

Lời nói đầu

Giáo trình đo lường thí nghiệm điện được biên soạn theo chương trình khung mô đun “Đo lường thí nghiệm điện” do bộ lao động thương binh và xã hội ban hành với tinh thần ngắn gọn, dễ hiểu. các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ lô gíc chặt chẽ. Tuy vậy giáo trình cũng chỉ là một phần trong chuyên ngành đào tạo nên người dạy, người học cần tham khảo thêm các giáo trình có liên quan đối với ngành học để sử dụng giáo trình hiệu quả hơn.

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

Nội dung giáo trình gồm 7 chương

Chương 1: Đo các đại lượng có điện

Chương 2: Đo các đại lượng không điện

Chương 3: Thí nghiệm động cơ ba pha

Chương 4: Thí nghiệm máy biến áp

Chương 5: Thí nghiệm máy biến điện áp

Chương 6: Thí nghiệm máy biến dòng

Chương 7: Thí nghiệm cầu dao cách ly

Giáo trình được biên soạn cho đối tượng là sinh viên trung cấp nghề chuyên ngành kỹ thuật lắp đặt điện và điều khiển trong công nghiệp cũng như các chuyên ngành khác có liên quan.

Mặc dù đã cố gắng, nhưng chắc chắn không tránh khỏi hết khiếm khuyết. Rất mong nhận được ý kiến đóng góp của người sử dụng để lần tái bản sau được hoàn chỉnh hơn.

Chương 1

ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CÓ ĐIỆN

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.

1.1 Khái niệm về đo lường điện

1.1.1. Khái niệm về đo lường.

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):

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng: $A = \frac{X}{X_0}$ và ta có $X = A.X_0$

Trong đó: X - đại lượng đo

X_0 - đơn vị đo

A - con số kết quả đo.

Từ (1.1) có phương trình cơ bản của phép đo: $X = A_x . X_0$, 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.

1.1.2. Khái niệm về đo lường điện.

Đại lượng nào so sánh được với mẫu hay chuẩn thì mới đo được. Nếu các đại lượng không so sánh được thì phải chuyển đổi về đại lượng so sánh được với mẫu hay chuẩn rồi đo. Đo lường điện là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng điện cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo.

1.1.3. Các phương pháp đo.

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.

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.

a. Phương pháp đo biến đổi thẳng

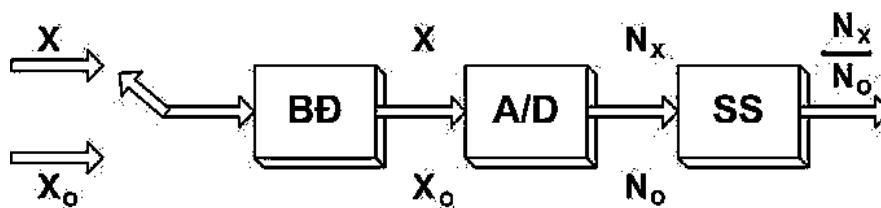
- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu biến đổi thẳng, nghĩa là không có khâu phản hồi.

- **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_0 cũng được biến đổi thành con số N_0 .

* Tiến hành quá trình so sánh giữa đại lượng đo và đơn vị (thực hiện phép chia N_X/N_0),

* Thu được kết quả đo: $A_X = X/X_0 = N_X/N_0$.



Hình 1.1 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_0 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_0 , qua khâu so sánh có N_X/N_0 .

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.

b. Phương pháp đo kiểu so sánh:

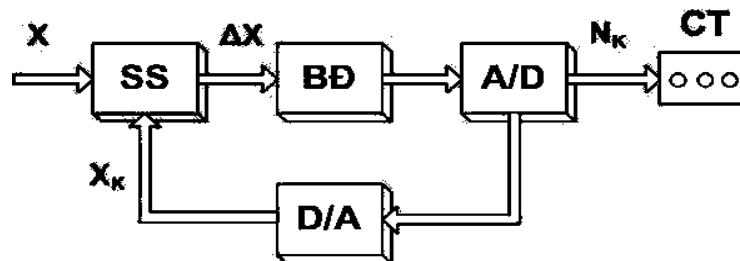
- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu mạch vòng, nghĩa là có khâu phản hồi.

- **Quá trình thực hiện:**

+ Đại lượng đo X và đại lượng mẫu X_0 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_0) 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 1.2 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: $\ddot{A}_X = X - X_K$. 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 $\ddot{A}_X = 0$, 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 $\ddot{A}_X = 0$ 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 $\ddot{A}_X = 0$).

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 $\ddot{A}_X = X - X_K$, đo $\ddot{A}_X$ sẽ có được đại lượng đo $X = \ddot{A}_X + X_K$ từ đó có kết quả đo: $A_X = X/X_0 = (\ddot{A}_X + X_K)/X_0$.

* **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 $\ddot{A}X$, giá trị của $\ddot{A}X$ so với X (độ chính xác của phép đo càng cao khi $\ddot{A}_X$ 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 đúng trạng thái như khi X tác động, từ đó suy ra $X = X_K$. Như vậy rõ ràng là X_K phải thay đổi khi X thay đổi.

* **Độ chính xác:** phụ thuộc vào độ chính xác của X_K . Phương pháp này chính xác vì khi thay X_K bằng X thì mọi trạng thái của thiết bị đo vẫn giữ nguyên. Thường thì giá trị mẫu được đưa vào khắc độ trước, sau đó qua các vạch khắc mẫu để xác định giá trị của đại lượng đo X . Thiết bị đo theo phương pháp này là các thiết bị đánh giá trực tiếp như vônmét, ampe mét 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 inch = $127/5 = 254/10 = 25,4$ 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 giải 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

1.1.4 Khái niệm về cơ cấu đo

Cơ cấu đo là thành phần cơ bản để tạo nên các dụng cụ và thiết bị đo lường ở dạng tương tự (analog) và hiện số Digitans.

- ở dạng tương tự (analog) là dụng cụ đo biến đổi thẳng: đại lượng cần đo X như điện áp, dòng điện, tần số, góc pha... được biến đổi thành góc quay α của phần động (so với phần tĩnh), tức là biến đổi từ năng lượng điện thành năng lượng cơ học.

Từ đó có biểu thức quan hệ:

$$\alpha = (X) \text{ với } X \text{ là đại lượng điện.}$$

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

- Hiện số (Digitans) là cơ cấu chỉ thị số ứng dụng các kỹ thuật điện tử và kỹ thuật máy tính để biến đổi và chỉ thị đại lượng đo.

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

1.2 Các loại cơ cấu đo

1.2.1 Cơ cấu đo từ điện

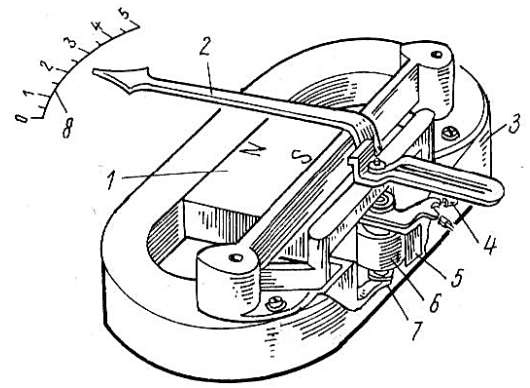
1.2.1.1 Lôgômét từ điện (*Permanent Magnet Moving Coil*).

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

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

- **Phần động:** gồm: khung dây quay 5 được quấn bằng dây đồng. Khung dây được gắn vào trục quay

(hoặc dây căng, dây treo). Trên trục quay có hai lò xo cân 7 mắc ngược nhau, kim chỉ thị 2 và thang đo 8.



Hình 1.3 Cơ cấu chỉ thị từ

b) Nguyên lý làm việc chung:

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

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

với B: độ từ cảm của nam châm vĩnh cửu

S: tiết diện khung dây

W: số vòng dây của khung dây

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

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

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

c) Các đặc tính chung:

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

- Chỉ đo được dòng điện một chiều.

- Đặc tính của thang đo đều.

- Độ nhạy $S_I = \frac{1}{D}.B.S.W$ là hằng số

- **Ưu điểm:** độ chính xác cao; ảnh hưởng của từ trường ngoài không đáng kể (do từ trường là do nam châm vĩnh cửu sinh ra); công suất tiêu thụ nhỏ nên ảnh hưởng không đáng kể đến chế độ của mạch đo; độ cản dẫu tốt; thang đo đều (do góc quay tuyến tính theo dòng điện).
- **Nhược điểm:** chế tạo phức tạp; chịu quá tải kém (do cuộn dây của khung quay nhỏ); độ chính xác của phép đo bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ, chỉ đo dòng một chiều.
- **ứng dụng:** cơ cấu chỉ thị từ điện dùng để chế tạo ampemét vônmet, ômmét nhiều thang đo và có dải đo rộng; độ chính xác cao (cấp 0,1 # 0,5).
- + Chế tạo các loại ampemét, vônmet, ômmét nhiều thang đo, dải đo rộng.
- + Chế tạo các loại điện kế có độ nhạy cao có thể đo được: dòng đến 10-12A, áp đến 10 - 4V, đo điện lượng, phát hiện sự lệch điểm không trong mạch cần đo hay trong điện thế kế.
- + Sử dụng trong các mạch dao động ký ánh sáng để quan sát và ghi lại các giá trị tức thời của dòng áp, công suất tần số có thể đến 15kHz; được sử dụng để chế tạo các đầu rung.
- + Làm chỉ thị trong các mạch đo các đại lượng không điện khác nhau.
- + Chế tạo các dụng cụ đo điện tử tương tự: vônmet điện tử, tần số kế điện tử, pha kế điện tử...
- + Dùng với các bộ biến đổi khác như chỉnh lưu, cảm biến cặp nhiệt để có thể đo được dòng, áp xoay chiều.

1.2.1.2 Lôgômét từ điện

a. Cấu tạo

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

b. Nguyên lý làm việc:

Trong khe hở của từ trường của nam châm vĩnh cửu đặt phần động gồm hai khung quay đặt lệch nhau góc α .

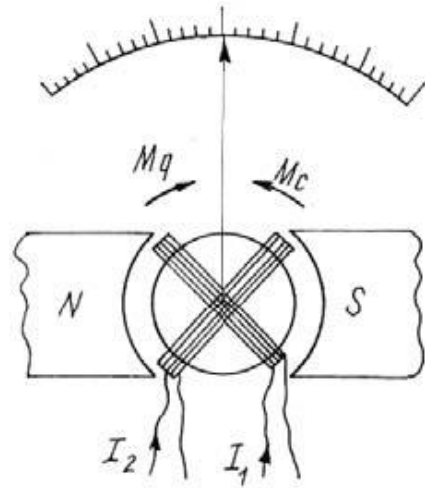
Hai khung dây gắn vào một trục chung. Dòng điện I_1 và I_2 đưa vào các khung dây bằng các dây dẫn không mômen.

- Dòng I_1 sinh ra mômen quay M_q :

$$M_q = I_1 \cdot \frac{d\phi_1}{d\alpha}$$

- Dòng I_2 sinh ra mômen cản M_c :

$$M = I_2 \cdot \frac{d\phi_2}{d\alpha}$$



Hình 1.4 Lôgômét từ điện

Dấu của M_q và M_c ngược nhau. Các giá trị cực đại của các mômen lệch nhau góc α , ở trạng thái cân bằng có:

$$M_q = M_c \Leftrightarrow I_1 \cdot \frac{d\phi_1}{d\alpha} = I_2 \cdot \frac{d\phi_2}{d\alpha} \Leftrightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{d\phi_2}{d\alpha}}{\frac{d\phi_1}{d\alpha}} = \frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)} = f(\alpha)$$

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

Từ biểu thức trên có: $\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$

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

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

1.2.2 Cơ cấu đo điện từ

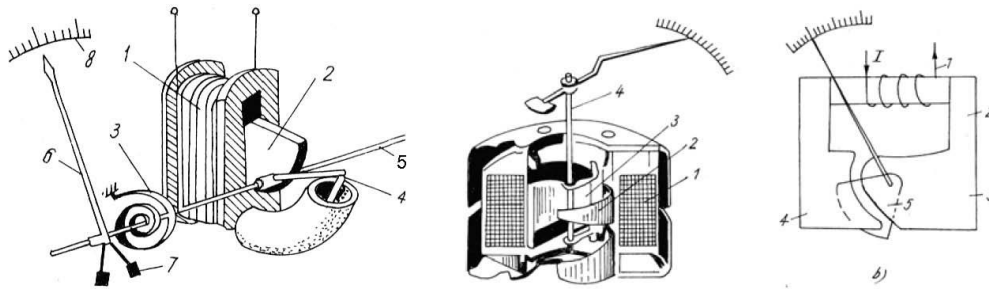
* Lôgômét điện từ.

a) **Cấu tạo chung:**

gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

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

- *Phần động*: là lõi thép 2 được gắn lên trục quay 5, lõi thép có thể quay tự do trong khe làm việc của cuộn dây. Trên trục quay có gắn: bộ phận cản dũa không khí 4, kim chỉ 6, đối trọng 7. Ngoài ra còn có lò xo cản 3, bảng khắc độ 8.



Hình 1.5 Cấu tạo chung của cơ cấu chỉ thị điện từ.

b) Nguyên lý làm việc:

Dòng điện I chạy vào cuộn dây 1 (phần tĩnh) tạo thành một nam châm điện hút lõi thép 2 (phần động) vào khe hở không khí với mômen quay:

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

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

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

Tại vị trí cân bằng có:

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

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

c) Các đặc tính chung:

- Góc quay α tỉ lệ với bình phương của dòng điện, tức là không phụ thuộc vào chiều của dòng điện nên có thể đo trong cả mạch xoay chiều hoặc một chiều.
- Thang đo không đều, có đặc tính phụ thuộc vào tỉ số $dL/d\alpha$ là một đại lượng phi tuyến.
- Cản dũa thường bằng không khí hoặc cảm ứng.
- *Ưu điểm*: cấu tạo đơn giản, tin cậy, chịu được quá tải lớn.
- *Nhược điểm*: độ chính xác không cao nhất là khi đo ở mạch một chiều sẽ bị sai

số (do hiện tượng từ trễ, từ dư...); độ nhạy thấp; bị ảnh hưởng của từ trường ngoài (do từ trường của cơ cấu yếu khi dòng nhỏ).

d) ứng dụng:

Thường được sử dụng để chế tạo các loại ampe-mét, vôn-mét trong mạch xoay chiều tần số công nghiệp với độ chính xác cấp 1#2. ít dùng trong các mạch có tần số cao.

1.2.3 Cơ cấu đo điện động.

* Lôgô-mét điện động.

a) Cấu tạo chung:

như hình 1.6: gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

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

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

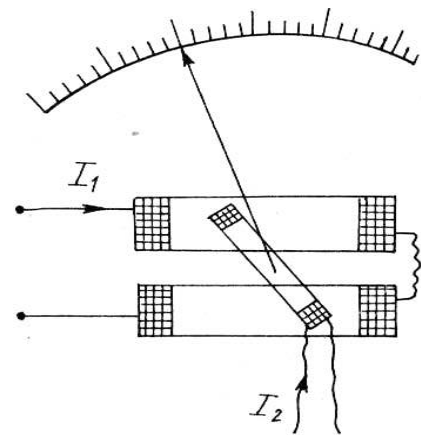
Cả phần động và phần tĩnh được bọc kín bằng màn chắn để ngăn chặn ảnh hưởng của từ trường ngoài.

b) Nguyên lý làm việc chung:

Khi có dòng điện I_1 chạy vào cuộn dây I_1 (phần tĩnh) làm xuất hiện từ trường trong lòng cuộn dây. Từ trường này tác động lên dòng điện I_2 chạy trong khung dây 2 (phần động) tạo nên mômen quay làm khung dây 2 quay một góc α .

Mômen quay được tính:
$$Mq = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

với: W_e là năng lượng điện từ trường. Có hai trường hợp xảy ra:



Hình 1.6 Cơ cấu chỉ thị động

- I_1, I_2 là dòng điện một chiều: $\alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2$

với: M_{12} là hồ cảm giữa cuộn dây tĩnh và động.

- I_1 và I_2 là dòng điện xoay chiều: $\alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos\psi$

với: Ψ là góc lệch pha giữa I_1 và I_2 .

c) Các đặc tính chung:

- Có thể dùng trong cả mạch điện một chiều và xoay chiều.
- Góc quay α phụ thuộc tích ($I_1 \cdot I_2$) nên thang đo không đều
- Trong mạch điện xoay chiều α phụ thuộc góc lệch pha Ψ giữa hai dòng điện nên có thể ứng dụng làm Oátmét đo công suất.
- *Ưu điểm cơ bản*: có độ chính xác cao khi đo trong mạch điện xoay chiều.
- *Nhược điểm*: công suất tiêu thụ lớn nên không thích hợp trong mạch công suất nhỏ. Chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, muốn làm việc tốt phải có bộ phận chắn từ. Độ nhạy thấp vì mạch từ yếu.

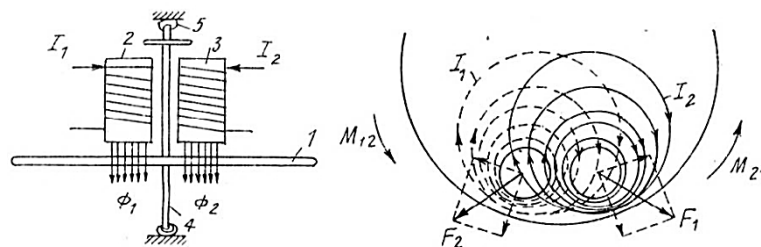
d) ứng dụng:

Chế tạo các ampe mét, vôn mét, oát mét một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp; các pha kế để đo góc lệch pha hay hệ số công suất $\cos\Psi$.

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

1.2.4. Cơ cấu đo cảm ứng.

a) Cấu tạo chung:



Hình 1.7 Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

Như hình 1.7: gồm phần tĩnh và phần động.

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

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

b) Nguyên lý làm việc chung:

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

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

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

Mômen quay được tính: $M_q = C \cdot f \cdot \phi_1 \phi_2 \sin \varphi$

với: C là hằng số

f là tần số của dòng điện I_1, I_2

φ là góc lệch pha giữa I_1, I_2

c) Các đặc tính chung:

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

d) ứng dụng: chủ yếu để chế tạo công tơ đo năng lượng; có thể đo tần số...

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

Bảng A. Bảng tổng kết các loại cơ cấu chỉ thị cơ điện

1.3 Đo các đại lượng điện

1.3.1 Đo dòng điện.

** Khái niệm chung*

Dụng cụ được sử dụng để đo dòng điện gọi là ampe kế hay ampemet

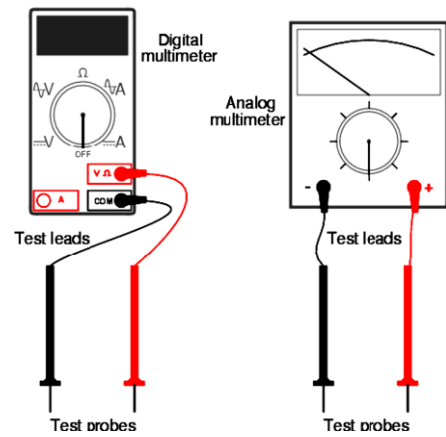
Ký hiệu là: A

Ampe kế có nhiều loại khác nhau, nếu chia theo kết cấu ta có:

- + Ampe kế từ điện
- + Ampe kế điện từ
- + Ampe kế điện động
- + Ampe kế nhiệt điện
- + Ampe kế bán dẫn

Nếu chia theo loại chỉ thị ta có:

- + Ampe kế chỉ thị số (Digital)
- + Ampe kế chỉ thị kim (kiểu tương tự /Analog)



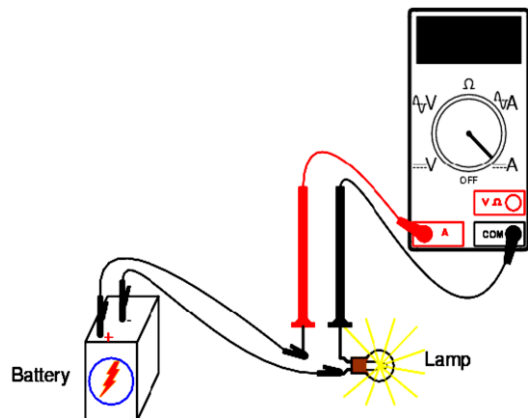
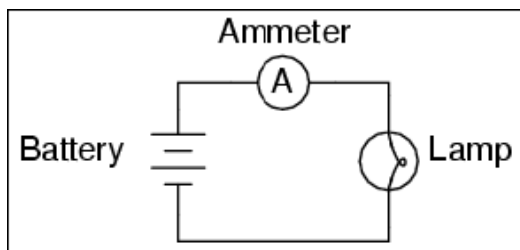
Hình 1.8 Đồng hồ số và kim

Hình bên là hai loại đồng hồ vạn năng số và kim. Nếu chia theo tính chất của đại lượng đo, ta có:

- + Ampe kế một chiều
- + Ampe kế xoay chiều

** Yêu cầu đối với dụng cụ đo dòng điện là:*

- Công suất tiêu thụ càng nhỏ càng tốt, điện trở của ampe kế càng nhỏ càng tốt và lý tưởng là bằng 0.
- Làm việc trong một dải tần cho trước để đảm bảo cấp chính xác của dụng cụ đo
- Mắc ampe kế để đo dòng phải mắc nối tiếp với dòng cần đo (hình dưới)



Hình 1.9 Dùng đồng hồ số đo dòng điện

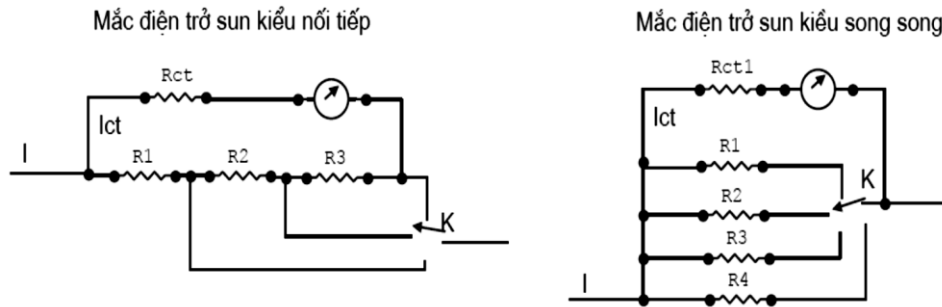
a. Ampe kế một chiều:

Ampe kế một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Như đã biết, độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quấn bằng dây có tiết diện bé

nên khả năng chịu dòng rất kém. Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng 10 - 4 đến 10-2 A; điện trở của cuộn dây từ 20Ω đến 2000Ω với cấp chính xác 1,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05.

Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị có giá trị như sau:

$$R_s = \frac{R_{CT}}{n-1} \text{ với } n = \frac{I}{I_{CT}} \text{ gọi là hệ số mở rộng thang đo của ampe kế}$$



Hình 1.10 Mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị

I là dòng cần đo và I_{CT} là dòng cực đại mà cơ cấu chịu đựng được (độ lệch cực đại của thang đo)

Chú ý: Khi đo dòng nhỏ hơn 30A thì điện trở sun nằm ngay trong vỏ của ampe kế còn khi đo dòng lớn hơn thì điện trở sun như một phụ kiện kèm theo. Khi ampe kế có nhiều thang đo người ta mắc sun như sau:

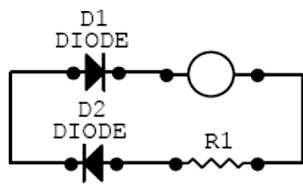
Việc tính điện trở sun ứng với dòng cần đo được xác định theo công thức như trên nhưng với n khác nhau.

b. Ampemet xoay chiều

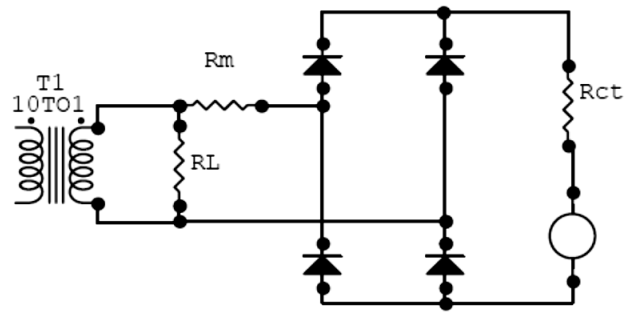
Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng ampemet từ điện chỉnh lưu, ampemet điện từ, và ampemet điện động.

**** Ampemet chỉnh lưu***

Là dụng cụ đo dòng điện xoay chiều kết hợp giữa cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diode.



Chỉnh lưu nửa chu kỳ



Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ

Hình 1.11 cầu chỉnh lưu

Biến áp sử dụng là loại biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là W_1 và W_2 . Khi đó tỉ số dòng thứ cấp trên dòng sơ cấp được tính bằng:

Kim chỉ thị dừng ở vị trí chỉ dòng trung bình qua cuộn dây động. R_L được chọn để gánh phần dòng dư thừa giữa I_{2tb} và I_{ct}

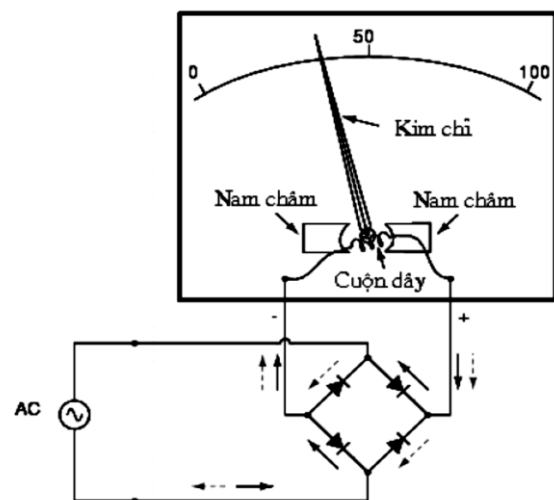
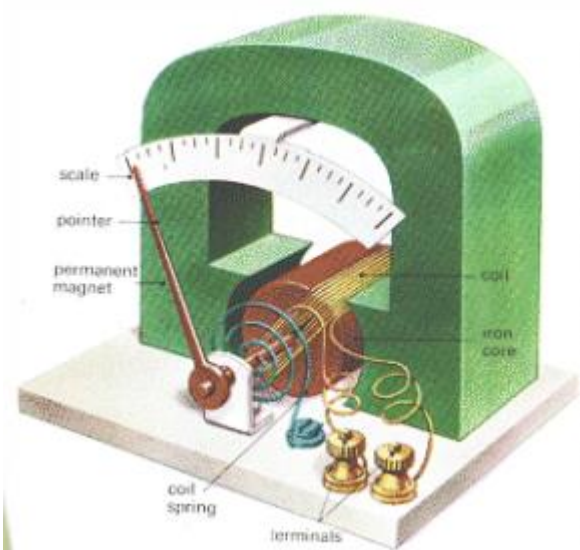
Mối quan hệ giữa dòng đỉnh I_p , dòng trung bình I_{trb} và dòng trung bình bình phương I_{rms} của sơ đồ mạch chỉnh lưu cầu như sau:

$$I_{tb} = 0,637.I_p$$

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 0.707.I_p$$

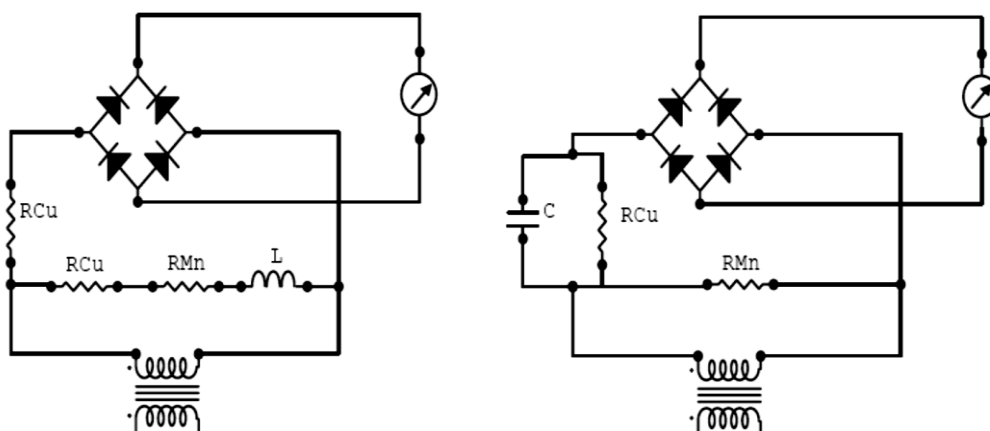
$$I_{rms} = 1,11..I_{tb}$$

Chú ý: Giá trị dòng mà kim chỉ thị dừng là giá trị dòng trung bình nhưng thang khắc độ thường theo giá trị rms.



Hình 1.12a : Ampemet chỉnh lưu

Chú ý: Nói chung các ampe kế chỉnh lưu có độ chính xác không cao (từ 1 tới 1,5) do hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ và thay đổi theo tần số. Có thể sử dụng sơ đồ bù sai số đo nhiệt và đo tần số cho ampe kế chỉnh lưu như sau:

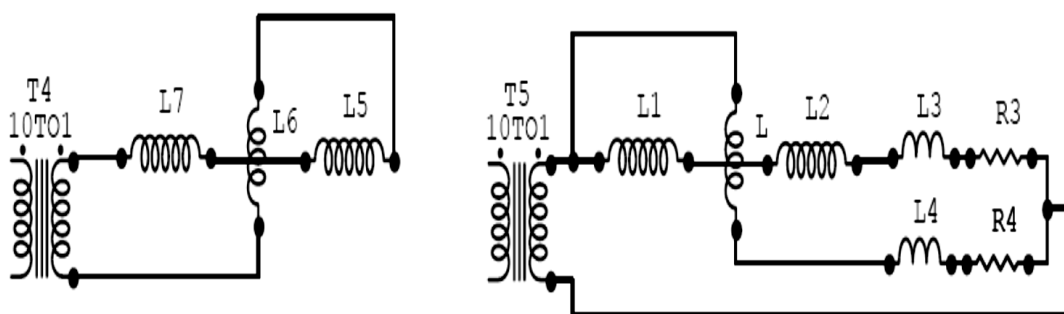


Hình 1.12b: Ampe kế chỉnh lưu

** Ampemet điện động*

Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 0,2).

Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song như (hình sau).



Hình 1.12c: Ampemet điện động

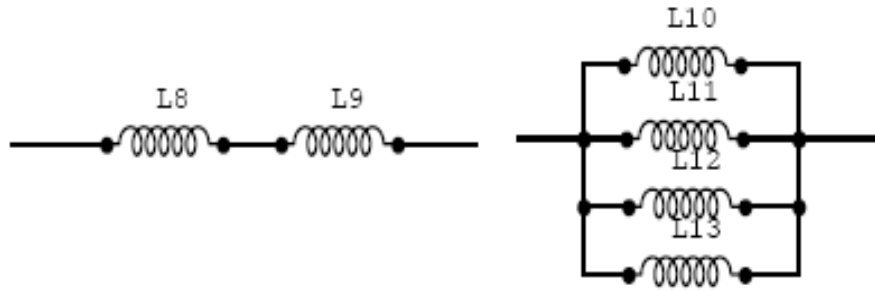
Trong đó các điện trở và cuộn dây (L_3, R_3), (L_4, R_4) là để bù sai số do nhiệt (thường làm bằng manganin hoặc constantan) và sai số do tần số (để dòng qua hai cuộn tĩnh và cuộn động trùng pha nhau).

Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với I_2 nên máy đo chỉ giá trị rms. Giá trị rms của dòng xoay chiều có tác dụng như trị số dòng một chiều

tương đương nên có thể đọc thang đo của dụng cụ như dòng một chiều hoặc xoay chiều rms.

** Ampemet điện từ*

Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng xác định ($I.W$ là một hằng số)
 Khi đo dòng có giá trị nhỏ người ta mắc các cuộn dây nối tiếp và khi đo dòng lớn người ta mắc các cuộn dây song song.



Hình 1.12d: Ampemet điện từ

** Ampemet nhiệt điện*

Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện. Cặp nhiệt điện (hay còn gọi là cặp nhiệt ngẫu) gồm 2 thanh kim loại khác loại được hàn với nhau tại một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ t_1), hai đầu kia nối với milivonkế gọi là đầu tự do (nhiệt độ t_0).

Khi nhiệt độ đầu làm việc t_1 khác nhiệt độ đầu tự do t_0 thì cặp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

$$E_t = k_1 \cdot \theta^0$$

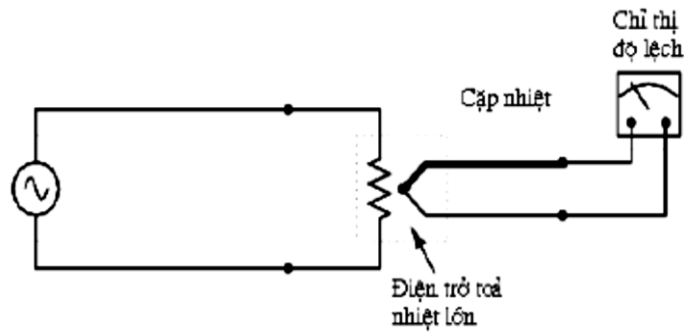
$$\theta^0 = t_1 - t_0$$

Khi dùng dòng I_x để đốt nóng đầu t_1 thì:

$$\theta^0 = k_2 \cdot I_x^2$$

$$\Rightarrow E_t = k_1 \cdot k_2 I_x^2 = k_x^2$$

Như vậy kết quả hiển thị trên milivon kế tỉ lệ với dòng cần đo



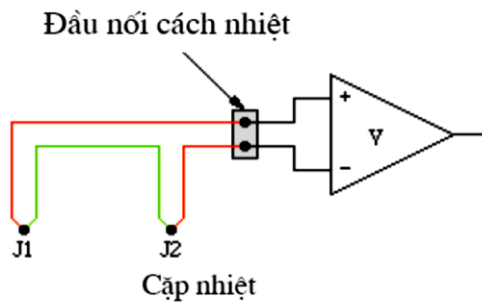
Hình 1.12e: Ampemet nhiệt điện

Vật liệu để chế tạo cặp nhiệt điện có thể là sắt – constantan; đồng – constantan; crom - alumen và platin - rodi

Ampemet nhiệt điện có sai lớn do tiêu hao công suất, khả năng chịu quá tải kém nhưng có thể đo ở dải tần rất rộng từ một chiều tới hàng MHz.

Thông thường để tăng độ nhạy của cặp nhiệt, người ta sử dụng một bộ khuếch đại áp như sơ đồ dưới đây:

J1, J2 là 2 đầu đo nhiệt



Hình 1.12f đầu đo nhiệt

Chú ý: Để đo giá trị điện áp của nguồn xoay chiều người ta cũng làm như trên vì khi đó nhiệt độ đo được tỉ lệ với dòng qua điện trở nhiệt mà dòng này lại tỉ lệ với áp trên hai đầu điện trở, do vậy cũng xác định được giá trị của điện áp thông qua giá trị nhiệt độ. Đây chính là nguyên tắc để chế tạo Vôn kế nhiệt điện.

c. Phương pháp đo dòng điện

- Đo dòng điện trực tiếp: