

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

VIỆN ĐIỆN



KĨ THUẬT ĐO LƯỜNG

Nguyễn Thị Huế

BM: Kĩ thuật đo và Tin học công nghiệp

Nội dung môn học

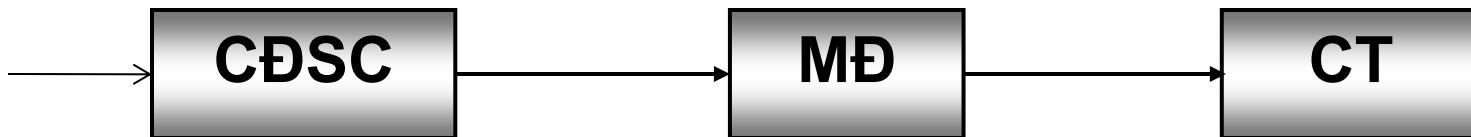
- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Phương tiện đo và phân loại
 - ❖ Chương 3: Các thông số kỹ thuật của thiết bị đo
- Phần 2: Các phần tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: Cơ cấu chỉ thị cơ điện, tự ghi và chỉ thị số
 - ❖ Chương 6: Mạch đo lường và gia công thông tin đo
 - ❖ Chương 7: Các chuyển đổi đo lường sơ cấp
- Phần 3: Đo lường các đại lượng điện
 - ❖ Chương 8: Đo dòng điện
 - ❖ Chương 9: Đo điện áp
 - ❖ Chương 10: Đo công suất và năng lượng
 - ❖ Chương 11: Đo góc lệch pha, khoảng thời gian và tần số
 - ❖ Chương 12: Đo thông số mạch điện
 - ❖ Chương 13: Dao động kí
- Phần 4: Đo lường các đại lượng không điện
 - ❖ Chương 14: Đo nhiệt độ
 - ❖ Chương 15: Đo lực
 - ❖ Chương 16: Đo các đại lượng không điện khác

Tài liệu tham khảo

- Sách:
 - ❖ Kĩ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hân, Nguyễn Trọng Quế....
 - ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Si Hồng
- Bài giảng và website:
 - ❖ Bài giảng kĩ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
 - ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong, Lê Q. Huy
 - ❖ Bài giảng MEMs ITIMS - BKHN
- Website: sciendirect.com/sensors and actuators A and B

Chương 4: Cấu trúc cơ bản và đặc tính của dụng cụ đo

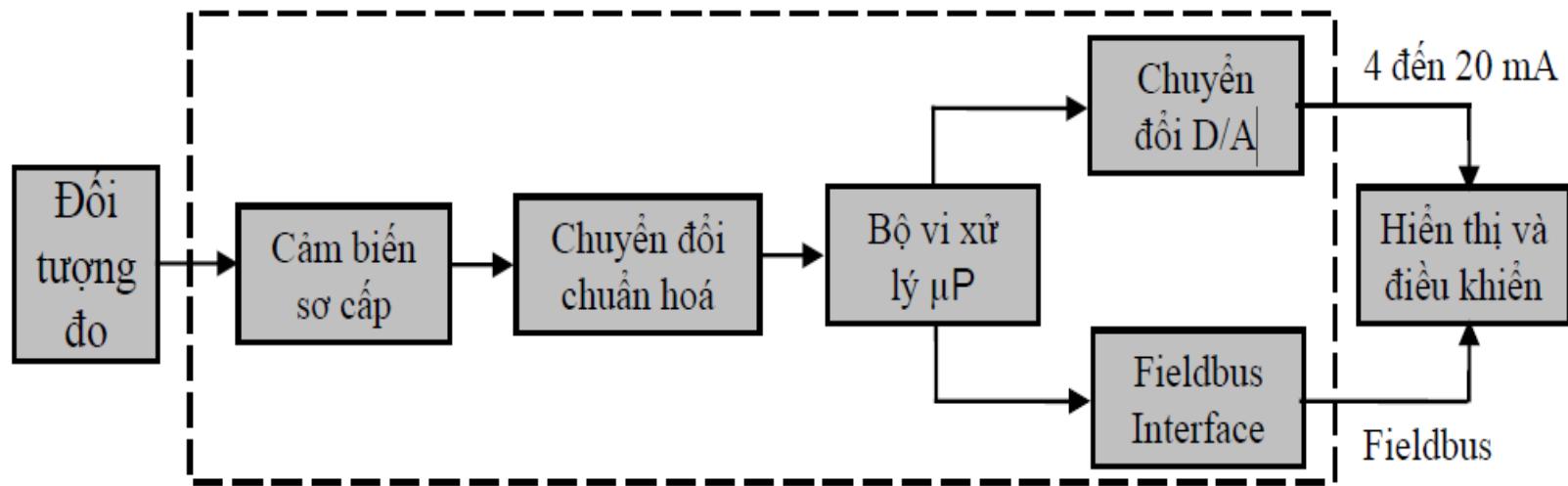
Sơ đồ khối của thiết bị đo:



- Sơ đồ khối của thiết bị đo:
- CĐSC - Chuyển đổi sơ cấp: làm nhiệm vụ biến đổi các đại lượng đo thành tín hiệu điện. Đây là khâu quan trọng nhất của thiết bị đo.
- MĐ - Mạch đo: là khâu gia công tính toán sau CĐSC, nó làm nhiệm vụ tính toán và thực hiện phép tính trên sơ đồ mạch. Đó có thể là mạch điện tử thông thường hoặc bộ vi xử lý để nâng cao đặc tính của dụng cụ đo
- CT - Cơ cấu chỉ thị: là khâu cuối cùng của dụng cụ đo để hiển thị kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị đo. Có 3 cách hiển thị kết quả đo

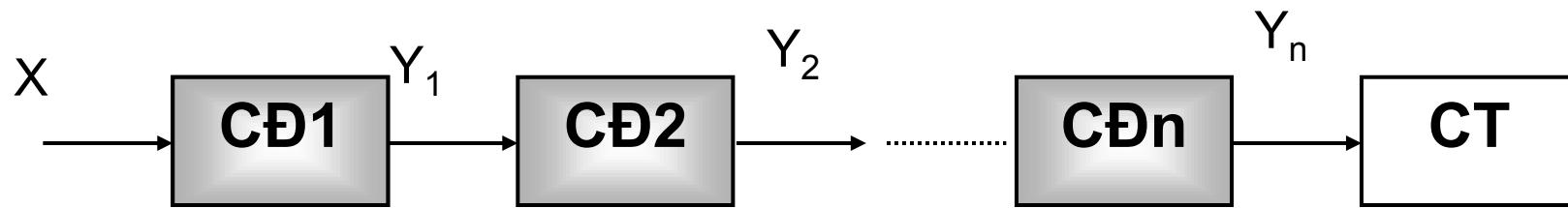
Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo

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



Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng

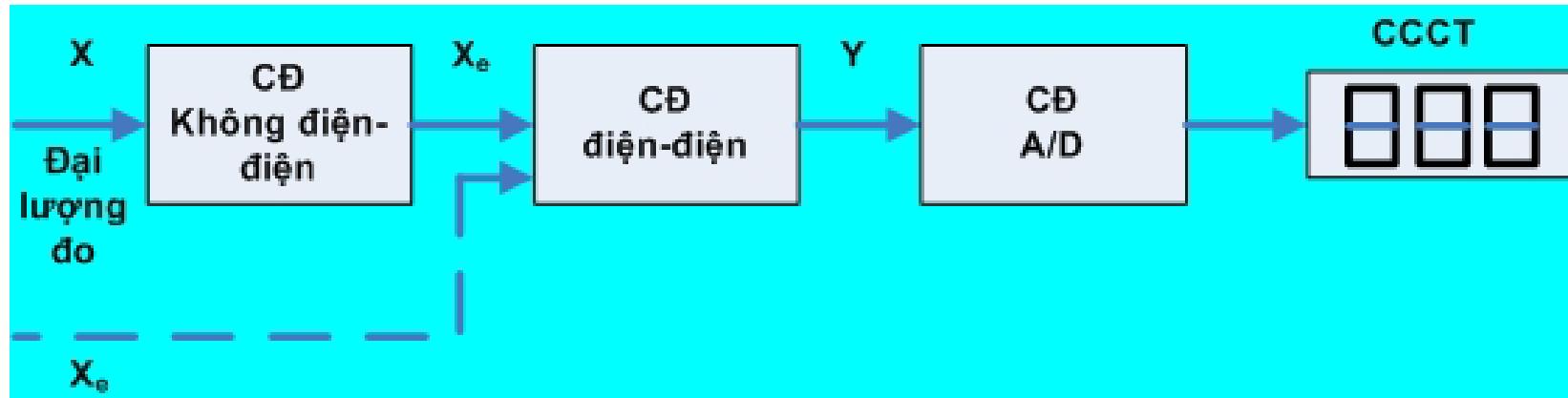
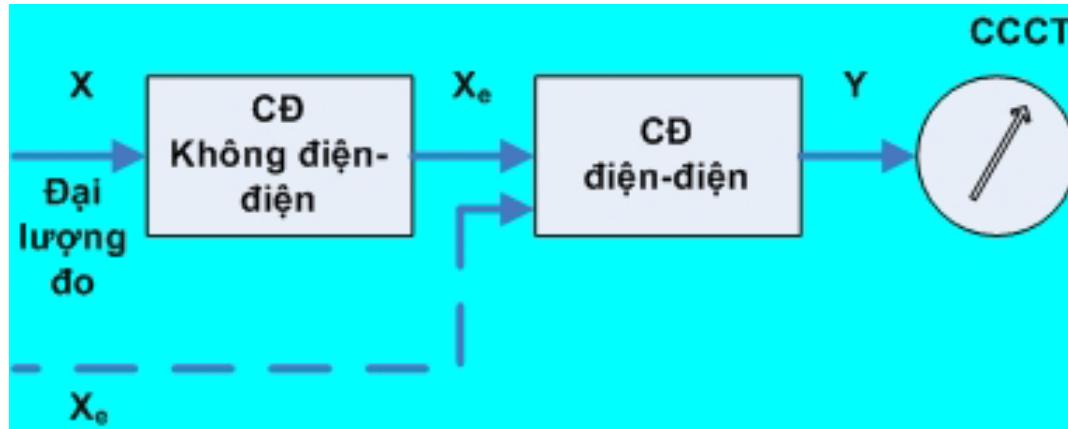
- Đối với dụng cụ đo biến đổi thẳng việc biến đổi thông tin chỉ diễn ra theo một hướng thẳng duy nhất, nghĩa là không có khâu phản hồi.
- Dụng cụ đo sử dụng phương pháp biến đổi thẳng có cấu trúc:



- ❖ CD: bộ chuyển đổi
- ❖ CT: cơ cấu chỉ thị
- ❖ X: đại lượng cần đo
- ❖ Y_i : đại lượng trung gian (cho tiện quan sát và chỉ thị)

Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng

- Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng tương tự và số

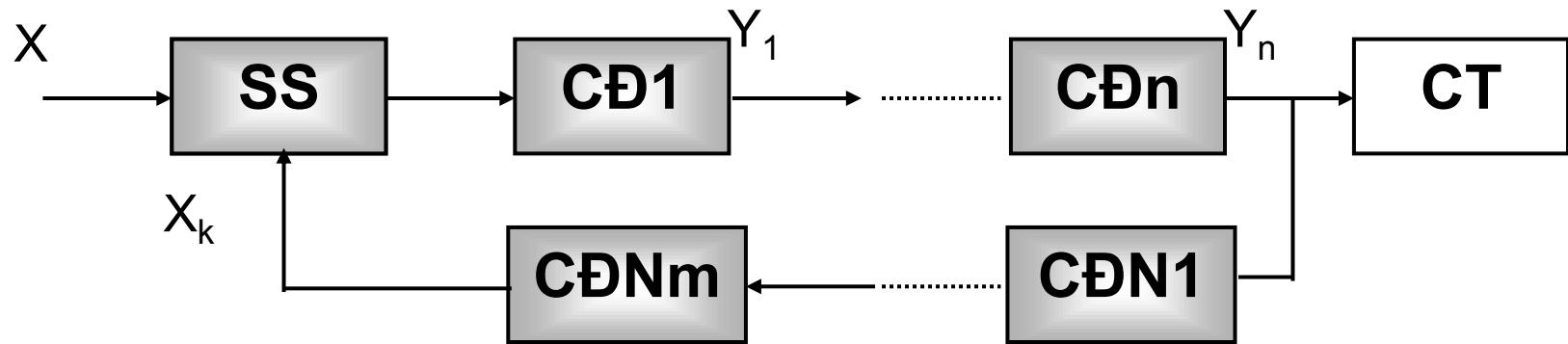


Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh.

- Dụng cụ đo kiểu so sánh sử dụng khâu phản hồi với các chuyển đổi ngược (CĐN) 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 vi xử lý bên trong.
 - ❖ Độ chính xác cao và giá thành đắt.

Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh

- Dụng cụ đo theo phương pháp so sánh có sơ đồ cấu trúc như sau:



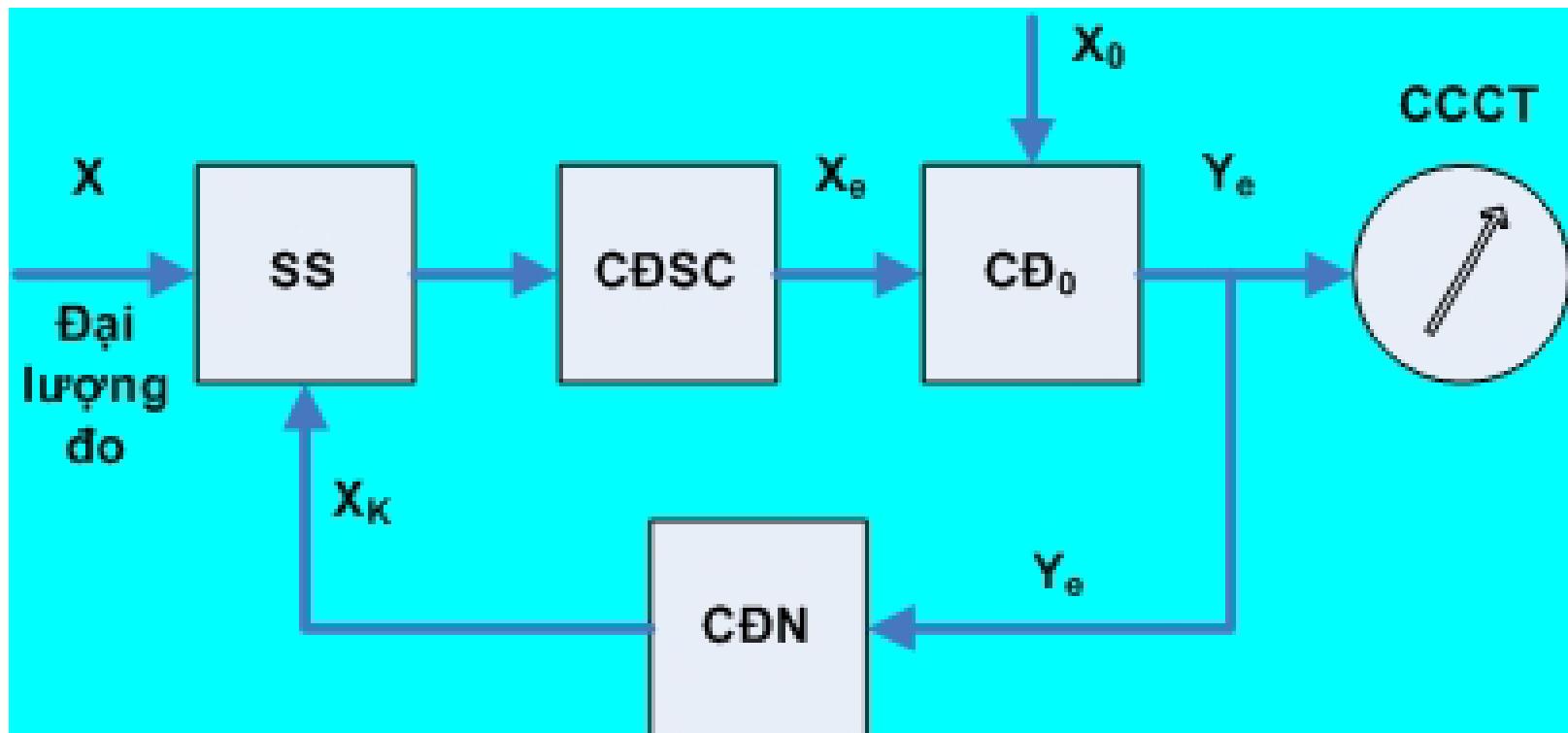
- ❖ CĐ: bộ chuyển đổi
- ❖ CĐNm: bộ chuyển đổi ngược
- ❖ CT: cơ cấu chỉ thị
- ❖ SS: bộ so sánh
- ❖ $\Delta X = X - X_k$

Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh

- *Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh không cân bằng*
 - ❖ Quá trình hồi tiếp đưa X_k về so sánh và cho thì dụng cụ đo gọi là dụng cụ đo so sánh không cân bằng.
- *Sơ đồ cấu trúc dụng cụ đo kiểu so sánh cân bằng*
 - ❖ Quá trình hồi tiếp được đưa về bộ so sánh liên tục tới khi $= 0$ thì dụng cụ đo gọi là dụng cụ đo so sánh cân bằng.

Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh

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



Chương 5: Cơ cấu chỉ thị cơ điện, tự ghi và chỉ thị số

- Đây là khâu hiển thị kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị của đại lượng cần đo.
- Có 3 kiểu chỉ thị cơ bản là:
 - ❖ Chỉ thị bằng kim chỉ (còn gọi là cơ cấu đo độ lệch hay cơ cấu cơ điện);
 - ❖ Chỉ thị kiểu tự ghi (ghi trên giấy, băng đĩa từ, màn hình ...)
 - ❖ Chỉ thị số.
- Dưới đây ta sẽ xem xét những cơ cấu điển hình nhất cho mỗi kiểu thị trên.

Chỉ thị số ngày nay được sử dụng nhiều và phổ biến

5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

- Với loại chỉ thị cơ điện, tín hiệu vào là dòng điện hoặc điện áp, còn tín hiệu ra là góc quay của phần động (có gắn kim chỉ).
- Những dụng cụ này là loại dụng cụ đo biến đổi thẳng.
- Đại lượng cần đo như dòng điện, điện áp, điện trở, tần số hay góc pha ... được biến đổi thành góc quay của phần động, nghĩa là biến đổi năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học:

$$\alpha = F(X)$$

❖ Với : X là đại lượng điện,

α là góc quay (hay góc lệch)

5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

Nguyên tắc làm việc của các cơ cấu chỉ thị cơ điện:

- Chỉ thị cơ điện bao giờ cũng gồm hai phần cơ bản là phần tĩnh và phần động.
- Khi cho dòng điện vào cơ cấu, do tác động của từ trường giữa phần động và phần tĩnh mà một mômen quay xuất hiện làm quay phần động.
- Momen quay này có độ lớn tỉ lệ với độ lớn dòng điện đưa vào cơ cấu:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha}$$

We là năng lượng từ trường

α là góc quay của phần động

5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

Nguyên tắc làm việc của các cơ cấu chỉ thị cơ điện:

- Nếu gắn một lò xo cản (hoặc một cơ cấu cản) với trực quay của phần động thì khi phần động quay lò xo sẽ bị xoắn lại và sinh ra một momen cản, momen này tỉ lệ với góc lệch và được biểu diễn qua biểu thức:

$$Mc = D \cdot \alpha$$

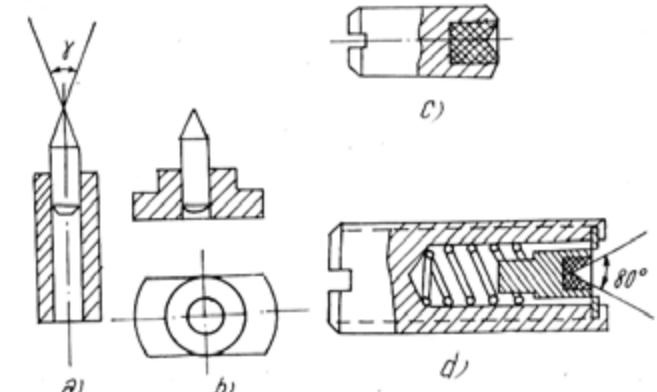
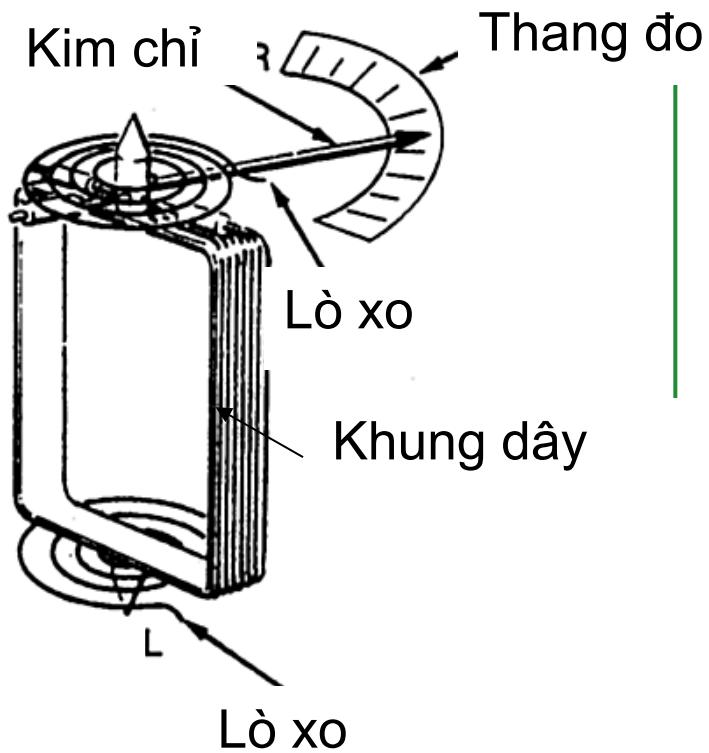
- Với D là hệ số momen cản riêng của lò xo, nó phụ thuộc vào vật liệu, hình dáng và kích thước của lò xo.
- Chiều tác động lên phần động của hai momen ngược chiều nhau nên khi momen cản bằng momen quay phần động sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng. Khi đó:

$$Mc = Mq \quad \Rightarrow \quad \frac{dWe}{d\alpha} = D \cdot \alpha \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{dWe}{d\alpha}$$

5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

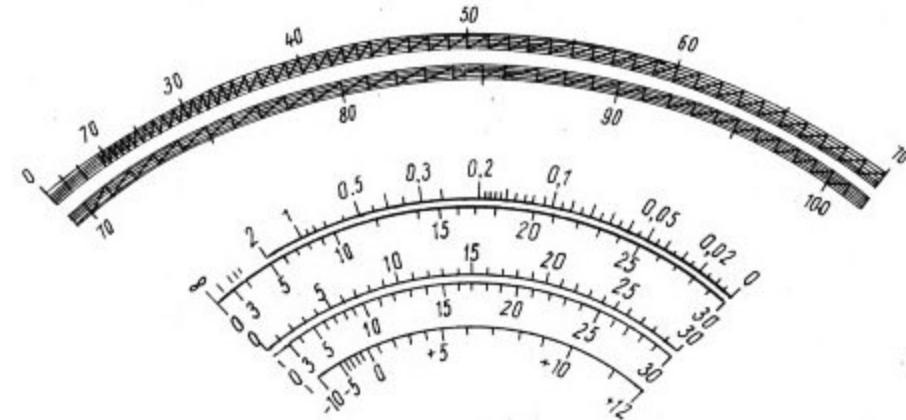
Những bộ phận chính của cơ cấu chỉ thị cơ điện

- Trục và trụ: là bộ phận đảm bảo cho phần động quay trên trục như khung dây, kim chỉ, lò xo cản ... Trục thường được làm bằng loại thép cứng pha irini hặc osimi, còn trụ đỡ làm bằng đá cứng
- Lò xo phản kháng hay lò xo cản là chi tiết thực hiện nhiệm vụ là tạo ra momen cản, đưa kim chỉ thi về vị trí 0 khi chưa đại lượng cần đo vào và dẫn dòng điện vào khung dây



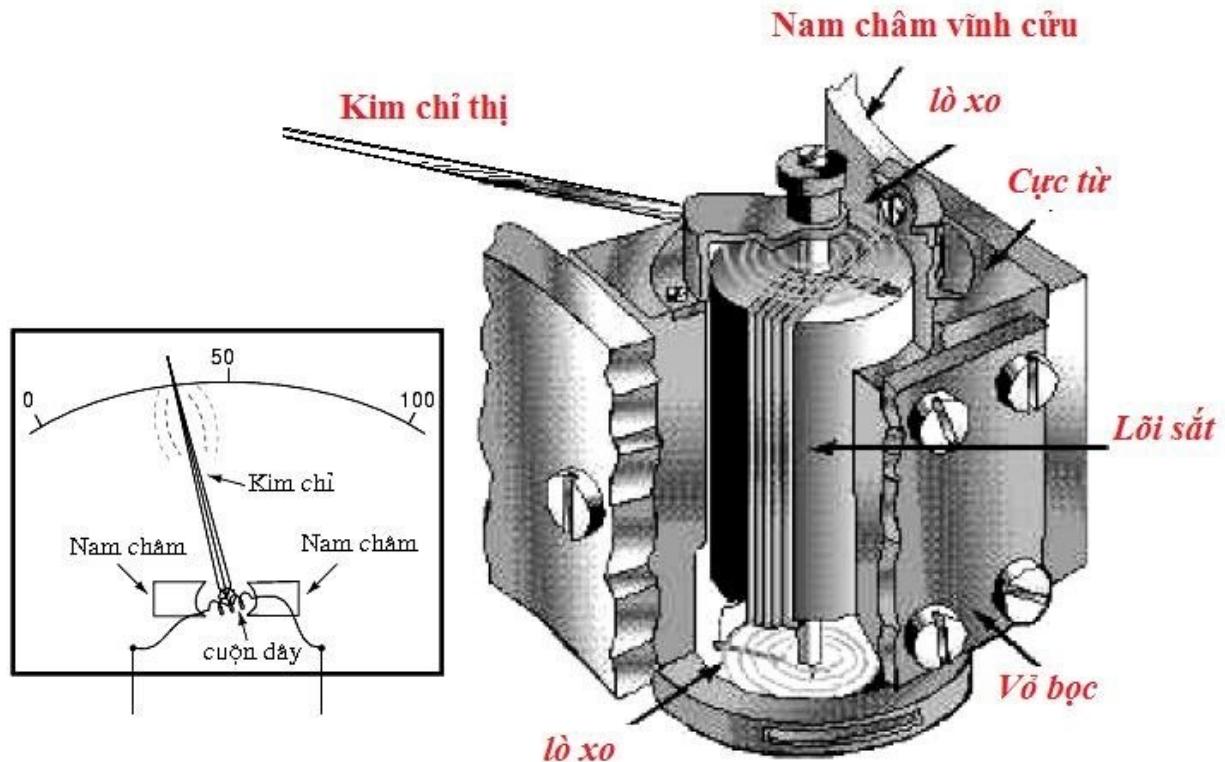
5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

- Dây căng và dây treo: để tăng độ nhạy cho chỉ thị người ta thay lò xo bằng dây căng hoặc dây treo.
- Kim chỉ được gắn vào trực quay, độ di chuyển của kim trên thang chia độ tỉ lệ với góc quay α .
- Thang đo là bộ phận để khắc độ các giá trị của đại lượng cần đo.
- Bộ phận cản dịu là bộ phận để giảm quá trình dao động của phần động và xác định vị trí cân bằng



5.1.1 Cơ cấu chỉ thị từ điện

- Phần tĩnh: Nam châm vĩnh cửu (nam châm hình móng ngựa), lõi sắt, cực từ (bằng sắt non). Giữa cực từ và lõi sắt có khe hở không khí rất hẹp.
- Phần động:
Khung dây được quấn bằng dây đồng. Khung dây gắn trên trục, nó quay trong khe hở không khí.



Cơ cấu chỉ thị từ điện

Nguyên tắc hoạt động.

- We là năng lượng điện từ tỉ lệ với độ lớn của từ thông trong khe hở không khí và độ lớn của dòng điện chạy trong khung dây.

$$We = \Phi \cdot I = B \cdot S \cdot W \cdot \alpha \cdot I$$

$$\Rightarrow Mq = \frac{d(B \cdot S \cdot W \cdot \alpha \cdot I)}{d\alpha} = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

$$\text{mà ta có : } Mc = D \cdot \alpha$$

$$\Rightarrow Mc = Mq \Leftrightarrow D \cdot \alpha = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} B \cdot S \cdot W \cdot I = K \cdot I$$

Cơ cấu chỉ thị từ điện

- Dòng cần đo đưa vào cơ cấu chỉ được phép theo một chiều nhất định, nếu đưa dòng vào theo chiều ngược lại kim chỉ sẽ bị giật ngược trở lại và có thể gây hỏng cơ cấu.
- Vì vậy, phải đánh dấu + (dây màu đỏ) và - (dây màu xanh) cho các que đo.
- Chiều quay của kim chỉ thị phụ thuộc vào chiều dòng điện nên các đại lượng xoay chiều (tần số từ 20Hz – 100KHz) muốn chỉ thị bằng cơ cấu từ điện phải chuyển thành đại lượng một chiều và đưa vào cơ cấu theo một chiều nhất định
- Cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy khá cao, thang đo đều nên được ứng dụng để chế tạo Vônmet, Ampemet, Ohmmet nhiều thang đo với dải đo rộng.

Cơ cấu chỉ thị từ điện

- Nhìn vào quan hệ này, ta có các đặc điểm cơ bản của cơ cấu này như sau
 - ❖ Tuyến tính với dòng điện hay nói cách khác thang chia độ của cơ cấu này đều. Cơ cấu từ điện được chế tạo chủ yếu để đo dòng điện một chiều.
 - ❖ Độ nhạy cao do BW lớn và D nhỏ.
 - ❖ Độ chính xác cao vì M_q lớn hơn nhiều so với ma sát và B lớn hơn nhiều so với từ trường nhiễu ảnh hưởng.
 - ❖ Khi nhiệt độ thay đổi thì B và D cùng tăng hoặc cùng giảm nên bù trừ lẫn nhau
 - ❖ Khung quay được chế tạo bằng đồng nên thay đổi điện trở theo nhiệt độ vì vậy khi sử dụng phải chú ý đến ảnh hưởng của nhiệt độ đến điện trở của khung quay

Cơ cấu chỉ thị từ điện

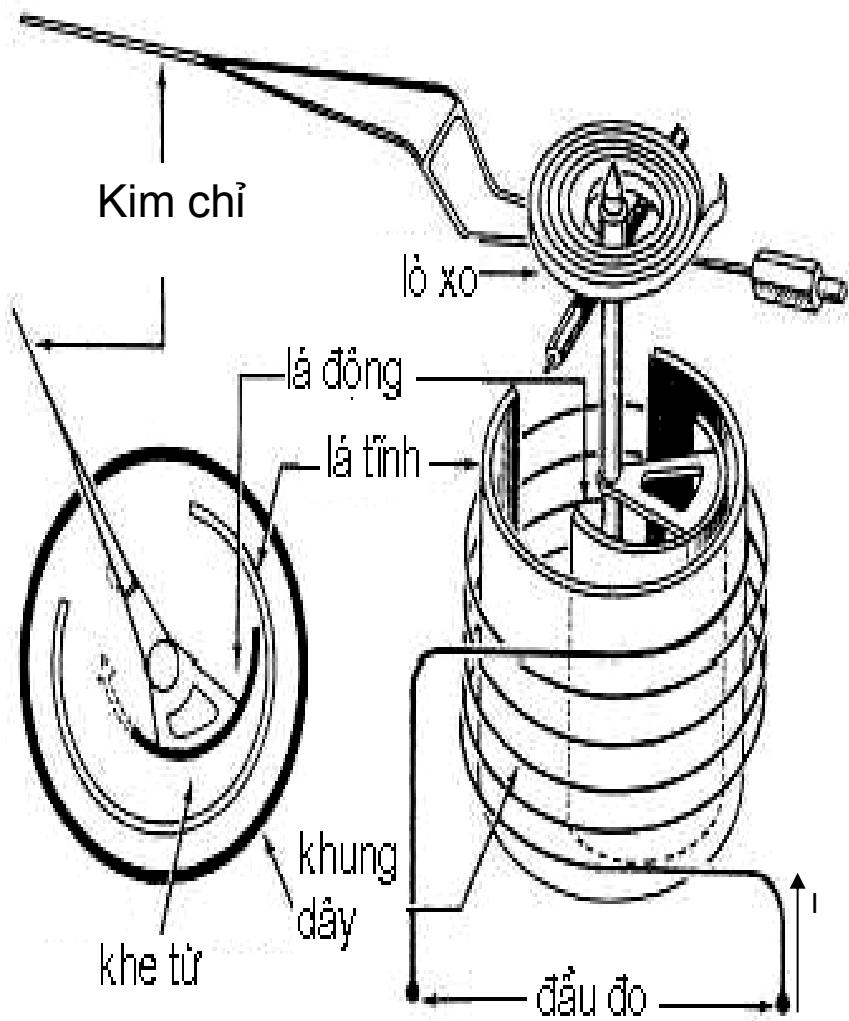
- Cơ cấu từ điện thường được chế tạo với dòng điện định mức I_n và điện trở khung quay R_{cc} như sau

I_n	50 μ A	100 μ A	250 μ A	500 μ A	1 mA	5 mA	20 mA
R_{cc}	2000 Ω	600 Ω	200 Ω	100 Ω	40 Ω	5 Ω	1 Ω

- Đây chỉ là những số liệu để tham khảo, còn phụ thuộc vào các nhà chế tạo cụ thể.
- Khi dùng để đo các dòng điện một chiều khác nhau, ta phải sử dụng các Sun mắc song song với cơ cấu Khi dùng làm volmet, ta phải thêm điện trở phụ

5.1.2 Cơ cấu chỉ thị điện từ

- Phần tĩnh: Cuộn dây bên trong có khe hở không khí, một lá thép cố định nằm trong lòng cuộn dây, gọi là lá tĩnh.
- Phần động: lá thép có khả năng di chuyển tương đối với lá tĩnh trong khe hở không khí, gọi là lá động.



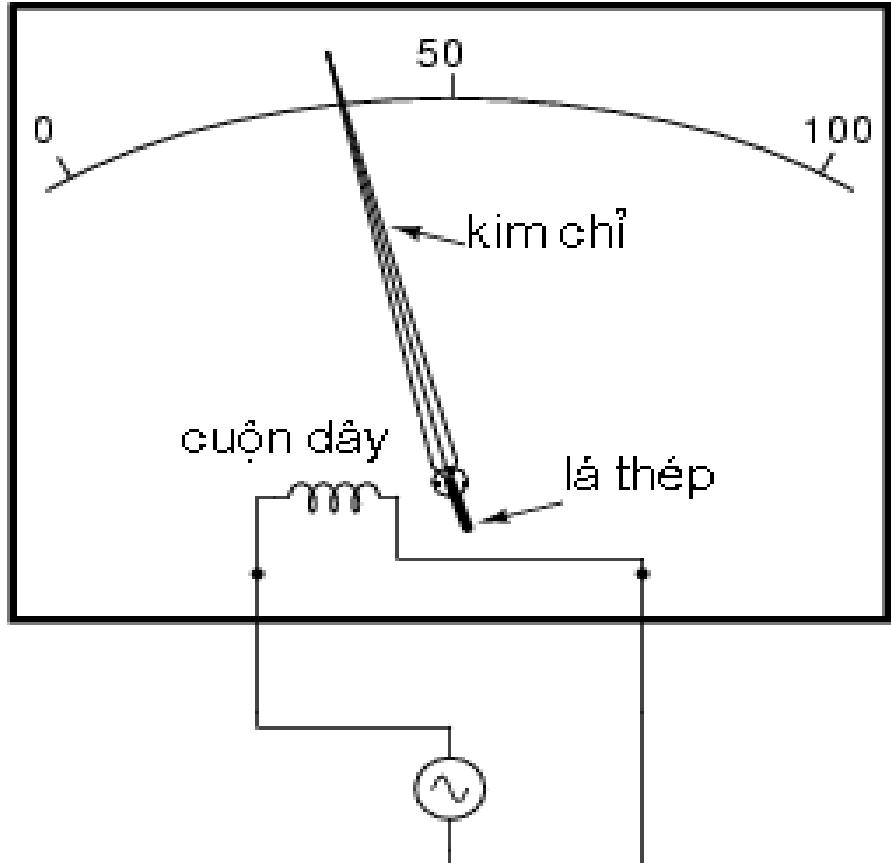
Cơ cấu chỉ thị điện từ

- Lò xo dây quấn tạo ra momen cản hay lực điều khiển để dừng kim chỉ.
- Momen quay do từ trường của nam châm điện tạo ra được tính bằng

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha}$$

$$We = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

$$\Rightarrow Mq = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$



Cơ cấu chỉ thị điện từ

- Momen cản vẫn do lò xo tạo ra nên $Mc = D.\alpha$
- Khi kim chỉ dừng ở vị trí cân bằng, nghĩa là khi

$$Mc = Mq$$

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

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

Vậy, độ lệch không phụ thuộc vào chiều của I, thang đo không đều vì tỉ lệ với I^2 .

Cơ cấu chỉ thị điện từ có thể được dùng để chế tạo dụng cụ đo dòng một chiều và dòng xoay chiều như Vônmet, Ampemet tần số công nghiệp

Cơ cấu chỉ thị điện từ

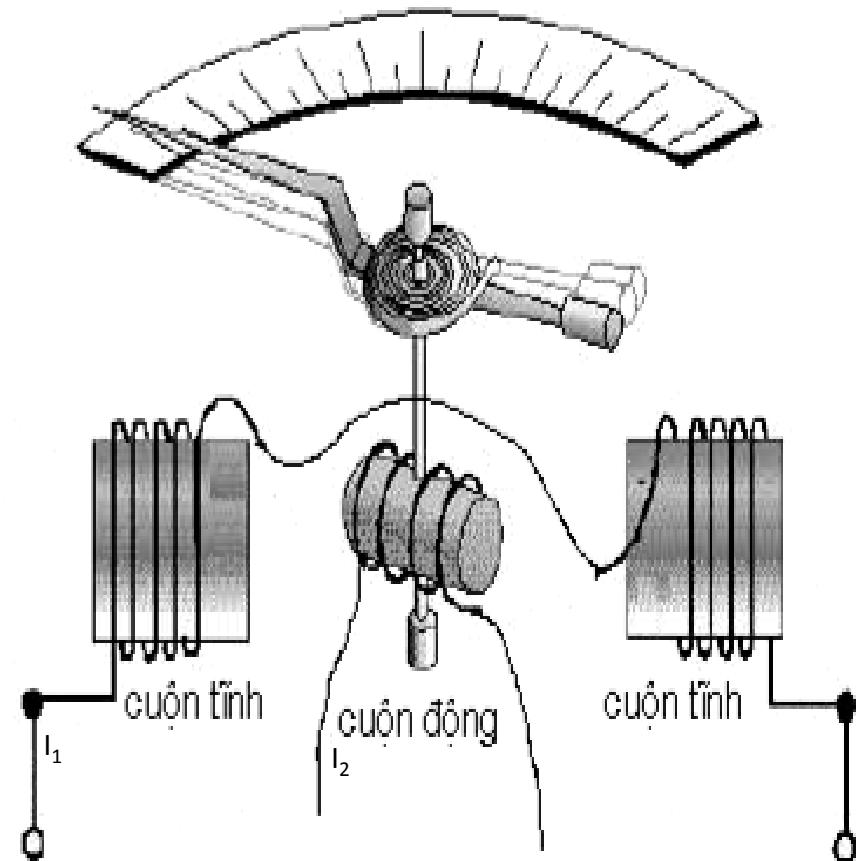
- Đặc điểm của cơ cấu điện từ như sau:
 - ❖ α là hàm của I^2 cho phép đo giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều.
 - ❖ α quan hệ với I^2 cho nên thang chia độ của dụng cụ điện từ không đều, làm khó khăn cho việc khắc độ.
 - ❖ α phụ thuộc $dL/d\alpha$ mà cuộn dây không có lõi thép nên hệ số $k_I = dL/2Dd\alpha$ nhỏ, độ nhạy thấp
 - ❖ Từ trường trong cuộn dây nhỏ nên cơ cấu điện từ bị ảnh hưởng nhiều từ trường bên ngoài và cơ cấu không chính xác.
 - ❖ Ưu điểm duy nhất của dụng cụ là chắc chắn, rẻ tiền và đo được dòng hiệu dụng của dòng điện xoay chiều

Cơ cấu chỉ thị điện từ

- Đối với cơ cấu điện từ, để cho góc quay phần động đạt giá trị định mức, ta có sức từ động của cuộn dây $F = IW$ có một giá trị nhất định.
- Tăng I giảm số vòng và ngược lại. Điều này giúp chúng ta thay đổi thang đo một cách dễ dàng trong cơ cấu điện từ.
 - ❖ Ví dụ: Với cơ cấu điện từ cuộn dây tròn có $IW = 200$ (A vòng) tức là với thang đo 1 A cuộn dây phải có 200 vòng, ứng với thang đo 5 A cuộn dây phải có 40 vòng.
- Trong thực tế có 3 loại cơ cấu điện tử: cuộn dây tròn thường có $IW = 200$ (Avòng), cuộn dây dẹt thường có $IW = 100$ (Avòng) và mạch từ kín thường có $IW = 50$ (Avòng).

5.1.3 Cơ cấu chỉ thị điện động

- Cuộn dây tĩnh hay còn gọi là cuộn kích thích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau (quấn theo cùng chiều) để tạo thành nam châm điện khi có dòng chạy qua.
- Cuộn dây động quay trong từ trường được tạo ra bởi cuộn tĩnh
- Kim chỉ thị được gắn trên trực quay của phần động.
- Lò xo tạo momen cản và các chi tiết phụ trợ khác.



Cơ cấu chỉ thị điện động

- Momen quay do 2 từ trường tương tác nhau được tính bằng:

$$W_e = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot L_1 + \frac{1}{2} I_2^2 \cdot L_2 + I_1 \cdot I_2 \cdot M_{12}$$

- Các cuộn dây có hệ số tự cảm L riêng không phụ thuộc vào góc lệch trong quá trình hoạt động ($dL/d\alpha = 0$)

$$\Rightarrow Mq = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

- Vậy độ lệch của kim chỉ thị được tính theo biểu thức:

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

- Nếu mắc các cuộn dây nối tiếp nhau, nghĩa là $I_1 = I_2$

$$\Rightarrow \alpha = C \cdot I^2$$

NTH - BM KTD & THCN

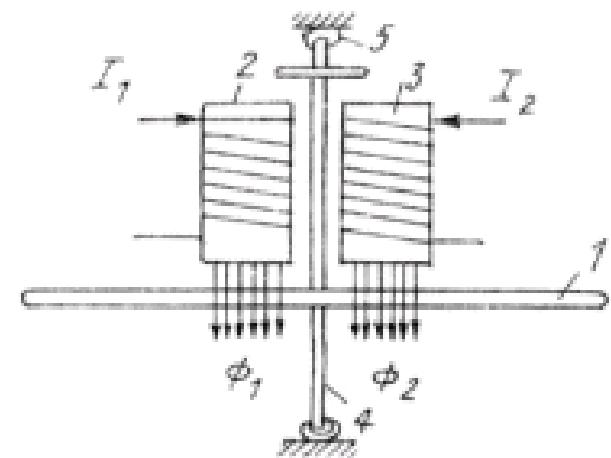
Cơ cấu chỉ thị điện động

- Các đặc tính cơ bản của cơ cấu đo kiểu điện động như sau:
 - ❖ Dùng để chế tạo Watmet đo công suất, dùng volmet đo điện áp hiệu dụng chính xác cao.
 - ❖ Độ nhạy thấp, độ chính xác cao.
 - ❖ Chế tạo khó, đắt tiền.
 - ❖ Để tăng độ nhạy, người ta cho thêm lõi thép vào cuộn dây phần tĩnh tạo ra mạch từ gọi là cơ cấu sắt điện động

5.1.4 Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

Ở cơ cấu này,

- Phần động gồm một đĩa nhôm đặt giữa từ trường của 2 cuộn dây,
 - ❖ Cuộn dây điện áp có số vòng rất lớn, W_V (10000 vòng) đặt vào điện áp U . Mạch từ bằng vật liệu sắt từ, từ thông trong mạch từ này xuyên qua đĩa nhôm (từ thông ϕ_V).
 - ❖ Cuộn dây dòng điện có số vòng ít, mạch từ của nó cũng bằng vật liệu sắt từ (từ thông ϕ_I)
 - ❖ Tạo ra momen phản kháng bằng từ trường một nam châm vĩnh cửu



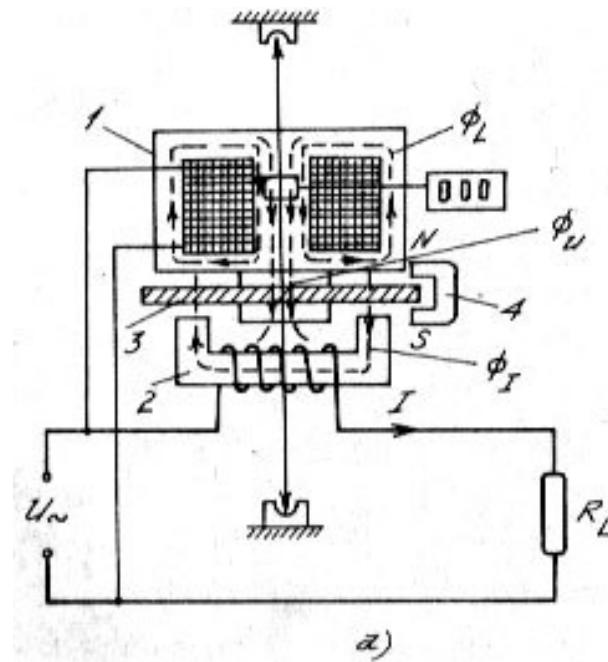
Công tơ một pha

Nguyên lý làm việc

- Khi có dòng điện I chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra từ thông Φ_I cắt đĩa nhôm hai lần.
- Đồng thời điện áp U được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng I_u , dòng này chạy trong cuộn áp tạo từ thông Φ_u :

$$\phi_I = k_I I; \quad \phi_u = k_u I = k_u \frac{U}{Z_u}$$

k_I, k_u : là hệ số tỉ lệ về dòng và áp;
 Z_u : là tổng trở của cuộn áp



Công tơ một pha

- Vì cuộn áp có điện trở thuần nhỏ so với điện kháng của nó cho nên

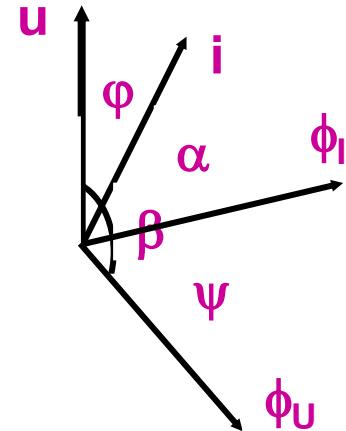
$$Z_u \approx X_u = 2\pi f L_u \Rightarrow \phi_u = k_u \frac{U}{2\pi f L_u} = k_u \frac{U}{f}$$

- Momen quay của cơ cấu chỉ thị cảm ứng được tính:

$$M_q = C \cdot f \cdot \phi_I \cdot \phi_U \cdot \sin \psi = C \cdot k_u \cdot k_u \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi = k \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi$$

$$\psi = \beta - \alpha - \varphi$$

- Để thực hiện điều kiện $\beta - \alpha = \pi/2$ ta có thể điều chỉnh góc β , tức là điều chỉnh Φ_u bằng cách thay đổi vị trí sun túc của cuộn áp hoặc điều chỉnh góc α bằng cách thêm hoặc bớt vòng ngắn mạch của cuộn dòng



Công tơ một pha

- Mômen quay tỉ lệ với công suất.

$$M_q = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

- Mômen hẫm sinh ra do từ thông của nam châm vĩnh cửu Φ_M và dòng điện xoáy sinh ra ở trong đĩa nhôm I_M

$$M_C = k_1 \cdot \Phi_M \cdot I_M$$

- khi cân bằng có:

$$M_q = M_C \Leftrightarrow k \cdot P = k_3 \cdot \Phi_M^2 \cdot n_0$$

- Sau một thời gian t đĩa quay được N vòng tức là $n_0 = N / t$

$$k \cdot P = k_3 \cdot \Phi_M^2 \cdot \frac{N}{t} \Rightarrow N = \left(\frac{k}{k_3 \Phi_M^2} \right) \cdot Pt$$

5.1.4 Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

- Momen quay do cuộn dây điện áp (ϕ_V) và dòng điện (ϕ_I).

$$M_q = K_U K_I \Phi_V \Phi_I \sin \Psi_{(\Phi_V, \Phi_I)}$$

- ❖ M_q : momen quay tác động lên đĩa nhôm;
- ❖ ϕ_V : Từ thông tạo ra do cuộn dây điện áp;
- ❖ ϕ_I : từ thông tạo ra do cuộn dây dòng điện;
- ❖ $\Psi_{(\Phi_V, \Phi_I)}$: góc pha giữa ϕ_V và ϕ_I .
- ❖ K_U : Hệ số biến đổi điện áp
- ❖ K_I : Hệ số biến đổi dòng điện

Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

- Người ta chế tạo sao cho

$$\sin \Psi_{(\Phi_V \Phi_I)} = \cos \varphi_{(U,I)}$$

- Ta có

$$M_q = K_v K_i \Phi_v \Phi_i \cos \varphi_{(U,I)} = k U I \cos \varphi_{(U,I)} = k P$$

Momen quay trong cơ cấu đo cảm ứng tỷ lệ với công suất P

- Khi đĩa nhôm quay từ trường một nam châm, momen cảm ứng do chuyển động gây ra là:

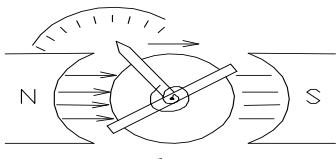
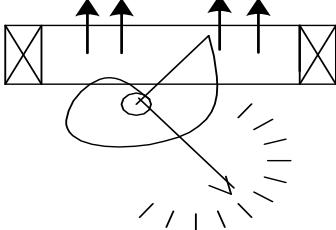
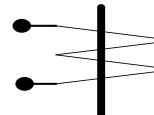
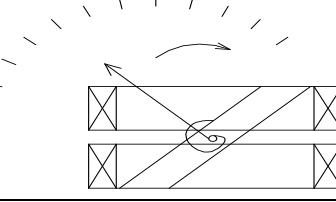
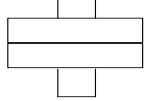
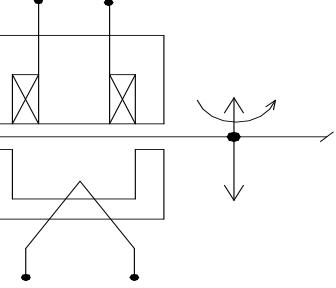
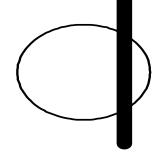
$$M_c = K_c V;$$

- ❖ K_c : hệ số phụ thuộc vào từ thông;
- ❖ V : tốc độ của đĩa nhôm,

Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

- Tốc độ V sẽ không đổi khi $M_q = M_c$.
- Ta có $kP = K_c n \Rightarrow P = Kn$
 - ❖ Tốc độ n tỷ lệ với công suất P .
- Trong khoảng thời gian là t ta có: $E = Pt = nt = N$.
→ Số vòng quay của đĩa nhôm tỷ lệ với năng lượng đi qua cơ cấu cảm ứng.
- Như vậy, cơ cấu đo kiểu cảm ứng được dùng làm công tơ đếm năng lượng truyền qua cơ cấu cảm ứng (công tơ điện năng).

Bảng tổng kết các cơ cấu chỉ thị cơ điện

Loại cơ cấu nguyên lý làm việc	Cấu tạo	Quan hệ	Đặc điểm và ứng dụng	Ký hiệu
Tử điện Tác động giữa từ trường lên dòng điện trong khung quay		$M_q = BSWI$ $\alpha = \frac{BSW}{D} I$	Quan hệ tuyến tính, độ nhạy cao, chính xác Dùng để đo dòng 1 chiều	
Điện từ Lõi thép sắt từ hút sâu vào cuộn dây		$M_q = \frac{dL}{d\alpha} I^2$ $\alpha = \frac{dL}{Dd\alpha} I^2$	Không tuyến tính Độ nhạy thấp Chính xác thấp Đo dòng xoay chiều	
Điện động Tác dụng giữa 2 dòng điện động và tĩnh		$M_{qI^2} = \frac{dM_{12}}{d\alpha}$ $\alpha = \frac{dM_{12}}{Dd\alpha} I_2^2$	Không tuyến tính Độ nhạy thấp Chính xác Đo công suất	
Cảm ứng Từ trường tác động lên dòng xoáy cảm ứng		$M_q = \phi_0 \phi \sin \psi$ $E = C.N \text{ kWh}$	Không chính xác Moment quay lớn Dùng làm công cơ đếm năng lượng	

Bảng tổng kết các cơ cấu chỉ thị cơ điện

TT	Cơ cấu chỉ thị	Ký hiệu	Tín hiệu đo	Ứng dụng
1	Cơ cấu chỉ thị từ điện		$I =$	A, V, R, G
2	Logomet từ điện		$I_1 = / I_2 =$	R, đo không điện
3	Cơ cấu chỉ thị điện từ		$I^2 \approx$	A, V
4	Logomet điện từ		$(I_1 \approx / I_2 \approx)^2$	Tần số kẽ, ôm kẽ, đo góc pha ...
5	Cơ cấu chỉ thị điện động		$I_1, I_2 \approx$	A, V, W, cos, tần số kẽ ...
6	Cơ cấu chỉ thị sắt điện động		$I_1, I_2 \approx$	A, V, ω, tự ghi
7	Logomet điện động		$I_1/I_2 \approx$	ω , tần số kẽ, cos
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

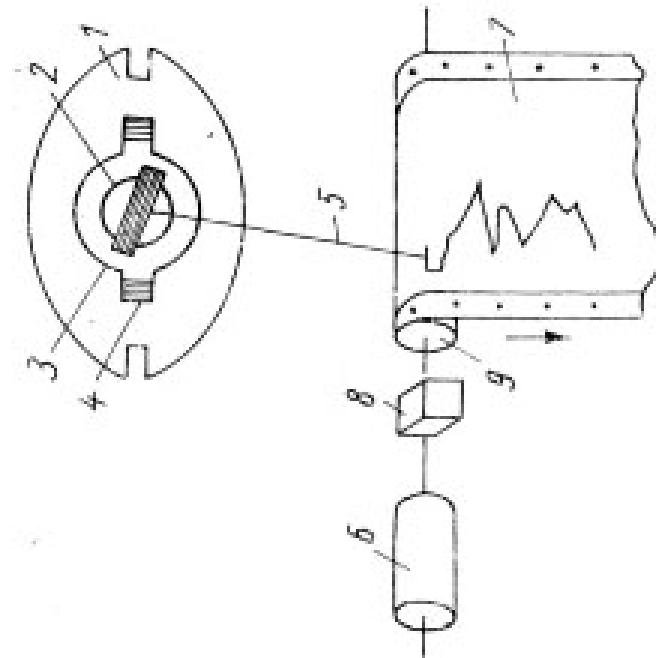
5.2 Cơ cấu chỉ thị tự ghi

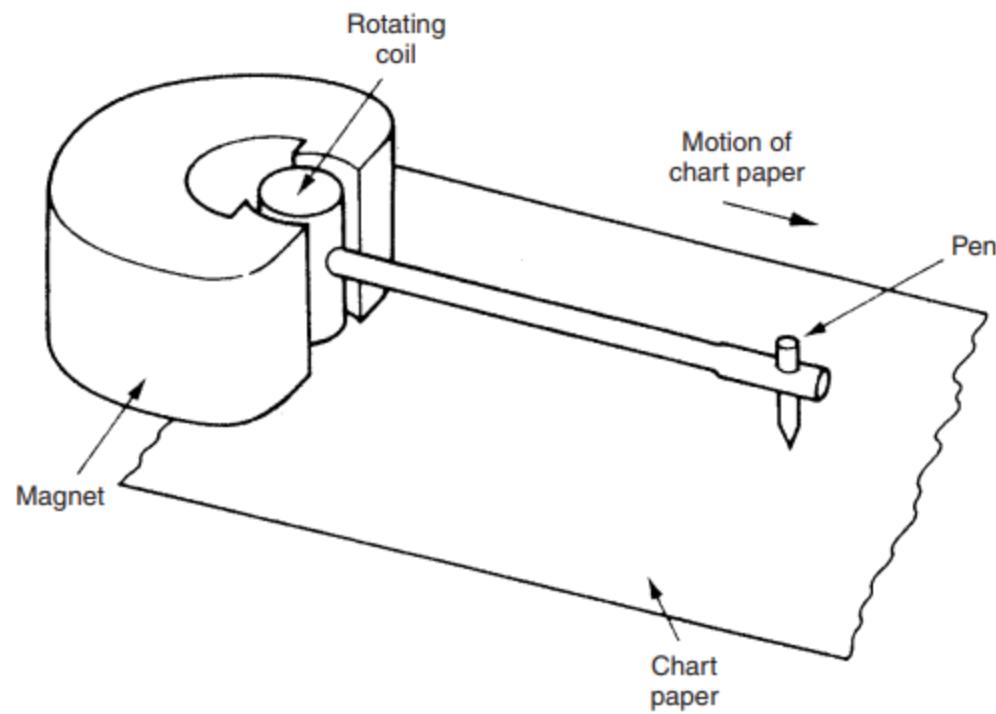
■ **Mục đích sử dụng:** được sử dụng trong các dụng cụ tự động ghi nhằm ghi lại những tín hiệu do thay đổi theo thời gian

Cấu tạo chung

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

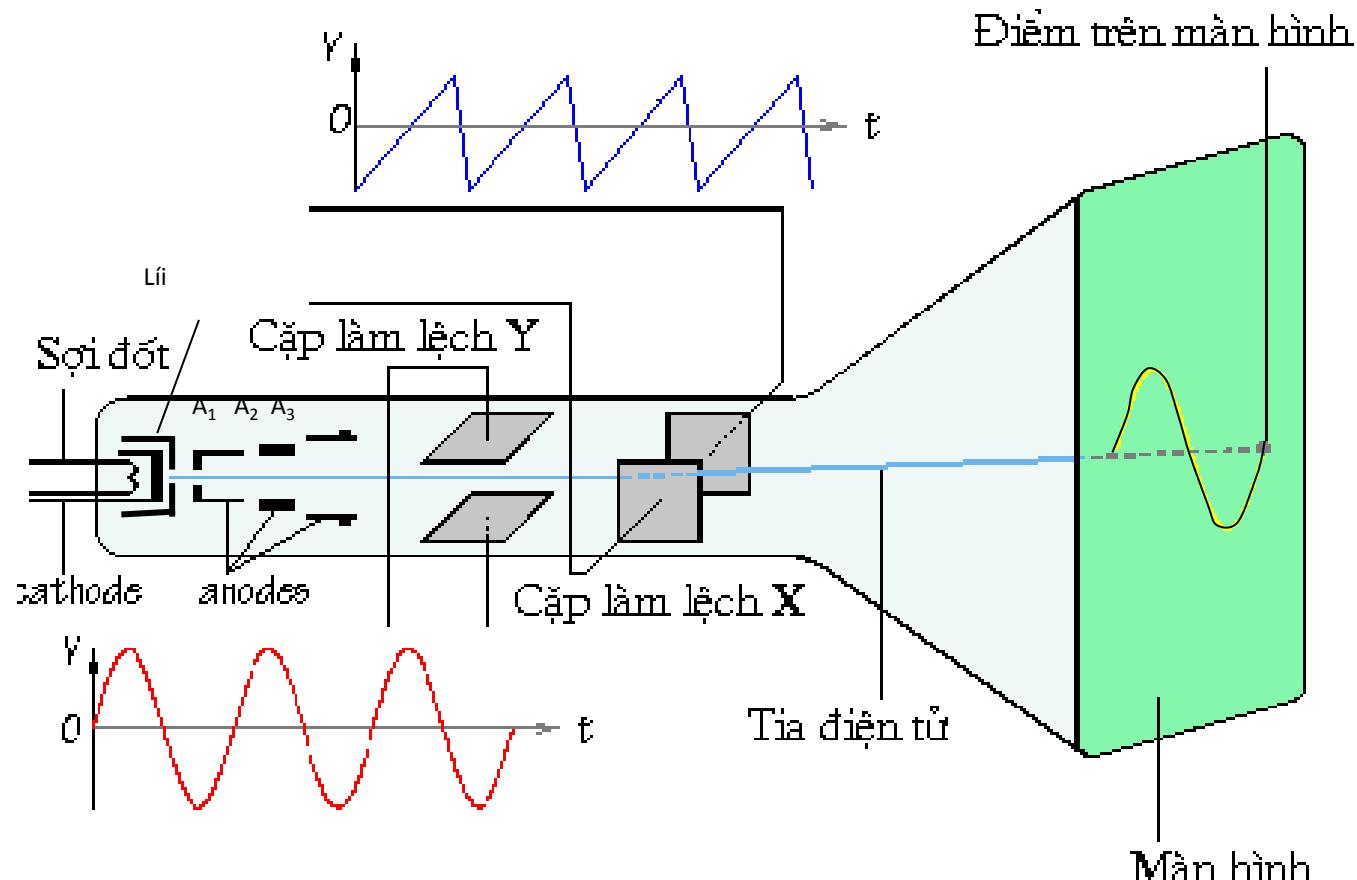
❖ **Phần 2:** thực hiện chuyển động thể hiện quan hệ $x = K(t)$: biến thiên của đại lượng đo theo thời gian. Thường bao gồm: cơ cấu đồng hồ (thường là một động cơ đồng bộ), bộ giảm tốc, quả rulô, băng giấy.



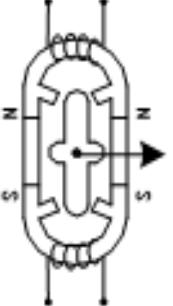
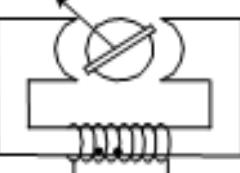
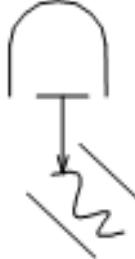
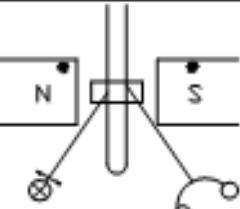
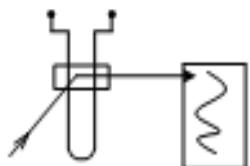


5.2 Cơ cấu chỉ thị tự ghi

- Trong kỹ thuật đo lường vô tuyến điện các thiết bị chỉ thị tự ghi chủ yếu là máy hiện sóng với phần chỉ thị là ống phóng tia điện tử – CRT (Cathode Ray Tube)



Tóm tắt các thiết bị tự ghi

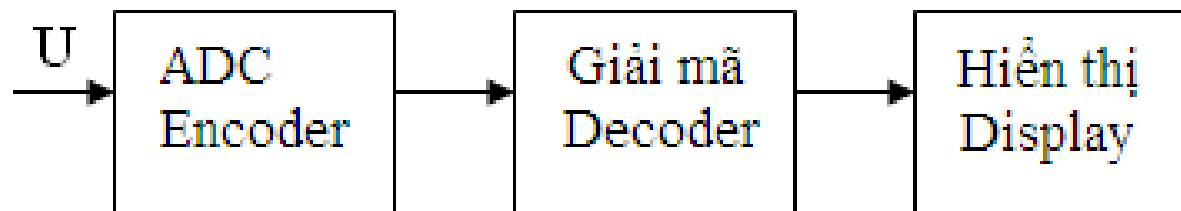
Tên thiết bị tự ghi	Cơ cấu sử dụng	Cấu tạo	Kiểu bút ghi	Tần số cực đại	Đặc tính ứng dụng (ký hiệu)
Dụng cụ tự ghi kiểu bút ghi	Từ điện và sắt điện động	 	Mực nhiệt Phóng điện Phun	<100Hz	Ghi các quá trình biến đổi chậm 
Dao động kí quang điện	Từ điện dây rung		Phim quay Giây cảm quang từ ngoại	5kHz	Ghi các dao động cơ học hay tín hiệu âm tần 

Tóm tắt các thiết bị tự ghi

Tên thiết bị tự ghi	Cơ cấu sử dụng	Cấu tạo	Kiểu bút ghi	Tần số cực đại	Đặc tính ứng dụng (ký hiệu)
Máy hiện sóng điện tử	Ông phóng tia điện tử CRT		Chụp phim Màn hình xóa chậm Bộ nhớ tương tự Bộ nhớ số	500MHz	Ghi các quá trình biến thiên nhanh
Tự ghi từ	Đầu ghi từ		Đầu từ ghi trên băng từ	MHz	Ghi các quá trình tương tự Ghi âm và ghi hình
Tủ tự ghi số	A/D tốc độ cao Bộ nhớ CMOS		A/D Flash Bộ nhớ số Hiện thị CRT In băng máy in	25GHz	Dao động kỹ Máy hiện sóng tốc độ cao Ghi quá trình nhanh xuất hiện một lần

5.3 Cơ cấu chỉ thị số

- Ra đời sau các cơ cấu đo tương tự, các cơ cấu đo kỹ thuật số phát triển rất nhanh cùng với kỹ thuật và công nghệ điện tử



- Encoder hay ADC (Analog digital converter) biến tín hiệu điện áp thành số.
- GM: Bộ giải mã có nhiệm vụ đổi loại mã của bộ đếm sang kiểu phù hợp với chỉ thị (CT)
 - ❖ IC
 - ❖ uP

5.3 Cơ cấu chỉ thị số

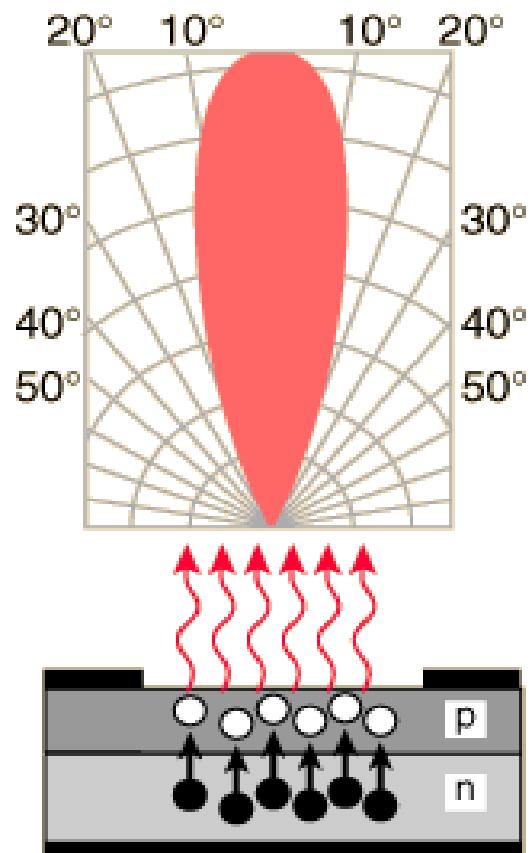
■ CT: chỉ thị số có thể dưới dạng

- ❖ Đèn thập phân,
- ❖ LED 7 vạch
- ❖ LCD
- ❖ Led ma trận

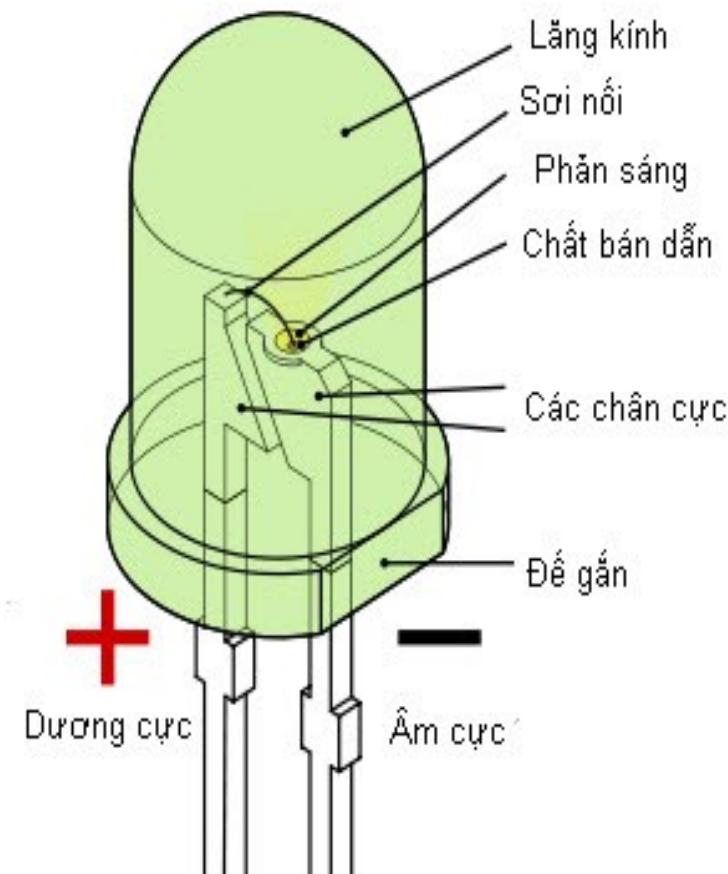
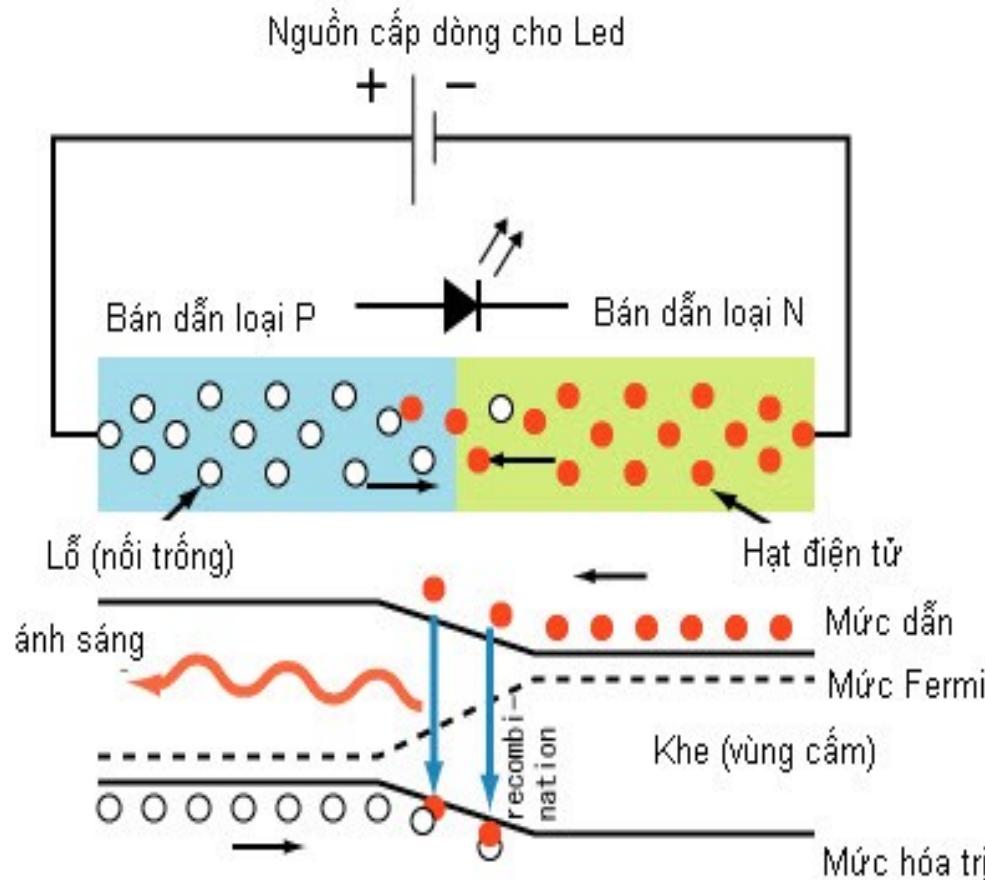
Chỉ thị số

LED (light emitting diode)

- LED là một nguồn sáng có định hướng, với công suất phát xạ cực đại theo hướng vuông góc với bề mặt phát xạ.
- Mô hình phát xạ phổ biến của LED cho thấy rằng hầu hết năng lượng được phát xạ trong phạm vi 20° theo hướng phát xạ cực đại.
- Một số LED có gắn thêm lăng kính để mở rộng góc phát xạ theo các yêu cầu ứng dụng.



Cấu tạo và cách dùng LED

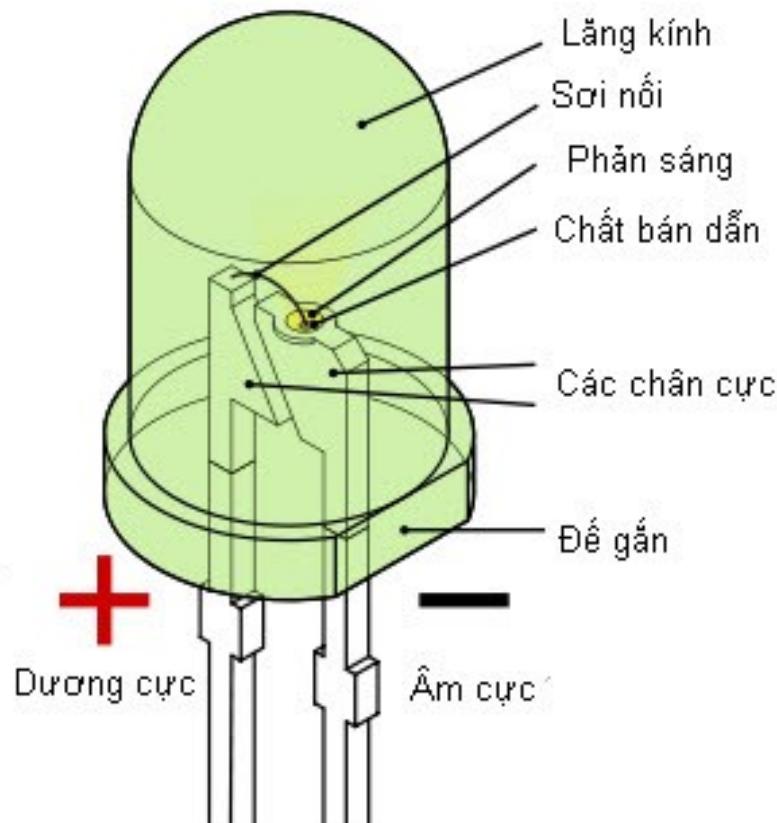


Sự chuyển dời của hạt điện và lỗ qua mối nối PN và hình dạng của LED

Chỉ thị số

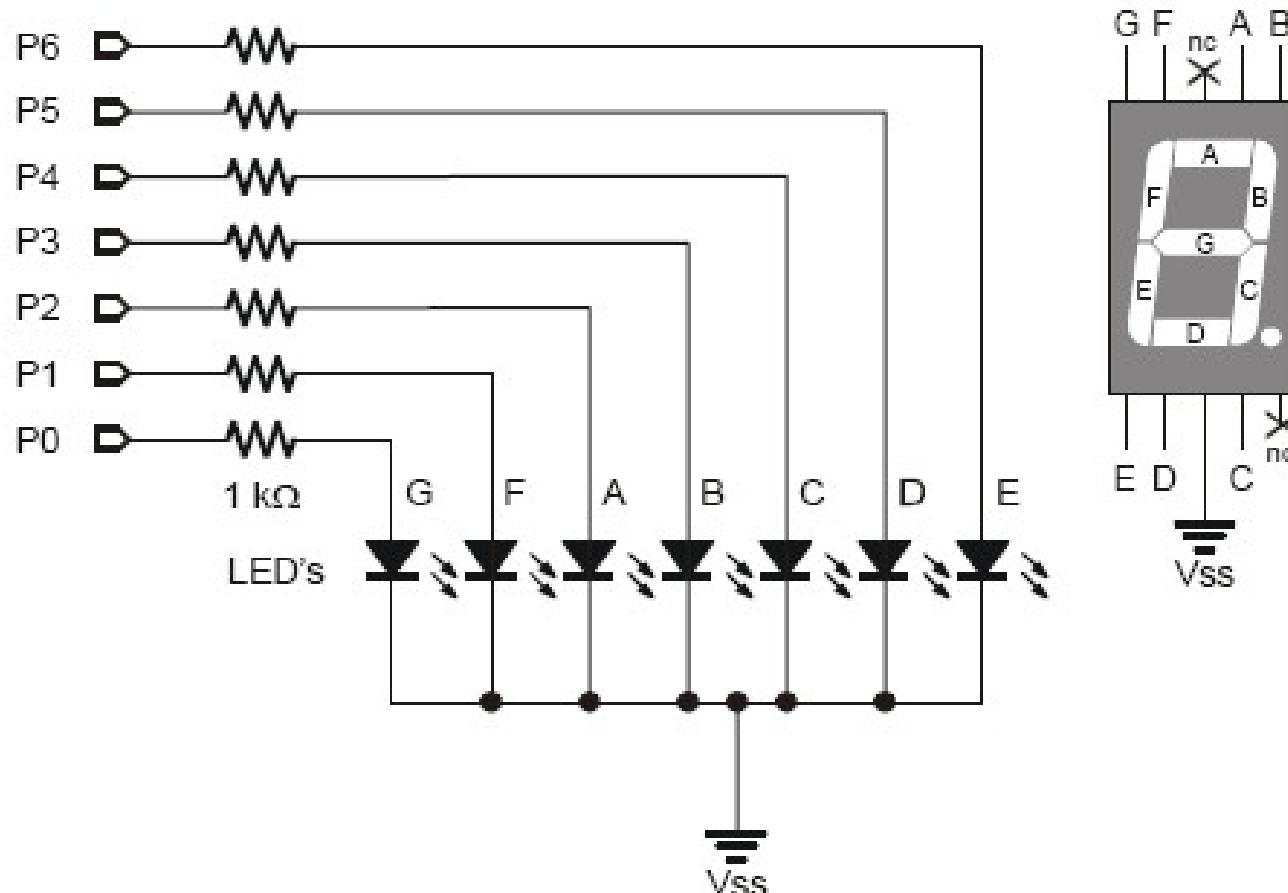
LED (*light emitting diode*)

- Giá trị là 13 tới 20ma cho dòng điện qua đèn led
- Led màu đỏ, màu vàng : 1,9 tới 2,1 volt
- Led màu xanh các loại : 3.0 tới 3.4 volt.
- Led màu trắng các loại : 3.4 tới 4.0 volt.



Chỉ thị số

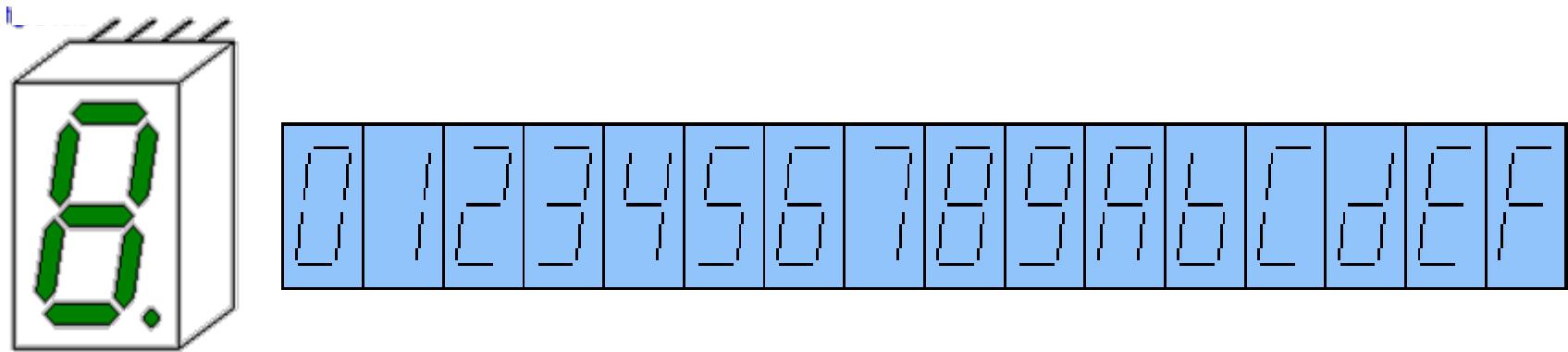
LED 7 thanh



Chỉ thị số

Hiển thị 7 vạch

- Đèn hiển thị 7 vạch bao gồm các vạch nhỏ. Chúng có thể biểu diễn tới 16 ký tự trong đó có 10 số và 6 chữ cái như hình dưới đây:



- Các mã đầu vào từ 0 - 9 hiển thị các chữ số của hệ thập phân. Các mã đầu vào từ 9-14 ứng với các ký hiệu đặc biệt như đĩa nêu, còn mã 15 sẽ tắt tất cả các vạch.

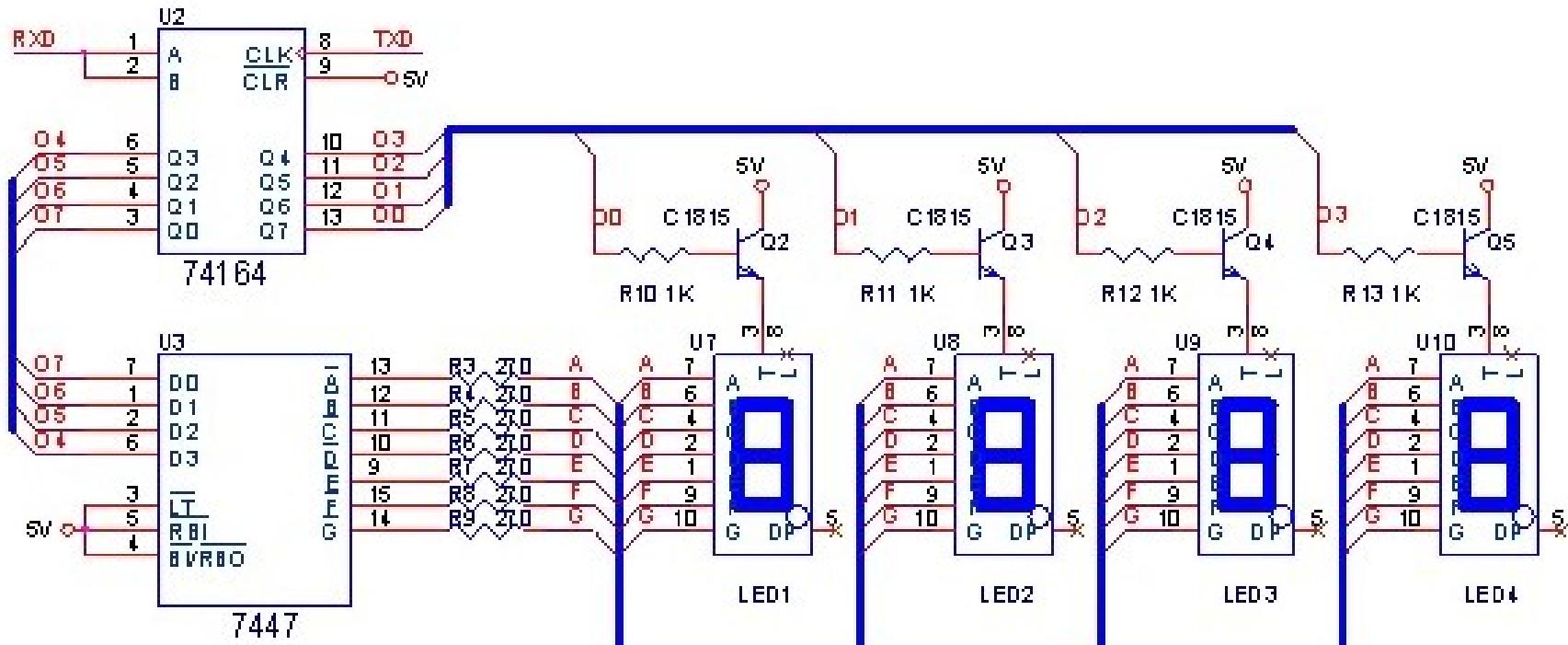
Bộ giải mã

■ Giải mã LS7447

Số TP	Ngã vào				Ngã ra						
	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
5	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
7	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

Bộ giải mã

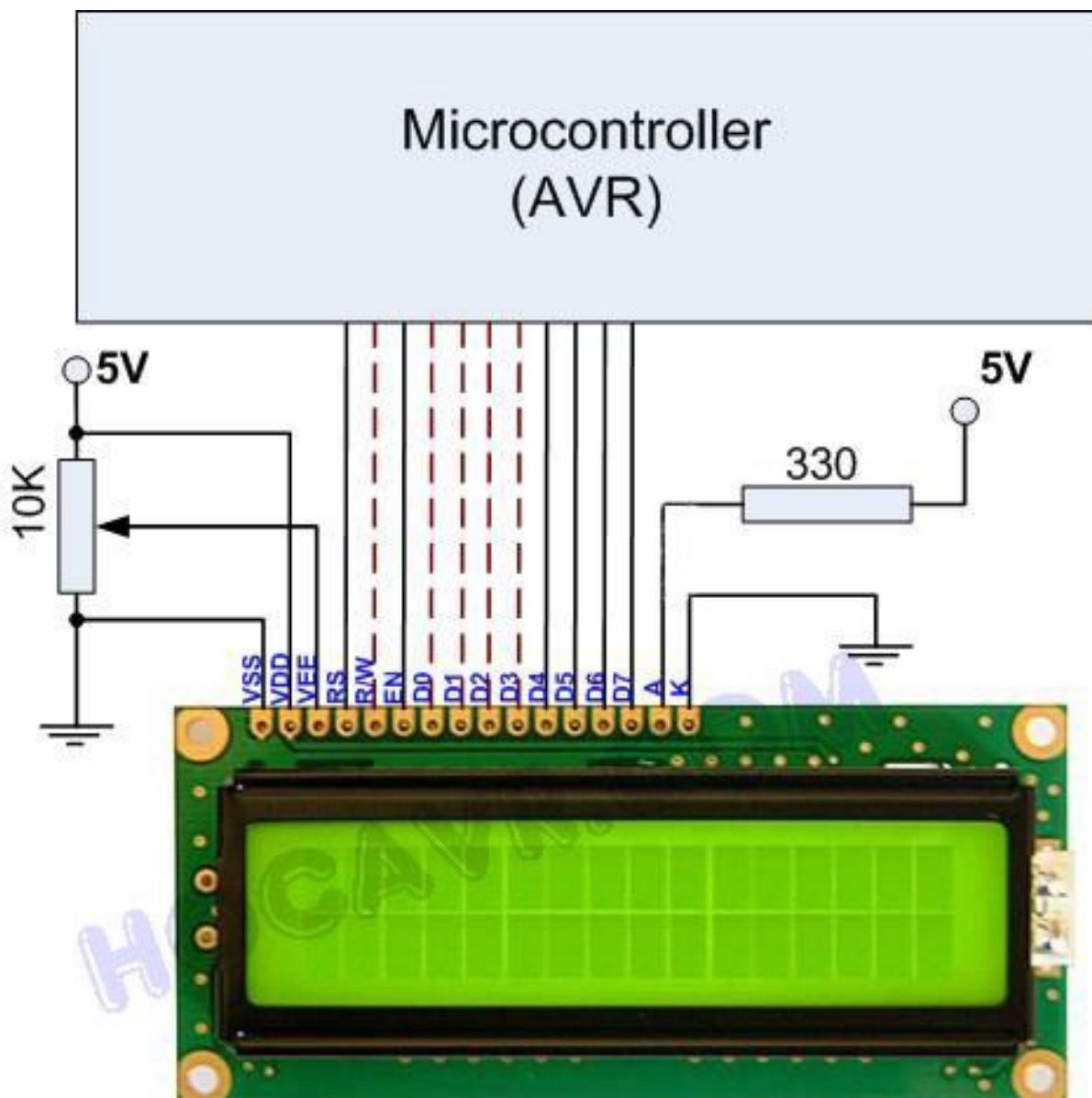
■ Giải mã led 7 thanh



Chỉ thị số

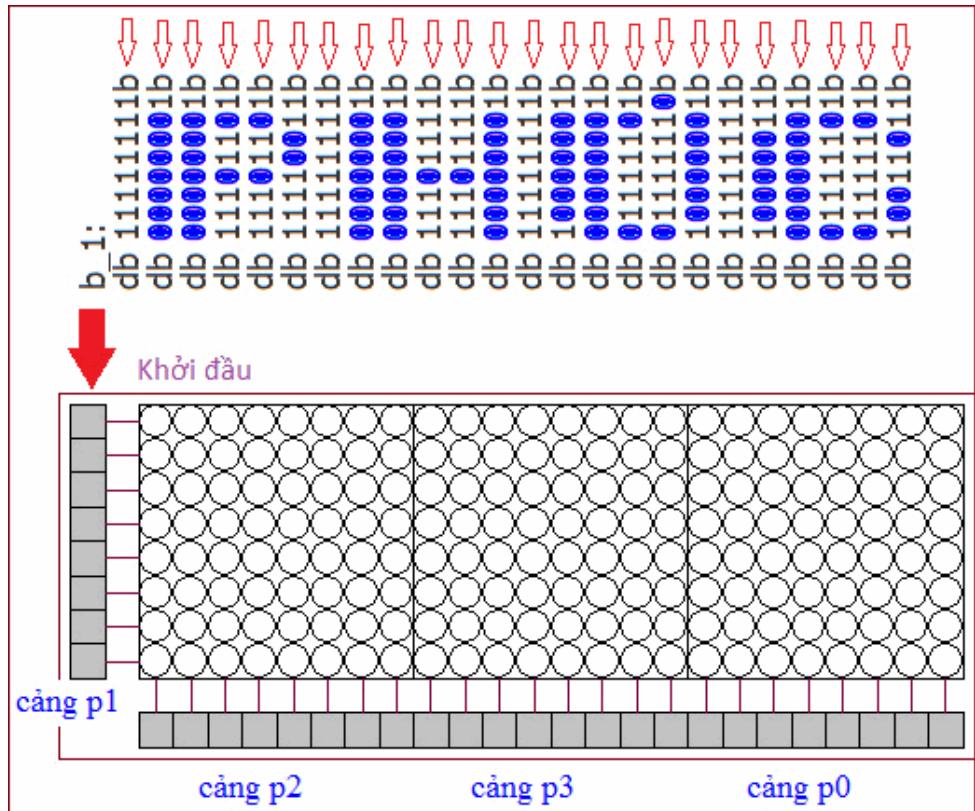
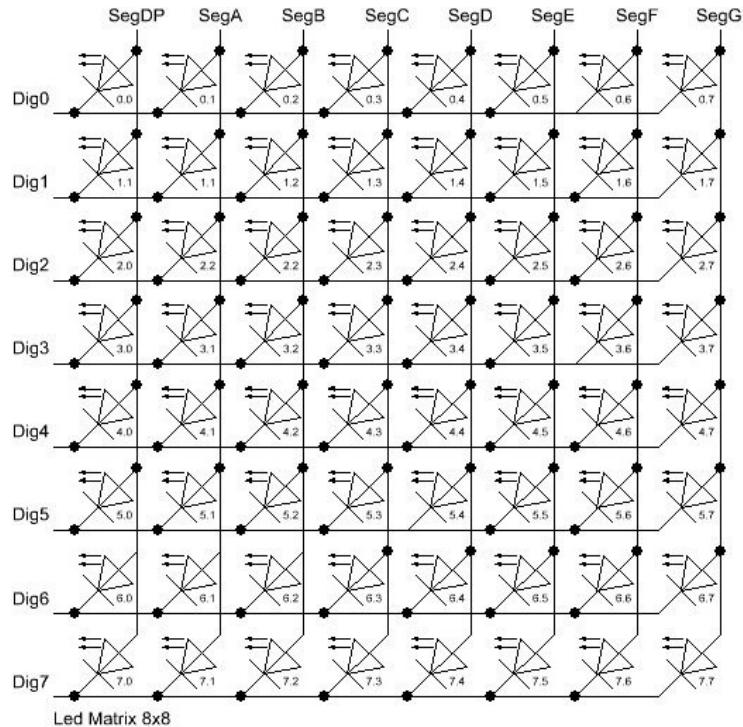
LCD

- Được sản xuất từ năm 1970, LCD là một loại vật chất phản xạ ánh sáng khi điện thế thay đổi.
- Nó hoạt động dựa trên nguyên tắc ánh sáng nền (Back Light).

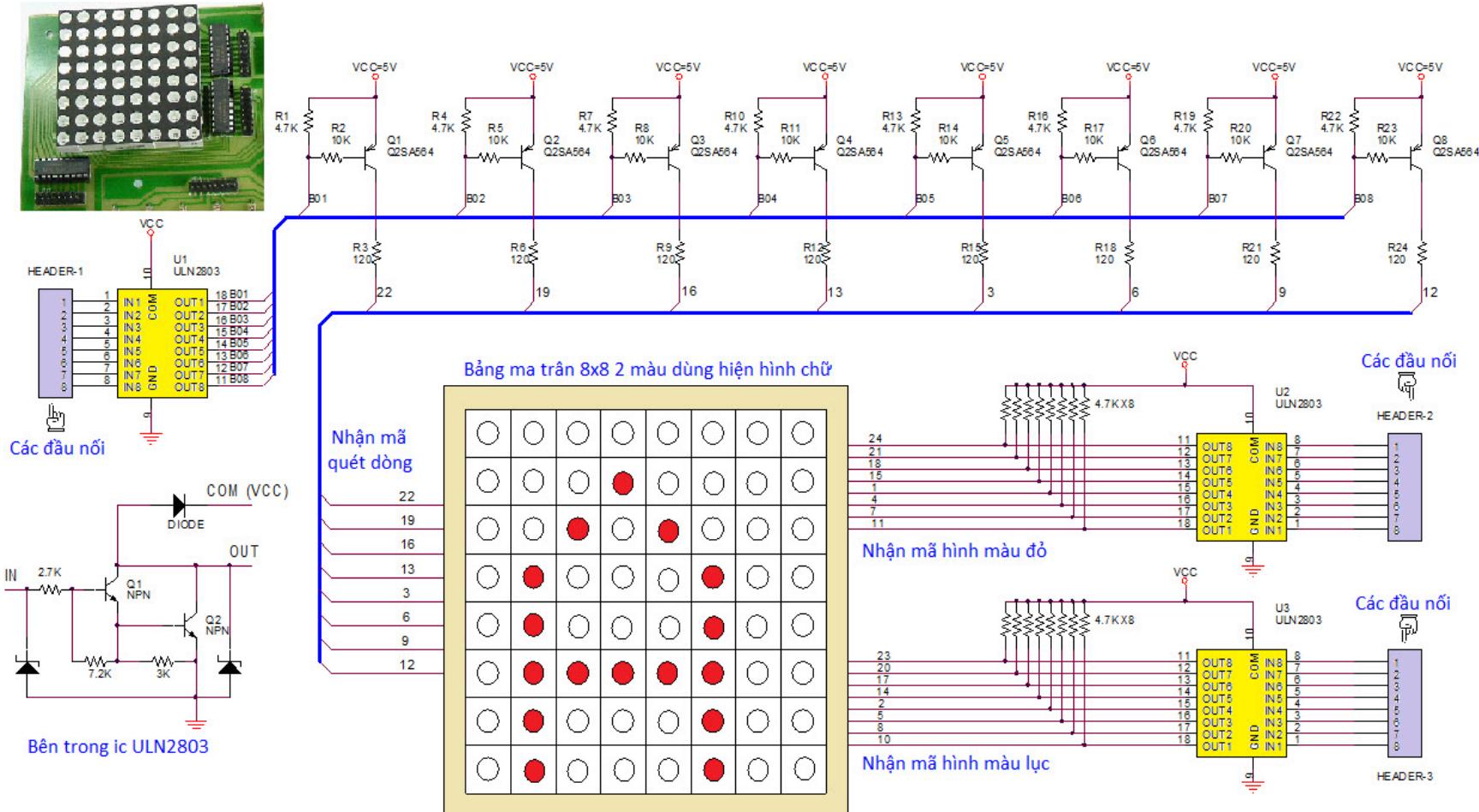


Chỉ thị số

Led ma trận



Chỉ thị số



Bộ giải mã

Vi xử lý

- Vi xử lý, thực hiện việc tính toán, xử lý kết quả đo kết nối với cơ cấu chỉ thị số
- Một số dòng vi điều khiển
 - ❖ PIC, DSPIC
 - ❖ AVR, ARM
 - ❖ MCS51
 - ❖ PSOC
 - ❖ FPGA
 - ❖

Encoder hay ADC

Encoder góc quay

- Encoder biến góc quay thành số. Nó gồm một đĩa quay chia thành vạch đen trắng. Một nguồn sáng với hệ thống quang học tạo thành chùm tia sáng xuyên qua đĩa khắc vạch biến góc quay thành số xung

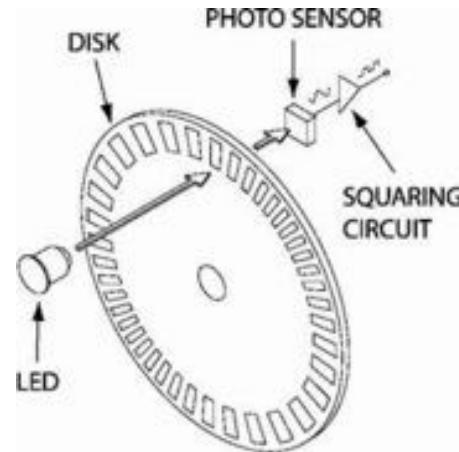
$$N_\alpha = \frac{A_x \alpha_x}{360}$$

- Trong đó:

N_α : số xung tương ứng với góc quay α_x của đĩa quay

α_x : góc quay đo tính bằng độ;

A_x : số xung tương ứng với một vòng quay



Encoder hay ADC

- ADC sẽ trình bày rõ hơn ở chương sau

Chương 6: Mạch đo lường và gia công thông tin đo

- Mạch tỷ lệ
- Mạch khuếch đại đo lường
- Mạch gia công tính toán
- Mạch so sánh
- Mạch tạo hàm
- Các bộ biến đổi tương tự số (ADC) - số tương tự (DAC)
- Mạch đo sử dụng kỹ thuật vi xử lý

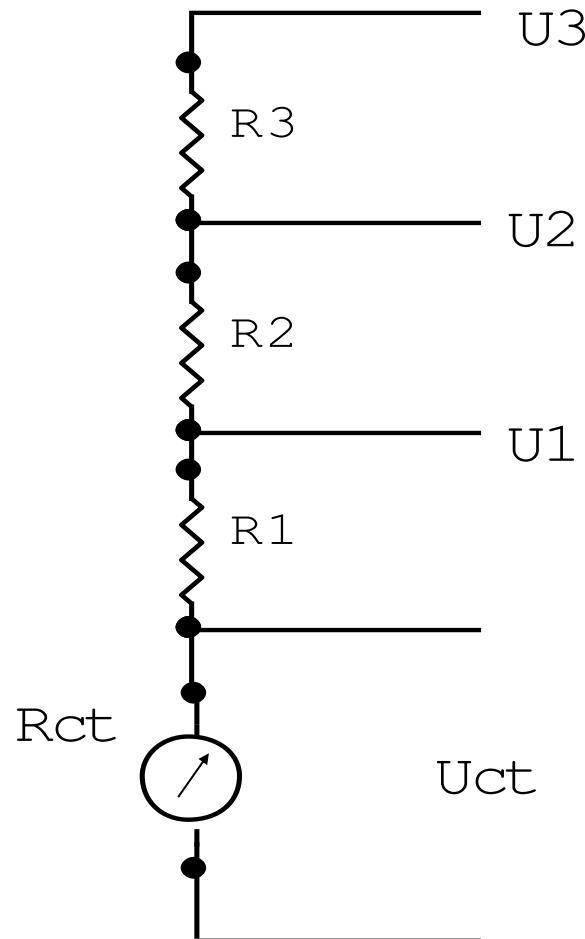
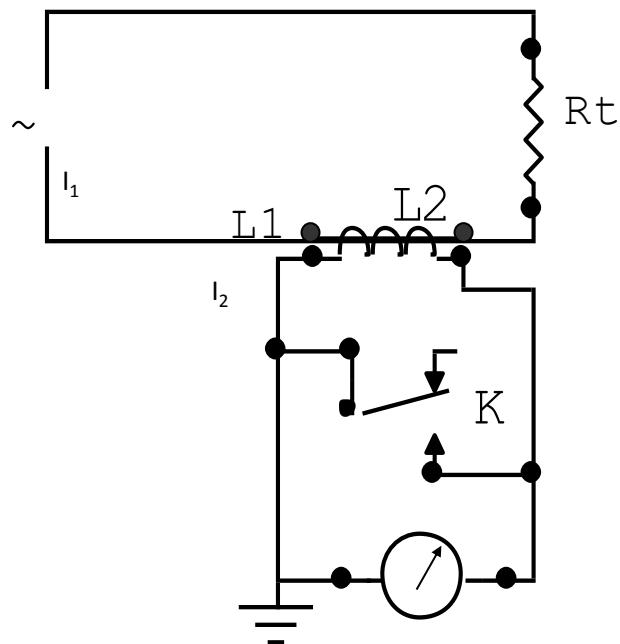
Chức năng và phạm vi làm việc:

- **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.
 - ❖ 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.

6.1. Mạch tỷ lệ

■ Đây là mạch rất thông dụng trong các mạch đo lường, có hai loại là :

- ❖ Mạch tỷ lệ dòng
- ❖ Mạch tỷ lệ áp

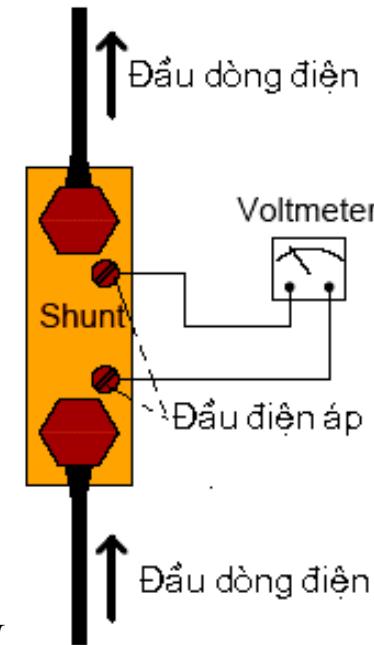
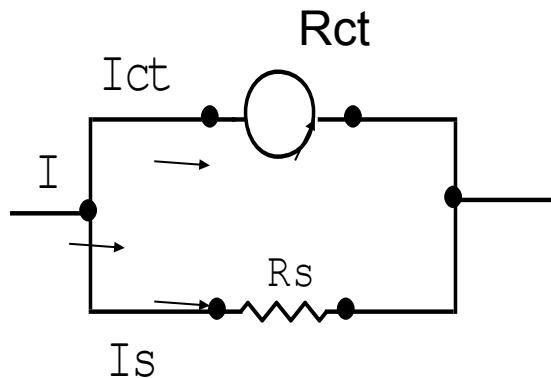


Mạch tỷ lệ dòng

- Để biến đổi dòng trong mạch một chiều người ta mắc các điện trở sun còn trong mạch xoay chiều người ta sử dụng các biến dòng điện.
- Điện trở sun là điện trở mắc song song với cơ cấu chỉ thị dùng để chia dòng một chiều.
- Điện trở sun có cấu trúc đặc biệt với 4 đầu

$$R_s = \frac{R_{ct}}{n - 1}$$

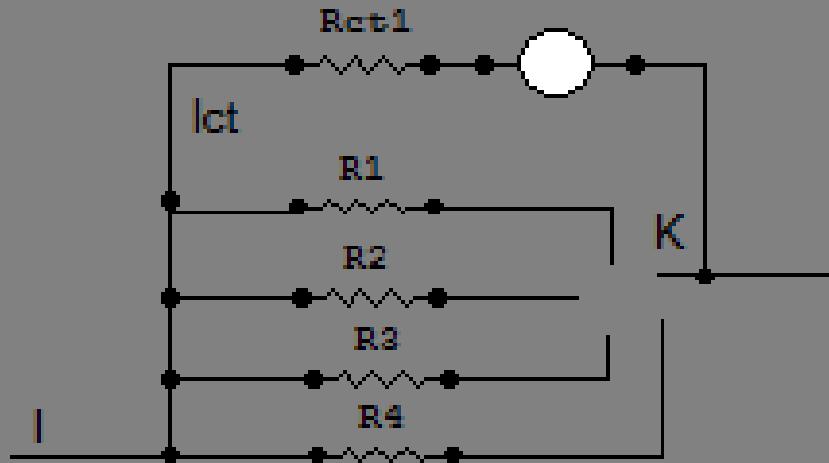
$$n = \frac{I}{I_{ct}}$$



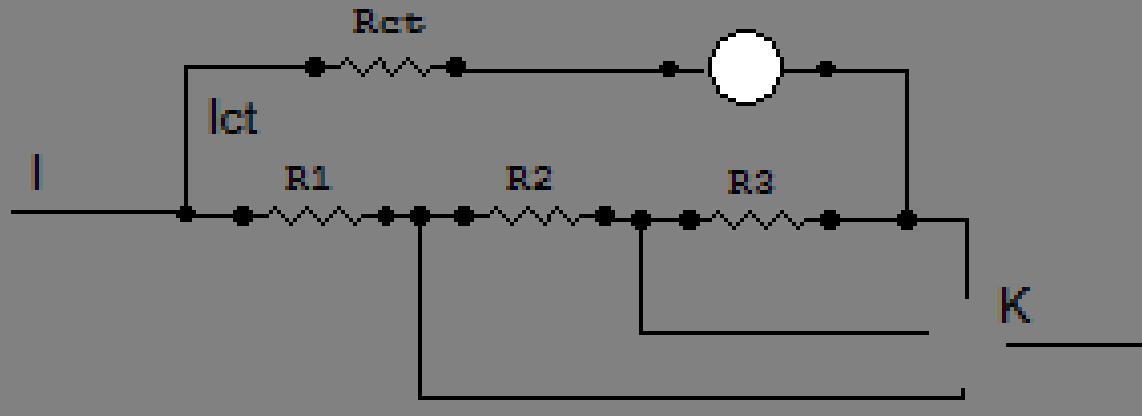
Mạch tỷ lệ dòng

- Có hai cách

Mắc điện trở sun kiểu song song

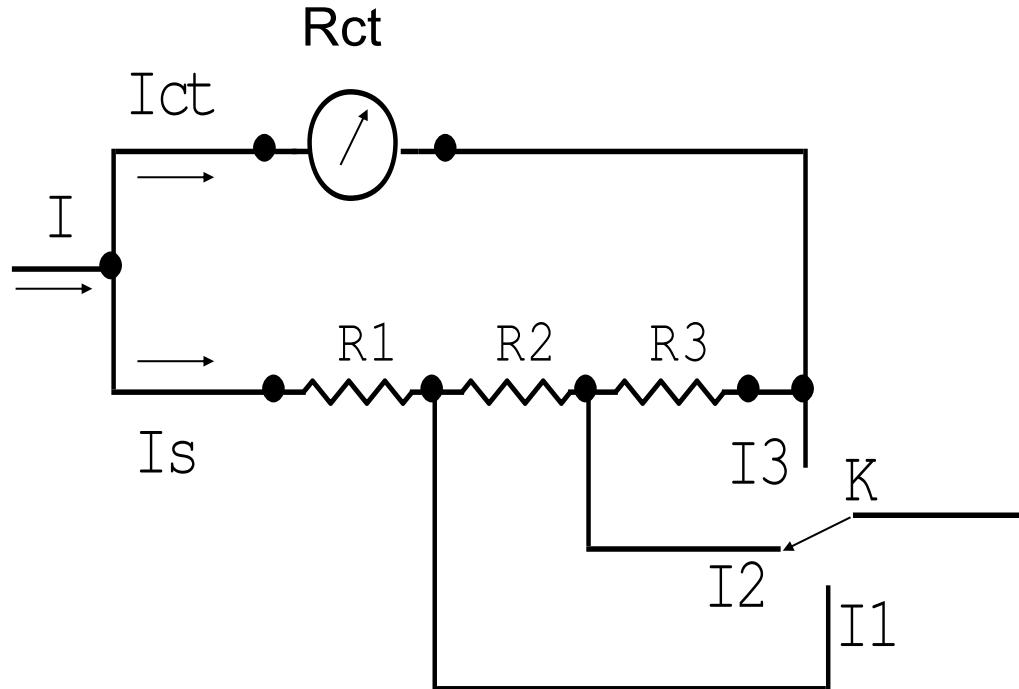


Mắc điện trở sun kiểu nối tiếp



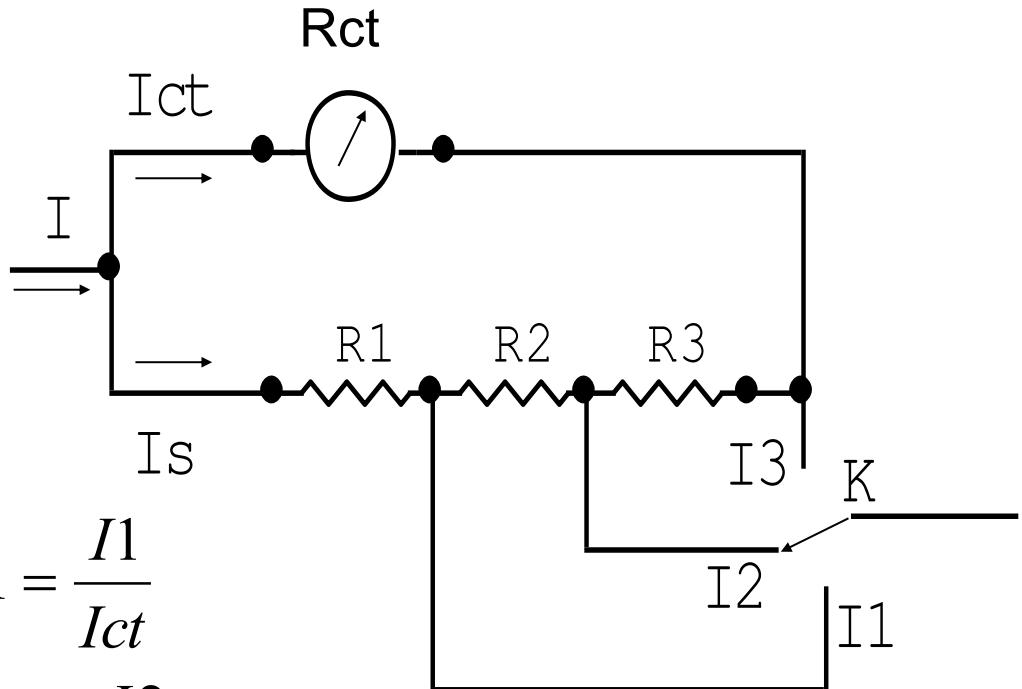
Mạch tỷ lệ dòng

- Hai đầu dòng để đưa dòng I_s vào còn hai đầu áp sẽ lấy áp ra mắc với cơ cấu chỉ thị. Điện trở sun được chế tạo với dòng từ mA đến 10.000A và điện áp khoảng 60, 75, 100, 150 và 300mV.
- Muốn dùng điện trở sun có nhiều hệ số chia dòng khác nhau người ta mắc như hình dưới đây,



Mạch tỷ lệ dòng

Mở rộng thang đo



$$R_{s1} = R_1 = \frac{R_{ct} + R_2 + R_3}{n_1 - 1}, n_1 = \frac{I_1}{I_{ct}}$$

$$R_{s2} = R_1 + R_2 = \frac{R_{ct} + R_3}{n_2 - 1}, n_2 = \frac{I_2}{I_{ct}}$$

$$R_{s3} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{R_{ct}}{n_3 - 1}, n_3 = \frac{I_3}{I_{ct}}$$

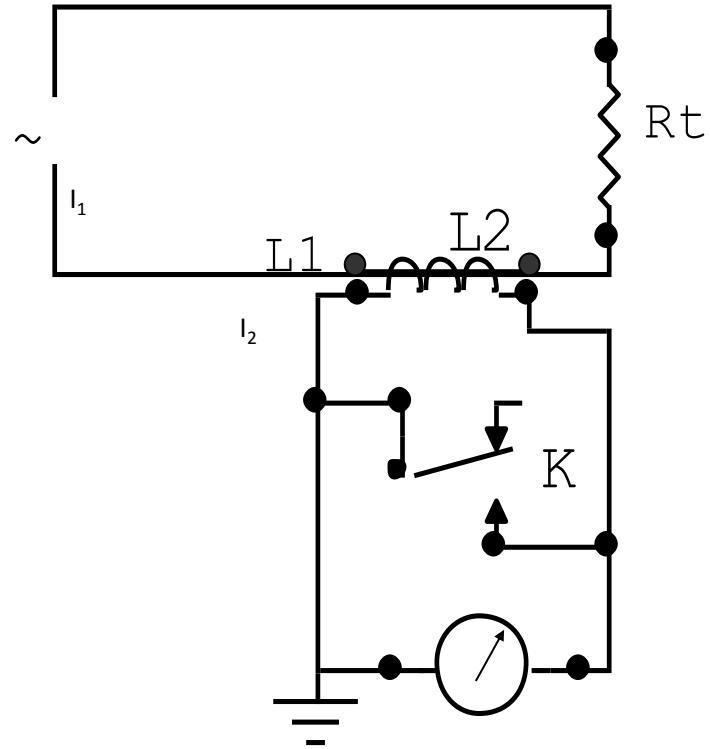
*Dòng xoay chiều nếu muốn dùng điện trở sun để chia thì
tải phải là thuận trở.*

Biến dòng điện

- Biến dòng là một biến áp mà thứ cấp được ngắn mạch, sơ cấp nối tiếp với mạch có dòng điện chạy qua. Nếu biến dòng lý tưởng và không có tổn hao thì:

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

- ❖ I_1, I_2 là dòng qua cuộn sơ cấp và thứ cấp
- ❖ W_1, W_2 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp



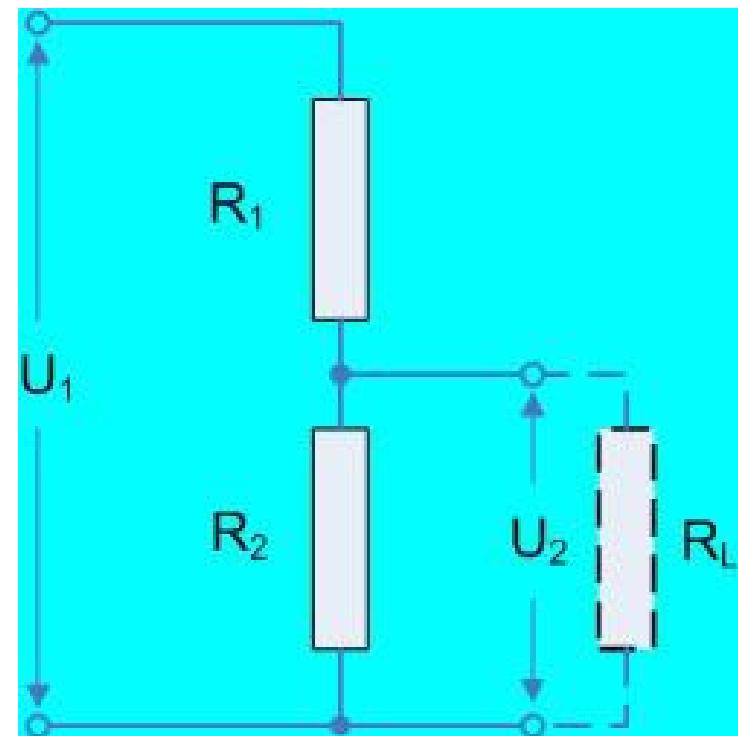
Mạch tỷ lệ dòng

Bài 1: Cho một miliampemeter từ điện, có thang chia độ 250vạch. Giá trị độ chia $C_l=0.2mA/vạch$. Điện trở cơ cấu đo $R_{cc}=200\Omega$.

Vẽ sơ đồ mạch Ampemet và tính các giá trị điện trở R_1 , R_2 , R_3 mắc nối tiếp tạo thành các điện trở Sun cho 3 giới hạn đo dòng điện 1A, 5A và 10A

Mạch tỷ lệ áp

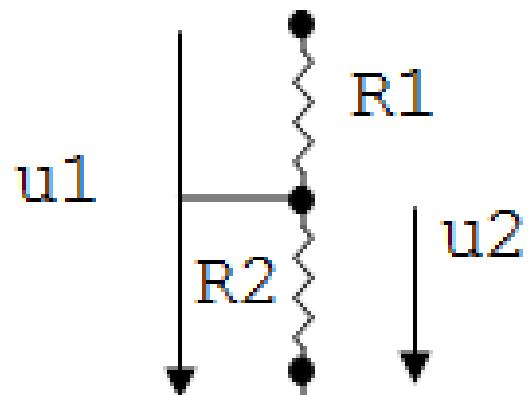
- Mạch phân áp: là mạch phân điện áp, thường có U_2 nhỏ hơn U_1 tức là công suất ra nhỏ hơn công suất vào.
- Các mạch phân áp thường dùng
 - ❖ Mạch phân áp điện trở
 - ❖ Mạch phân áp điện dung
 - ❖ Mạch phân áp điện cảm
 - ❖ Mạch biến áp đo lường



Mạch phân áp điện trở

- Gọi hệ số phân áp là $m = \frac{U_1}{U_2}$

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



- Khi tải là những cơ cấu chỉ thị có điện trở không đổi, người ta dùng R2 là điện trở của ngay bản thân chỉ thị. R1 gọi là điện trở phụ.

$$R_1 = R_2 \cdot (m - 1)$$

$$\Rightarrow R_p = R_{ct} \cdot (m - 1)$$

Mạch phân áp điện trở

- Để tăng thêm độ chính xác người ta sử dụng biến trở trượt được gắn thang chia độ, trên ấy có khắc hệ số phân áp tương ứng hoặc các hệ số phân áp nhảy cấp.
- Khi muốn có nhiều hệ số chia áp khác nhau người ta có thể mắc điện trở phụ như sau:

$$Rp1 = R1 = Rct(m1 - 1)$$

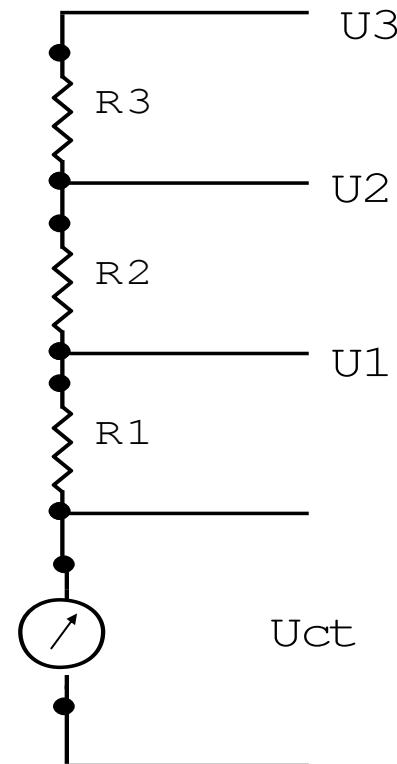
$$m1 = \frac{U1}{U_{ct}}$$

$$Rp2 = R1 + R2 = Rct(m2 - 1)$$

$$m2 = \frac{U2}{U_{ct}}$$

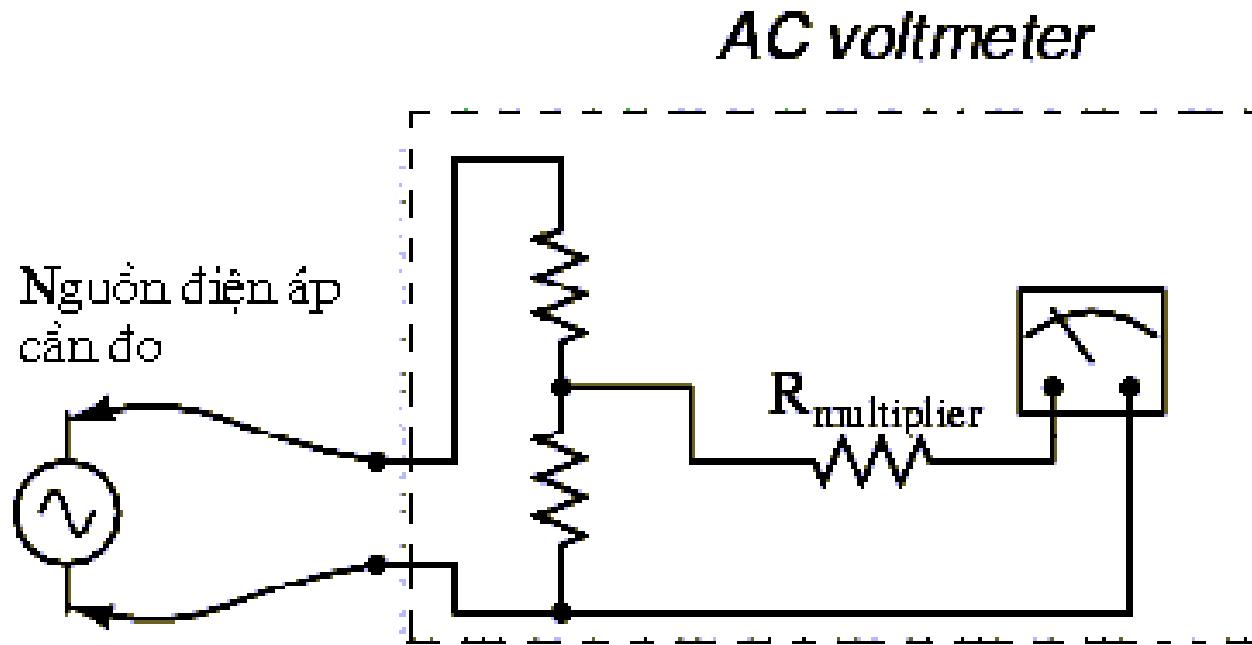
$$Rp3 = R1 + R2 + R3 = Rct(m3 - 1)$$

$$m3 = \frac{U3}{U_{ct}}$$



Mạch phân áp điện trở

- Mạch phân áp điện trở thường được sử dụng trong các mạch vào của các dụng cụ đo, ví dụ như hình bên nó được sử dụng trong vôn kế xoay chiều



Mạch phân áp điện dung

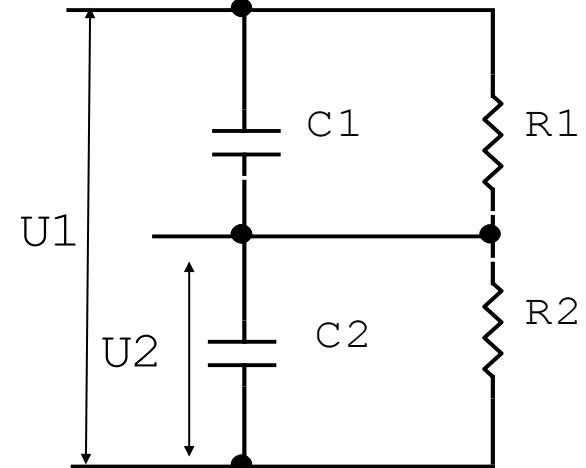
- Mạch này được sử dụng trong mạch xoay chiều.
- Có thể tính m như sau:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

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

$$Z_2 = R_2 // C_2 = \frac{1}{1/R_2 + j\omega C_2}$$

$$\Rightarrow m = 1 + \frac{1/R_2 + j\omega C_2}{1/R_1 + j\omega C_1} = 1 + \frac{C_2 + \frac{1}{j\omega R_2}}{C_1 + \frac{1}{j\omega R_1}}$$



Tần số khá lớn thì

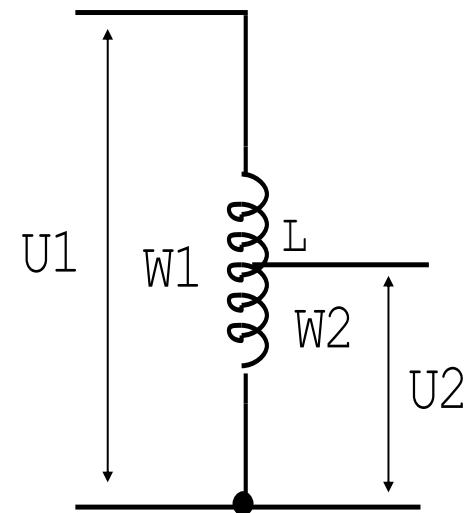
$$m = 1 + \frac{C_2}{C_1}$$

Mạch phân áp điện dung thường được sử dụng trong mạch có tần số cao. Phân áp chỉ phụ thuộc vào tụ điện.

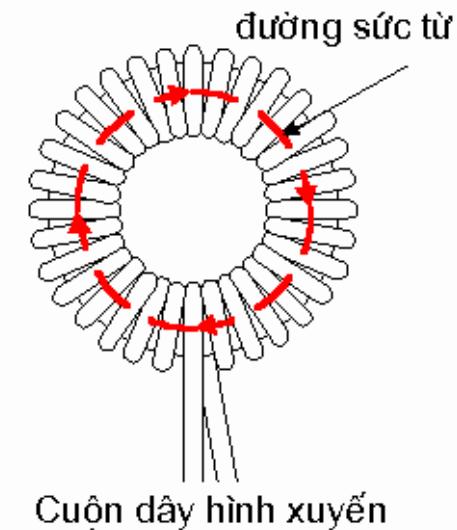
Mạch phân áp điện cảm

- Có thể coi mạch như một biến áp tự ngẫu, đầu vào và đầu ra được nối với nhau cả về phần điện lẫn phần từ.
- Khi đó hệ số phân áp là:

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



- Để đảm bảo điều kiện biến áp lý tưởng lõi thép phải chế tạo kiểu mạch từ kín, từ thông mọc vòng đều trên toàn cuộn phân áp, từ thông tản vừa nhỏ vừa đều.

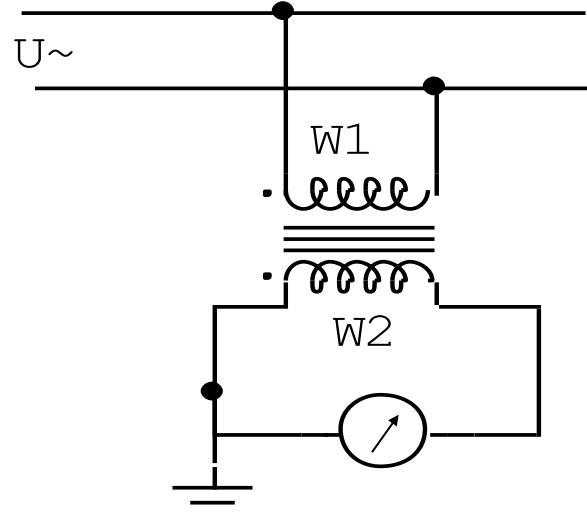


Mạch biến áp đo lường

- Đầu vào / ra có thể liên hệ với nhau bằng điện và từ (trong trường hợp biến áp tự ngẫu) hoặc chỉ bằng từ và cách điện với nhau
- Giống với phân áp điện cảm nhưng khác nhau hệ số có thể lớn hoặc nhỏ hơn 1.
- Hệ số phân áp

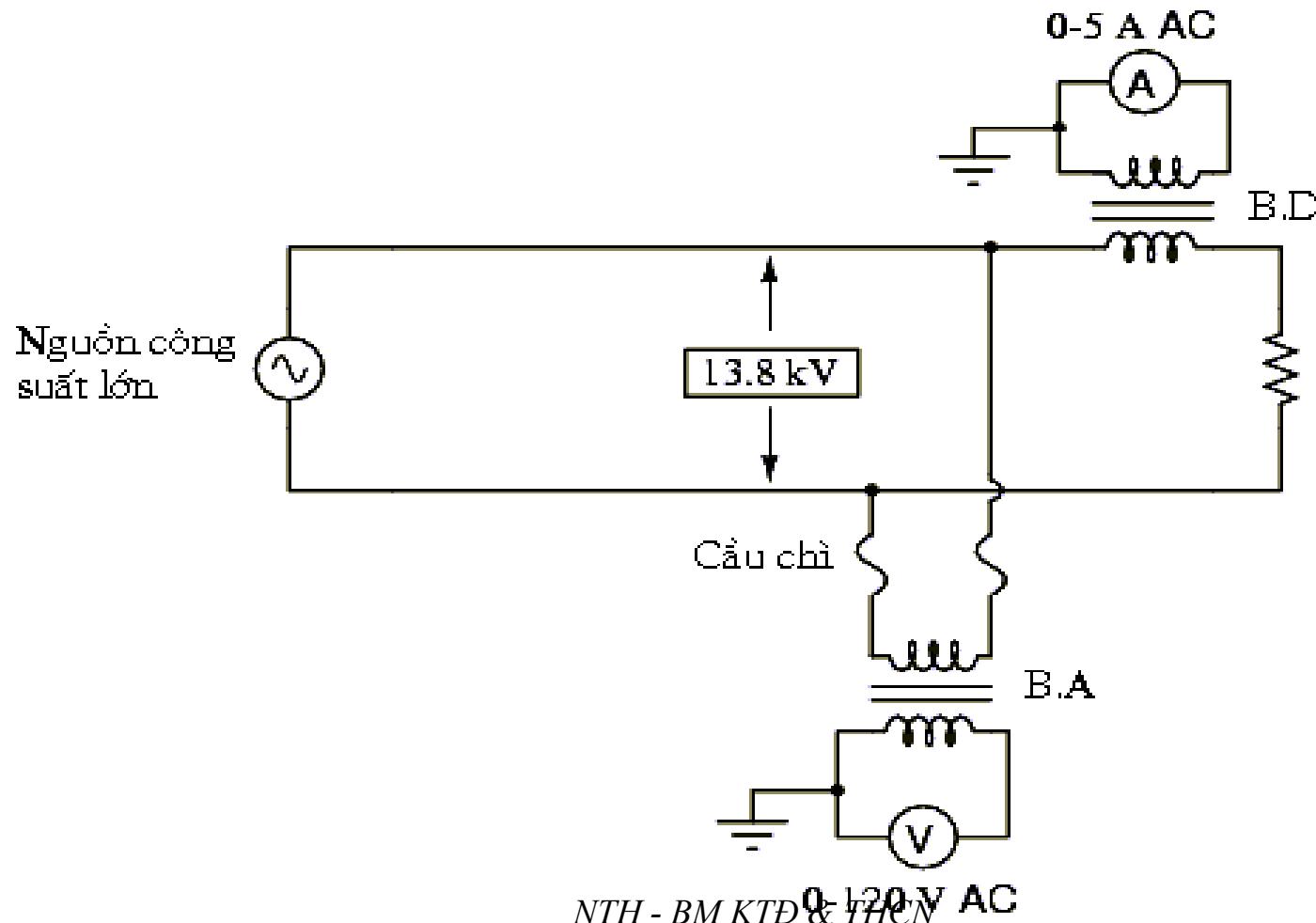
$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

- Mạch biến áp này dùng để đo điện áp xoay chiều có điện áp rất cao ở cuộn sơ cấp bằng một Vôn kế có khả năng đo điện áp nhỏ hơn rất nhiều mắc ở cuộn thứ cấp



Mạch biến áp đo lường

- Ví dụ một mạch đo nguồn xoay chiều có dòng và áp rất lớn bằng cách sử dụng biến dòng và biến áp



6.2. Mạch khuếch đại

- Mạch khuếch đại cho tín hiệu ra có công suất lớn hơn rất nhiều so với đầu vào. Ở phương tiện gia công tin tức thì

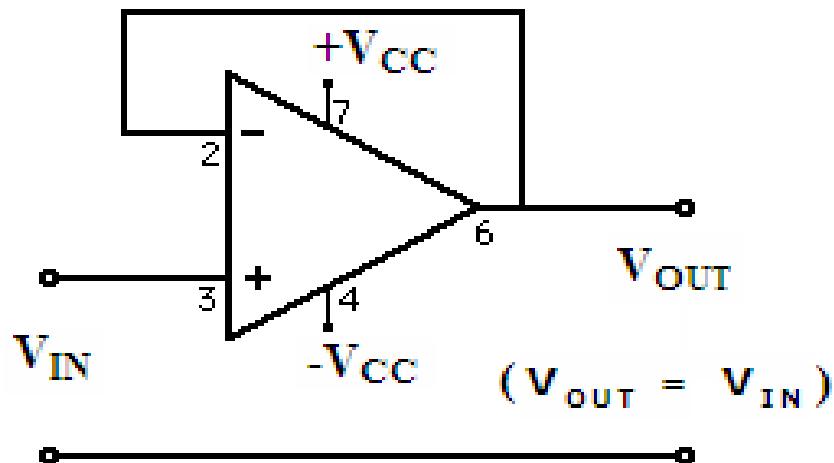
$$X_r = K \cdot X_v$$

- Mạch khuếch đại đo lường còn có khả năng mở rộng đặc tính tần của thiết bị đo và đặc biệt là tăng độ nhạy lên nhiều lần cũng như tăng trở kháng đầu vào của thiết bị.
- Mạch khuếch đại có thể được thực hiện bởi đèn điện tử, đèn bán dẫn và vi mạch.
 - ❖ Mạch lắp điện áp
 - ❖ Mạch khuếch thuật toán
 - ❖ Khuếch đại đo lường
 - ❖ Mạch khuếch đại cách ly

Mạch lắp điện áp

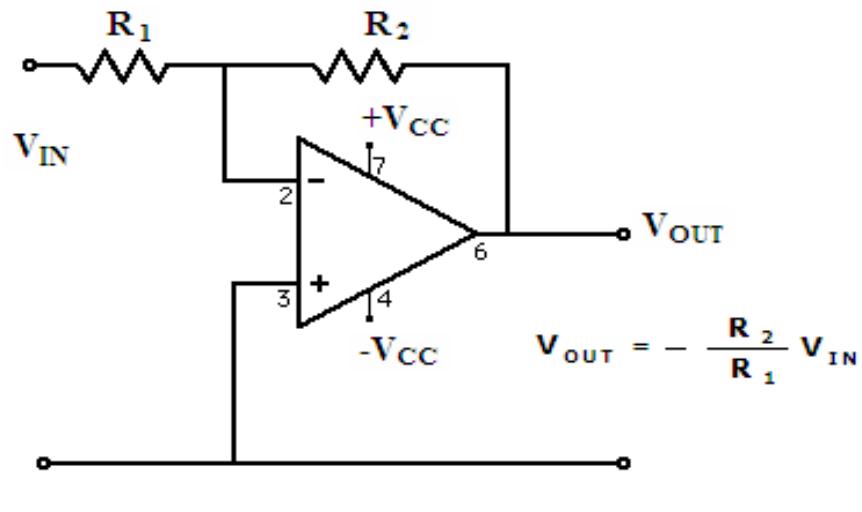
- Mạch này có nhiệm vụ khuếch đại dòng điện lên giá trị lớn hơn còn điện áp có lắp lại như đầu vào hoặc suy giảm chút ít.
- Ví dụ sơ đồ lắp điện áp như hình dưới đây:

Mạch này không có tác dụng khuếch đại điện áp nhưng rất hay được sử dụng vì nó có trở kháng vào rất lớn cho phép phối hợp tải với các nguồn tín hiệu công suất nhỏ.

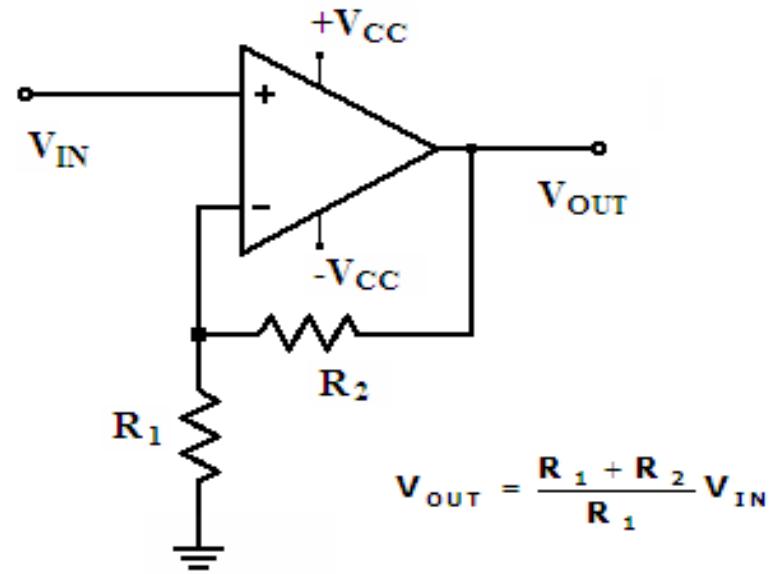


Khuếch đại thuật toán

■ Khuếch đại đảo



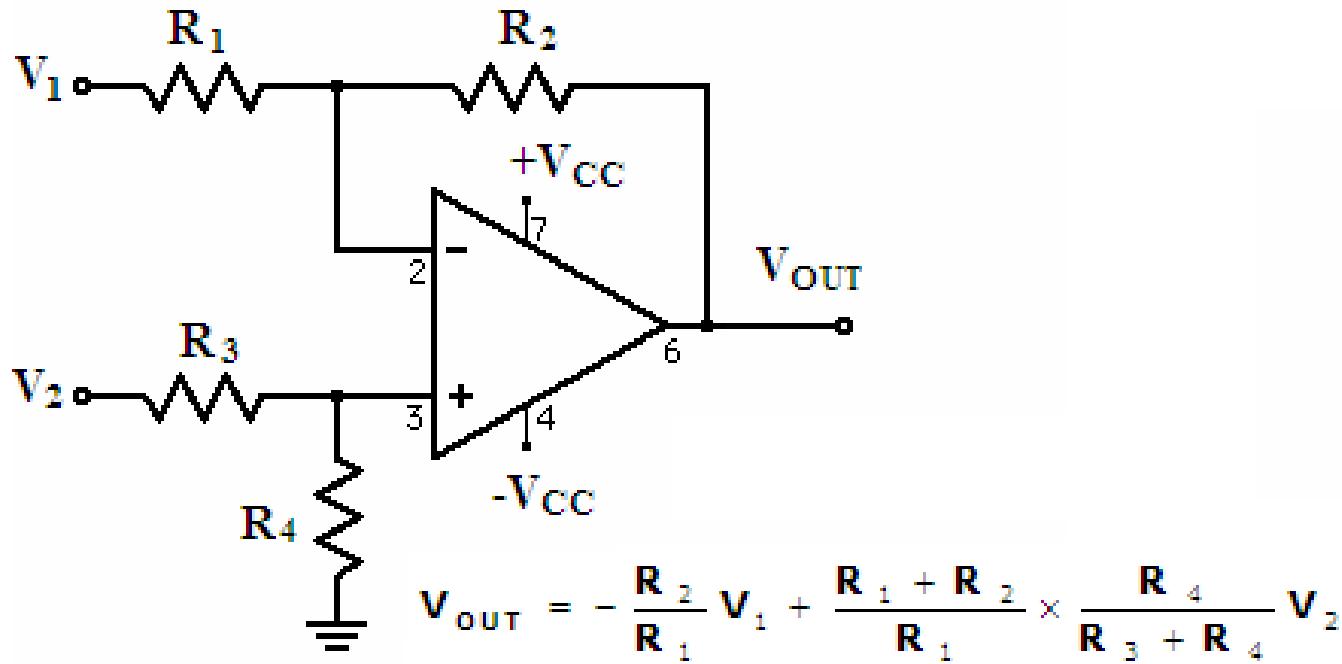
■ Khuếch đại không đảo



$$K = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$K = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Khuếch đại vi sai



- Trong mạch trù điện áp, nếu ta chọn các điện trở: $R_3 = R_1$ và $R_4 = R_2$ thì hệ số của hai điện áp vào là như nhau
- Mạch này được gọi là mạch khuếch đại vi sai.

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Khuếch đại đo lường

- 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:

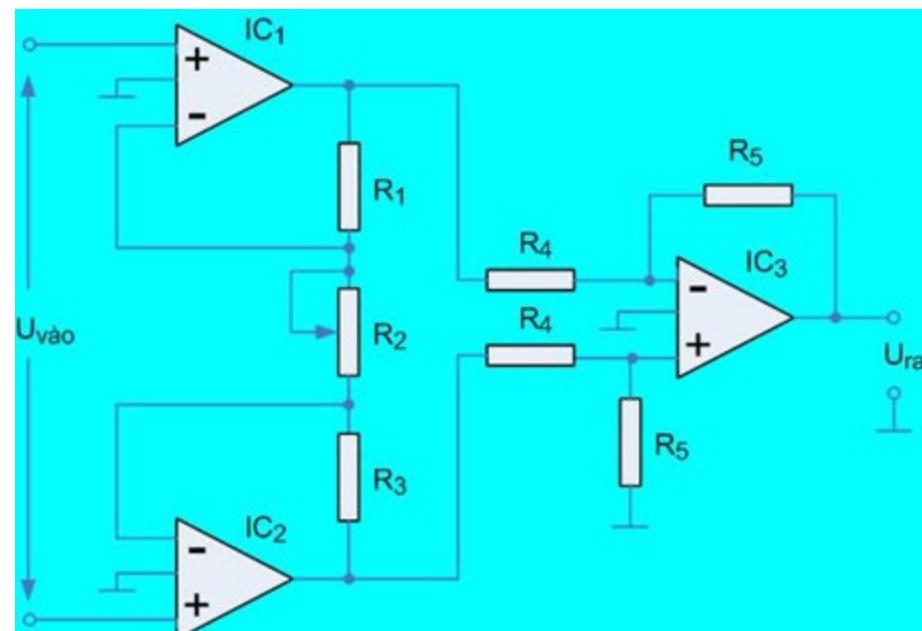
- Tầng 1: hai bộ lặp dùng khuếch đại thuật toán

$$K_1 = 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2}$$

- Tầng 2: $K_2 = \frac{R_5}{R_4}$

- Hệ số khuếch đại cả mạch

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



Khuếch đại đo lường

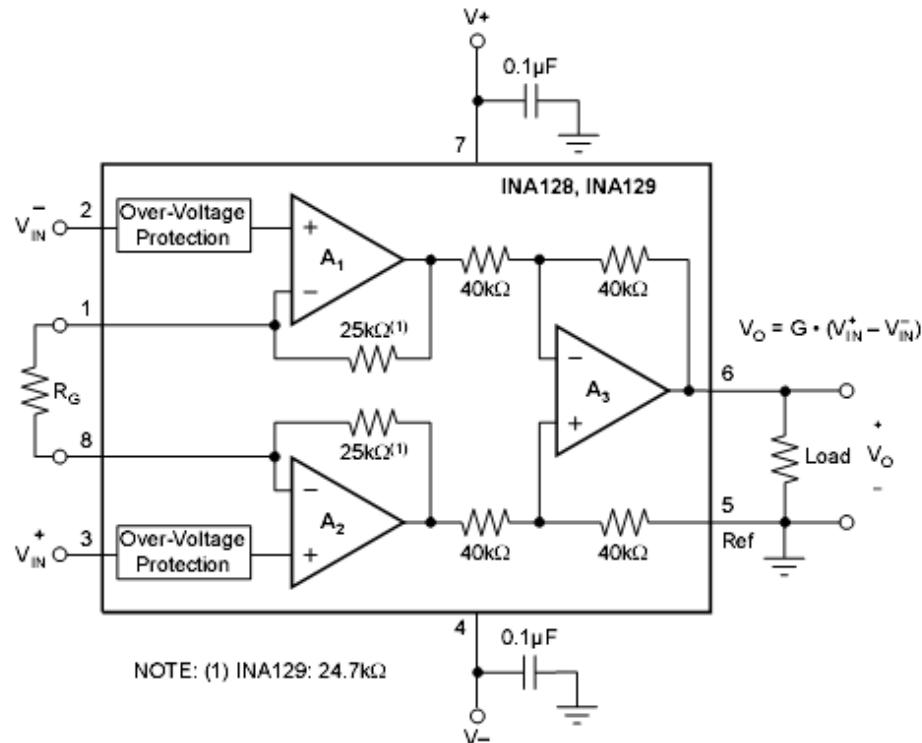
- Một số khuếch đại đo lường trong thực tế: vi mạch INA128, INA129

$$\text{INA128: } G = 1 + \frac{50\text{k}\Omega}{R_G}$$

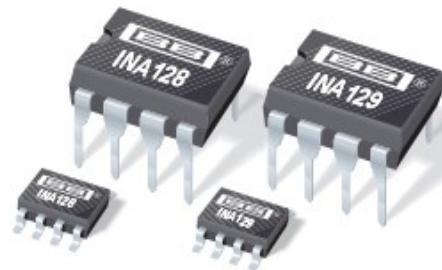
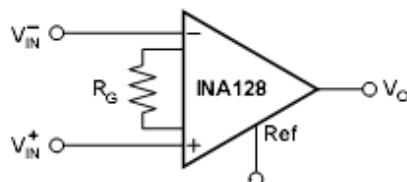
$$\text{INA129: } G = 1 + \frac{49.4\text{k}\Omega}{R_G}$$

DESIRED GAIN (V/V)	INA128		INA129	
	R _G (Ω)	NEAREST 1% R _G (Ω)	R _G (Ω)	NEAREST 1% R _G (Ω)
1	NC	NC	NC	NC
2	50.00k	49.9k	49.4k	49.9k
5	12.50k	12.4k	12.35k	12.4k
10	5.556k	5.62k	5489	5.49k
20	2.632k	2.61k	2600	2.61k
50	1.02k	1.02k	1008	1k
100	505.1	511	499	499
200	251.3	249	248	249
500	100.2	100	99	100
1000	50.05	49.9	49.5	49.9
2000	25.01	24.9	24.7	24.9
5000	10.00	10	9.88	9.76
10000	5.001	4.99	4.94	4.87

NC: No Connection.

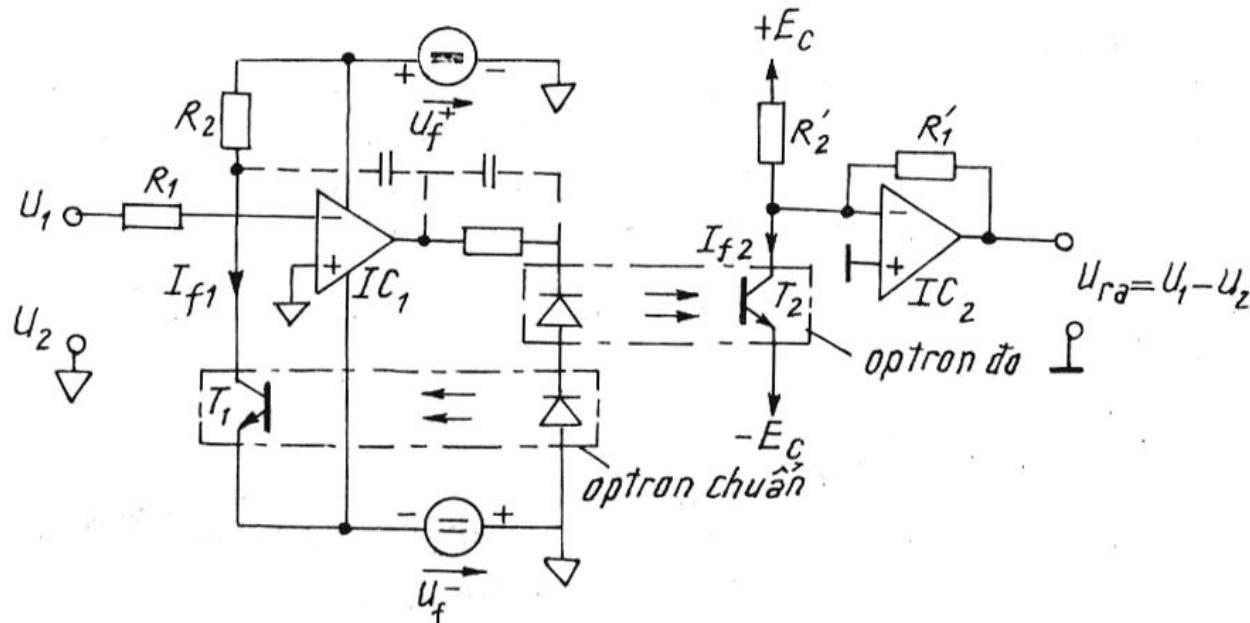


Also drawn in simplified form:



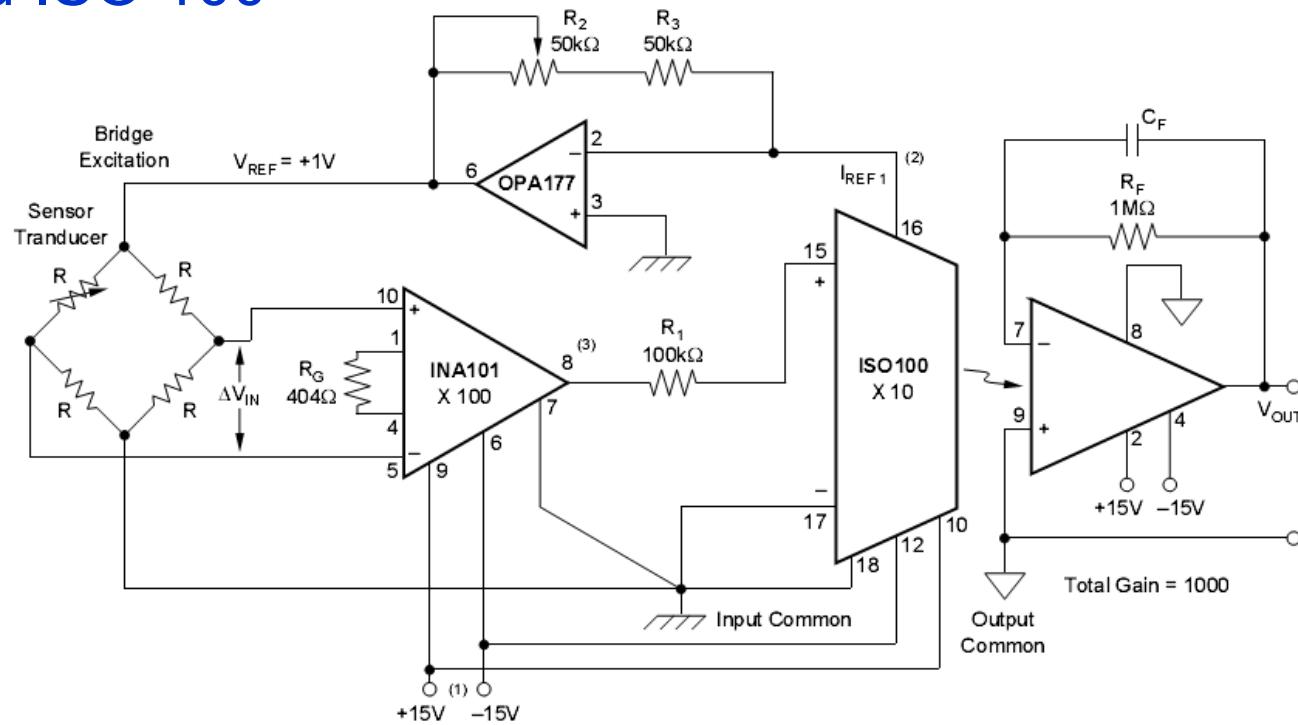
Mạch khuếch đại cách ly

- 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.



Mạch khuếch đại cách ly

■ Ví dụ ISO 100

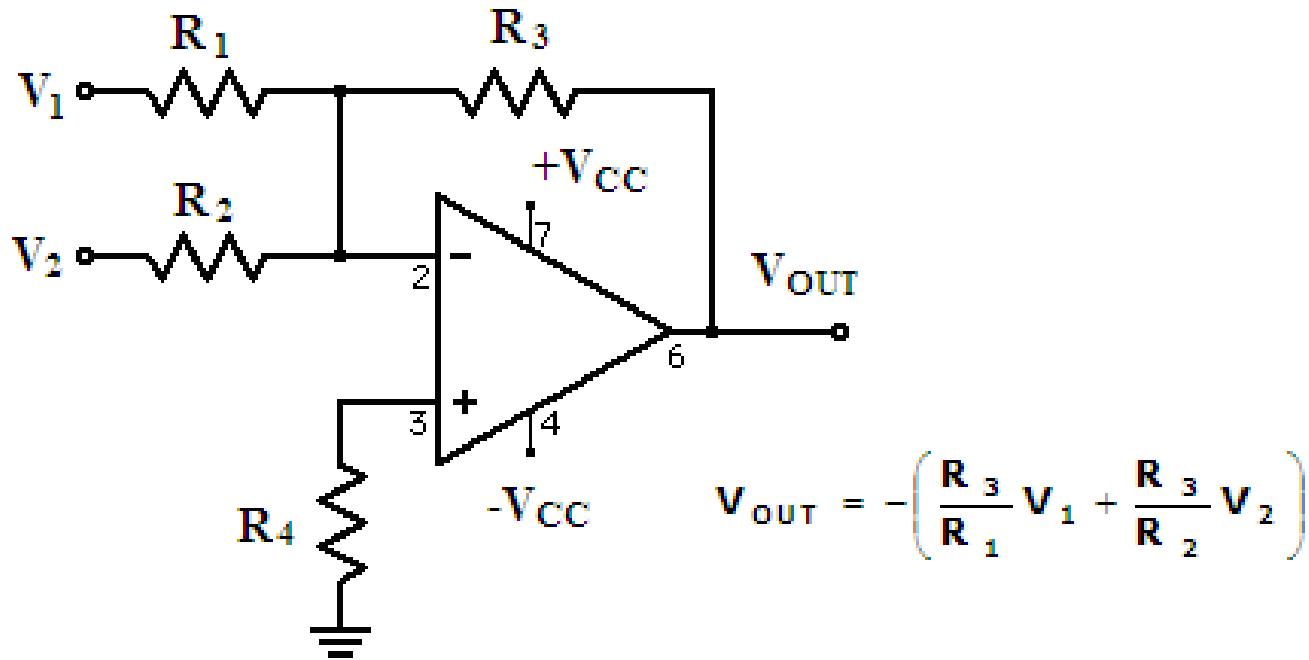


- Trong ví dụ này, điện áp cung cấp cho cầu đo được tạo ra từ nguồn dòng chuẩn bên trong ISO100, I_{REF} .
- Nguồn cung cấp cho hai tầng của ISO100 phải được cách ly với nhau

6.3. Mạch gia công tính toán

- Mạch cộng không đảo
- Mạch cộng đảo
- Mạch trừ
- Mạch nhân
- Mạch chia
- Mạch tích phân
- Mạch vi phân

Mạch cộng đảo (hệ số âm)



■ Áp dụng quy tắc xếp chồng cho mạch trên, ta có:

$$V_{OUT} = -\frac{R_3}{R_1} V_1 - \frac{R_3}{R_2} V_2$$

■ Để đảm bảo cân bằng offset, chọn $R_4 = R_3 // R_2 // R_1$

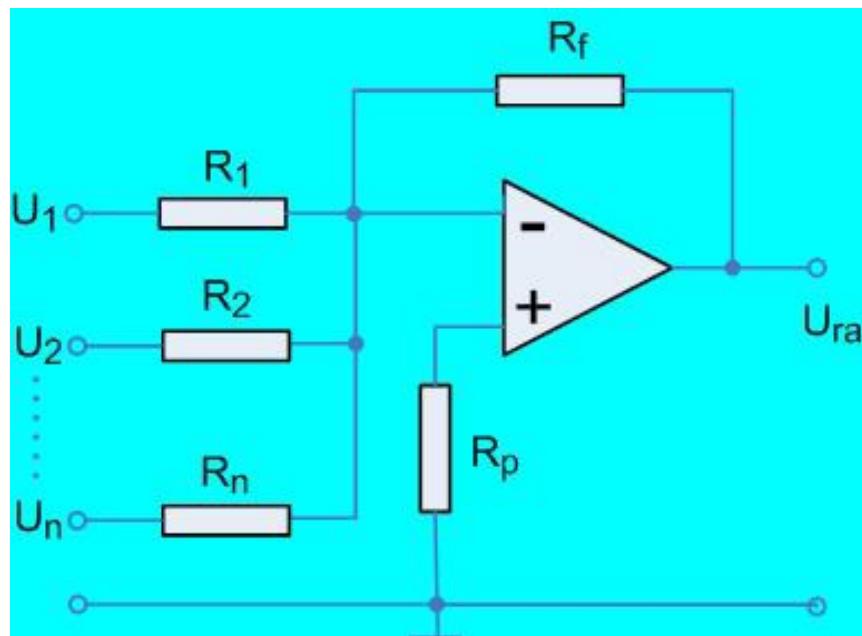
Mạch cộng đảo

- Tín hiệu ra Ura tỉ lệ với tổng đại số của các tín hiệu vào

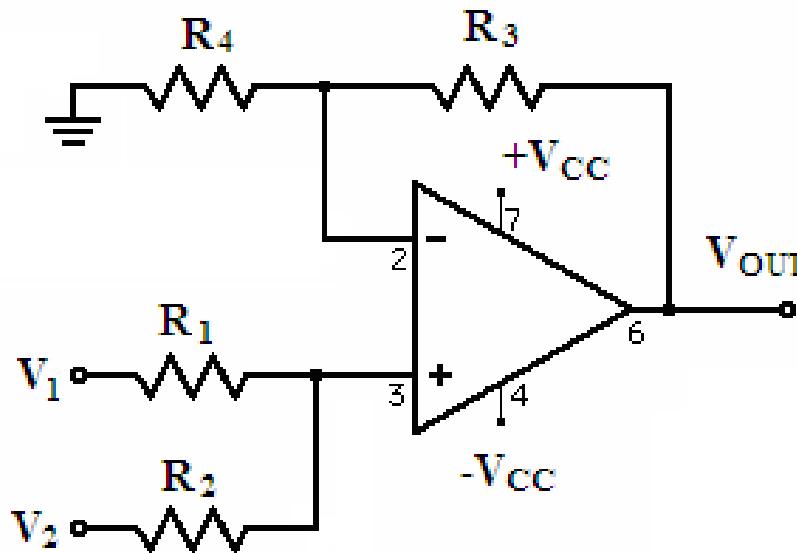
$$U_{ra} = -\frac{R_f}{R_1}U_1 - \frac{R_f}{R_2}U_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}U_n = -\sum_{i=1}^n \frac{R_f}{R_i}U_i$$

- Nếu $R_f = R1 = R2 = \dots = Ri = Rn$ thì:

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



Mạch cộng không đảo



- Biểu thức tính điện áp ra của mạch:

$$V_{OUT} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2 \right)$$

- Biểu thức tính hệ số của các điện áp vào có dạng phức tạp hơn so với mạch có đảo

Mạch cộng không đảo

Hệ số cho mỗi điện áp vào V_i là:

$$K_i = \frac{R_A + R_F}{R_A} \times \frac{R_{pi}}{R_i + R_{pi}} = \frac{R_A + R_F}{R_A} \times \frac{R_p}{R_i}$$

(R_p là trị số tương đương song song của n điện trở nối ở lối vào +)

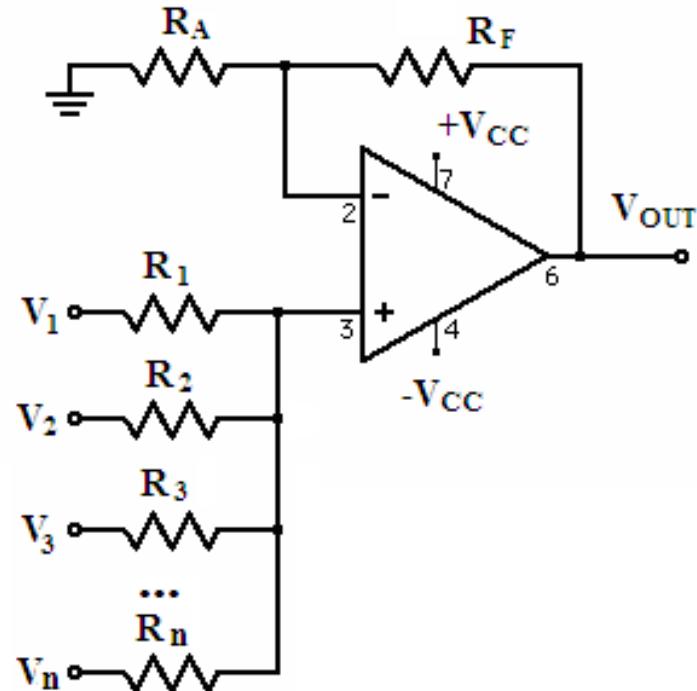
R_{pi} là trị số tương đương song song của n-1 điện trở nối ở lối vào +, không kể điện trở R)

Để đảm bảo cân bằng offset, ta chọn:

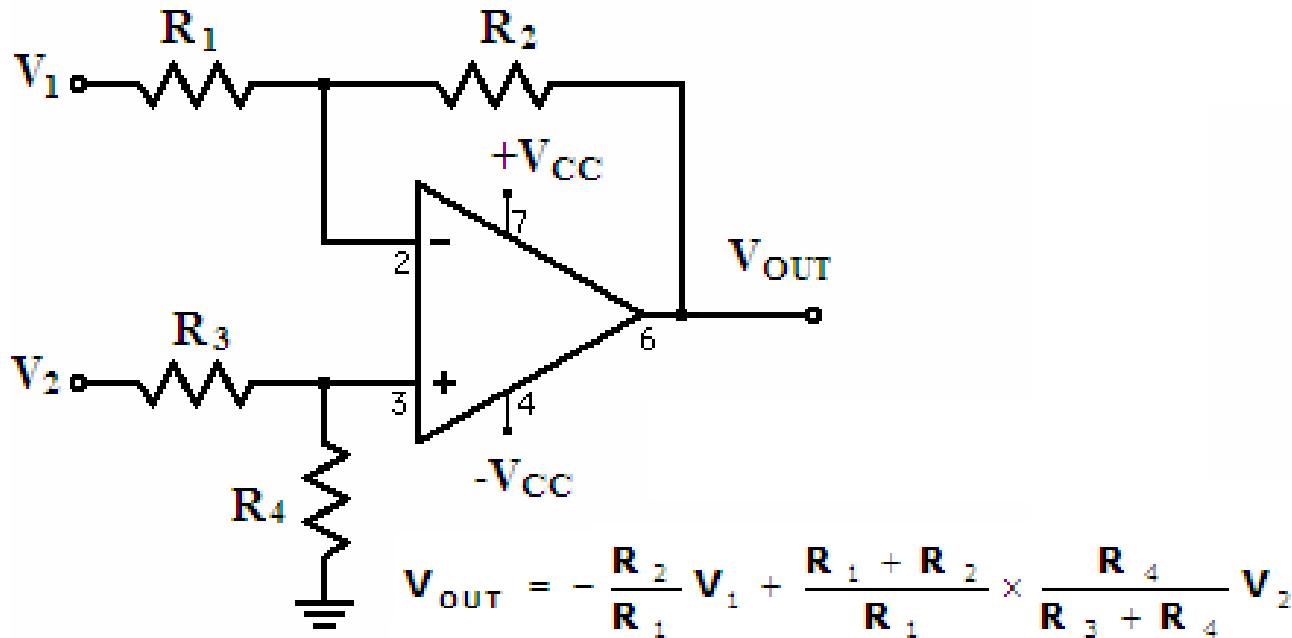
$$R_p = R_A // R_F = \frac{R_A R_F}{R_A + R_F}$$

Khi đó:

$$K_i = \frac{R_F}{R_A // R_F} \times \frac{R_p}{R_i} = \frac{R_F}{R_i}$$

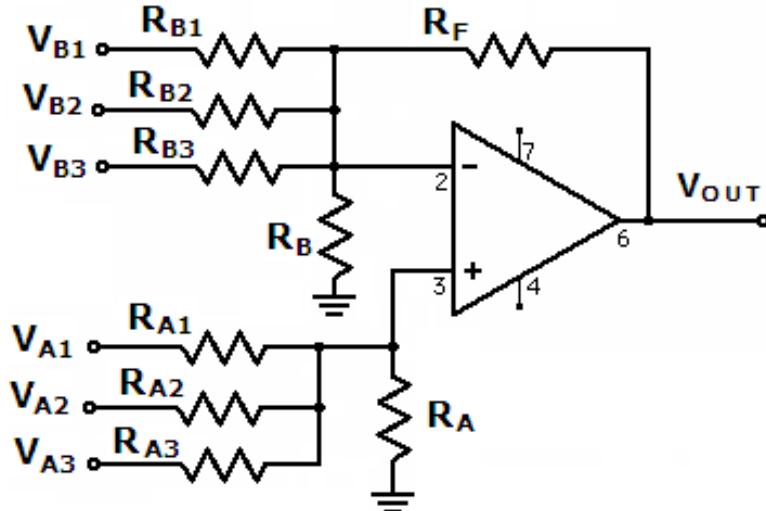


Mạch trùp điện áp



- Mạch đại này đưa điện áp tới cả hai lối vào đảo và không đảo của Op-Amp.
- Điện áp ra của mạch tỷ lệ với hiệu của điện áp ở hai lối vào, với hệ số của các điện áp vào có thể khác nhau

Mạch cộng/trùp điện áp



- Truyền đạt áp: $V_{OUT} = \sum a_i \times V_{Ai} - \sum b_i \times V_{Bi}$

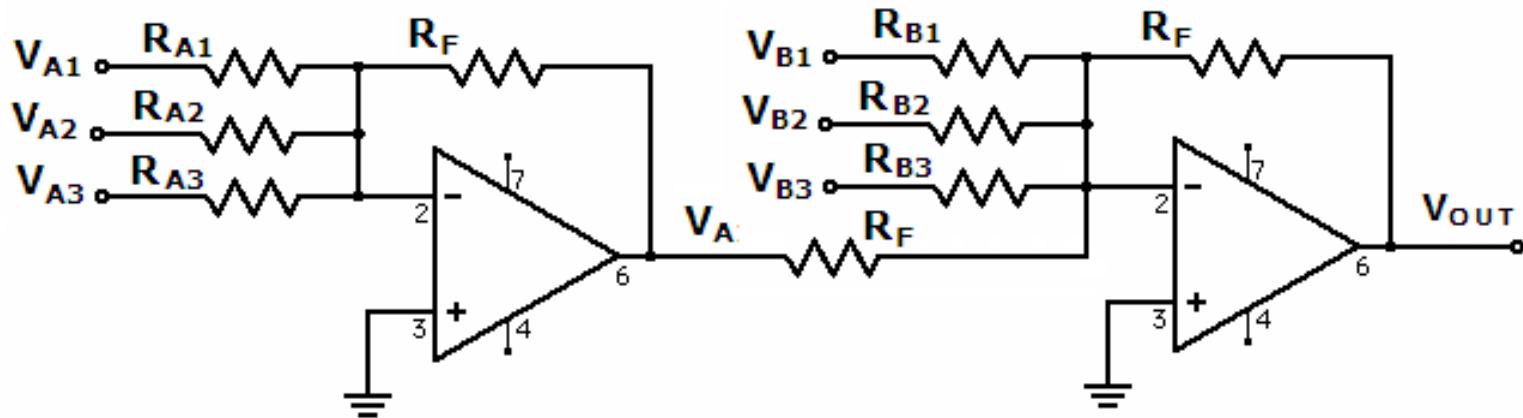
- Điều kiện cân bằng offset:

$$R_{A1} // R_{A2} // \dots // R_A = R_{B1} // R_{B2} // \dots // R_B // R_F$$

- Nếu $\sum a_i > \sum b_i + 1$: chọn $R_A = \infty$
- Nếu $\sum a_i < \sum b_i + 1$: chọn $R_B = \infty$
- Nếu $\sum a_i = \sum b_i + 1$: chọn $R_A = R_B = \infty$

- Điện trở: R_F tùy chọn, $R_{Ai} = R_F/a_i$, $R_{Bi} = R_F/b_i$

Mạch cộng/trừ điện áp sử dụng hai Op-Amp



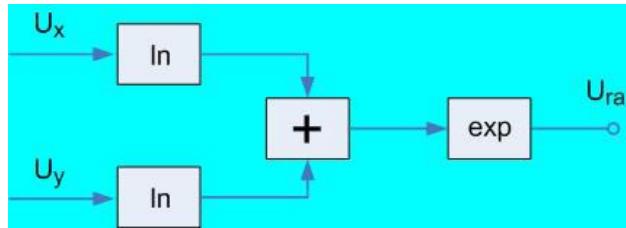
- Với sơ đồ mạch kiểu này, việc tính chọn các điện trở đơn giản hơn
- Mạch theo sơ đồ trước là dạng tổng quát từ đó có thể suy ra cho các mạch tuyến tính khác nhau

Mạch nhân

- Có nhiều trường hợp phải sử dụng mạch nhân như khi đo công suất $P=U.I.\cos\phi$ hoặc khi cần nhân hai điện áp...vì thế mạch nhân rất quan trọng trong đo lường.
- Các phần tử nhân thường dùng trong đo lường là:
 - ❖ Phần tử điện động, phần tử sắt điện động: được dùng để chế tạo các wátmét đo công suất.
 - ❖ Chuyển đổi 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.

Mạch nhân

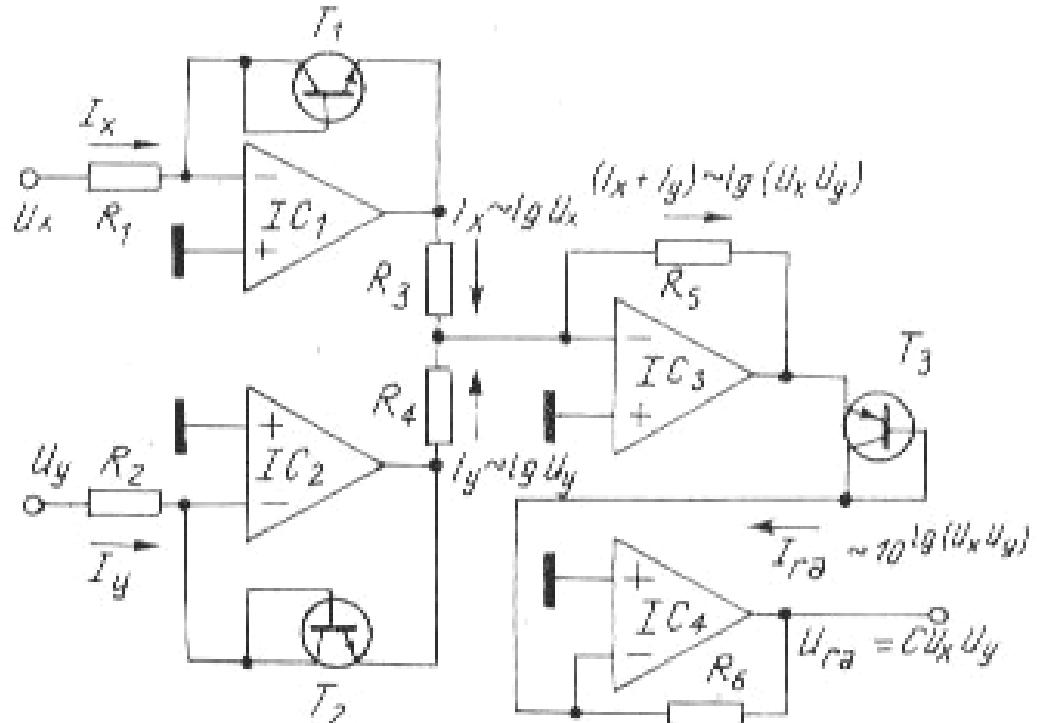
Bộ nhân sử dụng nguyên lí lấy lôgarit và đổi lôgarit:



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

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

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



- U_T là thế nhiệt của tranzito
 - I_{FS} là dòng điện ngược bão hòa của tiếp giáp EC, hệ số phụ thuộc nhiệt độ.

Mạch nhân

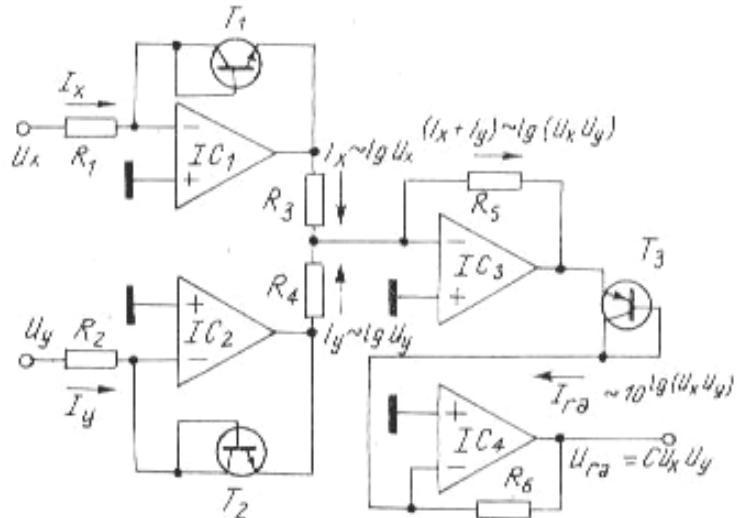
■ IC₃ là mạch cộng

$$\begin{aligned}U_{ra3} &= -\alpha(U_{ra1} + U_{ra2}) \\&= -\alpha U_T \left(\ln\left(\frac{U_x}{I_{ES}R_1}\right) + \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES}R_2}\right) \right)\end{aligned}$$

■ Mạch IC₄ tại hàm mũ

$$\begin{aligned}U_{ra4} &= \exp(U_{ra3}) = \exp\left\{\alpha U_T \left(\ln\left(\frac{U_x}{I_{ES}R_1}\right) + \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES}R_2}\right) \right)\right\} \\&= CU_x U_y \quad \text{chọn } \alpha = U_T\end{aligned}$$

■ 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)...



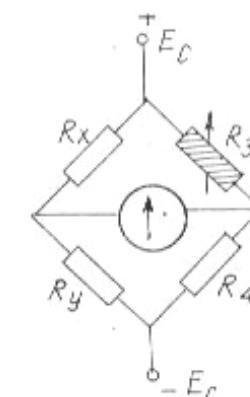
Mạch chia

- 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...
 - ❖ Mạch chia bằng cơ cầu chỉ thị lôgômét: có góc quay của kim chỉ thị tỉ lệ với tỉ số của hai dòng điện
 - ❖ Mạch chia dựa trên mạch cầu cân bằng: mạch lấy tỉ số giữa hai điện trở của hai nhánh của cầu

R_3 là biến trở phụ thuộc góc quay

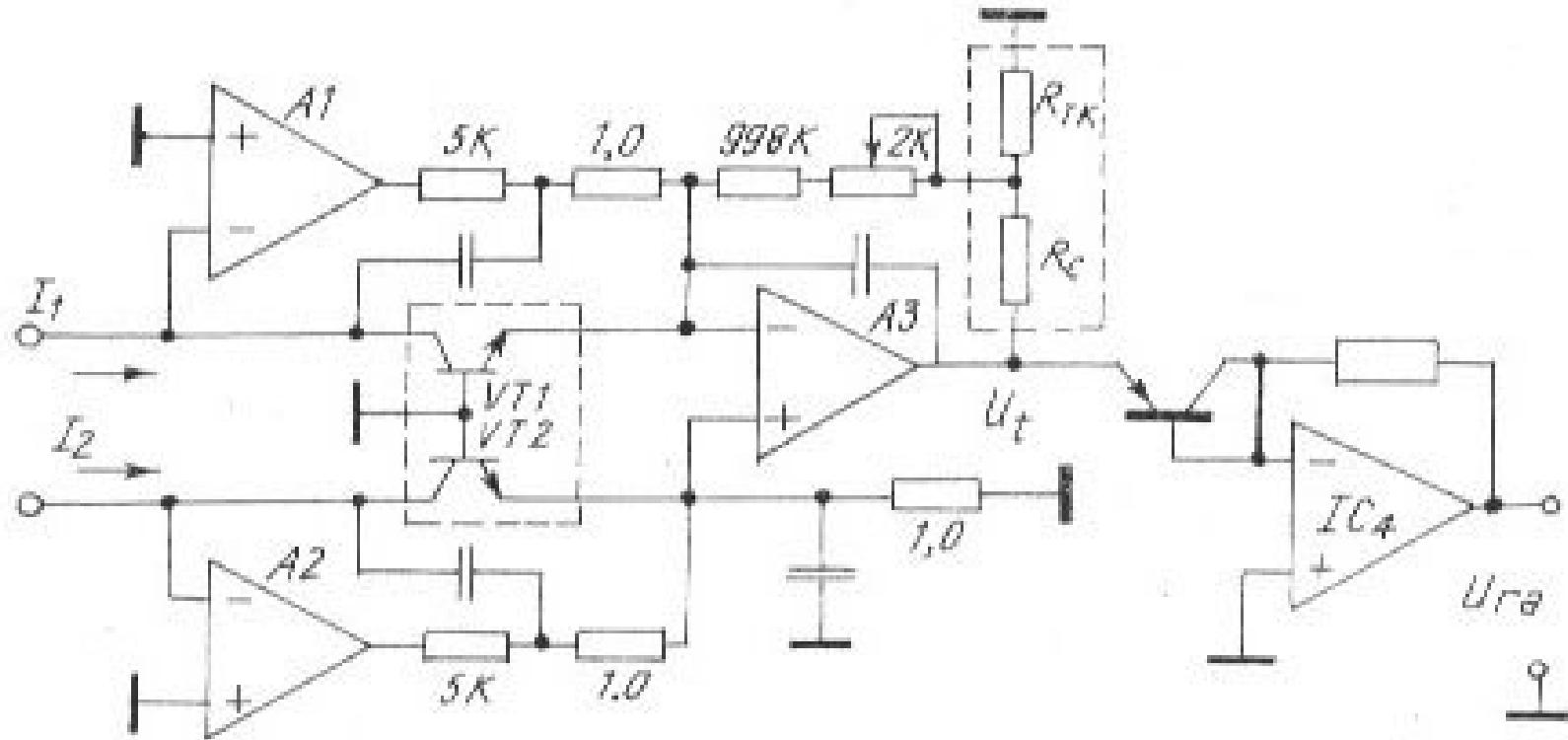
$$\alpha = f(R_3)$$

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



Mạch chia

Mạch chia điện tử



$$U_t = K_1 \frac{I_x}{I_y}$$

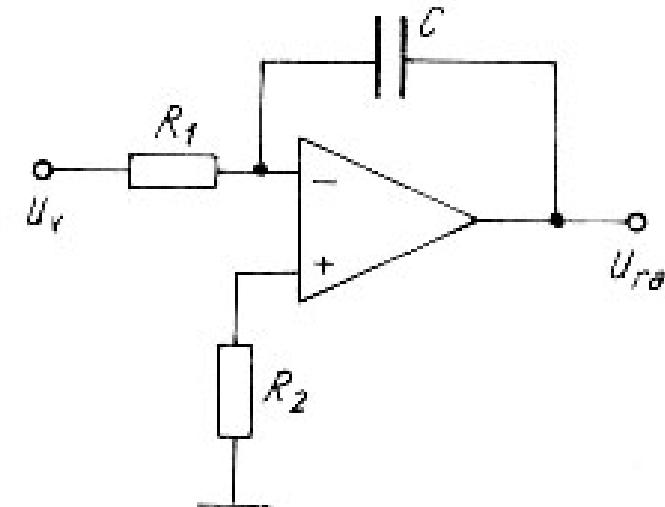
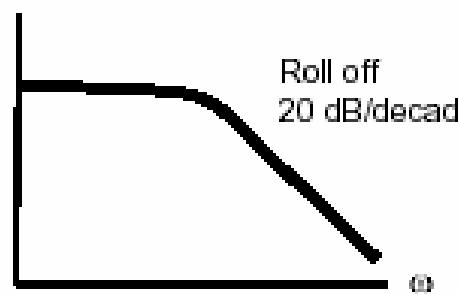
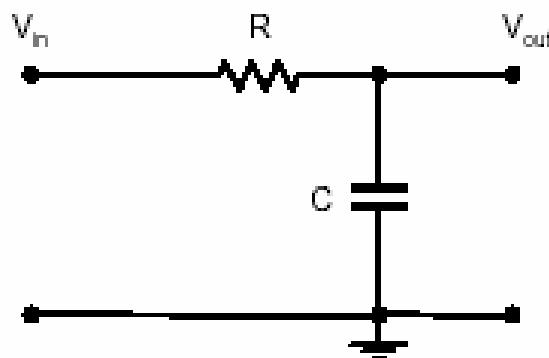
$$U_{ra} = K_2 \frac{I_x}{I_y}$$

Mạch tích phân

- 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...

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

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



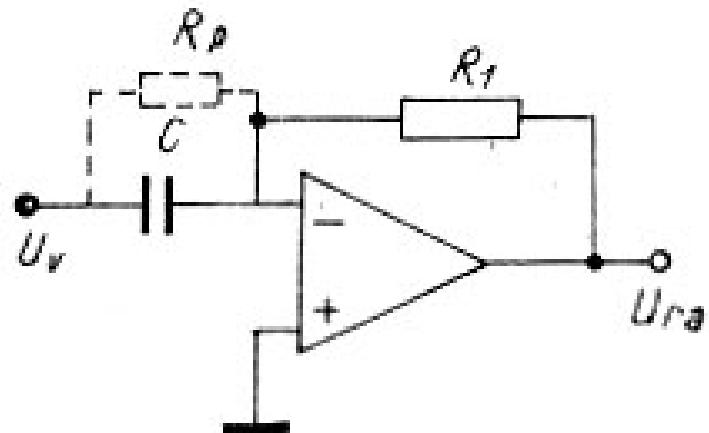
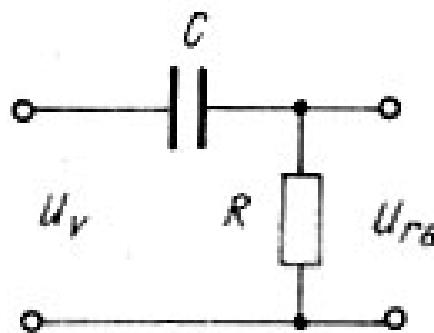
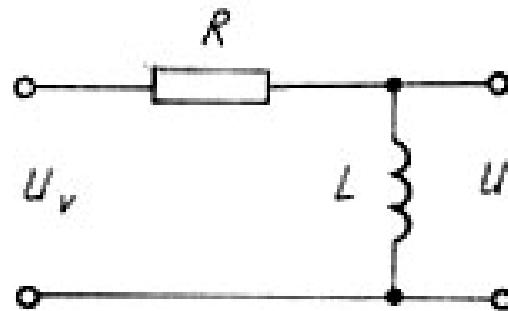
Mạch vi phân

Mạch vi phân RL

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

Mạch vi phân RC

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

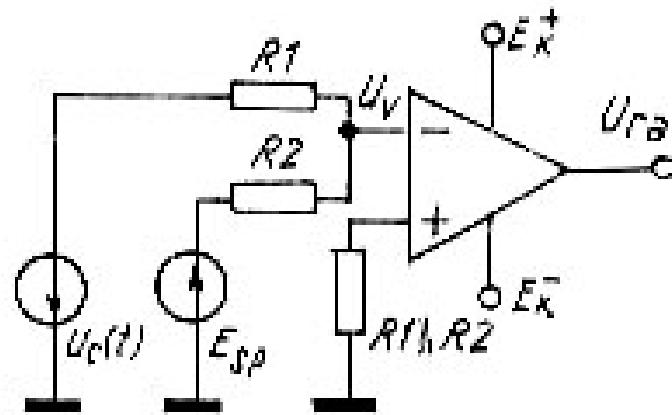


6.4. Mạch so sánh

- 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.

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

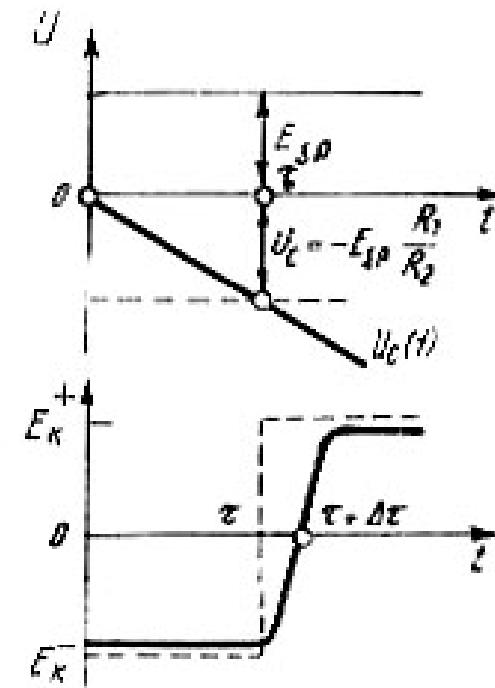
- Bộ so sánh này được sử dụng để so sánh hai điện áp vào khác dấu, KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc



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

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

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



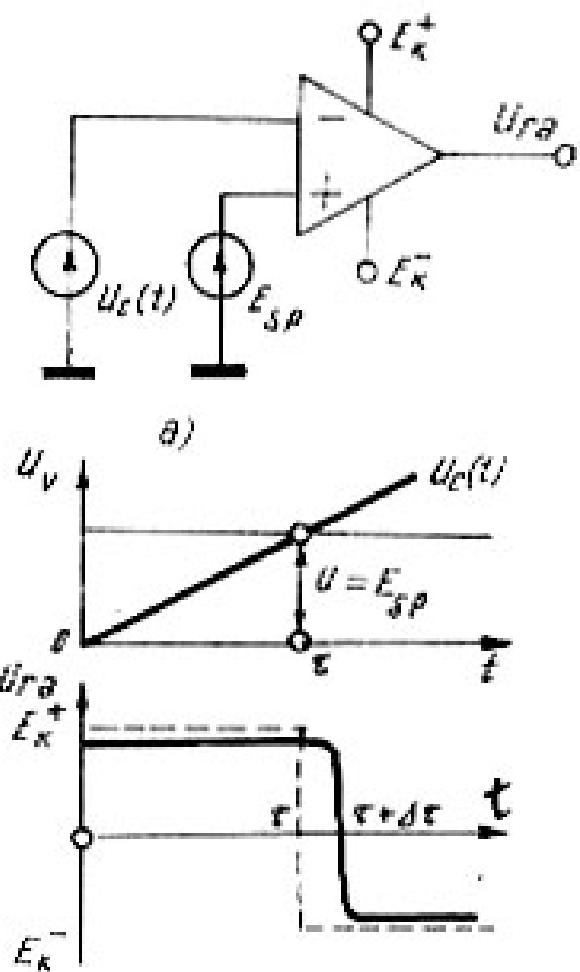
Bộ so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo mạch hai đầu vào

- Mạch này được sử dụng để so sánh hai tín hiệu cùng dấu.

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

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

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



Mạch cầu đo

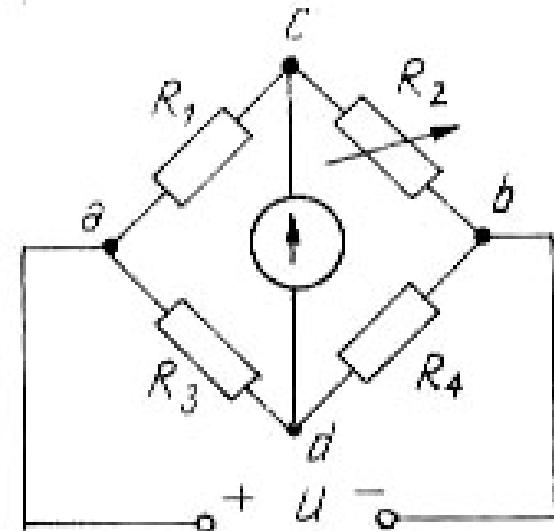
Cầu cân bằng

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

Thay một điện trở của cầu (ví dụ R_1) bằng điện trở cần đo R_x , ở trạng thái cầu cân bằng có:

$$R_x = R_1 \frac{R_4}{R_3}$$

Nếu chọn $R_3 = R_4$ thì $R_x = R_2$ với R_1 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

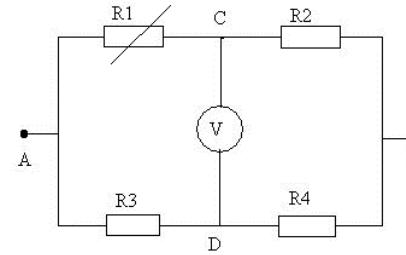


Mạch cầu đo

Mạch đo:

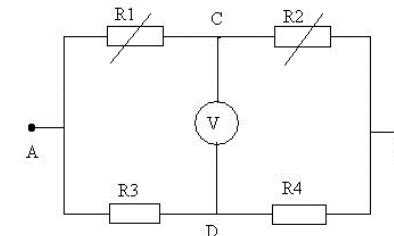
Mạch cầu một nhánh hoạt động

$$U_{ra} = \frac{1}{4} U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{4} U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$



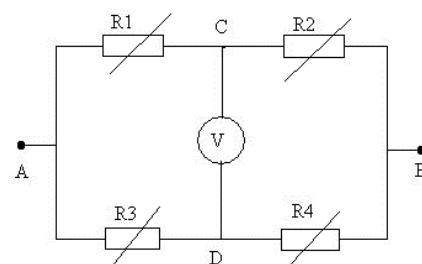
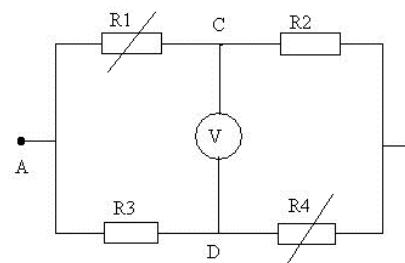
Mạch cầu hai nhánh hoạt động

$$U_{ra} = \frac{1}{2} U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{2} U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$



Mạch cầu bốn nhánh hoạt động

$$U_{ra} = U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$



6.5. Mạch tạo hàm

Mạch tạo hàm bằng biến trở

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

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

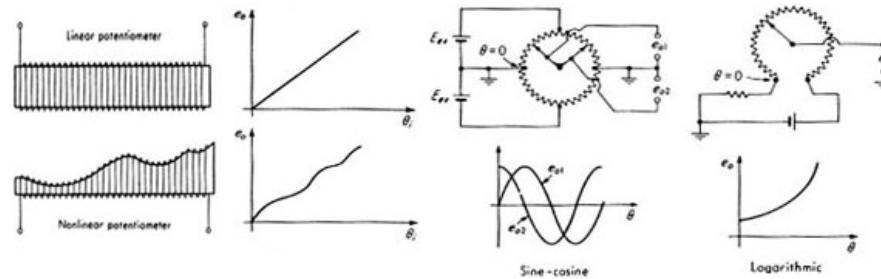
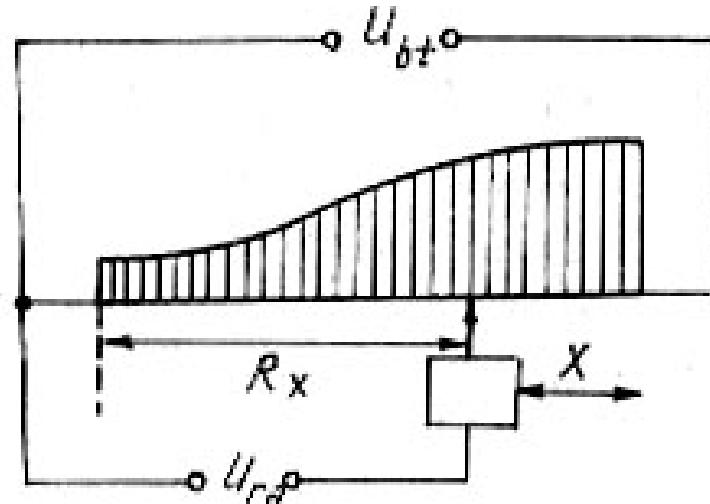
$$l = k X$$

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

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

Nếu $R_x = f(l)$ thì

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



Mạch tạo hàm bằng điođot 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 điođot có điện áp $U_{01}, U_{02} \dots$
- Khi $0 < U_x < U_{x1}$: Các diode khóa

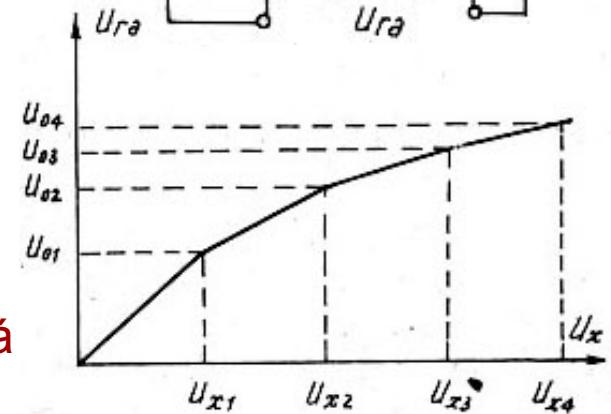
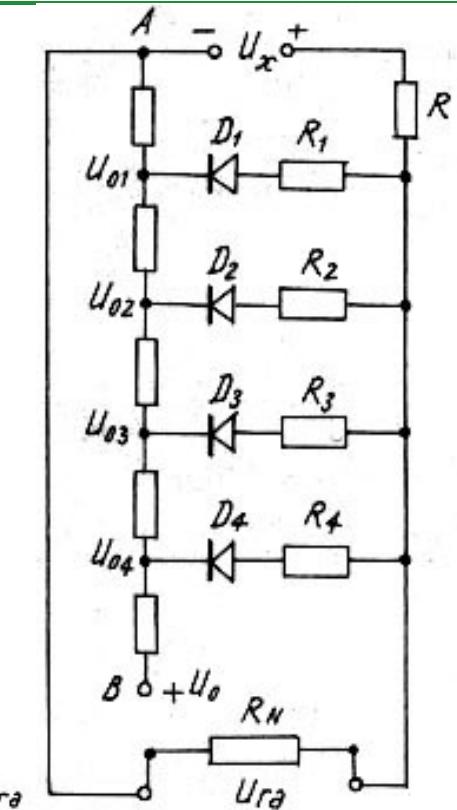
$$U_N = U_X \frac{R_N}{R + R_N}$$

- Khi $U_{x1} < U_x < U_{x2}$: $D1$ mở

$$I = U_X / \left(R_l + \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N} \right) \quad R_E = \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N}$$

$$U_N = U_X - IR = U_X - \frac{R U_X}{R + R_E}$$

Để hiệu chỉnh độ cong có thể thay đổi các giá trị điện trở $R1, R2, R3, R4$ cho phù hợp.



6.6. Các bộ biến đổi tương tự - số, số - tương tự

Các bộ biến đổi A/D

- Có 3 phương pháp khác nhau

- ❖ Phương pháp song song (nhanh)
- ❖ Phương pháp xấp xỉ liên tiếp
- ❖ Phương pháp sóng bậc thang
- ❖ Phương pháp tích phân

Các bộ biến đổi D/A

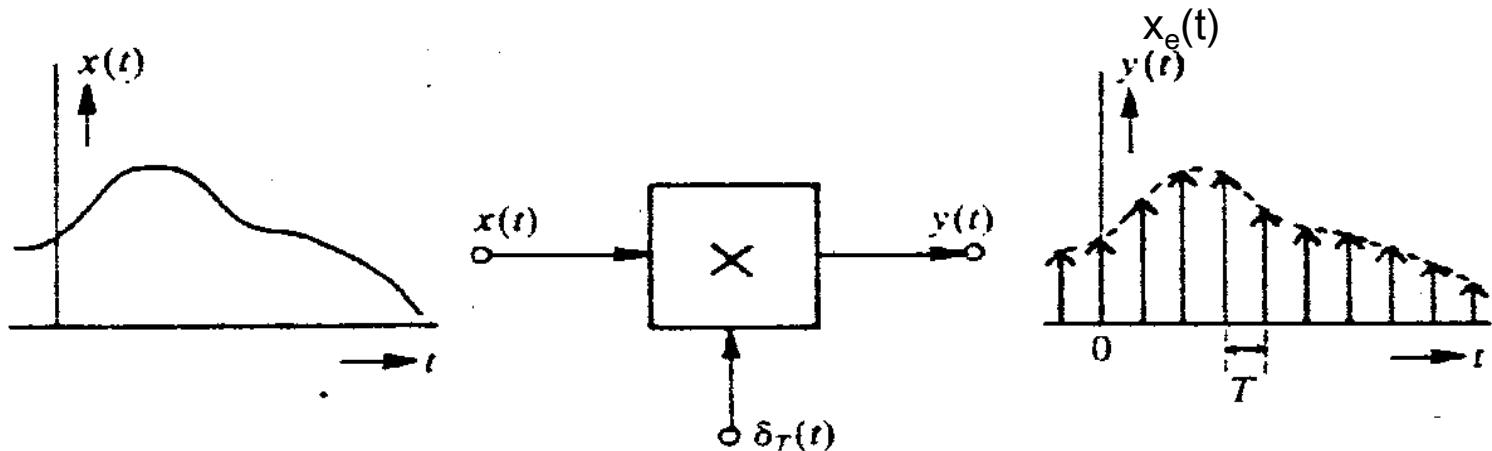
- Có 2 phương pháp cơ bản để biến đổi tín hiệu số sang tín hiệu tương tự như sau:

- ❖ Phương pháp lấy tổng các dòng trọng số
- ❖ Phương pháp dùng khoá đổi chiều

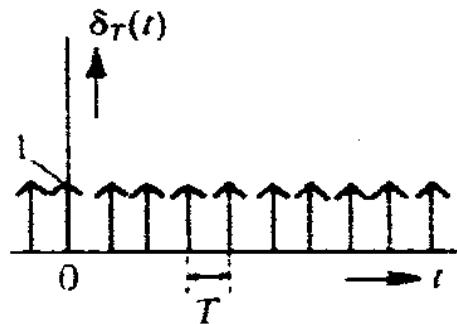
ADC

- Mạch chuyển đổi tín hiệu tương tự sang số, chuyển một tín hiệu ngõ vào tương tự (dòng điện hay điện áp) thành dạng mã số nhị phân có giá trị tương ứng.
- Chuyển đổi ADC có rất nhiều phương pháp. Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có những thông số cơ bản khác nhau:
 - ❖ Tốc độ lấy mẫu
 - ❖ Thời gian chuyển đổi .
 - ❖ Độ phân giải của chuyển đổi AD.
 - ❖ Dải biến đổi của tín hiệu tương tự ngõ vào

Phép biến đổi dạng tín hiệu



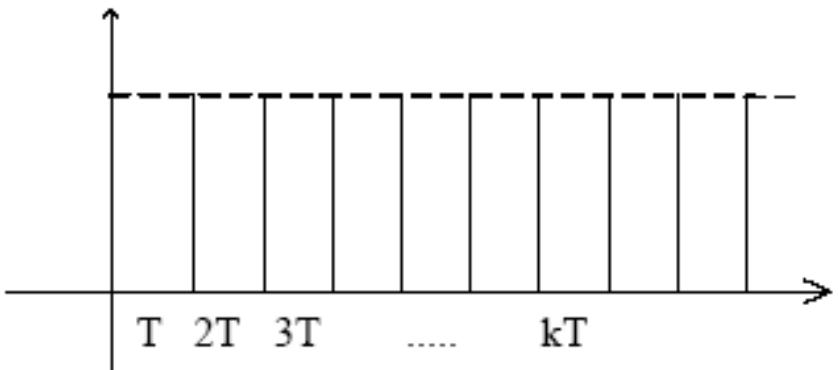
Để lấy mẫu tín hiệu $x(t)$, nhân tín hiệu này với một chuỗi xung Dirac có chu kỳ T_e



$$\begin{aligned} x_e(t) &= x(t)\delta_{T_e}(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_e) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_e)\delta(t - nT_e) \end{aligned} \quad (3-1)$$

Phép biến đổi dạng tín hiệu

$$X_{rr}(t) = \sum_{k=1}^n X_{tk} \delta(t - kT)$$



- Phép rời rạc hóa: Một tín hiệu bất kỳ có thể biến thành một dãy các xung hép có giá trị bằng giá trị tức thời tại thời điểm xét
- δ (toán tử Dirac) có thể viết:

$$\delta(t - kT) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j(\omega t - kT)} d\omega = \begin{cases} 1 & t = kT \\ 0 & t \neq kT \end{cases}$$

- Đặt $\Delta^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT) \Rightarrow X_{rr}(t) = X(t) \cdot \Delta^*(t)$

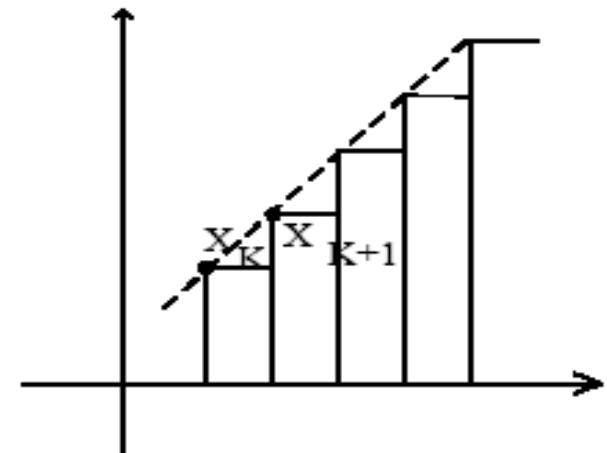
Sai số rời rạc hóa

- Giá trị tín hiệu trong thời gian ($t = T_K, t = T_{K+1}$) nằm trong khoảng (X_K, X_{K+1}) lệch nhau

$$\Delta X = X_{K+1} - X_K,$$

- Giá trị trung bình $X_{tb} = \frac{X_K + X_{K+1}}{2}$

- Sai số: $\gamma_{rr} = \frac{\Delta X}{X_{tb}} = \frac{2(X_{K+1} - X_K)}{X_K + X_{K+1}}$



- ❖ V là tốc độ biến thiên của tín hiệu (Slew rate) tại điểm k

$$V = \frac{X_{K+1} - X_K}{T}$$

- ❖ Chu kỳ rời rạc hóa của tín hiệu tuyến tính được tính

$$T = \frac{\gamma_{rr} X_k}{V}$$

Trường hợp không tuyến tính

- Trong trường hợp tín hiệu biến thiên bất kỳ với gia tốc g_m

$$T_{rr} = \sqrt{\frac{2\gamma X_m}{g_m}}$$

- ❖ T_{rr} = Chu kỳ rời rạc hóa.
- ❖ γ = sai số yêu cầu của phép rời rạc hóa.
- ❖ X_m = giá trị cực đại của tín hiệu
- ❖ g_m = giá trị cực đại của gia tốc tín hiệu;

$$g_m = \frac{d^2 X(t)}{dt^2}$$

Ví dụ

- Ta muốn rời rạc một tín hiệu hình sin với sai số $\gamma = 1\%$.

$$T_{rr} = \sqrt{\frac{2(0.01)X_m}{X_m \omega^2 \sin \omega t}}$$

- g cực đại lúc $\sin \omega t = 1$; $g_m = X_m \cdot \omega^2$

Thay vào

$$T_{rr} = \sqrt{\frac{2(0.01)}{(2\pi)^2}} \cdot T_{\sin} \rightarrow T_{rr} = \frac{T_{\sin}}{44}$$

- Chu kỳ rời rạc bằng $1/44$ chu kỳ của tín hiệu hình sin.
- Kết quả này lớn hơn rất nhiều so với định lý lấy mẫu Shannon

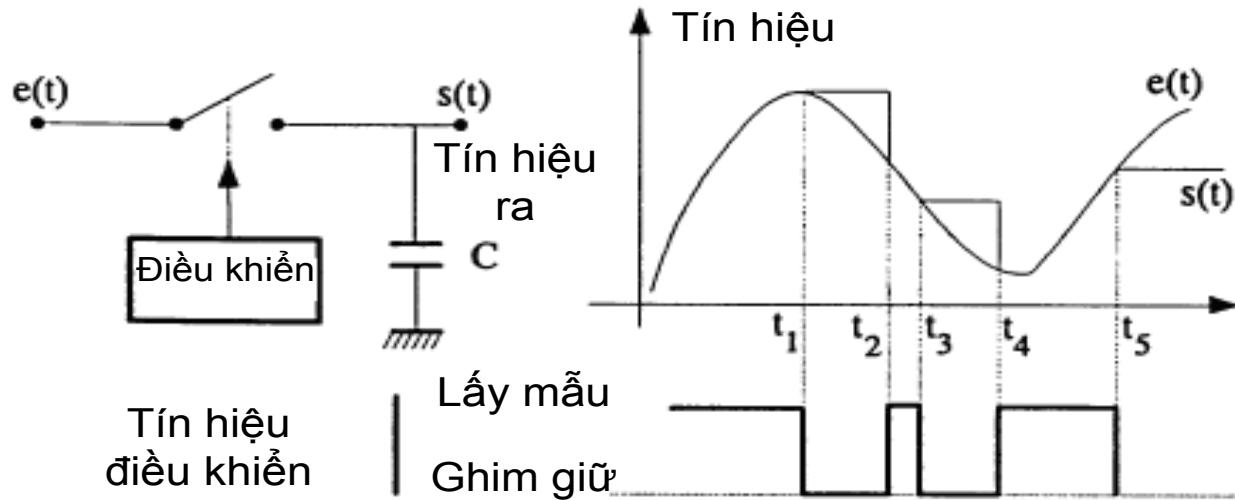
Thực hiện việc lấy mẫu
như thế nào?

■ Các bước chuyển đổi AD

- ❖ Mạch lấy mẫu
- ❖ Nhớ mẫu
- ❖ Lượng tử hóa
- ❖ Mã hóa bít

Bộ lấy mẫu và ghim giữ S & H (Sample and Hold).

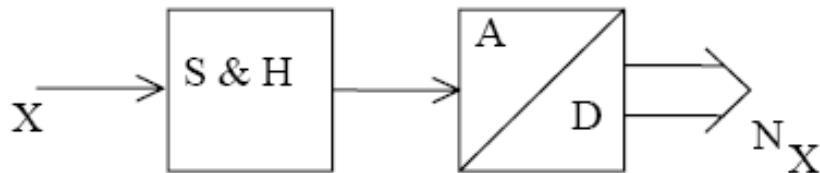
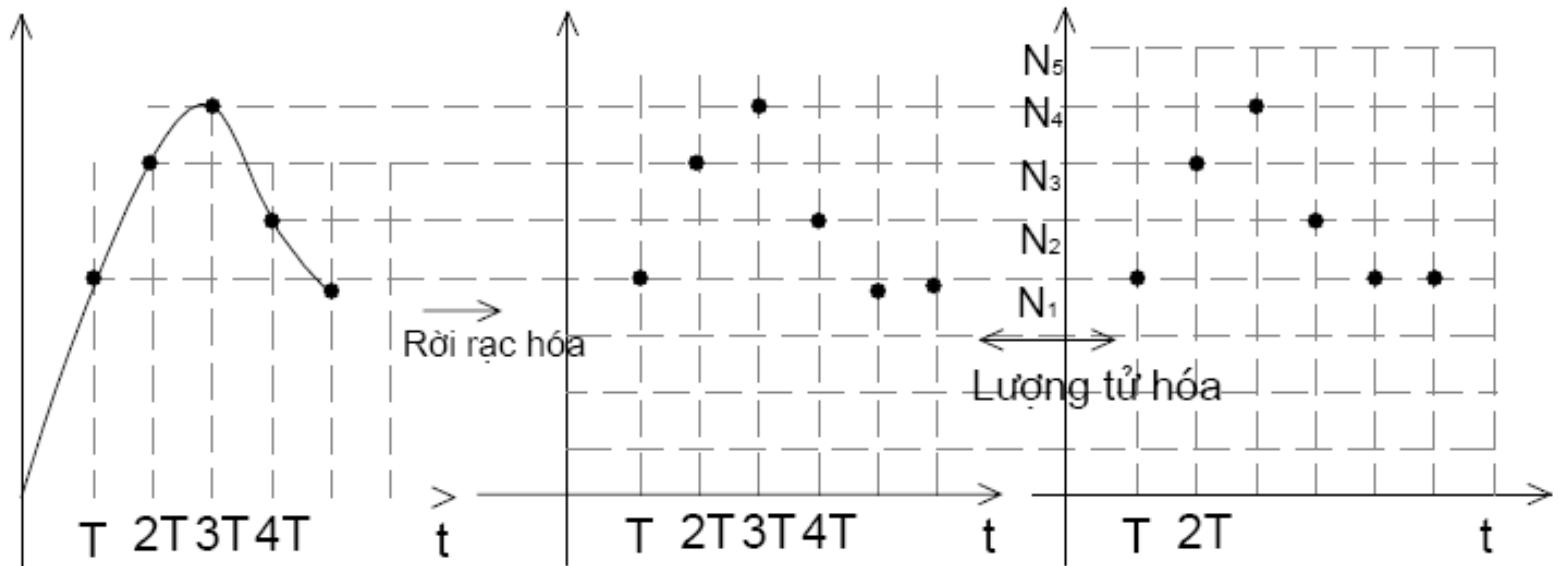
- Bộ này thực hiện phép lấy mẫu khi có lệnh, sau đó giữ nguyên giá trị cho đến lần lấy mẫu sau



Giải thích

- Nó gồm một tụ điện C và một khoá điện tử K.
- Điện trở khi đóng của khoá điện tử rất nhỏ để cho hằng số thời gian nạp tụ điện rất ngắn. $\tau_{nạp} = RC$ rất nhỏ, tụ điện nạp luôn điện áp đầu vào tại ngay thời điểm công tắc đóng.
- Sau khi đóng xong công tắc có thể nhả ra, nhưng điện áp trên tụ điện C vẫn được duy trì tại giá trị U_K khi đóng mạch, lý do là điện trở đầu ra (vào dụng cụ phía sau) rất lớn $\tau_{phóng} = CR'$ rất lớn.

Kỹ thuật lượng tử hóa- ADC



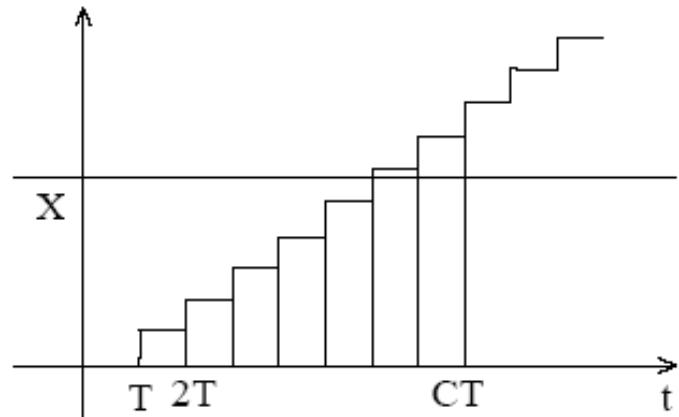
- Trong thực tế, đại lượng đo thường biến thiên. Để có thể giám sát một đại lượng biến thiên, thì khi lượng tử hóa (mã hóa), ta phải rời rạc hóa tín hiệu và ghim giữ giá trị của đại lượng trong một khoảng thời gian thích hợp để quá trình lượng tử và mã hóa kịp tiến hành.

Phép lượng tử hóa, mã hóa bít

- Phép lượng tử hóa là quá trình làm tương ứng tín hiệu đo lường thành một số nguyên những lượng tử của đại lượng mang thông tin của tín hiệu

$$X_t = N_x \cdot \Delta X_0$$

- ✓ X_t là giá trị của tín hiệu đo tại thời điểm đo t .
- ✓ N_x là số lượng tử của đại lượng tín hiệu.
- ✓ ΔX_0 là lượng tử đại lượng tín hiệu, nghĩa là giá trị bé nhất có nghĩa dùng để đo tín hiệu



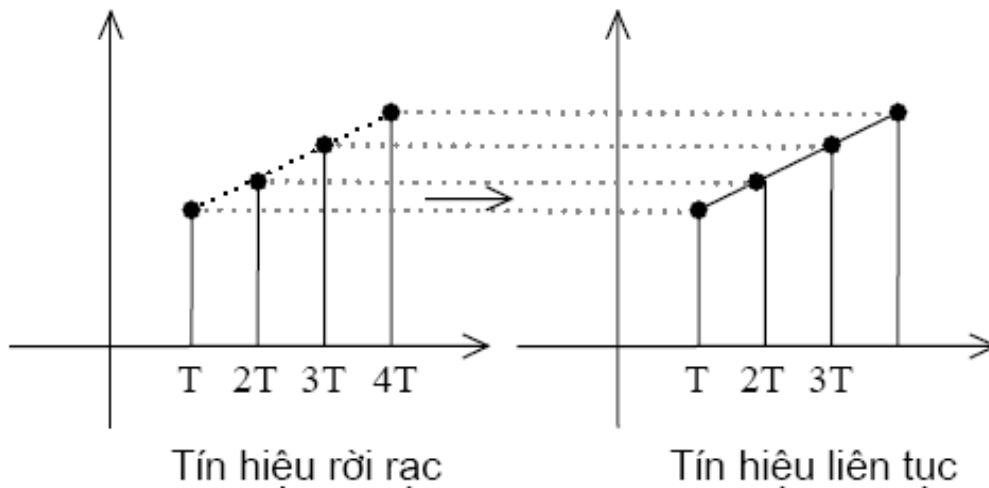
Lượng tử của đại lượng đo (LSB - Lowest Significant Bit)

- Mô tả bằng phương trình

$$X_{lt(t_i)} = N_i \Delta X_0 \cdot 1_{(t-t_i)} \rightarrow N_i = Ent \left| \frac{X_{t_i}}{\Delta X_0} \right|$$

Khôi phục tín hiệu

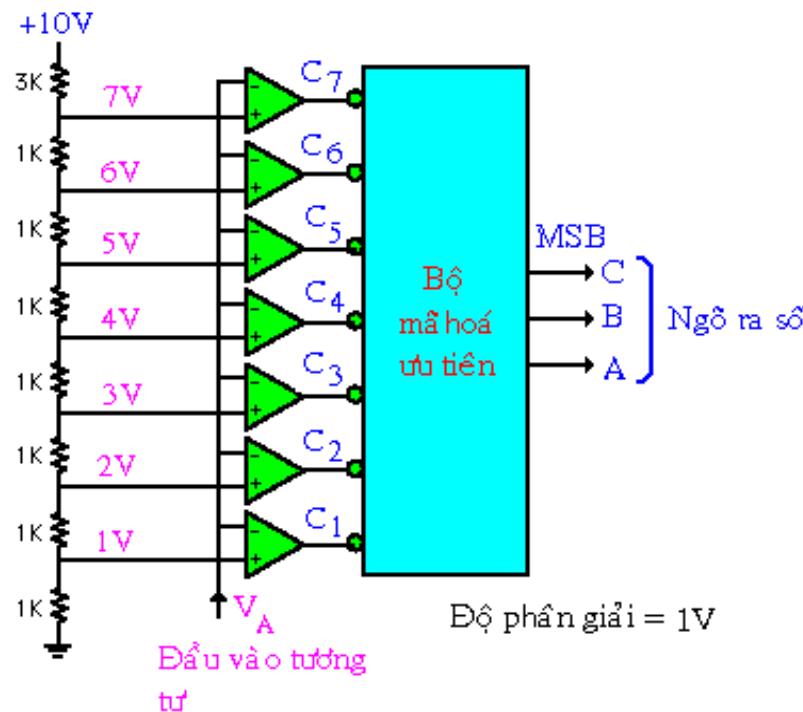
- Sau khi rời rạc hóa \longrightarrow kết quả là số liệu tại các thời điểm rời rạc khác nhau
- Chuyển các tín hiệu rời rạc đó thành tín hiệu liên tục được gọi là phục hồi tín hiệu rời rạc.



- Thực hiện kỹ thuật: sử dụng mạch là bằng, phối hợp các R và C nối tiếp, song song như ở các mạch lọc với các tần số lọc khác nhau. Đơn giản nhất là nối các điểm rời rạc bằng cách nối chúng bằng các đoạn thẳng.

ADC - Phương pháp song song

- Điện áp vào được so sánh đồng thời với n điện áp chuẩn và xác định chính xác xem nó đang ở giữa 2 mức nào. Kết quả là ta có 1 bậc của tín hiệu xấp xỉ. Phương pháp này có tốc độ cao nhưng do phải sử dụng nhiều bộ so sánh nên giá thành rất cao.



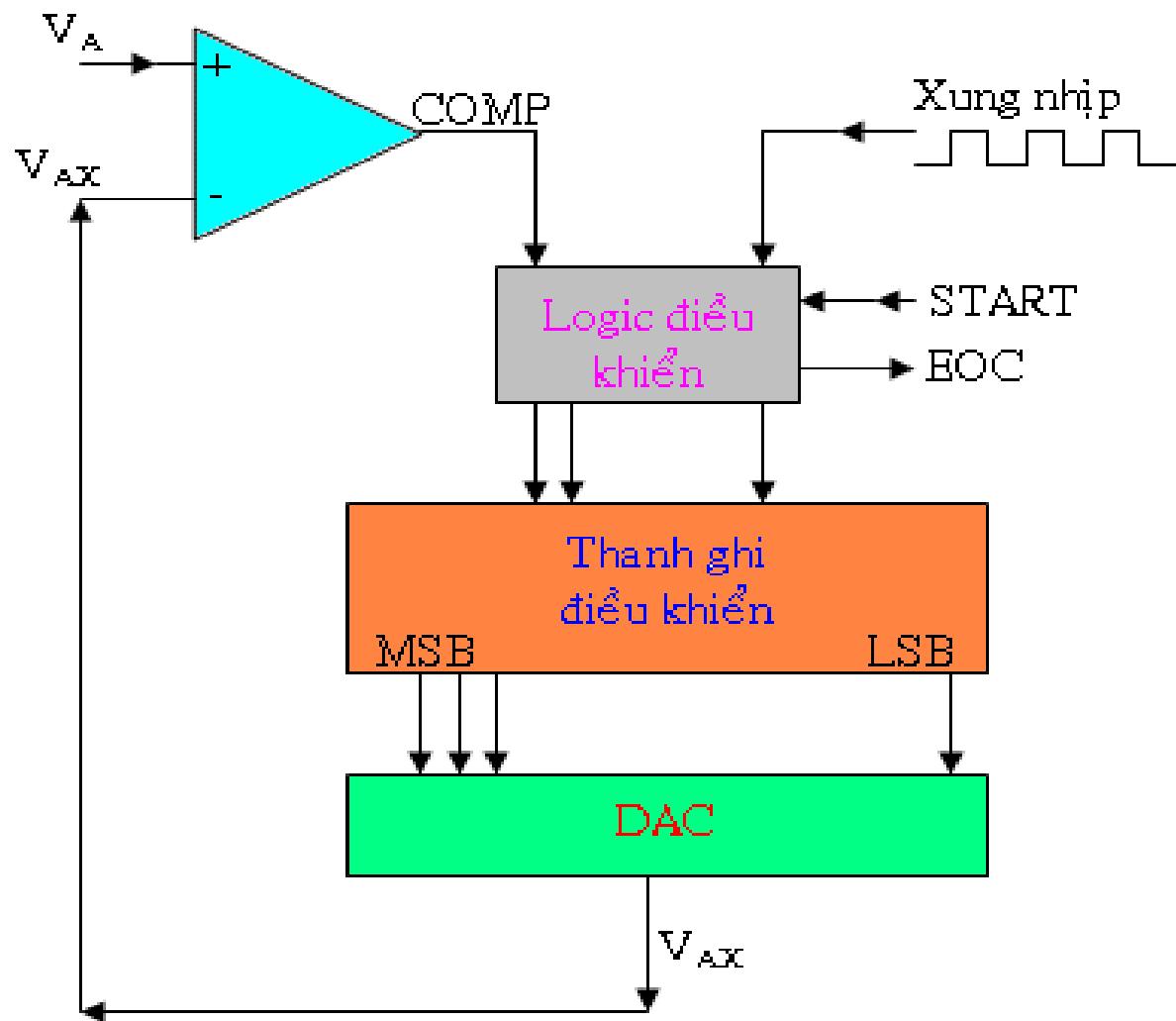
ADC - Phương pháp song song

■ Ví dụ ADC nhanh có độ phân giải 3 bit

Đầu vào tương tự V_A	Ngõ ra của bộ so sánh							Ngõ ra số		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C	B	A
0-1V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1-2V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2-3V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3-4V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4-5V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5-6V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6-7V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
>7V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

- ADC nhanh hình 7 có độ phân giải 1V vì đầu vào tương tự phải thay đổi mỗi lần 1V mới có thể đưa đầu ra số lên bậc kế tiếp. Muốn có độ phân giải tinh hơn thì phải tăng tổng số mức điện vào (nghĩa là sử dụng nhiều điện trở chia thế hơn) và tổng số bộ so sánh. Nói chung ADC nhanh N bit thì cần $2^N - 1$ bộ so sánh, 2^N điện trở, và logic mã hoá cần thiết

ADC liên tiếp - xấp xỉ

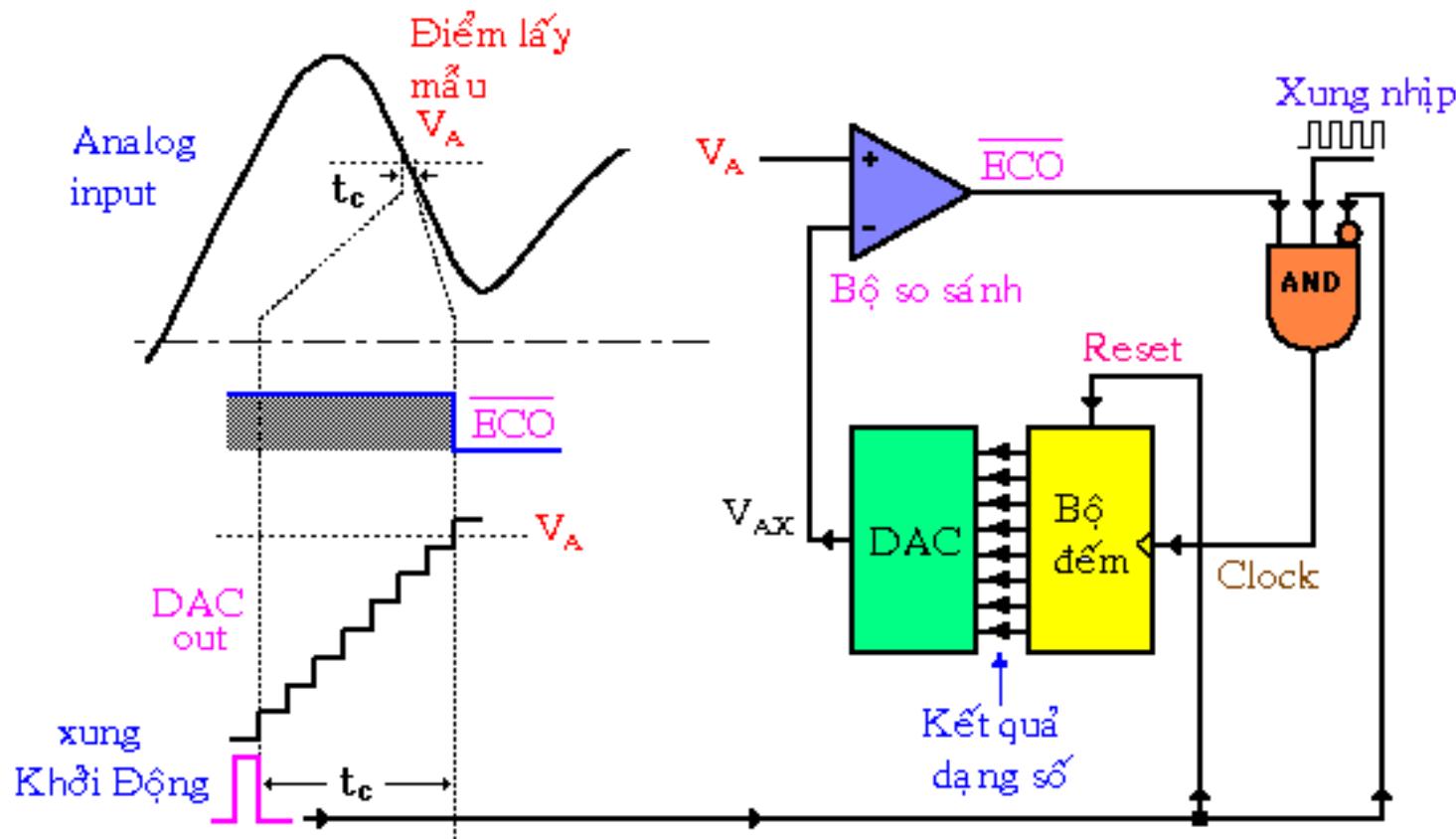


ADC liên tiếp - xấp xỉ

- Việc so sánh diễn ra cho từng bit của số nhị phân.
- **Cách thực hiện:**
 - ❖ Xác định điện áp vào có vượt điện áp chuẩn của bit già nhất hay không. Nếu nhỏ hơn mang giá trị 0 và giữ nguyên giá trị, nếu vượt mang giá trị “1” và lấy điện áp vào trừ điện áp chuẩn tương ứng.
 - ❖ Phần dư được đem so sánh với bit trẻ lân cận và lại thực hiện như trên.
 - ❖ Tiếp tục tiến hành tới bit trẻ nhất.
 - ❖ Như vậy, trong số nhị phân có bao nhiêu bit thì có bấy nhiêu bước so sánh và điện áp chuẩn.

ADC - Phương pháp sóng bậc thang

- Tiến hành so sánh lần lượt với từng đơn vị của bit trẻ nhất. Phương pháp này rất đơn giản nhưng mất nhiều thời gian hơn phương pháp song song



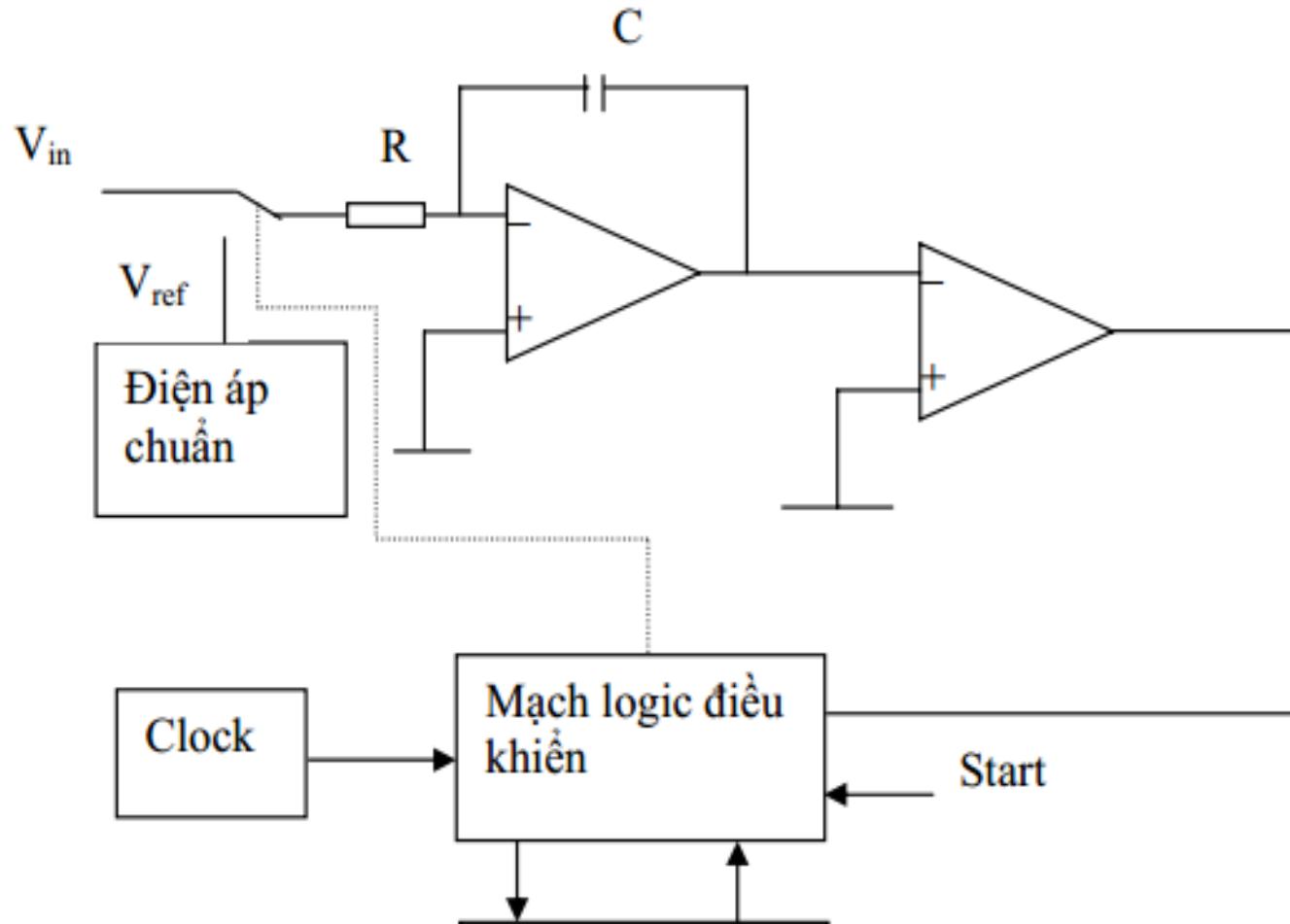
ADC - Phương pháp sóng bậc thang

- Giả sử ADC dạng sóng bậc thang ở hình trên có các thông số sau đây: tần số xung nhịp = 1MHz; ADC có đầu ra cực đại = 10.23V và đầu vào 10 bit. Hãy xác định:
 - a. Giá trị số tương đương cho $V_A = 3.728V$
 - b. Thời gian chuyển đổi
 - c. Độ phân giải của bộ chuyển đổi này

ADC - Phương pháp sóng bậc thang

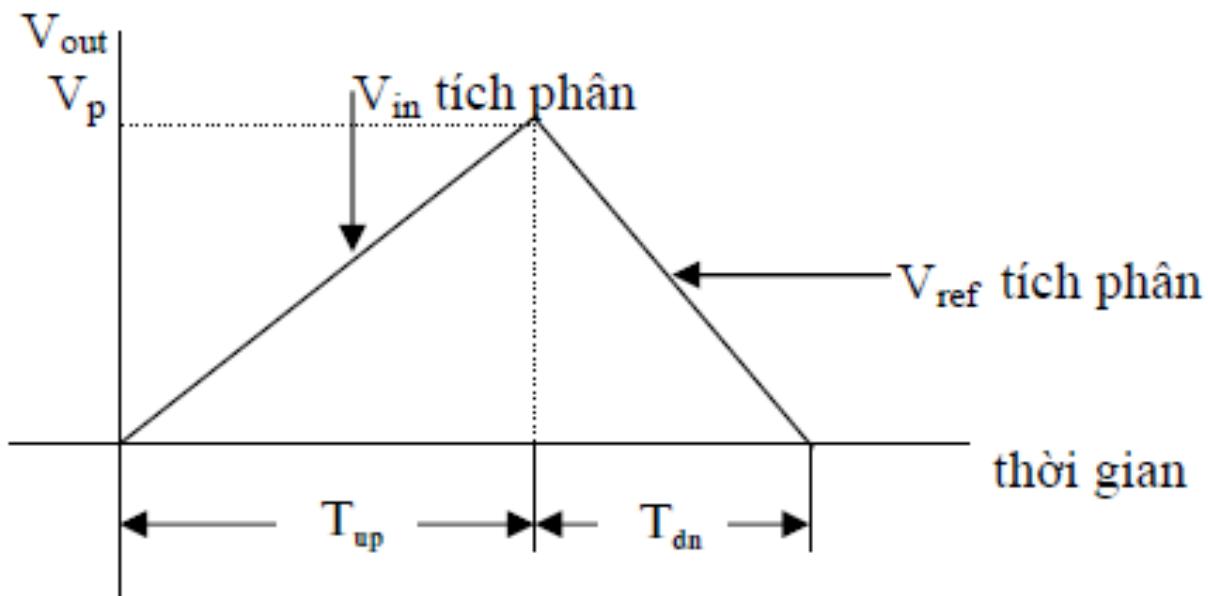
- DAC có đầu vào 10 bit và đầu ra cực đại = 10.23V nên ta tính được tổng số bậc thang có thể có là: $2^{10} - 1 = 1023$
Suy ra kích cở bậc thang là: 10mV Dựa trên thông số trên ta thấy V_{AX} tăng theo từng bậc 10mV
- V khi bộ đếm đếm lên từ 0. vì $V_A = 3.728$, khi đó ở cuối tiến trình chuyển đổi, bộ đếm duy trì số nhị phân tương đương 373_{10} , tức 0101110101.
- Muốn hoàn tất quá trình chuyển đổi thì đòi hỏi dạng sóng bậc thang phải lên 373 bậc, có nghĩa 373 xung nhịp áp vào với tốc độ 1 xung trên 1us, cho nên tổng thời gian chuyển đổi là 373us
- Độ phân giải của ADC này bằng với kích thước bậc thang của DAC tức là 10mV

ADC loại tích phân sườn dốc(Intergration)



ADC loại tích phân sườn dốc(Intergration)

- Có hai nửa chu kỳ, dựa vào đây có sườn dốc lên và sườn dốc xuống



$$V_p = -\frac{T_{up} V_{in}}{RC}$$

$$V_p = \frac{T_{dn} V_{ref}}{RC}$$

$$T_{dn} = -\frac{T_{up} V_{in}}{V_{ref}}$$

$$N_{dn} = -\frac{N_{up} N_{in}}{V_{ref}}$$

Câu 6: Một điện trở có giá trị thay đổi từ 100 đến 101 ohm, để xác định sự thay đổi của điện trở người ta sử dụng cầu đo điện trở một nhánh hoạt động. Biết điện áp cung cấp cho cầu là 5V

- Vẽ mạch đo, lựa chọn điện trở cầu và tính điện áp ra của cầu?
- Điện áp ra của cầu người ta qua mạch khuếch đại và đưa vào ADC có dải điện áp đầu vào 0-5V. Thiết kế và tính toán mạch khuếch đại?
- Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy nhỏ nhất 0.0005 ohm, lựa chọn ADC? Nếu đầu ra của ADC là 101 0111 1010 thì giá trị điện trở bằng bao nhiêu?

Ví dụ một số loại ADC của Burr Brown

Ký hiệu	Số bit	Sai số phi tuyến %	Điện áp vào	Tốc độ biến đổi	Ra nối tiếp song song	Ghi chú
ADS 930	8	0,097	FF,GG	30MHz	P (song song)	chuẩn ngoài
ADS 900	10		CC	20MHz	P	Công suất thấp chuẩn trong
ADC 85H	12	$\pm 0,012$	D,E,N,R,S	100kHz	S,P,S (nối tiếp)	Tốc độ trung bình
ADC 800	12	0,024	Z	40MHz	P	lấy mẫu, chuẩn trong
ADS7800	12	0,012	R,S,	330kHz	P	Lấy mẫu, giao diện
ADS7820	12	0,01	D	100kHz	P	tương thích với 7821
ADC700	16	0,003	D,E,F,N,R,S	58kHz	P	song song
ADS7805	16	0,0045	S	100kHz	P	chân tương thích với 7808
ADS7809	16	0,006	C,D,E,P,R,S	100kHz	P	Lấy 4 kênh vào MUX
ADS7825	16	0,002	S	40kHz	S, P	
ADC101	20	2,5ppm	Dòng	15kHz	S(nối tiếp)	chính xác cao
ADS1213	20	0,0015	D,S	Lập trình được	S	công suất thấp 4 kênh,lấy trong $\Delta\Sigma$
ADS101	20	0,003	O	200KHz	S	Dùng cho DSP $\Delta\Sigma$,
ADS1210	24	0,0015	D,S	Lập trình được	S	1 kênh, 4 kênh,MUX, $\Delta\Sigma$
ADS1211	24	0,0015	D,S	KTD & THCN		129

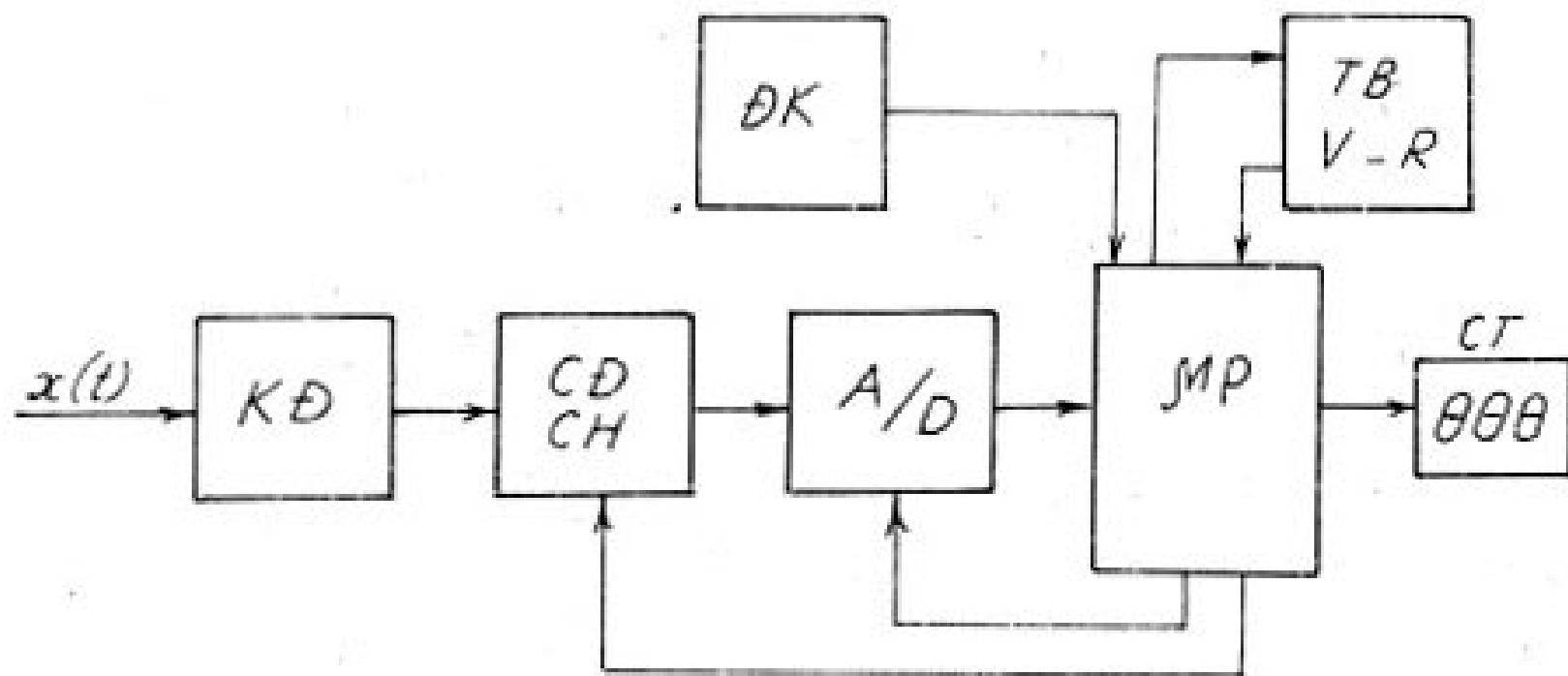
Ví dụ một số loại ADC của Burr Brown

Chú thích về kí hiệu mức điện áp của ADC ...

- A=0-1,25V E=0-10V P= \pm 3,33V CC=1-2V
- B=0-2,5V F=0-20V R= \pm 5V GG=2-3V
- C=0-4V G=0- -10V S= \pm 10V FF=1,5-3,5V
- D= 0-5V N = \pm 2,5V O= \pm 2,75V

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

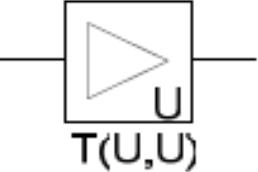
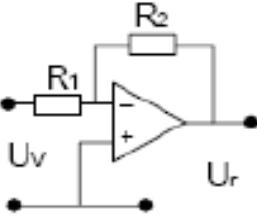
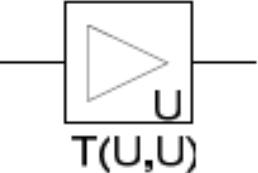
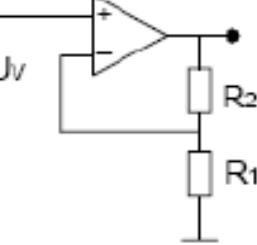
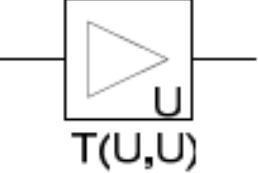
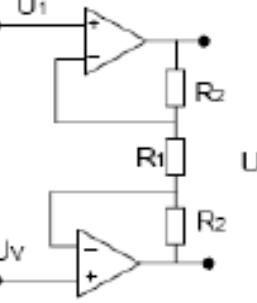
- Trong các dụng cụ sử dụng μ P thì mọi công việc thu nhận, gia công xử lý và cho ra kết quả đo đều do μ P đảm nhận theo một thuật toán đã định sẵn.



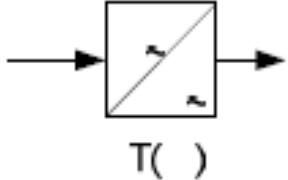
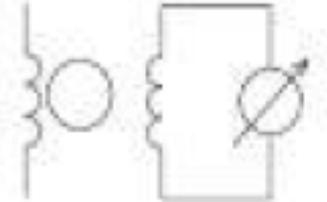
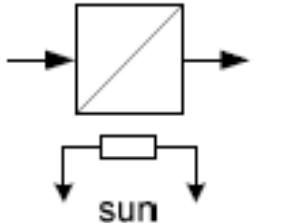
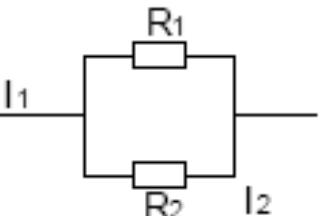
A. Biến đổi áp- áp

Phép biến đổi	Ký hiệu	Sơ đồ	Hệ số	Đặc tính
Biến điện áp			$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{w_2}{w_1}$	Điện áp xoay chiều $Z_2=\infty; \gamma_K=0$
Phân áp điện dung			$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$	Áp xoay chiều $Z_2=\infty;$ $\gamma_K = \frac{dC_1}{C_1} - \frac{dC_2}{C_2}$
Phân áp điện trở			$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$	Điện áp xoay chiều $Z_2=\infty;$ $\gamma_K = \frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2}$

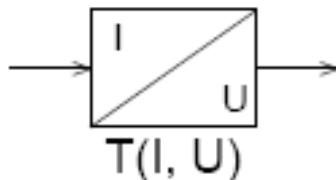
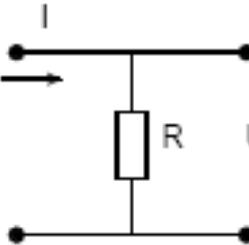
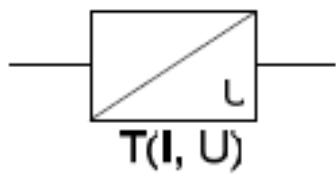
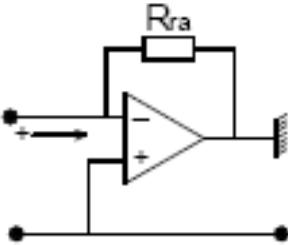
Biến đổi áp- áp (2)

Khuếch đại đảo dầu			$G_U = \frac{R_{ra}}{U} = \frac{-R_2}{R_1}$	Áp một chiều $Z_2 \ll 1$ $\gamma_K = \left(\frac{dK}{K} \right) G + \left(\frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2} \right) \left(1 - \frac{G}{K} \right)$ $R_v = R_{kd} \cdot G / K$
Khuếch đại không đảo dầu			$G_U = 1 + \frac{R_2}{R_1}$	Áp một chiều $\gamma_K = \left(\frac{dK}{K} \right) G + \left(\frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2} \right) \left(1 - \frac{G}{K} \right)$
Khuếch đại vi sai			$G_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{U_{ra}}{U_1 - U_2}$	Áp một chiều $CMRR \approx K(R_v - R_{kd}) \cdot \frac{K}{G_U}$

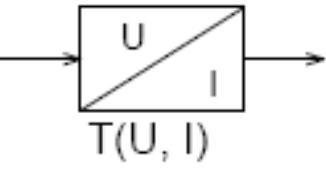
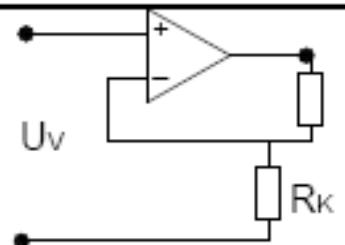
Biến đổi dòng- dòng

Phép biến đổi	Ký hiệu	Sơ đồ	Hệ số	Đặc tính
Biến dòng điện	 $T(\)$		$K_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{w_2}{w_1}$	Dòng điện xoay chiều ra ngắn mạch ($Z_T = 0$) γ_K phụ thuộc vào tải.
Phân dòng			$K_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$	Dòng xoay chiều Dòng 1 chiều $\gamma_K = \frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2}$

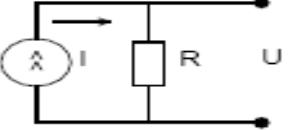
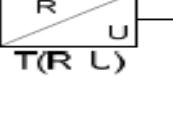
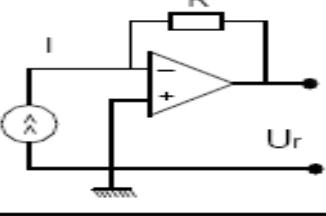
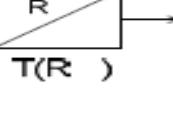
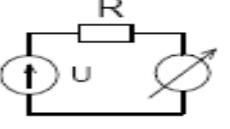
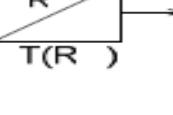
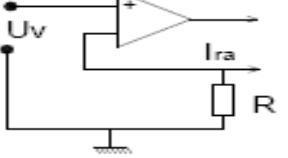
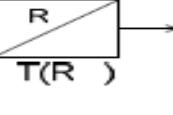
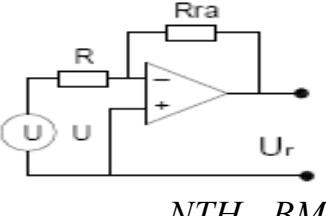
Biến đổi dòng áp

Phép biến đổi	Ký hiệu	Sơ đồ	Hệ số	Đặc tính
Điện áp rơi trên điện trở			$U = I \cdot R$ $K_V = R$	Dòng 1 chiều Dòng xoay chiều $R \ll R_{tai}$ $\gamma_K = \frac{dR}{R}; \gamma_{ff} \approx \frac{R}{R_t}$ (sai số phương pháp)
Khuếch đại thuật toán			$U_{ra} = KI$ $K = R_{ra}$	Dòng điện 1 chiều $\gamma_K = \frac{dR_{ra}}{R_{ra}}$

Biến đổi áp dòng

Phép biến đổi	Ký hiệu	Sơ đồ	Hệ số	Đặc tính
Thông nhất hoá áp - dòng			$I_{ra} = U_V \cdot K$ $K = \frac{1}{R_{ra}}$	Dòng áp 1 chiều $\gamma_K = \frac{dK_A}{K_A}$

Biến đổi điện trở áp/dòng

Phép biến đổi	Ký hiệu	Sơ đồ	Hệ số	Đặc tính
Nguồn dòng			$U = KR$ $R = I$ R_{trg} trong nguồn dòng $R_{trg} \gg R$	$\gamma_K = \frac{dI}{I}$ $\gamma_{ff} = \frac{R_{max}}{R_{trong}}$
Nguồn dòng			$U_{ra} = I \cdot R$ $K = I$	$\gamma_K = \frac{dI}{I}$ không cần các điều kiện trên $K \gg 1$
Nguồn áp			$I = \frac{U}{R_{trg} + R}$	Phi tuyến $\gamma_K = \frac{dU}{U}$ $\gamma_{ff} = \frac{R_{trong}}{R}$
Nguồn áp			$I_{ra} = \frac{U_v}{R}$	Phi tuyến Hyperbol $\gamma_K = \frac{dU_v}{U_v}$
Nguồn áp			$U_{ra} = \frac{U \cdot R_{ra}}{R}$	Phi tuyến $\gamma_K =$ $\frac{dU}{U} + \left(\frac{dR_{ra}}{R_{ra}} - \frac{dR}{R} \right)$ $\gamma_{ff} = \frac{R_{trong}}{R}$

Biến đổi ΔR thành áp

Một số phép biến đổi tín hiệu khác

- Biến đổi tuyến tính
- Biến đổi các tín hiệu chu kỳ
- Xử lý tín hiệu ngẫu nhiên
- Phép điều chế

Chương 7: Các chuyển đổi đo lường sơ cấp

■ Khái niệm chung

■ a. Định nghĩa

- + Chuyển đổi đo lường: là thiết bị thực hiện một quan hệ hàm đơn trị giữa 2 đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định.
- + Chuyển đổi sơ cấp: là chuyển đổi thực hiện chuyển từ đại lượng không điện thành đại lượng điện

$$Y = f(X)$$

Với X là đại lượng không điện, và Y là đại lượng điện sau chuyển đổi

- + Sensor/bộ cảm biến/đầu đo là dụng cụ để thực hiện chuyển đổi sơ cấp

Chuyển đổi đo lường sơ cấp

Ký hiệu :

$$T_{C_3}^{C_1} \quad C_2 \\ C_4$$

T:
 {
 - Thuật toán.
 - Logic.
 - Phép toán học thông thường.

- C_1 : Đại lượng vào.
- C_2 : Đại lượng ra.
- C_3 : Dạng tín hiệu vào.
- C_4 : Dạng tín hiệu ra.

■ Chia thành hai loại

❖ Biến đổi giữa các đại lượng:

- Đại lượng vào là không điện , đại lượng ra là điện gọi là “Cảm biến”/Biến đổi sơ cấp

- Nếu Y ra là U,I,H,Φ thì gọi là cảm biến tích cực
- Nếu Y ra là R,L,C thì gọi là cảm biến thụ động

- Biến đổi giữa các đại lượng không điện (biến đổi kết cấu)

❖ Biến đổi giữa các dạng tín hiệu

Chương 7: Các chuyển đổi do lường sơ cấp

Đặc tính của chuyển đổi sơ cấp

- Tính đơn trị
- Đặc tuyến chuyển đổi ổn định
- Có khả năng thay thế
- Thuận tiện trong việc ghép nối với dụng cụ đo và máy tính
- Sai số nằm trong khoảng cho phép
- Đặc tính động / độ tác động nhanh / trễ nhỏ
- Kích thước và trọng lượng của đầu đo

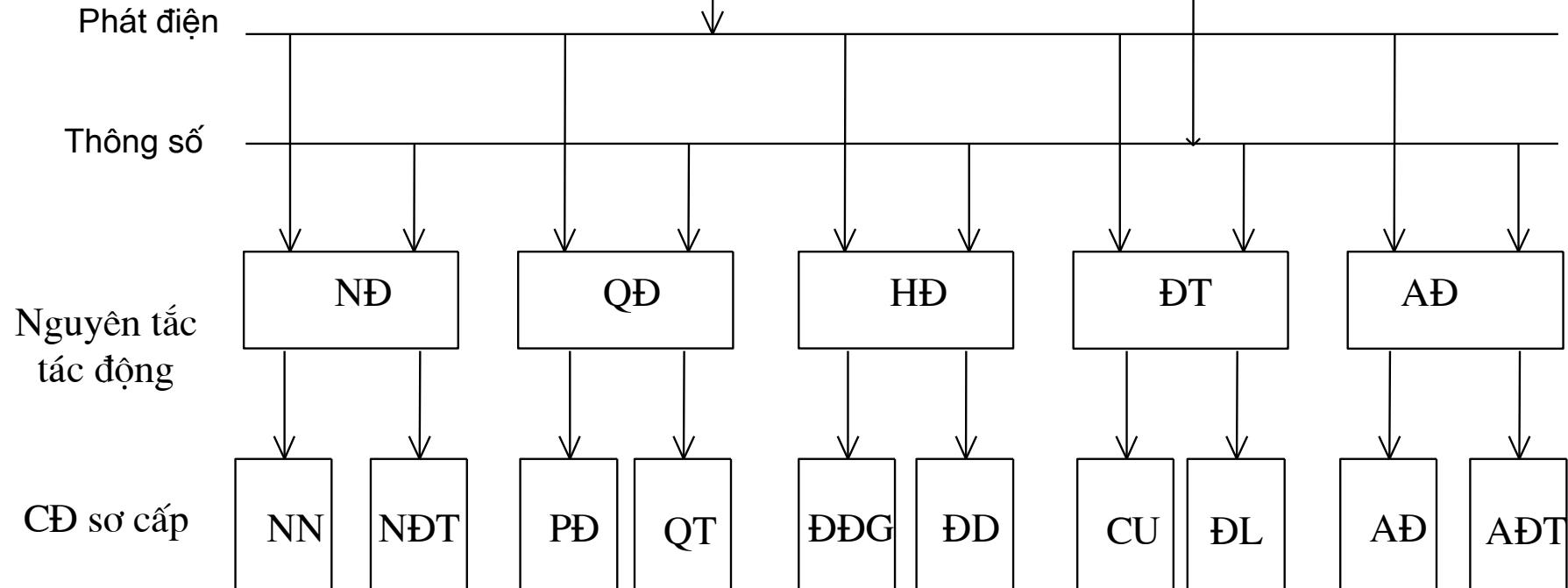
Chương 7: Các chuyển đổi do lưỡng sơ cấp

■ Phân loại các chuyển đổi sơ cấp

Tính chất điện
(phát điện,
thông số)

CĐTC
U, I, q, f

CĐTĐ
R, L, C



Chương 7: Các chuyển đổi do lưỡng sơ cấp

Phân loại các chuyển đổi sơ cấp

- Phân loại dựa trên Nguyên tắc của chuyển đổi
 - ❖ Chuyển đổi nhiệt điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiệu ứng nhiệt điện. X làm thay đổi sức điện động hoặc điện trở
 - ❖ Chuyển đổi hóa điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng hóa điện. X làm thay đổi điện dẫn Y, điện cảm L, sức điện động ...
 - ❖ Chuyển đổi điện trở: là chuyển đổi trong đó đại lượng không điện X biến đổi làm thay đổi điện trở của nó
 - ❖ Chuyển đổi điện từ: là chuyển đổi làm việc dựa trên các quy luật về lực điện. X làm thay đổi các thông số của mạch từ như điện cảm L, hổ cảm M, độ từ thẩm μ và từ thông Φ
 - ❖ Chuyển đổi tĩnh điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng tĩnh điện. X làm thay đổi điện dung C hoặc điện tích Q
 - ❖ Chuyển đổi điện tử và ion: là chuyển đổi mà X làm thay đổi dòng điện tử hoặc dòng ion chạy qua nó
 - ❖ Chuyển đổi lượng tử: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân

Chương 7: Các chuyển đổi do lưỡng sơ cấp

Phân loại các chuyển đổi sơ cấp

■ Phân loại theo tính chất nguồn điện:

- ❖ Chuyển đổi phát điện hay chuyển đổi tích cực: là chuyển đổi trong đó đại lượng ra có thể là điện tích, điện áp, dòng điện hoặc sức điện động
- ❖ Chuyển đổi thông số hay chuyển đổi thụ động: là chuyển đổi trong đó đại lượng ra là các thông số của mạch điện như điện trở, điện cảm, hổ cảm hay điện dung

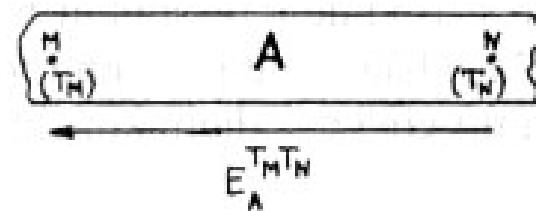
Các hiệu ứng vật lý

- Hiệu ứng nhiệt điện
- Hiệu ứng nhiệt điện trở
- Hiệu ứng áp điện (Piezo)
- Hiệu ứng cảm ứng điện từ
- Hiệu ứng quang điện
- Hiệu ứng hóa điện
- Hiệu ứng Hall
- ...

Hiệu ứng nhiệt điện

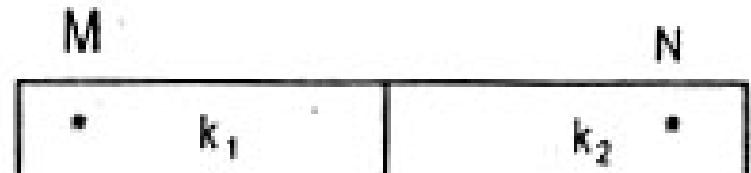
- **Hiệu ứng Thomson:** trong một vật dẫn đồng nhất, giữa hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau sẽ sinh ra một sức điện động. Sức điện động này chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn và nhiệt độ ở hai điểm M và N:

$$E_\theta = \int_{t_N}^{t_M} \sigma dt$$



Nếu hai vật dẫn có bản chất khác nhau k_1 , k_2 đặt tiếp xúc thì xuất hiện sức điện động phụ thuộc bản chất của hai vật dẫn và nhiệt độ của điểm tiếp xúc:

$$E_\theta = \int_{t_N}^{t_M} (\sigma_{k1} + \sigma_{k2}) dt$$

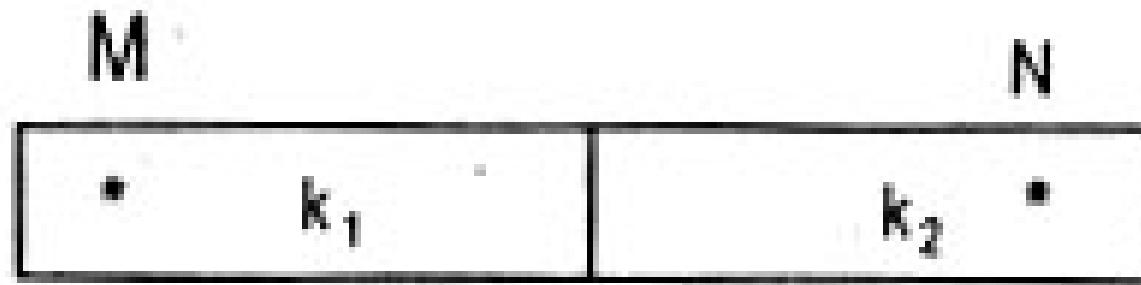


σ_{k1} , σ_{k2} - hệ số Thomson với hai vật liệu k_1 , k_2 .

Hiệu ứng nhiệt điện

Hiệu ứng Peltier

Ở chỗ tiếp xúc giữa hai dây dẫn A và B khác nhau về bản chất nhưng cùng một nhiệt độ tồn tại một hiệu điện thế tiếp xúc .Hiệu điện thế này chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn và nhiệt độ:



$$V_M - V_N = P_{A/B}^T$$

Hiệu ứng nhiệt điện

Hiệu ứng Seebeck

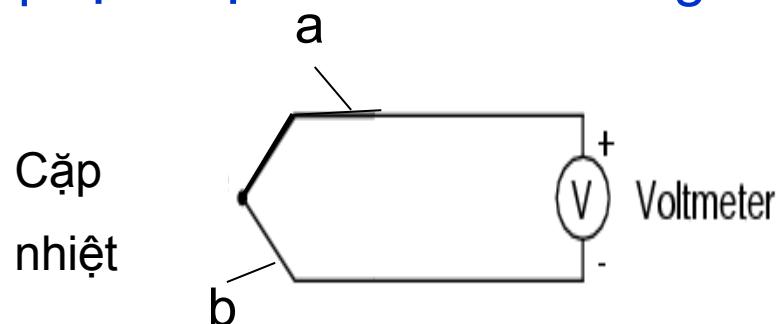
- Khi 2 thanh kim loại a, b có bản chất hóa học khác nhau được hàn với nhau tại một đầu làm việc t₁, hai đầu còn lại là 2 đầu tự do có nhiệt độ t₀, nếu t₁ ≠ t₀ thì sẽ xuất hiện sức điện động giữa 2 đầu tự do

$$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - E_{ab}(t_0)$$

- Nếu giữ cho t₀ không đổi còn t₁ phụ thuộc vào môi trường đo nhiệt độ thì

$$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - C$$

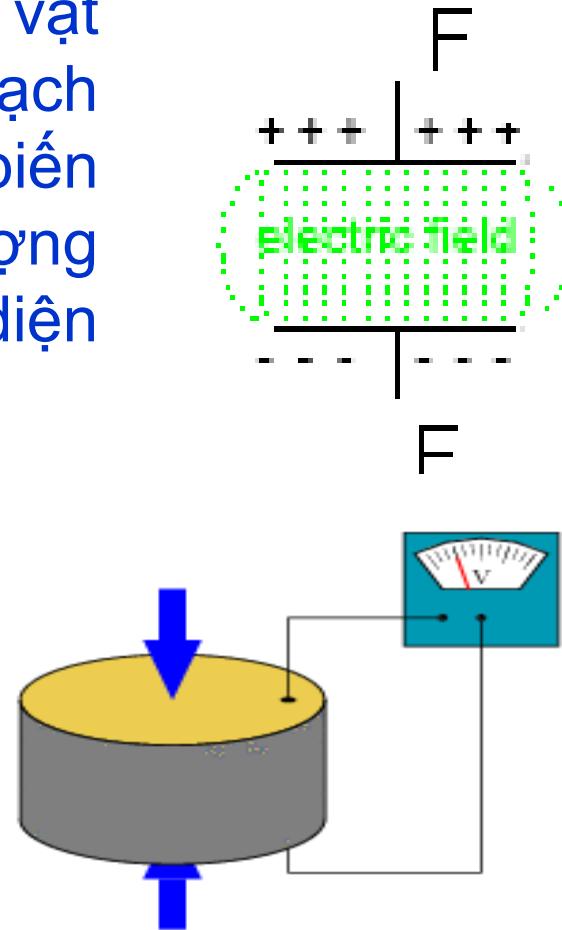
Với C là hằng số C = E_{ab}(t₀)



- Hiệu ứng nhiệt điện được ứng dụng để chế tạo Vôn kế, Ampe kế và cả Oat kế, chế tạo cảm biến đo nhiệt độ

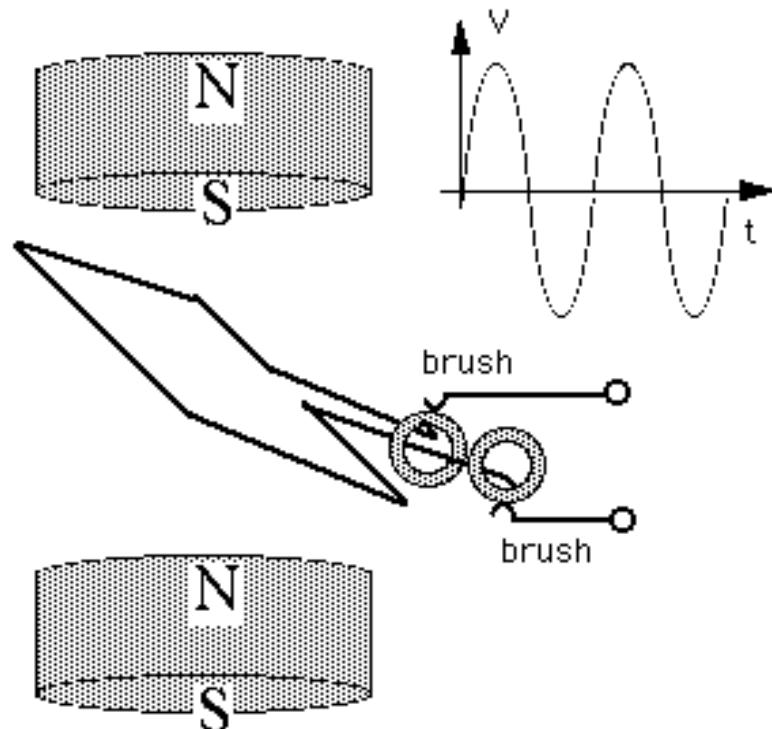
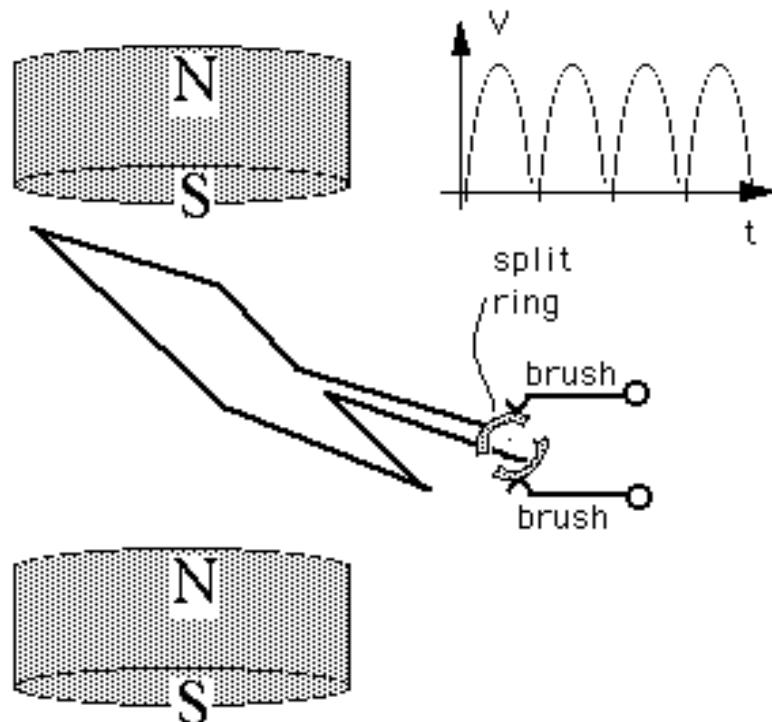
Hiệu ứng áp điện (Piezo)

- Khi tác dụng một lực cơ học lên 1 vật làm bằng vật liệu áp điện (như thạch anh, muối tualatine ...) sẽ gây ra biến dạng cho vật đó và làm xuất hiện lượng điện tích trái dấu trên hai mặt đối diện của vật.
- Hiệu ứng này được ứng dụng để xác định lực hoặc các đại lượng gây nên lực tác dụng lên vật liệu áp điện (như áp suất, gia tốc ...) thông qua việc đo điện áp trên 2 bản cực tụ



Hiệu ứng cảm ứng điện từ

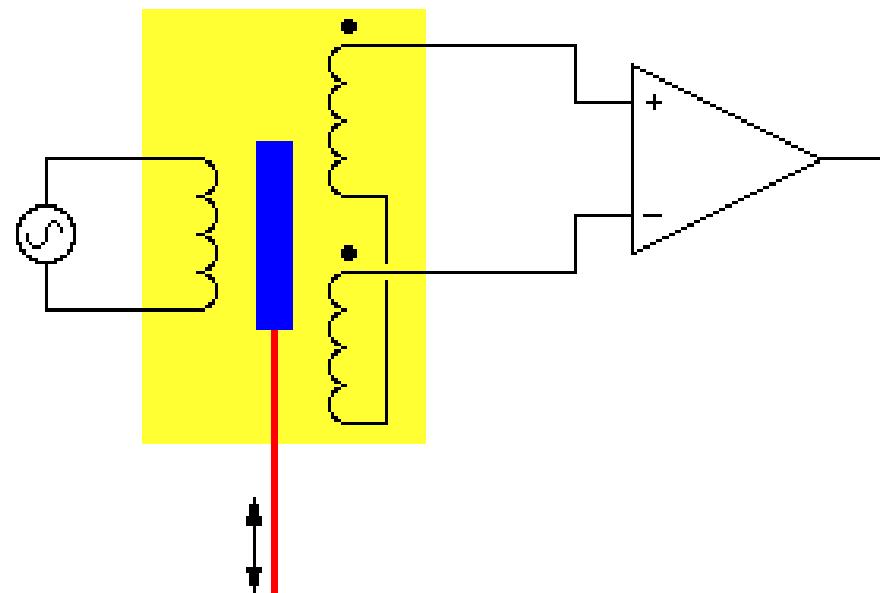
- Trong một dây dẫn chuyển động từ trường không đổi sẽ xuất hiện một sức điện động tỉ lệ với từ thông cắt ngang dây trong một đơn vị thời gian, nghĩa là tỉ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây dẫn



Hiệu ứng cảm ứng điện từ

- Hiệu tượng xảy ra tương tự khi một khung dây dẫn chịu tác động của từ trường biến thiên, lúc này trong khung dây sẽ xuất hiện một sức điện động bằng và ngược dấu với sự biến thiên của từ thông.
- Hiệu tượng cảm ứng điện từ được ứng dụng để xác định tốc độ dịch chuyển của vật.

Hiệu ứng cảm ứng từ còn thể hiện trong trường hợp khi độ cảm ứng từ thay đổi dòng điện trong cuộn dây cũng thay đổi
- Ví dụ hình bên

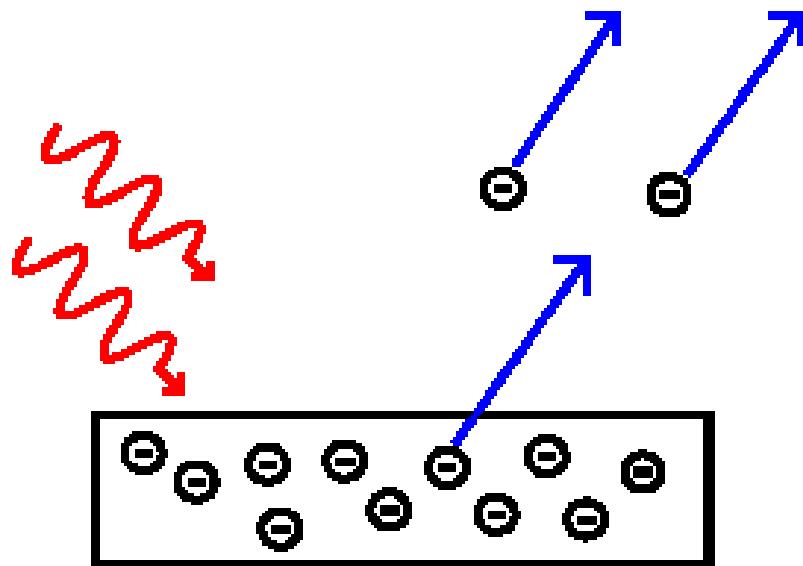


Hiệu ứng quang điện

- Hiệu ứng này có nhiều biểu hiện khác nhau nhưng đều chung một bản chất: đó là hiện tượng giải phóng ra các hạt dẫn tự do trong vật liệu dưới tác dụng của bức xạ điện từ có bước sóng nhỏ hơn giá trị ngưỡng đặc trưng cho vật liệu (phụ thuộc vào độ rộng dải cấm của vật liệu)
- Hiệu ứng quang điện có 3 biểu hiện cụ thể như sau:
 - ❖ Hiệu ứng quang điện phát xạ điện tử
 - ❖ Hiệu ứng quang điện trong chất bán dẫn
 - ❖ Hiệu ứng quang thế

Hiệu ứng quang điện

- Hiệu ứng quang điện phát xạ điện tử: là hiện tượng khi được chiếu sáng các điện tử được giải phóng thoát khỏi bề mặt của vật và tạo thành dòng được thu lại nhờ điện trường.



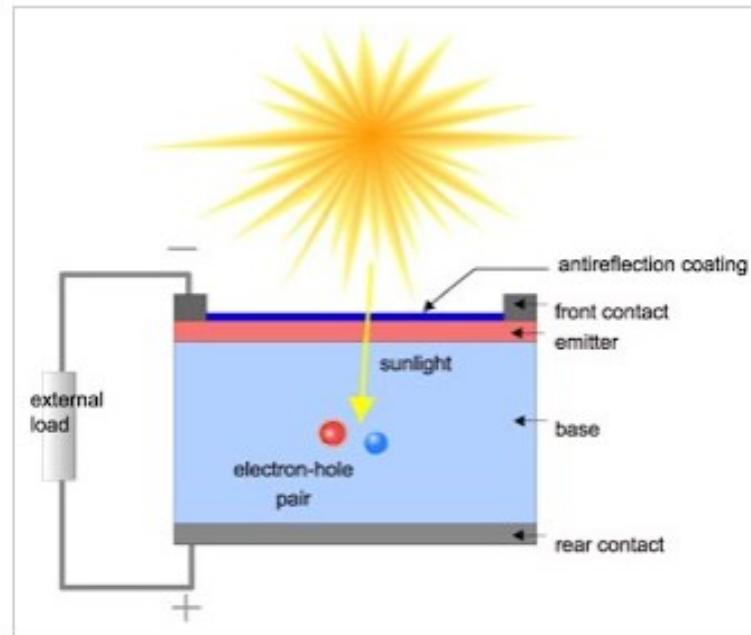
Hiệu ứng quang điện

- Hiệu ứng quang điện trong chất bán dẫn: khi một chuyển tiếp P-N được chiếu sáng sẽ phát sinh ra các cặp điện tử – lỗ trống. Chúng di chuyển về hai phía của chuyển tiếp dưới tác động của điện trường.
 - ❖ Quang trở
 - ❖ Photodiode
 - ❖ Phototransistor

Hiệu ứng quang điện

■ Hiệu ứng quang thế

- Nó dùng để biến năng lượng ánh sáng thành năng lượng điện.
- Nó được sử dụng như một nguồn điện cung cấp cho các thiết bị điện

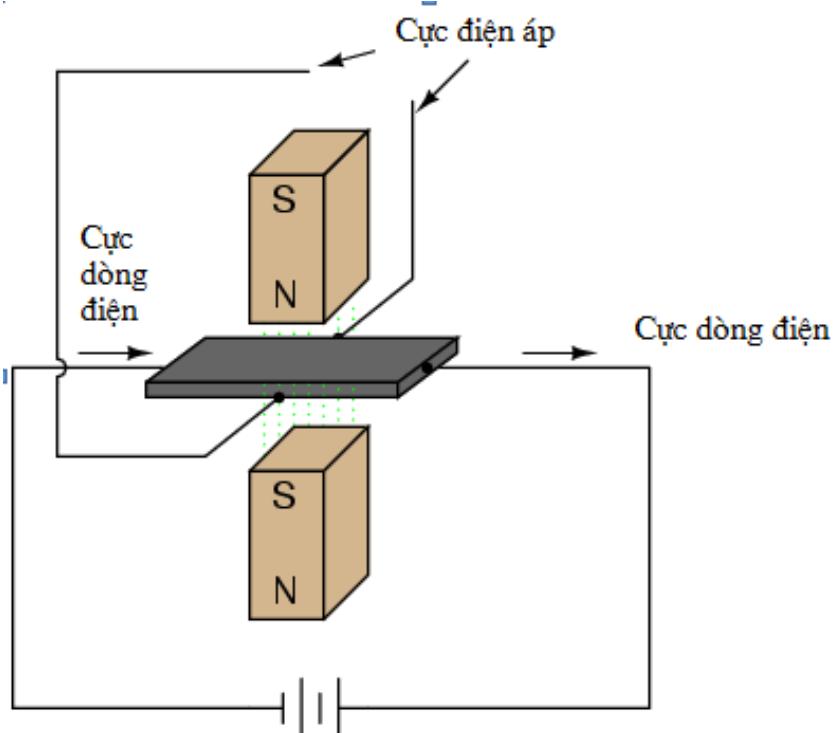


Hiệu ứng hall

- Trong vật mỏng (thường làm bằng bán dẫn) có dòng điện chạy qua đặt trong từ trường B có phuơng tạo thành góc θ với dòng điện I , sẽ xuất hiện một hiệu điện thế V_H theo hướng vuông góc với B và I . V_H được tính theo công thức sau:

$$V_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta$$

K_H là hệ số phụ thuộc vào vật liệu và kích thước hình học của mẫu



Các loại chuyển đổi

- 7.1 Chuyển đổi điện trở
- 7.2 Chuyển đổi điện từ
- 7.3 Chuyển đổi tĩnh điện (áp điện, điện dung)
- 7.4 Chuyển đổi nhiệt điện
- 7.5 Chuyển đổi hóa điện
- 7.6 Chuyển đổi điện tử và ion
- 7.8 Chuyển đổi lượng tử
- 7.9 Chuyển đổi đo độ ẩm
-

7.1. Các chuyển đổi điện trở

1. Chuyển đổi biến trở

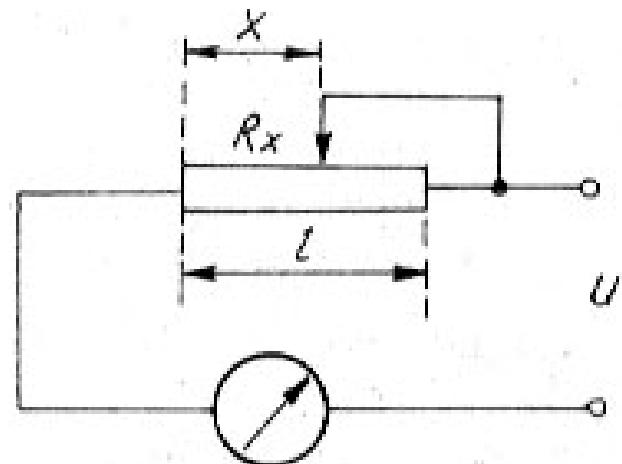
- **Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** là một biến trở gồm có lõi bằng vật liệu cách điện trên có quấn dây dẫn điện, dây quấn được phủ lớp cách điện. Trên lõi và dây quấn có con trượt, dưới tác dụng của đại lượng vào con trượt di chuyển làm cho điện trở thay đổi.

Mạch biến trở:

$$I = \frac{U}{R_x + R_{ct}} = \frac{U}{R \frac{X}{l} + R_{ct}} = f(X)$$

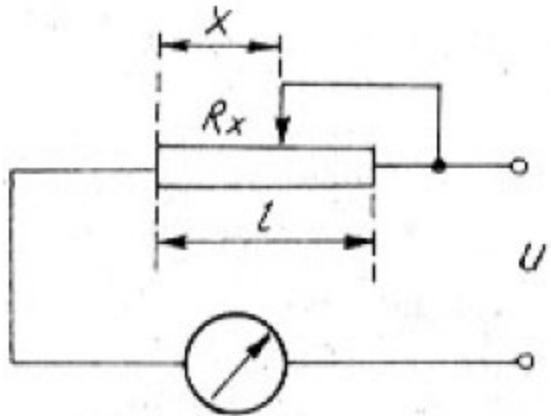
Dòng điện tỉ lệ nghịch với lượng di chuyển X

Ứng dụng: chuyển đổi biến trở thường được ứng dụng để đo các di chuyển thẳng (2-3mm)

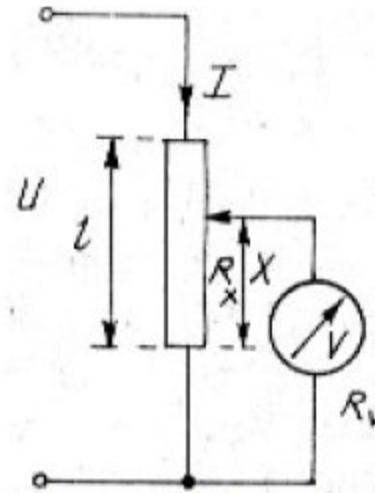


Các chuyển đổi điện trở

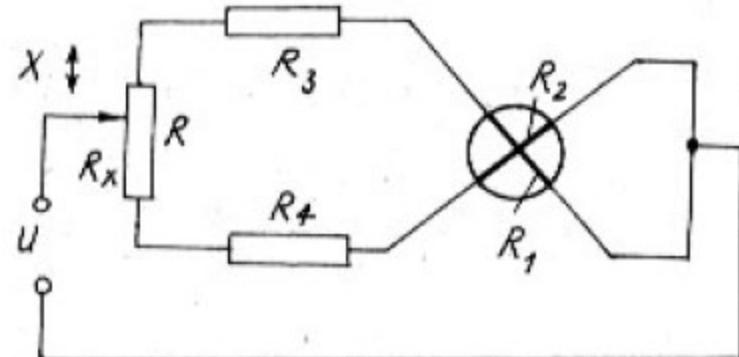
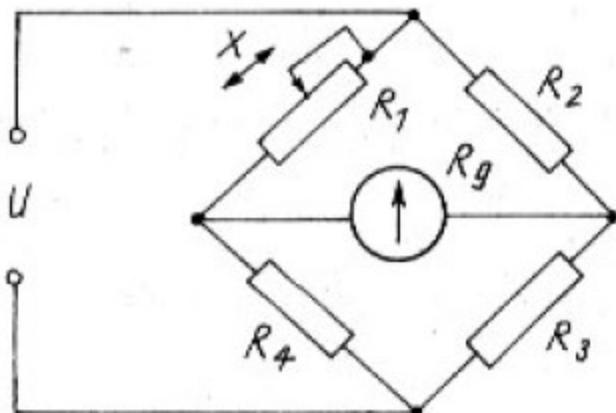
Mạch đo chuyển đổi biến trở



a) Mạch biến trở



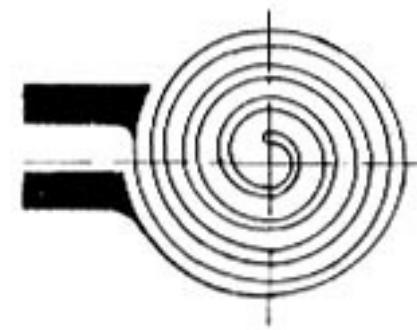
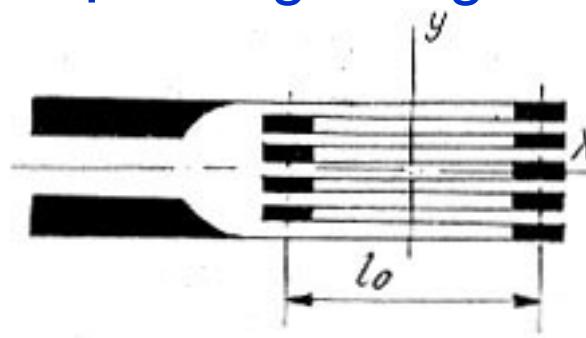
b) Mạch phân áp



Các chuyển đổi điện trở

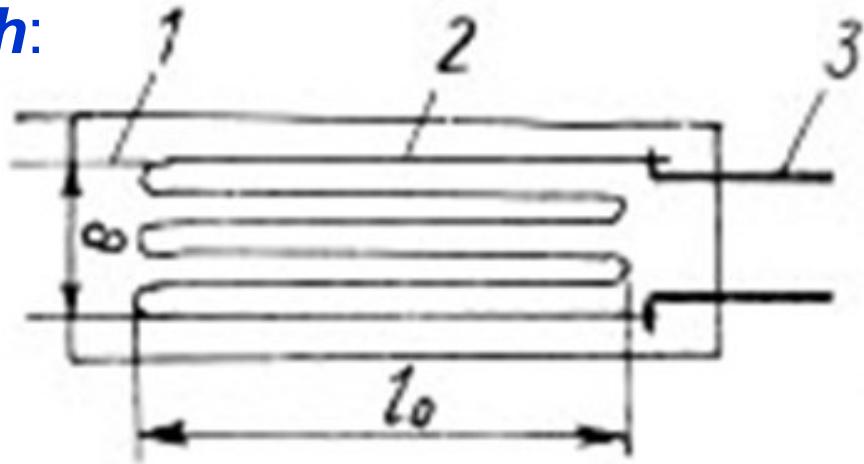
2. Chuyển đổi điện trở lực căng.

- Cấu tạo và nguyên lý làm việc: dựa trên hiệu ứng tenzô: khi dây dẫn chịu biến dạng thì điện trở của nó thay đổi, còn gọi là chuyển đổi điện trở tenzô
- Gồm có 3 loại chính:
 - ❖ Chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh,
 - ❖ Chuyển đổi điện trở lực căng lá mỏng
 - ❖ Chuyển đổi điện trở lực căng màng mỏng



Chuyển đổi điện trở lực căng.

Điện trở lực căng dây mảnh:

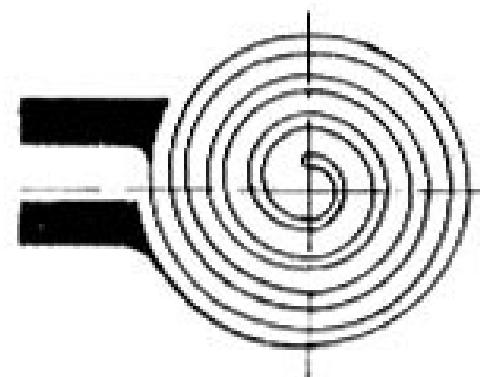
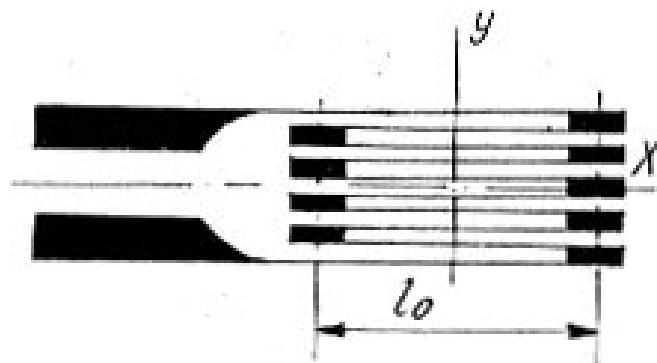


- 1 - Tấm giấy mỏng bền
- 2 - Sợi dây điện trở (hình răng lược có đường kính từ 0,02-0,03mm; chế tạo bằng constantan, nicrôm, hợp kim platin-iriđi...).
- 3 - Hai đầu dây được hàn với lá đồng dùng để nối với mạch đo.

Chiều dài l_0 là chiều dài tác dụng của chuyển đổi.

Chuyển đổi điện trở lực căng.

- **Chuyển đổi lực căng kiểu lá mỏng:** được chế tạo từ một lá kim loại mỏng với chiều dày $0,004 \div 0,012\text{mm}$. Nhờ phương pháp quang khắc hình dáng của chuyển đổi được tạo thành khác nhau
- **Chuyển đổi lực căng kiểu màng mỏng:** được chế tạo bằng cách cho bốc hơi kim loại lên một khung với hình dáng định trước.
 - ❖ Ưu điểm của hai kiểu chuyển đổi trên là điện trở lớn, tăng được độ nhạy, kích thước giảm



Chuyển đổi điện trở lực căng.

- Chuyển đổi được dán lên đối tượng đo, khi đối tượng đo bị biến dạng sẽ làm cho chuyển đổi tenzô biến dạng theo một lượng tương đối

$$\varepsilon_l = \Delta l / l$$

- Điện trở thay đổi $\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = f(\varepsilon_l)$

- Phương trình biến đổi tổng quát của biến trở lực căng là

$$\varepsilon_R = \varepsilon_l (1 + 2K_P + m) = K \varepsilon_l$$

K_p : hệ số Poisson, đối với kim loại $K_p=0,24-0,4$.

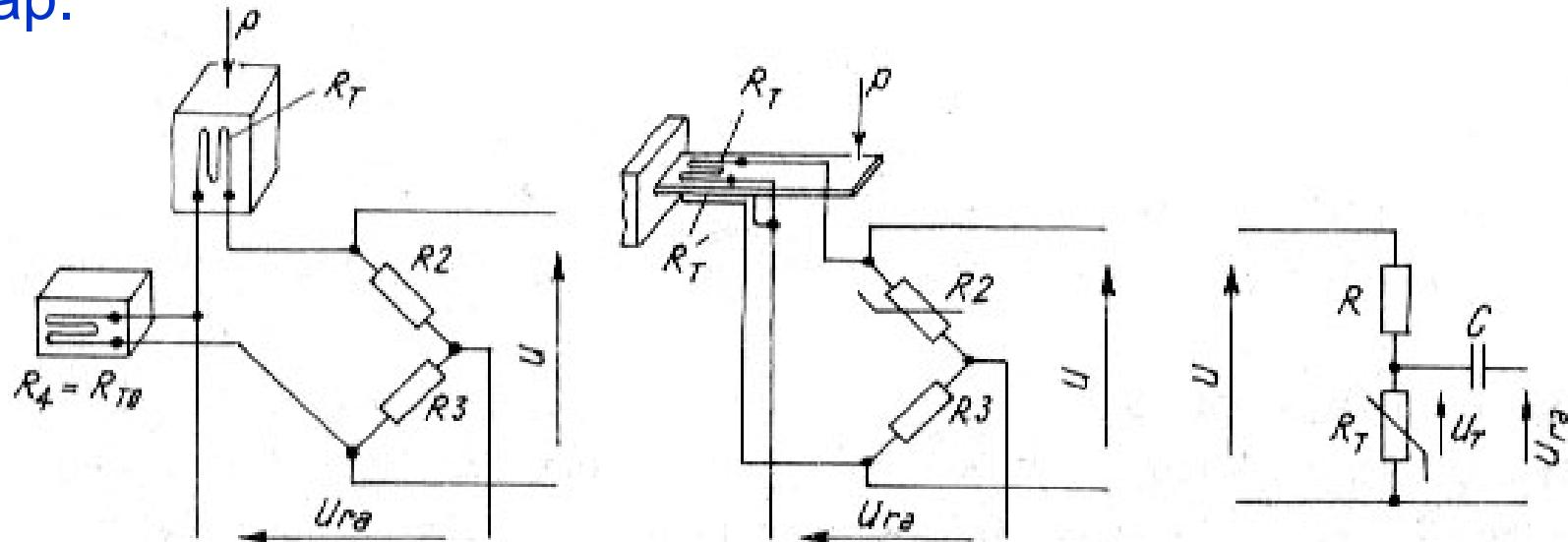
m : hệ số tỉ lệ $m = \varepsilon_\rho / \varepsilon_l$, với $\varepsilon = \Delta \rho / \rho$ là biến thiên tương đối của điện trở suất đặc trưng cho sự thay đổi tính chất vật lý của chuyển đổi.

Độ nhạy của chuyển đổi là: $K = (1 + 2K_P + m)$; $K=0,5-8$ đối với kim loại

Chuyển đổi điện trở lực căng.

Mạch đo:

- Các chuyển đổi điện trở lực căng được dán lên đối tượng đo bằng các loại keo dán đặc biệt (như axêtôxenlulôit...).
- Thông thường chuyển đổi điện trở lực căng được dùng với mạch cầu một chiều hoặc xoay chiều và mạch phân áp.

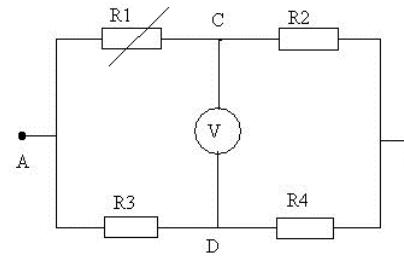


Chuyển đổi điện trở lực căng.

Mạch đo:

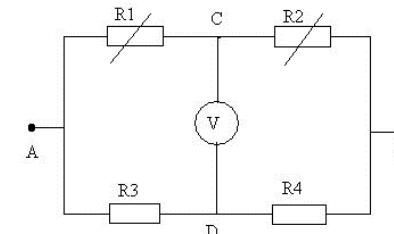
Mạch cầu một nhánh hoạt động

$$U_{ra} = \frac{1}{4} U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{4} U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$



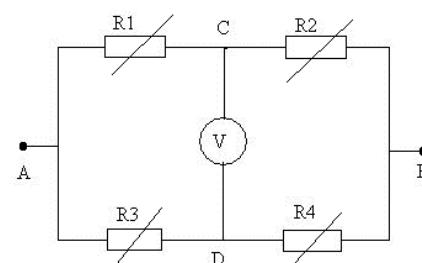
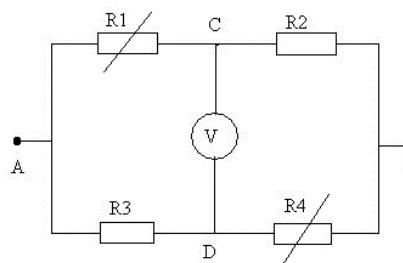
Mạch cầu hai nhánh hoạt động

$$U_{ra} = \frac{1}{2} U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{2} U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$



Mạch cầu bốn nhánh hoạt động

$$U_{ra} = U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$



Chuyển đổi điện trở lực căng.

Mạch phân áp $U_T = \frac{U}{R_T + R} \cdot R_T$

Khi có biến dạng với tần số ω :

$$U_T = \frac{U}{R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t) + R} \cdot [R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)]$$

với $\varepsilon_R \ll 1 \Rightarrow [R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t) + R] \approx (R_T + R)$ có:

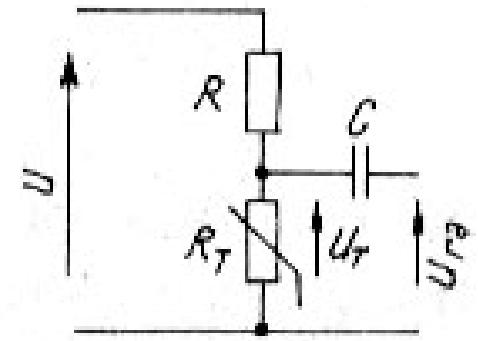
$$U_T \approx U \cdot \left[\frac{R_T}{R_T + R} + \frac{R_T(\varepsilon_R \sin \omega t)}{R_T + R} \right]$$

Điện áp ra chỉ lấy thành phần xoay chiều:

$$U_T \approx U \cdot \frac{R_T \varepsilon_R}{R_T + R} \sin \omega t$$

Ứng dụng:

- Các chuyển đổi lực căng được dùng để đo lực, áp suất, mômen quay, gia tốc (thường cỡ $1.10^7 \div 2.10^7$ N).
- Chuyển đổi lực căng có thể đo các đại lượng biến thiên tới vài chục kHz.



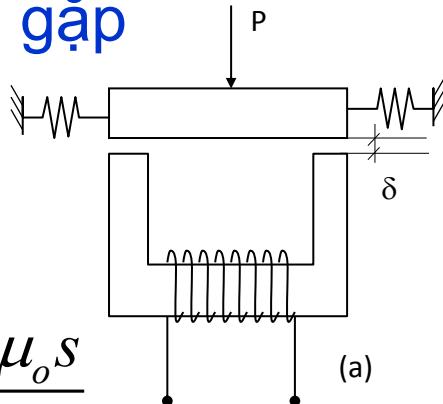
7.2. Các chuyển đổi điện tử.

- **Định nghĩa:** Là nhóm các chuyển đổi làm việc dựa trên các quy luật điện tử.
- Đại lượng vật lý không điện cần đo làm thay đổi các đại lượng từ của chuyển đổi như:
 - ❖ Chuyển đổi điện cảm
 - ❖ Chuyển đổi hỗ cảm
 - ❖ Chuyển đổi áp từ
 - ❖ Chuyển đổi cảm ứng

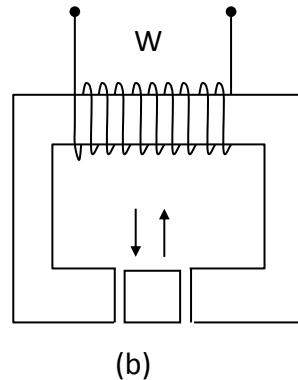
Chuyển đổi điện cảm

- Chuyển đổi điện cảm là chuyển đổi biến đổi giá trị đại lượng đo thành trị số điện cảm. Một số chuyển đổi điện cảm thường gặp

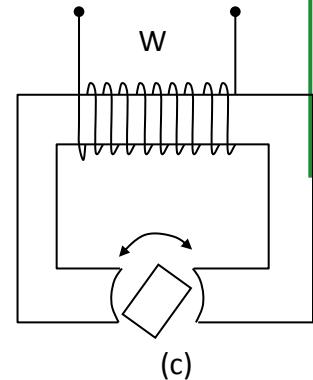
$$L = \frac{W^2}{R_s} = W^2 \cdot \frac{\mu_0 s}{\delta}$$



(a)



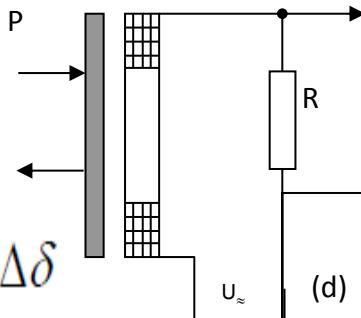
(b)



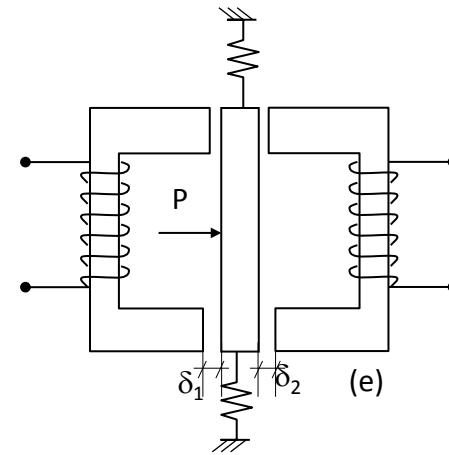
(c)

$$dL = \frac{\partial L}{\partial s} ds + \frac{\partial L}{\partial \delta} d\delta$$

$$\Rightarrow \Delta L = W^2 \cdot \frac{\mu_0}{\delta_0} \Delta s + W^2 \cdot \frac{\mu_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta$$



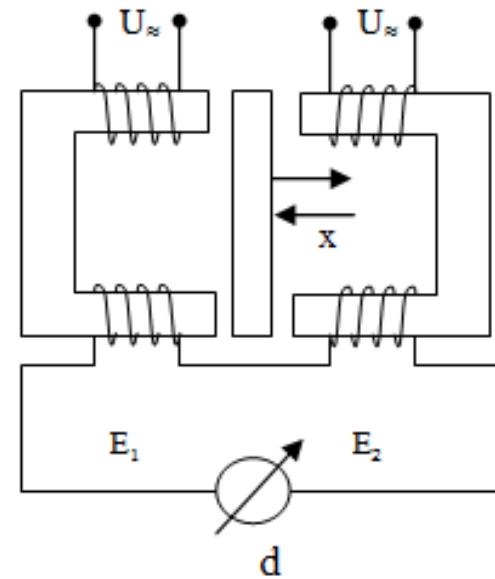
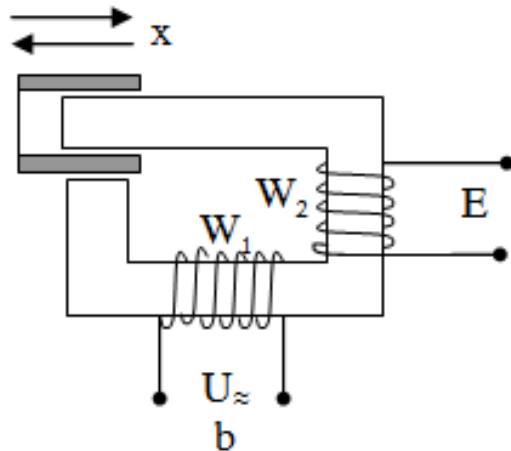
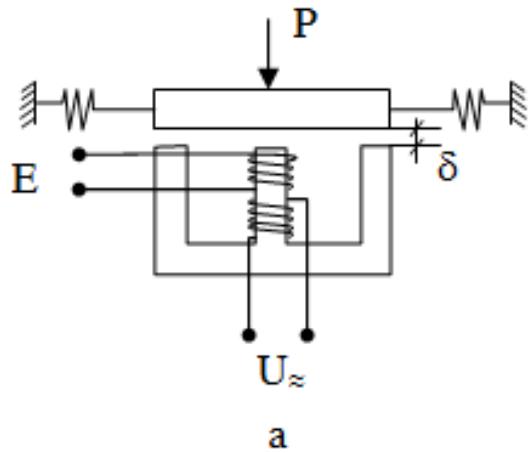
(d)



(e)

Chuyển đổi hõ cảm

- Là chuyển đổi biến giá trị đo thành trị số hõ cảm. Một số loại chuyển đổi hõ cảm thường gặp



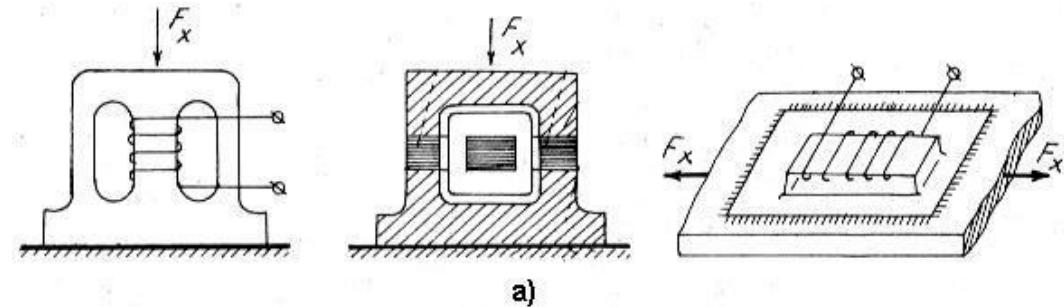
$$e = -W_2 \cdot \frac{W_1 \mu_0 s}{\delta} \cdot \frac{di}{dt}$$

$$dE = \frac{\partial E}{\partial s} \cdot ds + \frac{\partial E}{\partial \delta} \cdot d\delta$$

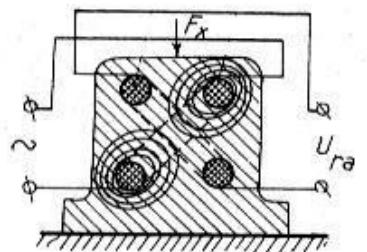
$$\Rightarrow \Delta E = \frac{K}{\delta_0} \cdot \Delta s - \frac{K \cdot s}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \cdot \Delta \delta$$

Chuyển đổi áp từ

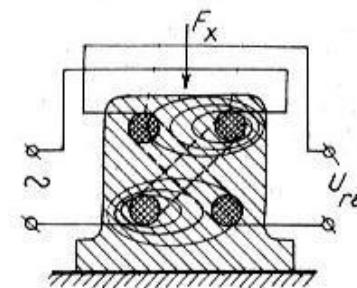
- Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** chuyển đổi áp từ là một dạng của chuyển đổi điện cảm và hổ cảm. Tuy nhiên khác với hai loại trên, mạch từ của chuyển đổi áp từ là mạch từ kín. Nguyên lý làm việc của nó dựa trên hiệu ứng áp từ



a)



b)



$$L = \frac{W^2}{R} = W^2 \cdot \frac{\mu s}{l}$$

$$\Delta L = L_0 \cdot \left\{ \frac{\Delta \mu}{\mu} + \frac{\Delta s}{s} - \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{l}{[1 + (\Delta l/l)]^2} \right\}$$

Chuyển đổi cảm ứng

- Đây là chuyển đổi phát điện. Ví dụ một số chuyển đổi thường gặp

$$E = -W \cdot \frac{d\Phi}{dt} = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

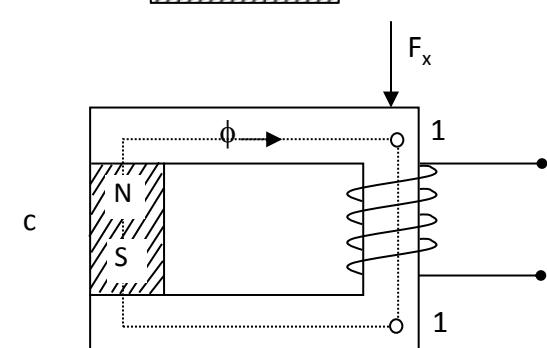
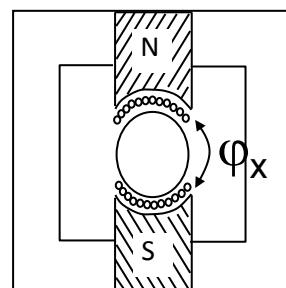
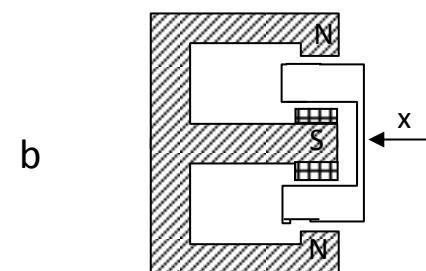
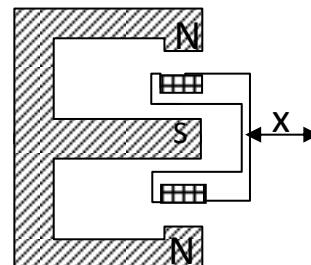
X: độ di chuyển thẳng của cuộn dây

S = $-B \cdot \pi \cdot D \cdot W$ là độ nhạy của chuyển đổi.

B: độ từ cảm của khe hở không khí

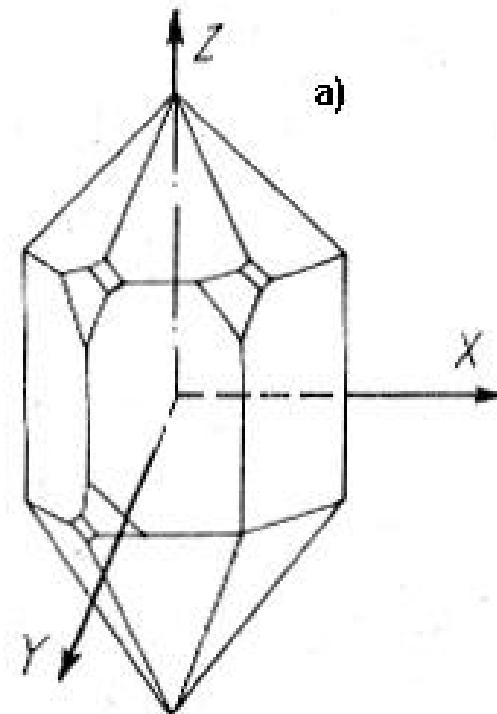
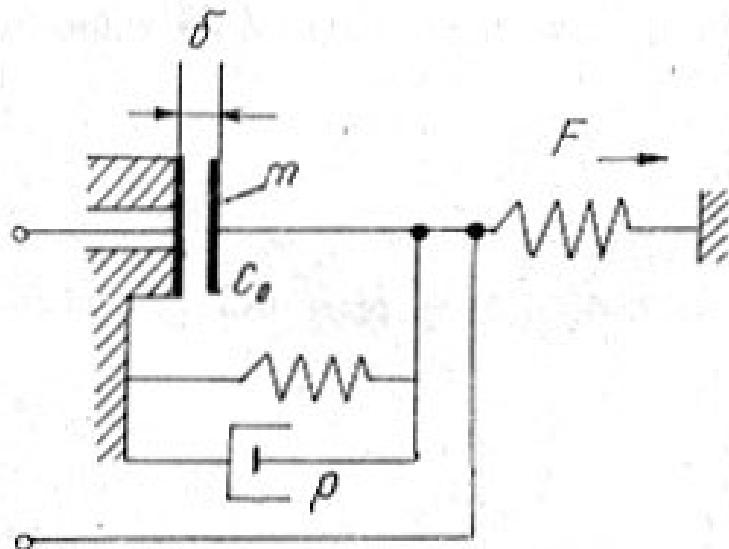
D: đường kính trung bình của cuộn dây

W: số vòng của cuộn dây



7.3 Chuyển đổi tĩnh điện.

- Chuyển đổi tĩnh điện được phân thành hai loại là:
 - ❖ Chuyển đổi áp điện
 - ❖ Chuyển đổi điện dung



Chuyển đổi áp điện

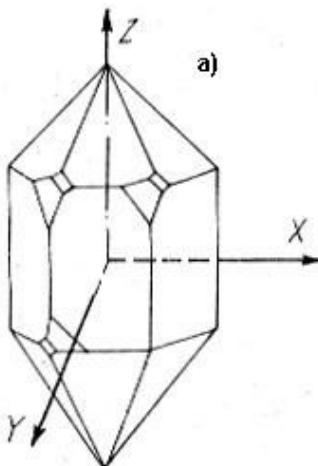
Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:

chuyển đổi áp điện hoạt động dựa trên hiệu ứng áp điện, gồm có hiệu ứng áp điện thuận và hiệu ứng áp điện ngược:

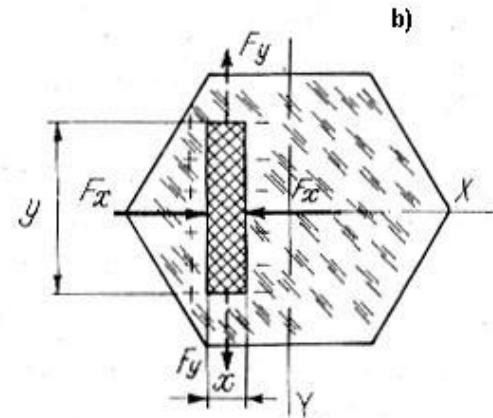
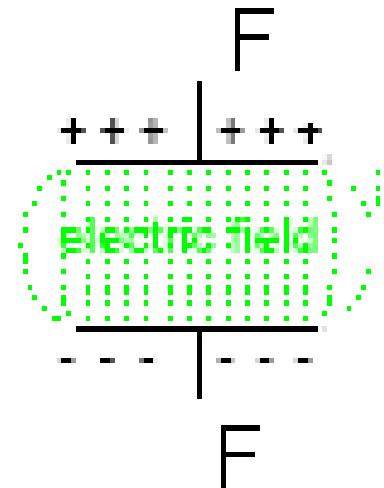
Hiệu ứng áp điện thuận: vật liệu khi chịu tác động của một lực cơ học biến thiên thì trên bề mặt của nó xuất hiện các điện tích, khi lực ngừng tác dụng thì các điện tích biến mất

$$q_y = -d_1 \cdot \frac{y}{x} \cdot F_y$$

d_1 là hằng số áp điện

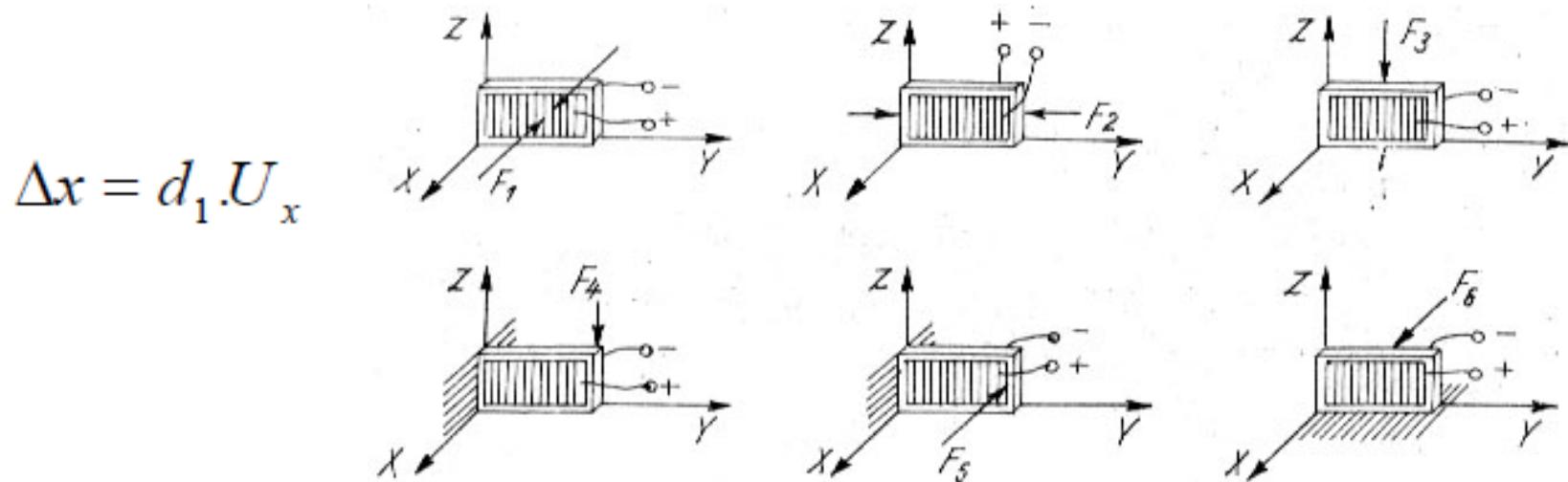


NTH - BM KTD & THCN



Chuyển đổi áp điện

- Hiệu ứng áp điện ngược: nếu đặt vật liệu trong từ trường biến thiên thì điện trường tác dụng lên chúng sẽ sinh ra biến dạng cơ học. Cụ thể nếu đặt phần tử điện trong điện trường có cường độ E_x dọc trục X, nó sẽ bị biến dạng tương đối theo hướng này một lượng



d₁ là hằng số áp điện

7.4 Chuyển đổi nhiệt điện.

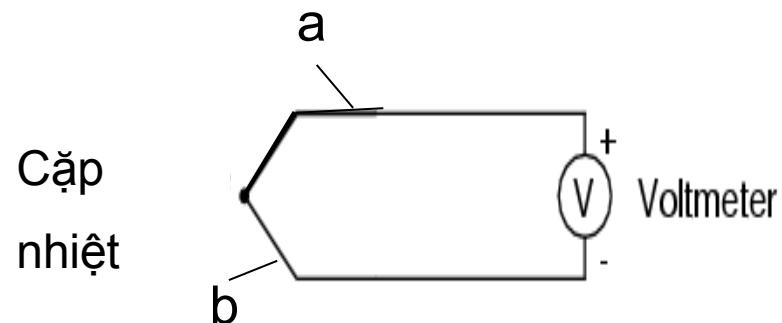
- Chuyển đổi nhiệt điện là những chuyển đổi điện trên các quá trình nhiệt như đốt nóng, làm lạnh, trao đổi nhiệt...
- Thực tế khi đo các đại lượng theo phương pháp điện người ta thường sử dụng hai hiện tượng, đó là *hiệu ứng nhiệt điện* và *hiệu ứng thay đổi điện trở của dây dẫn hay chất bán dẫn khi nhiệt độ thay đổi*.
- *Tương ứng với hai hiện tượng* trên người ta phân thành hai loại chuyển đổi nhiệt điện đó là
 - ❖ *Chuyển đổi cặp nhiệt điện (Thermocouple)*
 - ❖ *Chuyển đổi nhiệt điện trở (RTD-Resistance Temperature Detector).*
 - ❖ *Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất của điốt và tranzito bán dẫn*

Chuyển đổi nhiệt điện

- Khi 2 thanh kim loại a, b có bản chất hóa học khác nhau được hàn với nhau tại một đầu làm việc t_1 , hai đầu còn lại là 2 đầu tự do có nhiệt độ t_0 , nếu $t_1 \neq t_0$ thì sẽ xuất hiện sức điện động giữa 2 đầu tự do

$$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - E_{ab}(t_0)$$

$$E_{ab} = K_T \cdot (t_{\text{nóng}} - t_{\text{tự do}}) = K_T \cdot t_{\text{nóng}} - K_T \cdot t_{\text{tự do}}$$



- Hiệu ứng nhiệt điện được ứng dụng để chế tạo Vôn kế, Ampe kế và cả Oat kế, chế tạo cảm biến đo nhiệt độ

Chuyển đổi nhiệt điện trở

- **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** nhiệt điện trở là chuyển đổi có điện trở thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ của nó
- **Các đặc tính cơ bản:** Nhiệt điện trở kim loại (Resistance thermometers): chuyển đổi nhiệt điện trở kim loại thường được chế tạo bằng các kim loại như đồng, platin và niken, đường kính dây từ 0,02 ÷ 0,06mm với chiều dài từ 5 ÷ 20mm.
- Phương trình đặc trưng của chuyển đổi có thể viết dưới dạng:

$$R_t = R_0 \left(1 + \alpha t + \beta t^2 + \dots \right)$$

7.5 Chuyển đổi hóa điện.

- Chuyển đổi hóa điện là những chuyển đổi dựa trên các hiện tượng hóa điện xảy ra khi cho dòng điện đi qua bình điện phân hoặc do quá trình ôxi hóa khử các điện cực.
- Các hiện tượng này phụ thuộc vào tính chất của các điện cực, bản chất và nồng độ của các dung dịch.
- Chuyển đổi hóa điện thường là một bình điện phân chứa một dung dịch nào đó, có hai hay nhiều cực để nối với mạch đo lường.
- Để hiểu nguyên lý làm việc của các chuyển đổi hóa điện ta cần nghiên cứu các hiện tượng điện hóa cơ bản gồm:
 - ❖ Hiện tượng phân li,
 - ❖ Điện thế cực,
 - ❖ Hiện tượng điện phân
 - ❖ Sự phân cực.

7.6 Chuyển đổi điện tử và ion.

- Nhóm các chuyển đổi điện tử và ion là nhóm gồm nhiều kim loại chuyển đổi khác nhau. Nguyên lý làm việc của các loại chuyển đổi này dựa vào sự thay đổi dòng ion và dòng điện tử dưới tác dụng của các đại lượng đo. Người ta chia các chuyển đổi điện tử và ion thành 2 loại cơ bản là:
 - ❖ Chuyển đổi điện tử và ion
 - ❖ Chuyển đổi ion hóa
- Các chuyển đổi điện tử và ion lại được phân thành các loại:
 - ❖ Chuyển đổi tự phát xạ điện tử
 - ❖ Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử
 - ❖ Chuyển đổi phát xạ quang điện tử

Chuyển đổi tự phát xạ điện tử

- **Nguyên lý hoạt động:** dưới tác dụng của điện trường mạnh (với điện áp trên anốt và catốt cỡ 3kV), các điện tử bị bắn ra khỏi catốt, trên đường đi chúng ion hóa các phân tử khí tạo thành ion dương và âm. Dòng điện chạy từ anốt đến catốt thay đổi theo mật độ không khí trong đèn hai cực.
- **b) Ứng dụng:** chế tạo các thiết bị đo áp suất thấp còn gọi (các chân không kế).

Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử

- **Nguyên lý hoạt động:** các loại chuyển đổi này được chế tạo dưới dạng đèn điện tử hai cực và ba cực. Khi catốt bị đốt nóng các điện tử bắn ra khỏi nó và dưới tác dụng của điện trường, các điện tử chuyển động từ anốt đến catốt. Trên đường đi các điện tử ion hóa không khí tạo thành các ion dương và âm.
- **b) Ứng dụng:** cũng như loại chuyển đổi phát xạ điện tử, chuyển đổi loại này dùng cho độ chân không tới 10⁻⁶ mm Hg.
- Nếu giữ cho đèn có độ chân không ổn định thì dòng điện chạy trong mạch phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai cực anốt và catốt. Ứng dụng hiện tượng trên, người ta chế tạo các thiết bị đo các đại lượng cơ học như đo độ di chuyển.

Chuyển đổi phát xạ quang điện tử

- **Nguyên lý hoạt động:** nguyên lý cơ bản của các chuyển đổi quang điện dựa trên hiện tượng giải phóng điện tích dưới tác dụng của dòng ánh sáng do hiệu ứng quang điện gây nên sự thay đổi tính chất của vật liệu.
- Chuyển đổi phát xạ quang điện tử bao gồm các dạng cơ bản là:
 - ❖ Tế bào quang điện
 - ❖ Quang điện trở
 - ❖ Phôtô điốt
 - ❖ Phôtô tranzito

7.7 Chuyển đổi lượng tử

- Là loại chuyển đổi dựa trên các hiện tượng vật lí hạt nhân nguyên tử.
- Ta sẽ xét loại chuyển đổi lượng tử phổ biến nhất đó là chuyển đổi dựa trên hiện tượng *cộng hưởng từ hạt nhân*.
- Nhờ việc sử dụng hiện tượng *cộng hưởng từ hạt nhân* vào kĩ thuật đo lường mà các phép đo cường độ từ trường cũng như các đại lượng khác có quan hệ với nó như dòng điện lớn chẳng hạn đã được nâng cao được độ chính xác