyển đổi và chi tiết dán...

- Khi sử dụng phải có công nghệ dán chuẩn và chọn vị trí chính xác.

c) Mạch đo: các chuyển đổi điện trở lực căng được dán lên đối tượng đo bằng các lao keo dán đặc biệt (như axêtônxenlulôit...). Thông thường chuyển đổi điện trở lực căng được dùng với mạch cầu một chiều hoặc xoay chiều và mạch phân áp.

- **Bù nhiệt độ:** ngoài sự thay đổi điện trở do đối tượng đo gây ra thì khi nhiệt độ thay đổi cũng làm cho điện trở của chuyển đổi bị thay đổi. Nếu mạch cầu chỉ có một nhánh hoạt động (tức là chỉ có một chuyển đổi mắc vào một nhánh của cầu) cần phải thực hiện bù nhiệt độ. Thường sử dụng thêm một chuyển đổi cùng loại được dán thích hợp để thực hiện bù nhiệt độ.



Hình 7.8. Mạch chuyển đổi điện trở lực căng bằng mạch cầu đo.

- **Mạch cầu một nhánh hoạt động và một nhánh không hoạt động:** sử dụng thêm một chuyển đổi dán lên một chi tiết không làm việc nhưng có cùng vật liệu và đặt

trong cùng một nhiệt độ với đối tượng đo, như hình 7.8a:

Khi cầu không làm việc (ở trạng thái cân bằng):

$$\frac{R_T}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = K$$

Khi đối tượng đo làm việc R_T thay đổi thành $\varepsilon_R \cdot R_T$, cầu mất cân bằng và có điện áp ra:

$$U_{ra} = U \cdot \frac{(1 + \varepsilon_R)R_T R_3 - R_2 R_4}{[(1 + \varepsilon_R)R_T + R_4] \cdot (R_2 + R_3)}$$

Nếu $R_2 = R_3$; $R_4 = R_{T0}$ (với R_{T0} là điện trở của chuyển đổi tenzô dán lên chi tiết không biến dạng) thì điện áp ra là:

$$U_{ra} \approx 0,25 \cdot U \cdot \varepsilon_R.$$

- *Mạch cầu có hai nhánh hoạt động*: có hai nhánh cầu được dán chuyển đổi tenzô và cùng hoạt động như hình 7.8b. Điện áp ra của mạch cầu tăng gấp 2 lần và bù nhiệt độ tốt hơn, sai số nhiệt độ cũng bị loại trừ.

- *Cầu 4 nhánh hoạt động*: điện áp ra của mạch cầu tăng 4 lần, sai số nhiệt độ bị loại trừ.

- *Mạch phân áp*: như hình 7.8c, thường được ứng dụng để đo biến dạng động với tần số lớn hơn 1000Hz (ví dụ biến dạng do va đập), tụ C trong mạch có tác dụng lọc thành phần một chiều.

Điện áp rơi trên tenzô:

$$U_T = \frac{U}{R_T + R} \cdot R_T$$

Khi có biến dạng với tần số ω :

$$U_T = \frac{U}{R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t) + R} \cdot [R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)]$$

với $\varepsilon_R \ll 1 \Rightarrow [R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t) + R] \approx (R_T + R)$ có:

$$U_T \approx U \cdot \left[\frac{R_T}{R_T + R} + \frac{R_T(\varepsilon_R \sin \omega t)}{R_T + R} \right]$$

Điện áp ra chỉ lấy thành phần xoay chiều:

$$U_T \approx U \cdot \frac{R_T \varepsilon_R}{R_T + R} \sin \omega t$$

d) Ứng dụng: các chuyển đổi lực căng được dùng để đo lực, áp suất, mômen quay, gia tốc và các đại lượng khác nếu có thể biến đổi thành biến dạng đàn hồi với ứng suất cực tiểu lớn hơn hoặc bằng độ nhạy của chuyển đổi (thường cỡ $1 \cdot 10^7 \div 2 \cdot 10^7$ N). Chuyển đổi lực căng có thể đo các đại lượng biến thiên tới vài chục kHz.

7.3. Các chuyển đổi điện từ.

- **Định nghĩa:** Là nhóm các chuyển đổi làm việc dựa trên các quy luật điện từ. Đại lượng vật lý không điện cần đo làm thay đổi các đại lượng từ của chuyển đổi như: điện cảm, hổ cảm, từ thông, độ từ thẩm...

- **Phân loại:** chuyển đổi điện từ được phân thành 3 loại chủ yếu sau:

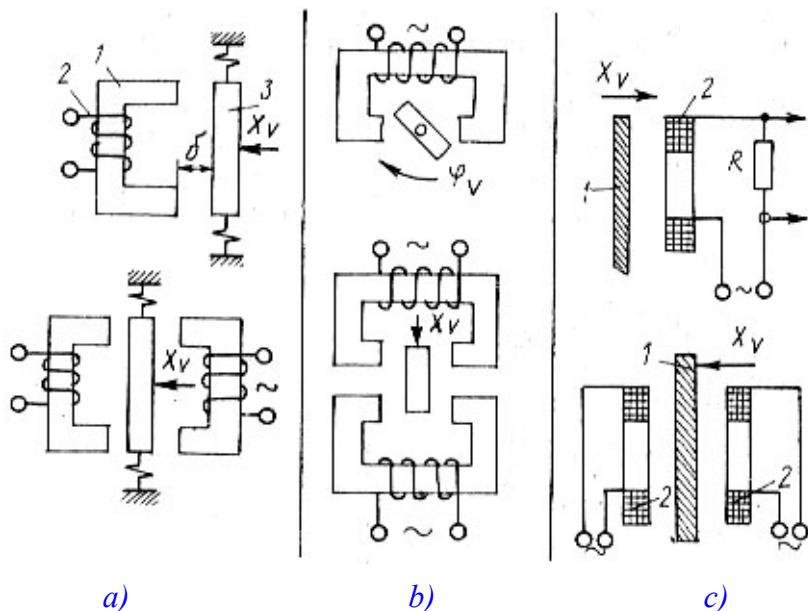
- Chuyển đổi điện cảm và hổ cảm.

- Chuyển đổi cảm ứng.
- Chuyển đổi áp từ.

7.3.1. Chuyển đổi điện cảm và hổ cảm.

a) Chuyển đổi điện cảm:

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi điện cảm là một cuộn dây quấn trên lõi thép có khe hở không khí như hình 7.9:



Hình 7.9. Một số dạng của chuyển đổi điện cảm.

Dưới tác động của đại lượng đo X_v có thể tác động lên chuyển đổi theo các cách sau:

- Làm cho phần ứng 3 di chuyển, khe hở không khí δ thay đổi làm thay đổi từ trở của lõi thép do đó điện cảm và tổng trở của chuyển đổi cũng thay đổi theo (hình 7.9a).
- Làm cho tiết diện khe hở không khí thay đổi dẫn đến thay đổi điện cảm của chuyển đổi (hình 7.9b).
- Làm cho phần ứng 1 di chuyển dẫn đến thay đổi tốn hao dòng điện xoáy làm cho điện cảm của chuyển đổi thay đổi (hình 7.9c).

$$\text{- Điện cảm của chuyển đổi: } L = \frac{W^2}{R_\delta} = W^2 \frac{\mu_0 s}{\delta}$$

(bỏ qua điện trở thuần của cuộn dây và từ trở của lõi thép)

với: W là số vòng của cuộn dây

$R_\delta = \mu_0 s / \delta$ là từ trở của khe hở không khí; δ : chiều dài khe hở không khí

μ_0 : độ từ thẩm của không khí; s : tiết diện thực của khe hở không khí

Lượng thay đổi của điện cảm khi có X_v tác động là (với $W = \text{const}$):

$$\begin{aligned} dL &= \frac{\partial L}{\partial s} ds + \frac{\partial L}{\partial \delta} d\delta \\ \Rightarrow \Delta L &= W^2 \cdot \frac{\mu_0}{\delta_0} \Delta s + W^2 \cdot \frac{\mu_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \end{aligned}$$

với: s_0, δ_0 : tiết diện và khe hở ban đầu (khi chưa có đại lượng đo X_v tác động).

- *Tổng trớ của chuyển đổi:* $Z = \omega L = \omega W^2 \frac{\mu_0 s}{\delta}$: là một hàm tuyến tính với tiết diện khe hở không khí s và là hàm phi tuyến (hypebol) với chiều dài khe hở không khí δ .

Lượng thay đổi của tổng trớ Z khi có X_v tác động là:

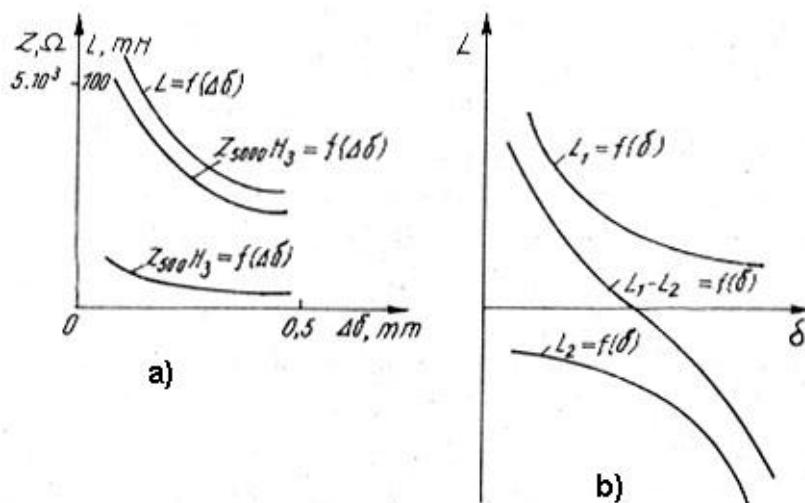
$$\Delta Z = \omega \Delta L = \omega \left[W^2 \cdot \frac{\mu_0}{\delta_0} \Delta s - W^2 \cdot \frac{\mu_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \right]$$

Các đặc tính cơ bản:

- *Độ nhạy của chuyển đổi khi tiết diện khe hở không khí s thay đổi* (độ dài của khe hở không khí $\delta = \text{const}$):

$$S_s = \frac{\Delta L}{\Delta s} = \frac{L_0}{s_0}$$

với $L_0 = W^2 \frac{\mu_0 s_0}{\delta_0}$ là giá trị điện cảm ban đầu của chuyển đổi (khi X_v chưa tác động).



Hình 7.10. Đặc tính của chuyển đổi điện cảm khe hở không khí thay đổi:

a) khi mắc theo kiểu đơn ; b) khi mắc theo kiểu vi sai

- *Độ nhạy của chuyển đổi khi khe hở không khí δ thay đổi* (tiết diện của khe hở không khí s = const):

$$S_\delta = \frac{\Delta L}{\Delta \delta} = \frac{L_0}{\delta_0 \left[1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right]^2} = f(\Delta \delta)$$

như vậy độ nhạy này phụ thuộc vào tỉ số $\Delta \delta / \delta_0$ tức là phụ thuộc sự thay đổi của tiết diện khe hở không khí $\Delta \delta$ mà không phụ thuộc vào diện tích của khe hở không khí. Với chuyển đổi điện cảm dạng đơn thì $\Delta \delta / \delta_0 \leq 0,2$; với chuyển đổi điện cảm mắc kiểu vi sai thì $\Delta \delta / \delta_0 \leq 0,4$ đảm bảo độ phi tuyến của chuyển đổi dưới 1%.

Đặc tính của chuyển đổi điện cảm khe hở không khí thay đổi thường phi tuyến và tỉ lệ thuận với tần số của nguồn kích thích như hình 7.10a.

Để tăng độ nhạy và độ tuyến tính của chuyển đổi điện cảm người ta thường mắc chuyển đổi này theo kiểu vi sai có đặc tính như hình 7.10b.

b) Chuyển đổi hổ cảm (chuyển đổi biến áp):

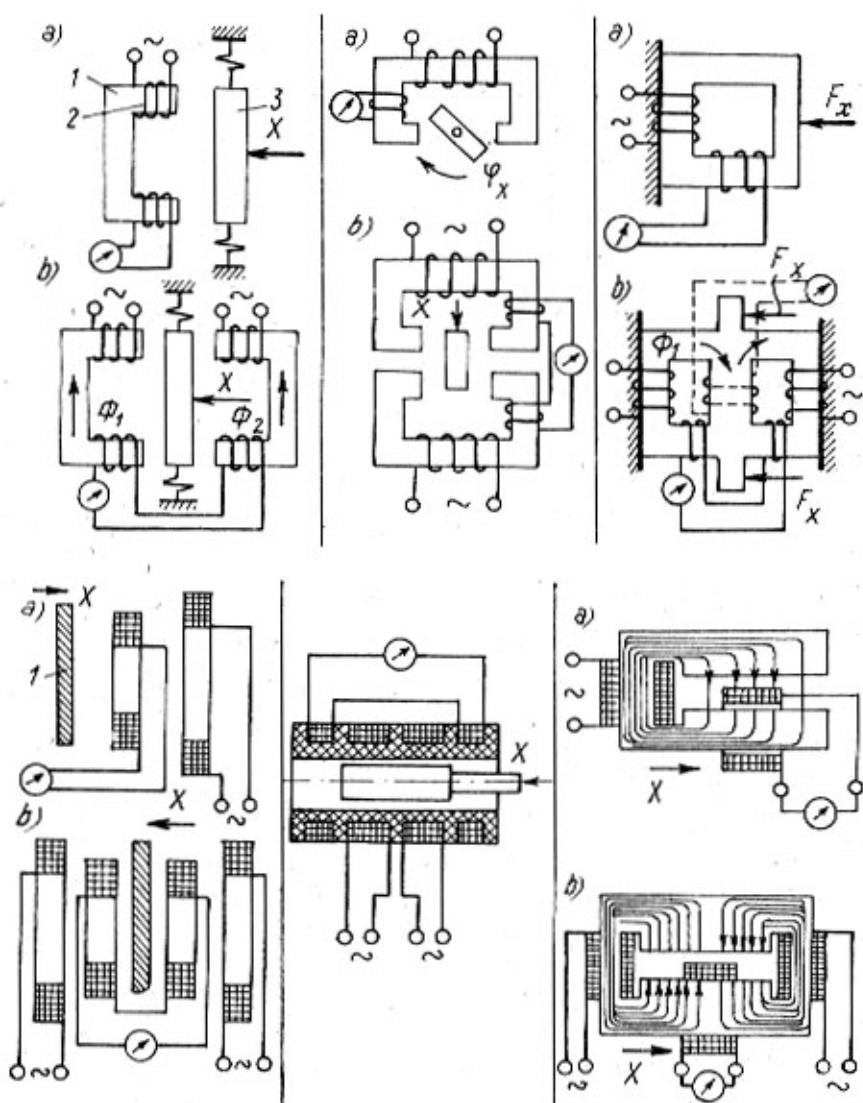
Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: như hình 7.11a,b: có cấu tạo giống với chuyển đổi điện cảm, chỉ khác là có thêm một cuộn dây đo W_2 .

Khi chiều dài hoặc tiết diện của khe hở không khí thay đổi sẽ làm cho từ thông của mạch từ thay đổi và xuất hiện sức điện động cảm ứng e :

$$e = -W_2 \cdot \frac{d\Phi_t}{dt}$$

với $\Phi_t = \frac{i \cdot W_1}{R_\delta} = i \cdot W_1 \cdot \frac{\mu_0 s}{\delta} = f(i)$

$$\Rightarrow e = -W_2 \cdot \frac{W_1 \mu_0 s}{\delta} \cdot \frac{di}{dt}$$



Hình 7.11. Các chuyển đổi hổ cảm:

a) chuyển đổi đơn; b) chuyển đổi kiểu vi sai

Khi làm việc với dòng điện xoay chiều $i = I_m \cdot \sin \omega t$ thì giá trị sức điện động trong cuộn dây đo W_2 là:

$$e = - \left[\frac{W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_0 s}{\delta} \cdot \omega \cdot I_m \right] \cos \omega t$$

có giá trị hiệu dụng là:

$$E = \frac{W_1 W_2 \cdot \mu_0 s}{\delta} \cdot \omega I_m = K \cdot \frac{s}{\delta}$$

là phương trình của chuyển đổi hổ cảm, với hệ số K là hằng số phụ thuộc cấu tạo và nguồn cung cấp của chuyển đổi.

Khi khe hở hoặc tiết diện của khe hở không khí thay đổi ta có lượng thay đổi của điện áp ra là:

$$\begin{aligned} dE &= \frac{\partial E}{\partial s} \cdot ds + \frac{\partial E}{\partial \delta} \cdot d\delta \\ \Rightarrow \Delta E &= \frac{K}{\delta_0} \cdot \Delta s - \frac{K \cdot s}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \cdot \Delta \delta \end{aligned}$$

Các đặc tính cơ bản:

- Độ nhạy của chuyển đổi với sự thay đổi chiều dài của khe hở không khí δ (khi tiết diện khe hở không khí không đổi $s = \text{const}$) là:

$$S_\delta = \frac{\Delta E}{\Delta \delta} = \frac{E_0}{\delta_0 \cdot [1 + (\Delta \delta / \delta_0)]^2} = f(\Delta \delta)$$

- Độ nhạy của chuyển đổi với sự thay đổi của tiết diện khe hở không khí s (khi chiều dài khe hở không khí không đổi $\delta = \text{const}$) là:

$$S_s = \frac{\Delta E}{\Delta s} = \frac{E_0}{s_0} = \text{const}$$

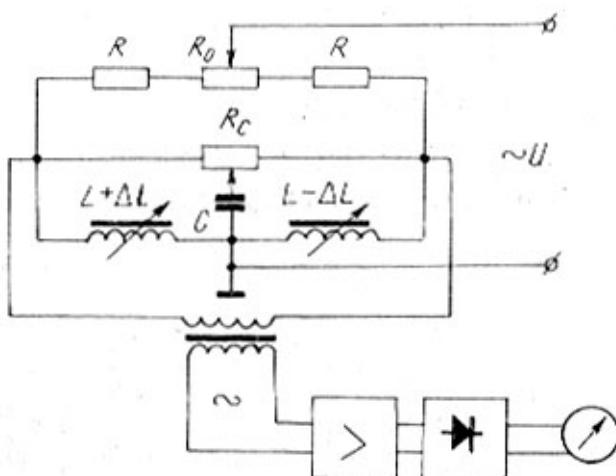
với $E_0 = \frac{K \cdot s_0}{\delta_0}$ là sức điện động hổ cảm ban đầu trong cuộn dây đo W_2 khi đại lượng

đo X_v chưa tác động lên chuyển đổi.

Độ nhạy của chuyển đổi hổ cảm tỉ lệ thuận với tần số của nguồn cung cấp.

c) **Mạch đo:** thường sử dụng mạch cầu không cân bằng với nguồn cung cấp xoay chiều có một nhánh hoạt động (chuyển đổi đơn) hoặc hai nhánh hoạt động (chuyển đổi mắc kiểu vi sai).

Ví dụ xét mạch cầu với chuyển đổi mắc kiểu vi sai như hình 7.12:



Hình 7.12. Mạch cầu với chuyển đổi điện cảm mắc kiểu vi sai

Trong đó điện trở R_0 dùng để cân bằng thành phần thực (biên độ) và $R_0 \ll R$. Chỉ thị là dụng cụ từ điện.

Đối với các chuyển đổi hổ cảm thường dùng phương pháp đo điện áp xoay chiều. Khi cần xác định dấu của đại lượng đo có thể dụng chỉnh lưu nhạy pha. Công suất ra của chuyển đổi hổ cảm thường lớn (cỡ vài chục mW) nên trong nhiều trường hợp không cần khuếch đại.

Sai số của mạch phụ thuộc nhiều vào sai số của nguồn cung cấp, đặc biệt đối với mạch cầu không cân bằng. Ngoài ra sai số có thể gấp đôi khi nhiệt độ môi trường thay đổi làm cho độ từ thẩm của mạch từ và điện trở thực của cuộn dây thay đổi. Tuy nhiên khi mắc theo kiểu vi sai sẽ khử được các sai số trên.

d) Ứng dụng: chuyển đổi điện cảm và hổ cảm có thể đo các đại lượng không điện khác nhau tùy thuộc vào cấu trúc của từng loại chuyển đổi cụ thể.

- Đo di chuyển từ vài chục μm đến hành chục cm
- Đo chiều dày lớp phủ, đo độ bóng của chi tiết gia công...
- Đo lực từ cỡ $0,1\text{N} \div$ cỡ 10^2N
- Đo áp suất với dải đo từ $10^{-3}\text{N/m}^2 \div$ cỡ 10^4N/m^2
- Đo gia tốc từ 10^{-2}g đến cỡ 10^2g .

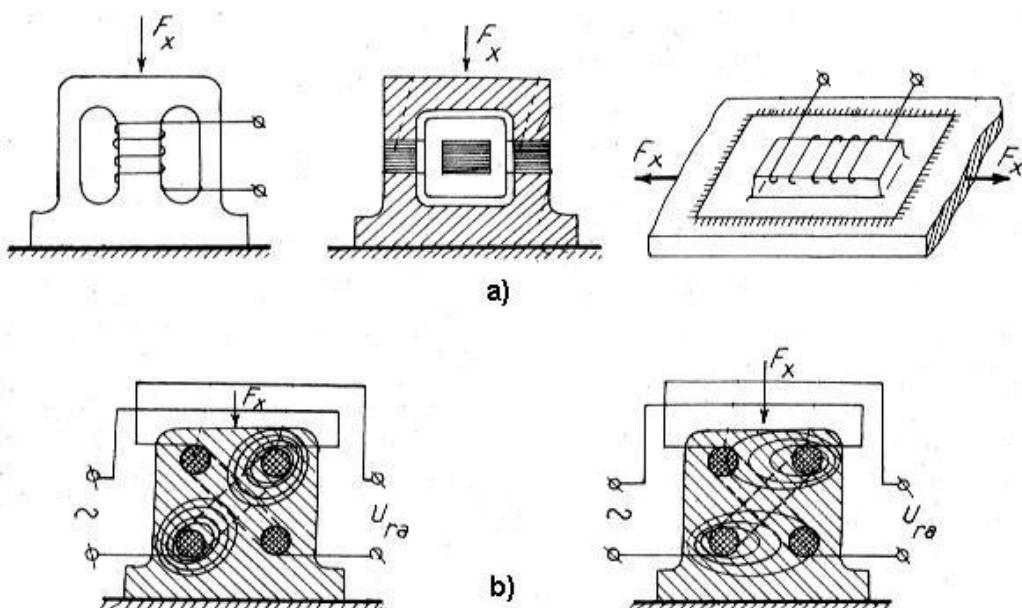
Đặc tính động của chuyển đổi được xác định chủ yếu phụ thuộc vào hệ thống cơ của phần động. Tần số làm việc rất rộng tùy theo cấu trúc của phần động có thể đo được các đại lượng biến thiên từ $500\text{Hz} \div$ vài kHz.

7.3.3. Chuyển đổi áp từ:

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi áp từ là một dạng của chuyển đổi điện cảm và hổ cảm. Tuy nhiên khác với hai loại trên, mạch từ của chuyển đổi áp từ là mạch từ kín. Nguyên lý làm việc của nó dựa trên hiệu ứng áp từ:

Hình 7.13 là cấu tạo của một số dạng khác nhau của chuyển đổi áp từ:

- *Chuyển đổi áp từ kiểu điện cảm:* hình 7.13a
- *Chuyển đổi áp từ kiểu hổ cảm:* hình 7.13b



Hình 7.13. Các dạng của chuyển đổi áp từ:

a) kiểu điện cảm

b) kiểu hổ cảm

Dưới tác dụng của biến dạng đòn hồi cơ học làm cho lõi thép biến dạng dẫn đến các tính chất của vật liệu sắt từ bị thay đổi, cụ thể là độ từ thẩm μ và từ trở của mạch

từ R_μ thay đổi, làm cho điện cảm L hoặc hổ cảm M thay đổi theo.

Cụ thể, nếu bỏ qua tổn hao dòng xoáy và từ trễ thì điện cảm của chuyển đổi áp từ là:

$$L = \frac{W^2}{R} = W^2 \cdot \frac{\mu \cdot s}{l}$$

với: W : số vòng của cuộn dây

R : từ trở của mạch từ ; μ : độ từ thẩm của lõi thép

l, s : chiều dài và tiết diện của mạch từ.

Suy ra tổng trở của chuyển đổi là:

$$Z = \omega \cdot L = \frac{\omega \cdot W^2 \cdot \mu \cdot s}{l}$$

Với $W = \text{const}$ thì khi có tác động của đại lượng đo gây nên biến dạng đòn hồi cơ học sẽ làm cho điện cảm của chuyển đổi thay đổi là:

$$\Delta L = L_0 \cdot \left\{ \frac{\Delta \mu}{\mu} + \frac{\Delta s}{s} - \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{l}{[1 + (\Delta l/l)]^2} \right\}$$

b) Các đặc tính cơ bản:

- Độ nhạy của chuyển đổi áp từ đối với điện cảm L:

$$S_L = \frac{\Delta L / L}{\Delta l / l} = S_\mu - (K_p + 1)$$

với: $S_\mu = \frac{\Delta \mu / \mu}{\Delta l / l}$: là độ nhạy áp từ, đặc trưng của lõi vật liệu.

$K_p = -\frac{\Delta s / s}{\Delta l / l}$: là hệ số poisson

Thường $S_\mu \gg (K_p + 1)$ nên có thể coi độ nhạy tương đối của chuyển đổi bằng độ nhạy áp từ: $S_L = S_\mu$

Độ nhạy thực của chuyển đổi khi tính đến điện trở cuộn dây, tổn hao trên lõi thép sẽ nhỏ hơn so với độ nhạy áp từ.

- Độ nhạy của chuyển đổi áp từ đối với tổng trở Z:

$$S_Z = \frac{\Delta Z / Z}{\Delta l / l} = S_L = S_\mu$$

Thực tế thường dùng khái niệm độ nhạy tương đối S_σ đối với ứng suất cơ học σ :

$$S_\sigma = \frac{\Delta Z / Z}{\sigma} = \frac{\Delta Z / Z}{E \cdot (\Delta l / l)} = \frac{S_Z}{E}$$

với E là môđun đòn hồi.

- Sai số: sai số của chuyển đổi áp từ có thể do các nguyên nhân sau:

- Sai số hồi sai do hiện tượng áp từ trễ không trùng lặp giữa trạng thái từ khi tăng tải và khi giảm tải. Do sự phân tán các giá trị $\Delta \mu / \mu = f(F)$ ở chu kỳ đầu. Sai số này lớn nhất ở các chu kỳ đầu tuy nhiên khi lặp lại chu kỳ tăng và giảm tải nhiều lần thì sai số giảm xuống còn cỡ 1%.

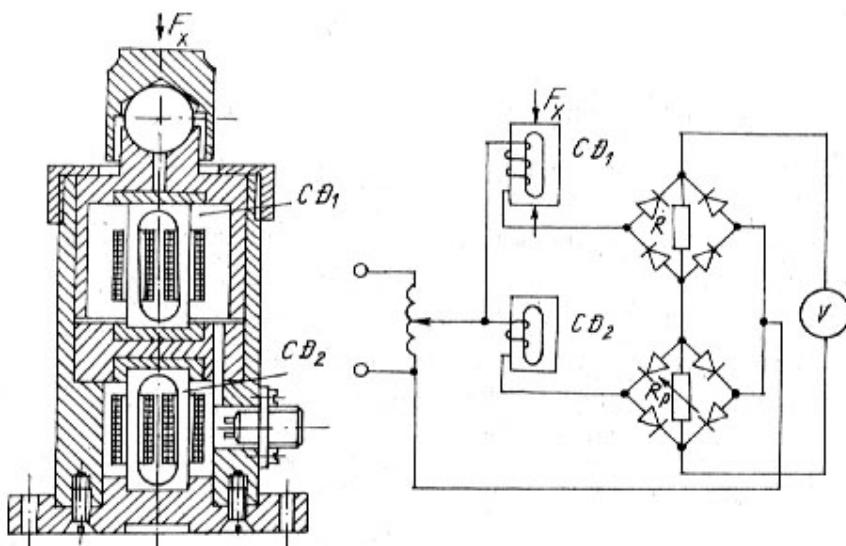
- Sai số gây ra bởi sự dao động của dòng điện từ hóa làm thay đổi từ thẩm ban đầu và thay đổi độ lớn của hiệu ứng áp từ. Giảm sai số này bằng cách chọn giá trị dòng từ hóa để cho lõi thép làm việc với cường độ từ trường tương ứng với

độ từ thẩm lớn nhất. Khi đó sai số sẽ nhỏ hơn $0,3\% \div 0,4\%$ khi điện áp nguồn nuôi dao động 1%.

- Sai số gây ra bởi sự dao động nhiệt độ của môi trường: khi nhiệt độ thay đổi sẽ làm cho điện trở của cuộn dây, độ từ thẩm ban đầu và hiệu ứng áp từ của chuyển đổi bị thay đổi. Sai số do nhiệt độ thay đổi $(0,5\% \div 1,5\%)/10^0C$.

c) **Mạch đo:** mạch đo của chuyển đổi áp từ tương tự như mạch đo của chuyển đổi điện cảm và hổ cảm. Đặc tính động của chuyển đổi áp từ được quyết định chủ yếu ở mạch đo và có thể làm việc với các đại lượng biến thiên đến hàng chục kHz.

Ví dụ về cấu tạo của chuyển đổi áp từ kiểu vi sai và mạch đo của nó như hình 7.14:



Hình 7.14. Cấu tạo của chuyển đổi áp từ kiểu vi sai và mạch đo của nó

d) **Ứng dụng:** chuyển đổi áp từ thường dùng để đo lực có giá trị lớn ($10^5 \div 10^6 N$) và đo áp suất trong điều kiện khó khăn.

Nhược điểm của chuyển đổi áp từ là độ chính xác thấp (cỡ $3\% \div 5\%$) nhưng có ưu điểm là cấu trúc đơn giản, độ tin cậy cao nên thường được sử dụng nhiều ở ngoài hiện trường để đo áp suất, mômen xoắn trong các máy khoan đất, đo lực cắt trong quá trình gia công kim loại...

7.3.4. Chuyển đổi cảm ứng.

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** gồm có nam châm vĩnh cửu hoặc nam châm điện và cuộn dây, có nhiều loại khác nhau với cấu tạo như hình 7.15.

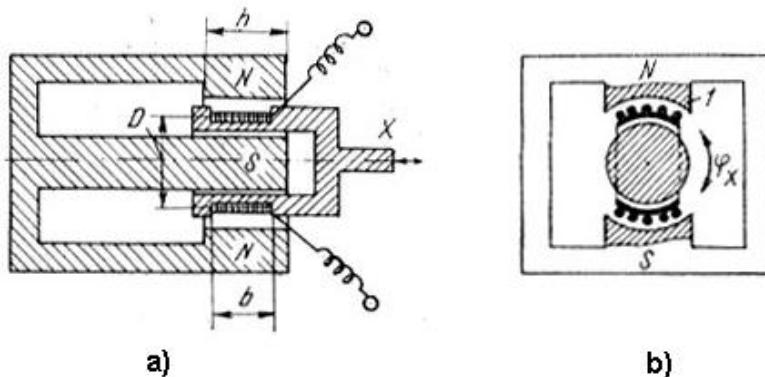
Khi đại lượng đo tác động lên chuyển đổi sẽ làm cho cuộn dây di chuyển dẫn đến từ thông bị thay đổi hoặc vị trí lõi thép thay đổi làm cho từ trở của mạch từ thay đổi. Các loại chuyển đổi cảm ứng khác nhau bao gồm: chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển (di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc), chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ di chuyển (di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc), chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ bị biến dạng.

- *Chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển:*

Đối với loại chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển thẳng (như hình 7.15a) thì khi cuộn dây di chuyển thì từ thông Φ móc vòng qua cuộn dây thay đổi sẽ sinh ra sức điện động cảm ứng E được tính:

$$E = -W \cdot \frac{d\Phi}{dt} = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

- với: X: độ di chuyển thẳng của cuộn dây
 $S = -B \cdot \pi \cdot D \cdot W$ là độ nhạy của chuyển đổi.
 B: độ từ cảm của khe hở không khí
 D: đường kính trung bình của cuộn dây
 W: số vòng của cuộn dây



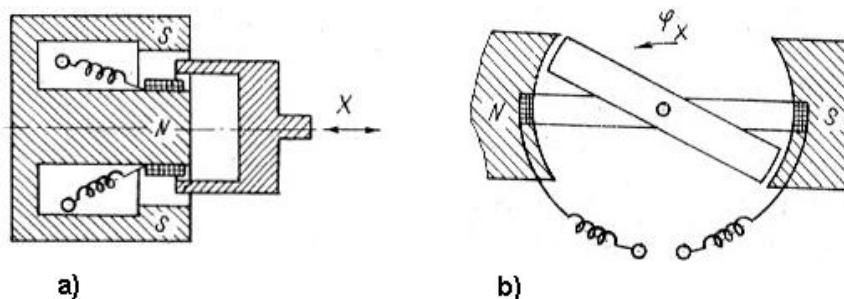
Hình 7.15. Chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển:
 a) cuộn dây di chuyển thẳng b) cuộn dây di chuyển góc

Đối với loại chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây quay một góc α (như hình 7.15b) thì:

$$E = -B_\alpha l \cdot \frac{dX}{dt} = -B_\alpha s_\alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

- với: α : độ di chuyển góc của cuộn dây
 B_α : cảm ứng từ của khe hở không khí
 $l = \pi \cdot D \cdot W$: tổng chiều dài thực của cuộn dây
 $s_\alpha = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot W$: tổng tiết diện thực của cuộn dây

- *Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt di chuyển*: di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc (hình 7.16a,b):



Hình 7.16. Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt di chuyển:
 a) di chuyển thẳng b) di chuyển góc

Đối với trường hợp lõi sắt di chuyển thẳng thì sức điện động cảm ứng là:

$$E = -W \frac{d\Phi}{dt} = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

- với: X: độ di chuyển thẳng của lõi thép

$$S = \frac{k.W.F_M}{R_{M0}} : \text{độ nhạy của chuyên đổi}$$

k: hệ số phụ thuộc vào cấu trúc của chuyển đổi

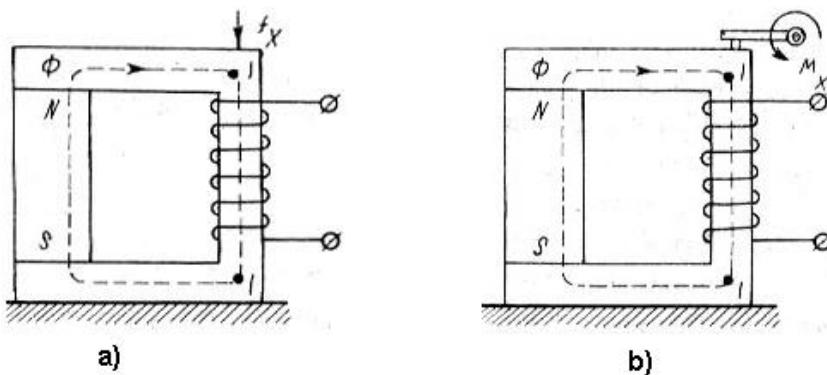
F_M : sức từ động của nam châm

R_{M0} : từ trở của mạch từ khi chưa có đại lượng đo tác động (khi $X=0$)

Đối với trường hợp lõi sắt di chuyển góc quay quanh trục theo qui luật hình sin, tức là khe hở không khí giữa các đầu cực từ thay đổi theo qui luật hình sin thì sức điện động sinh ra là:

$$E = -W \frac{d\Phi}{dt} = -W \cdot \omega \cdot B \cdot S_\alpha \cdot \cos 2\omega t$$

- *Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt bị biến dạng* (dựa trên hiệu ứng áp từ): di chuyển thăng hoặc di chuyển góc (hình 7.17a,b):



Hình 7.17. Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ bị biến dạng (dựa trên hiệu ứng áp từ):
 a) biến dạng thẳng b) biến dạng góc

Đoạn 1-1 của mạch từ chịu lực tác động theo f_v (hoặc mômen M_v biến thành lực f_v), do hiệu ứng áp từ sẽ làm cho từ trở của đoạn 1-1 thay đổi, do đó từ thông móc vòng qua cuộn dây cũng thay đổi và sinh ra sức điện động cảm ứng E tỉ lệ với tốc độ thay đổi của lực f_v :

$$E = S_\mu \frac{dl_{1-1}}{dt} = S'_\mu \cdot \frac{df_v}{dt}$$

với: l_{1-1} : chiều dài của đoạn mạch từ bị biến dạng (đoạn 1-1)

S_μ, S'_μ : độ nhạy tương ứng khi thay đổi l và khi thay đổi f_v

- *Kết luận chung*: như vậy đối với chuyển đổi cảm ứng thì phương trình biến đổi chung có dạng:

$$E = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

với: S: độ nhạy của chuyển đổi

X: đại lượng vào của chuyển đổi (di chuyển thẳng, di chuyển góc hoặc lực)

Mạch tương đương của chuyển đổi cảm ứng như hình 7.18: trong đó:

R_L , L : điện trở thực và điện cảm thực của cuộn dây

R_t : điện trở thực của tải (ví dụ của cơ cấu chỉ thị nối với chuyền đổi)

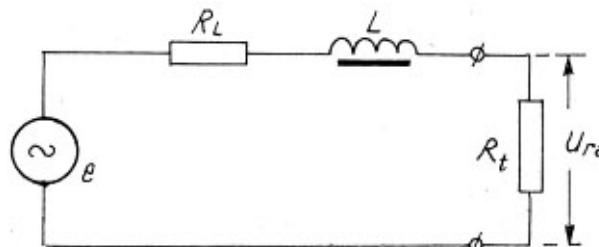
Ứng với điều kiện ban đầu thì độ nhạy của chuyển đổi có dạng:

$$S(p) = S_0 \cdot \frac{\tau p}{1 + \tau p}$$

với: $\tau = \frac{L}{R_L + R_t}$: hằng số thời gian của mạch

$S_0 = \frac{S.R_t}{L}$: hệ số tỉ lệ (độ nhạy của chuyển đổi khi $\omega\tau >> 1$)

như vậy chuyển đổi cảm ứng là một khâu quan tính-vi phân.



Hình 7.18. Mạch tương đương của chuyển đổi cảm ứng

b) **Các đặc tính cơ bản:** Từ các dạng cấu trúc khác nhau có nhận xét là: các chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển có đặc tính tuyến tính và độ chính xác cao hơn. Các chuyển đổi có lõi thép di chuyển ngược lại có đặc tính phi tuyến và từ trễ do đó chỉ sử dụng trong các mạch điều tần hoặc điều pha.

Tín hiệu ra của các chuyển đổi cảm ứng có biên độ cao (cỡ $10^{-1} \div 10^1$ V) nên mạch đo đơn giản và không cần khuếch đại.

Khi sử dụng các chuyển đổi cảm ứng cần phải chú ý đến sai số do tần số thay đổi. Sai số của chuyển đổi với nam châm vĩnh cửu và cuộn dây di chuyển đạt được từ $0,2\% \div 0,5\%$.

c) **Mạch đo:** từ các phương trình đặc trưng của chuyển đổi ta cũng thấy rằng sức điện động ở đầu ra của các chuyển đổi cảm ứng tỉ lệ với tốc độ biến thiên của tín hiệu đầu vào, do đó muốn đo tín hiệu thì phải mắc thêm bộ tích phân ở đầu ra của chuyển đổi, khi đó tín hiệu điện áp ra nhận được là:

$$U = \int E dt = \int S \cdot \frac{dX}{dt} = S \cdot X$$

là một đại lượng ổn định tỉ lệ với biến thiên của đại lượng vào (đại lượng cần đo).

d) *Ứng dụng:*

- Các chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển: dùng đo tốc độ quay và mômen quay, dùng làm tốc độ kế.

- Các chuyển đổi có lõi thép di chuyển: dùng đo di chuyển thẳng, đo di chuyển góc, đo biên độ rung từ 10^{-2} mm \div vài mm.

Độ nhạy cao của chuyển đổi cho phép đo được các di chuyển nhỏ, đo tốc độ, giá tốc và các đại lượng khác với dải tần số đến $15 \div 30$ kHz.

7.4. Chuyển đổi tĩnh điện.

Chuyển đổi tĩnh điện được phân thành hai loại là: chuyển đổi áp điện và chuyển đổi điện dung.

7.4.1. Chuyển đổi áp điện (chuyển đổi piezo):

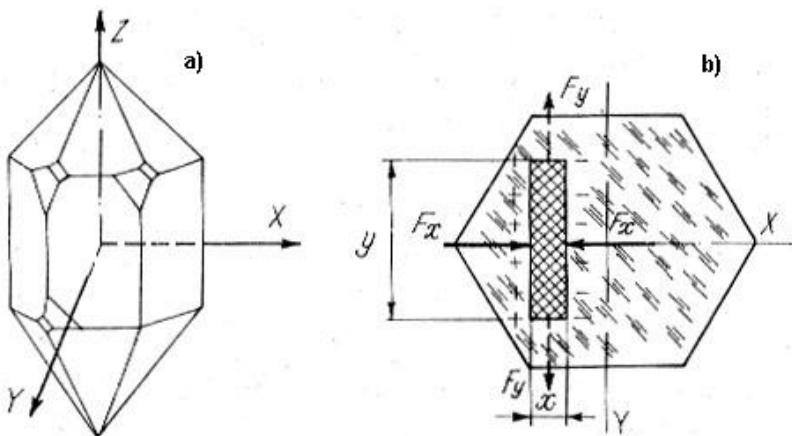
a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** chuyển đổi áp điện hoạt động dựa trên hiệu ứng áp điện, gồm có hiệu ứng áp điện thuận và hiệu ứng áp điện ngược:

- **Hiệu ứng áp điện thuận:** vật liệu khi chịu tác động của một lực cơ học biến thiên thì trên bề mặt của nó xuất hiện các điện tích, khi lực ngừng tác dụng thì các

điện tích biến mất.

Vật liệu dùng chế tạo các chuyển đổi áp điện là các tinh thể thạch anh (SiO_2), muối Bari Titanat (BaTiO_3), muối xênhét, tuamalin...

Hình 7.19 là cấu trúc của một tinh thể thạch anh: gồm có 3 trục chính: trục quang Z, trục điện X và trục cơ Y:



*Hình 7.19. a) Cấu trúc của một tinh thể thạch anh: gồm có 3 trục chính: trục quang Z; trục điện X; trục cơ Y
b) Chuyển đổi áp điện*

Nếu cắt tinh thể áp điện thành hình khối có 3 cạnh ứng với 3 trục quang, cơ, điện thì ta được chuyển đổi áp điện như hình 7.19b.

- Lực F_x tác động theo trục điện X: gây ra hiệu ứng điện dọc với điện tích:

$$q_x = d_1 F_x$$

với d_1 là hằng số áp điện (còn gọi là môđun áp điện).

Điện tích sinh ra này không phụ thuộc kích thước hình học của chuyển đổi mà chỉ phụ thuộc độ lớn của lực tác động F_x , dấu của điện tích thay đổi theo dấu của lực F_x .

- Lực F_y tác động theo trục cơ Y: gây ra hiệu ứng áp điện ngang với điện tích là:

$$q_y = -d_1 \cdot \frac{y}{x} F_y$$

với: y, x là kích thước của chuyển đổi tương ứng theo trục X và Y.

Dấu của điện tích q_x và q_y ngược nhau, nghĩa là lực F_x nén sẽ làm xuất hiện điện tích cùng dấu khi F_y là lực kéo và ngược lại.

- Lực tác dụng theo trục quang Z: không xảy ra hiệu ứng áp điện.

Trường hợp các cạnh của chuyển đổi không song song với các trục chính hoặc lực tác động không song song với các trục thì điện tích sinh ra sẽ có giá trị nhỏ hơn.

Hình 7.20 là các dạng biến dạng của chuyển đổi áp điện.

- **Hiệu ứng áp điện ngược:** nếu đặt vật liệu trong từ trường biến thiên thì điện trường tác dụng lên chúng sẽ sinh ra biến dạng cơ học. Cụ thể nếu đặt phần tử điện trong điện trường có cường độ E_x dọc trục X, nó sẽ bị biến dạng tương đối theo hướng trục này một lượng:

$$\frac{\Delta x}{x} = d_1 E_x$$

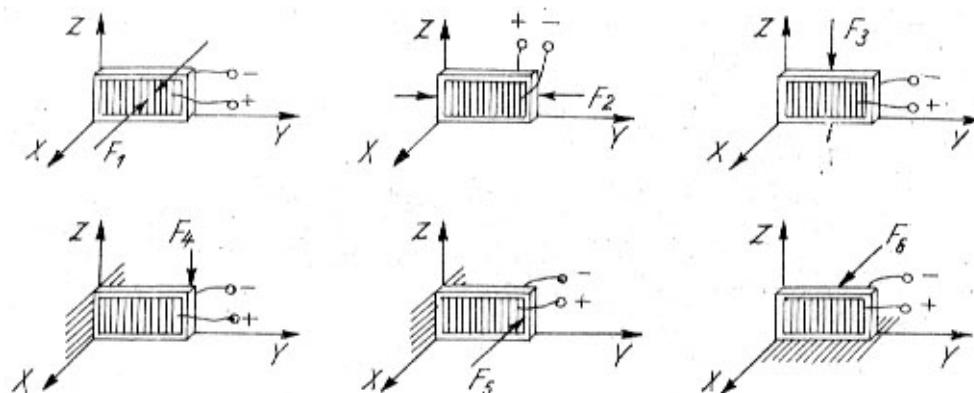
với: $E_x = U_x \cdot x$: cường độ điện trường tác động lên chuyển đổi

U_x : điện áp đặt lên phần tử áp điện

Từ đó xác định được các biến dạng cơ học tỉ lệ với cường độ điện trường:

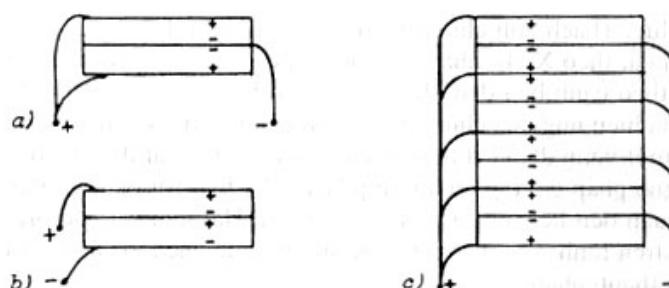
$$\Delta x = d_1 \cdot U_x$$

$$\Delta y = -\frac{y}{x} \cdot d_1 \cdot U_x$$



Hình 7.20. Các dạng biến dạng của chuyển đổi áp điện

Để tăng diện tích đầu ra của chuyển đổi áp điện có thể mắc song song nhiều chuyển đổi như hình 7.21:



Hình 7.21. măc song song nhiều chuyển đổi áp điện để tăng diện tích đầu ra

b) **Các đặc tính cơ bản:** các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu áp điện thông dụng như sau:

- **Thạch anh:** là vật liệu tự nhiên hoặc tổng hợp với các đặc tính:

- Hằng số áp điện: $d_1 = 2,1 \cdot 10^{-12}$ C/N
- Hằng số điện môi: $\epsilon = 39,8 \cdot 10^{-12}$ F/m
- Ứng suất cho phép: $\sigma = 70 \div 100$ N/mm²
- Điện trở suất: $\rho = 10^{16}$ Ω/m, phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và các trục.

Ở nhiệt độ 200°C thì d_1 không phụ thuộc nhiệt độ, từ $200^{\circ}\text{C} \div 500^{\circ}\text{C}$ thì d_1 thay đổi đáng kể, từ nhiệt độ 537°C thì tính chất áp điện bị phá hủy.

- **Muối Barititanat (BaTiO_3):** là loại vật liệu tổng hợp với các đặc tính:

- Hằng số áp điện: $d_1 = 107 \cdot 10^{-12}$ C/N, tuy nhiên hằng số áp điện không phải là hằng số mà trong nhiều trường hợp nó bị giảm tới 20% trong 2 năm.
- Hằng số điện môi: $\epsilon = 1240 \cdot 10^{-11}$ F/m
- Môđun đàn hồi: $E = 115 \cdot 10^3$ N/mm²
- Các tính chất của Barititanat phụ thuộc nhiều vào lượng tạp chất, công nghệ chế tạo và điện áp phân cực.

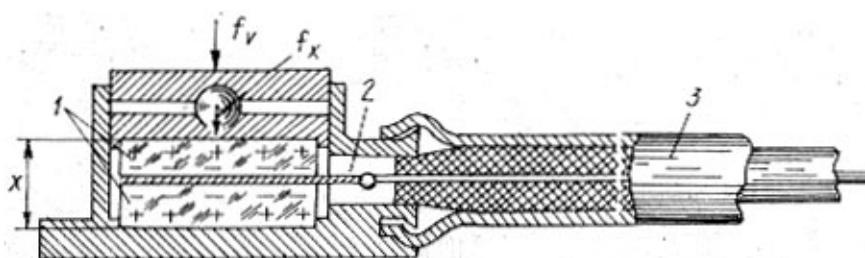
- Do có hiện tượng trễ nên đặc tính $q = f(F)$ không tuyến tính

Tuy nhiên do có độ bền cơ học cao, giá thành thấp và có thể chế tạo dưới hình dạng bất kỳ nên loại vật liệu này được sử dụng rộng rãi.

Hiện nay đã tìm ra các loại vật liệu áp điện khác như Titanát chì ($PbTiO_3$), Zirconat chì ($PbZnO_3$) có môđun áp điện lớn hơn $BaTiO_3$ gấp tới 4 lần.

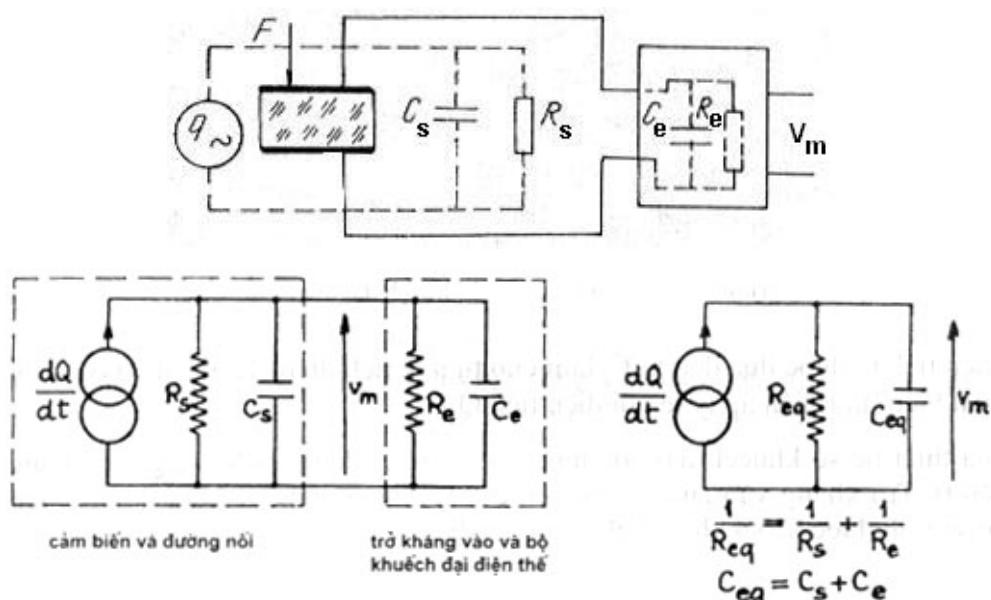
c) **Mạch đo:** công suất ra của chuyển đổi rất nhỏ vì vậy yêu cầu tổng trở vào của mạch đo phải rất lớn ($c\approx 10^8 \div 10^{14} \Omega$). Dây nối từ chuyển đổi vào mạch đo cần phải được bọc kim để chống lại điện tích rò.

Hình 7.22 là sơ đồ cấu tạo của một chuyển đổi áp điện dùng đo lực F_x : hai phần tử áp điện 1 được đặt sao cho điện tích phân cực ngược nhau khi bị va đập. Điện tích ra được lấy trên thanh dẫn 2 ở giữa hai phần tử 1, dây dẫn là cáp bọc kim 3.



Hình 7.22. Sơ đồ cấu tạo của một chuyển đổi áp điện dùng đo lực F_x

Đầu ra của chuyển đổi áp điện được mắc với mạch đo (mạch khuếch đại) có sơ đồ mạch tương đương như hình 7.23. Đầu ra nhận được điện áp V_m tỉ lệ với lực tác dụng lên chuyển đổi.



Hình 7.23. Mạch đầu ra của chuyển đổi áp điện với mạch đo (mạch khuếch đại) và sơ đồ mạch tương đương

- **Dải tần làm việc của chuyển đổi áp điện:** khi làm việc ở dải tần số cao thì sai số của chuyển đổi áp điện do tần số không đáng kể, tuy nhiên sai số ở dải tần số thấp là đáng kể và tới một giới hạn dưới của tần số (quyết định bởi tham số của chuyển đổi và của cả mạch đo) thì chuyển đổi không còn hoạt động chính xác. Để giảm sai số ở tần số thấp thì phải tăng hằng số thời gian τ của mạch đo, với τ được

tính:

$$\tau = R_{eq} \cdot C_{eq} = \frac{R_s \cdot R_e}{R_s + R_e} \cdot (C_s + C_e)$$

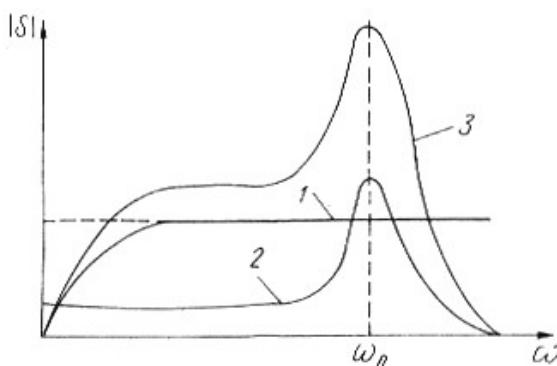
- *Độ nhạy thực của chuyển đổi*: trong thực tế thì lực tác động lên chuyển đổi ngoài lực f_x (theo phương X) còn có các lực biến dạng cơ học, lực điện, khi đó đặc tính độ nhạy S của chuyển đổi có dạng như hình 7.24. Độ nhạy của chuyển đổi sẽ không còn phụ thuộc vào tần số khi thỏa mãn điều kiện:

$$\omega_0 >> \omega >> \frac{1}{\tau}$$

với $\omega_0 = \sqrt{C_0/m}$ là tần số dao động riêng cơ học và ω là tần số dao động của lực tác động lên chuyển đổi. Khi đó độ nhạy cơ điện của chuyển đổi là:

$$S = \frac{d_1}{C} \cdot \frac{sE}{mx} \cdot \frac{1}{\omega_0^2}$$

với m là khối lượng của phần tử áp điện.



Hình 7.24. đặc tính độ nhạy của chuyển đổi áp điện:

- 1) đặc tính điện 2) đặc tính cơ 3) đặc tính cơ điện

- *Ảnh hưởng của dây cáp nối chuyển đổi*: khi sử dụng chuyển đổi áp điện cần tính đến hiệu ứng của dây cáp nối chuyển đổi vì trong điều kiện bị rung bắn thân dây cáp cũng sinh ra điện tích do đó làm sai lệch kết quả đo. Trong thực tế với độ rung ở tần số $60\div80\text{kHz}$ điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích của bản thân phần tử áp điện vì vậy phải sử dụng loại cáp đặc biệt chống rung (ví dụ loại ABK).

Phần tử áp điện và mạch đo cần phải được chống ẩm tốt.

d) Ứng dụng: chuyển đổi áp điện được dùng để đo lực biến thiên (đến 10^3N), đo áp suất $10^2(\text{N/mm}^2)$ và gia tốc (tới 10^3g) trong dải tần từ $0,5\div100\text{kHz}$.

Ưu điểm của chuyển đổi loại này là cấu trúc đơn giản, kích thước nhỏ, độ tin cậy cao, có khả năng đo các đại lượng biến thiên nhanh. Nhược điểm của nó là không đo được lực tĩnh, khó khắc độ.

Ngoài việc sử dụng các hiệu ứng áp điện thuận của chuyển đổi áp điện người ta còn dùng hiệu ứng áp điện ngược để tạo các chuyển đổi ngược do di chuyển và các thiết bị để kích thích dao động siêu âm ở tần số dao động cơ (ví dụ dao động kí cơ học). Nhược điểm của loại chuyển đổi này là độ biến dạng của phần tử điện áp nhỏ (chỉ vài phần micromet).

7.4.2. Chuyển đổi điện dung.

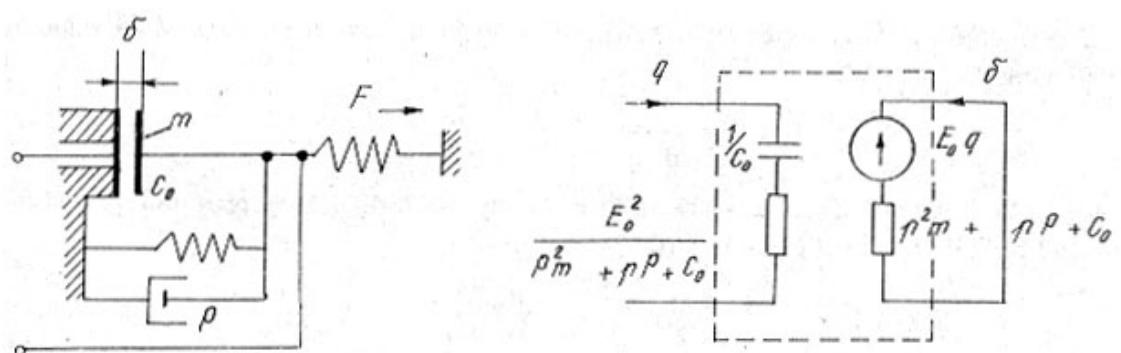
a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** các chuyển đổi điện dung làm việc dựa trên nguyên lý về sự tác động tương hỗ giữa hai điện cực tạo thành một tụ điện có điện dung thay đổi dưới tác động của đại lượng vào.

Chuyển đổi điện dung có thể chia thành hai nhóm lớn là chuyển đổi máy phát và chuyển đổi thông số:

- **Chuyển đổi máy phát:** có đại lượng ra thường là điện áp ra của máy phát; đại lượng vào là sự di chuyển thẳng, di chuyển góc của bản điện cực động của chuyển đổi. Loại này thường dùng đo các đại lượng cơ học.

- **Chuyển đổi thông số:** có đại lượng vào là sự di chuyển của bản điện cực động; đại lượng ra là sự thay đổi điện dung C của chuyển đổi.

- **Chuyển đổi điện dung máy phát:** hình 7.25 là cấu tạo của chuyển đổi điện dung phát điện và sơ đồ mạch tương đương:



Hình 7.25. Cấu tạo của một loại chuyển đổi điện dung cơ bản
và sơ đồ mạch tương đương

Đại lượng ra là điện áp U đặt trên hai cực của tụ điện, điện áp này liên quan với các thông số như sau :

$$U = \frac{q}{C} = q \frac{\delta}{\epsilon s}$$

với: q - điện tích trên bản cực

$C = \frac{\epsilon s}{\delta}$: điện dung của tụ điện tạo bởi hai bản cực

ϵ - điện môi giữa hai bản cực

s, δ - diện tích của bản cực và khoảng cách giữa chúng

Đại lượng vào là lực cơ F tác động lên bản cực động gồm hai thành phần: lực tác động do điện tích tương hỗ F_d và lực đẩy cơ học F_c gây nên bởi cực động, với:

$$F_d = \frac{1}{2} U^2 \cdot \frac{\epsilon s}{\delta^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{\epsilon s}; \quad F_c = S(p) \cdot \delta$$

với: $S(p) = p^2 m + pP + k_p$

m - khối lượng của bản cực động

P - hệ số cản dịu; k_p - hệ số phản kháng

Suy ra phương trình của chuyển đổi là:

$$F = F_d + F_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{\epsilon s} + S(p) \cdot \delta$$

Từ biểu thức trên ta thấy chuyển đổi điện dung có tính chất phi tuyến vì vậy phương trình biến đổi có thể viết dưới dạng :

$$dU = \frac{\partial U}{\partial q} \cdot dq + \frac{\partial U}{\partial \delta} \cdot d\delta = \frac{\delta}{\epsilon s} \cdot dq + \frac{q}{\epsilon s} \cdot d\delta = \frac{1}{C_0} \cdot dq + E_0 \cdot d\delta$$

$$dF = \frac{\partial F}{\partial q} \cdot dq + \frac{\partial F}{\partial \delta} \cdot d\delta = \frac{q}{\epsilon s} \cdot dq + S(p) \cdot d\delta = E_0 \cdot dq + S(p) \cdot d\delta$$

với: C_0 - điện dung ban đầu tương ứng với khoảng cách δ_0 giữa hai bản cực

$$E_0 = \frac{U_0}{\delta_0} = \frac{q_0}{C_0 \delta_0} = \frac{q}{\epsilon s}$$

- cường độ điện trường ban đầu của tụ điện

Nếu chuyển đổi làm việc trong khoảng di chuyển nhỏ phương trình sẽ được biểu diễn dưới dạng thay đổi $\Delta\delta$:

$$\Delta\delta = \frac{E_0 \cdot \Delta q}{p^2 m + pP + k_p} = k_0 \cdot \Delta q$$

với hệ số k_0 của chuyển đổi điện dung phát điện là một hàm tuyến tính với điện áp U (diện tích trên 2 bản cực) :

$$k_0 = k \cdot E_0 = k \cdot \frac{U_0}{\delta_0} = k \cdot \frac{q_0}{C_0 \delta_0}$$

- *Chuyển đổi điện dung thông số*: với một tụ điện phẳng thì điện dung là:

$$C = \epsilon \frac{s}{\delta}$$

như vậy khi một trong ba đại lượng ϵ , s , δ thay đổi, điện dung cũng thay đổi theo. Với một sự thay đổi rất nhỏ của điện dung ta có:

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \epsilon} \cdot d\epsilon + \frac{\partial C}{\partial s} \cdot ds + \frac{\partial C}{\partial \delta} \cdot d\delta$$

Đưa về dạng sai phân ta được:

$$\Delta C = \frac{s_0}{\delta_0} \cdot \Delta \epsilon + \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \cdot \Delta s - \frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \cdot \Delta \delta$$

suy ra sự biến thiên tương đối của điện dung:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\Delta s}{s_0} - \frac{1}{(1 + \Delta \delta / \delta_0)^2} \cdot \frac{\Delta \delta}{\delta_0}$$

với: $\epsilon_0, s_0, \delta_0, C_0$ - các giá trị ban đầu của các đại lượng tương ứng.

- Độ nhạy của chuyển đổi điện dung khi khoảng cách giữa hai bản cực δ thay đổi và $\epsilon = \text{const}$, $s = \text{const}$ là:

$$S_\delta = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta \delta / \delta_0} = - \frac{1}{(1 + \Delta \delta / \delta_0)^2}$$

- Độ nhạy của chuyển đổi điện dung khi diện tích giữa hai bản cực s thay đổi và $\epsilon = \text{const}$, $\delta = \text{const}$ là:

$$S_s = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta s / s_0} = 1$$

- Độ nhạy của chuyển đổi điện dung khi hằng số điện môi thay đổi ϵ thay đổi

và $\delta = \text{const}$, $s = \text{const}$ là:

$$S_{\varepsilon} = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = 1$$

- *Sự biến thiên tương đối điện kháng của chuyển đổi điện dung*: nếu xét đến dung kháng $X_C = \frac{1}{\omega C}$ với $\omega = \text{const}$ thì ta có:

$$dX_c = \frac{\partial X_c}{\partial \varepsilon} \cdot d\varepsilon + \frac{\partial X_c}{\partial s} \cdot ds + \frac{\partial X_c}{\partial \delta} \cdot d\delta$$

với sự thay đổi hữu hạn $\Delta\varepsilon$, Δs , $\Delta\delta$ ta cũng có độ nhạy tương đối :

$$S'_{\delta} = \frac{\Delta X_c / X_{co}}{\Delta \delta / \delta_0} = 1$$

$$S'_{\varepsilon} = \frac{\Delta X_c / X_{co}}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = -\frac{1}{(1 + \Delta \varepsilon / \varepsilon_0)^2}$$

$$S'_{s} = \frac{\Delta X_c / X_{co}}{\Delta s / s_0} = -\frac{1}{(1 + \Delta s / s_0)^2}$$

với: X_{co} - giá trị dung kháng ban đầu

b) *Các đặc tính cơ bản*: từ các biểu thức trên ta thấy:

- Sự biến thiên tương đối của chuyển đổi điện dung là hàm tuyến tính khi tiết diện bản cực và hằng số điện môi thay đổi, nhưng phi tuyến khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi.

- Sự biến thiên tương đối điện kháng của chuyển đổi điện dung là hàm tuyến tính khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi ($\Delta\delta$) và phi tuyến với diện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi.

Trị số biến thiên tương đối Δs và $\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$ thường đạt từ $0,15 \div 0,2$ đối với chuyển đổi đơn và $0,4$ với chuyển đổi mắc kiểu vi sai.

- Khi khoảng cách $\Delta\delta$ thay đổi, sự biến thiên điện kháng ΔX_c của chuyển đổi sẽ tăng khi ε_0 điện áp ra của mạch đo tăng lên. Tuy nhiên giảm khoảng cách δ giữa hai bản cực chỉ thực hiện đến một giá trị nào đó để tránh điện áp đánh thủng cách điện. Ví dụ: với không khí, cường độ điện trường không được lớn hơn 10KV/cm .

Mặt khác giữa hai bản cực khi có điện áp đặt vào sẽ tính lực hút $F_h = -\frac{U^2}{2} \cdot \frac{\varepsilon s}{\delta^2}$

lực này cần phải nhỏ hơn đại lượng đo. Đối với chuyển đổi mắc kiểu vi sai thì lực hút giữa hai bản tụ có môđun bằng nhau nhưng ngược chiều nhau nên bù lẩn nhau.

- Độ nhạy của chuyển đổi khi tính đến điện dung kí sinh: trong thực tế có điện dung kí sinh C_{ks} hình thành ở dây nối và bản thân cấu trúc của chuyển đổi làm độ nhạy của nó giảm đi:

$$\frac{\Delta C_{td}}{C_{td}} = \frac{\Delta C_0 / C_0}{1 + (C_{ks} / C_0)}$$

với: C_{td} - điện dung tác dụng.

Như vậy độ nhạy của chuyển đổi khi kể đến điện dung kí sinh là:

$$S'_{\delta} = \frac{\Delta x_{ctd}}{\Delta \delta / \delta_0} = \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

$$S'_s = \frac{\Delta x_{ctd} / x_{ctd}}{\Delta s / s_0} = \frac{-1}{1 + (\Delta s / s_0)^2} \cdot \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

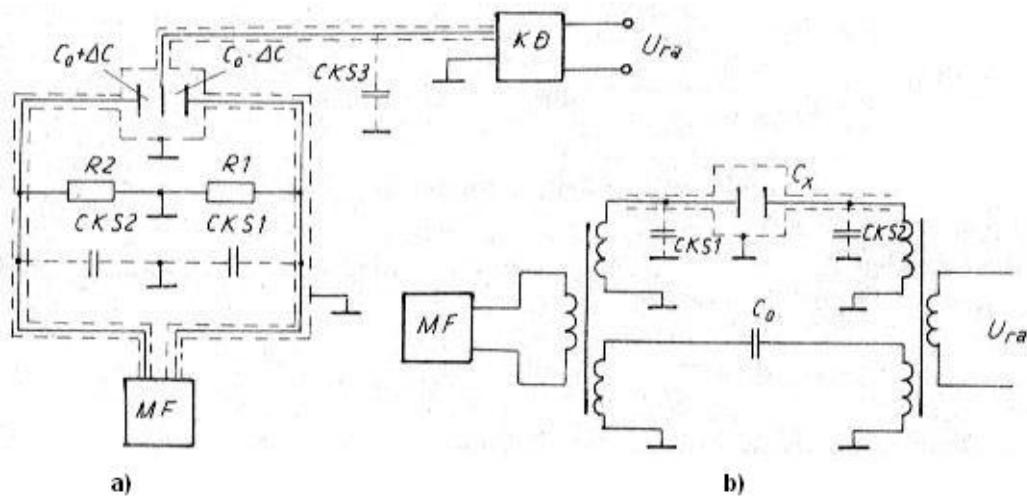
$$S'_{\varepsilon} = \frac{\Delta x_{ctd} / x_{ctd}}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = \frac{-1}{1 + (\Delta \varepsilon / \varepsilon_0)^2} \cdot \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

Độ nhạy sẽ giảm nhiều khi C_{ks}/C_0 càng lớn.

c) **Mạch đo:** thông thường mạch đo dùng với chuyển đổi điện dung là các *mạch cầu không cân bằng* cung cấp bằng dòng xoay chiều. Mạch đo cần phải thực hiện các yêu cầu sau:

- Tổng trở vào tức là điện trở của đường chéo cầu phải thật lớn
- Các dây dẫn được bọc kim để tránh ảnh hưởng của điện trường ngoài
- Không được mắc điện trở song song với chuyển đổi làm tổng trở của nó
- Chống ẩm tốt.
- Tần số nguồn cung cấp cần phải cao, để tăng công suất ra của chuyển đổi có thể tới hàng chục MHz.

Hình 7.26 là các sơ đồ mạch đo dùng với chuyển đổi điện dung:



Hình 7.26. Sơ đồ mạch đo dùng với chuyển đổi điện dung:

- a) sơ đồ mạch đo của chuyển đổi điện dung vi sai mắc theo mạch cầu
- b) sơ đồ mạch cầu biến áp với hai nhánh điện cảm

- *Sơ đồ mạch đo của chuyển đổi điện dung vi sai mắc theo mạch cầu* với hai điện trở R_1 và R_2 ; như hình 7.26a:

Các điện dung C_{ks1} , C_{ks2} và C_{ks3} song song với hai điện trở và chỉ thị là các điện dung kí sinh trị số bé không đáng kể.

Do điện dung của tụ điện chuyển đổi nhỏ (cỡ chục micrôphara) nên để đảm bảo công suất ra lớn thì phải dùng một khuyếch đại có độ nhạy cao KĐ.

Cung cấp cho mạch cầu là một máy phát tần số lớn (MF).

- *Sơ đồ mạch cầu biến áp với hai nhánh điện cảm:* như hình 7.26b:

Trong sơ đồ này điện dung kí sinh C_{ks1} và C_{ks2} rất nhỏ do nối song song với hai cuộn sơ cấp biến áp.

- *Sơ đồ mạch đo dòng một chiều:* để đo đại lượng biến thiên cùng với mạch cầu người ta còn dùng mạch đo dòng một chiều. Sơ đồ mạch như hình 7.27.

Nếu bỏ qua điện dung kí sinh của phụ tải C_t song song với điện trở tải R_t ta có:

$$\begin{aligned} U_0 &= iR_t + \frac{1}{C} \int idt \\ \Leftrightarrow U_0 \cdot C &= iR_t C + \int idt \\ \Rightarrow U_0 \frac{dC}{dt} &= R_t \cdot C_0 \frac{di}{dt} + iR_t \frac{dC}{dt} + i \end{aligned}$$

với: C_0 - là điện dung ban đầu, coi là hằng số.

Nếu gọi $iR_t = U_r$ và $R_t \frac{di}{dt} = dU_r$ ta có :

$$U_0 \frac{dC}{dt} = C_0 \frac{dU_r}{dt} + U_r \frac{dC}{dt} + \frac{U_r}{R_t}$$

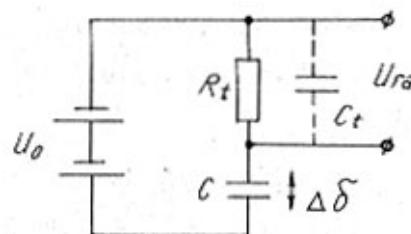
Với sự di chuyển nhỏ $\Delta\delta \ll \delta_0$ một cách gần đúng có thể viết :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\varepsilon s_0}{\delta_0^2} \cdot \frac{d\delta}{dt} = \frac{C_0}{\delta_0} \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

suy ra:

$$\tau \cdot \frac{dU_r}{dt} + U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot (U_0 - U_r) \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

với: $\tau = R_t C_0$ = hằng số thời gian của mạch.



Hình 7.27. Mạch đo dùng chuyển đổi điện dung nuôi bởi dòng một chiều

Với điều kiện $\Delta\delta \ll \delta_0$ và $U_r \ll U_0$ ta có phương trình gần đúng của chuyển đổi dưới dạng:

$$\tau \cdot \frac{dU_r}{dt} + U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot U_0 \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

biểu diễn dưới dạng toán tử Laplace:

$$(p+1)U_r = \frac{\tau}{\delta_0} U_0 (\delta p)$$

suy ra độ nhạy của chuyển đổi (dưới dạng toán tử) là:

$$S(p) = \frac{U_r}{\delta} = \frac{U_0}{\delta_0} \cdot \frac{p}{1+p}$$

Từ đó nhận thấy mạch đo trên có tính chất là một khâu vi phân.

Để tăng độ tuyến tính của chuyển đổi và tăng độ nhạy của mạch ta có thể dùng mạch này ở hai chế độ làm việc.

- Đo biên độ rung: trong trường hợp này hằng số thời gian $\tau = R_t C_0$ phải lớn, bằng cách tăng R_t (tăng điện trở của khuỷu ống đại)

- Đo tốc độ (đạo hàm của di chuyển): thì ngược lại, hằng số thời gian $\tau = R_t C_0$ phải rất nhỏ

Thiết bị dùng chuyển đổi điện dung với dòng một chiều chỉ có thể khắc độ trong chế độ động.

d) *Ứng dụng:*

- Loại có khe hở không khí thay đổi được dùng đo những di chuyển nhỏ (từ vài micromét đến vài milimet).

- Nếu dùng chuyển đổi điện dung trong mạch cung cấp điện áp một chiều có thể đo được tốc độ, độ dịch chuyển biến thiên của các đại lượng khác có thể biến đổi thành di chuyển (lực, áp suất, gia tốc).

- Loại có điện tích bán cực thay đổi dùng đo các di chuyển lớn (hơn 1cm) và di chuyển góc (đến 270°).

- Chuyển đổi có điện môi ϵ thay đổi dùng để đo độ ẩm (vải, chất dẻo), đo mức nước, chiều dày của các vật cách điện, đo lực.

- Chuyển đổi có tổn hao điện môi thay đổi (mạch đo dùng đo góc tổn hao tgđ của tụ trong mạch xoay chiều) dùng để xác định các tham số vật lý của vật liệu nào đó đặt giữa hai bản cực...

7.5. Chuyển đổi nhiệt điện.

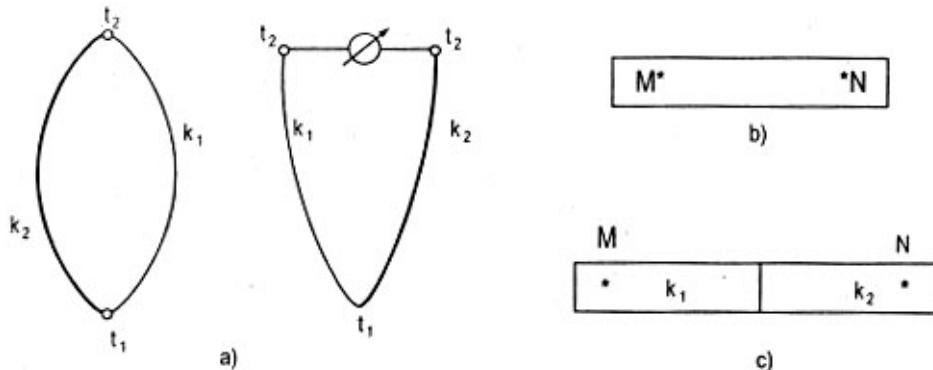
Chuyển đổi nhiệt điện là những chuyển đổi điện trên các quá trình nhiệt như đốt nóng, làm lạnh, trao đổi nhiệt...

Thực tế khi đo các đại lượng theo phương pháp điện người ta thường sử dụng hai hiện tượng, đó là *hiệu ứng nhiệt điện* và *hiệu ứng thay đổi điện trở của dây dẫn hay chất bán dẫn khi nhiệt độ thay đổi*. Tương ứng với hai hiện tượng trên người ta phân thành hai loại chuyển đổi nhiệt điện đó là *chuyển đổi cặp nhiệt điện (Thermocouple)* và *chuyển đổi nhiệt điện trở (RTD-Resistance Temperature Detector)*.

7.5.1. Chuyển đổi cặp nhiệt điện (Thermocouple):

a) *Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:*

Nếu có hai dây dẫn khác nhau (k_1, k_2) (như hình 7.28a) nối với nhau tại hai điểm t_1 và t_2 và một trong hai điểm đó (ví dụ điểm t_1) được đốt nóng thì trong mạch sẽ xuất hiện một dòng điện gây ra bởi súc điện động nhiệt điện.



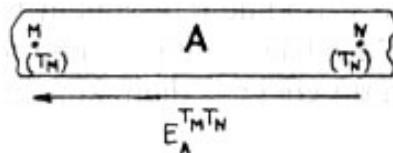
Hình 7.28. Sự tạo ra súc điện động nhiệt điện do hiệu ứng Thomson và hiệu ứng Seebeck.

Sự tạo ra súc điện động nhiệt điện là do tác động của hiệu ứng Thomson và hiệu ứng Seebeck.

- **Hiệu ứng Thomson:** trong một vật dẫn đồng nhất, giữa hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau sẽ sinh ra một sức điện động. Sức điện động này chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn và nhiệt độ ở hai điểm M và N:

$$E_\theta = \int_{t_1}^{t_2} \sigma dt$$

với: σ - hệ số Thomson với vật liệu cho trước



Hình 7.28b. Sự tạo ra sức điện động nhiệt điện do hiệu ứng Thomson

Nếu hai vật dẫn có bản chất khác nhau k_1, k_2 đặt tiếp xúc thì xuất hiện sức điện động phụ thuộc bản chất của hai vật dẫn và nhiệt độ của điểm tiếp xúc:

$$E_{K_1 K_2} = \int_{t_1}^{t_2} (\sigma_{K_1} - \sigma_{K_2}) dt$$

với: σ_{k1}, σ_{k2} - hệ số Thomson với hai vật liệu k_1, k_2 .

- **Hiệu ứng Seebeck:** một mạch kín gồm hai vật dẫn k_1, k_2 được nối với nhau tại hai điểm ở nhiệt độ tương ứng t_1, t_2 sẽ tạo thành một cặp nhiệt điện. Khi nhiệt độ ở hai đầu t_1 và t_2 khác nhau, các điện tích khuếch tán sang nhau tạo nên một sức điện động do tác động của hiệu ứng Thomson:

$$E_{K_1 K_2}(t_1, t_2) = E_{K_1 K_2}(t_1) + E_{K_1 K_2}(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} (\sigma_{K_1} - \sigma_{K_2}) dt$$

Sức điện động này phụ thuộc vào nhiệt độ t_1, t_2 và có thể biểu diễn dưới dạng:

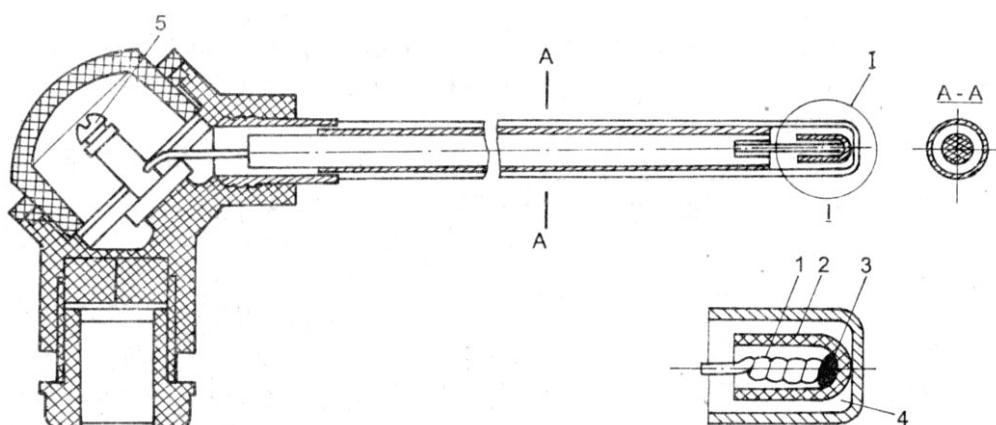
$$E_{K_1 K_2}(t_1, t_2) = e_{K_1 K_2}(t_1) - e_{K_1 K_2}(t_2)$$

Nếu ở một đầu giữ nhiệt độ không đổi (t_2) và đầu kia (t_1) đặt ở môi trường đo nhiệt độ ta có:

$$E_{K_1 K_2}(t_1, t_2) \sim E_1(t_1)$$

đầu t_1 gọi là đầu làm việc, t_2 là đầu tự do.

Cấu tạo thực của một cặp nhiệt điện điển hình như hình 7.29:



Hình 7.29. Cấu tạo thực của một cặp nhiệt điện điển hình:

1 - dây kim loại; 2 - ống sứ cách điện; 3 - đầu hàn; 4 - vỏ thép; 5 - đầu nối ra

Vật liệu dùng để chế tạo cặp nhiệt điện cần đảm bảo các yêu cầu: quan hệ giữa sức điện động nhiệt điện với nhiệt độ là một hàm đơn trị, tính chất nhiệt điện không thay đổi, độ bền hóa học và cơ học cao, dẫn điện tốt, có trị số sức điện động nhiệt điện lớn.

Bảng 7.1: Một số cặp nhiệt điện thông thường

Loại cặp nhiệt điện	Nhiệt độ làm việc ($^{\circ}\text{C}$)	E (mV)	Độ chính xác
Đồng/constantan $\Phi = 1,63 \text{ mm}$	-270 ÷ 370	-6,25 ÷ 19,02	-100 $^{\circ}\text{C}$ ÷ -40 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 2\%$ -40 $^{\circ}\text{C}$ ÷ -100 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,8\%$ -100 $^{\circ}\text{C}$ ÷ -350 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,75\%$
Cromel/Alumel $\Phi = 3,25 \text{ mm}$	-270 ÷ 1250	-5,35 ÷ 50,63	0 $^{\circ}\text{C}$ ÷ 400 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 3\%$ 400 $^{\circ}\text{C}$ ÷ 1250 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,75\%$
Platin - Rodi (30%)/Platin $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	-50 ÷ 1500	-0,23 ÷ 15,57	0 $^{\circ}\text{C}$ ÷ 600 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 2,5\%$ 600 $^{\circ}\text{C}$ ÷ 1500 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,4\%$
Platin - Rodi (30%)/Platin - Rodi (6%); $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	0 ÷ 1700	0 ÷ 12,42	870 $^{\circ}\text{C}$ ÷ 1700 $^{\circ}\text{C}$: $\pm 0,5\%$
Wonfram - Reni (5%)/ Wonfram - Reni (26%)	0 ÷ 2700	0 ÷ 38,45	

b) Các đặc tính cơ bản:

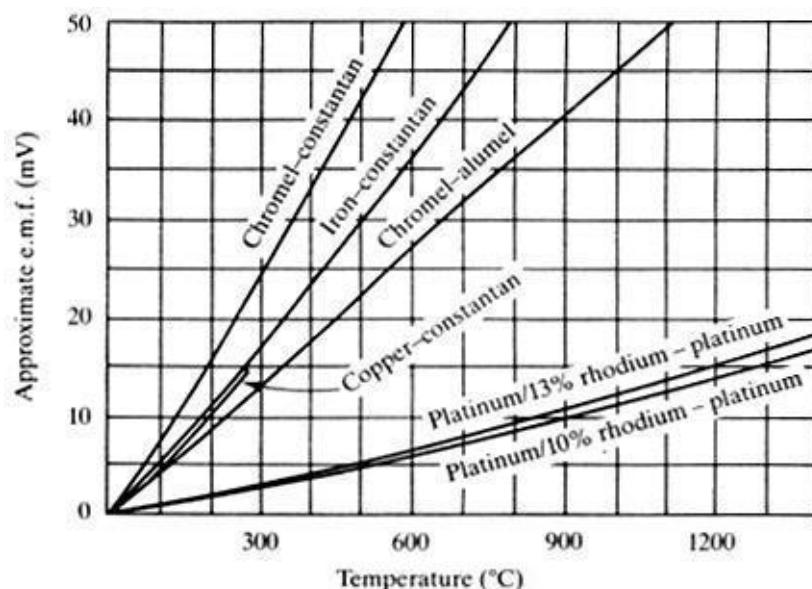
Phương trình biến đổi của cặp nhiệt điện trong trường hợp chung, một cách gần đúng có thể biểu diễn dưới dạng:

$$E_T = A.t + B.t^2 + C.t^3$$

với: E_T - sức điện động nhiệt điện.

t - hiệu nhiệt độ giữa đầu công tác và đầu tự do.

A, B, C - các hằng số phụ thuộc nhiệt độ của dây làm cặp nhiệt điện.



Hình 7.30. Đường đặc tính của một số cặp nhiệt điện hình

- Độ nhạy của cặp nhiệt:

$$S_T \approx \frac{dE_T}{dt} = A + 2B.t + 3C.t^2 = f(t)$$

Như vậy độ nhạy của cặp nhiệt điện không phải là hằng số mà phụ thuộc vào nhiệt độ. Do vậy các cặp nhiệt điện công nghiệp thường cho trước một bảng sức điện động ứng với các nhiệt độ khác nhau trong khoảng 1^0C với đầu tự do ở 0^0C .

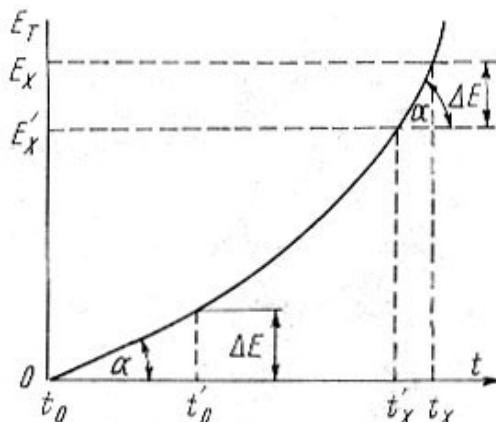
- Các nguyên nhân chủ yếu gây sai số đối với cặp nhiệt điện: sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi; sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây, cặp nhiệt và chỉ thị. Ngoài ra còn có sai số gây nên do đặt cặp nhiệt điện không đúng vị trí cần đo, không đúng hướng và điện tích tiếp xúc của cặp nhiệt với đối tượng đo quá nhỏ:

- Sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi và cách khắc phục: khi khắc độ các cặp nhiệt điện, đầu tự do được đặt ở môi trường có nhiệt độ 0^0C , nhưng trong thực tế sử dụng, nhiệt độ đầu tự do đặt trong môi trường khác 0^0C .

Khắc phục sai số trên thường dùng phương pháp hiệu chỉnh hệ số k trên từng đoạn của đường cong đặc tính $E_T = f(t)$ hoặc dùng thiết bị hiệu chỉnh tự động nhiệt độ đầu tự do:

▪ **Hiệu chỉnh hệ số k trên từng đoạn của đường cong đặc tính $E_T = f(t)$:**

Đường cong quan hệ giữa $E_T = f(t)$ khi nhiệt độ đầu tự do $t_0 = 0^0\text{C}$ như hình vẽ:



Hình 7.31. Đường cong biểu diễn quan hệ giữa $E_T = f(t)$ với nhiệt độ đầu tự do 0^0C

Giả sử rằng cặp nhiệt điện có thể đo ở nhiệt độ t với nhiệt độ đầu tự do $t'_0 > t_0$, lúc đó sức điện động $E_T(t, t'_0)$ sẽ nhỏ hơn sức điện động $E_T(t, t_0)$ một lượng:

$$\Delta E_T = E_T(t - t_0) - E_T(t - t'_0)$$

Theo hình 7.29 ta có:

$$(t - t') = (t'_0 - t_0) \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'} \cdot (t'_0 - t_0) \cdot k$$

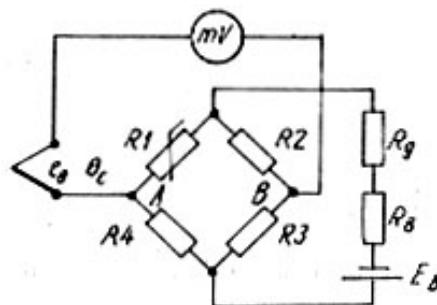
với: $k \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'}$ là hệ số hiệu chỉnh ở nhiệt độ đầu tự do, nó là hàm của t và do đó ở khác nhau với mỗi đoạn của đường cong.

Trong khi khắc độ, đường cong được phân thành nhiều đoạn, ứng với mỗi đoạn là 100^0C và mỗi đoạn có một hệ số hiệu chỉnh k và được lập bảng. Đối với cặp nhiệt điện đặc tính là tuyến tính thì hệ số k bằng đơn vị.

Có thể coi $k = 0,8 \div 1$ đối với cặp nhiệt điện bình thường và $k = 0,5 \div 0,6$ đối với cặp nhiệt quý.

▪ **Dùng thiết bị hiệu chỉnh tự động nhiệt độ đầu tự do:**

Trường hợp này có thể mắc một mạch cầu trong đó có ba nhánh làm bằng điện trở không thay đổi theo nhiệt độ (manganin) và một nhánh điện trở thay đổi theo nhiệt độ (đồng, niken):



Hình 7.32. Dùng mạch cầu để hiệu chỉnh tự động nhiệt độ đầu tự do

Cầu được tính toán cân bằng ở nhiệt độ 0°C , mắc nối tiếp với đầu tự do của cặp nhiệt. Khi nhiệt độ môi trường thay đổi thì điện trở (đồng, niken) thay đổi, cầu mất cân bằng và trên đường chéo xuất hiện một điện áp ΔU . Điện áp này bù cho lượng ΔE bị giảm khi môi trường có nhiệt độ khác 0°C .

Ngoài ra người ta còn dùng dụng cụ điện thế kế tự động tự ghi để đo nhiệt độ với cặp nhiệt. Thiết bị này tự động bù nhiệt độ đầu tự do.

- *Sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây, cặp nhiệt và chỉ thị:* cặp nhiệt điện thường được đo súc điện động bằng milivônmét hoặc điện thế kế điện trở nhỏ điều chỉnh bằng tay hoặc tự động với giới hạn đo đến 100mV.

Khi đo súc điện động bằng milivônmét, dòng điện chạy trong mạch là:

$$I = \frac{E_T}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$

với: E_T - súc điện động nhiệt điện

R_{CT} - điện trở của milivônmét

R_{ND} - điện trở cặp nhiệt điện

R_d - điện trở đường dây.

Điện áp rơi trên milivônmét:

$$U_{CT} = E - I(R_{ND} + R_d) = \frac{E \cdot R_{CT}}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$

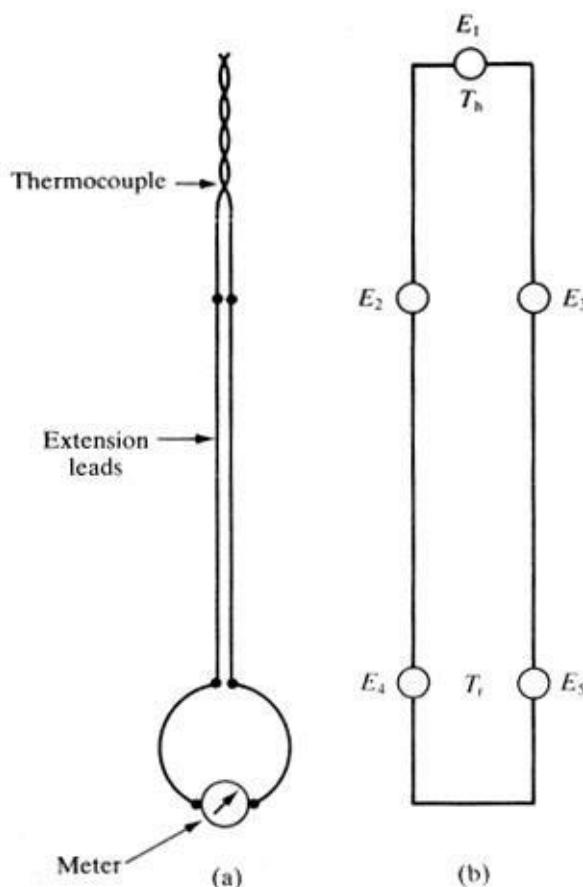
Từ biểu thức trên thấy rằng cần giữ cho R_{ND} và R_d không thay đổi. Khi khắc độ thường được tính $(R_{ND} + R_d)$ bằng 50Ω . Nguyên nhân gây ra sai số chủ yếu là do điện trở của milivônmét thay đổi vì vậy khi đo phải chọn điện trở của milivônmét có trị số lớn hơn $40 \div 50$ lần điện trở của cặp nhiệt để giảm sai số.

c) **Mạch đo:** súc điện động Seebeck đo được giữa hai đầu của cặp nhiệt sẽ cung cấp thông tin về nhiệt độ cần đo. Chúng chỉ có thể được xác định chính xác nếu như ta giảm tối thiểu sự sụt áp do dòng điện chạy trong các phần tử cặp nhiệt và dây dẫn, điện trở của các thành phần này cũng thay đổi theo nhiệt độ của môi trường và nhiệt độ cần đo, vì vậy phải có các biện pháp bù sự thay đổi này trong quá trình đo.

Thường sử dụng các phương pháp đo suất điện động ra của cặp nhiệt là: sử dụng milivônmét có điện trở trong lớn và sử dụng phương pháp xung đối để dòng chảy qua

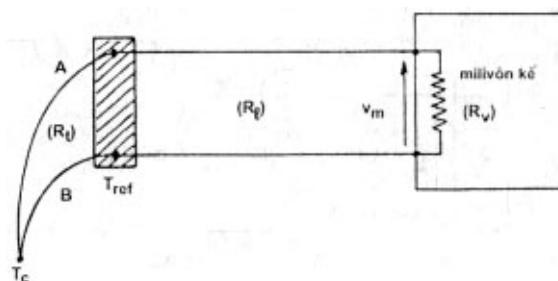
cặp nhiệt bằng không.

- *Sơ đồ mạch đo điện hình sử dụng cặp nhiệt:* như hình 7.33: ngoài suất điện động của tiếp xúc chính của cặp nhiệt đặt tại nhiệt độ cần đo E_1 còn có các suất điện động sinh ra tạ các đầu tiếp xúc của cặp nhiệt với dây nối (thường bằng đồng) E_2 và E_3 , của dây nối với cơ cấu chỉ thị E_4 và E_5 . Để kết quả đo chính xác thì phải có biện pháp loại trừ hoặc bù các suất điện động này.



Hình 7.33. Sơ đồ mạch đo điện hình sử dụng cặp nhiệt

- *Đo suất điện động của cặp nhiệt dùng milivônké:* mạch đo như hình 7.34:



Hình 7.34. Đo suất điện động của cặp nhiệt dùng milivônké

với: R_t là điện trở của cặp nhiệt

R_l là điện trở của dây nối

R_v là điện trở vào của milivônké

Điện áp giữa hai đầu của milivônké là:

$$V_m = E_{AB}(T_c, T_{ref}) \cdot \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v}$$

Vì điện trở của cặp nhiệt và dây nối thường không biết và thay đổi theo nhiệt độ nên để phép đo chính xác thì phải đảm bảo điều kiện:

$$R_v \gg R_t + R_l$$

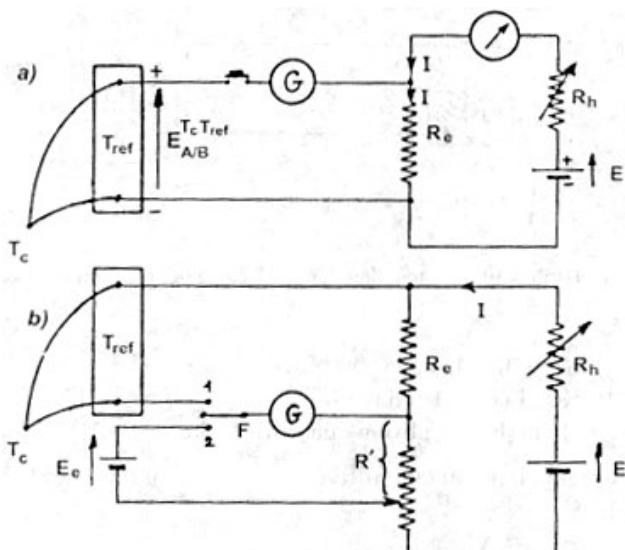
thường thì điều kiện cần thỏa mãn là:

$$R_v > (40 \div 50).R_l$$

khi đó điện áp giữa hai đầu milivônké là:

$$V_m \approx E_{AB}(T_c, T_{ref})$$

- *Đo suất điện động của cặp nhiệt bằng phương pháp xung đổi:* nguyên tắc của phương pháp xung đổi là đấu với suất điện động cần đo một điện áp ngược dấu V_{xd} sao cho điện áp này có giá trị bằng đúng suất điện động. Giá trị của V_{xd} có thể đo được chính xác, thông thường đây là điện áp rơi trên một điện trở sun.



Hình 7.35. Đo suất điện động của cặp nhiệt bằng phương pháp xung đổi

Cặp nhiệt nối tiếp với một điện kế G và được đấu song song với một điện trở chuẩn R_e , dòng điện I chạy qua R_e có thể điều chỉnh được sao cho kim điện kế chỉ 0 (nghĩa là dòng chảy qua điện kế, tức chảy qua cặp nhiệt bằng 0).

Khi đó suy ra suất điện động của cặp nhiệt là:

$$E_{AB}(T_c, T_{ref}) = I.R_e$$

Dòng điện I có thể được điều chỉnh bằng một biến trở R_h mắc nối tiếp với nguồn điện E và đo bằng một miliampeké (hình 7.35a) hoặc điều chỉnh bằng pin mẫu (hình 7.35b), khi đó suy ra suất điện động của cặp nhiệt là:

$$E_{AB}(T_c, T_{ref}) = \frac{R_e}{R} \cdot E_e$$

d) **Ứng dụng:** ứng dụng của cặp nhiệt chủ yếu dùng để đo nhiệt độ, ngoài ra nó còn được sử dụng để đo các đại lượng không điện và các điện khác như đo dòng điện (ở tần số cao), đo hướng chuyển động và lưu lượng của các dòng chảy, đo di chuyển, đo áp suất nhỏ (độ chân không)...

7.5.2. Nhiệt điện trở (RTD-Resistance Temperature Detector):

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** nhiệt điện trở là chuyển đổi có điện trở thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ của nó.

Tuỳ theo tác dụng của dòng điện cung cấp chạy qua chuyển đổi người ta phân ra nhiệt điện trở đốt nóng và nhiệt điện trở không đốt nóng:

- *Nhiệt điện trở không đốt nóng*: dòng điện chạy qua rất nhỏ không làm tăng nhiệt độ của điện trở và nhiệt độ của nó bằng nhiệt độ của môi trường. Nhiệt điện trở loại này dùng để đo nhiệt độ và các đại lượng cơ học như đo di chuyển.

- *Nhiệt điện trở đốt nóng*: dòng điện chạy qua rất lớn làm nhiệt độ của nó tăng lên cao hơn nhiệt độ môi trường, nên có sự tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh. Nhiệt điện trở loại này được dùng để đo lưu lượng, lưu tốc của dòng chảy, phân tích các chất hóa học v.v...

Nhiệt điện trở được chế tạo có thể bằng kim loại hoặc bằng chất bán dẫn. Yêu cầu đối với vật liệu chế tạo là: có hệ số nhiệt độ lớn, bền hóa học khi có tác dụng của môi trường, điện trở suất lớn, khó chảy.

Để giảm tổn hao nhiệt dẫn, chiều dài của nhiệt điện trở cần phải lớn hơn đường kính dây gấp nhiều lần (ví dụ hơn 200 lần).

b) Các đặc tính cơ bản:

- *Nhiệt điện trở kim loại (Resistance thermometers)*: chuyển đổi nhiệt điện trở kim loại thường được chế tạo bằng các kim loại như đồng, platin và nikén, đường kính dây từ $0,02 \div 0,06\text{mm}$ với chiều dài từ $5 \div 20\text{mm}$.

- Nhiệt điện trở đồng: có dải nhiệt độ làm việc từ $-50 \div 180^{\circ}\text{C}$.

Phương trình đặc trưng của nó được biểu diễn dưới dạng:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

với: α - hệ số nhiệt độ của nhiệt điện trở, với đồng thì $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong khoảng nhiệt độ từ $0 \div 100^{\circ}\text{C}$,

t - nhiệt độ của chuyển đổi (nhiệt độ cần đo)

R_0 - điện trở của chuyển đổi ở 0°C

Nếu không biết giá trị của R_0 có thể dùng biểu thức:

$$R_{T2} = R_{T1} \frac{(\tau + t_2)}{(\tau + t_1)}$$

với: R_{T2}, R_{T1} - điện trở ứng với nhiệt độ t_2 và t_1 .

$\tau = 1/a$ - hằng số, phụ thuộc vào vật liệu, $\tau = 234$ đối với đồng.

Khi tính điện trở R_2 ở nhiệt độ t_2 chỉ cần biết điện trở R_1 ở nhiệt độ t_1 bất kỳ.

- Nhiệt điện trở Platin: platin có thể chịu được nhiệt độ đến 1200°C không bị ôxi hóa hoặc nóng chảy.

Phương trình đặc trưng của chuyển đổi có thể viết dưới dạng:

$$R_T = R_0 (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$$

ở nhiệt độ từ $0 \div 660^{\circ}\text{C}$, và:

$$R_T = R_0 [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot (t - 100)^3]$$

ở nhiệt độ từ $-180^{\circ}\text{C} \div 0^{\circ}\text{C}$.

Như vậy đặc tính của nó có dạng phi tuyến; với nhiệt độ lớn hơn 660°C và nhỏ hơn -180°C quan hệ giữa $R_T = f(t)$ được chuẩn hóa và cho dưới dạng bảng.

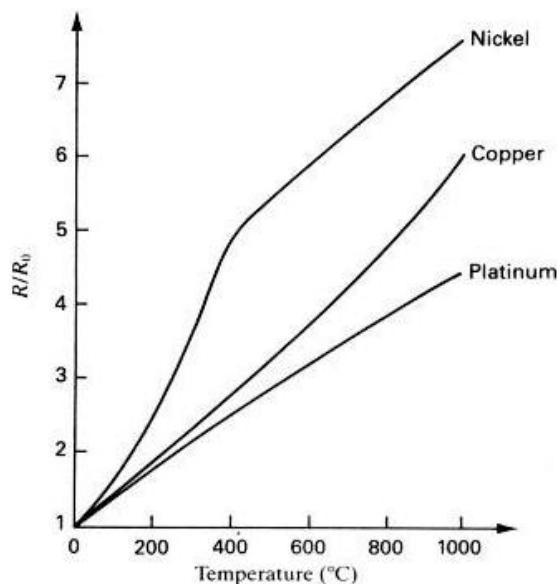
Nhược điểm của chuyển đổi nhiệt điện trở Platin là đặc tính phi tuyến, không dùng được trong môi trường ôxi hóa khử. Nhưng do ưu điểm là độ bền hóa học cao,

tính dẻo lớn, có thể chế tạo thành sợi rất mỏng (đến $1,25\mu\text{m}$) nên được sử dụng rộng rãi.

- Nhiệt điện trở Niken: niken có thể sử dụng đến nhiệt độ $250 \div 300^\circ\text{C}$, ở nhiệt độ cao hơn quan hệ $R_T = f(t)$ không đơn trị. Trong khoảng nhiệt độ từ $0 \div 100^\circ\text{C}$, $\alpha \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{C}$.

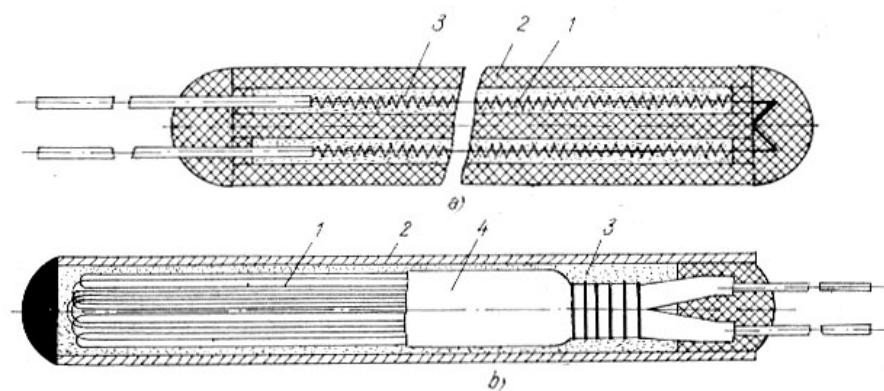
Tính chất điện của Niken phụ thuộc nhiều vào tạp chất và quá trình nhiệt luyện. Ưu điểm cơ bản của Niken là điện trở suất cao (gấp 5 lần của đồng), hệ số nhiệt lớn cho phép chế tạo được chuyển đổi có kích thước nhỏ.

Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở kim loại điển hình như hình 7.36:



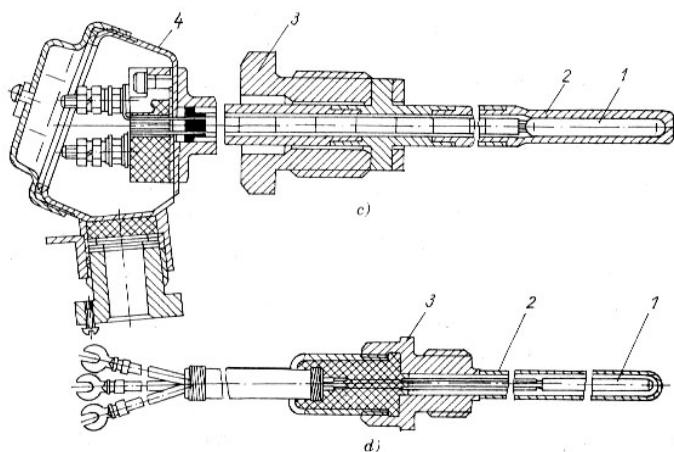
Hình 7.36. Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở kim loại điển hình

Hình 7.37a,b là sơ đồ cấu tạo của một số loại nhiệt điện trở thường dùng trong công nghiệp: dây nhiệt điện trở được luồn vào hai hoặc bốn ống sứ 2 và được bọc bên ngoài bằng bột ôxít nhôm 3, (ôxít nhôm cách điện tốt, bền nhiệt và dẫn nhiệt tốt):



Hình 7.37a,b: Sơ đồ cấu tạo của nhiệt điện trở:
1 – dây điện trở; 2 – vỏ bảo vệ; 3 – bột ôxít nhôm

Hình 7.37c,d là cấu tạo của loại chuyển đổi nhiệt điện trở dùng trong công nghiệp. Chúng gồm có: dây 1 đặt trong ống sứ, bên ngoài là thiết bị bảo vệ 2 được chế tạo bằng thép tốt không gỉ, để gắn chuyển đổi lên đối tượng đo người ta dùng ỗ đốt tĩnh, hoặc động 3 và hộp đầu ra 4:



Hình 7.37c,d: Sơ đồ cấu tạo của nhiệt điện trở:

1 – dây đặt trong ống sứ; 2 – vỏ bảo vệ; 3 - ố đỡ; 4 – hộp đầu ra

- *Nhiệt điện trở bán dẫn (thermistor)*: nhiệt điện trở bán dẫn được chế tạo từ một số ôxit kim loại khác nhau như CuO, CoO, MnO... Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ của nó được biểu diễn bằng biểu thức:

$$R_T = R_0 \cdot \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

với: R_0 - điện trở tại nhiệt độ T_0 của chất bán dẫn, phụ thuộc vào tính chất vật lý của chất bán dẫn, kích thước và hình dáng của nhiệt điện trở bán dẫn.

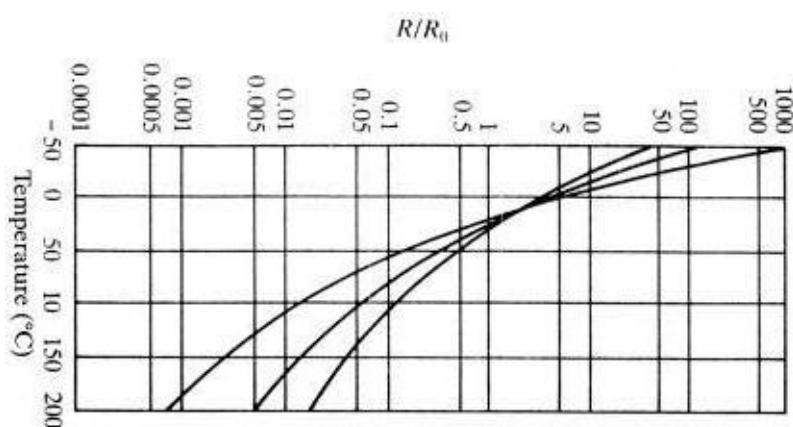
β - hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của chất bán dẫn.

T - nhiệt độ tuyệt đối của chất bán dẫn (nhiệt độ cần đo).

Hệ số nhiệt độ α của chất bán dẫn mang dấu âm và có giá trị từ $0,02 \div 0,08 \text{ } 1/\text{ }^{\circ}\text{C}$ lớn gấp $8 \div 10$ lần của kim loại và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ:

$$\alpha = -\frac{\beta}{T^2}$$

Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở bán dẫn điển hình như hình 7.38:



Hình 7.38. Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở bán dẫn điển hình

Vì điện trở suất lớn do đó kích thước của chuyển đổi nhiệt điện trở bán dẫn thường nhỏ. Cấu tạo của nhiệt điện trở bán dẫn có thể ở dạng thanh, dạng đĩa, và hình cầu.

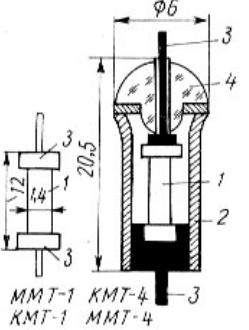
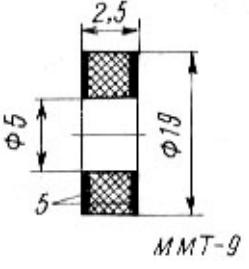
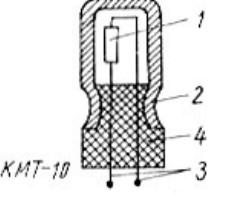
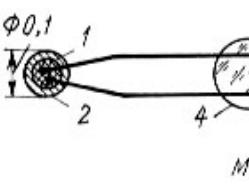
Nhược điểm của các nhiệt điện trở bán dẫn là đặc tính nhiệt độ phi tuyến nên khó khắc độ.

Bảng 7.2 và 7.3 cho thấy các thông số đặc trưng của nhiệt điện trở kim loại và hình dáng cấu tạo, thông số cơ bản của nhiệt điện trở bán dẫn:

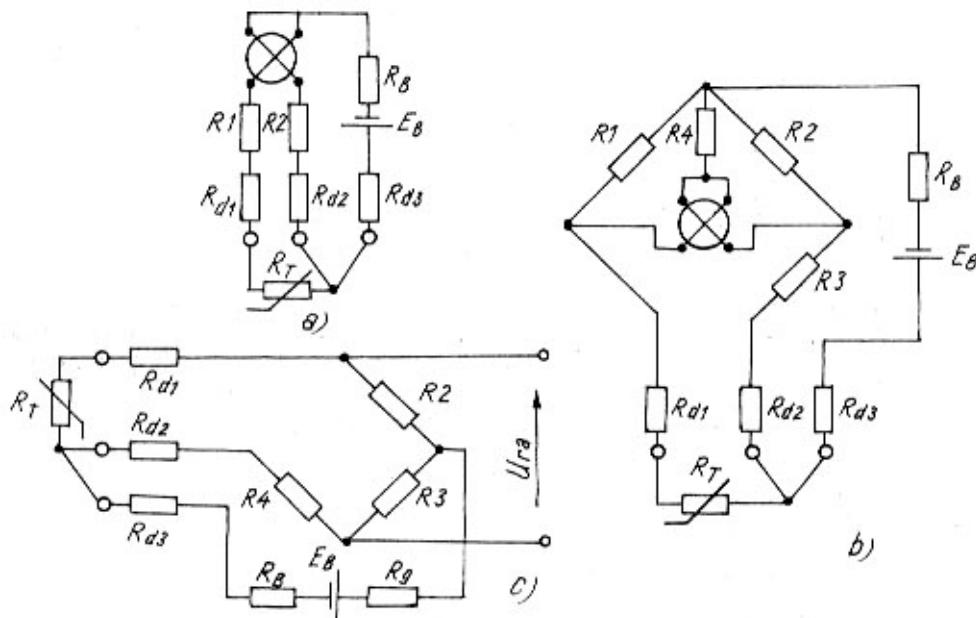
Bảng 7.2: Các thông số đặc trưng của một số loại nhiệt điện trở kim loại thông dụng:

Vật liệu	Khoảng nhiệt độ đo ($^{\circ}\text{C}$)	Điện trở R_0 (Ω)	Sai số tương đối ($\Delta R_0/R_0$)		Sai số tuyệt đối $\Delta t, ^{\circ}\text{C}$		
			Cấp I	Cấp II, III	Cấp I	Cấp II	Cấp III
Platin	0 ÷ 650	10 ÷ 46	± 0.05	± 0.1	$\pm(0.15 \pm 310^{-3}t)$	$\pm(0.3 \pm 4.510^{-3}t)$	-
	-200 ÷ 0	100			$\pm(0.15 \pm 4.5.10^{-3}t)$	$\pm(0.3 \pm 6.10^{-3}t)$	-
Đồng	50 ÷ 180	53 ÷ 100	± 0.05	± 0.1	-	$\pm(0.3 \pm 4.510^{-3}t)$	$\pm(0.3 \pm 6.10^{-3}t)$

Bảng 7.3: Các thông số đặc trưng của một số loại nhiệt điện trở thông dụng:

Loại nhiệt điện trở	Hệ số nhiệt điện trở % / 1°C	Điện trở ban đầu R_0	Nhiệt độ làm việc lớn nhất ($^{\circ}\text{C}$)	Hằng số thời gian trong không khí (s)	Ứng dụng
	-2,4 ÷ -3,4	1 ÷ 200	+120	85 ÷ 115	Đo nhiệt độ
	-2,4 ÷ -3,4	0,01 ÷ 5	+120	85 ÷ 115	Hiệu chỉnh nhiệt độ
	-2,4 ÷ -3,4	0,5 ÷ 3,0	+120	-	Đo nhiệt độ
	-	-	-	1 ÷ 10	Đo nhiệt độ biến thiên của chất khí không xâm thực

c) **Mạch đo:** mạch đo đối với chuyển đổi nhiệt điện trở có thể dùng mạch bất kỳ để đo điện trở của nó. Thông thường người ta hay dùng mạch cầu không cân bằng có chỉ thị là lôgômét hoặc cầu tự động ghi. Để giảm sai số của điện trở đường dây có thể dùng mạch cầu ba dây như hình 7.39a, b, c:



Hình 7.39. Mạch đo của chuyển đổi nhiệt điện trở:

a) Mạch lôgômét; b) Mạch cầu 3 dây dùng chỉ thị lôgômét; c) Mạch cầu 3 dây

Sai số của nhiệt kế nhiệt điện trở chủ yếu là do sự thay đổi điện trở đường dây khi nhiệt độ môi trường thay đổi. Điện trở đường dây có thể đạt tới 5Ω trong khi đó điện trở của nhiệt điện trở thường vào khoảng $40 \div 100\Omega$ do đó khi điện trở đường dây thay đổi gây nên sai số đáng kể.

Ngoài ra dòng điện chạy qua nhiệt điện trở gây nóng cũng làm cho điện trở tăng lên, gây sai số, mặt khác nhiệt điện trở được bọc ngoài bằng một vỏ thép nên bị tổn hao nhiệt và gây sai số.

d) **Ứng dụng:** dùng đo nhiệt độ, đo các đại lượng không điện như như đo di chuyển, đo áp suất và dùng để phân tích thành phần, nồng độ của một số hợp chất và chất khí.

7.5.3. Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất của diốt và tranzito bán dẫn.

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** hoạt động dựa trên sự phụ thuộc nhiệt độ của đặc tính của diốt. Dựa trên đặc tính đó người ta sử dụng để đo nhiệt độ hoặc sự thay đổi nhiệt độ của một đối tượng nào đó. Tuy vậy sự phụ thuộc này không tuyến tính và không đủ độ tin cậy, do vậy người ta sử dụng tính chất phụ thuộc vào nhiệt độ của U_{BE} (điện áp giữa bazơ-emito) của tranzito khi duy trì I_C (dòng điện côlecto) không đổi.

Theo mẫu Ebers-Moll, dòng điện côlecto (I_C) của một tranzito lý tưởng là:

$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left(\exp \left(\frac{q U_{BE}}{KT} \right) - 1 \right) - I_{CS} \left(\exp \left(\frac{-q U_{CB}}{KT} \right) - 1 \right)$$

với: α_F - hệ số tỉ lệ;

q - điện tích, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$;

I_{ES} - dòng emitto bão hoà.

U_{BE} - điện áp giữa bazơ và emitto.

T - nhiệt độ tuyệt đối; I_{CS} - dòng collectơ bão hòa
 U_{CB} - điện áp giữa collectơ và bazơ
 $\alpha_F I_{ES}$ được kí hiệu là I_S ($\alpha_F I_{ES} = I_S$), trong vùng hoạt động thường $I_C \gg I_S$.
Với điều kiện $U_{CB} = 0$ ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_C}{I_S}$$

như vậy U_{BE} phụ thuộc vào nhiệt độ.

Mặt khác I_S cũng phụ thuộc vào nhiệt độ, một cách gần đúng ta có:

$$I_S = BT^3 \exp\left\{-\frac{qU_{go}}{KT}\right\}$$

với: B - hằng số; U_{go} - điện áp tiếp giáp.

Suy ra:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_C}{I_{C0}} \left(\frac{T_0}{T} \right)^3 + (U_{BE0} - U_{go}) \cdot \frac{T}{T_0} + U_{go}$$

với: U_{BE0} - điện áp bazơ-emito ứng với dòng I_{C0} ở nhiệt độ T_0

Từ công thức trên ta thấy quan hệ giữa U_{BE} và nhiệt độ T là phi tuyến và phụ thuộc vào dòng I_C .

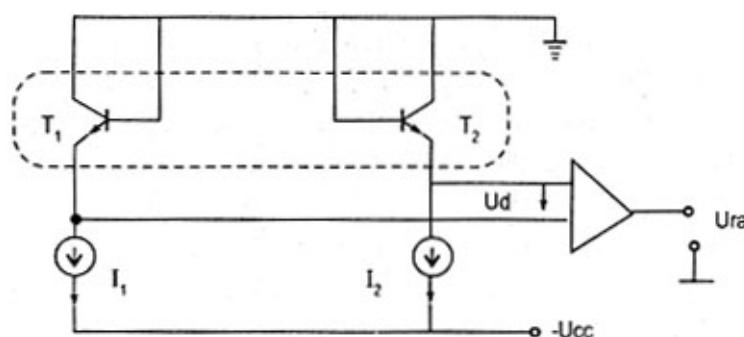
Độ nhạy của U_{BE} theo T:

$$S = \left. \frac{dU_{BE}}{dT} \right|_{I_C=I_{C0}} = \frac{U_{BE0} - U_{go}}{T_0} - \frac{3K}{q} \left(1 + \ln \frac{T}{T_0} \right)$$

phản đầu của biểu thức phía phải tương ứng với độ nhạy, phản sau mô tả độ phi tuyến.

Do độ phi tuyến nhiều nên cần phải duy trì dòng collectơ không đổi (theo thời gian và nhiệt độ) làm cho phương pháp này không khả thi.

Thông thường người ta sử dụng hai tranzisto có dòng emitơ giống nhau và được cung cấp bởi dòng điện collectơ khác nhau như hình vẽ 7.40:



Hình 7.40. Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất của tranzisto

Nếu cả hai tranzisto ở cung nhiệt độ thì sự khác nhau giữa dòng bazơ-emito là:

$$U_d = U_{BE_1} - U_{BE_2} = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_{C_1}}{I_{S_1}} - \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_{C_2}}{I_{S_2}}$$

Nếu cả hai tranzisto được coi là giống nhau thì ta có $I_{S1} = I_{S2}$ và suy ra:

$$U_d = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C_1}}{I_{C_2}}$$

Với I_{C1}/I_{C2} là hằng số thì U_d sẽ tỉ lệ với nhiệt độ T mà không cần đến một nguồn ổn định:

$$U_d = \frac{KT}{q}$$

Ví dụ: nếu $I_{C1}/I_{C2} = 2$ thì $U_d/T = 59,73 \mu V/K$, như vậy cần khuếch đại 167,4 lần để có tín hiệu ra là 10mV/K.

Các cảm biến nhiệt độ sử dụng tính chất của tranzito bán dẫn đã được chế tạo dưới dạng các vi mạch (IC), bảng 7.4 là các thông số cơ bản của một số IC bán dẫn đo nhiệt độ phổ biến:

Bảng 7.4. Một số đặc tính của cảm biến nhiệt độ dựa trên bán dẫn tranzito

Loại	Độ nhạy	Dải đo	Sai số
AD 592 CN	$1\mu A/K$	$-25^0C \div 105^0C$	$0,3^0C$
LM 35	$\pm 10mV/K$	$-55^0C \div 150^0C$	$\pm 0,25^0C$
MMB-TS 102	$-2,25mV/K$	$-40^0C \div 150^0C$	$\pm 2^0C$
REF - 02A	$2,1mV/K$	$-55^0C \div 125^0C$	$\pm 0,5^0C$

7.6. Chuyển đổi hóa điện.

7.6.1. Nguyên lý làm việc chung của các chuyển đổi hóa điện:

Chuyển đổi hóa điện là những chuyển đổi dựa trên các hiện tượng hóa điện xảy ra khi cho dòng điện đi qua bình điện phân hoặc do quá trình ôxi hóa khử các điện cực. Các hiện tượng này phụ thuộc vào tính chất của các điện cực, bản chất và nồng độ của các dung dịch. Do đó chuyển đổi hóa điện thường là một bình điện phân chứa một dung dịch nào đó, có hai hay nhiều cực để nối với mạch đo lường.

Giống như phần tử của một mạch điện, chuyển đổi hóa điện có thể được đặc trưng bằng sức điện động do nó sinh ra, sụt áp khi dòng điện qua nó hoặc là các phần tử điện trở, điện cảm, điện dung.

Nguyên lý làm việc của các chuyển đổi hóa điện là dựa vào quan hệ giữa thành phần, tính chất các dung dịch với các thông số điện nói trên. Quan hệ này phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như nhiệt độ, áp suất, tốc độ dịch chuyển, các thông số khác của dung dịch và của điện cực, do vậy phương trình biến đổi với các chuyển đổi hóa điện là những hàm số rất phức tạp.

Khi tăng một sự phụ thuộc này và giảm đến mức thấp nhất các sự phụ thuộc khác có thể chế tạo ra các chuyển đổi hóa điện không chỉ để xác định thành phần và nồng độ các dung dịch mà còn dùng để đo nhiều đại lượng không điện khác như di chuyển áp suất, tốc độ, gia tốc...

Để hiểu nguyên lý làm việc của các chuyển đổi hóa điện ta cần nghiên cứu các hiện tượng điện hóa cơ bản gồm: hiện tượng phân li, điện thế cực, hiện tượng điện phân và sự phân cực.

a) **Hiện tượng phân li:** khi hòa tan vào nước hoặc các dung dịch khác các muối hoặc axit, bazơ... thì phân tử của các chất này sẽ phân li thành các ion điện tích dương (cation) hoặc các ion điện tích âm (anion) và tạo thành một dung dịch dẫn

điện. Sự chuyển động của các hạt mang điện tích trong chất điện li hay các điện cực chỉ diễn ra dưới dạng chuyển động của các ion hoặc tách ion trên các điện cực.

Nồng độ của dung dịch càng lớn thì điện dẫn của dung dịch càng tăng. Điện dẫn của nước tinh khiết bằng không, điện dẫn của một dung dịch bất kỳ được tính bằng công thức:

$$\gamma = \lambda \cdot f \cdot c = \lambda \cdot a \quad (1/\Omega \cdot m)$$

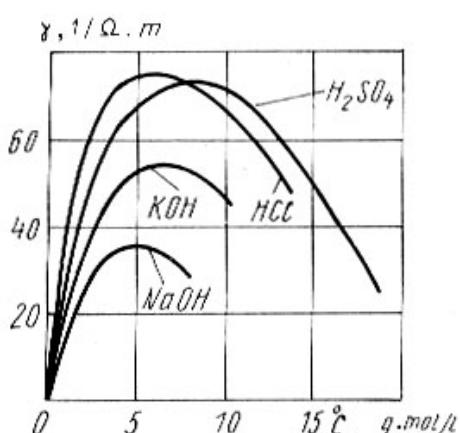
c - nồng độ tương đương hay nồng độ phân tử (tính bằng gammol trên lít)

f - hệ số hoạt động của dung dịch ($f = 1$ ở dung dịch loãng và giảm khi c tăng).

a = f.c - độ hoạt động của dung dịch.

λ - hệ số, còn gọi là điện dẫn tương đương.

Hình 7.41 là đường đặc tính của một số dung dịch:



Hình 7.41. Đường đặc tính phân li của một số dung dịch

Điện dẫn của dung dịch phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Hệ số nhiệt độ của các dung dịch điện dẫn khác nhau vào khoảng $1,5 \div 2,5\% / 1^\circ C$.

b) **Điện thế cực:** khi nhúng một điện cực kim loại vào nước hay dung dịch thì giữa các điện cực và dung dịch xuất hiện một điện thế gọi là điện thế cực. Điện thế này được tạo ra do các nguyên tử ở dạng ion dương đi vào dung dịch, khi đó xác lập một sự cân bằng động giữa kim loại và dung dịch, trên bề mặt của điện cực xuất hiện một điện thế nhảy cấp gọi là điện thế cực.

Khi nồng độ của dung dịch nhỏ, các ion kim loại đi vào dung dịch nên điện cực có thể âm hơn so với dung dịch. Ngược lại ở nồng độ cao, các ion kim loại được tách ra bám trên điện cực làm cho điện cực có điện thế dương so với dung dịch.

Điện thế cực không chỉ xuất hiện trên cực kim loại mà còn xuất hiện trên các điện cực phi kim loại. Người ta lấy điện cực hyđrô làm điện cực chuẩn, điện thế cực của nó bằng không.

Điện thế cực của các chất khác nhau đối với điện cực chuẩn không vượt quá $\pm 3V$. Ví dụ: điện thế cực của Kali $E_0 = -2,92V$; Kẽm $E_0 = -0,76V$; Đồng $E_0 = +0,34V$.

E_0 là điện thế chuẩn với nồng độ $1g\text{-mol/l}$ và nhiệt độ $18^\circ C$. Ở nhiệt độ và nồng độ bất kì thì điện thế cực được tính:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln a$$

với: $R = 8,3178/C$ - hằng số khí.

T - nhiệt độ tuyệt đối K.

n - hóa trị ion.

F = 96522 C/g - mol- hằng số Faradây.

- *Phản tử galvanic:* nếu hai điện cực nhúng vào môi trường thì trên các điện cực sẽ xảy ra phản ứng ôxi hóa khử tạo thành một phản tử galvanic có sức điện động bằng hiệu điện thế giữa hai điện cực, mỗi điện cực được gọi là bán phản tử:

$$E_{12} = E_1 - E_2 = E_{01} - E_{02} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}$$

Ngoài điện thế ra, trên biên của hai dung dịch cũng có một hiệu điện thế gọi là điện thế biên sinh ra do độ cơ động của các ion trong hai dung dịch khác nhau. Điện thế biên cỡ vài milivon đến vài chục milivon.

c) Hiện tượng điện phân và sự phân cực:

Hiện tượng điện phân: nếu cho một dòng điện chạy qua dung dịch thì sẽ xảy ra hiện tượng điện phân, đó là một quá trình biến đổi hóa học tách vật chất ra khỏi dung dịch. Để tách một gam tương đương một chất bất kỳ ra khỏi dung dịch cần có một lượng điện tích bằng 96.522 culon. Nguyên lý làm việc của các chuyển đổi điện phân dựa trên hiện tượng này.

Hiện tượng phân cực: là hiện tượng thay đổi điện thế cực do sự thay đổi nồng độ ở gần điện cực khi có dòng điện chạy qua bình điện phân. Dựa trên hiện tượng phân cực người ta chế tạo các thiết bị dùng để phân tích định tính và định lượng dung dịch, thiết bị đó gọi là phân cực kí.

Nếu dòng đi chạy qua bình điện phân là dòng xoay chiều thì điện áp phân cực cũng sẽ biến thiên, điện áp và dòng điện lệch pha nhau một góc 90° .

Điện áp rơi trên bình điện phân bao gồm điện áp rơi trên điện trở dung dịch và điện áp phân cực trên các điện cực ΔV .

Khi đo điện trở của dung dịch bằng dòng một chiều thì sai số do phân cực bằng $\Delta V/V$ và có thể tới 10% nếu điện áp trên hai cực $U = 20V$. Đối với dòng xoay chiều sai số sẽ giảm nhiều khi $\Delta U \ll U$ và bằng $0,5\Delta U/U^2$, vì điện áp rơi trên điện trở bình điện phân và điện áp phân cực lệch pha nhau 90° .

7.6.2. Chuyển đổi điện dẫn dung dịch:

a) *Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:* nguyên lý làm việc của chuyển đổi điện dẫn dựa vào sự phụ thuộc của điện dẫn dung dịch với thành phần và nồng độ của chất điện phân cũng như khoảng cách l và tiết diện của điện cực s.

Một cách gần đúng phương trình đặc trưng của chuyển đổi có dạng:

$$R = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{l}{s} = \frac{1}{\lambda f c} \cdot \frac{l}{s}$$

với: γ là điện dẫn suất của dung dịch

Chuyển đổi điện dẫn dung dịch được sử dụng rộng rãi để đo nồng độ của dung dịch (khi l và s không thay đổi), khi đó:

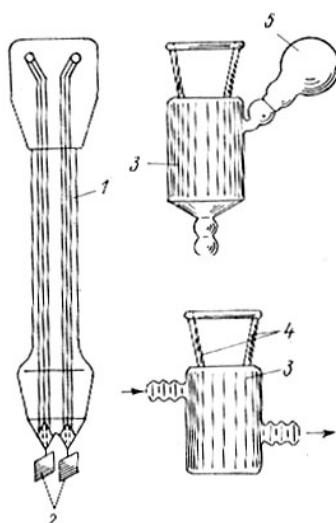
$$R = f(\gamma) = k \cdot \frac{1}{\gamma}$$

và đo các đại lượng khi nồng độ dung dịch không thay đổi, khi đó:

$$R = f\left(\frac{l}{s}\right)$$

b) Mạch đo và ứng dụng: chuyển đổi điện dẫn dung dịch thường dùng với mạch cầu.

Sơ đồ chuyển đổi điện dẫn dung dịch đo nồng độ: như hình 7.42: gồm có vỏ 1, bên trong là điện cực platin 2 và bình đo 3 có lỗ 4 để lắp chuyển đổi vào. Các bình này cho phép đo nồng độ dung dịch đang chảy hoặc nhờ bơm cao su khuấy dung dịch 5:

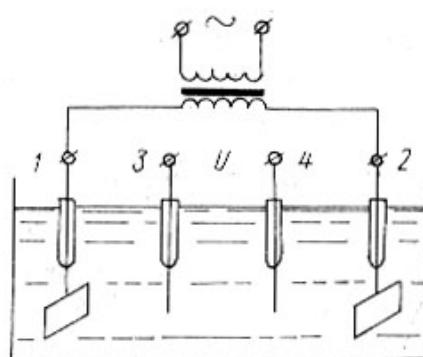


Hình 7.42. Sơ đồ chuyển đổi điện dẫn dung dịch đo nồng độ

Hàng số $k=1/s$ ở trong khoảng $30 \div 70 \text{ l/m}$ và được xác định bằng thực nghiệm với sai số $\pm 1\%$. Chuyển đổi được cung cấp bằng điện áp xoay chiều $50\text{Hz} \div 1000\text{Hz}$ để loại trừ sai số do hiện tượng phân cực.

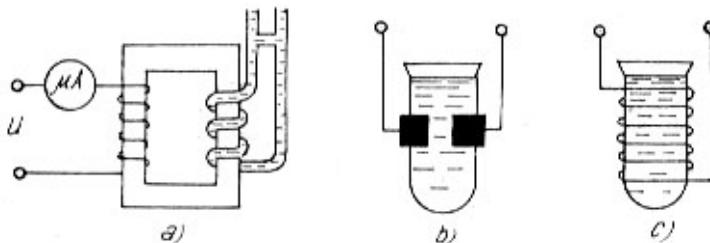
Trong công nghiệp, khi cần đo nồng độ các dung dịch người ta dùng chuyển đổi có điện cực dạng hai hình trụ đồng tâm và cho dung dịch cần đo chảy qua. Tùy theo bản chất của dung dịch, điện cực có thể được làm bằng graphit, platin, thép không nung hay các vật liệu khác không tương tác với dung dịch.

Chuyển đổi 4 điện cực: như hình 7.43: để loại trừ sai số do phân cực, cùng với việc cung cấp điện áp xoay chiều, người ta còn dùng chuyển đổi 4 điện cực trong đó có hai điện cực dòng (1,2) cung cấp bằng dòng điện xoay chiều ổn định và hai cực điện áp (3,4) dùng đo điện áp:



Hình 7.43. Chuyển đổi 4 điện cực

Chuyển đổi điện dẫn không tiếp xúc: như hình 7.44: để loại trừ hiện tượng phân cực và các tác dụng tương hổ không mong muốn khác giữa các điện cực và dung dịch, người ta dùng chuyển đổi điện dẫn không tiếp xúc:



Hình 7.44. Chuyển đổi điện dẫn không tiếp xúc

Tùy theo tần số cung cấp cho chuyển đổi tần thấp (âm tần) và chuyển đổi cao tần:

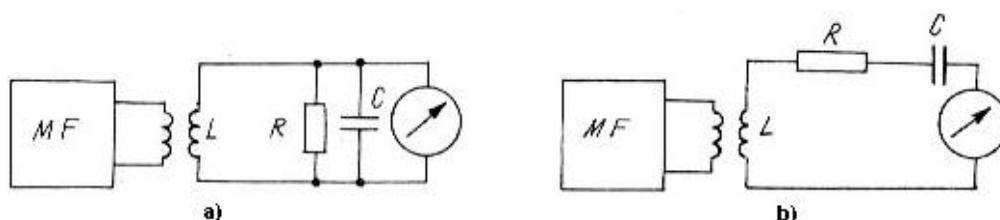
- Chuyển đổi âm tần kiểu biến áp: như hình 7.44a: gồm có cuộn dây ngắn mạch 1 là một ống thủy tinh chứa dung dịch cần đo. Dòng điện trong cuộn dây sơ cấp phụ thuộc vào tổng trở của mạch thứ cấp và bản thân mạch thứ cấp, tổng trở của nó lại phụ thuộc vào nồng độ của dung dịch cần đo, dụng cụ 2 mắc trong mạch sơ cấp có thể khắc độ theo đơn vị nồng độ. Chuyển đổi này dùng để đo nồng độ dung dịch có điện dẫn suất trong khoảng $\gamma = 0 \div 50$ ($1/\Omega \cdot m$). Nhược điểm của chuyển đổi này là két cấu phức tạp do phải chế tạo vòng đựng chất lỏng (gồm một ống thủy tinh hoặc chất dẻo có đặt các điện cực bằng kim loại ở phía ngoài).

- Chuyển đổi điện dẫn kiểu điện dung: như hình 7.44b: gồm một ống thủy tinh hoặc chất dẻo có đặt các điện cực bằng kim loại phía ngoài.

- Chuyển đổi cao tần kiểu điện cảm: như hình 7.44c trong đó các điện cực được thay thế bằng cuộn dây quấn quanh ống.

Các chuyển đổi cao tần được nối với mạch cộng hưởng do một máy phát cao tần cung cấp như hình 7.45: để đo nồng độ dung dịch nhỏ có thể dùng mạch hình 7.45a, mạch cộng hưởng gồm các phần tử được mắc song song với nhau.

Với nồng độ lớn hơn người ta dùng mạch gồm các phần tử mắc nối tiếp như hình 7.45b, dụng cụ được khắc độ theo mẫu có nồng độ đã biết.



Hình 7.45. Các chuyển đổi điện dẫn cao tần:

a) đo nồng độ dung dịch nhỏ b) đo nồng độ dung dịch lớn

7.6.3. Chuyển đổi galvanic:

a) *Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:* nguyên lý làm việc của chuyển đổi galvanic dựa vào sự phụ thuộc của điện thế cực theo nồng độ và thành phần của dung dịch. Galvanic được dùng rộng rãi để đo độ hoạt động của các ion hyđrô, qua đó xác định được thành phần và tính chất của dung dịch nước cần nghiên cứu.

Sự phân li của nước diễn ra theo phương trình sau:



Nếu gọi a_{H^+} , a_{OH^-} là hoạt độ của các ion H^+ và OH^- thì $K = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$ là một hằng số và gọi là hằng số phân li ở nhiệt độ $25^\circ C$.

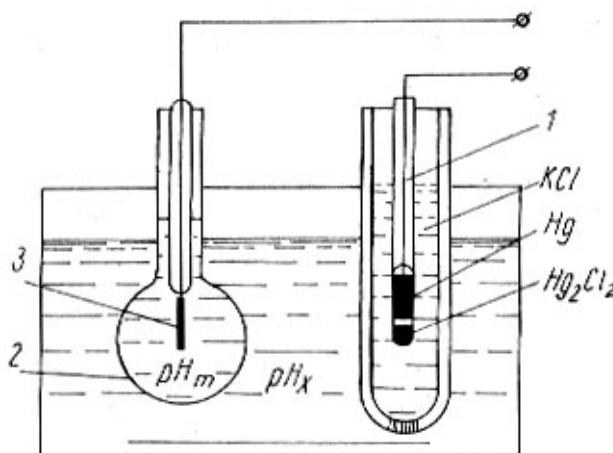
$a_{H^+} = a_{OH^-} = 10^{-7}$, $K = 10^{-14}$ với nước sạch và dung dịch trung hoà; với dung dịch axit $a_{H^+} > a_{OH^-}$; với dung dịch kiềm $a_{H^+} < a_{OH^-}$.

Trong thực tế để tiện cho việc tính toán và ghi chép, người ta dùng đơn vị mới gọi là độ pH:

$$pH = -\lg a_{H^+}$$

Vì a_{H^+} thay đổi từ $10^0 \div 10^{-14}$ nên khoảng thay đổi của độ pH = 0 ÷ 14.

b) **Mạch đo và ứng dụng:** các dụng cụ đo độ pH gọi là các pH-mét, trong đó có chuyển đổi galvanic. Chuyển đổi galvanic gồm có bán phần tử calomen 1 và điện lực đo lường thủy tinh 2 như hình 7.46:



Hình 7.46. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của chuyển đổi galvanic

Điện lực bán phần tử calomen là một ống thủy ngân trong đó có dung dịch calomen bão hòa khó hoà tan (Hg_2Cl_2).

Sự tiếp xúc điện của bán phần tử với dung dịch thí nghiệm được thực hiện qua dung dịch bão hoà KCl (khóa điện li) để giảm điện thế khuếch tán, do trên biên của dung dịch KCl điện thế khuếch tán có trị số nhỏ.

Điện cực thủy tinh 2 là một bình thủy tinh có thành mỏng (chứa Natri). Khi nhúng bình thủy tinh vào dung dịch, các ion natri từ thủy tinh đi vào dung dịch, còn các ion hidrô từ dung dịch vào chiếm chỗ của chúng do đó bề mặt của lớp thủy tinh được làm bão hoà bởi các ion hidrô và điện cực thủy tinh có tính chất như điện cực hidrô.

Để lấy điện thế ở bên trong điện cực thủy tinh, bình được đổ đầy dung dịch mẫu có độ pH_m đã biết. Trong bình thủy tinh có điện cực clorua bạc 3.

Với độ pH_x cần đo, sức điện động E của chuyển đổi galvanic có thể biểu diễn dưới dạng:

$$E = E_0 + b \cdot pH$$

với: E_0 - suất điện động của chuyển đổi khi $pH = 0$.

b - hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ và loại điện cực được sử dụng.

Khi đo sức điện động của chuyển đổi galvanic thường người ta dùng mạch đo kiểu bù có thiết bị tự động hiệu chỉnh sai số nhiệt độ.

Các pH mét công nghiệp có thể đo được độ pH của dung dịch và bùn ở nhiệt độ từ $0\div100^{\circ}\text{C}$ với sai số cơ bản 0,02 đơn vị pH. Các pH-mét trong phòng thí nghiệm với điện cực thủy tinh có màn chắn và có thiết bị hiệu chỉnh nhiệt độ đạt được sai số không lớn hơn 0,01 đơn vị pH và dài làm việc trong khoảng từ $0\div100^{\circ}\text{C}$.

c) Các đặc tính cơ bản: sai số của chuyển đổi galvanic chủ yếu do ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường và điện thế biến. Sự thay đổi nhiệt độ dẫn đến sự thay đổi điện thế cực và điện trở của chuyển đổi. Để giảm sai số này có thể dùng mạch hiệu chỉnh nhiệt độ.

Sai số động của chuyển đổi có điện cực thủy tinh phụ thuộc vào chiều dày của bình. Với thành rất mỏng (cỡ 0,05mm), điện thế của điện cực thủy tinh thay đổi tức thời theo sự thay đổi độ pH của dung dịch.

Khắc độ được tiến hành theo mẫu dung dịch có độ pH ổn định và có thể đạt được sai số tuyệt đối $\pm 0,01$ pH.

Do tín hiệu ra của chuyển đổi galvanic rất nhỏ (tổng trở ra lớn) nên mạch đo cần có tổng trở vào lớn ($10^8\div10^{12} \Omega$).

7.6.4. Chuyển đổi điện phân (chuyển đổi Culon):

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: nguyên lý làm việc của chuyển đổi điện phân dựa vào hiện tượng điện phân: theo định luật Faraday, quan hệ giữa điện lượng Q và lượng vật chất tách ra trên điện cực được biểu diễn theo phương trình:

$$Q = \int idt = \frac{m \cdot n \cdot F}{A}$$

với: m - khối lượng chất được giải phóng

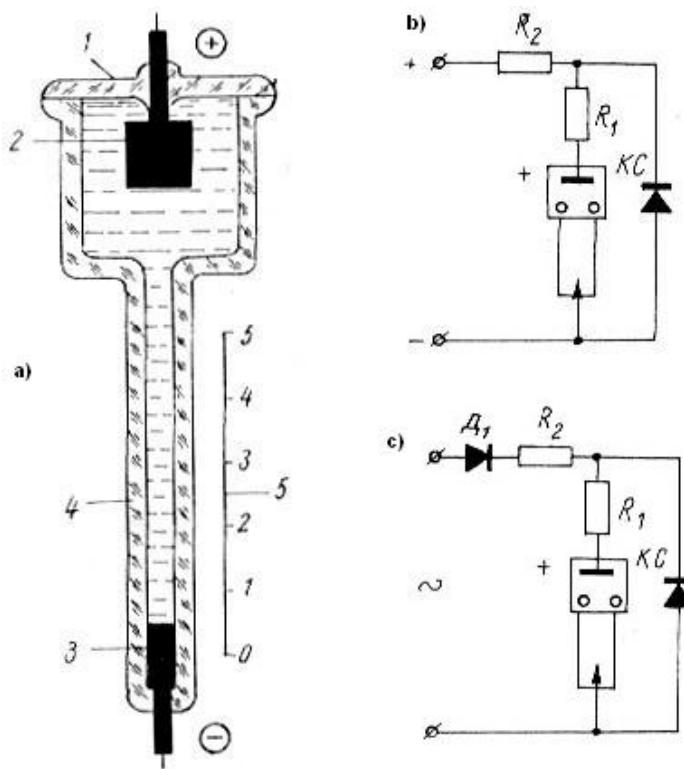
n - hóa trị ion

A - trọng lượng nguyên tử của chất.

F = 96522 C/g - mol - hằng số Faraday.

Chuyển đổi điện phân là một khâu tích phân: đại lượng vào có thể là điện lượng Q hoặc sự thay đổi dòng điện với thời gian t, đại lượng ra có thể là khối lượng chất giải phóng hoặc sự thay đổi chiều dài, điện trở của điện cực, độ trong suốt quang học của điện cực và dung dịch.

b) Mạch đo và ứng dụng: chuyển đổi điện phân đơn giản nhất là đồng hồ thời gian như hình 7.47a dùng để đo thời gian làm việc của các thiết bị. Nó gồm có vỏ thủy tinh 1 đặt hai điện cực bằng đồng là anot 2 và catot 3. Catot nằm trong ống mao quản 4, đọc theo ống mao quản có thang chia độ 5. Dung dịch chứa trong bình là sunfat đồng CuSO₄:



*Hình 7.47. Chuyển đổi điện phân đơn giản: đồng hồ thời gian:
a) cấu tạo b) sơ đồ mắc đồng hồ với dòng DC c) sơ đồ mắc đồng hồ với dòng AC*

Khi có dòng điện một chiều đi qua sê xảy ra hiện tượng điện phân. Anôt tan vào dung dịch còn catôt được bám vào một lượng đồng làm tăng độ dài của nó. Với dòng điện không thay đổi, độ dài của cực catôt khi tăng một lượng Δl có thể viết dưới dạng:

$$\Delta l = \frac{A}{\delta \cdot n \cdot F} \cdot \frac{I}{s} \cdot t = k \cdot t$$

với: δ - mật độ dòng điện
 s - tiết diện của catôt
 t - thời gian đo.

Hình là các sơ đồ mắc của đồng hồ: với dòng một chiều (hình 7.47b), với dòng xoay chiều (hình 7.47c).

Đồng hồ thời gian trên được chế tạo với giới hạn đo $5 \div 10^4$ giờ với dòng chảy từ $0,01 \div 1$ mA. Sai số khoảng 5% khi cân catôt và 20% khi tính theo thang chia độ.

Ngoài đồng hồ thời gian, chuyển đổi điện phân còn được chế tạo thành các dụng cụ để đo điện lượng khi phóng nạp ác quy và các điện trở điều khiển dùng trong các mạch điều khiển và mạch hiệu chỉnh.

7.6.5. Chuyển đổi khimôtrôn:

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** khimôtrôn là một chuyển đổi điện hóa, nguyên lý làm việc của nó dựa trên việc sử dụng lớp "khóa", đó là lớp môi trường làm nghèo đi các hạt mang điện tích (tương tự như điốt và tranzisto bán dẫn).

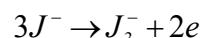
Chuyển đổi Khimôtrôn là một bình điện phân chứa đầy dung dịch iốt tuakali, trong dung dịch được duy trì dưới dạng ôxi hóa và dạng khử của một kim loại ion nhất định. Các điện cực được làm bằng kim loại không tương tác hóa học với chất điện phân (như vàng, bạch kim).

Khi ở dạng dung dịch, iottuakali được phân ly theo phương trình:



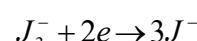
Dòng điện dẫn: nếu ta đặt vào hai điện cực anốt và catốt một điện áp (cỡ 1V) thì các ion sẽ chuyển động và dẫn điện. Điện dẫn của dung dịch chủ yếu là do các anion J^- , còn ion cation K^+ không tham gia dẫn điện vì ở catốt có điện thế âm cỡ -2V (trong khi đó điện thế thoát của K^+ khoảng -1,8V).

Dưới tác dụng của điện trường giữa anốt và catốt, các ion J^- di chuyển đến anốt và cho anốt điện tử để tạo thành ion J_3^- theo phương trình:



Các ion J^- giảm liên tục và rất nhanh cho đến khi dòng điện giảm đến không ($I = 0$) do J^- biến hết thành J_3^- .

Dòng điện khuếch tán: bên cạnh hiện tượng này thì nhờ sự khuếch tán trong dung dịch, các ion J_3^- chạm vào cực catốt, nhận được điện tử để tạo thành dòng khuếch tán:

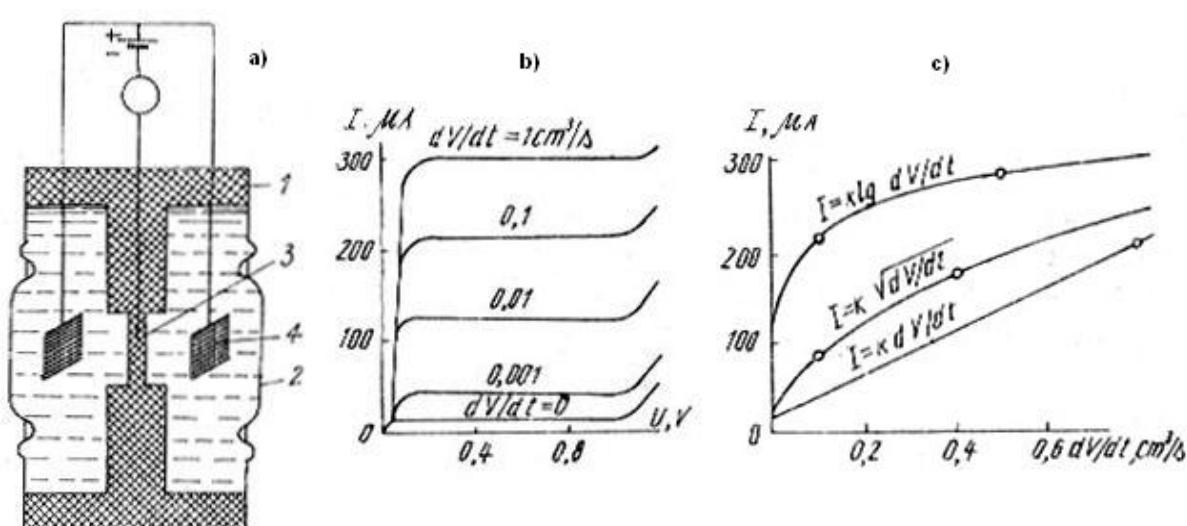


Dòng điện khuếch tán này rất nhỏ cỡ $10\mu A$ ở nhiệt độ bình thường. Bằng phương pháp thích hợp người ta đẩy các ion J_3^- về điện cực catốt, các ion J_3^- nhận điện tử để biến thành $3J^-$ và dòng điện tăng lên rất nhanh.

Dòng điện I phụ thuộc chủ yếu vào lượng chuyển động của ion J_3^- về phía catốt, tức là phụ thuộc vào tác động của đại lượng cơ học nào đó.

b) Mạch đo và ứng dụng: ứng dụng chuyển đổi Khimôtrôn người ta chế tạo các dụng cụ để đo áp suất, giá tốc và tạo thành diốt điện hóa.

Thiết bị đo áp suất dùng chuyển đổi khimôtrôn: như hình 7.48:



Hình 7.48. Thiết bị đo áp suất dùng chuyển đổi khimôtrôn:

a) sơ đồ nguyên lý cấu tạo b) đặc tính vôn-ampé

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo như hình 7.48a: thiết bị gồm có bình 1 được gắn kín bởi hai màng đòn hồi 2. Bên trong bình có cực catốt làm bằng platin 3 có lỗ ở giữa để dung dịch đi qua; hai anốt 4 được đặt ở hai phía của catốt đó là những tấm lưới platin, bên trong chứa bình dung dịch KJ.

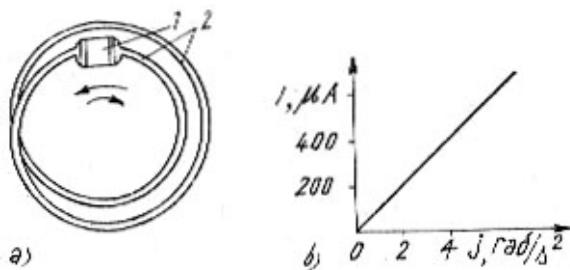
Khi các điện cực được mắc với nguồn điện ngoài, dung dịch ở trạng thái đứng

yên, dòng điện chạy trong mạch chạy rất yếu và chủ yếu là dòng khuếch tán (như hình 7.48b).

Khi có tác dụng của áp suất bên ngoài, màng đàn hồi ép dung dịch KJ có các ion J_3^- qua lỗ của catốt 3, các J_3^- nhận điện tử ($J_3^- + 2e \rightarrow 3J^-$) và dòng điện tăng lên. Dòng chảy của dung dịch qua lỗ càng nhiều, dòng càng tăng nhanh như các đường cong đặc tính hình 7.48b.

Các đường cong đặc tính của chuyển đổi này tương tự như đặc tính vôn-ampe của các tranzito.

Chuyển đổi đo gia tốc góc ứng dụng chuyển đổi khimôntron: như hình 7.49: trong chuyển đổi này không có màng đàn hồi, bình chứa dung dịch có dạng hình ống tròn. Dưới tác dụng của gia tốc góc, dung dịch bị di chuyển qua lỗ của cực catốt và dòng điện thay đổi theo sự thay đổi của gia tốc.



Hình 7.49. Chuyển đổi đo gia tốc góc ứng dụng chuyển đổi khimôntron:
a) nguyên lý cấu tạo b) đặc tính của chuyển đổi

7.7. Chuyển đổi điện tử và ion.

7.7.1. Phân loại:

Nhóm các chuyển đổi điện tử và ion là nhóm gồm nhiều kim loại chuyển đổi khác nhau. Nguyên lý làm việc của các loại chuyển đổi này dựa vào sự thay đổi dòng ion và dòng điện tử dưới tác dụng của các đại lượng đo. Người ta chia các chuyển đổi điện tử và ion thành 2 loại cơ bản là:

- Chuyển đổi điện tử và ion
- Chuyển đổi ion hoá

Các chuyển đổi điện tử và ion lại được phân thành các loại:

- Chuyển đổi tự phát xạ điện tử
- Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử
- Chuyển đổi phát xạ quang điện tử

7.7.2. Chuyển đổi phát xạ điện tử là các đèn hai cực:

a) *Nguyên lý hoạt động:* dưới tác dụng của điện trường mạnh (với điện áp trên anôt và catôt cỡ 3kV), các điện tử bị bắn ra khỏi catôt, trên đường đi chúng ion hoá các phân tử khí tạo thành ion dương và âm. Dòng điện chạy từ anôt đến catôt thay đổi theo mật độ không khí trong đèn hai cực.

b) *Ứng dụng:* chế tạo các thiết bị đo áp suất thấp còn gọi (các chân không kế).

Ví dụ: chân không kế loại BM ъ-1 của Liên Xô (cũ) đo độ chân không $2.10^{-6} \div 8.10^{-4}$ mm Hg.

7.7.3. Chuyển đổi có phát xạ nhiệt điện tử:

a) Nguyên lý hoạt động: các loại chuyển đổi này được chế tạo dưới dạng đèn điện tử hai cực và ba cực. Khi catốt bị đốt nóng các điện tử bắn ra khỏi nó và dưới tác dụng của điện trường, các điện tử chuyển động từ anode đến catốt. Trên đường đi các điện tử ion hóa không khí tạo thành các ion dương và âm.

b) Ứng dụng: cũng như loại chuyển đổi phát xạ điện tử, chuyển đổi loại này dùng cho độ chân không tới 10^{-6} mm Hg.

Nếu giữ cho đèn có độ chân không ổn định thì dòng điện chạy trong mạch phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai cực anode và catốt. Ứng dụng hiện tượng trên, người ta chế tạo các thiết bị đo các đại lượng cơ học như đo độ di chuyển, đo áp suất ...

7.7.4. Chuyển đổi có phát xạ quang điện tử (chuyển đổi quang điện):

a) Nguyên lý hoạt động: nguyên lí cơ bản của các chuyển đổi quang điện dựa trên hiện tượng giải phóng điện tích dưới tác dụng của dòng ánh sáng do hiệu ứng quang điện gây nên sự thay đổi tính chất của vật liệu.

Ánh sáng có hai tính chất cơ bản là tính chất sóng và tính chất hạt. Tính chất hạt của ánh sáng thể hiện qua sự tương tác với vật chất.

Cụ thể: ánh sáng gồm các hạt phôtôn có năng lượng Q_ϕ phụ thuộc vào tần số:

$$Q_\phi = h\nu$$

với: h - hằng số Planck ($h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js)

ν - tần số của sóng ánh sáng

Trong vật chất, các điện tử có xu hướng muốn được giải phóng khỏi nguyên tử để trở thành điện tử tự do. Để giải phóng các điện tử khỏi các nguyên tử cần cung cấp cho nó một năng lượng bằng hoặc lớn hơn năng lượng liên kết Q_e . Khi một phôtôn được hấp thụ sẽ có một điện tử được giải phóng nếu:

$$Q_\phi \geq Q_e \Leftrightarrow \nu \geq \frac{Q_e}{h} \Leftrightarrow \lambda \leq \frac{hc}{Q_e}$$

như vậy bước sóng lớn nhất của ánh sáng có thể gây nên hiện tượng giải phóng điện tử là:

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{Q_e} = \frac{1,237}{Q_e} (\mu m)$$

Năng lượng liên kết của điện tử trong nguyên tử Q_e phụ thuộc vào bản chất của vật liệu.

Bảng 7.5. Một số đơn vị đo quang cơ bản

Thông số	Đơn vị thị giác	Kí hiệu	Đơn vị năng lượng
Thông lượng ánh sáng (ϕ)	Lumen	lm	W (oat)
Cường độ sáng (I)	Candela	Cd	W/S _r (oat/steradian)
Độ chói năng lượng (L)	Candela/m ²	Cd/m ²	W/S _r .m ²
Độ rọi năng lượng (E)	Candela/m ² hay Lux	Ix	W/m ²
Năng lượng bức xạ (Q)	Lumen.s	lm.s	J (Joule)

Chuyển đổi phát xạ quang điện tử bao gồm các dạng cơ bản là: tế bào quang điện, quang điện trở, phôtô điốt và phôtô tranzisto

b) Nguồn sáng: để tạo nguồn sáng có thể thực hiện theo hai phương pháp:

- Kích thích nguyên tử và phân tử của vật chất bằng đốt nóng (bức xạ nhiệt).
- Biến đổi từ một dạng năng lượng khác (bức xạ lạnh hay bức xạ quang điện).

Nguồn sáng quyết định mọi đặc tính quan trọng của bức xạ. Chuyển đổi quang

chỉ có hiệu quả khi nó phù hợp với bức xạ ánh sáng (phổ, cường độ, tần số).

Nguồn sáng có thể thực hiện như sau:

Đèn sợi đốt: là một bóng đèn thủy tinh trong chứa chất khí hiếm hoặc halôgen và có sợi đốt làm bằng vônfram. Ánh sáng đèn sợi đốt nằm trong vùng nhìn thấy. Ưu điểm của đèn sợi đốt là thông lượng lớn, dải phổ rộng và có thể thay đổi được. Nhược điểm là quán tính lớn, thời gian sử dụng ngắn và dễ vỡ.

Điốt phát quang - LED (Light Emitting Diode): là các đèn điốt, năng lượng được giải phóng do sự tái hợp điện tử - lỗ trống ở phần chuyển tiếp P-N làm phát sinh các phôtô. Ưu điểm của điốt phát quang là thời gian hồi đáp nhỏ (cỡ ns) do vậy có thể điều chỉnh được ở tần số cao bằng nguồn nuôi, phổ ánh sáng hoàn toàn xác định, kích thước nhỏ, công suất tiêu thụ bé, độ tin cậy cao, độ bền tốt. Nhược điểm là thông lượng nhỏ (cỡ mW) và nhạy với nhiệt độ.

Laze - Laser (Light Amplification by Stimulated Emission Radiation): là nguồn đơn sắc, độ chói lớn, rất định hướng tính liên kết mạnh (cùng phân cực và cùng pha) do vậy khi các bức xạ chồng chéo lên nhau chúng tạo thành một sóng duy nhất và xác định. Ưu điểm: laze có bước sóng đơn sắc hoàn toàn xác định, thông lượng lớn, chùm tia mảnh, độ định hướng cao và truyền đi xa.

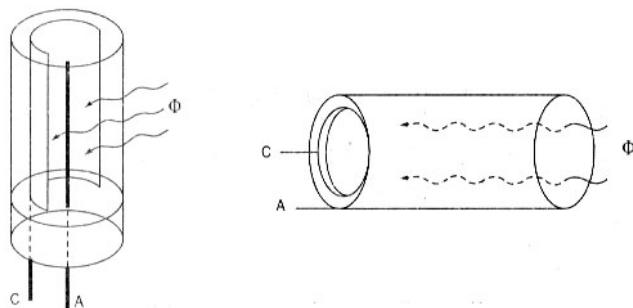
c) Tế bào quang điện (photo-cell): tế bào quang điện là phần tử quang điện sử dụng *hiệu ứng quang điện ngoại*, đó là một đèn chân không hoặc có khí. Dưới tác dụng của dòng ánh sáng catôt sẽ phát xạ các điện tử.

Sự phát xạ điện tử diễn ra theo các giai đoạn: hấp thụ phôtô và giải phóng điện tử. Các điện tử được giải phóng di chuyển lên bề mặt và dưới tác dụng của điện trường các điện tử sẽ di chuyển theo một hướng nhất định.

Tùy theo cấu tạo và nguyên lý làm việc người ta phân thành 3 loại tế bào quang điện: tế bào quang điện chân không, đèn iôn khí và bộ nhân quang điện.

Các vật liệu sử dụng làm photo catôt của tế bào quang điện là: AgOCs nhạy với vùng hồng ngoại; Cs₃Sb, (Cs)Na₂KSb, K₂CsSb: nhạy với ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại; Cs₂Te, Rb₂Te, CsT: nhạy trong vùng tử ngoại.

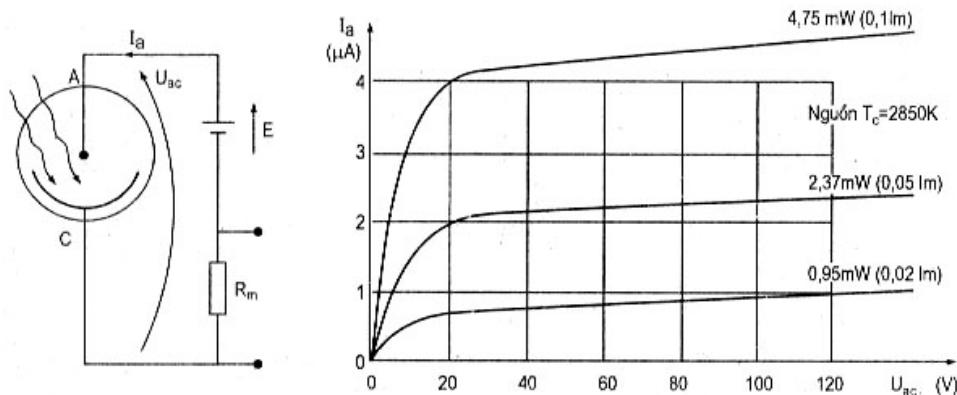
Tế bào quang điện chân không: là một ống hình trụ được hút chân không tới áp suất $10^{-6} \div 10^{-8}$ mmHg. Trong ống đặt một catôt có khả năng phát xạ khi được chiếu sáng và một anôt. Hình dạng và vị trí của các điện cực được thiết kế sao cho catôt có thể hấp thụ tối đa thông lượng ánh sáng chiếu tới mà không bị anôt che tối nhưng vẫn thu được tối đa số điện tử phát xạ từ catôt:



Hình 7.50. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của tế bào quang điện chân không

Hình 7.51 là sơ đồ mạch điện của tế bào quang điện chân không và đặc tính von-ampe của nó: đặc tính có hai vùng rõ rệt: khi điện áp tăng, dòng điện tăng nhanh

theo giá trị của điện áp đặt do số lượng điện tử tạo ra di chuyển đến anot tăng. Khi điện áp tăng đến mức độ nào đó, số điện tử được phát xạ từ catốt di chuyển hết đến anot và dòng điện lúc này chỉ còn phụ thuộc vào thông lượng của ánh sáng chiếu tới.

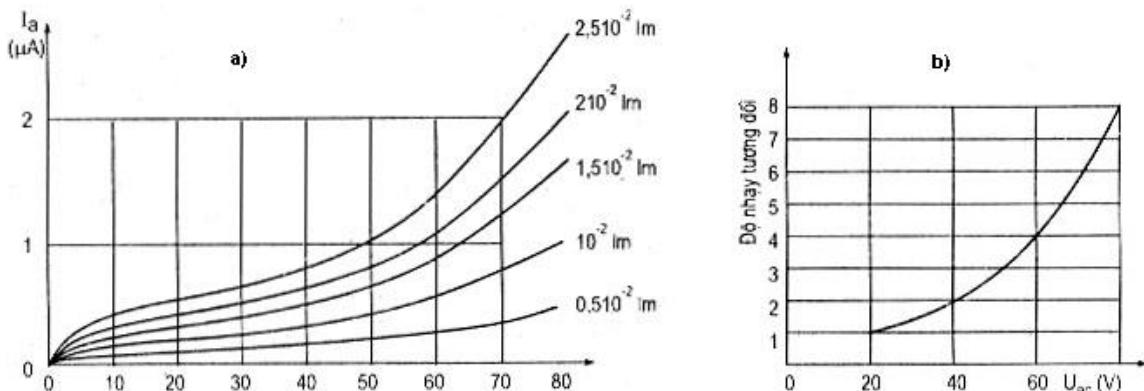


Hình 7.51. Sơ đồ mạch điện của tinh thể bào quang điện chân không và đặc tính von-ampe

Tinh thể bào quang điện chân không được sử dụng trong vùng bão hòa và giống như nguồn dòng. Giá trị của dòng chỉ phụ thuộc vào nguồn sáng mà nó nhận được. Điện trở trong của tinh thể bào quang điện rất lớn $R_i = 10^{10}\Omega$. Độ nhạy khoảng $10 \div 100\text{mA/W}$.

Tinh thể bào quang điện dạng khí: có cấu tạo tương tự như tinh thể bào quang điện chân không nhưng bên trong đèn chứa khí argon với áp suất $10^{-1} \div 10^{-2}\text{mm Hg}$.

Đặc tính von-ampe và độ nhạy như hình 7.52:



Hình 7.52. Các đặc tính của tinh thể bào quang điện dạng khí:
a) đặc tính von-ampe tĩnh b) ảnh hưởng của U_{AC} đến độ nhạy

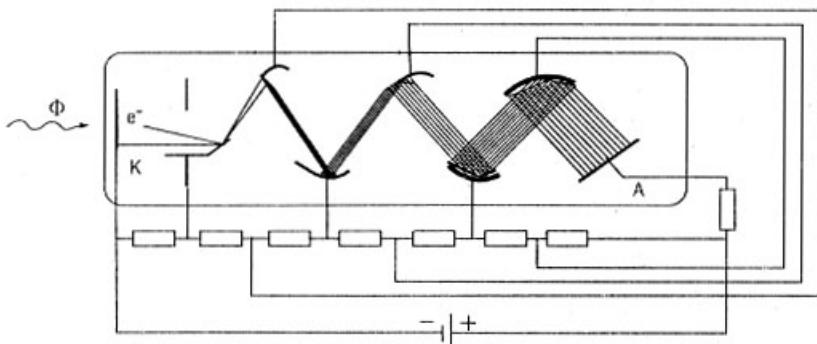
Khi điện áp thấp ($U \leq 20\text{V}$) đặc tính von-ampe giống tinh thể bào quang điện chân không do các điện tử di chuyển không đủ tốc độ ion hóa chất khí trong bình. Khi điện áp tăng dần, các điện tử di chuyển với vận tốc lớn làm ion hóa các nguyên tử khí (do va chạm) do đó dòng anot tăng mạnh (khoảng $5 \div 10$ lần).

Thiết bị nhän quang: khi bề mặt vật rắn bị bắn phá bởi các điện tử có năng lượng đủ lớn thì nó có thể phát xạ các điện tử (phát xạ thứ cấp). Nếu số điện tử phát xạ thứ cấp lớn hơn số điện tử tới bề mặt thì sẽ có khả năng khuếch đại tín hiệu. Sự khuếch đại này được ứng dụng làm bộ nhän quang điện có sơ đồ cấu trúc như hình 7.53.

Thiết bị gồm có catốt sơ cấp và một số catốt thứ cấp. Các catốt được phủ bằng vật liệu có khả năng phát xạ điện tử thứ cấp. Các điện cực này mắc nối tiếp nhau qua các điện trở và có thể tăng dần sao cho các điện tử phát xạ từ điện cực thứ K sẽ

bị hút bởi điện cực ($K+1$) và số điện tử thứ cấp phát xạ ở các điện cực này tăng lên.

Khi có thông lượng ánh sáng ϕ chiếu vào catốt sơ cấp các điện tử phát xạ (gọi là điện tử sơ cấp) được tập trung (bằng phương pháp tĩnh điện) trên điện cực thứ cấp thứ nhất của dãy các điện cực và các điện tử này tiếp tục di chuyển và tăng dần khi bắn phá các điện cực tiếp theo.



Hình 7.53. Sơ đồ cấu trúc của bộ nhän quang điện

Nếu mỗi điện tử sơ cấp khi va chạm với một điện cực giải phóng δ điện tử phát xạ thứ cấp thì với n điện cực số điện tử phát xạ sẽ là:

$$M = \delta^n$$

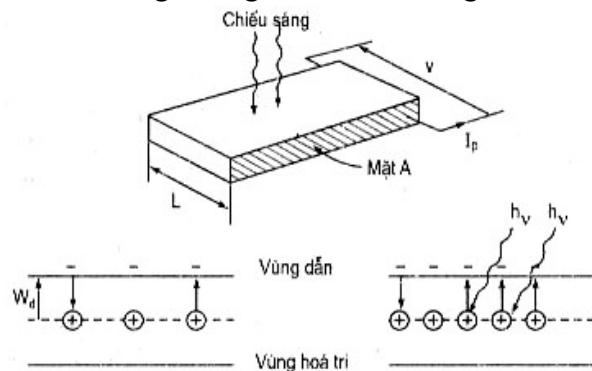
Bảng 7.6. Một số loại tế bào quang điện và các thông số cơ bản của nó.

Loại tế bào quang điện	Loại phôtô catốt	U_{dm} (V)	Độ nhạy ($\mu\text{A}/\text{lumen}$)	Miền phôtô nhạy A°	$I_{tối}, \mu\text{A}$ ($T=300\text{K}$)
ЦВ-3	Ôxit xêri chân không	240	20	$4.10^3 \div 12.10^3$	0,1
ЦВ-4		240	20	-	-
СЦВ-3	Ăng ti moan xêri	240	80÷100	$4.10^3 \div 6.10^3$	0,01
СЦВ-4	Chân không	-	-	-	-
Цр-1	Ôxit xêri có khí	240	75÷150	$4.10^3 \div 12.10^3$	0,1
ЦF-3	-	-	100÷250	-	-

Tuy nhiên không phải bất kỳ điện tử nào khi được giải phóng ra khỏi điện cực cũng tới và giải phóng được điện tử ở cực khác do đó nếu gọi hiệu suất đạt được là η thì số điện tử phát xạ thực sẽ là:

$$M = \eta \delta^n$$

d) **Quang điện trở:** quang điện trở là cảm biến *dựa vào hiệu ứng quang điện trong*: giả sử có một tấm bán dẫn phẳng có thể tích V được pha tạp loại n với nồng độ các donor N_d và có mức năng lượng nằm dưới vùng dẫn là W_d (như hình 7.54):



Hình 7.54. Quang điện trở và sự chuyển mức năng lượng của điện tử

Ở nhiệt độ phòng và trong bóng tối xảy ra đồng thời quá trình các điện tử được giải phóng do bị kích thích nhiệt và quá trình tái hợp của các điện tử với các nguyên tử đã bị ion hóa. Ở trạng thái cân bằng có nồng độ các donor bị ion hóa do nhiệt là:

$$n_0 = -\frac{a}{2r} + \left[\frac{a^2}{4r} + \frac{aN_d}{r} \right]^{\frac{1}{2}}$$

suy ra độ dẫn trong bóng tối của bán dẫn:

$$G_0 = q \cdot \mu \cdot n_0$$

với: μ - độ linh động của điện tử; q - điện tích.

Khi bị chiếu sáng ($năng lượng hv \geq W_d$) xảy ra hiện tượng các phôtôen ion hóa các nguyên tử donor và giải phóng điện tử. Các điện tử này được bổ sung thêm vào số các điện tử được giải phóng do kích thích nhiệt ngoài ra một số điện tử được giải phóng sẽ tái hợp với các nguyên tử. Phương trình động học cho mật độ của điện tử ở điều kiện cân bằng dưới tác dụng của ánh sáng là:

$$n = \sqrt{\frac{g}{r}}$$

với: g - số điện tử được giải phóng trong một đơn vị thể tích trong thời gian 1s
 r - hệ số tái hợp

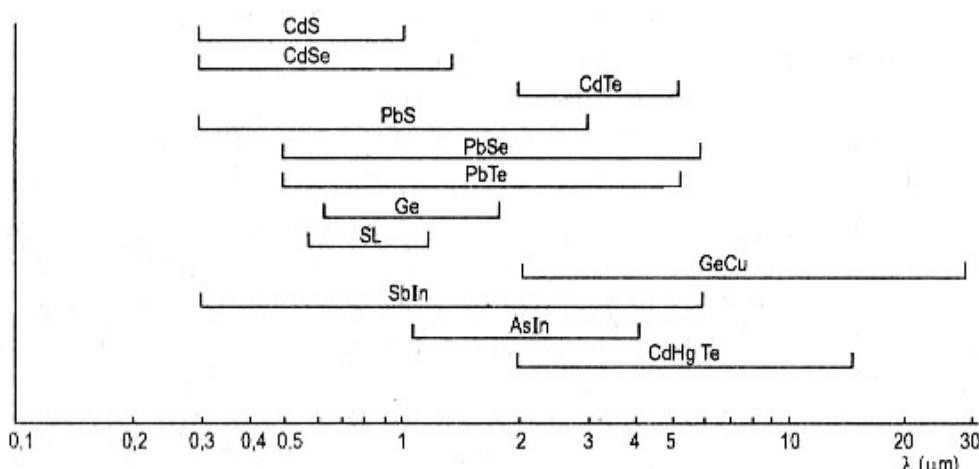
suy ra độ dẫn tương ứng với nồng độ điện tử ở điều kiện cân bằng khi bị chiếu sáng:

$$G_p = q \cdot \mu \cdot n$$

là hàm phi tuyến đối với thông lượng ánh sáng, thay đổi theo $\phi^{1/2}$. Thực nghiệm cho thấy rõ số mũ của ϕ nằm giữa 0,5 và 1.

Vật liệu chế tạo quang điện trở là các bán dẫn đa tinh thể đồng nhất hoặc đơn tinh thể, bán dẫn riêng hoặc pha tạp. Loại đa tinh thể như: CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe. Đơn tinh thể như: Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp Au, Cu, Sb, In, SbIn, AsIn, PbIn, CdHgTe.

Vùng phổ làm việc của các vật liệu trên được biểu diễn trên hình 7.55:



Hình 7.55. Vùng phổ làm việc của một số vật liệu quang dẫn phổ biến

Quang điện trở có giá trị điện trở tối R_0 phụ thuộc vào dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và bản chất hóa lý của vật liệu. Điện trở R_s (khi bị chiếu sáng) của cảm biến được tính theo công thức:

$$R_s = a \cdot \phi^{-\gamma}$$

điện trở này giảm rất nhanh khi bị chiếu sáng theo đường đặc tính như hình 7.56a.

Điện trở R_s phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Độ nhạy nhiệt càng nhỏ khi độ rời sáng càng lớn. Giá trị của điện trở bị giảm chậm ở những điều kiện làm việc giới hạn khi độ rời sáng và điện áp đặt quá lớn.

Thông thường quan hệ giữa điện trở và thông lượng ánh sáng ϕ là phi tuyến nhưng có thể tuyến tính hóa bằng cách mắc một điện trở song song với quang điện trở.

Dòng quang điện I được xác định bằng biểu thức:

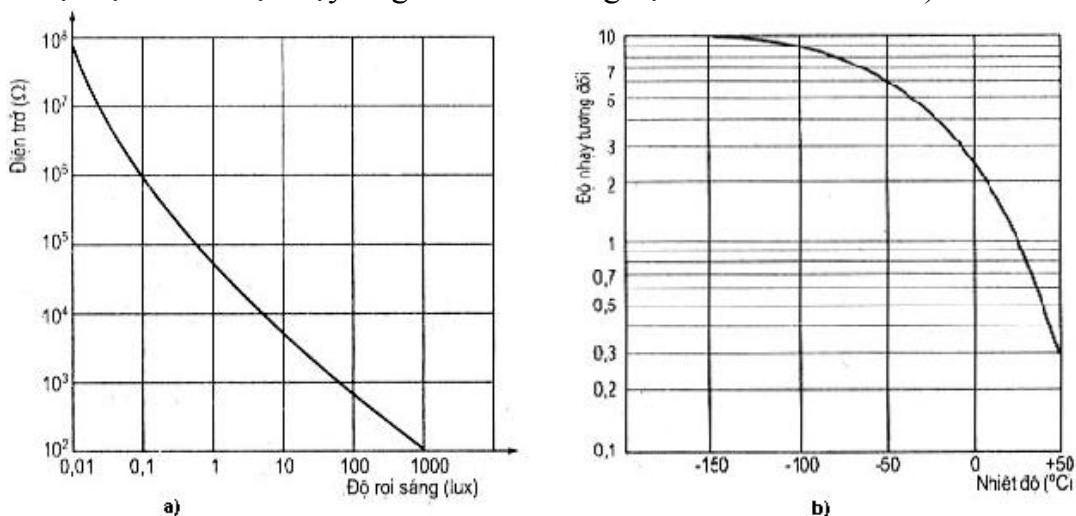
$$I = \frac{U}{a} \phi^\gamma$$

với a là hệ số phụ thuộc vật liệu của quang điện trở, nhiệt độ và phô bức xạ.

Độ nhạy của quang điện trở được tính đối với luồng ánh sáng có phô xác định:

$$\frac{\Delta I}{\Delta \phi} = \gamma \frac{U}{a} \phi^{\gamma-1}$$

như vậy hệ số biến đổi và độ nhạy giảm khi bức xạ tăng. Độ nhạy tỉ lệ thuận với điện áp U (chỉ đúng khi U nhỏ) để hiệu ứng Joule không làm thay đổi nhiệt độ (do khi nhiệt độ cao thì độ nhạy sẽ giảm như đường đặc tính ở hình 7.56b).



Hình 7.56. Ánh hưởng của độ rời sáng và nhiệt độ lên tế bào quang dẫn:

- a) sự phụ thuộc của điện trở của quang điện trở vào độ rời sáng
- b) ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhạy của tế bào quang dẫn

Khi sử dụng các bức xạ đơn sắc, với thông lượng ánh sáng xác định thì I_p chỉ phụ thuộc vào λ . Khi đó độ nhạy phô của quang điện trở được biểu diễn bằng biểu thức:

$$S_\lambda \approx \frac{\Delta I}{\Delta \phi(\lambda)}$$

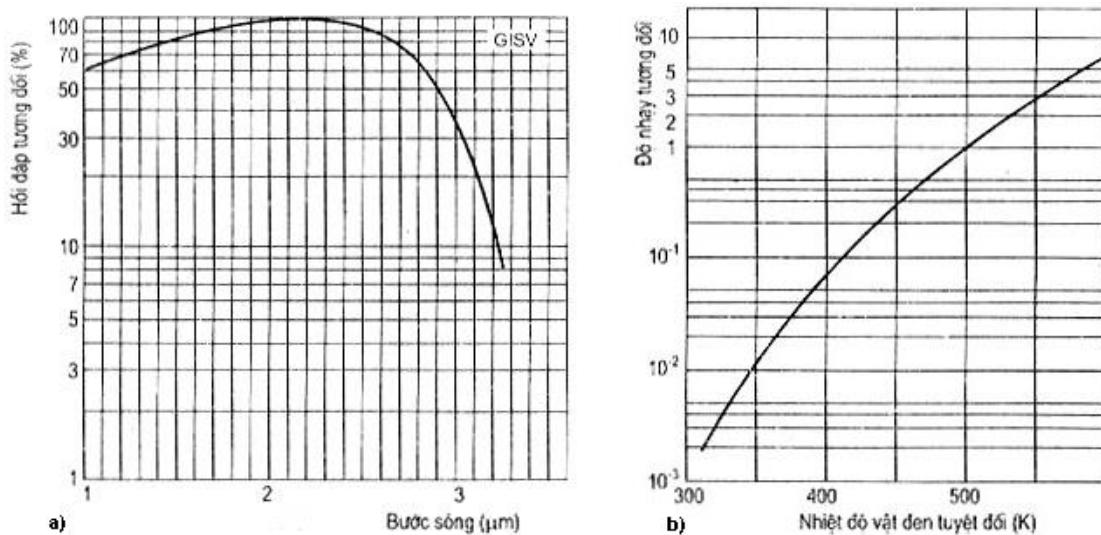
và có đường cong đặc tính như hình 7.57a.

Độ nhạy phô cũng phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn sáng, khi nhiệt độ tăng thì độ nhạy phô tăng. Với bức xạ không đơn sắc, dòng I_p phụ thuộc vào phô bức xạ và do đó nhạy toàn phần phụ thuộc vào phô bức xạ như hình 7.57b.

Ưu điểm: ưu điểm lớn nhất của quang điện trở là độ nhạy cao, chế tạo đơn giản và dễ sử dụng.

Nhược điểm: thời gian đáp ứng lớn và phụ thuộc không tuyến tính vào thông

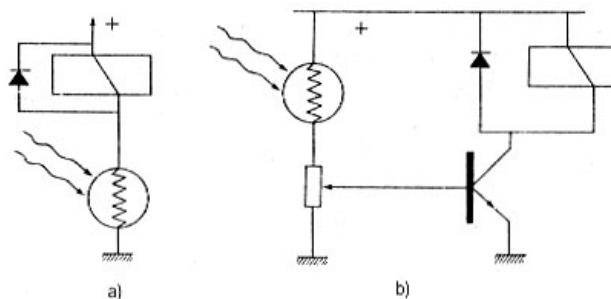
lượng ánh sáng; độ nhạy phụ thuộc vào nhiệt độ do đó cần phải ổn định nhiệt và tản nhiệt tốt; dễ bị già hoá theo thời gian.



Hình 7.57. Độ nhạy phổ của té bào quang dẫn:

- a) đường cong phổ hồi đáp của độ nhạy của té bào quang dẫn
- b) sự thay đổi của độ nhạy toàn phần theo nhiệt độ màu của nguồn

Ứng dụng của quang điện trở: thường dùng để điều khiển role đóng mở (như hình 7.58), đo các đại lượng không điện như đo tốc độ quay, đo lưu lượng, đếm số lượng hoặc dùng trong hệ thống báo động.



Hình 7.58. Ứng dụng té bào quang điện để điều khiển role:

- a) điều khiển trực tiếp
- b) điều khiển thông qua tranzito khuếch đại

Bảng 7.7 là một số loại chuyển đổi quang điện trở thông dụng và các thông số cơ bản của nó:

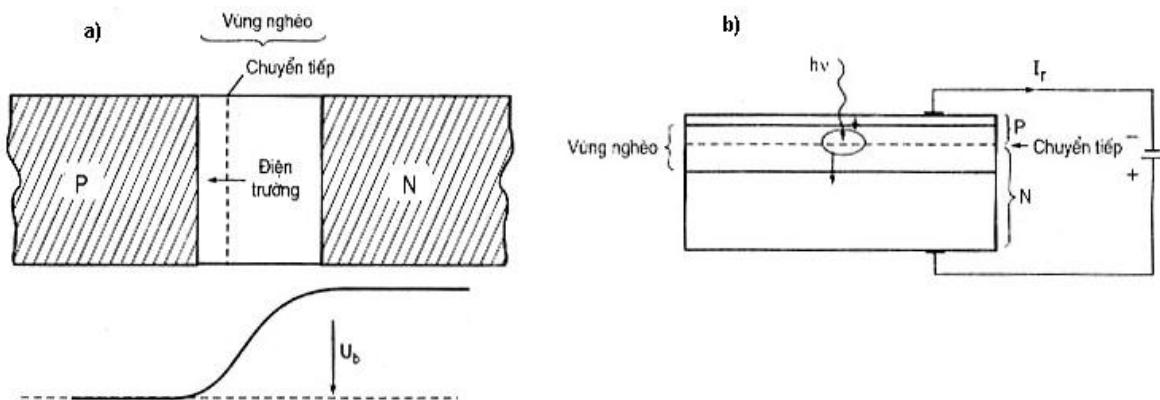
Bảng 7.7. Một số loại chuyển đổi quang điện trở và các thông số cơ bản của nó

Thông số cơ bản	$\Phi C - A1$ $\Phi CA - \Gamma 1$	$\Phi C - K1$ $\Phi CK - \Gamma 1$	$\Phi CK - \Gamma 2$	$\Phi C - K6$	$C\Phi z - 1$
Diện tích bề mặt nhạy ánh sáng, mm ²	28	29	58	125	0,45
Điện trở lúc tối, Ω	$10^4 \div 10^6$	$3,3 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	10^6
Dòng lúc tối, μA	100	100	100	100	100
Độ nhạy riêng, $\mu A - lx.mV$	500	$3 \cdot 10^3 \div 10^4$	10^4	10^4	$6 \cdot 10^4$
Hằng số thời gian, ms	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$

Công suất, W	0,002 ÷ 0,01	0,2	0,3	0,3	0,05
Dòng phôtô (F=200lx), μA	0,1	2	3 ÷ 4	2	1,5
Giới hạn điện áp làm việc, V	10 ÷ 60	50 ÷ 400	50 ÷ 220	50 ÷ 220	3 ÷ 15

e) **Phôtô điốt:**

Nguyên lý làm việc: dựa trên hiện tượng thay đổi độ dẫn phụ thuộc vào ánh sáng của lớp tiếp giáp P-N của các chất bán dẫn (hình 7.59):



Hình 7.59. Hiệu ứng quang điện dựa trên tiếp giáp P-N:

a) hàng rào điện thế của tiếp giáp P-N

b) hiệu ứng quang điện trong vùng nghèo của tiếp giáp P-N

Khi không có điện áp đặt lên tiếp giáp P-N thì dòng điện qua tiếp giáp bằng không ($I = 0$). Dòng điện I lúc này là tổng của hai dòng điện ngược chiều nhau và bằng nhau đó là *dòng khuếch tán* các hạt cơ bản sinh ra khi ion hoá tạp chất (lỗ trống trong bán dẫn loại p và điện tử trong bán dẫn loại n) và *dòng hạt dẫn không cơ bản* (điện tử trong bán dẫn loại p và lỗ trống trong bán dẫn n) do kích thích nhiệt.

Khi đặt lên điốt (lên tiếp giáp P-N) điện áp ngược U_d thì chiều cao của hàng rào điện thế và bề rộng vùng nghèo thay đổi làm cho dòng điện I thay đổi theo. Khi đó I được gọi là *dòng điện ngược* (*dòng điện rò*), có chiều từ K đến A của điốt và có giá trị tính bằng:

$$I = I_0 - I_0 \cdot \exp \left[- \frac{U_d}{(KT/q)} \right]$$

với: U_d - điện áp đặt lên điốt; I_0 - dòng điện tối

Với điện áp ngược đạt giá trị đủ lớn ($U_d >> KT/q$, cỡ 26mV tại $T=300K$) thì chiều cao hàng rào thế tăng đến mức dòng khuếch tán của các hạt dẫn cơ bản trở nên rất nhỏ có thể bỏ qua và chỉ còn lại dòng các hạt dẫn không cơ bản, dòng điện này gọi là *dòng ngược (dòng rò) của điốt* I_r :

$$I_r = I_0$$

Khi đó nếu chiếu vào điốt dòng ánh sáng có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng ($\lambda < \lambda_0$) thì sẽ xuất hiện các cặp điện tử-lỗ trống và dưới tác dụng của điện trường chúng di chuyển theo hướng của các hạt dẫn không cơ bản tạo ra dòng điện gọi là *dòng quang điện* I_p làm tăng dòng điện ngược I_r (như hình 7.59b), khi đó:

$$I_r = I_0 + I_p$$

Dòng quang điện phụ thuộc vào cấu tạo của điốt, loại tia bức xạ, thành phần phổ

và quang thông của tia bức xạ.

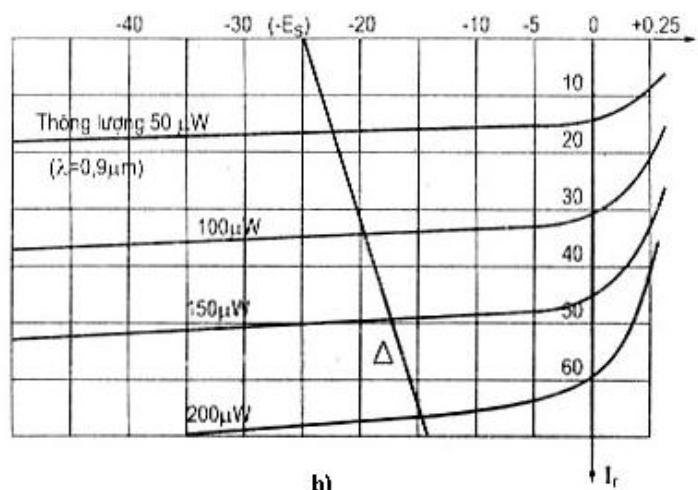
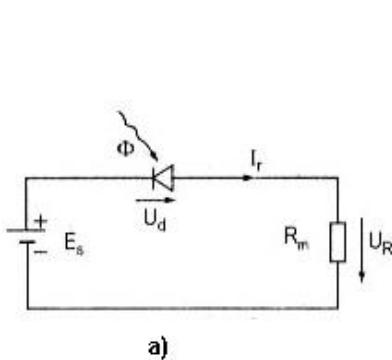
Các vật liệu thường dùng làm chế tạo phôtô diốt là Si, Ge (sử dụng trong vùng ánh sáng nhìn thấy); GaAs, InAs, InSb (sử dụng trong vùng hồng ngoại).

Các phôtô diốt có thể làm việc theo 2 chế độ: chế độ quang dẫn và chế độ quang thê.

Chế độ quang dẫn: có sơ đồ mạch như hình 7.60a: diốt được phân cực ngược với điện áp U_d đủ lớn ($U_d >> KT/q$), khi đó dòng ngược chạy qua diốt là:

$$I_r = I_0 + I_p$$

và do $I_0 \ll I_p$ nên ta có:



Hình 7.60. Sơ đồ mạch của phôtô diốt ở chế độ quang dẫn
và đặc tính V-A với các thông lượng khác nhau

Xét mạch ta có: $E = U_R + U_d$; $U_R = R \cdot I_r$

suy ra:

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

Hình 7.60b là họ đặc tính vôn-ampe $U = f(I)$ ứng với các thông lượng ánh sáng khác nhau và đường thẳng tải Δ .

Điểm làm việc Q của diốt là điểm giao nhau giữa đường tải Δ và đường đặc tính $U = f(I)$ với thông lượng tương ứng. Chế độ làm việc này là tuyến tính, điện áp trên tải U_R tỉ lệ với thông lượng ánh sáng Φ :

$$U_R = f(\Phi)$$

Chế độ quang thê: trong chế độ này không có điện áp ngoài đặt vào diốt. Diốt hoạt động như bộ chuyển đổi năng lượng, tương ứng với một máy phát. Ta xét ở hai chế độ: chế độ hở mạch và chế độ ngắn mạch:

- Chế độ hở mạch (U_h): khi diốt bị chiếu sáng thì dòng quang điện I_p tăng làm cho hàng rào thế giảm đi một lượng ΔU_b , do đó dòng các hạt dẫn cơ bản tăng lên để đảm bảo cân bằng giữa dòng hạt dẫn cơ bản và không cơ bản sao cho $I_r = 0$. Khi đó nếu trong tối (ánh sáng yếu) $I_p \ll I_0$ thì:

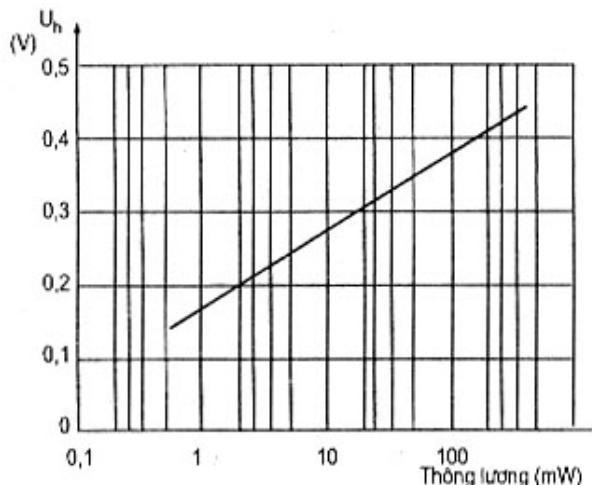
$$U_h = \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_0}$$

U_h lúc này rất nhỏ nhưng phụ thuộc tuyến tính với thông lượng Φ .

Còn khi thông lượng ánh sáng mạnh $I_p \gg I_0$ thì:

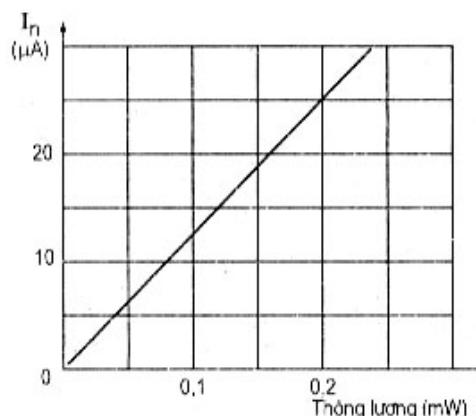
$$U_h = \frac{KT}{q} \cdot \log \frac{I_p}{I_0}$$

lúc này U_h có giá trị tương đối lớn ($0,1 \div 0,6V$) nhưng quan hệ giữa U_h và Φ có dạng hàm lôgarit như hình 7.61:



Hình 7.61. Đặc tính của phôtô diốt ở chế độ hở mạch: $U_h = f(\Phi)$

- Chế độ ngắn mạch (I_n): khi nối ngắn mạch hai đầu của diốt bằng một điện trở R_n nhỏ hơn R_d (điện trở trong của diốt) thì dòng ngắn mạch bằng dòng I_p và tỉ lệ với thông lượng ánh sáng Φ (như hình 7.62):



Hình 7.62. Đặc tính quan hệ $I_n = f(\Phi)$ của phôtô diốt ở chế độ ngắn mạch

Đặc điểm của chế độ làm việc này là không có dòng tối (do không có điện áp phân cực ngoài), nhờ vậy có thể giảm được nhiễu và có khả năng đo được thông lượng nhỏ.

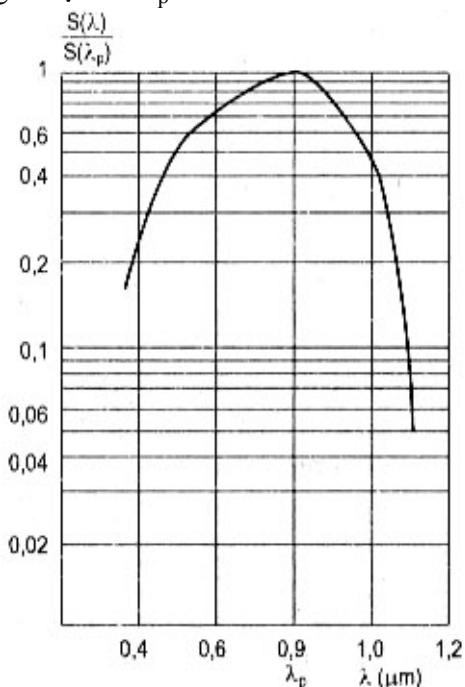
Độ nhạy của phôtô diốt: đối với bức xạ có phổ xác định thì dòng quang điện I_p tỉ lệ thuận với cường độ ánh sáng trong một khoảng rộng. Độ nhạy phổ được xác định bằng biểu thức:

$$S_\lambda = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q \cdot \eta \cdot (1 - R) \cdot \exp(-\alpha X)}{hc} \cdot \lambda = f(\lambda, \eta, \alpha)$$

với: q - điện tích; η - hiệu suất lượng tử,
 R - hệ số phản xạ; α - hệ số hấp thụ

X - bờ dày của vùng nghèo với $\lambda \leq \lambda_0$

Như vậy độ nhạy phổ phụ thuộc vào bước sóng λ , hiệu suất lượng tử η và hệ số α . Với mỗi loại phôtô đòi hỏi cần biết độ nhạy phổ dựa trên đường cong phổ hồi đáp $S(\lambda)/S(\lambda_p)$, trong đó λ_p - độ dài bước sóng ứng với nhiệt độ phổ cực đại (như hình 7.63) đồng thời cần biết giá trị của λ_p .

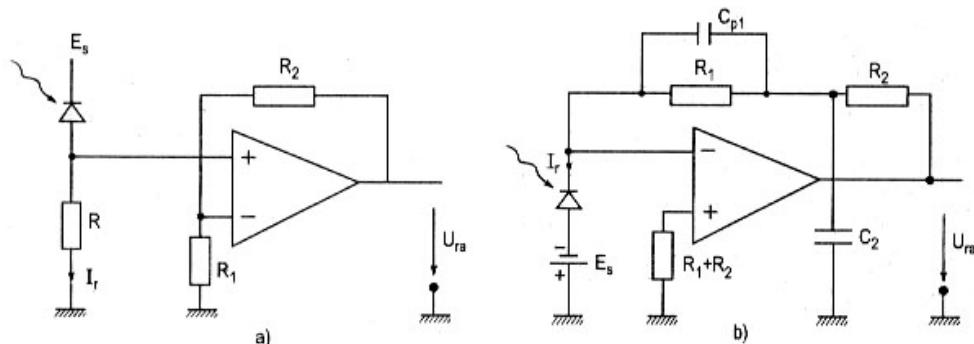


Hình 7.63. Phổ độ nhạy của phôtô điốt

Thông thường λ_p nằm trong khoảng $0,1 \div 1\text{A/W}$. Do ảnh hưởng của nhiệt độ nên đường cong độ nhạy phô λ_p bị di chuyển: khi nhiệt độ tăng thì λ_p dịch chuyển về phía bước sóng dài. Hệ số nhiệt độ của dòng quang dẫn $(1/I_p) \cdot (dI_p/dT)$ có giá trị khoảng $0,1\%/\text{^oC}$.

Các ứng dụng của phôtô điốt: tùy thuộc ứng dụng để có thể chọn phôtô điốt làm việc ở các chế độ phù hợp, cụ thể:

- Chế độ quang dẫn: chế độ này có độ tuyển tính cao, thời gian hồi đáp nhanh, dải thông lớn. Sơ đồ ứng dụng như hình vẽ 7.64:



Hình 7.64. Sơ đồ mạch đo dòng ngược của phôtô diốt ở chế độ quang dẫn:

Với sơ đồ 7.64a: điện áp ở đầu ra được tính:

$$U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_v = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) R I_r$$

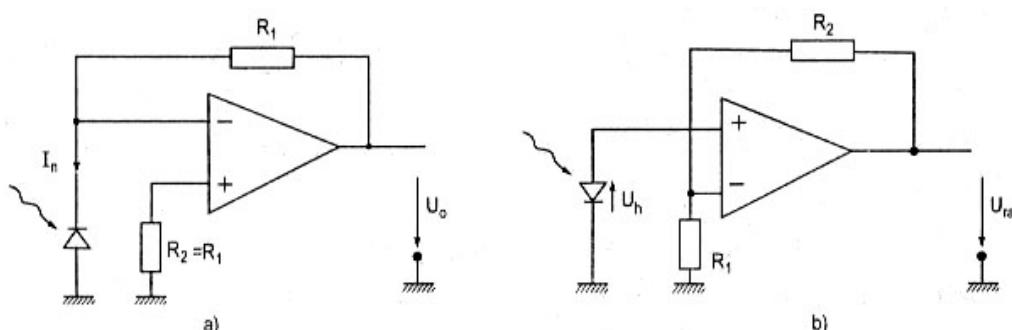
Để giảm nhiễu cần phải tăng R , đồng thời tổng trở vào của khuếch đại cần lớn để tránh làm giảm điện trở tải của diode.

Với sơ đồ 7.64b: điện áp ở đầu ra là:

$$U_r = (R_1 + R_2) I_r$$

Mạch này có điện trở tải của diode nhỏ và bằng $(R_1 + R_2)/K$ (với K là hệ số khuếch đại). Tụ điện C_2 có tác dụng bù trừ ảnh hưởng của tụ kí sinh C_{p1} với điều kiện $R_1 \cdot C_{p1} = R_2 \cdot C_2$. Mạch yêu cầu dòng vào rất nhỏ và sự suy giảm do nhiệt độ không đáng kể.

- Chế độ quang thê: đặc điểm của chế độ này là: có thể làm việc ở chế độ tuyến tính hoặc lôgarit tùy thuộc vào tải; ít nhiễu; thời gian hồi đáp lớn, dải thông nhỏ tuy nhiên mạch nhạy cảm với nhiệt độ khi hoạt động ở chế độ lôgarit.



*Hình 7.65. Sơ đồ mạch đo dòng ngược của phôtô điốt ở chế độ quang thê:
a) sơ đồ tuyến tính b) sơ đồ lôgarit*

Với sơ đồ tuyến tính như hình 7.65a thì điện áp ra là:

$$U_r = R_1 I_n$$

Với sơ đồ lôgarit như hình 7.65b thì điện áp ra là:

$$U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_h$$

f) Phôtô tranzito:

Nguyên lý làm việc: phôtô tranzito là các loại tranzito silic (NPN) hoạt động ở điều kiện: điện áp đặt lên bazơ bằng không, chỉ có điện áp trên collector, đồng thời chuyển tiếp B-C phân cực ngược (như hình 7.66a). Như vậy điện áp đặt tập trung chủ yếu trên chuyển tiếp B-C trong khi đó sự chênh lệch điện thế giữa E và B thay đổi không đáng kể ($U_{BE} \approx 0,6 \div 0,7V$).

Khi phần chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, nó sẽ hoạt động giống phôtô điốt ở chế độ quang dẫn với dòng ngược được tính bằng:

$$I_r = I_0 + I_p$$

với dòng quang điện I_p ứng với bước sóng $\lambda < \lambda_0$ được tính:

$$I_p = \frac{q \eta (1 - R) \exp(-\lambda X)}{hc} \lambda \phi_o$$

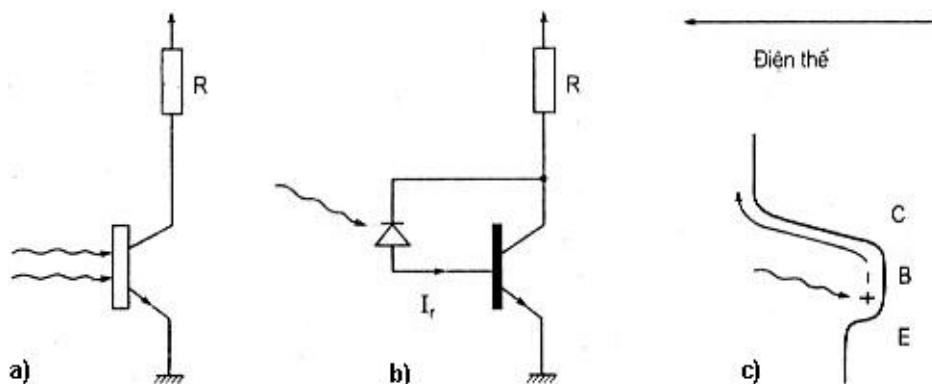
trong đó: ϕ_o - thông lượng ánh sáng chiếu qua bề dày X của bazơ;

Khi đó dòng ngược I_r sẽ đóng vai trò là dòng bazơ để tạo nên dòng collector I_c

(nhờ hiệu ứng tranzito), với:

$$I_c = (\beta + 1)I_r = (\beta + 1)I_o + \beta + 1)I_p$$

trong đó β là hệ số khuếch đại dòng với emitơ chung.



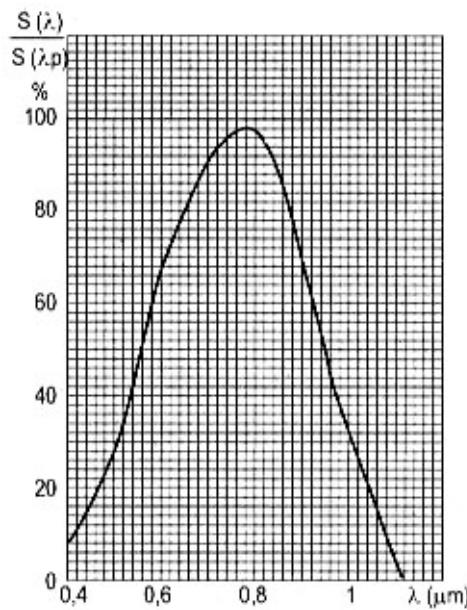
Hình 7.66. Phôtô tranzito:

a) mạch nguyên lý b) sơ đồ mạch điện c) sơ đồ mạch tương đương

Có thể coi phôtô tranzito như tổ hợp của một phôtô điốt và một tranzito biếu điện như hình 7.66b: phôtô điốt cung cấp dòng quang điện tại bazơ còn tranzito cho hệ số khuếch đại β , các điện tử lỗ trống phát sinh trong vùng bazơ (dưới tác dụng của ánh sáng) sẽ bị phân chia dưới tác dụng của điện trường trên chuyển tiếp B-C.

Trong trường hợp tranzito NPN thì các điện tử bị kéo về phía collecto; lỗ trống ở lại trong vùng bazơ (hình 7.66c) tạo thành dòng điện từ E đến B và C.

Độ nhạy của phôtô tranzito: với quang thông Φ_0 cho trước thì đường cong độ nhạy phôtô hồi đáp $S(\lambda)/S(\lambda_p)$ như hình 7.67 và được xác định bởi bản chất của tiếp giáp B-C (vật liệu chế tạo silic hoặc loại pha tạp chất):



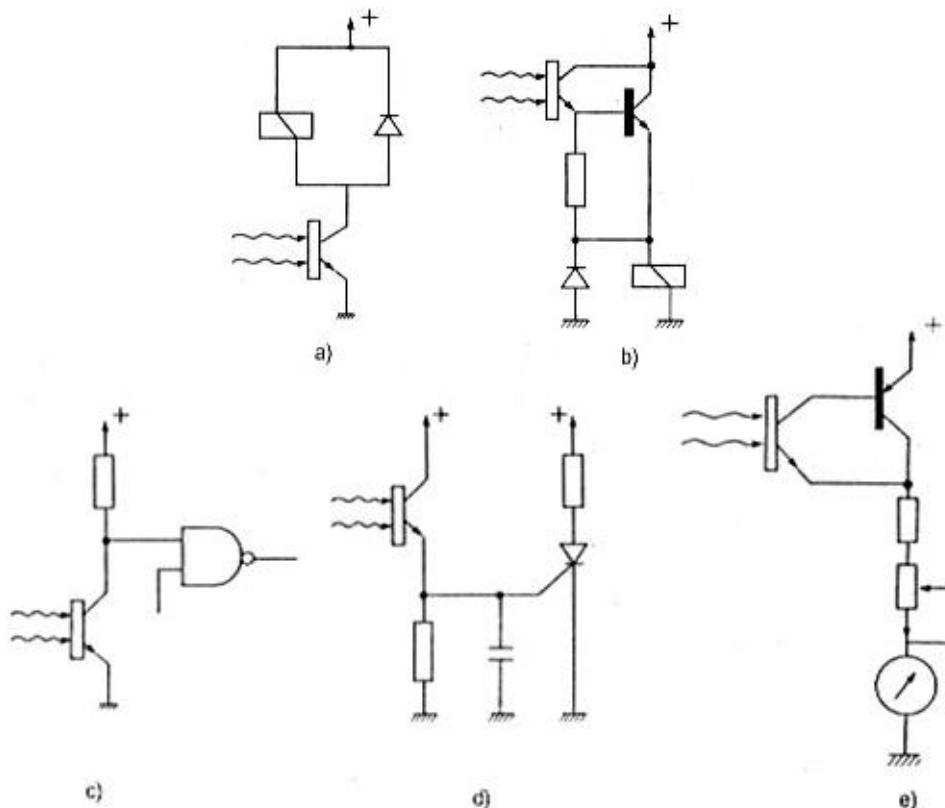
Hình 7.67. Đường cong độ nhạy phôtô hồi đáp $S(\lambda)/S(\lambda_p)$ của phôtô tranzito ứng với quang thông Φ_0 cho trước

Với bước sóng λ cho trước thì dòng collecto I_c không phải là hàm tuyến tính của thông lượng Φ hoặc độ chiếu sáng vì hệ số khuếch đại β phụ thuộc vào dòng I_c

(tức là phụ thuộc vào Φ) như vậy độ nhạy phôtô phụ thuộc vào quang thông Φ . Ví dụ: loại phôtô tranzito BPW22 có độ nhạy tăng 1,6 lần khi độ rọi sáng tăng 8 lần (từ $1mW/cm^2$ lên $8mW/cm^2$).

Độ nhạy phôtô $S(\lambda_p)$ ở bước sóng tương ứng với điểm cực đại có giá trị nằm trong khoảng $1 \div 100 A/W$.

Ứng dụng của phôtô tranzito: điều khiển đóng mở role, thyisto, công logic và đo ánh sáng như trên hình 7.68a, b, c, d.:



Hình 7.68. *Ứng dụng phôtô tranzito trong chế độ chuyển mạch để điều khiển:*

a) Role b) Role (sau khuếch đại) c) Cổng logic d) Thyisto

Bảng 7.8 là một số phôtô tranzito thông dụng và các thông số đặc trưng của nó:

Bảng 7.8: Một số phôtô tranzito thông dụng và các thông số đặc trưng

Loại phôtô tranzito	Độ nhạy ($\mu\text{A}/\text{lm}$)	Điện trở lúc tối (Ω)	Tần số cực đại (Hz)	Sức điện động (mV)
K-5 (Sêlen)	$250 \div 500$	$10^3 \dots 5.10^4$	$50 \div 100$	-
ΦЭCC-2	$3,5.10^3 \div 8.10^3$	$1,5.10^3 \dots 3.10^3$	$5 \div 10$	$60 \div 150$
ФД-1	2.10^4	5.10^5	10^5	-
ФДК-2	$10^4 \div 2.10^4$	$2.10^5 \div 10^6$	10^5	-
ФДК-1	3.10^3	$6,6.10^6$	10^5	-

7.7.5. Chuyển đổi ion hóa:

a) *Nguyên lý làm việc của chuyển đổi ion:* khi có tia phóng xạ và tia Rögen đi vào vùng không khí thì các chất khí bị ion hóa và tạo thành các điện tử và ion, dưới tác dụng của điện trường E các dòng điện tử và ion chuyển động đến các điện cực tạo thành dòng điện (cỡ từ $10^{-3} \div 10^{-7} \mu\text{A}$).

Nguồn tác nhân ion hóa thường là các tia phóng xạ như tia α , tia β , tia γ và tia

Rongen.

Chuyển đổi ion hóa có nhiều loại khác nhau nhưng cấu tạo thường nhiều khâu như hình 7.69:



Hình 7.69. Sơ đồ khối cấu trúc của chuyển đổi ion hóa

với: N - nguồn phóng xạ; CD - khâu chuyển đổi; BT - bộ thu bức xạ

b) Nguồn phóng xạ:

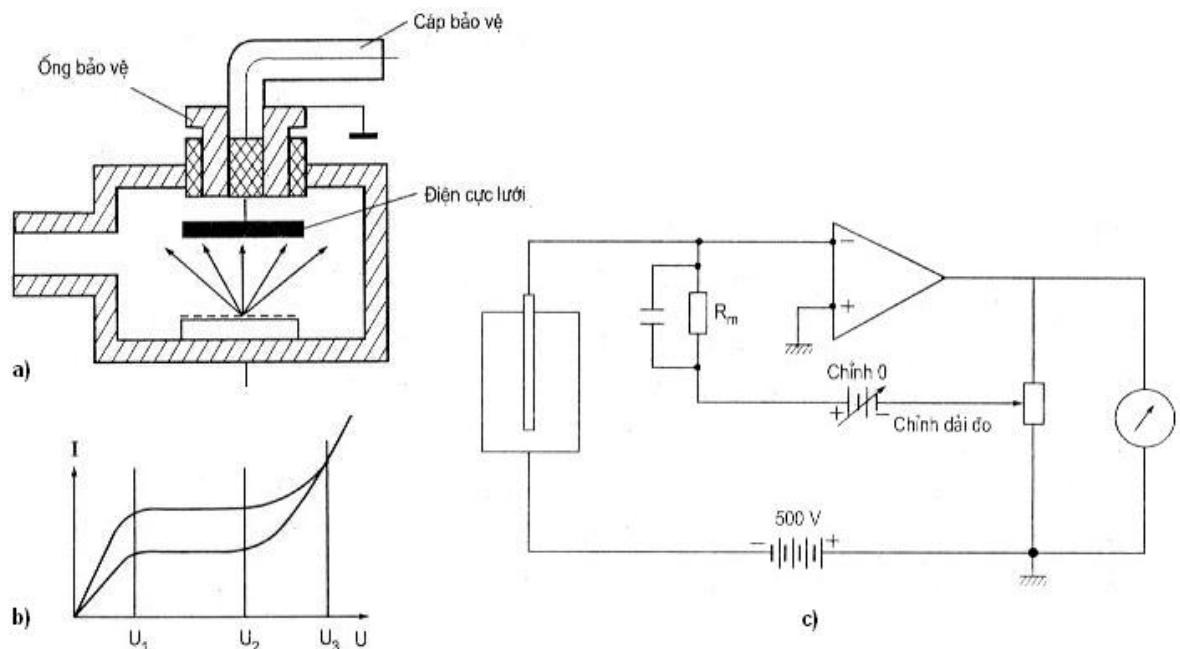
Tia α : là hạt nhân nguyên tử Hêli ($2He^+$): $m_\alpha > m_e$ tới 7000 lần. Năng lượng ban đầu $E_\alpha = 6MeV$ và trên quãng đường đi có thể ion hóa được 20 vạn ion.

Tia β : là dòng các điện tử có $E_\beta = 1,2MeV$. Chiều dài di chuyển $l_{max} = 5000mm$ trong không khí và ion hóa được 5 cặp ion/10mm.

Tia γ : là các bức xạ điện từ có bước sóng $\lambda_\gamma = 10^{-7} \div 10^{-10} mm$. Ngoài ra còn sử dụng Coban 60, Xezi 134, Tali 206...

c) Bộ thu bức xạ: có nhiệm vụ biến đổi năng lượng bức xạ hạt nhân thành điện năng. Bộ thu bức xạ chia thành 3 loại: bình ion hóa, máy đếm phóng điện trong chất khí và máy đếm nhấp nháy.

Bình ion hóa: là bình chứa đầy chất khí có hai điện cực nối với nguồn ngoài. Dưới tác dụng của tia phóng xạ, môi trường khí bị ion hóa gây ra dòng điện chạy trong bình. Cấu tạo của bình ion hóa như hình 7.70a:



Hình 7.70. Bình ion hóa:

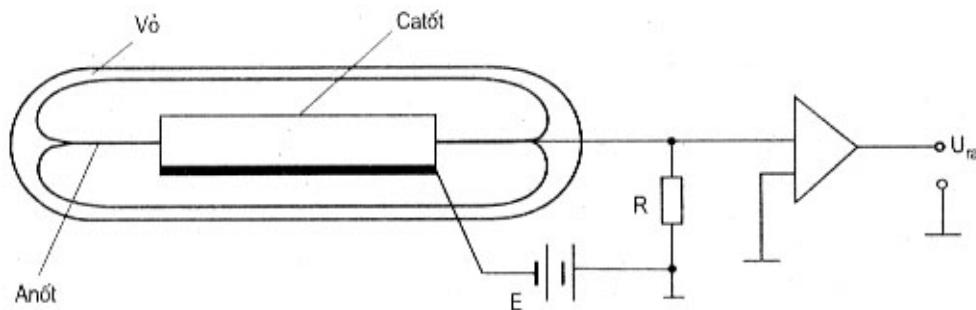
a) cấu tạo bình ion hóa - tia α b) đặc tính vôn - ampe c) mạch đo

Đặc tính $I = f(U)$ của bình ion hóa như hình 7.70b. Sơ đồ mạch đo của một chuyển đổi ion hóa như hình 7.70c.

Máy đếm phóng điện trong chất khí: là một thiết bị làm việc trong chế độ tự phóng điện (giai đoạn IV) trong đặc tính $I = f(U)$ của chuyển đổi ion.

Cấu tạo: như hình 7.71: gồm một bình hình trụ tròn bằng kim loại hoặc thủy tinh

chứa khí argon hoặc nitơ, bên trong phủ một lớp kim loại dẫn điện. Trong bình cảng sợi dây kim loại:

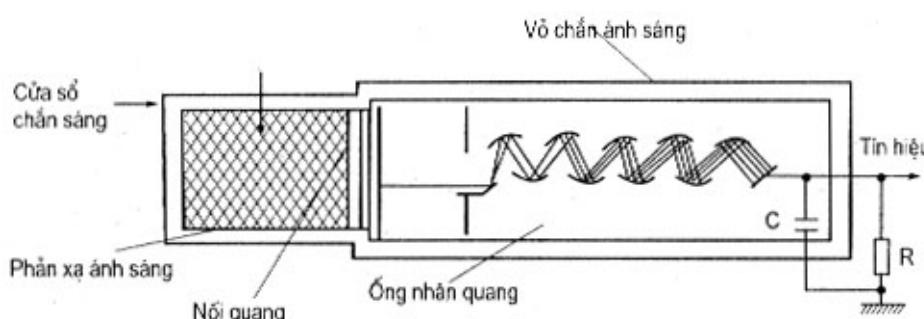


Hình 7.71. Cấu tạo của máy đếm phóng điện trong chất khí.

Ông đếm làm việc dựa vào hiện tượng tự phóng điện trong chất khí dưới tác dụng của tia phóng xạ và điện trường ngoài. Nhờ hiện tượng phóng điện mà dòng điện ion là những xung dòng điện đủ lớn, độ nhạy cao.

Ông đếm làm việc ở hai chế độ: chế độ đếm xung và chế độ đo dòng điện trung bình khi đưa qua mạch tích phân.

Máy đếm nháy nháy: có cấu tạo như hình 7.72: gồm có bộ nháy nháy và bộ nhân quang:



Hình 7.72. Cấu tạo của máy đếm nháy nháy

Bộ nháy nháy được chế tạo từ vật liệu cho phép biến đổi năng lượng của các hạt tối thành các photon ánh sáng có bước sóng giữa xanh và cực tím. Khi các photon tới catốt của bộ nhân quang chúng sẽ làm phát xạ điện tử ở đó và các điện tử được thu lại ở anode và đưa ra ngoài. Chất phát quang thường là Sunfua kẽm ZnS, NaI v.v.

d) Ứng dụng của chuyển đổi ion hóa: dùng để chuyển đổi khoảng cách giữa hai điện cực thay đổi, đo mật độ chất khí trong dải áp suất từ $100kN/m^2$ (1 at) đến $0,1N/m^2$. Đo tốc độ dòng khí trong đó số điện tử và ion được ion hóa phụ thuộc tốc độ dòng khí đi qua bình ion...

7.8. Chuyển đổi lượng tử.

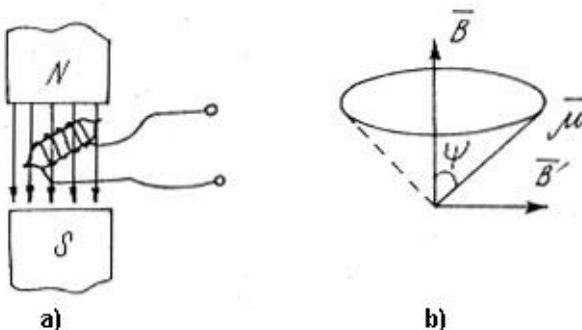
Là loại chuyển đổi dựa trên các hiện tượng vật lí hạt nhân nguyên tử. Ta sẽ xét loại chuyển đổi lượng tử phổ biến nhất đó là chuyển đổi dựa trên hiện tượng *cộng hưởng từ hạt nhân*. Nhờ việc sử dụng hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân vào kỹ thuật đo lường mà các phép đo cường độ từ trường cũng như các đại lượng khác có quan hệ với nó như dòng điện lớn chẳng hạn đã được nâng cao được độ chính xác

lên rất nhiều lần.

7.8.1. Nguyên lý hoạt động của chuyển đổi:

Nhiều hạt nhân nguyên tử có chứa một mômen từ được gọi là *dipol* kí hiệu là μ và mômen khối lượng chuyển động được gọi là *spin p*. Tỉ số của các mômen ấy là $\lambda = \mu/p$ gọi là *hệ số thủy từ* của hạt nhân, nó là một hằng số và không phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài.

Nếu ta đặt vật liệu (ví dụ: nước nặng) trong một ống nghiệm, sau đó đặt cả ống nghiệm vào trong một từ trường đều (như hình 7.73a) có độ từ cảm B thì các mômen từ $\bar{\mu}$ sẽ quay xung quanh vectơ \bar{B} (như hình 7.73b):



Hình 7.73. Nguyên lý của chuyển đổi lượng tử:

- a) vật liệu trong ống nghiệm đặt trong từ trường B
- b) các mômen từ $\bar{\mu}$ quay xung quanh vectơ \bar{B}

Lúc đó *mômen lực* M tác động lên các mômen từ μ được thể hiện bằng phương trình:

$$M = |\bar{\mu} \cdot \bar{B}|$$

còn phương trình chuyển động sẽ có dạng:

$$\frac{d\bar{P}}{dt} = M = |\bar{\mu} \cdot \bar{B}|$$

mặt khác :

$$\frac{dP}{dt} = P\omega$$

với ω - là tần số quay của mômen từ xung quanh B.

Từ đó ta có :

$$\mu \cdot B = P \cdot \omega \Leftrightarrow \omega = \frac{\mu B}{P} = \gamma \cdot B$$

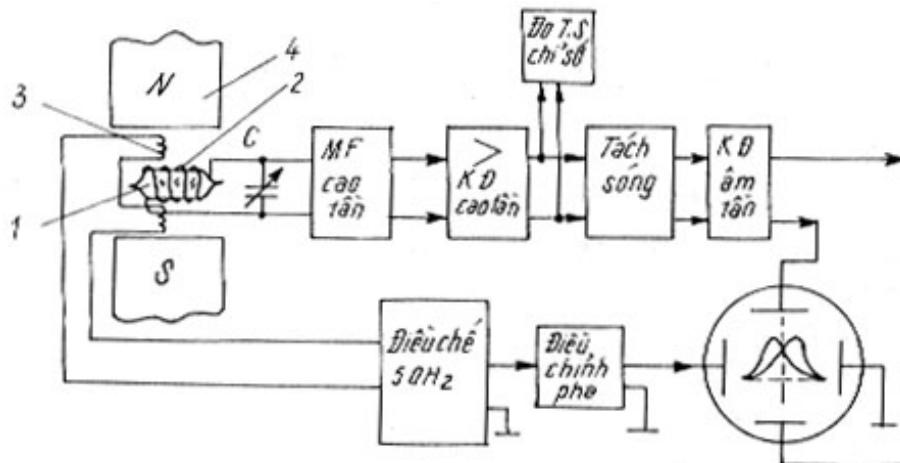
Nếu trong mặt phẳng vuông góc với từ trường \bar{B} ta tạo ra một từ trường xoay chiều \bar{B}' có tần số cao cùng quay với mômen từ dipol thì khi vectơ \bar{B}' quay đồng bộ với các mômen từ dipol μ sẽ gây ra sự thay đổi của từ trường cao tần và sẽ xuất hiện mômen tác động lên dipol μ làm thay đổi góc φ giữa \bar{B} và $\bar{\mu}$. Khi có sự cân bằng giữa tần số quay ω của mômen từ $\bar{\mu}$ xung quanh \bar{B} và tần số quay của vectơ \bar{B}' thì sẽ sinh ra công hưởng. Đó là hiện tượng *công hưởng từ hạt nhân*.

Như vậy có thể xác định B theo giá trị tần số công hưởng ω và hệ số thủy từ γ .

Hệ số γ đối với mỗi chất có thể xác định chính xác đến 0,001% còn sai số đo ω có thể đạt đến 0,01% bằng tần số kế chỉ thị số. Cho nên nếu sử dụng loại chuyển đổi này có thể đo độ từ cảm của từ trường với độ chính xác cao hơn hẳn các phương pháp thông thường khác.

7.8.2. Mạch đo:

Mạch đo của chuyển đổi công hưởng từ hạt nhân như hình 7.74: gồm chuyển đổi và các mạch xử lý, hiển thị:



Hình 7.74. Mạch đo của chuyển đổi công hưởng từ hạt nhân

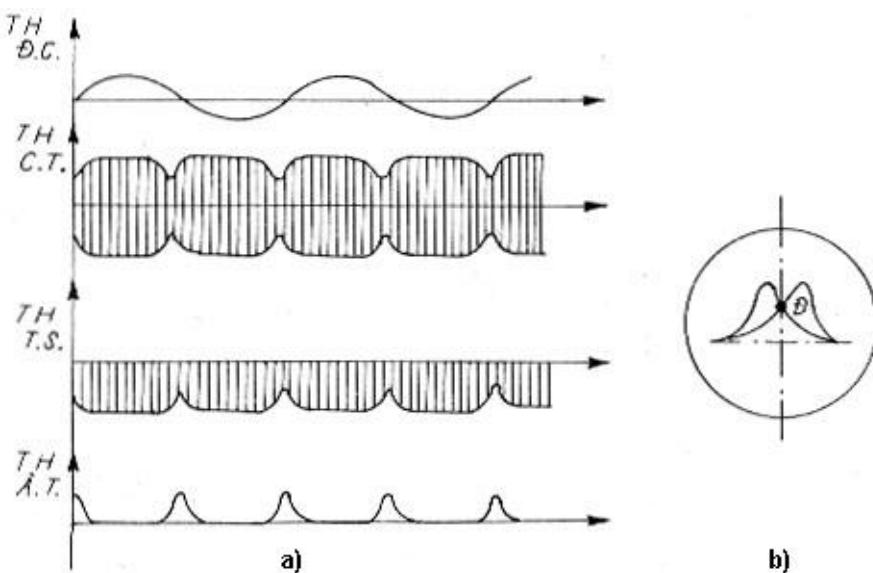
Chuyển đổi gồm ống nghiệm 1 chứa một chất (ví dụ nước nặng D) đặt vào trong một cuộn dây 2. Cuộn dây này cùng với điện dung C (có thể thay đổi được) tạo thành một máy phát cao tần LC. Ống nghiệm và cuộn dây được đặt trong một từ trường đều có độ từ cảm cần đo B_x của nam châm vĩnh cửu 4.

Khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng là lúc mà tần số quay của proton (hạt nhân hyđrô) bằng tần số của máy phát cao tần ở một giá trị nào đó của độ từ cảm B . Ở trạng thái đó sẽ xảy ra sự mất mát năng lượng làm giảm biên độ dao động của máy phát. Việc giữ được hiện tượng cộng hưởng và nhận được tín hiệu liên tục được đảm bảo nhờ từ trường không đổi B_x được điều chỉnh bởi một từ trường xoay chiều có tần số thấp 50Hz bằng một cuộn dây phụ 3 đặt trong từ trường. Như vậy điện áp cao tần của máy phát cũng bị điều chỉnh. Tiếp theo tín hiệu được đưa vào khuếch đại cao tần, qua tách sóng vào khuếch đại âm tần và đưa đến hai bản cực Y của dao động kí điện tử.

Mặt khác tín hiệu điều chỉnh 50 Hz đồng thời được đưa qua bộ điều chỉnh pha vào hai bản cực Y của dao động kí.

Quá trình này được biểu diễn ở hình 7.75a: tín hiệu điều chỉnh 50Hz có chu kỳ là T_M , cứ mỗi chu kỳ T_M điều kiện cộng hưởng được nhắc lại hai lần. Khi tín hiệu đi qua điểm “O” thì giá trị B tại đó có cộng hưởng sẽ nhắc lại. Như thế trên màn hình của dao động kí sẽ xuất hiện hai tín hiệu như hình 7.75b.

Bằng cách điều chỉnh pha của tín hiệu điều chỉnh vào hai cực X của dao động kí ta có thể tách thành hai tín hiệu như hình 7.75b. Điểm giao nhau ở giữa Đ sẽ là điểm cộng hưởng. Khi điểm Đ đạt vị trí ở giữa màn hình của dao động kí thì ta đo tần số cao tần bằng tần số kế chỉ thị số, từ đó tính được độ từ cảm B_x cần đo.



Hình 7.75. Các tín hiệu của quá trình đo bằng chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân:

- a) Tín hiệu cộng hưởng từ hạt nhân
- b) Tín hiệu cộng hưởng trên màn dao động kí điện tử

7.8.3. Ứng dụng:

Phương pháp trên được ứng dụng để đo độ từ cảm của từ trường đều từ $5 \cdot 10^{-3}$ T trở đi. Giới hạn đo phụ thuộc vào hạt nhân nguyên tử của chất mà ta sử dụng.

Ví dụ: nếu dùng hạt nhân hyđrô (H_2) thì có thể đo từ trường đến 0,5T; nếu dùng L^7_i thì đo từ $0,5 \div 1,0$ T còn dùng nước nặng D thì có thể đo từ 1,0T trở đi.

Sai số cho phép đo từ trường này phụ thuộc vào các yếu tố như sau:

- Sai số đo tần số có thể đạt 0,001% ;
- Sai số đo việc xác định hệ số thủy từ γ là 0,001% ;
- Sai số đo việc tìm cộng hưởng có thể đạt $0,05 \div 0,1\%$.

Vì vậy phép đo từ trường này có thể đạt đến sai số $0,1\% \div 0,2\%$. Trong khi đó bằng các phương pháp thông thường ta chỉ đạt được sai số $1,5\% \div 2\%$.

Ngoài việc đo từ trường, trong thực tế phương pháp này còn được ứng dụng rộng rãi để đo dòng điện lớn. Trong lĩnh vực y học người ta sử dụng loại chuyển đổi này để sản xuất máy chụp cắt lớp (TURBOGRAPH) là loại máy hiện đại để phát hiện các khối u ở bên trong não hay trong cơ thể thay cho việc sử dụng máy chụp X-quang sử dụng tia X độc hại.

7.8.4. Chuyển đổi cộng hưởng từ điện tử:

Ngoài chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân người ta còn sử dụng chuyển đổi cộng hưởng từ điện tử, chuyển đổi này có phương pháp và thiết bị để tìm cộng hưởng giống như đối với chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân.

Hệ số thủy từ điện tử được tính theo công thức sau đây:

$$\gamma_{dt} = \frac{e}{2m_e c}$$

với: e - điện tích của điện tử

m_e - khối lượng của điện tử

c - tốc độ ánh sáng

So sánh với cộng hưởng từ hạt nhân thì cộng hưởng từ điện tử có các ưu điểm là:

- Hệ số thủy từ điện tử γ_{dt} lớn hơn 10^3 lần hệ số thủy từ hạt nhân γ và tần số cộng hưởng cũng lớn hơn 3 lần.

- Tín hiệu cộng hưởng từ điện tử cũng lớn hơn tín hiệu cộng hưởng từ hạt nhân vì thế mà có thể đo được B_x nhỏ hơn ($từ 10^{-5} \div 5.10^{-4} T$) mà phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân khó thực hiện được.

Tuy nhiên sai số của phương pháp cộng hưởng từ điện tử lớn hơn cộng hưởng từ hạt nhân vì độ rộng của cộng hưởng khá lớn làm cho việc tìm cộng hưởng vấp phải sai số lớn hơn.

Về ứng dụng: cộng hưởng từ điện tử cũng sử dụng để đo từ trường đều và các đại lượng khác liên quan đến từ trường đều.

7.9. Chuyển đổi đo độ ẩm.

7.9.1. Khái niệm chung:

Độ ẩm là một thông số quan trọng tác động trực tiếp tới con người, các quá trình lí hóa và sinh lí, thiết bị máy móc... Trong công nghiệp độ ẩm ảnh hưởng trực tiếp đến các sản phẩm, cụ thể như ngành dệt: khi thay đổi độ ẩm là đặc tính của sợi thay đổi. Hoạt động của các mạch vi điện tử cũng phụ thuộc rất nhiều vào độ ẩm.

Việc đo độ ẩm gặp nhiều khó khăn hơn đo các đại lượng khác như lưu lượng, nhiệt độ, mức, áp suất... Lý do chủ yếu là giới hạn độ ẩm rất rộng từ vài ppm (phần triệu) đến 100%. Ngoài ra phép đo độ ẩm nằm trong khoảng nhiệt độ rộng từ $-60^{\circ}C$ đến $1000^{\circ}C$, có thể có các thành phần ăn mòn và cá hạt bẩn hoặc hóa chất. Do vậy có nhiều kỹ thuật và dụng cụ đo độ ẩm khác nhau, vấn đề là cần chọn kiểu cảm biến và phương pháp đo thích hợp với từng hoàn cảnh cụ thể.

Sau đây là một số thông số quan trọng đặc trưng cho độ ẩm:

- Khối lượng M của không khí ẩm chứa trong một thể tích nào đó là tổng của khối lượng không khí khô M_k và khối lượng của hơi nước M_h . Tương ứng là các áp suất:

- $P = P_k + P_h$: áp suất toàn phần của không khí ẩm
- P_k : áp suất riêng của không khí khô
- P_h : áp suất riêng phần của hơi nước.

- Áp suất hơi bão hòa P_{bh} ở nhiệt độ T (đo bằng đơn vị Pa) là áp suất hơi nước ở trạng thái cân bằng với nước lỏng, kí hiệu là $P_{bh}(T)$. Với áp suất lớn hơn áp suất này sẽ xảy ra hiện tượng ngưng tụ.

- Độ ẩm tương đối $RH\%$ là tỉ số giữa áp suất riêng phần của hơi nước và áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ T :

$$RH\% = \frac{P_h}{P_{bh}(T)} \cdot 100\%$$

- Nhiệt độ hóa sương T_{hs} ($^{\circ}C$) là nhiệt độ cần phải làm lạnh không khí ẩm xuống tới đó để đạt được trạng thái bão hòa, với điều kiện tỉ số trộn $Q_{tr} = M_h / M_k$ không thay đổi trong quá trình làm lạnh. Đó cũng là nhiệt độ để $P_h = P_{bh}(T)$.

- Nhiệt độ ẩm T_a ($^{\circ}C$) là nhiệt độ cân bằng của một khối lượng nước hóa hơi và không khí (trong trường hợp nhiệt lượng cần thiết để hóa hơi chỉ được trích từ không khí).

7.9.2. Phân loại các phương pháp và dụng cụ đo độ ẩm (ẩm kế):

Các ẩm kế có thể được phân thành cá loại chính:

- Ẩm kế dựa trên nguyên lý đo tính chất của vật liệu có liên quan đến độ ẩm. Thuộc loại này có ẩm kế biến thiên trở kháng, ẩm kế tinh thể thạch anh

- Ẩm kế dựa trên nguyên lý vật lý cho phép xác định trực tiếp độ ẩm. Thuộc loại này có ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế điện ly...

Các thông số của không khí ẩm và loại ẩm kế thích hợp để đo chúng được phân loại như sau:

- Độ ẩm tương đối RH: được đo bằng ẩm kế biến thiên điện trở và biến thiên điện dung

- Nhiệt độ điểm sương T_{hs} được đo bằng ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế hấp thụ, ẩm kế ôxít nhôm, ẩm kế điện ly

- Nhiệt độ ẩm T_a đo bằng psychromét

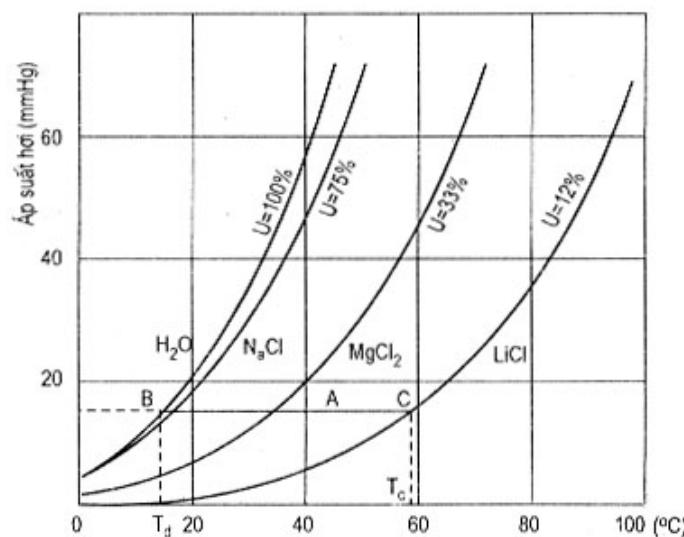
7.9.3. Chuyển đổi độ ẩm bằng phương pháp hấp thụ:

a) Nguyên lý làm việc của chuyển đổi: dựa trên hai hiện tượng:

- Áp suất hơi phía trên một dung dịch bão hòa chứa các muối hòa tan nhỏ hơn áp suất hơi ở phía trên mặt nước ở cùng điều kiện nhiệt độ. Hình 7.76 là đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa.

- Một số chất nếu ở trạng thái khô thì có điện trở rất cao nhưng khi hút ẩm hơi nước ở môi trường xung quanh thì điện trở của chúng giảm một cách đáng kể (ví dụ như các chất clorualiti - LiCl, anhidrit photphoric - P_2O_5).

Khi đo độ ẩm người ta nung nóng dung dịch muối chứa trong ẩm kế cho đến khi áp suất hơi bão hòa ở phía trên dung dịch bằng áp suất hơi của môi trường không khí bình thường. Từ nhiệt độ đó xác định được áp suất hơi P_h và nhiệt độ hóa sương T_{hs} . Thông thường chọn dung dịch muối bão hòa sao cho ở một nhiệt độ cho trước thì áp suất hơi càng nhỏ càng tốt, thường chọn muối LiCl.



Hình 7.76. Đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa.

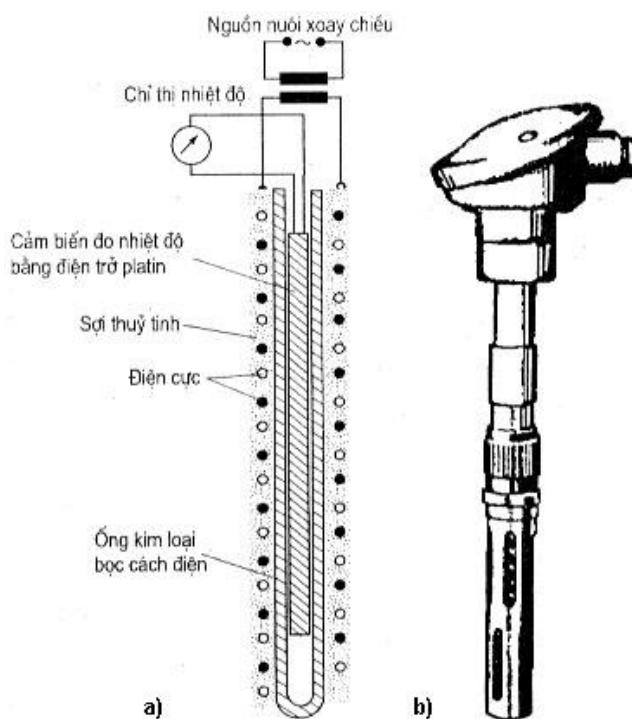
Bảng 7.9 là các giá trị áp suất hơi bão hòa trên mặt nước và trên dung dịch muối clorualiti bão hòa ở những nhiệt độ khác nhau ở đường cong áp suất hơi gần tương ứng với đường cong độ ẩm tương đối 12%.

Ví dụ: cùng một giá trị áp suất hơi bằng 2163Pa, nhiệt độ hoá sương của nước là $18,8^{\circ}\text{C}$ nhưng nhiệt độ cân bằng của dung dịch LiCl bão hòa là 60°C .

Bảng 7.9. các giá trị áp suất hơi bão hòa trên mặt nước và trên dung dịch muối clorualiti bão hòa ở những nhiệt độ khác nhau

Nhiệt độ dung dịch $^{\circ}\text{C}$	Áp suất hơi trên mặt nước (Pa)	Áp suất hơi trên mặt LiCl (Pa)	Độ ẩm tương đối %
5	872,47	119,2	13,7
10	1227,94	157,6	12,8
20	2338,54	260,6	11,1
30	4245,20	473,9	11,2
40	7381,27	1066,1	11,1
50	12344,78	1727,5	11,0
60	19933	2163,4	10,9

b) *Âm kế LiCl*: cấu tạo của chuyển đổi: như hình 7.77: gồm có một ống được bao bọc bởi một lớp vải tẩm dung dịch LiCl, trên đó có quấn hai điện cực bằng kim loại không bị ăn mòn. Điện cực được đốt nóng bằng nguồn cung cấp làm bay hơi nước. Khi nước bay hơi hết thì điện trở của chuyển đổi tăng lên làm cho dòng điện giữa các điện cực giảm đáng kể.



Hình 7.77. Âm kế đo độ ẩm bằng phương pháp hấp thụ dùng LiCl:
a) sơ đồ nguyên lý cấu tạo b) hình dáng bên ngoài

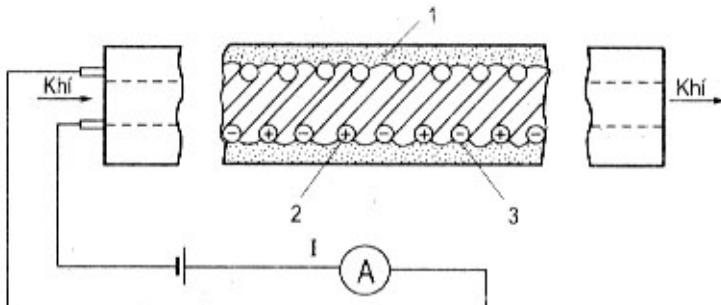
Khi LiCl hấp thụ hơi nước ở môi trường xung quanh thì độ ẩm của nó tăng lên, điện trở của nó giảm và dòng điện giữa các điện cực tăng lên làm cho nhiệt độ của chuyển đổi lại tăng. Đến một thời điểm nào đó sẽ đạt được một sự cân bằng giữa muối LiCl và dung dịch. Sự cân bằng này liên quan đến áp suất hơi và đồng thời đến nhiệt độ hoá sương T_{hs} nhờ vậy có thể xác định được T_s .

Đặc điểm của chuyển đổi LiCl là có thể dùng đo nhiệt độ hoá sương với độ

chính xác cao; mặt khác do đo nhiệt độ cân bằng thực hiện bằng đốt nóng chuyển đổi nên đơn giản, độ tin cậy cao, giá thành hạ, có thể đạt tới độ chính xác $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ tùy thuộc vào độ chính xác của chuyển đổi đo nhiệt độ, cấu tạo của đầu đo và điều kiện sử dụng.

Thời gian hồi đáp chậm (mươi phút), phạm vi đo nhiệt độ hoá sương của các chất từ $-10^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$.

c) *Âm kế anhidrit phôtphoric P_2O_5* : chuyển đổi có cấu tạo như hình vẽ 7.78: gồm một ống cách điện 1 có mặt trong đặt hai điện cực xoắn 2 và 3, giữa chúng phủ màng mỏng P_2O_5 . Màng có điện trở lớn ở dạng khô và điện trở bị giảm khi hút ẩm.

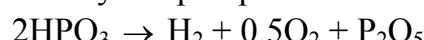


Hình 7.78. Cấu tạo của âm kế anhidrit phôtphoric P_2O_5

Không khí cần đo độ ẩm được đưa qua ống với vận tốc không đổi. Lúc đó liên tục diễn ra hai quá trình là: sự hút ẩm của màng để tạo thành axit phôtphoric:



và điện phân nước để tái sinh anhydric phôtphoric:



Dòng điện I tỉ lệ với độ ẩm tuyệt đối của không khí:

$$I = \frac{FZqB}{M}$$

với: F - hằng số Faraday;

Z - độ kiềm;

q - lưu tốc dòng khí m^3/s ;

M - trọng lượng phân tử H_2O ;

P - độ ẩm tuyệt đối g/m^3

Chuyển đổi loại P_2O_5 cho phép đo hơi nước trong dải đo từ $10^{-4} \div 1\%$ theo khối lượng với sai số $5\% \div 10\%$.

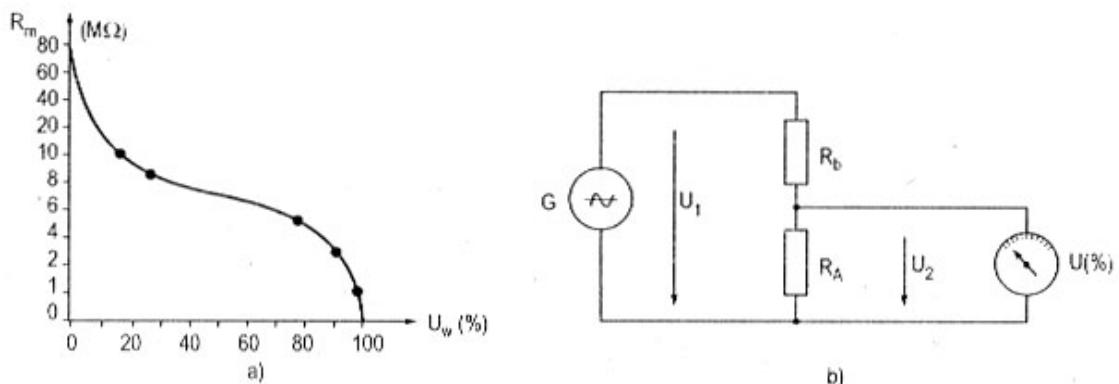
7.9.4. Chuyển đổi đo độ ẩm biến thiên trở kháng:

Đó là các chuyển đổi có tính chất hút ẩm được chế tạo dưới dạng điện trở hoặc tụ điện. Dưới tác động của độ ẩm của môi trường sẽ làm cho các thông số R hoặc C thay đổi. Các thông số này phụ thuộc vào độ ẩm của môi trường, chúng được chia thành hai loại là điện trở và tụ điện.

a) *Âm kế điện trở*: kiểu điện trở kim loại gồm một đế có kích thước nhỏ (vài mm^2) được phủ chất hút ẩm và đặt hai thanh dẫn bằng kim loại không bị ăn mòn và oxi hóa. Trị số điện trở R đo được giữa hai thanh dẫn phụ thuộc vào hàm lượng nước (tỉ số giữa khối lượng nước hấp thụ và khối lượng chất khô) và vào nhiệt độ chất hút ẩm. Hàm lượng nước lại phụ thuộc vào độ ẩm tương đối và nhiệt độ.

Đường cong đặc trưng cho sự phụ thuộc của điện trở với độ ẩm tương đối và nhiệt độ của âm kế điện trở như hình 7.79a.

Hình 7.79b là mạch bù ảnh hưởng của nhiệt độ, trong đó chuyển đổi độ ẩm R_A và điện trở bù R có hệ số nhiệt độ α_t giống nhau.



Hình 7.79. *Âm kế điện trở:*

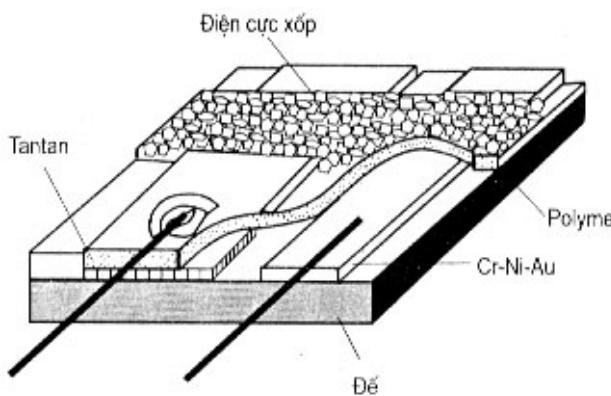
a) *Sự phụ thuộc của điện trở vào độ ẩm tương đối*

b) *Mạch đo*

Đặc điểm của âm kế điện trở: có thể đo được độ ẩm tương đối từ 5%÷95%, trong dải nhiệt độ $-10^0\text{C} \div 60^0\text{C}$. Thời gian hồi đáp cỡ 10 giây và đạt độ chính xác từ $\pm 2\% \div 5\%$.

b) *Âm kế tụ điện:* loại chuyển đổi này được chế tạo thành một tụ điện với lớp điện môi giữa hai bản cực là các chất hút ẩm. Do hấp thụ hơi nước nên hằng số điện môi thay đổi làm cho điện dung của tụ thay đổi.

Hình 7.80 là một chuyển đổi độ ẩm tụ điện có lớp điện môi là chất polyme. Lớp polyme được phủ trên điện cực thứ nhất là tantan sau đó là crôm phủ tiếp lên polyme bằng phương pháp bay hơi trong chân không để làm điện cực thứ hai. Thời gian hồi đáp phụ thuộc vào độ dày lớp điện môi ε .



Hình 7.80. *Chuyển đổi độ ẩm tụ điện có lớp điện môi là chất polyme*

Với chuyển đổi tụ điện polyme có thể đo được độ ẩm với dải đo từ 0%÷100%; dải nhiệt độ từ $-40^0\text{C} \div 100^0\text{C}$. Độ chính xác $\pm 2\% \div 3\%$ và thời gian hồi đáp cỡ vài giây.

Ngoài ra người ta còn sử dụng chất ôxít nhôm (Al_2O_3) làm chất điện môi. Trong đó điện cực thứ nhất là một tấm nhôm được chế tạo bằng phương pháp anốt hoá, chiều dày của lớp Al_2O_3 cỡ $0,3 \mu\text{m}$. Loại chuyển đổi này chỉ thích hợp với độ ẩm thấp nên lớp điện môi càng mỏng càng tốt. Điện cực thứ hai là một màng kim loại, được chế tạo từ Cu, Au, Pt ... Chuyển đổi loại này cho phép đo nhiệt độ hóa sương T_s trong phạm vi từ $-80^0\text{C} \div +70^0\text{C}$, thời gian hồi đáp cỡ vài giây. Có thể làm việc

trong dải áp suất rộng đến hàng trăm bar. Nhược điểm là không dùng được trong môi trường ăn mòn như NaCl, lưu huỳnh.

7.10. Khái niệm về chuyển đổi thông minh có sử dụng μP.

7.10.1. Sự ra đời các cảm biến thông minh:

Chúng ta xét đến yêu cầu của việc thông minh hóa các cảm biến theo các khía cạnh sau:

- Hiện nay trong các hệ thống thu thập số liệu đo lường thì các cảm biến là khâu yếu nhất của hệ thống so với các bộ biến đổi điện - điện và các hệ thống xử lý kết quả đo. Sai số và các đặc tính kỹ thuật khác của hệ thống không vượt quá sai số của cảm biến nếu không có biện pháp công nghệ và xử lý để cải tiến các đặc tính kỹ thuật của cảm biến. Rõ ràng yêu cầu cải tiến các cảm biến hiện có là một vấn đề cấp thiết. Việc cải tiến đó dựa trên tình hình phát triển của công nghệ và kỹ thuật điện tử - tin học.

- Hiện nay đã xuất hiện các chuyển đổi sơ cấp trên cơ sở công nghệ và vi điện tử, vi cơ điện tử (MEMS) đạt kết quả tốt hơn các chuyển đổi cũ về kích thước và tính năng kỹ thuật. Chính nhờ những công nghệ đó mà ta có thể sử dụng chúng vào nhiều cảm biến khác nhau, giúp cho việc đa chức năng hóa các cảm biến.

- Các vi xử lý, vi tính đơn phiến ngày càng được sử dụng rộng rãi, khả năng xử lý ngày càng cao, giá thành ngày càng thấp. Vì thế khi sử dụng chúng kết hợp với các chuyển đổi sơ cấp để tạo ra các cảm biến thông minh không làm tăng nhiều giá thành của cảm biến.

- Nhờ tính năng cao của các vi xử lý mà các nhà kỹ thuật đo lường đã đưa ra được nhiều biện pháp và phương pháp đo để đa năng hóa các cảm biến, các thiết bị đo; đã đề ra nhiều biện pháp xử lý để nâng cao tính chính xác, khả năng thông tin, tăng tốc độ đo, nâng cao tính ổn định, loại trừ các yếu tố ảnh hưởng đến thiết bị đo. Trên cơ sở đó các cảm biến thông minh đã ra đời.

Người ta quan tâm nhiều đến cảm biến thông minh vì chúng có những khả năng sau:

- Sử dụng đa chức năng, tức là có thể đo nhiều đại lượng khác nhau với khoảng đo khác nhau.
- Có khả năng chương trình hóa với ý nghĩa: quá trình đo có thể theo một chương trình định trước, chương trình này có thể thay đổi bằng các thiết bị ghi chương trình (programator).
- Tự động xử lý kết quả đo như:
 - Tự động khắc độ, tự động chọn thang đo.
 - Tự động bù sai số hệ thống và ngẫu nhiên.
 - Tự động bù ảnh hưởng các yếu tố khác nhau.
 - Tự động truyền kết quả lên cấp trên theo chu kỳ hay theo địa chỉ (chức năng truyền thông).

Cấu trúc cảm biến thông minh gồm các chuyển đổi sơ cấp kết hợp với các bộ biến đổi và bộ vi xử lý hay vi tính đơn phiến. Kèm theo với bộ vi xử lý là một bộ ghi chương trình để ghi các chương trình xử lý, các số liệu thống kê và khắc độ...

7.10.2. Vi điện tử hoá các chuyển đổi sơ cấp:

Để nâng cao tính năng của các cảm biến, người ta đã cố gắng đưa công nghệ vi điện tử vào các chuyển đổi đo lường sơ cấp để biến hình hoá chúng và nâng cao các đặc tính kỹ thuật của chúng làm phần tử cơ bản các cảm biến thông minh.

a) **Chuyển đổi điện trở:** người ta đã làm các nhiệt điện trở, các điện trở chính xác và thậm chí các cầu đo bằng kỹ thuật vi điện tử.

Người ta cũng đã chế tạo các chuyển đổi điện trở lực căng bằng công nghệ vi điện tử, nuôi cấy đa tinh thể trên đơn tinh thể được ứng dụng trong các cảm biến đo trọng lượng (cân) trong các áp kế (đo áp suất) và trong các áp kế vi sai (dùng để đo lưu lượng).

Nhiệt độ, áp suất, lưu lượng là ba đại lượng thường gặp nhất trong các hệ thống tự động hoá quá trình sản xuất. Các chuyển đổi điện trở lực căng này được nuôi cấy trên màng kim loại vì thế không bị ảnh hưởng của hiện tượng trượt gây nên bởi công nghệ dán điện trở.

Người ta cũng đã chế tạo cả điện trở bù nhiệt độ ngay trên cảm biến để loại trừ ảnh hưởng của nhiệt độ lên kết quả đo.

b) **Chuyển đổi quang điện:** phôtô điốt, optron, ống dẫn quang với công nghệ vi điện tử, người ta có thể chế tạo phôtô điốt, optron với kích thước nhỏ nhưng có hiệu quả cao. Optron kết hợp với dây dẫn quang làm tăng hiệu quả của các phương pháp đo quang điện.

Ví dụ: thiết bị đo tốc độ (optron tachometric), các quang kế, quang phổ kế, các máy so màu đo độ đục đã được giảm đáng kể kích thước, giảm bớt kích thước mẫu thử, thậm chí có thể thực hiện phép đo tại chỗ trong cơ thể. Các cảm biến được kết hợp với khả năng xử lý của máy tính đã trở thành các thiết bị phân tích thông minh.

c) **Công nghệ màng bán thấm có chọn lọc:** đã tạo ra được các chuyển đổi pH kèm với khuếch đại bán dẫn trường ở đầu vào có kích thước không quá 1mm, làm linh hoạt hoá các phép đo pH với những yêu cầu khác nhau.

Trong phân tích nồng độ vật chất thì màng lọc có chọn lọc trở thành những bộ phận rất quý của các máy phân tích khí hiện đại có độ chọn lọc cao với nồng độ thấp.

Rõ ràng với các chuyển đổi sơ cấp đã nói trên sẽ cho phép trong một thời gian không lâu tạo ra được các cảm biến đa chức năng, linh hoạt và có các tính năng kỹ thuật tốt hơn nhiều các cảm biến thông thường hiện nay.

Nghiên cứu các cảm biến đa chức năng với chuyển đổi sơ cấp điện tử là một nội dung của việc nghiên cứu để tạo ra các cảm biến thông minh.

7.10.3. Xử lí sơ bộ kết quả đo nhờ cảm biến thông minh:

Phương trình cơ bản của cảm biến có dạng:

$$Y = f(X, a, b, c\dots)$$

Phương trình này nói lên nguyên tắc hoạt động của chuyển đổi, ở đây X là đại lượng đo (còn gọi là đại lượng chủ); các đại lượng a, b, c\dots được gọi là các yếu tố ảnh hưởng (nhiều) mà ta cần loại trừ.

Yêu cầu của các cảm biến là tạo được đặc tính $Y = f(X)$ và quan hệ này được lặp lại với một giá trị chính xác để từ Y ta có thể suy ra X với một sai số bé hơn sai số yêu cầu. Về công nghệ mặc dù có những tiến bộ đáng kể nhưng vẫn còn xa với yêu

cầu.

Trong các cảm biến thông minh đã sử dụng triệt để khả năng xử lý kết quả đo của các bộ vi xử lí hay các máy tính đơn phiến để nâng cao các đặc tính kỹ thuật của các cảm biến. Có thể nêu ra các xử lí mà các vi xử lí hay vi tính đơn phiến phải làm:

a) Xử lí khắc độ: yêu cầu cơ bản nhất đối với chuyển đổi là tạo được đặc tính:

$$Y = f(X)$$

cụ thể là:

$$Y_i = K_i \cdot X_c$$

với K_i luôn phải được giữ là hằng số

Việc khắc độ hay chuẩn độ là xác định các K_i với sai số của nó phải đảm bảo:

$$\max \left| \frac{\Delta K_i}{K_i} \right| \leq \gamma_{Ki}$$

Trong trường hợp cảm biến bị nhiều yếu tố ngẫu nhiên tác động thì K_i được xác định bằng phương pháp thống kê:

$$\overline{K_i} = \frac{\sum_{j=1}^m K_{ij}}{m}$$

$\overline{K_i}$ này được đơn vị xử lí lưu giữ làm hệ số biến đổi tại điểm X_i của cảm biến và tính ra được:

$$X_i = \frac{Y_i}{\overline{K_i}}$$

Sai số tuyệt đối ngẫu nhiên ΔK_i của hệ số K_i được tính với giả thiết phân bố xác suất của nó là phân bố Student. Bộ hệ số K_i và ΔK_i được tính toán và ghi trong EPROM của vi tính đơn phiến bằng một bộ lập chương trình.

b) Xử lí tuyển tính hóa từng đoạn: số lượng khoảng biến đổi đặc trưng bằng K_i được chọn tùy theo đặc tính phi tuyển của cảm biến. Vi xử lí hay vi tính đơn phiến được giao nhiệm vụ tuyển tính hóa từng đoạn đặc tính đó, cụ thể quá trình diễn ra như sau:

- Giá trị đo X được chuyển đổi thành Y_x sau đó chuyển đổi thành số.
- Tìm khoảng của Y_x với điều kiện $Y_i < Y_x < Y_{i+1}$ ứng với $X_i < X < X_{i+1}$ và thực hiện phép nội suy tuyển tính:

$$X = X_i + \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) \cdot (Y_x - Y_i)$$

- Ghi kết quả X cùng với K_i và $\gamma_{Ki} = \frac{\Delta K_i}{K_i}$. Kết quả được ghi giữ lại trong RAM và chuyển về khói xử lý trung tâm khi có yêu cầu tính toán.

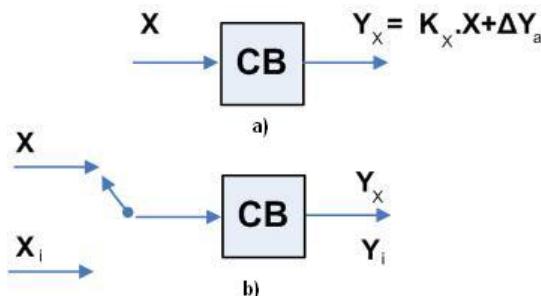
c) Bù sai số cộng tính: sai số cộng tính thường xuyên xảy ra trong các cảm biến do ma sát, do đặc tính trễ của cảm biến, do nhiều có thể biểu diễn với đại lượng đo X ... Biểu thức chung để tính đại lượng ra của cảm biến trong trường hợp này là:

$$Y_x = K_x X + \Delta Y_a \Rightarrow X = \frac{Y_x}{K_x} - \frac{\Delta Y_a}{K_x}$$

với:

$$K_x = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} \text{ đã biết trước}$$

và ΔY_a gọi là sai số cộng tính, là giá trị chưa biết nhưng có tính chất là không thay đổi theo giá trị của X (hình 7.81a).



Hình 7.81. Bù sai số cộng tính:

a) biểu thức chung của cảm biến b) mạch trù thực hiện bù sai số cộng tính

Lượng sai số $\Delta Y_a / K_x$ được loại trừ bằng một bộ trù (như hình 7.81b). Cụ thể với phép đo thứ i bất kỳ thì ta có:

$$Y_i = K_x X_i + \Delta Y_a \Rightarrow X_i = \frac{Y_i}{K_x} - \frac{\Delta Y_a}{K_x}$$

suy ra:

$$X - X_i = \frac{(Y_x - Y_i)}{K_x} = (Y_x - Y_i) \cdot \frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i}$$

với các giá trị đã biết trước $X_i, Y_i, X_{i+1}, Y_{i+1}$ ta tính được giá trị của một phép đo bất kỳ:

$$X = X_i + (Y_x - Y_i) \cdot \frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i}$$

Bằng cách này ta loại trừ được thành phần sai số cộng tính ΔY_a . Ở đây ta thấy với cách bù sai số phi tuyến thì ta cũng bù luôn sai số cộng tính.

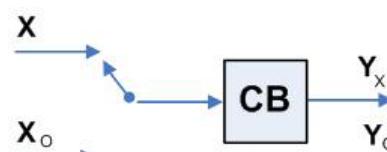
d) Bù sai số nhân tính: trong cảm biến có sai số nhân tính thì biểu thức chung để tính đại lượng ra của cảm biến là:

$$Y_x = X \cdot K_x (1 + \gamma_k)$$

với γ_k là sai số nhân tính.

Muốn bù sai số nhân tính ta dùng một phép chia (như hình 7.82), cụ thể: nếu đại lượng vào là X_0 thì ta có đại lượng ra là:

$$Y_0 = X_0 \cdot K_0 \cdot (1 + \gamma_k)$$



Hình 7.82. Bù sai số nhân tính bằng mạch chia

suy ra:

$$\frac{Y_x}{Y_0} = \frac{X}{X_0} \cdot \frac{K_x (1 + \gamma_k)}{K_0 (1 + \gamma_k)} = \frac{X}{X_0} \cdot \frac{K_x}{K_0}$$

$$\Rightarrow X = \frac{Y_x}{Y_0} \cdot \frac{K_0}{K_X} \cdot X_0$$

và sai số nhân tính được loại trừ.

e) Bù sai số do các yếu tố ảnh hưởng: một trong những sai số khó loại trừ nhất trong các cảm biến là các yếu tố ảnh hưởng (hay các yếu tố không mang thông tin). Khi nghiên cứu các cảm biến người ta cũng đã đưa vào các biện pháp để loại trừ những yếu tố đơn nhưng trong nhiều cảm biến ảnh hưởng này rất khó loại trừ. Không những thế ở các cảm biến khác nhau tuy cùng một công nghệ chế tạo nhưng ảnh hưởng này cũng khác nhau, vì thế trong các cảm biến thông minh ta thường bù ảnh hưởng của các yếu tố không mang thông tin trên ngay cảm biến sử dụng ấy.

Từ phương trình biến đổi của cảm biến ta có thể viết sai số:

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial F}{\partial b} \Delta b + \dots$$

trong đó thành phần $(\partial F / \partial a) \Delta a$ là ảnh hưởng của yếu tố a đến kết quả đo Y.

Thông qua thực nghiệm sẽ lập ra được bảng ảnh hưởng (bảng 7.10):

Bảng 7.10. Bảng ảnh hưởng được lập thông qua thực nghiệm

X A	X ₁	X ₂	...	X _i	X _n
A ₁	Δ ₁₁	Δ ₁₂	...	Δ _{1i}	Δ _{1n}
A ₂	Δ ₂₁	Δ ₂₂	...	Δ _{2i}	Δ _{2n}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A _j	Δ _{j1}	Δ _{j2}	...	Δ _{ji}	Δ _{jn}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A _m	Δ _{m1}	Δ _{m2}	...	Δ _{mi}	Δ _{mn}

Khi muốn bù ảnh hưởng của yếu tố A thì ta tra bảng để xác định độ ảnh hưởng của yếu tố A.

Từ giá trị A do một cảm biến đo phụ và căn cứ vào giá trị đại lượng đo được ta tra ra giá trị của Δ_{ij}, sau đó nội suy tuyến tính ra giá trị của đại lượng đó mà ta phải bù, để loại sai số do sự ảnh hưởng của yếu tố A. Các phép sai phân hóa và nội suy tuyến tính được máy tính thực hiện.

f) Xử lý thống kê: khi bản thân đối tượng đo biến đổi sẽ làm cho các thông số đo có tính ngẫu nhiên lớn. Khi đó cảm biến thông minh có thể xử lý thống kê tức là đo với tốc độ nhanh rồi lấy ra giá trị trung bình, tính sai số thống kê của kết quả đo, lưu giữ và truyền lên máy tính cấp trên để xử lý cấp cao hơn... nhằm đạt được kết quả đo chính xác nhất.

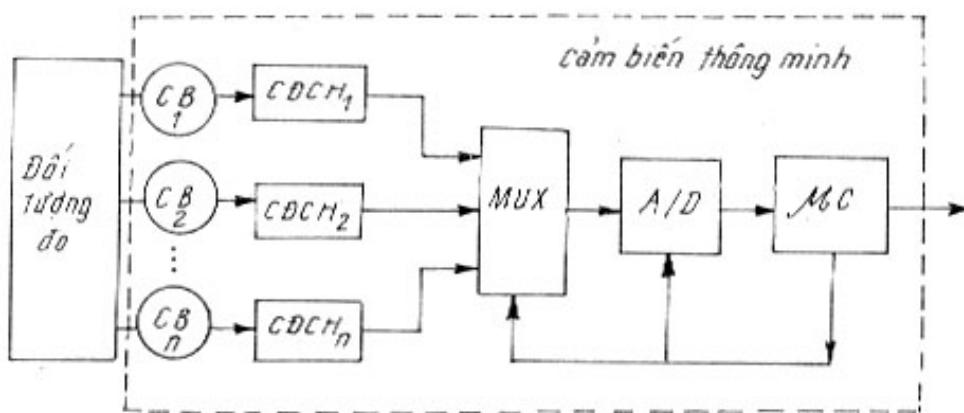
g) Xử lý trong phép đo gián tiếp và hợp bộ: trong đo lường hiện đại, nhiều khi phép đo một đại lượng không thể đạt được trực tiếp mà phải thông qua một số phép tính toán, các phép đo như vậy gọi là các phép đo gián tiếp và hợp bộ. Với sự có mặt của vi tính và vi xử lí thì việc gia công đại số áy dwocj thực hiện một cách dễ dàng, thậm chí cả việc giải những phương trình hay những hệ phương trình trong các phép đo hợp bộ.

Khi đó vi tính được sử dụng như là một mô hình của đối tượng với các hệ số của

phương trình phụ thuộc vào đối tượng và được xác định bằng thực nghiệm. Quá trình xây dựng mô hình này phải là một quá trình nghiên cứu, thực nghiệm và dạy cho máy tính. Trong quá trình thử nghiệm ấy đôi khi số lượng tính toán khá nhiều nên có khi phải sử dụng máy tính nối với hệ thống xử lý tính toán phức tạp hơn. Sau đó máy tính sẽ dạy lại cho vi xử lý của cảm biến thông minh những xử lý tối thiểu để có được kết quả thích hợp và truyền lên cấp trên. Hệ thống thu thập như vậy được gọi là hệ thống phân tán nhằm giám bớt khối lượng tính toán ở trung tâm.

7.10.4. Cấu trúc của cảm biến thông minh:

Qua những phân tích về chuyển đổi sơ cấp, về các nội dung phải xử lý trong các hệ đo lường các đại lượng vật lí, ta có thể đi đến cấu trúc chung của các cảm biến thông minh như sau (hình 7.83):



Hình 7.83. Cấu trúc chung của các cảm biến thông minh

Cảm biến gồm những chuyển đổi sơ cấp dùng để biến đại lượng không điện hoặc điện thành đại lượng điện. Các đại lượng này có thể là các đại lượng chủ cần thiết cho phép đo, cũng có thể là các đại lượng của yếu tố ảnh hưởng được sử dụng trong việc tính toán để loại trừ sai số do ảnh hưởng của chúng.

Cũng như sơ đồ chung của hệ thu thập số đo, các đại lượng điện cũng được qua các khâu chuyển đổi chuẩn hóa (CDCH). Sau đó chúng được đưa vào bộ dồn kênh (MUX) và qua bộ chuyển đổi tương tự - số (A/D) vào vi tính đơn phiến (μ C hoặc vi xử lý).

Có thể có hai loại công nghệ:

- Nếu các chuyển đổi là loại chuyển đổi sơ cấp bình thường: thì các đầu ra của chúng được đưa vào một vi mạch công nghệ lai gồm các bộ biến đổi chuẩn hóa, MUX, A/D và μ C trong một khối có đầu nối liền máy tính cấp trên và bộ ghi chương trình cho EPROM.

- Nếu các chuyển đổi là loại chuyển đổi thực hiện bằng công nghệ vi mạch: thì cả chuyển đổi lẫn các phần tử gia công phía sau được để trong một khối công nghệ mạch lai.

Các cảm biến thông minh có dạng như trên đã được phát triển vì thế việc hệ thống hoá các cảm biến, chọn cấu trúc như thế nào để đảm bảo tính linh hoạt cao, việc chương trình hoá được dễ dàng... là các nội dung cần nghiên cứu về cảm biến thông minh.

7.10.5. Một số ví dụ về cảm biến thông minh:

Hiện nay các cảm biến thông minh đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi, cùng với xu hướng phát triển mạnh mẽ của các hệ thống điều khiển phân tán (DCS-Distributed Control System) thì vai trò của cảm biến thông minh ngày càng quan trọng cũng như các tính năng của chúng ngày càng được nâng cao.

Có thể nêu lên một ví dụ cơ bản về cảm biến thông minh là cảm biến Smart - 3000, nằm trong hệ thống tự động hóa quá trình sản xuất linh hoạt của hãng Honeywell (Hoa Kỳ).

Về chuyển đổi sơ cấp Smart - 3000: gồm một cảm biến nhiệt điện trở bằng phương pháp bốc hơi dùng để đo nhiệt độ, chủ yếu là do nhiệt độ của môi trường để bù yếu tố ảnh hưởng; điện trở này được một mạch biến đổi thành điện áp đưa vào MUX (multiplexer). Một chuyển đổi điện trở lực căng bán dẫn được nuôi cấy trên một máy đàn hồi dùng để đo áp suất; ở cảm biến đo áp suất này có bố trí một điện trở bù nhiệt độ của chuyển đổi chính.

Điện áp của cảm biến được khuếch đại và chuẩn hoá để vào MUX qua A/D vào μ C. Một cảm biến điện trở lực căng dùng để đo hiệu áp suất. Cảm biến này có thể đo áp suất, nhưng chủ yếu dùng để đo lưu tốc và lưu lượng bằng phương pháp chấn lưu (lỗ chuẩn hay ống Venturi). Trong cảm biến này các chuyển đổi và điện trở bù nhiệt độ đều được thực hiện bằng công nghệ vi điện tử.

Quan hệ giữa hiệu áp suất và lưu tốc được tính theo hình thức:

$$q_g = k \cdot \xi \cdot D \cdot \sqrt{hp}$$

Rõ ràng với quan hệ này trong cảm biến phải có những phép gia công sau:

- Xác định k: thường được xác định bằng thực nghiệm.

- ξ độ nhớt của chất lỏng, phụ thuộc vào chất lỏng, nhiệt độ của chất lỏng. ξ thông thường được xác định thông qua quá trình khắc độ.

ξ còn phụ thuộc theo nhiệt độ vì thế phải có cách bù nhiệt và nhiệt độ đó đã được đo thông qua cảm biến nhiệt độ (nhiệt điện trở).

- D đường kính của lỗ chuẩn hay ống Venturi, mỗi lỗ chấn lưu có một hệ số thực nghiệm.

- h: hiệu áp suất đo bởi hiệu áp kế

- p: khối lượng riêng của dung dịch dẫn áp suất.

Như vậy điện áp ra ở hiệu áp kế được biến đổi thành số vào máy vi tính đơn phiến, ở đó nó được tính toán, lấy căn, tuyến tính hóa, bù lại các yếu tố ảnh hưởng...

Tất cả các chuyển đổi sơ cấp, các khuếch đại chuẩn hoá các MUX, A/D và vi tính đơn phiến được bỏ vào một hộp của cảm biến, đầu ra nói với may vi tính cấp trên. Ngoài ra nó còn có cổng đối thoại với các máy ghi chương trình dùng để thông minh hóa các cảm biến.

Cách cấu tạo kiểu này có một thuận lợi cơ bản là cảm biến có thể chế tạo hàng loạt bằng công nghệ vi điện tử, vừa giảm nhẹ giá thành vừa tăng chất lượng cảm biến. Lắp ráp cũng theo qui tắc chung nhưng chưa cần hiệu chỉnh. Việc khắc độ được thực hiện đơn chiếc ngay trên cảm biến đang sử dụng hờ đó mà có thể loại trừ được sự sai khác của linh kiện, việc bù sai số cũng được tiến hành đơn chiếc. Các khâu xử lý nói trên đều được thực hiện bằng máy tính của bộ ghi chương trình

chuyên dụng cho một loại cảm biến thông minh.

Hiện nay các nhà thiết kế và chế tạo hệ thống tự động hóa đã đưa vào hệ thống những cảm biến thông minh và giao việc xử lý sơ bộ kết quả đo cho cảm biến, chỉ thu thập số liệu chi tiết khi cần thiết và gọi ra khi cần phân tích sự cố.

7.10.6.Thiết bị đo thông minh và linh hoạt:

Trên cơ sở của cảm biến thông minh người ta đã chế tạo ra các thiết bị đo linh hoạt và thông minh. Các thiết bị đo thông minh thường được dùng vào các hệ thống thông tin đo lường sau:

- Hệ thống tự động nghiên cứu khoa học.
- Hệ thống tự động kiểm tra xuất xưởng và kiểm tra tiếp nhận hàng hoá.
- Hệ tự động phân tích nồng độ vật chất trong công nghiệp, sinh hoá, sinh học.
- Hệ chuẩn đoán kĩ thuật

a) Các vấn đề giải quyết trong thiết bị đo thông minh:

Các hệ thống trên đã giải quyết các vấn đề sau:

- *Menu hoá các chế độ đo lường:* các chế độ đo lường được phân thành các lớp và được đặt tên để người sử dụng có thể chọn. Mỗi menu xác định các đại lượng cần được đo, khoảng đo và cách tiến hành đo lường, các bước tiến hành và dự kiến phạm vi kết quả.

Menu được xây dựng dựa trên cơ sở phân tích phương pháp đo, phạm vi ứng dụng, khoảng đo thường gấp, từ đó phân chia ra thành các *đơn nguyên*. Mỗi đơn nguyên có nhiệm vụ chỉ rõ phương pháp đo, chuyển đổi sơ cấp và các biến đổi chuẩn hoá được chọn, tiến hành các xử lí cần thiết và chỉ thị kết quả đo... Người sử dụng chỉ cần chỉ rõ nguyên đơn nào máy sẽ tự động tiến hành các thủ tục đã qui định và biểu thị ra kết quả đo theo ý của người sử dụng.

- *Chuẩn độ tự động thiết bị:* các thiết bị đo và phân tích nồng độ trước khi sử dụng đều được chuẩn độ theo những mẫu đã pha chế sẵn, việc làm này trước kia đòi hỏi các thí nghiệm viên có trình độ và kinh nghiệm. Ngày nay các máy thông minh thực hiện việc chuẩn độ đó một cách tự động, tự xử lí kết quả đo, tìm ra các hệ số hiệu chỉnh, tự động chọn khoảng đo thích hợp.

- *Tự động lập chương trình thử nghiệm:* các thử nghiệm đều tuân thủ một trình tự thử, thu thập kết quả, xử lí và báo cáo theo một mẫu nhất định. Với một menu nhất định máy sẽ tự động lập chương trình thử, lấy số liệu và in kết quả đo.

b) Các ví dụ thực tế về máy đo thông minh: sau đây là một số ví dụ về máy đo thông minh:

- *Máy TOC – 5000* của hãng Shimadzu Nhật Bản: máy thực hiện các chức năng sau: phân tích TC (nồng độ cacbon toàn phần), IC (nồng độ cacbon vô cơ), TOC (nồng độ cacbon hữu cơ toàn phần), NPOC (nồng độ cacbon hữu cơ không sục). Phương pháp: đốt và phân tích khí kiểu hòng ngoại. Khoảng đo $4 \cdot 10^{-9} \div 4 \cdot 10^{-3}$ nồng độ cacbon. Sai số không quá 1% và 2% tùy theo chế độ. Ngoài ra còn có các chức năng:

- Tự động hoá điều khiển van, lò, môtơ v.v. để thực hiện phép đo theo menu.
- Tự động chọn chế độ tối ưu cho việc phân tích.
- Tự động chọn đường cong khắc độ thích hợp nhất cho việc phân tích, tự

động chọn khối lượng chất thử nghiệm thích hợp cho việc thử ($4 \div 2500\mu l$).

- Tự động lặp lại phép đo 10 lần và xử lí gia công ngẫu nhiên.
- Tự động tính toán diện tích các pick (xung nhọn) để suy ra nồng độ.
- Tự động trình bày kết quả dưới nhiều dạng khác nhau tùy theo yêu cầu.

- *Máy 7457— 5700°*: tự động kiểm tra thiết bị đo của công ty Fluke - Hoa Kỳ. Hệ này cho phép kiểm tra tất cả các dụng cụ đo. Ví dụ: kiểm tra các multimet (vạn năng kế) tương tự và số dải đo khác nhau:

- Điện áp một chiều và xoay chiều, 220mV đến 1100 với sai số không lớn hơn 10 phần triệu.
- Dòng điện một chiều và xoay chiều, $220\mu A$ đến $2,2^\circ$ có thể mở rộng đến 11A.
- Điện trở 1Ω đến $100M\Omega$.

Máy có hai hệ MET/TRAC và MET/CAL cho phép tự động kiểm tra tính toán sai số, viết báo cáo, lưu giữ lịch trình kiểm tra, sửa chữa và các chương trình dịch vụ khác.

CHƯƠNG 8.

ĐO DÒNG ĐIỆN (2 LT)

8.1. Cơ sở chung.

Trong các đại lượng điện, dòng điện và điện áp là các đại lượng cơ bản nhất. Vì vậy trong công nghiệp cũng như trong các công trình nguyên cứu khoa học người ta luôn quan tâm đến các phương pháp và thiết bị đo dòng điện.

Các phương pháp đo dòng điện phổ biến gồm:

- **Phương pháp đo trực tiếp:** dùng các dụng cụ đo dòng điện như ampemét, mili ampemét, micrô ampemét ... để đo dòng và trực tiếp đọc kết quả trên thang chia độ của dụng cụ đo.

- **Phương pháp đo gián tiếp:** có thể dùng vônmét đo điện áp rơi trên một điện trở mẫu (mắc trong mạch có dòng điện cần đo chạy qua); thông qua phương pháp tính toán ta sẽ được dòng điện cần đo.

- **Phương pháp so sánh:** đo dòng điện bằng cách so sánh dòng điện cần đo với dòng điện mẫu, chính xác; ở trạng thái cân bằng của dòng cần đo và dòng mẫu sẽ đọc được kết quả trên mẫu.

Có thể so sánh trực tiếp và so sánh gián tiếp.

8.2. Các dụng cụ đo dòng điện.

8.2.1. Yêu cầu đối với các dụng cụ đo dòng điện:

Các yêu cầu cơ bản bao gồm công suất tiêu thụ và dải tần hoạt động.

a) **Công suất tiêu thụ:** khi đo dòng điện ampemét được mắc nối tiếp với các mạch cần đo. Như vậy ampemét sẽ tiêu thụ một phần năng lượng của mạch đo từ đó gây sai số phương pháp đo dòng. Phần năng lượng này còn được gọi là công suất tiêu thụ của ampemét P_A , được tính:

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A$$

với: I_A là dòng điện qua ampemét (có thể xem là dòng điện cần đo)

R_A là điện trở trong của ampemét.

Trong phép đo dòng điện yêu cầu công suất tiêu thụ P_A càng nhỏ càng tốt, tức là yêu cầu R_A càng nhỏ càng tốt.

b) **Dải tần hoạt động:** khi đo dòng điện xoay chiều, tổng trở của ampemét còn chịu ảnh hưởng của tần số:

$$Z_A = R_A + X_A$$

với: $X_A \approx \omega L_A$ là thành phần trở kháng của cuộn dây ampemét.

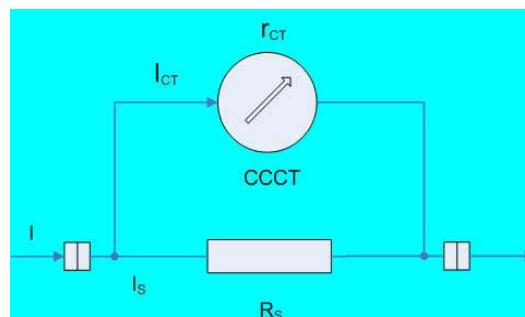
Để đảm bảo cấp chính xác của dụng cụ đo, dụng cụ đo xoay chiều phải được thiết kế chỉ để đo ở các miền tần số sử dụng nhất định (dải tần nhất định). Nếu dùng dụng cụ đo dòng ở miền tần số khác miền tần số thiết kế sẽ gây ra sai số do tần số.

8.2.2. Các ampemét một chiều:

a) **Các đặc tính cơ bản:** các ampemét một chiều được chế tạo chủ yếu dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện với các đặc tính cơ bản sau:

- Dòng cho phép: thường là $10^{-1} \div 10^{-2}$ A
- Cấp chính xác: 1,5; 1; 0,5; 0,2; cao nhất có thể đạt tới cấp 0,05.
- Điện trở cơ cấu: khoảng từ $20\Omega \div 2000\Omega$.

Vì vậy muốn sử dụng cơ cấu này để chế tạo các dụng cụ đo dòng điện lớn hơn dòng qua cơ cấu chỉ thị, phải dùng thêm một điện trở sun phân nhánh nối song song với cơ cấu chỉ thị từ điện (hình 8.1):



Hình 8.1. Mắc điện trở sun phân nhánh nối song song với cơ cấu chỉ thị từ điện

Sơ đồ cấu tạo của ampemét từ điện trên hình 8.1.

b) Chọn điện trở sun cho ampemét từ điện chỉ có một thang đo: dựa trên các thông số của cơ cấu chỉ thị từ điện và dòng điện cần đo, có thể tính giá trị điện trở sun phù hợp cho từng dòng điện cần đo là:

$$R_s = \frac{r_{ct}}{n - 1} \quad (8-2)$$

với: r_{ct} : điện trở trong của cơ cấu chỉ thị từ điện

$$n = \frac{I}{I_{ct}} : \text{hệ số mở rộng thang đo của Ampemét}$$

I : dòng điện cần đo

I_{ct} : dòng cực đại mà cơ cấu chỉ thị chịu được.

Đối với các ampemét đo dòng điện nhỏ hơn 30A thì sun đặt trong vỏ của ampemét. Còn các ampemét dùng đo dòng điện lớn hơn hoặc bằng 30A thì sun đặt ngoài vỏ (coi như một phụ kiện kèm theo ampemét; phần này sẽ nghiên cứu trong mục đo dòng điện lớn).

c) Chọn điện trở sun cho ampemét từ điện có nhiều thang đo: trên cơ sở mắc sun song song với cơ cấu chỉ thị có thể chế tạo ampemét từ điện có nhiều thang đo.

Hình 8.2 là sơ đồ ampemét từ điện 4 thang đo (I_1, I_2, I_3, I_4). Các điện trở sun $R_{S1}, R_{S2}, R_{S3}, R_{S4}$ mắc nối tiếp với nhau rồi nối song song với r_{ct} . Tính các điện trở sun $R_{S1}, R_{S2}, R_{S3}, R_{S4}$ bằng cách lập hệ phương trình ứng với các dòng khác nhau:

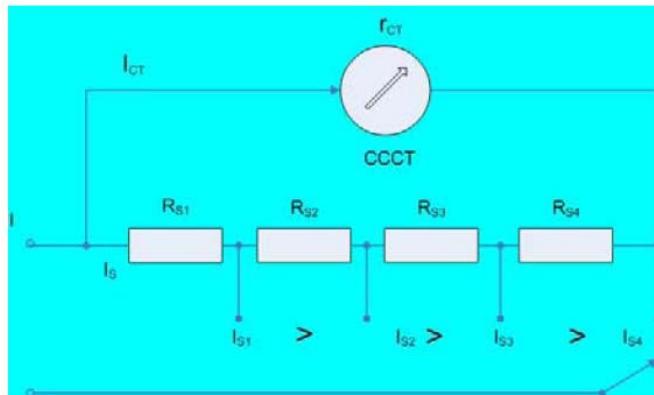
$$R_{\Sigma S4} = \frac{r_{ct}}{n_4 - 1} = R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} + R_{S4}; \quad n_4 = \frac{I_4}{I_{ct}}$$

$$R_{\Sigma S3} = \frac{r_{ct} + R_{S4}}{n_3 - 1} = R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}; \quad n_3 = \frac{I_3}{I_{ct}}$$

$$R_{\Sigma S2} = \frac{r_{ct} + R_{S4} + R_{S3}}{n_2 - 1} = R_{S1} + R_{S2}; \quad n_2 = \frac{I_2}{I_{ct}}$$

$$R_{\Sigma S1} = \frac{r_{ct} + R_{S4} + R_{S3} + R_{S2}}{n_t - 1} = R_{S1}; \quad n_t = \frac{I_1}{I_{ct}}$$

Ta có 4 phương trình với 4 ẩn số, giải ra tìm được $R_{S1}, R_{S2}, R_{S3}, R_{S4}$.



Hình 8.2. Mắc điện trở sun trong ampemét có nhiều thang đo.

Để giữ cho cấp chính xác của ampemét từ điện không thay đổi ở các giới hạn đo khác nhau, phải chế tạo sun với độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu từ điện ít nhất là một cấp.

Ví dụ cơ cấu từ điện có cấp chính xác 0,5 thì sun phải có cấp chính xác 0,2. Thường chế tạo sun bằng mangannin và chỉnh định rất chính xác.

d) Sai số do nhiệt độ ampemét: thường sun được chế tạo bằng các vật liệu có điện trở suất ít thay đổi theo nhiệt độ như mangannin, do đó điện trở của sun không thay đổi theo nhiệt độ. Trong khi đó khung quay của cơ cấu chỉ thị làm bằng đồng có điện trở thay đổi theo nhiệt độ theo qui luật:

$$r_{ct} = r_{ct0}(1 + \alpha t)$$

với: r_{ct} : điện trở của cơ cấu ở nhiệt độ $t^{\circ}\text{C}$

r_{ct0} : điện trở của cơ cấu ở 0°C

α : hệ số nhiệt độ của dây quấn trên khung quay (đối với đồng $\alpha = 0,04\%/\text{độ}$)

- Tính sai số đo nhiệt độ của ampemét từ điện:

Gọi: I : dòng điện chạy qua Ampemét

I_{ct0}, I_{ct} : dòng điện chạy qua cơ cấu chỉ thị ở nhiệt độ $0^{\circ}\text{C}, t^{\circ}\text{C}$

R_{A0} : điện trở của Ampemét ở nhiệt độ 0°C

R_{At} : điện trở của Ampemét ở $t^{\circ}\text{C}$

R_S : điện trở sun của ampemét tương ứng với dòng điện I .

Ta có sai số của dòng điện qua cơ cấu chỉ thị:

$$\Delta I_{ct} = I_{ct0} - I_{ct} = \frac{I}{n_0} - \frac{I}{n_t}$$

với : $n_0 = \frac{r_{ct0} + R_S}{R_S}; \quad n_t = \frac{r_{ct} + R_S}{R_S}; \quad r_{ct} = r_{ct0}(1 + \alpha t)$

$$\Rightarrow \Delta I_{ct} = I \cdot \frac{R_S}{r_{ct0} + R_S} - I \cdot \frac{R_S}{r_{ct} + R_S}$$

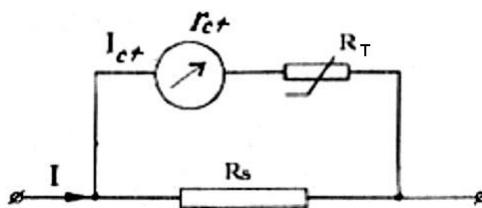
$$\Delta I_{ct} = I \cdot \frac{R_S}{(r_{ct0} + R_S)} \cdot \frac{r_{ct0} \alpha t}{[r_{ct0}(1 + \alpha t) + R_S]}$$

vậy sai số tương đối của ampemét do nhiệt độ là:

$$\begin{aligned}\gamma_t \% &= \frac{\Delta I_{ct}}{I_{ct}} \cdot 100(\%) \\ &= \frac{r_{ct0} \cdot \alpha \cdot t}{r_{ct0} + R_S} \cdot 100(\%) \approx \frac{r_{ct0} \cdot \alpha \cdot t}{r_{ct0}} \cdot 100 = \alpha \cdot t \cdot 100(\%)\end{aligned}$$

- Khắc phục sai số do nhiệt độ của ampemét từ điện: Ở những dụng cụ đo có độ chính xác thấp sai số nhiệt độ γ_t thường nhỏ hơn sai số của cơ cấu. Ở những dụng cụ đo cấp chính xác cao, γ_t thường lớn hơn sai số cơ cấu. Để khắc phục nhược điểm này người ta phải tìm cách loại trừ hoặc giảm sai số do nhiệt độ.

Biện pháp đơn giản nhất là nối tiếp vào mạch cơ cấu chỉ thị một điện trở R_T (như hình 8.3):



Hình 8.3. Mạch điện trở phụ để bù sai số do nhiệt độ.

Theo sơ đồ này, sai số nhiệt độ được tính:

$$\gamma_t = \frac{r_{ct} \cdot \alpha \cdot t + R_T \cdot \beta \cdot t}{r_{ct} + R_T}$$

với: β : hệ số nở nhiệt của nhiệt điện trở R_T .

Để bù hoàn toàn sai số nhiệt độ ($\gamma_t = 0$) phải thỏa mãn điều kiện:

$$r_{ct} \cdot \alpha \cdot t = -R_T \cdot \beta \cdot t$$

như vậy điện trở R_T phải có hệ số nhiệt điện β âm. Giá trị R_T được tính :

$$R_T = \frac{r_{ct} \cdot \alpha}{-\beta}$$

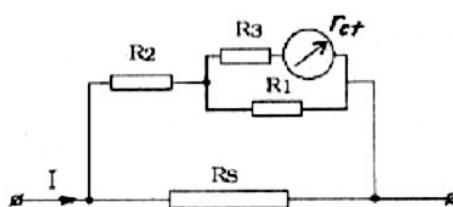
khi đó điện trở sun của ampemét được tính là:

$$R_S = \frac{r_{ct} + R_T}{n-1}$$

Nhiệt điện trở có hệ số nhiệt độ β càng lớn thì giá trị R_T càng nhỏ và R_S sẽ nhỏ, sai số hệ thống đo ampemét gây ra sẽ nhỏ.

Thường dùng R_T là nhiệt điện trở bán dẫn. Nhiệt điện trở bán dẫn là phần tử phi tuyến đối với nhiệt độ. Vì vậy nó chỉ bù hoàn toàn ở một nhiệt độ nhất định. Điều này khó thực hiện.

Thực tế trong các ampemét từ điện chính xác cao, thường bù nhiệt độ bằng nhiệt điện trở đồng, phối hợp với điện trở manganin, bố trí mạch theo sơ đồ hình 8.4:



Hình 8.4. Mạch bù sai số do nhiệt độ trong các ampemét từ điện chính xác cao

Trong sơ đồ này: R_S , R_1 , R_2 bằng Manganin. Còn r_{ct} và R_3 bằng đồng. Các điện trở này phải phối hợp với nhau sao cho khi dòng I không đổi; nhiệt độ thay đổi nhưng vẫn giữ dòng qua cơ cấu không đổi.

8.2.3. Các ampemét xoay chiều:

Tùy theo phạm vi và mục đích sử dụng mà có các loại ampemét xoay chiều cơ bản sau:

- Để đo dòng điện xoay chiều miền tần số công nghiệp: thường dùng các ampemét điện từ, điện động và sắt điện động.
 - Đo dòng điện ở miền tần số âm tần và có thể dùng ở nhiều thang đo khác nhau: thường sử dụng ampemét vòng từ điện chỉnh lưu.
 - Đo dòng xoay chiều có tần số cao và siêu cao: thường dùng ampemét nhiệt

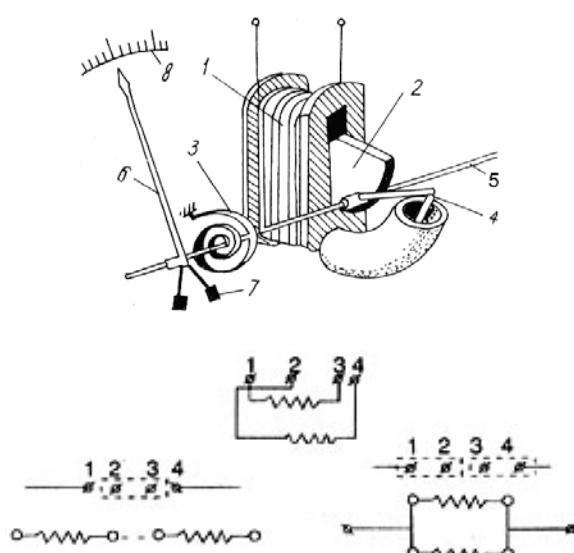
a) Ampemét điện từ : được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu

- Cơ cấu cuộn dây tròn: thường có $I.W = 200A$ vòng
 - Cơ cấu cuộn dây dẹt: thường có $I.W = 100 \div 150A$ vòng
 - Cơ cấu có mạch từ khép kín: $I.W = 50 \div 1000A$ vòng

Như vậy để mở rộng thang đo của ampemét điện từ chỉ cần thay đổi thế nào để đảm bảo $I W = \text{const}$

- **Mở rộng thang đo của ampemét điện từ bằng phương pháp phân đoạn cuộn dây tĩnh** của cơ cấu điện từ: ampemét điện từ nhiều thang đo được chế tạo bằng cách chia cuộn dây tĩnh thành nhiều phân đoạn bằng nhau, thay đổi cách nối ghép các phân đoạn (song song hoặc nối tiếp) để tạo các thang đo khác nhau.

Ví dụ ampemét điện từ có hai thang đo: ta chia cuộn dây tĩnh thành hai phần bằng nhau. Nếu nối tiếp hai phân đoạn với nhau ta sẽ đo được dòng điện là $2I$ (h.8-5).



Hình 8.5. Mở rộng thang đo của ampemét điện tử

a) Đo được dòng điện I

b) Độ được dòng điện $2I$

Tuy nhiên phương pháp này cũng chỉ áp dụng để chế tạo ampermét điện từ có nhiều nhất là ba thang đo, vì khi tăng số lượng thang đo việc bố trí mạch chuyển

thang đo phức tạp không thể thực hiện được.

- **Mở rộng thang đo của ampemét điện từ bằng cách dùng biến dòng:** khi muốn tăng số lượng thang đo lên nhiều thường kết hợp biến dòng với ampemét điện từ để mở rộng giới hạn đo dòng xoay chiều.

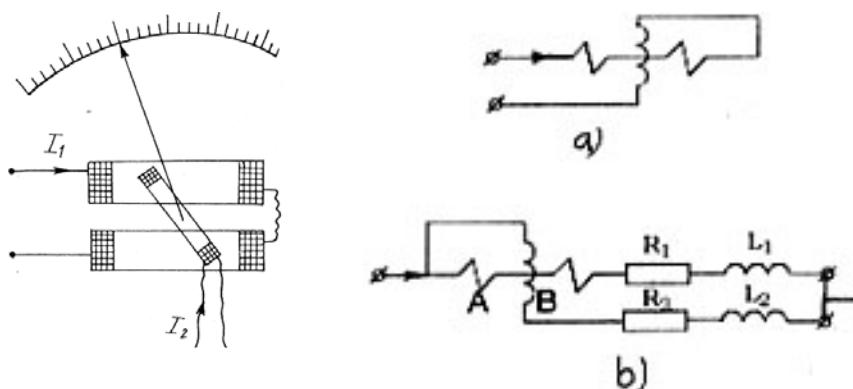
b) Ampemét điện động: thường dùng để đo dòng điện ở miền tần số cao hơn tần số công nghiệp (cỡ $400 \div 2000\text{Hz}$). Do cơ cấu điện động là cơ cấu chính xác cao đối với tín hiệu xoay chiều vì vậy ampemét điện động cũng có chính xác cao ($0,2 \div 0,5$) nên thường được sử dụng làm dụng cụ mẫu.

Có hai loại sơ đồ mạch của ampemét điện động :

- *Khi dòng điện cần đo nhỏ hơn hoặc bằng $0,5A$:* thì trong mạch của ampemét cuộn dây động và cuộn dây tĩnh ghép nối tiếp với nhau (H.8.6a).

- *Khi dòng điện cần đo lớn hơn $0,5A$:* thì trong sơ đồ mạch của ampemét cuộn dây động và cuộn dây tĩnh ghép song song với nhau (H.8.6b).

Các phần tử R và L trong sơ đồ này dùng để tạo mạch bù sai số do tần số và làm cho dòng điện trong cuộn dây động và trong cuộn dây tĩnh cùng pha với nhau.



Hình 8.6. Cách sắp xếp mạch ampemét điện động:

a) Mắc nối tiếp;

b) Mắc song song

A: cuộn dây tĩnh;

B: cuộn dây động

Cách mở rộng thang đo và chế tạo ampemét điện động nhiều thang giống như ở ampemét điện từ.

Sai số do tần số của các ampemét điện từ và điện động ở tần số vài kHz đến vài chục kHz khá lớn. Vì vậy để đo dòng điện âm tần người ta thường dùng các ampemét từ điện chính lưu.

c) Ampemét chính lưu: là ampemét kết hợp cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diode hoặc chỉnh lưu bằng cặp nhiệt ngẫu (gọi là ampemét nhiệt điện).

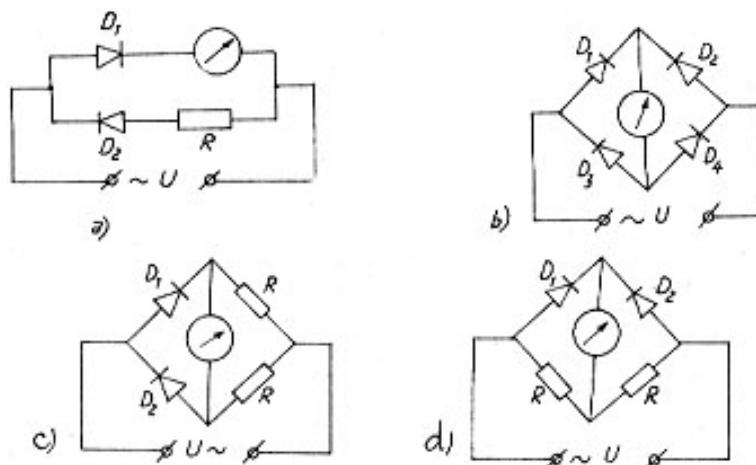
Các mạch chỉnh lưu thường gặp trong các ampemét chỉnh lưu bao gồm: chỉnh lưu nửa chu kỳ: hình 8.7a; chỉnh lưu hai nửa chu kỳ: hình 8.7b,c,d. Trong các mạch chỉnh lưu này dùng diode (Si hoặc Ge).

- *Mạch theo hình 8.7b:* dòng điện được chỉnh lưu hoàn toàn và qua cơ cấu chỉ thị, vì vậy hệ số chỉnh lưu cao.

- *Mạch theo hình 8.7c:* một phần dòng điện được chỉnh lưu và qua cơ cấu chỉ thị, phần còn lại ở điện trở R , hệ số chỉnh lưu của mạch không cao.

- *Mạch theo hình 8.7d:* một phần dòng điện được chỉnh lưu và qua cơ cấu chỉ thị, phần còn lại qua điện trở R , hệ số chỉnh lưu của mạch không cao.

- Nói chung các ampemét chỉnh lưu chính xác không cao vì hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ, trong đó khi nhiệt độ thay đổi, điện trở thuận và ngược của diốt thay đổi không như nhau (cụ thể khi nhiệt độ tăng, điện trở ngược của diốt giảm nhiều hơn so với điện trở thuận). Dẫn đến hệ số chỉnh lưu của diốt sẽ giảm.



Hình 8.7. Các dạng ampemét chỉnh lưu

- **Cách biến đổi để khắc độ Ampemét chỉnh lưu theo trị hiệu dụng:** với cách bố trí các sơ đồ chỉnh lưu, các ampemét chỉnh lưu sẽ chỉ giá trị trung bình của dòng xoay chiều, nhưng thông thường các dụng cụ điện tử, điện động... đo dòng xoay chiều được khắc độ theo giá trị hiệu dụng vì vậy để thống nhất về khắc độ các dụng cụ đo xoay chiều thì các ampemét chỉnh lưu cũng phải khắc độ theo trị hiệu dụng.

Cách biến đổi để khắc độ Ampemét chỉnh lưu theo trị hiệu dụng như sau:

Phương trình đặc trưng của cơ cấu từ điện:

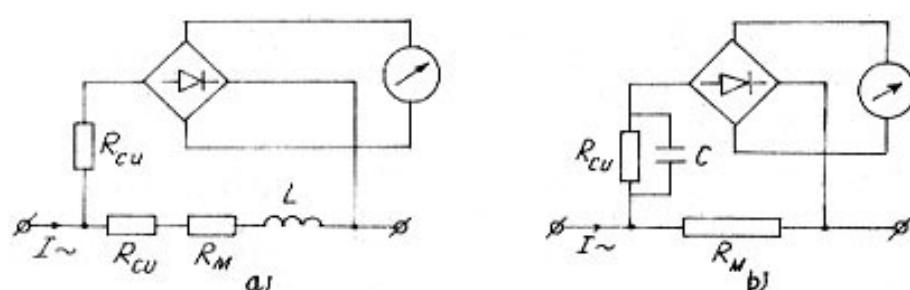
$$\alpha = \frac{B.S.W}{D} \cdot I_{tb} = \frac{B.S.W}{D} \cdot I_{tb} \cdot \frac{I}{I} = \frac{B.S.W}{D} \cdot \frac{I}{(I/I_{tr.b})}$$

gọi: $I/I_{tr.b} = k_d$ là hệ số hình dáng của dòng điện

$$\Rightarrow \alpha = \frac{B.S.W.I}{D.k_d}$$

Như vậy khi khắc độ để lấy giá trị hiệu dụng thì thang đo phải chia cho hệ số k_d . Nếu dòng điện có dạng sin thì $k_d = 1,11$

- **Một số sơ đồ Ampemét từ điện chỉnh lưu (H.8.8a,b)**



Hình 8.8. Bù tần số ở ampemét chỉnh lưu:

- a) Bù bằng cuộn cảm trong ampemét chỉnh lưu đo dòng nhỏ.
- b) Bù bằng điện dung trong ampemét chỉnh lưu đo dòng lớn.

▪ **Đo dòng nhỏ (bằng hoặc nhỏ hơn dòng qua cơ cấu chỉ thị một ít):** mắc

mạch chỉnh lưu nối tiếp với cơ cầu chỉ thị và mắc trực tiếp vào mạch đo, không cần sun.

▪ *Đo dòng lớn hơn dòng qua cơ cầu chỉ thị:* mắc cơ cầu song song với sun (H.8.8). Ở đây sun làm nhiệm vụ mở rộng giới hạn đo dòng, đồng thời vừa để bù sai số do nhiệt độ và tần số.

Trong sơ đồ hình 8.8a: R_{CU} để bù nhiệt độ, còn L để bù tần số.

Trong sơ đồ hình 8.8b: dùng C để bù sai số do tần số.

Ngày nay thường chế tạo các dụng cụ chỉnh lưu tổng hợp: vừa đo dòng, áp một chiều, xoay chiều và điện trở nhờ bộ đổi nối. Các dụng cụ này có nhiều thang đo về dòng, áp, điện trở nhờ có sử dụng các sun; điện trở phụ nhiều giá trị khác nhau.

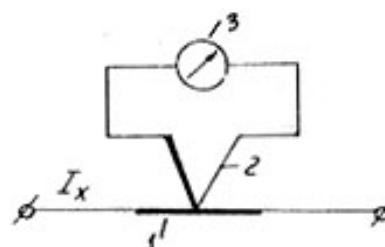
Ví dụ thang đo về dòng điện từ 3mA đến 6A; về điện áp từ 75mV đến 600V (thang 75mV chỉ đo áp một chiều); về điện trở từ 500Ω đến 5MΩ ...

Thang đo của dụng cụ chỉnh lưu với điện xoay chiều và điện một chiều khác nhau. Do đặc tính V.A của ở dòng điện xoay chiều nhỏ là phi tuyến nên phần đầu thang đo ($10 \div 15\%$) không đều.

- *Ưu điểm cơ bản của dụng cụ chỉnh lưu bằng diốt:* là độ nhạy cao, tiêu thụ công suất nhỏ, có thể làm việc ở tần số cao (không có mạch bù tần số có thể dùng ở tần số 500 đến 2000Hz); có mạch bù tần số có thể dùng đến 50kHz vẫn đảm bảo chính xác.

- *Nhược điểm:* là chính xác không cao (khoảng cấp $1,5 \div 2,5$), các ampemét chỉnh lưu thường khắc độ theo tín hiệu sin. Nếu dùng các ampemét này đo dòng điện không sin thì sẽ xuất hiện sai số hình dáng.

d) *Ampemét nhiệt điện:* cũng là ampemét chỉnh lưu vì nhờ cặp nhiệt ngẫu đã biến dòng điện xoay chiều thành một chiều cầu tạo như hình 8.9:



Hình 8.9. Ampemét nhiệt điện.

- *Nguyên lý làm việc của Ampemét nhiệt điện:* khi có dòng điện xoay chiều I_x chạy qua sợi dây dẫn làm dây này bị đốt nóng. Nhiệt độ của dây dẫn là:

$$T^0 = k_0 I_x^2$$

với k_0 là hằng số, phụ thuộc nhiệt dung dây dẫn.

Nhiệt độ này làm nóng đầu công tác của cặp nhiệt ngẫu, ở đầu tự do của nó sẽ xuất hiện sức điện động nhiệt:

$$E_t = k_1 \cdot T^0 = k_1 k_0 I_x^2 = k_2 I_x^2$$

(k_1 cũng là hằng số phụ thuộc vật liệu và một số tính năng của cặp nhiệt ngẫu).

Hai đầu tự do của cặp nhiệt ngẫu được nối với cơ cầu chỉ thị từ điện nên suất điện động E_t được đặt lên cơ cầu này sinh ra dòng điện qua cơ cầu làm kim chỉ lêch một góc α :

$$\alpha = \frac{B.S.W}{D} \cdot I_0 = \frac{B.S.W}{D} \cdot \frac{E_t}{r_{ct} + R_n}$$

với: I_0 : dòng điện qua cơ cấu chỉ thị

R_n : điện trở cặp nhiệt ngẫu

r_{ct} : điện trở của cơ cấu chỉ thị.

Từ đó có quan hệ giữa góc quay (độ chỉ của chỉ thị) và dòng điện cần đo:

$$\alpha = \frac{B.S.W}{D} \cdot \frac{k_2 I_x^2}{r_{ct} + R_n} = K I_x^2$$

Để tăng sức điện động nhiệt E_t nhằm dễ dàng nhận biết kết quả đo bằng chỉ thị từ điện, người ta thường mắc nối tiếp các cặp nhiệt ngẫu với nhau hoặc thông qua một bộ khuếch đại một chiều.

- *Ưu điểm của ampemét nhiệt điện*: là cho phép đo dòng điện ở tần số cao; dải tần làm việc rộng (từ một chiều đến hàng trăm MHz).

- *Nhược điểm của ampemét nhiệt điện*: có sai số lớn, khả năng qua tải kém, công suất tốn hao lớn.

8.3. Đo dòng điện nhỏ.

Đo dòng điện nhỏ tức là dòng $I_x \ll I_{ct}$ (dòng qua cơ cấu chỉ thị); thường I_x cỡ $10^{-5} A \div 10^{-10} A$. Để đo được dòng này cần phải có các thiết bị có độ nhạy cao. Hiện nay việc nâng cao độ nhạy, hạ thấp ngưỡng nhạy và khuếch đại ổn định, chính xác cao cũng còn gặp nhiều khó khăn.

Thường gặp các dụng cụ đo dòng điện nhỏ như:

- Điện kế cơ điện
- Điện lượng kế
- Các dụng cụ điện tử mà thành phần cơ bản là các bộ khuếch đại một chiều, xoay chiều, chỉnh lưu... kết hợp với chỉ thị cơ điện (từ điện).

8.3.1. Điện kế từ điện có khung quay:

Dùng để đo dòng điện rất nhỏ; có độ nhạy cao.

Dựa vào cơ cấu và phương trình đặc trưng của cơ cấu chỉ thị từ điện:

$$\alpha = \frac{B.S.W}{D} \cdot I$$

có thể nâng độ nhạy bằng các biện pháp sau:

- *Tăng từ cảm B*: bằng cách dùng nam châm có kích thước lớn làm bằng vật liệu có từ dư và năng lượng từ lớn (B đạt đến 0,4 Tesla).

- *Giảm hệ số xoắn của lò xo (giảm D)*: bằng cách dùng dây treo mảnh, kích thước dài.

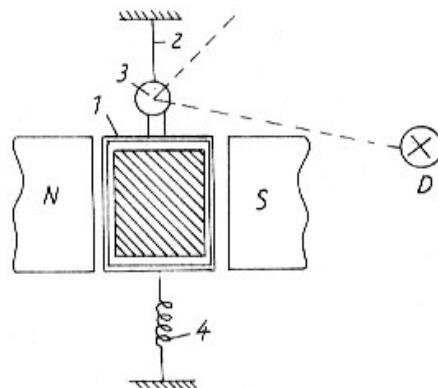
Tuy nhiên khi D giảm thì tần số dao động của khung dây sẽ giảm; thời gian đo sẽ bị kéo dài, khó thực hiện phép đo. Trong trường hợp này cần phải quan tâm đến đặc tính động của phần động cơ cấu. Đặc tính này được xác định bởi tương quan giữa hằng số dụng cụ (nghịch đảo của độ nhạy) với điện trở điện ngoài.

Thường chọn độ nhạy đảm bảo sao cho điện trở mạch ngoài ở giá trị tối hạn thì thời gian dao động sẽ ngắn nhất.

- *Dùng hệ thống quang học*: để tăng khoảng cách từ bộ phận động đến thang chia độ để tăng độ nhạy của dụng cụ đo.

Bằng cách sử dụng các biện pháp trên đây mới đạt được độ nhạy của điện kế cỡ $10^{-12} \div 10^{-14}$ A/m.

Ví dụ về điện kế từ điện có khung quay (H.8.10):



Hình 8.10. Điện kế từ điện có khung quay dùng hệ thống quang học:

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. Khung dây; | 2. Dây treo |
| 3. Gương phản chiếu; | 4. Dây không mômen |

Dòng điện cần đo được dẫn vào khung dây (1) trực tiếp nhờ dây treo (2) và dây không mômen (4).

Dùng dây treo (2) và gương (3) cùng hệ thống quang học (gương, đèn chiếu sáng) để tăng độ nhạy. Hệ thống đèn chiếu sáng phát ra chùm tia sáng chiếu lên gương (3) và phản chiếu lên thang chia độ để lấy số đo - đây là nguyên lý của điện kế gương.

Hàng số của điện kế gương với cấu trúc loại này phụ thuộc vào khoảng cách giữa gương và thang chia độ. Thường tính khoảng cách từ gương đến thang chia độ là 1m.

8.3.2. Tăng độ nhạy bằng khuếch đại điện tử:

Trường hợp này chủ yếu dùng các mạch khuếch đại bán dẫn, vi điện tử...

Trong đo lường các mạch khuếch đại được dùng với các mục đích :

- Tăng độ nhạy về dòng, áp, tức là giảm điện trở vào trường hợp đo dòng và tăng điện trở vào trường hợp đo áp.

- Nâng cao đặc tính tần của các thiết bị đo.

Đầu ra của các dụng cụ có khuếch đại điện tử được nối với các cơ cấu từ điện (ở dạng micrôAmpemét $50 \div 100\mu A$). Vì vậy vấn đề chủ yếu ở đây không phải là hệ số khuếch đại mà là biện pháp giảm ngưỡng nhạy tức là phải sử dụng các mạch có các đặc tính: ít nhiễu, ít trôi điếm không, có quan hệ vào ra tuyến tính...

Nhược điểm của khuếch đại bán dẫn là nhiễu đầu vào lớn, không hạ thấp được ngưỡng nhạy của dòng hoặc áp vào.

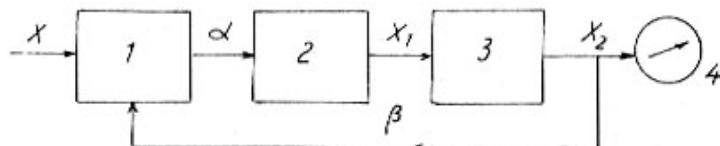
Thường dùng các bộ khuếch đại vi sai bằng vi điện tử vì công nghệ vi điện tử bảo đảm hai bán dẫn đồng nhất. Ngoài ra còn dùng khuếch đại một chiều có điều chế (với nhiễu đầu vào cỡ $5-10$ micrônôampône hoặc nanôampê) cũng có thể điều chế bằng bán dẫn trường để tăng điện trở đầu vào.

8.3.3. Khuếch đại điện kế:

Khuếch đại điện tử và vi điện tử có ngưỡng nhạy cao và ổn định thấp, vì vậy để

giảm ngưỡng nhạy và tăng độ ổn định người ta dùng khuếch đại điện kế kiểu bù. Đây là thiết bị kết hợp giữa khuếch đại điện tử và điện kế cơ điện.

Sơ đồ khối của khuếch đại điện kế kiểu bù như hình 8.11:



Hình 8.11. Sơ đồ khối của khuếch đại điện kế kiểu bù:

1. Cơ cấu sơ cấp (điện kế)
2. Chuyển đổi đo lường
3. Khuếch đại điện tử
4. Cơ cấu thứ cấp (thường là cơ cấu chỉ thị từ điện dưới dạng micrôAmpemét)

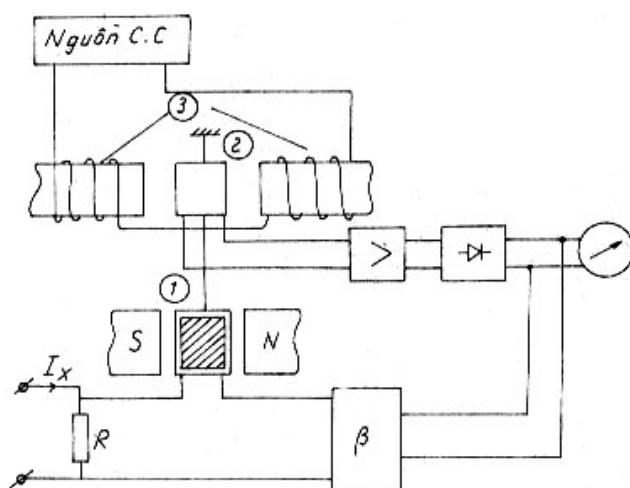
a) Nguyên lý làm việc: đại lượng điện cần đo (X) được đưa vào khuếch đại điện kế; đầu tiên qua cơ cấu sơ cấp, cơ cấu này thường là một điện kế có độ nhạy cao, biến đổi đại lượng điện (X) thành di chuyển góc (α); qua bộ biến đổi đo lường, chuyển α thành đại lượng điện (X_1) đưa vào khuếch đại điện tử rồi đến bộ phận chỉ thị kết quả đo (4).

Để nâng cao ổn định của hệ thống đo, người ta dùng phản hồi (β) từ đầu ra về cơ cấu sơ cấp.

Trong khuếch đại điện kế, bộ chuyển đổi đo lường đóng vai trò khá quan trọng. Vì vậy theo các loại chuyển đổi ta chia khuếch đại điện kế thành: khuếch đại điện kế cảm ứng, khuếch đại điện kế quang nhiệt, khuếch đại điện kế nhiệt điện, khuếch đại điện kế tĩnh điện...

Sau đây xét một số ví dụ về cấu tạo, nguyên lý của khuếch đại điện kế:

b) Khuếch đại điện kế cảm ứng (H.8.12):



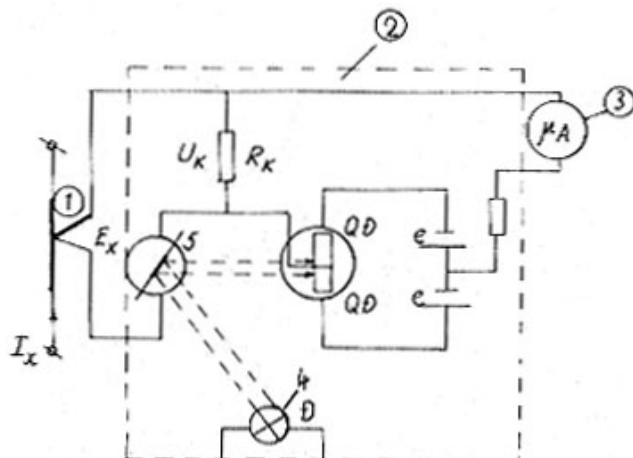
Hình 8.12. Khuếch đại điện kế cảm ứng:

1. Điện kế từ điện
2. Cuộn dây cảm ứng
3. Chuyển đổi cảm ứng

Dòng điện I_X cần đo được đưa vào điện kế từ điện làm cho khung quay của điện kế lệch so với vị trí ban đầu một góc α ; cuộn dây cảm ứng (2) của chuyển đổi cảm

ứng (3) được nối với khung quay điện kế nên cũng lệch một góc α . Đồng thời cuộn dây cảm ứng khi dịch chuyển sẽ cắt đường súc của chuyên đổi cảm ứng làm sinh ra sức điện động cảm ứng trong cuộn dây (2). Sức điện động cảm ứng này được chuyển đến khuếch đại điện tử, chỉnh lưu và đến cơ cầu chỉ thị. Một phần áp ở đầu ra chỉnh lưu được đưa về bù lại ở đầu vào để tăng độ ổn định ở hệ thống đo.

c) Micrô Ampemét nhiệt điện dùng khuếch đại điện kế quang điện (H.8.13):



Hình 8.13. Khuếch đại quang điện kế

Cấu tạo của thiết bị gồm 3 bộ phận chính:

- Cặp nhiệt ngẫu (chuyển đổi nhiệt điện loại tiếp xúc).

- Khuếch đại điện kế quang điện, bao gồm: điện kế gương (5) được chiếu sáng nhờ đèn sợi đốt (4) và tia sáng từ gương lại phản chiếu lên hai quang điện trở mắc mạch với hai nguồn sức điện động tạo áp bù U_k .

- MicrôAmpemét từ điện: làm nhiệm vụ chỉ thị kết quả đo.

MicrôAmpemét nhiệt điện hoạt động như sau: dòng điện cần đo I_x qua dây đốt của cặp nhiệt ngẫu làm xuất hiện sức điện động nhiệt E_x ở đầu tự do của cặp nhiệt. E_x được so sánh với U_k .

Nếu $E_x \neq U_k$ thì trong mạch điện kế gương có dòng điện chạy qua, sẽ làm lệch tia sáng từ đèn đến gương và đến hai quang điện trở (QĐ). Cầu tạo bởi hai quang điện trở QĐ và hai nguồn sức điện động e mât cân bằng, làm thay đổi dòng qua R_k và qua μA .

Khi $E_x = U_k$ khung quay (gương) của điện kế sẽ đứng yên. Giá trị R_k không đổi; dòng qua nó tỉ lệ với E_x tức là tỉ lệ với dòng I_x . Vì vậy người ta khắc độ micrôAmpemét theo giá trị của dòng cần đo I_x .

Nhờ sử dụng điện kế có độ nhạy cao và sơ đồ có mạch bù nên micrôAmpemét này có độ nhạy khá cao. Đồng thời độ chỉ của micrôAmpemét không phụ thuộc vào tính chất của đèn chiếu sáng, sự dao động của nguồn cung cấp và các thông số của tế bào quang điện.

8.4. Đo dòng điện lớn.

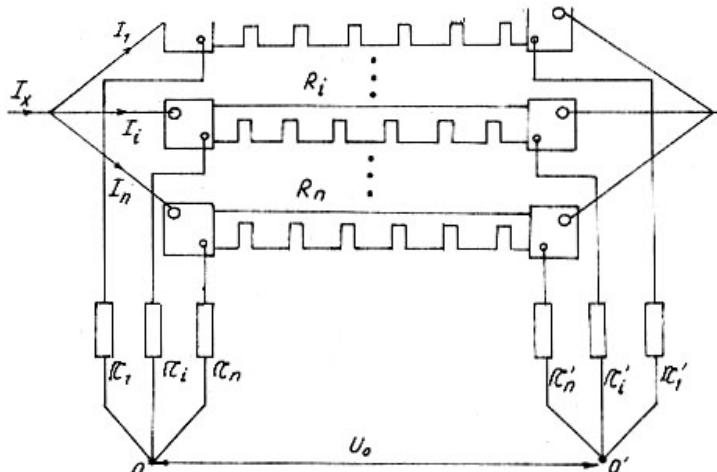
8.4.1. Đo dòng một chiều lớn:

Ta có thể dùng các phương pháp và thiết bị đo như sau:

a) **Ghép song song các sun:** dòng điện cần đo là:

$$I_X = I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_n$$

với: $I_1; I_2; \dots$ dòng điện định mức ghi trên sun
 $R_1; R_2; \dots$ điện trở sun tương ứng
 $r_1; r_2; \dots; r'_1; r'_2; \dots$ các điện trở được mắc tương ứng với $R_1; R_2; \dots$
trong mạch áp theo quan hệ: $\frac{r_1}{R_1} = \frac{r_2}{R_2} = \dots = \frac{r_i}{R_i}$ sao cho dòng qua các $r_i r'_i$ rất nhỏ so
với dòng qua sun.



Hình 8.14. Đo dòng điện một chiêu lớn bằng cách ghép song song các sun

Tiến hành đo U_0 là điện áp rơi trên các sun, bằng phương pháp gián tiếp ta sẽ đo được dòng điện cần đo:

$$I_x = U_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

phương pháp này đơn giản nhưng không an toàn cho người sử dụng.

b) **Đo từ trường sinh ra xung quanh dây dẫn:** quan hệ giữa từ cảm B và dòng điện qua dây dẫn là:

$$B = \frac{\mu_0}{\delta} \cdot W \cdot I_x$$

với: I_x : dòng điện chạy trong cuộn dây tạo ra lực từ F

B : từ cảm

W : số lượng vòng dây quấn trên mạch từ.

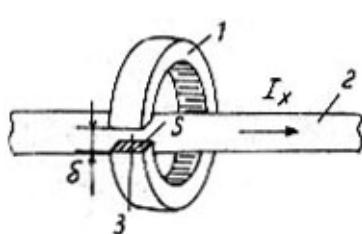
δ : khoảng cách giữa hai cực của mạch từ hở (khe hở không khí)

S : Tiết diện của cực từ

μ_0 : Hệ số thẩm từ của không khí.

nhiều vậy có thể đo từ cảm B rồi suy ra dòng điện I_x .

Muốn đo dòng I_x phải tạo mạch từ trỏ hình xuyên và lồng dây dẫn qua mạch từ này (H. 8.15):



Hình 8.15. Nguyên lý cấu tạo dụng cụ đo dòng điện bằng cách đo từ trường xung quanh dây dẫn:

1. Mạch từ hình xuyên

2. Dây dẫn có dòng cần đo I_x chảy qua

3. Khe hở không khí

Mạch từ hình xuyến được tạo bởi vật liệu từ mềm (có μ lớn) để cho từ trở của mạch từ (r_m) nhỏ hơn nhiều so với từ trở R_m của khe hở không khí, có thể bỏ qua r_m .

Khi dòng I_x chạy trong dây dẫn thì trong khe hở không khí (như chứng minh trên) sẽ có từ cảm B , với mạch từ nhất định thi:

$$W = \text{const}; \quad \mu_0 = \text{const}; \quad \delta = \text{const}$$

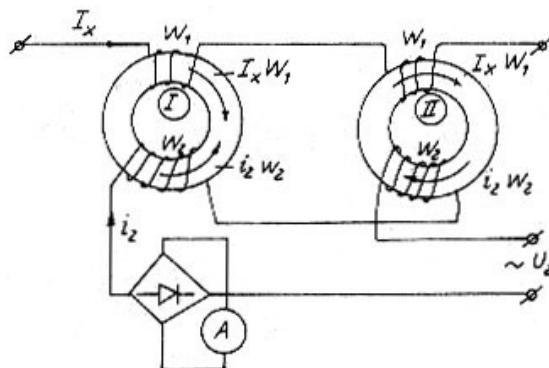
$$B = k \cdot I_x \quad \text{với} \quad k = \frac{\mu_0}{\delta} \cdot W = \text{const}$$

như vậy bằng cách đo từ cảm B có thể suy ra dòng điện cần đo I_x .

Thường từ cảm B được đo bằng các thiết bị đo từ hoặc bằng chuyển đổi Hall.

Sai số chủ yếu của phương pháp này phụ thuộc vào tính chất phi tuyến của lõi sắt từ. Nếu đo từ cảm B bằng phương pháp công hưởng từ hạt nhân thì chính xác sẽ rất cao (0,01%).

c) Đo dòng điện một chiều lớn bằng biến dòng một chiều: biến dòng một chiều dựa trên cơ sở bộ điều chế từ, tức là dựa trên sự ảnh hưởng của từ trường một chiều lên lõi sắt từ được kích thích bởi dòng xoay chiều.



Hình 8.16. Sơ đồ nguyên lý của biến dòng một chiều

Cấu tạo: biến dòng một chiều (H.8.16) gồm hai lõi hình xuyến I, II làm bằng vật liệu sắt từ (Pecmaloi) có hệ số thẩm từ μ lớn. Trên đó quấn hai cuộn dây W_1 và W_2 . Cuộn W_2 quấn trên lõi sắt II ngược chiều với W_1 quấn trên lõi xuyến I. W_1 mắc vào mạch một chiều có dòng cần đo I_x chảy qua; W_2 mắc vào mạch xoay chiều U_2 .

Nguyên lý làm việc: dòng một chiều cần đo I_x chạy trong W_1 tạo ra sức từ động $I_x W_1$ trong cả hai lõi (I) và (II) (theo chiều như hình vẽ). Dòng i_2 chạy trong W_2 tạo ra trong hai xuyến (I) và (II) sức từ động $i_2 W_2$ (theo chiều như hình vẽ ở nửa chu kỳ đầu).

Cường độ từ trường trong hai lõi xuyến (I) và (II) được xác định theo định luật dòng toàn phần :

$$H_1 = \frac{F_1}{l} \quad ; \quad H_2 = \frac{F_2}{l}$$

với: $F_1; F_2$: sức từ động tổng trong từng lõi xuyến (I) và (II)

l : chiều dài trung bình của lõi xuyến.

Trong lõi xuyến (I), chiều của F_1 và F_2 ngược nhau nên ta có:

$$H_1 = \frac{I_x W_1 - i_2 W_2}{l}$$

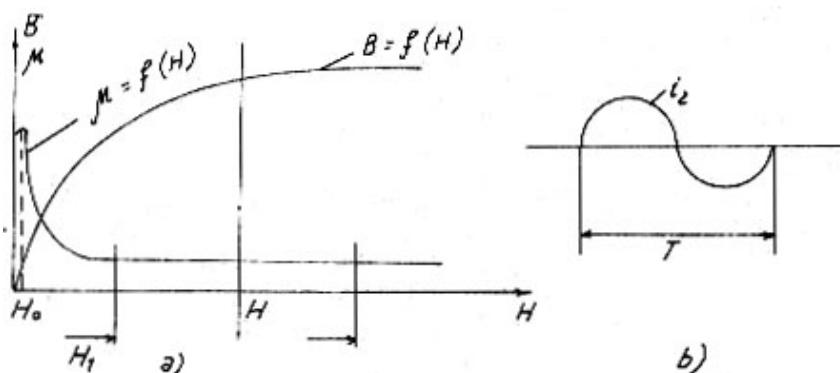
Trong lõi xuyên (II), chiều của F_1 và F_2 trùng nhau nên ta có:

$$H_2 = \frac{I_X W_1 + i_2 W_2}{l}$$

Giả sử i_2 biến thiên theo dạng sin nên khi $i_2 = 0$ thì trong lõi xuyên chỉ còn I_X tác dụng, tức là :

$$H = H_1 = H_2 = \frac{I_X W_1}{l}$$

Dựa vào mối quan hệ giữa cường độ từ trường H và từ cảm B ; giữa H và độ thẩm từ μ (H.8.17) để xét sự tác dụng của i_2 trong lõi xuyên và ảnh hưởng đến I_X ; tìm mối liên hệ giữa I_X và i_2 :



*Hình 8.17. Quan hệ giữa cường độ từ trường H và từ cảm B ;
giữa H và độ thẩm từ μ .*

Xét trong nửa chu kỳ dương, dòng i_2 tăng; cường độ từ trường H_2 sẽ tăng còn H_1 sẽ giảm. Do mối quan hệ giữa H và μ (H.8.17a) nên khi H_2 tăng đến một phạm vi nào đó độ thẩm từ μ sẽ bằng hằng số (trong lõi (II)). Trong khi đó H_1 trong lõi xuyên (I) sẽ giảm đến một giá trị H_0 (gần đúng $H_0 \approx 0$; tức là $I_X \cdot W_1 \approx i_2 \cdot W_2$), ở phạm vi này, độ thẩm từ μ tăng rất nhanh, làm cho điện cảm L_2 của cuộn dây W_2 (trong xuyên (I)) cũng tăng nhanh:

$$L_2 = \frac{W_2^2}{R_m} = \frac{\mu_0 \cdot S \cdot W_2^2}{l}$$

điện cảm L_2 thay đổi làm xuất hiện sức điện động cảm ứng E_C trong cuộn dây:

$$E_C = -i_2 \cdot \frac{dL_2}{dt}$$

E_C có hướng ngược với U_2 làm cho i_2 không tăng được nữa mà phải có giá trị thỏa mãn điều kiện:

$$I_X \cdot W_1 \approx i_2 \cdot W_2 \Rightarrow i_2 = \frac{W_1}{W_2} \cdot I_X$$

Như vậy nếu dùng ampemét đo dòng xoay chiều i_2 sẽ suy ra được dòng một chiều cần đo I_X . Và giống như biến dòng xoay chiều: tỉ số W_1/W_2 là hệ số biến dòng một chiều.

- **Ưu điểm của phương pháp dùng biến dòng một chiều:** bảo đảm an toàn cho người sử dụng; thay đổi thang đo dễ dàng bằng cách thay đổi số lượng vòng dây.

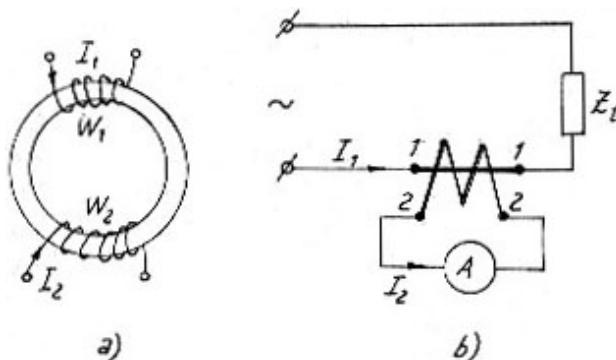
Ngày nay đã chế tạo được biến dòng một chiều với định mức từ 15÷17 kA; cấp chính xác đến 0,5.

8.4.2. Đo dòng xoay chiều lớn:

Để đo dòng điện xoay chiều lớn thì phương pháp thông dụng nhất là sử dụng các ampemét kết hợp biến dòng xoay chiều.

Trong các ampemét điện từ, sức từ động tối đa $F = I \cdot W$ là 200(ampé.vòng), như vậy nếu số dây là một thì có thể đo được dòng tối đa là 200A. Muốn đo dòng lớn hơn 200A phải dùng các ampemét điện từ, điện động kết hợp với biến dòng.

Biến dòng cũng giống như biến áp đo lường: lõi thường là hình xuyến bằng thép kĩ thuật điện, trên có quấn hai cuộn dây: sơ cấp W_1 và thứ cấp W_2 (H.8.18a):



Hình 8.18. a) Nguyên lý cấu tạo của biến dòng
b) Cách mắc ampemét kết hợp với biến dòng.

thường dòng sơ cấp I_1 lớn nên số lượng vòng dây W_1 ít hơn số lượng vòng dây W_2 .

Biến dòng làm việc ở chế độ biến áp ngắn mạch vì điện trở trong R_A của ampemét thường nhỏ, ta có:

$$I_1 \cdot W_1 = I_2 \cdot W_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1} = k_I$$

với k_I gọi là hệ số biến dòng. Thường biến dòng được chế tạo sẵn có dòng thứ cấp I_2 định mức và hệ số biến dòng k_I thay đổi phụ thuộc vào dòng sơ cấp I_1 với các thang biến dòng nhất định.

Ví dụ : biến dòng YTT-S của Liên Xô (cũ) có : $I_2 = 5A$ còn $I_1 = 15A ; 30A; 100A; 200A; 400A; 500A; 600A$.

Üng với mỗi dòng I_1 sẽ có k_I nhất định. Để đo dòng điện xoay chiều lớn, phải kết hợp biến dòng và ampemét xoay chiều có thang đo phù hợp với dòng thứ cấp I_2 của biến dòng.

Ví dụ : $I_{2\text{đ.m}} = 5A$ thì phải chọn ampemét có thang đo $I_{\text{đ.m}} = 5A$.

Mắc biến dòng và Ampemét vào mạch đo như hình 8.18b.

Đọc kết quả phép đo trên ampemét (I_2) kết hợp với hệ số biến dòng ta sẽ được dòng cần đo:

$$I_1 = k_I \cdot I_2$$

Sai số của phép đo phụ thuộc sai số của cả biến dòng và sai số của ampemét.

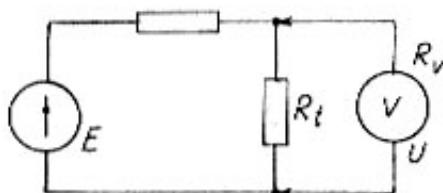
CHƯƠNG 9.

ĐO ĐIỆN ÁP (2 LT)

9.1. Cơ sở chung.

Khi đo điện áp, vônmet được nối song song với tải trong mạch đo. Khi sử dụng vônmet để đo điện áp cần lưu ý các sai số sinh ra trong quá trình đo, bao gồm:

- Sai số do ảnh hưởng của vônmet khi mắc vào mạch đo.
- Sai số do tần số.



Hình 9.1. Cách mắc vônmet vào mạch cần đo.

a. Sai số của phép đo điện áp do ảnh hưởng của vônmet lên mạch cần đo: khi mắc vào mạch đo, vônmet đã lấy một phần năng lượng của đối tượng đo nên gây sai số:

Khi chưa mắc vônmet vào mạch, điện áp rơi trên tải là:

$$U_t = \frac{E}{R_t + R_{ng}} \cdot R_t$$

với: R_{ng} là điện trở trong của nguồn cấp cho tải.

Lúc mắc vônmet vào mạch, vônmet sẽ đo điện áp rơi trên tải :

$$U_V = \frac{U_t}{R_e + R_V} \cdot R_V$$

với: $R_e = (R_{ng} // R_t) = \frac{R_t \cdot R_{ng}}{R_t + R_{ng}}$; R_V : là điện trở trong của vônmet.

\Rightarrow sai số của phép đo điện áp bằng vônmet:

$$\gamma_u = \frac{U_t - U_V}{U_t} = \frac{R_e}{R_e + R_V} \approx \frac{R_e}{R_V}$$

Như vậy muốn sai số nhỏ thì yêu cầu R_V phải lớn, cụ thể R_V phải thoả mãn điều kiện sau :

$$R_V > \frac{R_e}{\gamma} \quad \text{với: } \gamma \text{ là cấp chính xác của vônmet.}$$

Nếu không thoả mãn yêu cầu này thì sai số hệ thống do vônmet gây ra sẽ lớn hơn sai số của bản thân dụng cụ. Lúc đó muốn kết quả đo chính xác, phải dùng công thức hiệu chỉnh:

$$U_t = (1 + \gamma_u) \cdot U_V$$

Điều này rất quan trọng đối với phép đo điện áp của nguồn có điện trở trong lớn. Vì vậy trên các dụng cụ đo điện áp chính xác hoặc dụng cụ vạn năng thường ghi giá trị điện trở trong của nó.

b. Sai số của phép đo điện áp do ảnh hưởng của tần số của điện áp cần đo: trong các mạch xoay chiều, khi đo điện áp cần phải lưu ý đến miền tần số làm việc của vônmet phù hợp với tần số của tín hiệu cần đo. Nếu dùng vônmet xoay chiều có dải tần làm việc không phù hợp với tần số tín hiệu cần đo thì sẽ gây sai số cho phép đo gọi là sai số do tần số.

Sai số này tính đến ảnh hưởng của các mạch và phần tử mạch đo lường như các điện trở phụ, biến dòng, biến áp, chỉnh lưu, khuếch đại...

Trên các vônmet thường ghi dải tần làm việc của vônmet đó.

Trong thực tế, người ta có thể dùng nhiều phương pháp và thiết bị đo điện áp khác nhau.

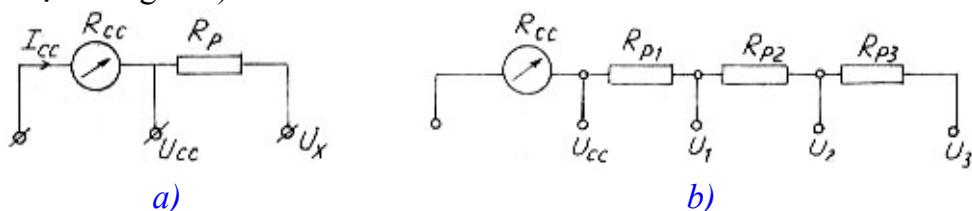
9.2. Các dụng cụ tương tự đo điện áp.

9.2.1. Vônmet từ điện:

Vônmet từ điện ứng dụng cơ cấu chỉ thị từ điện để đo điện áp, gồm có:

- Vônmet từ điện đo điện áp một chiều
- Vônmet từ điện đo điện áp xoay chiều

a. Vônmet từ điện đo điện áp một chiều: cơ cấu từ điện chế tạo sẵn, có điện áp định mức khoảng $50 \div 75\text{mV}$. Muốn tạo ra các vônmet đo điện áp lớn hơn phạm vi này cần phải mắc nối tiếp với cơ cấu từ điện những điện trở phụ R_p (thường làm bằng vật liệu manganin) như hình 9.2:



Hình 9.2. Mắc điện trở phụ để mở rộng thang đo của vônmet từ điện một chiều:

- a) Một cấp điện trở phụ: mở rộng thêm 1 thang đo
- b) Ba cấp điện trở phụ: mở rộng thêm 3 thang đo

Cách tính giá trị điện trở phụ phù hợp với điện áp U_x cần đo:

$$I_{CC} = \frac{U_{CC}}{R_{CC}} = \frac{U_x}{R_{CC} + R_p} \Rightarrow R_p = R_{CC} \left(\frac{U_x}{U_{CC}} - 1 \right)$$

với: $\frac{U_x}{U_{CC}} = m$: gọi là hệ số mở rộng thang đo về áp

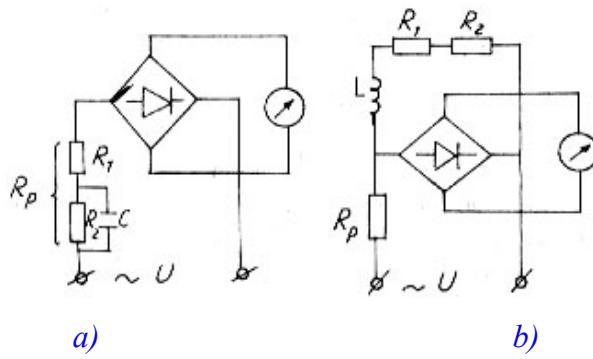
\Rightarrow điện trở phụ được chọn theo công thức:

$$R_p = R_{CC} \cdot (m - 1)$$

Bằng phương pháp này có thể tạo ra các vônmet từ điện nhiều thang đo khi mắc nối tiếp vào cơ cấu từ điện các điện trở phụ khác nhau. Ví dụ sơ đồ vônmet từ điện có 3 thang đo như hình 9.2a.

Các vônmet từ điện đo trực tiếp tín hiệu một chiều có sai số do nhiệt độ không đáng kể vì hệ số nhiệt độ của mạch vônmet được xác định không chỉ là hệ số nhiệt độ dây đồng của cơ cấu từ điện mà còn tính cả hệ số nhiệt độ của điện trở phụ trong khi điện trở phụ có điện trở ít thay đổi theo nhiệt độ do được chế tạo bằng manganin.

b. Vômét từ điện đo điện áp xoay chiều: đo điện áp xoay chiều bằng cách phôi hợp mạch chỉnh lưu với cơ cấu từ điện để tạo ra các vômét từ điện đo điện áp xoay chiều (H. 9.3):



Hình 9.3. Sơ đồ nguyên lý của vômét từ điện đo điện áp xoay chiều:

- a) sơ đồ milivômét chỉnh lưu
- b) sơ đồ vômét chỉnh lưu

Sơ đồ milivômét chỉnh lưu: như hình 9.3a, trong đó R_p vừa để mở rộng giới hạn đo vừa để bù nhiệt độ nên R_1 bằng đồng; R_2 bằng Manganin còn tụ điện C để bù sai số do tần số.

Sơ đồ vômét chỉnh lưu: như hình 9.3b, trong đó điện cảm L dùng để bù sai số do tần số; điện trở R_1 bằng đồng; điện trở R_2 bằng manganin tạo mạch bù nhiệt độ.

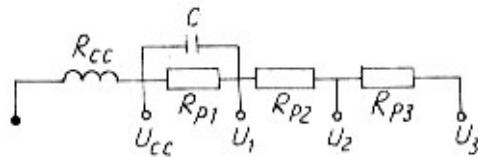
9.2.2. Vômét điện từ:

Vômét điện từ ứng dụng cơ cấu chỉ thị điện từ để đo điện áp. Trong thực tế vômét điện từ thường được dùng để đo điện áp xoay chiều ở tần số công nghiệp.

Vì yêu cầu điện trở trong của vômét lớn nên dòng điện chạy trong cuộn dây nhỏ, số lượng vòng dây quấn trên cuộn tĩnh rất lớn, cỡ 1000 đến 6000 vòng.

Để mở rộng và tạo ra vômét nhiều thang đo thường mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ giống như trong vômét từ điện.

Khi đo điện áp xoay chiều ở miền tần số cao hơn tần số công nghiệp sẽ xuất hiện sai số do tần số. Để khắc phục sai số này người ta mắc các tụ điện song song với các điện trở phụ (H. 9.4):



Hình 9.4. Khắc phục sai số do tần số của vômét điện từ

9.2.3. Vômét điện động:

Vômét điện động có cấu tạo phàn động giống như trong ampermét điện động, còn số lượng vòng dây ở phàn tĩnh nhiều hơn so với phàn tĩnh của ampermét và tiết diện dây phàn tĩnh nhỏ vì vômét yêu cầu điện trở trong lớn.

Trong vômét điện động, cuộn dây động và cuộn dây tĩnh luôn mắc nối tiếp nhau, tức là:

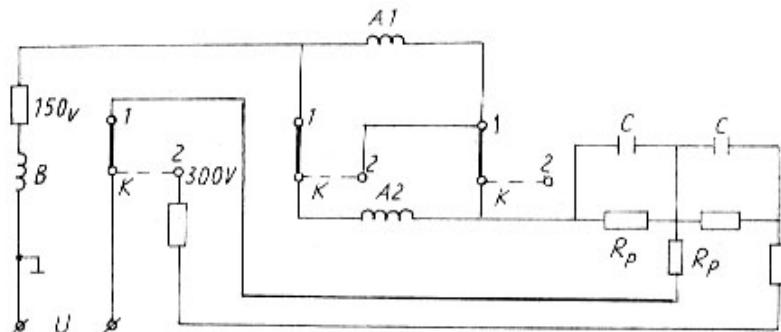
$$I_1 = I_2 = I = \frac{U}{Z_V}$$

Phương trình đặc tính thang đo của cơ cấu điện động cho vônmet có thể viết:

$$\alpha = \frac{U^2}{D.Z_V^2} \cdot \frac{dM_{1,2}}{d\alpha}$$

với: Z_V : tổng trở toàn mạch của vônmet

Có thể chế tạo vônmet điện động nhiều thang đo bằng cách thay đổi cách mắc song song hoặc nối tiếp hai đoạn cuộn dây tĩnh và nối tiếp các điện trở phụ. Ví dụ sơ đồ vônmet điện động có hai thang đo như hình 9.5:



Hình 9.5. Mở rộng thang đo của vônmet điện động.

trong đó: A_1, A_2 là hai phần của cuộn dây tĩnh.

B cuộn dây động.

Trong vônmet này cuộn dây tĩnh và động luôn luôn nối tiếp với nhau và nối tiếp với các điện trở phụ R_p .

Bộ đổi nối K làm nhiệm vụ thay đổi giới hạn đo:

- *Khóa K ở vị trí 1*: hai phân đoạn A_1, A_2 của cuộn dây tĩnh mắc song song nhau tương ứng với giới hạn đo 150V.
- *Khóa K ở vị trí 2*: hai phân đoạn A_1, A_2 của cuộn dây tĩnh mắc nối tiếp nhau tương ứng với giới hạn đo 300V.

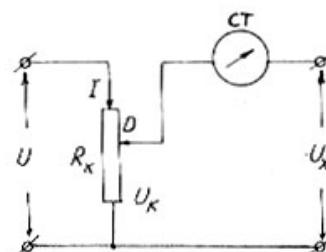
Các tụ điện C tạo mạch bù tần số cho vônmet.

9.3. Các dụng cụ đo điện áp bằng phương pháp so sánh.

9.3.1. Cơ sở của phương pháp so sánh:

Các dụng cụ đo điện áp đã được xét ở mục 9.2 sử dụng cơ cấu cơ điện để biểu hiện kết quả đo theo phương pháp biến đổi thẳng, vì vậy cấp chính xác của dụng cụ không thể vượt qua cấp chính xác của cơ cấu chỉ thị.

Muốn đo điện áp chính xác hơn phải dùng phương pháp so sánh với mẫu (tức là so sánh điện áp cần đo với điện áp rời trên điện trở mẫu), phương pháp này còn gọi là phương pháp bù. Nguyên lý cơ bản của phương pháp được mô tả trên sơ đồ hình 9.6:



Hình 9.6. Nguyên lý cơ bản của dụng cụ đo điện áp bằng phương pháp so sánh.

trong đó:

$$U_k = I R_k$$

với:

- U_k : là điện áp mẫu chính xác cao (được tạo bởi dòng điện I ổn định chạy qua điện trở mẫu R_k khá chính xác).
- CT: là thiết bị tự động phát hiện sự chênh lệch điện áp $\Delta U = U_X - U_k$, còn gọi là cơ cấu chỉ thị không.

Khi đo điện áp cần đo U_X sẽ được so sánh với điện áp mẫu U_k . Quá trình so sánh có thể được tiến hành bằng tay hoặc hoàn toàn tự động theo nguyên tắc:

- Nếu $\Delta U \neq 0$: điều chỉnh con trượt D của điện trở mẫu R_k cho đến khi $\Delta U = 0$.
- Khi $\Delta U = 0$: đọc kết quả trên điện trở mẫu R_k đã được khắc độ theo thứ nguyên điện áp, từ đó suy ra điện áp cần đo $U_X = U_k$.

Có nhiều loại dụng cụ bù điện áp khác nhau, nhưng nguyên lý chung giống nhau, chỉ khác nhau ở cách tạo điện áp mẫu U_k .

9.3.2. Điện thế kế một chiều điện trở lớn:

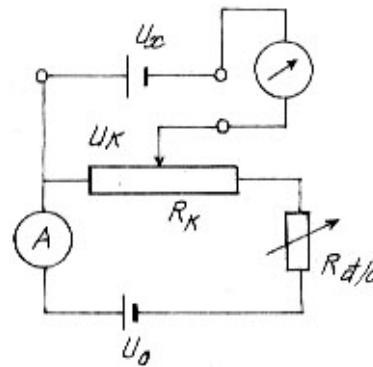
Điện thế kế một chiều điện trở lớn được chế tạo dựa trên nguyên tắc giữ dòng điện ổn định ($I = \text{const}$), thay đổi điện trở R_k để thay đổi U_k bù với điện áp U_X cần đo.

Để bảo đảm độ chính xác cao cho điện thế kế cần phải bảo đảm các điều kiện sau:

- Điện trở mẫu chính xác cao: do vật liệu, quy trình công nghệ chế tạo thiết bị mẫu quyết định.
- Dòng qua điện trở mẫu chính xác cao: cần có mạch hợp lý và nguồn ổn định.
- Chỉ thị cân bằng đủ nhạy để phát hiện sự chênh lệch giữa tín hiệu đo và mẫu.

Để cụ thể hơn, sau đây sẽ xét ví dụ về mạch điện thế kế một chiều cổ điển. Mạch điện thế kế một chiều cổ điển gồm hai bộ phận (H. 9.7):

- Bộ phận tạo dòng công tác I_P
- Bộ phận mạch đo



Hình 9.7. Mạch điện thế kế một chiều cổ điển

Bộ phận tạo dòng công tác I_P : gồm nguồn cung cấp U_0 ; điện trở điều chỉnh $R_{d/c}$; ampemét để đo dòng công tác I_P và điện trở mẫu R_k .

Bộ phận mạch đo: gồm điện áp cần đo U_X ; điện kế chỉ sự cân bằng giữa U_X và U_k ; một điện trở mẫu R_k .

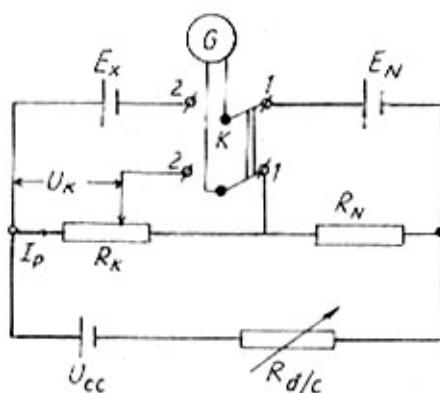
a. **Hoạt động của điện thế kế:** đầu tiên phải xác định giá trị dòng công tác I_P nhờ

nguồn U_0 , điện trở điều chỉnh $R_{d/c}$ và ampemét và phải giữ giá trị I_P cố định trong suốt thời gian đo. Tiếp theo quá trình đo được tiến hành bằng cách điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu R_k cho đến khi điện kế chỉ zérô, đọc kết quả đo trên điện trở mẫu R_k ; khi đó có giá trị điện áp cần đo là:

$$U_X = U_k = I.R_k$$

Trong điện kế này còn tồn tại ampemét để xác định I_P nên cấp chính xác của điện kế thấp không thể cao hơn cấp chính xác của ampemét.

b. Nâng cao độ chính xác của điện thế kế bằng cách dùng pin mẫu: có thể loại trừ ampemét ra khỏi mạch của điện thế kế bằng cách dùng pin mẫu để xác định dòng công tác. Sơ đồ điện thế kế một chiều dùng pin mẫu như hình 9.8:



Hình 9.8. Điện thế kế dùng pin mẫu

Cấu tạo: sơ đồ này cũng gồm hai bộ phận: bộ phận tạo dòng công tác I_P và bộ phân mach đo.

Quá trình đo được tiến hành như sau: đặt công tắc K nối với điện kế G ở vị trí 1-1 để xác định dòng công tắc, điều chỉnh $R_{d/c}$ để điện kế G chỉ zérô, tức là:

$$E_N = U_{RN} = I_p \cdot R_N \Rightarrow I_p = \frac{E_N}{R_N}$$

sau đó giữ nguyên vị trí $R_{d/c}$, bật công tắc K sang vị trí 2-2 để đo sức điện động E_x , điều chỉnh con trượt trên R_k cho đến khi điện kế G chỉ zérô, lúc đó có giá trị điện áp cần đo là:

$$E_X = U(R_k) = U_k = I_P \cdot R_k = \frac{E_N}{R_{\nu}} \cdot R_k$$

Lưu ý khi sử dụng pin máu:

- *Tính giá trị chuẩn của pin mẫu theo nhiệt độ đo:* pin mẫu E_N thường được chế tạo với hệ số nhất định (thường $E_N = 1,01863V$), có độ chính xác khá cao ($c\sim 0,001\% \div 0,01\%$) nhưng trị số của pin mẫu thường thay đổi do bị ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh. Giá trị của pin mẫu E_N phụ thuộc nhiệt độ được tính theo công thức sau:

$$E_{Nt} = E_{N20} - 40 \cdot 10^{-6} \cdot (t - 20) - 10^{-6} \cdot (t - 20)^2.$$

với: E_{N20} là giá trị của pin mẫu ở nhiệt độ chuẩn 20°C (thường E_{N20} có giá trị là 1.0186V).

t : là nhiệt độ tại nơi sử dụng điện thé kế.

Vì vậy khi sử dụng điện kế thế, trước tiên phải tính giá trị E_N theo nhiệt độ tại nút

đặt điện thế kế theo công thức trên và đặt pin mẫu đúng giá trị đã tính.

- *Sai só khi làm tròn giá trị của pin mẫu:* giá trị của pin mẫu thường không tròn do vậy khi tính toán sẽ gấp sai số đáng kể. Để khắc phục điều này thì cần phải làm tròn dòng công tác I_p bằng cách chế tạo R_N sao cho tỉ số E_N/R_N là một con số tròn. Do đó thường mắc vào mạch R_N một $R_{d/c}$ nối tiếp với nguồn cung cấp để điều chỉnh dòng công tác.

Để đạt độ chính xác cao cho điện thế kế, trong mạch tạo dòng công tác và mạch đo, các điện trở R_N và R_k cũng phải chính xác cao (thường đạt tới độ chính xác 0,02%).

Các bước sử dụng điện thế kế để đo điện áp và các đại lượng điện khác:

- Bước 1 : Điều chỉnh dòng công tác:

- Mắc đúng mạch điện thế kế (như H. 9.8): nguồn cung cấp, pin mẫu, điện kế.
- Tính toán giá trị pin mẫu E_{Nt} và đặt đúng giá trị đã tính vào điện thế kế.
- Đặt khoá K ở vị trí điều chỉnh dòng công tác (1-1) ; điều chỉnh điện trở $R_{d/c}$ cho đến khi điện kế (G) chỉ zérô (E_N và U_{RN} mắc xung đối nên chúng bằng nhau thì không có dòng qua điện kế) khi đó có:

$$I_p = \frac{E_{Nt}}{R_N}; \text{ (ví dụ: } I_p = \frac{E_{Nt}}{R_N} = \frac{1,0186V}{10186\Omega} = 0,1mA)$$

- Bước 2 : Tiến hành đo:

- Đặt công tắc K ở vị trí đo (2-2).
- Giữ nguyên giá trị của $R_{d/c}$, điều chỉnh con trượt của R_k cho đến khi điện kế chỉ zérô, khi đó có:

$$E_X = R_k \cdot I_p$$

- Đọc kết quả đo E_X trên R_k theo vạch khắc độ trên điện trở R_k .

Lưu ý khi đo điện áp nhỏ: sơ đồ điện thế kế một chiều loại này giá trị điện trở R_k tương đối lớn, các đại lượng cần đo không nhỏ (cỡ vôn) nên ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc (giữa các decac) và sức điện động tiếp xúc không đáng kể. Tuy nhiên khi đo điện áp nhỏ và rất nhỏ thì điện trở tiếp xúc và sức điện động tiếp xúc ảnh hưởng đáng kể đến kết quả phép đo và gây sai số lớn, khi đó phải dùng điện thế kế một chiều điện trở nhỏ.

Ứng dụng đo điện áp lớn (hang chục, hang trăm vôn): phải dùng mạch phân áp kết hợp với điện thế kế một chiều điện trở lớn.

9.3.3. Điện thế kế một chiều điện trở nhỏ:

a. **Cấu tạo:** điện thế kế một chiều điện trở nhỏ được chế tạo trên nguyên tắc giữ nguyên giá trị điện trở mẫu R_k ; thay đổi dòng công tác I_p qua R_k để thay đổi giá trị điện áp mẫu U_k ($U_k = I_p \cdot R_k$) bù lại với điện áp cần đo $U_X(E_X)$. Sơ đồ nguyên lý chung như hình 9.9a.

Nguồn dòng mẫu I qua điện trở mẫu R_k có thể được tạo ra bằng khuếch đại thuỷtoán (hình 9.9b).

b. **Nguyên lý làm việc:** đặt ở đầu vào khuếch đại thuỷtoán một pin mẫu E_N để bù với điện áp rơi trên các điện trở mắc song song ở đầu vào khuếch đại thuỷtoán. Nếu E_N và điện áp rơi trên các điện trở song song U_g bù hoàn toàn nhau, ta có:

$$E_N - U_g = \Delta U = 0 \Leftrightarrow E_N = U_g$$

Mặt khác từ đầu ra của khuếch đại thuât toán có:

$$U_g = I_{ra} \cdot R_g = I_{ra} \cdot \frac{1}{G_g}$$

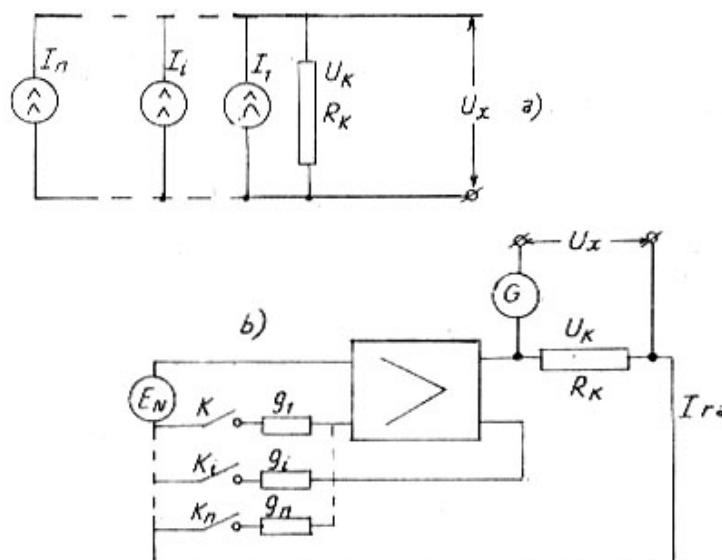
trong đó $G_g = \sum_{i=1}^n g_i$; với g_i là điện dẫn của các điện trở mạch mắc song song ở đầu vào KDTT.

Từ đó xác định được I_{ra} (I_P) là dòng công tác trong mạch điện thế kế một chiều điện trở nhỏ:

$$I_{ra} = U_g \cdot \sum_{i=1}^n g_i = E_N \cdot \sum_{i=1}^n g_i$$

Điều chỉnh các công tắc K để thay đổi các giá trị dòng công tác cho kim điện kế chỉ zêrô, khi đó có:

$$U_x = U_k = R_k \cdot I_{ra} = R_k \cdot (E_N \cdot \sum_{i=1}^n g_i)$$



Hình 9.9. Điện thế kế một chiều điện trở nhỏ:

- a) Sơ đồ nguyên lý chung
- b) Tạo nguồn dòng mẫu I bằng KDTT

Đối với mạch này sai số do sức điện động tiếp xúc và điện trở tiếp xúc bị loại trừ do trong mạch tạo điện áp bù U_k không có đầu tiếp xúc. Sai số chủ yếu là do ngưỡng vào và hệ số khuếch đại quyết định.

9.3.4. Điện thế kế một chiều tự động cân bằng:

a. **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** điện thế kế một chiều tự động cân bằng giống như các điện thế kế một chiều điện trở lớn khác nhưng ở đây việc cân bằng điện áp cần đo và điện áp mẫu được thực hiện tự động (hình 9.10).

Mạch chính của điện thế kế này là mạch cầu được cung cấp bởi nguồn U_0 qua điện trở điều chỉnh ($R_{d/c}$) để điều chỉnh dòng công tác. Các nhánh cầu gồm:

- R_p : biến trở trượt
- R_N : điện trở mẫu, chính xác cao

- Các điện trở R_1, R_2, R_3

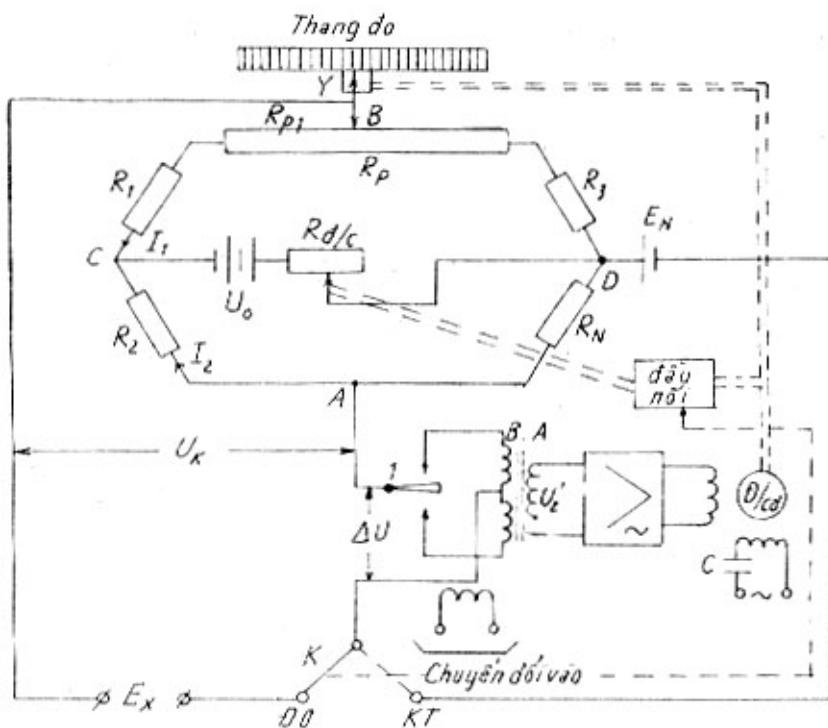
Đầu con chạy trên biến trở trượt R_p được nối với thang đo và bút ghi để ghi lại giá trị điện áp cần đo.

Dòng điện I_1, I_2 là hai dòng công tác chạy trong mạch cầu. Điện áp mẫu U_k được lấy từ đường chéo AB của cầu:

$$U_k = I_1 \cdot (R_1 + R_{p1}) - I_2 \cdot R_2$$

U_k được mắc xung đối với sức điện động cần đo E_x :

$$E_x - U_k = \Delta U$$



Hình 9.10. Sơ đồ nguyên lý của điện thế kế một chiều tự động cân bằng

b. Quá trình hoạt động của điện thế kế một chiều tự động cân bằng như sau:

- Nếu $E_x > U_k \Leftrightarrow (\Delta U > 0)$: ΔU được đưa vào bộ chuyển đổi vào (bộ chuyển đổi này được kích bằng tín hiệu điện xoay chiều lấy từ nam châm điện phân cực) sao cho tấm tiếp xúc 1 bị hút lên trên hoặc đẩy xuống dưới một cách tuần hoàn với tần số phù hợp với tần số của dòng kích thích để gắn một phần cuộn sơ cấp với mạch đo điện áp → trong cuộn dây thứ cấp của biến áp (B-A) xuất hiện điện áp xoay chiều (U_2) tần số kích thích tỉ lệ thuận với ΔU . U_2 qua khuếch đại xoay chiều đến cung cấp cho cuộn dây điều khiển của động cơ thuận nghịch. Cuộn dây thứ hai của động cơ thuận nghịch được cung cấp bằng điện xoay chiều lấy từ lưới điện (C là tụ ngăn thành phần một chiều). Nhờ mối liên hệ cơ khí (ký hiệu bằng đường ==), khi động cơ quay sẽ kéo con trượt trên biến trở trượt R_p và cái chỉ Y trên thang đo theo chiều tăng U_k cho đến khi $E_x = U_k$ (tức là $\Delta U = 0$) (thực tế $\Delta U \neq 0$ bằng một giá trị nào đó được xác định nhờ hệ số khuếch đại xoay chiều và ngưỡng làm việc của động cơ).

- Nếu $E_x < U_k \Leftrightarrow (\Delta U < 0)$: pha của điện áp cung cấp cho cuộn dây điều khiển động cơ ngược với trường hợp $\Delta U > 0$ là 180° . Động cơ sẽ quay theo chiều ngược lại tức là U_k sẽ giảm cho đến khi $E_x = U_k$ (tức là $\Delta U \approx 0$).

Khi cần hiệu chỉnh dòng công tác cho điện thế kế một chiều tự động cân bằng thì thay đổi khoá K sang vị trí KT (kiểm tra). Khi đó $\Delta U' = E_N - I_2 R_N$ qua hệ thống biến áp đến khuếch đại xoay chiều cung cấp cho động cơ thuận nghịch. Động cơ này sẽ kéo con trượt của điện trở điều chỉnh ($R_{d/c}$) trong mạch, cung cấp trên đường chéo cầu thay đổi dòng công tác I_2 cho đến khi $\Delta U' \approx 0$. Lúc đó I_1 cũng sẽ đạt đến một giá trị nhất định nào đó.

Nếu điện thế kế một chiều tự động cân bằng không được cung cấp bằng nguồn một chiều mà cung cấp bằng nguồn ổn định đặc biệt thì chỉ hiệu chỉnh dòng $I_1; I_2$ một lần ở nhà máy và không thay đổi trong suốt quá trình sử dụng vì vậy trong mạch điện thế kế một chiều này không cần nguồn pin mẫu và các phần tử điều chỉnh $I_1; I_2$.

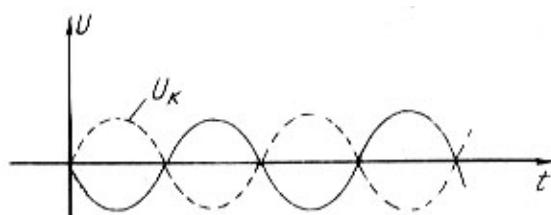
c. **Ứng dụng:** điện thế kế một chiều tự động cân bằng được sử dụng rộng rãi để đo các đại lượng không điện, thường gặp nhất là đo nhiệt độ thông qua cặp nhiệt ngẫu.

9.3.5. Điện thế kế xoay chiều:

a. **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động chung:** điện thế kế xoay chiều có nguyên lý hoạt động chung giống như điện thế kế một chiều, tức là cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng công tác chạy qua. Song đối với tín hiệu xoay chiều việc tạo mẫu và điều chỉnh cân bằng khó khăn và phức tạp hơn.

Để hiệu chỉnh dòng công tác trong mạch xoay chiều không thể dùng pin mẫu (do không có pin mẫu xoay chiều) mà phải chỉnh định nhờ ampemét chính xác cao, do đó cấp chính xác của điện thế xoay chiều không thể cao hơn cấp chính xác của ampemét. Một khác muốn cho U_X và U_k cân bằng phải điều chỉnh cân bằng cả về môđun và pha. Muốn vậy phải thỏa mãn ba điều kiện sau (H. 9.11):

- Điện áp cần đo U_X và áp mẫu U_k phải cùng tần số: thực hiện bằng cách mắc điện áp U_X và U_k vào nguồn cùng tần số
- U_X và U_k phải bằng nhau về trị số: thực hiện bằng cách dùng bộ chỉ thị không điều chỉnh U_k
- U_X và U_k phải ngược pha nhau (180°): thực hiện bằng cách tách U_k thành hai phần lệch nhau 90° tạo U_X ngược U_k



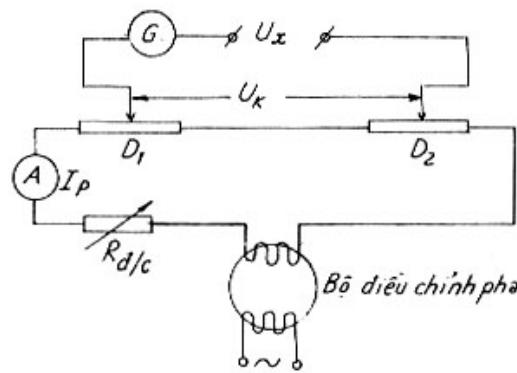
Hình 9.11. Điều kiện của điện áp mẫu trong điện thế kế xoay chiều.

b. **Phân loại:** có hai loại điện thế kế xoay chiều:

- Điện thế kế xoay chiều toạ độ cực
- Điện thế kế xoay chiều toạ độ decac

c. **Điện thế kế xoay chiều toạ độ cực (H. 9.12):** điện áp cần đo U_X được cân bằng với điện áp rơi trên điện trở R (xác định bởi các con trượt $D_1; D_2$).

$$\text{Môđun: } U_X = I_p \cdot R.$$



Hình 9.12. Sơ đồ nguyên lý điện thế kế xoay chiều tọa độ cực

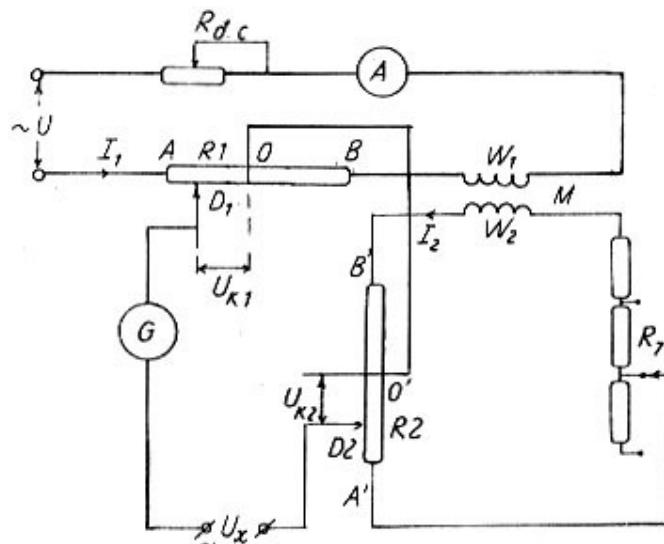
Dòng công tác I_p được xác định nhờ ampermét chính xác cao và điện trở điều chỉnh $R_{d/c}$. Bộ điều chỉnh pha dùng để cân bằng về pha, đồng thời cũng dùng làm nguồn cung cấp cho mạch tạo dòng công tác I_p .

Nhược điểm của điện thế kế xoay chiều tọa độ cực:

- Cần phải có bộ điều chỉnh pha cung cấp cho mạch
- Khó xác định chính xác vị trí ổn định của phần quay ứng với góc pha
- Việc điều chỉnh cân bằng khó khăn do khi quay rô-tô điều chỉnh pha thì dòng I_p cũng thay đổi theo.

d. **Điện thế kế xoay chiều tọa độ vuông góc (H. 9.13):** trong điện thế kế này dùng hai cuộn dây đặt gần nhau, dùng hổ cảm M của chúng tạo U_k thành hai phần lệch nhau 90° và U_x sẽ cân bằng với tổng hai vec tơ thành phần này.

Sơ đồ gồm hai mạch công tác và một mạch đo:



Hình 9.13. Sơ đồ nguyên lý điện thế kế xoay chiều tọa độ vuông góc

- **Mạch công tác thứ nhất gồm:** biến trở dây quấn được chuẩn hoá AB; cuộn sò cấp W_1 của biến áp không lõi (để tạo hổ cảm); ampermét và điện trở điều chỉnh ($R_{d/c}$). Dòng điện I_1 từ nguồn cung cấp xoay chiều được xác định nhờ ampermét tạo trên biến trở AB một điện áp U_{AB} .

Điện áp U_{k1} được xác định bởi dòng I_1 và vị trí con trượt D_1 trên biến trở AB. Vì dòng I_1 không thay đổi trong quá trình đo nên thang chia độ được khắc theo giá trị điện áp trên biến trở AB.

- **Mạch công tác thứ hai gồm:** biến trở dây quấn đã được chuẩn hoá A'B' có điểm giữa O' nối với điểm giữa O của biến trở AB; cuộn thứ cấp W₂ của biến áp không lõi và hộp điện trở bù tần số R_f.

Dòng điện I₂ trong mạch công tác lệch pha I₁ góc 90° (vì điện cảm L₂ không lớn lắm nên có thể coi như I₂ trùng pha với E₂ mà E₂ lệch pha với E₁ góc 90°). Trong mạch thứ nhất I₁ có giá trị xác định nên I₂ cũng có giá trị xác định:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_1 + R_f + \omega L_2} \approx \frac{\omega M I_1}{R_2 + R_f}$$

với: M là hổ cản của W₁ và W₂. Khi tần số f thay đổi sẽ làm I₂ thay đổi và giá trị khắc độ trên A'B' cũng thay đổi, khắc phục điều này bằng cách dùng hộp điện trở bù tần số R_f để giữ cho I₂ không thay đổi khi tần số f thay đổi (tức là R_f thay đổi phụ thuộc vào sự thay đổi tần số nguồn cung cấp).

Từ đây xác định được: $U_{k2} = I_2 \cdot R_2$

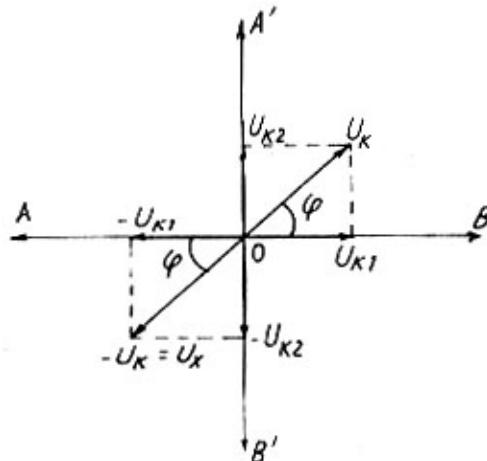
với R₂ là phần điện trở của A'B' được xác định nhờ vị trí con trượt D₂ trên A'B'.

Vì U_{k1} = I₁ · R₁ và U_{k2} = I₂ · R₂ mà I₁ và I₂ lệch nhau một góc 90° nên U_{k1} và U_{k2} cũng lệch pha nhau 90°.

Mạch đo là mạch vào chủ yếu của điện thế kế bao gồm:

- Nguồn tín hiệu đo U_x(E_x).
- Điện thế kế chỉ thị “0” (G).
- Các phần của biến trở dây quấn chuẩn D₁O; D₂O'.

Đồ thị biểu diễn các giá trị U_k hình 9.14:



Hình 9.14. Đồ thị biểu diễn các giá trị điện áp mẫu U_k

Điều chỉnh các con trượt D₁ và D₂ để cân bằng điện thế kế tức là điện kế chỉ “0”. Đọc các giá trị U_{k1} và U_{k2} trên các dây quấn AB và A'B' và thông qua tính toán ta sẽ được điện áp U_x cần đo và góc lệch pha φ giữa vec-tor U_k và U_{k1}.

$$U_x = \sqrt{U_{k1}^2 + U_{k2}^2} \quad ; \quad \tan \varphi = \frac{U_{k2}}{U_{k1}}$$

Sai số chủ yếu của điện thế kế xoay chiều là sai số của ampemét.

Nhược điểm của điện thế kế xoay chiều là:

- Độ chính xác không cao vì cho đến nay chưa tạo được nguồn mẫu chính xác, ổn định.
- Độ chính xác phụ thuộc độ chính xác của ampemét.

9.4. Các dụng cụ đo điện áp chỉ thị số.

Phụ thuộc các bộ chuyển đổi A/D, thường gấp các vômét chỉ thị số sau:

- Vômét số chuyển đổi thời gian
- Vômét số chuyển đổi tần số
- Vômét số chuyển đổi trực tiếp (chuyển đổi bù)

9.4.1. Các vômét số chuyển đổi thời gian:

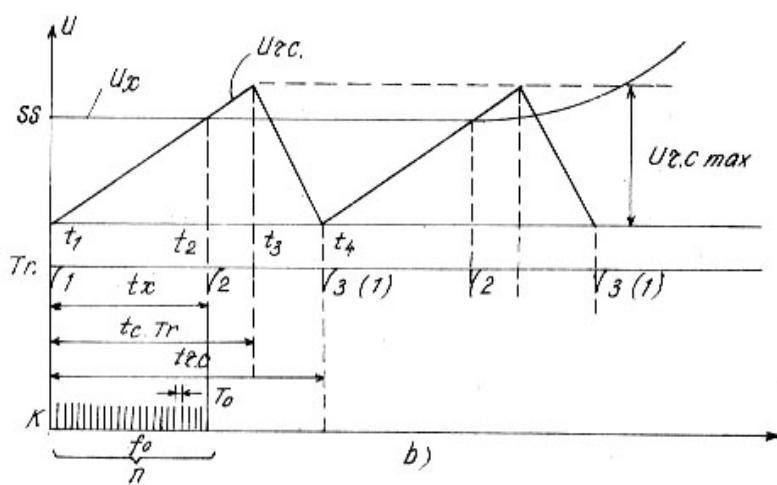
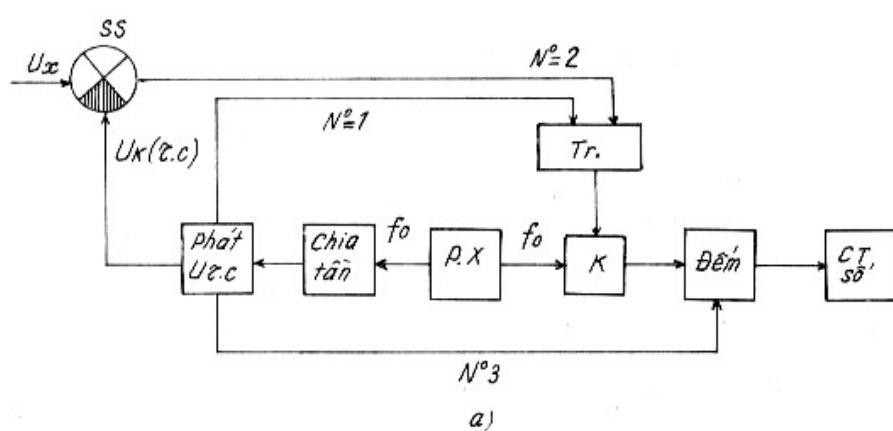
a. **Nguyên lý chung:** nguyên lý hoạt động chung của các vômét số chuyển đổi thời gian là biến đổi sơ bộ điện áp cần đo (U_x) thành khoảng thời gian (t) sau đó lập đầy khoảng thời gian t bằng các xung mang tần số chuẩn (f_0); dùng bộ đếm để đếm số lượng xung (N) tỉ lệ với U_x để suy ra U_x .

b. **Phân loại:** có các loại vômét chuyển đổi thời gian sau:

- Vômét chuyển đổi thời gian một nhịp
- Vômét chỉ thị số tích phân hai nhịp

c. **Vômét chuyển đổi thời gian một nhịp:**

Cấu tạo, nguyên lý hoạt động: như hình 9.15:



Hình 9.15. Vômét chuyển đổi thời gian một nhịp:
a) Sơ đồ khối nguyên lý; b) Biểu đồ thời gian

Trên sơ đồ N^01 , N^02 , N^03 là các xung có chức năng như sau:

- N^01 làm nhiệm vụ khởi động vômét
- N^02 tác động vào trigơ để khoá (K)
- N^03 xoá kết quả

Quá trình hoạt động của vônmét: mở máy, máy phát xung chuẩn qua bộ chia tần khởi động máy phát điện áp răng cưa tại thời điểm t_1 . Từ đầu ra máy phát điện áp răng cưa có U_{rc} (tức là điện áp mẫu U_k) đi đến bộ so sánh để so với điện áp cần đo U_x cần đo ở đầu vào. Đồng thời cũng từ đầu ra của máy phát điện áp răng cưa ta có xung thứ nhất đến trigơ, đặt trigơ ở vị trí thích hợp thông khoá (K) cho phép các xung mang tần số chuẩn (f_0) từ phát xung qua khoá (K) đến bộ đếm và chỉ thị số.

Tại thời điểm t_2 khi $U_x = U_{rc}$; thiết bị so sánh phát xung thứ 2 (N^02) tác động trigơ khoá (K). Thời gian từ t_1 đến t_2 tương ứng với t_x .

Từ đây có mối quan hệ:

$$\frac{t_x}{t_{ct.r}} = \frac{U_x}{U_{rc\max}} \Rightarrow t_x = \frac{t_{c,tr}}{U_{rc\max}} \cdot U_x$$

Với một máy phát áp răng cưa nhất định thì $t_{c,tr}$ và $t_{r,c}$ là hằng số. Vì vậy U_x tỉ lệ với số lượng xung n đến bộ đếm trong thời gian t_x :

$$n = \frac{t_x}{t_{ct.r}} = f_0 \cdot t_x = \frac{t_{c,tr}}{U_{rc\max}} \cdot f_0 \cdot U_x \quad \text{với } f_0 = const$$

Như vậy số lượng xung n được khắc độ theo giá trị điện áp.

Nguồn sai số chính của vônmét chỉ thị số một nhíp: gồm hai nguồn chủ yếu là:

- Do máy phát điện áp răng cưa gây ra, tức là do $t_{c,tr}$ và $t_{r,c}$ không ổn định; độ dốc của răng cưa thay đổi vì vậy với cùng một U_x nhưng t_x có thể khác nhau.

- Sai số lượng tử.

Độ tác động nhanh của vônmét: như biểu đồ thời gian làm việc của vônmét cho thấy: khi U_x biến thiên với tốc độ nào đó thì không thể đo được vì đường cong áp răng cưa không cắt U_x . Do vậy muốn đo được điện áp bằng phương pháp này thì tốc độ biến thiên của áp cần đo phải thỏa mãn điều kiện sau :

$$\left(\frac{dU_x}{dt} \right)_{max} = \frac{U_{rc\max}}{t_{c,tr}}$$

Độ tác động nhanh của vônmét phụ thuộc độ tác động nhanh của bộ đếm được dùng trong vônmét.

d. Vônmét chỉ thị số tích phân hai nhíp: vônmét chỉ thị số tích phân hai nhíp có thể khắc phục sai số của vônmét số một nhíp do hệ số chuyển đổi áp thành khoảng thời gian không ổn định.

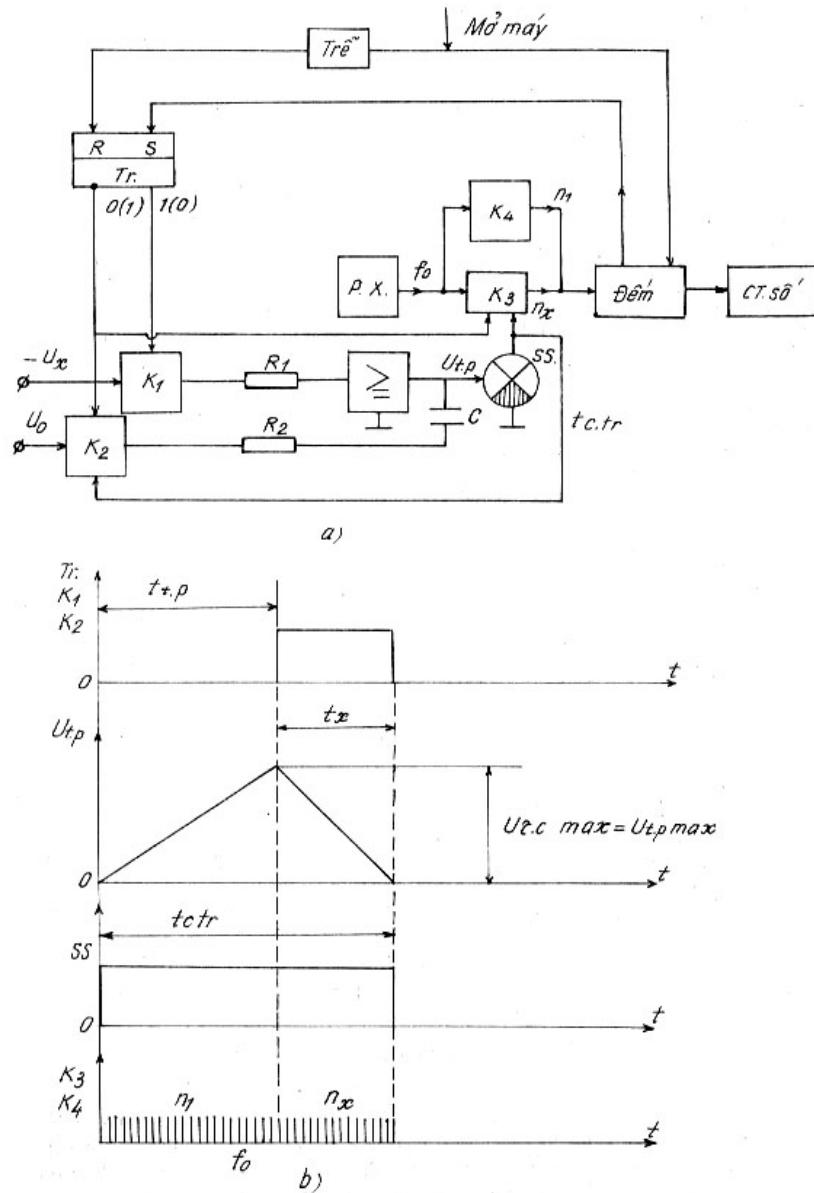
Cấu tạo, nguyên lý hoạt động: như hình 9.16: khi mở máy, xung khởi động điều khiển bộ đếm (đặt số chỉ của bộ đếm tương ứng với số lượng xung n_1); đồng thời qua đường dây trễ (để bộ đếm kịp xác lập ở trạng thái cần thiết) điều khiển trigơ sao cho đầu ra của nó ở các mức áp phù hợp để thông K_1 ; K_4 và khoá K_2 ; K_3 .

Khi K_1 thông (tương ứng với điểm đầu của $t_{t,p}$: thời gian bộ tích phân làm việc) điện áp cần đo U_x có dấu (-) qua K_1 và bộ tích phân (bao gồm R_1 ; khuếch đại thuật toán và tụ C); ở đầu ra được U_{tp} (là điện áp tích phân của U_x).

Đồng thời trong thời gian ($t_{t,p}$) này các xung mang tần số f_0 từ bộ phát xung chuẩn (p.x) qua K_4 vào bộ đếm. Bộ đếm làm việc ở chế độ trừ cho đến khi bộ đếm chuyển hoàn toàn về zérô (trừ hết n_1) thì nó sẽ phát xung chuyển trạng thái trigơ, kết thúc nhịp thứ nhất trong khoảng thời gian $t_{t,p}$ và đầu ra của tích phân sẽ có áp cực đại:

$$U_{t,p \max} \frac{1}{\tau_1} \int_0^{t_{t,p}} U_x dt = \frac{1}{R_1 C} U_{x,tr.b} t_{t,p}$$

Quá trình chuyển sang nhịp thứ hai: khoá K₂ và K₃ thông, U₀ ngược dấu với U_x qua K₂ vào bộ tích phân đến bù lại U_{t,p max} ở nhịp trước. Cũng trong thời gian này các xung từ bộ phát xung (p.x) qua K₃ đến bộ đếm (đếm thuận). Số lượng xung tương ứng với thời gian t_x (tức là U₀ bù hoàn toàn U_{t,p max} hoặc nói cách khác tụ điện C đã phóng hoàn toàn và áp lúc này sẽ bằng không). Khi đó thiết bị so sánh phát ra xung khoá K₃ và K₄, kết thúc quá trình đo, các khoá ở bộ phận điều khiển chỉ thị số cho phép hiện kết quả.



Hình 9.16. Vômét chỉ thị số tích phân hai nhịp:
a) Sơ đồ khối; b) Biểu đồ thời gian

Quá trình đo của vômét số tích phân hai nhịp được biểu diễn như sau:

$$U_{t,p \max} = \frac{1}{\tau_1} \int_0^{t_{t,p}} U_x dt = \frac{1}{\tau_2} \int_0^{t_x} U_0 dt = \frac{t_{t,p}}{R_1 C} U_{x,tr.b} = \frac{t_x}{R_2 C} U_0$$

với:

$$t_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{t_{t.p}}{U_0} \cdot U_{x,tr.b}$$

biết:

$$t_{t.p} = n_1 \cdot T_0 \Rightarrow t_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{n_1 T_0}{U_0} \cdot U_{x,tr.b} \Rightarrow n_x = \frac{t_x}{T_0} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{n_1}{U_0} \cdot U_{x,tr.b}$$

Từ biểu thức này thấy rằng số lượng xung tỉ lệ với trị trung bình của áp cần đo trong thời gian $t_{t.p}$.

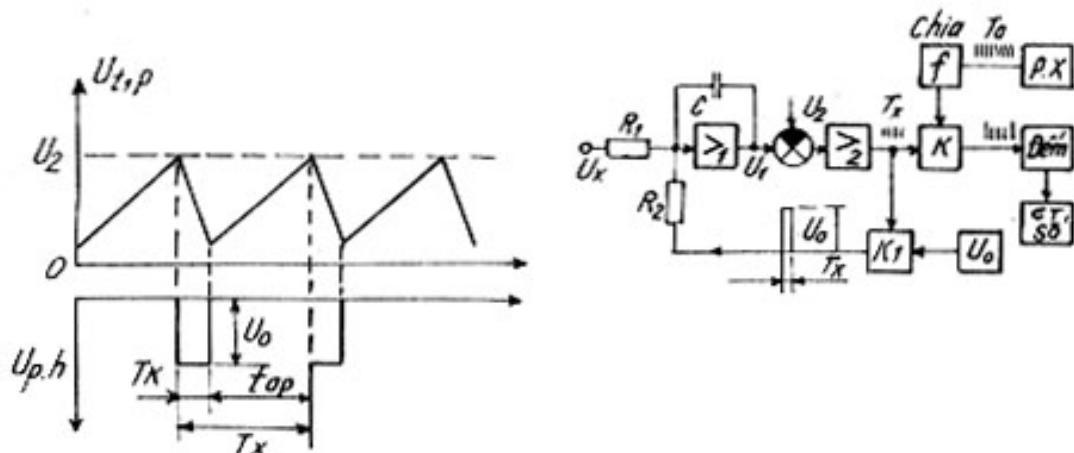
Ưu điểm của vômét số tích phân hai nhịp: tần số f_0 của máy xung phát chuẩn không ảnh hưởng đến độ chỉ của phép đo (vì dùng một bộ tích phân và một bộ đếm trong hai khoảng thời gian $t_{t.p}$ và t_x). Giá trị tự điện C không còn tồn tại trong biểu thức cuối cùng. Điện trở thông của khoá K_1 và K_2 nhỏ hơn nhiều so với giá trị điện trở R_1 ; R_2 vì vậy ít ảnh hưởng đến sai số chung.

Nguồn sai số chủ yếu của vômét số tích phân hai nhịp: là sự không ổn định của U_0 ; áp dư của K_1 và K_2 ; khuếch đại thuật toán trôi zêrô và sự không ổn định của so sánh.

9.4.2. Vômét chỉ thị số chuyển đổi tần số:

a. *Cấu tạo, nguyên lý hoạt động:* vômét loại này hoạt động dựa trên cơ sở ổn định áp thành tần số rồi dùng các máy đo tần số chỉ thị số khác độ theo điện áp.

Xét ví dụ về vômét số tích phân biến đổi điện áp U thành tần số f bằng phương pháp tích phân (H. 9.17):



Hình 9.17. Vômét chỉ thị số chuyển đổi tần số $U-f$

Khâu chuyển đổi tín hiệu áp sang tín hiệu tần số $U-f$: Điện áp U_x cần đo được đưa đến đầu vào → qua khâu tích phân được điện áp $U_1 \rightarrow U_1$ được đưa đến thiết bị so sánh với áp nền U_2 (có độ ổn định cao) → khi $U_1 = U_2$ thiết bị so sánh phát xung qua khuếch đại 2 (tại thời điểm t_1) thông khoá K_1 và khóa K để đến bộ đếm → đến chỉ thị số.

Đồng thời khi K_1 thông, điện áp U_0 (ngược dấu với U_1) sẽ qua K_1 đến bù áp U_1 (đây là mạch phóng điện qua tụ C) trong khoảng thời gian T_k (từ t_1 đến t_2). Tại thời điểm t_2 điện áp U_0 bù hoàn toàn U_1 :

Quá trình làm việc được diễn biến như sau:

$$\frac{1}{\tau_1} \int_0^{t_{t.p}} U_x dt = \frac{1}{\tau_2} \int_0^{T_k} U_0 dt - \frac{1}{\tau_1} \int_0^{T_k} U_x dt = U_2$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{\tau_1} U_{X,tr.b} \cdot t_{t.p} = \frac{1}{\tau_1} U_0 T_k - \frac{1}{\tau_1} U_X T_k = U_2$$

với: $t_{t.p} = \tau_1 = \frac{1}{R_1 \cdot C}; \tau_2 = \frac{1}{R_2 \cdot C}; T_k = t_2 - t_1$

đặt: $t_{t.p} + T_k = T_x$

$$\Rightarrow T_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{U_0 \cdot T_k}{U_X} \Rightarrow f_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{U_0 \cdot T_k} \cdot U_X = K \cdot U_X$$

như vậy nếu biết được f_x sẽ suy ra được giá trị điện áp cần đo U_x . f_x không phụ thuộc vào điện dung C , áp nền U_2 mà được xác định bởi tỉ số R_2 / R_1 , U_0 và T_k . Sai số khâu này lớn nhất khoảng 0,2%.

Khâu chỉ thị số: tín hiệu tần số f tỉ lệ với điện áp cần đo U_x sẽ qua khâu chuyển đổi tiếp để chỉ thị số. Trong khâu này có thêm các phần: tạo gốc thời gian, các khoá, bộ đếm và chỉ thị số giống như một máy đo tần số chỉ thị số nhưng khắc độ số theo điện áp.

Cụ thể bộ tạo gốc thời gian là máy phát xung chuẩn T_0 để tạo thời gian $T_{ctr} = k \cdot T_0$ điều khiển khoá cho các xung mang tần số f_x qua nó. Số lượng xung mang f_x qua khoá K trong thời gian T_{ctr} để đến chỉ thị số được xác định như sau:

$$N = \int_0^{T_{ctr}} f_x dt = \int_0^{T_{ctr}} \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{U_0 \cdot T_k} \cdot U_X dt = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{U_0 \cdot T_k} \cdot U_X \cdot T_{ctr}$$

$$\Leftrightarrow N = T_{ctr} \cdot f_x$$

như vậy số xung N tỉ lệ với giá trị điện áp cần đo U_x

Các yếu tố ảnh hưởng đến N (tức là ảnh hưởng đến kết quả chỉ thị): có thể thấy từ biểu thức tính số xung N , gồm:

- Thời gian T_{ctr} có thể thay đổi, do đó làm thay đổi khả năng chống nhiễu của dụng cụ trong các điều kiện khác nhau và độ nhạy của dụng cụ đo.
- Giá trị $U_0 T_k$ có thể bị thay đổi: muốn giữ cho $U_0 T_k$ là hằng số thì nguồn U_0 phải rất ổn định, nguồn U_0 tốt nhất thường cho sai số 0,005%.

Sai số của vônmét loại này: thường gồm hai phần chính:

- Do chuyển đổi $U-f$ khoảng 0,2%
- Sai số lượng tử khoảng 0,01%.

Có thể chọn cấu trúc của vônmét chuyển đổi tần số khác nhau sẽ đạt chính xác cao hơn.

9.4.3. Các vônmét chỉ thị số chuyển đổi tiếp điện áp thành con số (kiểu chuyển đổi bù):

Trong các vônmét chỉ thị số loại này, đại lượng cần đo U_x được so sánh với điện áp chuẩn U_k . Phụ thuộc vào việc gia công đại lượng bù U_k và quy trình so sánh U_x và U_k chia ra thành:

- Vônmét số bù quét
- Vônmét số bù tùy động

a. *Vônmét chỉ thị số bù quét:* điện áp bù U_k thay đổi lặp lại theo chu kỳ. Trong mỗi chu kỳ biến thiên của U_k ta lấy số đo một lần tức là tại thời điểm $U_x \approx U_k$ ta đọc kết quả của phép đo.

Điện áp U_k có thể thay đổi tuyến tính hoặc thay đổi theo bậc thang (bậc thang bằng nhau hay không bằng nhau theo một quy luật nhất định), các loại cơ bản gồm:

- Vônmét chỉ thị số bù quét với U_k thay đổi tuyến tính (thay đổi theo các bậc thang bằng nhau)

- Vônmét chỉ thị số bù quét với đại lượng U_k thay đổi theo các bậc thang không bằng nhau

Sau đây sẽ lần lượt xét từng loại:

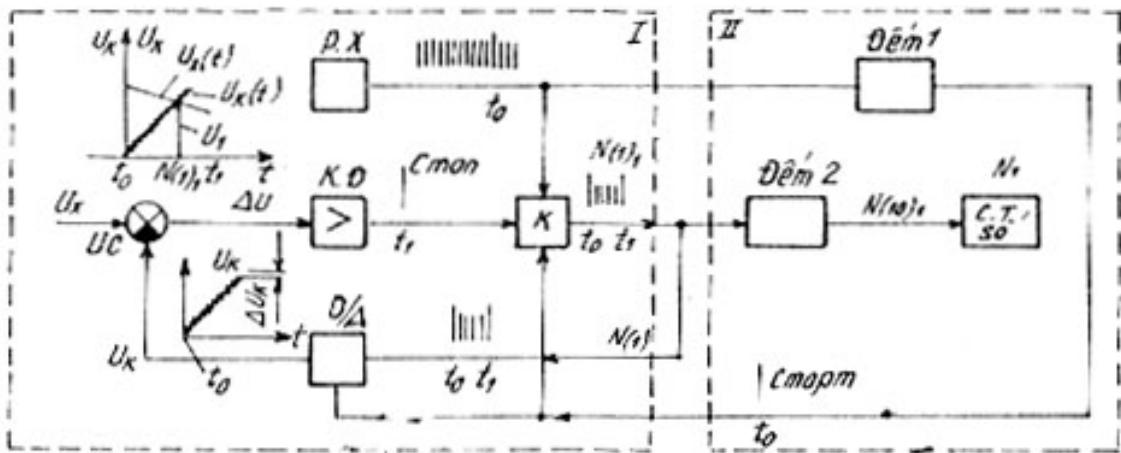
Vônmét chỉ thị số bù quét với đại lượng bù U_k thay đổi tuyến tính: có sơ đồ cấu trúc thường gồm hai phần :

- Phần chuyển đổi điện áp thành khoảng thời gian T_x (giống như vônmét chỉ thị số chuyển đổi thời gian).

- Phần đo khoảng thời gian T_x : gồm các khoá, bộ đếm, máy phát xung chuẩn và bộ phận chỉ thị số.

Cấu trúc của vônmét: như hình 9.18, bao gồm các khôi:

- | | |
|---|------------------------------|
| - Thiết bị so sánh: để so sánh U_x và U_k | - Bộ phát xung chuẩn (P.X) |
| - Khoái khuếch đại (KD) | - Bộ chỉ thị số (C.T số) |
| - Khoá K | - Bộ chuyển đổi ngược (D/A). |
| - Bộ đếm: gồm bộ đếm 1 và 2 | |



sẽ tỉ lệ với điện áp cần đo U_x tức là:

$$U_x \approx U_k = N_1 \cdot \Delta U$$

đây là giá trị tức thời của áp cần đo tại thời điểm t_1 . Nếu muốn đo U_x tại thời điểm khác thì quá trình sẽ lặp lại từ đầu.

Vônmét chỉ thị số bù quét với đại lượng U_k thay đổi theo các bậc thang không bằng nhau: trong vônmét loại này các mức bậc thang ΔU không bằng nhau. Có thể tạo các ΔU theo từng hàng đếm của các con số ở từng hàng đếm nhất định, vì vậy có thể dựa vào hệ đếm nhị phân và thập phân để gia công điện áp bù U_k .

Dựa vào cách gia công điện áp bù U_k , vônmét chỉ thị số bù quét với đại lượng U_k thay đổi theo các bậc thang không bằng nhau có các loại cơ bản như sau:

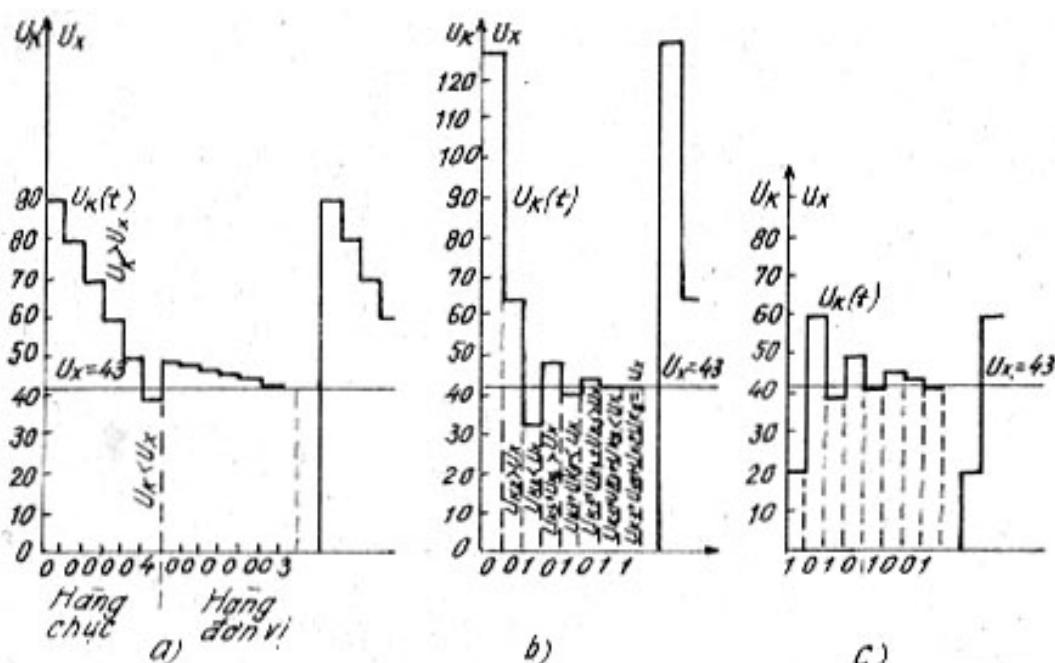
- Gia công điện áp bù U_k trong hệ đếm thập phân: ở mỗi hàng đếm có các mức ΔU đều bằng nhau, các mức ΔU ở các hàng đếm khác nhau sẽ khác nhau 10 lần.

Ví dụ nếu ở hàng đơn vị mức $\Delta U = 1$ thì ở hàng chục: $\Delta U = 10$ v.v...

- Gia công điện áp bù U_k trong hệ đếm nhị phân: các mức ΔU thay đổi theo 2^n (với n : là dãy số nguyên bất kỳ).

- Gia công điện áp bù U_k trong hệ đếm nhị thập phân (BCD): biểu diễn chữ số là số nhị phân còn giá trị hàng đếm là hàng thập phân.

Xét ví dụ về các cách gia công điện áp bù U_k : để đo điện áp $U_x = 43V$, quá trình gia công điện áp bù U_k theo các hệ đếm như hình 9.19a,b,c:



Hình 9.19. Các quá trình gia công điện áp bù U_k theo các hệ đếm trong vônmét chỉ thị số bù quét với đại lượng U_k thay đổi theo các bậc thang không bằng nhau:

- Gia công trong hệ đếm thập phân
- Gia công trong hệ đếm nhị phân
- Gia công trong hệ đếm nhị thập phân (BCD)

Gia công U_k trong hệ đếm thập phân: như sơ đồ hình 9.19a: bắt đầu so sánh từ hàng lớn nhất $U_x = 43V$.

Ở đây con số thập phân có hai hàng đếm là hàng chục và hàng đơn vị. Nguyên tắc chung để so sánh U_x và U_k như sau :

- Nếu $U_k > U_x$ thì mã sẽ ghi là 0
- Nếu $U_k \leq U_x$ thì mã sẽ ghi là một số dương tương ứng với hàng đếm của U_k và khi $|U_k - U_x| < \Delta U$, với ΔU là mức của hàng đếm tương ứng, thì quá trình so sánh sẽ chuyển sang hàng đếm nhỏ hơn.

Cụ thể ở đây là:

- Bắt đầu so sánh U_x với $U_k = 90$: được mã là 0
- Tiếp theo khi $U_k = 80$ thì mã cũng là 0
- ...

Cho đến khi $U_k = 40$ tức là: $U_k(40) < U_x(43)$, hoặc $|U_k - U_x| < \Delta U$ (mức của hàng chục): $|40 - 43| = 3 < \Delta U = 10$. Lúc này mã sẽ ra là 4 (ở hàng chục nên ghi là 40).

Tiếp theo quá trình so sánh sẽ diễn ra ở hàng đơn vị với giá trị lớn nhất của hàng là 9 và mỗi mức $\Delta U = 1$, cụ thể:

- Khi $U_k = 9$; $U_x = 3$; mã ra: 0
- Khi $U_k = 8$; $U_x = 3$; mã ra: 0
- \vdots \vdots
- Khi $U_k = 3$; $U_x = 3$; mã ra: 3, quá trình gia công U_k kết thúc.

Khi quá trình gia công kết thúc ta sẽ được tổng giá trị:

$$\begin{aligned} U_k &= U_{k10} + U_{k1} \\ &= 40 + 3 = U_x; \text{ là kết quả đo} \end{aligned}$$

Quá trình gia công trong hệ đếm nhị phân: như sơ đồ hình 9.19b: trước tiên ta phải chuyển con số điện áp cần đo ($U_x = 43V$) thành hệ số nhị phân: $43 = 101011_{(2)}$

Để đảm bảo độ chính xác yêu cầu, trong quá trình gia công điện áp bù U_k số lượng hàng đếm định mức của con số được chọn bằng cách lấy số lượng hàng đếm (m) của con số cần đo cộng với 2, tức là:

$$\begin{aligned} m_{d.m} &= m + 2 \\ &= 6 + 2 = 8 \end{aligned}$$

lúc đó U_k lớn nhất sẽ là: $U_{kd.m} = 2^7 = 128$

Tiến hành gia công U_k cũng bắt đầu từ hàng đếm thứ nhất.

- Khi $U_{k7} = 128 > U_x = 43 \rightarrow$ mã ra: 0
- Khi $U_{k6} = 64 > U_x = 43 \rightarrow$ mã ra: 0
- Khi $U_{k5} = 32 < U_x = 43 \rightarrow$ mã ra: 1

Để tiếp tục so sánh được với 43 thì phải tăng giá trị ở hàng đếm thứ 4 một mức $U_{k4} = 16$ rồi cộng với mức U_{k5} , tức là ở hàng đếm thứ 4 có giá trị:

$$U_{k4} + U_{k5} = 32 + 16 = 48 > U_x = 43 \rightarrow \text{mã ra: 0}$$

tiếp theo:

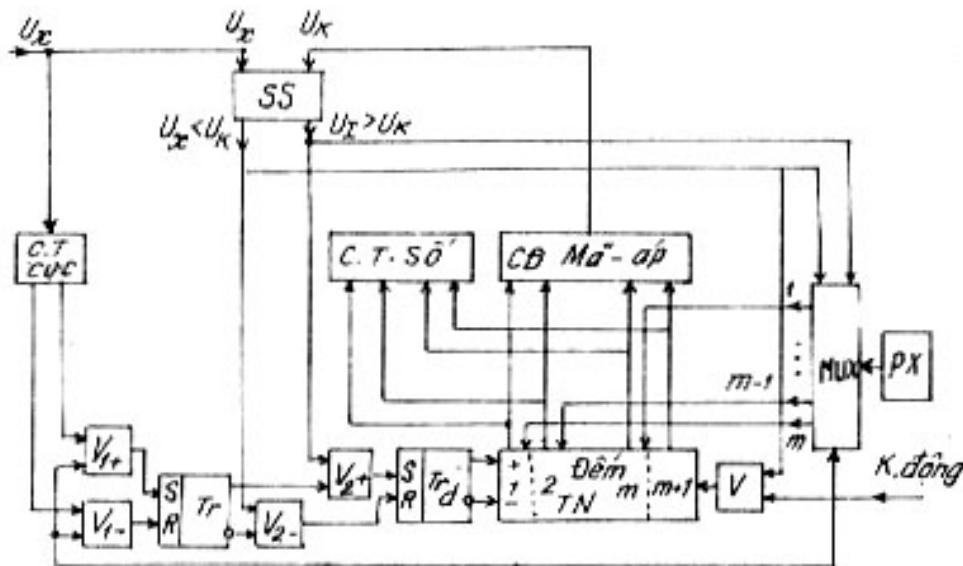
- $U_{k3} = 2^3 = 8 \rightarrow U_k = 48 - 8 = 40 < 43 \rightarrow$ mã ra: 1
- $U_{k2} = 2^2 = 4 \rightarrow U_k = 40 + 4 = 44 > 43 \rightarrow$ mã ra: 0
- $U_{k1} = 2^1 = 2 \rightarrow U_k = 44 - 2 = 42 < 43 \rightarrow$ mã ra: 1
- $U_{k0} = 2^0 = 1 \rightarrow U_k = 42 + 1 = 43 = 43 \rightarrow$ mã ra: 1, kết thúc quá trình gia công, ghi lại kết quả.

Kết quả ghi lại là: 00101011, con số ở hệ nhị phân này qua bộ giải mã sẽ hiện kết quả bằng số ở hệ thập phân là 43.

Quá trình gia công ở hệ đếm nhị thập phân (BCD): như hình 9.19c: cũng tương

tự như trên nhưng lưu ý cấu trúc của mã BCD là mỗi hàng đếm có giá trị thập phân nhưng được biểu diễn bằng chữ số nhị phân. Vì vậy phải gắn các trọng số của mã như 2421 cho các hàng đếm rồi mới gia công.

Xét ví dụ sơ đồ cấu trúc của vônmét chỉ thị số bù quét theo bậc thang không bằng nhau: như hình 9.20:



Hình 9.20. Sơ đồ cấu trúc của vônmét chỉ thị số bù quét theo bậc thang không bằng nhau

Vônmét này dùng để đo điện áp một chiều có cực tính khác nhau, vì vậy có bộ phận chỉ thị cực tính (C.T cực).

Quá trình làm việc như sau: mở máy, đưa áp U_x vào đầu đo \rightarrow xung khởi động tác dụng vào bộ phận phân phối xung cho phép các xung nhịp từ bộ phát xung (P.X) qua nó, đồng thời khởi động mạch và $V \rightarrow V_1$ bắt đầu làm việc từ hàng đếm lớn nhất.

- Trường hợp $U_x > 0$ và $U_k = 0$ tức là $U_x > U_k$: đầu ra phải của bộ so sánh (SS) đến (V_2+); đầu ra phải của bộ chỉ thị cực có xung đến (V_1+). Đầu ra của (V_1+) sẽ có xung lật trigor (Tr) đến (V_2+) \rightarrow điều khiển Tr_d thiết lập bộ đếm thuận nghịch (ĐTN) làm việc ở chế độ (+) \rightarrow lúc đó các xung nhịp qua khâu thứ nhất của bộ phân phối xung (MUX) đến hàng đếm lớn nhất (m) của bộ đếm và tác động lên bộ chuyển đổi mã – áp cho đầu ra tăng U_k một mức lớn nhất (U_{km}).

- Trường hợp $U_k > U_x$: sẽ xuất hiện xung ở đầu ra trái của bộ so sánh (SS) \rightarrow đến khâu thứ hai của bộ phân phối xung điều khiển xung nhịp chuyển sang hàng đếm thấp hơn ($m-1$) của bộ đếm; đồng thời thông (V_2-) \rightarrow trigor đầu chuyển bộ đếm thuận nghịch sang chế độ trù. Quá trình làm việc tiếp tục cho đến khi $U_k \approx U_x$.

- Trường hợp $U_x < 0$ (điện áp âm): ở thời điểm khởi động máy, ở đầu ra của (V) có xung tác động vào hàng ($m+1$) của bộ đếm tương ứng với giá trị cực đại của U_k \rightarrow bộ đếm được nối vào pha ngược lại và quá trình làm việc như trên cho đến khi $U_k \approx U_x$ (chỉ khác là bắt đầu làm việc theo chế độ trù, sau đó lại cộng v.v...).

Nhận xét chung về vônmét số bù quét: qua quá trình gia công điện áp bù U_k theo các hệ đếm thấy rằng số nhịp gia công trong bộ đếm nhị phân và BCD giảm nhiều so với hệ đếm thập phân. Song nói chung sơ đồ vônmét loại này tương đối

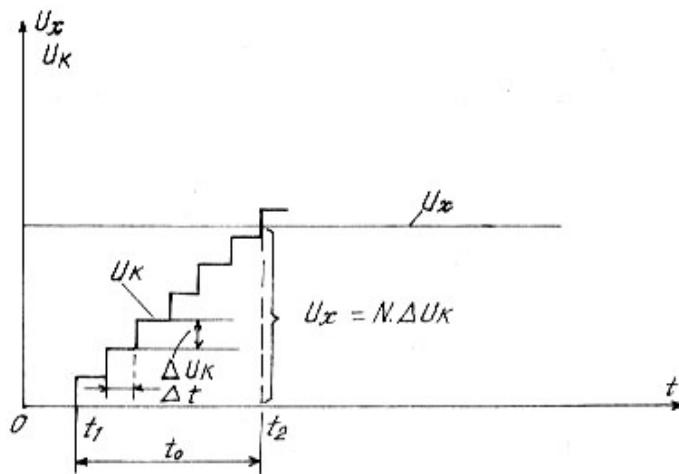
phức tạp, phối hợp hệ thống cồng kềnh, nếu dùng μ P thì sẽ cải thiện được các đặc tính đo lường.

b. Vônmét chỉ thị số bù tùy động: trong các vônmét này đại lượng bù U_k thay đổi luân bám theo sự biến thiên của đại lượng cần đo U_x . Vì vậy trong cấu trúc của nó có bộ chuyển đổi A/D, D/A tác động theo hai chiều (thuận, nghịch). Do đó dụng cụ làm việc ở chế độ theo dõi sự biến thiên của đại lượng đo.

Đặc điểm cơ bản của dụng cụ là khả năng cho kết quả liên tục ở bất kỳ thời điểm nào. Nó thuộc loại dụng cụ bù không lệch (astaties), vì vậy trong cấu trúc có các khâu tích phân thường là các động cơ thuận nghịch, bộ đếm thuận nghịch hoặc các bộ tìm bước. Tiến hành gia công đại lượng bù U_k có thể theo các bậc thang bằng nhau hoặc bậc thang không bằng nhau.

Sau đây sẽ xét một số loại vônmét chỉ thị số bù tùy động cụ thể:

Vônmét chỉ thị số bù tùy động có U_k thay đổi theo các bậc thang bằng nhau: có quá trình gia công U_k như hình 9.21:



Hình 9.21. Quá trình gia công điện áp bù U_k của vônmét số tùy động có U_k thay đổi theo các bậc thang bằng nhau

Quá trình gia công diễn ra như sau: bắt đầu từ thời điểm t_1 , điện áp U_k tăng liên tục, mỗi mức tăng là ΔU_k (là những bậc thang bằng nhau).

Đến thời điểm t_2 có: $U_k \approx U_x \Rightarrow U_k - U_x < \Delta U_k$

thì kết thúc quá trình đo hoặc quá trình gia công U_k và cho ra kết quả ở chỉ thị số.

Thời gian gia công U_k là t_0 được xác định bởi số lượng mức lượng tử lớn nhất $N_{d.m}$ và thời gian Δt của một mức lượng tử:

$$t_0 = N_{d.m} \cdot \Delta t$$

Dựa vào sai số lượng tử yêu cầu để xác định $N_{d.m}$:

$$\gamma_k \% = \frac{1}{2N_{d.m}} \cdot 100 \Leftrightarrow N_{d.m} = \frac{100}{2\gamma_k}$$

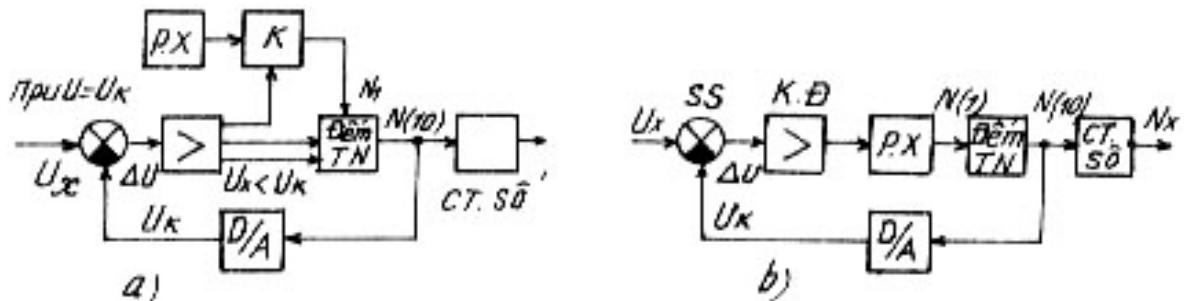
đôi khi có thể lấy $\gamma_k = \frac{1}{N_{d.m}} \cdot 100$.

Việc điều khiển quá trình gia công U_k thực hiện một cách đơn giản: chỉ đóng hoặc ngắt bộ chuyển đổi A/D thuận nghịch.

Phân loại: phụ thuộc vào khâu tích phân được dùng trong vônmét, chia vônmét

này ra làm hai loại :

- Vômét số bù tuỳ động với bộ đếm thuận nghịch: có sơ đồ khối như hình 9.22a,b
- Vômét số bù tuỳ động với động cơ thuận nghịch



Hình 9.22. Sơ đồ khối của một số vômét chỉ thị số bù tuỳ động có U_k thay đổi theo bậc thang bằng nhau, có bộ đếm thuận nghịch:

- Khâu tích phân dùng BD thuận nghịch và bộ PX chuẩn không có điều khiển
- Khâu tích phân dùng BD thuận nghịch và bộ PX chuẩn có điều khiển

Vômét chỉ thị số tuỳ động với các bậc thang bằng nhau dùng khâu tích phân là bộ đếm thuận nghịch và bộ phát xung chuẩn không có điều khiển: có sơ đồ cấu trúc như hình 9.22a. Khi bắt đầu làm việc bộ phát xung chuẩn phát liên tục đến chờ ở khoá (K).

- Tại thời điểm $U_x = 0$ hoặc $U_k = U_x$: thì khoá (K) khoá → các xung mang tần số f_0 không thể đến bộ đếm thuận nghịch.
- Khi $U_x > U_k$ tức là $U_x - U_k = \Delta U > 0$: tín hiệu ΔU qua khuếch đại có lệch đến thông khoá (K) và điều khiển bộ đếm làm việc ở chế độ cộng → mã ra của bộ đếm điều khiển bộ chuyển đổi D/A tăng dần U_k cho đến khi $U_k \approx U_x$ thì khoá (K) sẽ khoá, kết thúc quá trình đo → bộ phận chỉ thị số cho kết quả đo.
- Khi $U_x < U_k$ tức là $U_x - U_k = \Delta U < 0$: khuếch đại có lệch tạo xung thông khoá (K), điều khiển bộ đếm làm việc ở chế độ trừ → mã ra của bộ đếm điều khiển bộ chuyển đổi D/A giảm U_k cho đến khi $U_k \approx U_x$ thì khoá (K) sẽ khóa → bộ phận chỉ thị số cho kết quả đo.

Vômét chỉ số bù tuỳ động có bộ đếm thuận nghịch với bộ phát xung chuẩn có điều khiển: có sơ đồ cấu trúc như hình 9.22b. Trong sơ đồ này không cần dùng khoá (K).

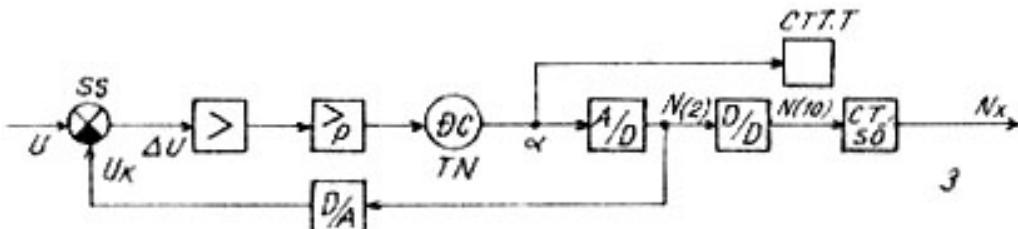
- Khi $U_x = 0$ và $U_k \approx U_x$: bộ phát xung chuẩn không phát xung.
- Khi $U_x > U_k$ tức là $U_x - U_k = \Delta U > 0$: bộ khuếch đại có lệch điều khiển bộ phát xung (P.X) phát ra các xung dương đến bộ đếm thuận nghịch → mã của bộ đếm sẽ điều khiển bộ chuyển đổi D/A tăng U_k từng mức cho đến khi $U_k \approx U_x \rightarrow$ bộ phát xung (P.X) ngừng phát và bộ phận chỉ thị số cho kết quả.
- Khi $U_x < U_k$: bộ phận khuếch đại có lệch sẽ điều khiển bộ phát xung (P.X) phát xung âm đến bộ đếm thuận nghịch → bộ đếm làm việc ở chế độ trừ, mã ra sẽ điều khiển (D/A) giảm U_k cho đến khi $U_k \approx U_x$ thì (P.X) không phát nữa → kết thúc quá trình đo, kết quả sẽ hiện lên ở bộ chỉ thị số.

Vômét chỉ thị số tuỳ động bậc thang bằng nhau dùng bộ tích phân là động cơ thuận nghịch (ĐCTN): có sơ đồ cấu trúc như hình 9.23:

Trong các vômét số loại này, mã hoá được thể hiện qua góc quay α của động cơ (tức là ΔU đã được biến thành góc α của động cơ).

Đầu ra: dụng cụ loại này thường có hai đầu ra: một đầu là mã số, một đầu khác là tín hiệu tương tự (sau động cơ), có thể ghi hoặc chỉ thị bằng kim trên thang chia độ.

Khâu (A/D) của dụng cụ là chuyển đổi không gian dùng mặt nạ mã hoặc thuróc mã để biến đổi góc quay α thành mã Grây rồi từ mã Grây thành mã nhị phân tiếp đến là các khâu giải mã, chỉ thị số.



Hình 9.23. Sơ đồ cấu trúc của vômét chỉ thị số tùy động bậc thang bằng nhau dùng bộ tích phân là động cơ thuận nghịch (DCTN)

Ở đây phần cơ khí đơn giản nhưng làm việc tin cậy hơn các khâu bằng linh kiện điện tử.

Vômét chỉ thị số bù tùy động với U_k thay đổi theo bậc thang không bằng nhau: trong các vômét loại này có thể thực hiện gia công U_k theo hai cách:

- Gia công U_k từ hàng đếm lớn nhất
- Gia công U_k từ hàng đếm nhỏ nhất

Gia công U_k từ hàng đếm lớn nhất: phương pháp này dựa trên hệ đếm thập phân. Khi gia công thường dùng góc quay của trực đổi nối hoặc tín hiệu điện theo 10 kênh để điều khiển chuyển đổi mã áp (tạo U_k) và điều khiển chỉ thị số.

Quá trình gia công được thực hiện như sau:

- Trạng thái ban đầu: tất cả các hàng đếm (đecac) đều bằng 0 tức là $U_k = 0$.
- Trong mỗi hàng (đècac) bắt đầu từ số nhỏ nhất của hàng đếm tăng dần U_k cho đến khi hiệu $U_x - U_k < \Delta U_k$ của hàng đó thì chuyển sang hàng đếm nhỏ hơn. Quá trình này liên tục lặp lại.

- Quá trình đo (gia công) kết thúc khi:

$$U_x - \sum_{m=1}^{i=1} U_{ki} < \Delta U_k \text{ hàng nhỏ nhất.}$$

thiết bị so sánh sẽ thông báo điều này.

Nếu $U_x = \text{const}$ thì U_k sẽ tăng liên tục hoặc giảm liên tục, số lượng mức lượng tử không lớn lắm.

Nếu U_x biến thiên thì U_k sẽ thay đổi cho phù hợp với sự biến thiên của U_x , sơ đồ điều khiển sẽ phức tạp hơn. Số lượng nhịp thực hiện gia công U_k được xác định như sau:

$$n = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots$$

trong đó: n : số lượng nhịp

$a_1, a_2, a_3, a_4, \dots$: số mức của các đècac tạo thành giá trị số của đại lượng cần đo U_x .

thời gian cực đại gia công theo phương pháp này:

$$T_{\max} = t_0 - k \cdot 9 \cdot \Delta t$$

với: k : số decac ; 9 : số chữ số trong một decac

Gia công U_k từ hàng nhỏ nhất: phương pháp này cũng dựa trên hệ đếm thập phân. Trạng thái ban đầu $U_k = 0$ và bắt đầu từ giá trị nhỏ nhất của hàng nhỏ nhất. Ví dụ hàng đơn vị: $U_k = 1, 2, 3, \dots, 9$.

Nếu gia công hết hàng nhỏ nhất mà hiệu $U_x - U_k > \Delta U_{k1}$ (ΔU_{k1} là mức giá trị của hàng nhỏ nhất) thì tiếp tục gia công đến hàng lớn hơn khi cho đến khi xuất hiện $U_k > U_x$ tức là hiệu $U_x - U_k$ đổi dấu thì quay về hàng đếm nhỏ nhất và giảm dần từng mức ΔU_{k1} để giảm U_k cho đến khi $U_k \approx U_x$, khi đó quá trình đo sẽ kết thúc và đọc kết quả ở chỉ thị số.

Ưu điểm của phương pháp này là sơ đồ điều khiển tương đối đơn giản.

Nhược điểm là thời gian gia công dài. Nhất là trường hợp dùng 4 decac đếm số 9090 phải thực hiện 90 nhịp. Thời gian cực đại để gia công số có 4 chữ số:

$$T_{\max} = t_0 = 90 \cdot \Delta t$$

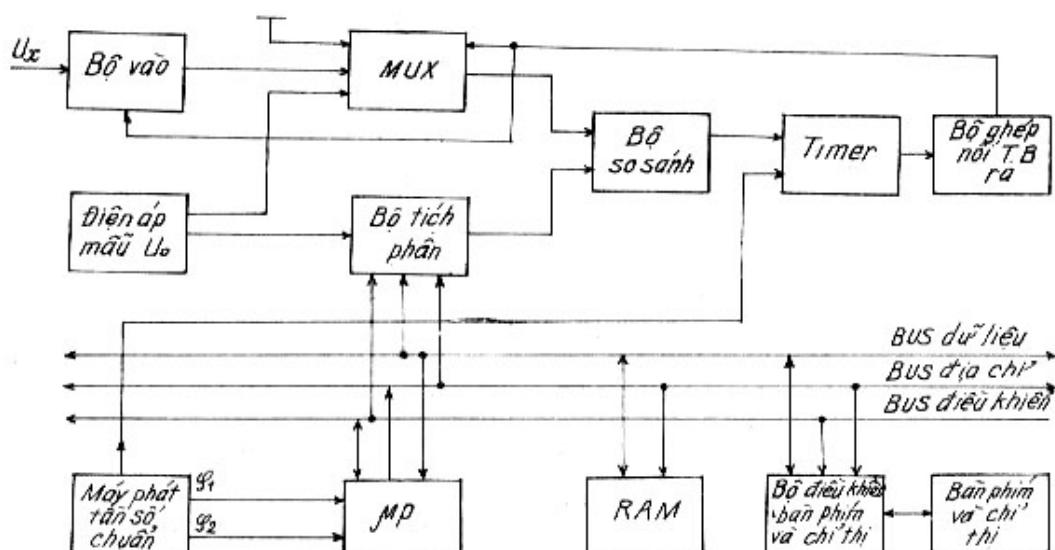
Trong hai trường hợp bù tùy động gia công theo bậc thang không bằng nhau thì gia công từ decac lớn nhất có số lượng nhịp gia công ít nhất, giảm được thời gian gia công, nâng độ tác động nhanh của dụng cụ tuy sơ đồ điều khiển có phức tạp hơn.

9.5. Các dụng cụ đo điện áp sử dụng vi xử lý (μP).

9.5.1. Nguyên lý làm việc:

Để nâng cao các tính năng của vômét chỉ thị số người ta sử dụng μP .

Xét một vômét có vi xử lý được thực hiện theo phương pháp thời gian xung, có sơ đồ khái như hình 9.24:



Hình 9.24. Sơ đồ khái của vômét có vi xử lý được thực hiện theo phương pháp thời gian xung

Gồm các phần cơ bản:

- *Bộ vào của vômét:* có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu vào $U_x(t)$; có thể suy giảm hay khuếch đại, biến áp xoay chiều thành một chiều...

- *Các đầu vào:* đầu vào 2 của bộ đổi nối MUX (Multiplexcor): điện áp cần đo được đưa đến đầu này; đầu vào 1 được nối với đất; đầu vào 3 được nối với một nguồn điện áp mẫu U_0 có giá trị bằng $U_{x\max}$ (điện áp cần đo cực đại).

- *Đầu ra của bộ đổi nối:* được nối với đầu vào 1 của bộ so sánh (Comparator). Việc đổi nối được thực hiện bởi hệ thống được xử lý thông qua bộ ghép nối (Interface) với thiết bị ngoài. Tín hiệu từ đầu ra của bộ tích phân được đưa đến đầu vào 2 của hệ so sánh.

- *Bộ tích phân:* làm nhiệm vụ tạo tín hiệu răng cưa. Nó được liên hệ với bộ vi xử lý để cho phép trong bất kỳ thời điểm nào cũng có thể cho ra các xung khởi đầu tạo xung răng cưa.

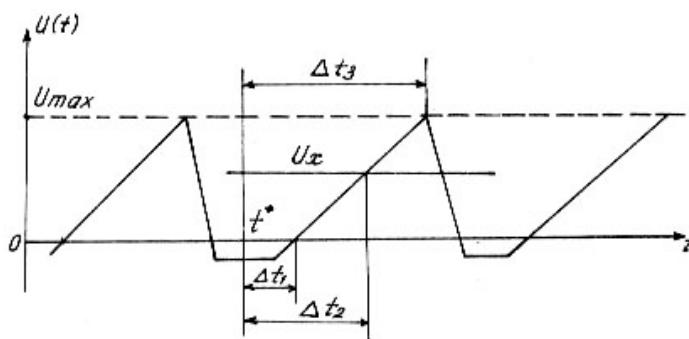
Xung răng cưa sau bộ tích phân sẽ được so sánh với một trong 3 điện áp: điện áp “không”, điện áp cần đo U_x và điện áp chuẩn cực đại $U_{x\max}$ (tùy thuộc vào trạng thái của bộ đổi nối MUX đưa tín hiệu vào bộ so sánh). Khi có sự cân bằng điện áp giữa hai đầu vào của bộ so sánh thì đầu ra xuất hiện xung. Xung này sẽ đưa đến mở khoá “timer” cho phép xung ở máy phát chuẩn đi qua. Bộ vi xử lý sẽ điều khiển đếm số xung chuẩn đó.

Quá trình đo được minh họa như hình 9.25: khi có xung từ bộ vi xử lý phát lệnh “bắt đầu đo” (thời điểm t^* ở hình 9.25), bộ vi xử lý cho ra tín hiệu thông qua bộ tích phân. Bộ đổi nối MUX sẽ nối đầu vào 1 của bộ so sánh với cửa vào 1 của nó (tức là nối đất). Như vậy khi đó điện thế của đầu vào 1 của hệ so sánh bằng “không”. Bộ vi xử lý đợi khi bắt đầu xung răng cưa.

Khi xung răng cưa bằng điện áp “không” sẽ có tín hiệu ở đầu ra so sánh. Nhờ có khoá timer tạo khoảng thời gian Δt_1 và bộ xử lý đo nó bằng cách đếm số xung chuẩn trong khoảng thời gian đó là N_1 . Kết quả được ghi vào bộ nhớ của hệ thống vi xử lý.

Sau đó theo lệnh của vi xử lý, đầu vào 2 của đổi nối đưa tín hiệu cần đo U_x vào so sánh với tín hiệu răng cưa. Tại thời điểm bằng nhau hệ so sánh cho ra tín hiệu tạo khoảng thời gian Δt_2 và bộ vi xử lý đếm số xung N_2 mà xung chuẩn đi qua timer trong khoảng thời gian Δt_2 . Kết quả cũng được nhớ lại.

Tiếp theo vi xử lý nối đầu vào 1 của bộ so sánh với đầu vào 3 của bộ đổi nối, tức điện áp mẫu U_0 , nó xác định giá trị lớn nhất của toàn thang đo. Tại thời điểm bằng nhau với tín hiệu răng cưa của đầu ra của bộ so sánh xuất hiện xung và tạo ra khoảng thời gian Δt_3 và tương ứng bộ vi xử lý sẽ đếm số xung N_3 . Kết quả sẽ được nhớ vào bộ nhớ.



Hình 9.25. Quá trình đo điện áp của vômét có vi xử lý được thực hiện theo phương pháp thời gian xung

Giá trị của điện áp cần đo sẽ được bộ vi xử lý tính là:

$$U_x = \frac{C.(N_2 - N_1)}{(N_3 - N_1)} \quad (*)$$

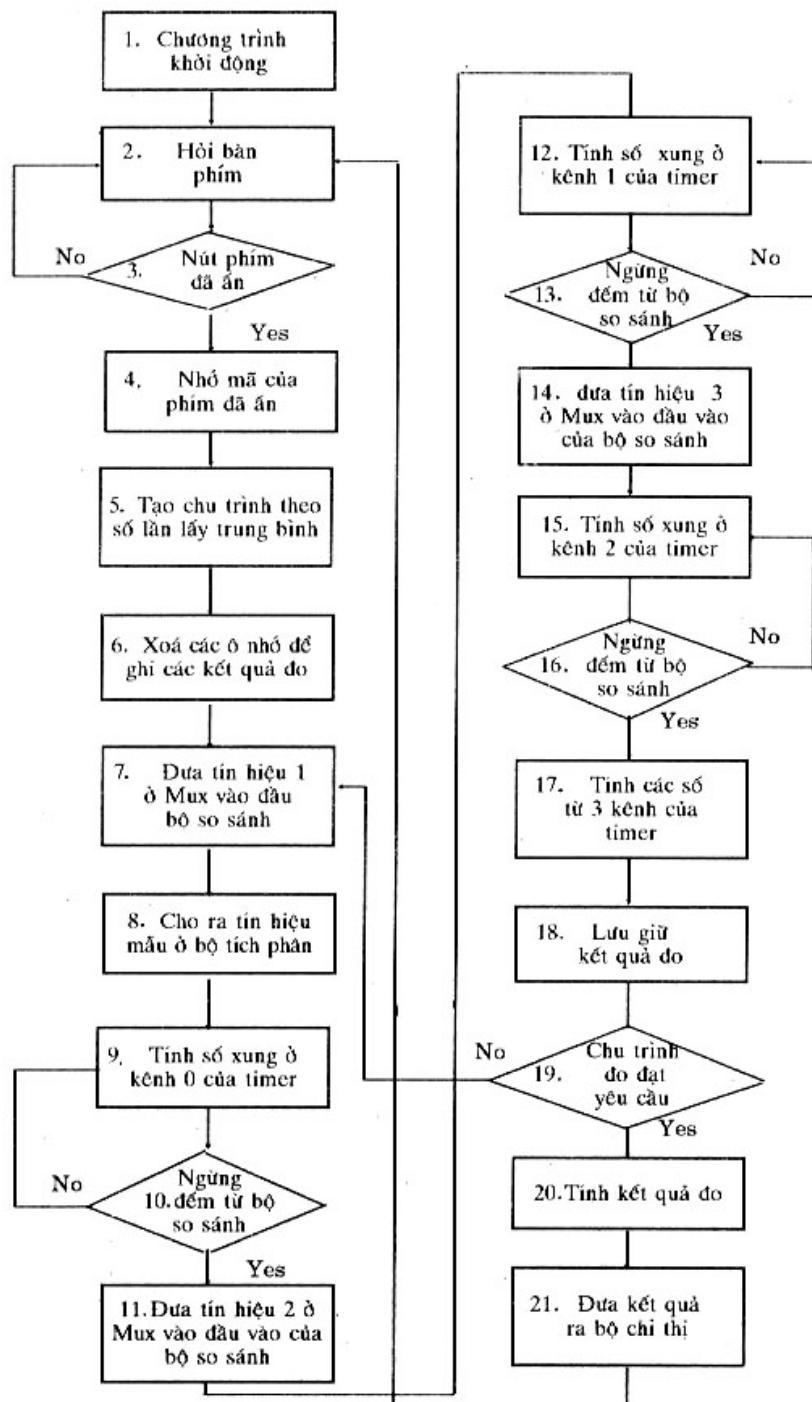
với C là hệ số, phụ thuộc vào tính chất của dụng cụ đo và đơn vị đo điện áp.

Ưu điểm của phương pháp đo điện áp này:

- Thang đo không đổi, có thể hiệu chỉnh điểm “không” và điểm cực đại của dải đo.

- Sự không ổn định của các thông số các phần tử của mạch (theo thời gian hay nhiệt độ) không ảnh hưởng đến sự chính xác của dụng cụ đo

9.5.2. Алгоритм chức năng của vônmet dùng vi xử lý:



Hình 9.26. Алгоритм chức năng của vônмет dùng vi xử lý

Sau khi bật máy cho ra tín hiệu xoá (ấn nút xóa) bộ vi xử lý cho ra chương trình khởi động. Chương trình này ra lệnh các khâu như: khóa timer, bộ ghép nối thiết bị ngoại vi, bộ kiểm tra bàn phím và chỉ thị... làm việc theo các lệnh đặc biệt của μ P điều khiển khoá timer và đếm số xung N_1 , N_2 , N_3 từ máy phát chuẩn f_0 .

Bộ ghép nối thiết bị ngoại vi phụ thuộc vào thông tin từ timer mà điều khiển MUX.

Bộ điều khiển bàn phím và chỉ thị sẽ cho ra chương trình điều khiển bàn phím và đưa thông tin ra chỉ thị. Bàn phím gồm 3 phím “1” và “10” và “100” để thay đổi giới hạn đo.

Sau khi đã hoàn thành chương trình khởi động (ô.1 ở hình 9.26), chương trình điều khiển bàn phím sẽ được thực hiện. Đầu tiên ra câu hỏi phải bấm phím nào (ô số 2 và 3 ở hình 9.26), người thao tác sẽ bấm phím cần thiết (một trong 3 phím).

Khi đã ấn một trong 3 phím thì bắt đầu quá trình đo (dưới phím được ấn đèn sáng). Mã của phím này sẽ được đưa vào bộ nhớ (ô số 4). Sau đó μ P chọn chu trình đếm cho bộ đếm (ô số 5) và đưa về “0” (xoá) các ô nhớ để chuẩn bị ghi nhớ kết quả đo (ô số 6). Ở ô số 7 đầu vào 1 của bộ đổi nối (MUX) được đưa đến đầu vào 1 của bộ so sánh, tạo tín hiệu cho phép đếm ở cả 3 kênh và ở bộ tích phân ở tín hiệu mẫu.

Tất cả các kênh của Timer sẽ tính số xung từ máy phát chuẩn cho đến khi ở bộ đầu ra của bộ so sánh cho ra tín hiệu ngừng đếm số xung N_1 tương ứng với Δt_1 , N_2 tương ứng với Δt_2 , N_3 tương ứng với Δt_3 ở cả 3 kênh (từ ô số 9 ÷16).

Kết quả: ở kênh 0 nhớ N_1 , ở kênh 1 nhớ N_2 , ở kênh 2 nhớ N_3 (ô số 17,18). Các số này được cắt giữ để tính.

Nếu chu trình đo không đạt, thì quá trình đo sẽ được lặp lại. Còn nếu đã đạt thì với các số N_1 , N_2 , N_3 kết quả đo sẽ được tính theo biểu thức (*) và điều khiển chương trình con để kết quả đo được đưa ra (ô số 21). Chương trình con này sẽ biến đổi kết quả đo thành dạng tiện cho việc chỉ thị số, xác định đơn vị đo (V, mV hay μ P). Sau khi thực hiện chương trình con này lệnh sẽ được đưa đến chương trình con chọn phím bấm và Vônmét lại sẵn sàng lần đo tiếp theo sau.

Nhờ có μ P đã nâng cao được tính năng của vônmét, quá trình đo được tự động theo một angôrit đã định sẵn được ghi nhớ trong μ P.

CHƯƠNG 10.

ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG (3 LT)

10.1. Cơ sở chung về đo công suất và năng lượng.

Công suất và năng lượng là các đại lượng cơ bản của phần lớn các đối tượng, quá trình và hiện tượng vật lý. Vì vậy việc xác định công suất và năng lượng là một phép đo rất phổ biến. Việc nâng cao độ chính xác của phép đo đại lượng này có ý nghĩa rất to lớn trong nền kinh tế quốc dân, nó liên quan đến việc tiêu thụ năng lượng, đến việc tìm những nguồn năng lượng mới, đến việc tiết kiệm năng lượng.

Công suất cũng như năng lượng có mặt dưới nhiều dạng khác nhau đó là: năng lượng điện, nhiệt cơ, công suất, phát xạ... tuy nhiên quan trọng nhất vẫn là việc đo công suất và năng lượng điện, còn các dạng năng lượng khác cũng thường được đo bằng phương pháp điện.

Dải đo của công suất điện thường từ $10^{-20}W$ đến $10^{+10}W$. Công suất và năng lượng điện cũng cần phải được đo trong dải tần rộng từ không (một chiều) đến 10^9Hz và lớn hơn.

Ví dụ: Công suất của tín hiệu một đài phát thanh khoảng $10^{-16}W$ còn công suất của một đài phát thanh hiện đại khoảng trên $10^{10}W$. Năng lượng từ một thiên hà đến trái đất trong 1s là $10^{-40}J$, còn năng lượng cho ra của một máy phát điện trong một năm cỡ $10^{20}J$.

10.1.1. Công suất trong mạch một chiều:

Công suất trong mạch một chiều được tính theo một trong các biểu thức sau đây:

$$P = U \cdot I ; \quad P = I^2 R ; \quad P = \frac{U^2}{R} ; \quad P = k \cdot q$$

trong đó: I - dòng điện trong mạch

U - điện áp rơi trên phụ tải với điện trở R

P - lượng nhiệt tỏa ra trên phụ tải trong một đơn vị thời gian.

10.1.2. Công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha:

Được xác định như là giá trị trung bình của công suất trong một chu kỳ T:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt$$

trong đó: p, u, i là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng.

Trong trường hợp khi dòng và áp có dạng hình sin thì công suất tác dụng được tính là :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

hệ số $\cos \varphi$ được gọi là *hệ số công suất*.

Còn đại lượng $S = U \cdot I$ gọi là *công suất toàn phần* được coi là công suất tác dụng

khi phụ tải là thuần điện trở tức là, khi $\cos\varphi = 1$.

Khi tính toán các thiết bị điện để đánh giá hiệu quả của chúng, người ta còn sử dụng khái niệm công suất phản kháng. Đối với áp và dòng hình sin thì *công suất phản kháng* được tính theo :

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

Trong trường hợp chung nếu một quá trình có chu kỳ với dạng đường cong bất kỳ thì công suất tác dụng là tổng các công suất của các thành phần sóng hài.

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} P_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot \cos\varphi_k$$

Hệ số công suất trong trường hợp này được xác định như là tỉ số giữa công suất tác dụng và công suất toàn phần:

$$k_p = \frac{P}{S} \quad \text{và khi hình sin thì: } K_p = \cos\varphi.$$

10.1.3. Công suất tác dụng trong trường hợp quá trình có dạng xung:

Có thể đặc trưng bởi *công suất xung*, được xác định như là giá trị trung bình trong thời gian một xung τ .

$$P_x = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau u \cdot i \cdot dt$$

và thường công suất tác dụng trong trường hợp này được xác định bằng cách đo công suất trung bình trong một chu kỳ lặp lại T của xung.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot P_x$$

10.1.4. Công suất tác dụng trong mạch 3 pha:

Biểu thức tính công suất tác dụng và công suất phản kháng là :

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos\varphi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos\varphi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos\varphi_C$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_{\Phi A} I_{\Phi A} \sin\varphi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \sin\varphi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \sin\varphi_C$$

với: U_Φ, I_Φ : điện áp pha và dòng pha hiệu dụng

φ_C : góc lệch pha giữa dòng và áp của pha tương ứng.

Biểu thức để đo năng lượng điện được tính như sau:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} U \cdot I \cdot \cos\varphi dt$$

với: P : công suất tiêu thụ

t_1, t_2 : thời gian tiêu thụ

Trong mạch 3 pha có:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P_A dt + \int_{t_1}^{t_2} P_B dt + \int_{t_1}^{t_2} P_C dt$$

$$= \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos \varphi_A dt + \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos \varphi_B dt + \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos \varphi_C dt$$

Như vậy công tơ đo năng lượng điện phải bao gồm một bộ phận chuyển đổi để đo công suất, một bộ tích phân. Bộ chuyển đổi đo công suất được thực hiện theo nhiều công suất khác nhau gồm:

- **Phương pháp cơ điện:** phép nhân được dựa trên cơ cấu chỉ thị như điện động, sắt điện động, tĩnh điện và cảm ứng, trong đó góc quay α của phần động là hàm của công suất cần đo.
- **Phương pháp điện:** phép nhân được thực hiện bởi các mạch nhân tương tự cũng như nhân số điện tử, tín hiệu ra của nó là hàm của công suất cần đo.
- **Phương pháp nhiệt điện:** sử dụng phương pháp biến đổi thẳng công suất điện thành nhiệt. Phương pháp này thường được ứng dụng khi cần đo công suất và năng lượng trong mạch tần số cao cũng như của nguồn laze.
- **Phương pháp so sánh:** là phương pháp chính xác vì thế nó thường được sử dụng để đo công suất trong mạch xoay chiều tần số cao.

10.2. Đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha.

Có các phương pháp đo cơ bản sau:

- **Đo theo phương pháp cơ điện:**
 - Watmet điện động
 - Watmet sắt điện động
- **Đo theo phương pháp điện:**
 - Watmet chỉnh lưu điện tử
 - Watmet dùng chuyển đổi Hall
 - Watmet dùng phương pháp nhiệt điện
 - Watmeter dùng phương pháp điều chế

10.2.1. Đo theo phương pháp cơ điện:

Công suất trong mạch một chiều có thể đo được bằng cách đo điện áp đặt vào phụ tải U và dòng I qua phụ tải đó. Kết quả là tích của hai đại lượng đó. Tuy nhiên đây là phương pháp gián tiếp, phương pháp này có sai số của phép đo bằng tổng sai số của hai phép đo trực tiếp (đo điện áp và đo dòng điện).

Trong thực tế thường đo trực tiếp công suất bằng watmeter điện động và sắt điện động. Những dụng cụ đo này có thể đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha tần số công nghiệp cũng như tần số siêu âm đến 15kHz.

Với watmeter điện động có thể đạt tới cấp chính xác là $0,01 \div 0,1$ với tần số dưới 200Hz và trong mạch một chiều, ở tần số từ 200Hz \div 400Hz thì sai số đo là 0,1% và hơn nữa. Với watmeter sắt điện động với tần số dưới 200Hz sai số đo là $0,1 \div 0,5\%$ còn với tần số từ 200Hz \div 400Hz thì sai số đo là 0,2 % và hơn nữa.

Đo trực tiếp công suất bằng watmeter điện động: để đo công suất tiêu thụ trên phụ tải R_L ta mắc watmeter điện động như ở hình 10.1. Trong đó ở mạch nối tiếp với

một điện trở phụ R_p . Cuộn tĩnh và cuộn động được nối với nhau ở hai đầu có đánh dấu *.

Đo công suất trong mạch một chiều bằng watmet điện động:

Góc lệch của kim chỉ của Watmet được tính theo biểu thức sau:

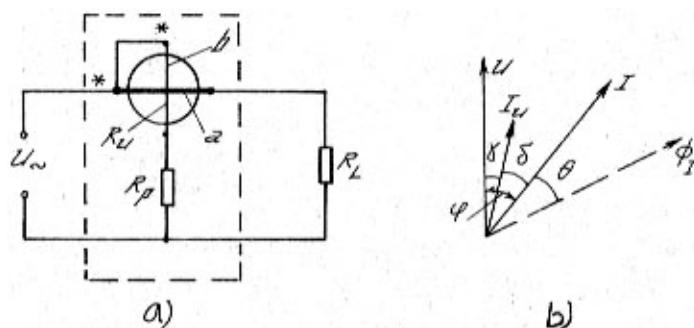
$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{U \cdot I}{R_u + R_p} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Để cho thang đo của watmet đều yêu cầu $dM_{12} / d\alpha$ phải không đổi. Điều này phụ thuộc vào hình dáng, kích thước và vị trí ban đầu của cuộn dây.

Nếu $dM_{12} / d\alpha = \text{const}$ thì:

$$\alpha = s \cdot (U \cdot I) = s \cdot P$$

với: $s = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{R_u + R_p} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$ là độ nhạy của Watmet theo dòng một chiều.



Hình 10.1. Đo công suất bằng watmet điện động

Đo công suất trong mạch xoay chiều một pha bằng watmet điện động:

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I \cdot I_u \cdot \cos \delta \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Nếu $dM_{12} / d\alpha = \text{const}$ thì:

$$\alpha = s \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi - \gamma) \cdot \cos \gamma$$

Từ biểu thức trên thấy số chỉ của watmet tỉ lệ với công suất khi $\gamma = 0$ hoặc khi $\gamma = \varphi$.

Điều kiện thứ nhất $\gamma = 0$ có thể đạt được bằng cách tạo ra cộng hưởng điện áp trong mạch song song (ví dụ bằng cách mắc tụ C song song với điện trở R_p). Nhưng cộng hưởng chỉ giữ được khi tần số không đổi, còn nếu tần số thay đổi thì điều kiện $\gamma = 0$ bị phá vỡ.

Sai số góc: khi $\gamma \neq 0$ thì watmet đo công suất với một sai số β_γ gọi là sai số góc:

$$\beta_\gamma = \frac{P' - P}{P} = \frac{\cos(\varphi - \gamma) - \cos \gamma}{\cos \varphi} = \cos \gamma + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma - 1$$

Trong hầu hết các watmet sai số này tăng khi $\cos \varphi$ giảm, thường thì góc γ rất nhỏ do đó mà $\cos \gamma \approx 1$ và $\sin \gamma \approx \gamma$ như vậy:

$$\beta_\gamma \approx \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Khi $\varphi = \pi/2$ thì $\beta_\gamma \rightarrow \infty$, vì vậy thay cho sai số tương đối thường dùng sai số tương

đối quy đổi:

$$\beta_m = \frac{\cos(\varphi - \gamma) - \cos \gamma}{\cos \varphi_n} \approx \frac{\cos \varphi + \gamma \cdot \sin \varphi}{\cos \varphi_n}$$

với: $\cos \varphi_n$ là hệ số $\cos \varphi$ quy chuẩn cho loại watmet được sử dụng.

Ở watmet sắt điện động sai số góc còn phụ thuộc vào góc θ là góc lệch giữa dòng điện I và từ thông Φ_1 (H. 10.1b), vì vậy sai số này thường lớn hơn ở watmet điện động.

Điều kiện thứ hai là $\gamma = \varphi$ không thực hiện được vì dòng điện trong cuộn áp I_u không bao giờ trùng pha với dòng điện I trong cuộn dòng.

Sai số của phép đo còn xảy ra do sự tiêu thụ công suất trên các cuộn dây của watmet.

Chú ý khi đo công suất bằng watmet điện động:

- *Đầu nối đúng các đầu cuộn dây:* trên watmet bao giờ cũng có những ký hiệu ngôi sao (*) ở đầu các cuộn dây gọi là đầu phát, khi mắc watmet phải chú ý nối các đầu có kí hiệu dấu (*) với nhau như ở hình 10.1.
- *Đọc và tính chỉ số của watmet điện động:* thường watmet điện động có nhiều thang đo theo dòng và áp (theo dòng: 5A, 10A; theo áp: 30V, 150V, 300V), những giá trị này là dòng và áp định mức I_N và U_N .

Để đọc được số chỉ của watmet trước tiên phải tính hằng số watmet C :

$$C = \frac{U_N \cdot I_N}{\alpha_m}$$

với: α_m là giá trị cực đại của độ chia trên thang đo của watmet.

hoặc đối với watmet đặc biệt có tính đến giá trị của $\cos \varphi_n$ thì:

$$C = \frac{U_{dm} \cdot I_N \cdot \cos \varphi_n}{\alpha_m}$$

với: $\cos \varphi_{dm}$ được ghi ở trên mặt watmet.

Sau khi tính được C ta chỉ việc nhân với số chỉ α của watmet thì biết được giá trị của công suất cần đo.

10.2.2. Đo theo phương pháp điện:

Khi đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha theo phương pháp điện thì phép nhân được thực hiện bởi mạch nhân điện tử tương tự và số. Tín hiệu ra của chúng là hàm của công suất cần đo.

Các phương pháp đo công suất bằng phương pháp điện phổ biến gồm:

- Đo công suất bằng watmet chỉnh lưu điện tử
- Đo công suất watmet dùng chuyển đổi Hall
- Đo công suất bằng phương pháp nhiệt điện
- Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

Sau đây sẽ tiến hành xét từng phương pháp cụ thể:

Đo công suất bằng watmet chỉnh lưu điện tử: mạch nguyên lý của một watmet

chỉnh lưu điện tử với mạch bình phong được thực hiện bằng một diốt bán dẫn như hình 10.2. Watmet có hai điện trở trong mạch dòng là $R_{S1} = R_{S2}$ có giá trị của nhỏ hơn rất nhiều so với tổng trở tải Z_L và hai điện trở R_3 và R_4 trong mạch áp. Các điện trở R_3 và R_4 thực hiện vai trò của mạch phân áp vì vậy (R_3+R_4) lớn hơn rất nhiều điện trở tải Z_L .

Điện áp rơi trên các điện trở sun $R_{S1} = R_{S2}$ tỉ lệ với dòng tải $k_1 i$. Điện áp rơi trên điện trở R_3 của mạch phân áp tỉ lệ với điện áp rơi trên phụ tải $k_2 u$.

Theo mạch điện thì điện áp u_1 và u_2 trên các diốt D_1 và D_2 sẽ tương ứng là :

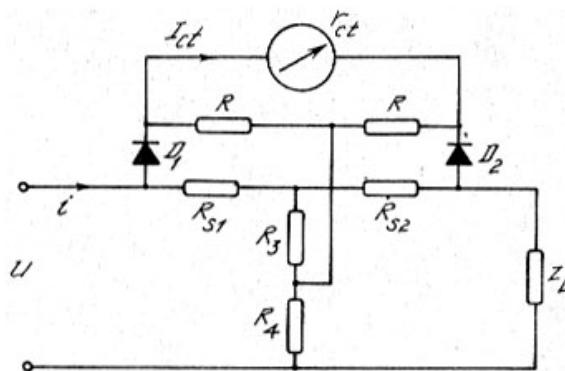
$$u_1 = k_2 u + k_1 i$$

$$u_2 = k_2 u - k_1 i$$

Khi đặc tính của các diốt như nhau và làm việc trên đoạn bình phong của đặc tính vôn.ampe (dòng tỉ lệ với bình phong điện áp):

$$i_1 = \beta \cdot u_1^2 = \beta \cdot (k_2 u + k_1 i)^2$$

$$i_2 = \beta \cdot u_2^2 = \beta \cdot (k_2 u - k_1 i)^2$$



Hình 10.2. Mạch nguyên lý của một watmeter chỉnh lưu điện tử với mạch bình phong dòng qua cơ cầu chỉ thị sẽ là:

$$i_{ct} = (i_1 - i_2) \cdot \frac{R}{r_{ct}}$$

Thay i_1, i_2 vào biểu thức i_{ct} có:

$$i_{ct} = \frac{R}{r_{ct}} \cdot \beta \left[(k_2 u + k_1 i)^2 - (k_2 u - k_1 i)^2 \right]$$

$$= 4k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{R}{r_{ct}} \cdot \beta \cdot u \cdot i = k \cdot u \cdot i$$

$$\text{với: } k = 4k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{R}{r_{ct}} \cdot \beta$$

Giả sử $u = U_m \sin \omega t$, $i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$. Dòng đi qua cơ cầu chỉ thị từ điện sẽ là dòng trung bình bình tỉ lệ với công suất tác dụng:

$$i_{ct} = \frac{1}{T} \int_0^T k \cdot u \cdot i \cdot dt = \frac{k}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

với P là công suất cần đo. Như vậy đọc kết quả của cơ cấu chỉ thị từ điện sẽ suy ra được công suất cần đo.

Các đặc điểm cơ bản của watmet chỉnh lưu điện tử dùng điốt: có độ chính xác không cao (chủ yếu là do đặc tính của các điốt không giống nhau). Sai số cỡ $\pm 1,5\div 6\%$. Độ nhạy thấp, công suất tiêu thụ lớn. Dải tần tín hiệu khoảng vài chục kHz.

Đo công suất watmet dùng chuyển đổi Hall: chuyển đổi Hall là một mảng bốn cửa được chế tạo dưới dạng một tấm mỏng bằng bán dẫn, có cấu tạo như hình 10.3.

Hai cực dòng kí hiệu là T-T của chuyển đổi được mắc vào nguồn điện một chiều hoặc xoay chiều.

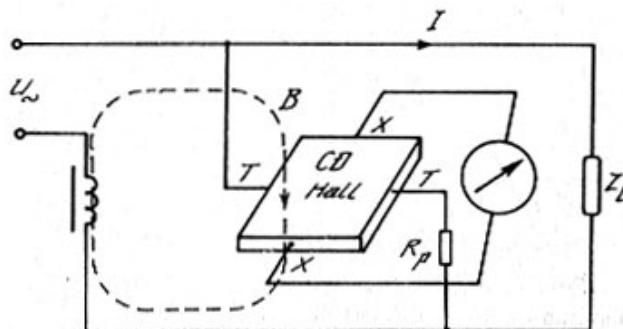
Hai cực áp kí hiệu là X-X. Khi đặt vuông góc với bề mặt chuyển đổi một từ trường thì xuất hiện ở hai đầu X-X một thế điện động gọi là *thế điện động Hall* được tính như sau:

$$e_x = k_x \cdot B \cdot i_x$$

với: k_x : là hệ số mà giá trị của nó phụ thuộc vào vật liệu, kích thước và hình dáng của chuyển đổi, ngoài ra còn phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường xung quanh và giá trị của từ trường.

B : là độ từ cảm của từ trường.

Như vậy thế điện động Hall sẽ tỉ lệ với công suất nếu như một trong hai đại lượng trên (ví dụ B) tỉ lệ thuận với điện áp u , còn dòng i_x là dòng qua phụ tải.



Hình 10.3. Sơ đồ nguyên lý của watmet dùng chuyển đổi Hall

Thực hiện một watmet bằng chuyển đổi Hall bằng cách đặt chuyển đổi vào khe hở của một nam châm điện. Dòng điện đi qua cuộn hút L của nó chính là dòng điện đi qua phụ tải Z_L . Còn ở hai cực T-T có dòng điện tỉ lệ với điện áp đặt lên phụ tải Z_L . Điện trở phụ R_p để hạn chế dòng. Hướng của từ trường được chỉ bởi đường chấm chấm (H. 10.3):

Thế điện động Hall lúc đó sẽ được tính:

$$e_x = k \cdot u \cdot i = k \cdot P$$

với e_x được đo bằng milivônmet; k là hệ số tỉ lệ.

Đặc điểm của watmet với chuyển đổi Hall: cho phép đo công suất xoay chiều với tần số đến hàng trăm MHz.

Ưu điểm: không có quán tính, có cấu tạo đơn giản, bền, tin cậy.

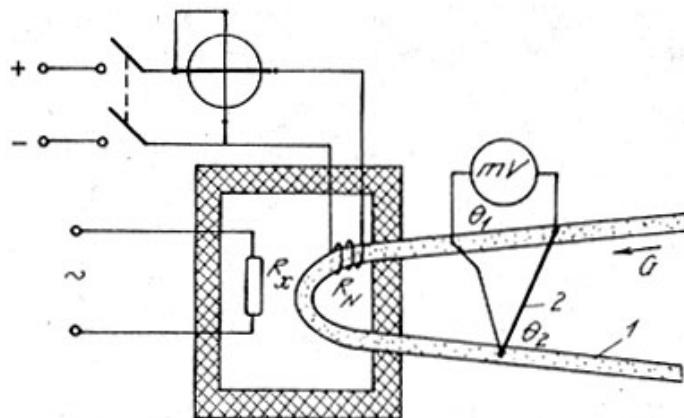
Nhược điểm: có sai số do nhiệt độ lớn.

Đo công suất bằng phương pháp nhiệt điện: gồm có watmeter nhiệt điện và watmeter nhiệt lượng kế.

Watmet nhiệt điện: có nguyên lý hoạt động gần giống watmet chính lưu điện tử, chỉ khác là thay thế các điốt bằng các chuyển đổi cặp nhiệt để tạo ra các bộ bình phương. Hiệu điện thế động sinh ra ở các đầu tự do (đầu lạnh) của các chuyển đổi được đo bởi một milivônmet từ điện. Điện áp này tỉ lệ với công suất trung bình tiêu thụ trên một phụ tải.

Ứng dụng của watmet nhiệt điện: thường để đo công suất trong mạch có dòng và áp không phải hình sin, tần số có thể lên tới 1MHz; đo công suất trong mạch có sự chênh lệch pha lớn giữa dòng và áp. Ngoài ra còn dùng để xác định sai số do tần số của các vônmet điện động.

Watmet nhiệt lượng kế: được chế tạo theo nguyên tắc xác định công suất theo sự thay đổi nhiệt độ của môi trường nhiệt lượng kế (H.10.4):



Hình 10.4. Sơ đồ nguyên lý của watmet nhiệt lượng kế

Công suất P_x do phụ tải R_x tiêu thụ được xác định theo hiệu nhiệt độ của chất lỏng 1 (vật mang nhiệt) ở đầu ra và đầu vào của nhiệt lượng kế. Hiệu nhiệt độ này được đo bằng cặp nhiệt 2 và milivônmet khi lưu lượng chất lỏng luôn không đổi. Từ đó có biểu thức:

$$P_x = C.G. (\theta_2 - \theta_1)$$

với : C: dung lượng nhiệt thể tích riêng của chất lỏng, được tính bằng $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$

G: lưu lượng thể tích của chất lỏng m^3/s

θ_1, θ_2 : nhiệt độ của chất lỏng ở đầu vào và đầu ra của nhiệt lượng kế.

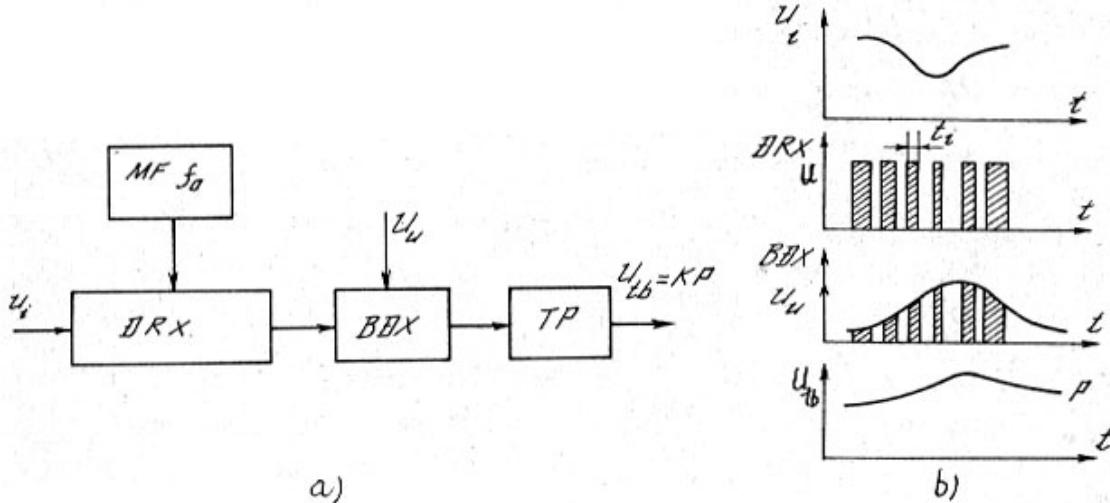
Đặc điểm của phương pháp nhiệt lượng kế: thường bị sai số do sự thay đổi của nhiệt độ môi trường xung quanh cũng như do độ biến động của các đặc tính nhiệt và nhiệt độ của vật mang nhiệt (chất lỏng).

Để nâng cao độ chính xác của watmet nhiệt lượng kế thường sử dụng các biện pháp cách nhiệt hay tự động giữ cho nhiệt độ của các bức tường của nhiệt lượng kế bằng nhiệt độ của môi trường bên trong nhiệt lượng kế.

Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu: phương pháp điều chế tín hiệu dựa trên việc nhân các tín hiệu u_u (tỉ lệ với điện áp trên tải cần đo) và u_i (tỉ lệ với dòng điện trên tải cần đo) trên cơ sở điều chế hai lần tín hiệu xung. Các tín hiệu tương tự u_u và u_i được biến đổi thành tần số, chu kì, biên độ, độ rộng của tín hiệu xung sau đó lấy tích phân. Thông dụng nhất là kết hợp giữa các loại điều chế sau đây:

- Điều chế độ rộng xung với điều chế biên độ xung: (DRX-BDX).
- Điều chế độ rộng xung với tần số xung : (DRX-TSX).
- Điều chế tần số xung và biên độ xung: TSX-BDX.

Xét watmet dựa trên phương pháp DRX-BDX: có sơ đồ cấu trúc như hình 10.5a và nguyên lý như hình 10.5b:



Hình 10.5. Watmet theo phương pháp điều chế độ rộng xung với điều chế biên độ xung (DRX-BDX):

- Sơ đồ khối
- Biểu đồ thời gian

Tín hiệu vào u_i được điều chế thành độ rộng t của xung (DRX) được phát ra từ máy phát tần số chuẩn $f_0 = 1/T_0$. Ở đầu ra của điều chế DRX có các xung với độ rộng $t_i = k \cdot u_i$, tín hiệu này sẽ được đặt vào bộ điều chế biên độ xung BDX và được điều chế biên độ bằng tín hiệu $u_u(t)$.

Khi $T_0 \rightarrow 0$ thì diện tích của mỗi xung ở đầu ra của bộ điều chế biên độ tỉ lệ với công suất tức thời :

$$S(t) = u_u t_i = k \cdot u_u u_i$$

Như vậy điện áp ra của bộ tích phân (TP) sẽ có giá trị tỉ lệ với công suất trung bình P (H.10.5b).

Sai số của các watmet sử dụng các cặp điều chế là ở chỗ độ dài của chu kì điều chế bị hạn chế. Điều này làm cho dải tần bị hạn chế.

Ví dụ: với $T_0 = 5\mu s$ và tần số của các tín hiệu vào là $10kHz$ thì sai số của watmet điều chế DRX-BDX cỡ khoảng $0,1\%$.

Ở Nhật Bản phương pháp điều chế đã được sử dụng để chế tạo chuẩn đơn vị công suất điện trong khoảng tần số từ 40Hz đến 10.00Hz có độ chính xác cao với sai số hệ thống từ $0,01 \div 0,2\%$.

10.3. Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha, công tơ một pha.

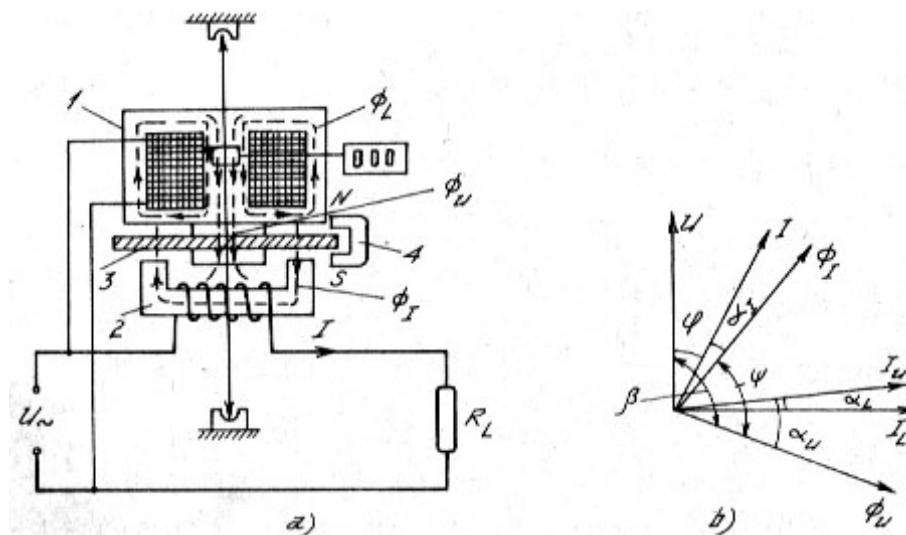
Năng lượng trong mạch xoay chiều một pha được tính:

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

với: $P = U.I.\cos\varphi$ là công suất tiêu thụ trên tải.

$t = t_2 - t_1$ là khoảng thời gian tiêu thụ của tải.

Dụng cụ đo để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng. Hình 10.6 chỉ rõ sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng:



Hình 10.6. sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng

10.3.1. Công tơ một pha:

Cấu tạo: như hình 10.6a, gồm các bộ phận chính:

- **Cuộn dây 1 (tạo nam châm điện 1):** gọi là cuộn áp được mắc song song với phụ tải. Cuộn này có số vòng dây nhiều, tiết diện dây nhỏ để chịu được điện áp cao.
- **Cuộn dây 2 (tạo nam châm điện 2):** gọi là cuộn dòng được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn này dây to, số vòng ít, chịu được dòng lớn.
- **Đĩa nhôm 3:** được gắn lên trục tì vào trục có thể quay tự do giữa hai cuộn dây 1, 2.
- **Hộp số cơ khí:** gắn với trục của đĩa nhôm.
- **Nam châm vĩnh cửu 4:** có từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm để tạo ra mômen hãm.

Nguyên lý làm việc: khi có dòng điện I chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra

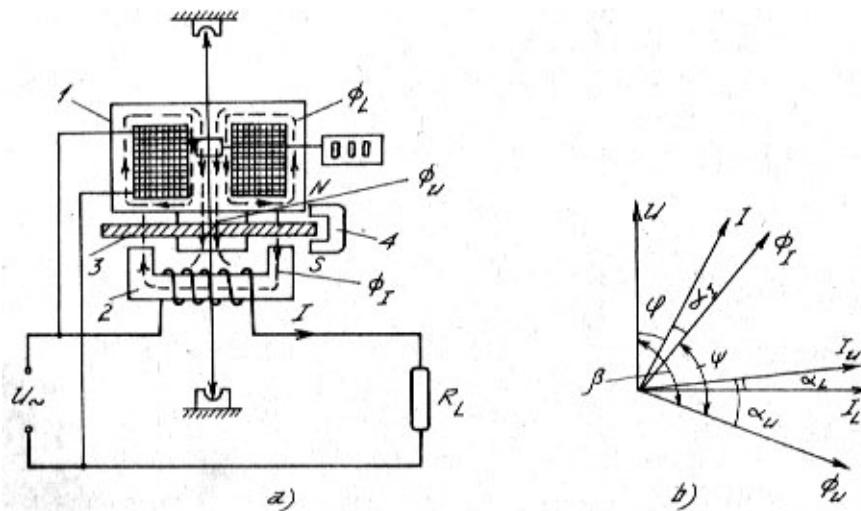
từ thông Φ_1 cắt đĩa nhôm hai lần. Đồng thời điện áp U được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng I_u , dòng này chạy trong cuộn áp tạo thành hai từ thông:

- Φ_U : là từ thông làm việc, xuyên qua đĩa nhôm
- Φ_I : không xuyên qua đĩa nhôm do vậy mà không tham gia việc tạo ra mômen quay.

Từ sơ đồ vectơ như hình 10.6b có:

$$\Phi_I = k_I \cdot I ; \quad \Phi_U = k_U \cdot I_U = k_U \cdot \frac{U}{Z_U}$$

với: k_I, k_U : là hệ số tỉ lệ về dòng và áp; Z_U : là tổng trở của cuộn áp



Hình 10.6. Công tơ một pha:

- a) Sơ đồ cấu tạo
b) Biểu đồ vectơ

vì cuộn áp có điện trở thuần nhỏ so với điện kháng của nó cho nên:

$$Z_u \approx X_u = 2\pi \cdot f \cdot L_u \Rightarrow \Phi_U = \frac{k_u \cdot U}{2\pi \cdot f \cdot L_u} = k_u \cdot \frac{U}{f}$$

suy ra mômen quay của cơ cấu chỉ thị cảm ứng được tính:

$$\begin{aligned} M_q &= C \cdot f \cdot \Phi_I \cdot \Phi_U \cdot \sin \Psi = C \cdot f \cdot (k_I \cdot I) \cdot (k_u \cdot \frac{U}{f}) \cdot \sin \Psi \\ &= (C \cdot k_I \cdot k_u) \cdot U \cdot I \cdot \sin \Psi = k \cdot U \cdot I \cdot \sin \Psi \end{aligned}$$

với: $k = C \cdot k_I \cdot k_u$; Ψ : góc lệch pha giữa Φ_I và Φ_U

Từ biểu đồ vectơ (H. 10.6b) có: $\Psi = \beta - \alpha_I - \varphi$. Như vậy nếu $\theta = \beta - \alpha_I = \pi/2$ thì $\Psi = \pi/2 - \varphi$, lúc đó mômen được tính là:

$$M_q = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

tức là mômen quay tỉ lệ với công suất.

Để thực hiện điều kiện $\theta = \beta - \alpha_I = \pi/2$ ta có thể điều chỉnh góc β , tức là điều chỉnh Φ_u bằng cách thay đổi vị trí sun từ của cuộn áp; hoặc điều chỉnh góc α_I , tức là

điều chỉnh Φ_l bằng cách thêm hoặc bớt vòng ngắn mạch của cuộn dòng. Để kiểm tra điều kiện này người ta tạo ra một phụ tải ảo có $\cos \varphi = 0$ (thường dùng bộ điều chỉnh pha) lúc đó:

$$M_q = k.U.I.\cos \varphi = k.P = 0$$

thì công tơ phải đứng yên. Nếu công tơ còn quay thì chứng tỏ rằng điều kiện trên chưa đạt, phải tiếp tục điều chỉnh β hoặc α_l .

Mômen quay M_q làm cho đĩa nhôm quay. Đĩa quay trong từ trường của nam châm vĩnh cửu 4, nó bị hãm lại và khi mômen hãm bằng mômen quay thì đĩa sẽ quay đều với tốc độ n_0 (vòng/s).

Mômen hãm sinh ra do từ thông của nam châm vĩnh cửu Φ_M và dòng điện xoáy sinh ra ở trong đĩa nhôm I_M :

$$M_C = k_1 \cdot \Phi_M \cdot I_M$$

mà $I_M = k_2 \cdot \Phi_M \cdot n_0$ vậy:

$$M_C = k_3 \cdot \Phi_M^2 \cdot n_0$$

khi cân bằng có:

$$M_q = M_C \Leftrightarrow k.P = k_3 \cdot \Phi_M^2 \cdot n_0$$

Sau một thời gian $t = t_2 - t_1$ đĩa quay được N vòng tức là $n_0 = N/t$ suy ra:

$$N = C_p \cdot P \cdot t = C_p \cdot W$$

nghĩa là số vòng của công tơ sau một thời gian t tỉ lệ với năng lượng W tiêu thụ của phụ tải trong thời gian ấy.

C_p được gọi là *hàng số công tơ*: $C_p = \frac{N}{W}$ [vòng/kWh]

là số vòng của công tơ khi tiêu hao công suất là 1kW trong 1 giờ.

Số chỉ này của năng lượng sẽ được ghi lại bởi một hộp số cơ học trên mặt công tơ.

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\beta_w \% = \frac{W_N - W_{do}}{W_{do}} = \frac{C_{PN} - C_{pdd}}{C_{pdd}}$$

với: W_N, C_{PN} : là năng lượng và hàng số công tơ định mức.

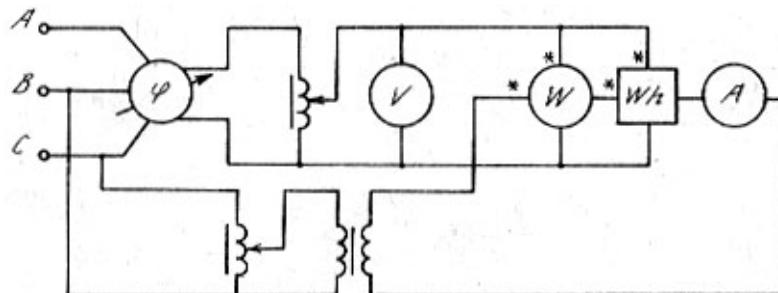
W_{do}, C_{pdd} : là năng lượng và hàng số công tơ đo được.

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

10.4.2. Kiểm tra công tơ:

Để công tơ chỉ được chính xác, trước khi đem sử dụng người ta thường phải kiểm tra hiệu chỉnh và cấp chỉ.

Để kiểm tra công tơ ta phải mắc chúng theo sơ đồ hình 10.7:



Hình 10.7. Sơ đồ kiểm tra côngtơ

Từ nguồn điện 3 pha qua bộ điều chỉnh pha để lấy ra điện áp một pha có thể lệch pha với bất kỳ pha nào của nguồn điện từ 0 đến 360° . Sau đó qua biến dòng (dưới dạng biến áp tự ngẫu) L_1 , dòng điện ra được mắc nối tiếp với phụ tải Z_T ampemét và các cuộn dòng của watmet và côngtơ.

Điện áp được lấy ra từ một pha bất kỳ của nguồn điện (ví dụ pha BC), qua biến áp tự ngẫu L_2 và đặt vào cuộn áp của watmet cũng như của côngtơ, vômét chỉ điện áp đó ở đầu ra của biến áp tự ngẫu L_2 .

Việc kiểm tra côngtơ theo các bước sau đây:

1. *Điều chỉnh tự quay của côngtơ*: điều chỉnh L_2 , đặt điện áp vào cuộn áp của watmet và côngtơ bằng điện áp định mức $U = U_N$; điều chỉnh L_1 sao cho dòng điện vào cuộn dòng của watmet và côngtơ bằng không $I = 0$, lúc này watmet chỉ 0 và côngtơ phải đứng yên. Nếu côngtơ quay thì đó là hiện tượng tự quay của côngtơ.

Nguyên nhân của hiện tượng này là khi chế tạo để thăng được lực ma sát bao giờ cũng phải tạo ra một mômen bù ban đầu, nếu mômen này quá lớn (lớn hơn mômen ma sát giữa trực và trụ) thì xuất hiện hiện tượng tự quay của côngtơ.

Để loại trừ hiện tượng tự quay, ta phải điều chỉnh vị trí của máuf từ trên trực của côngtơ sao cho tăng mômen hãm, tức là giảm mômen bù cho đến khi côngtơ đứng yên thì thôi.

2. *Điều chỉnh góc $\theta = \beta - \alpha_l = \frac{\pi}{2}$* : cho điện áp bằng điện áp định mức $U = U_N$, dòng điện bằng dòng điện định mức $I = I_N$. Điều chỉnh góc lệch pha $\varphi = \pi/2$ tức là $\cos \varphi = 0$. Lúc này watmet chỉ 0, côngtơ lúc này phải đứng yên, nếu côngtơ quay điều đó có nghĩa là $\theta \neq \pi/2$ và côngtơ không tỉ lệ với côngsuất.

Để điều chỉnh cho góc $\theta = \pi/2$ ta phải điều chỉnh góc β hay từ thông Φ_u bằng cách điều chỉnh bộ phận phân nhánh từ của cuộn áp, hoặc có thể điều chỉnh góc α_l hay từ thông Φ_l bằng cách điều chỉnh vòng ngắn mạch của cuộn dòng. Cứ thế cho đến khi côngtơ đứng yên. Lúc này thì số chỉ của côngtơ tỉ lệ của côngsuất, tức là góc $\theta = \pi/2$.

3. *Kiểm tra hằng số côngtơ*: để kiểm tra hằng số côngtơ C_p thì cần phải điều chỉnh sao cho $\cos \varphi = 1$ (tức là $\varphi = 0$), lúc này watmet chỉ $P = U \cdot I$.

Cho $I = I_N$, $U = U_N$ lúc đó $P = U_N I_N$

Đo thời gian quay của côngtơ bằng đồng hồ bấm giây t. Đếm số vòng N mà côngtơ quay được trong khoảng thời gian t. Từ đó ta tính được hằng số côngtơ:

$$C_p = \frac{N}{U_N I_N t} = \frac{N}{P_N t}$$

Hằng số này thường không đổi đối với mỗi loại côngtơ và được ghi trên mặt côngtơ.

Ví dụ : trên côngtơ có viết : "1kWh = 600vòng". Điều này có nghĩa là $C_p = 600\text{vòng}/1kWh$.

Trong thực tế đôi khi người ta sử dụng một đại lượng nghịch đảo với hằng số C_p

đó là hằng số k:

$$k = \frac{1}{C_p} = \frac{P.t}{N} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{so vong}} \right]$$

Để thuận tiện, trên hộp số người ta tính toán để cho k = 1kWh/1 số, sẽ dễ dàng cho người dùng.

Nếu C_p (hoặc k) không bằng giá trị định mức đã ghi trên mặt công tơ thì ta phải điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng (hoặc giảm) mômen cản M_c cho đến khi C_p (hoặc k) đạt được giá trị định mức.

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\gamma_c \% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100(\%) \quad \text{hoặc} \quad \gamma_k \% = \frac{k_N - k_{do}}{k_{do}} \cdot 100(\%)$$

Sau khi tính nếu sai số này nhỏ hơn hoặc bằng cấp chính xác ghi ở trên côngtơ là được. Trường hợp lớn hơn thì phải sửa chữa và hiệu chỉnh lại côngtơ rồi kiểm tra lại.

10.4.3. Công tơ điện tử:

Để chế tạo công tơ điện tử, người ta biến đổi dòng điện I thành điện áp U₁ tỉ lệ với nó:

$$U_1 = k_1 I$$

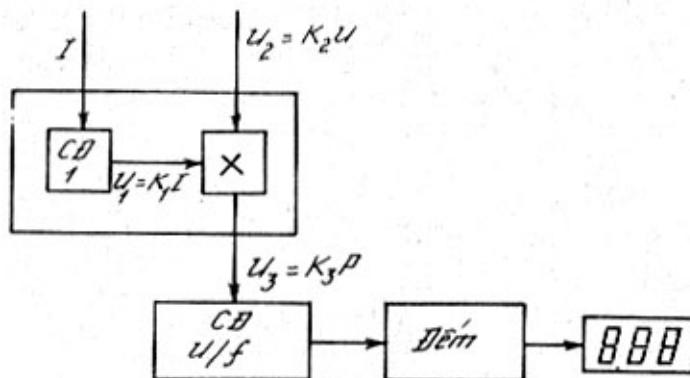
một điện áp khác tỉ lệ với điện áp đặt vào U:

$$U_2 = k_2 U$$

qua bộ phận điện tử (nhân analog) sẽ nhận được điện áp U₃ tỉ lệ với công suất P:

$$U_3 = k_3 P$$

Tiếp theo điện áp này sẽ lần lượt qua các khâu: qua bộ biến đổi điện áp-tần số (hoặc bộ biến đổi A/D), vào bộ đếm, ra chỉ thị số. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số sẽ tỉ lệ với năng lượng N = CW trong khoảng thời gian cần đo năng lượng đó.



Hình 10.8. Sơ đồ khối nguyên lý của côngtơ điện tử

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

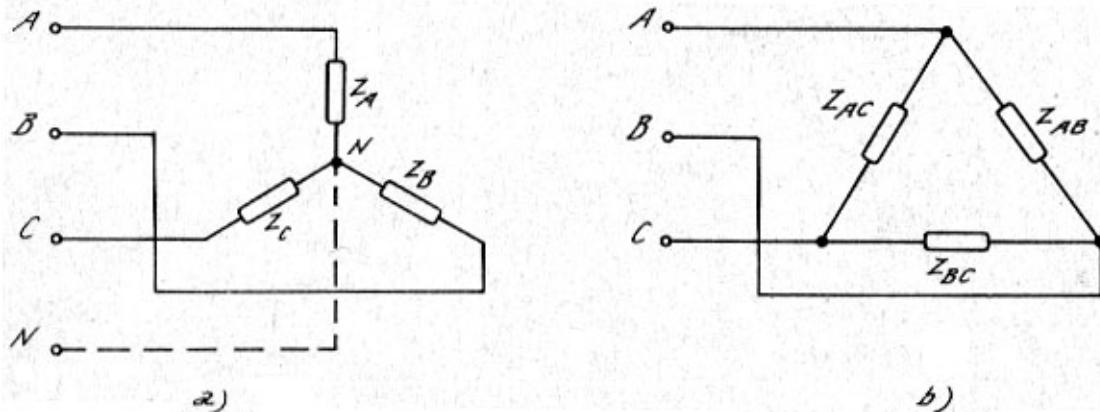
Côngtơ điện tử có thể đạt tới cấp chính xác 0,5.

10.4. Đo công suất trong mạch 3 pha.

10.5.1. Nguyên lý chung:

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

Đối với phụ tải hình sao có thể không có dây trung tính (nghĩa là mạch chỉ có 3 dây) hoặc có dây trung tính (tức là mạch có 4 dây) (H. 10.9a):



Hình 10.9. Các cách mắc phụ tải trong mạch 3 pha:

a) Mắc hình sao

b) Mắc hình tam giác

Về nguyên tắc có thể biến đổi từ hình sao ra hình tam giác được (sơ đồ tương đương) và ngược lại.

Phụ tải ở đây có thể đối xứng (ở cả 3 dây đều như nhau) hoặc không đối xứng. Trong thực tế phụ tải thường không đối xứng nhưng khi vận hành lưới điện người ta cố gắng tạo ra phụ tải đối xứng (hay gần đối xứng) như thế sẽ có lợi nhất cho máy phát và cho lưới điện.

Để thực hiện lưới đo công suất tổng trong mạch 3 pha, ta xét trường hợp chung là mạch 3 pha 3 dây. Ví dụ: tải hình sao không có dây trung tính (H. 10.9a), phụ tải bất kỳ (đối xứng hay không đối xứng):

Các điện áp u_{AB} , u_{BC} , u_{AC} là các giá trị tức thời của điện áp dây; u_{AN} , u_{BN} , u_{CN} là các giá trị tức thời của điện áp pha; i_A , i_B , i_C là các giá trị tức thời của dòng điện pha.

Ta có thể viết các phương trình sau đây :

$$i_A + i_B + i_C = 0; \quad P_{\Sigma} = u_{AN}i_A + u_{BN}i_B + u_{CN}i_C$$

suy ra:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= u_{AN}i_A + u_{BN}i_B - u_{CN}i_A - u_{CN}i_B \\ &= i_A(u_{AN} - u_{CN}) + i_B(u_{BN} + u_{CN}) \\ &= i_A \cdot u_{AC} + i_B \cdot u_{BC}. \end{aligned}$$

Dựa vào kết quả này công suất của mạch 3 pha có thể viết theo một trong 3 công thức sau đây :

$$P_{\Sigma} = u_{AC}i_A + u_{BC}i_B; \quad P_{\Sigma} = u_{AB}i_A + u_{CB}i_C; \quad P_{\Sigma} = u_{BA}i_B + u_{CA}i_C.$$

Như vậy trong mạch 3 pha sử dụng điện áp dây và dòng điện pha ta có thể chỉ sử dụng hai watmeter là đủ.

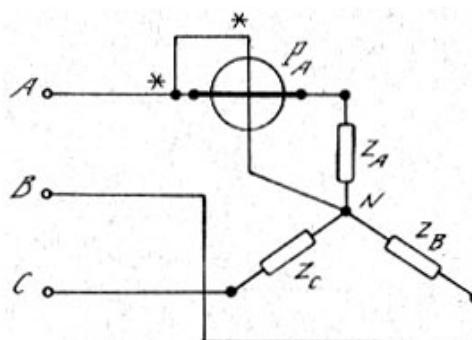
Chứng minh trên đây phù hợp với tải bất kỳ và mạch chỉ có 3 dây (tải hình sao hay hình tam giác không có dây trung tính). Từ đó ta có thể rút ra các phương pháp đo công suất sau đây:

- Đo công suất bằng một watmeter
- Đo công suất bằng hai watmeter
- Đo công suất bằng ba watmeter

10.5.2. Đo công suất bằng một watmeter:

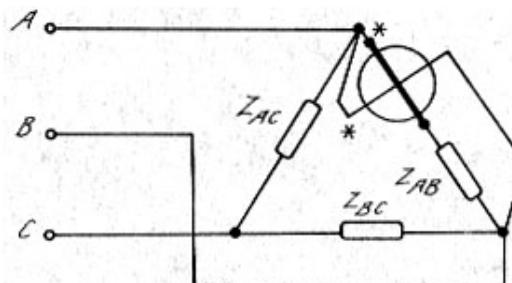
- Nếu như mạch 3 pha có phụ tải *hình sao đối xứng*: chỉ cần đo công suất ở một pha của phụ tải sau đó nhân 3 ta nhận được công suất tổng (H.10.10):

$$P_{\Sigma} = 3.P$$



Hình 10.10. Đo công suất trong mạch 3 pha có phụ tải *hình sao đối xứng*

- Nếu mạch 3 pha có phụ tải là *tam giác đối xứng*: chỉ cần đo công suất ở một nhánh của phụ tải sau đó nhân 3 sẽ nhận được công suất tổng (H.10.11):



Hình 10.11. Đo công suất trong mạch 3 pha có phụ tải là *tam giác đối xứng*

- Trong trường hợp phụ tải nối theo *hình tam giác đối xứng* mà ta muốn đo ở ngoài nhánh phụ tải thì phải tạo ra một điểm trung tính giả bằng cách nối với hai pha khác hai điện trở bằng điện trở của cuộn áp r_u của watmeter. Sau đó tiến hành đo công suất trên một pha, kết quả công suất tổng bằng 3 lần công suất trên pha đó (H.10.12a).

Ở hình 10.12b là biểu đồ vectơ của các dòng và áp của mạch 3 pha phụ tải hình tam giác. Từ biểu đồ vectơ này ta có:

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

Công suất chỉ của watmet là :

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

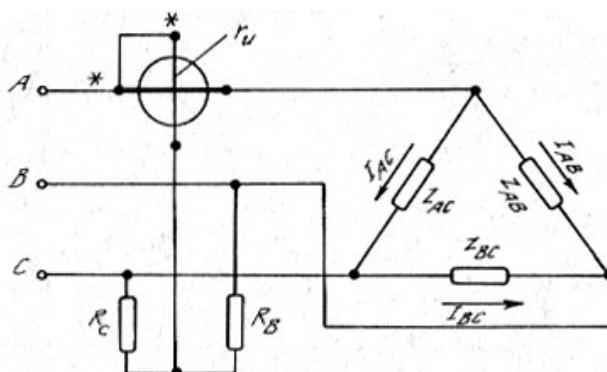
với các điện áp và dòng điện pha: $U_{AN} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}}$; $I_A = I_{AB}\cdot\sqrt{3}$

suy ra:

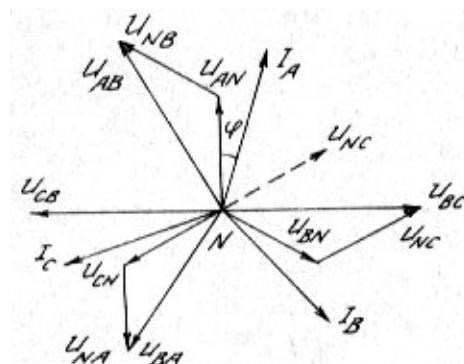
$$P_A = \left(\frac{U_{AB}}{\sqrt{3}}\right) \cdot I_{AB} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos\varphi$$

vậy công suất tổng của cả mạch sẽ là :

$$P_{\Sigma} = 3P_A = 3 \cdot U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos\varphi$$



a)



b)

Hình 10.12. Đo công suất trong mạch 3 pha có phụ tải là tam giác đối xứng bằng cách đo ở ngoài nhánh phụ tải:

- a) Cách mắc watmét vào mạch
- b) Biểu đồ vectơ của các dòng và áp

Nghĩa là với điểm trung tính giả kết quả đo cũng giống như khi đo ở từng nhánh một.

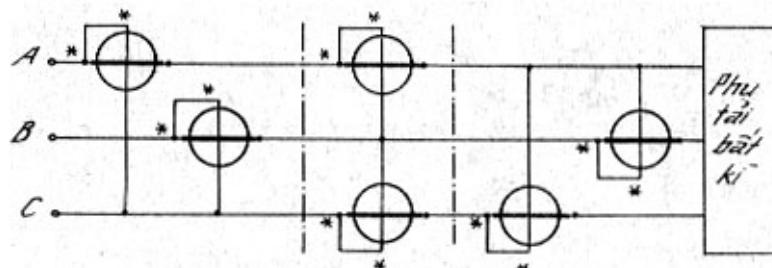
Đối với cách mắc hình sao cũng có thể thực hiện cách này để đo công suất tổng.

10.5.3. Đo công suất bằng hai watmet:

Dựa trên các công thức:

$$P_{\Sigma} = u_{AC}i_A + u_{BC}i_B; \quad P_{\Sigma} = u_{AB}i_A + u_{CB}i_C; \quad P_{\Sigma} = u_{BA}i_B + u_{CA}i_C.$$

suy ra có thể đo công suất mạch 3 pha bằng 2 watmet.



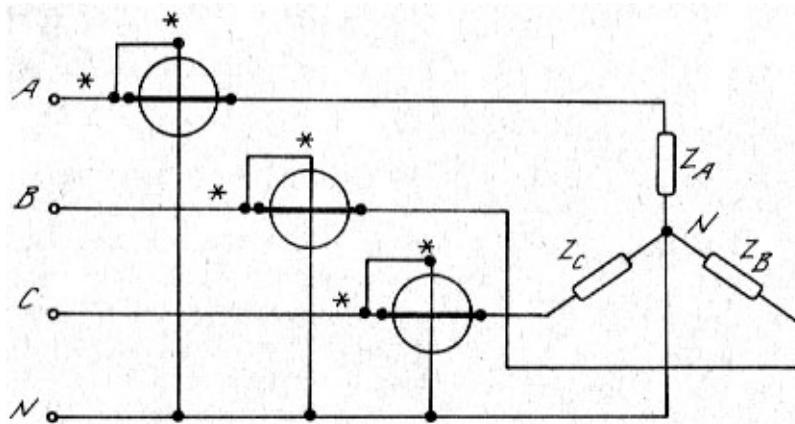
Hình 10.13. Đo công suất trong mạch 3 pha bất kỳ bằng 2 watmét

Không phụ thuộc vào phụ tải (đối xứng hay không đối xứng, tam giác hay hình sao không có dây trung tính) đều có thể đo công suất tổng bằng hai watmet theo một trong 3 cách măc như hình 10.13: theo cách thứ nhất ta lấy pha C làm pha chung; cách thứ hai là pha B chung; còn cách thứ 3 là pha A chung. Công suất tổng được tính theo công thức trên.

10.5.4. Đo công suất bằng ba watmet:

Trong trường hợp mạch 3 pha có tải hình sao có dây trung tính: nghĩa là mạch 3 pha 4 dây phụ tải không đối xứng. Để đo được công suất tổng ta phải sử dụng 3 watmet, công suất tổng bằng tổng công suất của cả 3 watmet.

Cách măc các watmet như hình 10.14:



Hình 10.14. Đo công suất nache 3 pha bằng 3 watmét

Cuộn áp của watmet được măc vào điện áp pha U_{AN} , U_{BN} , U_{CN} ; còn cuộn dòng là các dòng điện pha I_A , I_B , I_C . Dây trung tính N – N là dây chung cho các pha.

Công suất tổng sẽ là :

$$P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$$

Các phương pháp trên đây chủ yếu dùng trong phòng thí nghiệm. Trong thực tế người ta sử dụng loại watmet có 2 (hoặc 3) phần tử. Tức là trong một dụng cụ đo có 2 (hoặc 3) phần tĩnh, còn phần động chung. Mômen quay tác động lên phần động bằng tổng các mômen thành phần.

10.5. Đo năng lượng trong mạch 3 pha.

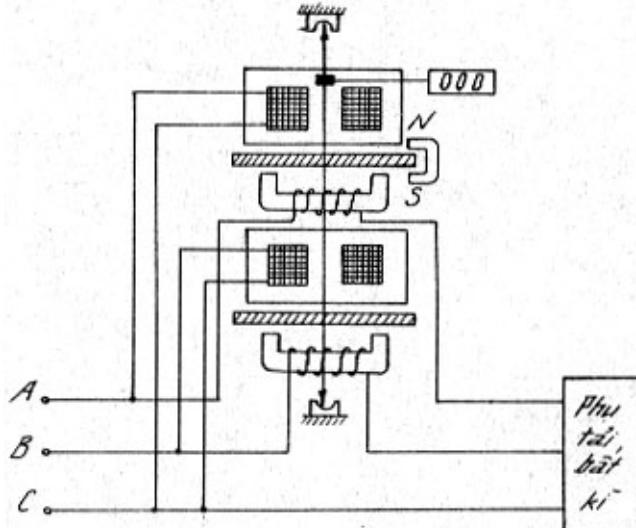
Cũng giống như trường hợp đo công suất, đo năng lượng trong mạch 3 pha ta cũng sử dụng phương pháp 1 công tơ, 2 công tơ, hay 3 công tơ một pha:

- Trường hợp sử dụng phương pháp 1 côngtơ khi mà phụ tải hoàn toàn đối xứng: năng lượng tổng bằng 3 lần năng lượng của một pha.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 2 côngtơ khi phụ tải bất kỳ, và mạch chỉ có 3 dây: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của hai công tơ.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 3 côngtơ khi mạch có 4 dây (nghĩa là tải hình sao có dây trung tính) và đặc tính của phụ tải có thể đối xứng hay không đối xứng: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của ba công tơ.

Tuy nhiên trong thực tế người ta sử dụng công tơ 3 pha. Công tơ 3 pha có hai loại:

- Loại 2 phần tử (dựa trên phương pháp 2 công tơ)
- Loại 3 phần tử (dựa trên phương pháp 3 công tơ)

Dưới đây là sơ đồ cấu tạo của một công tơ 2 phần tử (H.10.15):



Hình 10.15. Sơ đồ cấu tạo của một công tơ 3 pha 2 phần tử

Phần động gồm 2 đĩa nhôm được gắn vào cùng một trục dựa vào trụ có thể quay được. Mỗi đĩa nhôm đều nằm trong từ trường của cuộn áp và cuộn dòng của pha tương ứng (phản tĩnh). Cuộn áp được mắc song song với phụ tải (có một pha chung), cuộn dòng của các pha được mắc nối tiếp với phụ tải.

Nam châm vĩnh cửu được đặt vào một trong hai đĩa nhôm. Như vậy mômen quay tạo ra sẽ bằng tổng của hai mômen quay do hai phần tử sinh ra và năng lượng đo được chính là tổng của mạch 3 pha.

10.6. Đo công suất, năng lượng trong mạch cao áp.

Để đo công suất và năng lượng trong mạch cao áp ta phải sử dụng biến áp và biến dòng đo lường. Khi mắc dụng cụ đo trong hệ thống điện có điện áp cao và dòng lớn qua biến áp T_u và biến dòng T_I đo lường cần lưu ý các điểm sau đây:

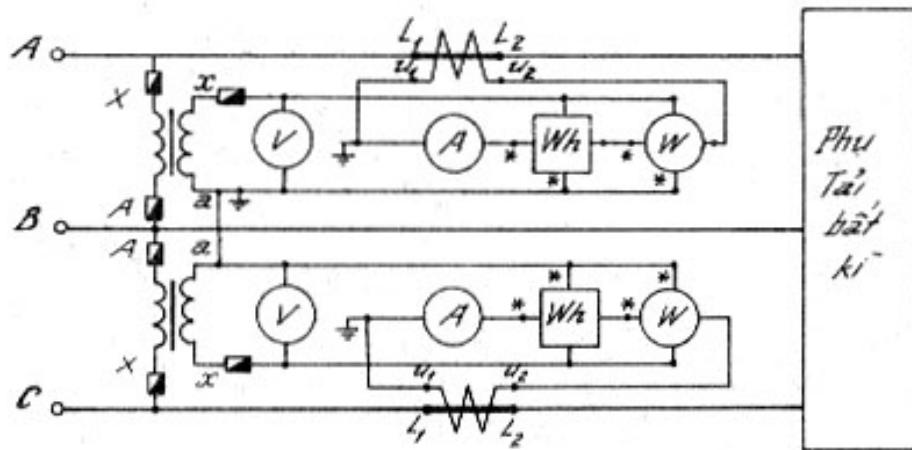
- Dòng trong mạch của dụng cụ đo có cùng hướng với dòng khi không có biến áp.
- Để mắc đúng cần phải đánh dấu các đầu của biến áp và biến dòng:
 - d_1, d_2 - cuộn sơ cấp của biến dòng T_I
 - D_1, D_2 - cuộn thứ cấp của biến dòng T_I
 - $A - X$ - cuộn sơ cấp của biến áp T_u
 - $a - x$ - cuộn thứ cấp của biến áp T_u

Ví dụ: cách mắc dụng cụ đo trong mạch 3 pha cao áp như hình 10.16:

- Cực nguồn của các dụng cụ đo được nối với D_1 và a .
- Mạch thứ cấp của biến dòng phải không được hở mạch còn thứ cấp của biến áp

phải không được ngắn mạch.

- Để đảm bảo an toàn cho người vận hành và cho thiết bị bao giờ cũng phải nối đất đầu a và D₁ của mạch thứ cấp của biến áp và biến dòng để đề phòng khi xuất hiện điện áp cao.



Hình 10.16. Đo công suất và năng lượng trong mạch 3 pha cao áp

Thông thường kết quả đo phụ thuộc vào sai số của dụng cụ đo và của biến áp và biến dòng đo lường mà chủ yếu là sai số góc.

Kết quả đo công suất tổng bằng tổng công suất (và năng lượng) của từng dụng cụ đo nhân với hệ số biến áp và biến dòng.

10.7. Đo công suất phản kháng.

Công suất phản kháng là loại công suất không gây ra công, không truyền năng lượng qua một đơn vị thời gian. Tuy nhiên việc đo nó có một ý nghĩa lớn trong kinh tế. Vì có công suất phản kháng mà dẫn đến việc mất mát năng lượng điện trong dây truyền tải điện, trong các biến áp và các máy phát. Công suất phản kháng được tính theo công thức sau:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \phi$$

10.7.1. Đo công suất phản kháng trong mạch một pha:

Có thể sử dụng các watmeter điện động và sắt điện động để đo công suất phản kháng.

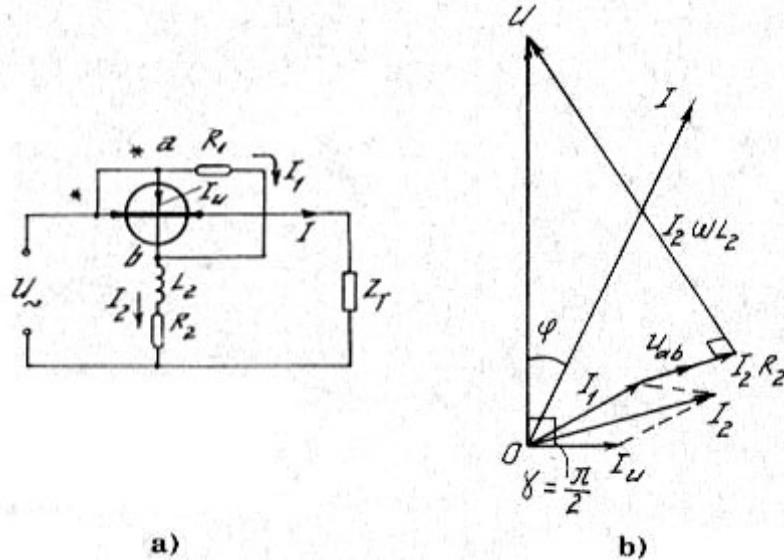
Khác với công suất tác dụng, công suất phản kháng tỉ lệ với $\sin \phi$. Muốn tạo được $\sin \phi$ ta phải làm sao tạo được góc lệch $\gamma = \pi / 2$ giữa vectơ dòng và áp của cuộn áp trong watmeter. Cụ thể: cuộn áp của watmeter được mắc song song một điện trở R_1 (ở 2 điểm a, b) và mắc nối tiếp cuộn với cuộn cảm L_2 và điện trở R_2 . Với cách đó tạo ra sự lệch pha giữa điện áp U và dòng I_u trong cuộn động của watmeter là $\gamma = \pi / 2$ bằng cách lựa chọn các thông số của mạch thích hợp (H.10.17):

Khi đó góc lệch α của watmeter sẽ là :

$$\alpha = k \cdot I_u \cdot I \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = k \cdot \frac{U}{Z_T} \cdot I \cdot \sin \varphi = S \cdot Q$$

với $S = k / Z_T$ là độ nhạy của watmet khi đo công suất phản kháng Q.

Như vậy trong mạch một pha muốn đo công suất phản kháng bằng watmet thường ta phải mắc thêm một số phần tử điện cảm và điện trở mới thực hiện được.



Hình 10.17. Sử dụng watmét để đo công suất phản kháng:

- a) Cách mắc watmét vào mạch
- b) Biểu đồ vectơ

10.7.2. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha:

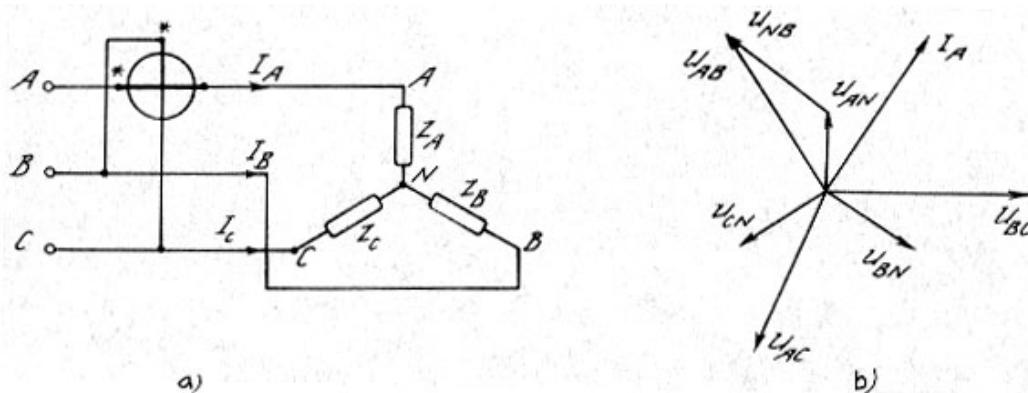
Công suất phản kháng của mạch 3 pha có thể coi là tổng các công suất phản kháng của từng pha.

$$Q_{\Sigma} = U_{A\Phi} I_{A\Phi} \sin \varphi_A + U_{B\Phi} I_{B\Phi} \sin \varphi_B + U_{C\Phi} I_{C\Phi} \sin \varphi_C$$

- Khi tải đối xứng:

$$Q_{\Sigma} = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} U_d \cdot I_d \cdot \sin \varphi$$

Sử dụng một watmét để đo được công suất phản kháng của mạch 3 pha tải đối xứng: thường được mắc theo mạch hình 10.18a. Nếu cuộn dòng của watmet mắc vào pha A thì cuộn áp sẽ được mắc vào 2 pha B và C còn lại:



Hình 10.18. Sử dụng watmét để đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha:

a) Cách mắc b) Biểu đồ vectơ

Theo sơ đồ vectơ góc (I_A, U_{BC}) = $90^\circ - \varphi$ (H.10.18b) nên trong trường hợp này công suất đo được sẽ là:

$$P_A = U_{BC}I_A \cdot \cos(I_A, U_{BC}) = U_dI_d \cos(90^\circ - \varphi) = U_dI_d \sin\varphi = Q_A$$

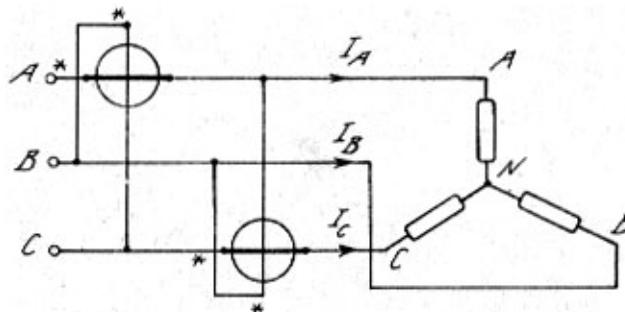
Để xác định công suất phản kháng trong toàn mạch 3 pha ta nhân kết quả trên với $\sqrt{3}$, tức là:

$$Q_\Sigma = \sqrt{3}Q_A = \sqrt{3}U_dI_d \sin\varphi$$

Như vậy trong mạch đối xứng chỉ cần một watmet là có thể đo được công suất phản kháng trong toàn mạch 3 pha.

Nhược điểm của mạch này là chỉ cần một sự không đối xứng nhỏ thôi thì cũng mắc phải sai số lớn, cho nên trong thực tế ít sử dụng phương pháp này.

Sử dụng phương pháp 2 watmét: ta có thể mắc mạch như hình 10.19 (cuộn áp không chung pha với cuộn dòng):



Hình 10.19. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha bằng 2 watmét

Tổng công suất của 2 watmet là:

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

Phân tích hoạt động của mạch có phụ tải không đối xứng khá phức tạp, vì vậy ở đây giới hạn trong khuôn khổ một trường hợp riêng: giả thiết rằng các góc lệch pha như nhau, tức là :

$$\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ - \varphi$$

từ đó suy ra :

$$P_1 + P_2 = 2.U_d I_d \cdot \sin\varphi$$

Để nhận được giá trị thực của công suất phản kháng trong toàn mạch ta chỉ cần nhân kết quả này với hệ số $\sqrt{3}/2$.

Thực vậy:

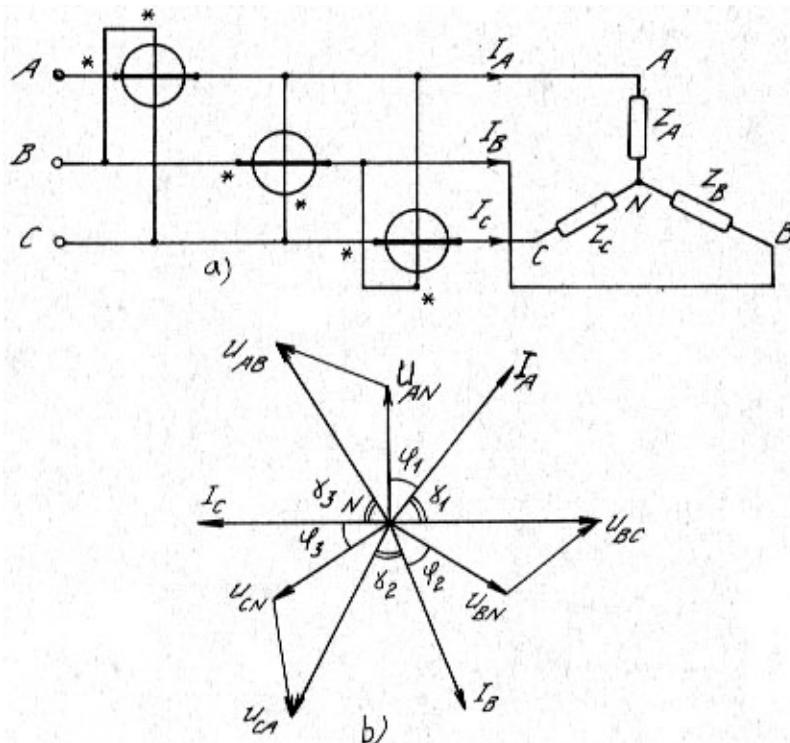
$$Q_{\Sigma} = (P_1 + P_2) \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} U_d I_d \cdot \sin\varphi$$

Tương tự khi phụ tải của mạch nối theo hình tam giác ta cũng có kết quả như vậy.

- **Khi tải không đối xứng:** đối với mạch 3 pha phụ tải không đối xứng 3 dây hay 4 dây ta có thể sử dụng phương pháp 3 watmeter. Cách mắc các watmét như ở hình 10.20.

Kết quả tổng công suất của 3 watmet được tính như sau:

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



Hình 10.20. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha
phụ tải không đối xứng 3 dây

Theo sơ đồ véc-tơ (H.10.20b) ta có:

$$\gamma_1 = 90^\circ - \varphi_1; \quad \gamma_2 = 90^\circ - \varphi_2; \quad \gamma_3 = 90^\circ - \varphi_3$$

Nếu $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_d$ thì:

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

Công suất phản kháng tổng sẽ là:

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

Tương tự như đo công suất ta có thể chế tạo các côngtơ đo năng lượng phản kháng cho mạch 3 pha 3 dây và 4 dây từ côngtơ đo năng lượng tác dụng 3 phần tử.

CHƯƠNG 12.

ĐO TẦN SỐ (2 LT)

12.1. Khái niệm chung.

- **Tần số (f: frequency):** được xác định bởi số các *chu kỳ lặp lại* của sự thay đổi tín hiệu trong một đơn vị thời gian. Tần số là một trong các thông số quan trọng nhất của quá trình dao động có chu kỳ.

- **Chu kỳ (Time period, Time cycle):** là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó (tức là thoả mãn phương trình $u(t) = u(t + T)$).

Quan hệ giữa tần số và chu kỳ của tín hiệu dao động là:

$$f[\text{Hz}] = \frac{1}{T[\text{s}]}$$

- **Tần số góc tức thời (ω):** được xác định như là vi phân theo thời gian của góc pha của tín hiệu, tức là:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} [\text{grad}]$$

Quan hệ giữa tần số góc tức thời và tần số là:

$$\omega(t) = 2\pi \cdot f(t) \Leftrightarrow f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t)$$

với $f(t)$ là tần số tức thời.

Đối với tín hiệu dao động điều hòa (tín hiệu hình sin) vì có góc pha biến đổi theo thời gian theo quy luật tuyến tính nên tần số góc tức thời là một hằng số:

$$\omega(t) = d\varphi / dt = \omega_0 = \text{const}$$

\Rightarrow tần số f là một đại lượng không đổi:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t) = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

Khoảng tần số được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như: vô tuyến điện tử, tự động hoá, vật lý thí nghiệm, thông tin liên lạc...với dải tần từ một phần Hz đến hàng nghìn GHz.

- **Tần số kế:** là dụng cụ để đo tần số. Ngoài ra còn có thể đo tỉ số giữa hai tần số, tổng của hai tần số, khoảng thời gian, độ dài các xung...

- **Các phương pháp đo tần số:** việc lựa chọn phương pháp đo tần số được xác định theo khoảng đo, theo độ chính xác yêu cầu, theo dạng đường cong và công suất nguồn tín hiệu có tần số cần đo và một số yếu tố khác.

Để đo tần số của tín hiệu điện có hai phương pháp: phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp so sánh:

a) **Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng:** được tiến hành bằng các loại tần số kế cộng hưởng, tần số kế cơ điện, tần số kế tụ điện, tần số kế chỉ thị số:

- **Các tần số kế cơ điện tương tự** (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động): được sử dụng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz ÷ 2,5kHz trong các mạch nguồn với cấp chính xác không cao (cấp chính xác 0,2; 0,5; 1,5; 2,5).

Các loại tần số kế này nói chung hạn chế sử dụng vì tiêu thụ công suất khá lớn và bị rung.

- *Các tần số kế điện dung tương tự:* để đo tần số trong dải tần từ $10\text{Hz} \div 500\text{kHz}$, được sử dụng khi hiệu chỉnh, lắp ráp các thiết bị ghi âm và radio v.v...
- *Tần số kế chỉ thị số:* được sử dụng để đo chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ $10\text{Hz} \div 50\text{GHz}$. Còn sử dụng để đo tỉ số các tần số, chu kỳ, độ dài các xung, khoảng thời gian.

b) Đo tần số bằng phương pháp so sánh: được thực hiện nhờ ôxilôscôp, cầu xoay chiều phụ thuộc tần số, tần số kế đổi tần, tần số kế cộng hưởng...:

- *Sử dụng ôxilôscôp:* được thực hiện bằng cách đọc trực tiếp trên màn hình hoặc so sánh tần số cần đo với tần số của một máy phát chuẩn ổn định (dựa trên đường cong Litsazua). Phương pháp này dùng để đo tần số các tín hiệu xoay chiều hoặc tín hiệu xung trong dải tần từ 10Hz đến 20MHz .
- *Tần số kế trộn tần:* sử dụng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng từ $100\text{kHz} \div 20\text{GHz}$ trong kỹ thuật vô tuyến điện tử.
- *Cầu xoay chiều phụ thuộc tần số:* để đo tần số trong khoảng từ $20\text{Hz} \div 20\text{kHz}$.
- *Tần số kế cộng hưởng:* để đo tần số xoay chiều tần số tín hiệu điều chế biên độ, điều chế xung trong khoảng từ $50\text{kHz} \div 10\text{GHz}$; thường sử dụng khi lắp thiết bị thu phát vô tuyến.

Trong những năm gần đây tần số kế chỉ thị số được sử dụng rộng rãi và còn cài đặt thêm μP để điều khiển và sử dụng kết quả đo nữa...

Dưới đây sẽ tiến hành xét một số phương pháp và dụng cụ đo tần số phổ biến nhất, bao gồm:

- Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng
- Tần số kế điện tử
- Cầu đo tần số
- Tần số kế chỉ thị số

12.2. Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng.

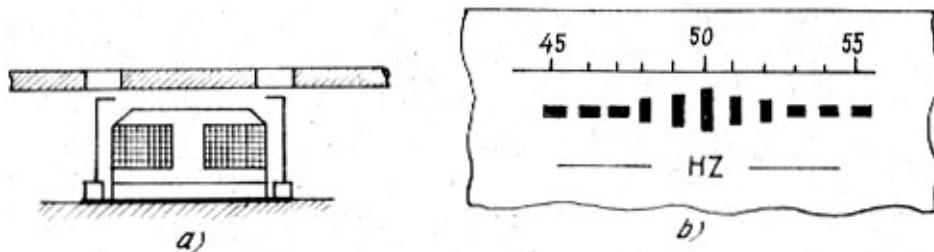
12.2.1. Tần số kế cộng hưởng điện tử:

Là dụng cụ đo theo phương pháp biến đổi thẳng. Thường được sử dụng để đo tần số của lưới điện công nghiệp.

Cấu tạo của tần số kế cộng hưởng điện tử như hình 12.1, bao gồm 2 phần chính: một nam châm điện và các thanh thép. Các thanh thép được gắn chặt một đầu, còn đầu kia dao động tự do, mỗi thanh có tần số riêng bằng hai lần tần số của nguồn điện cần đo và tần số riêng của mỗi thanh khác nhau.

Nguyên lý hoạt động của tần số kế điện tử: dưới tác dụng của từ trường nam châm điện trong một chu kỳ của tín hiệu cần đo các thanh kim loại sẽ được hút vào nam châm hai lần và do đó dao động. Thanh nào có biên độ dao động lớn nhất thì thanh đó có tần số riêng bằng hai lần tần số cần đo. Trên mặt dụng cụ đo (H .12.1b) ta thấy biên độ dao động của thanh kim loại lớn nhất ứng với tần số đã

khắc độ trên mặt số.



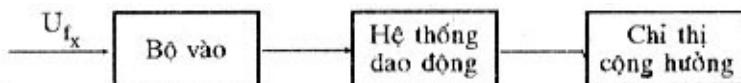
Hình 12.1. Tần số kế công hưởng điện tử:
a) Cấu tạo ; b) Mặt chỉ thị

Ưu điểm: cấu tạo đơn giản, bền.

Nhược điểm: giới hạn đo hẹp ($45 \div 55\text{Hz}$) hoặc ($450 \div 550\text{Hz}$); sai số của phép đo thường là $\pm (1,5 \div 2,5)\%$; không sử dụng được ở nơi có độ rung lớn và thiết bị di chuyển.

12.2.2. Tần số kế công hưởng điện:

Là dụng cụ đo theo phương pháp so sánh. Tần số kế sử dụng hiện tượng cộng hưởng điện là một hệ thống dao động được điều chỉnh cộng hưởng với tần số cần đo của nguồn tín hiệu. Sơ đồ khái nguyên lý như hình 12.2:



Hình 12.2. Sơ đồ khái nguyên lý của tần số kế công hưởng điện

Trạng thái dao động được phát hiện theo số chỉ cao nhất của bộ chỉ thị cộng hưởng tỉ lệ với dòng áp (hay áp) trong hệ thống dao động. Tần số cần đo được khắc độ ngay trên num vặn của thiết bị dò tìm dao động hoặc sử dụng bảng số hay đồ thị. Bộ vào để hoà hợp giữa tần số kế và nguồn tín hiệu cần đo.

Ví dụ: tần số có chứa hệ thống dao động sử dụng tụ xoay để tìm dao động có thể đo tần số đến 200MHz .

Phương pháp cộng hưởng đơn giản, tiện lợi; cấp chính xác có thể đạt tới $0,1\%$.

12.3. Tần số kế điện tử.

12.3.1. Tần số kế điện dung dùng đổi nối điện tử:

Là dụng cụ đo theo phương pháp biến đổi thẳng.

Nguyên lý hoạt động: dựa trên việc thực hiện việc đo giá trị trung bình của dòng phóng I của tụ điện khi tụ điện này phóng nạp có chu kỳ cùng nhìp với tần số cần đo f_x . Sơ đồ nguyên lý như hình 12.3.

Khi khóa K ở vị trí (1) thì tụ điện C được nạp từ nguồn E qua R_1 đến điện áp U_1 (thường điện trở R_1 và tụ C được chọn sao cho hằng số thời gian nạp R_1C đảm bảo cho tụ C nạp đầy). Sau đó khi khóa K ở vị trí (2) thì tụ C sẽ phóng qua R_2 , qua cơ cấu chỉ thị từ điện đến điện áp U_2 .

Khi nạp điện, điện tích nạp của tụ C là: $q_n = C.U_1$

sau khi phóng, điện tích còn lại trên tụ C là: $q_{cl} = C.U_2$

suy ra lượng điện tích phóng qua cơ cấu chỉ thị trong một chu kỳ của khóa K là:

$$q = C.(U_1 - U_2)$$

Tức là trong một chu kỳ điện tích qua cơ cấu chỉ thị là q , như vậy nếu công tắc K đổi nối f_X lần trong một giây (tương ứng với f_X chu kỳ của khóa K) thì giá trị trung bình của dòng phóng I của tụ qua cơ cấu chỉ thị (được tính bằng lượng điện tích đi qua cơ cấu chỉ thị trong một giây) là:

$$I = q.f_X = C.(U_1 - U_2).f_X$$

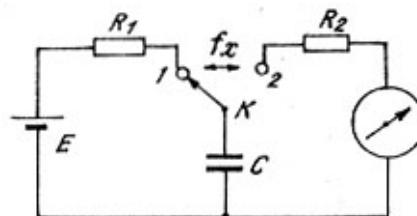
suy ra:

$$f_X = \frac{I}{C.(U_1 - U_2)}$$

tức là tần số cần đo f_X tỉ lệ thuận với dòng chạy qua dụng cụ đo I, như vậy đo I có thể suy ra f_X .

Nếu tụ C và U_1 , U_2 là các đại lượng không đổi thì bảng khắc độ của cơ cấu chỉ thị từ điện có thể khắc trực tiếp theo đơn vị tần số.

Theo nguyên tắc này tần số kế điện dung được thực hiện nhờ bộ đổi nối điện tử (đổi nối K) với tần số đổi nối là f_X của điện áp điều khiển nó.



Hình 12.3. Sơ đồ nguyên lý của tần số kế điện dung dùng đổi nối điện tử

Đặc tính tuyến tính giữa I và f_X chỉ có thể đảm bảo được nếu điều kiện:

$$q = C.(U_1 - U_2) = const$$

vì vậy trong mạch của tần số kế bô trí hạn chế sao cho điện áp U_1 khi tụ nạp và U_2 khi tụ phóng đều nằm trong khoảng ứng với dải tần số cần đo.

Để mở rộng thang đo tần số thì phải đảm bảo hằng số thời gian nạp và phóng của tụ điện sẽ nhỏ hơn nửa chu kỳ của tần số cao nhất. Điều này đạt được bằng cách thay đổi điện dung của tụ điện (ví dụ: sử dụng một bộ tụ điện), còn điện trở của mạch nạp R_1 và phóng R_2 luôn không đổi.

Giới hạn trên của tần số cần đo: (ứng với giá trị nhỏ nhất của tụ C) được xác định bởi độ nhạy của cơ cấu chỉ thị và tần số đóng cắt giới hạn của bộ đổi nối K, với đổi nối sử dụng role cơ khí thường đạt được tần số tối hạn 1kHz, muốn đạt tần số cao hơn phải sử dụng các bộ đổi nối là role điện tử.

Giới hạn dưới của tần số đo: được xác định bởi tần số mà ở đó xuất hiện dao động cơ khí của kim của cơ cấu chỉ thị (khoảng 10Hz).

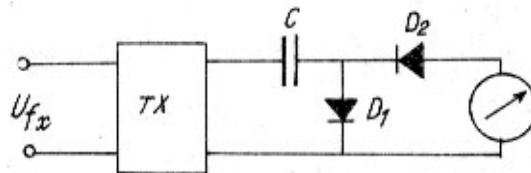
Sai số của dụng cụ đo loại này thường do: sai số của cơ cấu chỉ thị, do nguồn cấp E không ổn định, do tụ C không ổn định và được khắc độ không đúng...

Ví dụ: *tần số kế điện dung loại v3-7 được sử dụng để đo tần số tín hiệu hình sin từ 10Hz ÷ 500kHz với sai số cơ bản là ± 2%, điện áp vào 0,5V ± 500V, điện trở vào hơn 500kΩ, điện dung ở đầu vào không quá 15pF.*

12.3.2. Tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu:

Là dụng cụ đo theo phương pháp biến đổi thẳng.

Nguyên lý hoạt động: nhờ mạch tạo xung mà điện áp có tần số cần đo f_x được biến thành xung vuông, trong khoảng thời gian có xung tụ C được nạp qua diode D₁, trong khoảng thời gian không có xung tụ phỏng qua D₂ và cơ cấu chỉ thị từ điện. Sơ đồ nguyên lý như hình 12.4:



Hình 12.4. Sơ đồ nguyên lý của tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu

Góc lệch α của cơ cấu chỉ thị sẽ tỉ lệ với dòng điện trung bình:

$$\alpha = S_I \cdot I = S_I \cdot q \cdot f_x = S_I \cdot (C \cdot U_m) \cdot f_x$$

Mặt khác dòng trung bình I lại tỉ lệ thuận với tần số cần đo f_x do vậy góc lệch α tỉ lệ thuận với tần số cần đo f_x với điều kiện độ nhạy của cơ cấu chỉ thị S_I , tụ C và biên độ xung U_m không đổi.

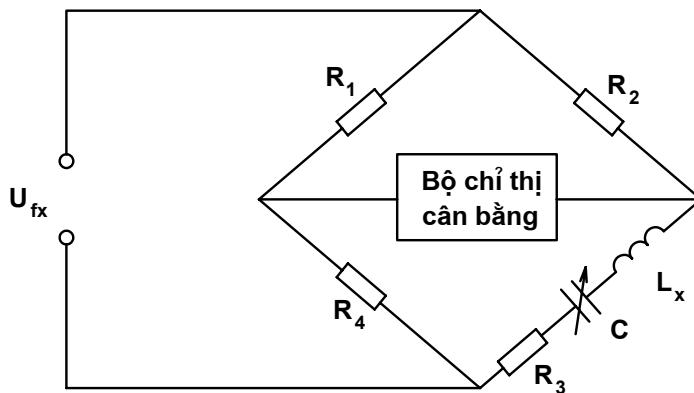
Ưu điểm: tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu có ưu điểm là có khả năng đo trực tiếp ở dải tần số rộng.

Ví dụ : Tần số kế $\Phi 433/3$ cấp chính xác 1,5; khoảng đo từ 0,1Hz ÷ 1000kHz.

12.4. Cầu đo tần số.

Để đo tần số, có thể dùng các cầu đo mà điều kiện cân bằng của cầu phụ thuộc vào tần số của nguồn dòng điện cung cấp.

Ví dụ hình 12.5 là sơ đồ một mạch cầu đơn giản có một nhánh là mạch cộng hưởng:



Hình 12.5. Mạch cầu đơn giản đo tần số

Điều kiện cân bằng của cầu này là:

$$R_1 \cdot Z_3 = R_2 \cdot R_4$$

với:

$$Z_3 = R_3 + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

như vậy nếu điều chỉnh các thông số của nhánh sao cho nhánh Z_3 cộng hưởng ở tần số f_x cần đo thì ta có:

$$\omega_x L = \frac{1}{\omega_x C} \Rightarrow Z_3 = R_3$$

và điều kiện cân bằng của cầu trở thành:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Như vậy phép đo tần số f_x ở đây chính là việc thực hiện điều chỉnh các thông số của nhánh RLC sao cho nhánh này cộng hưởng tại tần số cần đo f_x để đạt điều kiện cân bằng của cầu. Với mạch cụ thể trên thì nhánh 3 được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh giá trị của tụ điện C, từ giá trị của C khi cầu đạt cân bằng có thể suy ra giá trị của tần số cần đo f_x :

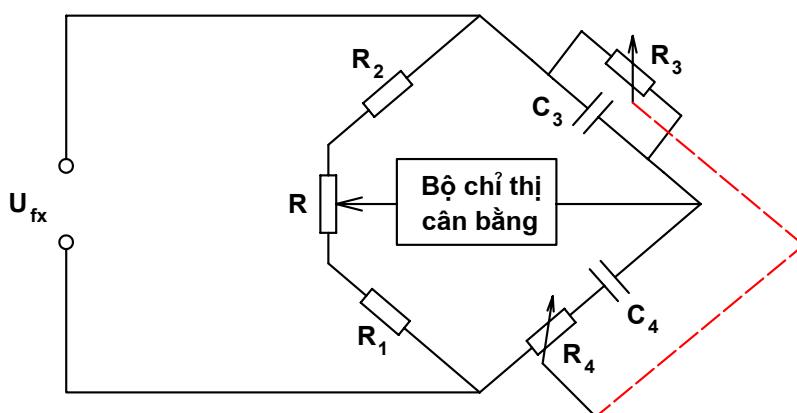
$$\text{Cầu cân bằng tại } f_x \Rightarrow Z_3 = R_3 \Rightarrow \omega_x L = \frac{1}{\omega_x C} \Rightarrow \omega_x = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_x = \frac{\omega_x}{2\pi}$$

như vậy thang độ điều chỉnh của tụ điện C có thể trực tiếp khắc độ theo đơn vị tần số và đóng vai trò là chỉ thị tần số đo được.

Để mở rộng giới hạn thang đo có thể thực hiện bằng cách thay đổi giá trị cuộn cảm L. Bộ chỉ thị cân bằng có thể là vônmet chỉnh lưu, vônmet điện tử.

Nhược điểm chủ yếu của mạch này là khó chế tạo cuộn cảm ở tần số thấp, khó thực hiện chỉ thị không do có tác động của điện từ trường lên cuộn điện cảm.

Loại mạch cầu phổ biến hơn để đo tần số là mạch có sơ đồ như hình 12.6:



Hình 12.6. Mạch cầu đo tần số

Điều kiện cân bằng của cầu này là (ở đây bỏ qua điện trở của biến trở R):

$$\frac{R_1 \cdot R_3}{1 + j\omega_x C_3 \cdot R_3} = R_2 \cdot \left(R_4 + \frac{1}{j\omega_x \cdot C_4} \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} + \frac{C_3}{C_4} \\ \frac{1}{\omega_x C_4} = \omega_x C_3 R_3 R_4 \end{cases}$$

⇒ giá trị tần số cần đo là:

$$\omega_x = \frac{1}{\sqrt{R_3 R_4 C_3 C_4}} \Rightarrow f_x = \frac{\omega_x}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_3 R_4 C_3 C_4}}$$

Nếu chọn các điện trở và tụ điện sao cho:

$$R_3 = R_4 = R \quad \text{và} \quad C_3 = C_4 = C$$

thì kết quả tần số đo được sẽ là:

$$f_x = \frac{1}{2\pi R C}$$

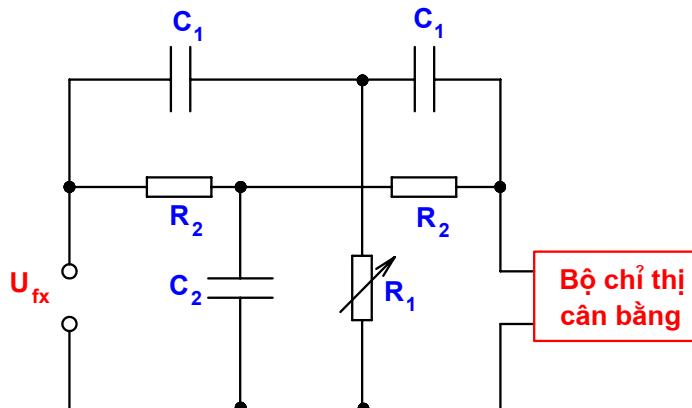
Ngoài ra còn có thể dùng loại cầu chũ “T kép” như hình 12.7. Điều kiện cân

bằng của cầu là:

$$\begin{cases} \omega_x^2 \cdot R_2^2 \cdot C_1 \cdot C_2 = 2 \\ 2 \cdot \omega_x^2 \cdot C_1^2 \cdot R_1 \cdot R_2 = 1 \end{cases}$$

Khi $R_2 = 2 \cdot R_1$; $C_2 = 2 \cdot C_1$ thì ta có:

$$\omega_x = \frac{1}{2} \cdot R_1 C_1 \Rightarrow f_x = \frac{1}{4\pi} R_1 C_1$$



Hình 12.7. Cầu chì "T kép" đo tần số

Như vậy thay vì điều chỉnh giá trị của tụ điện ta có thể điều chỉnh giá trị của điện trở R_1 để cầu đạt cân bằng, thang chia độ điều chỉnh của R_1 có thể trực tiếp khắc độ theo tần số.

Phương pháp cầu dùng để đo tần số từ vài chục Hz tới vài trăm kHz; sai số đo khoảng (0,5-1%).

12.5. Tần số kế chỉ thị số.

Nguyên lý của một tần số kế chỉ thị số là đếm số xung N tương ứng với số chu kỳ của tần số cần đo f_x trong khoảng thời gian gọi là *thời gian đo* $T_{\text{đo}}$.

Trong khoảng $T_{\text{đo}}$ ta đếm được N xung tỉ lệ với tần số cần đo f_x . Ở hình 12.8a là sơ đồ khối của một tần số kế chỉ thị số.

- **Quá trình hoạt động của tần số kế chỉ thị số như sau:** nguồn tín hiệu có tần số cần đo được đưa đến đầu vào của "Bộ vào". "Bộ vào" bao gồm một bộ khuếch đại dải rộng với tần số từ 10Hz ÷ 3,5MHz và một bộ suy giảm tín hiệu; mục đích là để hòa hợp tần số kế với nguồn tín hiệu có tần số cần đo, đồng thời để khuếch đại hay hạn chế điện áp vào đến giá trị đủ để kích thích tạo xung làm việc. Tiếp theo là bộ tạo xung - "Bộ TX" có chức năng biến tín hiệu hình sin hoặc tín hiệu xung có chu kỳ thành một dãy xung DX có biên độ không đổi (không phụ thuộc vào biên độ của tín hiệu vào) nhưng có tần số bằng tần số của tín hiệu vào (H.12.8b).

Đồng thời với quá trình trên, máy phát tần số chuẩn - "MF TC chuẩn f_0 " phát tần số chuẩn được ổn định bằng thạch anh có tần số là $f_0 = 1\text{MHz}$. Tín hiệu có tần số f_0 này được đưa qua "Bộ chia tần số" theo các mức với hệ số là 10^n , tần số chuẩn $f_0 = 1\text{MHz}$ sẽ được chia đến $0,01\text{Hz}$. Nghĩa là ở đầu ra của mạch điều khiển theo 10^n ($n = 1, 2, \dots, 8$) tương ứng có thể nhận được khoảng thời gian $T_{\text{đo}} = 1/f_0 = 10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}; 1; 10; 100\text{s}$.

Trong thời gian T_{do} mạch điều khiển “ĐK” cho mở khoá K (khoá có hai đầu vào) để cho phép dãy xung DX (có tần số tỉ lệ với f_x) đi vào bộ đếm và sau đó ra cơ cấu chỉ thị, số xung đếm được trong thời gian T_{do} này là N.

Như vậy suy ra chu kỳ của dãy xung là:

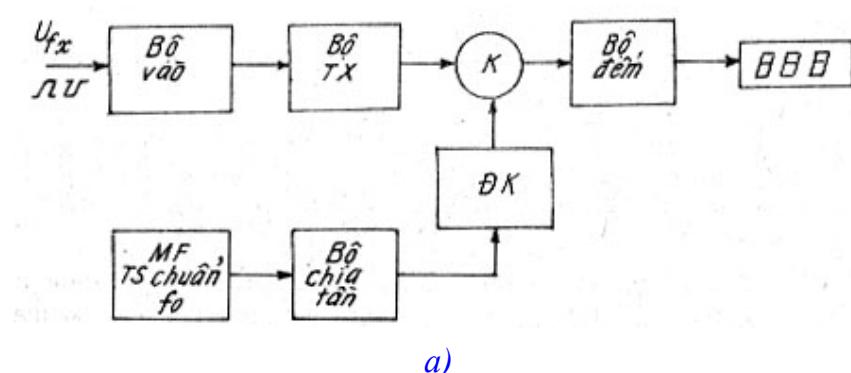
$$T_x = \frac{T_{do}}{N} = \frac{k \cdot T_o}{N} = \frac{k}{N \cdot f_0} \text{ với } k = 10^n$$

suy ra tần số của dãy xung là:

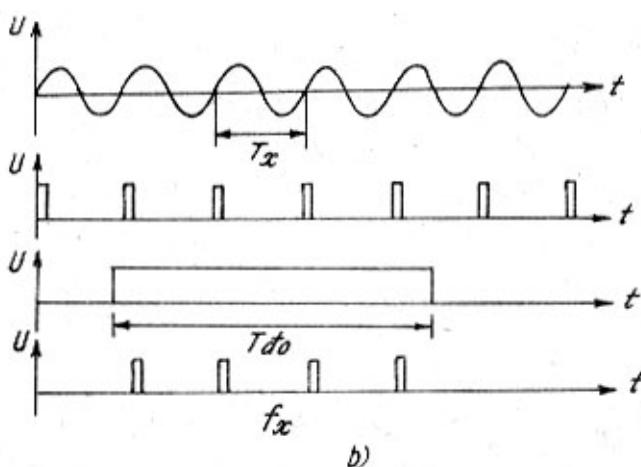
$$f_x = \frac{1}{T_x} = N \cdot \frac{f_0}{k}$$

Nếu $T_{do} = 1s$ ($k = 10^6$) thì số xung N (tức là số các chu kỳ) sẽ chính là các tần số cần đo f_x nghĩa là:

$$f_x = N$$



a)



Hình 12.8. Tần số ké chỉ thị số:

a) Sơ đồ khối ; b) Giản đồ xung

Mạch điều khiển phụ trách việc điều khiển quá trình đo; bảo đảm thời gian biểu thị kết quả đo cỡ từ $0,3 \div 5s$ trên chỉ thị số; xoá kết quả đo đưa về trạng thái 0 ban đầu trước mỗi lần đo; điều khiển chế độ làm việc: tự động, bằng tay, hay khởi động bên ngoài (external trigger); chọn dải đo tần số (cho ra xung mở khoá K) và cho ra xung điều khiển máy in số...

Bộ hiện số thường có nhiều digit (hàng đơn vị, hàng chục, hàng trăm...) bảo đảm chỉ thị toàn bộ dải tần số cần đo.

- **Sai số của phép đo và các yếu tố ảnh hưởng đến sai số:** sai số cơ bản của

phép đo tần số là tần số sai số lượng tử theo thời gian, sai số này tăng khi tần số cần đo giảm.

Cụ thể sai số tương đối của phép đo tần số được tính như sau:

$$\gamma_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}}$$

- Thành phần $\Delta N / N$: phụ thuộc vào tỉ số giữa thời gian đo T_{do} và chu kỳ của

tín hiệu cần đo $T_x = 1/f_x$. Sai số lượng tử theo thời gian là do quá trình không trùng nhau giữa thời điểm bắt đầu thời gian đo T_{do} và thời điểm bắt đầu chu kỳ T_x . Nếu T_{do} và T_x là bội số của nhau (tức là trùng nhau các điểm đầu của hai khoảng thời gian) thì sai số $\Delta N = 0$; còn nếu như T_{do} và T_x không phải là bội số của nhau thì sai số lớn nhất của quá trình lượng tử hoá là $\Delta N = \pm 1$ xung thuộc dãy bé nhất của bộ đếm.

- Thành phần thứ hai của sai số là $\Delta T_{do} / T_{do}$: được xác định bởi độ biến động

của tần số chuẩn f_0 từ máy phát thạch anh để cho ra cửa sổ T_{do} . Sai số này cỡ 10^{-7} và được tính là:

$$\frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{\Delta f_0}{f_0} = \gamma \cdot f_0$$

Vậy sai số của phép đo tần số sẽ là:

$$\gamma_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{1}{N} + \gamma \cdot f_0 = \frac{1}{f_x T_{do}} + \gamma \cdot f_0$$

Như vậy nếu $\gamma \cdot f_0 = const$ thì sai số của phép đo tần số tỉ lệ nghịch với độ lớn của tần số đo, tức là sai số này nhỏ khi ta đo tần số cao, và sai số này sẽ lớn khi ta đo tần số thấp.

Ví dụ: với $\gamma \cdot f_0 = 10^{-7}$ nếu đo tần số $f_x = 10MHz$, $T_{do} = 1s$, thì $\gamma_f = 2 \cdot 10^{-5} \%$ còn nếu $f_x = 10Hz$, T_{do} thì $\gamma_f = 10\%$.

Như vậy, khi đo tần số cao sai số của phép đo chủ yếu là do độ không ổn định của tần số máy phát chuẩn f_0 . Còn khi đo tần số thấp sai số chủ yếu là sai số lượng tử.

- **Giảm sai số khi đo tần số thấp:** muốn giảm sai số khi đo tần số thấp thì phải tăng thời gian đo T_{do} nhưng điều này không phải khi nào cũng thực hiện được. Vì vậy trong tần số kế chỉ thị số hoặc là người ta sử dụng bộ nhân tần số để nhân tần số cần đo lên 10^n lần hoặc là không cần đo tần số nữa mà chuyển phép đo tần số sang đo thời gian một chu kỳ T_x của tín hiệu cần đo.

Khi đo chu kỳ T_x ta thực hiện theo sơ đồ như hình 12.9.

Tín hiệu có tần số cần đo f_x qua “Bộ vào” và qua bộ tạo xung “TX” sẽ tạo ra tín hiệu T_x chính là chu kỳ của tần số cần đo. Tín hiệu T_x qua bộ điều khiển sẽ đưa vào mở khóa K, như vậy thời gian T_x chính bằng T_{do} .

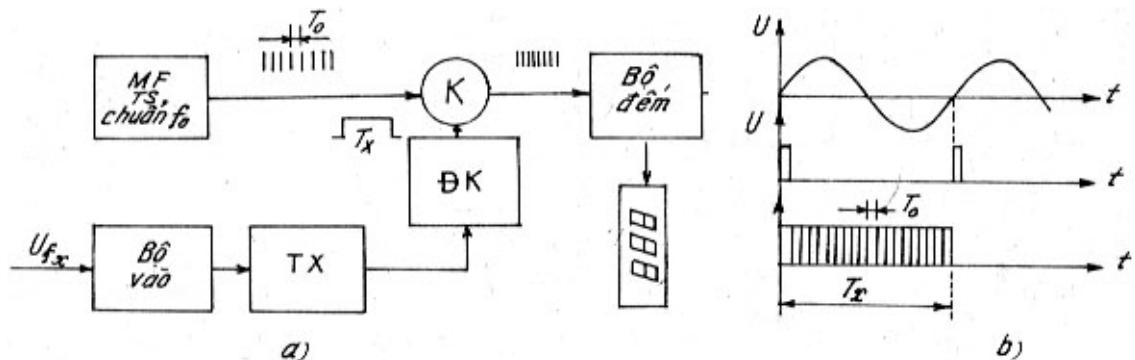
Trong thời gian T_x khi khoá K mở thì tín hiệu f_0 từ máy phát tần số chuẩn sẽ đi vào bộ đếm và ra cơ cấu chỉ thị số, số xung đếm được là N.

Quan hệ giữa N và T_x là:

$$N = \frac{T_x}{T_o} = \frac{f_0}{f_x}$$

suy ra tần số cần đo là:

$$f_x = \frac{1}{N} \cdot f_0$$



Hình 12.9. Tần số ké chỉ thị số giảm được sai số khi đo tần số thấp:
a) Sơ đồ khối ; b) Giản đồ xung

Sai số tương đối của phép đo chu kỳ được tính là:

$$\gamma_{T_x} = \pm \left[\gamma \cdot f_0 + \frac{T_0}{(N \cdot T_x)} \right] \cdot 100(\%)$$

CHƯƠNG 13.

ĐO CÁC THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN (4 LT)

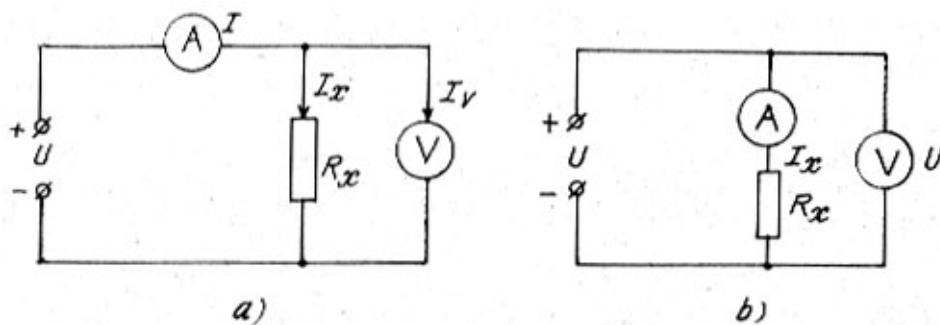
Các thông số cơ bản của mạch điện gồm: điện trở R , điện dung (C) và dung kháng Z_C , điện cảm (L) và cảm kháng Z_L , góc tổn hao ($\tg\delta$) và hệ số phảm chất của cuộn dây (Q)... Các thông số này có thể được đo bằng nhiều phương pháp và thiết bị đo khác nhau: đo bằng phương pháp gián tiếp (dùng vônmet đo điện áp U , ampemét đo dòng điện I qua điện trở, dùng định luật Ôm $R = U/I$ tính được kết quả điện trở R); hoặc dùng phương pháp trực tiếp đo R bằng các ômmét, faradômmét, henrimét...; đo tổng trở Z và các thành phần của nó bằng các cầu xoay chiều...

Tùy thuộc vào yêu cầu và điều kiện cụ thể của bài toán đo lường mà ta chọn phương pháp và thiết bị đo cho phù hợp.

13.1. Các phương pháp đo điện trở.

13.1.1. Các phương pháp gián tiếp:

- Đo điện trở bằng vônmet và ampemét (H.13.1a,b):



Hình 13.1. Đo điện trở bằng vônmet và ampemét

Dựa vào số chỉ của ampemét và vônmet xác định được giá trị điện trở R'_x :

$$R'_x = \frac{U}{I}$$

Giá trị thực R_x của điện trở cần đo được xác định theo cách mắc ampemét và vônmet trong mạch như sau:

Hình 13.1a: $R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$

Hình 13.1b: $R_x = \frac{U - U_A}{I_x} = \frac{U - I.R_A}{I}$

Như vậy giá trị R'_x tính theo độ chỉ của ampemét và vônmet sẽ có sai số.

Sai số trong sơ đồ hình a) do độ chỉ của ampemét là tổng dòng qua vônmet và dòng qua R_x tức là sai số phụ thuộc điện trở trong của vônmet (R_v):

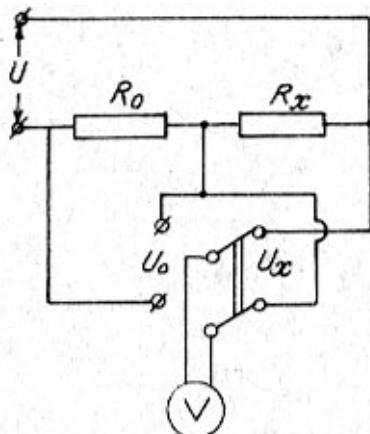
$$\beta_a \% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} \cdot 100(%) = -\frac{R_x}{R_x + R_v} \cdot 100(%) \approx -\frac{R_x}{R_v} \cdot 100(%)$$

Sai số trong sơ đồ hình b) do độ chỉ của vômét là tổng điện áp rơi trên ampermét và điện trở rơi trên R_x , tức là sai số phụ thuộc điện trở trong của ampermét (R_A):

$$\beta_b \% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} \cdot 100(\%) \approx \frac{R_A}{R_x} \cdot 100(\%)$$

Như vậy để bảo đảm sai số nhỏ nhất thì để đo điện trở R_x tương đối nhỏ nên dùng sơ đồ hình a), còn đo điện trở R_x tương đối lớn thì dùng sơ đồ hình b).

- Đo điện trở bằng vônmet và điện trở mẫu R_0 (H.13.2):



Hình 13.2. Đo điện trở bằng vônmet và điện trở mẫu

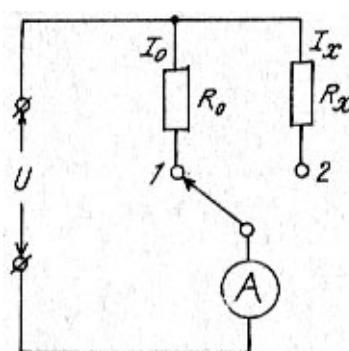
Điện trở R_x cần đo mắc nối tiếp với điện trở mẫu R_0 (có độ chính xác cao) và nối vào nguồn U . Dùng vônmet đo điện áp rơi trên R_x là U_x và điện áp rơi trên điện trở mẫu là U_0 .

Dựa trên giá trị các điện áp đo được tính ra giá trị điện trở cần đo R_x :

$$I_0 = I_x \Leftrightarrow \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x} \Leftrightarrow R_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0$$

Sai số của phép đo điện trở này bằng tổng sai số của điện trở mẫu R_0 và sai số của vôômét (hoặc dung cụ đo điện áp).

- Đo điện trở R_x bằng một ampemét và điện trở mẫu (R_0) (H.13.3):



Hình 13.3. Đo điện trở bằng một ampemét và điện trở mẫu

Điện trở R_x cần đo nối song song với điện trở mẫu R_0 và mắc vào nguồn cung cấp U . Dùng ampemét lần lượt đo dòng điện qua R_x là I_x và dòng qua R_0 là I_0 . Dựa trên giá trị các dòng điện đo được tính ra giá trị điện trở cần đo R_x :

$$U_0 = U_x \Leftrightarrow I_0.R_0 = I_x.R_x \Leftrightarrow R_x = \frac{I_0}{I}.R_0$$

Sai số của phép đo này bằng tổng sai số của điện trở mẫu R_0 và sai số của ampemét (hoặc dụng cụ đo dòng điện).

13.1.2. Các phương pháp trực tiếp:

Để đo trực tiếp điện trở thường sử dụng Ôm kế (Ohmmeter).

Nguyên lý của ôm kế: xuất phát từ định luật Ôm (Ohm's Law):

$$R = \frac{U}{J}$$

Nếu giữ cho điện áp U không thay đổi thì dựa vào sự thay đổi dòng điện qua mạch khi điện trở thay đổi có thể suy ra giá trị điện trở cần đo. Cụ thể nếu dùng mạch đo dòng điện được khắc độ theo điện trở R thì có thể trực tiếp đo điện trở R . Trên cơ sở đó người ta chế tạo các ôm kế đo điện trở.

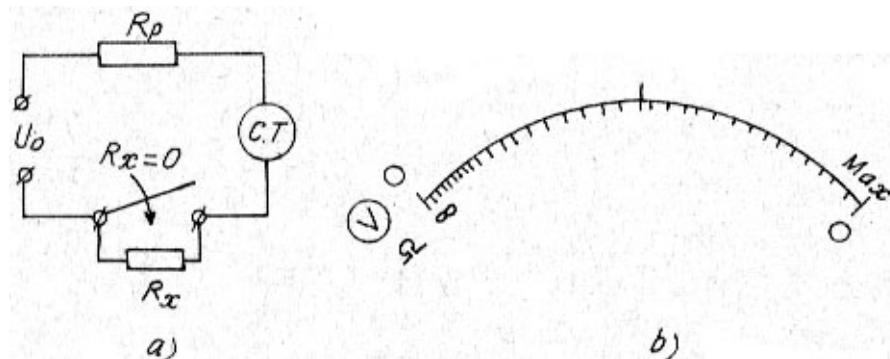
Phân loại ôm kế: phụ thuộc vào cách sắp xếp sơ đồ mạch đo của ôm kế có thể chia ôm kế thành hai loại:

- Ôm ké nối tiếp
 - Ôm ké song song

13.2. Ohm kế (Ohmmeter).

13.2.1. Ôm kể nối tiếp:

Là ôm kế có điện trở cần đo R_x được nối tiếp với cơ cấu chỉ thị từ điện (H.13.4a):



Hình 13.4. Ôm kẽ nối tiếp:

a) Sơ đồ mạch đo ; b) Đặc tính thang chia độ

Các ôm kế sơ đồ nối tiếp thường dùng để đo các điện trở có giá trị Ω trở lên.

Trong sơ đồ cấu tạo có R_p dùng để bảo đảm sao cho khi $R_x = 0$ thì dòng qua cơ cấu chỉ thị là lớn nhất (lệch hết thang chia độ), tác dụng là để bảo vệ cơ cấu chỉ thi khỏi dòng quá lớn. Giá trị điện trở bảo vệ quá dòng R_p được tính:

$$R_P + r_{ct} = \frac{U_0}{I_{ct\max}} \Rightarrow R_P = \frac{U_0}{I_{ct\max}} - r_{ct}$$

với một cơ cấu nhất định sẽ có $I_{ct\max} = I_{ct\text{đm}}$ nhất định và $r_{ct} = r_{ct\text{đm}}$ nhất định

Điện trở trong của ôm kế: mỗi ôm kế cũng có điện trở trong nhất định, được tính như sau:

$$R_\Omega = r_{ct} + R_P = \frac{U_0}{L_{\text{cav}}}$$

nhiều vậy: khi $R_x = 0$: $I_{ct\max} = \frac{U_0}{R_\Omega} = \frac{U_0}{r_{ct} + R_p}$

khi $R_x \neq 0$: $I_{ct} = \frac{U_0}{r_{ct} + R_p + R_x} \rightarrow 0$ khi $R_x \rightarrow \infty$

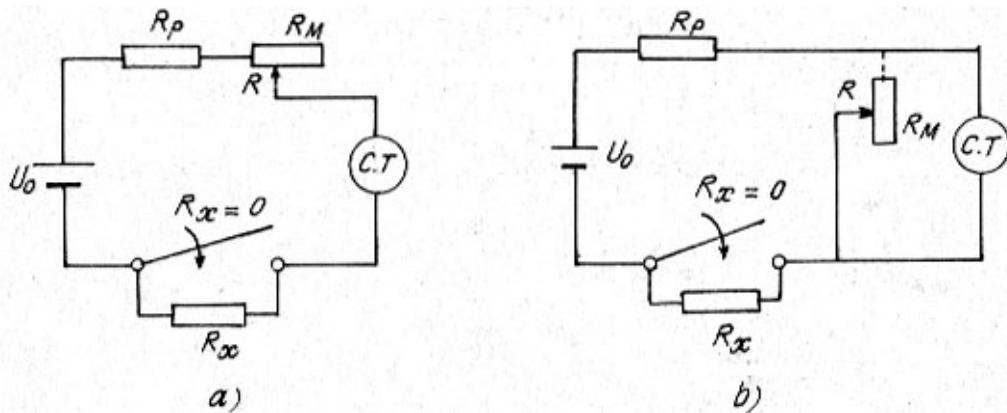
Từ nhận xét trên ta có thể vẽ đặc tính thang chia độ ôm kế nối tiếp như hình 13.4b. Ta nhận thấy rằng thang chia độ của ôm kế ngược với thang chia độ của vônmet (khi cùng sử dụng một cơ cấu chỉ thị: ví dụ như trong đồng hồ vạn năng chỉ thị kim).

Sai số của ôm kế do nguồn cung cấp: từ biểu thức tính I_{ct} thấy rằng độ chi của ôm kế rất phụ thuộc nguồn cung cấp U_0 thường bằng pin hoặc ắc quy, nếu nguồn thay đổi giá trị sẽ gây sai số rất lớn.

Ví dụ: Nếu $R_x = 0$ (chập hai đầu que đo) vì $U_{0T} < U_0$ chuẩn ban đầu thì kim ôm kế không chỉ zéro (chú ý là kim chỉ zéro khi dòng I_{ct} lớn nhất).

Để khắc phục điều này người ta có thể thay đổi từ cảm B trong nam châm vĩnh cửu (dạng sun từ) sao cho $B \cdot U = \text{const}$. Tuy nhiên trong các dụng cụ vạn năng không thể dùng biện pháp này được mà thường hạn chế sai số do nguồn bằng cách đưa vào sơ đồ cấu trúc của đồng hồ đo một chiết áp hoặc biến trở R_M để chỉnh zérô khi $R_x = 0$ (chiết áp R_M trên hình 13.5).

Ôm kế nối tiếp hạn chế sai số do nguồn bằng biến trở R_M mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị: hình 13.5a là sơ đồ ôm kế nối tiếp có biến trở R_M mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị:



Hình 13.5. Ôm kế nối tiếp hạn chế sai số do nguồn:
a) biến trở R_M mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị
b) biến trở R_M mắc song song với cơ cấu chỉ thị

Với sơ đồ này người ta tính các phần tử của mạch như sau:

Xác định điện trở phụ R_p sao cho khi $R_x = 0$ với $U_0 = U_{0\min}$ thì kim chỉ thi lệch toàn thang đo, lúc đó $R = 0$ (tức là không cần chiết áp).

$$R_p = \frac{U_{0\min}}{I_{ct\max}} - r_{ct}$$

Khi làm việc có thể $U_0 > U_{0\min}$, dòng $I_{ct\max}$ có thể tăng nếu giữ nguyên giá trị các thông số của mạch như đã tính toán ở trên. Muốn cho $I_{ct\max}$ không thay đổi thì phải điều chỉnh R_M sao cho R có giá trị phù hợp với thông số đã tính. Vậy để thỏa mãn yêu cầu thang đo của ôm kế thì điện trở toàn phần của biến trở R_M được

tính:

$$R_M \geq \frac{U_{0\max} - U_{0\min}}{U_{ct\max}}$$

tức là phải đảm bảo điều kiện chỉnh zérô khi $U_0 = U_{0\max}$.

Điện trở vào của ôm kế sẽ là:

$$R_\Omega = R_p + R + r_{ct} = \frac{U_0}{I_{ct\max}}$$

Như vậy điện trở vào của ôm kế thay đổi theo sự thay đổi của áp nguồn cung cấp. Mỗi thang đo của ôm kế phù hợp với một trở vào nhất định. Do đó khi điện áp thay đổi sẽ gây sai số phụ cho phép đo. Sai số này được xác định bởi sự thay đổi tương đối của điện áp nguồn.

Ôm kế nối tiếp hạn chế sai số do nguồn bằng biến trở R_M mắc song song với cơ cầu chỉ thị: hình 13.5b là sơ đồ ôm kế nối tiếp có biến trở nối song song với cơ cầu chỉ thị.

Tính toán các phần tử của mạch sao cho khi $R_x = 0$, $U_0 = U_{0\min}$ muốn dòng qua chỉ thị lệch hết thang đo ($I_{ct\max}$) thì phải điều chỉnh biến trở sao cho nó có giá trị lớn nhất ($R = R_M$).

Nếu $U_0 > U_{0\min}$ với điều kiện như trên thì $I_{ct\max}$ sẽ tăng (quá thang đo), khi đó phải chỉnh biến trở sao cho $I_{ct\max}$ không thay đổi tức là ôm kế chỉ zérô.

Điện trở vào của ôm kế theo sơ đồ này là:

$$R_\Omega = R_p + \frac{R \cdot r_{ct}}{R + r_{ct}}$$

Từ biểu thức này thấy rằng trong quá trình điều chỉnh zérô bằng biến trở R_M thì điện trở vào của ôm kế cũng thay đổi theo. Tuy nhiên sự thay đổi này không thể vượt quá giá trị r_{ct} và do $R_p \ll r_{ct}$ nên điện trở vào của ôm kế loại này ít phụ thuộc điện áp cung cấp và khi áp cung cấp thay đổi cỡ 20–30% thì sai số phụ chỉ vài %.

Ôm kế sơ đồ nối tiếp nhiều thang đo (H.13.6a,b): ôm kế nhiều thang đo được chế tạo theo nguyên tắc: chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở vào của ôm kế một số lần xác định sao cho khi $R_x = 0$ kim chỉ thị vẫn bảo đảm lệch hết thang đo (nghĩa là dòng qua cơ cầu chỉ thị bằng giá trị định mức của cơ cầu từ điện đã chọn).

Thường mở rộng giới hạn đo của ôm kế bằng cách dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân nhánh dòng (điện trở sun) cho các thang đo khác nhau.

Ôm kế nhiều thang đo dùng nhiều nguồn cung cấp: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.6a (ví dụ ở đây có hai thang đo ứng với giá trị 1 và 2).

Với giới hạn đo 1: khoá chuyển mạch B đặt ở vị trí 1: khi đó

$$R_{p1} = R_{\Omega1} - R_{ab}$$

và nguồn cung cấp của thang đo này là U_1 .

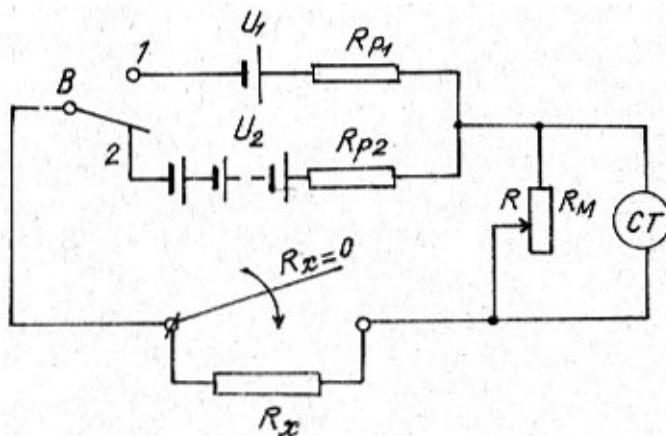
Điện trở R_{ab} là điện trở tương đương của r_{ct} mắc song song với R (một phần tử của R_M). Thường chọn $R \approx 0,75 R_M$.

Khi chuyển từ giới hạn đo 1 sang giới hạn đo 2 (đo R_x lớn hơn ở giới hạn đo 1): đặt B ở vị trí 2. Lúc này $R_{\Omega2} = 10R_{\Omega1}$. Từ đó điện trở phụ của mạch cũng thay

đổi:

$$R_{p2} = R_{\Omega2} - R_{ab}$$

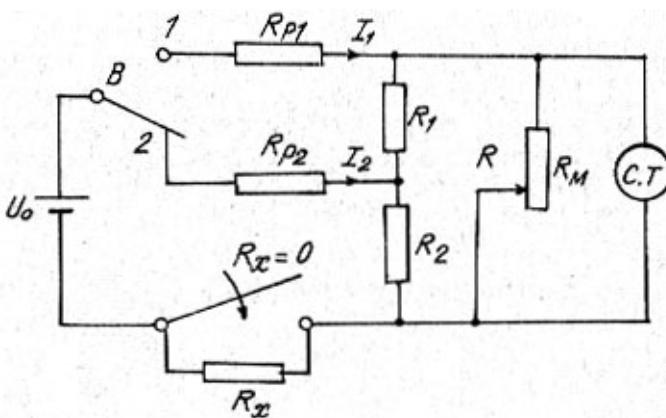
Với giá trị các thông số như trên, để đảm bảo kim chỉ thị lệch hết thang đo, yêu cầu nguồn cung cấp U_2 cũng phải tăng tương ứng, tức là: $U_2 = 10U_1$.



Hình 13.6a. Ôm kế sơ đồ nối tiếp nhiều thang đo dùng nhiều nguồn cung cấp

Khi sử dụng nguồn điện áp cao và chỉ thị đủ nhạy thì R_Ω có thể đạt hàng chục $M\Omega$ hoặc lớn hơn. Có thể dùng sơ đồ này để mở rộng giới hạn thang đo về phía điện trở nhỏ với điều kiện có thể giảm nguồn cung cấp xuống N lần.

Ôm kế nhiều thang đo chỉ dùng một nguồn cung cấp và điện trở phân nhánh dòng: khi điện trở vào của ôm kế R_Ω không lớn lắm (cỡ $k\Omega$ hoặc nhỏ hơn) thì có thể tạo ôm kế nhiều thang đo chỉ dùng một nguồn cung cấp và điện trở phân nhánh dòng có sơ đồ như hình 13.6b:



Hình 13.6b. Ôm kế nhiều thang đo chỉ dùng một nguồn cung cấp và điện trở phân nhánh dòng

Ở sơ đồ này vị trí 1 dùng để đo điện trở lớn và vị trí 2 dùng để đo điện trở nhỏ hơn.

Khi chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2 thì điện trở vào của ôm kế R_Ω phải nhỏ đi N lần (ví $N = 10$), tức là $R_{\Omega2} = 0,1.R_{\Omega1}$, lúc đó nếu $R_x = 0$ thì dòng trong mạch sẽ tăng lên 10 lần: $I_2 = 10.I_1$.

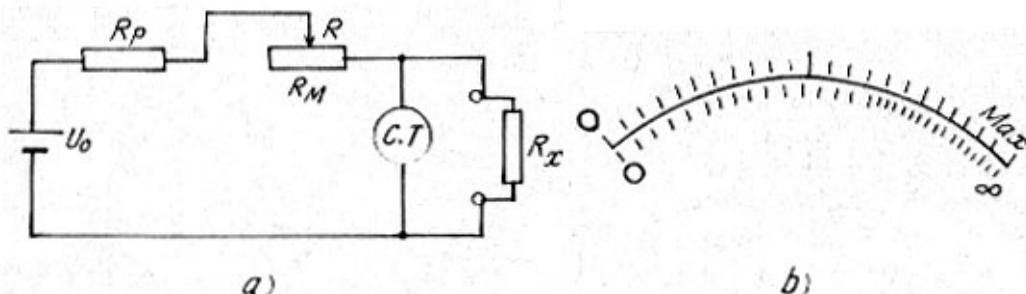
Để đảm bảo dòng qua chỉ thị không đổi thì phải mắc thêm các điện trở phân nhánh dòng (R_1 , R_2) song song với cơ cấu chỉ thị.

13.2.2. Ôm kế sơ đồ song song:

Cấu tạo: theo sơ đồ nguyên lý như hình 13.7. Bộ phận chỉ thị của ôm kế nối

song song với điện trở cần đo (H.13.7a). Ôm kế loại này dùng để đo điện trở tương đối nhỏ ($R_x < k\Omega$).

Ưu điểm cơ bản: là đạt được điện trở vào của ôm kế (R_Ω) nhỏ khi dòng từ nguồn cung cấp không lớn lắm.



Hình 13.7. Ôm kế sơ đồ song song

a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Đặc tính thang chia độ

Vì điện trở cần đo R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị nên khi $R_x = \infty$ (chưa mắc R_x vào mạch đo) thì dòng qua chỉ thị sẽ lớn nhất ($I_{ct} = I_{ctmax} = I_{ctd.m}$).

Nếu $R_x \approx 0$ thì hầu như không có dòng qua cơ cấu chỉ thị: $I_{ct} \approx 0$. Như vậy thang đo của ôm kế loại này chung chiều với thang đo của vômét (H.13.7b).

Điều chỉnh thang đo của ôm kế khi nguồn cung cấp thay đổi (thường điều chỉnh ứng với $R_x = \infty$ tức là hở mạch đo) bằng cách dùng chiết áp R_M . Xác định R_p và R_M của ôm kế giống như trường hợp ôm kế sơ đồ nối tiếp.

Điện trở vào của ôm kế song song được xác định như sau:

$$R_\Omega = \frac{(R_p + R) \cdot r_{ct}}{R_p + R + r_{ct}} = \frac{r_{ct}}{1 + \frac{r_{ct}}{R_p + R}}$$

Nhận biết tương quan giữa điện trở cần đo R_x và điện trở vào của ôm kế R_Ω qua vị trí kim chỉ trên thang đo: đặc tính khắc độ của ôm kế song song được xác định bởi tỉ số:

$$\frac{I_x}{I_{ct}} = \frac{R_x}{R_\Omega + R_x} = \frac{R_x / R_\Omega}{1 + R_x / R_\Omega}$$

nhiều vậy:

- Khi $R_x < R_\Omega$ thì các giá trị sẽ chạy về phía trái thang đo đến giá trị “0” (ngược với ôm kế nối tiếp).
- Khi $R_x = R_\Omega$ thì $I_x / I_{ct} = 1/2$: tức là điểm giữa của thang chia độ tương ứng với giá trị điện trở cần đo bằng điện trở vào của ôm kế (giống ôm kế nối tiếp).
- Khi $R_x > R_\Omega$ thì các giá trị sẽ chạy về phía phải thang đo đến “∞”

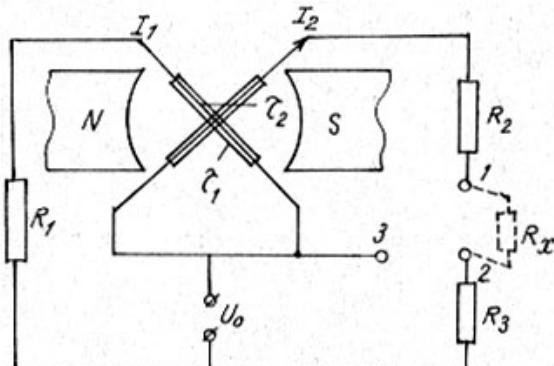
13.2.3. Ôm kế kiểu lôgômét:

Cấu tạo: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.8. Cơ cấu đo kiểu lôgômét là cơ cấu có hai khung dây. Một khung dây tạo mômen quay và một khung dây tạo mômen phản kháng. Góc quay α của cơ cấu đo tỉ lệ với tỉ số hai dòng điện chạy trong hai khung dây. Trên cơ sở này người ta dùng chỉ thị kiểu lôgômét cho ôm kế nên gọi

là ôm kế kiểu lôgômét. Ta có:

$$I_1 = \frac{U_0}{R_1 + r_1} ; \quad I_2 = \frac{U_0}{R_2 + R_3 + r_2 + R_x}$$

với: I_1 : dòng chạy qua khung dây 1 ; I_2 : dòng chạy qua khung dây 2.



Hình 13.8. Sơ đồ nguyên lý ôm kế kiểu lôgômét

Từ cảm B của nam châm vĩnh cửu tác dụng với dòng I_1 tạo ra mômen quay M_1 ; từ cảm B của nam châm vĩnh cửu tác dụng với dòng I_2 tạo ra mômen quay M_2 . Ở thời điểm cân bằng $M_1 = M_2$ từ đó có:

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

với r_1, r_2 là điện trở của các cuộn dây của lôgômét.

Với một cơ cấu nhất định thì các giá trị $R_1, R_2, R_3; r_1, r_2$ là hằng số nên góc α không phụ thuộc điện áp cung cấp U_0 .

Giới hạn đo của ôm kế được xác định bởi giá trị các điện trở R_1, R_2 và R_3 .

Nếu đo điện trở R_x tương đối lớn: dùng sơ đồ mắc nối tiếp (nối R_x vào hai đầu 1 và 2), đọc kết quả trên thang đo 1.

Nếu đo điện trở R_x nhỏ: dùng sơ đồ song song (nối R_x vào hai đầu 2 và 3), ngắn mạch 1 và 2 đọc kết quả trên thang đo 2.

13.3. Đo điện trở lớn.

13.3.1. Đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp:

Có thể đo điện trở lớn cỡ $10^5 \div 10^{10} \Omega$ (ví dụ: điện trở cách điện) bằng phương pháp vôn-ampe nhưng phải chú ý loại trừ ảnh hưởng của dòng điện rò qua dây dẫn hoặc cách điện của máy. Muốn loại trừ điện rò cần phải dùng màn hình chắn tĩnh điện hoặc dây có bọc kim.

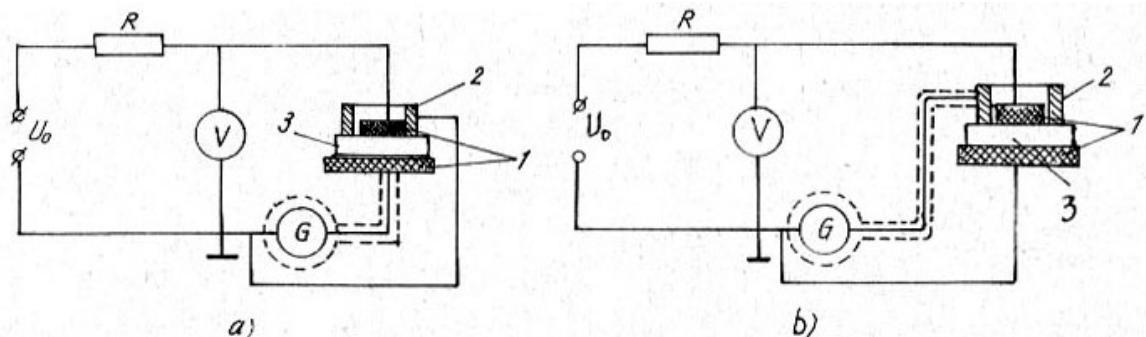
Sau đây xét ví dụ về mạch đo điện trở cách điện mặt và cách điện khói (H.13.9).

Đo điện trở cách điện khói: bố trí mạch đo như hình 13.9a: dùng điện kế G để đo dòng xuyên qua khói cách điện; còn dòng rò trên bề mặt của vật liệu sẽ qua cực phụ xuống đất. Điện trở cần đo được xác định nhờ độ chỉ của vônmet và điện kế (G):

$$R_x = \frac{U}{I}$$

Các điện trở R trong sơ đồ dùng để bảo vệ mạch đo, thường chọn khoảng $1M\Omega$.

Đo điện trở cách điện mặt: bố trí sơ đồ mạch đo hình như hình 13.9b: ở đây dòng rò trên bề mặt của vật liệu được đo bằng điện kế, còn dòng xuyên qua khói vật liệu thì được nối qua cực chính xuống đất. Kết quả được xác định nhờ độ chỉ của vônmet và điện kế (G).



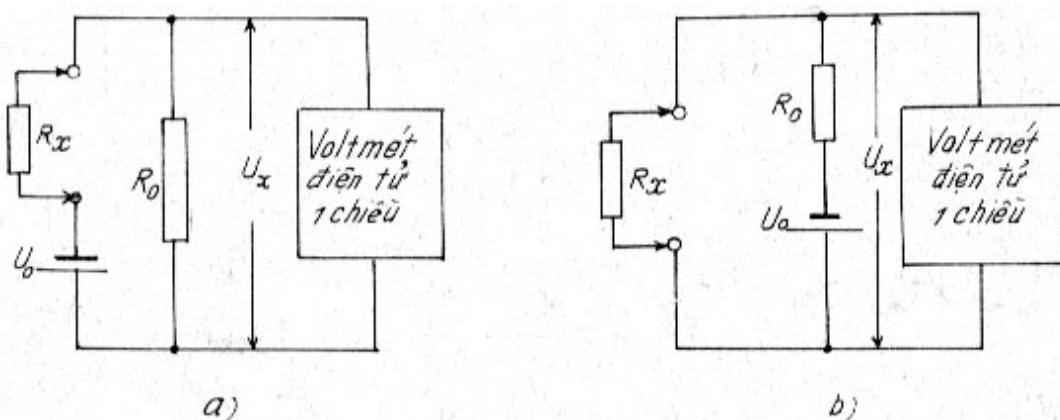
Hình 13.9. Mạch đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp:

a) Đo điện trở cách điện khói ; b) Đo điện trở cách điện mặt

1. Hai cực chính: đặt sát vật liệu cần đo.
2. Cực phụ
3. Vật liệu cần đo điện trở

13.3.2. Các ômmét điện tử và mêtômét điện tử:

Có thể dùng vônmet điện tử một chiều bất kì để đo điện trở cỡ trung bình và điện trở lớn với điều kiện phải thêm một sơ đồ đo ở đầu vào của vônmet này. Sơ đồ đo gồm nguồn cung cấp và điện trở nền R_0 . Mức điện áp nguồn cung cấp U_0 phụ thuộc vào tương quan giữa điện trở cần đo R_x và điện trở nền R_0 . Đó là cấu tạo của các ômmét điện tử (H.13.10):



Hình 13.10. Cấu tạo của các ômmét điện tử:

Ômmét điện tử sơ đồ hình 13.10a: điện áp U_x đưa vào vônmet điện tử được lấy từ điện tử R_0 được tính như sau :

$$U_x = \frac{U_0}{R_0 + R_x} \cdot R_0 = \frac{U_0}{1 + \frac{R_x}{R_0}}$$

Như vậy nếu giữ cho $U_0 \approx \text{const}$ và $R_0 \approx \text{const}$ thì U_x sẽ phụ thuộc R_x .

Khi $R_x = 0$: (tức là chập hai đầu que đo của ômmét) thì $U_x = U_0$ tức là điện áp U_x sẽ lớn nhất và dòng qua chỉ thị sẽ lớn nhất và kim chỉ thị lệch hết thang đo

(ứng với giới hạn đo đang đặt của vônmet điện tử U_n).

Ngược lại khi $R_x = \infty$: thì $U_x = 0$ tức là không có dòng qua cơ cấu chỉ thị của vônmet điện tử và kim chỉ thị ở tận cùng của bên trái thang chia độ.

Khi $R_x = R_0$: thì $U_x = U_0 / 2$, tức là kim chỉ thị ở giữa thang chia độ.

Như vậy đặc tính thang chia độ của ômmét loại này giống đặc tính thang chia độ của ômmét sơ đồ nối tiếp.

Ômmét điện tử sơ đồ hình 13.10b: điện áp U_x được đưa vào vônmet điện tử lấy từ điện trở R_x , được xác định như sau:

$$U_x = \frac{U_0}{R_x + R_0} \cdot R_x = \frac{U_0}{1 + \frac{R_0}{R_x}}$$

Như vậy:

Khi $R_x = 0$: thì $U_x = 0$ tức là không có dòng chạy qua cơ cấu chỉ thị của vônmet điện tử (kim ở vị trí tận cùng bên trái thang đo)

Khi $R_x = \infty$: thì $U_x = U_0 = U_n$, tức là dòng qua cơ cấu chỉ thị lớn nhất (ứng với giới hạn đo của vônmet điện tử đang chọn), kim chỉ thị ở vị trí tận cùng về bên phải thang chia độ.

Khi $R_x = R_0$: thì $U_x = U_0 / 2$, kim ở giữa thang chia độ.

Như vậy đặc tính thang đo của ômmét loại này giống đặc tính thang đo của ômmét sơ đồ song song.

Qua hai sơ đồ trên đây ta thấy rằng điện trở nền R_0 quyết định giới hạn đo của ômmét điện tử. Vì vậy để chế tạo ômmét điện tử nhiều giới hạn đo người ta tạo điện trở nền R_0 có nhiều giá trị khác nhau. Mỗi giá trị của R_0 ứng với một giới hạn đo nhất định của ômmét điện tử. Thường chọn các điện trở thành phần của R_0 lớn nhỏ nhau 10 lần.

Giới hạn dưới của ômmét điện tử bị hạn chế bởi R_0 nhỏ vì cần tăng dòng trong mạch cung cấp khi R_0 nhỏ và sự ảnh hưởng của điện trở trọng của nguồn cung cấp.

Giới hạn trên của ômmét điện tử giới hạn bởi trớ vào của vônmet điện tử. Thông thường trớ vào của vônmet điện tử lớn hơn điện trở nền R_0 khoảng 30 đến 100 lần. Những vônmet một chiều bằng bán dẫn thường cho phép tạo nên những ômmét điện tử đo điện trở rất lớn có thể đo được điện trở cỡ 10^9 , 10^{10} Ω. Trong những ômmét (mêgômmét) như vậy giá trị R_0 cũng phải lớn (thường $R_0 = 100M\Omega$), nhưng R_0 lớn thì độ chính xác và ổn định sẽ kém. Trong các teraômmét điện tử, người ta dùng những phương pháp đặc biệt để đo điện trở lớn cỡ $10^{11}\Omega$.

Chọn điện áp nguồn U_0 phải dựa vào giới hạn đo của vônmet điện tử. Thường chọn U_0 khoảng 1,5V; 3V cho việc đo điện trở R_x cỡ trung bình. Nếu R_x rất lớn như điện trở cách điện thì phải chọn U_0 lớn. Thường U_0 được tạo ra bằng các bộ chỉnh lưu ổn áp và chuyển đổi một chiều.

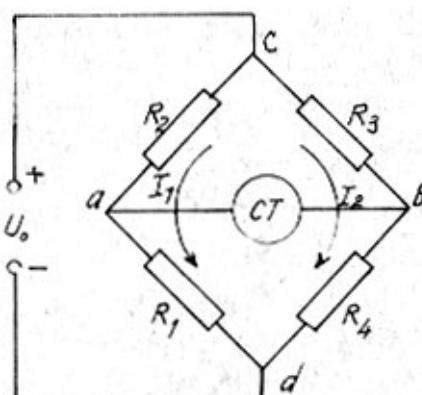
Trên cơ sở các ômmét điện tử, người ta chế tạo các dụng cụ đo điện năng (phối hợp đo U và R).

13.4. Cầu điện trở (cầu đơn, kép).

Cầu một chiều đo thuần trở thường gấp hai loại: cầu đơn và cầu kép.

13.4.1. Cầu đơn:

Sơ đồ nguyên lý như hình 13.11:



Hình 13.11. Cầu đơn một chiều đo điện trở

Cầu tạo: cầu gồm 4 nhánh thuần trở $R_1; R_2; R_3; R_4$. Một đường chéo cầu (cd) nối với nguồn cung cấp một chiều U_0 , một đường chéo khác (ab) nối với chỉ thị cân bằng (CT).

Nguyên lý hoạt động: khi điện áp trên a và b bằng nhau tức là không có dòng qua cơ cầu chỉ thị ($r_{ct} = \infty$) thì cầu cân bằng ; ta có:

$$\begin{aligned} I_1 R_1 &= I_2 R_4 \quad ; \quad I_1 R_2 = I_2 R_3 \\ \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} &= \frac{R_4}{R_3} \Leftrightarrow R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \end{aligned}$$

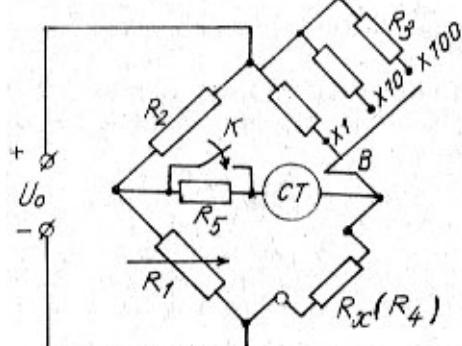
Như vậy khi cầu cân bằng thì tích điện trở hai nhánh cầu đối nhau thì bằng nhau, nếu có một nhánh cầu có giá trị chưa biết thì ta có thể xác định theo tương mối quan hệ trên. Ví dụ nếu $R_4 = R_x$ chưa biết thì:

$$R_x = R_4 = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

Phụ thuộc vào cách cân bằng cầu, người ta chia cầu đơn thành hai loại: cầu hộp và cầu biến trở.

a) Cầu hộp:

có sơ đồ nguyên lý như hình 13.12:



Hình 13.12. Sơ đồ nguyên lý cầu đơn một chiều dạng cầu hộp

Ở cầu hộp, ta cân bằng cầu khi đo bằng cách chọn một tỉ số R_3/R_2 và giữ cố

định, thay đổi giá trị R_1 cho đến khi cầu cân bằng (bộ phận chỉ thị chỉ zérô), đọc kết quả trên nhánh R_1 đem nhân với tỉ số R_3 / R_2 , đã chọn sẽ được kết quả của phép đo.

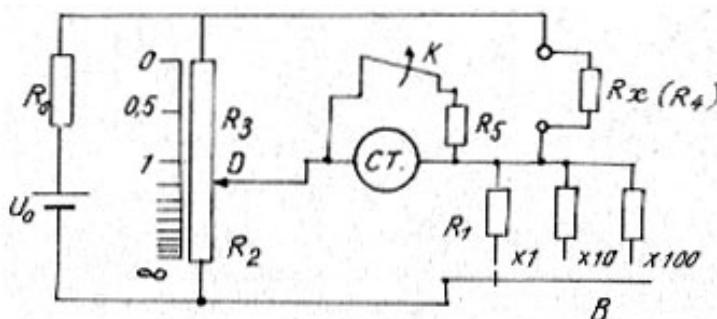
Từ biểu thức điều kiện cân bằng của cầu thấy rằng khi $R_3 = R_2$ thì $R_x = R_1$. Thông thường điện trở R_1 được chế tạo có dạng hộp điện trở hoặc biến trở chính xác cao, có nhiều mức điều chỉnh, khắc độ trực tiếp giá trị điện trở trên hộp này. Vì vậy nếu $R_3 = R_2$ thì giá trị điện trở R_x lớn nhất sẽ được xác định bằng điện trở toàn phần của R_1 .

Có thể mở rộng giới hạn đo của cầu hộp bằng cách tạo ra R_3 có nhiều giá trị lớn nhỏ hơn nhau 10 lần (H.13.12), dùng chuyền mạch B thay đổi tỉ số R_3 / R_2 .

Các sai số của phép đo điện trở bằng cầu hộp phụ thuộc vào độ ổn định, độ chính xác của các điện trở các nhánh cầu; phụ thuộc vào độ trễ của điện trở biến thiên (R_1); phụ thuộc độ chính xác và độ nhạy của chỉ thị cân bằng.

Thông thường, cầu được chế tạo bằng những điện trở mẫu chính xác cao, chỉ thị bằng điện kế gương, có độ nhạy cao nên sai số không vượt quá 0,1%.

b) Cầu biến trở: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.13:



Hình 13.13. Sơ đồ nguyên lý cầu đơn một chiều dạng cầu biến trở

Trong cầu biến trở, việc cân bằng cầu được thực hiện bằng cách giữ cố định điện trở R_1 và điều chỉnh tỉ số R_3 / R_2 một cách đều đặn cho đến khi kim chỉ thị chỉ zérô (tức là cầu đã cân bằng) và lấy kết quả đo.

Để thực hiện quá trình đo như vậy thì hai nhánh cầu R_2 và R_3 được tạo bởi một biến trở có con trượt, quấn trên ống thẳng hoặc đường tròn, dây điện trở thường bằng manganin. Tỉ số điện trở hai phần dây quấn hai bên con trượt D bằng tỉ số chiều dài hai phần ống này:

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_3}{R_2}$$

Thang chia độ giá trị tỉ số hai điện trở được khắc song song với ống dây điện trở này từ $0 \div \infty$ (H.13.13). Điểm giữa của thang chia độ tương ứng với trạng thái:

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_3}{R_2} = 1$$

Điều chỉnh vị trí con trượt D trên biến trở để đạt được điều kiện cân bằng của cầu. Giá trị điện trở cần đo R_x được xác định theo công thức :

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

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

Cầu biến trở có thể chế tạo gọn, nhẹ nhưng không chính xác bằng cầu hộp.

Trong hai sơ đồ cầu đơn trên (H.13.12 và H.13.13) có điện trở R_5 dùng để điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị. Nghĩa là những lúc không cân bằng được cầu vì có một dòng điện tương đối lớn nào đó qua chỉ thị. Vì vậy sau khi điều chỉnh thô, để cân bằng cân bằng cầu ta án khoá K để loại trừ R_5 ra khỏi mạch đo tiếp tục điều chỉnh tinh để cân bằng cầu.

Độ chính xác của trạng thái cân bằng của cầu phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị và điện áp cung cấp. Vì vậy phải chọn điện áp cung cấp sao cho ở bất kỳ vị trí điều khiển nào và với bất kỳ điện trở R_x thì dòng qua chỉ thị không vượt quá dòng cho phép của chỉ thị.

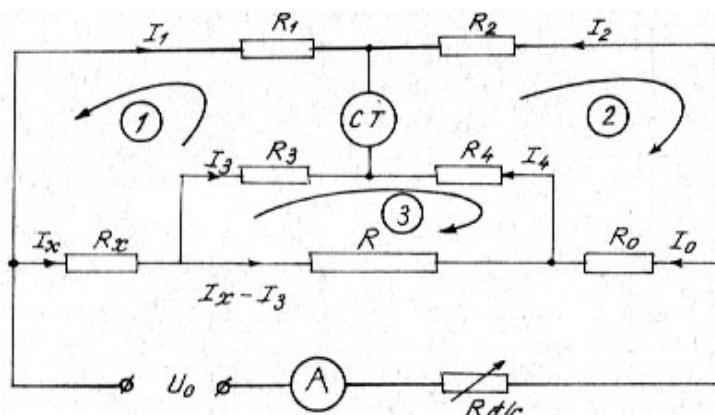
Giá trị điện trở cần đo càng lớn thì điện áp nguồn cung cấp (U_0) càng lớn. Khi đo R_x nhỏ cần phải giảm bớt U_0 đưa vào mạch cầu. Việc thay đổi giá trị của U_0 cho phù hợp với giá trị điện trở cần đo được thực hiện bằng R_0 .

Ứng dụng của cầu đơn: thường dùng cầu đơn để đo các điện trở có giá trị trung bình hoặc giá trị lớn.

13.4.2. Cầu kép:

Việc dùng cầu đơn để đo điện trở nhỏ (khoảng dưới 1Ω) thường không thuận tiện và sai số lớn vì bị ảnh hưởng của điện trở nối dây và điện trở tiếp xúc... Trong trường hợp này phải sử dụng cầu kép để đo điện trở nhỏ và rất nhỏ.

Cầu tạo của cầu kép: như hình 13.14:



Hình 13.14. Cầu tạo của cầu kép

Cầu kép gồm: các điện trở R_1 ; R_2 ; R_3 ; R_4 và R là điện trở của các nhánh cầu ; R_x là điện trở cần đo và R_0 là điện trở mẫu chính xác cao. Để tránh điện trở tiếp xúc khi nối các điện trở vào mạch bằng cách chế tạo R_0 và R_x dưới dạng các điện trở 4 đầu.

Nguyên lý hoạt động của cầu kép: khi cân bằng cầu ta có:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_3 = I_4 \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} I_x \cdot R_x + I_3 \cdot R_3 - I_1 \cdot R_1 = 0 \\ I_0 \cdot R_0 + I_4 \cdot R_4 - I_2 \cdot R_2 = 0 \\ I_3 \cdot R_3 - I_4 \cdot R_4 - (I_x - I_3) \cdot R = 0 \end{cases} \quad (\text{theo Kirchhoff II})$$

Giải các hệ phương trình trên ta được giá trị điện trở cần đo R_x :

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_4 \cdot R}{R + R_3 + R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

Để đơn giản cho việc điều chỉnh cân bằng cầu khi đo thì khi chế tạo phải bảo đảm sao cho:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{hoặc} \quad R \approx 0$$

khi đó phương trình cân bằng cầu sẽ là:

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Như vậy khi đo R_x chỉ cần thay đổi giá trị R_0 và tỉ số R_1 / R_2 để cân bằng cầu.

Cấp chính xác của cầu một chiều phụ thuộc giới hạn đo của cầu.

Ví dụ: cầu P329 của Liên Xô (cũ) có các giới hạn đo và cấp chính xác sau:

Loại cầu	Giới hạn đo (Ω)	Cấp chính xác %
Cầu kép	$10^{-6} \div 10^{-5}$	1,00
	$10^{-5} \div 10^{-4}$	0,50
	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,10
	$10^{-3} \div 10^{+2}$	0,05
Cầu đơn	$50 \div 10^5$	0,05
	$10^5 \div 10^6$	0,50

13.5. Đo điện dung và góc tổn hao của tụ điện.

13.5.1. Khái niệm về điện dung và góc tổn hao:

Đối với tụ điện lí tưởng thì không có dòng qua hai tâm bán cực tức là tụ điện không tiêu thụ công suất. Nhưng thực tế vẫn có dòng từ cực này qua lớp điện môi đến cực kia của tụ điện, vì vậy trọng tụ có sự tổn hao công suất. Thường sự tổn hao này rất nhỏ và người ta thường đo góc tổn hao ($\tg\delta$) của tụ để đánh giá tụ điện.

Để tính toán, tụ điện được đặc trưng bởi một tụ điện lí tưởng và một thuần trở mắc nối tiếp nhau (đối với tụ có tổn hao ít) hoặc mắc song song với nhau (đối với tụ có tổn hao lớn), trên cơ sở đó xác định góc tổn hao của tụ (H.13.15a,b):

$$\tg\delta = \frac{U_R}{U_C}$$

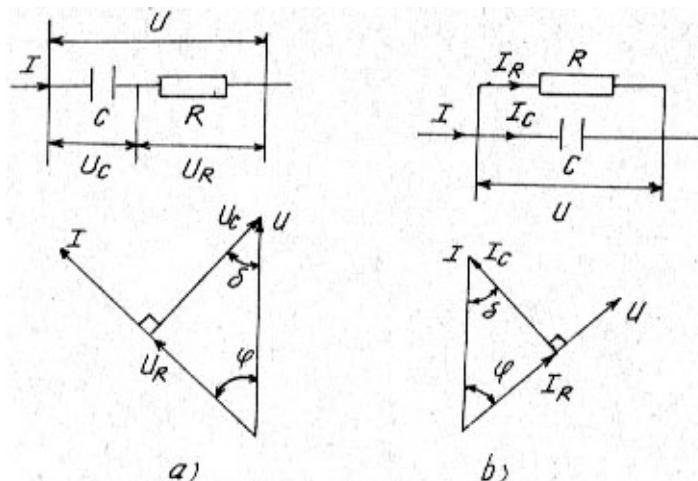
với δ là góc tổn hao của tụ điện được tạo bởi vectơ U và vectơ U_C .

Với tụ tổn hao ít (H.13.15a): dựa vào sơ đồ vectơ xác định được góc tổn hao như sau:

$$\text{từ: } \begin{cases} U_R = I \cdot R \\ U_C = I \cdot \frac{1}{\omega C} \end{cases} \Rightarrow \tg\delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega \cdot R \cdot C$$

Với tụ tổn hao lớn (H.13.15b): cũng cách chứng minh như trên ta xác định được góc tổn hao $\tg\delta$:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega R C}$$

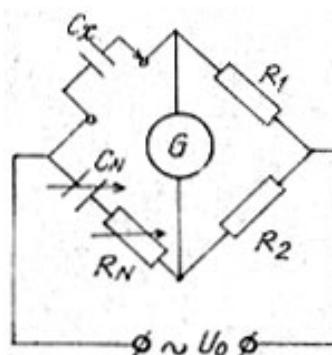


Hình 13.15. Sơ đồ mạch tương đương và biểu đồ vectơ để tính góc tổn hao của tụ điện:
a) Tụ tổn hao ít ; b) Tụ tổn hao lớn

13.5.2. Các loại cầu đo điện dung và góc tổn hao:

Thường dùng cầu xoay chiều bốn nhánh để đo các thông số của tụ.

a) *Cầu đo tụ điện tổn hao ít*: có sơ đồ như hình 13.16:



Hình 13.16. Cầu đo tụ điện tổn hao ít

Cấu tạo: cầu gồm bốn nhánh. Hai nhánh R_1 , R_2 thuận trở. Một nhánh là điện dung mẫu điều chỉnh được gồm: điện dung thuận C_N và điện trở thuận R_N điều chỉnh được. Nhánh còn lại là điện dung cần đo C_x . Một đường chéo của cầu nối với điện kế (G) chỉ sự cân bằng cầu. Đường chéo còn lại nối với nguồn cung cấp xoay chiều (U_0).

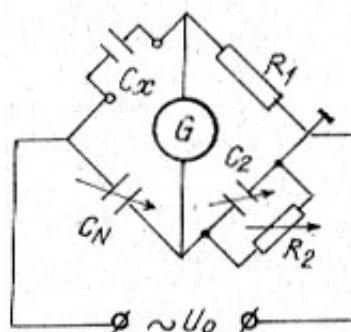
Nguyên lý hoạt động: khi cầu cân bằng có mối quan hệ:

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

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_N \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_N \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg}\delta = \omega R_x C_x = \omega R_N C_N$$

Quá trình đo: đầu tiên điều chỉnh cho $R_N = 0$. Tiếp theo thay đổi tỉ số R_1 / R_2 cho đến khi nào chỉ thị cân bằng chỉ dòng nhỏ nhất. Điều chỉnh R_N và C_N cho đến khi cầu cân bằng (không có dòng qua G). Đọc kết quả trên R_N và C_N và tính toán theo biểu thức trên sẽ được tgđ.

b) Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn hoặc đo tổn hao trong vật liệu cách điện: có sơ đồ cầu như hình 13.17:



Hình 13.17. Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn hoặc đo tổn hao trong vật liệu cách điện

Cấu tạo: với sơ đồ này nếu mắc trực tiếp R_2 có giá trị lớn vào nhánh cầu thứ hai thì sẽ giảm độ nhạy của cầu vì vậy người ta nối song song R_2 và C_2 trong nhánh cầu thứ hai.

Nguyên lý hoạt động: khi cầu cân bằng có:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)} = R_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_N}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x = \frac{C_2}{C_N} \cdot R_1 \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_N \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega R_x C_x} = \frac{1}{\omega R_2 C_2}$$

Quá trình đo: giống như trường hợp cầu đo điện dung tổn hao ít.

13.6. Cầu ghi tự động.

CHƯƠNG 14.

ĐO VÀ GHI CÁC ĐẠI LƯỢNG BIẾN THIỀN (4 LT)

14.1. Cơ sở chung, ý nghĩa và phân loại.

Để quan sát, ghi lại một quá trình công nghệ trong sản xuất, trong nghiên cứu khoa học hay trong thực nghiệm cũng như trong y tế... thông thường không chỉ đo các đại lượng vật lý khác nhau mà còn ghi lại quá trình thay đổi theo thời gian của giá trị của các địa lượng đó. Để thực hiện nhiệm vụ đó người ta sử dụng các dụng cụ tự ghi khác nhau.

Tùy theo kết quả ghi được của các đại lượng cần đo mà có thể xác định các giá trị tức thời cũng như mức độ thay đổi của đại lượng đo, và từ đó mà xác định được mối quan hệ hàm giữa các đại lượng đo v.v...

Có nhiều loại dụng cụ tự ghi, ta có thể phân loại chúng tùy thuộc vào các chỉ tiêu khác nhau:

- **Tùy thuộc vào cấu tạo:** có thể chia thành loại dụng cụ tự ghi một kênh hay nhiều kênh:

- Loại dụng cụ một kênh: là loại chỉ có một bút ghi duy nhất. Ở đầu vào chỉ có một đại lượng đo duy nhất. Ví dụ: các điện thế kế một kênh, dao động kí điện tử một tia...
- Loại dụng cụ nhiều kênh: là loại cùng một lúc phục vụ nhiều đại lượng đo có nhiều bút ghi. Ví dụ: dao động kí ánh sáng nhiều kênh, dao động kí điện tử nhiều tia...

- **Tùy thuộc vào hình thức ghi:** có thể phân biệt thành dụng cụ tự ghi trên băng giấy, băng từ hay in số...

- **Tùy thuộc vào sơ đồ cấu trúc:** có thể phân thành 2 nhóm:

- Dụng cụ đo biến đổi thẳng: là các loại dụng cụ có cấu trúc thực hiện theo các phương pháp biến đổi thẳng
- Dụng cụ đo biến đổi kiểu bù: là các loại dụng cụ có cấu trúc thực hiện theo các phương pháp so sánh.

Dụng cụ tự ghi thường được sử dụng để ghi lại các tín hiệu thay đổi theo thời gian. Cũng có thể là loại dụng cụ tự ghi hai tọa độ cho phép ghi lại quan hệ hàm giữa hai đại lượng điện phụ thuộc nhau.

Về mặt tần số tín hiệu, tùy thuộc vào cấu trúc và nguyên lý của dụng cụ đo mà có thể phục vụ các loại tín hiệu có tần số khác nhau.

- Loại dụng cụ tự ghi cơ điện thông thường: tín hiệu vào thường có tần số trong khoảng $0 \div 150$ Hz.
- Loại doa động kí ánh sáng: tần số của tín hiệu đo có thể đến 25 kHz.
- Loại tự ghi bằng băng từ, đĩa từ: tần số của tín hiệu đo có thể đạt đến hàng chục MHz.
- Loại dao động kí điện tử: có thể sử dụng chi tín hiệu có tần số đến 10GHz.

Các loại thiết bị tự ghi và quan sát ngày nay được cài đặt μ P để điều chỉnh

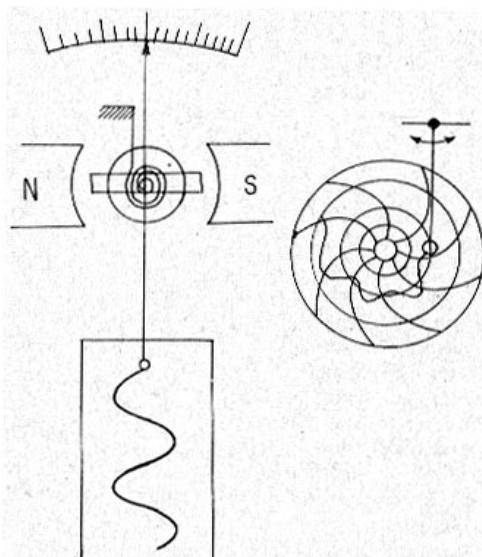
quá trình đo. Các dao động kỹ điện tử sô ra đời cho phép ta không chỉ quan sát một lúc nhiều tín hiệu mà còn cho ta biết cả số chỉ về độ lớn và các thông số khác của tín hiệu nữa.

14.2. Dụng cụ tự ghi trực tiếp.

Là loại dụng cụ đo cơ điện theo phương pháp biến đổi thẳng dựa trên các cơ cấu chỉ thị từ điện hay sắt điện động. Ở đây kim chỉ được gắn với thiết bị ghi (bút ghi) để ghi lại sự thay đổi của tín hiệu theo thời gian. Bút ghi có thể là mực, chì hay bằng phương pháp nhiệt đốt cháy giấy nến...

Cơ cấu chỉ thị thường được sử dụng trong dụng cụ tự ghi phải có mômen quay đủ lớn để thẳng được lực ma sát của bút ghi tì trên giấy. Do vậy thường sử dụng cơ cấu từ điện và sắt điện động vì hai loại cơ cấu này có thể tạo được mômen quay lớn nhờ mạch từ, mômen quay cỡ $0,5 \div 1,0 \text{ Nm}$.

Xét một dụng cụ tự ghi sử dụng cơ cấu chỉ thị từ điện có sơ đồ nguyên lý như hình 14.1:



Hình 14.1. Sơ đồ nguyên lý của dụng cụ tự ghi sử dụng cơ cấu chỉ thị từ điện

Nam châm vĩnh cửu thường phải tạo ra được độ từ cảm tương đối lớn so với dụng cụ từ điện kim chỉ bình thường. Ngoài bút ghi lên băng giấy hay đĩa giấy còn có thể chỉ thị lên băng khắc độ nhờ một kim chỉ nối liền với bút ghi.

Cơ cấu chỉ thị từ điện thường được sử dụng để chế tạo các loại dụng cụ tự ghi như ampemét, vônmét một chiều. Ngoài ra lôgômét từ điện chỉnh lưu có thể sử dụng để chế tạo tần số kế.

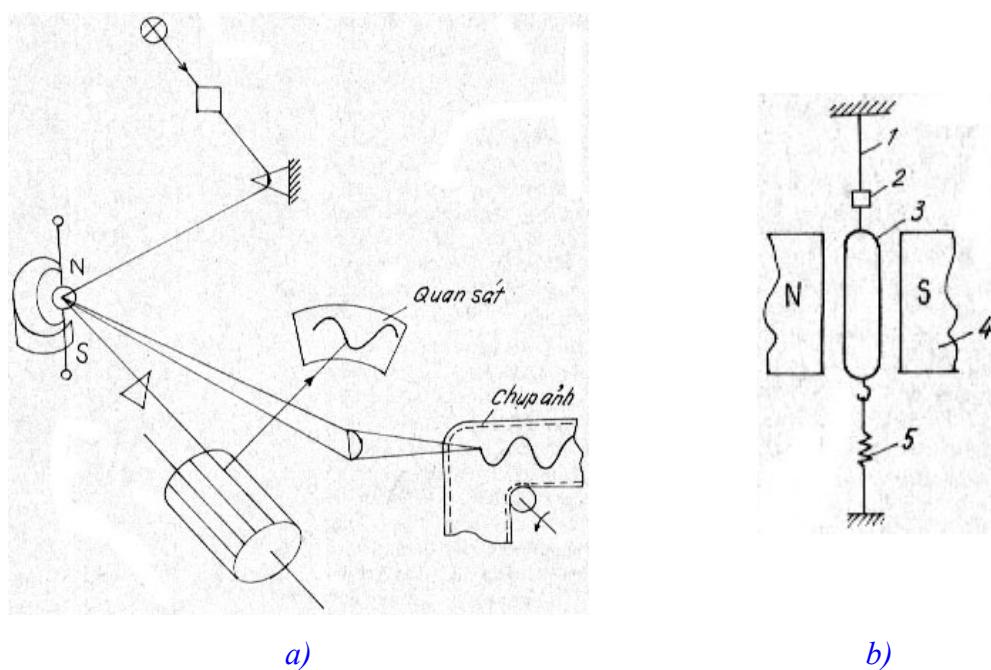
Cơ cấu chỉ thị sắt điện động thường ứng dụng để chế tạo dụng cụ tự ghi các tín hiệu xoay chiều như vônmét, ampemét, watmét, fazomét (hay cosφ mét) mà không sử dụng trong mạch một chiều để tránh hiện tượng từ dư gây ra sai số. Cấp chính xác của dụng cụ sắt điện động cỡ $1,5 \div 2,5$. Tần số làm việc từ $0 \div 150\text{Hz}$ (nhưng thường dùng cho loại tín hiệu có tần số thấp không quá 1Hz). Để loại trừ sai số phi tuyến trong dụng cụ tự ghi sắt điện động thì cần phải tính toán và hiệu chỉnh mạch từ để có thể bù được sai số đó.

14.3. Dao động ký ánh sáng (optical oscilloscope, optical oscillosograph).

14.3.1. Nguyên lý hoạt động, cấu tạo:

Dao động ký ánh sáng là loại dao động kí dùng tia sáng in lên màn hình hay in lên giấy ảnh để quan sát và ghi lại các tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. Đa số các loại dao động ký ánh sáng sử dụng phương pháp chụp ảnh lên giấy ảnh, hiện hình sau vài phút. Bộ phận quan trọng nhất tiếp nhận tín hiệu đó là một cơ cầu chỉ thị từ điện có cấu tạo đặc biệt được gọi là *cơ cầu dao động*.

Về cấu tạo của cơ cầu dao động đã được đề cập ở chương 5 (mục 5.2.4). Thường một dao động ký ánh sáng có chứa từ 3÷50 cơ cầu dao động như vậy. Nó cho phép cùng một lúc quan sát và ghi lại nhiều quá trình khác nhau.



Hình 14.2: Dao động ký ánh sáng:

- a) Sơ đồ cấu tạo của dao động ký ánh sáng
- b) Cấu tạo của cơ cầu dao động

Tần số cực đại của tín hiệu đo có thể đạt đến 25kHz. Khi có tín hiệu đo đi vào cơ cầu dao động sẽ làm cho phần động của cơ cầu dao động theo tần số của tín hiệu cần đo ⇒ làm cho tia sáng phản chiếu qua tấm gương nhỏ gắn vào phần động dao động trên bề mặt băng giấy ảnh đang chuyển động và chụp lại quá trình thay đổi đó. Kết quả ta nhận được đường cong phụ thuộc thời gian.

Đồng thời việc quan sát đường cong được thực hiện bằng những cơ cấu khác: tia sáng qua thấu kính ⇒ đập vào một “trống gương” quay hình trụ tạo ra tia sáng phản chiếu ⇒ tia sáng phản chiếu lên mặt kính mờ và ta quan sát được dạng của đường cong phụ thuộc thời gian.

14.3.2. Cơ cầu dao động:

Cấu tạo: cơ cầu dao động dựa trên cơ cầu chỉ thị từ điện (H.14.2b) có cấu tạo như sau: khung dao động 3 (dài $\approx 10\div 15$ mm, rộng $\approx 0,3\div 0,4$ mm) đặt vào giữa khe hở của nam châm vĩnh cửu 4 và được treo trên dây treo 1 có gắn với gương phản chiếu 2 (có kích thước $\approx 0,5 \times 0,8$ mm).

Nguyên lý hoạt động: khi có dòng chạy qua khung dây sẽ phát sinh mômen quay. Góc quay α thường rất nhỏ (chỉ vài độ) cho nên có thể coi $\cos\alpha \approx 1$.
Giả sử dòng điện i đi vào khung là: $i = I_m \sin\omega t$ thì mômen quay tức thời sẽ là:

$$M_q(t) = B.S.W.I_m \sin\omega t$$

như vậy phương trình chuyển động của phần động có dạng:

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + P \frac{d\alpha}{dt} + D\alpha = B.S.W.I_m \sin\omega t$$

với: J - mômen quán tính ; P - hệ số cản dịu ; D - mômen cản riêng

Giải phương trình vi phân trên có được góc quay của phần động là:

$$\alpha = \frac{\alpha_m}{\sqrt{(1-q^2)^2 + 4\beta^2 q^2}} \cdot \sin\left(qt - \arctg \frac{2\beta q}{1-q^2}\right)$$

với: α_m : góc lệch cực đại: $\alpha_m = \frac{B.S.W.I_m}{D} = k.I_m$

$q = \frac{\omega}{\omega_0} = \omega \sqrt{\frac{J}{D}}$, với ω là tần số của dòng điện, ω_0 là tần số dao động riêng của phần động

β : bậc suy giảm của dao động của phần động.

Như vậy ở chế độ xác lập phần động sẽ thực hiện một dao động có các tính chất:

- **Biên độ:** phụ thuộc vào β và q . So với dòng điện cần đo i , dao động của phần động gấp phải sai số tương đối về biên độ là:

$$\alpha\% = \left[\frac{k}{\sqrt{(1-q^2)^2 + 4\beta^2 q^2}} - 1 \right] \cdot 100$$

nếu chế tạo sao cho $k = 1$ thì sai số $\alpha\% \rightarrow 0$ khi $q \rightarrow 0$; sai số nhỏ nhất khi q trong khoảng $0 \div 0,5$.

- **Góc pha:** lệch pha với dòng điện cần đo i một góc φ phụ thuộc vào β và q . Sai số về góc là:

$$\varphi = \arctg \frac{2\beta q}{1-q^2}$$

Thông thường một loại cơ cấu dao động có tần số riêng ω_0 của nó. Vì vậy khi biết trước tần số của dòng điện ta có thể lựa chọn loại cơ cấu dao động có tần số riêng gần với tần số của tín hiệu cần đo để độ nhạy về dòng là cực đại. Tần số của cơ cấu dao động có thể đạt tới giá trị cực đại là $f_{max} = 25$ kHz.

Ví dụ : Loại cơ cấu dao động M017- 400 có tần số riêng 400Hz. Độ nhạy cực đại với độ dài tia sáng 300mm là $1,06 \cdot 10^{-4}$ mm/mA; dòng cực đại là 1 mA.

Khi cần thiết phải quan sát hay ghi lại tín hiệu có tần số lớn hơn thì phải dùng loại dao động kí có tần số lớn đó là *dao động kí điện tử* (electronic oscilloscope).

14.4. Dao động kí điện tử (electronic oscilloscope).

Dao động kí điện tử (còn gọi là máy hiện sóng điện tử) bao gồm một ống phóng tia điện tử và mạch điện tử để điều khiển và đưa tín hiệu vào. Dao động kí điện tử được sử dụng để quan sát dạng của tín hiệu đồng thời đo một số đại lượng

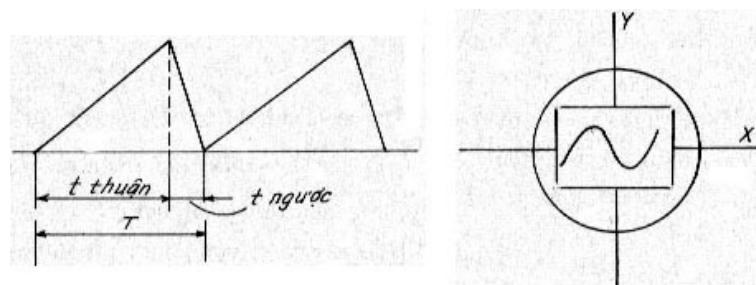
của tín hiệu.

Ông phóng tia điện tử là một đèn chân không, trong đó có các điện tử (electron) phát ra từ catốt bị nung bởi sợi đốt được tạo thành một chùm hẹp và được tăng tốc, bắn về phía màn hình quang. Màn huỳnh quang sẽ phát sáng tại những điểm có chùm tia điện tử đập vào. Chùm tia điện tử được lái theo chiều thẳng đứng Y và chiều ngang X trên màn hình nhờ các điện áp đặt vào các bản cực Y và bản cực X của ống phóng tia điện tử.

Để quan sát một tín hiệu trước tiên ta đặt tín hiệu đó lên hai bản cực Y nhưng đồng thời ở hai bản X cũng đặt vào một điện áp tạo gốc thời gian (gọi là tín hiệu quét - trigger signal, thường là xung có dạng hình răng cưa).

14.4.1. Tín hiệu quét:

Ở hình 14.3a vẽ tượng trưng màn huỳnh quang và các bản cực Y và X. Khi đặt tín hiệu cần quan sát vào hai bản cực Y thì tia điện tử (dưới dạng một chấm sáng) sẽ xê dịch theo chiều thẳng đứng đúng theo sự thay đổi của tín hiệu vào. Nếu không có tác động kéo ngang ra thì ta chỉ thấy một vạch thẳng đứng duy nhất:



Hình 14.3. Sơ đồ nguyên lý màn huỳnh quang và các bản cực của dao động kí điện tử

Để kéo tín hiệu nằm ngang ra người ta sử dụng một tín hiệu tạo gốc thời gian đặt vào hai bản cực X gọi là *tín hiệu quét ngang*. Tín hiệu này có dạng *xung hình răng cưa* (H.14.3b). Nếu tần số của tín hiệu quét nhỏ hơn n lần tần số của tín hiệu cần quan sát thì trên màn ảnh sẽ có n chu kì tín hiệu quan sát.

Nếu tỉ số giữa tần số quét và tần số tín hiệu cần đo là một số nguyên thì trên màn huỳnh quang sẽ xuất hiện một đường cong đứng yên, ngược lại đường cong sẽ chuyển động liên tục trên màn huỳnh quang và ta sẽ không quan sát được gì cả. Vì vậy cần thiết phải có sự đồng bộ giữa tín hiệu vào và tín hiệu quét. Để đạt được sự đồng bộ đó ta điều chỉnh tần số quét bằng một núm điều khiển ở ngay trên mặt của dao động kí đến khi nào hình ảnh trên màn huỳnh quang đứng yên thì thôi.

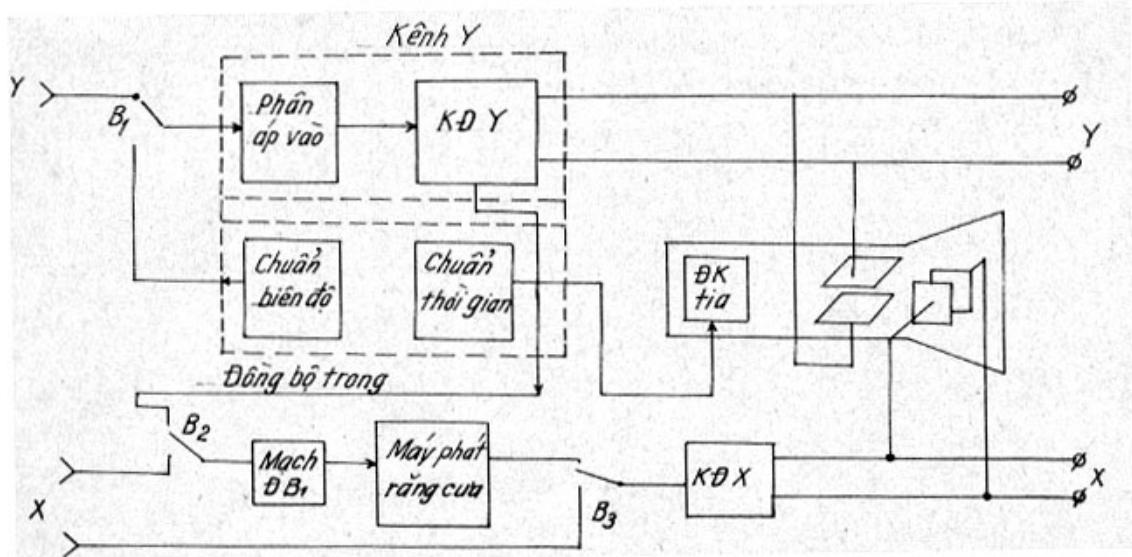
(Xem thêm phần 5.2.4 - chương 5).

14.4.2. Sơ đồ khói một dao động kí thông dụng:

Một dao động kí điện tử cơ bản bao gồm các bộ phận chính như ở hình 14.4: trong sơ đồ này bộ nguồn và mạch điều khiển các điện áp anot và lưới không được thể hiện:

Tín hiệu cần quan sát Y được đưa đến bộ phân áp vào \Rightarrow đến bộ khuếch đại Y (KĐY) và được đưa thẳng vào hai bản cực Y (trường hợp nếu tín hiệu đủ lớn thì không cần qua khuếch đại nữa). Đồng thời tín hiệu từ bộ KĐY được đưa qua

mạch đồng bộ DB để kích thích máy phát răng cưa (máy phát quét), tín hiệu đồng bộ sau đó qua KĐX và đưa vào bản cực X. Trường hợp muốn sử dụng đồng bộ ngoài thì qua B₂ tín hiệu đồng bộ ngoài sẽ được đưa thẳng vào mạch đồng bộ để kích thích cho máy phát quét làm việc.



Hình 14.4. Sơ đồ khối một dao động kí thông dụng

Khi cần đo điện áp: trước tiên công tắc B₁ được chuyển sang bộ phận chuẩn biên độ và quan sát độ lệch của tia khỏi đường “0” ứng với biên độ chuẩn. Sau đó bật B₁ sang vị trí tín hiệu Y để quan sát tỉ lệ giữa biên độ tín hiệu cần đo với biên độ chuẩn từ đó tính ra độ lớn của Y theo tín hiệu chuẩn.

Khi cần đo chu kỳ hoặc tần số: trước tiên cần phải chuẩn thời gian bằng cách đánh dấu từng quãng thời gian ứng với giá trị chuẩn trên toàn tín hiệu, quan sát tỉ lệ giữa chu kỳ của tín hiệu cần đo so với chu kỳ chuẩn từ đó suy ra chu kỳ, tần số của tín hiệu cần đo.

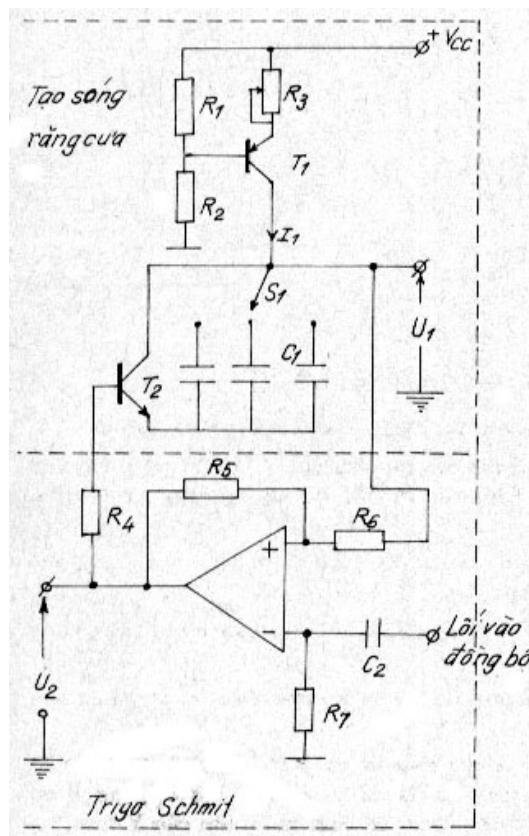
14.4.3. Các đặc tính của dao động kí điện tử:

Độ nhạy: độ nhạy của dao động kí thường thấp vì vậy tín hiệu vào phải qua bộ khuếch đại. Yêu cầu đối với khuếch đại phải như sau:

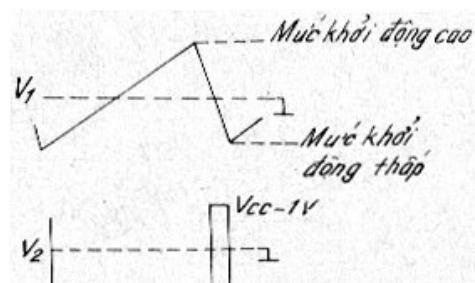
- Có độ méo về biên độ và pha là ít nhất trong dải tần số rộng, nghĩa là hệ số khuếch đại ổn định và góc pha cũng ổn định.
- Quan hệ giữa điện áp ra trên điện áp vào của bộ khuếch đại là tuyến tính trong khoảng rộng.
- Điện trở vào phải lớn ($1 \div 50M\Omega$).
- Thông thường hệ số khuếch đại của kênh Y lớn hơn hệ số khuếch đại của kênh X.

Máy phát quét: máy phát quét thường dùng máy phát răng cưa kiểu phóng nạp tụ có sơ đồ nguyên lý như hình 14.5a: một máy phát bao gồm hai bộ phận chính.

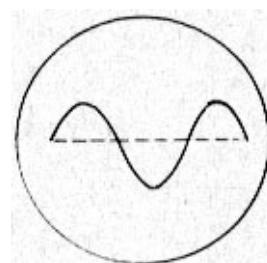
- Một bộ tạo xung răng cưa.
- Mạch trigon schmitt không đảo.



a)



b)



c)

Hình 14.5. Máy phát quét của dao động kỹ điện tử:

- Sơ đồ nguyên lý
- Dạng sóng ở các đầu ra
- Dạng tín hiệu hiển thị trên màn hình

Nguyên lý hoạt động của máy phát răng cưa: bỏ qua giá trị của tụ C_2 thì điện áp vào của Trigor Schmit là điện áp ra U_1 của bộ tạo sóng răng cưa được đưa vào cực không đảo qua điện trở R_6 . Vì bộ KĐTT có hệ số khuếch đại điện áp rất lớn do có hồi tiếp dương qua R_5 (thường hệ số KĐ là $2 \cdot 10^5$) cho nên chỉ cần một sự chênh lệch rất nhỏ giữa hai đầu vào của KĐTT cũng đủ làm cho đầu ra của mạch Trigor Schmit ở trạng thái bão hòa, thường điện áp ra bão hòa là:

$$U_2 = 0,8 \cdot V_{CC} = 0,8 \cdot E$$

(với V_{CC} hoặc E là điện áp nguồn cung cấp cho KĐTT)

Khi có tín hiệu đồng bộ vào Trigor Schmit thì ở đầu ra xuất hiện xung U_2 . Xung này qua T_2 mở khóa T_1 và dòng điện qua T_1 nạp vào tụ C_1 , tạo ra xung răng cưa. Điện áp nạp vào tụ được tính :

$$\Delta U_1 = \frac{I_1 T}{C_1}$$

trong đó ΔU_1 là độ biến thiên điện áp của tụ trong thời gian T .

Điện áp của tụ tiếp tục tăng tuyến tính cho đến mức khởi động cao của Trigor Schmit. Lúc này đầu ra của Trigor Schmit ở mức dương làm T_2 thông và C_1 phóng nhanh qua T_2 . Khi điện áp C_1 giảm xuống mức khởi động dưới của Trigor Schmit tức là đầu ra của mạch khởi động chuyển sang mức âm làm T_2 lại ngắt và điện áp trên C_1 bắt đầu tăng tuyến tính một lần nữa.

Quá trình này lặp đi lặp lại và tạo ra điện áp răng cưa ở đầu ra U_1 , điện áp răng cưa này phụ thuộc vào chu kỳ (tần số) của tín hiệu đồng bộ ở “Lối vào đồng bộ”.

Để đảm bảo điều chỉnh tần số trong dải rộng thì tụ C_1 được bố trí nhiều nắc tụ khác nhau nối song song.

Để làm mất tia quay trở lại (đường chấm chấm ở hình 14.6c) của tia điện tử trong khoảng thời gian $t_{ngược}$ (ứng với giai đoạn phóng của tụ C_1) thì ở thời điểm C_1 bắt đầu phóng ta đặt lên lưới một điện áp âm lớn cản trở không cho tia điện tử đi đến màn huỳnh quang.

Các chế độ làm việc của máy phát: máy phát có thể làm việc ở hai chế độ: chế độ liên tục và chế độ chờ:

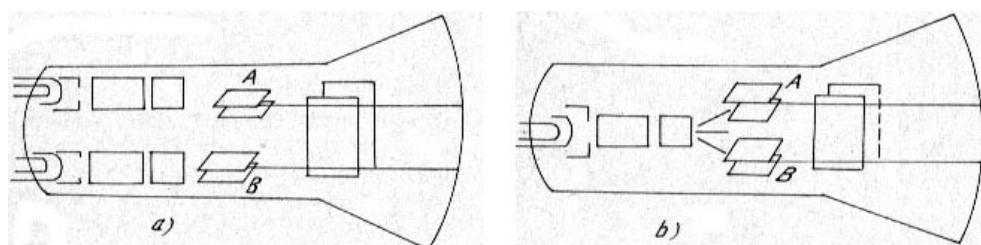
- Chế độ liên tục: là chế độ quét bình thường như đã mô tả ở trên.
- Chế độ chờ: là chế độ để quan sát các xung rời rạc cách nhau khá xa. Lúc ấy máy phát quét được khởi động bởi tín hiệu cần quan sát. Khi có tín hiệu kích thích thì bắt đầu chu kì quét với độ dài nhất định, sự lặp lại chu trình đó sẽ xảy ra chỉ khi có tín hiệu kích thích khác. Như thế việc đồng bộ tín hiệu quét và tín hiệu đo được thực hiện tự động .

Dải tần số của tín hiệu đo: có thể đến 150 MHz tùy thuộc từng loại dao động kí, đối với loại tần số cao có cấu tạo thường khá phức tạp.

Nhược điểm của dao động kí một tia: không có khả năng quan sát một lúc nhiều tín hiệu. Để khắc phục nhược điểm này ta có thể sử dụng *bộ đổi nối* (MUX-multiplexer) bằng khoá điện tử để *lần lượt* đưa nhiều tín hiệu vào dao động kí điện tử. Để đảm bảo độ chính xác thì tần số của bộ đổi nối phải lớn hơn tần số của tín hiệu cần đo nhiều lần tức là $f_{dn} >> f_x$. Ngoài ra có thể sử dụng loại dao động kí có nhiều tia điện tử (thường là có 2 tia) có khả năng đưa nhiều tín hiệu vào cùng một lúc.

14.4.4. Dao động kí điện tử hai tia:

Về mặt cấu tạo dao động kí điện tử hai tia gần tương tự dao động kí một tia. Để tạo ra hai tia có hai cách:

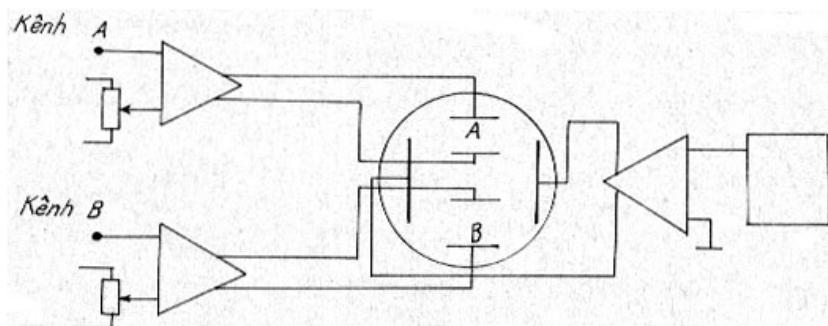


Hình 14.7. Cấu tạo dao động kí điện tử hai tia:

- Tạo hai tia bằng hai chùm phóng tia điện tử độc lập
- Tạo hai tia bằng một chùm tia điện tử được tách làm hai

- Cách thứ nhất: (H.14.7a): dùng hai chùm phóng tia điện tử gồm hai nguồn phát tia điện tử riêng biệt, các anode, lưới và bản cực Y là riêng biệt. Việc điều khiển hai tia hoàn toàn độc lập. Chỉ có bộ phận chung cho cả hai tia đó là hai bản cực X chung cho cả hai chùm.
- Cách thứ hai: (H.14.7b): dùng một chùm tia điện tử nhưng được tách làm hai đi về các bản cực A và B.

Hệ thống lái tia cho hai kênh A và B: có sơ đồ cấu trúc như hình 14.8: bản cực X chung được đặt một tín hiệu quét duy nhất qua bộ khuếch đại X còn các bìa cực Y (A và B) được đưa tín hiệu cần quan sát vào thông qua bộ khuếch đại A và B tương ứng:



Hình 14.8. sơ đồ cấu trúc của hệ thống lái tia cho hai kênh A và B

Với dao động kí điện tử hai tia ta có thể cùng một lúc quan sát được hai tín hiệu hoàn toàn khác nhau. Điều này cho phép so sánh các dạng sóng với nhau về biên độ, pha và chu kỳ. Vì hệ thống khiển ở hai kênh A và B hoàn toàn độc lập nên ta có thể điều chỉnh độc lập từng tia.

14.4.5. Phân loại dao động kí điện tử:

Theo nguyên lý làm việc ta có thể phân thành các loại dao động kí điện tử sau đây :

1. *Dao động kí có chức năng chung thông dụng* là loại dao động kí phổ biến nhất và thường được sử dụng khảo sát các quá trình có tần số thấp, các tín hiệu xung để kiểm tra các thiết bị điện tử. Dải tần số của các loại dao động kí này đến 100MHz, dải điện áp của tín hiệu từ milivôn đến hàng trăm vôn.

2. *Dao động kí vạn năng* là loại dao động kí có nhiều chức năng do có nhiều khói chức năng khác nhau có thể được thay đổi tùy thuộc vào chức năng mà ta muốn sử dụng. Loại dao động kí này được sử dụng để khảo sát các tín hiệu tuần hoàn cũng như tín hiệu xung. Dải tần số của dao động kí có thể đạt tới hàng trăm MHz. Dải điện áp từ hàng chục micrôvôn đến hàng trăm vôn.

3. *Dao động kí tốc độ nhanh* là loại dao động kí để quan sát và ghi lại các tín hiệu xung ngắn, các tín hiệu quá độ, các xung hay tín hiệu tuần hoàn có tần số cao. Dải tần số có thể lên đến hàng chục GHz. Ở loại dao động kí này không có bộ khuếch đại thẳng đứng (khuếch đại Y). Tín hiệu khảo sát được đưa trực tiếp vào hệ thống làm lệch tia của ống phóng tia điện tử. Hệ thống này được chế tạo theo nguyên tắc *sóng chạy* nhờ vậy mà tăng được tốc độ (mở rộng dải tần số) của dao động kí do loại trừ được ảnh hưởng của thời gian bay của điện tử qua khoảng không giữa hai bìa cực.

Ở loại dao động kí này người ta sử dụng loại ống phóng tia điện tử có màn huỳnh quang sống với hệ thống hội tụ từ trường. Nhờ đó mà tăng được tốc độ ghi bằng chụp ảnh.

4. *Dao động kí lấy mẫu* là loại dao động kí dùng để quan sát dạng và đo các thông số của các tín hiệu tuần hoàn trong dải tần rộng đến GHz, dải điện áp từ mV đến vài vôn, có thể ghi một lúc hai hoặc nhiều tín hiệu quan sát. Nó còn

được sử dụng để quan sát các quá trình quá độ trong các mạch điện tử, trong các thí nghiệm vật lý hạt nhân, trong kỹ thuật viễn thông, kỹ thuật đo lường...

Nguyên lý của dao động kí lamy mẫu dựa trên việc biến đổi tọa độ thời gian của phô tín hiệu khảo sát $u(t)$ bằng phương pháp điều chế biến độ xung sau đó khuếch đại và nới rộng tín hiệu đã điều chế, tiếp theo lại biến đổi trở lại tín hiệu ban đầu bằng giải điều chế.

5. *Dao động kí có nhớ:* gồm dao động kí có nhớ tương tự và dao động kí có nhớ số: là loại dao động kí để khảo sát các loại tín hiệu tức thời, tuần hoàn chậm, hay tín hiệu ngắn, tín hiệu quá độ...

Đối với dao động kí có nhớ tương tự thì quá trình nhớ tín hiệu được thực hiện bằng ống phóng tia điện tử có nhớ: trong ống phóng này tín hiệu sẽ được biến thành điện tích và được lưu trữ trong một khoảng thời gian nhatá định và sau đó được phục hồi lại.

Đối với dao động kí điện tử có nhớ số thì quá trình nhớ tín hiệu được thực hiện nhờ việc chuyển đổi tín hiệu cần đo thành tín hiệu số và lưu giữ trong bộ nhớ.

Dải tần số của dao động kí có nhớ có thể đến 150 MHz với tốc độ ghi đến 4000km/s. Dải tín hiệu từ hàng chục mV đến hàng trăm vôn. Có thể ghi hai tín hiệu cùng một lúc.

6. *Dao động kí đặc trưng* là loại dao động kí để khảo sát các tín hiệu vô tuyến truyền hình. Nó có cài đặt bộ di pha cho phép khảo sát bất kì đoạn nào của tín hiệu truyền hình với độ ổn định theo thời gian cao.

7. *Dao động kí số* là loại dao động kí có nhớ số. Nguyên lí làm việc dựa trên việc số hoá tín hiệu khảo sát nhờ một bộ chuyển đổi A/D. Các mẫu được ghi vào bộ nhớ, sau đó được biến đổi thành tương tự cho các mục đích hiển thị.

Ưu điểm của dao động kí số là có thể nhớ các dạng sóng một cách thuận tiện nhờ việc lưu trữ được thực hiện với tín hiệu số với các ưu điểm: có khả năng nhớ các giá trị tức thời, thông tin lưu trữ trong thời gian dài, việc xử lý thông tin dễ dàng...

8. *Dao động kí có cài đặt μP* là loại dao động kí số “thông minh” mọi chức năng của dao động kí đều do μP điều khiển. Nhờ có μP mà có thể tự động chọn thang đo, tự động tính giá trị khoảng thời gian và khoảng điện áp, tự động cho ra thông tin dưới dạng số và kiểm tra chế độ làm việc...

14.4.6. *Ứng dụng của dao động lý điện tử trong đo lường:*

Trong kỹ thuật đo lường nói riêng và khoa học kỹ thuật nói chung dao động kí điện tử có rất nhiều ứng dụng. Việc lựa chọn loại dao động kí phù hợp phụ thuộc vào chức năng và khả năng đo lường của nó như khoảng thời gian đo, dải tần số, biên độ, độ dài tín hiệu, độ chính xác việc đo biên độ và thời gian của tín hiệu, khả năng ghi nhớ và thể hiện tín hiệu...

Sau đây sẽ lần lượt xét một số ứng dụng của dao động kí:

a) *Ứng dụng để quan sát tín hiệu:* để quan sát dạng đường cong phụ thuộc thời gian của một tín hiệu (dưới dạng điện áp) ta có thể đặt tín hiệu vào đầu vào Y của dao động kí. Đặt chế độ đồng bộ trong, điều chỉnh tần số của máy phát

quét sao cho tín hiệu đứng yên trên màn hình là được.

Một dao động kí hiện đại có thể quan sát tín hiệu có hình dạng bất kỳ và tần số có thể đến 150 MHz. Một số dao động kí có thể nhớ tín hiệu hoặc chụp lại tín hiệu theo ý muốn.

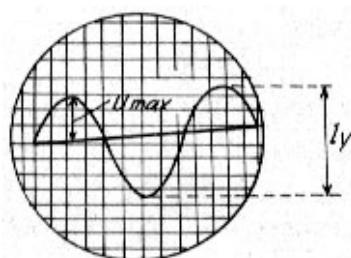
Chú ý: điện áp đặt vào bản cực Y thường phải đạt một giá trị nhất định vì độ nhạy của ống phóng tia điện tử thấp nên thường tín hiệu vào phải qua bộ khuếch đại Y có hệ số khuếch đại điều chỉnh được.

b) Ứng dụng dao động kí điện tử để đo điện áp: để đo điện áp trước tiên cần đưa tín hiệu điện áp chuẩn U_{ch} vào dao động kí (có sẵn trong dao động kí hoặc bằng cách đưa điện áp chuẩn từ ngoài vào dao động kí). Tiếp theo tiến hành quan sát độ lệch của tia điện tử (so với vạch chuẩn 0) ứng với điện áp chuẩn để tính độ nhạy S_u :

$$S_u = U_{ch} / \text{số vạch}$$

Sau đó cho điện áp cần đo vào kênh Y. Quan sát độ lệch I_Y (vạch) của tia điện tử (so với vạch chuẩn 0) ứng với điện áp của tín hiệu cần đo sẽ tính được điện áp của tín hiệu cần đo:

$$U_{max} = I_Y \cdot 2 \cdot S_u$$



Hình 14.9. Ứng dụng dao động kí điện tử để đo điện áp

Độ nhạy của dao động kí S_u có thể được xác định trên nút điều chỉnh “độ nhạy” (V/DIV) của dao động kí.

c) Đo tần số bằng dao động kí: tần số của tín hiệu nghiên cứu có thể xác định nếu ta đưa tín hiệu có tần số cần đo vào đầu vào Y của dao động kí điện tử. Nếu điều chỉnh để tín hiệu quét chuẩn có tần số là bội số của tần số tín hiệu vào thì ta sẽ nhận được trên màn huỳnh quang một số chu kỳ của tín hiệu nghiên cứu. Lúc đó tần số của tín hiệu cần đo được tính:

$$f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{N}{t_x}$$

với: N số chu kỳ quan sát được ; t_x khoảng thời gian đo được.

Độ chính xác của phép đo có thể tăng lên nếu phép đo tần số được thực hiện bằng phương pháp so sánh tần số cần đo với tần số chuẩn. Dao động kí lúc đó với tư cách là một chỉ thị.

Ngoài ra còn có một số phương pháp đo tần số bằng dao động kí gồm: đo tần số tín hiệu theo hình Lisaju, đo tần số của tín hiệu ở chế độ quét vòng.

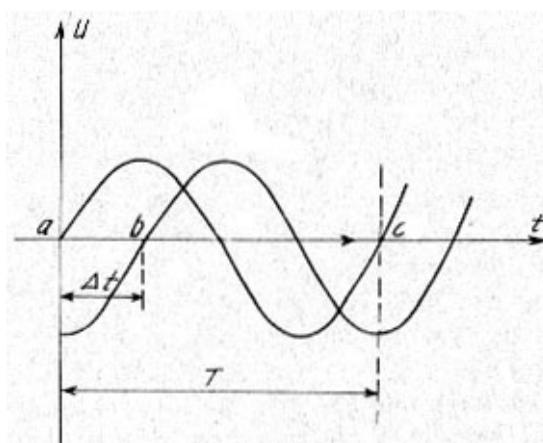
d) Đo góc pha bằng dao động kí điện tử: đo góc lệch pha giữa hai điện áp có tần số giống nhau có thể sử dụng dao động kí điện tử. Phương pháp đo đơn giản và được sử dụng rộng rãi khi đo thô (độ chính xác thấp) sử dụng dao động kí 2 tia hay dùng hình Lisaju.

Đo góc lệch pha dùng dao động kí hai tia: với dao động kí hai tia ở chế độ quét tuyến tính ta có thể đo góc lệch pha giữa 2 tín hiệu u_1, u_2 có tần số như nhau. Hai tín hiệu u_1, u_2 được đặt vào đầu vào Y của cả hai kênh:

$$\begin{cases} u_1 = U_{m1} \sin \omega t \\ u_2 = U_{m2} \sin(\omega t - \psi) \end{cases}$$

trong đó ψ là góc lệch pha giữa hai tín hiệu là đại lượng cần đo.

Điều chỉnh cho hai tín hiệu trùng nhau theo trực thời gian t và quan sát các tín hiệu u_1, u_2 như ở hình 14.10:



Hình 14.10. Đo góc lệch pha dùng dao động kí hai tia

Đo các đoạn thẳng ab, ac tương ứng với các khoảng cách thời gian Δt và T. Từ đó ta tính được góc lệch pha cần đo là:

$$\psi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ = \left[\frac{ab}{ac} \right] \cdot 360^\circ$$

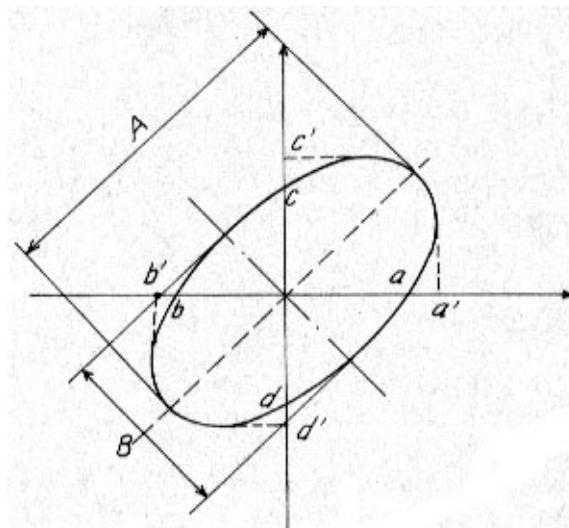
Nguồn sai số của phép đo này là do sự xê dịch trực hoành; do việc đo khoảng ab, ac không chính xác và do độ nét (rộng hay mảnh) của tia điện tử.

Đo góc lệch pha sử dụng hình Lisaju: điện áp u_1 được đưa đến hai bản cực thẳng đứng Y còn điện áp u_2 được đặt vào hai bản cực nằm ngang X. Ta sẽ nhận được hình Lisaju là một hình elip (chú ý lúc ấy máy phát quét phải được ngắt ra). Điều chỉnh cho tâm của hình elip trùng với gốc toạ độ (H.14.11), tìm điểm cắt của hình elip với trực hoành và hoành độ lớn nhất của hình elip.

Khi $t = 0$ hay $t = \pi / \omega$ thì điện áp đặt vào hai bản cực Y là $u_1 = 0$ còn điện áp đặt vào hai bản cực X là $u_2 = U_{m2} \sin \psi$ hoặc $u_2 = -U_{m2} \sin \psi$. Đoạn thẳng ab của elip sẽ tỉ lệ với $2U_{m2} \sin \psi$, còn a'b' thì tỉ lệ với giá trị cực đại $2U_{m2}$ (tương ứng với độ lệch nhất của tia điện tử theo chiều nằm ngang), suy ra góc lệch pha sẽ là:

$$\psi = \arcsin \left[\frac{ab}{a'b'} \right] = \arcsin \left[\frac{A}{B} \right]$$

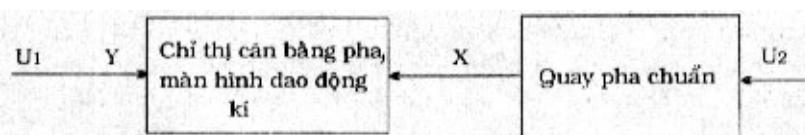
Theo phương pháp này ta có thể đo được góc lệch pha nhưng không biết được dấu của nó. Để xác định dấu của góc pha ta dùng phương pháp sau: đặt điện áp u_2 vào bản cực X của dao động kí đồng thời đặt lên cực điều khiển ống phóng tia điện tử với góc lệch pha là 90^0 . Khi phần trên của elip thấy sáng hơn thì góc lệch pha dương, còn khi phần dưới của elip sẽ sáng hơn thì góc lệch pha âm.



Hình 14.11. Xác định góc lệch pha sử dụng hình Lisaju

Sai số của phép đo có thể đạt tới $5 \div 10\%$. Nguyên nhân của sai số là do việc xác định độ dài các đoạn không chính xác, do độ rộng của tia điện tử, độ biến dạng của hình elip do các sóng hài bậc cao, sai số góc của các bộ khuếch đại ...

Đo góc lệch pha bằng phương pháp bù: để nâng cao độ chính xác ta có thể sử dụng phương pháp bù. Nội dung của phương pháp như sau: tín hiệu u_1 được đặt vào hai bản cực Y còn tín hiệu u_2 được đặt vào X nhưng qua một bộ quay pha chuẩn (H.14.12) thành tín hiệu u_{2qp} , hai tín hiệu này bằng nhau về biên độ nhưng ngược pha nhau.:



Hình 14.12. Sơ đồ đo góc lệch pha bằng phương pháp bù

Điều chỉnh u_{2qp} ở bản cực X (nhờ bộ quay pha chuẩn) cho đến khi góc lệch pha của u_1 và u_{2qp} bằng 0 hay 180^0 , khi đó trên màn hình của dao động kí (chỉ thị cân bằng pha) sẽ xuất hiện đường thẳng nằm nghiêng về bên phải so với trục tung (nếu góc lệch pha là ψ) hoặc về bên trái so với trục tung (nếu góc lệch pha là $180^0 - \psi$). Góc lệch pha cần đo được đọc trên mặt khắc độ của bộ quay pha chuẩn.

CHƯƠNG 15.

ĐO VÀ THỬ NGHIỆM CÁC ĐẠI LƯỢNG TỪ (2 LT)

15.1. Các cơ sở chung.

Trong các thiết bị điện và điện tử sử dụng rất nhiều vật liệu từ, các phương pháp từ cũng được sử dụng trong nghiên cứu vật liệu bán dẫn, siêu dẫn và các hạt cơ bản. Trong việc thăm dò khoáng sản phương pháp từ cũng chiếm vai trò quan trọng.

Nội dung của đo lường từ được tóm tắt như sau:

1. Đo các đại lượng từ: đo cường độ từ trường H, cảm ứng từ B: trong không khí, trong các vật liệu từ như:

- Đo cường độ từ trường Trái đất, các thiên thể
- Đo trường phân bố từ trường trong thăm dò địa chất và thám khai thác.
- Đo mômen từ
- ...

2. Nghiên cứu vật liệu sắt từ: vật liệu sắt từ có hai loại: sắt từ cứng và sắt từ mềm.

Trong vật liệu sắt từ mềm thường cần xác định đường quan hệ $B(H)$ hoặc $\mu(H)$. Ngoài ra còn cần đo cảm ứng từ bão hòa B_s , lực khử từ H_c .

3. Trong các thiết bị điện có hình dáng mạch từ phức tạp: việc đánh giá hiệu quả của mạch từ được thực hiện bằng phương pháp đo cường độ từ trường, cảm ứng từ trong các bộ phận khác nhau của mạch từ.

4. Trong nghiên cứu cấu trúc vật chất: phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân và cộng hưởng từ điện tử là một trong các phương pháp có hiệu quả và đạt độ chính xác cao.

5. Xác định khuyết tật trong các chi tiết máy và xác định kích thước của các chi tiết trong gia công cơ khí bằng phương pháp từ: là lĩnh vực quan trọng của đo lường từ. Khuyết tật có thể xác định tổng hợp hay cục bộ thông qua từ dẫn hoặc điện trở suất của chi tiết, hoặc thông qua điện cảm L hay hổ cảm M của cuộn dây có lõi là chi tiết kiểm tra.

15.2. Các phương pháp đo từ thông, cảm ứng từ, cường độ từ trường.

15.2.1. Tổng quan các phương pháp đo từ thông, cảm ứng từ, cường độ từ trường:

Trong các lĩnh vực khác nhau khoảng đo rất khác nhau và yêu cầu về độ chính xác khác nhau, khả năng phân ly cũng rất khác nhau. Tuy nhiên ta cũng có thể suy ra các đại lượng cơ bản cần đo và những ứng dụng của chúng trong các lĩnh vực khác nhau. Nói chung đo các đại lượng từ được quy về các phép đo: đo cường độ từ trường, đo cảm ứng từ, đo từ thông.

Đo cường độ từ trường, cảm ứng từ hay từ thông liên quan đến nhau. Đại đa số trường hợp ta có thể đo các đại lượng này để suy ra các đại lượng kia. Vì thế mà đại đa số các thiết bị đo từ được gọi là từ thông kế (Teslamet) chủ yếu đo từ

thông Φ và cảm ứng từ B. Từ kế magnitômet - chủ yếu đo cường độ từ trường H.

Đặc điểm thứ hai của đo lường từ đó là khi có thiết bị đo không phải là đã có thể đo ngay được các đại lượng từ cần thiết mà nhiều khi còn phải tính toán tạo mẫu thử và việc này cũng đòi hỏi những kiến thức tối thiểu về đo lường từ.

Các đại lượng từ nói trên có quan hệ với nhau thông qua quan hệ sau:

$$\psi = \Phi \cdot W \quad (15.1)$$

trong đó: ψ - từ thông mõm vòng

Φ - từ thông

W - số vòng dây của cuộn dây mõm vòng vào từ thông

$$\Phi = B \cdot S \quad (15.2)$$

trong đó: B - từ cảm ứng

S - diện tích mà từ cảm xuyêng qua.

$$B = \mu \cdot H \quad (15.3)$$

trong đó: μ - Hệ số dẫn từ của vật liệu

H - Cường độ từ trường.

$$H = \frac{I \cdot W}{l} \quad (15.4)$$

trong đó: $I \cdot W = F$: sức từ động do cuộn dây kích từ tạo ra

l - chiều dài của mạch từ

Ta có:

$$\Phi = \frac{I \cdot W}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}}$$

Từ trở của mạch từ:

$$R_M = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$$

Điện cảm của cuộn dây:

$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{W^2}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}} = \frac{W^2}{R_M} \quad (15.5)$$

Các phương pháp đo các đại lượng từ:

<ul style="list-style-type: none"> - Phương pháp cảm ứng - Từ thông kế từ điện - Đo từ thông bằng điện kế xung kích - Từ thông kế theo phương pháp khuếch đại tích phân 	<ul style="list-style-type: none"> - Từ thông kế chuyển đổi Hall - Đo từ trường bằng cảm biến điều chế (đò từ) - Đo từ trường bằng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân - Đo từ trường bằng hiệu ứng siêu dẫn
---	---

15.2.2. Phương pháp cảm ứng:

Nguyên lý hoạt động: điểm cơ bản của phương pháp này là tạo ra một sự biến thiên từ thông mõm vòng vào một cuộn dây đo lường. Biến thiên từ thông mõm vòng cảm ứng ra sức điện động:

$$e = \frac{d\psi}{dt} \Rightarrow d\psi = edt$$

lấy tích phân $d\psi$ ta được:

$$\psi = [\psi]_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} edt \Rightarrow \psi_2 - \psi_1 = \Delta\psi = \int_{t_1}^{t_2} edt$$

hoặc:

$$\Delta\psi = R \cdot q$$

với q là điện tích chạy trong mạch đo.

Để tạo ra sự biến thiên từ thông có thể làm như sau:

- Rút cuộn dây đo ở trong từ trường cần đo ra ngoài không khí như thế ψ_1 là từ trường cần đo, còn $\psi_2 = 0$.

- Quay ngược cuộn dây để cho từ thông móc vòng biến thiên từ $-\psi$ đến $+\psi$

- Quay cuộn dây trong từ trường cần đo, đo sức điện động cảm ứng:

$$e = \psi_{\max}\omega \cdot \cos\omega t$$

- Thay đổi chiều dòng điện kích từ trong mạch từ:

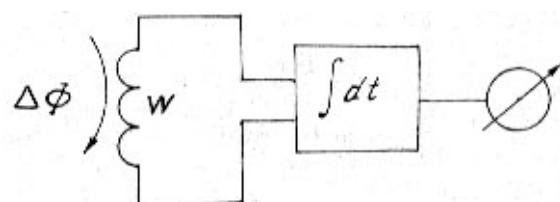
$$\Delta\psi = 2\psi_{do}$$

- Rung cuộn dây đo với biên độ không đổi, tạo ra sự biến thiên từ thông $\Delta\psi = \psi_{\max} - \psi_{\min}$, sức điện động cảm ứng được đưa vào một khuếch đại tích phân: điện áp ra của khuếch đại sẽ là :

$$U = \int_0^t e \cdot dt$$

Như vậy U - tỷ lệ với từ thông móc vòng của cuộn dây đo. Ta gọi thiết bị này là từ thông kế.

Cấu tạo: có sơ đồ nguyên lý cấu tạo như hình 15.1:



Hình 15.1. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của từ thông kế theo phương pháp cảm ứng

15.2.3. Từ thông kế từ điện:

Nguyên lý hoạt động: trong từ thông kế từ điện, dụng cụ tích phân là một cơ cấu từ điện không có mômen phản kháng tức là dòng điện vào ra từ thông kế đi qua một dây mảnh không có mômen phản kháng. Điện trở cuộn dây đo và khung quay của từ thông kế nhỏ vì vậy thành phần chủ yếu của mômen trong hệ cơ khí này là thành phần cản dịu.

Phương trình cân bằng mômen trong hệ này là:

$$P \cdot \frac{d\alpha}{dt} = M_q = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

với: P là hệ số cản dịu: $P = \frac{1}{B \cdot S \cdot W}$

M_q - mômen quay gây nên bởi dòng điện cảm ứng:

$$M_q = B \cdot S \cdot W \cdot I = \frac{B \cdot S \cdot W}{R} \cdot e$$

Phương trình trở thành:

$$\frac{R}{(B.S.W)^2} \cdot d\alpha = edt$$

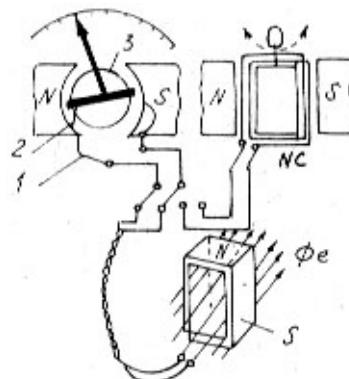
Lấy tích phân hai vế:

$$\begin{aligned} \frac{R}{(B.S.W)^2} \cdot [\alpha]_{\alpha_1}^{\alpha_2} &= \int_{t_1}^{t_2} edt = [\psi]_{t_1}^{t_2} \\ \Rightarrow \alpha_2 - \alpha_1 &= \frac{(B.S.W)^2}{R} [\psi_2 - \psi_1] \\ \Leftrightarrow \Delta\psi &= R.C_\Phi (\alpha_2 - \alpha_1) \end{aligned}$$

với C_Φ được gọi là hằng số từ thông kế:

$$C_\Phi = \frac{1}{(B.S.W)^2}$$

Cấu tạo: như hình 15.2:



Hình 15.2. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của từ thông kế từ điện.

15.2.4. Đo từ thông bằng điện kế xung kích:

Nguyên lý hoạt động: điện kế xung kích là một cơ cấu từ điện có quán tính của phần động rất lớn, do đó thành phần chủ yếu trong phương trình cân bằng mômen là mômen động năng.

Ta có thể viết:

$$J \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{P \cdot d\alpha}{dt} + D \cdot \alpha = B.S.W.I$$

tích phân 2 vế ta có:

$$J \cdot \frac{d\alpha}{dt} + P \cdot \alpha = B.S.W.q$$

Với $v = \frac{d\alpha}{dt}$ có:

$$J.v + P.\alpha = B.S.W.q$$

Tại thời điểm $v = 0$ ta coi $\alpha = \alpha_{\max}$, phương trình trên trở thành:

$$P \cdot \alpha_{\max} = B.S.W.q \Rightarrow \alpha_{\max} = \frac{B.S.W.q}{P}$$

mặt khác hệ số cản dịa P là: $P = \frac{1}{B.S.W}$

suy ra:

$$\alpha_{\max} = (B.S.W)^2 q$$

với q là điện tích chạy trong mạch đo: $q = \Delta\psi / R$

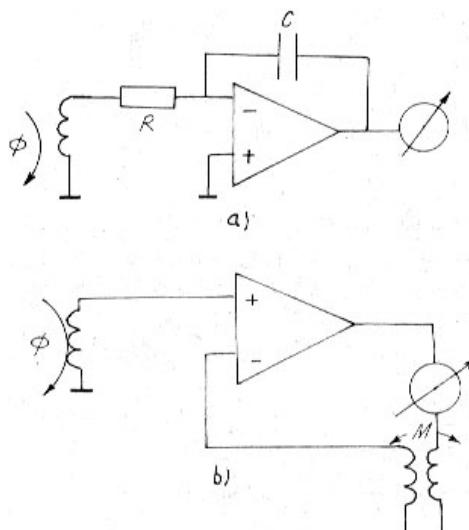
nhiều vây: $\alpha_{\max} = \frac{(B.S.W)^2 \Delta\psi}{R} \Rightarrow \Delta\psi = R.C_b.\alpha_{\max}$

với: C_b : hằng số xung kích của điện kế

R : tổng điện trở trong mạch đo

15.2.5. Tùy chỉnh kế theo phương pháp khuếch đại tích phân:

Cấu tạo: khuếch đại tích phân có thể thực hiện trên khuếch đại thuần hay một khuếch đại có hệ số khuếch đại lớn, phản hồi bằng mạch RC hay bằng cuộn dây hổ cảm. Sơ đồ của tùy chỉnh kế bằng khuếch đại tích phân cho ở hình 15.3:



Hình 15.3. Sơ đồ của tùy chỉnh kế bằng khuếch đại tích phân

Nguyên lý hoạt động: trong sơ đồ hình 15.3a ta có :

$$U_{ra} = \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} edt = \frac{1}{RC} \Delta\psi \quad \text{và:} \quad \Delta\psi = (U_2 - U_1)RC$$

với: U_1 : điện áp đầu ra ứng với ψ_1

U_2 : điện áp đầu ra ứng với ψ_2

Trong sơ đồ hình 15.3b ta có: mạch phản hồi là cuộn dây hổ cảm M_{12}

Sức điện động đầu vào $e_v = d\psi / dt$ được cân bằng với sức điện động hổ cảm $e_k = M_{12} \cdot dI / dt$, suy ra:

$$\frac{d\psi}{dt} = M_{12} \frac{dI}{dt}$$

lấy tích phân hai vế ta có:

$$[\psi]_{t_1}^{t_2} = M_{12} [I]_{t_1}^{t_2}$$

$$\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1 = M_{12} \cdot [I_2 - I_1]$$

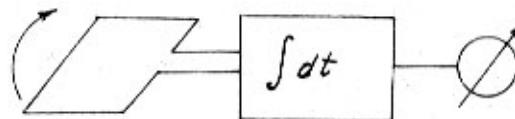
Ví dụ: trong micrôwêbemet $\Phi 190$ người ta sử dụng một khuếch đại điện kế có ngưỡng nhạy thấp, ít nhiễu. Thang đo đạt được 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 micrôWêber, sai số 1,5%.

Khuếch đại tích phân kiểu này cũng được sử dụng trong trường hợp đo từ trường bằng cuộn dây quay hay cuộn dây rung:

Ta có sức điện động cảm ứng vào của cuộn dây.

$$e = \frac{d\psi}{dt} = \psi_m \cdot \omega \cos \omega t$$

với:
 ψ_m - từ thông mõm vòng cực đại.
 ω - tần số góc của cuộn dây quay



Hình 15.4. Đo từ thông bằng cuộn dây quay

Qua khuếch đại tích phân (H.15.4) ta có:

$$\begin{aligned} U_{ra} &= k \int e dt = k \int \psi_m \omega \cos \omega t \cdot dt \\ \Leftrightarrow U_{ra} &= k \psi_m \sin \omega t \end{aligned}$$

như vậy U_{ra} tỉ lệ với ψ_m , đo điện U_{ra} có thể suy ra từ thông ψ_m .

15.2.6. Từ thông kế chuyển đổi Hall:

Nguyên lý hoạt động: chuyển đổi (cảm biến) Hall là một mảnh mỏng bán dẫn kết cấu đặc biệt. Khi có dòng điện i chạy dọc theo tấm bán dẫn đồng thời có từ cảm ứng B tác động lên bề mặt xuyên qua tấm bán dẫn thì ở trên hai cực điện nằm trên hai thành ngang của tấm bán dẫn xuất hiện sức điện động theo hiệu ứng Hall:

$$E_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \psi$$

trong đó:
 ψ - là góc lệch giữa I và B
 K_H - hệ số hiệu ứng Hall
 I - dòng điện chạy dọc tấm cảm biến
 B - từ cảm xuyên qua tấm cảm biến

Từ cảm ứng B có thể một chiều hoặc xoay chiều. Trong trường hợp B là một chiều, nếu dòng điện I cũng là một chiều thì do sự chế tạo không đối xứng lúc chưa có B trên hai điện cực áp của cảm biến cũng có điện áp không cân bằng một chiều, do đó nếu dùng khuếch đại một chiều ta phải bố trí mạch bù zêrô ban đầu. Hiện tượng này được khử đi khi dùng khuếch đại xoay chiều tức là dòng điện I cung cấp là dòng xoay chiều.

Khi đo từ cảm ứng nhỏ, sức điện động Hall rất nhỏ vì vậy hệ số khuếch đại phải lớn, do vậy để đảm bảo độ chính xác của phép đo người ta dùng phương pháp bù: tức là dòng điện ra của khuếch đại sau khi chỉnh lưu được đưa vào cuộn dây tạo ra từ trường bù với từ trường cần đo:

$$B_k = \mu \frac{W}{l} I_{ra}$$

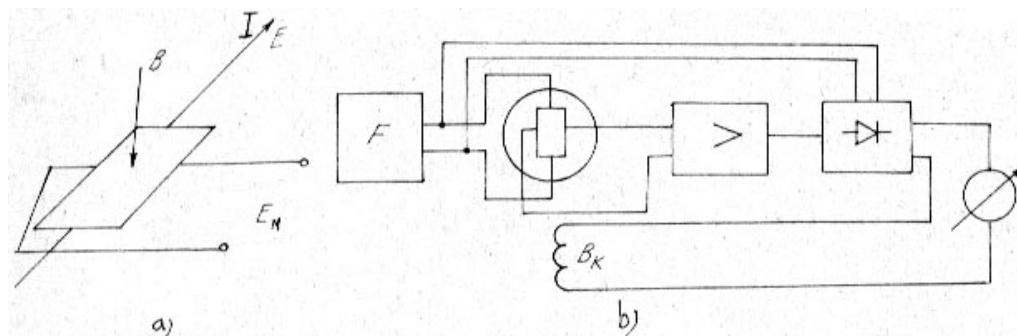
Với hệ số khuếch đại của mạch rất cao ta có:

$$B = B_k = \mu \frac{W}{l} I_{ra}$$

đo I_{ra} ta có thể suy ra B .

Cấu tạo: sơ đồ của từ thông kế dùng chuyển đổi Hall cho ở hình 15.6: chuyển đổi Hall được cung cấp bằng một nguồn xoay chiều tần số 1000Hz.

Điện áp ra của cảm biến được khuếch đại và giải điều chế rồi đưa vào cuộn dây bù tạo ra B_k . Nếu hệ số khuếch đại đủ lớn B có thể coi là bằng B_k :



Hình 15.5. Sơ đồ của từ thông kế dùng chuyển đổi Hall

15.2.7. Đo từ trường bằng cảm biến điều chế (dò từ):

Nguyên lý hoạt động: hai lõi sắt từ có hệ số từ rất cao (pecmalôi) hoàn toàn giống nhau được kích từ bằng một từ trường H_1 với tần số f_1 .

Cuộn dây thứ cấp W_2 nối xung đối nhau. Khi chưa có tác dụng của từ trường một chiều ở ngoài: do tính đối xứng của hai biến áp điện áp ra bằng zérô; khi có từ trường ngoài tác động vào lõi thép của bộ điều chế từ thì sự cân bằng từ trong hai lõi bị phá vỡ và có suất điện động xuất hiện ở đầu ra E_2 :

$$E_2 = k \cdot B_1 \cdot \frac{d\mu}{dH_1} \mu \cdot f_2 \cdot H_x$$

trong đó: E_2 : sức điện động thứ cấp của điều chế từ có tần số là $f_2 = 2f_1$

B_1, H_1 : là cảm ứng từ và cường độ từ trường kích thích

μ : hệ số dẫn từ của lõi

H_x : từ trường một chiều cần đo.

Cấu tạo: cấu tạo của điều chế có nhiều dạng khác nhau như ở hình 15.6:

Trong hình 15.7a: lõi của dò từ gồm hai thanh pecmalôi thẳng đặt song song được kích từ theo hai chiều ngược nhau, cuộn dây thứ cấp W_2 được bọc ngoài cả hai lõi thép. Từ trường đo có chiều đọc theo hai lõi thép.

Dò từ loại này có độ nhạy thấp nên phải có khuếch đại và tách sóng có điều khiển ở ở tần số $f_2 = 2f_1$,

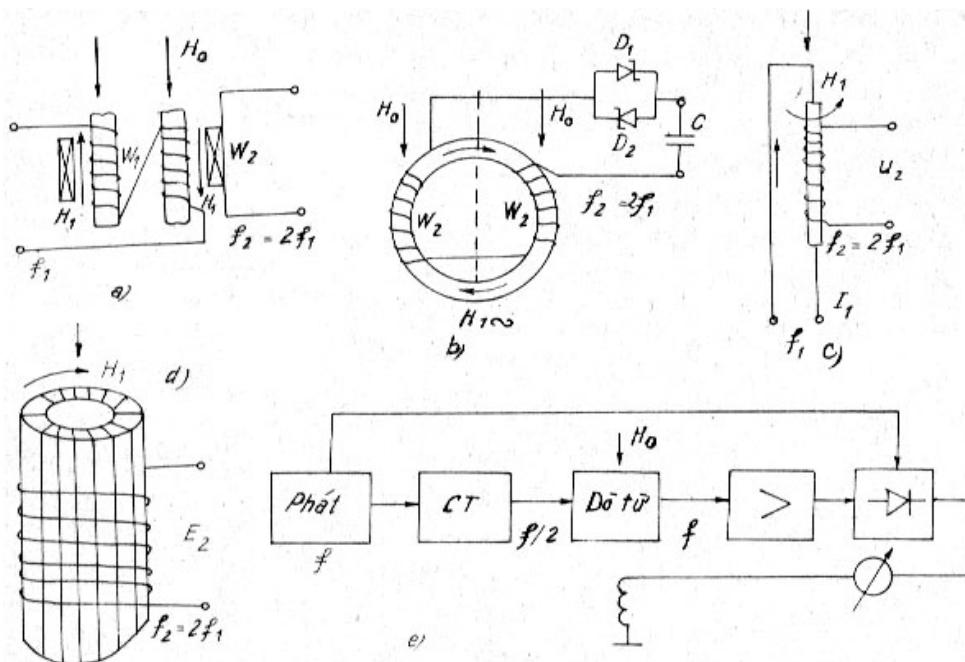
Trong hình 15.6b: dò từ được tạo nên bằng một hìn xuyến chia làm hai phần đối xứng. Cuộn dây kích từ W_1 được bố trí rải đều trên mạch từ. Cuộn dây thứ cấp W_2 chia làm hai phân đoạn bố trí đối xứng qua một đường kính (trục đo của từ trường H) và nối xung đối nhau.

Sơ đồ của thiết bị đo cường độ từ trường bằng dò từ xuyến có độ nhạy cao nên có thể trực tiếp đưa vào dụng cụ đo không cần khuếch đại. Dòng kích từ có tần số 5 kHz. Tần số thứ cấp có thành phần điều hoà bậc chẵn tỉ lệ với từ trường đo H_x . Điện áp ra E_2 lớn nên có thể dùng bộ tách sóng bậc chẵn đơn giản bằng hai diốt ổn áp.

Trong hình 15.6c: dò từ được tạo nên bằng một ống vật liệu có hệ số dẫn từ μ cao. Cuộn kích từ được quấn như cuộn dây hìn xuyến và phân bố đều trên khắp tiết diện. Cuộn dây đo được quấn ngang ống.

Dò từ được kích từ bằng dòng xoay chiều có tần số $f_1 = 5 \div 10$ kHz phụ thuộc

vào chiều dày của thép chế tạo lõi. Độ nhạy của dò từ đo từ trường rất cao do đó cho phép đo những từ trường rất nhỏ cỡ $10^{-9} \div 10^{-4}$ A/m.



Hình 15.6. Đo từ trường bằng cảm biến điều chỉnh (dò từ):

- Cấu tạo của cảm biến dò từ lõi thẳng
- Cấu tạo của cảm biến dò từ hình xuyên
- Cấu tạo của cảm biến dò từ kích từ đọc
- Cấu tạo của cảm biến dò từ hình ống
- Sơ đồ khái niệm lý dụng cụ đo từ trường bằng dò từ

Sơ đồ khái niệm lý dụng cụ đo từ trường bằng dò từ: như hình 15.6e: mạch phát xung cơ sở có tần số, sau khi được chia hai nó được lọc sau đó được khuếch đại để đưa vào kích thích dò từ.

Điện áp ra của dò từ có tần số 2f₁ được khuếch đại chọn lọc sau đó tách sóng có điều khiển ở tần số 2f₁ và đưa ra chỉ thị.

Thiết bị này thường dùng để đo từ trường qua đất theo ba phần, xác định các giá trị từ trường, độ lệch từ khuynh và từ thiên dùng trong vật lý địa cầu và thăm dò khoáng sản, trong các chuyến bay thăm dò.

Để phép đo có độ chính xác cao, ta có thể dùng một thiết bị bù từ trường là một cuộn dây Hembôn, đó là cuộn dây tròn chia làm hai phần đặt cách nhau một khoảng bằng bán kính của cuộn dây. Với cách bố trí như vậy từ trường tạo ra trong cuộn dây là đều và có giá trị :

$$H_H = 0,719 \frac{I \cdot W}{R}$$

Công thức này khá chính xác nên chỉ cần đo dòng điện I để suy ra H_H.

15.2.8. Đo từ trường bằng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân:

Nguyên lý hoạt động: đây là phương pháp đo từ thông có độ chính xác cao nhất. Nó dựa trên chuyển đổi lượng tử cộng hưởng từ hạt nhân (xem lại chương 7, mục 7.8).

Tần số cộng hưởng từ hạt nhân được xác định là:

$$\omega = \frac{\mu \cdot B}{P} = \gamma \cdot B$$

Theo biểu thức này ta có thể xác định độ từ cảm B theo giá trị tần số cộng hưởng ω và hệ số thủy từ γ :

$$B = \frac{\omega}{\gamma}$$

Hệ số γ đối với mỗi chất có thể xác định chính xác đến 0,001% còn sai số về đo ω có thể đạt đến 0,0001% bằng tần số ké chỉ thị số vì vậy sử dụng phương pháp này có thể đo độ từ cảm B của từ trường với độ chính xác rất cao.

Với phương pháp này có thể đo độ từ cảm của từ trường đều từ 0,005T trở đi. Giới hạn đo phụ thuộc vào hạt nhân nguyên tử của chất mà ta sử dụng.

Ví dụ: Nếu dùng hạt nhân hyđrô (H_2) thì có thể đo từ trường đến 0,5T; nếu dùng Li^7 thì đo từ $0,5 \div 1,0T$ còn dùng nước nặng D thì có thể đo từ 1,0T trở đi.

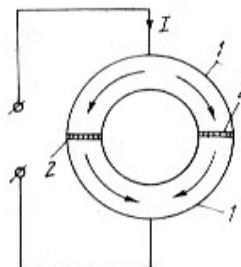
15.2.9. Đo từ trường bằng hiệu ứng siêu dẫn:

Nguyên lý hoạt động: dựa trên đặc tính của lượng tử từ thông xuyên qua màng siêu dẫn:

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2,1 \cdot 10^{-15} [Wb]$$

Có một phần tử siêu dẫn gồm hai vật siêu dẫn ngăn cách bởi một lớp cách điện; dòng điện một chiều có thể đi qua phần tử này mà không có điện áp rơi trên lớp cách điện (hiện tượng này gọi là hiệu ứng Jozepson).

Phần tử Jozepson được tạo thành có dạng như hình 15.8:



Hình 15.8. Phần tử Jozepson

Khi dòng điện một chiều chạy qua phần tử đạt đến giá trị tới hạn thì trên phần tử nói trên (hai bên màng cách điện) xuất hiện điện áp xoay chiều mà tần số phụ thuộc vào từ trường bên ngoài tác dụng vào phần tử siêu dẫn. Dòng điện tới hạn trong phần tử siêu dẫn có dạng:

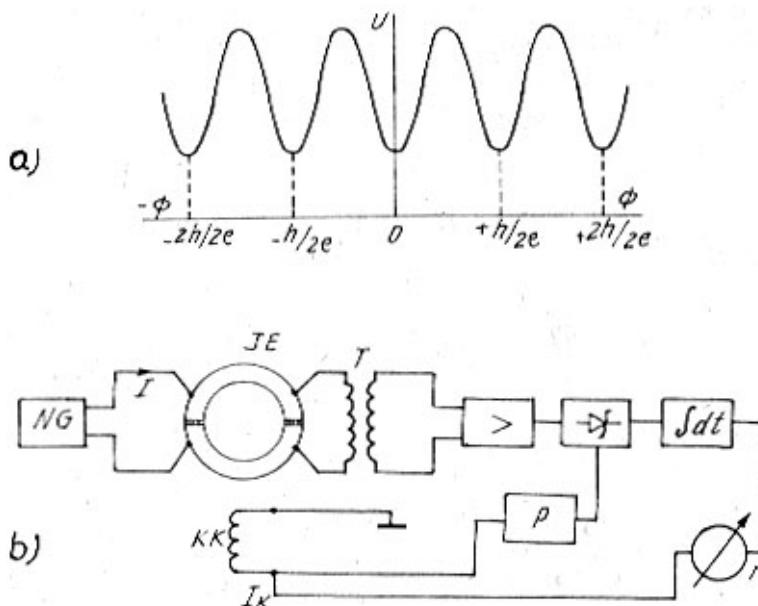
$$I = 2I_m \cos \pi \left[\frac{\Phi}{\Phi_0} \right]$$

với: Φ - từ thông đo; Φ_0 - lượng tử từ thông

Do dòng điện I có tính chu kỳ nên điện áp trên phần tử này cũng có tính xoay chiều mà tần số phụ thuộc vào từ thông tác dụng lên phần tử (H. 15.9a).

Từ đây có thể đề ra phương án từ thông kế kiểu siêu dẫn như hình 15.9b; bộ phận chính của từ thông kế là một phần tử siêu dẫn hình xuyến, cung cấp bằng nguồn dòng một chiều có giá trị bằng hoặc lớn hơn dòng tới hạn một ít. Lúc có từ

trường bên ngoài tác động, xuất hiện điện áp xoay chiều, điện áp này được khuếch đại để đo tần số.



Hình 15.9. Từ thông kế sử dụng phần tử Jozepson:

- a) Sự thay đổi điện áp lúc từ thông vượt quá giá trị lượng tử
- b) Sơ đồ khái niệm của từ thông kế sử dụng phần tử Jozepson

Trong dụng cụ đo từ thông kiểu bù ta sử dụng cuộn dây bù KK vừa tạo ra từ thông bù, vừa tạo ra từ thông điều chế bằng máy phát tần số thấp. Từ thông điều chế này gây ra một biến thiên từ thông được điều chế ở đầu ra của phần tử Jozepson.

Sau khi được khuếch đại, tích phân, tín hiệu một chiều ra được đưa vào cuộn dây bù KK và đo bởi dụng cụ đo I_{ra} . Dòng ra giữ giá trị cố định khi từ thông $\Phi_k = \Phi_{do}$.

Từ thông kế siêu dẫn này cho phép đo những từ thông có giá trị rất nhỏ 10^{-12} T(tesla).

15.3. Đo các thông số vật liệu từ.

Vật liệu sắt từ được dùng nhiều trong công nghiệp kỹ thuật điện, trong giao thông vận tải và kỹ thuật tự động. Có thể chia vật liệu sắt từ thành: vật liệu sắt từ cứng và vật liệu sắt từ mềm.

Đối với vật liệu sắt từ cứng: cần chú ý đến từ dư, lực khử từ (H_c) và năng lượng từ tích luỹ trong vật liệu.

Đối với vật liệu sắt từ mềm: người ta quan tâm đến đường cong từ hóa tức là quan tâm đến quan hệ $B(H)$, đường cong từ trễ, quan hệ $\mu(H)$ tĩnh và động. Ngoài ra còn phải xác định hao sắt từ trên một đơn vị trọng lượng.

Tuy nhiên nhìn vào mỗi quan hệ, ta thấy chủ yếu hai đại lượng cần đo là B và H . Bố trí để đo B và H trong vật liệu sắt từ là một vấn đề không phải dễ dàng mà liên quan đến mẫu thử.

15.3.1. Mẫu thử:

Để nghiên cứu vật liệu sắt từ các phép đo đều được thực hiện trên một mẫu thử vì

thế việc chọn mẫu thử và bố trí đo B và H trên mẫu thử quyết định tính chính xác của phép đo.

a) Mẫu thử hình xuyến hay hình khép kín:

Đối với mẫu xuyến có thể thực hiện bằng hai cách:

- Lõi làm bằng dây lõi mỏng quấn thành hình xuyến.
- Lõi dập bằng lá mỏng.

Cuộn dây kích từ W_1 được phân bố dải đều trên vòng xuyến và từ trường kích thích được tính toán thông qua dòng kích từ I:

$$H = \frac{I \cdot W_1}{2\pi \cdot R_{tb}}$$

trong đó: W_1 : số vòng cuộn dây kích từ

$$2\pi R_{tb} : \text{chiều dài trung bình của xuyến: } R_{tb} = \frac{R_{ng} + R_{tr}}{2}$$

R_{ng} : bán kính ngoài của xuyến

R_{tr} : bán kính trong của hình xuyến.

Cuộn dây đo B được quấn ở ngoài có số vòng W_2 . Sức điện động cảm ứng với W_2 được đo bằng từ thông kế hay một khuếch đại tích phân:

$$\Delta\psi = \int e_2 dt$$

Mẫu thử hình xuyến thường được dùng cho vật liệu sắt từ mềm, có từ dư B_d và đường cong từ trễ hẹp, lực khử từ nhỏ.

b) Mẫu thử hình thẳng:

Đối với mẫu thử thẳng, người ta phải chế tạo thiết bị tạo ra từ trường mạnh để có thể từ hóa vật liệu. Từ thầm kế phải được chế tạo đảm bảo tạo ra một miền có cường độ từ trường đều và mạnh.

Từ thầm kế có thể là một cuộn dây Xêlênoit lớn có chiều dài gấp 50 lần đường kính. Cuộn dây đo B được quấn ở phần giữa mẫu thử và được đặt ở miền giữa của Xêlênoit. Với lõi này cường độ từ trường có thể tính:

$$H = \frac{I \cdot W}{l}$$

với: I : dòng điện chạy trong Xêlênoit.

W : số vòng của Xêlênoit

l : chiều dài của cuộn dây.

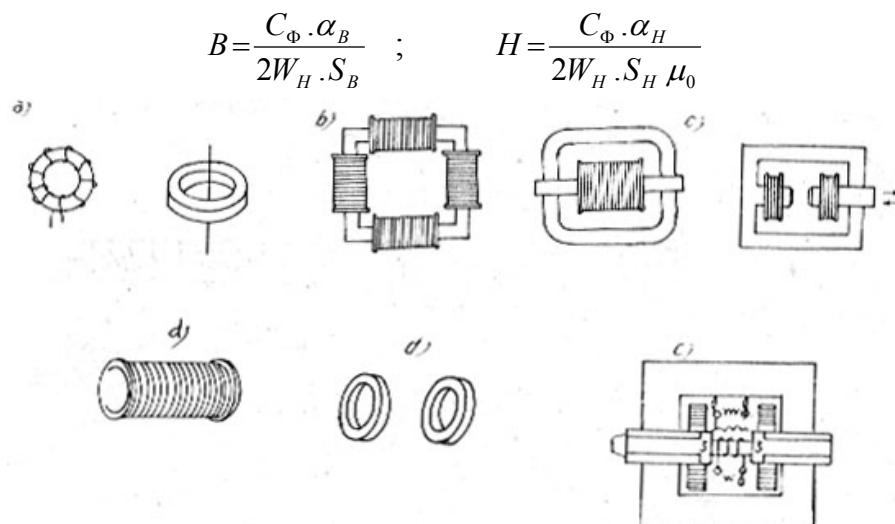
Trong trường hợp Xêlênoit không đảm bảo tỉ số giữa chiều dài và đường kính, cường độ từ trường được tính theo một công thức lý thuyết phụ thuộc vào kích thước.

Cấu tạo của từ thầm kế như hình vẽ 15.10: gồm một mạch từ rất mạnh gồm hai nửa hình Π. Để có thể thay đổi được khoảng cách miền từ trường mạnh và đều, lõi thép hình Π kẹp chặt vào phần mạch từ hình T và I. Nhờ kết cấu như vậy lõi được giữ chặt không bị dịch chuyển trong quá trình đo.

Cuộn dây kích từ rất lớn có thể thay đổi trong dải rất rộng từ μA cho đến 20A.

Mẫu thử thẳng được quấn cuộn dây W_B đo từ cảm B, ngoài ra còn có một cuộn dây không có lõi thép W_H để đo H. Để tạo sự biến thiên từ trường, từ cảm ứng... người ta phải đảo dòng điện chạy trong từ thầm kế. Khi đảo dòng điện

trong từ thấm kế thì $\Delta\psi$ trong hai cuộn dây đo B và H gây ra một góc quay α của từ thông kế.

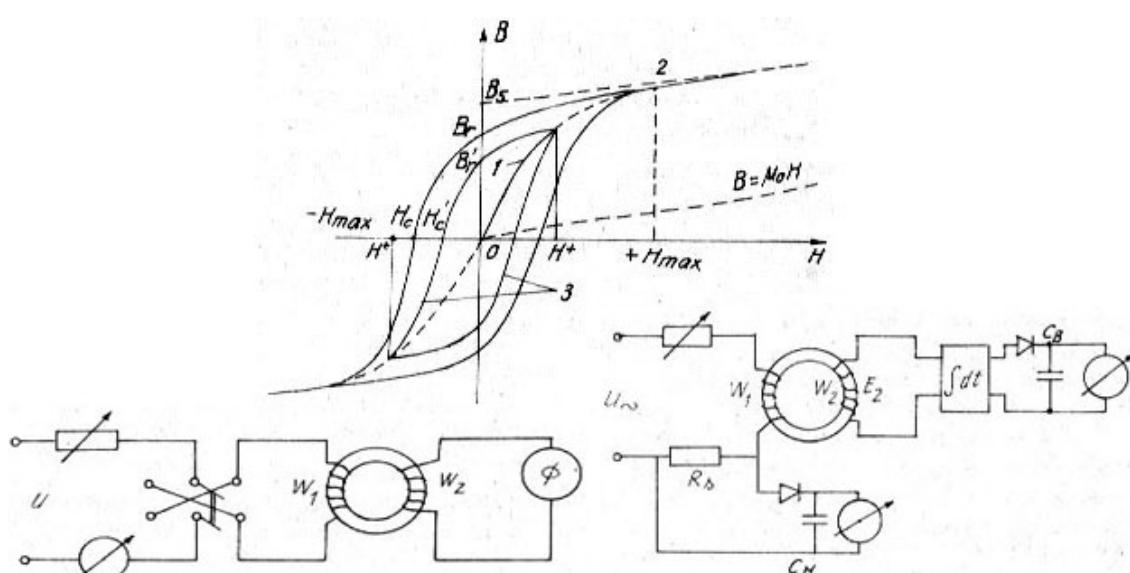


Hình 15.10. Cấu tạo của từ thấm kế

15.3.2. Xác định đường cong từ hóa ban đầu:

a) **Xác định đường cong từ hóa ban đầu bằng dòng điện một chiều:** được thực hiện bằng cách đảo chiều từ trường kích thích đồng thời đo B và H.

Sơ đồ như hình 15.11:



Hình 15.11. Sơ đồ xác định đường cong từ hóa ban đầu bằng dòng điện một chiều, xoay chiều

Thay đổi dòng điện kích từ từ giá trị cao về zérô, qua mỗi giá trị của dòng điện ta đảo chiều dòng điện và mỗi lần đảo chiều đọc giá trị góc α trên từ thông kế.

Do H: Đối với lõi hình xuyến H được tính theo công thức:

$$H = \frac{I \cdot W_1}{2\pi R}$$

với: I - dòng điện kích từ;

W_1 - số vòng cuộn dây kích từ

R - bán kính trung bình lõi hình xuyến.

Đối với lõi thẳng và từ thấm kế thì H được đo bằng cuộn dây W_H:

$$H = \frac{C_{\Phi} \cdot \alpha_H}{2W_H \cdot S_H \mu_0}$$

với: C_Φ - hằng số từ thông kế

α_H - góc quay của từ thông kế lúc đo H

W_H - số vòng dây của cuộn dây đo H

S_H - diện tích mõc vòng bởi cuộn dây đo H

μ₀ - từ thấm của không khí: μ₀ = 4π.10⁻⁷.

Do cảm ứng từ B: được đo bởi cuộn dây đo W_B quấn vào mẫu thử:

$$B = \frac{C_{\Phi} \cdot \alpha_B}{2W_B \cdot S_B}$$

với: W_B : số vòng của cuộn dây đo B

S_B : tiết diện của mẫu thử

α_B : góc quay của từ thông kế khi đo B

Ở mỗi giá trị của dòng kích thích I: tiến hành đo B và H và thành lập bảng mối quan hệ B(H).

b) *Vẽ đường từ hoá ban đầu bằng điện xoay chiều:*

Thực hiện bằng cách thay đổi dòng điện xoay chiều kích thích: đường cong từ hoá ban đầu sẽ là B_m(H_m).

với: B_m : từ cảm ứng cực đại

H_m : cường độ từ trường cực đại.

Đối với lõi thử hình xuyến ta có:

$$H_m = \frac{\sqrt{2} I \cdot W_1}{2\pi R_{tb}}$$

với: H_m : giá trị cực đại của cường độ từ trường

I : giá trị hiệu dụng đo bởi Ampemét

W₁ : số vòng của cuộn dây kích từ

R_{tb} : bán kính trung bình của lõi hình xuyến

B_m : được xác định:

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot S}$$

với: E₂ : súc điện động hiệu dụng chỉ bởi dụng cụ đo ở thứ cấp cuộn dây thử.

f : tần số của dòng kích từ; W₂: số vòng của dây đo B

S : tiết diện của lõi

Trong trường hợp dụng cụ đo E₂ là dụng cụ điện tử tức là điện trở vào rất lớn thì dụng cụ chỉ giá trị của E₂.

Trong trường hợp dụng cụ đo E₂ là dụng cụ cơ điện (có điện trở vào nhỏ) thì phải tính ra:

$$E_2 = \frac{U_2}{R_v} (R_v + R_d)$$

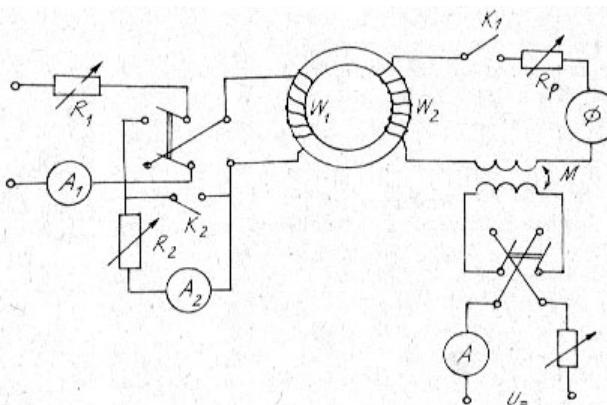
với: U₂ : điện áp đo bởi Vônmét; R_v : điện trở của Vônmét

R_d : điện trở của cuộn dây W₂ và dây dẫn

15.3.3. Xác định đường cong từ trễ của vật liệu sắt từ:

a) Xác định đường cong từ trễ vật liệu sắt từ bằng phương pháp đảo mạch dùng đổi nối:

Với lõi thử hình xuyên: sơ đồ của thiết bị đo lường từ trễ vật liệu sắt từ lõi thử hình xuyên như hình 15.12 :



Hình 15.12. Sơ đồ của thiết bị đo lường từ trễ vật liệu sắt từ lõi thử hình xuyên

Quá trình xác định đường cong từ trễ được thực hiện như sau:

- Giai đoạn chuẩn bị: Khoá K₁ mở, khoá K₂ đóng. Điều chỉnh R₁ để cho dòng điện chỉ I₁ có giá trị làm bão hòa lõi thép. Sau đó đổi nối DN sang vị trí 1, mở K₂ và điều chỉnh R₂ để I₂ có giá trị mong muốn.

- Giai đoạn đo: Đóng K₂ lại, đảo đổi nối DN từ 8 đến 10 lần cho đường cong từ trễ ổn định sau đó đặt nó sang vị trí 1 để lấy giá trị B và H ở góc phần tư thứ 1. Đóng K₁ để mắc từ thông kẽ vào mạch đo sau đó mở khoá K₂. Dòng điện từ giá trị I₁ chuyển sang giá trị I₂ (tức là cường độ từ trường kích thích chuyển từ H₁ sang H₂).

Do có sự biến thiên từ trường đo tạo ra trong lõi thử một biến thiên ΔB và từ thông kẽ lệch đi một góc α_B:

$$\Delta_B = \frac{S_\Phi \cdot \alpha_B}{W_B \cdot S}$$

$$B_2 = B_1 - \Delta_B \quad ; \quad H_2 = \frac{I_2 \cdot W_1}{2\pi R_{tb}}$$

Lặp lại phép đo với các giá trị I₂ khác nhau ta có giá trị B₂ và H₂ trong góc phần tư thứ nhất.

Để có B₂ và H₂ ở góc phần tư thứ hai và thứ 3, ta cũng làm như trên chỉ khác là sau khi đảo đổi nối 8 ÷ 10 lần ta đặt vị trí của đổi nối về vị trí 2. Sau đó đóng K₁ và mở K₂. Đảo chiều đổi nối về vị trí 1. Như vậy ta đã biến thiên chiều dòng điện từ I₂ sang -I₂ và như vậy cường độ từ trường từ H₁ sang -H₂ tạo ra một sự biến thiên từ cảm B₁ sang B₂; ΔB vẫn tính như cũ và B₂ = B₁ - ΔB có thể có dấu dương trong góc phần tư thứ 2 và B₂ có giá trị âm ở góc phần tư thứ 3. Còn H₂ có giá trị âm:

$$H_2 = \frac{I_2 \cdot W_1}{2\pi R_{tb}}$$

Có được các giá trị B₂, H₂ từng đôi một ta có thể dựng thành đồ thi quan hệ

B(H) tức là đường cong từ trễ.

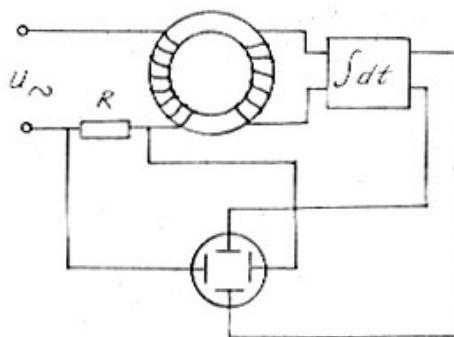
Với mẫu hình thẳng: quá trình đo tương tự như ở mẫu hình xuyến, chỉ khác là lõi được kích từ bằng từ thẳm kẽ, cuộn dây đo B được quấn quanh lõi W_B và từ trường được đo bằng một cuộn dây W_H kéo từ trong miền từ trường đều của từ thẳm kẽ ra ngoài không khí:

$$\Delta B = \frac{C_\Phi \cdot \alpha}{W_B \cdot S} \quad \text{và:} \quad B_2 = B_1 - \Delta B$$

Phương pháp này có thể dùng với vật liệu sắt từ cứng và xác định ở góc phần tư thứ 2 (với H_C rất lớn).

b) Vẽ đường cong từ trễ bằng điện xoay chiều:

Đường cong từ trễ trong mạch xoay chiều được xác định bằng quan hệ $B_t(H_t)$, tức là quan hệ giữa giá trị tức thời B và H. Đường cong này có thể thực hiện trên màn ảnh của máy hiện sóng như hình 15.13:



Hình 15.13. Vẽ đường cong từ trễ bằng điện xoay chiều thực hiện trên màn ảnh của máy hiện sóng

Từ trường H tỉ lệ với dòng kích thích I , còn điện áp thứ cấp là đạo hàm của từ thông vì vậy điện áp E_2 phải được tích phân để đưa vào đưa vào hai cực của máy hiện sóng để lập quan hệ tức thời giữa B và H. Giá trị tức thời của $B_t(H_t)$ có thể xác định bằng một chỉnh lưu pha có điều khiển.

Trong một mạch chỉnh lưu pha nếu ta thay đổi góc mở ban đầu của chỉnh lưu thì giá trị trung bình của dòng chỉnh lưu (trong nửa chu kỳ hoặc trọng một chu kỳ) bằng giá trị tức thời tại thời điểm chỉnh lưu mở. Như vậy khi thay đổi góc mở của chỉnh lưu pha ta có thể có được tất cả các giá trị của dòng điện tức thời trong một chu kỳ.

Hình 15.14 là sơ đồ thiết bị vẽ đường cong từ trễ của vật liệu sắt từ.

Lõi thử hình xuyến được quấn cuộn dây kích từ W_1 và cuộn dây từ cảm W_2 . Dòng điện kích từ được chọn một giá trị để bão hòa lõi thép.

Xác định H_t : từ trường tức thời được xác định bằng:

$$H_t = \frac{I_t \cdot W_1}{2\pi R_{tb}}$$

với I_t được đo bằng chỉnh lưu pha.

Xác định B_t : bằng cách đo giá trị tức thời của tích phân sức điện động E_2 :

$$\int E_2 dt = \psi \cdot k_\Phi \cdot B_t \cdot S \cdot W_2 = E'_{2t}$$

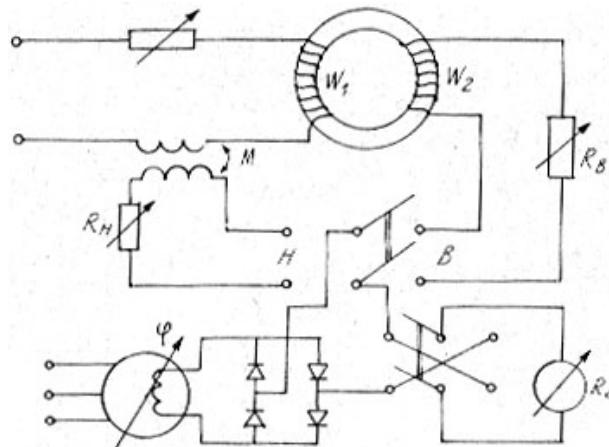
Giá trị tức thời của tích phân E_2 tỉ lệ với B_t :

$$B_t = \frac{E'_{2t}}{k_\Phi \cdot W_2 \cdot S}$$

với: k_Φ : là hệ số xác định bằng thực nghiệm

E'_{2t} : xác định bằng chỉnh lưu pha

Như vậy ở tại một góc mở chỉnh lưu, ta có B_t và H_t tức thời, thay đổi góc mở ta có các giá trị B_t và H_t khác nhau. Lập đồ thị quan hệ $B_t(H_t)$ ta có đường cong từ trễ.



Hình 15.14. Sơ đồ thiết bị vẽ đường cong từ trễ của vật liệu sắt từ

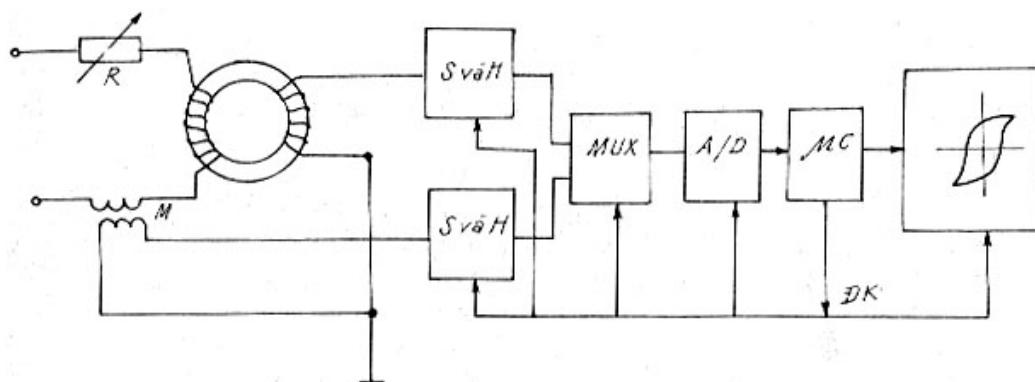
Việc vẽ đường cong từ trễ này cũng có thể được tự động hóa nhờ một hệ thu thập số đo bằng máy tính, có thể bố trí như hình 15.15.

Trong mạch này B_t được đo thông qua E_{2t} . Dòng điện được xác định thông qua hổ cảm M nối trong mạch kích từ.

Như vậy thay vì đo dòng điện và tích phân điện áp ta đo điện áp và đạo hàm dòng điện.

Các giá trị tức thời được bộ ghi nhớ giữ lại sau đó lần lượt đưa vào A/D biến thành giá trị số. Các số liệu được tính toán ra B_t và H_t và lưu giữ lại trong bộ nhớ của máy vi tính.

Sau một bước, vi xử lý lại điều khiển bộ ghi nhớ giữ lệch đi một giá trị xác định và lấy lại các giá trị B_t và H_t . Như vậy ta có được một tập số B_t và H_t ở tại các thời điểm khác nhau.



Hình 15.15. Hệ thu thập số đo bằng máy tính tự động vẽ đường cong từ trễ

Một chương trình vẽ cho phép hiện được đường cong từ trễ lên màn hình và trên giấy cùng với bảng số hiệu $B_t(H_t)$.

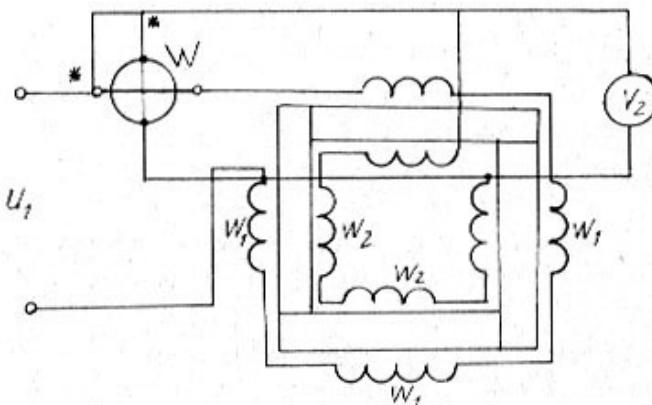
15.3.4. Đo tổn hao thép của vật liệu sắt từ:

Một thông số cần xác định trong vật liệu sắt từ là đo tổn hao sắt từ trên đơn vị trọng lượng, tổn hao công suất này do từ trễ và dòng xoáy vì thế thay đổi theo cảm ứng từ cực đại B_m và tần số f .

Theo quy định, người ta đo tổn hao ở hai giá trị B là $B = 1\text{T}$ và $B = 1,5\text{T}$ (tesla).

a) Đo tổn hao bằng Watmet:

Sơ đồ như hình 15.16:



Hình 15.16. Sơ đồ đo tổn hao thép của vật liệu sắt từ bằng Watmét

Trong đó cuộn dây dòng điện của Watmet được lắp vào mạch sơ cấp, còn cuộn điện áp mắc vào mạch thứ cấp. Lõi thép cần đo được ghép thành 4 thanh có trọng lượng vào khoảng 10kg vật liệu.

Theo sơ đồ trên, Watmet chỉ tổn hao trong lõi thép cộng với tổn hao trong cuộn dây lõi thử và tổn hao trong Vônmét và cuộn áp Watmet.

Phản công suất tiêu thụ thêm có thể viết:

$$P_p = \frac{U_2^2}{r_2} \left(1 + \frac{r_2}{r_2} \right)$$

với: $r_2' = \frac{R_v \cdot R_w}{R_v + R_w}$ (Watmet và Vônmét mắc song song)

r_2' : điện trở của cuộn dây lõi thử

Như vậy tổn hao thép bây giờ có thể viết:

$$\begin{aligned} P_t &= P_w \frac{W_1}{W_2} \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right) - \frac{U_2^2}{r_2'} \left(1 + \frac{r_2}{r_2} \right) \\ P_t &= \left(P_w \frac{W_1}{W_2} - \frac{U_2^2}{r_2'} \right) \left(1 + \frac{r_2}{r_2} \right) \end{aligned}$$

Để có thể tách tổn hao từ trễ ra khỏi tổn hao dòng xoáy, ta có nhận xét sau: tổn hao từ trễ tỉ lệ với f còn tổn hao dòng xoáy tỉ lệ với f^2 . Vì vậy để tách tổn hao từ trễ ra khỏi tổn hao dòng xoáy ta đo tổn hao ở hai tần số khác nhau f_1 và f_2 .

$$\begin{cases} P_{t1} = af_1 + bf_1^2 \\ P_{t2} = af_2 + bf_2^2 \end{cases}$$

Giải hệ phương trình ta được a và b và tổn hao từ trễ là af_1 và af_2 , còn tổn hao dòng xoáy là bf_1^2 và bf_2^2 .

Ta cũng có thể đo công suất tổn hao bằng công thức $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$; Khi $U_t =$

U_m thì $I_t = I_m \cos \varphi$ ta có thể dùng chỉnh lưu pha để xác định U_m và $I_m \cos \varphi$.
Sơ đồ đo công suất tổn hao trong lõi thép như hình 15.16.

$$P_{th} = E_2 \left(\frac{W_2}{W_1} \right) \cdot \left(\frac{U_0}{r_0} \right) \cdot \cos \varphi$$

Công suất tổn hao cũng có thể xác định qua cuộn dây có lõi thép được đo bằng cầu xoay chiều.

Đo bằng cầu xoay chiều ta xác định được L_X và $\tan \delta$

$$\tan \delta = \frac{r_X}{\omega L_X}$$

trong đó: $r_X = r_0 + r_t$

r_0 : điện trở của dây đồng quấn L_X

r_t : điện trở tương đương của tổn hao

CHƯƠNG 16.

ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC (3 LT)

16.1. Cơ sở chung và phân loại các phương pháp.

Các đại lượng cơ học bao gồm: các đại lượng về kích thước và khoảng cách, các thông số của các quá trình chuyển động (vận tốc, gia tốc), các đại lượng áp suất, lực, ứng suất...

16.1.1. Các phương pháp đo kích thước và di chuyển:

Đo kích thước, khoảng cách và di chuyển hoàn toàn giống nhau về phương pháp. Đo kích thước được phân làm hai loại: kích thước thẳng và kích thước góc.

Đo kích thước thẳng: được thực hiện trong một dải rộng từ vài phần micrômét cho đến các khoảng cách hàng trăm hoặc hàng ngàn kilômét. Dải kích thước thường gấp trong thực tế có thể chia thành một số nhóm đặc trưng sau:

- Đo khoảng cách giữa các vật thể; đo mức: nước, xăng, dầu trong các thùng chứa, trong máy bay, ôtô... có giới hạn đo từ 100mm ÷ 100m.
- Đo kích thước trong ngành cơ khí, chế tạo máy: từ vài micrômét đến vài mét.
- Đo độ bồng bề mặt chi tiết gia công hoặc chiều dày lớp phủ các chi tiết: có thể từ vài phần micrômét đến hàng chục micrômét.
- Đo khoảng cách lớn hàng trăm mét đến hàng nghìn kilômét.

Tùy theo yêu cầu ta có thể dùng các loại chuyển đổi và các phương pháp khác nhau. Bảng 16.1 là chỉ dẫn tóm tắt các loại chuyển đổi dùng để đo kích thước và dải đo của chúng:

Loại chuyển đổi	0,1µm	1µm	10µm	100µm	1mm	10mm	100mm
Biến trở					■		
Thước mã hóa				■	■		
Điện dung			■	■			
Điện cảm		■	■	■	■	■	
Tiếp xúc			■	■	■	■	■
Điện trở lực căng	■	■	■	■	■		
Áp điện	■						

Bảng 16.1. Chỉ dẫn tóm tắt các loại chuyển đổi dùng để đo kích thước và dải đo

Đo kích thước góc: có thể đo góc quay từ $0 \div 360^\circ$, được đo bằng các phương pháp đo thông thường hoặc phương pháp quang học và đạt độ chính xác từ $0,5' \div 1'$. Dải đo kích thước góc không vượt quá $D = 2000 \div 4000$. Thông thường dụng cụ đo kích thước góc là các biến trở đo lường, có giới hạn đo trên có thể đạt đến 360° nhưng trên thực tế chỉ thực hiện đo các góc 90° , 60° hoặc $10^\circ \div 15^\circ$ với ngưỡng nhạy $10' \div 20'$. Khi cần đo với độ chính xác cao hơn có thể dùng phương

pháp rời rạc hoá dựa trên các chuyển đổi điện, đĩa mã hoá, hệ thống quang điện... Các phương pháp này đạt được sai số $1 \div 30''$ và ngưỡng nhạy khoảng $1''$.

16.1.2. Các phương pháp đo các thông số chuyển động:

Thông số chuyển động thường được chia thành hai dạng: chuyển động tịnh tiến, chuyển động quay và chuyển động dao động (dao động thẳng hoặc xoắn).

Nguyên lý cơ bản: thông số của các chuyển động là khoảng rời, tốc độ và gia tốc. Quan hệ giữa chúng là những phép vi tích phân đơn giản. Nếu ta gọi giá trị tức thời của khoảng rời là x thì:

$$\text{tốc độ là: } \dot{x} = \frac{dx}{dt}; \quad \text{gia tốc là: } \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Vì vậy muốn tìm được tốc độ ta chỉ cần tích phân gia tốc hoặc tính khoảng rời bằng tích phân tốc độ theo thời gian và chỉ cần đo một trong ba thông số trên ta có thể xác định được các thông số khác.

Đối với các chuyển động dao động cũng vậy, ví dụ đối với dao động điều hoà $x = A \sin \omega t$ suy ra tốc độ dao động $\dot{x} = \omega A \cos \omega t$ và gia tốc $\ddot{x} = -\omega^2 A \sin \omega t$.

Giá trị biên độ của di chuyển x , tốc độ \dot{x} và gia tốc \ddot{x} có thể tìm được bằng cách đo tần số ω và biên độ dao động A :

$$X = A; \dot{X} = \omega A; \ddot{X} = \omega^2 A$$

Ngược lại biên độ dao động có thể xác định được khi biết tần số ω theo các giá trị x , \dot{x} và \ddot{x} .

Trong thực tế thường gặp các dao động (độ rung) diễn ra với tần số rất cao vì vậy để tích phân hoặc vi phân các thông số đó người ta dùng các mạch điện vi phân và tích phân.

Ngoài việc đo các thông số chuyển động của vật thể rắn còn cần phải đo thông số chuyển động của các chất lỏng và khí như dầu, nước, hơi, và các thành phần hóa học khác. Những thông số đó là lưu tốc q và lưu lượng Q của chất lỏng và khí. Quan hệ giữa lưu lượng và lưu tốc cũng là quan hệ vi, tích phân. Biết lưu tốc q có thể tích phân nó để suy ra lưu lượng Q của chất đó trong thời gian xét và ngược lại lưu tốc q sẽ là đạo hàm của lưu lượng Q .

Các dụng cụ đo phổ biến: căn cứ vào đại lượng đo người ta đặt cho dụng cụ những tên khác nhau: dụng cụ đo tốc độ và khoảng rời gọi là máy đếm hoặc đồng hồ đo tốc độ, đo tốc độ quay của vật gọi là tốc độ kế, đo tốc độ dòng chảy gọi là lưu tốc kế, đo lưu lượng là lưu lượng kế. Dụng cụ đo thông số chấn động gọi là chấn động kế, đo gia tốc gọi là gia tốc kế...

Về khoảng đo: khoảng đo của phép đo thông số của chuyển động rất rộng có thể tới $D = 10^6$ và lớn hơn nhưng người ta thường chia thành những khoảng nhỏ.

Ví dụ: tốc độ chuyển động của các con tàu vũ trụ từ $8000 \div 12000 \text{ m/s}$, tốc độ của máy bay hiện đại từ $30 \div 1000 \text{ m/s}$. Tốc độ chuyển động của các phương tiện giao thông $10 \div 60 \text{ m/s}$, tốc độ chuyển động của các thiết bị công nghiệp từ $10 \div 0,01 \text{ m/s}$ hoặc tốc độ rất thấp đến 10^{-7} m/s như độ lắng của quặng.

Khoảng đo của phép đo tốc độ quay: tốc độ quay của máy móc hiện đại cũng có khoảng đo rất rộng, từ vài phần trăm vòng phút đến $3 \cdot 10^5$ vòng/phút.

Khoảng đo của phép đo gia tốc: khoảng đo càng lớn từ 20.000 m/s^2 đến 10^{-5} m/s^2 .

Chọn phương pháp và dụng cụ nào là tùy thuộc vào yêu cầu cụ thể và những yêu cầu kỹ thuật.

Chọn dụng cụ đo tùy theo yêu cầu về độ chính xác: khi yêu cầu đo với độ chính xác không cao người ta dùng phương pháp biến đổi trực tiếp đại lượng đo thành sức điện động hay dòng điện, đo các thông số điện suy ra đại lượng đo.

Phương pháp có độ chính xác cao là phương pháp tần số, đó là phương pháp biến các thông số chuyển động thành tần số và đo tần số để suy ra đại lượng đo.

16.1.3. Các phương pháp đo lực, ứng suất và áp suất:

Trong quá trình nghiên cứu cơ lý tính của các vật chịu lực, các kết cấu cơ học đối với ngành chế tạo máy cũng như ngành khác thì quá trình đo lực, ứng suất và áp suất chiếm một khối lượng tương đối lớn.

Phạm vi đo: phạm vi đo lực rất rộng, từ những giá trị rất nhỏ đến những giá trị lớn, từ phép đo tĩnh (các lực tác động là những đại lượng không đổi) đến những xung lực tác dụng với tốc độ rất cao như sự va chạm, sóng xung kích... Do vậy phải chia thành nhiều dải đo khác nhau, tương ứng với mỗi dải đo có thể sử dụng các phương pháp và thiết bị phù hợp. Đặc biệt ở dải đo thấp 10^{-5} N trở xuống phải dùng các phương pháp đặc biệt để đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

Đối với đo áp suất, dải đo thường từ $0 \div 10^{10} \text{ N/m}^2$, ngưỡng nhạy của thiết bị đo từ $0,1 \div 0,01 \text{ N/m}^2$ và dải đo thực tế $D = 10^{11}$. Cũng như đo lực, không có các dụng cụ đo áp suất trong toàn khoảng đo, thường các dụng cụ được chia thành nhiều dải đo khác nhau với $D = 10^3 \div 10^4$. Đối với phép đo áp suất cao hoặc rất thấp thường dùng những phương pháp đo đặc biệt: ví dụ như khi đo áp suất thấp (độ chân không) người ta sử dụng phương pháp đo mật độ chất khí.

Đo ứng suất trong của các loại vật liệu thường nằm trong các khoảng đo $0 \div 150 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Mục đích của phép đo này là có thể xác định sức bền của các chi tiết máy. Trong thực tế người ta chỉ quan tâm tới ứng suất từ 10^7 N/m^2 trở đi. Như vậy khoảng đo ứng suất $D = 150$ và có thể chế tạo loại dụng cụ đo ứng suất vạn năng để xác định sức bền của vật liệu.

Các phương pháp đo: để đo lực, ứng suất và áp suất có thể dùng các loại chuyển đổi khác nhau với các phương pháp khác nhau, thông thường có hai phương pháp đo:

- *Phương pháp đo trực tiếp:* là phương pháp sử dụng các chuyển đổi có đại lượng vào tương ứng với các lực, ứng suất, áp suất cần đo; đại lượng ra được biến thành các đại lượng điện, các thông số điện. Mạch đo và chỉ thị cho kết quả đo không thông qua hệ dẫn truyền trung gian.
- *Phương pháp đo gián tiếp:* thường sử dụng các phần tử đàn hồi, các hệ dẫn truyền, biến lực, ứng suất, áp suất thành di chuyển. Các chuyển đổi đo các đại lượng di chuyển từ đó suy ra các đại lượng cần đo.

Hai phương pháp trên được sử dụng rộng rãi, sử dụng phương pháp nào tùy thuộc yêu cầu và nhiệm vụ thực hiện chúng.

Đo lực, ứng suất và áp suất phần lớn có thể đưa về phép đo Δl hoặc $\Delta l/l$ vì:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

với: 1 - chiều dài của đối tượng đo; Δl - độ biến thiên theo chiều dài.
 σ - ứng suất cơ của vật liệu; E - môđun đàn hồi.

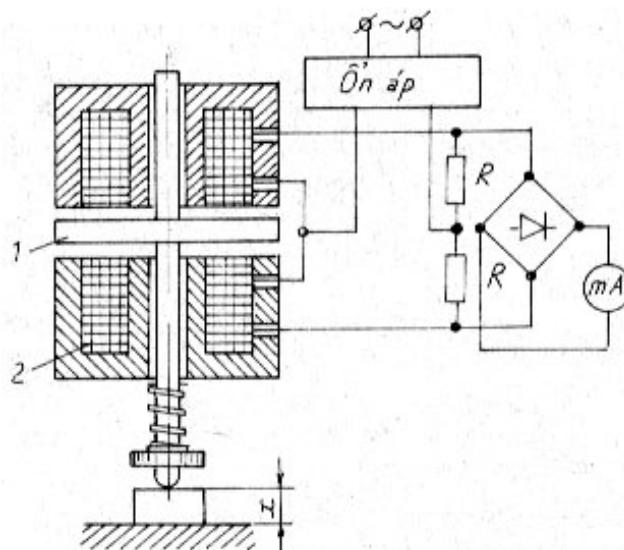
Mạch đo thường là mạch cầu, kết hợp với các tầng khuếch đại và chỉnh lưu. Chỉ thị là các dụng cụ chỉ thị cơ điện, tự ghi, điện tử và các dụng cụ số.

16.2. Đo góc quay, khoảng cách và di chuyển.

16.2.1. Đo kích thước và di chuyển thẳng:

Đo kích thước và di chuyển thẳng có nhiều phương pháp khác nhau, dưới đây là một số thiết bị đo dùng trong ngành chế tạo máy.

a) **Thiết bị đo kích thước và di chuyển nhỏ:** có cấu tạo như hình 16.1:



Hình 16.1. Cấu tạo của thiết bị đo kích thước và di chuyển nhỏ

Cấu tạo: chuyển đổi điện cảm măc kiểu vi sai với hai điện trở R tạo thành mạch cầu bốn nhánh. Mạch cầu được cung cấp bằng nguồn điện áp xoay chiều ổn định.

Nguyên lý hoạt động: ở trạng thái bình thường khi lõi thép di động 1 nằm ở vị trí giữa của khe hở không khí thì mạch cầu cân bằng, điện áp ra trên đường chéo mạch cầu bằng không.

Khi có đối tượng cần đo với độ dày x tác động thì lõi thép 1 sẽ di chuyển khỏi vị trí giữa của khe hở không khí làm cho mạch cầu mất cân bằng và trên đường chéo mạch cầu xuất hiện một hiệu điện áp ΔU tỉ lệ với độ dày x. Điện áp này được đưa vào chỉnh lưu và chuyển thành dòng điện một chiều, sử dụng milliampermét đo dòng điện này từ đó suy ra giá trị của độ dày x. Thường để thuận tiện thì millampemét được khắc độ trực tiếp theo kích thước.

Đặc điểm: thiết bị có giới hạn đo từ $0,03 \div 0,3$ mm và $0,02 \div 0,12$ mm. Đặc tính trong giới hạn đo là tuyến tính. Độ chính xác cấp $1 \div 4$, độ nhạy có thể đạt tới $5 \mu\text{A}/\mu\text{m}$.

Do cấu tạo đơn giản, nguồn cung cấp xoay chiều tần số 50Hz nên thiết bị được sử dụng rộng rãi trong ngành chế tạo máy.

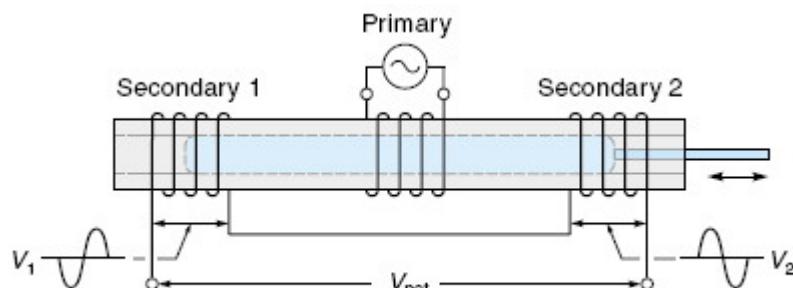
b) **Đo di chuyển thẳng bằng biến áp vi sai tuyến tính (Linear Variable Differential Transformer - LVDT):** có cấu tạo như hình 16.2: gồm có: cuộn sơ cấp (Primary) được nối với điện áp xoay chiều; hai cuộn thứ cấp (Secondary 1 và

Secondary 2) được bố trí đối xứng so với cuộn sơ cấp; nòng sắt từ di chuyển được.

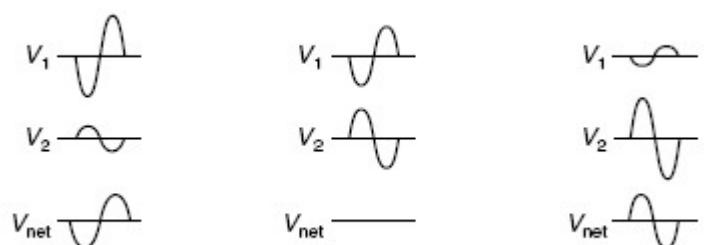
Nguyên lý hoạt động: sự dịch chuyển cần đo tác động lên nòng sắt từ, sự dịch chuyển của nòng sắt từ sẽ làm biến đổi độ ghép giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp làm thay đổi điện áp ra xoay chiều trên hai cuộn thứ cấp, điện áp này sẽ tỉ lệ với độ dịch chuyển.

Hai cuộn thứ cấp được mắc xung đối sao cho suất điện động cảm ứng của chúng ngược pha nhau, điện áp ra V_{net} là:

$$V_{net} = V_1 + V_2$$



(a) LVDT with shaft centered



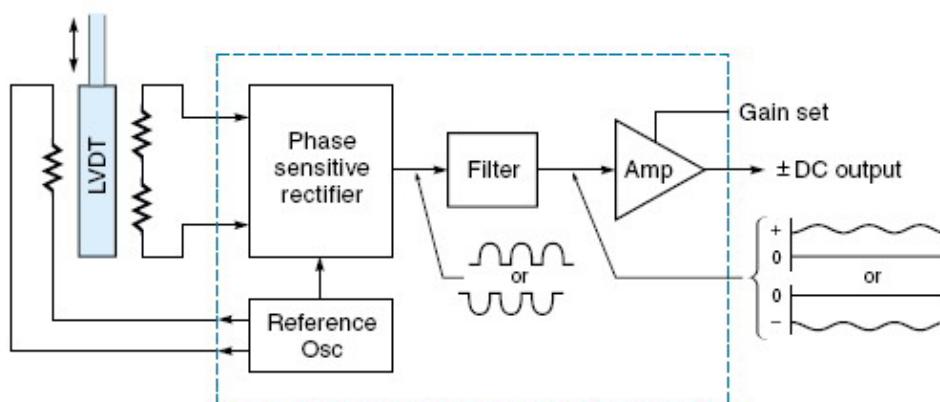
(b) Shaft left

(c) Shaft centered

(d) Shaft right

Hình 16.2. Cấu tạo của biến áp vi sai tuyến tính LVDT

Điện áp ra thường được biến đổi thành điện áp một chiều bằng mạch chỉnh lưu, sau đó qua mạch lọc và mạch khuếch đại như sơ đồ hình 16.3. Điện áp ra một chiều sẽ đưa đến cơ cấu chỉ thị hoặc các khâu khác:

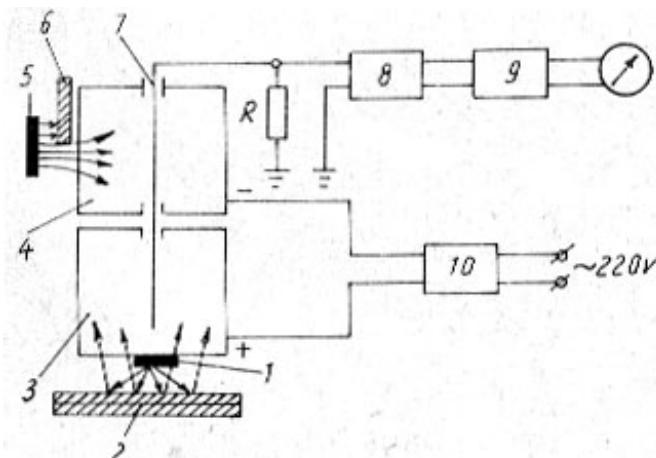


Hình 16.3. Xử lý tín hiệu điện áp ra của LVDT

b) Thiết bị đo chiều dày của lớp phủ các chi tiết dùng chuyển đổi iôn: có cấu tạo như hình 16.4.

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: tia bức xạ lấy từ nguồn 1 (chất Tali 204), tia

này chiếu vào chi tiết cần đo có chiều dày lớp phủ 2. Khi tia bức xạ chiếu lên bề mặt chi tiết thì sẽ bị phản xạ lại, tia phản xạ được thu vào bình iôn hoá 3 tạo thành các dòng iôn. Bình iôn hoá 4 được cung cấp bằng nguồn iôn hoá 5 (chất Ta li 204) nhưng có độ hoạt động yếu hơn dùng để cân bằng dòng iôn hoá ban đầu. Tia bức xạ 5 được điều chỉnh nhò tâm chấn 6. Điện áp cung cấp đặt lên vỏ bình iôn hoá 3 và 4 có dấu ngược nhau do đó dòng iôn chạy qua điện cực chung 7 và qua điện trở R là hiệu của hai dòng iôn trong bình 3 và 4.



Hình 16.4. Thiết bị đo chiều dày của lớp phủ các chi tiết dùng chuyển đổi iôn

Để chỉnh không ban đầu (khi chi tiết chưa có lớp phủ), tâm chấn 6 được di chuyển sao cho độ lớn của hai dòng iôn hoá trong bình 3 và 4 bằng nhau về môđun nhưng ngược nhau về dấu, do đó dòng điện ra bằng không.

Khi chi tiết đo có lớp phủ, độ phản xạ của tia bức xạ vào bình 3 thay đổi làm cho dòng iôn hoá thay đổi và hiệu độ lớn của hai dòng điện khác không. Điện áp rơi trên điện trở R tỷ lệ với độ dày lớp phủ trên chi tiết. Do tín hiệu ra rất nhỏ, nên được khuếch đại bằng bộ khuếch đại điện lượng 8 sau đó đưa vào khuếch đại một chiều 9 và đưa ra chỉ thị.

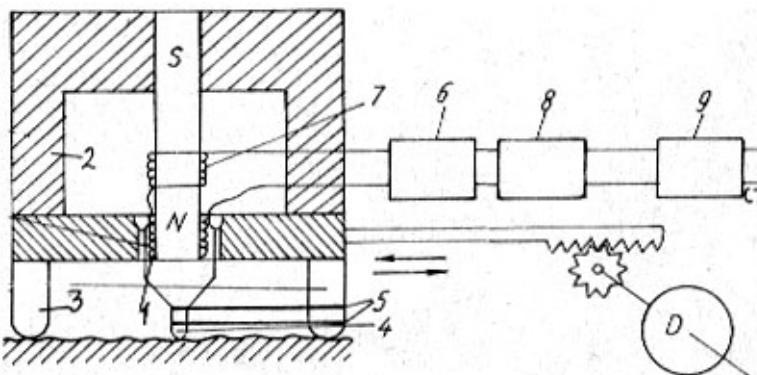
Để cung cấp điện áp thật ổn định cho bình iôn hoá và các tầng khuếch đại, nguồn cung cấp 10 có hệ số ổn định rất cao. Sai số đo khi khắc độ theo mẫu cho trước đạt tới $\pm 2\%$.

c) **Thiết bị đo kích thước rất nhỏ:** để đo kích thước rất nhỏ như độ bóng bề mặt các chi tiết gia công ($\nabla 7 \div \nabla 14$) có thể sử dụng thiết bị đo độ bóng như loại KB-7 có sơ đồ cấu tạo như hình 16.5:

Cấu tạo: cuộn dây cảm ứng 1 được đặt ở giữa khe hở nam châm vĩnh cửu 2 có thể di chuyển dọc trực mạch từ. Cuộn dây được gắn vào kim 4 và lò xo 5. Toàn bộ chuyển đổi đặt lên chi tiết cần đo độ bóng bằng chân 3 có đường kính lớn.

Nguyên lý hoạt động: khi bánh răng và động cơ D quay, chuyển đổi di chuyển tịnh tiến trên bề mặt chi tiết với tốc độ $10 \div 20$ m/s. Khi di chuyển, do độ nhấp nhô của bề mặt chi tiết nên cuộn dây 1 gắn kim nhọn cũng bị di động và cảm ứng ra súc điện động tỷ lệ với độ nhấp nhô của chi tiết. Với độ nhấp nhô nhỏ ($\nabla 14$) thì súc điện động cảm ứng rất nhỏ do đó tín hiệu ra được đưa qua khuếch đại 6 có hệ số khuếch đại lớn và chia thành nhiều giới hạn đo khác nhau, sau đó qua bộ

tích phân 8, qua khuếch đại 9 và đưa vào chỉ thị (CT). Chỉ thị được khắc độ theo giá trị trung bình của biên độ dao động do độ nhấp nhô bề mặt và xác định độ bóng của chi tiết gia công.



Hình 16.5. Thiết bị đo kích thước rất nhỏ: thiết bị đo độ bóng

Đặc điểm: ngưỡng nhạy và độ chính xác của thiết bị bị hạn chế do nhiễu gây nên khi từ trường của nam châm vĩnh cửu cũng như từ trường và nhiệt độ bên ngoài thay đổi. Hiện tượng này được khắc phục bằng cách quấn thêm cuộn dây bù 7 cố định trên nam châm, khi từ trường trong cuộn dây đo và cuộn bù thay đổi do các yếu tố bên ngoài gây nên, chúng được bù lẫn nhau. Mặt khác sức điện động trong cuộn dây cảm ứng 1 không chỉ phụ thuộc vào sự di chuyển của nó mà còn phụ thuộc vào tốc độ kéo của động cơ.

Sai số của thiết bị phụ thuộc vào giới hạn đo và độ nhạy của nó. Sai số cơ bản của thiết bị là $\pm 10\%$.

d) Đo di chuyển bằng thước mã hóa: đây là phương pháp đo di chuyển đạt được độ chính xác cao. Di chuyển cơ học được truyền qua một thước di động, thước này có thể là một thước trong suốt trên nó được khắc vạch chia độ đen, trắng. Các vạch trắng cho ánh sáng xuyên qua hoặc phản xạ trở lại. Một hệ thống quang học chiếu ánh sáng qua thước khắc vạch. Khi thước di chuyển, các tia ánh sáng qua vạch trắng, đen đến tế bào quang điện và tạo thành các xung điện.

Các xung điện được đưa qua bộ đếm đến chỉ thị để chỉ mức di chuyển, ta có:

$$D_x = N_x \cdot d_0$$

với: D_x - khoảng di chuyển của thước.

N_x - số xung đếm được

d_0 - giá trị của một vạch đo.

Hiện nay bằng phương pháp khắc vạch người ta có thể chia được tới 2000 vạch trên một milimét dài.

Ngoài phương pháp khắc vạch trên người ta còn sử dụng thước mã hoá. Thước mã hoá là một thước gồm nhiều dải khắc vạch quan hệ với nhau theo một mã nhất định, thông thường là mã nhị phân. Khi ánh sáng đi qua là 1, ánh sáng bị ngăn lại là 0. Tuỳ theo con số cần đếm ta xác định số phần tử đếm và số dòng trên thước mã hoá. Mỗi bước của thang đo làm thay đổi trạng thái của một hoặc nhiều phần tử của bộ khoá, sau khi giải mã kết quả được thể hiện bằng các con số. Đây là cơ sở của phép đo di chuyển bằng các thiết bị số.

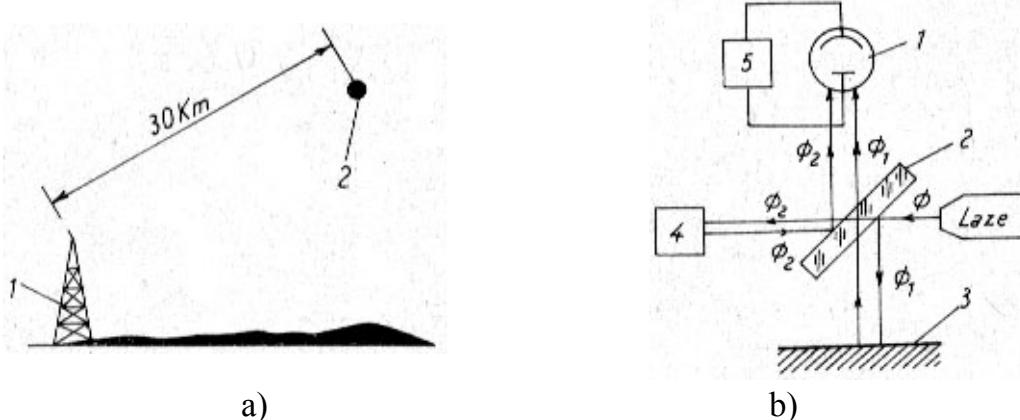
16.2.2. Đo khoảng cách:

Đo khoảng cách có nhiều phương pháp khác nhau, thông dụng nhất là phương pháp đếm số vòng của một bánh xe, sau đó kết hợp với kích thước bánh xe để suy ra quãng đường. Phương pháp này thường dùng cho các loại xe ôtô và mô tô.

Ngày nay các phương pháp hiện đại hơn có thể biến đổi tốc độ quay của bánh xe thành tần số của một dãy xung, thiết bị đếm sẽ đếm số xung và đưa kết quả quãng đường tương ứng lên một bảng số hoặc đưa đến thiết bị điều khiển.

Tốc độ và quãng đường đi của một tên lửa lúc rời bệ phóng có thể được xác định bằng cách ứng dụng hiệu ứng Doppler. Hiệu ứng này cho biết khi hai vật tiến gần nhau, tần số sẽ thay đổi, nhờ đó có thể suy ra tốc độ của tên lửa do sự thay đổi tần số của bộ phát sóng đặt ở đầu tên lửa qua đó có thể điều khiển được tốc độ và tính được quãng đường đi của tên lửa.

Phương pháp vô tuyến định vị tia laze đo khoảng cách lớn: phương pháp đo khoảng cách lớn (hàng triệu kilômét) ngày nay được sử dụng nhiều là phương pháp vô tuyến định vị tia laze (H.16.6a,b):



Hình 16.6. Đo khoảng cách lớn bằng phương pháp vô tuyến định vị tia laze:

- Sơ đồ tổng quan quá trình đo
- Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo

Bộ phát công suất lớn 1 phát xung ngắn (cỡ micrô giây) hoặc tia laze hướng về phía đối tượng cần đo khoảng cách 2. Sau khi gặp đối tượng, sóng hoặc tia laze phản xạ lại và được thu bằng thiết bị thu độ nhạy cao. Đo khoảng thời gian từ lúc phát đến lúc thu tín hiệu phản xạ có thể tính được khoảng cách của đối tượng cần đo:

$$D = \frac{t.c}{2}$$

với: t - thời gian tính từ khi phát đến lúc thu tín hiệu.

c - tốc độ truyền của sóng vô tuyến và laze.

D - khoảng cách cần đo.

Ví dụ: để đo khoảng cách giữa hai vật thể bằng thiết bị đo laze ГД-314 với độ xa 2000m có thể đạt sai số ± 2 cm.

Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo khoảng cách và di chuyển bằng tia laze như hình 16.6b:

Nguyên lý hoạt động: nguồn laze bức xạ thành dòng ánh sáng Φ được phân thành hai tia Φ_1 và Φ_2 nhờ gương lệch 2. Tia Φ_1 phản xạ từ gương 2 qua gương 3 chiếu vào phần tử quang điện 1. Tia Φ_2 cũng đi qua gương 2 đến đối tượng cần

đo 4 và được phản xạ lại qua gương 2 đến phần tử quang điện 1. Tại phần tử quang điện, hai tia Φ_1 và Φ_2 được xếp chồng. Khi đối tượng đo di chuyển, tổng cường độ sáng của hai tia laze cũng thay đổi. Nhờ thiết bị đếm 5 có thể tính được khoảng di chuyển của đối tượng đo 4. Nếu gọi L_x là khoảng di chuyển của đối tượng đo, k là số chu kỳ tính của tia laze và λ là độ dài ánh sáng ta có quan hệ:

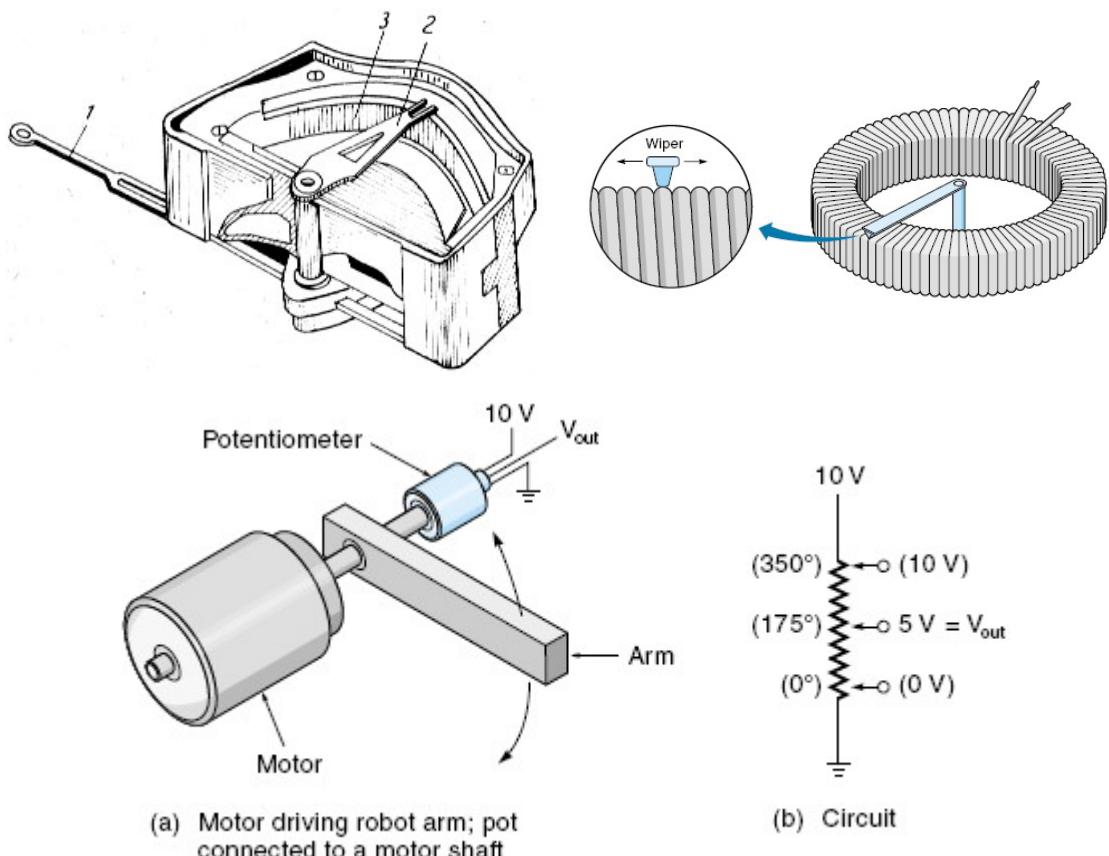
$$L_x = k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Với thiết bị trên, khi đo khoảng di chuyển cỡ 1m thì sai số từ $0,1\div 1\mu\text{m}$.

16.2.3. Đo góc quay:

a) **Thiết bị đo góc dựa trên các chuyển đổi biến trớ (Angle Potentiometer):** có ưu điểm là độ chính xác cao (sai số chỉ cỡ $0,05\div 0,03\%$); công suất ra lớn, không cần khuếch đại tín hiệu; cấu tạo của thiết bị đơn giản.

Hình 16.7 là chuyển đổi biến trớ loại MY-62 được chế tạo hàng loạt trong công nghiệp dùng đo góc quay:



Hình 16.7. Chuyển đổi biến trớ đo góc quay loại MY-62

Nguyên lý hoạt động: di chuyển góc cần đo qua tay gạt 1 tác động lên con trượt 2 làm con trượt di chuyển trên biến trớ 3, giá trị của biến trớ 3 tỉ lệ với góc quay cần đo.

Đặc điểm: điện trở của biến trớ khoảng 250Ω , góc quay toàn phần là 60° . Sai số cơ bản không quá $\pm 0,3^\circ$.

Ngoài chuyển đổi biến trớ còn có thể dùng các chuyển đổi điện cảm, điện dung phối hợp với các mạch điện tử để đo góc quay.

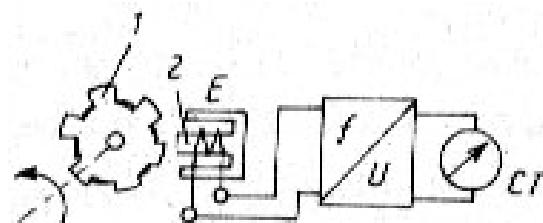
b) **Thiết bị đo góc quay bằng chuyển đổi cảm ứng:** có sơ đồ nguyên lý như hình 16.8.

Nguyên lý hoạt động: khi đĩa xé rãnh 1 quay đi một góc α (tương ứng với n rãnh) sẽ làm cho từ thông mọc vòng trong cuộn dây cảm ứng 2 thay đổi tạo ra một sức điện động cảm ứng, suất điện động này được tính bằng:

$$E_c = -W \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

với: W: số vòng của cuộn dây cảm ứng 2

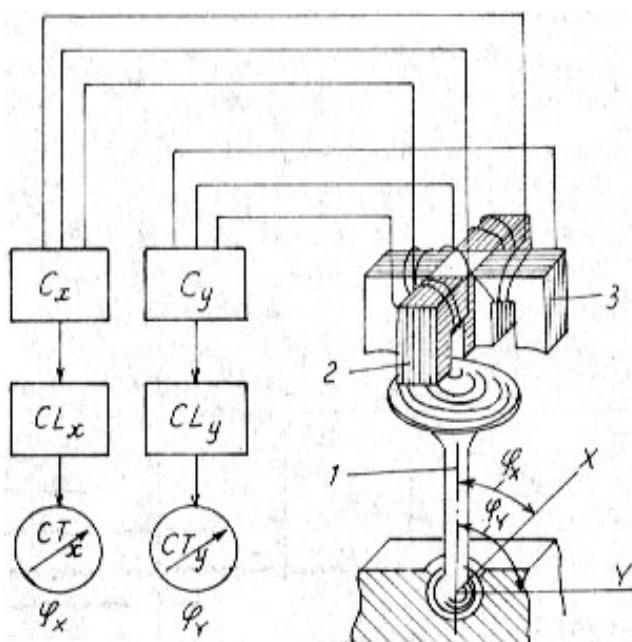
Φ : từ thông mọc vòng trong cuộn dây cảm ứng 2



Hình 16.8. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo góc quay bằng chuyển đổi cảm ứng

Tần số của suất điện động tỷ lệ với số rãnh quay của đĩa n. Tần số này qua bộ biến đổi tần số sang điện áp [f/U] sẽ chuyển thành tín hiệu điện áp để đưa vào chỉ thị (CT). Chỉ thị được khắc độ theo góc quay.

c) *Thiết bị dùng chuyển đổi điện cảm đo góc quay trong không gian hai chiều:* có sơ đồ nguyên lý như hình 16.9:

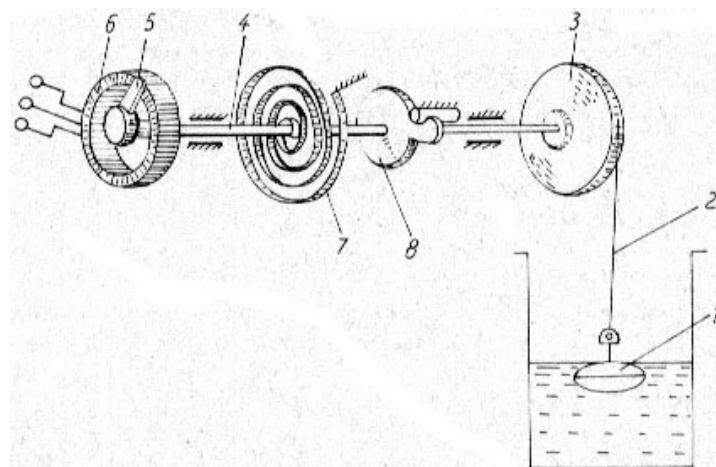


Hình 16.9. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị dùng chuyển đổi điện cảm đo góc quay trong không gian hai chiều

Nguyên lý hoạt động: lõi thép phần ứng 1 có hai bậc tự do, di chuyển được theo trục Y và trục X. Hai chuyển đổi điện cảm mác vi sai 2 và 3 nối với hai mạch cảm biến không cần bằng C_x , C_y có nguồn cung cấp là điện áp xoay chiều tần số 500Hz. Tín hiệu ra của mạch cảm biến đưa vào chỉnh lưu nhạy pha (CL_x , CL_y) và đưa đến chỉ thị (CT_x , CT_y) để chỉ góc quay φ_x , φ_y . Giới hạn đo của thiết bị là $2,5^\circ$ và ngưỡng nhạy $0,5'$.

16.2.4. Đo mức:

a) Phương pháp đo mức nước dùng các bộ biến đổi tỉ lệ ở dạng dẫn truyền bằng tay gạt hoặc dây curoa kết hợp với chuyển đổi biến trở: là phương pháp đo mức nước đơn giản. Hình 16.10 là cấu tạo của thiết bị đo mức nước được sản xuất hàng loạt dùng trong công nghiệp:



Hình 16.10. Cấu tạo của thiết bị đo mức nước dùng các bộ biến đổi tỉ lệ ở dạng dẫn truyền bằng tay gạt hoặc dây curoa kết hợp với chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: phao nổi 1 phản ánh mức nước cần đo được nối với sợi dây 2 gắn vào puli 3. Khi puli quay, trực 4 gắn với con trượt 5 quay theo và trượt trên biến trở 6 làm thay đổi điện trở của biến trở tỉ lệ với mức nước cần đo. Đầu dây ra của biến trở được mắc vào mạch đo.

Khi thiết kế, đường kính của puli được tính sao cho chu vi của nó có độ dài đúng bằng khoảng cách mức nước cần đo.

Để giữ cho dây treo phao luôn được căng người ta gắn thêm lò xo xoắn 7 và cơ cầu cam 8 để puli chỉ có thể quay được một vòng.

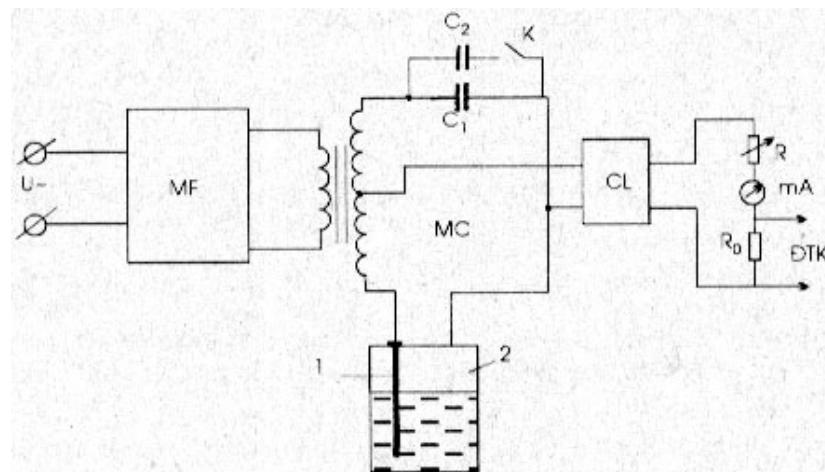
Đặc điểm: với thiết bị này có thể đo được khoảng thay đổi từ vài chục centimét đến vài mét với sai số cơ bản là $\pm 0,5\%$ trong giới hạn thang đo.

b) Thiết bị đo mức nước dùng chuyển đổi điện dung: cũng được sử dụng rộng rãi. Có sơ đồ cấu tạo như hình 16.11:

Nguyên lý hoạt động: chuyển đổi điện dung được mắc vào một nhánh cầu không cân bằng MC, nhánh thứ hai gồm tụ điện C_1 (có điện dung cỡ vài pF) và một tụ điện khác C_2 mắc song song (có điện dung cỡ vài chục pF) thông qua khoá K. Hai nhánh khác của mạch cầu là cuộn dây thứ cấp của máy biến áp BA. Cầu được cung cấp bằng một máy phát điện áp cao tần MF ($1 \div 10\text{MHz}$). Điện áp ra của cầu được chỉnh lưu qua bộ chỉnh lưu CL.

Điều chỉnh cho kim chỉ thị có giá trị cực đại bằng cách đóng khoá K và điều chỉnh giá trị của biến trở R. Chỉ thị là một miliampermét (hoặc điện thế kế tự động).

Đặc điểm: phương pháp này có ưu điểm là đạt được độ tuyến tính trong khoảng đo lớn. Khoảng đo từ $0 \div 5\text{m}$. Thiết bị có thể đo được mức nước ở nhiệt độ $\pm 100^\circ\text{C}$ và áp suất của bình từ $0 \div 10^6 \text{ N/m}^2$. Sai số của thiết bị cỡ $\pm 2,5\%$. Sai số phụ 1% khi nhiệt độ thay đổi 10°C .



Hình 16.11. Sơ đồ cấu tạo của thiết bị đo mức nước dùng chuyển đổi điện dung

Thiết bị này thường được ứng dụng để đo mức nước của các chất lỏng dễ bay hơi, dễ nổ và ăn mòn. Khi đó chuyển đổi điện dung 1 là thanh kim loại mỏng phủ lớp chống ăn mòn hóa học đặt giữa thùng kim loại đựng chất lỏng 2. Khi thùng rỗng, điện dung của thùng thấp, lúc đầy chất lỏng điện dung tăng lên.

16.3. Đo vận tốc, gia tốc và độ rung.

16.3.1. Đo vận tốc bằng máy phát tốc độ (Tachometer Generator):

Tốc độ kế thường dùng nhất là máy phát tốc độ. Máy phát tốc độ có thể chia thành hai loại, máy phát một chiều và máy phát xoay chiều.

Máy phát tốc độ một chiều (DC tachometer generator): là máy phát điện có sức điện động ra tỉ lệ với tốc độ. Trục quay của máy phát được nối với trục quay của đối tượng đo. Khi đối tượng đo quay, máy phát quay tạo ra sức điện động tỉ lệ với tốc độ quay. Đo sức điện động bằng các dụng cụ đo điện áp có thể suy ra tốc độ.

Máy phát tốc độ xoay chiều (AC tachometer generator): có quan hệ giữa sức điện động và tốc độ quay cũng như máy phát tốc độ một chiều, nhưng điện áp ra là điện áp xoay chiều có tần số tỉ lệ với tốc độ quay:

$$f = \frac{a \cdot n}{60}$$

với: a - số đôi cực của máy phát; n - tốc độ quay; f - tần số ra

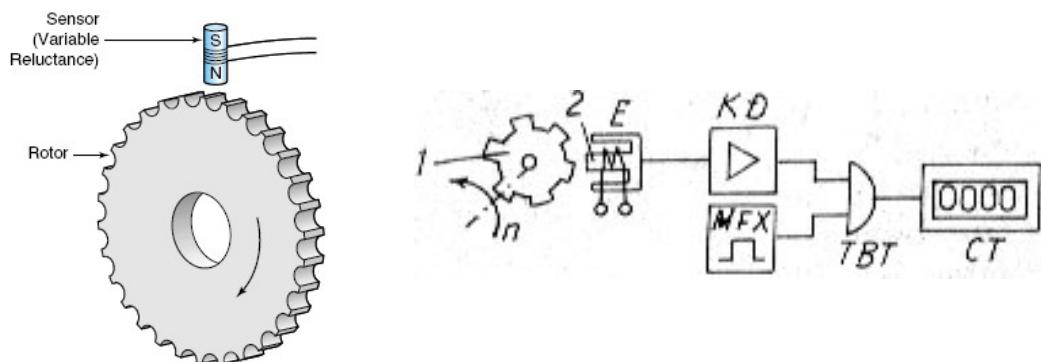
Đo điện áp U hoặc tần số f có thể xác định được tốc độ đối với các máy phát tốc độ xoay chiều, các chỉ thị kèm theo thường là tần số kế vì đo tần số, sai số nhỏ hơn và không bị phụ thuộc vào cấu tạo của máy phát mà chỉ phụ thuộc vào cách bố trí số lượng cực.

16.3.2. Đo tốc độ quay bằng phương pháp biến tốc độ quay thành tần số (Encoder):

Ngoài các máy phát tốc, ngày nay đo tốc độ quay bằng phương pháp biến tốc độ quay thành tần số được sử dụng khá rộng rãi. Quá trình biến đổi tốc độ quay thành tần số có thể thực hiện bằng nhiều cách: bằng mạch từ, bằng quang học ...

Thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số bằng mạch từ: hình 16.12 là sơ đồ của thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số bằng mạch từ:

Cấu tạo: bộ biến đổi tốc độ - tần số bao gồm: bánh răng 1, cuộn dây cảm ứng không tiếp xúc 2 (hoặc cuộn dây điện cảm). Đó là các phần tử nhạy và thường có số lượng răng $p = 1, 6, 60, 180, 200, 250$ và 600 để có tần số xung nhỏ nhất là 10Hz .



Hình 16.12. Sơ đồ của thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số

Nguyên lý hoạt động: khi bánh răng quay, phần tử nhạy tạo thành các xung. Tần số lớn nhất có thể nhận được khi đo:

$$f_{\max} = \frac{p \cdot n_{\max}}{60} (\text{Hz})$$

với: n_{\max} - tốc độ quay lớn nhất;

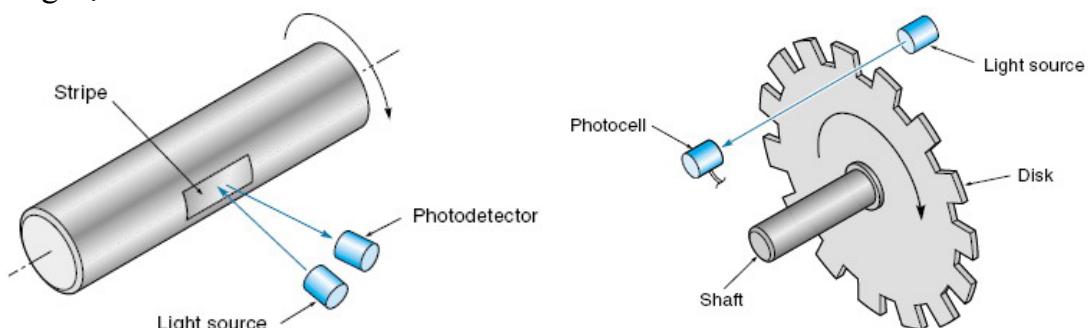
và số răng không nhỏ hơn $p_{\min} = 600/n_{\min}$ với n_{\min} là tốc độ quay nhỏ nhất.

Với sơ đồ trên hình 16.10: nếu $p = 60$, thời gian đo là 1 giây thì thiết bị có thể chỉ trực tiếp tần số quay.

Chỉ thị là dụng cụ số, trong đó xung tần số từ phần tử nhạy được đưa qua bộ khuếch đại vào thiết bị tính và đưa ra chỉ thị số.

Đặc điểm: sai số của bộ đếm có thể đạt được ± 1 .

Thiết bị đo tốc độ quay bằng cách biến tốc độ quay thành tần số bằng quang học: bộ biến đổi tốc độ - tần số có thể được thực hiện bằng các thiết bị quang học như hình 16.13:



Hình 16.13. Bộ biến đổi tốc độ - tần số bằng quang học

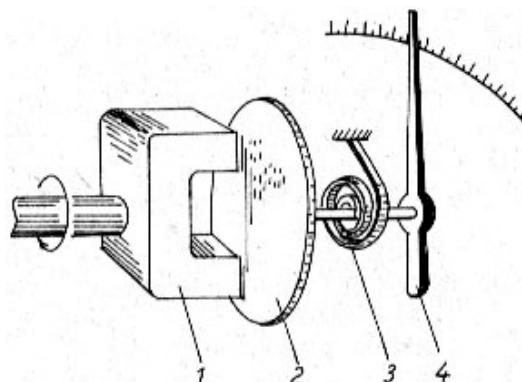
16.3.3. Thiết bị đo tốc độ quay dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ:

Ngoài các thiết bị trên, để đo tốc độ chuyển động của ôtô có thể thực hiện theo sơ đồ hình 16.14:

Trong đó chuyển đổi bao gồm nam châm vĩnh cửu 1 nối với trục quay của động cơ qua bộ dẫn động bằng dây mềm.

Trước nam châm là đĩa nhôm 2 có trục gắn với kim chỉ tốc độ 4 và lò xo cản

3. Khi nam châm quay tạo ra từ trường quay, từ trường này cảm ứng lên đĩa nhôm dòng cảm ứng đồng thời tác dụng lên dòng điện ấy một lực tạo ra mômen quay lên đĩa nhôm. Tuỳ theo tốc độ quay của động cơ, đĩa nhôm bị quay theo, kim chỉ cho ta biết được tốc độ đó.



Hình 16.14. Sơ đồ thiết bị đo tốc độ quay dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ

16.3.4. Đo gia tốc (acceleration) và độ rung (chấn động-vibration):

Cấu trúc chung của dụng cụ đo này gồm một khối quán tính gắn với một hệ lò xo. Do quán tính lớn nên giữa khối quán tính và đế của dụng cụ có sự di chuyển tương đối với nhau khi có rung. Ngoài ra từ phép đo di chuyển có thể suy ra biên độ rung hay gia tốc.

Các chuyển đổi dùng trong dụng cụ đo gia tốc hay độ rung là các chuyển đổi điện trở, điện cảm, điện dung, áp điện... Vấn đề là chọn quán tính và chuyển đổi như thế nào để khi đo không gây ra các sai số phụ về tần số.

Quan hệ giữa tần số cộng hưởng của hệ thống cơ và dải tần cần đo của dụng cụ thường tỉ lệ nghịch nhau. Thông thường tần số của chuyển đổi trong dụng cụ đo chấn động phải thấp hơn một số lần giới hạn dưới của dải tần cần đo. Đối với dụng cụ đo gia tốc thì ngược lại tần số của chuyển đổi phải lớn hơn một số lần giới hạn trên của dải tần cần đo.

Dải tần đo các thông số rung trong khoảng $20 \div 3000\text{Hz}$ vì vậy tần số của hệ thống cơ trong dụng cụ đo độ rung nằm trong khoảng $2 \div 7\text{Hz}$, còn đối với gia tốc kể từ $10 \div 15\text{kHz}$ và lớn hơn.

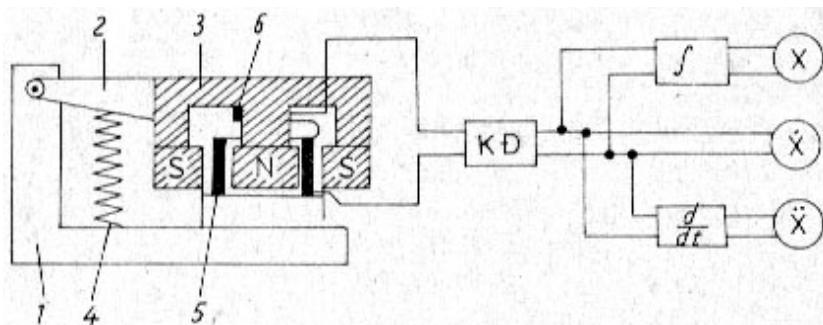
a) **Chấn động kế kiểu cảm ứng:** dựa trên quan hệ vi tích phân giữa các thông số của chuyển đổi rung, ta có thể chế tạo được các thiết bị phối hợp giữa chuyển đổi với các mạch vi tích phân và chỉ thị để đo độ rung (chấn động) và gia tốc.

Cấu tạo: như hình 16.15: gồm một giá đỡ bằng kim loại không dẫn từ 1 để đặt trên đế tượng đo. Trên giá đỡ có thanh dao động 2 và nam châm 3. Thanh dao động, nam châm và lò xo 4 tạo thành khối quán tính.

Nguyên lý hoạt động: bình thường, dưới tác dụng của trọng lượng, khối quán tính và lực đẩy của lò xo ở trạng thái cân bằng, cuộn dây cảm ứng 5 đặt giữa khe hở không khí của nam châm đứng yên. Khi có độ rung (chấn động), nam châm và cuộn dây cảm ứng di chuyển tương đối với nhau làm cho từ thông móc vòng qua cuộn dây thay đổi, tạo ra sức điện động cảm ứng. Sức điện động sinh ra tỉ lệ với biên độ rung được đưa vào khuếch đại sau đó đưa ra chỉ thị.

Cuộn dây bù 6 có tác dụng khử sức điện động do nhiễu sinh ra trong cuộn dây 5.

Nhờ bộ vi phân 6 và tích phân 7, thiết bị có thể đo được độ rung với biên độ x, tốc độ rung \dot{x} và gia tốc \ddot{x} .



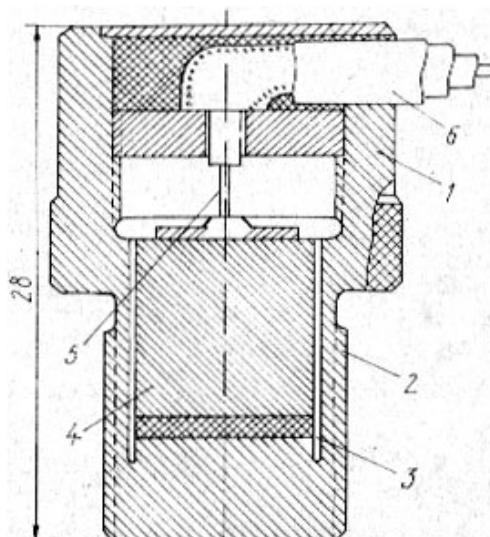
Hình 16.15. Cấu tạo của chấn động ké kiểu cảm ứng

Để ghi lại và theo dõi quá trình có thể dùng chỉ thị tự ghi hoặc dao động kí.

Đặc điểm: chấn động ké loại này làm việc với tần số loại này từ $20 \div 500\text{Hz}$.

b) Đo độ rung bằng chuyển đổi áp điện: khi cần đo độ rung với tần số cao hơn (từ $10 \div 20\text{kHz}$) có thể sử dụng chuyển đổi áp điện.

Cấu tạo: hình 16.16 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo độ rung với chuyển đổi áp điện:



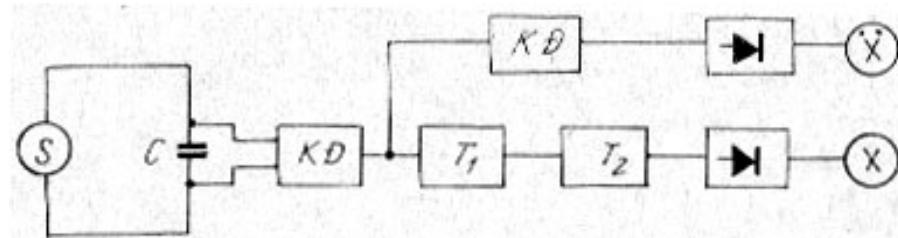
Hình 16.16. Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo độ rung bằng chuyển đổi áp điện

Vỏ 1 của chuyển đổi được tạo thành ren 2 để bắt chặt vào đồi tượng đo. Dưới đáy vỏ là phần tử áp điện 3 được gắn chặt bằng nhựa dán. Phần tử áp điện có thể là tinh thể thạch anh, titanat bari (BaTiO_3). Mặt trên của phần tử áp điện là khối quán tính 4. Khối quán tính làm bằng hợp kim vônfram có trọng lượng gấp 2 đến 3 lần thép, do đó có thể tạo thành một khối dao động vững chắc.

Tần số riêng của chuyển đổi phụ thuộc vào khối lượng, độ chắc chắn của đáy vỏ, trọng lượng của khối quán tính và có thể đạt đến $50 \div 100\text{kHz}$. Thiết bị có thể làm việc được trong dải tần từ $500\text{Hz} \div 20\text{kHz}$.

Nguyên lý hoạt động: khi làm việc phần tử áp điện chịu lực tỉ lệ với gia tốc, các điện tích do phần tử áp điện tạo ra tỉ lệ với giá trị tức thời của gia tốc. Các điện tích này được dẫn ra bằng cáp bọc kim loại 6, lõi 5 của dây cáp được nối với quán tính 4, cách điện với vỏ ngoài và vỏ dây cáp lại được nối với vỏ ngoài đó.

Sơ đồ khối của dụng cụ vạn năng dùng chuyển đổi áp điện đo biên độ rung, đo gia tốc trung bình như hình 16.17:



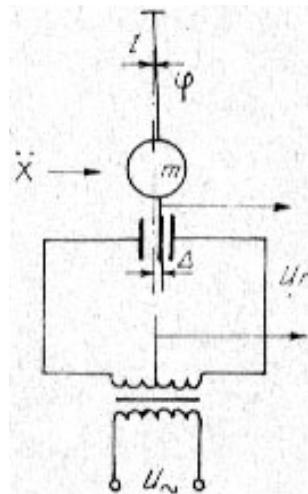
Hình 16.17. Sơ đồ khối của dụng cụ vạn năng dùng chuyển đổi áp điện đo biên độ rung và đo gia tốc trung bình

Chuyển đổi áp điện được nối song song với tụ C để nhận được điện áp xoay chiều tỉ lệ với gia tốc nhưng không phụ thuộc vào tần số rung. Trở kháng $X_c = 1/\omega C$ đối với dải tần làm việc cần phải được chọn sao cho đạt trở vào nhỏ nhất ở đầu vào của khuếch đại sơ bộ (KĐ) để hạn chế giới hạn dưới của dải tần làm việc.

Điện áp sau khi qua khuếch đại sơ bộ được đưa vào hai kênh song song. Một kênh gồm có mạch khuếch đại, chỉnh lưu và chỉ thị chỉ gia tốc \ddot{x} . Kênh còn lại là hai bộ tích phân T_1 và T_2 mắc nối tiếp với nhau nối với chỉnh lưu và chỉ thị chỉ biên độ rung x .

Đặc điểm: các thiết bị trên dải tần làm việc từ $20\text{Hz} \div 10\text{kHz}$, sai số quy đổi $\pm 5\%$. Thiết bị có 4 giới hạn đo gia tốc $20, 100, 400$ và 2000m/s^2 , bốn giới hạn đo độ rung $0,05; 0,25; 1,0; 5,0 \text{ mm}$.

c) **Đo gia tốc không thay đổi sử dụng gia tốc kiểu con lắc:** hình 16.18 là sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu con lắc với chuyển đổi điện dung:



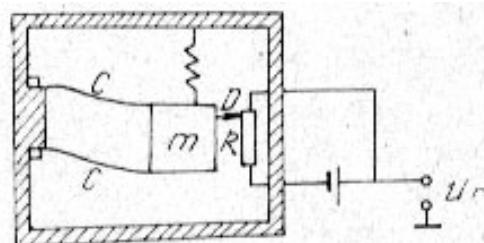
Hình 16.18. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu con lắc với chuyển đổi điện dung

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: dưới tác dụng của gia tốc, con lắc có chiều dài l và khối quán tính m bị lệch đi một góc φ và bán cực nằm giữa của chuyển đổi điện dung mắc vi sai bị di chuyển một khoảng Δ . Điện áp ra của mạch cầu (gồm hai nửa cuộn dây thứ cấp biến áp và chuyển đổi điện dung) tỉ lệ với gia tốc cần đo.

Đặc điểm: gia tốc kế con lắc dùng đo gia tốc nhỏ hơn $0,1\text{g}$ (g - gia tốc trọng

trường). Với gia tốc lớn hơn tương ứng với góc lệch φ quá lớn sẽ gây sai số do độ phi tuyế̄n.

d) Đo gia tốc không thay đổi sử dụng gia tốc kiểu lò xo: hình 16.19 là sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu lò xo với chuyển đổi biến trở:



Hình 16.19. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu lò xo với chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: khôi quán tính m được gắn vào lò xo đàn hồi C. Khi có gia tốc theo hướng thẳng đứng, dưới tác dụng của lực quán tính $F = m\ddot{x}$ con trượt D gắn với khôi quán tính sẽ di chuyển trên biến trở R. Điện áp ra tỉ lệ với gia tốc cần đo.

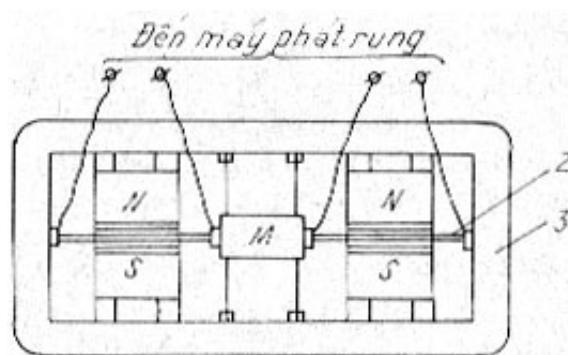
Đặc điểm: giới hạn của thiết bị phụ thuộc vào khôi quán tính và lò xo, nó có thể đo được gia tốc từ $0,1 \div 150$ g. Thiết bị này được sử dụng trên máy bay để đo gia tốc trong cabin với các chế độ bay khác nhau.

Sai số của hai loại gia tốc kế trên từ $1 \div 5\%$.

e) Đo gia tốc bằng phương pháp biến thành tần số: đây là phương pháp đo rất thuận lợi có thể đo được gia tốc nhỏ cũng như đo tốc độ trực tiếp nhờ các khâu tích phân.

Ưu điểm của phương pháp này là dễ dàng phát hiện được sự thay đổi tần số nhờ sự so sánh giữa tần số đo và tần số mẫu do đó cho phép đo được sự thay đổi gia tốc với sai số khoảng $1 \div 2 \cdot 10^{-6}$ gia tốc đó.

Gia tốc kế kiểu rung: hình 16.20 là sơ đồ nguyên lý của gia tốc kế kiểu rung:



Hình 16.20. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kế kiểu rung
dùng đo gia tốc của đường đan tên lửa

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi gồm có khôi quán tính M gắn lên hai thanh rung kéo căng 2. Đầu kia của thanh rung gắn với vỏ 3.

Hai thanh rung được đặt nằm trong khe hở từ trường của hai nam châm NS. Hai đầu của thanh rung được nối với máy phát rung. Tần số dao động riêng của thanh rung được xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{ml}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

với: f_0 - tần số riêng; l - chiều dài thanh rung
 F - lực kéo; m - khối lượng của cả thanh rung
 σ - Úng suất cơ; ρ - mật độ

Dưới tác dụng của gia tốc một thanh rung có tần số tăng lên còn thanh kia tần số giảm đi. Đại lượng ra là hiệu tần số của hai thanh rung, tần số này tỉ lệ với gia tốc. Thiết bị đo là các bộ đếm xung.

Đặc điểm: những dụng cụ này có khả năng đo được gia tốc với dải tần rộng từ vài chục đến hàng trăm Hz. Sai số của dụng cụ cỡ 0,01%.

Thường được sử dụng trong hệ thống giao thông đường thủy, đo gia tốc của đường đạn tên lửa...

16.4. Phương pháp đo biến dạng (deformation) và ứng suất cơ (stress).

Đo ứng suất và biến dạng thực tế là một, đó là đo Δl hay $\Delta l / l$.

Do biến dạng và ứng suất có thể dùng các loại chuyển đổi khác nhau, thường dùng chuyển đổi điện trở lực căng (tenzo).

Phạm vi đo biến dạng tương đối $\Delta l / l$ bằng một điện trở lực căng: từ 0,005 ÷ 0,02%, hoặc từ 1,5÷2% và đôi khi có thể từ 6÷10%.

Ưu điểm của các chuyển đổi điện trở lực căng: quán tính rất nhỏ, sử dụng được trong dải tần rộng 0÷100kHz. Có thể đo được biến dạng tĩnh và biến dạng động, chế tạo đơn giản, dễ hiệu chỉnh, ít bị nhiễu do điện từ trường bên ngoài tác động.

16.4.1. Các khâu nguyên công khi đo biến dạng và ứng suất bằng điện trở lực căng:

Điện trở lực căng phải được dán trên một lớp cách điện mỏng và dán dọc theo chiều biến dạng vì vậy tùy theo yêu cầu của phép đo mà chọn vị trí, chiều đặt điện trở trên đối tượng đo để có thể phản ánh được biến dạng hoặc ứng suất mà ta muốn đo. Cụ thể các khâu nguyên công bao gồm: chọn vị trí đo, chuẩn bị bề mặt dán và dán chuyển đổi.

Chọn vị trí đo: khi nghiên cứu trạng thái ứng suất theo một hướng nào đó, chuyển đổi được dán theo hướng tác dụng của ứng suất, lúc đo sự biến dạng của chi tiết đo và ứng suất được tính theo công thức:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_R}{k} \quad \text{và} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon_1 = E \cdot \frac{\varepsilon_R}{k}$$

trong đó: k - hệ số độ nhạy tương đối;
 ε_R - độ biến thiên tương đối của điện trở chuyển đổi.
 ε_1 - độ biến thiên tương đối theo chiều dài tác dụng.

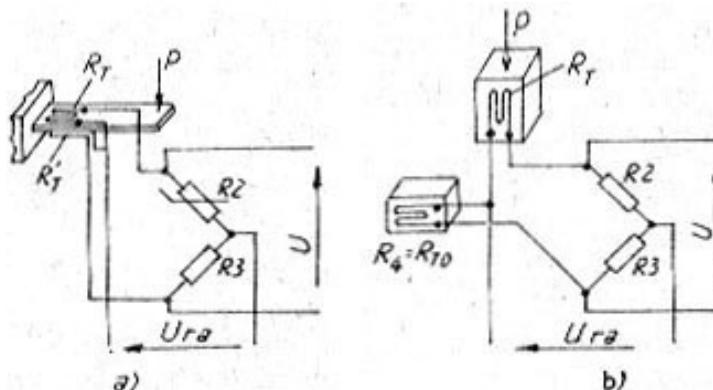
E - môđun đàn hồi của vật liệu

Ví dụ: với vật liệu có môđun đàn hồi $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, người ta dùng loại điện trở dây mảnh làm bằng Constantan có hệ số $k = 2$, khi đó ứng suất 100 N/mm^2 tương ứng với $\varepsilon_R = 0,1\%$.

Để loại trừ sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi, mạch đo được sử dụng hai

chuyển đổi cùng loại mắc trên hai nhánh của cầu và cùng dán lên một chi tiết đo, đặt trong cùng điều kiện nhiệt độ.

Hình 16.21a cho thấy phương pháp dán hai chuyển đổi điện trở lực căng lên đối tượng cần đo lực uốn của một đàm chịu lực. Khi có lực tác dụng, chuyển đổi R_T nằm phía trên đàm chịu lực kéo còn chuyển đổi R_T' nằm phía dưới chịu lực nén:



Hình 16.21. Phương pháp dán hai chuyển đổi điện trở lực căng lên đối tượng cần đo lực uốn của một đàm chịu lực:

- a) Khi đối tượng đo có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau
- b) Khi đối tượng đo không có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau

như vậy khi cầu mêt cân bằng điện áp ra trên đường chéo cầu có giá trị lớn gấp hai lần khi chỉ có một chuyển đổi bị biến dạng, hơn nữa cách này có khả năng loại trừ được sai số do nhiệt độ môi trường gây nên.

Trong trường hợp khi đối tượng đo không có những biến dạng như nhau và ngược dấu nhau, để hiệu chỉnh sai số nhiệt độ có thể dán một chuyển đổi lên đối tượng cần đo, còn chuyển đổi khác dán lên một mẫu được chế tạo cùng loại vật liệu với đối tượng đo, mẫu này được đặt trong cùng điều kiện nhiệt độ xem hình 16.21b.

Chuẩn bị bề mặt dán và dán chuyển đổi: phải đảm bảo các chuyển đổi gắn chặt với đối tượng đo.

Việc chọn vị trí không đúng và dán chuyển đổi không đúng phương pháp sẽ gây sai số lớn (sai số phương pháp).

16.4.2. Chọn mạch đo, điện áp cung cấp và chỉ thị chỉ kết quả:

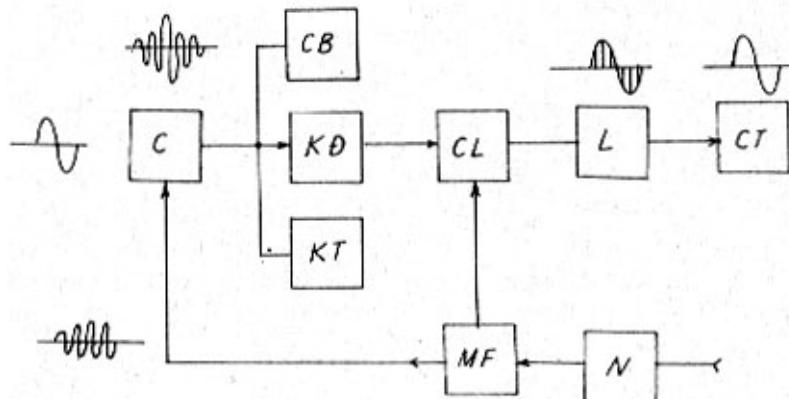
Mạch đo dùng với chuyển đổi điện trở lực căng thường là mạch cầu cân bằng hoặc không cân bằng.

Trong các phép đo biến dạng tĩnh, yêu cầu độ chính xác cao: thường dùng cầu cân bằng hay cầu tự động cân bằng.

Trong các phép đo biến dạng động, độ chính xác không yêu cầu cao: mạch đo thường là mạch cầu không cân bằng, điện áp ra trên đường chéo cầu tỉ lệ với độ biến dạng cần đo. Khi điện áp nhỏ thì cần kết hợp với mạch cầu với các bộ khuếch đại để tăng tín hiệu lên.

a) *Sơ đồ khái của thiết bị đo biến dạng:* như hình 16.22: cầu đo C được cung cấp bằng điện áp xoay chiều từ máy phát có tần số chuẩn (MF). Tín hiệu ra của mạch cầu đưa vào khuếch đại (KD) để tăng độ lớn, tín hiệu được tiếp tục đưa đến chỉnh lưu nhạy pha (CL) để biến thành tín hiệu một chiều sau đó qua bộ lọc

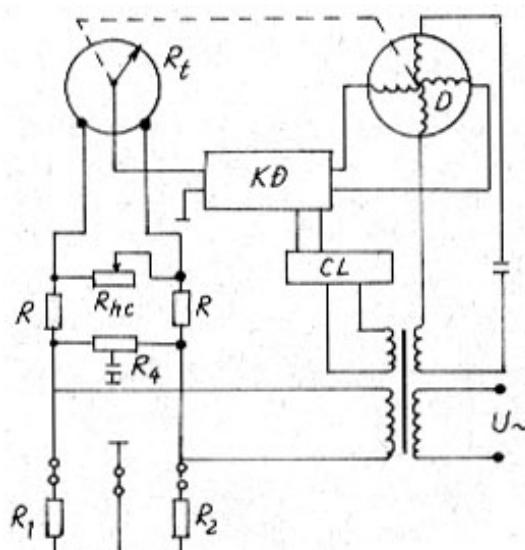
(L) và chỉ thị (CT). Chỉ thị có thể là dao động kí, chỉ thị cơ điện hoặc chỉ thị số...



Hình 16.22. Sơ đồ khái niệm của thiết bị đo biến dạng

Mạch khuếch đại và máy phát tần số được cung cấp từ nguồn N. Để kiểm tra độ nhạy và cân bằng cầu có thể dùng thiết bị kiểm tra (KT) và thiết bị cân bằng (CB). Đo biến dạng tĩnh, cân bằng thường dùng mạch cầu tự động.

b) **Thiết bị cân bằng tự động dùng để đo biến dạng:** có sơ đồ như hình 16.23:



Hình 16.23. Sơ đồ của một thiết bị cân bằng tự động dùng để đo biến dạng

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: hai điện trở lực căng R₁ và R₂ được mắc vào hai nhánh cầu cân bằng. Điện trở R_t là điện trở làm việc, còn điện trở R_{hc} dùng để hiệu chỉnh nhiệt độ. Trị số điện trở của R_t và R_{hc} giống nhau. Hiệu chỉnh độ nhạy cầu là điện trở R_{d/c}. Khi thiết bị làm việc, điện áp ra từ mạch cầu được đưa vào khuếch đại (KD) và chỉnh lưu (CL) sau đó đưa vào động cơ thuận nghịch (Đ). Khi động cơ quay kéo con trượt trên biến trở R_t đến cầu cân bằng ở vị trí mới thì dừng lại.

Đặc điểm: thiết bị có giới hạn đo là 10^{-2} đơn vị biến dạng tương đối khi làm việc với điện trở lực căng có trị số $70 \div 400\Omega$ với độ nhạy $k = 1,8 \div 2,25$. Ngưỡng nhạy của thiết bị là 10^{-6} đơn vị biến dạng tương đối.

16.5. Phương pháp đo lực (force) và mômen xoắn (torque).

16.5.1. Đo lực bằng lực kế:

a) **Phân loại:** tùy theo phương pháp đo lực có thể chia thành:

- **Đo bằng các chuyển đổi trực tiếp:** thường dùng các điện tử áp điện và áp từ. Giới hạn đo của các dụng cụ này phụ thuộc vào diện tích tác dụng các chuyển đổi.

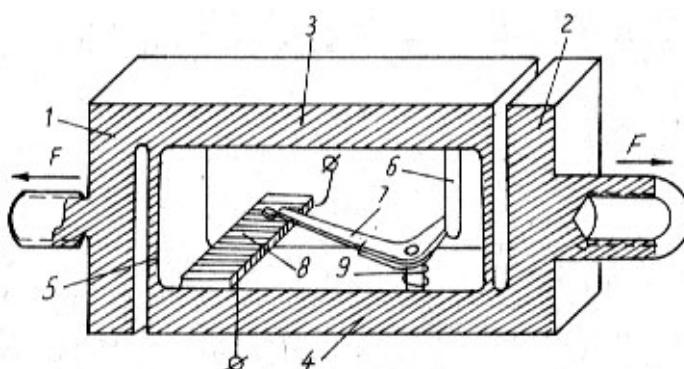
Ví dụ : ứng suất cho phép trong vật liệu áp từ σ không vượt quá giới hạn $\sigma_{cp} = 40N/mm^2$, đối với thạch anh $\sigma_{cp} = 70 \div 10^7 N/mm^2$.

Chuyển đổi áp từ làm việc có chế độ chắc chắn cao và dải tần từ $20 \div 50$ kHz. Phản tử áp điện chỉ đo được với lực biến thiên tần số $\geq 5 \div 10$ Hz trở lên, không khắc độ được với lực tĩnh.

- **Đo lực bằng phương pháp biến đổi lực thành di chuyển và đo di chuyển để xác định lực:** thực hiện được nhờ các chuyển đổi biến trở, điện cảm, điện dung, điện trở lực căng... Giới hạn đo của các dụng cụ phụ thuộc vào cấu trúc của phản tử dẫn truyền, cách lắp ghép chúng.

Các dụng cụ đo lực như trên gọi là các lực kế.

b) **Lực kế dùng chuyển đổi biến trở:** có sơ đồ như hình 16.24:



Hình 16.24. Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của lực kế dùng chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: lực cần đo F tác động lên hai tám thép 1 và 2, hai tám này gắn liền với hai khối 3 và 4. Dưới tác dụng của lực đo, bản mỏng 5 bị biến dạng và khối 3 và 4 di chuyển tương đối với nhau. Trong quá trình di chuyển, khối 3 kéo dây 6 dây tay gạt 7 làm con trượt di chuyển trên biến trở dây 8. Con trượt được chế tạo từ hợp kim platin-iridi, dây biến trở làm bằng constantan mạ vàng. Lò xo đàn hồi 9 được gắn với tay gạt 7 để đảm bảo tay gạt có thể trở lại vị trí ban đầu khi không có lực tác động.

Thông số đặc trưng: biến trở có 170 vòng, điện trở 500Ω , giới hạn đo khoảng 3kN. Áp lực của con trượt lên các vòng dây bằng 0,02 N

Đặc điểm: ưu điểm của lực kế này là đơn giản, dễ chế tạo, dễ sử dụng, độ tin cậy cao không cần khuyếch đại tín hiệu ra.

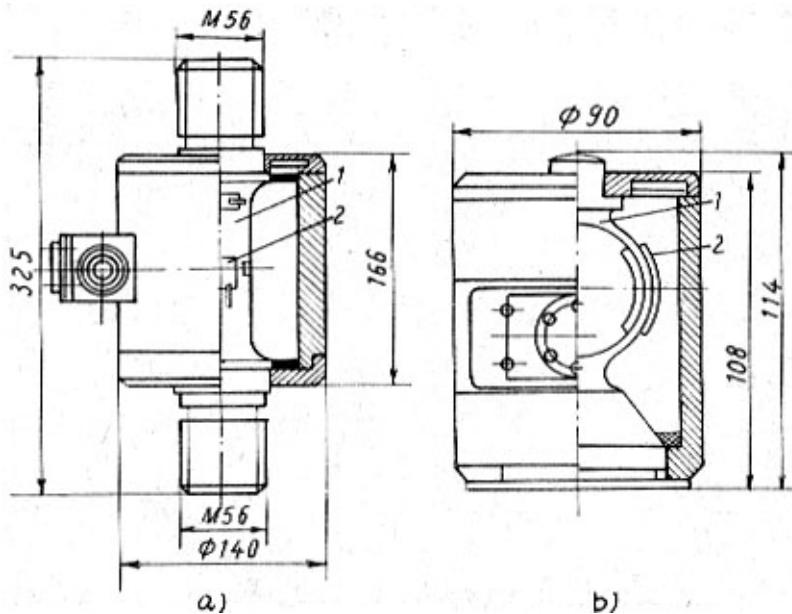
Nhược điểm của dụng cụ là không đo được lực biến thiên nhanh do tay gạt 7 dưới tác dụng của lò xo 9 chỉ thực hiện được với tần số không quá $10 \div 20$ Hz.

Sai số của dụng cụ là $\pm 3\%$.

c) **Lực kế đo lực tác động nhanh:** có thể dùng lực kế với chuyển đổi điện trở tenzô, điện cảm, điện dung, áp điện và áp từ.

Lực kế tenzô: hình 16.25a là lực kế tenzô đo được lực trong khoảng $2.10^3 \div 5.10^5$ N: phần tử đòn hồi 1 là một thanh thép đặc được dán điện trở tenzô 2.

Lực kế cơ: hình 16.25b: giới hạn đo từ $2.10^4 \div 10^5$ N, phần tử đòn hồi 1 có dạng hình xuyên, trên đó có dán điện trở tenzô 2 ở cả hai phía trong và ngoài:



Hình 16.25. Lực kế tenzô:

a) Sơ đồ cấu tạo chung

b) Phần tử đòn hồi có dạng hình xuyên trên có dán điện trở tenzô 2 ở cả hai phía

Các điện trở tenzô được nối thành nhánh của mạch cầu không cân bằng. Khi có lực tác động, phần tử đòn hồi 1 bị biến dạng làm cho các điện trở tenzô biến dạng theo.

Với các lực biến thiên chậm, cầu được cung cấp bằng nguồn điện áp tần số 50Hz, chỉ thị là các thiết bị tự ghi. Khi lực tác động nhanh, chỉ thị là các dao động kí.

Sai số của lực kế gồm hai thành phần, sai số cộng tính và sai số nhân tính.

$$\Delta = \gamma_0 X_{dm} + \gamma_s X$$

$$\gamma = \gamma_0 \frac{X_{dm}}{X} + \gamma_s$$

$$\gamma_t = \gamma_{0t} \frac{X_{dm}}{X} + \gamma_{st}$$

với: Δ, γ - sai số tuyệt đối và sai số tương đối ở điều kiện chuẩn ($20 \pm 5^\circ\text{C}$)

γ_t - sai số phụ do nhiệt độ thay đổi trên 10°C

γ_0 - sai số quy đổi không

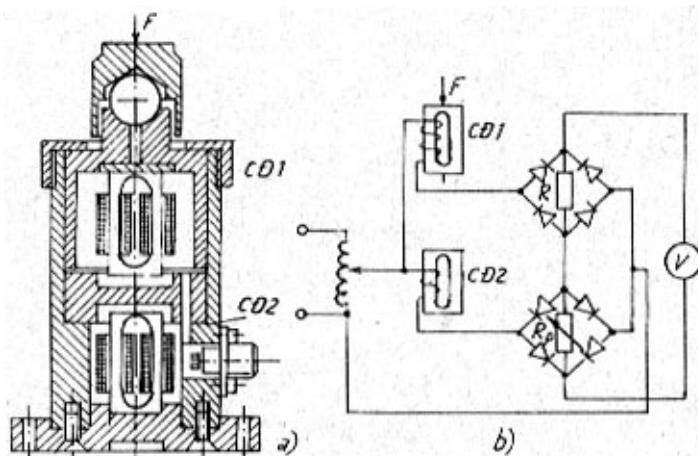
γ_s - sai số do độ nhạy tương đối

X_{dm}, X - giới hạn đo trên và giá trị của đại lượng đo.

Lực kế kiểu áp từ: như hình 16.26: trong đó chuyển đổi áp từ 1 (CD1) là chuyển đổi làm việc, chịu lực tác động F; còn chuyển đổi áp từ 2 (CD2) là chuyển đổi phụ, không chịu lực tác động, dùng để bù điện cảm ban đầu và bù các yếu tố ảnh hưởng từ bên ngoài như nhiệt độ, tần số nguồn cung cấp thay đổi. Hai

chuyển đổi được mắc với hai điện trở R thành mạch cầu.

Điện áp ra của mạch cầu được đo bằng milivômét hoặc các chỉ thị đo điện áp.



Hình 16.26. Lực kế kiểu áp từ:

- a) Sơ đồ cấu tạo
- b) Mạch đo

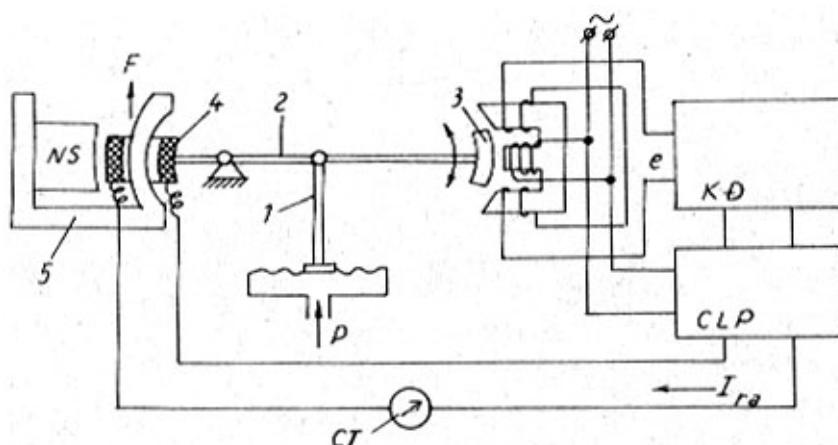
Ưu điểm: đo được lực tác động lớn, thuận tiện khi đo ở hiện trường, độ làm việc tin cậy, chắc chắn.

Nhược điểm: độ chính xác không cao, có hiện tượng trễ.

16.5.2. Đo lực bằng phương pháp bù:

Để nâng cao độ chính xác của phép đo có thể dùng phương pháp bù đo lực.

Hình 16.27 là sơ đồ của lực kế kiểu bù:



Hình 16.27. Sơ đồ của lực kế kiểu bù

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: lực cần đo P tác động lên thanh dẫn động 1 đến cánh tay đòn 2. Đầu cánh tay đòn phía bên phải mang phần ứng 3 của chuyển đổi hỗ cảm mắc kiểu biến áp vi sai.

Khi phần ứng di chuyển tạo ra một điện áp ở đầu ra của biến áp. Điện áp này được đưa vào khuyếch đại (KD) để tăng tín hiệu ra sau đó đưa đến chỉnh lưu pha (CPL). Dòng điện sau chỉnh lưu (I_{ra}) được dẫn đến cuộn dây 4 của chuyển đổi ngược kiểu cảm ứng 5 ở đầu cánh tay đòn bên trái. Dòng điện chạy trong cuộn dây 4 tạo ra một lực đẩy F lên cánh tay đòn bù với lực P:

$$F = k_p I_r$$

$$F = k \cdot P \rightarrow P = \frac{k_p}{k} \cdot I_r = K \cdot I_r$$

với: k_p , k , K là các hệ số.

Như vậy đo dòng điện I_r suy ra được lực P cần đo.

Đặc điểm: độ chính xác của phương pháp này khá cao với $\gamma = 0,05 \div 0,02\%$. Chỉ thị (CT) được khắc độ trực tiếp giá trị đo.

Nhược điểm của thiết bị trên là không đo được lực lớn vì chuyển đổi điện từ ngược có trọng lượng 0,5 kg chỉ có thể đo được lực tác động cỡ 2N. Khi cần đo lực có giá trị từ 5 ÷ 7 N trọng lượng có thể tăng lên đến 5 ÷ 10kg.

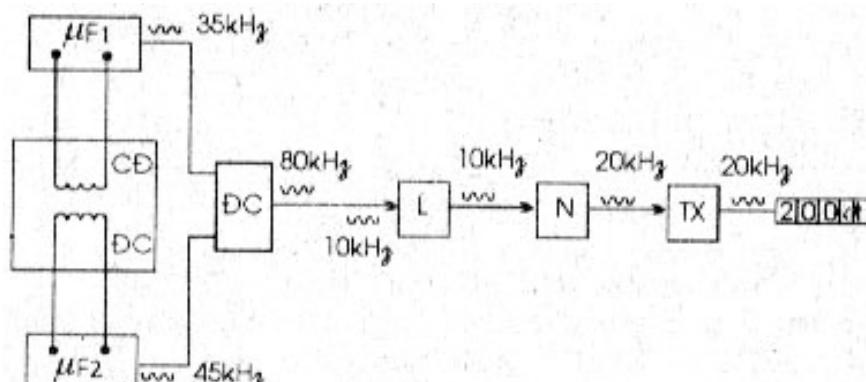
Sai số chủ yếu do ma sát của trục quay cánh tay đòn gây nên và do hiện tượng từ trễ của chuyển đổi hổ cảm.

16.5.3. Lực kế chỉ thị số:

Một trong những phương pháp đo lực có độ chính xác cao là phương pháp biến lực thành tần số, đo tần số xác định giá trị lực cần đo.

Các chuyển đổi dùng đo lực theo phương pháp này thường là các chuyển đổi điện cảm, điện dung kết hợp với các máy phát tần số LC và RC.

Hình 16.28 là sơ đồ khối của một lực kế chỉ thị số:



Hình 16.28. Sơ đồ khối của lực kế chỉ thị số

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi điện cảm măc kiểu vi sai (CD) được cung cấp từ hai nguồn máy phát 1 và 2 có tần số bằng nhau 40kHz.

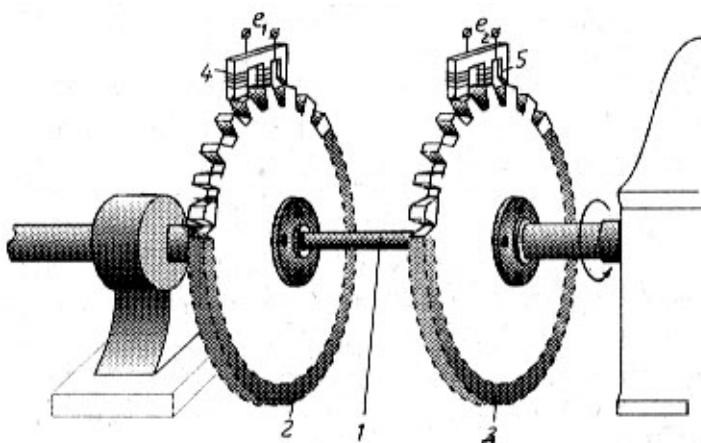
Khi chưa có lực tác động vào chuyển đổi thì tần số của máy phát không thay đổi và bằng 40kHz. Dưới tác dụng của lực cần đo sẽ làm cho điện cảm của hai chuyển đổi bị thay đổi làm cho một máy phát tần số có tần số tăng còn máy kia có tần số giảm đi. Nhờ bộ điều chế (DC) và bộ lọc (L), hiệu tần số của hai máy phát được tách ra và đưa vào bộ nhân tăng tần số lên gấp hai lần. Tần số này được đưa đến bộ tạo xung (TX) tạo thành các xung vuông, các xung được đếm bằng chỉ thị số. Chỉ thị khắc độ giá trị cần đo.

16.5.4. Đo biến dạng xoắn và mômen xoắn trên bộ phận quay:

Vấn đề khó khăn khi đo mômen xoắn ở bộ phận quay là đưa tín hiệu đo từ phần quay ra ngoài. Ngoài ra điện áp ra của các khâu chuyển đổi thường rất thấp (cỡ mV), với điện áp thấp như vậy thì ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc ở các đầu trượt đưa điện áp ra ngoài là hết sức quan trọng và khó tránh khỏi.

Có thể dùng các biện pháp với các đầu trượt đặc biệt như dây trượt, tiếp điểm thuỷ ngân, khuếch đại tín hiệu ngay tại chỗ sau đó đưa tín hiệu ra ngoài hoặc dùng các chuyển đổi điện áp lớn. Tuy vậy các phương pháp trên cũng gặp nhiều khó khăn. Một phương pháp hay được sử dụng là phương pháp đo không tiếp xúc.

a) Đo mômen xoắn không tiếp xúc sử dụng chuyển đổi cảm ứng: có cấu tạo như hình 16.29:

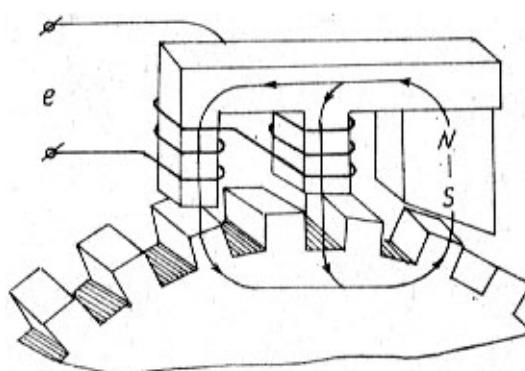


Hình 16.29. Cấu tạo của thiết bị đo mômen xoắn không tiếp xúc

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: trên trục cần đo mômen xoắn 1 được gắn hai đĩa sắt từ có bánh răng 2 và 3, hai đĩa này nối với nhau bằng thanh chịu xoắn tốt, có hằng số xoắn biết trước.

Khi chịu lực xoắn hai đĩa 2 và 3 lệch nhau một góc α . Đo góc lệch ấy có thể suy ra mômen cần đo. Để đo góc lệch người ta đo góc pha giữa hai tín hiệu ra do hai chuyển đổi cảm ứng 4 và 5.

Chuyển đổi cảm ứng 4 và 5 sử dụng để đo tốc độ và mômen xoắn có cấu tạo như hình 16.30:



Hình 16.30. Cấu tạo của chuyển đổi cảm ứng sử dụng để đo tốc độ và mômen xoắn

Chuyển đổi gồm có gông từ 1, nam châm vĩnh cửu 2, đường súc từ đi vòng qua đĩa răng 3. Khi gông từ nằm đối diện với răng của đĩa, khe hở mạch từ là nhỏ nhất. Khi bánh răng quay, khe hở không khí tăng lên, từ thông Φ móc vòng qua cuộn dây thay đổi và sinh ra sức điện động cảm ứng với tần số:

$$f = \frac{n.a}{60}$$

với: n - tốc độ quay của đĩa; a - số răng

Như vậy khi chưa có mômen xoắn, răng của hai đĩa 2 và 3 đặt song song với nhau, sức điện động cảm ứng e_1 và e_2 trùng pha nhau.

Khi bị xoắn, đĩa 2 và 3 lệch nhau một góc nào đó và sức điện động cảm ứng e_1 và e_2 lệch nhau một góc tỉ lệ với mômen xoắn.

$$\varphi = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot a$$

với α là góc lệch giữa hai đĩa và:

$$\alpha = k \cdot M$$

suy ra:

$$\varphi = \frac{k \cdot M}{2\pi} \cdot a$$

và

$$M = \frac{\varphi \cdot 2\pi}{k \cdot a} = K \varphi$$

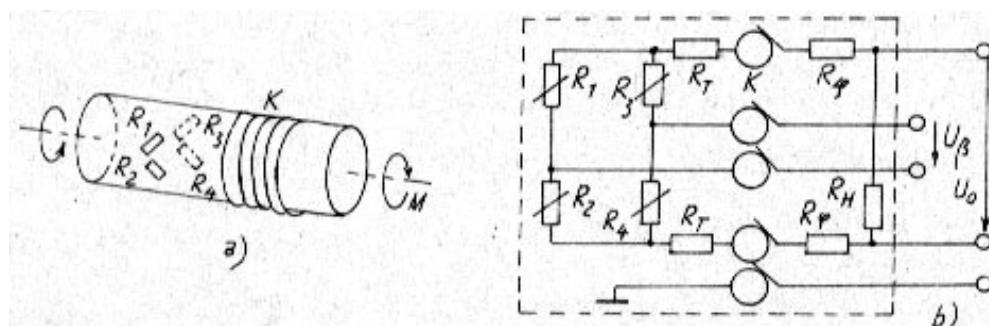
với: k, K - là các hệ số tỉ lệ; M - mômen xoắn cần đo

Việc đo góc pha φ có thể thực hiện bằng các thiết bị khắc độ giá trị M .

Đặc điểm: ưu điểm của thiết bị trên là không bị nhiễu, sai số chỉ phụ thuộc vào thanh đòn hồi và các đầu nối vì vậy chúng có thể giảm đến $0,1 \div 0,2\%$. Sai số do nhiệt độ thay đổi mỗi 10°C là $0,1 \div 0,2\%$.

Ngoài đo mômen xoắn thiết bị này còn có thể được ứng dụng để đo tần số quay.

b) Phương pháp tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng: có sơ đồ nguyên lý như hình 16.31:



Hình 16.31. Sơ đồ nguyên lý phương pháp tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng:

- a) Cách dán các điện trở lực căng (tenzo) lên trực cần đo
- b) Mạch đo

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: độ biến dạng của một trục khi bị xoắn có thể biểu diễn bằng biểu thức :

$$\varepsilon = \frac{8 \cdot M \cdot d_1 \sin(2\alpha)}{\pi \cdot (d_1^4 - d_2^4) \cdot G}$$

trong đó: ε - độ biến dạng của trục

d_1, d_2 - đường kính ngoài và trong của trục

M - mômen quay

$G = 0,385$ E - môđun dịch chuyển

E - môđun đòn hồi (với thép E = $20,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$)

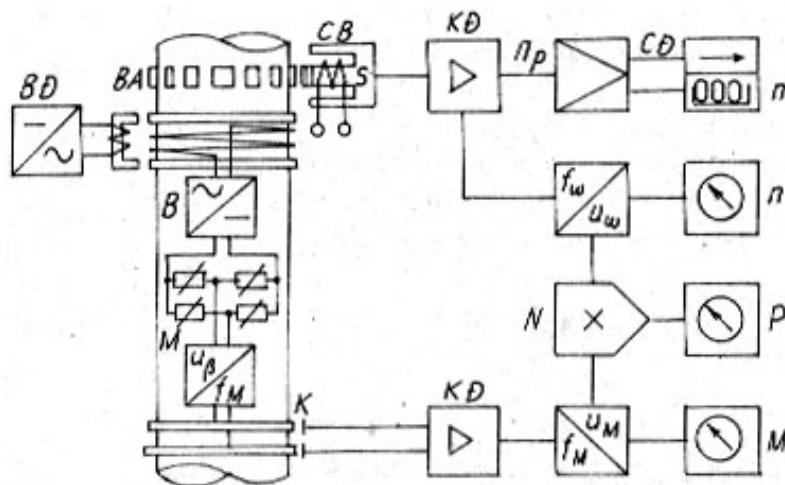
α - góc lệch khi trục biến dạng

Độ biến dạng lớn nhất khi $\alpha = 45^\circ$ tức là $\sin 2\alpha = \sin 90^\circ = 1$

Để đo độ biến dạng, bốn điện trở lực căng $R_1 \div R_4$ được dán lên trực cảm biến, các điện trở được mắc thành mạch cầu. Điện áp cung cấp cho mạch cầu U_0 và điện áp ra U_r được dẫn qua các vành trượt k đưa ra ngoài.

Đặc điểm: phương pháp trên có nhược điểm là điện trở tiếp xúc khá lớn, rất khó khi đưa điện áp vào cung cấp cho mạch cầu cũng như lấy tín hiệu ra ngoài và sai số lớn.

c) **Phương pháp không tiếp xúc đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng:** để khắc phục nhược điểm của phương pháp tiếp xúc đo mômen bằng các điện trở lực căng có thể dùng phương pháp không tiếp xúc có sơ đồ nguyên lý như hình 16.32:



Hình 16.32. Sơ đồ nguyên lý phương pháp không tiếp xúc
đo mômen xoắn bằng các điện trở lực căng

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: bốn chuyển đổi điện trở lực căng được dán lên trực tạo thành mạch cầu bốn nhánh (M). Mạch cầu được cung cấp nguồn từ biến áp (BA).

Biến áp (BA) có cuộn dây sơ cấp cố định, cuộn thứ cấp quay theo trực. Điện áp ra xoay chiều của biến áp đưa đến chỉnh lưu (CL) để tạo thành dòng một chiều cung cấp cho mạch cầu. Máy biến áp (BA) được cung cấp từ nguồn xoay chiều được biến đổi từ nguồn một chiều nhờ bộ biến đổi (BD).

Điện áp ra của mạch cầu (U_β) nhờ bộ biến đổi áp tần (U_β / f_M) biến thành tần số $f = 5 \div 15$ kHz. Tần số f được đưa ra ngoài nhờ cổng K đến khuếch đại (KD) và qua bộ biến đổi ngược (f_M / U_M) biến tần số thành điện áp. Tín hiệu ra là điện áp ± 1 V hoặc ± 10 V hay dòng điện ± 20 mA.

Chỉ thị cho ta biết được mômen quay M.

Đặc điểm: thiết bị trên có dải đo từ $10N.m \div 50kN.m$; tần số dao động không quá 8kHz và dải tần đo từ $0 \div 2$ kHz. Độ nhạy đạt được $\pm 1 \div 100$ mV.

Ngoài đo mômen quay thiết bị này còn có thể đo được tần số quay bằng cách sử dụng chuyển đổi cảm ứng (CB) với các răng quay theo trực như hình vẽ trên, mỗi vòng quay chuyển đổi tạo được k xung.

Để xác định công suất được sinh ra trên trực $P = M \cdot \omega$ thì mômen quay M và

tốc độ quay n hoặc tốc độ góc $\omega = \pi \cdot n / k$ được biến đổi thành dòng điện hoặc điện áp $U_M \sim M$ và $U_\omega \sim \omega$ và thông qua bộ nhân (N) để tính P .

16.6. Các phương pháp đo áp suất.

16.6.1. Tổng quan các phương pháp đo áp suất:

Phương pháp đo áp suất cũng như đo lực có thể theo hai hướng:

- *Đo điện áp bằng các chuyển đổi phản ánh trực tiếp đại lượng đo:* gồm có chuyển đổi áp điện, áp từ, điện trở lực căng.

Phản tử áp điện làm bằng thạch anh có thể đo được áp suất tới 100MN/m^2 , chuyển đổi áp từ đo được áp suất đến 10MN/m^2 vì với áp suất lớn, đặc tính của nó trở nên phi tuyến và không đơn trị.

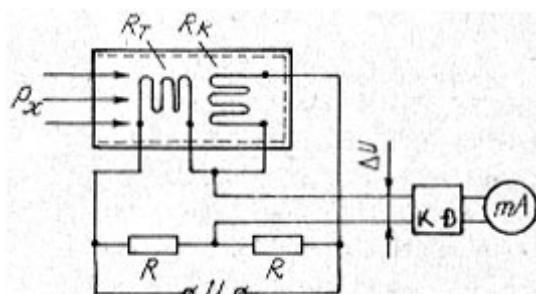
Để đo áp suất lớn hơn từ $100 \div 400\text{MN/m}^2$ người ta sử dụng chuyển đổi điện trở dây manganin vì với dải áp suất trên độ nhạy về sự thay đổi điện trở của dây khi áp suất biến thiên mới ổn định và bằng $2,5\%$ trên 1MN/m^2 .

- *Chuyển đổi áp suất thành di chuyển, đo độ di chuyển suy ra áp suất:* phương pháp này thường dùng các chuyển đổi điện dung, điện cảm và điện trở lực căng...

Thực hiện theo hướng nào là do yêu cầu cụ thể và điều kiện đo thực tế. Các dụng cụ dùng đo áp suất được gọi là áp kế. Dưới đây là một số phương pháp và thiết bị đo áp suất thường dùng.

16.6.2. Áp kế điện trở lực căng:

Có sơ đồ nguyên lý như hình 16.33:



Hình 16.33. Sơ đồ nguyên lý của áp kế điện trở lực căng

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: cấu tạo gồm có ống rỗng tròn làm bằng thép, trên bìa mặt ống được dán hai điện trở lực căng R_T và R_K mắc cùng với hai điện trở R tạo thành mạch cầu. Khi có áp suất P_X cần đo, bìa mặt của ống bị biến dạng. Độ biến dạng được tính bằng biểu thức:

$$\varepsilon_1 = \frac{P_X \cdot r}{E \cdot h}$$

với: P_X - áp suất đo.

r và h - đường kính và chiều dày thành ống

E - môđun đàn hồi của thép.

Độ biến dạng ε_1 được phản ánh nhờ điện trở lực căng R_T , còn điện trở R_X dán dọc ống dùng để bù nhiệt độ.

Khi điện áp cung cấp cho mạch cầu không đổi, điện áp ở đầu ra của mạch cầu ΔU tỉ lệ với áp suất đo. Để tăng tín hiệu ra người ta mắc thêm bộ khuếch đại

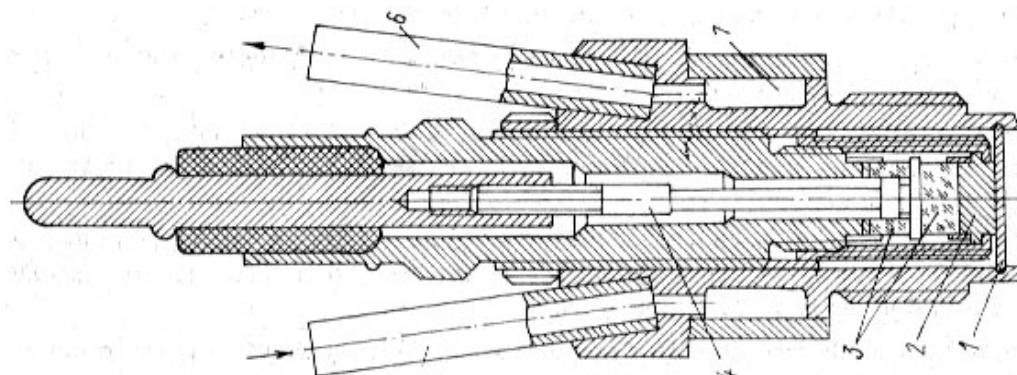
(KD), miliampemét được khắc độ theo áp suất cần đo.

Đặc điểm: dải đo áp suất $5 \cdot 10^4 \div 10^7$ bar, sai số quy đổi $\pm 1,5\%$. Do quán tính nhỏ nên thiết bị trên có thể dùng đo áp suất biến thiên nhanh, tín hiệu ra được ghi trên dao động kí cơ khí hoặc quan sát trên dao động kí điện tử.

16.6.3. Chuyển đổi áp điện đo áp suất:

Phần tử áp điện có ưu điểm là đo được áp suất biến thiên nhanh nên thường được dùng để đo áp suất trong xi lanh động cơ đốt trong.

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: như hình 16.34:



Hình 16.34. Cấu tạo của dụng cụ ứng dụng chuyển đổi áp điện để đo áp suất

Đầu chuyển đổi có màng mỏng 1 nhận trực tiếp áp suất của xi lanh. Tần số riêng của màng này được chọn thích hợp với tốc độ biến thiên của áp suất. Áp suất được truyền qua đệm kim loại 2 đến phần tử áp điện 3. Các điện tích được lấy ra từ cực 4 và vỏ của chuyển đổi.

Độ nhạy của phần tử áp điện bằng thạch anh chỉ không thay đổi ở khoảng nhiệt độ dưới 200°C nhưng do nhiệt độ trong xi lanh lớn hơn nhiều vì vậy người ta phải chế tạo một sormi toả nhiệt trong các lỗ 5, 6, 7 để dẫn nước chảy qua.

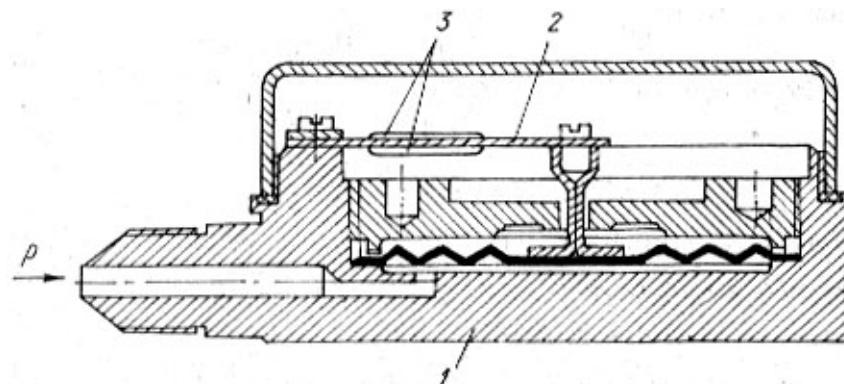
Đặc điểm: điện trở ra của chuyển đổi rất lớn $10^{13}\Omega$ nên đòi hỏi điện trở cách điện của dây dẫn và điện trở đầu vào của bộ khuếch đại cũng phải lớn. Với một dải tần tương đối rộng, tốc độ biến thiên áp suất trong xi lanh rất lớn do đó phải dùng các đầu rung của dao động ký có tần số riêng cao nhưng độ nhạy thường lại thấp vì vậy yêu cầu hệ số khuếch đại phải lớn để có thể đo áp suất từ $0 \div 15\text{MN/m}^2$.

16.6.4. Áp kế màng:

Trong thiết bị này áp suất được biến đổi thành di chuyển, đo di chuyển để suy ra áp suất.

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: có sơ đồ như hình 16.35: áp suất cần đo P tác động lên màng 1 qua bộ phận dẫn truyền đẩy lò xo phẳng 2 làm lò xo di chuyển. Độ uốn của lò xo 2 tỉ lệ với áp suất P. Ở hai phía của lò xo phẳng 2 người ta dán hai điện trở lực căng 3. Khi lò xo bị uốn một chuyển đổi chịu lực kéo, còn một chịu lực nén.

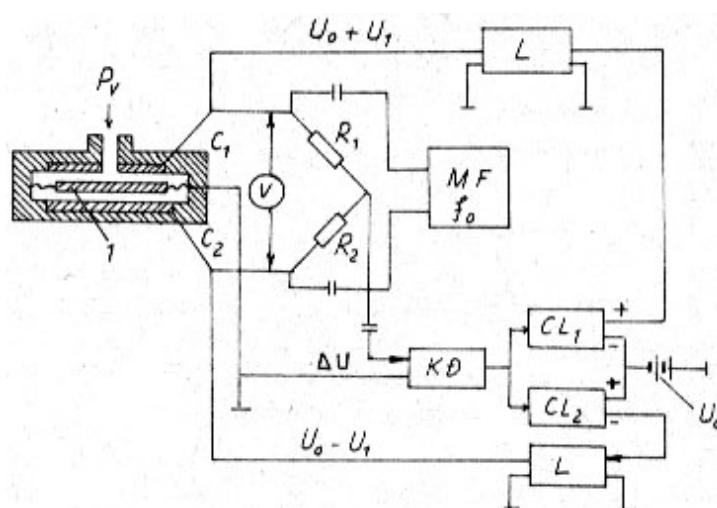
Đặc điểm: thiết bị trên có thể đo được áp suất trong khoảng từ $0,1 \div 0,6\text{MN/m}^2$. Sai số tương đối quy đổi $\pm 1,5\%$ và có thể làm việc với bất kỳ loại điện trở lực căng nào.



Hình 16.35. Sơ đồ áp kế màng ЭДД - 22

16.6.5. Thiết bị cân bằng đo áp suất dùng chuyển đổi điện dung:

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: như hình 16.36:



Hình 16.36. Cấu tạo của thiết bị cân bằng đo áp suất dùng chuyển đổi điện dung

Điện dung c_1, c_2 là hai nhánh cầu với hai điện trở R_1, R_2 tạo thành mạch cầu. Trên phần động 1 của chuyển đổi điện dung đặt điện áp một chiều U_0 .

Khi phần động 1 ở vị trí giữa lực F_1 và F_2 tác dụng lên nó có trị số như nhau, mạch cầu ở trạng thái cân bằng.

Khi có áp suất cần đo P tác dụng lên phần động làm nó di chuyển, cầu mất cân bằng, điện áp ra lấy từ đường chéo cầu được đưa vào khuếch đại (KD) và hai bộ chỉnh lưu (CL_1) và (CL_2) và bộ lọc (L).

Điện áp một chiều tổng $U_0 + U_1$ và hiệu $U_0 - U_2$ đặt lên phần động 1, lúc này phần động chịu một lực tác dụng.

$$F = F_1 - F_2 = \frac{\varepsilon s}{2} \left[\left(\frac{U_0 + U_1}{\delta_0 + \Delta x} \right)^2 - \left(\frac{U_0 + U_2}{\delta_0 + \Delta x} \right)^2 \right]$$

trong đó: ε - Hằng số điện môi

s - tiết diện bản cực

δ_0 - Khe hở giữa các bản cực;

Δx - lượng di chuyển của bản cực động

Do hệ số khuếch đại lớn có thể bỏ qua trị số Δx so với δ_0 , lúc đó áp suất sẽ được tính là:

$$P = \frac{\varepsilon}{2} \cdot \left[\frac{(U_0 + U_1)^2 - (U_0 - U_2)^2}{\delta_0^2} \right]$$

Nếu chỉnh lưu (CL₁) và (CL₂) đối xứng nhau và U₁ = U₂ thì áp suất đo sẽ tỉ lệ với điện áp:

$$P = \varepsilon \cdot \frac{U_0 (U_1 + U_2)}{\delta_0^2}$$

Vônmét V chỉ cho ta biết áp suất cần đo.

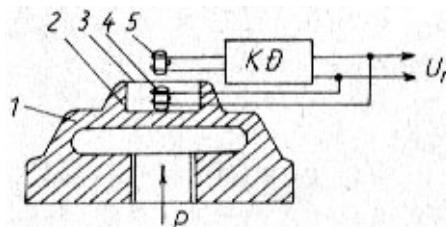
16.6.6. Đo lực, áp suất bằng thiết bị số:

Phương pháp số đo lực được thực hiện theo hai cách:

- Biến lực, áp suất thành điện áp sau đó đo điện áp bằng các dụng cụ số.
- Biến lực, áp suất thành tần số, đo tần số suy ra lực.

Thực hiện phương pháp nào tùy thuộc vào yêu cầu của phép đo.

a) **Thiết bị đo áp suất theo nguyên lý biến áp suất thành tần số:** có sơ đồ nguyên lý như hình 16.37:

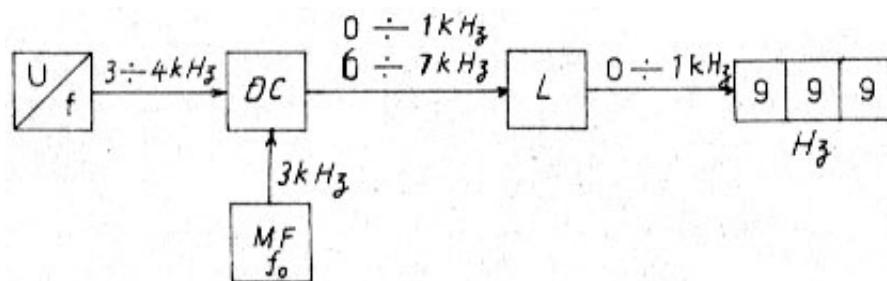


Hình 16.37. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo áp suất theo nguyên lý biến áp suất thành tần số

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: áp suất đo P tác động lên màng 1, qua giá đỡ 2 kéo căng màng rung 3 đó là một màng mỏng phẳng. Các chi tiết 1, 2, 3 được chế tạo thành một khối và cùng loại vật liệu. Tần số dao động của màng rung khi chưa có áp suất là 3kHz, khi có áp suất tần số tăng lên tới 4kHz.

Dao động của màng rung được duy trì nhờ bộ biến đổi điện tử phân cực 4, cung cấp từ đầu ra của khuếch đại (KĐ). Điện áp đưa vào khuếch đại cũng lấy từ bộ biến đổi điện tử phân cực 5 và 4 do dao động của màng rung. Với hệ thống kín có phản hồi dương, dao động của màng rung được duy trì, trong đó có tần số cộng hưởng riêng. Điện áp ra xoay chiều U_r đồng bộ với tần số của màng.

Sơ đồ khối của áp kế trên được vẽ trên hình 16.38:



Hình 16.38. Sơ đồ khối của áp kế theo nguyên lý biến áp suất thành tần số

Trong đó bộ biến đổi tần số-áp suất (U/f) đưa ra tần số 3kHz, khi chưa có áp suất và tăng lên 4kHz khi tăng áp suất đến định mức. Nhờ bộ điều chế (DC) điện áp này được trộn với điện áp của máy phát có tần số cố định 3kHz. Đầu ra của bộ

điều chế bao gồm tổng của hai tần số thay đổi từ 6÷7 kHz và hiệu tần số 1kHz. Bộ lọc tần số thấp (L) chỉ cho tần số 1kHz đi qua và sự thay đổi áp suất đo là hàm của tần số biến thiên từ 0÷1kHz. Tần số được đo bằng tần số kế chỉ thị số hoặc đưa vào máy tính.

CHƯƠNG 18.

CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO NHIỆT ĐỘ (3 LT)

18.1. Các cơ sở chung và phân loại các phương pháp đo nhiệt độ.

Nhiệt độ là một trong những thông số quan trọng nhất ảnh hưởng đến đặc tính của vật chất nên trong các quá trình kỹ thuật cũng như trong đời sống hàng ngày rất hay gặp yêu cầu đo nhiệt độ. Ngày nay hầu hết các quá trình sản xuất công nghiệp, các nhà máy đều có yêu cầu đo nhiệt độ.

Tùy theo nhiệt độ đo có thể dùng các phương pháp khác nhau, thường phân loại các phương pháp dựa vào dải nhiệt độ cần đo. Thông thường nhiệt độ đo được chia thành ba dải: nhiệt độ thấp, nhiệt độ trung bình và cao.

Ở nhiệt độ trung bình và thấp: phương pháp thường đo là phương pháp tiếp xúc nghĩa là các chuyển đổi được đặt trực tiếp ở ngay môi trường cần đo.

Đối với nhiệt độ cao: đo bằng phương pháp không tiếp xúc, dụng cụ đặt ở ngoài môi trường đo.

Bảng 18.1 cho biết các dụng cụ và phương pháp đo nhiệt độ với các dải khác nhau:

Dụng cụ và phương pháp đo	Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$						Sai số %
	-273	0	1000	2000	3000	100.000	
Nhiệt điện trở: bằng vật liệu quý vật liệu không quý bán dẫn	—	—	—	—	—	—	0,001 0,5 ÷ 2 1 ÷ 2
Nhiệt kế nhiệt điện bằng vật liệu quý vật liệu không quý vật liệu khó cháy	—	—	—	—	—	—	0,1 1 ÷ 2 1 ÷ 3
Điện âm	—	—	—	—	—	—	0,05
Nhiệt nhiễu	—	—	—	—	—	—	0,1
Phương pháp cộng hưởng hạt nhân	—	—	—	—	—	—	0,01
Hoả quang kế: bức xạ màu sắc cường độ sáng quang phổ kế	—	—	—	—	—	—	5 1 ÷ 5 1 ÷ 2 5 ÷ 10

Bảng 18.1. Các dụng cụ và phương pháp đo nhiệt độ với các dải nhiệt độ khác nhau

18.2. Các phương pháp đo tiếp xúc.

Phương pháp đo nhiệt độ trong công nghiệp thường được sử dụng là các nhiệt kế tiếp xúc. Có hai loại nhiệt kế tiếp xúc, gồm:

- Nhiệt kế nhiệt điện trở
- Nhiệt kế nhiệt ngẫu

Ngoài ra đối với các ứng dụng đơn giản, dải nhiệt độ cỡ $-55^{\circ}\text{C} \div 200^{\circ}\text{C}$ hiện nay người ta thường ứng dụng các IC bán dẫn ứng dụng tính chất nhạy nhiệt của các diốt, tranzito để đo nhiệt độ.

Cấu tạo của nhiệt kế nhiệt điện trở và cặp nhiệt ngẫu cũng như cách lắp ghép chúng phải đảm bảo tính chất trao đổi nhiệt tốt giữa chuyển đổi với môi trường đo:

- Đối với môi trường khí và nước: chuyển đổi được đặt theo hướng ngược lại với dòng chảy.
- Với vật rắn khí: đặt nhiệt kế sát vào vật, nhiệt lượng sẽ truyền từ vật sang chuyển đổi và dễ gây tổn hao vật, nhất là với vật dẫn nhiệt kém. Do vậy điện tiếp xúc giữa vật đo và nhiệt kế càng lớn càng tốt.
- Khi đo nhiệt độ của các chất ở dạng hạt (cát, đất...): cần phải cắm sâu nhiệt kế vào môi trường cần đo và thường dùng nhiệt điện trở có cáp nối ra ngoài.

18.2.1. Nhiệt kế nhiệt điện trở (Resistance Thermometer):

Nhiệt kế nhiệt điện trở có thể tạo thành dây platin, đồng, nikén, bán dẫn... quấn trên một lõi cách điện đặt trong vỏ kim loại có đầu được nối ra ngoài.

Nhiệt kế nhiệt điện trở có thể dùng mạch đo bất kỳ để đo điện trở nhưng thông thường được dùng mạch cầu không cân bằng, chỉ thị là lôgôommét từ điện hoặc cầu tự động cân bằng, trong đó một nhánh là nhiệt điện trở.

a) *Bù sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây khi nhiệt độ môi trường thay đổi*: nếu nhiệt điện trở được mắc vào mạch cầu bằng hai dây dẫn R_{d1} và R_{d2} (cầu hai dây), dụng cụ sẽ có sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây khi nhiệt độ của môi trường xung quanh thay đổi, sai số này được tính:

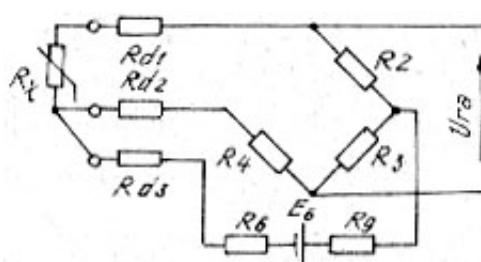
$$\Delta t = \frac{\Delta R_d}{R_T \alpha_T}$$

với: ΔR_d - sự thay đổi điện trở của dây nối.

$$R_d = R_{d1} + R_{d2}$$

R_T và α_T - điện trở ban đầu của nhiệt điện trở và hệ số nhiệt độ của nó (với $T = 0^{\circ}\text{C}$).

Để giảm sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi người ta sử dụng cầu ba dây như hình 18.1:

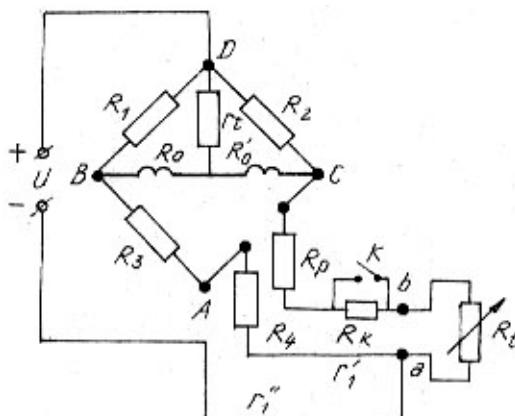


Hình 18.1. Cầu ba dây giảm sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi

Trong sơ đồ này hai dây mắc vào các nhánh kè của mạch cầu, dây thứ 3 mắc vào nguồn cung cấp. Khi cầu làm việc ở chế độ cân bằng và nếu $R_1 = R_2$; $R_{d1} = R_{d2}$ sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây sẽ được loại trừ. Khi cầu làm việc ở chế độ không cân bằng sai số giảm đáng kể so với cầu hai dây.

Thực chất khi cầu làm việc ở chế độ không cân bằng sai số chủ yếu do sự thay đổi điện áp của nguồn cung cấp gây nên.

b) Sơ đồ nguyên lý của nhiệt kế nhiệt điện trở sử dụng mạch cầu không cân bằng, chỉ thị là cơ cầu lôgômmét từ điện: như hình 18.2:



Hình 18.2. Sơ đồ nguyên lý của nhiệt kế nhiệt điện trở sử dụng mạch cầu không cân bằng, chỉ thị là cơ cầu lôgômmét từ điện

Với sơ đồ này có khả năng loại trừ được sai số do điện áp nguồn cung cấp thay đổi.

Ba nhánh của mạch cầu R_1 , R_2 và R_3 là các điện trở làm bằng manganin. Nhánh thứ tư là điện trở nhiệt R_t , bốn nhánh điện trở được mắc theo sơ đồ mạch cầu ba dây. Trong sơ đồ, điện trở R_4 dùng để chỉnh không của thang đo (chỉnh cho cầu cân bằng trước khi bắt đầu đo).

Điện trở R_p dùng bù với điện trở đường dây để đạt giá trị khắc độ (5Ω hoặc 15Ω) r_t là điện trở bù nhiệt độ cho cơ cầu lôgômmét. Khi hiệu chỉnh R_p người ta sử dụng điện trở R_k (có giá trị bằng điện trở của nhiệt điện trở). R_k được mắc vào nhánh cầu sau đó điều chỉnh điện trở R_p cho đến khi kim chỉ của lôgômmét dừng ở vị trí xác định trên thang thì dừng lại, R_k được ngắn mạch khi đo.

Nếu chọn $R_1 = R_3$; $R_0 = R'_0 = R$ (điện trở của khung dây lôgômmét) thì tỉ số dòng điện chạy trong cuộn dây lôgômmét được xác định bằng công thức:

$$\frac{I_{tb1}}{I_{tb2}} = \frac{R + \frac{R_1}{R_2} \cdot R + R_1 + \frac{\Delta R_T}{R'_T} (R + R_1 + R_4)}{R + \frac{R_1}{R_2} \cdot R + R_1 - \frac{\Delta R_T}{R'_T} \cdot R_4}$$

với: ΔR_T - Sự thay đổi điện trở của nhiệt điện trở khi nhiệt độ lệch khỏi giá trị trung bình.

$$R'_T = R_0 + R_p + R_{Ttb}.$$

R_{Ttb} : điện trở của nhiệt điện trở với giá trị nhiệt độ trung bình đo được

bằng dụng cụ.

Từ phương trình trên thấy rằng tỉ số dòng điện phụ thuộc vào ΔR_T và lôgôommét chỉ giá trị nhiệt độ cần đo.

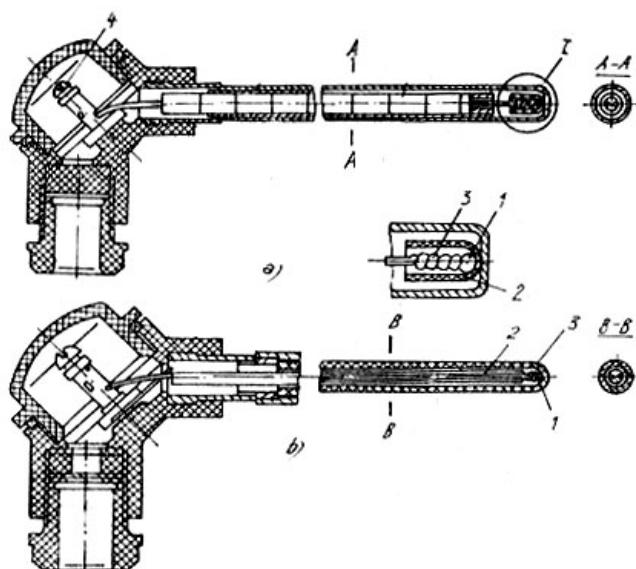
Trong các ngành công nghiệp hiện nay để đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở người ta thực hiện trên mạch cầu tự động tự ghi. Phương pháp này có thể đo nhiệt độ tại một điểm hoặc một số điểm nhờ cơ cấu chuyển mạch.

Cấp chính xác có thể đạt đến 0,5.

18.2.2. Nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu (Thermocouples):

Phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu là một trong những phương pháp phổ biến và thuận lợi nhất.

Cấu tạo của nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu như hình 18.3:



Hình 18.3. Cấu tạo của nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu:** gồm hai dây hàn với nhau ở điểm 1 và luồn vào ống 2 để có thể đo được nhiệt độ cao. Với nhiệt độ thấp hơn, vỏ nhiệt kế có thể làm bằng thép không rỉ. Để cách điện giữa hai dây, một trong hai dây được lồng vào ống sứ nhỏ 3. Nếu vỏ làm bằng kim loại cả hai dây đều đặt vào ống sứ.

Đầu ra của cặp nhiệt ngẫu được nối vào hộp đầu nối 4. Mạch đo của nhiệt kế nhiệt ngẫu là miliVônmét hoặc điện thế kế điện trở nhỏ có giới hạn đo từ 0 ÷ 100mV.

Nếu đo sức điện động nhiệt điện bằng miliVônmét sẽ gây sai số do nhiệt độ của mạch đo thay đổi. Dòng điện chạy qua chỉ thị lúc đó là :

$$I = \frac{E}{R_T + R_d + R_{dc}}$$

trong đó: E - Sức điện động; R_T - điện trở cặp nhiệt ngẫu
 R_d - điện trở đường dây; R_{dc} - điện trở của miliVônmét

Điện áp rơi trên miliVônmét là:

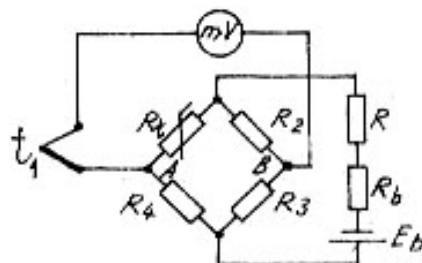
$$U = E - I(R_d + R_T)$$

$$= E \cdot \frac{R_{dc}}{R_T + R_d + R_{dc}}$$

thường $R_d + R_T$ được hiệu chỉnh khoảng 5Ω , còn điện trở của miliVônmét lớn hơn nhiều lần ($40 \div 50$ lần), vì vậy sai số chủ yếu do điện trở của miliVônmét R_{dc} thay đổi.

Đo sức điện động bằng điện thế kế sẽ loại trừ được sai số trên do dòng điện tiêu thụ bằng không khi tiến hành phép đo.

b) Khắc phục sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi: bằng cách dùng mạch bù sai số nhiệt độ như hình 18.4:



Hình 18.4. Mạch bù sai số nhiệt độ do nhiệt độ đầu tự do thay đổi trong nhiệt kế cặp nhiệt ngẫu

Cặp nhiệt ngẫu mắc nối tiếp vào đường chéo cầu một chiều tại điểm A - B, trong đó R_t - nhiệt điện trở tạo thành nhánh cầu. Điện trở R_t được mắc cùng vị trí với đầu tự do cặp nhiệt ngẫu và có nhiệt độ t_0 . Cầu được tính toán sao cho khi nhiệt độ $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ thì điện áp ra trên đường chéo cầu $\Delta U = 0$.

Khi nhiệt độ đầu tự do thay đổi đến $t'_0 \neq t_0$ thì điện áp ra của cầu $\Delta U \neq 0$ bù vào sức điện động mất đi do nhiệt độ thay đổi.

Với phương pháp bù này sai số giảm xuống đến $0,04\%$ trên 10°C . Nhược điểm của phương pháp này là phải dùng nguồn phụ và sai số do nguồn phụ gây ra.

Bảng 18.2 cho biết đặc tính của một số cặp nhiệt thông dụng:

Loại cặp nhiệt	Dải nhiệt độ làm việc ($^{\circ}\text{C}$)	Sức điện động (mV)	Độ chính xác
Đồng/Constantan $\phi = 1,63\text{mm}$	-270 \div 370	-6,25 \div 19	(-40 $^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,8\%$ (100 $^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,75\%$
Cromel/ Alumen $\phi = 3,25\text{mm}$	-270 \div 1250	-5,35 \div 50,63	(0 $^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$) $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (400 $^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,75\%$
Cromel/ Constantan $\phi = 3,25\text{mm}$	-276 \div 870	-9,80 \div 66,40	(0 $^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$) $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (400 $^{\circ}\text{C} \div 870^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,75\%$
Platin-Rodi (10%)/ Platin $\phi = 0,51\text{mm}$	-50 \div 1500	-0,23 \div 15,50	(0 $^{\circ}\text{C} \div 600^{\circ}\text{C}$) $\pm 2,5\%$ (600 $^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,4\%$
Platin-Rodi/ Plati-Rodi (30/6) $\phi = 0,51\text{mm}$	-0 \div 1700	0 \div 12,42	(870 $^{\circ}\text{C} \div 1700^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,5\%$

Bảng 18.2. Đặc tính của một số cặp nhiệt thông dụng

18.2.3. Đo nhiệt độ cao bằng phương pháp tiếp xúc:

Ở môi trường nhiệt độ cao từ 1600°C trở lên, các cặp nhiệt ngẫu không chịu

được lâu dài, vì vậy để đo nhiệt độ ở các môi trường đó người ta dựa trên hiện tượng quá trình quá độ đốt nóng của cặp nhiệt.

a) **Nguyên lý hoạt động:** quá trình quá độ khi đốt nóng cặp nhiệt có phương trình:

$$\theta = f(t) = \Delta T \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

với: θ - lượng tăng nhiệt độ của đầu nóng trong thời gian t .

ΔT - hiệu nhiệt độ của môi trường đo và cặp nhiệt.

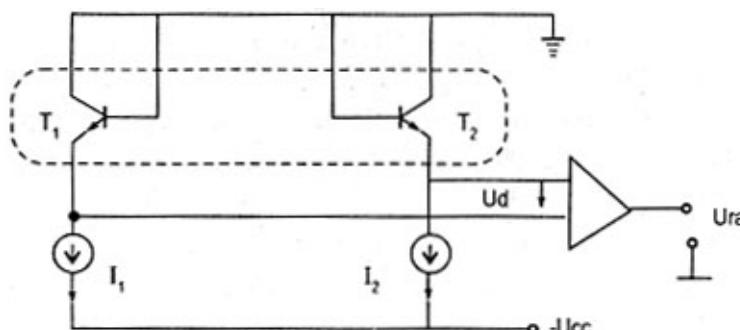
τ - hằng số thời gian của cặp nhiệt ngẫu.

Dựa trên quan hệ này có thể xác định được nhiệt độ của đối tượng đo mà không cần nhiệt độ đầu công tác của cặp nhiệt ngẫu phải đạt đến nhiệt độ áy bằng cách nhúng nhiệt ngẫu vào môi trường cần đo trong khoảng $0,4 \div 0,6$ s ta sẽ được phần đầu của đặc tính quá trình quá độ của nhiệt ngẫu và theo đó tính được nhiệt độ của môi trường.

b) **Đặc điểm:** nếu nhiệt độ đầu công tác của cặp nhiệt ngẫu trong thời gian nhúng vào môi trường cần đo đạt nhiệt độ vào khoảng một nửa nhiệt độ môi trường thì nhiệt độ tính được có sai số không quá hai lần sai số của nhiệt kế nhiệt ngẫu đo trực tiếp. Phương pháp này thường dùng để đo nhiệt độ của thép nấu chảy.

18.2.4. Đo nhiệt độ dùng các phần tử bán dẫn (điốt và tranzito):

a) **Nguyên lý hoạt động:** các linh kiện điện tử bán dẫn rất nhạy cảm với nhiệt độ, do đó có thể sử dụng một số linh kiện bán dẫn như điốt hoặc tranzito nối theo kiểu điốt (nối bazơ với colectơ), khi đó điện áp giữa hai cực U là hàm của nhiệt độ. Để tăng độ tuyến tính, độ ổn định và khả năng thay thế người ta mắc theo sơ đồ hình 18.5:



Hình 18.5. Sơ đồ mạch nguyên lý của IC bán dẫn đo nhiệt độ

Khi nhiệt độ thay đổi ta có:

$$U_d = E_{BE1} - E_{BE2} = \frac{K \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_{c2}}\right)$$

với $I_{c1}/I_{c2} = const$ thì U_d tỉ lệ với nhiệt độ T mà không cần đến nguồn ổn định.

Hiện nay các cảm biến đo nhiệt độ sử dụng điốt hoặc tranzito đã được tích hợp thành các IC bán dẫn đo nhiệt độ. Các cảm biến này cho đầu ra là điện áp hoặc dòng điện tỉ lệ với nhiệt độ cần đo với độ tuyến tính cao, sử dụng đơn giản.

Ví dụ một số loại IC đo nhiệt độ:

Loại IC	Độ nhạy S	Dải đo	Sai số
---------	-----------	--------	--------

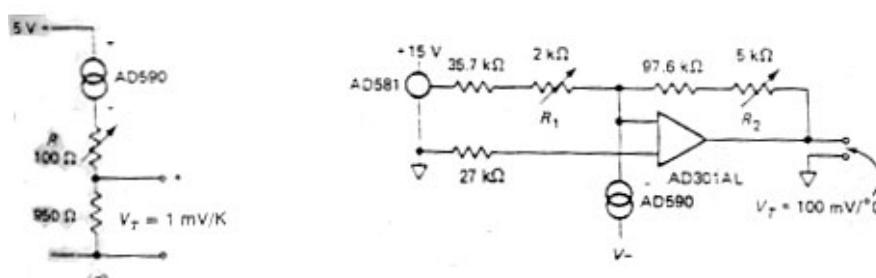
AD592CN	$1\mu\text{A}/^\circ\text{K}$	$-25^\circ\text{C} \div 105^\circ\text{C}$	$0,3^\circ\text{C}$
LM35	$\pm 10\text{mV}/^\circ\text{K}$	$-55^\circ\text{C} \div 150^\circ\text{C}$	$\pm 0,25^\circ\text{C}$
MMB-TS102	$-2,25\text{mV}/^\circ\text{K}$	$-40^\circ\text{C} \div 150^\circ\text{C}$	$\pm 2^\circ\text{C}$
REF-02A	$2,1\text{mV}/^\circ\text{K}$	$-55^\circ\text{C} \div 125^\circ\text{C}$	$\pm 0,5^\circ\text{C}$

b) Đặc điểm:

- Độ nhạy của các loại IC bán dẫn đo nhiệt độ thường có giá trị cỡ $-2,5\text{mV}/^\circ\text{C}$ và không cố định mà thường thay đổi theo nhiệt độ.
- Ưu điểm: độ tuyển tính cao, sử dụng đơn giản và có độ nhạy cao.
- Nhược điểm: giới hạn phạm vi sử dụng chỉ trong khoảng $-50^\circ\text{C} \div 150^\circ\text{C}$, do giới hạn chịu nhiệt của các phần tử bán dẫn.

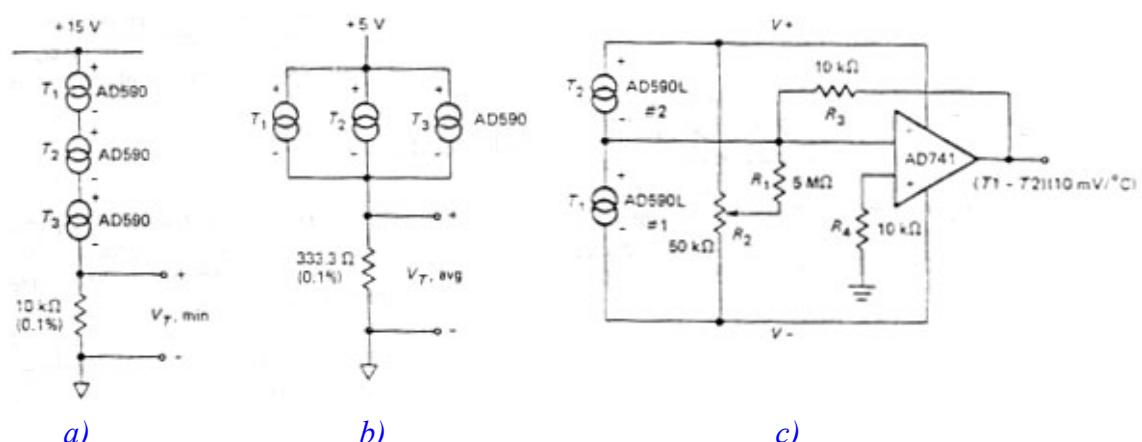
c) Mạch đo: dưới đây là ví dụ một số mạch đo cơ bản sử dụng IC bán dẫn AD590 đo nhiệt độ:

- Mạch đo cơ bản:



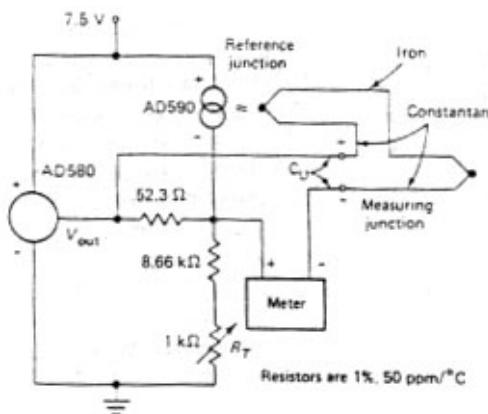
Hình 18.6: Mạch đo cơ bản ứng dụng IC bán dẫn AD590 đo nhiệt độ

- Mạch đo giá trị nhiệt độ trung bình, đo giá trị nhiệt độ nhỏ nhất của nhiều điểm đo cùng một lúc, đo chênh lệch nhiệt độ giữa hai điểm đo:



Hình 18.7. Mạch đo nhiệt độ cực tiểu (a); đo nhiệt độ trung bình (b); đo chênh lệch nhiệt độ (c) của nhiều điểm đo.

- Mạch tự động bù nhiệt độ đầu tự do cho cặp nhiệt:



Hình 18.8. Mạch tư động bù nhiệt độ đầu tư do của cǎp nhiệt

18.3. Đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc.

18.3.1. Phương pháp hỏa quang kế:

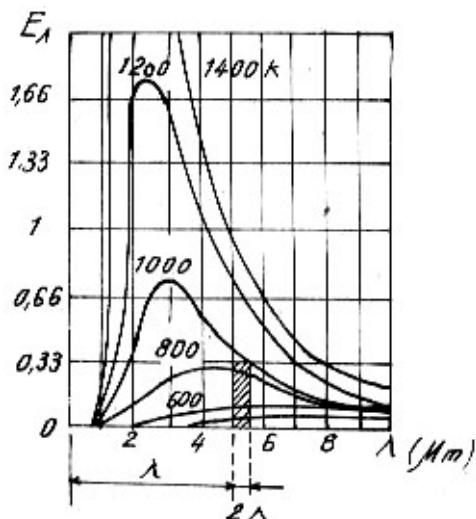
Đây là phương pháp dựa trên định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối, tức là vật hấp thụ năng lượng theo mọi hướng với khả năng lớn nhất. Bức xạ nhiệt của mọi vật thể có thể đặc trưng bằng một mật độ phô E_λ nghĩa là số năng lượng bức xạ trong một đơn vị thời gian với một đơn vị diện tích của vật và xảy ra trên một đơn vị của độ dài sóng.

Quan hệ giữa mật độ phô bức xạ của vật đen tuyệt đối với nhiệt độ và độ dài sóng được biểu diễn bằng công thức:

$$E_{\lambda}^0 = C_1 \lambda^{-5} (e^{c_2 / (\lambda T)} - 1)^{-1}$$

với: C_1, C_2 - hằng số; λ - độ dài sóng
 T - nhiệt độ tuyệt đối; $C_1 = 37,03 \cdot 10^{-17} \text{ Jm}^2/\text{s}$
 $C_2 = 1,432 \cdot 10^{-2} \text{ m.deg}$

Đường cong $E_i^0 = f(\lambda)$ với các nhiệt độ khác nhau biểu diễn trên hình 18.9:



Hình 18.9. Đường cong $E_\lambda^0 = f(\lambda)$ với các nhiệt độ khác nhau

Tùy theo đại lượng vào ta gọi dụng cụ đo theo phương pháp trên bằng tên gọi khác nhau như: hoả quang kê phát xạ, hoả quang kê cường độ sáng và hoả quang kê màu sắc.

a) Hoả quang kế phát xạ:

Nguyên lý hoạt động: đối với vật đen tuyệt đối, năng lượng bức xạ toàn phần trên một đơn vị bề mặt được tính:

$$E_T^0 = \sigma \cdot T_p^4$$

với: $\sigma = 4,96 \cdot 10^{-2} \text{J/m}^2 \cdot \text{s.grad}^4$

T_p - nhiệt độ của vật theo lý thuyết.

Đối với vật thực thì năng lượng bức xạ toàn phần trên một đơn vị bề mặt được tính:

$$E_T = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T_t^4$$

với: ε_T - hệ số bức xạ tổng hợp, xác định tính chất của vật và nhiệt độ của nó ($\varepsilon_T < 1$)

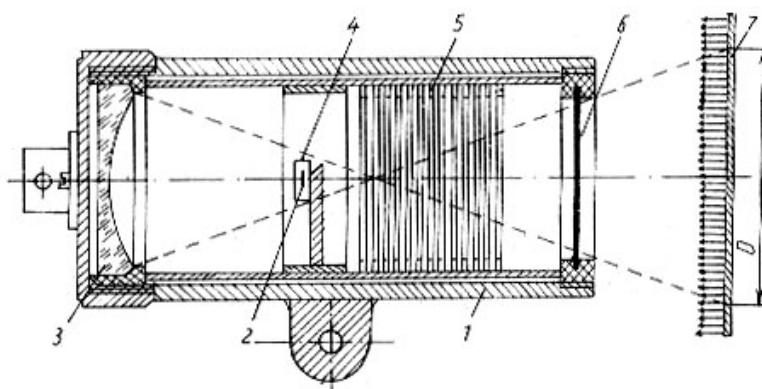
T_t - nhiệt độ thực của vật.

Hoả quang kế phát xạ được khắc độ theo độ bức xạ của vật đen tuyệt đối nhưng khi đo ở đối tượng thực, T_p được tính theo công thức:

$$\sigma \cdot T_p^4 = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T_t^4$$

$$\Rightarrow T_t = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon_T}}$$

Cấu tạo: hình 18.10 là cấu tạo của hoả quang kế phát xạ: bao gồm ống kim loại mỏng 1, phía cuối gắn gương lõm 3:



Hình 18.10. Cấu tạo của hoả quang kế phát xạ

Chùm tia phát xạ được gương lõm phản xạ hội tụ trên nhiệt điện trở 2 và đốt nóng nó. Để tránh các tia phản xạ từ thành ống bên trong và nhiệt điện trở người ta gia công thêm những đường rãnh 5. Nhiệt điện trở được đặt trong hộp chấn 4.

Để bảo vệ mặt trong của hoả quang kế phải sạch, phía đầu ống được gắn tấm kính thuỷ tinh hữu cơ trong suốt 6.

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

Đặc điểm: hỏa quang kế dùng để đo nhiệt độ từ $20 \div 100^\circ\text{C}$. Khi cần đo nhiệt độ cao hơn ($100 \div 2500^\circ\text{C}$) mà tần số bước sóng đủ lớn người ta dùng một thấu kính bằng thạch anh hay thuỷ tinh đặc biệt để tập trung các tia phát xạ và phản tử nhạy cảm với nhiệt độ được thay bằng cặp nhiệt ngẫu (ví dụ crômel - copel).

Nhiệt kế phát xạ thấu kính không thể đo ở nhiệt độ thấp vì các tia hồng ngoại không xuyên qua được thấu kính (kể cả thạch anh).

Khoảng cách để đo giữa đối tượng và hoả quang kế được xác định đo kích thước của vật đốt nóng, khoảng cách đó không quá lớn. Chùm tia sáng từ đối tượng đo đến dụng cụ phải trùm hết tầm nhìn ống kính ngắm của nhiệt kế (vòng tròn có đường kính D).

Nhược điểm của tất cả các loại hoả quang kế phát xạ là đối tượng đo không phải là vật đen tuyệt đối do đó trong vật nóng có sự phát xạ nội tại và dòng phát xạ nhiệt đi qua bề mặt. Nhiệt độ của đối tượng đo khi dùng hoả quang kế phát xạ T_t bao giờ cũng nhỏ hơn nhiệt độ lý thuyết tính toán T_p , ví dụ đối với thép sự khác nhau giữa T_p và T_t đạt đến $1,7^0\text{C}$.

b) Hoả quang kế cường độ sáng:

Nguyên lý hoạt động: trong thực tế khi đo nhiệt độ $T < 3000^0\text{C}$ với bước sóng λ trong khoảng $0,4\mu\text{m} < \lambda < 0,7\mu\text{m}$ thì mật độ phổ bức xạ của vật đen tuyệt đối có thể biểu diễn bằng công thức:

$$E_\lambda^0 = C_1 \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

Đối với vật thật:

$$E_\lambda = \varepsilon_\lambda C_1 \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

với: ε_λ - hệ số (đối với vật không đen tuyệt đối) trong khoảng $0 < \varepsilon_\lambda < 1$.

Các hoả quang kế cường độ sáng được khắc độ theo bức xạ của vật đen tuyệt đối nhưng khi đo với đối tượng đo thực ta có:

$$\frac{1}{T_t} = \frac{1}{T_s} + \frac{\lambda}{C_2}$$

với: T_s - nhiệt độ cường độ sáng

T_t - nhiệt độ thực.

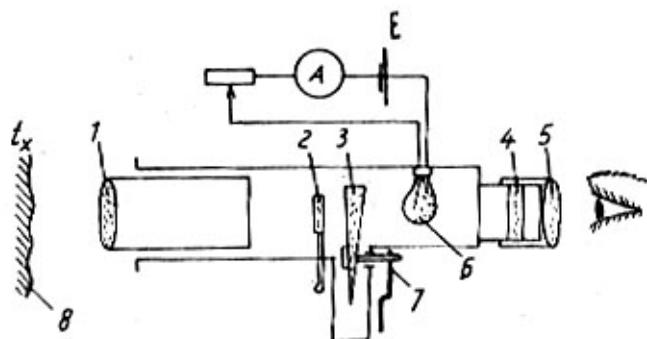
Việc xác định ε_λ là điều rất khó, thường $\varepsilon_\lambda = 0,03 \div 0,7$ ở các vật liệu khác nhau và với độ dài sóng $\lambda = 0,6 \div 0,7\mu\text{m}$.

Nguyên lý làm việc của hoả quang kế cường độ sáng là so sánh cường độ sáng của đối tượng đo nhiệt độ với cường độ sáng của nguồn sáng chuẩn trong dải phổ hẹp. Nguồn sáng chuẩn là một bóng đèn sợi đốt vonfram sau khi đã được già hoá trong khoảng 100 giờ với nhiệt độ 2000^0C . Sự phát sáng của đèn đã ổn định nếu sử dụng ở nhiệt độ từ $1400^0\text{C} \div 1500^0\text{C}$. Cường độ sáng có thể điều chỉnh bằng cách thay đổi dòng đốt hoặc dùng bộ lọc ánh sáng.

Trong trường hợp thay đổi dòng đốt, thang đo không đều ở cường độ sáng của sợi đốt tỉ lệ bậc năm với dòng đốt.

Nếu thay đổi cường độ sáng bằng tấm chắn quang học hình cầu thì góc quay của nó tỉ lệ với cường độ sáng cần điều chỉnh.

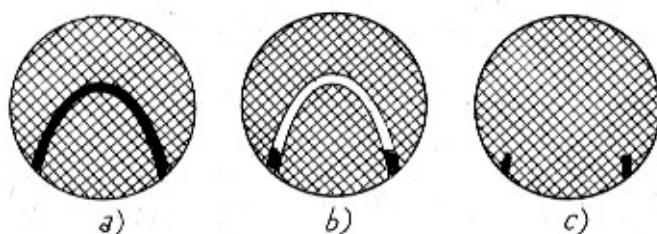
Cấu tạo: hình 18.11 là cấu tạo của hoả quang kế cường độ sáng có bộ chắn quang học:



Hình 18.11. Cấu tạo của hỏa quang kế cường độ sáng có bộ chắn quang học

Ông ngắm gồm có kính vật 1, thị kính 5 qua đó có thể ngắm được đôi tượng đo 8. Trước thị kính 5 có bộ lọc ánh sáng đỏ 4, sợi đốt 6 của bóng đèn chuẩn được ngắm trực tiếp. Cường độ sáng của đôi tượng đo 8 được chắn và làm yếu đi bằng bộ chắn quang học 3. Góc quay của bộ chắn 3 tương ứng với cường độ sáng được tính bằng thang 7. Dụng cụ có hai giới hạn đo, sau bộ chắn quang học là bộ lọc ánh sáng 2. Cường độ sáng của nguồn nhiệt và đèn sợi đốt được so sánh bằng mắt:

- Nếu cường độ sáng của đối tượng đo lớn hơn độ sáng của dây đốt ta sẽ thấy dây thâm trên nền sáng (H. 18.12a).
- Nếu cường độ sáng của đối tượng đo yếu hơn độ sáng của dây đốt cho thấy dây sáng trên nền thâm (H.18.12b).
- Nếu độ sáng bằng nhau hình dây sẽ biến mất (H.18.12c) khi đó đọc vị trí của bộ chắn sáng ở thang 7 để suy ra nhiệt độ.



Hình 18.12. So sánh bằng mắt cường độ sáng của nguồn nhiệt và đèn sợi đốt trong hỏa quang kế cường độ sáng

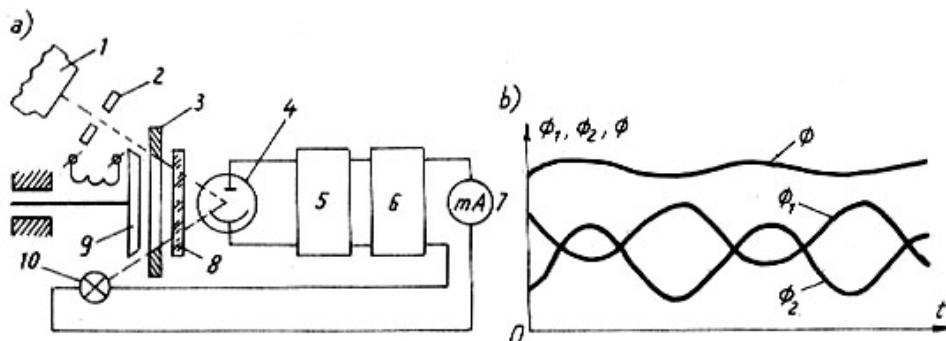
So sánh bằng mắt tuy thô sơ nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác nhất định vì cường độ sáng thay đổi nhiều hơn gấp 10 lần sự thay đổi nhiệt độ.

Dụng cụ tự cân bằng: ngoài phương pháp và dụng cụ nói trên người ta còn dùng dụng cụ tự cân bằng. Hình 18.13a là sơ đồ nguyên lý của hỏa quang kế cường độ sáng tự động cân bằng:

Ánh sáng từ đối tượng đo 1 và đèn mẫu 10 qua khe hở và bộ lọc ánh sáng 8 cùng đặt vào tế bào quang điện 4. Sự so sánh được thực hiện bằng cách lần lượt cho ánh sáng từ đối tượng đo và đèn chiếu vào tế bào quang điện nhờ tấm chắn 3 và sự di chuyển tấm chắn phản ứng điện từ 9 của chuyển đổi ngược với tần số 50Hz.

Dòng sáng Φ_1 và Φ_2 của đối tượng đo và đèn mẫu lệch pha nhau 180° (H.18.13b). Dòng ánh sáng Φ có biên độ bằng hiệu biên độ của dòng ánh sáng Φ_1 và Φ_2 được tế bào quang điện biến thành dòng điện. Dòng điện này đưa vào

khuếch đại xoay chiều 5 và được chỉnh lưu bằng bộ chỉnh lưu nhạy pha 6 để biến thành dòng một chiều và đưa vào miliampemét 7 và đèn đốt 10.



Hình 18.13. Hỏa quang kế cường độ sáng tự động cân bằng:

a) sơ đồ nguyên lý

b) dòng sáng Φ_1 và Φ_2 của đối tượng đo và đèn mẫu lệch pha nhau 180°

Khi ánh sáng của đối tượng đo 1 và đèn 10 bằng nhau, dòng điện ra của tế bào quang điện không thay đổi. Nếu ánh sáng của đối tượng đo 1 và đèn sợi đốt 10 khác nhau, dòng điện ra của tế bào sẽ thay đổi, dòng điện sẽ làm cho ánh sáng đèn 10 thay đổi cho đến khi bằng độ sáng của đối tượng đo.

Miliampemét được khắc trực tiếp giá trị nhiệt độ cho ta biết nhiệt độ đo được. Hoả quang kế loại này có độ chính xác cao (sai số cơ bản $\pm 1\%$) trong dải nhiệt độ $900 \div 2200^\circ\text{C}$.

c) Hoả quang kế màu sắc:

Nguyên lý hoạt động: hỏa quang kế màu sắc là dụng cụ đo nhiệt độ dựa trên phương pháp đo tỉ số cường độ bức xạ của hai ánh sáng có bước sóng khác nhau λ_1 và λ_2 .

Năng lượng thu được:

$$E_1 = \varepsilon_1 C_1 \lambda_1^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_1 T}}; \quad E_2 = \varepsilon_2 C_2 \lambda_2^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_2 T}}$$

suy ra:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_1 \lambda_1^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_1 T}}}{\varepsilon_2 \lambda_2^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_2 T}}}$$

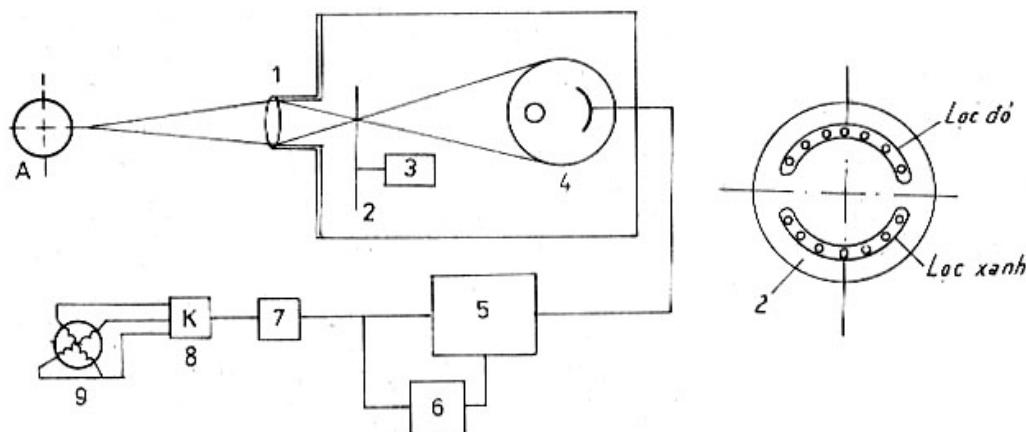
và giá trị nhiệt độ T có thể tìm được theo các giá trị E_1 , E_2 , ε_1 , ε_2 là:

$$T = C_2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \cdot \ln \left[\frac{E_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \lambda_2^5}{E_2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \lambda_1^5} \right]$$

Vì vậy trong dụng cụ hỏa quang kế màu sắc có thiết bị tự tính, tự động giải phương trình trên, trong đó các giá trị E_1 , E_2 , ε_1 , ε_2 được đưa vào trước, nếu các thông số trên đưa vào sau sẽ gây nên sai số.

Khi đo nhiệt độ đến $2000 \div 2500^\circ\text{C}$ giá trị ε_1 , ε_2 có thể xác định bằng thực nghiệm.

Cấu tạo: hình 18.14 là sơ đồ nguyên lý của hỏa quang kế màu sắc dùng tế bào quang điện:



Hình 18.14. Sơ đồ nguyên lý của hoả quang kế màu sắc dùng tê bào quang điện

Cường độ bức xạ từ đối tượng đo A qua hệ thấu kính 1 tập trung ánh sáng trên đĩa 2. Đĩa này quay quanh trục nhờ động cơ 3.

Sau khi ánh sáng qua đĩa 2 đi vào tê bào quang điện 4, trên đĩa khoan một số lỗ, trong đó một nửa đặt bộ lọc ánh sáng đỏ (LD) còn nửa kia đặt bộ lọc ánh sáng xanh (LX). Khi đĩa quay tê bào quang điện lâng lượt nhận được ánh sáng đỏ và xanh với tần số nhất định tuỳ theo tốc độ quay của động cơ. Dòng quang điện được khuếch đại nhờ bộ khuếch đại 5 sau đó đưa vào bộ chỉnh lưu pha 7.

Nhờ bộ chuyển mạch 8 tín hiệu được chia thành hai phần tuỳ theo ánh sáng vào tê bào quang điện là xanh hay đỏ. Hai tín hiệu này được đo bằng bộ chia 9.

Tuỳ theo cường độ bức xạ của đối tượng đo, độ nhạy của khuếch đại được điều chỉnh tự động nhờ thiết bị 6.

Bộ chia thường là lôgômét từ điện, góc quay của nó tỉ lệ với nhiệt độ đo và bộ chuyển mạch là các role phân cực, làm việc đồng bộ với đĩa quay, nghĩa là sự chuyển mạch của khung lôgômét xảy ra đồng thời với sự thay đổi bộ lọc ánh sáng mà dòng bức xạ đặt lên tê bào quang điện.

Đặc điểm: phương pháp đo nhiệt độ bằng hỏa quang kế màu sắc có ưu điểm là trong quá trình đo không phụ thuộc vào khoảng cách từ vị trí đo đến đối tượng đo và không phụ thuộc vào sự bức xạ của môi trường.

Nhược điểm của hỏa quang kế màu sắc là chúng tương đối phức tạp.

Các tín hiệu điều biến ở phụ tải của tê bào quang điện có dạng như hình 18.15a và tín hiệu ở đầu ra của khuếch đại có dạng như hình 18.15b:

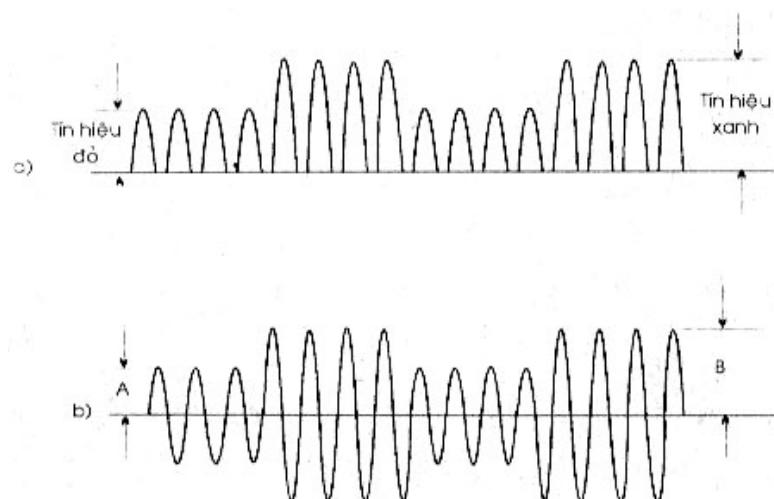
Tỉ số giữa biên độ A và B là:

$$\alpha = \frac{A}{B}$$

và đại lượng: $\frac{B - A}{B + A} = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}$ được gọi là hệ số điều biến m.

Hệ số m quan hệ đơn trị với tỉ số α , vì vậy trong các hỏa quang kế hiện đại người ta thay lôgômét bằng các máy đo hệ số điều biến điện tử.

Trong một số trường hợp để nhận được ở đầu ra các tín hiệu tỉ lệ với tỉ số cường độ của hai tia bức xạ cần phải sử dụng các thiết bị tính phức tạp.



Hình 18.15. Các tín hiệu ra điển hình của hỏa quang kẽ màu sắc
dùng té bào quang điện:

- a) tín hiệu điều biến ở phụ tải của té bào quang điện
- b) tín hiệu ở đầu ra của khuếch đại

CHƯƠNG 19.

ĐO THÀNH PHẦN VẬT CHẤT (2 LT)

19.1. Khái niệm chung và phân loại.

Phân tích vật chất có ý nghĩa rất quan trọng, nhờ đó có thể tiến hành chính xác quá trình nghiên cứu các lĩnh vực hoá học, sinh học, y học, vũ trụ... Đối tượng khảo sát là tất cả các chất trong đó cần xác định nồng độ và thành phần của chất khí, chất lỏng và vật rắn.

Nhiệm vụ thường rất phức tạp phải đo nồng độ của riêng từng chất hoặc một nhóm chất trong môi trường nhiều thành phần với những điều kiện khác nhau như nhiệt độ, áp suất, tốc độ di chuyển... Dải thay đổi của các nồng độ rất rộng. *Ví dụ để xác định nồng độ của khí Clo, Axetilen, khí độc trong điều kiện sản xuất yêu cầu dụng cụ đo có giới hạn trên là 10-4 % nồng độ khói, nhưng khí sản xuất kim loại cũng và các chất bán dẫn lại cần đo độ tạp chất có nồng độ không vượt quá 10-6 ÷ 10-8 %.*

Do dải nồng độ thay đổi khá rộng với các điều kiện khác nhau nên các phương pháp và dụng cụ đo cũng rất khác nhau. Ở đây ta chỉ xét đến phương pháp điện dùng để đo nồng độ và thành phần của vật chất.

19.2. Phương pháp điện hoá.

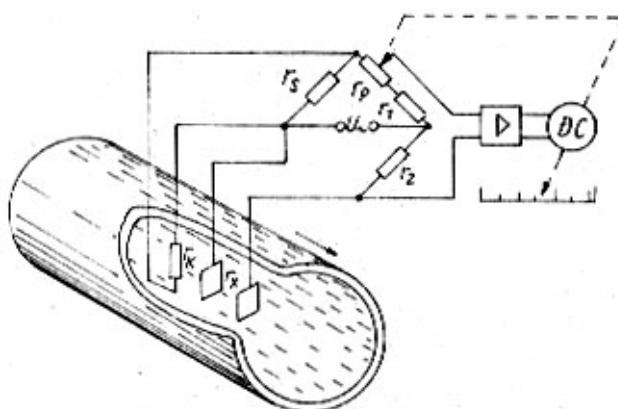
Phương pháp điện hoá là các dụng cụ đo nồng độ của vật chất dựa trên sự ứng dụng các chuyển đổi điện hoá.

Các phương pháp điện hoá phổ biến là phương pháp điện dẫn, phương pháp điện thế, phương pháp Culông và phương pháp phân cực.

19.2.1. Phương pháp điện dẫn:

Nguyên lý hoạt động: đo điện dẫn của dung dịch nhờ các chuyển đổi điện dẫn tiếp xúc và không tiếp xúc.

Hình 19.1 là sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo nồng độ dung dịch:



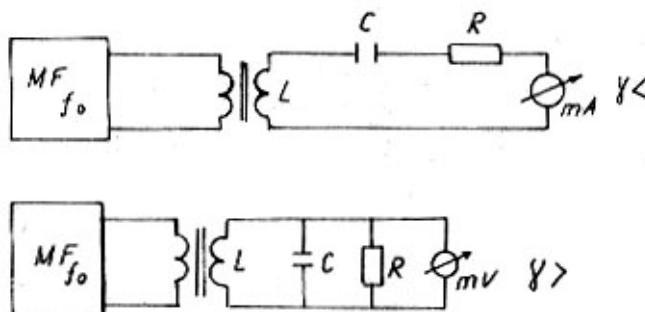
Hình 19.1. Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo nồng độ dung dịch bằng phương pháp điện dẫn

Trong đó r_X là chuyển đổi điện dẫn được mắc vào mạch cầu tự động dòng xoay chiều. Để hiệu chỉnh sai số nhiệt độ người ta mắc thêm điện trở r_k , điện trở này

được đặt ngay trong dung dịch để nhiệt độ của r_X và r_k như sau:

Điện trở r_k mắc song song với điện trở r_X làm bằng Manganin để giảm sai số nhiệt độ. Khi nồng độ thay đổi điện trở r_X cũng thay đổi và điện áp ra của mạch cầu tỉ lệ với r_X , qua đó suy ra nồng độ cần đo.

Ngoài mạch trên người ta còn sử dụng các dụng cụ có mạch đo tần số, trong đó các máy phát RC-LC hoặc RL được nối với các chuyển đổi điện dẫn tiếp xúc hoặc không tiếp xúc để tạo thành mạch công hưởng. Sự thay đổi nồng độ dung dịch gây nên sự thay đổi thông số mạch điện làm tần số của nó thay đổi, đo tần số có thể biết nồng độ dung dịch (H. 19.2):



Hình 19.2. Mạch đo của thiết bị đo nồng độ dung dịch bằng phương pháp điện dẫn sử dụng các dụng cụ có mạch đo tần số

Đặc điểm, phạm vi ứng dụng: phương pháp này dùng để đo nồng độ muối trong dung dịch, trong nước ngưng và nước của các máy hơi nước, độ mặn của nước biển... Nó còn được dùng để xác định nồng độ chất khí do sự thay đổi điện dẫn của dung dịch khi đưa vào các chất khí cần phân tích.

Ví dụ nếu đưa vào dung dịch KOH chất khí có CO_2 , muối được tạo thành là K_2CO_3 (do $CO_2 + 2KOH = K_2CO_3 + H_2O$) làm thay đổi điện dẫn của dung dịch. Đo điện dẫn có thể xác định được nồng độ CO_2 trong chất khí đó.

19.2.2. Phương pháp điện thế:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp đo điện thế cực, trong đo sử dụng các chuyển đổi Ganvanic.

Hình 19.3 là sơ đồ của một thiết bị phân tích khí với chuyển đổi Ganvanic dùng đo nồng độ thấp của Ôxi trong hỗn hợp khí, chuyển đổi là phần tử Ganvanic kiềm, có Anốt 1 làm bằng các tấm chì nhúng trong chất điện phân Katốt 2 là tấm lưới bạc ghép các giấy lọc.

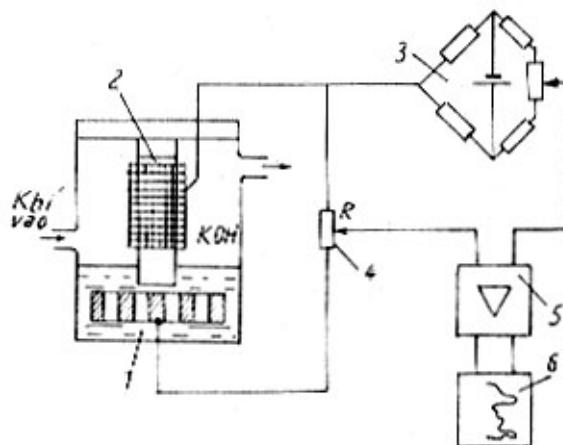
Khi có chất khí cần phân tích đi qua, Ôxi khuếch tán theo bề mặt của Katốt trong chất điện phân xảy ra phản ứng điện hoá kèm theo đó xuất hiện xuất hiện động tỉ lệ với nồng độ Ôxi trong hợp chất khí cần phân tích.

Sức điện động ban đầu được bù bằng điện áp của mạch cầu 3 mức ngược với điện áp rơi trên phụ tải 4 của chuyển đổi, hiệu điện áp được đưa vào khuếch đại 5 để khuếch đại tín hiệu sau đó đưa đến dụng cụ tự ghi 6.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: giới hạn đo dưới của thiết bị khoảng 0,001% O_2 theo khối lượng. Giới hạn trên không vượt quá 0,1%, do khi nồng độ quá 0,02 ÷ 0,05 % O_2 , độ nhạy bị giảm đi hoặc tuyếng giữa sức điện động của chuyển đổi với nồng độ O_2 trở nên phi tuyến. Sai số cơ bản của các thiết bị phân

tích khí đạt được $\pm(1 \div 10)\%$, sai số nhiệt độ bằng $+2,4\%$ vì vậy cần phải ổn định nhiệt độ hoặc sử dụng mạch hiệu chỉnh sai số nhiệt độ.

Phương pháp này được dùng phổ biến trong các dụng cụ pH-mét là dụng cụ đo hoạt động của các iôn hyđrô cũng như các thiết bị phân tích khí.

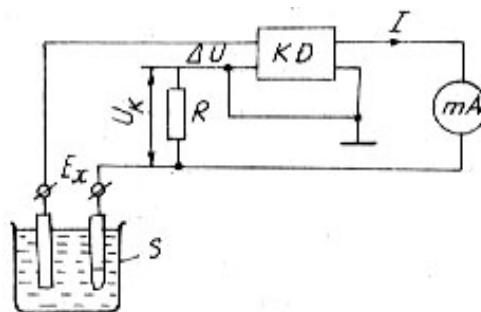


Hình 19.3. Sơ đồ của một thiết bị phân tích khí với chuyển đổi Galvanic dùng để nồng độ thấp của Ôxi trong hỗn hợp khí

Ở các thiết bị phân tích khí hiện đại được sử dụng thiết bị tự động khắc độ và kiểm tra bằng cách dùng Hyđrô là khí mang trong đó bổ sung một lượng Ôxi cho trước bằng điện phân và từ đó xác định theo dòng điện phân.

Hàng số thời gian của thiết bị được xác định trên cơ sở Ôxi khuếch tán và tốc độ diễn ra của quá trình trên các điện cực và tuỳ thuộc vào cấu trúc của chuyển đổi có thể đạt khoảng $0,25 \div 5$ phút.

Dụng cụ đo pH của dung dịch (pH-mét): ngoài thiết bị trên, hình 19.4 là sơ đồ nguyên lý của dụng cụ đo pH của dung dịch (pH-mét), nó được sử dụng rộng rãi để kiểm tra các quá trình hóa học khác nhau:



Hình 19.4. Sơ đồ nguyên lý của dụng cụ đo pH của dung dịch

Dụng cụ này gồm có chuyển đổi Galvanic và mạch đo, trong thực tế người ta dùng các chuyển đổi Galvanic với các bán phần tử có cấu trúc khác nhau. Chọn loại nào là tùy theo giới hạn đo độ pH và điều kiện sử dụng cụ thể.

Sức điện động của chuyển đổi Galvanic được đo bằng điện thế kế (cân bằng tự động hoặc bằng tay) hoặc milivônmet điện tử. Dụng cụ xây dựng theo nguyên lý bù. Ở đầu vào của bộ khuếch đại (KD) với phản hồi âm sâu, đặt sức điện động E_x của chuyển đổi Galvanic S, khi đó $\Delta U = E_x - U_k$ trong đó U_k là điện áp bù của mạch phản hồi của khuếch đại.

Khi hệ số khuếch đại đủ lớn $E_x \approx U_k$ hoặc $E_x \approx I.R$ do $E_x = f(pH)$, dòng điện $I = \frac{1}{R}f(pH)$ và chỉ thị miliAmpemét chỉ giá trị độ pH cần đo.

Để bù tự động sai số nhiệt độ do sức điện động E_x thay đổi khi nhiệt độ trong môi trường thay đổi, điện trở R được thay bằng nhiệt điện trở đồng đặt trong dung dịch kiểm tra cùng với điện cực của chuyển đổi. Giá trị của nhiệt điện trở được chọn như thế nào đó để sức điện động E_x và điện áp bù U_k thay đổi do nhiệt độ dung dịch thay đổi được bù lẫn nhau.

Ví dụ: pH mét điện tử (loại pH - 121) được xây dựng theo sơ đồ hình 20-4 có giới hạn đo pH từ -1 ÷ +14. Sai số cơ bản của dụng cụ ±0,05 đơn vị pH. Chuyển đổi dùng trong pHmét là các điện cực thuỷ tinh (điện cực đo) và điện cực clo bạc (điện cực so sánh).

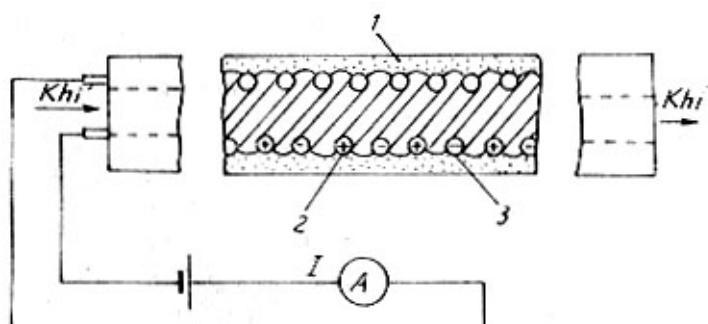
Để đo sức điện động của chuyển đổi Ganvanic trong công nghiệp người ta dùng điện thế kế điều chỉnh tự động có điện trở vào rất lớn (không nhỏ hơn $10^{10}\Omega$).

19.2.3. Phương pháp Culông:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp đo số lượng điện tích hoặc dòng điện khi điện phân chất cần nghiên cứu.

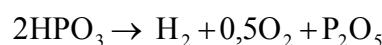
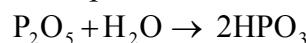
Để phép đo đạt độ chính xác cao người ta thường dùng phương pháp chuẩn độ, trong đó nồng độ được xác định theo dòng điện phân khi tách vật chất do phản ứng với thành phần đo.

Hình 19.5 là sơ đồ cấu tạo của thiết bị đo độ ẩm của chất khí:



Hình 19.5. Sơ đồ cấu tạo của thiết bị đo độ ẩm của chất khí

Chuyển đổi là một ống cách điện 1, đường kính không lớn lăm, ở mặt trong được đặt trong hai điện cực xoắn 2 và 3. Các điện cực và rãnh xoắn của chúng được phủ một màng mỏng Anhidritphôtphoric P_2O_5 . Màng này có điện trở lớn ở dạng khô và điện trở được giảm khi hút ẩm. Khí cần đo được đưa qua ống với tốc độ không đổi, lúc đó liên tục diễn ra hai quá trình đó là: sự hút ẩm của màng để tạo thành axitphôtphoric và điện phân nước để tái sinh anhidricphôtphoric



Dòng điện phân I tỉ lệ với độ ẩm tuyệt đối của khí:

$$I = F \cdot z \cdot p \cdot q / M$$

với: F - hằng số Pharađây

M - trọng lượng phân tử nước

z - độ kiềm

p - lưu tốc của chất khí m^3/s

q - độ ẩm tuyệt đối g/m^3

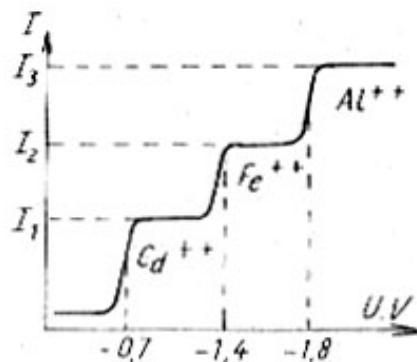
Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: phương pháp Culông được sử dụng đo nồng độ và thành phần của chất lỏng và chất khí cũng như để đo độ ẩm của khí. Các ẩm kế kiểu Culông cho phép đo hơi nước trong dải đo từ $10^{-4} \div 1\%$ theo khối lượng với sai số $\pm(5 \div 10)\%$.

19.2.4. Phương pháp phân cực:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp dựa trên hiện tượng phân cực, đây là một trong các phương pháp điện hoá nhạy nhất, nó cho phép phân tích dung dịch gồm nhiều thành phần.

Phân tích bằng cách lấy đặc tính Vôn-Ampe $I = f(U)$ khi điện phân dung dịch cần nghiên cứu. Điện tích của một trong các điện cực (thường là Katốt) rất nhỏ so với điện cực khác.

Nếu dung dịch chứa các iôn khác nhau thì đồ thị phân cực của nó là đường cong nhảy cấp. Mỗi một cấp đặc trưng cho một loại iôn xác định (H.19.6):



Hình 19.6. Đồ thị phân cực của dung dịch chứa các iôn khác nhau

Điện áp tương ứng với đoạn giữa của đoạn tăng đột ngột dùng để phân tích định tính, do giá trị của chúng tương ứng với các điện thế của iôn tách ra, giá trị của nó được cho trong bảng chuyên dùng.

Dòng $I_1, I_2, I_3\dots$ phụ thuộc vào nồng độ iôn tương ứng trong dung dịch và giá trị của chúng, dùng để phân tích định lượng.

Ngày nay các phân cực kí được dùng rộng rãi với điện cực giọt thuỷ ngân, trong đó Anốt là chất thuỷ ngân đồ đầy ở đáy chuyển đổi, katốt là ống thuỷ ngân mao dẫn có đường kính khoảng 1 mm để tạo thành các giọt thuỷ ngân luôn sạch và đều do đó phản ánh kết quả đo rất chính xác. Các chuyển đổi với điện cực thuỷ ngân dùng để phân tích các kaliô, có điện thế phân cực khoảng từ $0 \div 3V$.

Để phân tích các Aniôn và muối nóng chảy các điện cực thuỷ ngân được thay bằng các điện cực rắn như Platin, vàng, Niken. Mạch đo gồm có thiết bị tự động thay đổi điện áp phân cực, mạch đo dòng bằng phương pháp bù, thiết bị điều chỉnh để ghi và quan sát đồ thị phân cực, thiết bị tự động bù dòng điện ban đầu và điện áp rơi trên dung dịch.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: phân cực kí có độ nhạy rất cao khi điện áp phân cực một chiều được điều chế thành xoay chiều dạng hình sin hoặc hình

thang. Nguồn nhạy của phân cực kí như trên đạt $10^{-7} \div 10^{-9}$ mol/l. Phân cực kí được khắc độ theo dung dịch chuẩn.

19.3. Phương pháp ion hóa.

Nguyên lý hoạt động chung: đây là phương pháp dựa trên sự iôn hoá các chất cần phân tích và đo dòng điện iôn hoá để xác định nồng độ của các chất đó.

Phân loại: dựa trên các phương pháp ion hóa được sử dụng phổ biến:

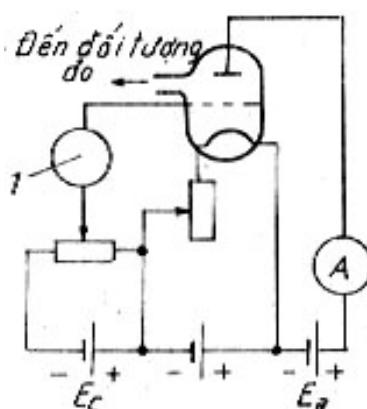
- Các chân không kế
 - Khối phổ kế
 - Các thiết bị phân tích iôn hoá nhiệt

Trong các thiết bị đo chân không có ba loại chuyển đổi chính:

- *Chuyển đổi tự phát xạ điện tử với katốt lạnh*: sự iôn hoá chất khí xảy ra dưới tác dụng của điện áp cao.
 - *Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử*: quá trình iôn hoá do katốt bị đốt nóng làm các điện tử bắn ra với tốc độ nhanh và năng lượng đến 15eV, đủ để iôn hoá chất khí.
 - *Chuyển đổi phóng xạ iôn*: là các chuyển đổi sử dụng các nguồn bức xạ α và β để iôn hoá chất khí với chu kỳ bán phân huỷ lớn.

19.3.1. Chân không kế katôt đốt nóng (kiểu chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử):

Nguyên lý hoạt động: có sơ đồ cấu tạo như hình 19.7:



Hình 19.7. Sơ đồ cấu tạo của chân không kế katốt đốt nóng

Khi trị số điện áp Anot và dòng đốt không thay đổi thì dòng iôn hoá đo bằng dung cu 1 tỉ lê với nồng độ của chất khí ở trong đèn.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng của chân không kế katôt đốt nóng: dải đo của chân không kế như trên (BИ-3) khoảng $3 \cdot 10^{-5} \div 0,15 \text{ N/m}^2$. Khi áp suất lớn hơn $0,15 \text{ N/m}^2$ có thể làm cháy katôt. Độ nhạy chuyển đổi là $75 \mu\text{A/N/m}^2$.

Độ nhạy của các chân không kế có thể tăng 1÷2 cấp nếu dùng các chuyển đổi "từ phóng điện" là các chuyển đổi dưới tác dụng của từ trường, chiều dài hành trình di chuyển của các điện tử tăng lên. Các chuyển đổi này có thể dùng đo độ chân không từ $15 \cdot 10^{-4}$ đến 150 N/m^2 .

Nhược điểm của các chân không kế iôn là sự phụ thuộc của dòng iôn với các loại khí khác nhau và chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.

Sai số đạt được $\pm 30\%$

19.3.2. Chân không kế kiểu chuyển đổi phóng xạ iôn:

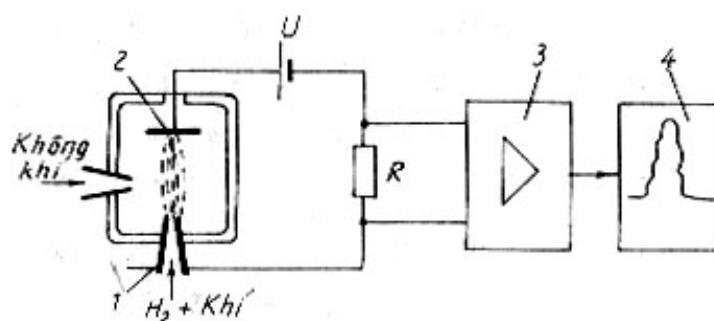
Nguyên lý hoạt động: gồm có bình iôn hóa và mạch đo. Cửa vào của khuếch đại được lắp chung cùng một vỏ với chuyển đổi và thường là các khuyết đại điện lượng. Trong bình iôn hóa có nguồn bức xạ α và điện cực thu các dòng iôn. Bình iôn hóa được nối với đối tượng đo độ chân không qua một ống nối.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: ưu điểm của loại chân không kế này là quan hệ giữa dòng điện iôn hóa và nồng độ của chất khí cần đo có độ tuyến tính trong một dải rộng từ $0,1$ đến $25 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ do đó phản ánh được chính xác kết quả đo.

19.3.3. Phương pháp iôn hóa nhiệt:

Muốn đạt độ nhạy cao hơn nữa có thể dùng phương pháp iôn hóa nhiệt: dựa trên sự iôn hóa các phân tử của chất cần nghiên cứu trong khí hyđrô cháy.

Nguyên lý hoạt động: hình 19.8 là sơ đồ cấu trúc của dụng cụ dùng để phân tích nồng độ các chất khí:



Hình 19.8. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ dùng để phân tích nồng độ bằng phương pháp iôn hóa nhiệt

Khí hyđrô sạch cháy trong không khí hầu như không tạo thành các iôn do ngọn lửa hyđrô có điện trở rất lớn ($10^{12} \div 10^{14} \Omega$), nhưng nếu cùng đưa vào với hyđrô chất khí cần nghiên cứu, do cháy và phân nhiệt sẽ tạo ra hiện tượng iôn hóa phân tử của hợp chất đó và điện trở giữa các điện cực 1 và 2 của chuyển đổi bị giảm xuống và dòng điện tăng lên.

Điện áp rơi trên điện trở R được đưa vào khuếch đại 3, ra dụng cụ tự ghi 4 để ghi lại kết quả đo.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: phương pháp này cho phép phát hiện được nồng độ rất thấp của các hợp chất hữu cơ đưa vào chuyển đổi với tốc độ $10^{-12} \div 10^{-14} \text{ g/s}$.

19.3.4. Khối phô kế:

Để phân tích hợp chất có nhiều thành phần có thể dùng dụng cụ phân tích khối phô trong đó cũng sử dụng phương pháp iôn hóa.

Nguyên lý hoạt động: hình 19.9 là sơ đồ nguyên lý của một khối phô kế:

Khí phân tích được đưa vào nguồn phân tích 1 gắn ở đầu bình chân không 3. Dưới tác dụng của điện cực katốt 2, các phân tử khí được iôn hóa và nhờ có hệ thống tập trung 6 (đặt điện áp tăng tốc U) mà các phân tử iôn hóa hướng vào từ trường đồng nhất của nam châm điện từ 4, vectơ cảm ứng từ B của nó có hướng vuông góc với mặt phẳng cắt.

Iôn của các thành phần khác nhau có điện tích dương e giống nhau nhưng khối

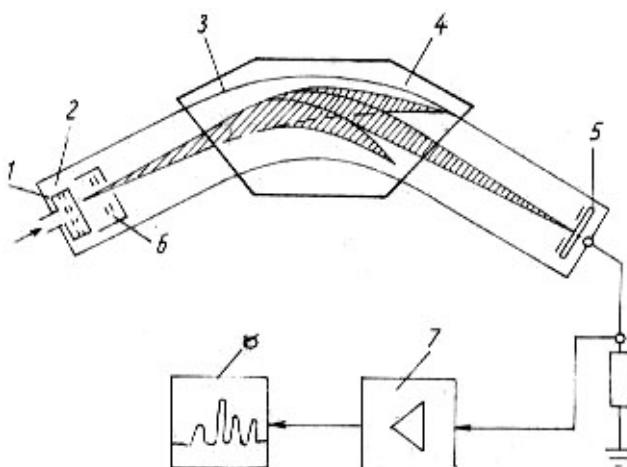
lượng m_i khác nhau, dưới tác dụng của từ trường sẽ được phân chia thành những chùm riêng rẽ theo khối lượng và có quỹ đạo với các bán kính khác nhau phụ thuộc vào m_i biểu diễn theo phương trình:

$$r_i = \sqrt{\frac{2Um_i}{e}} / B$$

Bằng cách thay đổi từ cảm B hoặc điện áp tăng tốc U, các chùm iôn có khối lượng giống nhau tương ứng với thành phần đo của hợp chất sẽ được đưa vào bộ thu dòng iôn 5. Dòng này được khuếch đại nhờ bộ khuếch đại 7 và đưa vào thiết bị ghi 8.

Theo trực hoành là thang đo khối lượng, còn diện tích của các khối lượng riêng rẽ đặc trưng cho hàm lượng thành phần tương ứng của các chất.

Chất rắn khi phân tích cần phải được bay hơi sơ bộ trong nồi chuyên dùng.



Hình 19.9. sơ đồ nguyên lý của một khói phổ kế
(sử dụng phương pháp iôn hóa)

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: thông số cơ bản của các khói phổ kế là dải chỉ số khối lượng, nó nằm trong khoảng từ 1 đến 600 m.e (đơn vị khối lượng).

Khả năng cho phép các khói phổ kế có thể đạt đến 50 ÷ 100 độ chia. Để phân tích nồng độ khác nhau rất ít theo khối lượng (CO - N₂; D₂ - He⁴; H² - D) người ta sử dụng khói phổ kế có 1000 độ chia. Ngưỡng nhạy của nó nằm trong khoảng 0,1 ÷ 0,0001% thể tích. Hàm lượng nhỏ nhất của thành phần khi phân tích chất rắn là 10⁻³g (khi 100% iôn hóa và dùng bộ nhân điện tử để khuếch dòng một chiều).

Khi phân tích thành phần phân tử, sai số của thiết bị phân tích khói phổ khoảng 2 - 3%.

Thực chất của thiết bị phân tích khí phổ là để phân tích tự động, liên tục chất khí và điều khiển quá trình công nghệ.

19.4. Phương pháp phổ.

Nguyên lý hoạt động chung: phương pháp phổ là phương pháp dựa trên khả năng hấp thụ, bức xạ, tán xạ, phản xạ hoặc khúc xạ có chọn lọc của các chất khác nhau với các loại bức xạ khác nhau. Đây là nhóm các phương pháp sử dụng phổ rộng có chiều dài sóng từ dải âm thanh 10³Hz đến độ dài sóng của các tia bức xạ,

Ronghen, Gama (10^{18} Hz).

Phân loại: tuỳ thuộc vào dải sóng, các phương pháp phổ được chia thành:

- Phương pháp điện thanh
- Phương pháp siêu âm
- Phương pháp phổ kế vô tuyến
- Phương pháp điện quang
- Phương pháp phóng xạ

19.4.1. Phương pháp điện thanh:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp dựa trên sự phụ thuộc tốc độ của âm thanh vào thành phần và nồng độ của chất trong môi trường nghiên cứu dùng để phân tích khí nhị phân.

Ví dụ để xác định nồng độ của ôxi trong hợp chất nitơ cũng như dùng đo độ ẩm.

19.4.2. Phương pháp siêu âm:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp dựa trên độ khác nhau về độ suy giảm hoặc tốc độ lan truyền của dao động siêu âm trong các môi trường lỏng và khí khác nhau.

Ví dụ dùng phân tích hợp chất hữu cơ và khí có chứa hyđrô do tốc độ lan truyền của siêu âm trong hyđrô lớn gấp 4 lần trong không khí.

Các dụng cụ sử dụng phương pháp trên gồm có nguồn bức xạ âm thanh hoặc nguồn bức xạ siêu âm và bộ thu dùng để biến đổi các dao động thành tín hiệu điện. Giữa nguồn bức xạ và bộ thu đặt chất cần nghiên cứu.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: nhờ phương pháp này có thể phân tích các chất có khối lượng lớn như đo độ ẩm trong các kiện bông.

19.4.3. Phương pháp phổ kế vô tuyến:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân, cộng hưởng thuận từ điện tử và quang phổ sóng cực ngắn.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: các phương pháp này được ứng dụng rộng rãi để nghiên cứu tính chất của các hạt nhân, các nguyên tử, các tinh thể và còn để nghiên cứu các tính chất lý hoá khác.

Trong các thiết bị ứng dụng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân có thể dùng để đo các đại lượng khác nhau như đo cảm ứng từ, đo độ ẩm trong dải từ 5÷80% ở vật rắn với sai số 0,2÷0,5% hoặc đo nồng độ của nước mềm (H_2O) và nước cứng (D_2O) với sai số tương đối 2÷3 % có hàm lượng tuyệt đối của một trong các thành phần từ 0,01% và lớn hơn.

Một ứng dụng khác của phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân là phân tích hợp chất có nhiều thành phần. Phương pháp này có thể đo thành phần của một số chất lỏng vô cơ và hữu cơ chứa Hyđrô, Flo, Fôtfo với sai số ±1%.

Phổ kế cộng hưởng từ hạt nhân còn dùng để nghiên cứu độ dài phổ của các hạt nhân nguyên tử khác nhau cũng như chiều cao của các phổ hạt nhân Hyđrô, Flo và cho phép đo trong dải nhiệt độ từ $-150^0C \div +200^0C$.

Phương pháp cộng hưởng thuận từ điện tử: là một trong các phương pháp có độ nhạy cao để phân tích các chất thuận từ có số lượng rất nhỏ. Phương pháp này

dùng để phân tích các chất mà những phân tử của nó có những điện tử không ghép đôi vì vậy vỏ điện tử có mômen từ. Những chất như vậy là những phân tử chuyển tiếp, chất hữu cơ có gốc tự do, những tinh thể chiếu sáng...

Phương pháp cộng hưởng thuận từ điện tử rất giống với phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân nhưng do mômen từ của các điện tử lớn gấp 1000 lần mômen từ của hạt nhân, spin của điện tử bằng $1/2$ nên sự cộng hưởng điện tử thường quan sát được trong dải độ dài sóng centimét và milimét.

Phương pháp quang phổ sóng cực ngắn: có nhiều thuận lợi khi phân tích chất khí. Phương pháp này dựa trên sự tương tác giữa mômen ngẫu cực điện của phân tử với trường điện tạo bởi máy phát tần số dẫn đến sự hấp thụ năng lượng của máy phát. Sự hấp thụ này có đặc tính cộng hưởng. Vì vậy theo tần số cộng hưởng có thể phân tích định tính và theo biên độ của tín hiệu hấp thụ dùng để phân tích định lượng.

19.4.4. Phương pháp điện quang:

Là phương pháp dựa trên sự hấp thụ có chọn lọc tia bức xạ hoặc tán xạ ánh sáng của thành phần chất cần phân tích trong dải sóng siêu âm và hồng ngoại.

Phổ biến là hai phương pháp sau:

a) Phương pháp phổ hồng ngoại (phương pháp quang âm):

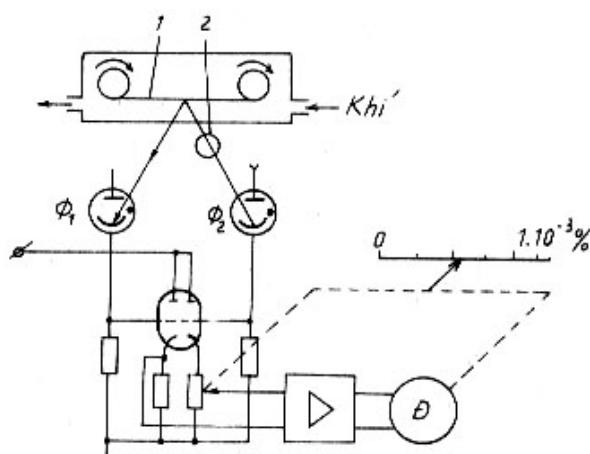
Nguyên lý hoạt động: dựa trên sự hấp thụ chọn lọc các bức xạ hồng ngoại tần số thấp của các chất khí khác nhau và nhờ Micrôphôn biến đổi dao động âm thanh thành tín hiệu điện.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: phương pháp này được sử dụng rộng rãi để phân tích các chất khí và hơi có đặc tính hấp thụ thấp trong phần phổ hồng ngoại ($\lambda = 0,74\mu\text{m} \div 12\mu\text{m}$). Để phân tích O₂, N₂, Cl₂ và thủy ngân người ta dùng những chất hấp thu bức xạ chon lọc trong dải phổ siêu âm.

b) Phương pháp so màu:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp trong đó nồng độ được xác định theo mức độ nhuộm của các chất cần phân tích, sau đó nhờ các phần tử quang điện hay quang điện trở mà tín hiệu được đưa ra chỉ thị.

Hình 19.10 là sơ đồ thiết bị phân tích khí so màu bằng cách đo độ nhuộm của băng chỉ thi 1 phu thuộc vào nồng độ của thành phần khí cần đo:



Hình 19.10. sơ đồ thiết bị phân tích khí so màu bằng cách đo độ nhuộm của các chất cần phân tích

Trong dụng cụ này người ta sử dụng phương pháp so sánh dòng ánh sáng của đèn 2 phản chiếu từ băng chỉ thị với dòng ánh sáng trực tiếp cũng từ đèn 2 qua hai phần tử quang điện Φ_1 và Φ_2 và tự động cân bằng. Thiết bị phân tích khí trên dùng để đo nồng độ rất thấp của lớp khí (Cl_2 , SO_2 , H_2S , HN_3 , NO , NO_2 v.v...).

Do chúng có độ nhạy cao, có thể nhuộm nhanh trong khoảng thời gian nào đó (chu kỳ đo nhanh) chọn chất chỉ thị thích hợp gây phản ứng với thành phần của hợp chất có thể nhận được độ chọn lọc cao.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: đây là phương pháp được sử dụng rộng rãi để đo chất lỏng và khí trong môi trường nhuộm.

Ngưỡng nhạy của thiết bị phân tích khí là $10^{-5}\%$ khối lượng.

Sai số cơ bản $\pm 10\%$. Khoảng thời gian phân tích là 2,5; 5; 10 phút.

19.4.5. Phương pháp phóng xạ:

Nguyên lý hoạt động: là phương pháp dựa trên sự khác nhau về mức độ hấp thụ hoặc phản xạ các tia bức xạ röntgen và các tia phóng xạ của thành phần chất phân tích.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: phương pháp phóng xạ thường được dùng để phân tích các chất lỏng nhị phân, để xác định nồng độ của các nguyên tố nặng trong dung dịch cũng như để đo độ ẩm của đất, than, bùn và vật liệu xây dựng.

Khi đo độ ẩm thường người ta dùng phương pháp làm suy giảm tia β và γ hoặc phương pháp nơtron dựa trên khả năng làm chậm những nơtron chuyển động nhanh của hạt nhân hyđrô biến chúng thành nhiệt năng.

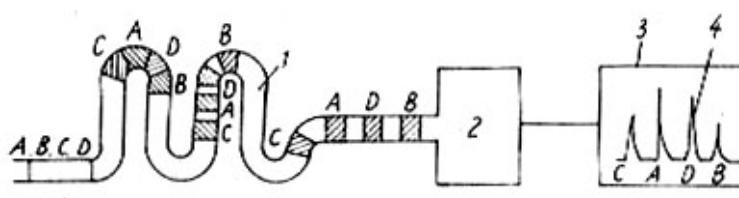
Trong dải 0 - 40% độ ẩm sai số của phương pháp này khoảng $\pm 2\%$.

19.5. Phương pháp sắc ký.

19.5.1. Nguyên lý hoạt động:

Khi phân tích những hợp chất phức tạp người ta thường dùng phương pháp sắc kí.

Phương pháp này thực hiện bằng cách chia hợp chất thành các thành phần riêng rẽ nhờ hiện tượng hút. Hợp chất khí phân tích được chuyển dịch nhờ các khí mang ở dạng khí hoặc hơi qua ống dài nhỏ (cột sắc kí 1) chứa đầy chất hút tập trung không di chuyển (H. 19.11):



Hình 19.11. Sơ đồ khái niệm lý dụng cụ phân tích hợp chất bằng phương pháp sắc kí

Do sự làm chậm có lựa chọn được thực hiện bằng chất hút các thành phần bị hút ít (B, D) đi qua trước, còn những chất hòa tan tốt (C, A) bị giữ lại sau, do đó có sự phân chia hợp chất thành các thành phần khác nhau, những thành phần này được di chuyển qua cột sắc kí thành những vùng riêng rẽ và theo trình tự được dẫn đi bằng khí mang đến chuyển đổi 2, đó là những chuyển đổi nhiệt điện, ion

hoá, phóng xạ và một số loại khác.

Tín hiệu ở đầu ra của chuyển đổi được ghi bằng các dụng cụ tự ghi 3. Đường cong (sắc phô) 4 gồm những đỉnh riêng rẽ, mỗi đỉnh tương ứng với một thành phần nhất định. Mỗi thành phần được đưa ra khỏi cột với thời gian khác nhau, còn nồng độ khối của chúng được xác định theo tỉ số diện tích của mỗi khoảng nhọn với diện tích của tất cả sắc phô.

19.5.2. Phân loại các phương pháp sắc ký phân tích khí:

Một số phương pháp sắc ký phân tích khí khác nhau là:

- **Phương pháp hấp thụ khí:** dùng để phân tích hợp chất chứa khí có nhiệt độ sôi thấp (H_2 , CO , CH_4), chất hút là đá xôp cứng (gạch chịu lửa).

- **Phương pháp khí lỏng:** là phương pháp dùng để phân tích các hợp chất phức tạp gồm các thành phần gần với nhiệt độ sôi. Chất hút là chất lỏng không bay hơi quét lên chất xôp cứng.

- **Phương pháp sắc nhiệt kí:** là phương pháp thực hiện với các nhiệt độ khác nhau của cột sắc kí, nhờ đó tăng tốc độ nhạy và độ chọn lọc.

- **Phương pháp mao dẫn:** là phương pháp tách hợp chất ở cột mao dẫn có chiều dài $20\div300m$, bên trong thành của nó được thâm ướt chất lỏng không bay hơi. Phương pháp này cho phép phân tích nhanh với các thành phần nhỏ của khí.

Trong các sắc kí hiện đại để xác định diện tích của các sắc phô người ta dùng các bộ biến đổi tương tự số để nhận được kết quả đo ở dạng số.

19.6. Phương pháp nhiệt từ và điện dung.

19.6.1. Phương pháp phân tích nhiệt:

Nguyên lý hoạt động: phương pháp phân tích nhiệt là phương pháp đo tính chất nhiệt hoặc xác định sự thay đổi nhiệt độ với sự thay đổi tính chất lý - hoá khác nhau của các chất.

Phương pháp được sử dụng rộng rãi là phương pháp dựa trên sự phụ thuộc vào độ dẫn nhiệt của thành phần trong hợp chất khí và nồng độ của thành phần ấy. Phương pháp này dùng để đo nồng độ H_2 , He , CO_2 , SO_2 , Cl_2 vì các chất trên đó dẫn nhiệt rất khác nhau, ngoài ra còn dùng để đo độ chân không.

Chuyển đổi trong các bộ phận tích phân khí là các nhiệt điện trở Platin được đốt nóng bằng dòng điện.

Sự thay đổi nồng độ của thành phần đo trong hợp chất khí làm thay đổi độ truyền nhiệt và nhiệt độ của nhiệt điện trở do đó điện trở của nó thay đổi.

Hình 19.12 là sơ đồ của thiết bị phân tích khí với mạch cầu tự động:

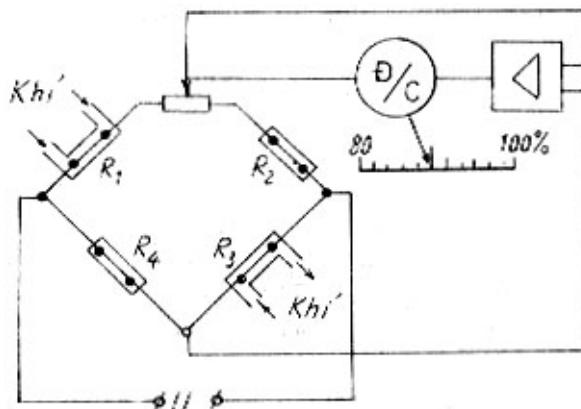
Hai nhiệt điện trở R_1 và R_3 đặt trong hộp có hợp chất khí phân tích đi qua. Hai nhánh còn lại của cầu là hai là hai nhiệt điện trở R_2 và R_4 đặt trong hộp kín chứa hợp chất khí có nồng độ đã biết trước, tương ứng với giá trị đầu ra của thang đo. Cách bố trí như trên cho phép giảm được sai số của dụng cụ.

Đặc điểm và phạm vi ứng dụng: thiết bị phân tích khí theo nhiệt dẫn cho phép đo được ở dải rộng sự thay đổi nồng độ của khí bất kỳ mà nhiệt dẫn của nó khác với nhiệt dẫn của các thành phần khác.

Sai số cơ bản của thiết bị trên khoảng $\pm(1\div5)\%$, quán tính đo $1\div5$ phút.

Nhược điểm là độ chọn lọc yếu.

Độ nhạy của thiết bị có thể tăng khi sử dụng các nhiệt điện trở bán dẫn (Tecmito) và thường được chế tạo thành các chân không kẽ nhiệt điện.



Hình 19.12. Sơ đồ của thiết bị phân tích khí với mạch cầu tự động

Để phân tích các khí đốt (CH_4 , CO, Etylen, hơi xăng...) người ta sử dụng phương pháp nhiệt hoá, đo nhiệt độ của phản ứng cháy. Chất xúc tác để xảy ra phản ứng cháy là các chuyển đổi nhiệt điện trở platin được đốt nóng đến $400\div500^{\circ}C$ bằng dòng điện. Một số thiết bị khác người ta dùng chất xúc tác riêng còn chuyển đổi nhiệt dùng để đo hiệu ứng nhiệt do chất khí cháy.

Một trong những ứng dụng khác của thiết bị trên là đo độ ẩm theo "điểm sương". Phương pháp này thực hiện đo hiệu nhiệt độ của hai nhiệt điện trở : Nhiệt điện trở khô đặt trong môi trường cần đo và nhiệt điện trở ẩm được thâm nước và đặt cân bằng nhiệt động với môi trường đo. Độ ẩm của môi trường này càng giảm thì sự bay hơi trên bề mặt nhiệt điện trở thâm ướt càng mạnh và nhiệt độ của nó càng giảm do trong quá trình bay hơi nhiệt lượng bị lấy đi.

19.6.2. Phương pháp phân tích theo độ từ thâm và độ thâm điện môi:

Là các phương pháp dùng để xác định nồng độ của các thành phần có các thông số khác nhau.

Thiết bị phân tích khí từ dùng để phân tích khí nitơ và ôxi, các chất trên có độ nhạy cảm lớn hơn các chất khí khác.

Các ẩm kế điện dung là các dụng cụ dùng chuyển đổi điện dung để đo độ ẩm của các vật rắn và các chất khí khác nhau.