

CHƯƠNG 5.

CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ (6 LT)

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

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

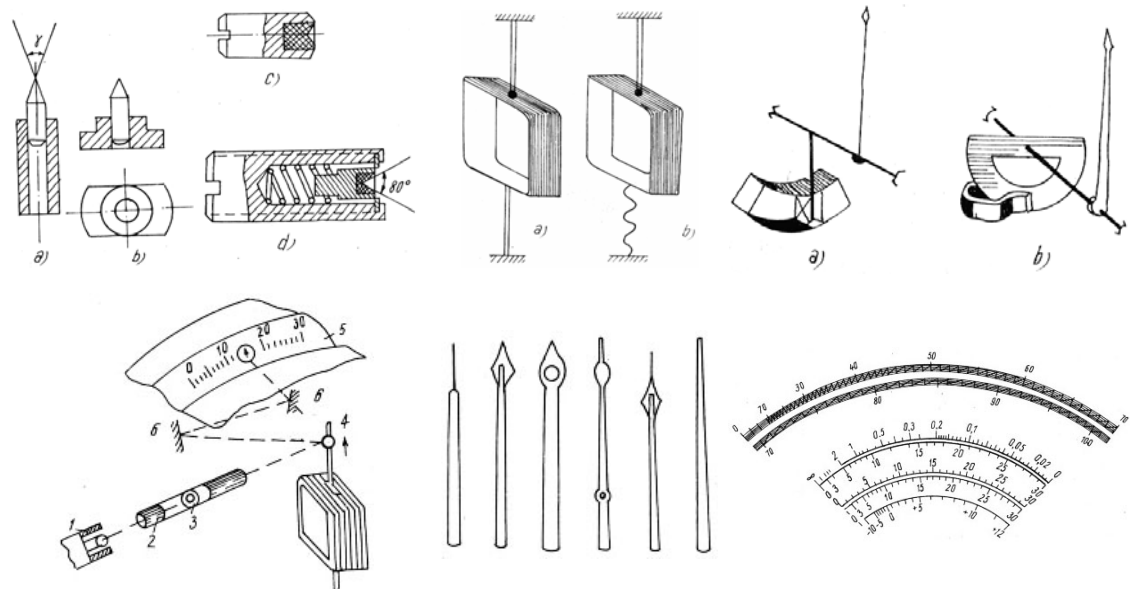
$$\alpha = f(X)$$

với X là đại lượng điện.

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

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

a) Cấu tạo chung:



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

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

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

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

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

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

trong đó: W_e : năng lượng điện từ trường

α : góc lệch của phần động

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

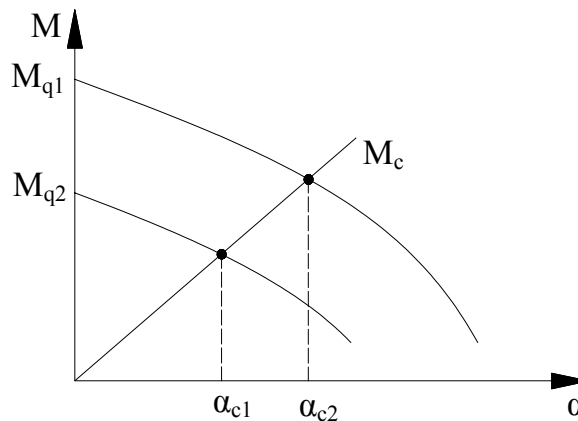
$$M_c = D\alpha$$

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

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

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

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



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

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

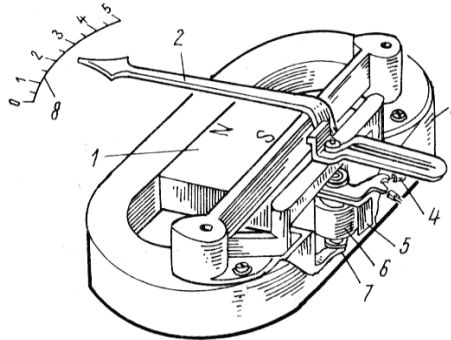
Ngoài hai mômen cơ bản trên trong thực tế phần động của cơ cấu chỉ thị cơ điện còn chịu tác dụng của nhiều mômen khác: mômen ổn định, mômen ma sát, mômen cản dọi, mômen động lượng... với các tính chất và tác dụng khác nhau.

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

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

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

- **Phần tĩnh:** gồm: nam châm vĩnh cửu 1; mạch từ và cực từ 3 và lõi sắt 6 hình thành mạch từ kín. Giữa cực từ 3 và lõi sắt 6 có 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 5.3. Cơ cấu chỉ thị từ điện.

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

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

với B: độ từ cảm của nam châm vĩnh cửu
 S: tiết diện khung dây
 W: số vòng dây của khung dây

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

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

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

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

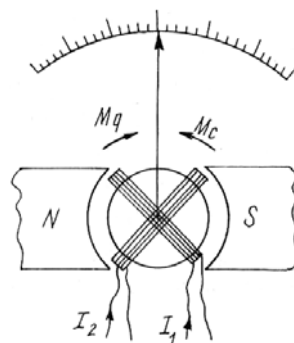
- Chỉ đo được dòng điện một chiều.
- Đặc tính của thang đo đều.
- Độ nhạy $S_I = \frac{1}{D}.B.S.W$ là hằng số.
- **Ưu điểm:** độ chính xác cao; ảnh hưởng của từ trường ngoài không đáng kể (do từ trường là do nam châm vĩnh cửu sinh ra); công suất tiêu thụ nhỏ nên ảnh hưởng không đáng kể đến chế độ của mạch đo; độ cản dịu tốt; thang đo đều (do góc quay tuyến tính theo dòng điện).
- **Nhược điểm:** chế tạo phức tạp; chịu quá tải kém (do cuộn dây của khung quay nhỏ); độ chính xác của phép đo bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ, chỉ đo dòng một chiều.
- **Ứng dụng:** cơ cấu chỉ thị từ điện dùng để chế tạo ampe mét vôn mét, ôm mét

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

- Chế tạo các loại ampemét, vônmet, ômmét nhiều thang đo, dải đo rộng.
- Chế tạo các loại điện kế có độ nhạy cao có thể đo được: dòng đến $10^{-12}A$, áp đến $10^{-4}V$, đo điện lượng, phát hiện sự lệch điểm không trong mạch cần đo hay trong điện thế kế.
- Sử dụng trong các mạch dao động 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.

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

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



Hình 5.4. Lôgômét từ điện

- 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 : $M_c = I_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{d\alpha}$

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

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

Ở trạng thái cân bằng có:

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

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

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

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.

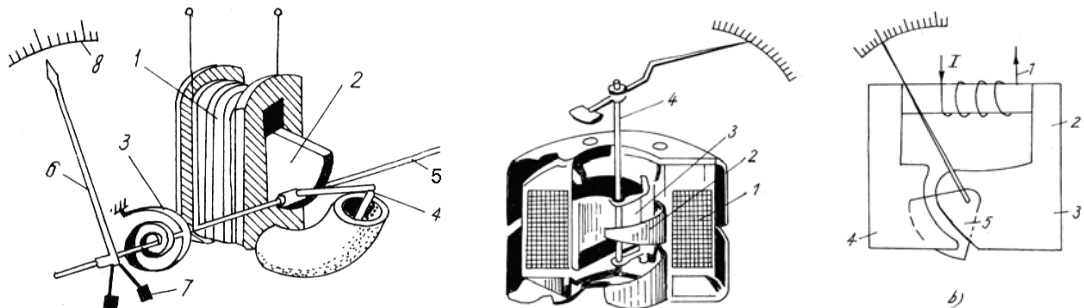
Ứng dụng: lôgômét từ điện được ứng dụng để đo điện trở, tần số và các đại lượng không điện.

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

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

- **Phần tĩnh:** là cuộn dây 1 bên trong có khe hở không khí (khe hở làm việc).
- **Phần động:** là lõi thép 2 được gắn lên trục quay 5, lõi thép có thể quay tự do trong khe làm việc của cuộn dây. Trên trục quay có gắn: bộ phận cản dũa không khí 4, kim chỉ 6, đôi trọng 7.

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



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

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

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

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

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

Tại vị trí cân bằng có:

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

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

c) Các đặc tính chung:

- Góc quay α tỉ lệ với bình phương của dòng điện, tức là không phụ thuộc vào chiều của dòng điện nên có thể đo trong cả mạch xoay chiều hoặc một chiều.
- Thang đo không đều, có đặc tính phụ thuộc vào tỉ số $dL/d\alpha$ là một đại lượng phi tuyến.
- 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).

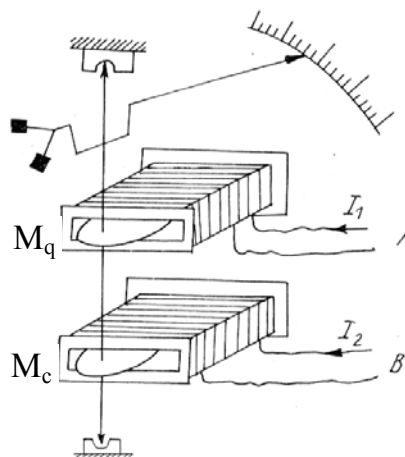
d) Ứng dụng: thường được sử dụng để chế tạo các loại ampe-mét, vôn-mét trong mạch xoay chiều tần số công nghiệp với độ chính xác cấp 1÷2. Ít dùng trong các mạch có tần số cao.

e) Lô-gô-mét điện từ:

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

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

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



Hình 5.6. Cấu tạo của cơ cấu lô-gô-mét điện từ.

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

5.1.4. Cơ cấu chỉ thị điện động, lô-gô-mét điện động.

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

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

- **Phần động:** gồm một khung dây 2 đặt trong lòng cuộn dây tĩnh. Khung dây 2 được gắn với trục quay, trên trục có lò xo cản, 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 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 .

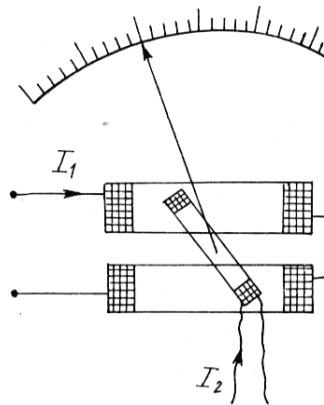
Mômen quay được tính:

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

với: W_e là năng lượng điện từ trường.

Có hai trường hợp xảy ra:

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



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

c) Các đặc tính chung:

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

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

e) Lôgômét điện động: có cấu tạo như hình 5.8: phần tĩnh giống lôgômét điện động, phần động mắc thêm một khung dây 2 gắn chặt với khung dây 1 chéo nhau một góc γ .

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

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

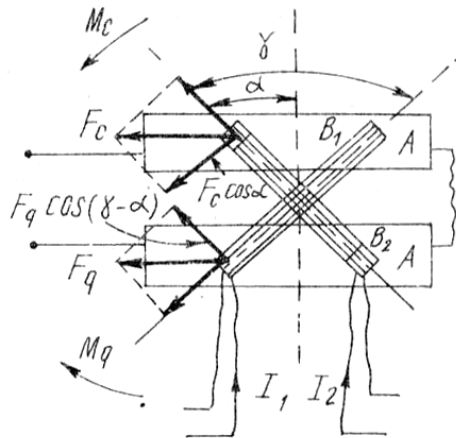
$$\alpha = F \left(\frac{I_1 \cdot \cos \psi_1}{I_2 \cdot \cos \psi_2} \right)$$

với: ψ_1 là góc lệch pha giữa I và I_1

ψ_2 là góc lệch pha giữa I và I_2

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

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

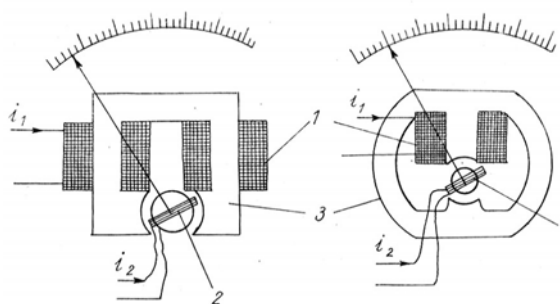


Hình 5.8. Lôgômét điện động.

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

f) Cơ cấu chỉ thị sắt điện động:

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



Hình 5.9. Cơ cấu chỉ thị sắt điện động.

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

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

Góc quay α của phần động được tính:

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

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

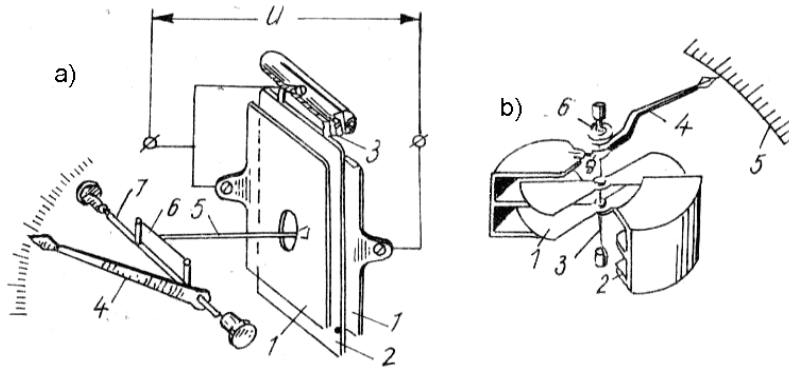
Ưu điểm: mômen quay lớn, ít bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.

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

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

5.1.5. Cơ cấu chỉ thị tĩnh điện.

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



Hình 5.10. Cơ cấu chỉ thị tĩnh điện.

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

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

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

với C là điện dung giữa các điện cực.

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

Mômen quay được tính:

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

Mômen cản:

$$M_c = D \cdot \alpha$$

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

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

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

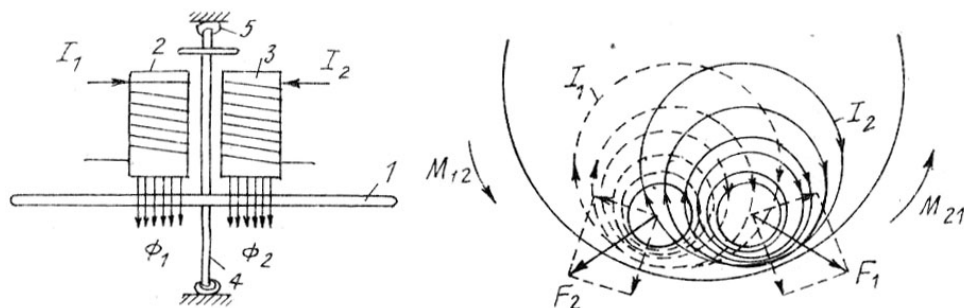
- Góc lệch α tỉ lệ với U^2 .
- Đặc tính của thang đo không đều và phụ thuộc vào tỉ số $dC/d\alpha$ là một đại lượng phi tuyến.
- **Ưu điểm:** điện trở vào lớn; điện dung vào thay đổi nhỏ; công suất tiêu thụ nhỏ; có khả năng sử dụng trong cả mạch xoay chiều và một chiều; dải tần rộng; số chỉ không phụ thuộc hình dáng đường cong tín hiệu đo.
- **Nhược điểm:** đặc tính thang đo không đều; độ nhạy thấp do điện trường yếu; độ chính xác không cao; có thể bị đánh thủng giữa các điện cực gây ngắn mạch vì thế cần có màn bảo vệ.

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

5.1.6. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng.

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

- **Phần tĩnh:** các cuộn dây điện 2,3 có cấu tạo để khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ sinh ra từ trường 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.



Hình 5.11. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng.

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

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

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

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

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

c) Các đặc tính chung:

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

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

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

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

5.2. Cơ cấu chỉ thị tự ghi.

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

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

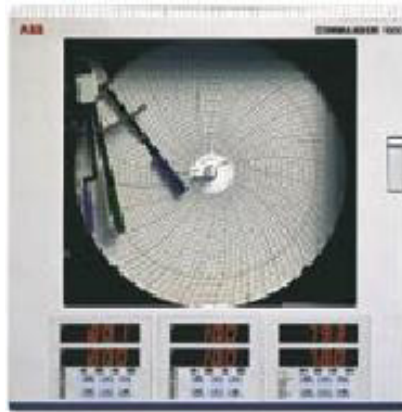
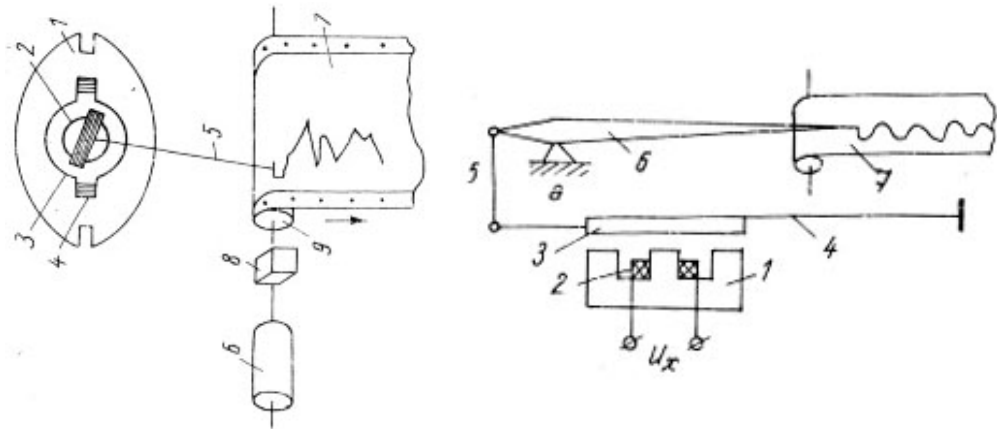
b) Cấu tạo chung: như hình 5.12: thường gồm hai phần:

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

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

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

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



Hình 5.12. Cơ cấu chỉ thị tự ghi.

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

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

- $y = \alpha = f(i)$: biến thiên của góc lệch α theo dòng điện tức thời: thường được thực hiện bởi các cơ cấu chỉ thị cơ điện.
- $x = K(t)$: biến thiên của đại lượng đo theo thời gian, được thực hiện bởi cơ cấu đồng hồ.

d) Phân loại:

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

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

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

- Nâng cao tốc độ ghi: phụ thuộc nhiều vào thiết bị ghi, yêu cầu phải có mômen quay đủ lớn (để thắng lực ma sát của bút ghi tì lên băng giấy).
- Có cách ghi vừa đơn giản, nhanh và đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu.

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

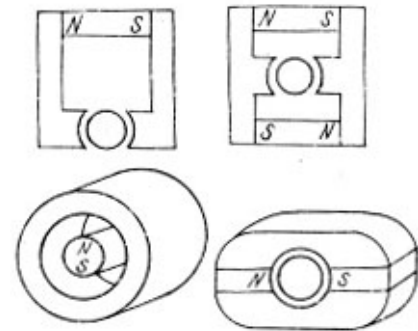
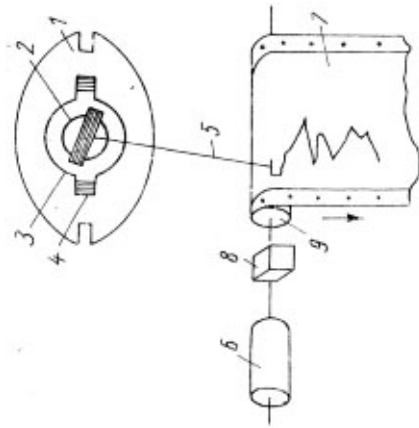
a) **Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** sử dụng cơ cấu sắt điện động hoặc cơ cấu điện từ có nam châm vĩnh cửu có kích thước lớn và có vòng từ khép kín (để có thể tạo mômen quay lớn). Có bút ghi vạch lên băng giấy chuyển động với tốc độ đều.

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

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

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

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



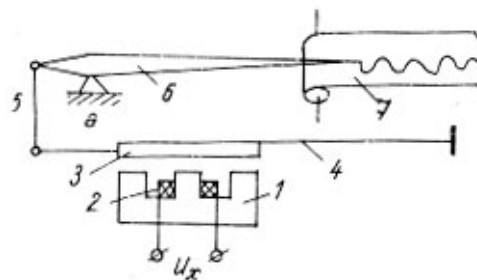
Hình 5.13a. Cơ cấu chỉ thị tự ghi sử dụng cơ cấu sắt điện động. Hình 5.13b. Các dạng mạch từ của cơ cấu từ điện dùng trong dụng cụ tự ghi.

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

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

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

Cấu tạo: như hình 5.14a, gồm:



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

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

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

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

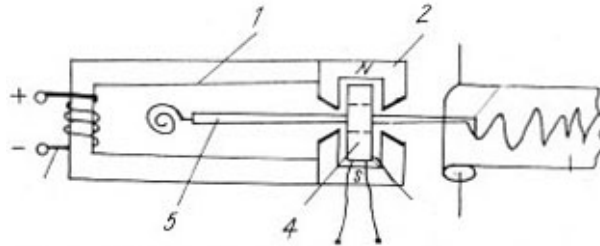
3, ở trạng thái cân bằng lực hút này cân bằng với lực đàn hồi của lá mỏng 4, sự dao động của dòng cần đo sẽ được vẽ trên băng giấy.

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

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

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

Cấu tạo: như hình 5.14b, gồm:



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

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

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

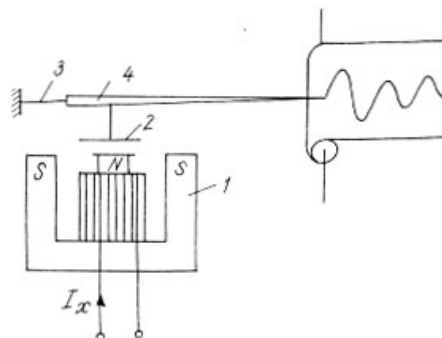
Nguyên lý hoạt động: dòng điện cần đo đi vào cuộn dây 4 tác động tương hỗ với từ trường trong khe hở sinh ra mômen làm quay phần động mang kim chỉ thị vạch lên băng giấy ghi lại giá trị tức thời của đại lượng đo, đồng thời băng giấy được cơ cấu đồng hồ quay quanh rulô ghi lại sự biến thiên theo thời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

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

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

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

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



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

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

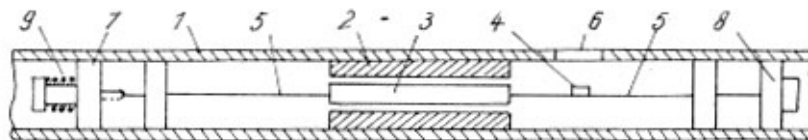
lực này cân bằng với lực đàn hồi của tấm đàn hồi 3.

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

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

b) Dao động kí ánh sáng:

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



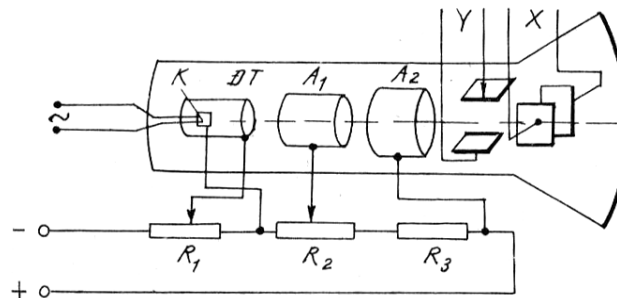
Hình 5.16. Điện kế từ điện chỉ thị ánh sáng.

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

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

c) Cơ cấu chỉ thị điện tử:

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



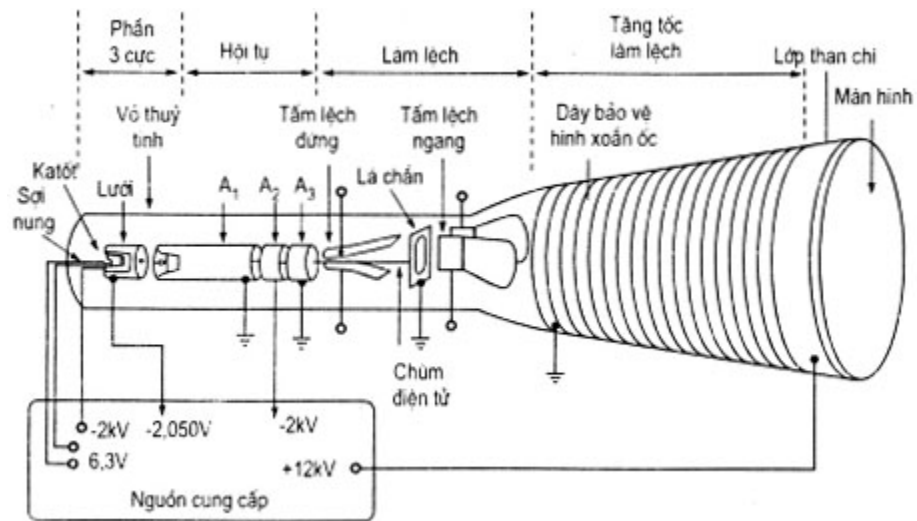
Hình 5.17a. Sơ đồ khối ống phóng tia điện tử

Bộ phận chính là súng phóng điện tử được đặt trong một ống phóng bằng thủy tinh đã hút khí tạo chân không, gồm: catốt K, cực điều khiển tia điện tử DT, annốt A_1 và A_2 , bản cực điều chỉnh lệch phương thẳng đứng Y, cặp bản cực điều chỉnh lệch phương ngang X, các điện trở điều chỉnh R_1 và R_2 , màn hình phủ huỳnh quang.

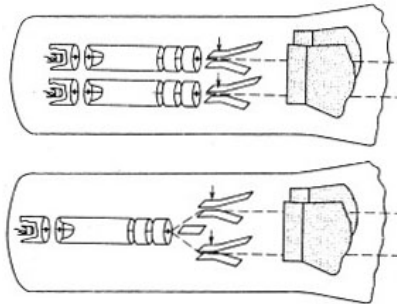
Nguyên lý hoạt động: điện tử sinh ra từ cực catốt K hội tụ tại cực điều khiển tia điện tử DT ($U_{DT} < U_K$ nên chùm tia điện tử hội tụ) sau đó được tăng tốc bởi điện trường của annốt A_1 , A_2 bay về phía cặp bản cực điều chỉnh lệch phương thẳng đứng Y, cặp bản cực điều chỉnh lệch phương ngang X, bay đến đập vào màn hình (được phủ chất huỳnh quang) làm phát sáng màn hình tại những điểm có điện tử đập vào.

Các điện trở R_1 để điều chỉnh độ sáng, điện trở R_2 điều chỉnh tiêu cự của điểm sáng.

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



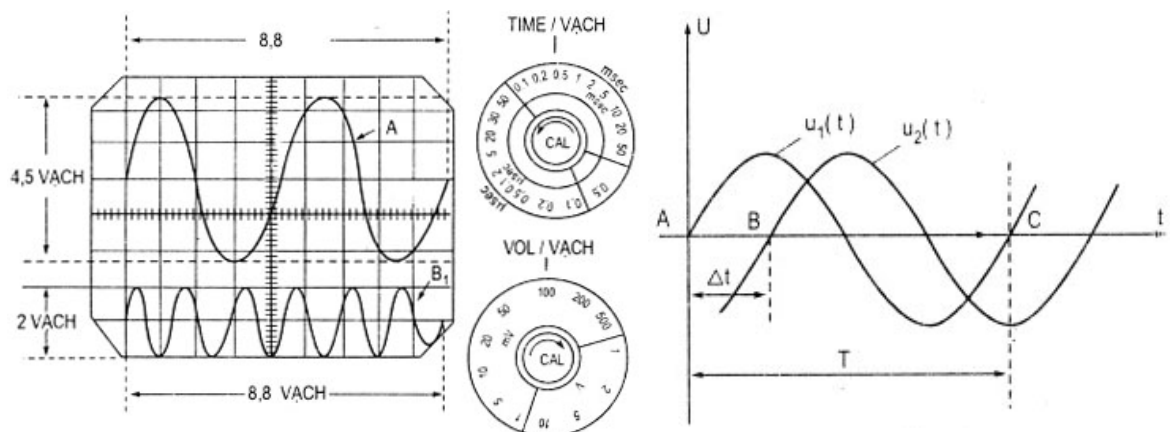
Hình 5.17b. Mô tả ống phóng tia điện tử.



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

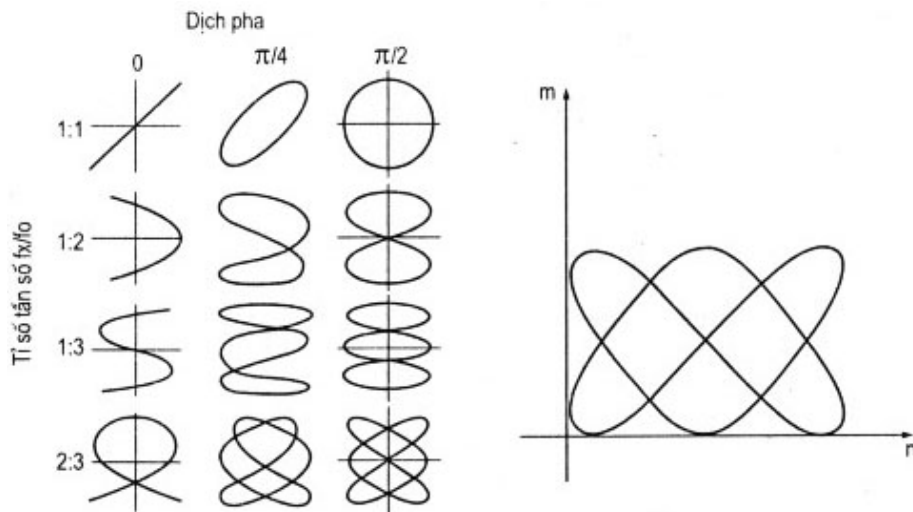
Ứng dụng: được sử dụng khi tần số tín hiệu cần đo rất cao (trên 800Hz) nhằm quan sát, nhớ và ghi lại tín hiệu cần đo, các dao động ký điện tử ngày nay có thể quan sát tín hiệu đến 10MHz. Dao động ký điện tử thường được ứng dụng để quan sát các loại tín hiệu khác nhau có dải tần rộng, ngoài ra có thể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

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

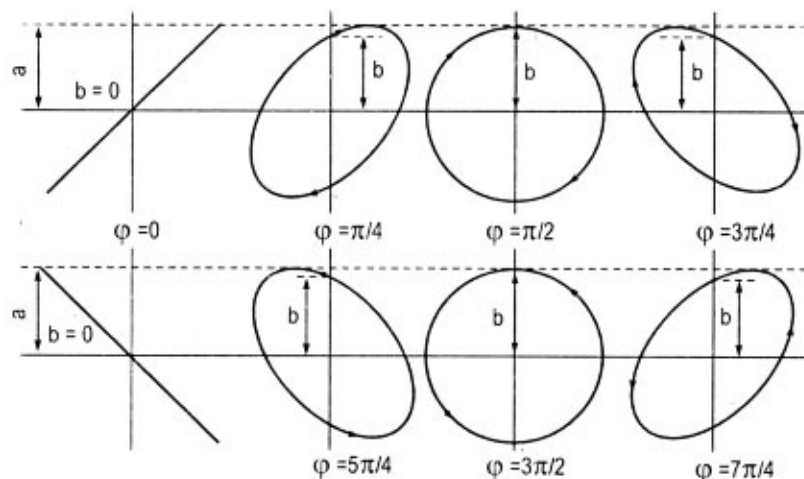


Hình 5.18a. Đo điện áp và tần số tín hiệu bằng dao động ký điện tử

Hình 5.18b. Đo góc lệch pha của hai tín hiệu bằng dao động ký điện tử



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

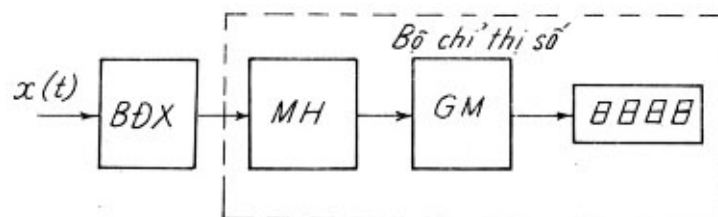


Hình 5.18d. Đo góc lệch pha bằng phương pháp so sánh dựa trên các dạng đường Lissajou sử dụng ĐĐKĐT.

5.3. Cơ cấu chỉ thị số.

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

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



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

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

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

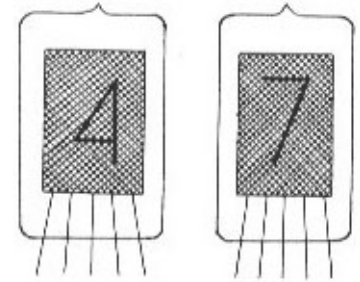
5.3.2. Thiết bị hiện số.

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

a) Cơ cấu chỉ thị số bằng đèn khí:

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

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



Hình 5.20. Thiết bị hiện số bằng đèn khí

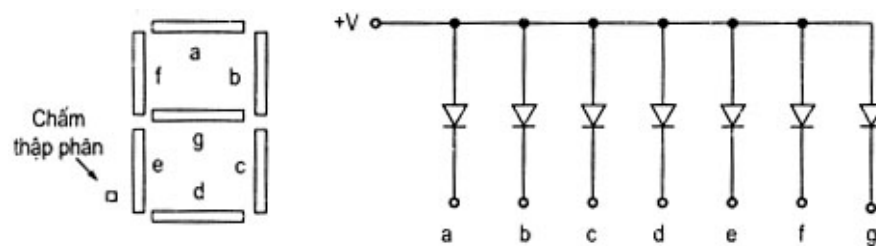
b) Cơ cấu chỉ thị bằng LED 7 thanh:

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

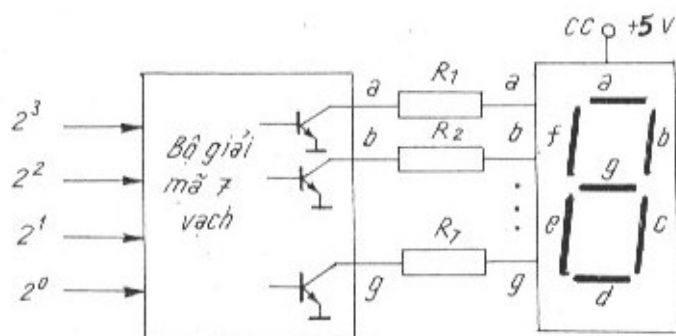
Về cấu tạo: gồm có bảy thanh hiển thị kí hiệu từ a-g được sắp xếp như hình 5.21a, mỗi thanh là một điốt phát quang (LED), tương ứng có các đầu ra để cấp tín hiệu cho từng điốt, các điốt có thể nối anốt chung hay catốt chung. Khi có tín hiệu cho phép điốt nào hoạt động thì điốt đó sẽ sáng, phối hợp sự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

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

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



a)

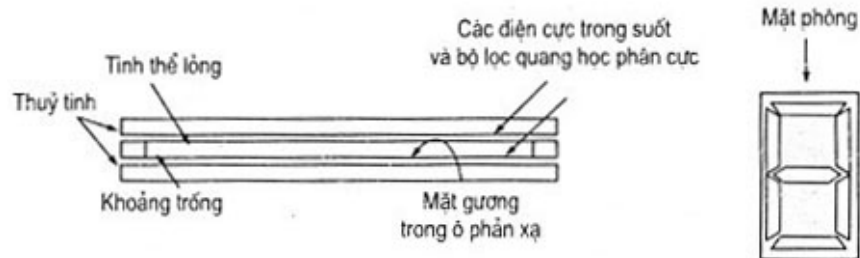


b)

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

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

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

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

Có cấu tạo như hình 5.22. Tinh thể lỏng là một trong các hợp chất hữu cơ có tính chất quang học. Chúng được đặt thành lớp giữa các tấm kính với các điện cực trong suốt kết hợp tựa ở mặt trong.

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

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