

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO



GIÁO TRÌNH
KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

LÊ QUỐC HUY

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2010

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.

- **Kỹ thuật đo lường:** ngành kỹ 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 kỹ thuật đo lường gồm:

- | | |
|--------------------|------------------------------------|
| - Đại lượng cần đo | - Kết quả đo. |
| - Điều kiện đo | - Thiết bị đo |
| - Đơn vị đo | - Người quan sát hoặc các thiết bị |
| - Phương pháp đo | 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 đối tượng đo:**

- *Đại lượng đo điện:* đại lượng đo có tính chất điện, tức là có đặc trưng mang bản chất điện, ví dụ: điện 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 $\omega = 2\pi f = 314 \text{ rad/s}$, 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, vôn-mét 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.

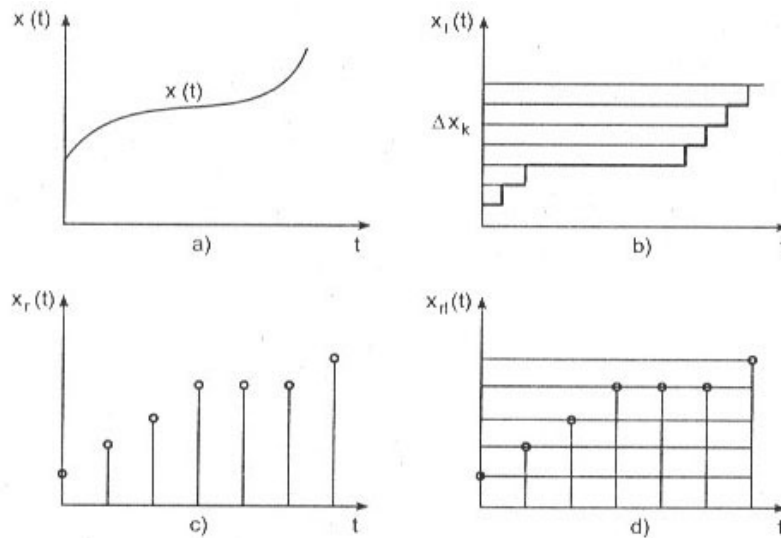
Tương ứng sẽ có dụng cụ đo số, ví dụ: ampe mét chỉ thị số, vôn-mét chỉ thị số...

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(kilôgam), aoxơ(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 kilôgam(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 nến candela(Cd); đơn vị số lượng vật chất là môn(mol).

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	Candêla	Cd

1.2.4. Thiết bị đo và phương pháp đo.

- Thiết bị đo:

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

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:
 - o Phương pháp đo biến đổi thẳng.
 - o 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.

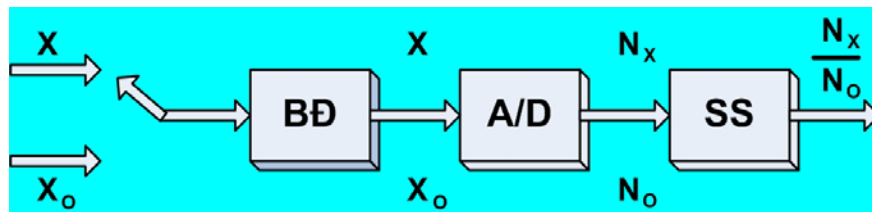
Có thể có nhiều phương pháp đo khác nhau nhưng trong thực tế thường phân thành 2 loại phương pháp đo chính là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo kiểu so sánh.

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.

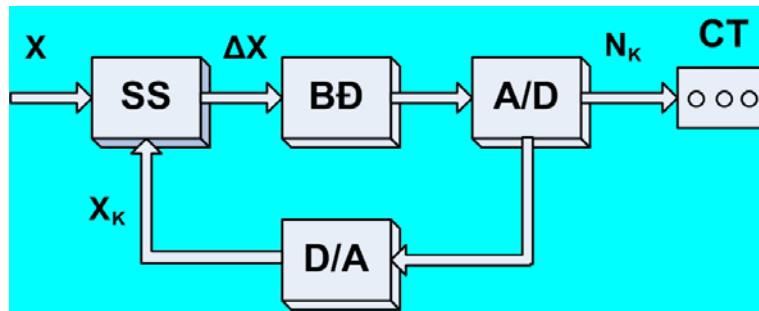
1.3.2. Phương pháp đo kiểu so sánh.

- **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 đại lượng đo X và đại lượng tỉ lệ 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:* đại lượng cần đo X và đại lượng tỉ lệ 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:* đại lượng tỉ lệ với mẫu X_K là không đổi và biết trước, qua bộ so sánh có được $\Delta X = X - X_K$, đo ΔX sẽ có được đại lượng đo $X = \Delta X + X_K$ 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 đại lượng 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 đại lượng đo X và đại lượng tỉ lệ 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 đại lượng mẫu X_K thích hợp sao cho cũng gây ra cùng 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 vônmet, amperemét 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.

Từ 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 để 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 tra 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:

Phân 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 đo 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 nhờ 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	- Sai số tuyệt đối. - Sai số tương đối.	- Sai số phương pháp. - Sai số thiết bị. - Sai số chủ quan. - Sai số bên ngoài.	- 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: $\varepsilon =$

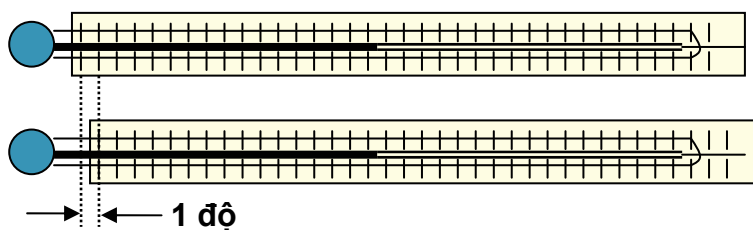
$$\left| \frac{X_{th}}{\Delta X} \right| = \frac{1}{\gamma_X}$$

- **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, ổn 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:

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

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 kỹ 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 qui luật và sai số ngẫu nhiên Δ -thay đổi một cách ngẫu nhiên không có qui 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 qui 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 Gauss-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 đo 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%.

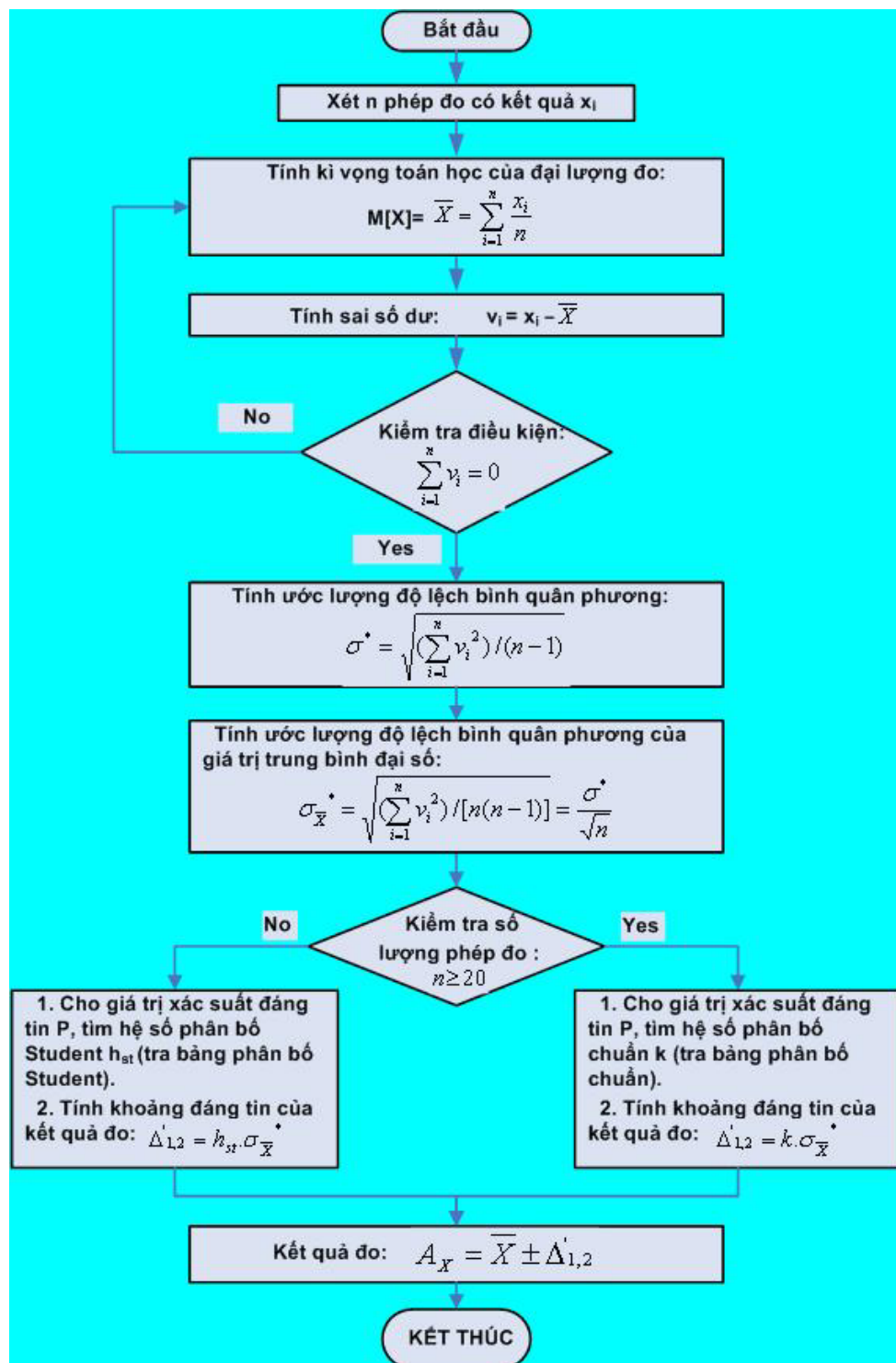
4. Xử lý kết quả đo: những kết quả đo nào có sai số dư v_i nằm ngoài khoảng $[\Delta_1, \Delta_2]$ sẽ bị loại.**2.4.1. Tìm khoảng giá trị của kết quả đo với xác suất tin cậy P%.**

- **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.

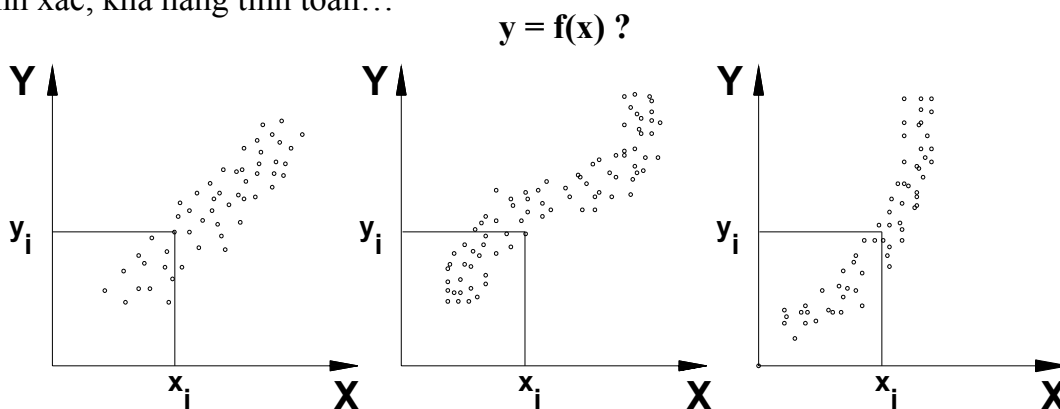
Trong kỹ thuật đo lường thường phải thực hiện những thực nghiệm xác định đường cong qua hệ giữa hai đại lượng X và Y , hay nói cách khác là phải tìm biểu thức giải tích về mối quan hệ giữa chúng. Quá trình này còn gọi là quá trình hồi qui.

- **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 nghiệm cho mối quan hệ giữa X và Y.

Dựa trên biểu thức thực nghiệm 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...



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

- **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).

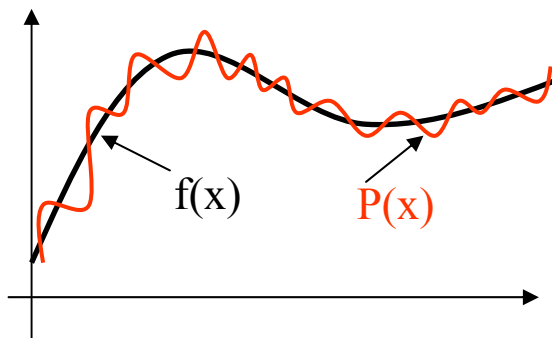
- **Xây dựng phương trình và biểu thức thực nghiệm từ kết quả đo:** có các phương pháp thường dùng gồm:

- 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:

1. 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):

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m.$$

2. 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 $f(x)$:

$$S = \sum_{k=1}^n [f(x_k) - P(x_k)]^2 = \sum_{k=1}^n [f(x_k) - (a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m)]^2 = \min$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_0} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial S}{\partial a_m} = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} : \text{ là hệ phương trình đại số tuyến tính với } (m+1) \text{ ẩn } (a_0 \text{ đến } a_m) \\ \text{ và } (m+1) \text{ phương trình, giải ra ta có giá trị của } a_0, a_1, \dots, a_m \\ \text{ từ đó suy ra } P(x). \end{array}$$

- **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 đối số mới là một hàm của đối 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, Excel...

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

Bài tập:

1. Tính toán sai số tuyệt đối, sai số tương đối, cấp chính xác.
2. Gia công kết quả đo (chú ý công cụ Excel, 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, yến, tạ, sào, mẫu...).
- Hệ phi tổ chức (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	Candêla	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 Krypton 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 Xêsi (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:**

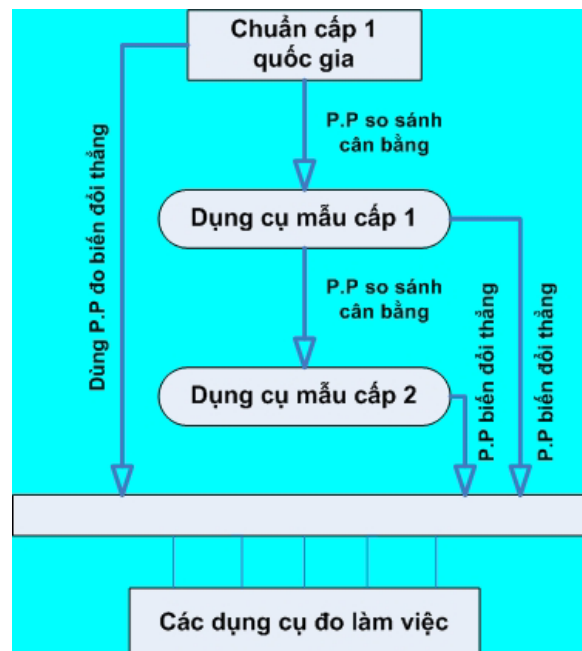
- *Từ chuẩn cấp 1 quốc gia truyền đến mẫu cấp 1 rồi đến mẫu cấp 2:* sử dụng phương pháp đo chính xác là phương pháp so sánh cân bằng, kết quả được mẫu có độ chính xác theo yêu cầu.
- *Từ chuẩn cấp 1 quốc gia đến các dụng cụ đo:* sử dụng phương pháp đo biến đổi thẳng từ chuẩn quốc gia hoặc từ thiết bị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

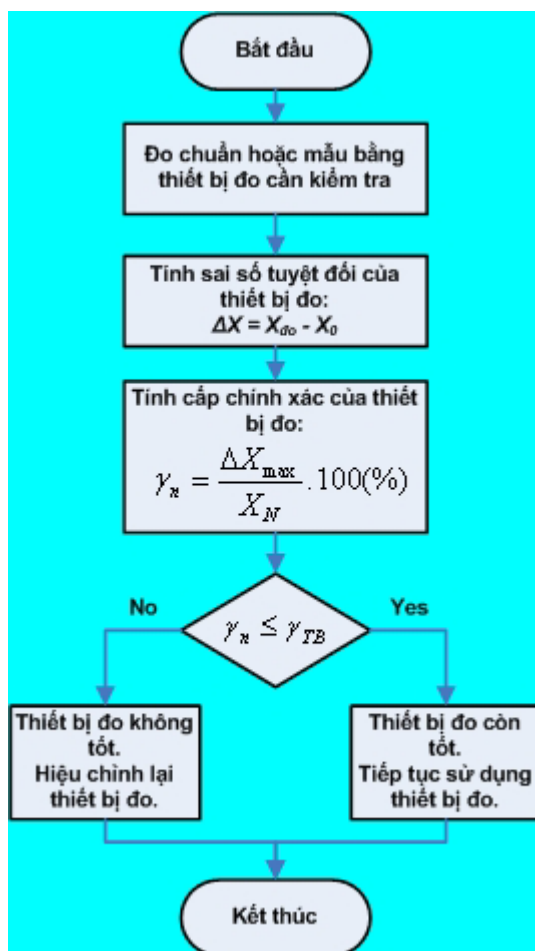
- **Kiểm tra thiết bị đo:** là quá trình xác định sai số của thiết bị đo và hiệu chỉnh chúng để đảm bảo độ chính xác khi đưa vào sử dụng.

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

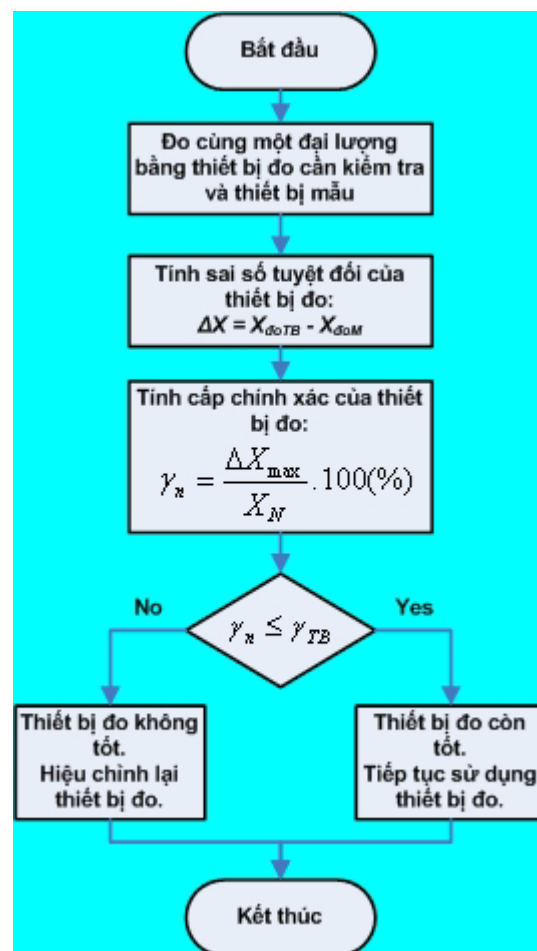
- So sánh với giá trị của chuẩn hay mẫu: đo chuẩn hay mẫu bằng thiết bị đo được kiểm tra, tính cấp chính xác của dụng cụ đo γ_n và so sánh với cấp chính xác ghi trên dụng cụ đo γ_{TB} từ đó suy ra thiết bị đo còn sử dụng được hay phải hiệu chỉnh. Quá trình kiểm tra như lưu đồ hình 3.2.
- Sử dụng dụng 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 đo 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 4.

SƠ ĐỒ CẤU TRÚC CỦA THIẾT BỊ ĐO (2 TIẾT)

4.1. Các sơ đồ chung.

Dụng cụ đo lường đặc biệt là dụng cụ đo lường điện ngày nay rất đa dạng tùy theo mục đích, phạm vi sử dụng và yêu cầu cụ thể của các ứng dụng khác nhau. Có nhiều loại dụng cụ đo được phân loại theo nhiều cách khác nhau: dụng cụ đo kiểu biến đổi thẳng, kiểu biến đổi bù; dụng cụ đo kiểu đánh giá trực tiếp, kiểu so sánh; dụng cụ đo tương tự, chỉ thị số... Các loại dụng cụ này mặc dù đa dạng nhưng có những đặc tính cơ bản và cấu trúc chung thống nhất.

4.1.1. Sơ đồ cấu trúc chung của dụng cụ đo.

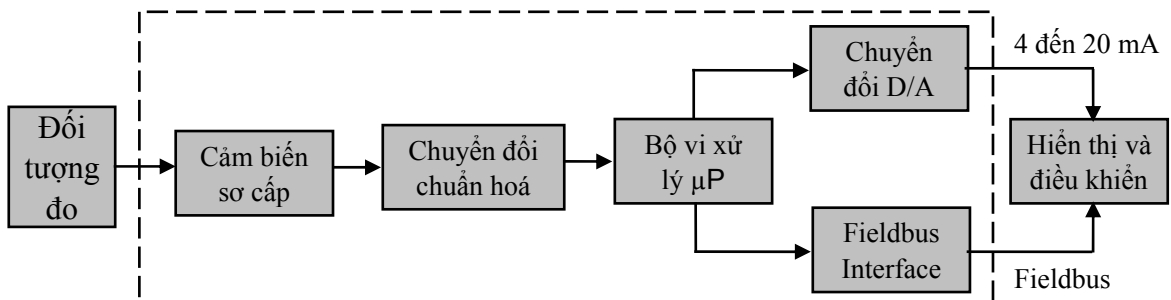
Mỗi dụng cụ đo cơ bản có 3 bộ phận chính là:

- Chuyển đổi sơ cấp (CĐSC).
- Mạch đo (MĐ).
- Cơ cấu chỉ thị (CCCT).



Hình 4.1. Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo.

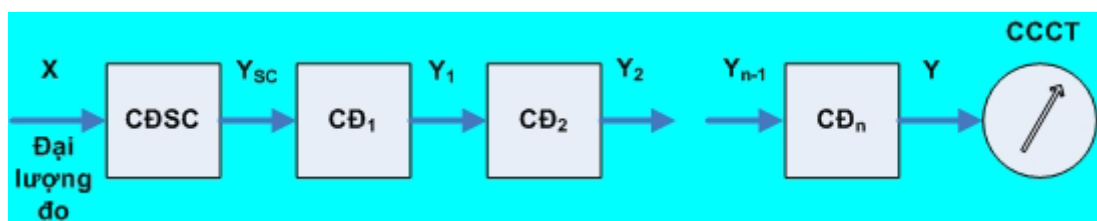
Cấu trúc chung của một cảm biến thông minh (Smart Sensor):



Cấu trúc của cảm biến thông minh

4.1.2. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng.

Đối với dụng cụ đo biến đổi thẳng việc biến đổi thông tin chỉ diễn ra theo một hướng thẳng duy nhất, nghĩa là không có khâu phản hồi.



Hình 4.2. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng.

Đại lượng đo X nối tiếp qua các khâu chuyển đổi: chuyển đổi sơ cấp CĐSC,

CD₁, CD₂... được chuyển thành đại lượng Y tiện cho việc quan sát, ghi lại hay nhớ để truyền cho cho cầu chỉ thị CCCT thực hiện chức năng chỉ thị kết quả hoặc truyền đi xa.

Các khâu CD₁, CD₂, ..., CD_n làm nhiệm vụ xử lý thông tin đo để đưa về dạng dễ chỉ thị, thường là các khâu: phân áp đầu vào, mạch khuếch đại, biến đổi tương tự-số AD...

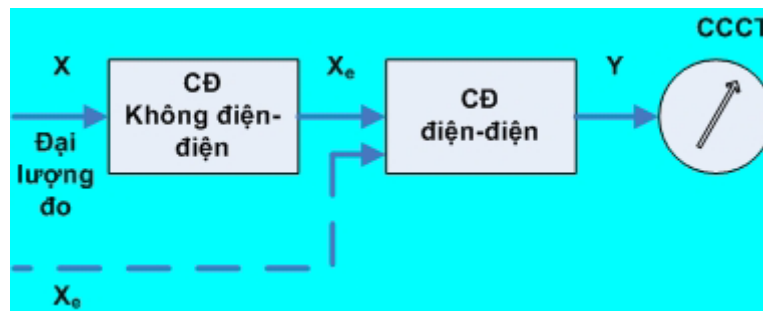
- **Đặc điểm chung của dụng cụ đo biến đổi thẳng:**

- Cấu trúc đơn giản, tin cậy.
- Giá thành rẻ.
- Vận hành, bảo trì, bảo dưỡng đơn giản và chi phí thấp.
- Không đòi hỏi tay nghề cao.
- Độ chính xác thấp (thường có cấp chính xác cỡ 1 ÷ 2,5).

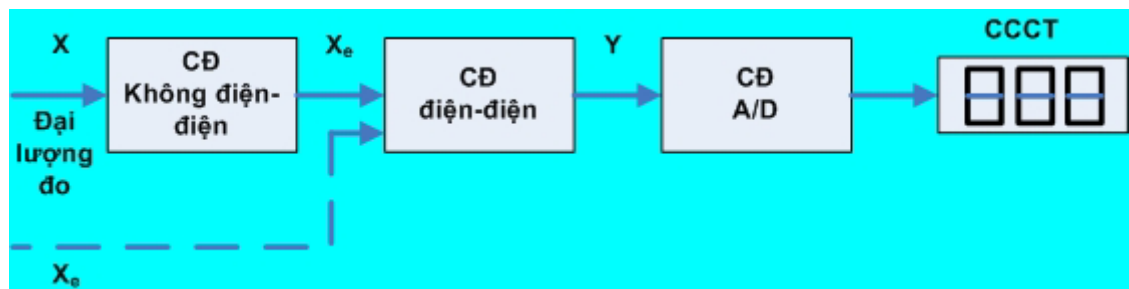
Ví dụ:

- Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo tương tự theo kiểu biến đổi thẳng: hình 4.3.

- Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo số theo kiểu biến đổi thẳng: hình 4.4.



Hình 4.3. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo tương tự theo kiểu biến đổi thẳng.



Hình 4.4. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo số theo kiểu biến đổi thẳng.

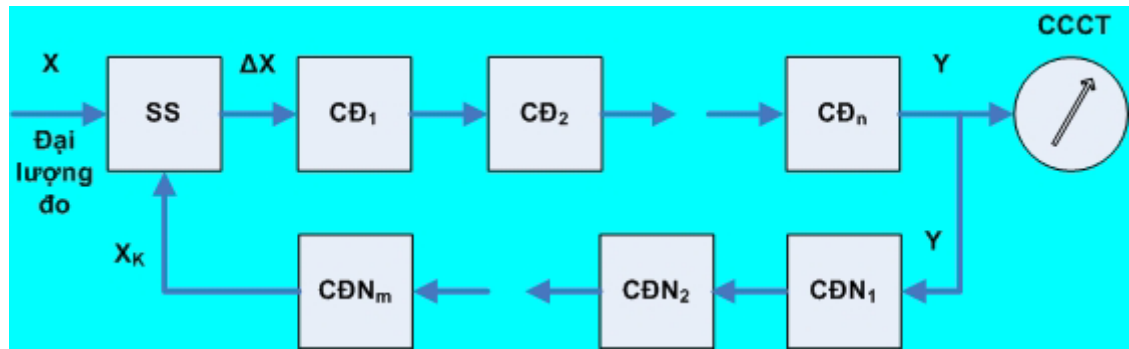
4.1.3. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh.

Dụng cụ đo kiểu so sánh sử dụng khâu phản hồi với các chuyển đổi ngược (CDN) để tạo ra tín hiệu X_k so sánh với tín hiệu cần đo X. Mạch đo là một vòng khép kín.

- Sau bộ so sánh có $\Delta X = X - X_k$, đo ΔX hoặc đo các tín hiệu sau các chuyển đổi thuận Y có thể xác định được X. Theo phương pháp so sánh có thể có 4 loại tương ứng là so sánh cân bằng, không cân bằng; so sánh đồng thời, không đồng thời.

- **Đặc điểm của dụng cụ đo kiểu so sánh:**

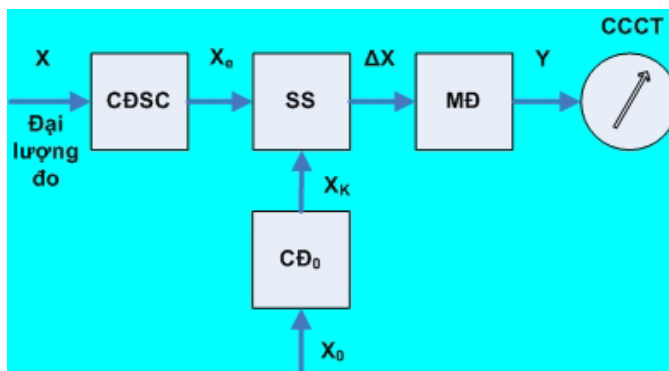
- Có cấu trúc phức tạp hơn so với dụng cụ đo biến đổi thẳng.
- Hiện nay thường dùng vì xử lý bên trong.
- Độ chính xác cao và giá thành đắt.



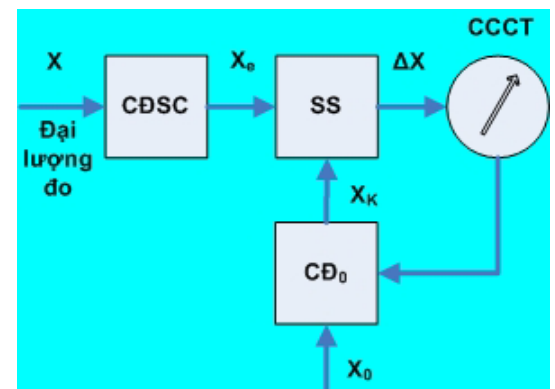
Hình 4.5. Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh.

Ví dụ:

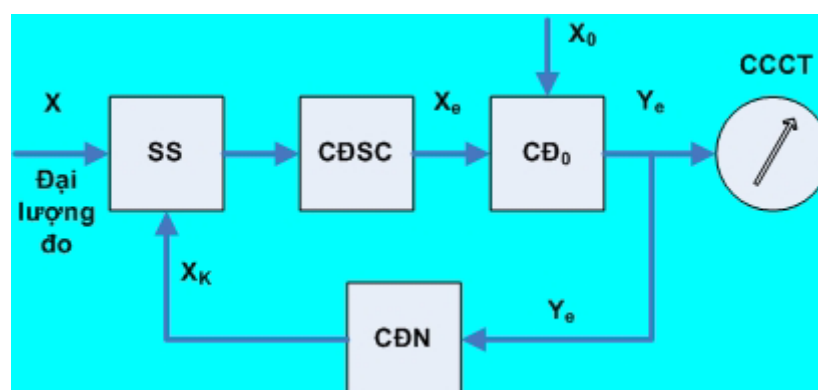
- Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh không cân bằng: hình 4.6.
- Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh cân bằng: hình 4.7.
- Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh để đo các đại lượng không điện: hình 4.8.



Hình 4.6. Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh không cân bằng.



Hình 4.7. Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh cân bằng.



Hình 4.8. Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh để đo các đại lượng không điện.

4.2. Các khâu chức năng của thiết bị đo.

- **Chuyển đổi sơ cấp (CĐSC):** thực hiện chức năng biến đổi các đại lượng đo thành tín hiệu điện. Là khâu quan trọng nhất của một thiết bị đo, quyết định độ chính xác cũng như độ nhạy của dụng cụ đo. Có nhiều loại chuyển đổi sơ cấp khác nhau tùy thuộc đại lượng đo và đại lượng đầu ra của chuyển đổi.

- **Mạch đo (MĐ):** thực hiện chức năng thu thập, gia công thông tin đo sau các chuyển đổi sơ cấp; thực hiện các thao tác tính toán trên sơ đồ mạch. Tùy thuộc dụng cụ đo là kiểu biến đổi thẳng hay kiểu so sánh mà mạch đo có cấu trúc khác nhau.

Các đặc tính cơ bản của mạch đo gồm: độ nhạy, độ chính xác, đặc tính động, công suất tiêu thụ, phạm vi làm việc.. được xét cụ thể cho mỗi loại mạch đo để có thiết kế phù hợp cũng như sử dụng có hiệu quả.

Mạch đo thường sử dụng kỹ thuật vi điện tử và vi xử lý để nâng cao các đặc tính kỹ thuật của dụng cụ đo.

- **Cơ cấu chỉ thị (CCCT):** là khâu cuối cùng của dụng cụ đo, thực hiện chức năng thể hiện kết quả đo lường dưới dạng con số so với đơn vị sau khi qua mạch đo.

Các kiểu chỉ thị thường gặp gồm: chỉ thị bằng kim chỉ, chỉ thị bằng thiết bị tự ghi (ghi lại các tín hiệu thay đổi theo thời gian), chỉ thị dưới dạng con số (đọc trực tiếp hoặc tự động ghi lại)...

Việc phân chia các bộ phận như trên là theo chức năng, không nhất thiết phải theo cấu trúc vật lý, trong thực tế các khâu có thể gắn với nhau (một phần tử vật lý thực hiện nhiều chức năng), có sự liên hệ chặt chẽ với nhau bằng các mạch phản hồi...

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 hỗ.

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 hỗ (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 hỗ (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 cực.

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 cố 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})

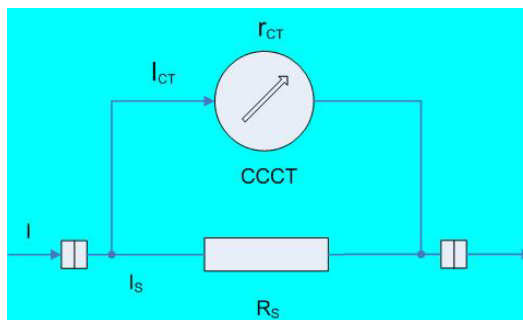
6.3. Mạch tỷ lệ.

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

6.3.1. Mạch tỷ 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:

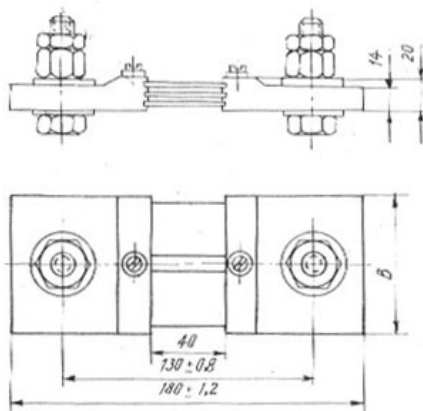
- 2 đầu dòng: để đưa dòng I_S vào.
- 2 đầu áp: lấy điện áp ra để đưa vào cơ cấu chỉ thị.

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

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

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.

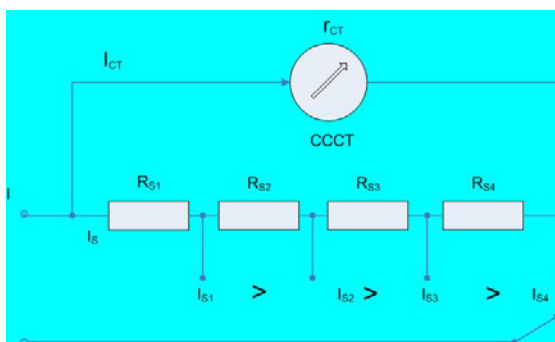
Để điều chỉnh điện trở sun có thể xẻ rãnh khác nhau.



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 ampe mét một chiều. Trong mạch xoay chiều chỉ dùng sun khi tải là thuần 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;

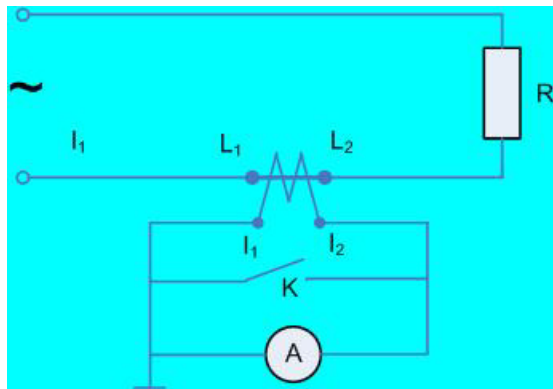
W_1, W_2 : số vòng dây quấn của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

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 của 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 vôn đến vài kilôvôn rất nguy hiểm cho người sử dụng, làm cháy biến dòng, đánh thủng cách điện. Vì vậy cuộn thứ cấp phải nối đất để đề 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 ampe mét

Trong hướng dẫn sử dụng của biến dòng thường ghi rõ giá trị điện trở tới 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 thuần 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÷35 kV.

Dòng sơ cấp định mức từ 0,1÷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.

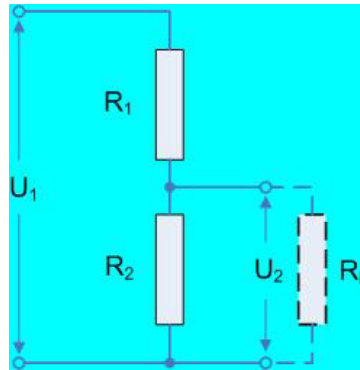
6.3.1. Mạch tỉ lệ về áp:

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:

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

- Khi có tải R_L ta có:

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

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:

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

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

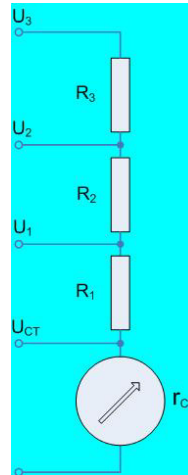
Nếu một vônmet có nhiều thang đo thì cách tính các điện trở phụ như sau:

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

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

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

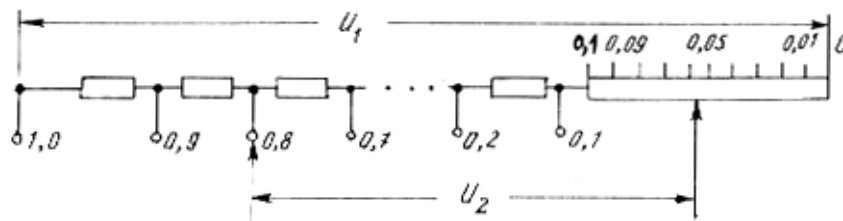
Với 3 phương trình 3 ẩn số, giải ra tìm được các giá trị R_1 , R_2 , R_3 .



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%).

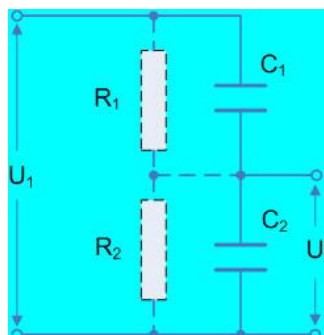
Các phân áp có cấp chính xác cao (0,05÷0,1): được chế tạo theo kiểu nhảy cấp hoặc bố trí thành từng cấp thập phân (hình 6.7), thường làm bằng dây điện trở maganin có hệ số nhiệt điện trở thấp. Điện áp vào U_1 cố định, điện áp ra biến thiên từ $0,0001U_1$ đến $0,9999U_1$.



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 ghép 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:

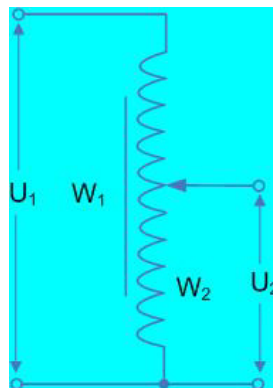
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_1}{C_2} \Leftrightarrow R_1 C_1 = R_2 C_2$$

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

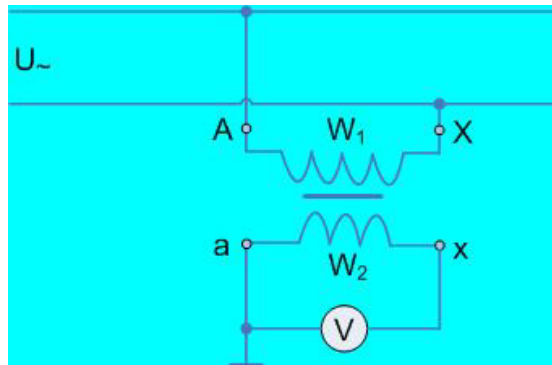
nhau cả bằng điện và từ (biến áp tự ngẫu) hoặc chỉ liên hệ với nhau về từ.

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 tín tức, mạch khuếch đại cũng được xem như một mạch tỉ lệ, nghĩa là:

$$X_r = K \cdot X_v$$

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 lặp 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.

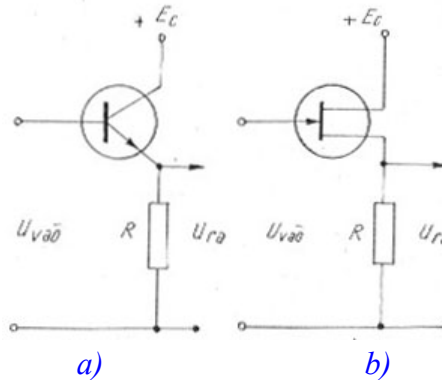
- Phối hợp tải giữa các tầng với nhau (impedance matching).

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.



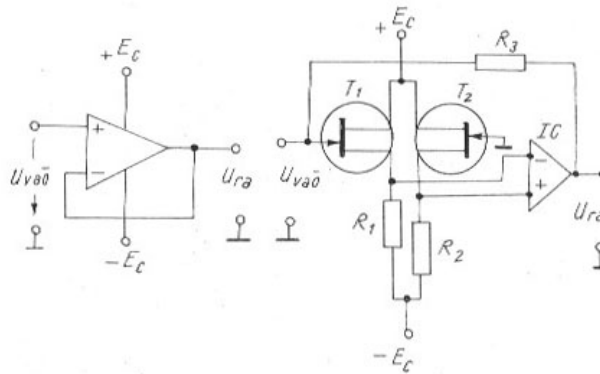
Hình 6.11a,b: Mạch lặp lại:

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.



c)

d)

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:

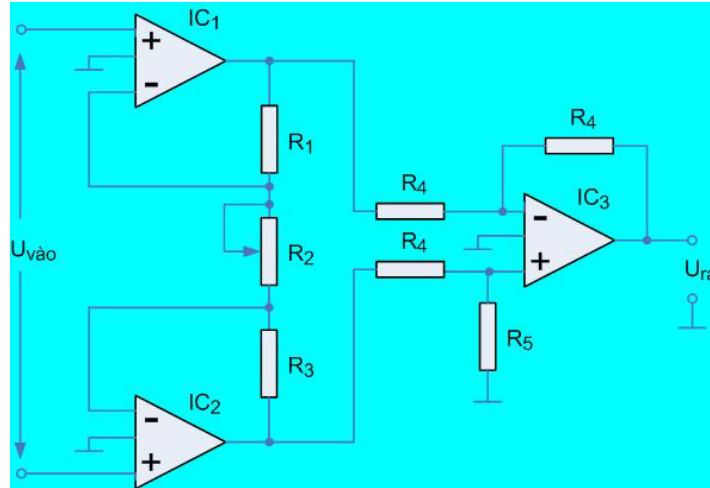
$$K_1 = 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2} : \text{có thể thay đổi bằng cách thay đổi } R_2$$

- **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:

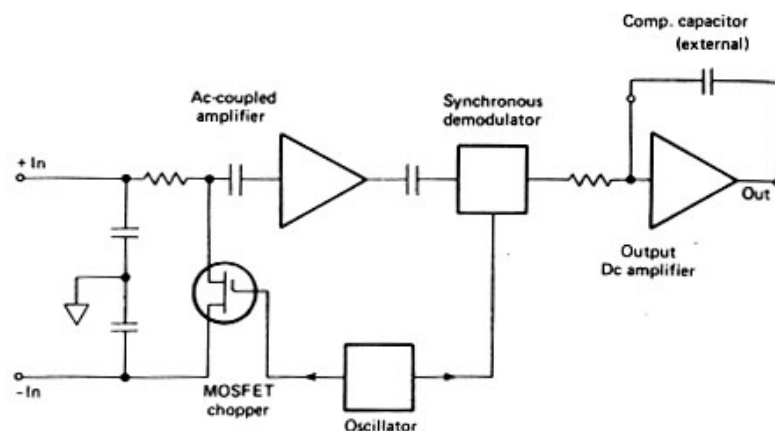
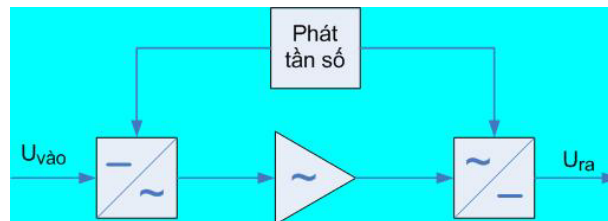
$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{R_5}{R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2}\right)$$



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.

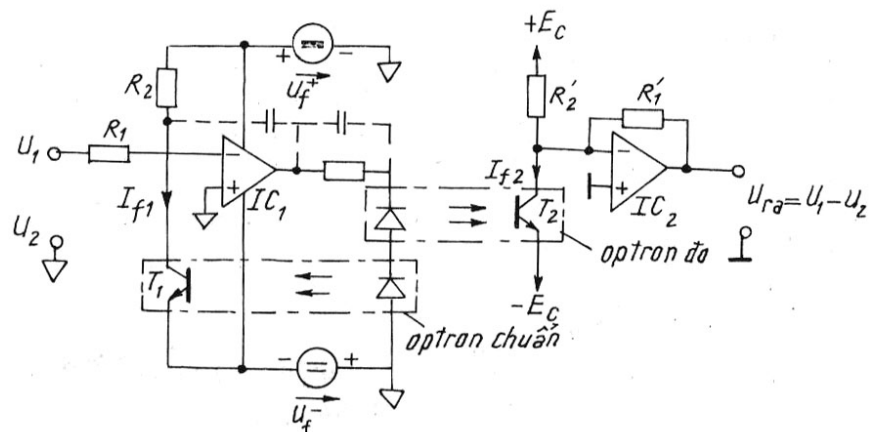
Để thực hiện một thiết bị như vậy yêu cầu đảm bảo phần cho phần có nguồn dòng riêng được cách ly so với đất.

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 KĐTT IC_1 sao cho dòng quang của ôptrôn chuẩn T_1 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 bố 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.

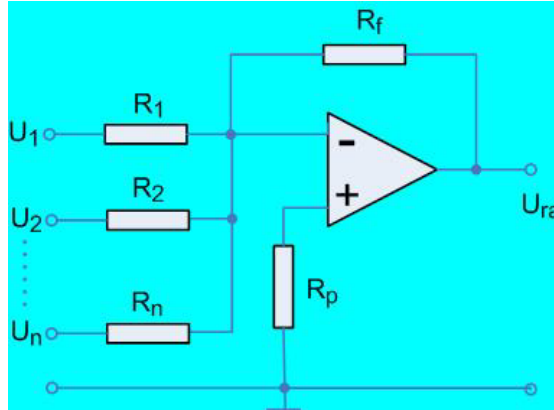
Ví dụ: các loại KĐ cách ly 3650, 3456 (hãng Burr-Brown); 275 (hãng Analog Devices)...

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 dấu:



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

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

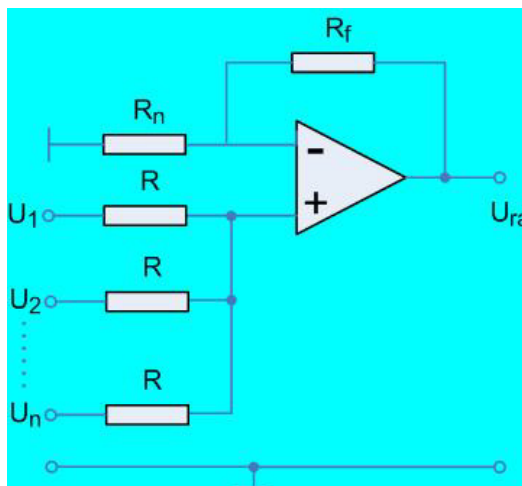
$$U_{ra} = -\frac{R_f}{R_1}U_1 - \frac{R_f}{R_2}U_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}U_n = \sum_{i=1}^n -\frac{R_f}{R_i}U_i$$

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

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

Ưu điểm của mạch cộng đảo dấu 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 dấu:



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

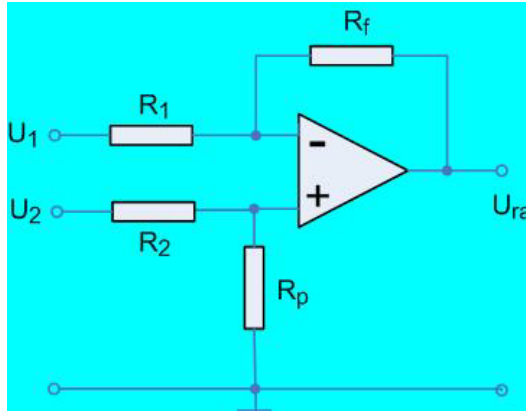
Tín hiệu ra U_{ra} tỉ lệ với tổng đại số của các tín hiệu vào:

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

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

Nhược điểm của mạch cộng không đảo đầu 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 trừ:



Hình 6.17. Mạch trừ sử dụng KĐTT

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

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

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

Trường hợp đặc biệt khi $\alpha_p = \alpha_N = 1$, 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 $P = U \cdot I \cdot \cos\phi$ 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 wátmet đo công suất.
- Chuyển đổi Hôn (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 lôgarit và nhân bằng phương pháp điều khiển độ dẫn của tranzito.

a) Bộ nhân sử dụng nguyên lý lấy lôgarit và đối lôgarit:

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

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

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:

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

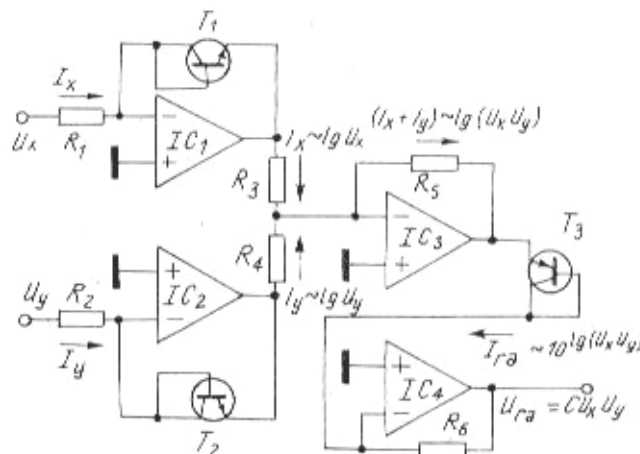
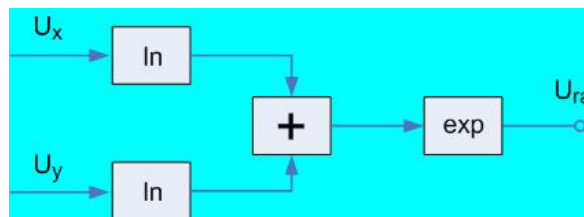
chọn $\alpha = .U_T \Rightarrow U_{ra3} = \ln\left[\left(\frac{U_x}{I_{ES}.R_1}\right)\left(\frac{U_y}{I_{ES}.R_2}\right)\right]$

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

$$U_{ra} = \exp(U_{ra3}) = \exp\left\{\ln\left[\left(\frac{U_x}{I_{ES}.R_1}\right)\left(\frac{U_y}{I_{ES}.R_2}\right)\right]\right\}$$

$$= C.U_x.U_y$$

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 đối lôgarit sử dụng KĐTT.

Ưu điểm của mạch nhân sử dụng mạch lôgarit 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 dẫn của tranzito: sử dụng phương pháp thay đổi hệ số khuếch đại của KĐ vi sai dùng hai tranzito.

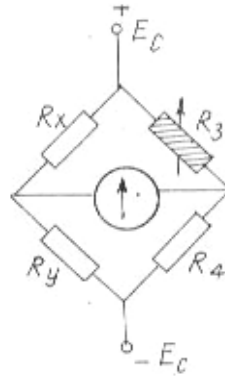
6.5.4. Mạch chia:

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 các phương pháp: lôgômét, mạch cầu, mạch chia điện tử...

a) Mạch chia bằng cơ cấu 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 :

$$\alpha = f(R_3)$$

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

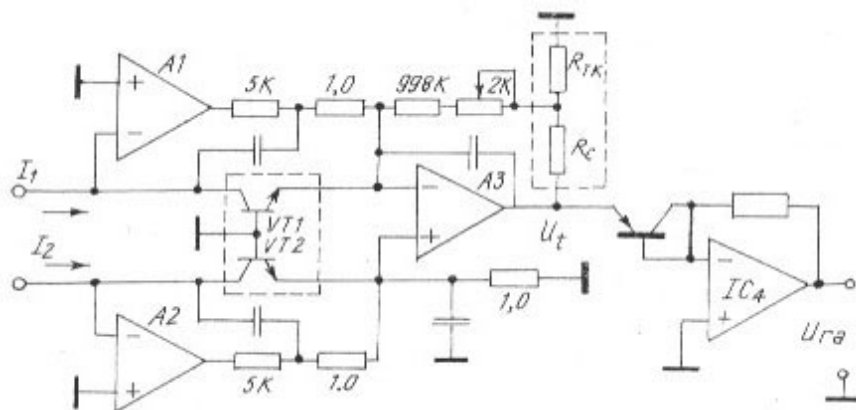
c) Bộ chia điện tử: giống bộ nhân điện tử, sử dụng hai bộ khuếch đại lôgarit (IC_1, T_1) và (IC_2, T_2), sau đó tín hiệu được đưa vào mạch trừ bằng IC_3 . Sau bộ trừ có:

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

Tín hiệu này sau khi qua bộ 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.



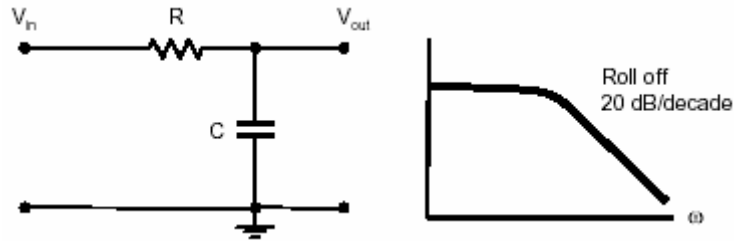
Hình 6.20. Mạch chia điện tử

6.5.5. Mạch tích phân (Integrator):

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

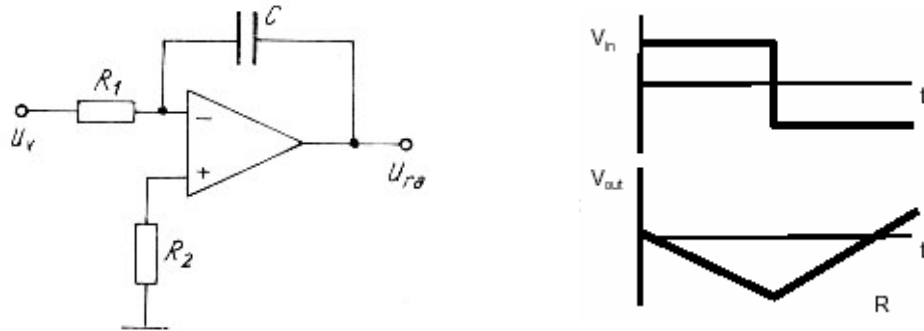
các tín hiệu rời rạc (discrete) thành tín hiệu liên tục (analog) để đưa tín hiệu vào dụng cụ đo tương tự hay trong mạch đo tần số...

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 :

$$u_N = u_P = 0 \Rightarrow i_1 + i_c = 0 \Leftrightarrow \frac{u_1}{R} + C \frac{du_r}{dt} = 0$$

$$\Leftrightarrow u_r = -\frac{1}{RC} \int u_1(t).dt = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^T u_1 dt + u_r(t=0)$$

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 ngắt 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:

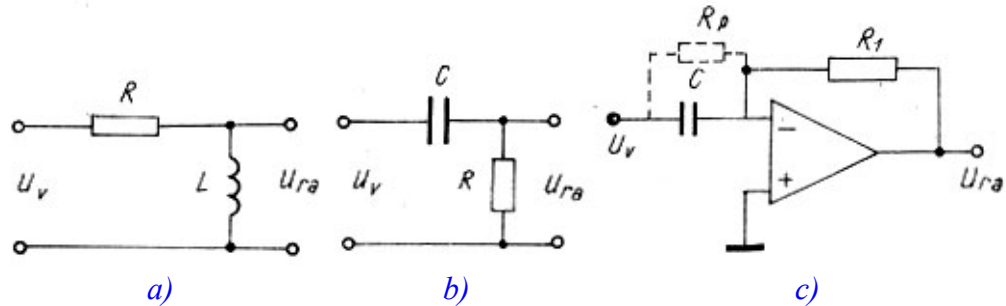
Phương trình điện áp ra là:

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

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:

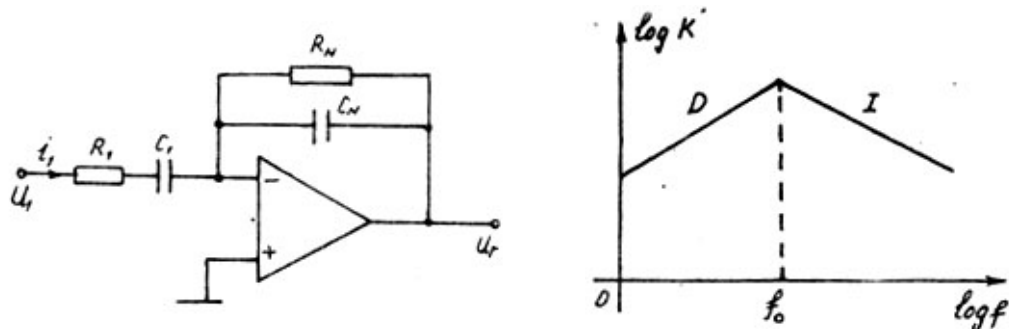
$$u_r = -R_1 C \frac{du_v}{dt}$$

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 kế.

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:

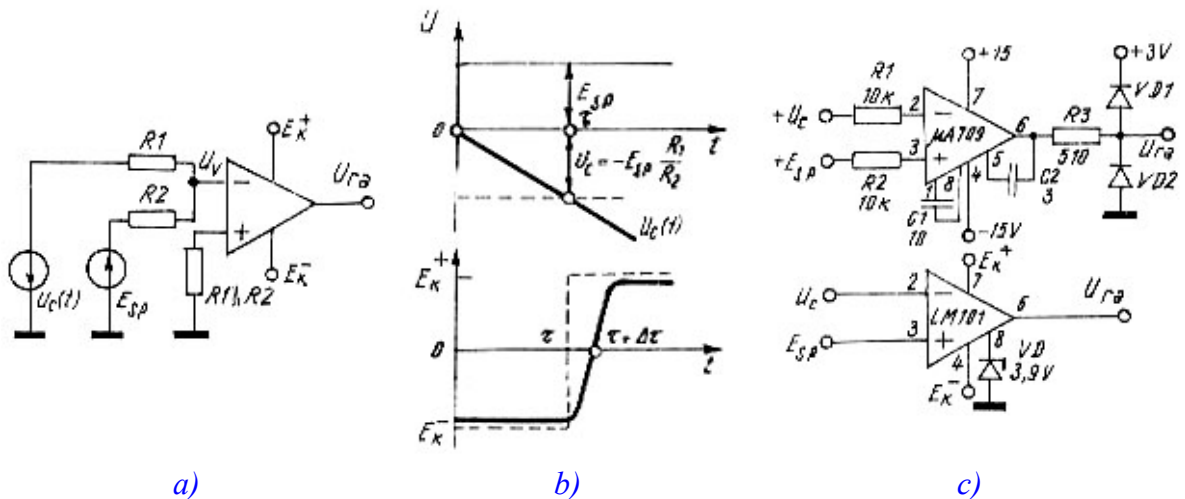
Bộ so sánh này được sử dụng để so sánh hai điện áp vào khác dấu, KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc:

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

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

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

điện 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 cso 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 $E_{đp}$ của KĐTT đã chọn.

Xét mạch so sánh sử dụng KĐTT $\mu A709$ như hình 6.25a: KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc:

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

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

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

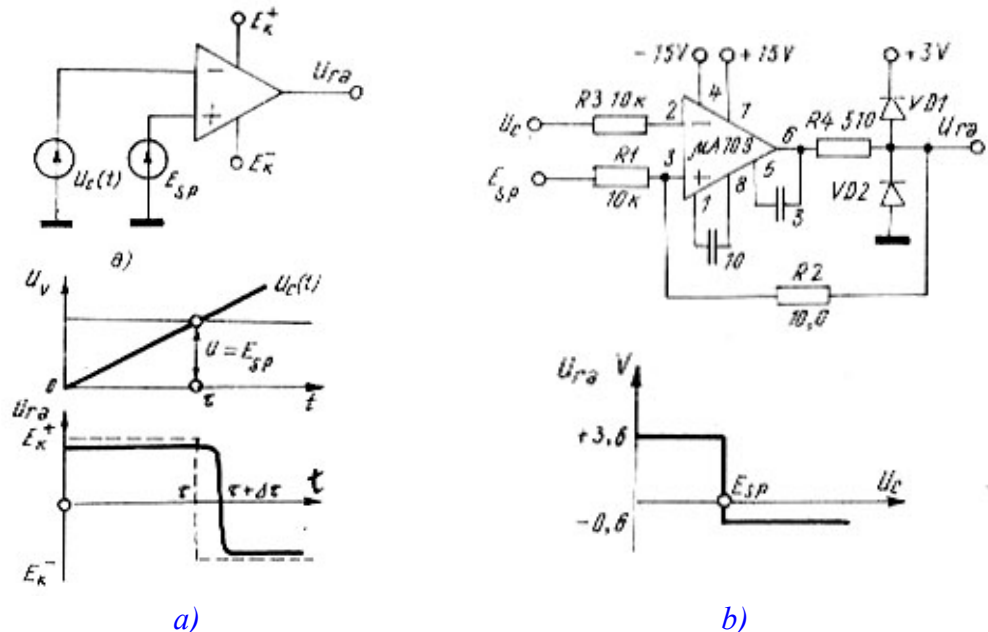
với $\Delta u = E_{sp} - u_c(t)$.

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 $0,5\mu s$, thời gian trễ của tín hiệu ra cỡ 3-5 μs .

Biên độ điện áp ra được giới hạn bởi mạch hạn chế gồm diốt VD_1 (hạn chế trên) và VD_2 (hạn chế dưới), điện áp ra có thể đưa thẳng vào đầu của các IC số.

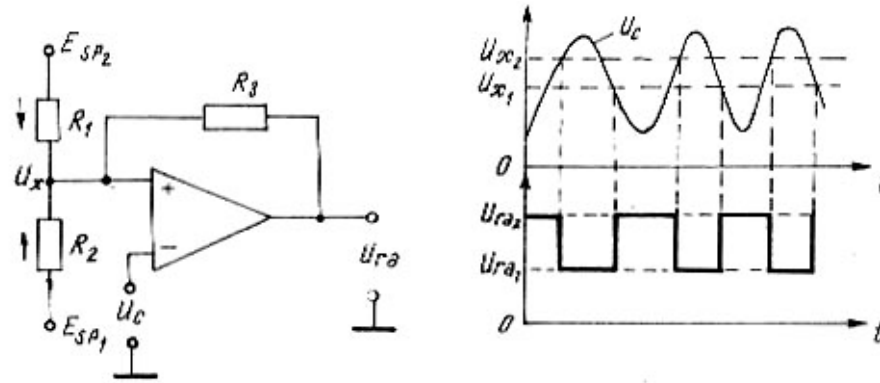


Hình 6.25. Bộ so sánh hai đầu vào và quá trình xảy ra ở bộ so sánh

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 đó 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 :

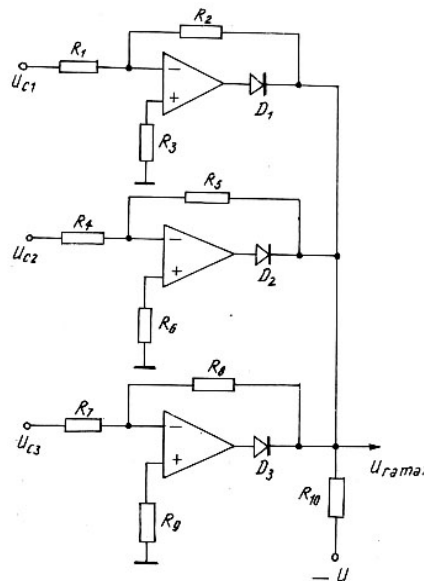
- Khi $u_c > U_{x2}$: $u_{ra} = U_{ra1}$, giữ nguyên khi u_c giảm.
- Khi $u_c = U_{x1}$ đầu ra thay đổi trạng thái: $u_{ra} = U_{ra2}$

Mạch hoạt động như một mạch Trigơ 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 điốt đều thông và ở đầu ra chỉ $u_{ra\ max}$ của các điện áp đầu vào, lúc này chỉ có điốt tương ứng với $u_{c\ max}$ là thông còn các điốt khác sẽ bị khóa.

6.6.5. Mạch cầu đo:

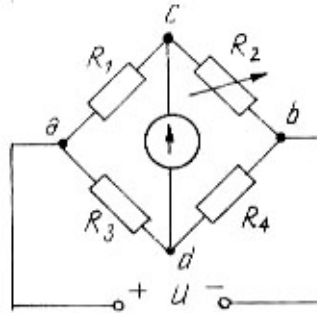
Mạch cầu được xem như là một mạch so sánh điện trở, tuy nhiên thực chất là biến thành sự so sánh hai điện thế.

Cấu tạo của mạch như hình 6.28:

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

$$R_1.R_4 = R_2.R_3$$

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:

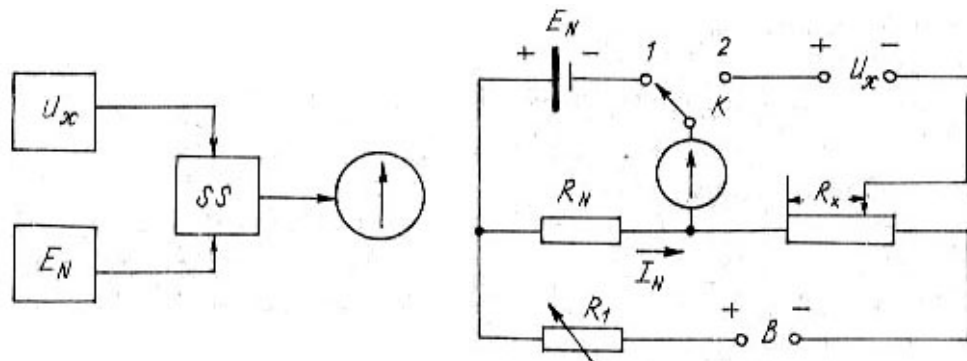
$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

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:

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

là các đại lượng 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: $U_x = 10^n R_x$

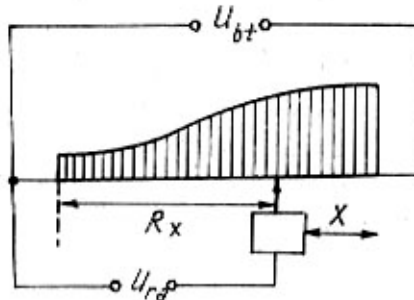
Đây là phép đo điện áp chính xác vì kết quả đo phụ thuộc vào độ chính xác của pin mẫu E_N và của các điện trở mẫu R_x, R_N . Độ chính xác của phép đo còn phụ thuộc vào độ nhạy của điện kế chỉ 0, thường phải chọn điện kế từ điện đủ nhạy (trong khoảng từ 10^{-6} - 10^{-9} A/vạch).

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 tính 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 diện được chế tạo theo hàm số mong muốn:



Hình 6.30a. Mạch tạo hàm bằng biến trở

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

$$l = k_1 X$$

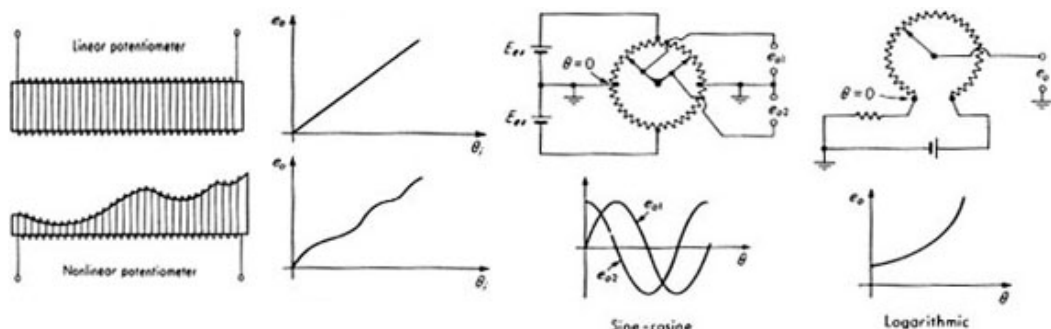
Lỗi của biến trở có hình dạng theo hàm số yêu cầu.

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 CĐSC 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.

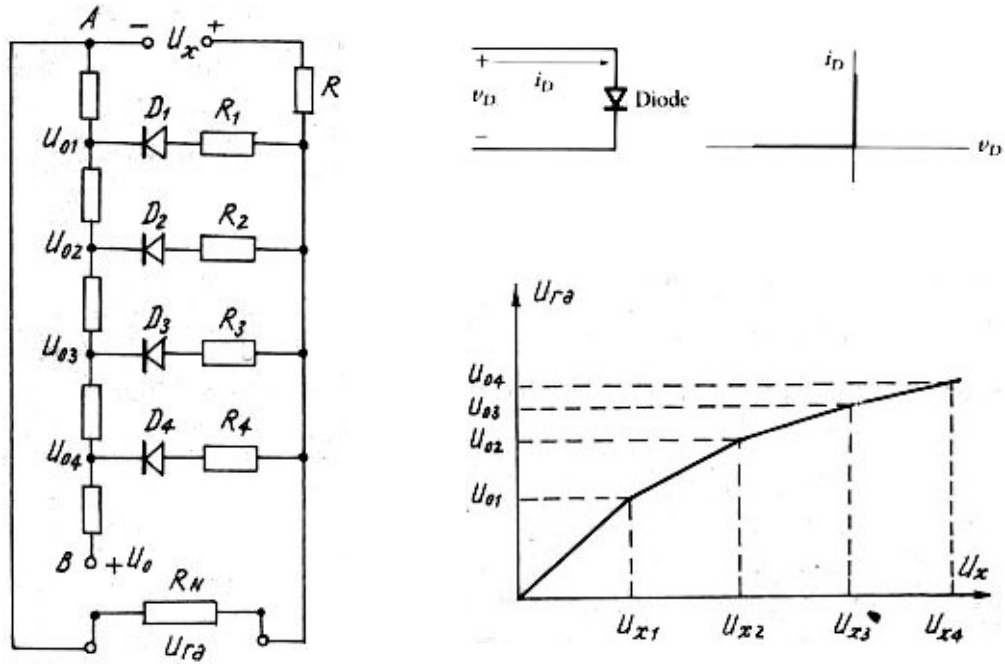


Hình 6.30b. Một số mạch tạo hàm bằng biến trở thông dụng

6.7.2. Mạch tạo hàm bằng điốt 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 điốt bán dẫn.

Điện áp vào là \$U_x\$. Nhờ bộ phân áp AB trên dây đặt điện áp nền \$U_0\$, ở các catốt của điốt 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 điốt 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}\$:** điốt \$D_1\$ mở còn các điốt 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 điốt \$D_1, D_2\$ đều mở, dòng trong mạch chính tăng lên, điện áp rơi trên tải gồm những đoạn thẳng có góc \$\alpha\$ 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.

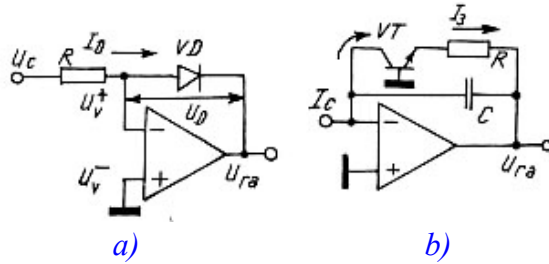
6.7.3. Mạch tạo hàm lôgarit:

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:

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

$$U_{ra} = -U_D = -N \cdot \lg \frac{U_c}{R \cdot I_S}$$

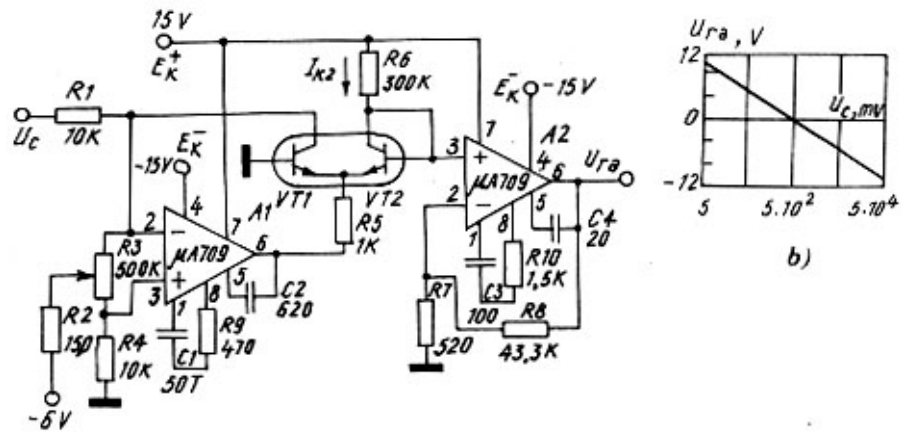
$$= -N \cdot \lg U_c + N \cdot \lg(R \cdot I_S)$$

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 tranzito có chung cực phát (emiter) VT_1, VT_2 mắc với 2 KĐTT loại $\mu A709$ 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 góc-phát xuất hiện nếu VT_1, VT_2 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 $0,3\%/1^{\circ}\text{C}$, khoảng nhiệt độ làm việc $0-50^{\circ}\text{C}$.

6.8. Mạch đo sử dụng vi xử lý (μP - 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.

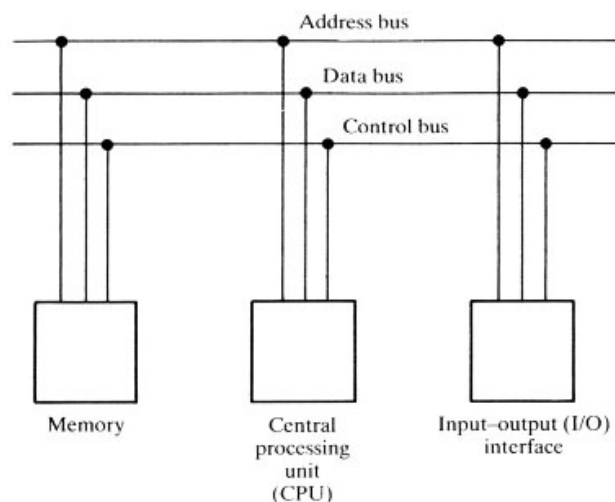
Trong kỹ thuật đo lường ngày nay μP đang được sử dụng rộng rãi kết hợp với các thiết bị ngoại vi và các thiết bị ghép nối.

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 lý và thể hiện kết quả đo...

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

6.8.2. Cấu trúc của bộ vi xử lý:

Có rất nhiều loại μP 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).

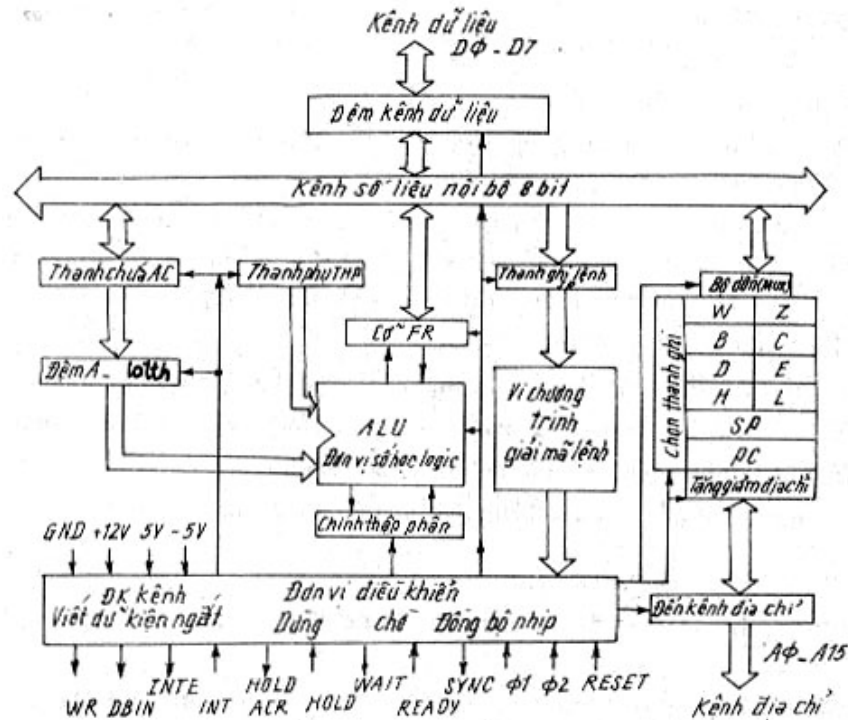
Bộ vi xử lý 8 bit của hãng INTEL - μP 8088: dưới đây xét sơ đồ cấu trúc của bộ vi xử lý rất nổi tiếng và thông dụng nhất hiện nay đó là bộ vi xử lý 8 bit của hãng INTEL - μP 8088 như hình 6.34b:

Cấu trúc của μP gồm 4 bộ phận chính:

- Đơn vị số học và logic (ALU): thực hiện các phép tính số học, các phép logic 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 μP .

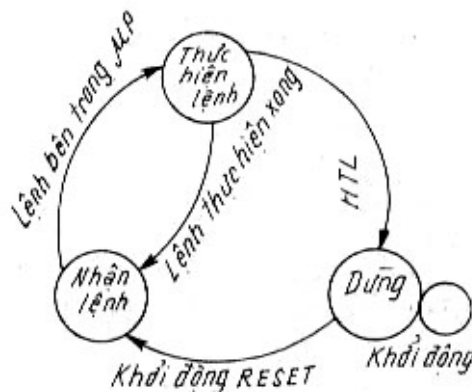
- *Bộ vi chương trình*: ghi tất cả các tập lệnh của hệ điều hành nhỏ của μP .
- *Bộ điều khiển (CU)*: điều khiển việc lựa chọn các lệnh từ bộ nhớ và thực hiện chúng; thực hiện việc vào/ra kênh dữ liệu và kênh địa chỉ.



Hình 6.34b. Cấu trúc của bộ vi xử lý $\mu P8088$.

6.8.3. Hoạt động của μP :

Quá trình hoạt động của μP 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 abung 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.

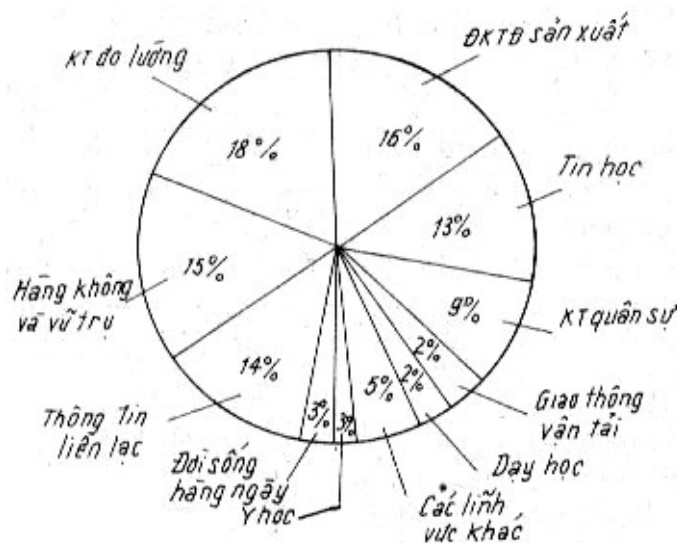
Trong quá trình thực hiện vi lệnh, μP phải sử dụng đến các thanh ghi, đơn vị xử lý số học ALU...tùy theo chỉ dẫn các phép tính hay các vi lệnh đã được chỉ định tương ứng với từng lệnh.

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 của kỹ thuật vi xử lý là kỹ thuật đo lường và điều khiển tự động.

Trong kỹ 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.

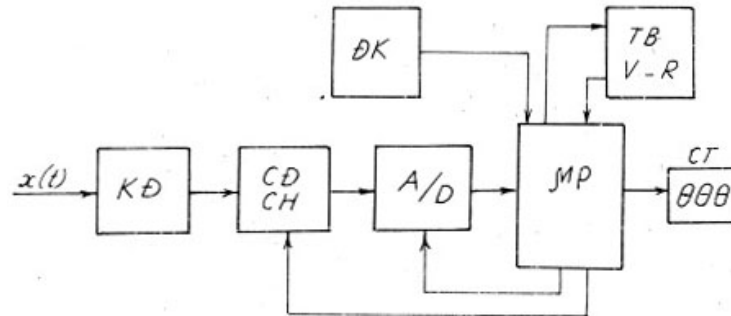
Các mạch vi xử lý thường được sử dụng trong các vôn-mét số, các dụng cụ tự ghi, các máy phát tín hiệu, các dao động ký điện tử, các máy vẽ đồ thị, các dụng cụ đo vận năng tự động, các dụng cụ đo trong y tế...

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 kỹ thuật
- Hệ thống đo lường từ xa
- Các vôn-mét 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.

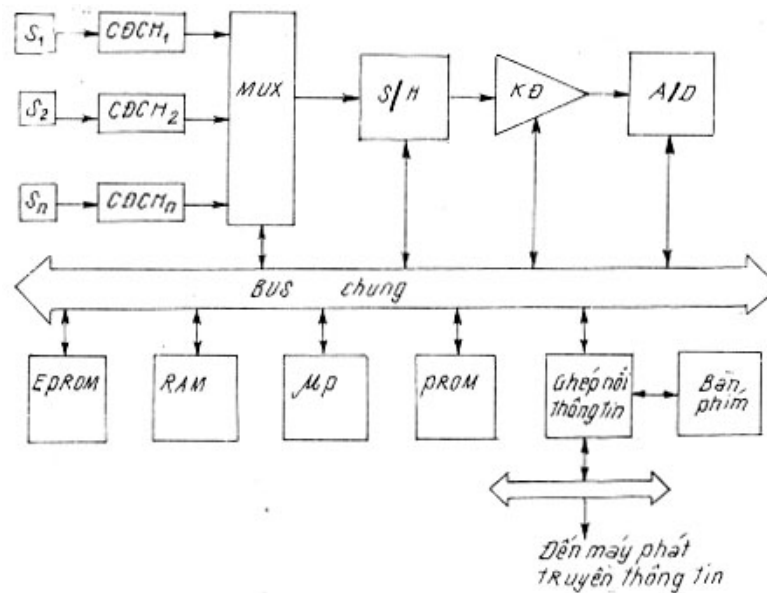
Trong các dụng cụ sử dụng μP thì mọi công việc thu nhận, gia công xử lý và cho ra kết quả đo đều do μP đảm nhận theo một thuật toán đã định sẵn.



Hình 6.37. Sơ đồ khối 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 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 không.
- 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 hồ 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 magnetômet - 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 móc vòng

Φ - từ thông

W - số vòng dây của cuộn dây móc vòng vào từ thông

$$\Phi = B \cdot S \quad (15.2)$$

trong đó: B - từ cảm ứng

S - diện tích mà từ cảm xuyên 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:

- 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	- Từ thông kế chuyển đổi Hall - Đo từ trường bằng cảm biến điều chế (dò 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 móc vòng vào một cuộn dây đo lường. Biến thiên từ thông móc vòng cảm ứng ra sức điện động:

$$e = \frac{d\psi}{dt} \Rightarrow d\psi = e dt$$

lấy tích phân $d\psi$ ta được:

$$\psi = [\psi]_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} e dt \Rightarrow \psi_2 - \psi_1 = \Delta\psi = \int_{t_1}^{t_2} e dt$$

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:

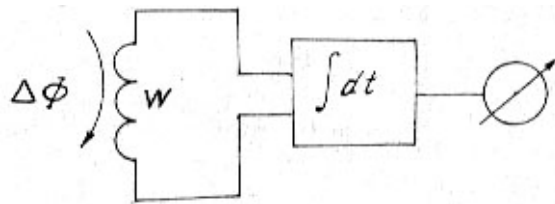
$$\Delta\psi = 2\psi_{do}$$

- 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 dộ.

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 dộ: $P = \frac{1}{B \cdot S \cdot W}$

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:

$$\frac{R}{(B.S.W)^2} \cdot d\alpha = e dt$$

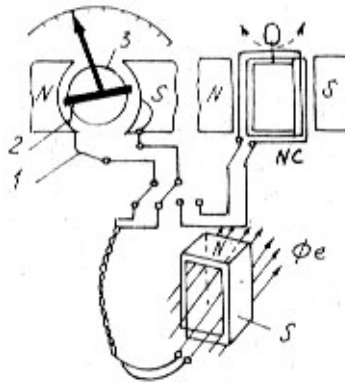
Lấy tích phân hai vế:

$$\begin{aligned} \frac{R}{(B.S.W)^2} \cdot [\alpha]_{\alpha_1}^{\alpha_2} &= \int_{t_1}^{t_2} e dt = [\psi]_{t_1}^{t_2} \\ \Rightarrow \alpha_1 - \alpha_2 &= \frac{(B.S.W)^2}{R} [\psi_2 - \psi_1] \\ \Leftrightarrow \Delta \psi &= RC_\Phi (\alpha_2 - \alpha_1) \end{aligned}$$

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:

$$J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{P \cdot d\alpha}{dt} + D \cdot \alpha = B.S.W \cdot I$$

tích phân 2 vế ta có:

$$J \cdot \frac{d\alpha}{dt} + P \cdot \alpha = B.S.W \cdot q$$

Với $v = \frac{d\alpha}{dt}$ có:

$$J \cdot v + P \cdot \alpha = B.S.W \cdot q$$

Tại thời điểm $v = 0$ ta coi $\alpha = \alpha_{\max}$, phương trình trên trở thành:

$$P \cdot \alpha_{\max} = B.S.W \cdot q \Rightarrow \alpha_{\max} = \frac{B.S.W \cdot q}{P}$$

mặt khác hệ số cản dộ 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: $q = \Delta\psi / R$

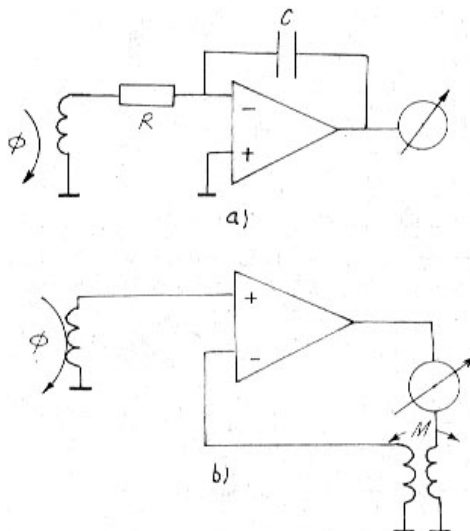
như vậy: $\alpha_{\max} = \frac{(B.S.W)^2 \Delta\psi}{R} \Rightarrow \Delta\psi = R.C_b . \alpha_{\max}$

với: C_b : hằng số xung kích của điện kế

R : tổng điện trở trong mạch đo

15.2.5. Từ thông kế theo phương pháp khuếch đại tích phân:

Cấu tạo: khuếch đại tích phân có thể thực hiện trên khuếch đại thuật toán hay một khuếch đại có hệ số khuếch đại lớn, phản hồi bằng mạch RC hay bằng cuộn dây hồ cảm. Sơ đồ của từ thông kế bằng khuếch đại tích phân cho ở hình 15.3:



Hình 15.3. Sơ đồ của từ thông kế bằng khuếch đại tích phân

Nguyên lý hoạt động: trong sơ đồ hình 15.3a ta có :

$$U_{ra} = \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} e dt = \frac{1}{RC} \Delta\psi \quad \text{và:} \quad \Delta\psi = (U_2 - U_1) RC$$

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 hồ cảm M_{12}
Sức điện động đầu vào $e_v = d\psi / dt$ được cân bằng với sức điện động hồ cảm $e_k = M_{12} . dI / dt$, suy ra:

$$\frac{d\psi}{dt} = M_{12} \frac{dI}{dt}$$

lấy tích phân hai vế ta có:

$$\begin{aligned} [\psi]_{t_1}^{t_2} &= M_{12} [I]_{t_1}^{t_2} \\ \Delta\psi &= \psi_2 - \psi_1 = M_{12} . [I_2 - I_1] \end{aligned}$$

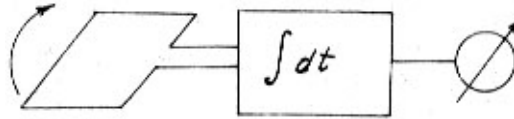
Ví dụ: trong micrôwêbemet $\Phi 190$ người ta sử dụng một khuếch đại điện kế có ngưỡng nhạy thấp, ít nhiễu. Thang đo đạt được 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 micrôWêber, sai số 1,5%.

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 móc 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:

$$U_{ra} = k \int e dt = k \int \psi_m \omega \cos \omega t \cdot dt$$

$$\Leftrightarrow U_{ra} = k \psi_m \sin \omega t$$

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:

$$B_k = \mu \frac{W}{l} I_{ra}$$

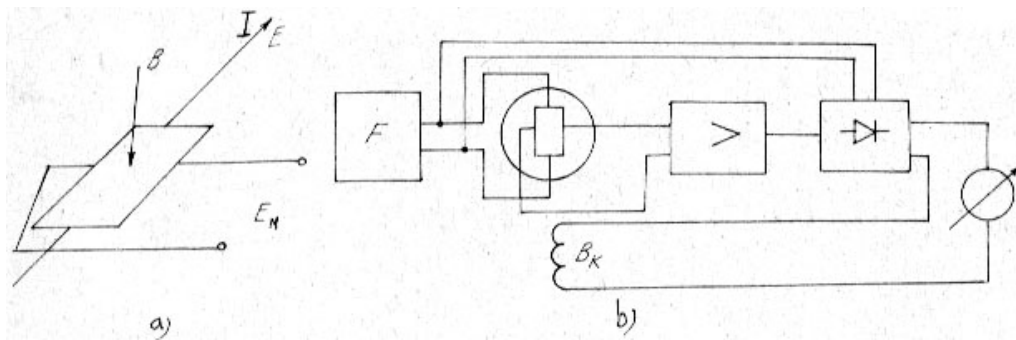
Với hệ số khuếch đại của mạch rất cao ta có:

$$B = B_k = \mu \frac{W}{l} I_{ra}$$

do 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 zêrô; 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 : suất 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 dọc theo hai lõi thép.

Dò từ loại này có độ nhạy thấp nên phải có khuếch đại và tách sóng có điều khiển ở tần số $f_2 = 2f_1$,

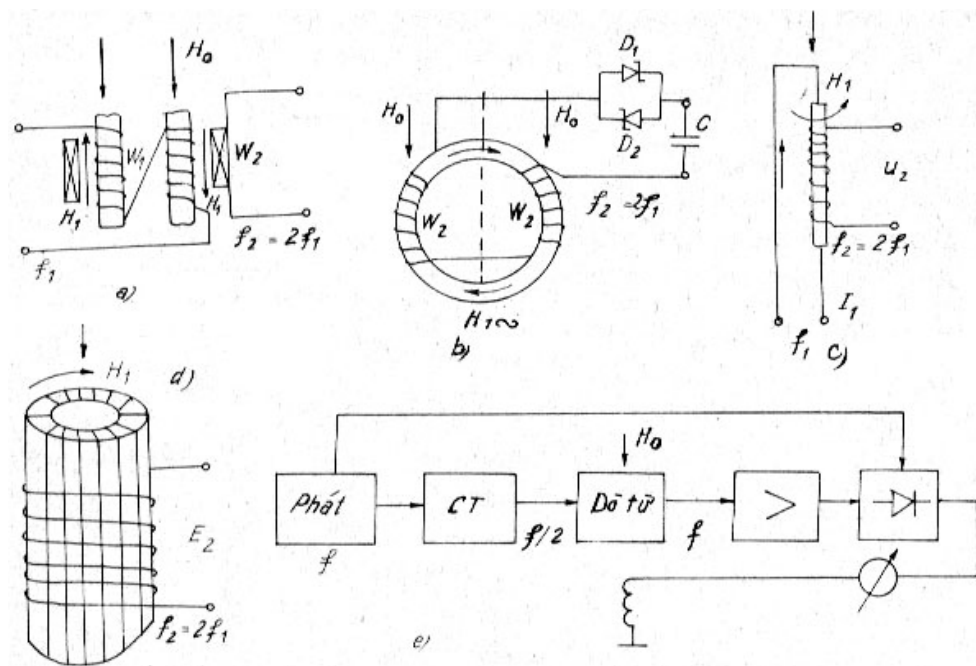
Trong hình 15.6b: dò từ được tạo nên bằng một hình xuyên chia làm hai phần đối xứng. Cuộn dây kích từ W_1 được bố trí rải đều trên trên mạch từ. Cuộn dây thứ cấp W_2 chia làm hai phân đoạn bố trí đối xứng nhau qua một đường kính (trục đo của từ trường H) và nối xung đối nhau.

Sơ đồ của thiết bị đo cường độ từ trường bằng dò từ xuyên 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 điốt 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 hình xuyên 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 $f_1 = 5 \div 10 \text{ kHz}$ 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 chế (dò từ):

- a) Cấu tạo của cảm biến dò từ lõi thẳng
- b) Cấu tạo của cảm biến dò từ hình xuyên
- c) Cấu tạo của cảm biến dò từ kích từ dọc
- d) Cấu tạo của cảm biến dò từ hình ống
- e) Sơ đồ khối nguyên lý dụng cụ đo từ trường bằng dò từ

Sơ đồ khối nguyên 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 $2f_1$ được khuếch đại chọn lọc sau đó tách sóng có điều khiển ở tần số $2f_1$ và đưa ra chỉ thị.

Thiết bị này thường dùng để đo từ trường quả 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 :

$$H_H = 0,719 \frac{I.W}{R}$$

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 kế 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 hydro (H_2) thì có thể đo từ trường đến 0,5T; nếu dùng Li^7 thì đo từ 0,5÷1,0T còn dùng nước nặng D thì có thể đo từ 1,0T trở đi.

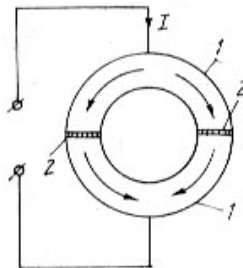
15.2.9. Đo từ trường bằng hiệu ứng siêu dẫn:

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:

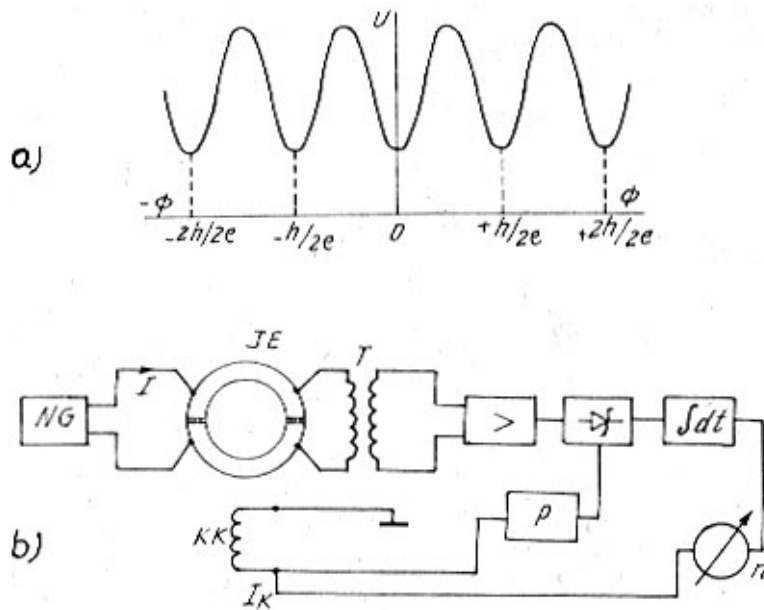
$$I = 2I_m \cos \pi \left[\frac{\Phi}{\Phi_0} \right]$$

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 xuyên, 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 phân tử Jozepson:

a) Sự thay đổi điện áp lúc từ thông vượt giá trị lượng tử

b) Sơ đồ khối từ thông kế sử dụng phân 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 phân 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 lũy trong vật liệu.

Đối với vật liệu sắt từ mềm: người ta quan tâm đến đường cong từ hoá 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 tổn hao sắt từ trên một đơn vị trọng lượng.

Tuy nhiên nhìn vào mối 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

thể 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 xuyên hay hình khép kín:

Đối với mẫu xuyên có thể thực hiện bằng hai cách:

- Lõi làm bằng dải lá mỏng quấn thành hình xuyên.
- Lõi dập bằng lá mỏng.

Cuộn dây kích từ W_1 được phân bố dải đều trên vòng xuyên và từ trường kích thích được tính toán thông qua dòng kích từ I:

$$H = \frac{I.W_1}{2\pi.R_{tb}}$$

trong đó: W_1 : số vòng cuộn dây kích từ

$2\pi R_{tb}$: chiều dài trung bình của xuyên: $R_{tb} = \frac{R_{ng} + R_{tr}}{2}$

R_{ng} : bán kính ngoài của xuyên

R_{tr} : bán kính trong của hình xuyên.

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 xuyên 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 hoá vật liệu. Từ thẩm kế phải được chế tạo đảm bảo tạo ra một miền có cường độ từ trường đều và mạnh.

Từ thẩm kế có thể là một cuộn dây Xêlênôit 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 Xêlênôit. Với lõi này cường độ từ trường có thể tính:

$$H = \frac{I.W}{l}$$

với: I : dòng điện chạy trong Xêlênôit.

W : số vòng của Xêlênôit

l : chiều dài của cuộn dây.

Trong trường hợp Xêlênôit 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.

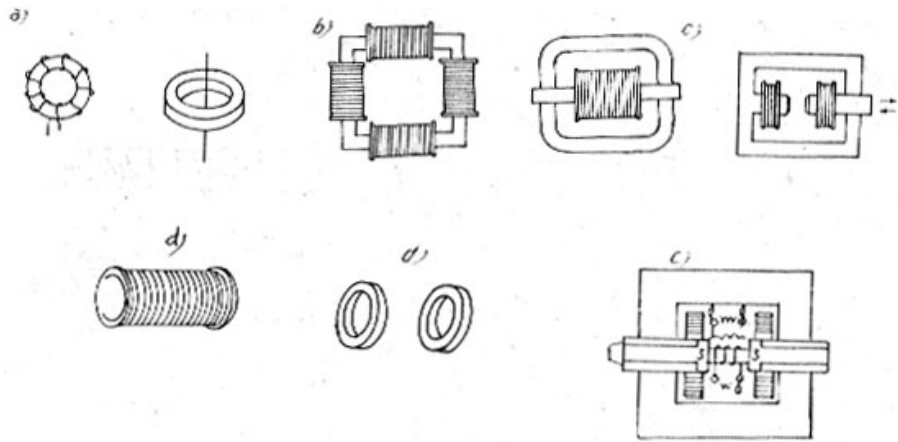
Cấu tạo của từ thẩm kế như hình vẽ 15.10: gồm một mạch từ rất mạnh gồm hai nửa hình II. Để có thể thay đổi được khoảng cách miền từ trường mạnh và đều, lõi thép hình II kẹp chặt vào phần mạch từ hình T và I. Nhờ kết cấu như vậy lõi được giữ chặt không bị dịch chuyển trong quá trình đo.

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 thẩm kế. Khi đảo dòng điện

trong từ thẩm kế thì $\Delta\psi$ trong hai cuộn dây đo B và H gây ra một góc quay α của từ thông kế.

$$B = \frac{C_{\Phi} \cdot \alpha_B}{2W_H \cdot S_B} ; \quad H = \frac{C_{\Phi} \cdot \alpha_H}{2W_H \cdot S_H \mu_0}$$

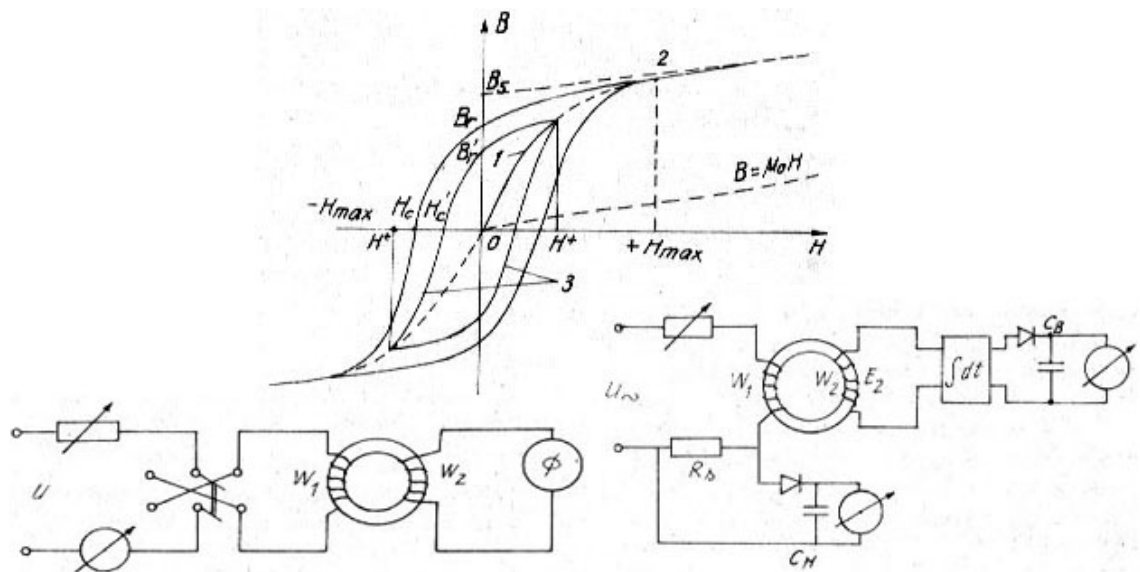


Hình 15.10. Cấu tạo của từ thẩm kế

15.3.2. Xác định đường cong từ hoá ban đầu:

a) **Xác định đường cong từ hoá 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 hoá ban đầu bằng dòng điện một chiều, xoay chiều

Thay đổi dòng điện kích từ từ giá trị cao về zêrô, 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.

Đo H: Đối với lõi hình xuyên 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 xuyên.

Đối với lõi thẳng và từ thăm 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 móc vòng bởi cuộn dây đo H

μ_0 - từ thẩm của không khí: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Đo 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 mỗi 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 xuyên ta có:

$$H_m = \frac{\sqrt{2} I \cdot W_1}{2\pi \cdot R_{tb}}$$

với: H_m : giá trị cực đại của cường độ từ trường

I : giá trị hiệu dụng đo bởi Ampemét

W_1 : số vòng của cuộn dây kích từ

R_{tb} : bán kính trung bình của lõi hình xuyên

B_m : được xác định:

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot S}$$

với: E_2 : sức điện động hiệu dụng chỉ bởi dụng cụ đo ở thứ cấp cuộn dây thử.

f : tần số của dòng kích từ; W_2 : số vòng của dây đo B

S : tiết diện của lõi

Trong trường hợp dụng cụ đo E_2 là dụng cụ điện tử tức là điện trở vào rất lớn thì dụng cụ chỉ giá trị của E_2 .

Trong trường hợp dụng cụ đo E_2 là dụng cụ cơ điện (có điện trở vào nhỏ) thì phải tính ra:

$$E_2 = \frac{U_2}{R_v} (R_v + R_d)$$

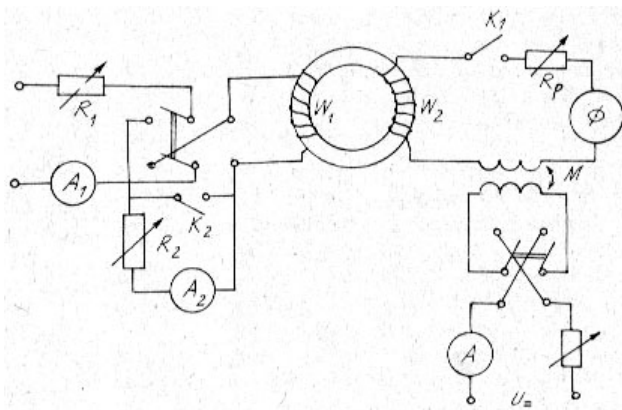
với: U_2 : điện áp đo bởi Vônmet; R_v : điện trở của Vônmet

R_d : điện trở của cuộn dây W_2 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 K_1 mở, khoá K_2 đóng. Điều chỉnh R_1 để cho dòng điện chỉ I_1 có giá trị làm bão hoà lõi thép. Sau đó đổi nối DN sang vị trí 1, mở K_2 và điều chỉnh R_2 để I_2 có giá trị mong muốn.
- Giai đoạn đo: Đóng K_2 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 K_1 để mắc từ thông kế vào mạch đo sau đó mở khoá K_2 . Dòng điện từ giá trị I_1 chuyển sang giá trị I_2 (tức là cường độ từ trường kích thích chuyển từ H_1 sang H_2).

Do có sự biến thiên từ trường đo tạo ra trong lõi thử một biến thiên ΔB và từ thông kế lệch đi một góc α_B :

$$\Delta_B = \frac{S_\Phi \cdot \alpha_B}{W_B \cdot S}$$

$$B_2 = B_1 - \Delta_B \quad ; \quad H_2 = \frac{I_2 \cdot W_1}{2\pi \cdot R_b}$$

Lặp lại phép đo với các giá trị I_2 khác nhau ta có giá trị B_2 và H_2 trong góc phần tư thứ nhất.

Để có B_2 và H_2 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 K_1 và mở K_2 . Đảo chiều đổi nối về vị trí 1. Như vậy ta đã biến thiên chiều dòng điện từ I_2 sang $-I_2$ và như vậy cường độ từ trường từ H_1 sang $-H_2$ tạo ra một sự biến thiên từ cảm B_1 sang B_2 ; ΔB vẫn tính như cũ và $B_2 = B_1 - \Delta B$ có thể có dấu dương trong góc phần tư thứ 2 và B_2 có giá trị âm ở góc phần tư thứ 3. Còn H_2 có giá trị âm:

$$H_2 = \frac{I_2 \cdot W_1}{2\pi R_{th}}$$

Có được các giá trị B_2 , H_2 từng đôi một ta có thể dựng thành đồ thị quan hệ

$B(H)$ tức là đường cong từ trễ.

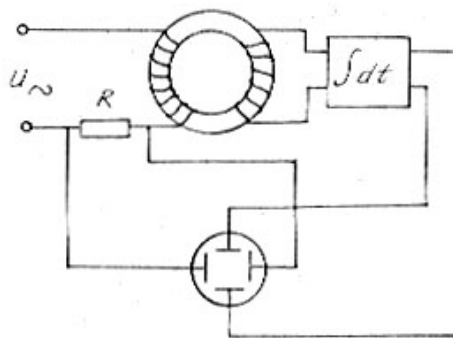
Với mẫu hình thẳng: quá trình đo tương tự như ở mẫu hình xuyên, chỉ khác là lõi được kích từ bằng từ thẳm kế, cuộn dây đo B được quấn quanh lõi W_B và từ trường được đo bằng một cuộn dây W_H kéo từ trong miền từ trường đều của từ thẳm kế ra ngoài không khí:

$$\Delta B = \frac{C_\Phi \cdot \alpha}{W_B \cdot S} \quad \text{và:} \quad B_2 = B_1 - \Delta B$$

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 trong 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 xuyên 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 hoà 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 :

$$\int E_2 dt = \psi \cdot k_\Phi \cdot B_t \cdot S \cdot W_2 = E'_2$$

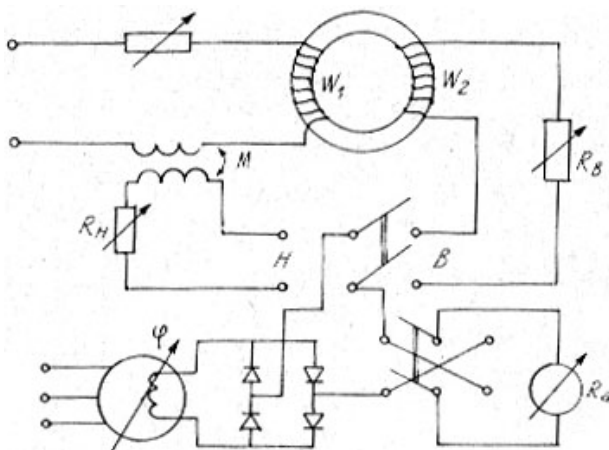
Giá trị tức thời của tích phân E_2 tỉ lệ với B_t :

$$B_t = \frac{E'_{2t}}{k_\Phi \cdot W_2 \cdot S}$$

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

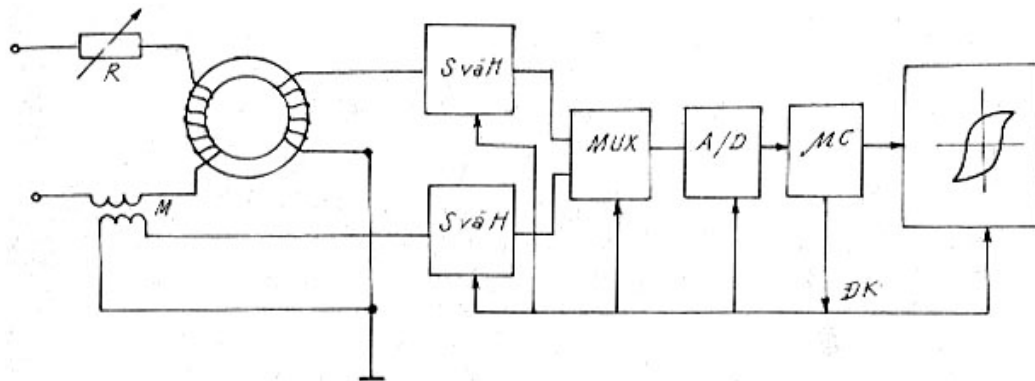
Việc vẽ đường cong từ trễ này cũng có thể được tự động hoá nhờ một hệ thu thập số đo bằng máy tính, có thể bố trí như hình 15.15.

Trong mạch này B_t được đo thông qua E_{2t} . Dòng điện được xác định thông qua hồ 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 ghim 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 ghim 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 $B_t(H_t)$.

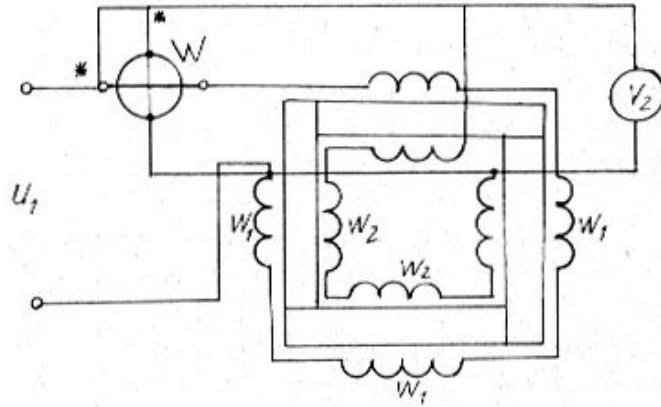
15.3.4. Đo tổn hao thép của vật liệu sắt từ:

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 $B = 1T$ và $B = 1,5T$ (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 Vônmet 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 Vônmet mắc song song)

r_2 : điện trở của cuộn dây lõi thử

Như vậy tổn hao thép bây giờ có thể viết:

$$P_t = P_w \frac{W_1}{W_2} \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right) - \frac{U_2^2}{r_2} \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right)$$

$$P_t = \left(P_w \frac{W_1}{W_2} - \frac{U_2^2}{r_2} \right) \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right)$$

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 $P = U.I.\cos\varphi$; 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.

$$P_{th} = E_2 \left(\frac{W_2}{W_1} \right) \left(\frac{U_0}{r_0} \right) \cdot \cos \varphi$$

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 gặp 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, ô tô... 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 bóng 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.

Tuỳ 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 ÷ 360°, được đo bằng các phương pháp đo thông thường hoặc phương pháp quang học và đạt độ chính xác từ 0,5' ÷ 1'. Dải đo kích thước góc không vượt quá D = 2000 ÷ 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° ÷ 15° với ngưỡng nhảy 10' ÷ 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 nhảy 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 :

$$X = A; \quad \dot{X} = \omega A; \quad \ddot{X} = \omega^2 A$$

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 hoá 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 đo 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 $10 - 60 \text{ m/s}$, 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 $0 \div 10^{10}$ N/m², ngưỡng nhạy của thiết bị đo từ $0,1 \div 0,01$ N/m² 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 $0 \div 150 \cdot 10^7$ N/m². 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/m² 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: l - chiều dài của đối tượng đo; Δl - độ biến thiên theo chiều dài.
 σ - ứng suất cơ của vật liệu; E - môđun đàn hồi.

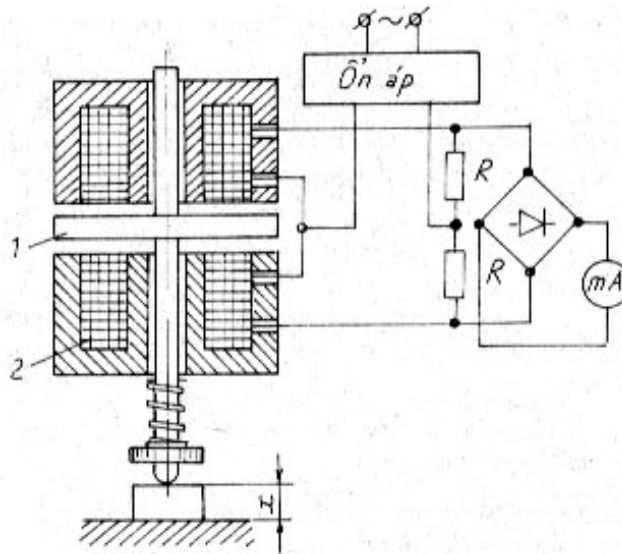
Mạch đo thường là mạch cầu, kết hợp với các tầng khuếch đại và chỉnh lưu. Chỉ thị là các dụng cụ chỉ thị cơ điện, tự ghi, điện tử và các dụng cụ số.

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 mắc 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 thành dòng điện một chiều, sử dụng miliampemét đo dòng điện này từ đó suy ra giá trị của độ dày x . Thường để thuận tiện thì miliampemét 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 tĩnh trong giới hạn đo là tuyến tính. Độ chính xác cấp $1 \div 4$, độ nhạy có thể đạt tới $5 \mu A/\mu m$.

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.

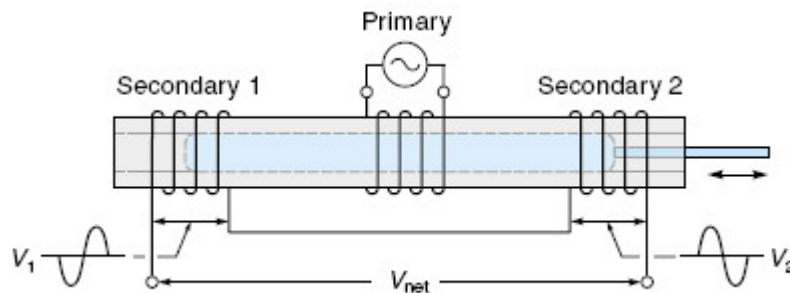
b) **Đo di chuyển thẳng bằng biến áp vi sai tuyến tính (Linear Variable Differential Transformer - LVDT):** có cấu tạo như hình 16.2: gồm có: cuộn sơ cấp (Primary) được nối với điện áp xoay chiều; hai cuộn thứ cấp (Secondary 1 và

Secondary 2) được bố trí đối xứng so với cuộn sơ cấp; nòng sắt từ di chuyển được.

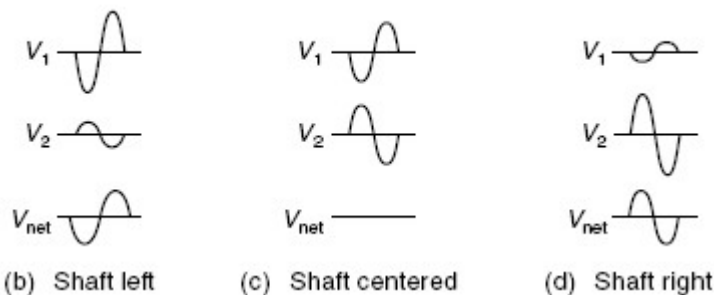
Nguyên lý hoạt động: sự dịch chuyển cần đo tác động lên nòng sắt từ, sự dịch chuyển của nòng sắt từ sẽ làm biến đổi độ ghép giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp làm thay đổi điện áp ra xoay chiều trên hai cuộn thứ cấp, điện áp này sẽ tỉ lệ với độ dịch chuyển.

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:

$$V_{net} = V_1 + V_2$$

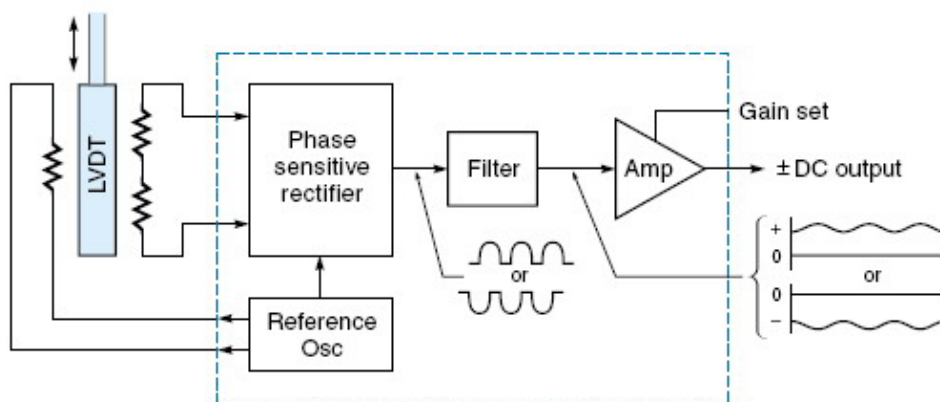


(a) LVDT with shaft centered



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:

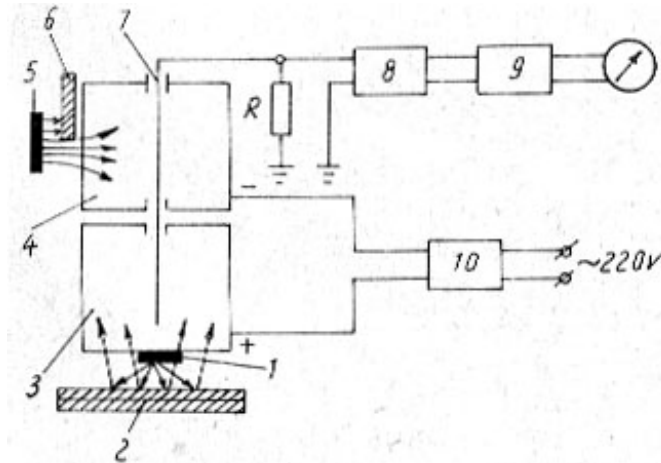


Hình 16.3. Xử lý tín hiệu điện áp ra của LVDT

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 nhờ tấm chắn 6. Điện áp cung cấp đặt lên vỏ bình iôn hoá 3 và 4 có dấu ngược nhau do đó dòng iôn hoá 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), tấm chắn 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.

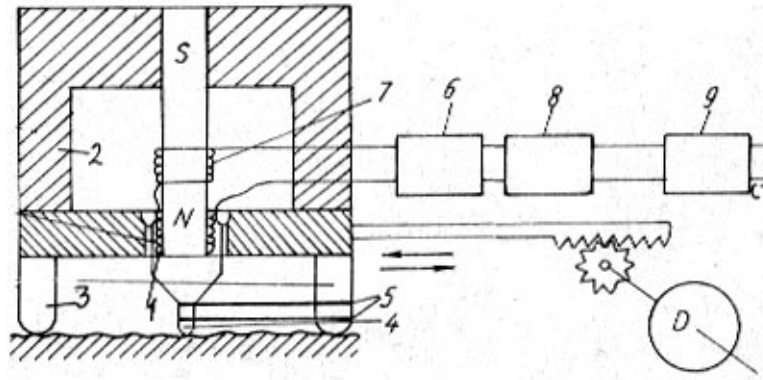
Để cung cấp điện áp thật ổn định cho bình iôn hoá và các tầng khuếch đại, nguồn cung cấp 10 có hệ số ổn định rất cao. Sai số đo khi khắc độ theo mẫu cho trước đạt tới $\pm 2\%$.

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 trục 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 sức điện động tỷ lệ với độ nhấp nhô của chi tiết. Với độ nhấp nhô nhỏ ($\nabla 14$) thì sức 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. Tùy 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.

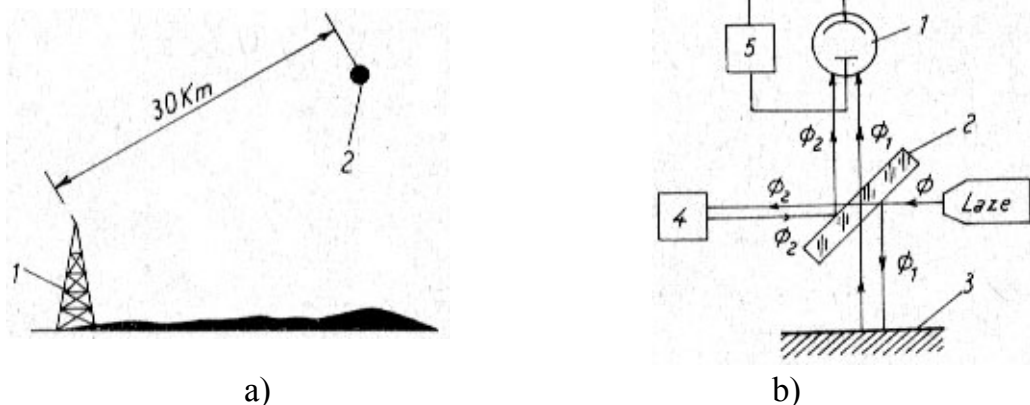
16.2.2. Đo khoảng cách:

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 ô tô 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 dây 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 Dopple. 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:

a) Sơ đồ tổng quan quá trình đo

b) 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 phân 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 laser 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 laser và λ là độ dài ánh sáng ta có quan hệ:

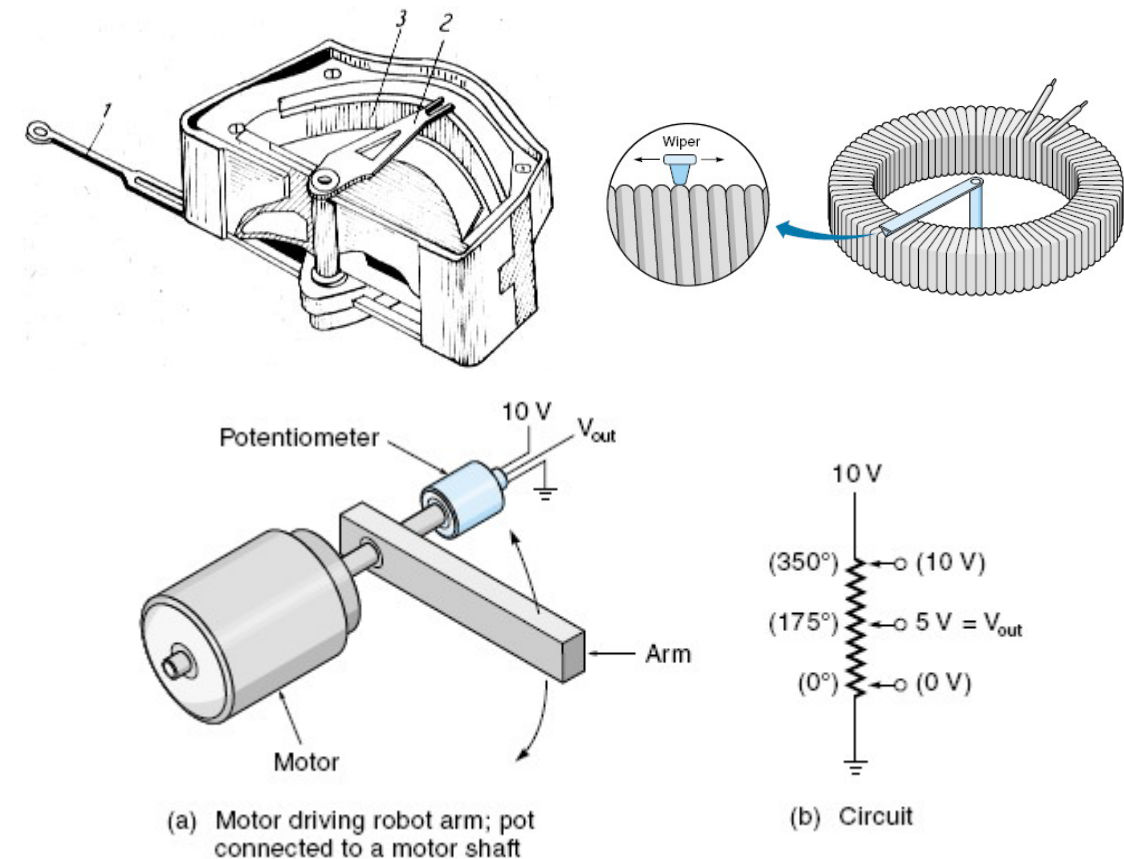
$$L_x = k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Với thiết bị trên, khi đo khoảng di chuyển cỡ 1m thì sai số từ 0,1÷1μm.

16.2.3. Đo góc quay:

a) Thiết bị đo góc dựa trên các chuyển đổi biến trở (Angle Potentionmeter): có ưu điểm là độ chính xác cao (sai số chỉ cỡ 0,05÷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 trở loại MY-62 được chế tạo hàng loạt trong công nghiệp dùng đo góc quay:



Hình 16.7. Chuyển đổi biến trở 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 trở 3, giá trị của biến trở 3 tỉ lệ với góc quay cần đo.

Đặc điểm: điện trở của biến trở khoảng 250Ω, góc quay toàn phần là 60°. Sai số cơ bản không quá ±0,3°.

Ngoài chuyển đổi biến trở còn có thể dùng các chuyển đổi điện cảm, điện dung phối hợp với các mạch điện tử để đo góc quay.

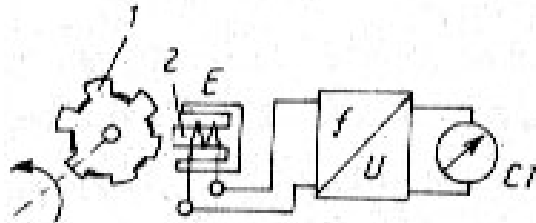
b) Thiết bị đo góc quay bằng chuyển đổi cảm ứng: có sơ đồ nguyên lý như hình 16.8.

Nguyên lý hoạt động: khi đĩa xẻ rãnh 1 quay đi một góc α (tương ứng với n rãnh) sẽ làm cho từ thông móc 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

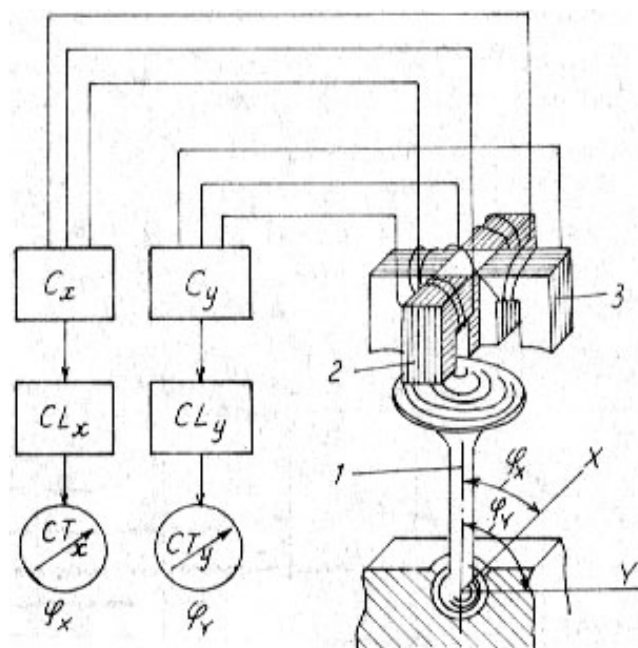
Φ : từ thông móc vòng trong cuộn dây cảm ứng 2



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:

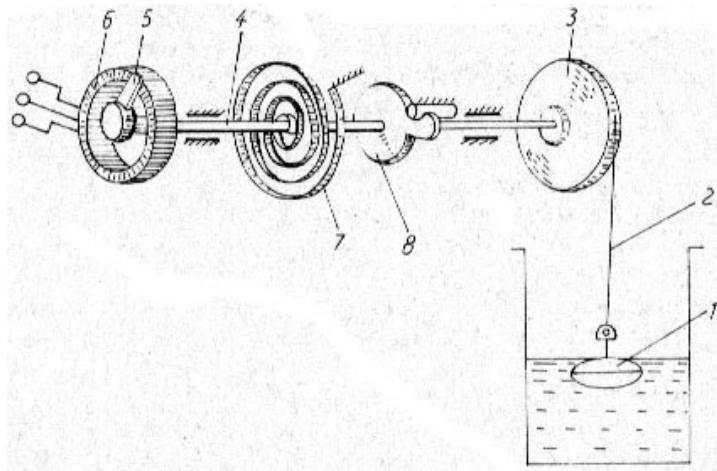


Hình 16.9. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị dùng chuyển đổi điện cảm đo góc quay trong không gian hai chiều

Nguyên lý hoạt động: lõi thép phản ứng 1 có hai bậc tự do, di chuyển được theo trục Y và trục X. Hai chuyển đổi điện cảm mắc vi sai 2 và 3 nối với hai mạch cầu không cân bằng C_x, C_y có nguồn cung cấp là điện áp xoay chiều tần số 500Hz. Tín hiệu ra của mạch cầu 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 nhảy $0,5'$.

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, trục 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 cấu cam 8 để puli chỉ có thể quay được một vòng.

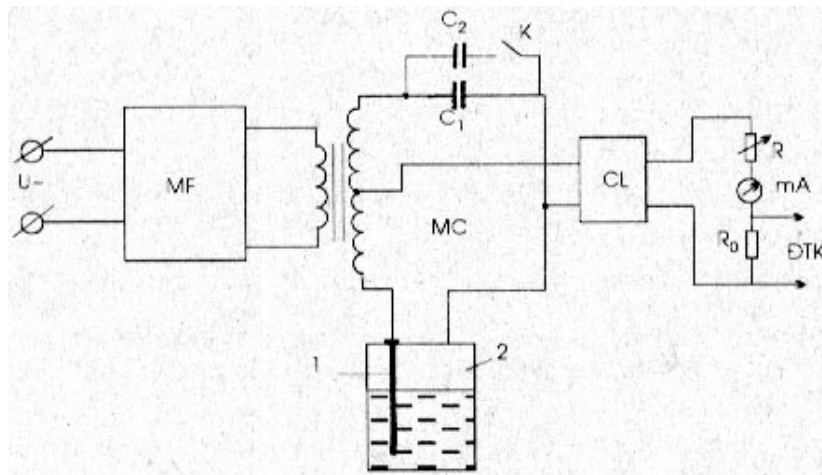
Đặc điểm: với thiết bị này có thể đo được khoảng thay đổi từ vài chục centimet đến vài mét với sai số cơ bản là $\pm 0,5\%$ trong giới hạn thang đo.

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 miliampemét (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 hoá 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:

$$f = \frac{a.n}{60}$$

với: a - số đôi cực của máy phát; n - tốc độ quay; f - tần số ra

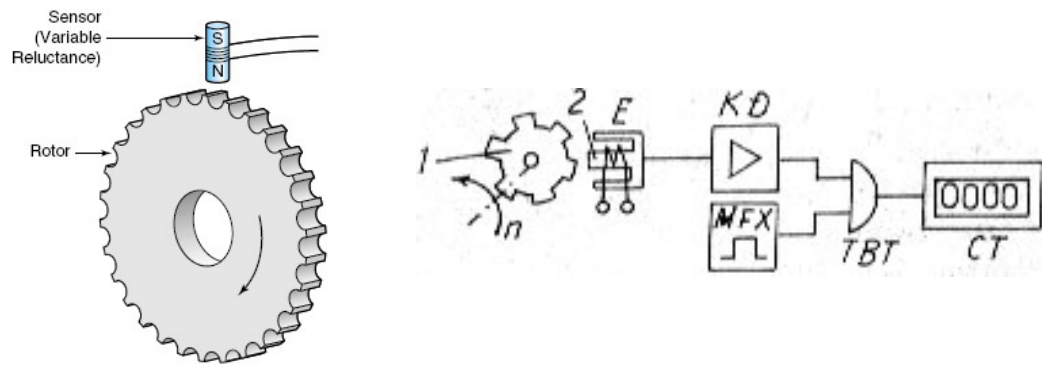
Đo điện áp U hoặc tần số f có thể xác định được tốc độ đối với các máy phát tốc độ xoay chiều, các chỉ thị kèm theo thường là tần số kế vì đo tần số, sai số nhỏ hơn và không bị phụ thuộc vào cấu tạo của máy phát mà chỉ phụ thuộc vào cách bố trí số lượng cực.

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;

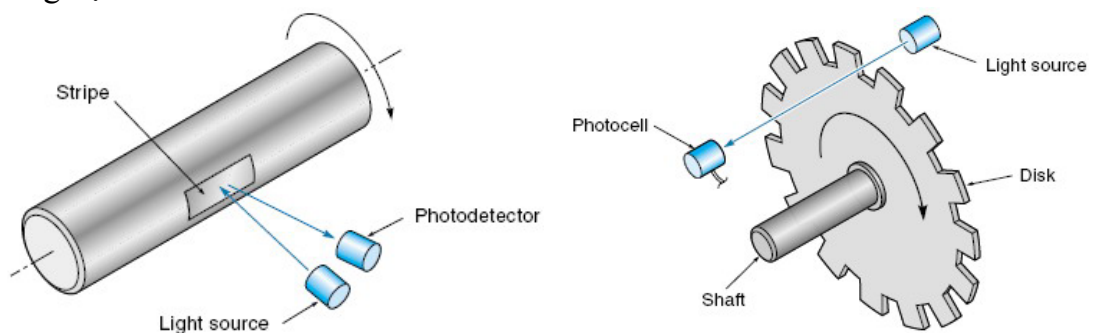
và số răng không nhỏ hơn $p_{\min} = 600/n_{\min}$ với $n_{\min}$ là tốc độ quay nhỏ nhất.

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

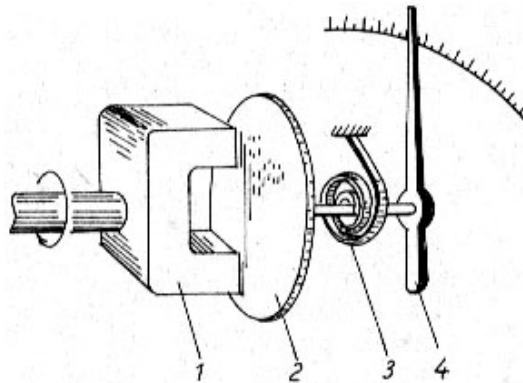
16.3.3. Thiết bị đo tốc độ quay dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ:

Ngoài các thiết bị trên, để đo tốc độ chuyển động của ô tô 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. Tùy 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.

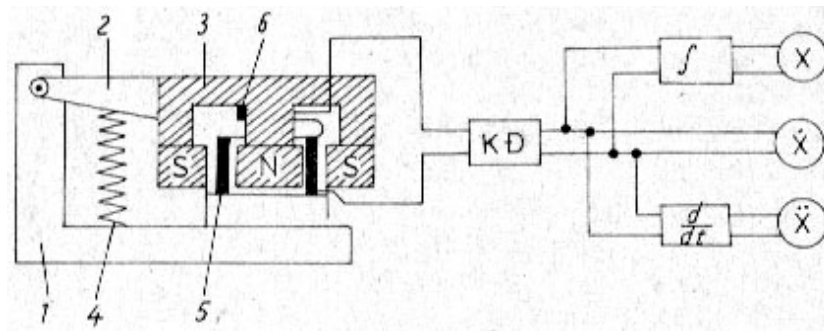
a) Chấn động kế kiểu cảm ứng: dựa trên quan hệ vi tích phân giữa các thông số của chuyển đổi rung, ta có thể chế tạo được các thiết bị phối hợp giữa chuyển đổi với các mạch vi tích phân và chỉ thị để đo độ rung (chấn động) và gia tốc.

Cấu tạo: như hình 16.15: gồm một giá đỡ bằng kim loại không dẫn từ 1 để đặt trên đối 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 $\ddot{x}$.



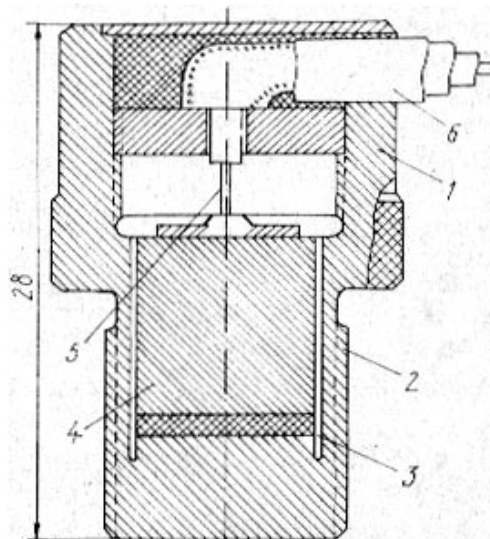
Hình 16.15. Cấu tạo của chấn động kế kiểu cảm ứng

Để ghi lại và theo dõi quá trình có thể dùng chỉ thị tự ghi hoặc dao động kí.

Đặc điểm: chấn động kế 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:



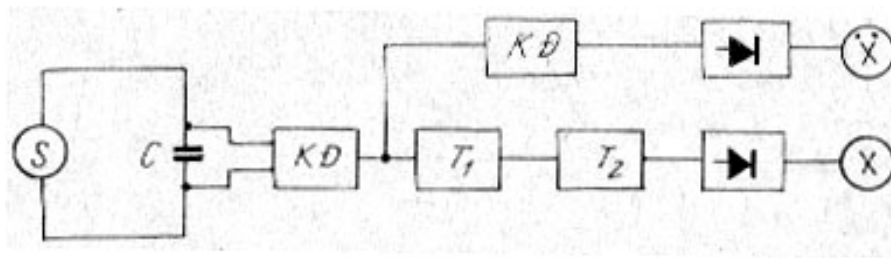
Hình 16.16. Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo độ rung bằng chuyển đổi áp điện

Vỏ 1 của chuyển đổi được tạo thành ren 2 để bắt chặt vào đối 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 vonfram 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:



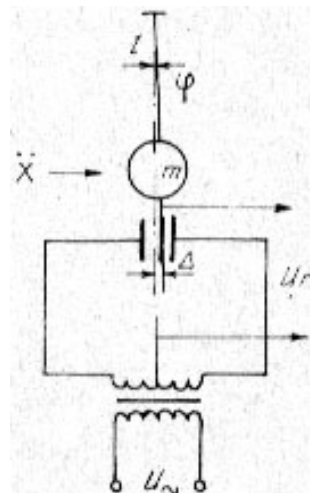
Hình 16.17. Sơ đồ khối của dụng cụ vạn năng dùng chuyển đổi áp điện đo biên độ rung và đo gia tốc trung bình

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 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:



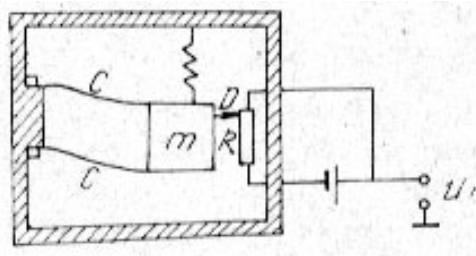
Hình 16.18. Sơ đồ nguyên lý của gia tốc kiểu con lắc với chuyển đổi điện dung

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 bản 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 $0,1g$ (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 tuyến.

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: khối 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 khối quán tính sẽ di chuyển trên biến trở R . Điện áp ra tỉ lệ với gia tốc cần đo.

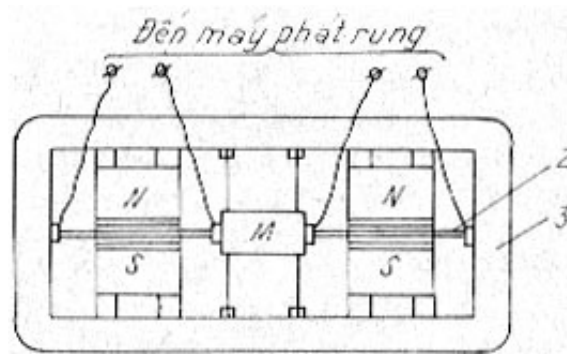
Đặc điểm: giới hạn của thiết bị phụ thuộc vào khối quán tính và lò xo, nó có thể đo được gia tốc từ $0,1 \div 150g$. Thiết bị này được sử dụng trên máy bay để đo gia tốc trong cabin với các chế độ bay khác nhau.

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 đạn tên lửa

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: chuyển đổi gồm có khối 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:

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{ml}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

với: f_0 - tần số riêng; l - chiều dài thanh rung
 F - lực kéo; m - khối lượng của cả thanh rung
 σ - Ứng 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 $\Delta l / l$ hay $\Delta l / l$.

Đo 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:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_R}{k} \quad \text{và} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon_1 = E \cdot \frac{\varepsilon_R}{k}$$

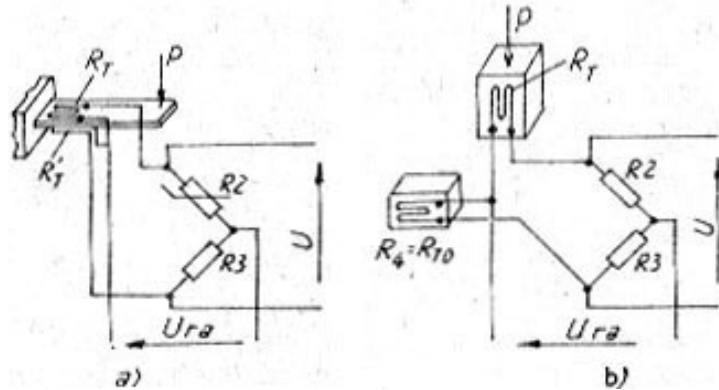
trong đó: k - hệ số độ nhạy tương đối;
 ε_R - độ biến thiên tương đối của điện trở chuyển đổi.
 ε_1 - độ biến thiên tương đối theo chiều dài tác dụng.
 E - môđun đàn hồi của vật liệu

Ví dụ: với vật liệu có môđun đàn hồi $E = 2.10^5 \text{ N/mm}^2$, 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 dầm chịu lực. Khi có lực tác dụng, chuyển đổi R_T nằm phía trên dầm 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 dầm 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 mất 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:

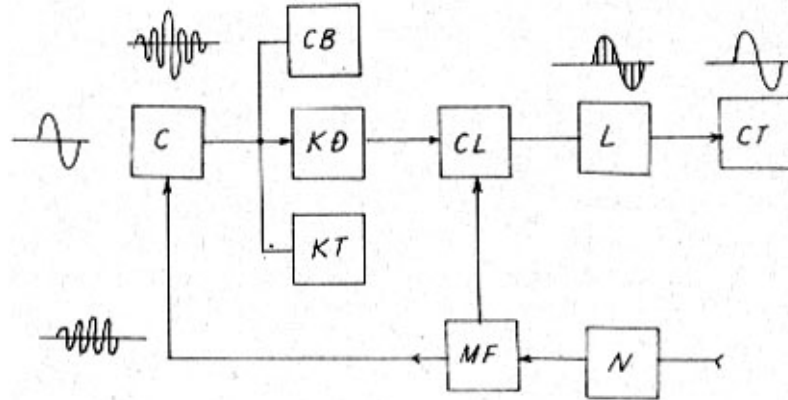
Mạch đo dùng với chuyển đổi điện trở lực căng thường là mạch cầu cân bằng hoặc không cân bằng.

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 khối của thiết bị đo bị 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 (KĐ) 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

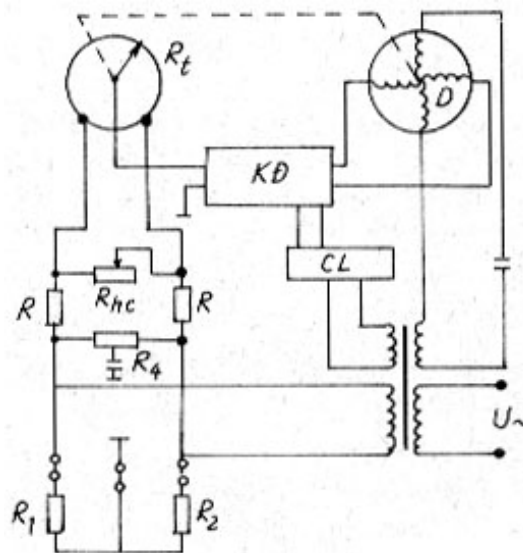
(L) và chỉ thị (CT). Chỉ thị có thể là dao động kí, chỉ thị cơ điện hoặc chỉ thị số...



Hình 16.22. Sơ đồ khối của thiết bị đo bị 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 R_1 và R_2 được mắc vào hai nhánh cầu cân bằng. Điện trở R_1 là điện trở làm việc, còn điện trở R_2 dùng để hiệu chỉnh nhiệt độ. Trị số điện trở của R_1 và R_2 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 (KĐ) 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 điện tích tác dụng các chuyển đổi.

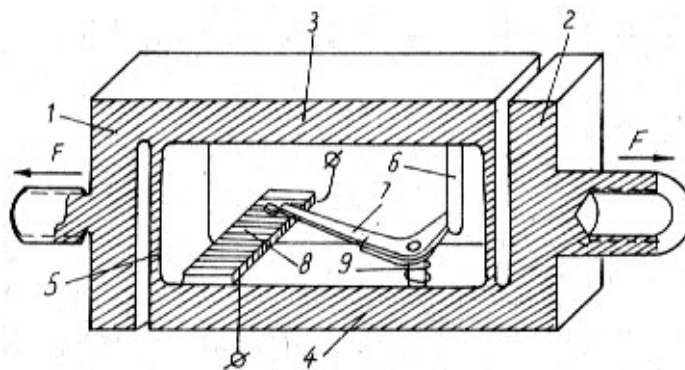
Ví dụ : ứng suất cho phép trong vật liệu áp từ σ không vượt quá giới hạn $\sigma_{cp} = 40\text{N/mm}^2$, đối với thạch anh $\sigma_{cp} = 70 \div 10^8/\text{mm}^2$.

Chuyển đổi áp từ làm việc có chế độ chắc chắn cao và dải tần từ $20 \div 50\text{kHz}$. Phần tử áp điện chỉ đo được với lực biến thiên tần số $\geq 5 \div 10\text{Hz}$ 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 phần 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 tấm thép 1 và 2, hai tấm 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 gắn 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 $0,02\text{ N}$

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.

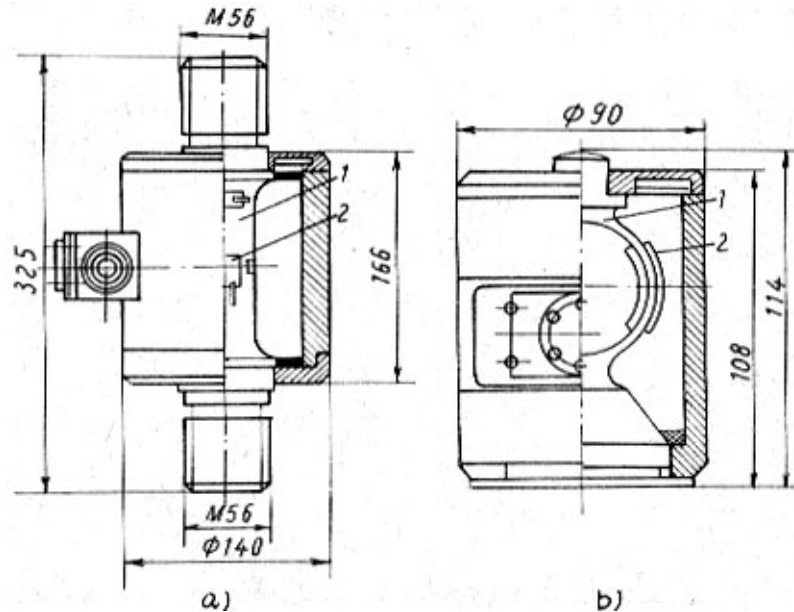
Nhược điểm của dụng cụ là không đo được lực biến thiên nhanh do tay gạt 7 dưới tác dụng của lò xo 9 chỉ thực hiện được với tần số không quá $10 \div 20\text{Hz}$.

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 $2.10^3 \div 5.10^5 \text{N}$: phần tử đàn hồi 1 là một thanh thép đặc được dán điện trở tenzô 2.

Lực kế cơ: hình 16.25b: giới hạn đo từ $2.10^4 \div 10^5 \text{N}$, phần tử đàn 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 đàn 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 đàn 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.

$$\Delta = \gamma_0 X_{dm} + \gamma_s X$$

$$\gamma = \gamma_0 \frac{X_{dm}}{X} + \gamma_s$$

$$\gamma_t = \gamma_{ot} \frac{X_{dm}}{X} + \gamma_{st}$$

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

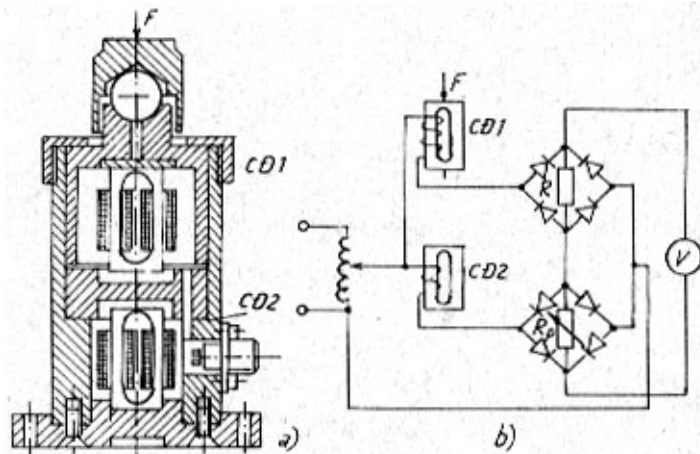
γ_s - sai số do độ nhạy tương đối

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 (CĐ1) là chuyển đổi làm việc, chịu lực tác động F; còn chuyển đổi áp từ 2 (CĐ2) 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 milivômet hoặc các chỉ thị đo điện áp.



Hình 16.26. Lực kế kiểu áp từ:

a) Sơ đồ cấu tạo

b) Mạch đo

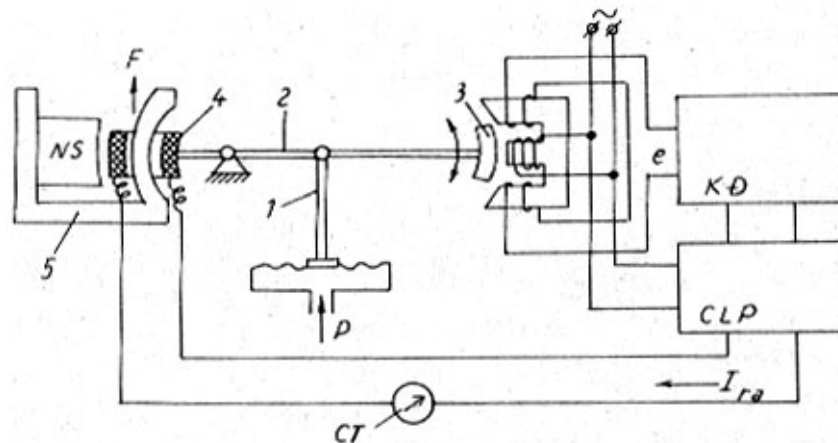
Ưu điểm: đo được lực tác động lớn, thuận tiện khi đo ở hiện trường, độ làm việc tin cậy, chắc chắn.

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 hồ 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 khuếch đại (KĐ) 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 :

$$F = k_p I_r$$

$$F = k.P \rightarrow P = \frac{k_p}{k} . I_r = K . I_r$$

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.

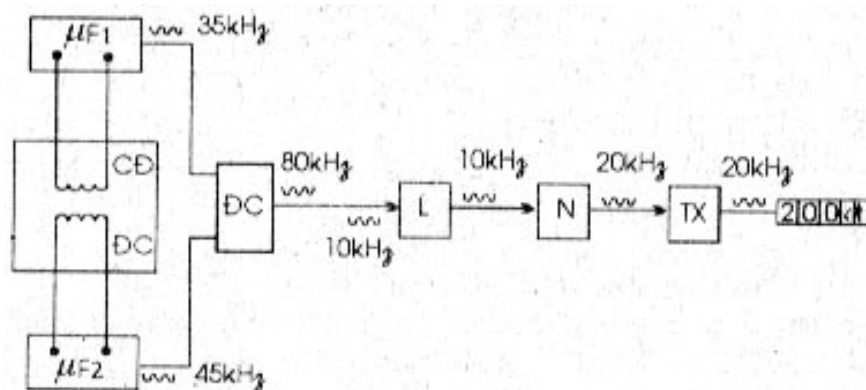
Sai số chủ yếu do ma sát của trục quay cánh tay đòn gây nên và do hiện tượng trễ của chuyển đổi hồi cảm.

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 mắc kiểu vi sai (CD) được cung cấp từ hai nguồn máy phát 1 và 2 có tần số bằng nhau 40kHz.

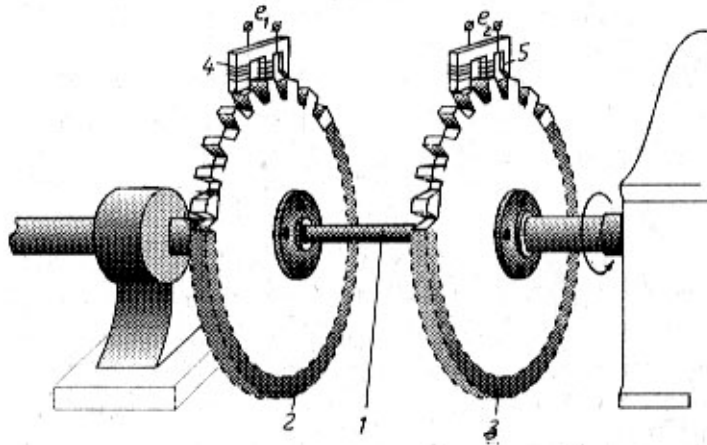
Khi chưa có lực tác động vào chuyển đổi thì tần số của máy phát không thay đổi và bằng 40kHz. Dưới tác dụng của lực cần đo sẽ làm cho điện cảm của hai chuyển đổi bị thay đổi làm cho một máy phát tần số có tần số tăng còn máy kia có tần số giảm đi. Nhờ bộ điều chế (ĐC) và bộ lọc (L), hiệu tần số của hai 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:

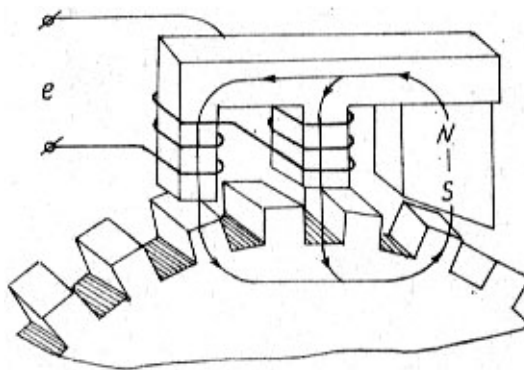


Hình 16.29. Cấu tạo của thiết bị đo mômen xoắn không tiếp xúc

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 sức 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

$$M = \frac{\varphi \cdot 2\pi}{k \cdot a} = K \varphi$$

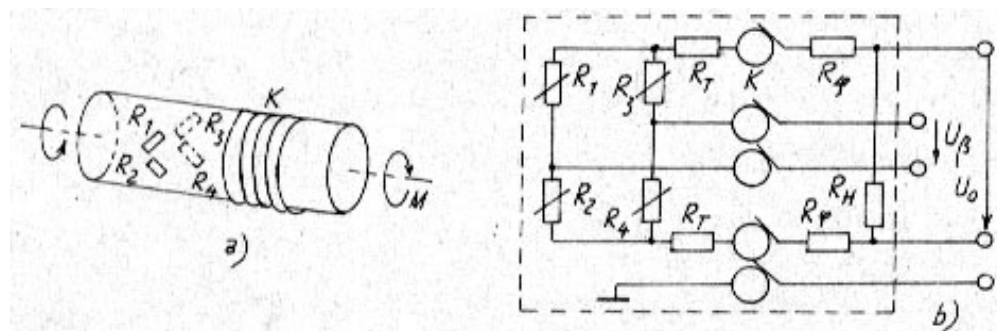
với: k, K - là các hệ số tỉ lệ; M - mômen xoắn cần đo

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 đàn 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 trục 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 :

$$\varepsilon = \frac{8 \cdot M \cdot d_1 \sin(2\alpha)}{\pi \cdot (d_1^4 - d_2^4) G}$$

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 đàn hồi (với thép $E = 20,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$)

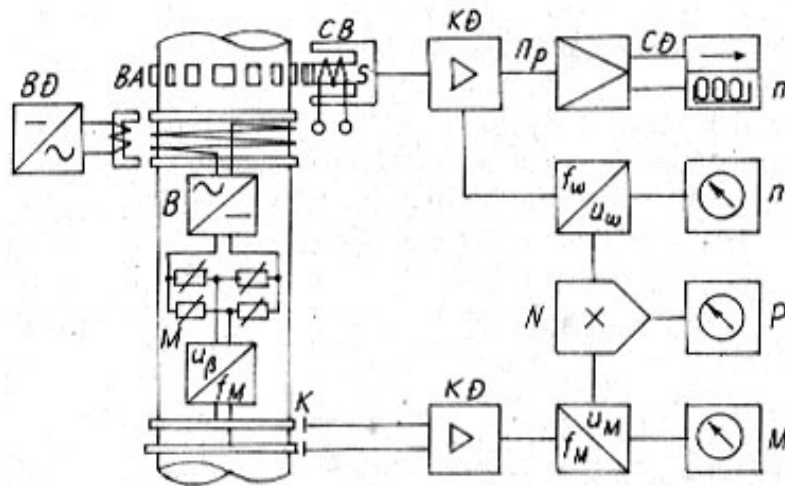
α - góc lệch khi trục biến dạng

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 trục cần đo, 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 trục 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 trục. 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 $f = 5 \div 15 \text{ kHz}$. Tần số f được đưa ra ngoài nhờ cổ góp 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 $\pm 1 \text{ V}$ hoặc $\pm 10 \text{ V}$ hay dòng điện $\pm 20 \text{ mA}$.

Chỉ thị cho ta biết được mômen quay M.

Đặc điểm: thiết bị trên có dải đo từ $10 \text{ N.m} \div 50 \text{ kN.m}$; tần số dao động không quá 8 kHz và dải tần đo từ $0 \div 2 \text{ kHz}$. Độ nhạy đạt được từ $1 \div 100 \text{ mV}$.

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 trục như hình vẽ trên, mỗi vòng quay chuyển đổi tạo được k xung.

Để xác định công suất được sinh ra trên trục $P = M \cdot \omega$ thì mômen quay M và

tốc độ quay n hoặc tốc độ góc $\omega = \pi.n/k$ 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.

Phần 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.

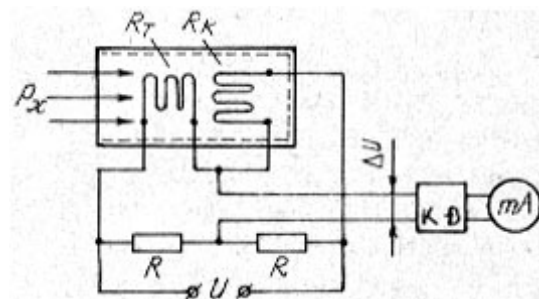
Để đo áp suất lớn hơn từ $100 \div 400\text{MN/m}^2$ người ta sử dụng chuyển đổi điện trở dây manganin vì với dải áp suất trên độ nhạy về sự thay đổi điện trở của dây khi áp suất biến thiên mới ổn định và bằng 2,5% trên 1MN/m^2 .

- *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 bề 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, bề 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

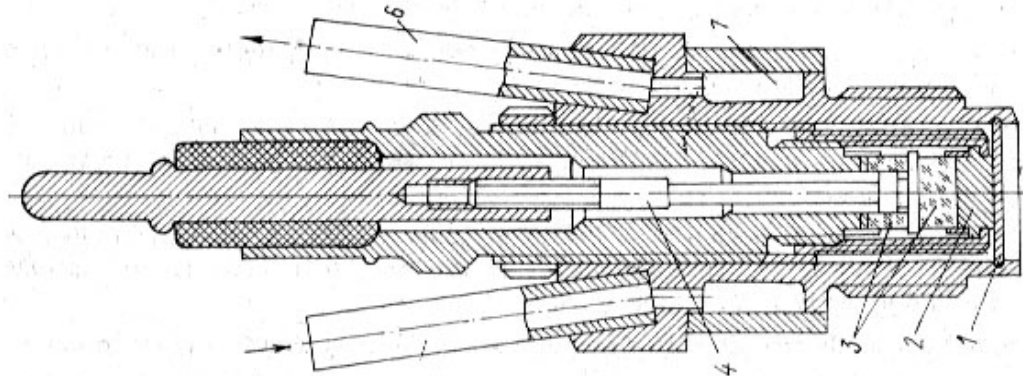
(KĐ), miliampemét được khắc độ theo áp suất cần đo.

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 somi toả nhiệt trong các lỗ 5, 6, 7 để dẫn nước chảy qua.

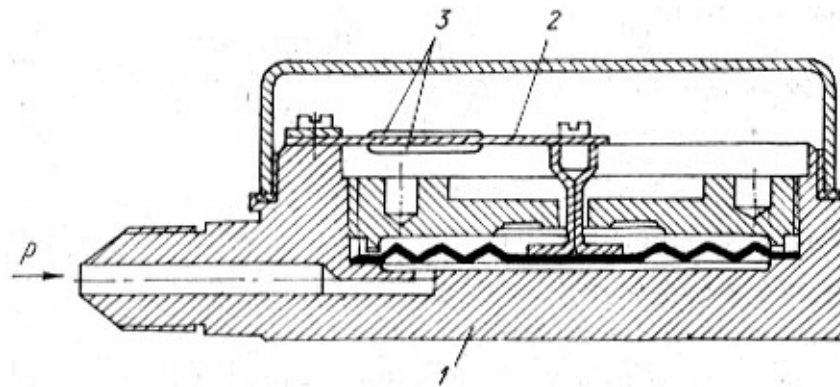
Đặc điểm: điện trở ra của chuyển đổi rất lớn $10^{13}\Omega$ nên đòi hỏi điện trở cách điện của dây dẫn và điện trở đầu vào của bộ khuếch đại cũng phải lớn. Với một dải tần tương đối rộng, tốc độ biến thiên áp suất trong xi lanh rất lớn do đó phải dùng các đầu rung của dao động ký có tần số riêng cao 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.

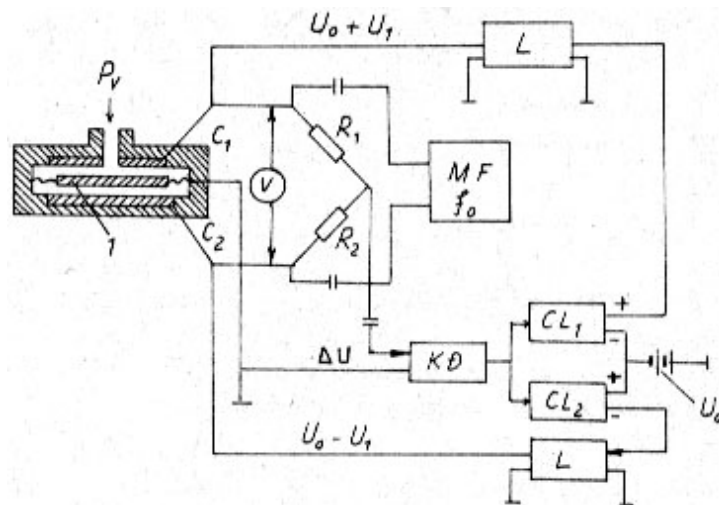
Đặc điểm: thiết bị trên có thể đo được áp suất trong khoảng từ $0,1 \div 0,6\text{MN/m}^2$. Sai số tương đối quy đổi $\pm 1,5\%$ và có thể làm việc với bất kỳ loại điện trở lực căng nào.



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 (KĐ) 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 $U_1 = U_2$ thì áp suất đo sẽ tỉ lệ với điện áp:

$$P = \varepsilon \cdot \frac{U_0 (U_1 + U_2)}{\delta_0^2}$$

Vôn-mét V chỉ cho ta biết áp suất cần đo.

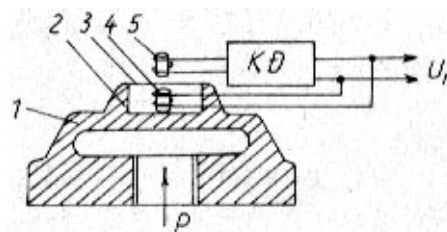
16.6.6. Đo lực, áp suất bằng thiết bị số:

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:

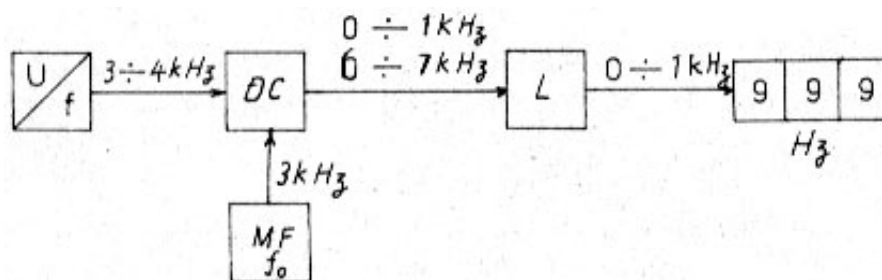


Hình 16.37. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo áp suất theo nguyên lý biến áp suất thành tần số

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 từ 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 từ 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 (ĐC) 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 $6\div 7$ 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 $0\div 1$ kHz. 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 hằng 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 chảy			_____				0,1 1 ÷ 2 1 ÷ 3
Điện âm		_____					0,05
Nhiệt nhiễu	_____						0,1
Phương pháp cộng hưởng hạt nhân	_____						0,01
Hoá 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 diện 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, niken, 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 lôgômmét 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:

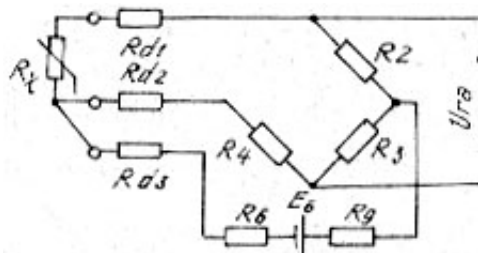
$$\Delta t = \frac{\Delta R_d}{R_T \alpha_T}$$

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:

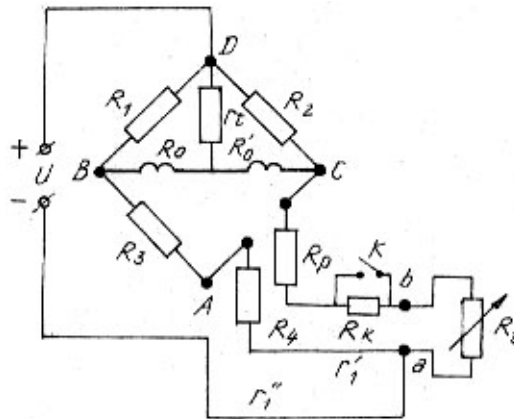


Hình 18.1. Cầu ba dây giảm sai số do nhiệt độ môi trường thay đổi

Trong sơ đồ này hai dây mắc vào các nhánh kề 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 cấu 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 cấu 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 cấu 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 ngắt 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 lôgômmét chỉ giá trị nhiệt độ cần đo.

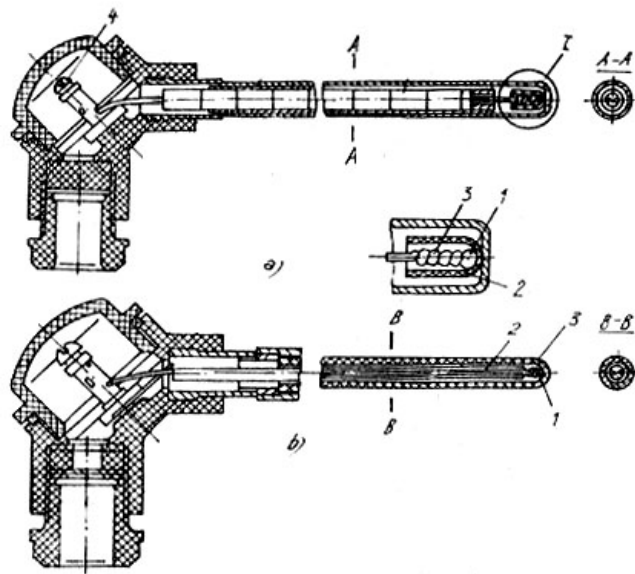
Trong các ngành công nghiệp hiện nay để đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở người ta thực hiện trên mạch cầu tự động tự ghi. Phương pháp này có thể đo nhiệt độ tại một điểm hoặc một số điểm nhờ cơ cấu chuyển mạch.

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 miliVônmet hoặc điện thế kế điện trở nhỏ có giới hạn đo từ 0 ÷ 100mV.

Nếu đo sức điện động nhiệt điện bằng miliVônmet 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_d - điện trở đường dây;

Điện áp rơi trên miliVônmet là:

R_T - điện trở cặp nhiệt ngẫu

R_{dc} - điện trở của miliVônmet

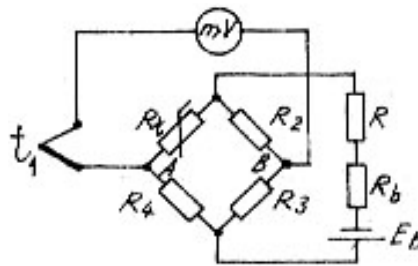
$$U = E - I(R_d + R_T)$$

$$= E \cdot \frac{R_{dc}}{R_T + R_d + R_{dc}}$$

thường $R_d + R_T$ được hiệu chỉnh khoảng 5Ω , còn điện trở của miliVônmet lớn hơn nhiều lần ($40 \div 50$ lần), vì vậy sai số chủ yếu do điện trở của miliVônmet 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.

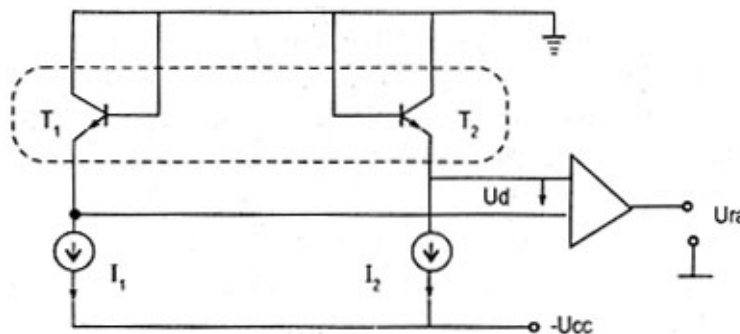
τ - hằng số thời gian của cặp nhiệt ngẫu.

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 ấy 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 phân 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 $I_{c1}/I_{c2} = \text{const}$ 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
---------	-----------	--------	--------

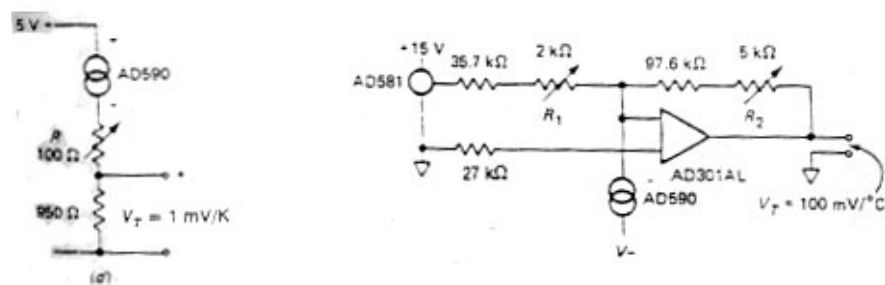
AD592CN	$1\mu A/^{\circ}K$	$-25^{\circ}C \div 105^{\circ}C$	$0,3^{\circ}C$
LM35	$\pm 10mV/^{\circ}K$	$-55^{\circ}C \div 150^{\circ}C$	$\pm 0,25^{\circ}C$
MMB-TS102	$-2,25mV/^{\circ}K$	$-40^{\circ}C \div 150^{\circ}C$	$\pm 2^{\circ}C$
REF-02A	$2,1mV/^{\circ}K$	$-55^{\circ}C \div 125^{\circ}C$	$\pm 0,5^{\circ}C$

b) Đặc điểm:

- Độ nhạy của các loại IC bán dẫn đo nhiệt độ thường có giá trị cỡ $-2,5mV/^{\circ}C$ và không cố định mà thường thay đổi theo nhiệt độ.
- Ưu điểm: độ tuyến tính cao, sử dụng đơn giản và có độ nhạy cao.
- Nhược điểm: giới hạn phạm vi sử dụng chỉ trong khoảng $-50^{\circ}C \div 150^{\circ}C$, do giới hạn chịu nhiệt của các phần tử bán dẫn.

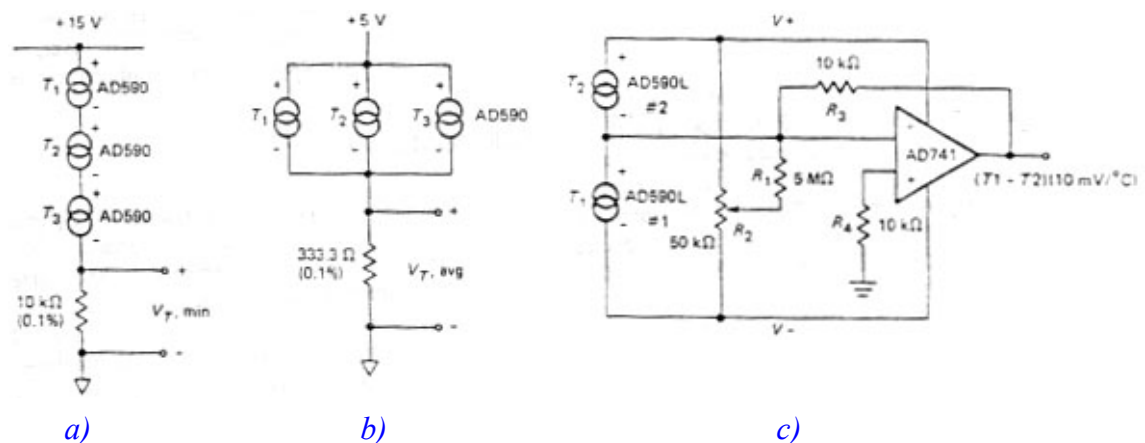
c) Mạch đo: dưới đây là ví dụ một số mạch đo cơ bản sử dụng IC bán dẫn AD590 đo nhiệt độ:

- Mạch đo cơ bản:



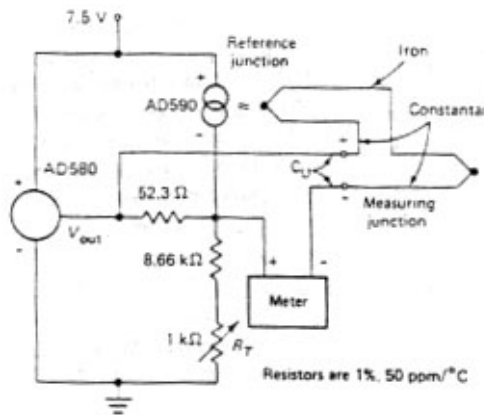
Hình 18.6: Mạch đo cơ bản ứng dụng IC bán dẫn AD590 đo nhiệt độ

- 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 tự động bù nhiệt độ đầu tự do của cặp nhiệt

18.3. Đo nhiệt độ bằng phương pháp không tiếp xúc.

18.3.1. Phương pháp hỏa quang kế:

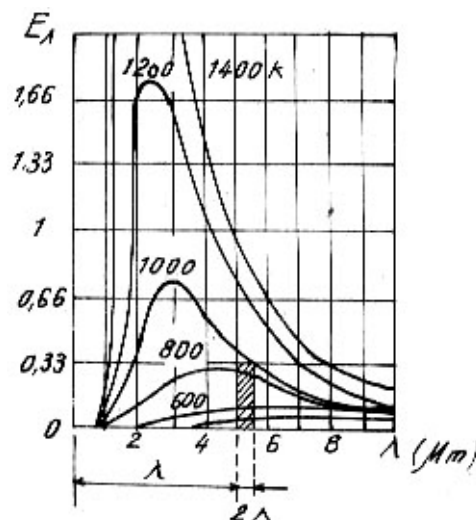
Đây là phương pháp dựa trên định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối, tức là vật hấp thụ năng lượng theo mọi hướng với khả năng lớn nhất. Bức xạ nhiệt của mọi vật thể có thể đặc trưng bằng một mật độ phổ E_λ nghĩa là số năng lượng bức xạ trong một đơn vị thời gian với một đơn vị diện tích của vật và xảy ra trên một đơn vị của độ dài sóng.

Quan hệ giữa mật độ phổ 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; $C_1 = 37,03 \cdot 10^{-17} \text{ Jm}^2/\text{s}$
 $C_2 = 1,432 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{độ}$

Đường cong $E_\lambda^0 = f(\lambda)$ 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: hỏa quang kế phát xạ, hỏa quang kế cường độ sáng và hỏa quang kế 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: $\sigma = 4,96 \cdot 10^{-2} \text{J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{grad}^4$

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 ($\varepsilon_T < 1$)

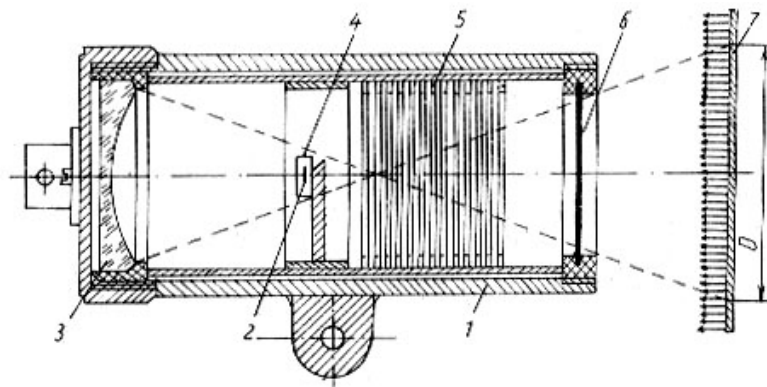
T_t - nhiệt độ thực của vật.

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:

$$\sigma \cdot T_p^4 = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T_t^4$$

$$\Rightarrow T_t = T_p \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon_T}}$$

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 chắn 4.

Để bảo vệ mặt trong của hoả quang kế phải sạch, phía đầu ống được gắn tấm kính thủy 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: hoả quang kế dùng để đo nhiệt độ từ $20 \div 1000^\circ\text{C}$. 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 thủy tinh đặc biệt để tập trung các tia phát xạ và phần tử nhạy cảm với nhiệt độ được thay bằng cặp nhiệt ngẫu (ví dụ crôm - 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 $1,7^{\circ}\text{C}$.

b) Hoả quang kế cường độ sáng:

Nguyên lý hoạt động: trong thực tế khi đo nhiệt độ $T < 3000^{\circ}\text{C}$ 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.

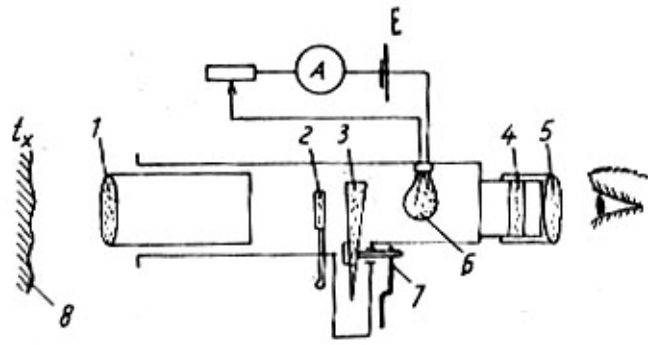
Việc xác định ε_{λ} là điều rất khó, thường $\varepsilon_{\lambda} = 0,03 \div 0,7$ ở các vật liệu khác nhau và với độ dài sóng $\lambda = 0,6 \div 0,7\mu\text{m}$.

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°C . Sự phát sáng của đèn đã ổn định nếu sử dụng ở nhiệt độ từ $1400^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}$. 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.

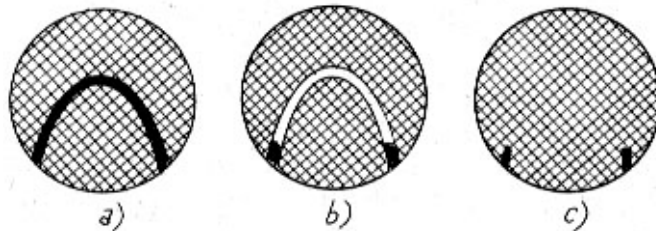
Cấu tạo: hình 18.11 là cấu tạo của hoả quang kế cường độ sáng có bộ chắn quang học:



Hình 18.11. Cấu tạo của hỏa quang kế cường độ sáng có bộ chắn quang học

Ổng ngắm gồm có kính vật 1, thị kính 5 qua đó có thể ngắm được đối tượng đo 8. Trước thị kính 5 có bộ lọc ánh sáng đỏ 4, sợi đốt 6 của bóng đèn chuẩn được ngắm trực tiếp. Cường độ sáng của đối tượng đo 8 được chắn và làm yếu đi 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

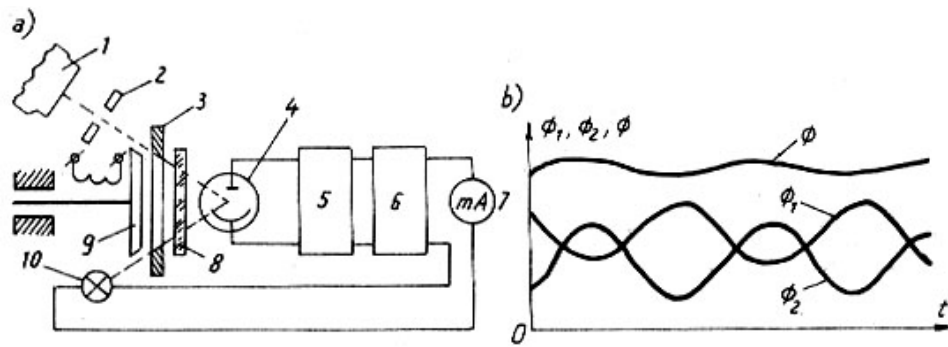
So sánh bằng mắt tuy thô sơ nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác nhất định vì cường độ sáng thay đổi nhiều hơn gấp 10 lần sự thay đổi nhiệt độ.

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 phần 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. Hỏa 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) Hỏa 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:

$$E_1 = \varepsilon_1 C_1 \lambda_1^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda_1 T}}; \quad E_2 = \varepsilon_2 C_1 \lambda_2^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda_2 T}}$$

suy ra:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_1 \lambda_1^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda_1 T}}}{\varepsilon_2 \lambda_2^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda_2 T}}}$$

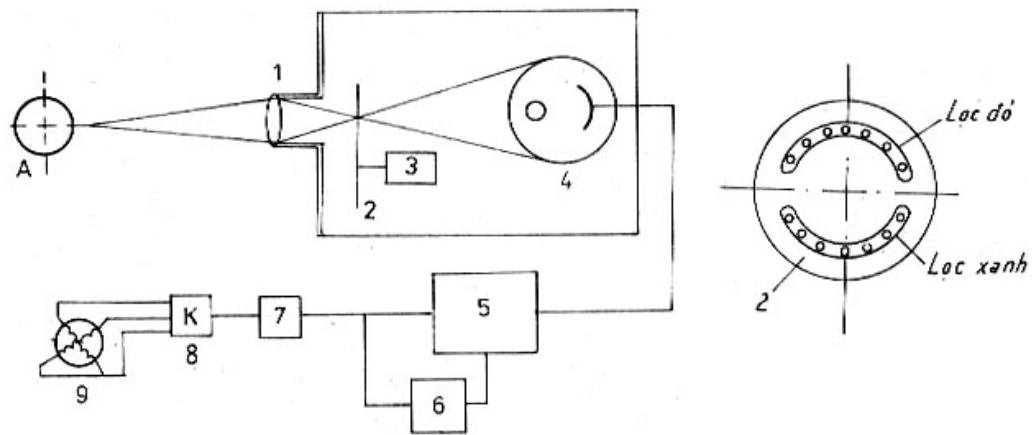
và giá trị nhiệt độ T có thể tìm được theo các giá trị E_1 , E_2 , ε_1 , ε_2 là:

$$T = C_2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \cdot \ln \left[\frac{E_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \lambda_2^5}{E_2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \lambda_1^5} \right]$$

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 hỏa quang kế màu sắc dùng tế 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 tế bào quang điện 4, trên đĩa khoan một số lỗ, trong đó một nửa đặt bộ lọc ánh sáng đỏ (LĐ) còn nửa kia đặt bộ lọc ánh sáng xanh (LX). Khi đĩa quay tế bào quang điện lần lượt nhận được ánh sáng đỏ và xanh với tần số nhất định tùy 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 thành phần tùy theo ánh sáng vào tế bào quang điện là xanh hay đỏ. Hai tín hiệu này được đo bằng bộ chia 9.

Tùy 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 rơle 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 tế 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 tế bào quang điện có dạng như hình 18.15a và tín hiệu ở đầu ra của khuếch đại có dạng như hình 18.15b:

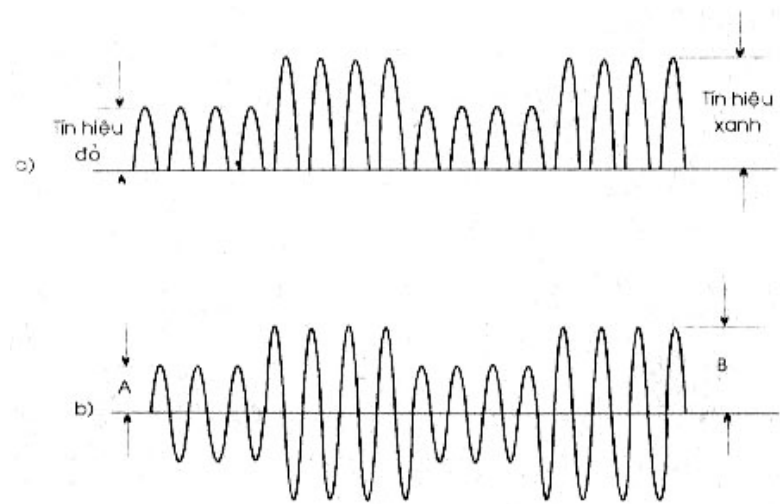
Tỉ số giữa biên độ A và B là:

$$\alpha = \frac{A}{B}$$

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 kế màu sắc dùng tế bào quang điện:

- a) tín hiệu điều biến ở phụ tải của tế bào quang điện
- b) tín hiệu ở đầu ra của khuếch đại