

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

Mở đầu

- Cơ sở kỹ thuật đo lường trình bày những cơ sở lý luận cơ bản về kỹ thuật đo lường. Cung cấp những kiến thức cơ bản để phục vụ cho các môn học " Phương pháp và thiết bị đo các đại lượng điện và không điện ", " Hệ thống thông tin đo lường " và những môn học chuyên môn khác của kỹ thuật thông tin đo lường như môn " Thiết bị đo sinh y ", " Xử lý tín hiệu " v.v...
- Cùng với các môn học trên, giáo trình này xây dựng một hệ thống kiến thức cho việc thu thập số liệu đo, xử lý gia công và điều khiển hiện đại.

Nội dung môn học

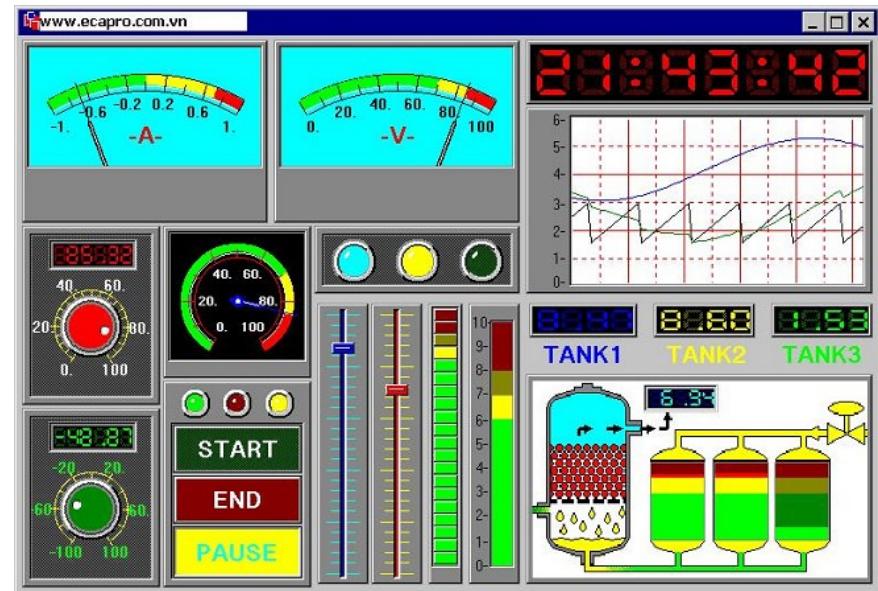
- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Phương tiện đo và phân loại
 - ❖ Chương 3: Các thông số kỹ thuật của thiết bị đo
- Phần 2: Các phần tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: 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

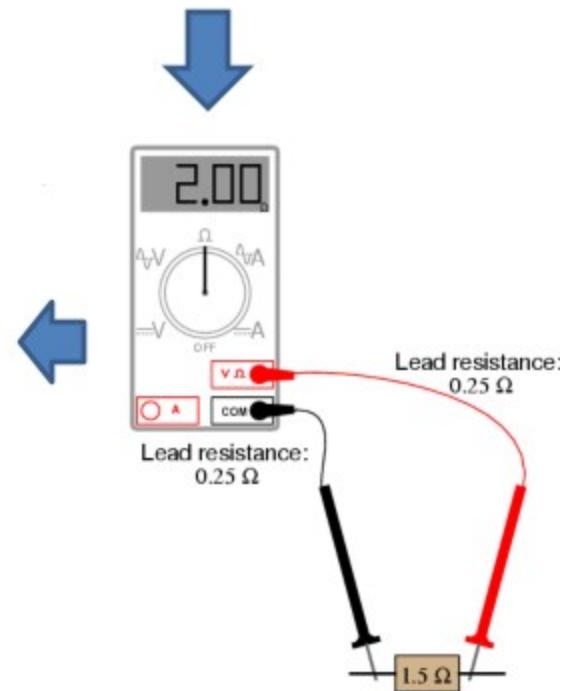
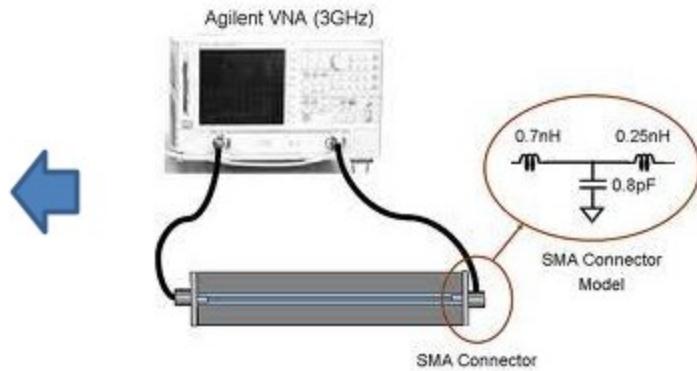
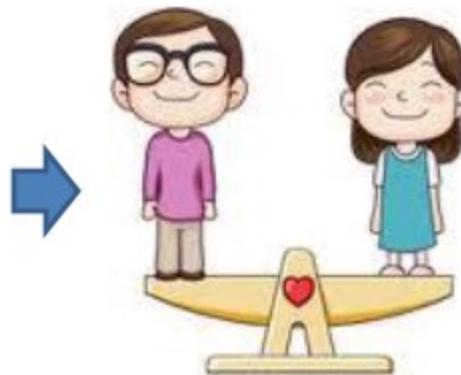
- Sách:
 - ❖ Kĩ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
 - ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Si Hồng
- Bài giảng và website:
 - ❖ Bài giảng kĩ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
 - ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong,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

Chương 1: Khái niệm cơ bản về kĩ thuật đo lường

1. Lịch sử phát triển và ứng dụng
2. Khái niệm và phân loại phép đo
3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường
4. Mô hình quá trình đo
5. Các nguyên công đo lường cơ bản
6. Tín hiệu đo lường

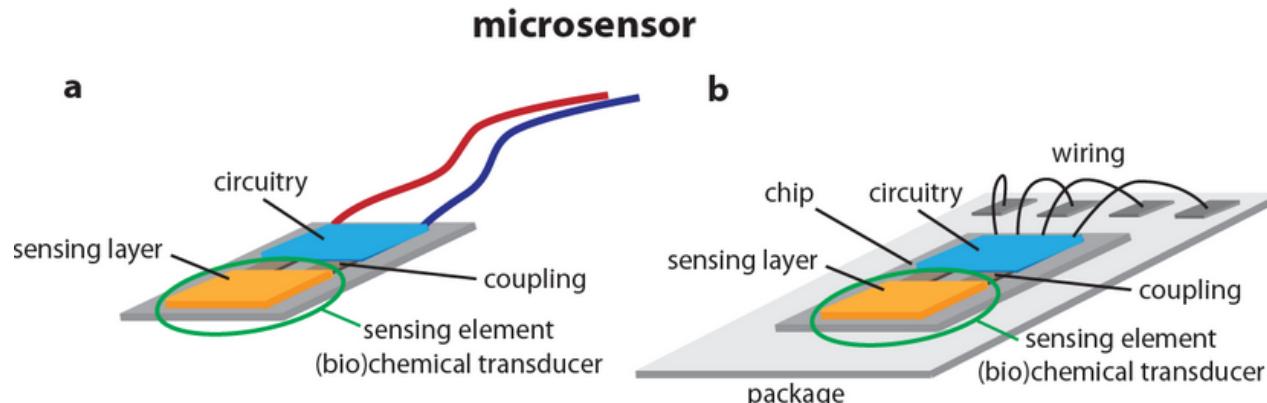


1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng

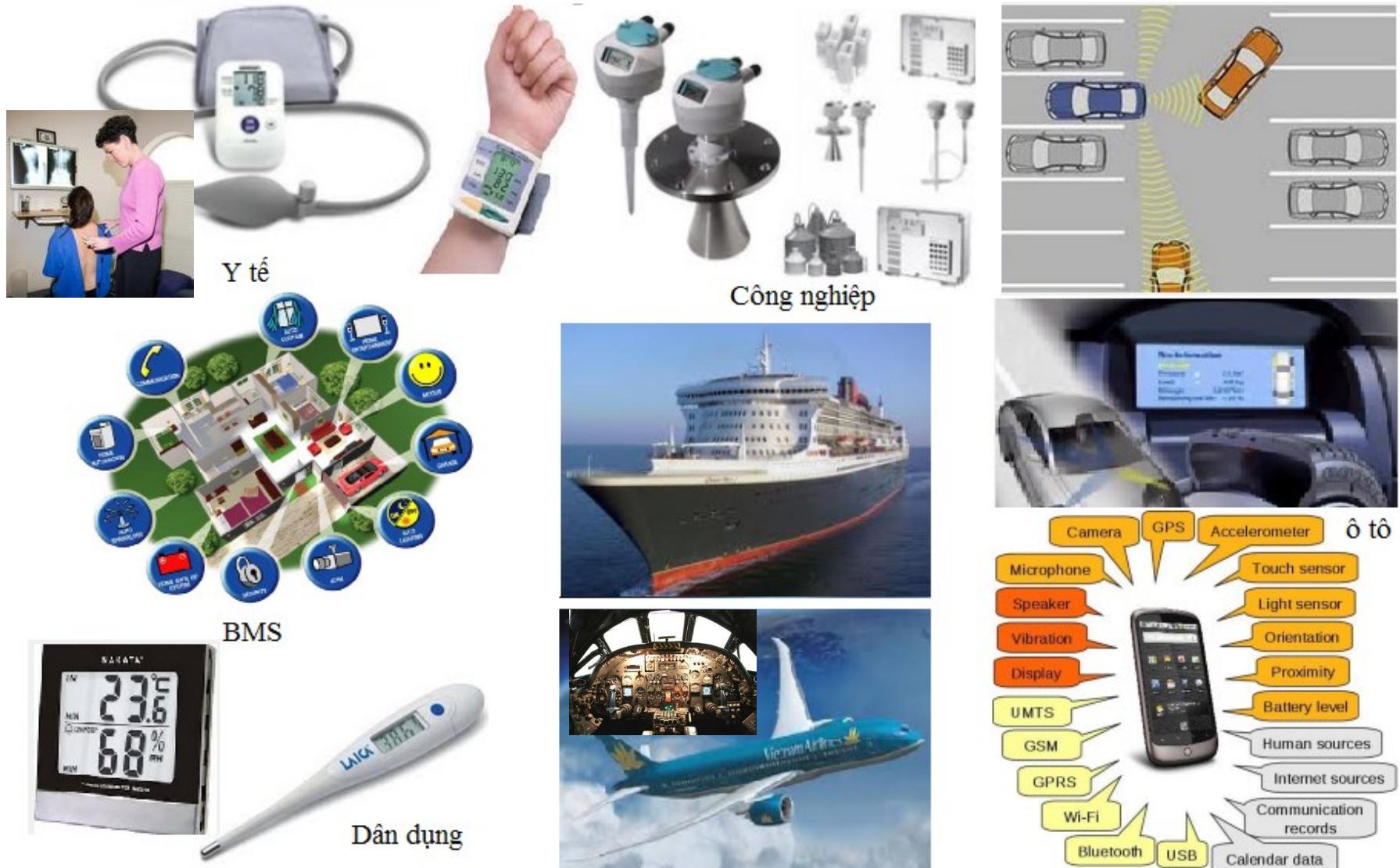


1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng

- Cùng với sự phát triển như vũ bão của công nghệ vi điện tử, vi chế tạo và công nghệ thông tin, kỹ thuật đo lường đã bước sang một giai đoạn mới là xây dựng thiết bị đo dựa trên cơ sở vi hệ thống
 - ❖ Vi hệ thống là một hệ tích hợp (IC) các cơ cấu tiêu hình (kích thước µm hay nm) sử dụng các công nghệ hiện đại (vi điện tử, vi gia công, công nghệ nano) để thực hiện các chức năng đo lường và điều khiển (biến đổi, xử lý tín hiệu, xử lý số liệu, điều khiển, truyền tin.)

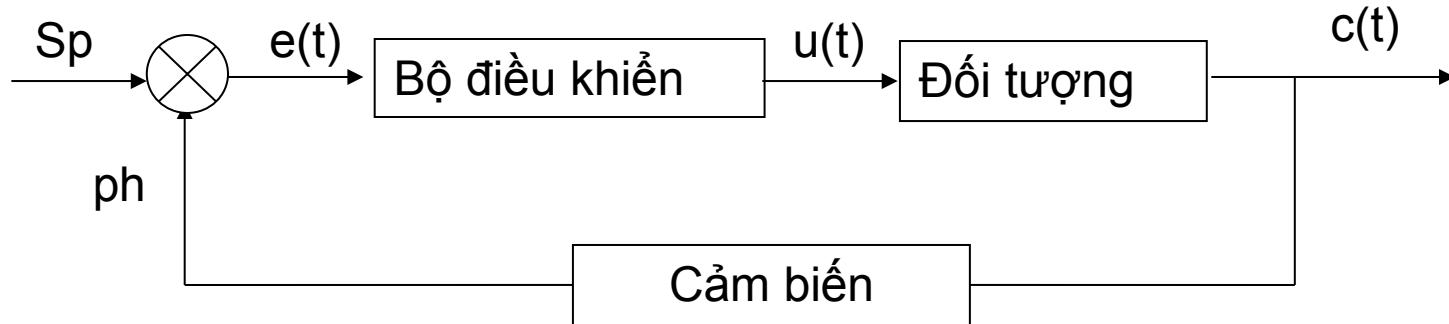


1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng



1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng

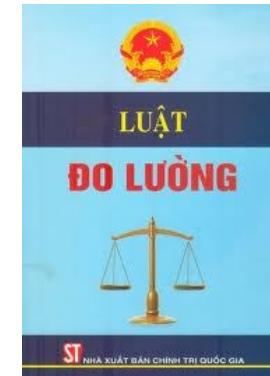
■ Trong công nghiệp



■ Để thực hiện được quá trình điều khiển như định nghĩa ở trên, một hệ thống điều khiển bắt buộc có ba thành phần cơ bản là thiết bị đo lường (cảm biến), bộ điều khiển và đối tượng điều khiển. Thiết bị đo lường có chức năng thu thập thông tin, bộ điều khiển có chức năng xử lý thông tin, ra quyết định điều khiển và đối tượng điều khiển chịu sự tác động của tín hiệu điều khiển.

1.2. Định nghĩa đo lường

- Theo pháp lệnh “ ĐO LƯỜNG” của nhà nước CHXHCN Việt nam
 - ❖ Chương 1- điều 1: Đo lường là việc xác định giá trị của đại lượng cần đo
 - ❖ Chính xác hơn: Đo lường là một quá trình đánh giá **định lượng** của một đại lượng cần đo để có kết quả **bằng số** so với **đơn vị đo**
 - Ví dụ: Đo điện áp: $U = 135V \pm 0,5V$.
 - Tức là điện áp đo được là 135 đơn vị điện áp tính bằng volt, với sai số là 0,5V



Phương trình cơ bản của phép đo

■ Phương trình cơ bản của phép đo:

$$A_x = \frac{X}{X_0} \Rightarrow X = A_x \times X_0$$

X: Đại lượng cần đo.

X₀: Đơn vị đo.

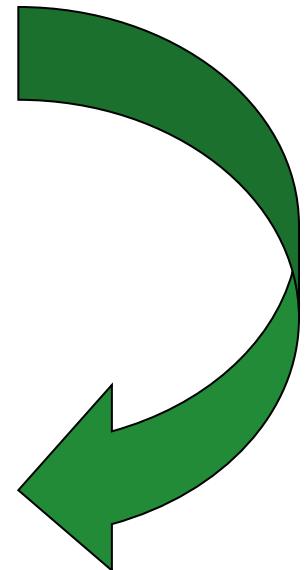
A_x: Giá trị bằng số của đại lượng cần đo.

Quá trình so sánh đại lượng cần đo
với mẫu để cho ra kết quả bằng số

Có thể đo một đại
lượng vật lý bất kỳ
được không???



Không, vì không
phải đại lượng nào
cũng có thể so sánh
giá trị của nó với
mẫu được.



Định nghĩa đo lường

- **Đo lường học:** là ngành khoa học chuyên nghiên cứu về các phương pháp để đo các đại lượng khác nhau, nghiên cứu về mẫu và đơn vị đo.
- **Kỹ thuật đo lường:** ngành kỹ thuật chuyên nghiên cứu áp dụng các thành tựu của đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống



Định nghĩa và phân loại phép đo

- Phép đo là quá trình thực hiện việc đo lường.
- Phân loại
 - ❖ **Đo trực tiếp:** Là cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất
 - ❖ **Đo gián tiếp:** Là cách đo mà kết quả được suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng cách đo trực tiếp.
 - ❖ **Đo hợp bộ:** Là cách đo gần giống như phép đo gián tiếp nhưng số lượng phép đo theo phép đo trực tiếp nhiều hơn và kết quả đo nhận được thường phải thông qua giải một phương trình hay một hệ phương trình mà các thông số đã biết chính là các số liệu đo được.
 - ❖ **Đo thống kê:** để đảm bảo độ chính xác của phép đo nhiều khi người ta phải sử dụng phép đo thống kê. Tức là phải đo nhiều lần sau đó lấy giá trị trung bình.

Ví dụ về phép đo hợp bộ

■ Xác định đặc tính của dây dẫn điện

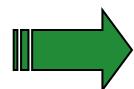


$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t-20)^2] \quad \alpha, \beta \text{ chưa biết.}$$

Đo điện trở ở nhiệt độ 20^0C , t_1 và t_2
⇒ Hệ 2 phương trình 2 ẩn α và β .



$$\begin{cases} r_{t_1} = r_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2] \\ r_{t_2} = r_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2] \end{cases}$$



α, β

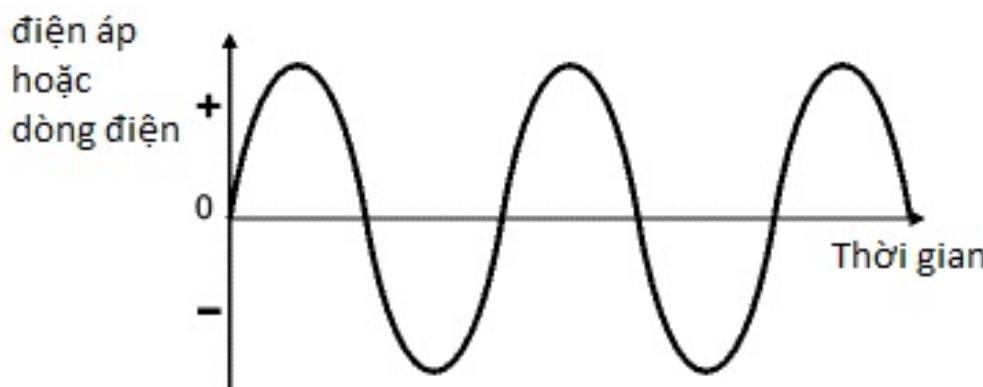
Các phép
đo trực
tiếp???

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

- Đại lượng đo
- Điều kiện đo
- Đơn vị đo
- Chuẩn và mẫu
- Thiết bị đo và phương pháp đo
- Người quan sát
- Kết quả đo

1.3. Các đặc trưng của kỹ thuật đo lường

- **Đại lượng đo** là một thông số đặc trưng cho đại lượng vật lý cần đo.
 - ❖ Mỗi quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể chỉ quan tâm đến một thông số là một đại lượng vật lý nhất định
 - ❖ Ví dụ: nếu đại lượng vật lý cần đo là dòng điện thì đại lượng đo có thể là giá trị biên độ, tần số,..



1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Phân loại đại lượng đo

- Theo bản chất của đối tượng đo:
 - ❖ Đại lượng đo điện: Đại lượng mang tính chất điện, ví dụ: điện tích, điện áp, dòng điện,...
 - Tích cực: các đại lượng mang năng lượng điện, khi đo các đại lượng này, năng lượng của đại lượng cần đo sẽ cung cấp cho mạch điện, ví dụ: điện áp, dòng điện,...
 - Thụ động: Đại lượng này bản thân chúng không mang năng lượng cho nên cần phải cung cấp dòng hoặc áp khi đưa các đại lượng này vào mạch đo, ví dụ: R, L, C.
 - ❖ Đại lượng đo không điện: Đại lượng đo không có tích chất điện, ví dụ: khối lượng, nhiệt độ,...

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Phân loại đại lượng đo

- Theo tính chất thay đổi của đại lượng đo
 - ❖ Đại lượng đo tiền định: Đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian.
 - Ví dụ: $U = 220 \sin(314t)$
 - ❖ Đại lượng đo ngẫu nhiên: Đại lượng đo có sự thay đổi theo thời gian, không có quy luật
- Theo cách biến đổi đại lượng đo:
 - ❖ Đại lượng đo tương tự: đại lượng đo biến đổi thành đại lượng đo liên tục -> có dụng cụ đo tương tự
 - ❖ Đại lượng đo số: đại lượng đo biến đổi thành đại lượng đo số -> có dụng cụ đo số

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Điều kiện đo

- Khi tiến hành phép đo, ta phải tính đến ảnh hưởng của môi trường đến kết quả đo và ngược lại
 - ❖ Đại lượng đo chịu ảnh hưởng của môi trường sinh ra nó, ngoài ra kết quả do phụ thuộc chặt chẽ vào môi trường thực hiện phéo đo như: nhiệt độ, độ ẩm, từ trường,...
 - ❖ Để kết quả đo đạt yêu cầu thì phải thực hiện phép đo trong một điều kiện xác định, do tiêu chuẩn quốc gia hoặc quy định của nhà sản xuất
- > Khi thực hiện phép đo luôn phải xác định điều kiện đo để có phương pháp đo phù hợp

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Đơn vị đo

Khái niệm

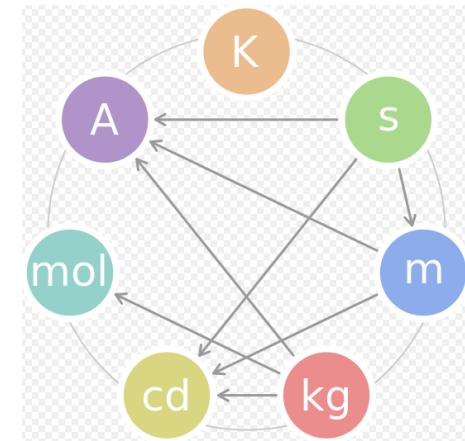
- Đơn vị đo là giá trị đơn vị tiêu chuẩn về một đại lượng đo nào đó được quốc tế quy định mà mỗi quốc gia đều phải tuân thủ
- Trên thế giới người ta chế tạo những đơn vị tiêu chuẩn gọi là chuẩn, ngày nay các chuẩn được quy định theo hệ thống đơn vị SI
- Đơn vị cơ bản được thể hiện bằng các đơn vị chuẩn với độ chính xác cao nhất.
- Đơn vị dẫn xuất là đơn vị có liên quan đến các đơn vị cơ bản bằng các biểu thức

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Đơn vị đo

- Theo Pháp lệnh Đo lường ngày 06 tháng 10 năm 1999, đơn vị đo lường hợp pháp là đơn vị đo lường được Nhà nước công nhận và cho phép sử dụng.
- Hệ đơn vị quốc tế SI gồm 7 đại lượng chính

| Tên đơn vị | Đơn vị | Ký hiệu |
|--------------------|-----------|--------------------|
| Chiều dài | mét | m |
| Khối lượng | Kilogam | Kg |
| Thời gian | giây | s |
| Dòng điện | Ampe | A |
| Nhiệt độ | độ Kelvin | $^{\circ}\text{K}$ |
| Ánh sáng | Candela | Cd |
| Định lượng phân tử | Mol | Mol |



102 đơn vị dẫn xuất
72 đại lượng vật lý

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

■ Bội số và ước số của đơn vị

| Hệ số | Tên | Ký hiệu | Hệ số | Tên | Ký hiệu |
|-----------|-------|---------|------------|-------|---------|
| 10^{24} | Yotta | Y | 10^{-1} | Deci | d |
| 10^{21} | Zetta | Z | 10^{-2} | Centi | c |
| 10^{18} | Exa | E | 10^{-3} | Mili | m |
| 10^{15} | Peta | P | 10^{-6} | Micro | μ |
| 10^{12} | Tera | T | 10^{-9} | Nano | n |
| 10^9 | Giga | G | 10^{-12} | Pico | p |
| 10^6 | Mega | M | 10^{-15} | Femto | f |
| 10^3 | Kilo | K | 10^{-18} | Atte | a |
| 10^2 | Hecto | H | 10^{-21} | Zepto | z |
| 10^1 | Deca | Da | 10^{-24} | Yocto | y |

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

- **Chiều dài:** đơn vị chiều dài là mét (m). Mét là khoảng chiều dài đi được của ánh sáng truyền trong chân không trong khoảng thời gian là: $1/299.792.458$ giây
- **Khối lượng:** Đơn vị khối lượng là kilogam (kg). Đó là khối lượng của một khối Bạch kim Iridi (Pt Ir) lưu giữ ở BIPM ở Pháp – Bureau International des Poids et Mesure).
- **Thời gian:** Đó là thời gian của $9.192.631.770$ chu kỳ của máy phát sóng nguyên tử Selen (Cs-133).
- **Dòng điện:** Ampe là cường độ dòng điện tạo ra một lực đẩy là 2×10^{-7} N trên đơn vị chiều dài giữa hai dây dẫn dài vô cực đặt cách nhau 1m.

Định nghĩa 7 đơn vị cơ bản (2)

- **Nhiệt độ** (nhiệt động): Đó là $1/273,16$ nhiệt độ nhiệt động của điểm ba của nước nguyên chất.
- **Lượng vật chất (mol)**: Đó là lượng vật chất của số nguyên tử của vật chất ấy, bằng số nguyên tử có trong $0,012$ kg cacbon 12 (C_{12}).
- **Cường độ sáng hay quang độ**: candela (Cd) là cường độ của một nguồn sáng phát ra ánh sáng đơn sắc ở tần số 540.10^{12} Hz, với công suất $1/683$ Watt trong một Steradian (Sr).
- **Hai đơn vị phụ là Radian (Rad) và Steradian.**
 - ❖ Radian là góc phẳng có cung bằng bán kính.
 - ❖ Steradian là góc khối nằm trong hõnh cầu giới hạn bởi vòng tròn cầu có đường kính bằng đường kính của qua cầu.

Bảng một số đơn vị dẫn xuất

| Đại lượng | KH | Đơn vị | | Thứ nguyên |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
| | | Đơn vị | KH | |
| Góc phẳng | α, β, θ | Radian | Ra | |
| Góc khối | ω | Steradian | Sr | |
| Diện tích | S | Mét vuông | m^2 | L^2 |
| Thể tích | V | Mét khối | m^3 | L^3 |
| Tốc độ | v | Mét/giây | m/s | LT^{-1} |
| Gia tốc | γ | Mét/giây ² | m/s^2 | LT^{-2} |
| Tốc độ góc | ω | Radian/giây | Ra/s | T^{-1} |
| Gia tốc góc | $\gamma\omega$ | Radian/giây ² | Ra/s ² | T^{-2} |
| Bước song | λ | Mét | m | L |
| Trọng lượng, Lực | P,F | | N | MLT^{-2} |
| Trọng lượng riêng | γ | Newton/m ³ | N/m ³ | $ML^{-2}T^{-2}$ |

Bảng một số đơn vị dẫn xuất

| Đại lượng | KH | Đơn vị | | Thứ nguyên |
|-----------------------|------------|-------------|----------|-------------------------|
| Cường độ trọng trường | g | Newton/kg | N/kg | $L T^{-2}$ |
| Điện lượng | q | Coulomb | Cb | Tl |
| Momen điện trường | p | | Cm | $L T I$ |
| Hằng số điện môi | ϵ | Faraday/mét | F/m | $L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$ |
| Cường độ điện trường | E | Vol/mét | V/m | $L M T^{-3} I^{-2}$ |
| Điện thế | V | Volt | V | $L^2 M T^{-3} I^{-1}$ |
| Điện dung | C | Farad | F | $L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$ |
| Điện trở | R | Ohm | Ω | $L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$ |

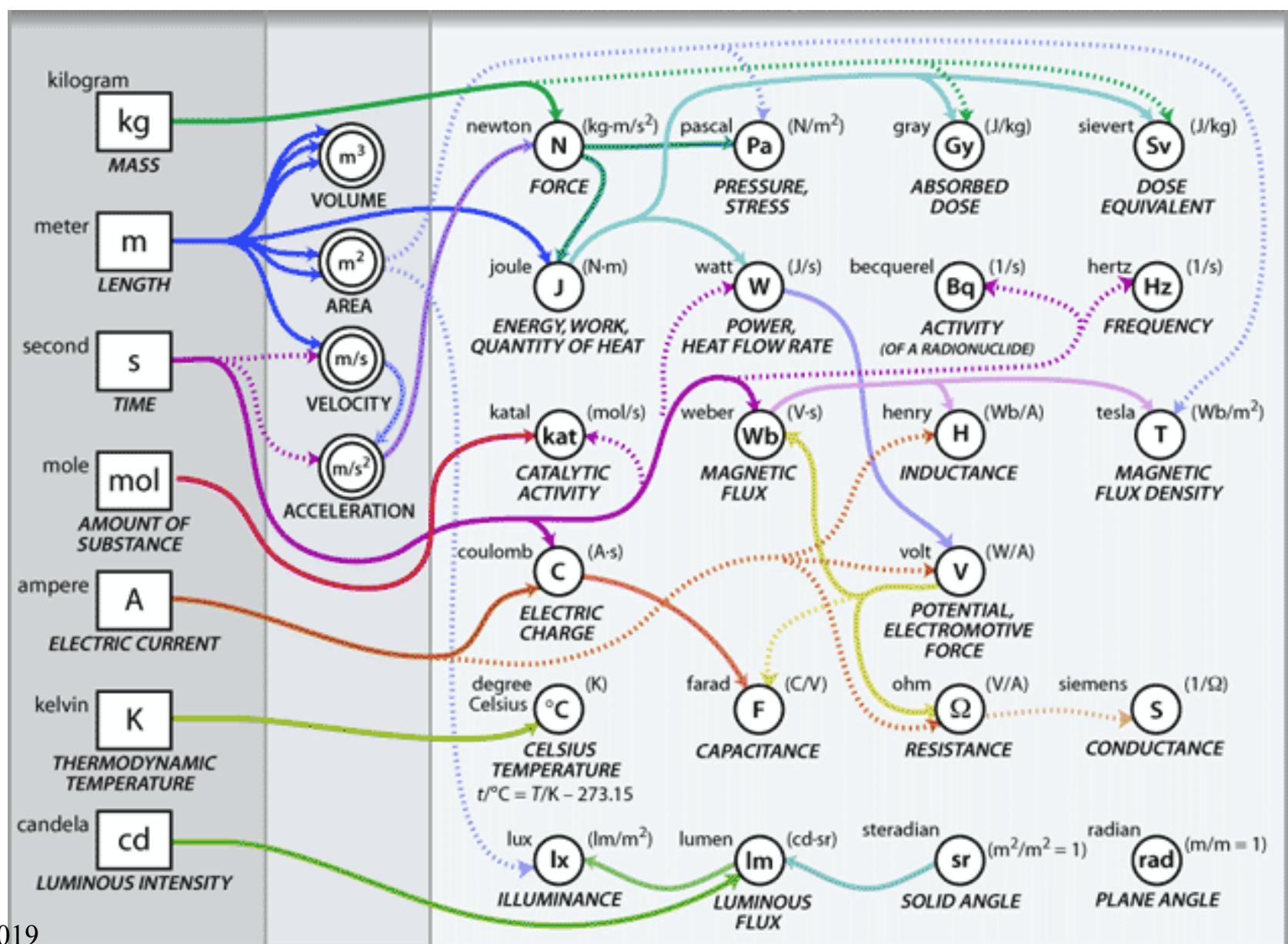
Bảng một số đơn vị dẫn xuất

| Đại lượng | KH | Đơn vị | | Thứ nguyên |
|----------------------|----------|------------------------|------------------|----------------------|
| Điện trở suất | ρ | Ohmmét | Ωm | $L^3MT^{-3}I^2$ |
| Điện dẫn | G,g | Siemen | Si | $L^{-2}M^{-1}T^3I^2$ |
| Điện dẫn xuất | γ | Siemen | Si/m | $L^{-3}M^{-1}T^3I^2$ |
| Mật độ dòng điện | J | Ampe/ met ² | A/m ² | $L^{-2}I$ |
| Cường độ điện trường | H | Ampe/m | A/m | $L^{-1}I$ |
| Tù thông | ϕ | Weber | Wb | $L^2MT^{-2}I^{-1}$ |
| Tù cảm ứng B | B | Tesla | Tes | MT^2I^{-1} |
| Tù dẫn suất | μ | Henry/mét | h/m | $LMT^{-2}I^{-1}$ |
| Điện cảm, hổ cảm | L,M | Henry | h | $L^2MT^{-2}I^{-2}$ |

Một số đơn vị ngoài hệ SI hợp pháp mà vẫn sử dụng

| Đơn vị | Quy đổi ra SI | Đơn vị | Quy đổi ra SI |
|----------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Inch | $2,54 \cdot 10^{-2} \text{m}$ | Fynt/foot ² | $4,882 \text{kg/m}^2$ |
| Foot (phút) | $3,048 \cdot 10^{-1} \text{m}$ | Fynt/foot ³ | $1,6018510 \text{ kg/m}^3$ |
| Yard (Yat) | $9,144 \cdot 10^{-1} \text{m}$ | Bari | $1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ |
| Mille (dặm) | $1,609 \text{km}$ | Torr | $1,332 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$ |
| Mille (hải lý) | $1,852 \text{km}$ | Kilogam lực | $9,8066 \text{N}$ |
| "Inch vuông | $6,4516 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$ | Calo | $4,1868 \text{J}$ |
| Foot vuong | $9,290 \cdot 10^{-2} \text{m}^{-2}$ | Mã lực | $7,457 \cdot 10^2 \text{ W}$ |
| Inch khối | $1,6384 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$ | Kilowatt giờ | $3,60 \cdot 10^6 \text{J}$ |
| Foot khối | $2,832 \cdot 10^{-2} \text{m}^3$ | Thermie | $1,0551 \cdot 10^3 \text{J}$ |
| Galon (Mỹ) | $3,785 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$ | Electron volt (ev) | $1,602 \cdot 10^2 \text{J}$ |
| Galon (Anh) | $4,5 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$ | Gauss | $1 \cdot 10^{-4} \text{T}$ |
| Fynt | $4,536 \cdot 10^{-1} \text{kg}$ | Maxwell | $1 \cdot 10^{-8} \text{Wb}$ |
| Tonne | $1,0161 \cdot 10^3 \text{kg}$ | | |

Sơ đồ quan hệ giữa các đơn vị



1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Chuẩn và mẫu

- Để thống nhất được đơn vị thì người ta phải tạo được mẫu của đơn vị ấy, phải truyền được các mẫu ấy cho các thiết bị đo
- Để thống nhất quản lý đo lường, đảm bảo đo lường cho công nghiệp, thương mại và đời sống, mỗi quốc gia đều tổ chức hệ thống mẫu chuẩn và truyền chuẩn của quốc gia đó.



Phân loại

■ Phân loại trên phạm vi quốc tế

- ❖ Chuẩn quốc tế (International standard): Là chuẩn được một hiệp định quốc tế công nhận để làm cơ sở ấn định giá trị cho các chuẩn khác của đại lượng có liên quan trên phạm vi quốc tế.
- ❖ Chuẩn quốc gia (National Standard): Là chuẩn được một quyết định có tính chất quốc gia công nhận để làm cơ sở ấn định giá trị cho các chuẩn khác có liên quan trong một nước.
- ❖ Chuẩn chính (Reference standard): Là chuẩn thường có chất lượng cao nhất về mặt đo lường có thể có ở một địa phương hoặc một tổ chức xác định mà các phép đo ở đó đều được dẫn xuất từ chuẩn này.
- ❖ Chuẩn công tác (Working standard): Là chuẩn được dùng thường xuyên để hiệu chuẩn hoặc kiểm tra vật đo, phương tiện đo hoặc mẫu chuẩn.
- ❖ Chuẩn so sánh (Transfer standard): Là chuẩn được sử dụng như là một phương tiện để so sánh các chuẩn.

Định nghĩa

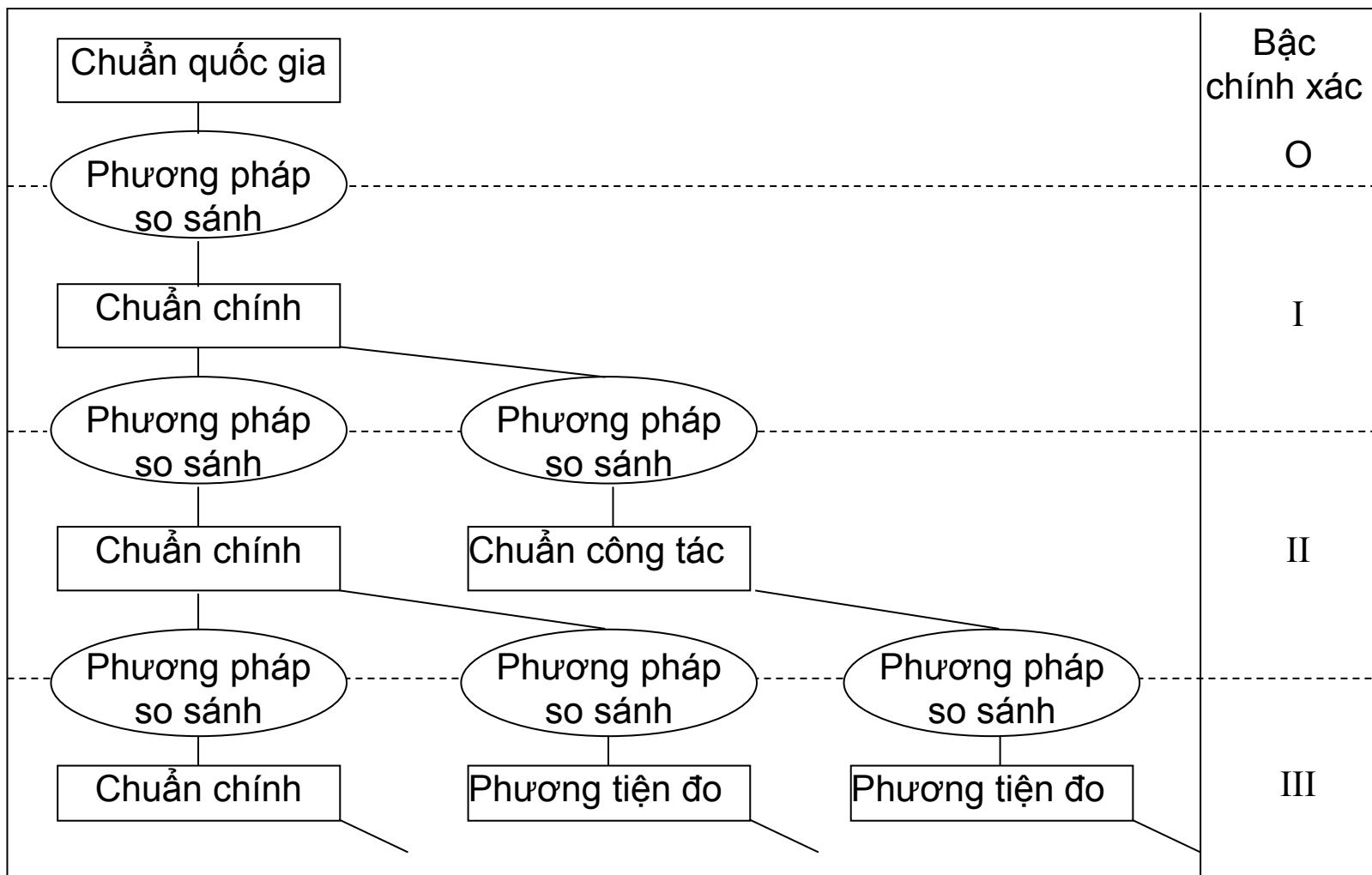
- Theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 6165 -1996 chuẩn đo lường (measurement standard) hay vẫn tắt là chuẩn, được định nghĩa như sau: “**Chuẩn là Vật đo, phương tiện đo, mẫu chuẩn hoặc hệ thống đo để định nghĩa, thể hiện, duy trì hoặc tái tạo đơn vị hoặc một hay nhiều giá trị của đại lượng để dùng làm mốc so sánh**”
- Phân loại theo độ chính xác có thể phân loại như sau:
 - ❖ Chuẩn đầu (Primary standard)
 - ❖ Chuẩn thứ (Secondary standard):
 - ❖ Chuẩn bậc I:
 - ❖ Chuẩn bậc II:



Phân loại (2)

- Chuẩn đầu (Primary standard): Là chuẩn được chỉ định hay thừa nhận rộng rãi là có chất lượng về mặt đo lường cao nhất và các giá trị của nó được chấp nhận không dựa vào các chuẩn khác của cùng đại lượng.
- Chuẩn thứ (Secondary standard): Là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn đầu của cùng đại lượng.
- Chuẩn bậc I: là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn thứ của cùng đại lượng.
- Chuẩn bậc II: là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn bậc I của cùng đại lượng .v.v..

Sơ đồ liên kết chuẩn



Sơ đồ liên kết chuẩn

Một số hằng số vật lý dùng làm chuẩn

| Đại lượng | Ký hiệu | Giá trị (với độ không chắc chắn 1σ) | Ứng dụng |
|----------------------------------|------------|--|--------------------------------|
| Tốc độ ánh sáng trong chân không | C | 299.792.458 m/s (chính xác) | Thời gian, tần số chiều dài |
| Điện tích electron | e | $1,60217733 \cdot 10^{-19}$ (0.3ppm) | Điện áp, dòng điện |
| Hằng số "Josephson" | K_{J-90} | 483.587,96 Hz/v (0.4ppm) | Điện áp |
| Hằng số Von Klitzing | R_{J-90} | 25,812807 KΩ (0.2ppm) | Điện trở |
| Hệ số dẫn từ trong chân không | μ_0 | $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ (chính xác) | Điện dung |

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn mẫu mét

- Thời kỳ đầu mét được định nghĩa là độ dài của một phần mười triệu của chiều dài kinh tuyến qua Paris
- Cho đến trước năm 1960 mét chuẩn được xác định như sau: Mét là chiều dài giữa 2 vạch một thước mẫu làm bằng hợp kim PtIr đặt ở trung tâm chuẩn thế giới trong lâu đài Sèvre, Paris (BIPM).
- Năm 1960, ở Hội nghị toàn thế giới về chuẩn, đã lấy chuẩn mét là $1.650.763,73$ bước sóng trong chân không của ánh sáng phát ra từ nguyên tử krypton 86, khi chuyển mức năng lượng tử $2p_{10}$ sang $5d_5$ (màu da cam). Sai số không quá 1.10^{-8}

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn mẫu mét

- Từ năm 1983 người ta bắt đầu chuẩn mét thông qua đơn vị thời gian đã được xác định chính xác nhờ các máy phát tần số chuẩn nguyên tử.
 - ❖ Mét là khoảng đường chuyền động của ánh sáng trong chân không, trong khoảng thời gian là $1/290792458$ giây. (Tốc độ ánh sáng là $299.972.458$ m/s)
- Độ chính xác tần số chuẩn là 10^{-13} , vì thế mẫu chuẩn mét có thể đạt 10^{-9} .

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn về khối lượng.

- Lúc đầu tiên, đơn vị khối lượng được xác định là khối lượng của 1dm^3 nước nguyên chất ở 4°C
- Từ 1882 Hội đồng quốc tế về đo lường và chuẩn CIPM chấp nhận kg là khối lượng của quả cân chuẩn làm bằng Pt - Ir (Phatin-Iridi) đặt tại lâu đài Sêvre, Paris, với sai số $7 \cdot 10^{-9}\text{kg}$



Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn thời gian và tần số

- Thời gian và tần số, là 2 thể hiện khác nhau của 1 hiện tượng phát sóng.
- Tháng 7 năm 1967, tại hội đồng chuẩn quốc tế lần thứ 13, đơn vị thời gian giây (s) được xác định là khoảng thời gian của $9.192.631.770$ chu kỳ của nguồn phát sóng nguyên tử xêdi 133 ($Cs\ 133$) khi chuyển mức năng lượng ($F = 4, m_f = 0$) sang ($F = 3; m_f = 0$).
- Nguyên lý của các máy phát thời gian hay tần số chuẩn đều dựa trên công thức:

$$h\nu = E_2 - E_1.$$

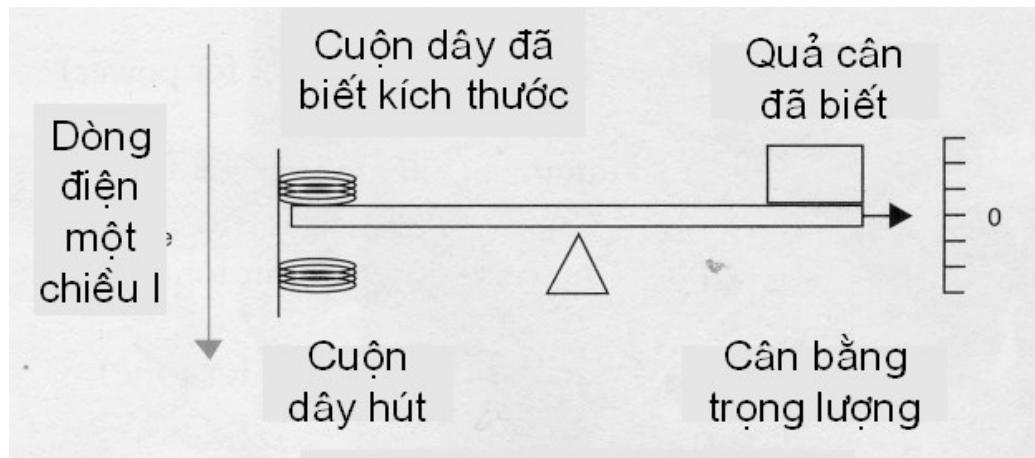
- h : là hằng số Plank, ν là tần số, E_1, E_2 là 2 mức năng lượng trong khi chuyển mức.

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng điện

- Chuẩn dòng điện
- Chuẩn điện áp
- Chuẩn điện trở
- Chuẩn điện dung

a. Chuẩn dòng điện

- Ban đầu chuẩn bằng cân AgNO₃ điện phân
- Năm 1960 chuẩn được thực hiện thông qua cân dòng điện tức là đo lực đẩy điện từ giữa hai dây dẫn dài vô cực thông qua cân có độ chính xác cao (đạt đến $4 \cdot 10^{-6}$ A).



- Gần đây thì người ta có đề xuất việc xác định dòng điện thông qua từ trường và đo bằng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân.
- Xác định dòng điện chuẩn rất phức tạp vì vậy trong thực tế người ta sử dụng chuẩn về điện áp.

b. Phát điện áp một chiều chuẩn

Pin mẫu Weston

- Sức điện động Pin mẫu ở 20°C cho bởi Công thức:

$$E_{20} = 1,018636 - 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot N - 5,0 \cdot 10^{-5} \cdot N^2$$

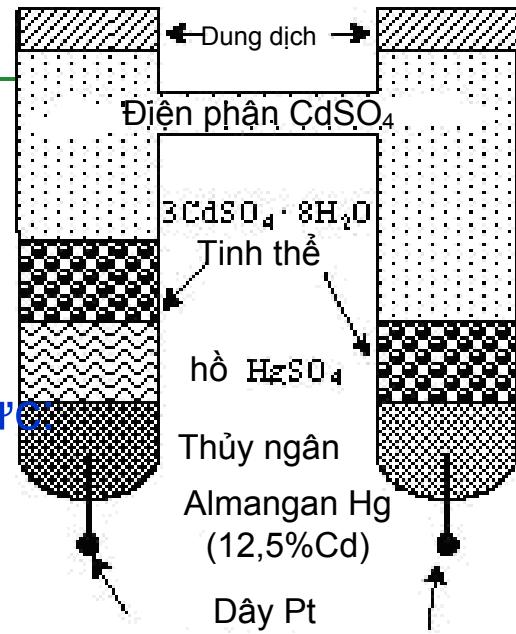
Với N=0.04-0.08

- Sức điện động của Pin mẫu lại thay đổi theo nhiệt độ theo Công thức:

$$E_t = E_{20} - 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot (t-20) - 9,5 \cdot 10^{-4} \cdot (t-20)^2 + 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot (t-20)^3 + ..$$

Trôi súc tự động hằng năm là 1 μ V/năm (microVolt)

- Mẫu điện áp Quốc gia được lấy là giá trị trung bình của 20 (hoặc 10) pin mẫu bão hòa này.



Chuẩn Jozepson

- Năm 1962, sau khi phát hiện ra hiệu ứng Josephson, hiệu ứng này được sử dụng vào việc tạo ra điện áp chuẩn theo công thức:

$$U = n \cdot \frac{h}{2e} f = \frac{n}{K_{j-90}} f$$

Trong đó:

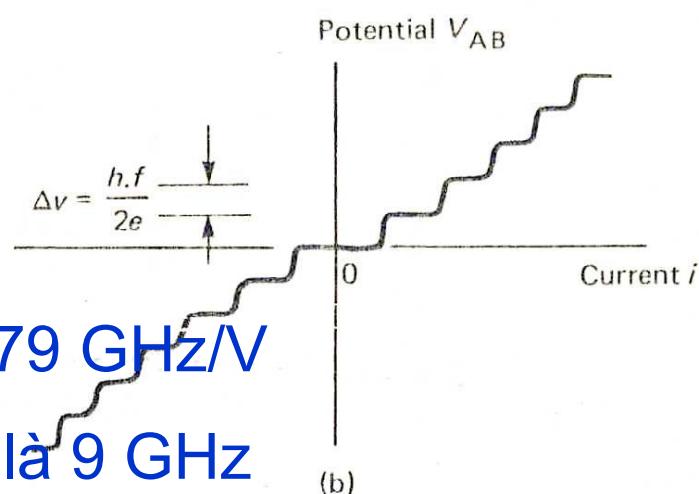
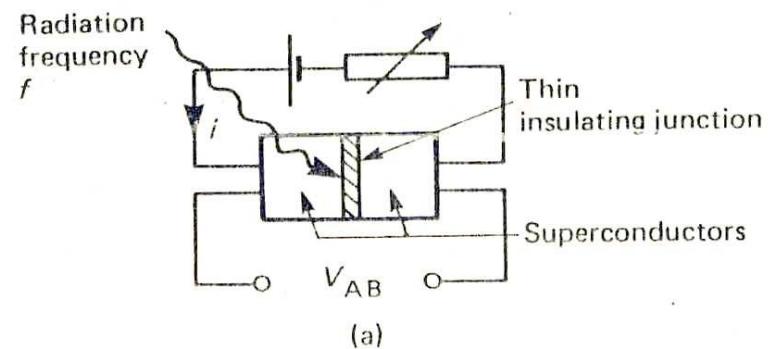
-n là số cấp chuyển tiếp siêu dẫn

-h là hằng số Plank,

-e điện tích electron.

-Hằng số Josephson $K_{j-90} = 485,5979 \text{ GHz/V}$

-f: Tần số sóng điện từ cực ngắn là 9 GHz



Phần tử Jozepson

- Tuy nhiên do khả năng xác định chính xác các hằng số cơ bản (h , e) sai số của chuẩn Josephson chỉ đạt 1.10^{-6} V.
- Chuẩn điện áp từ phần tử Josephson được chuyển cho bộ pin mẫu mà hệ số không ổn định hàng năm không vượt quá 3.10^{-7} V.



c. Chuẩn điện trở

- Từ lâu, điện trở mẫu là một bộ gồm 10 cuộn dây manganin có điện trở định mức 1Ω để trong hộp kín 2 lớp đỗ đầy không khí nén, có giá trị $1,0000002\Omega$ với phương sai $\sigma = 1.10^{-7}$.
- Truyền điện trở mẫu cho các điện trở khác bằng cầu 1 chiều.
- Từ tháng 1 năm 1990, điện trở mẫu được xác định thông qua hiệu ứng “Hall lượng tử” từ (QHE), nhờ hằng số vật lý von Klitzing.
 - ❖ Hằng số von Klitzing được xác định $R_{k-90} = 25,81280\Omega$ với sai số $0,2.10^{-6}$

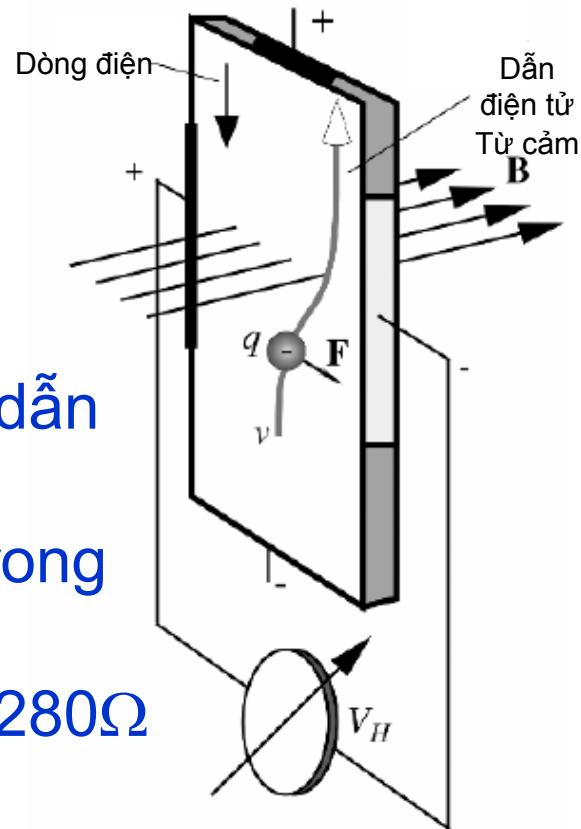
c. Chuẩn điện trở

Hiệu ứng Hall

- Phản tử cơ bản của một QHE là một planar MOSFET mỏng để trong môi trường nhiệt độ thấp. 1-2K (271°C).

$$R_h = \frac{U_h}{I} = R_{k-90} / i$$

- ✓ U_h : điện áp Hall
- ✓ R_h = Điện trở Hall lượng tử.
- ✓ I dòng điện chạy trong màng bán dẫn MOSFET.
- ✓ i con số nguyên chỉ số đảo Hall trong màng bán dẫn lúc xác định R_h .
- ✓ R_{k-90} : hằng số von Klitzing= 25,81280Ω

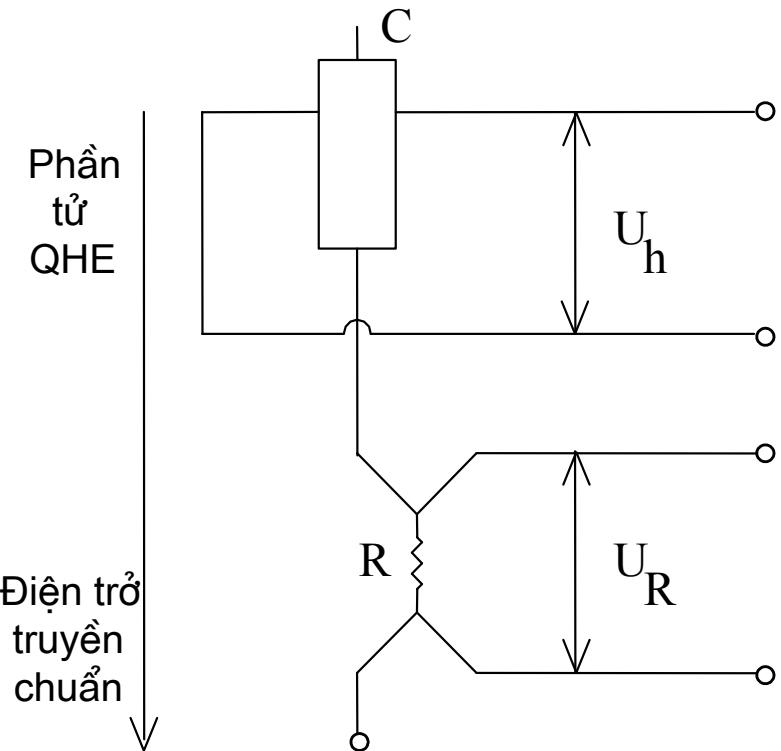


c. Chuẩn điện trở

- Điện trở Hall lượng tử R_h được truyền cho một điện trở cụ thể (dùng để làm điện trở mẫu) thông qua một sơ đồ so sánh

$$R = R_h \frac{U_R}{U_h}$$

- ❖ R_h được xác định thông qua hằng số von Klitzing;
- ❖ U_R và U_h được so sánh bằng một voltmét số với khả năng phân ly cao



Ví dụ

Bảng 3.13 Điện trở mẫu của Fluke.

| Loại mẫu | Đầu ra | Bộ không ổn định | Quan hệ với | Ứng dụng |
|----------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|--|
| QHE quantum Hall effect | $\frac{h}{ie^2}$ | 0,2 ppm ($\pm 1\sigma$) | Theo định nghĩa SI về Ω | Mẫu đầu sử dụng ở phòng TN, bảo quản trong H lỏng |
| Thomas 1 Ω | 1 Ω | 0,05 ppm | 2 hệ với mẫu cấp trên | Mẫu đầu phòng thí nghiệm, bảo quản trong dầu. |
| ESI SR 104 10k Ω | 10k Ω | 0,15ppm | 2 hệ với mẫu cấp trên | Mẫu đầu phòng thí nghiệm bảo quản trong không khí nhưng có hiệu chỉnh nhiệt độ |
| Fluke 742A | 1 Ω - 19M Ω 11 giá trị cụ thể | 2,5ppm/6 tháng | Quan hệ với mẫu cấp trên | Mẫu cấp 2 dùng ở phòng thí nghiệm và hiện trường |
| Calibrator điện trở 5450 | 1 Ω đến 100M Ω 17 giá trị cụ thể | 6ppm/90 ngày | Quan hệ với mẫu quốc gia | Mẫu công tác nhiệt độ bảo quản 18-28°C |
| Fluke 5700 | 1 Ω đến 100M Ω 17 giá trị | 11ppm/90 ngày | 2 hệ với chuẩn quốc gia | Mẫu công tác làm việc ở nhiệt độ 18 - 28°C |
| Fluke 5100 | 1 Ω đến 100M Ω 8 decat | 10ppm/6 tháng | Quan hệ với chuẩn quốc gia | Mẫu làm việc |
| Các hộp điện trở | 6 decat 0,1-1M Ω | 100ppm | | Hộp điện trở |

d. Chuẩn điện dung

- Chuẩn điện dung được thực hiện bằng tụ điện tĩnh theo lý thuyết Thompson - Lambard.
- Tụ gồm 4 thanh thép, đường kính 50mm dài 500mm có trục song song và nằm trên đỉnh hình vuông; giữa chúng có 1 thanh màn chắn tĩnh điện đặt ở ngay tâm của hình vuông:
- Sự thay đổi điện dung của tụ điện (của từng cặp điện cực) thay đổi theo khoảng di chuyển của thanh màn chắn.

d. Chuẩn điện dung

$$\Delta C = \frac{1}{2\pi} \ln 2\Delta L = \frac{1}{2\pi\mu_0 C^2} \ln 2\Delta L$$

- ❖ μ_0 : từ dẫn của không khí, C = tốc độ ánh sáng.
- ❖ ΔL đo bằng phương pháp giao thoa với $\Delta L = 100\text{mm}$ sai số 10^{-7} . $\Delta C = 0,4002443 \text{ pF}$, sai số không quá $5 \cdot 10^{-7}$.
- Điện dung mẫu được truyền sang các điện dung khác bằng cầu xoay chiều.
- Từ các mẫu này ta có thể suy ra các đại lượng điện khác thông qua các hộp điện trở và hộp điện dung chính xác cao.

Tạo ra mẫu công tác và mẫu biến đổi

- Sau khi tạo mẫu quốc gia, phải tổ chức mạng lưới quốc tế và quốc gia để truyền chuẩn đến những phòng thí nghiệm tiêu chuẩn khu vực. Những chuẩn này phải đạt độ chính xác yêu cầu: cách bố trí, quy luật biến đổi phù hợp với tín hiệu kiểm tra và thiết bị so sánh.
- Gồm những vấn đề sau:
 - a) Lượng tử hóa mẫu chuẩn.
 - b) Tổ hợp các lượng tử của mẫu thành mẫu biến đổi.
 - c) Algorithm biến đổi chuẩn.

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Thiết bị đo và Phương pháp đo

- Thiết bị đo:
 - ❖ Là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát.
 - ❖ Thiết bị đo gồm: thiết bị mẫu, chuyển đổi đo lường, dụng cụ đo lường, tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường.
- Phương pháp đo: được chia làm 2 loại chủ yếu là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo so sánh.

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Người quan sát

- Là người tiến hành đo hoặc gia công kết quả đo. Yêu cầu nắm được phương pháp đo, hiểu biết về thiết bị đo và lựa chọn dụng cụ hợp lý, kiểm tra điều kiện đo (phải nằm trong chuẩn cho phép để sai số chấp nhận được) và biết cách gia công số liệu thu được sau khi đo.



1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Kết quả đo

Xác định tiêu chuẩn đánh giá một phép.

- Kết quả đo ở một mức độ nào đó có thể coi là chính xác. Một giá trị như vậy được gọi là giá trị ước lượng của đại lượng đo. Đó là giá trị được xác định bởi thực nghiệm nhờ các phương tiện đo. Giá trị này gần với giá trị thực mà ở một điều kiện nào đó có thể coi là thực.
- Để đánh giá giữa giá trị ước lượng và giá trị thực, người ta sử dụng khái niệm sai số của phép đo. Sai số của phép đo là hiệu giữa giá trị thực và giá trị ước lượng

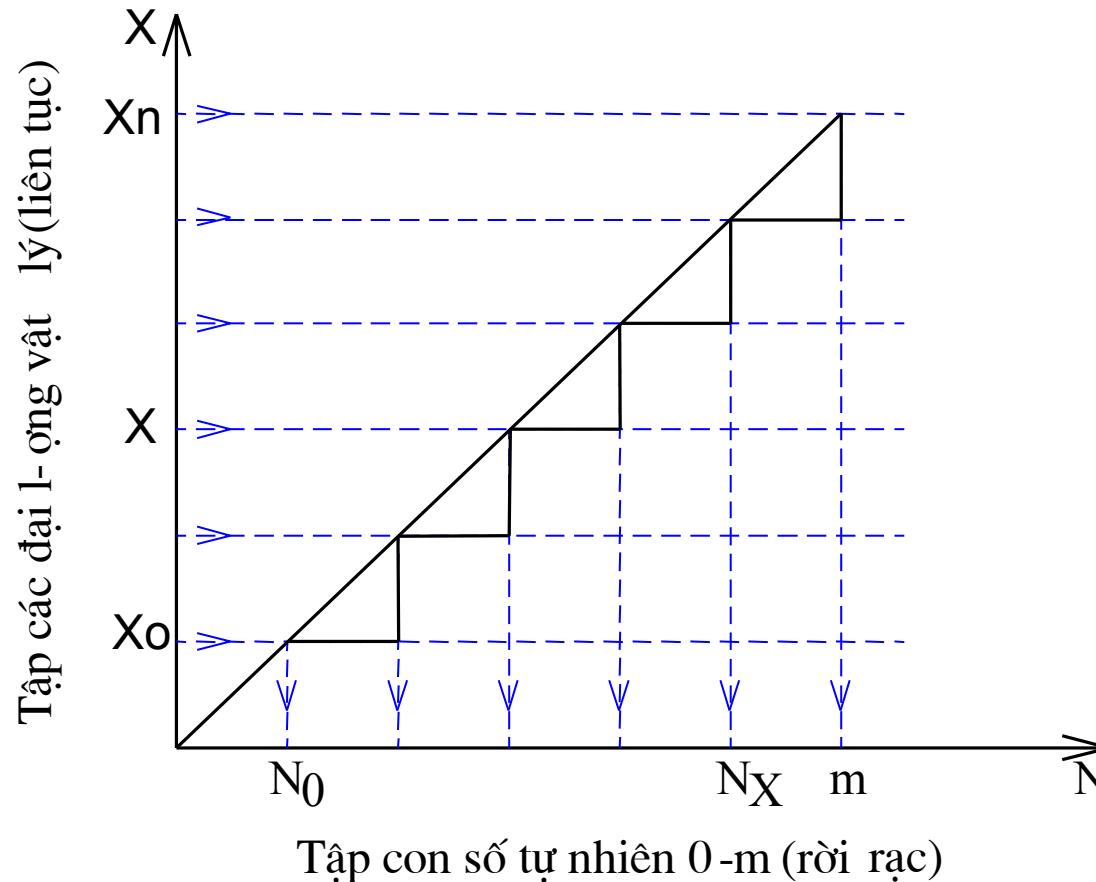
$$\Delta X = X_{\text{thực}} - X_{\text{ước lượng}}$$

- Lý thuyết sai số chúng ta sẽ học cụ thể sau

1.4. Mô hình của quá trình đo (1)

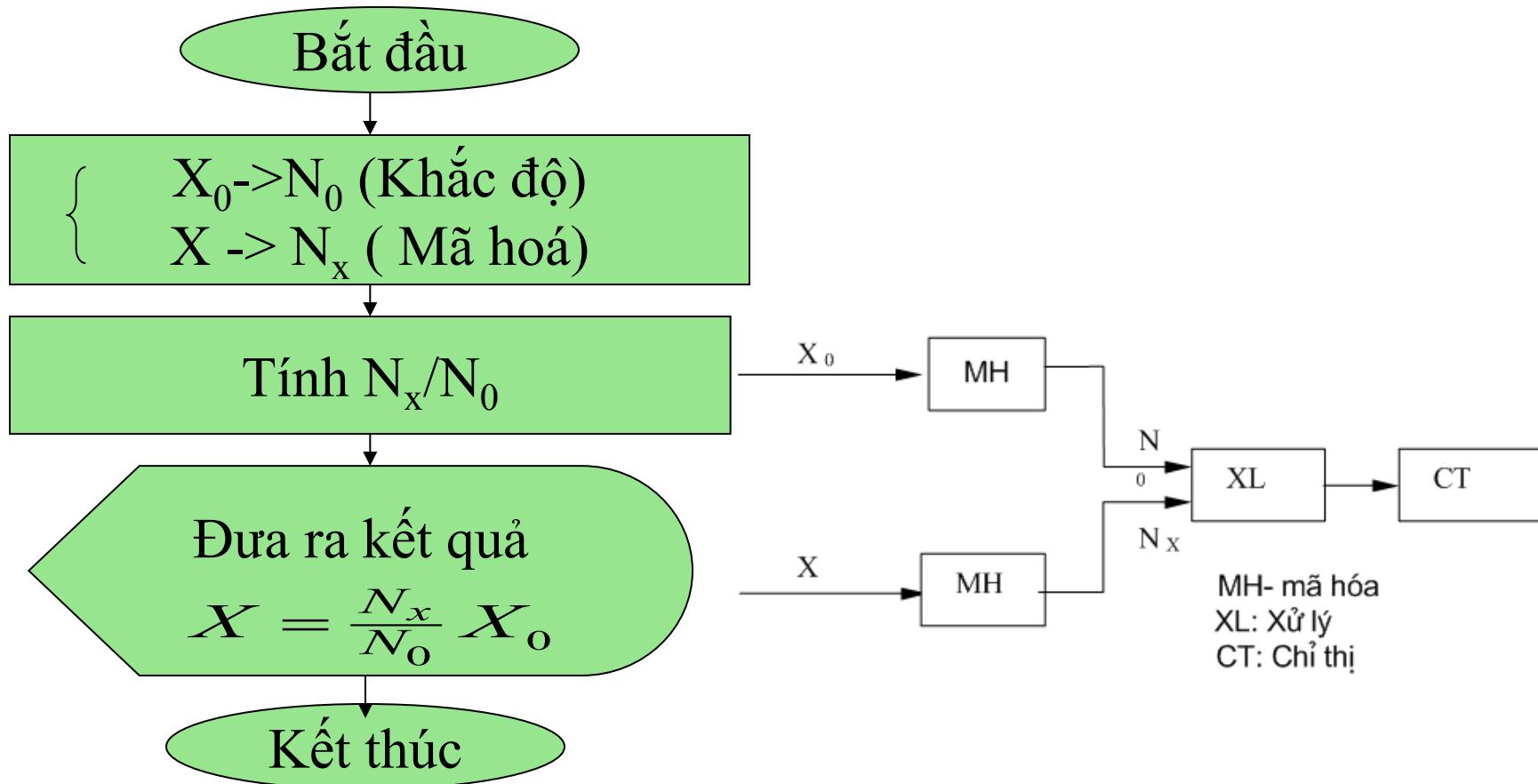
Quá trình đo biến đổi thẳng

- Ánh xạ tập các đại lượng vật lý cần đo (liên tục) vào tập các con số tự nhiên (rời rạc)



1.4. Mô hình của quá trình đo

Quá trình đo biến đổi thẳng



1.4. Mô hình của quá trình đo

Quá trình đo biến đổi thẳng

Ví dụ: Có một vôn mét được khắc độ như sau: 150V tương ứng 100 vạch.

- Đo một điện áp, Volmet chỉ 140 vạch, xác định kết quả đo?

Giải:

$$X_0 = 150V, N_0 = 100 \text{ vạch}$$

$$N_x = 140 \text{ vạch}$$

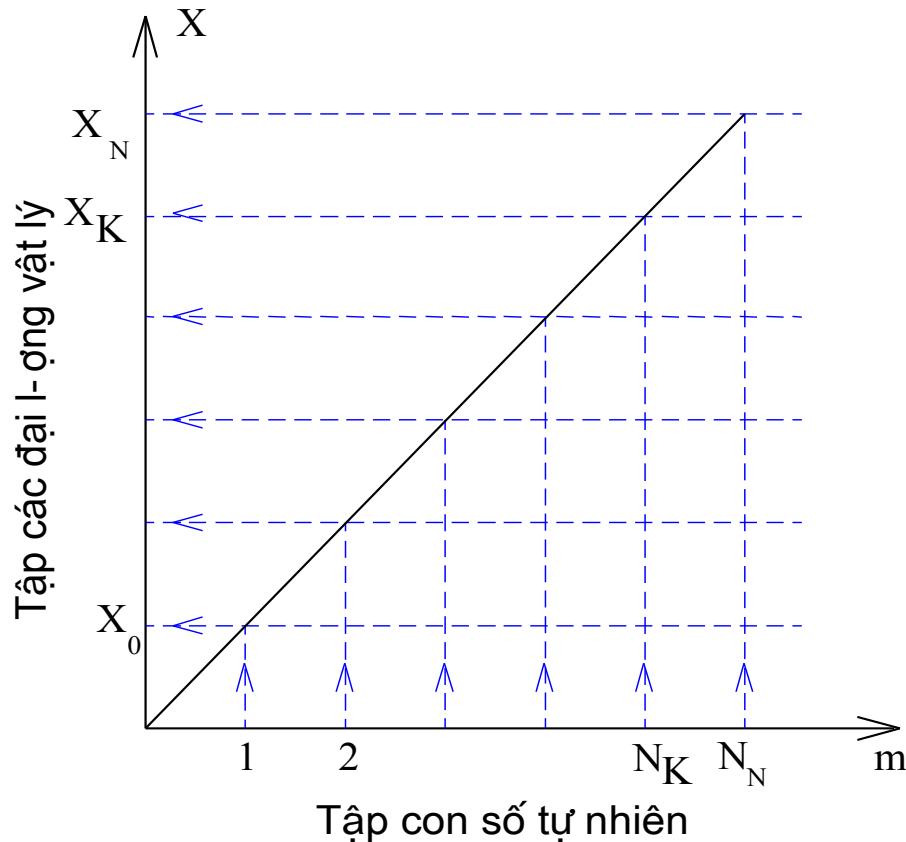
Tính: $\frac{N_x}{N_0} = \frac{140}{100}$

Đưa ra kết quả: $X = X_0 \frac{N_x}{N_0} = 150 \cdot \frac{140}{100} = 210 \text{ V}$

1.4. Mô hình của quá trình đo

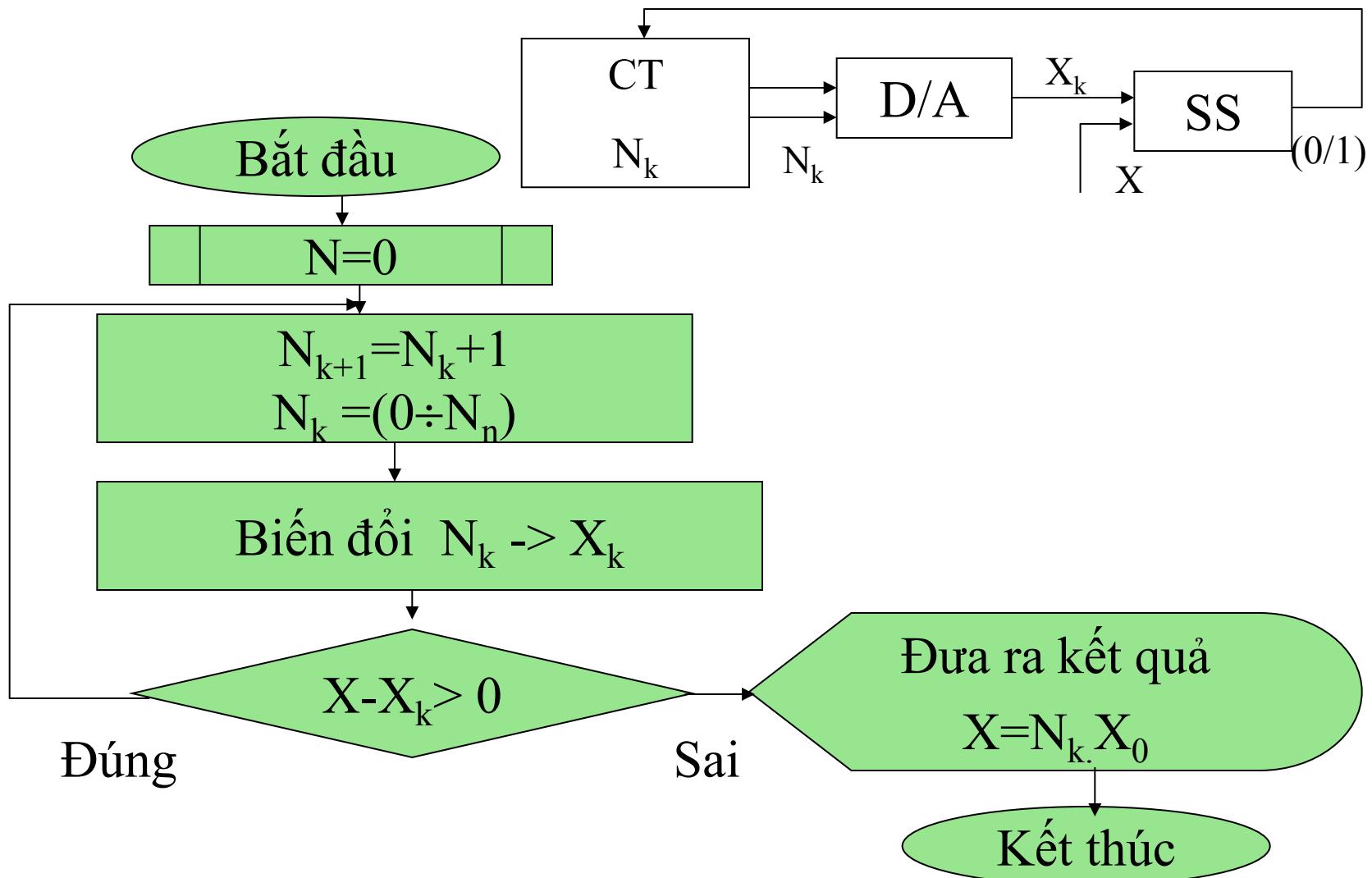
Quá trình đo kiểu so sánh

- Ánh xạ tập các con số tự nhiên (rời rạc) thành dãy các đại lượng vật lý (rời rạc)



1.4. Mô hình của quá trình đo

Quá trình đo kiểu so sánh



1.5. Các nguyên công đo lường cơ bản(1)

■ Quá trình đo là thực hiện các nguyên công đo lường, các nguyên công có thể thực hiện tự động trong thiết bị hoặc do người thực hiện.

❖ **Xác định đơn vị đo, thành lập mẫu, tạo mẫu và truyền mẫu:**

- Xác định đơn vị, tạo ra chuẩn mẫu là những đại lượng vật lý có tính bất biến cao và là *hiện thân* của đơn vị đo lường.
- Lượng tử hoá chuẩn và tổ hợp thành đại lượng chuẩn có thể thay đổi giá trị, tạo thuận lợi cho việc xác định giá trị của đại lượng đo, ta gọi là *truyền chuẩn*.

❖ **Nguyên công biến đổi:** Thực hiện phép biến đổi trên các tín hiệu đo lường, từ đại lượng này sang đại lượng khác, từ dạng này sang dạng khác thể hiện

1.5. Các nguyên công đo lường cơ bản (2)

❖ *Nguyên công so sánh:*

- So sánh có thể thực hiện trong không gian số bằng một thuật toán chia (phương pháp đo biến đổi trực tiếp)
- Trong không gian các đại lượng vật lý, thực hiện bằng một phép trừ trong bộ so sánh (comparator)
 $X - X_k \leq \varepsilon$ (phương pháp đo kiểu so sánh)

❖ *Nguyên công giao tiếp.*

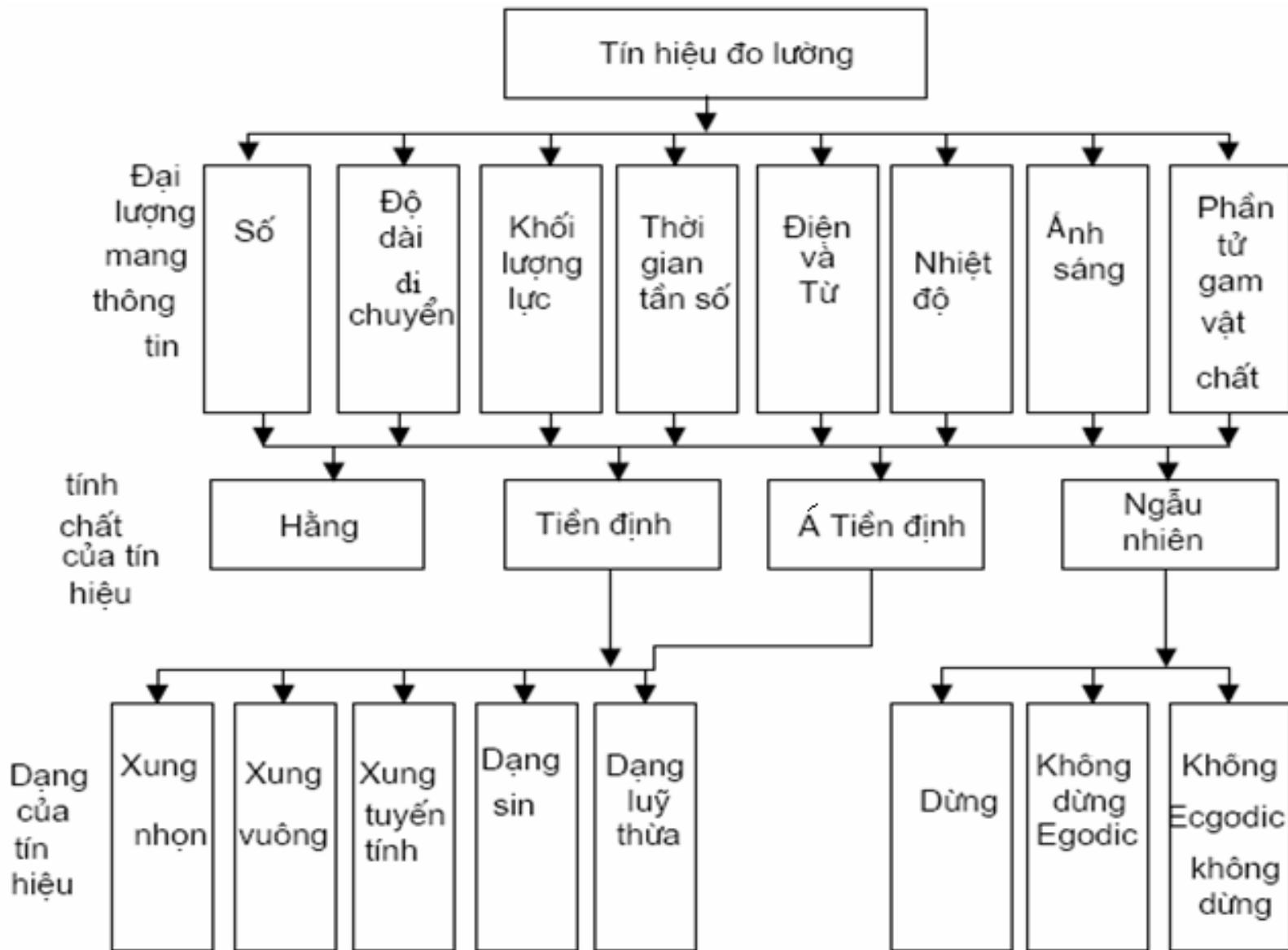
- Giao tiếp người và máy (HMI) trong ấy việc hiển thị, trao đổi, theo dõi giám sát là một dịch vụ khá lớn trong hệ thống thông tin đo lường điều khiển.
- Giao tiếp với hệ thống (tức với mạng) thể hiện chủ yếu ở dịch vụ truyền thông.

1.6. Tín hiệu

- Tín hiệu đo lường mang trong nó thông tin về đối tượng đo, thông qua các thông số đặc trưng của tín hiệu
- Tín hiệu có thể không biến thiên (đại lượng hằng) nhưng đa số là biến thiên theo thời gian theo những dạng có quy luật xác định (xung hẹp, bậc thang, tam giác, hình sin) hoặc theo quy luật thống kê, hoặc không theo quy luật nào cả gọi là tín hiệu ngẫu nhiên.
- Tín hiệu đo gồm 2 thông số
 - ❖ C₁: Đại lượng vật lý của tín hiệu
 - ❖ C₂ : Dạng tín hiệu

$$X_{C_2}^{C_1}$$

1.6. Tín hiệu – phân loại



1.6. Tín hiệu - Đại lượng vật lý của tín hiệu

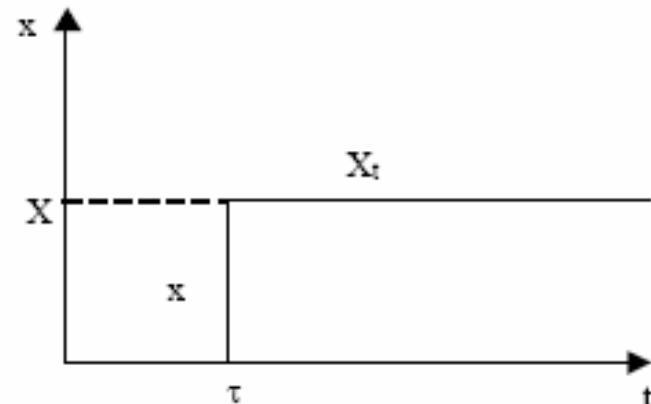
- Tín hiệu được tạo thành bằng đại lượng vật lý hằng hoặc biến thiên theo thời gian mà giá trị hoặc thông số đặc trưng của nó, mang thông tin của đối tượng cần đo.
- Có rất nhiều đại lượng vật lý dùng để mang thông tin của tín hiệu, tuy nhiên để hợp pháp và hợp lý, ta có thể quy đại lượng của tín hiệu thành 7 nhóm đại lượng cơ bản theo cách phân chia của hệ thống đơn vị

| Tên đơn vị | Đơn vị | Ký hiệu |
|--------------------|-----------|--------------------|
| Chiều dài | mét | m |
| Khối lượng | Kilogam | Kg |
| Thời gian | giây | s |
| Dòng điện | Ampe | A |
| Nhiệt độ | độ Kelvin | $^{\circ}\text{K}$ |
| Ánh sáng | Candela | Cd |
| Định lượng phân tử | Mol | Mol |

1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

Dạng hằng

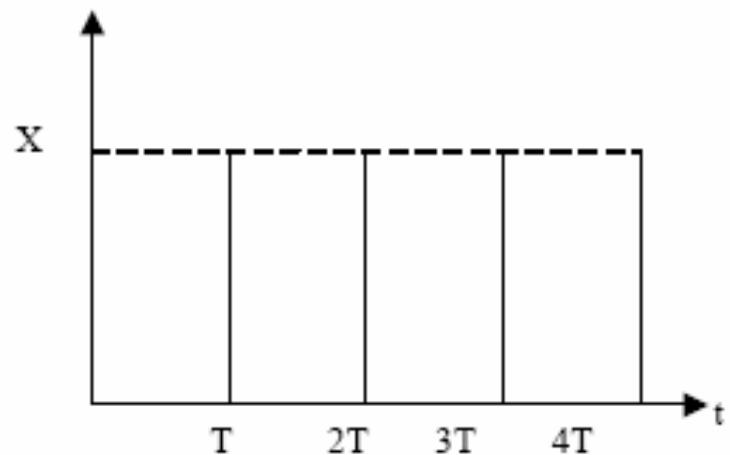
- ❖ Tín hiệu hằng là tín hiệu mà giá trị của đại lượng mang thông tin không đổi theo thời gian



Dạng xung hẹp:

$$x = X_t \cdot \delta(t - kT)$$

$$\delta(t - kT) = \begin{cases} 1 & t = kT \\ 0 & t \neq kT \end{cases}$$



1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

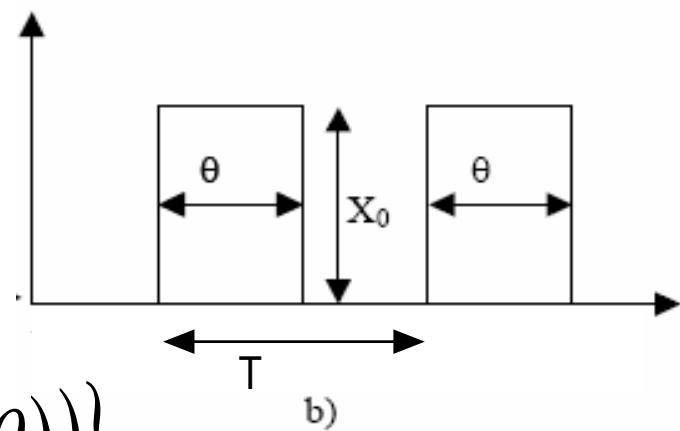
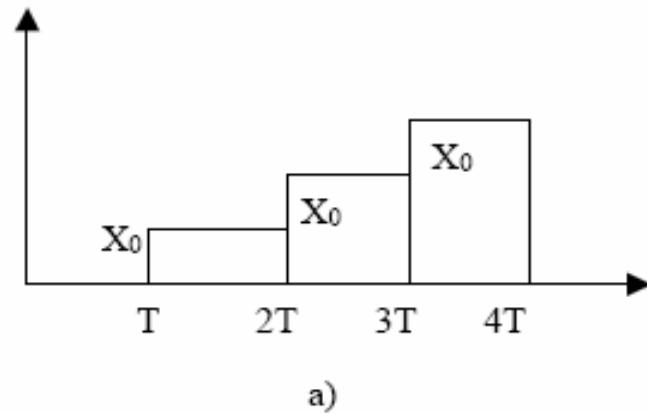
- **Dạng bậc thang**
- Tín hiệu xung bậc thang có thể biểu diễn

$$X_t = X_0 \cdot 1(t - kT)$$

$$1(t - kT) = \begin{cases} 1 & t \geq kT \\ 0 & t < kT \end{cases}$$

- **Dạng xung vuông :**

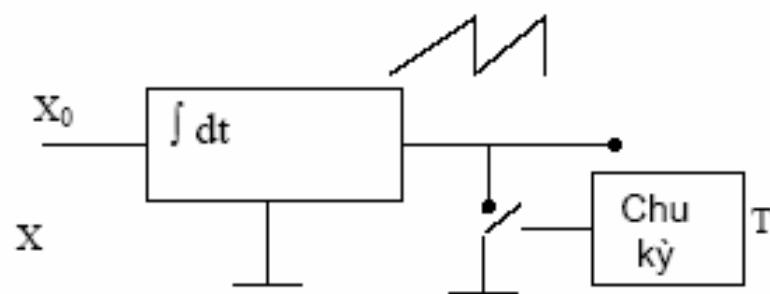
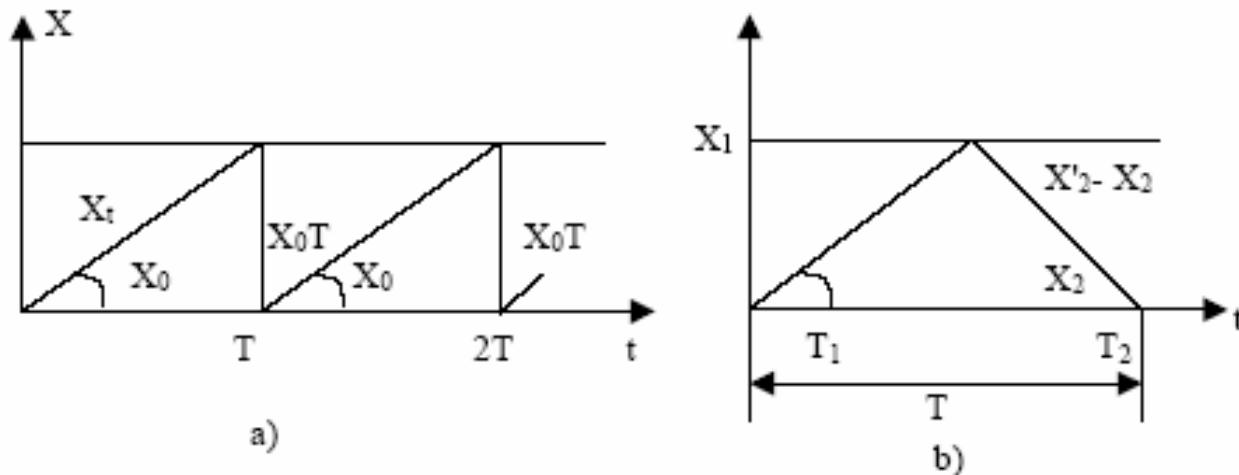
$$X_t = X_0 \cdot \left\{ 1(t - kT) - 1(t - k(T - \theta)) \right\}$$



1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

Dạng tín hiệu tỷ lệ thời gian và xung răng cưa

❖ Tín hiệu tỷ lệ thời gian có dạng: $X_t = X_0 t$



1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

Dạng tín hiệu hình sin.

- ❖ Tín hiệu tỷ lệ thời gian có dạng:

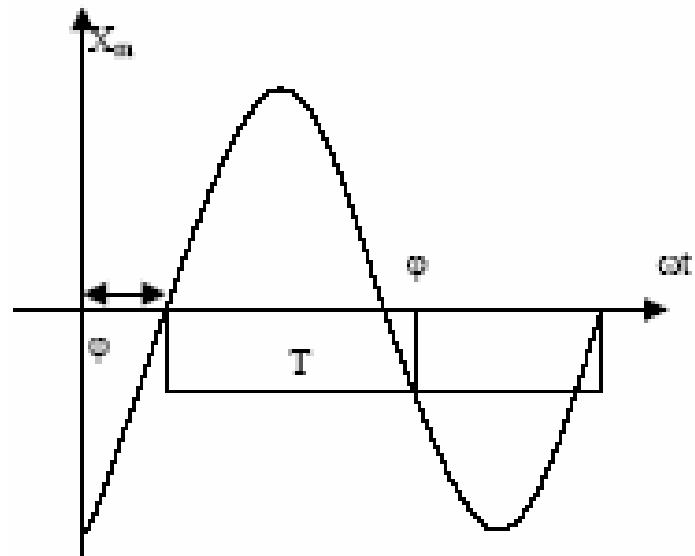
$$X_t = X_m \sin(\omega t + \varphi)$$

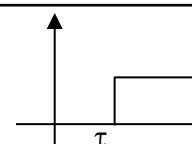
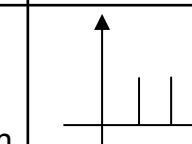
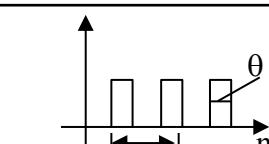
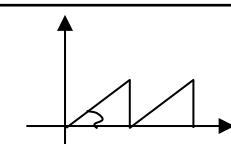
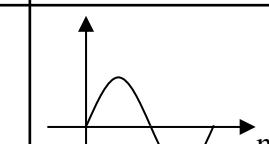
$$x_t = X_m e^{-(\omega t + \varphi)}$$

X_m : là biên độ của tín hiệu.

ω tần số góc của tín hiệu.

φ góc pha đầu của tín hiệu.



| Dạng tín hiệu | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|-------------------|---|---|--|---|---|
| Đại lượng | | Hằng | Xung hẹp | Xung vuông | Tỷ lệ t | Hình sin |
| 0 | Con số | N_X | N_T | N_m, N_T, N_θ | N_{xo} | N_{Am}, N_f, N_ϕ |
| 1 | Chiều dài | $L(m)$ | $X(1,1)$ Encoder | $X(1,2)$ Mô tơ bước | $X(1,3)$ Mô tơ | $X(1,4)$ Chân động |
| 2 | Khối lượng Lực | $M(kg)$ | $X(2,1)$ Xung va đập | $X(2,2)$ xung lượng ra | $X(2,3)$ Lực nén | $X(2,4)$ Xung âm thanh |
| 3 | Thời gian | $T(s)$ | $X(3,1)$ Phát xung hẹp | $X(3,2)$ Định thời gian | $X(3,3)$ Tgian tăng dần | $X(3,4)$ |
| 4 | Điện | $I(A)$ $U(V)$ | $X(4,1)$ Phát xung hẹp | $X(4,2)$ Phát xung vuông | $X(4,3)$ Phát xung tuyến tính | $X(4,4)$ Phát hình sin |
| 5 | Nhiệt độ | $t(0K)$ | $X(5,1)$ Xung nhiệt | $X(5,2)$ Xung lượng nhiệt | $X(5,3)$ Nung với nguồn hằng | $X(5,4)$ |
| 6 | Ánh sáng | $\phi(cd)$ | $X(6,1)$ Chớp sáng | $X(6,2)$ Chớp chu kỳ | $X(6,3)$ Dimmer | $X(6,4)$ |
| 7 | Mol | mol | $X(7,1)$ | $X(7,2)$ | $X(7,3)$ | $X(7,4)$ |
| Dạng | |  |  |  |  |  |
| Xác định | | X | T | X_m, T, θ | X_θ | Am, f, ϕ |

1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

- Ta có thể lấy ký hiệu chung cho tín hiệu đo lường là X với hai chữ số ở trong dấu ngoặc: chữ số đầu tượng trưng cho đại lượng vật lý, chữ số sau chỉ dạng tín hiệu và sắp ở các ô tương ứng trong bảng

- **Ví dụ:**

X (4,1): 4 là đại lượng điện

 1 là dạng tín hiệu xung hẹp.

Chương 2: Đặc tính của thiết bị đo

- Độ nhạy của thiết bị đo (S)
- Tính đơn trị
- Khoảng đo $D_x = X_{\max} - X_{\min}$
- Nguồn nhạy $R_x \quad N_x$
- Khả năng phân ly của thiết bị đo ,
- Mở rộng thang đo của thiết bị
- Độ chính xác của thiết bị đo (sai số)
- Thời gian đo của thiết bị
- Tốn hao công suất của thiết bị
- Sai số của thiết bị đo.
- ...

Mô hình thiết bị đo

$Y=F(X,a,b,c..)$ là phương trình cơ bản của thiết bị

X- là đại lượng vào

Y- Là đại lượng ra của thiết bị đo

Trong đó :

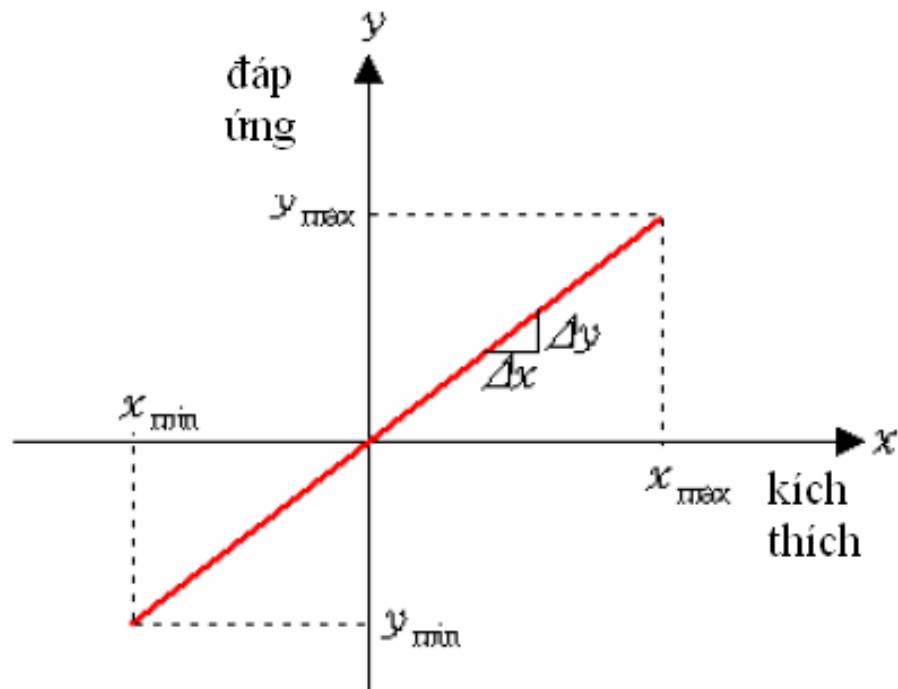
- X- là một đại lượng hằng thiết bị đo là thiết bị đo tĩnh.
 - ❖ X(t)- Biến thiên theo thời gian. Thiết bị đo là thiết bị đo động
 - ❖ X-là một đại lượng ngẫu nhiên thiết bị đo là thiết bị đo đại lượng thống kê.
 - ❖ X- là một Vector nhiều thành phần thiết bị đo là một hệ đo gián tiếp hay hợp bộ
- a, b,c Là các yếu tố ảnh hưởng hay là nhiễu tác dụng lên thiết bị đo.

Độ nhạy

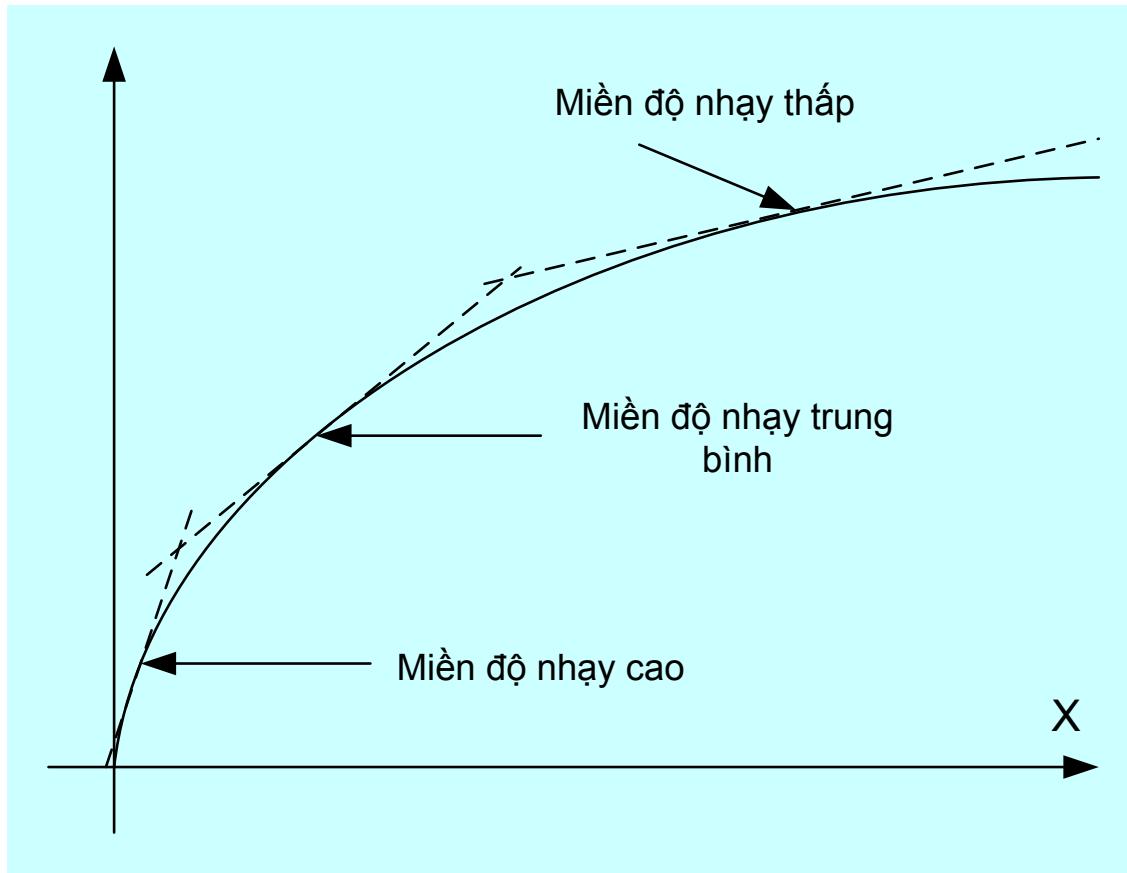
- $K = \partial F / aX$ – Độ nhạy với x
- Người ta còn ký hiệu là S
 - Khi $K = \text{const}$ -> X, Y là tuyến tính.
 - $K = f(X)$ -> X, Y là không tuyến tính -> sai số phi tuyến.

dK_{xt}/K_{xt} - Thể hiện tính ổn định của thiết bị đo hay tính lặp lại của thiết bị đo.

$dK_{xt}/K_{xt} = dS/S = \gamma_s$ - Sai số độ nhạy của thiết bị đo -> nhân tính.



Độ nhạy



Hệ số phi tuyến của thiết bị

- Để đánh giá tính phi tuyến của thiết bị đo ta xác định hệ số phi tuyến của nó.
- Hệ số phi tuyến xác định theo công thức sau:

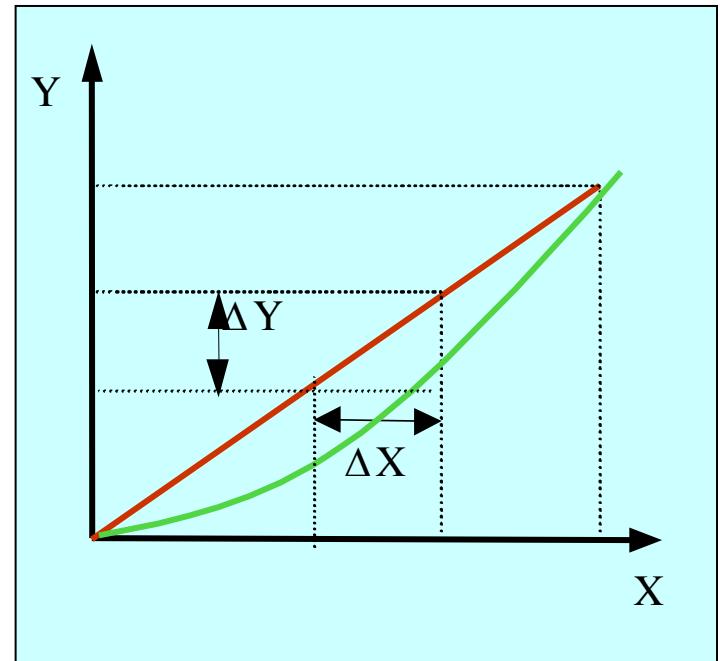
$$K_{pt} = \frac{\Delta X_{\max}}{X_n}$$

ΔX_{\max} - là sai lệch lớn nhất

Ta thường dùng khâu bù phi tuyến

$$S_{cb} \cdot S_b = K$$

(Nonlinearity Error)

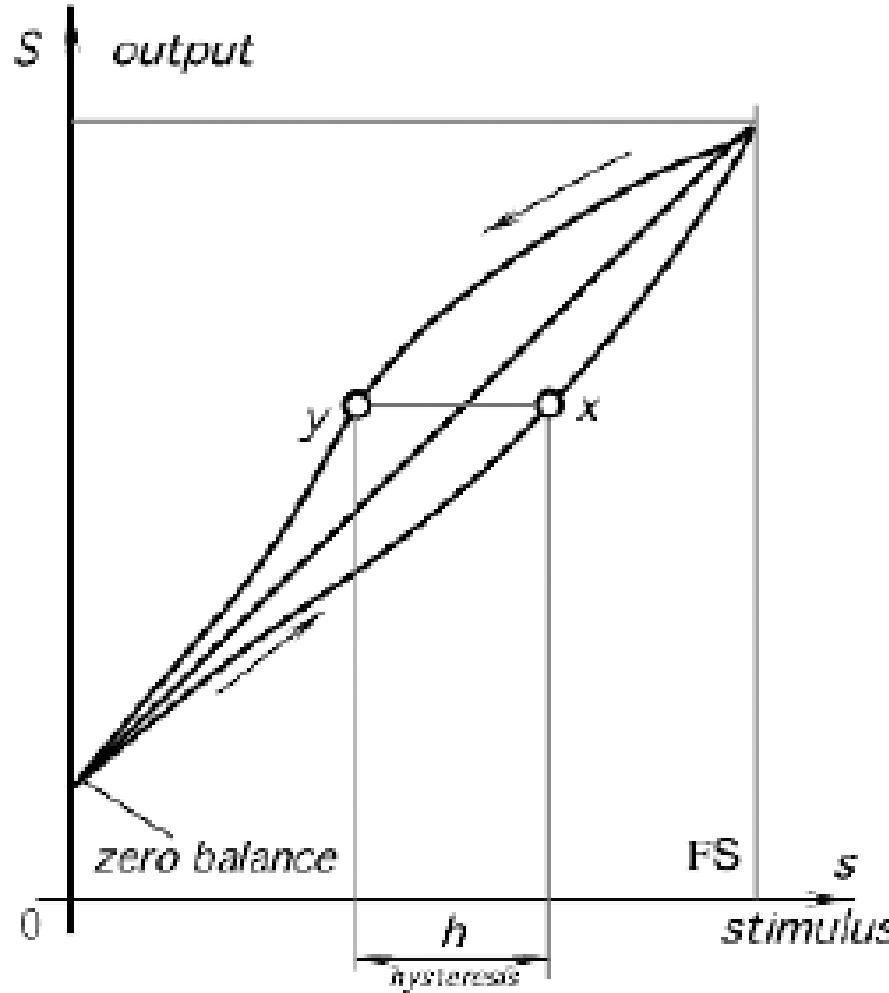


Hệ số phi tuyến của thiết bị

- Nếu K_{pt} nhỏ hơn sai số yêu cầu đối với thiết bị đo, thì thiết bị đo được coi là tuyến tính.
- Nếu K_{pt} lớn hơn sai số yêu cầu, ta phải tiến hành tuyến tính hóa.
- Ở các thiết bị đo, trước kia, khi chưa có các vi xử lý, người ta đã phải áp dụng nhiều biện pháp phức tạp để tuyến tính hóa các thiết bị đo.
- Ngày nay, phương pháp cơ bản hay dùng nhất là phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn. Cơ sở lý thuyết của phương pháp này là: một đường cong bất kỳ, có thể coi là sự kết nối của nhiều đoạn tuyến tính.

Trễ hay trơ của thiết bị (H- Hysteresis)

- Nguyên nhân: do sự thay đổi trong cấu trúc vật liệu hoặc ma sát

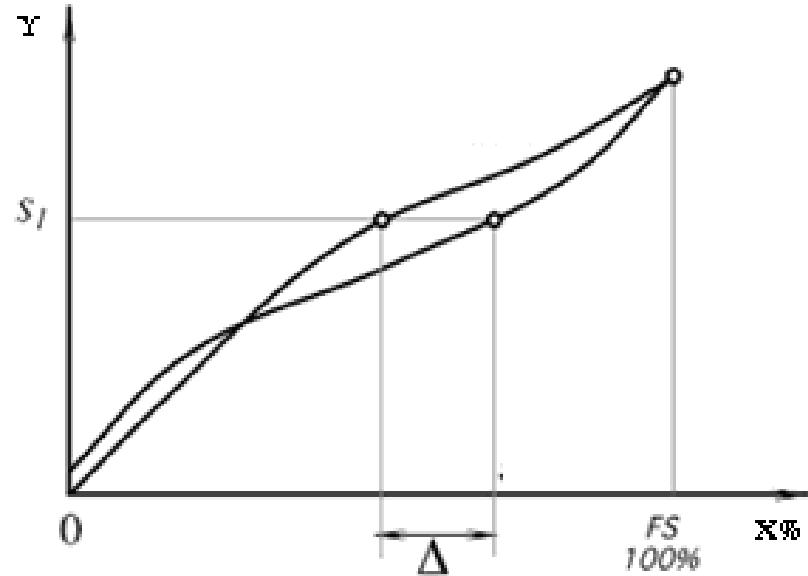


Tính lặp lại

Ở các lần đo khác nhau, K_x có thể khác nhau

$$\frac{dK_x}{K_x}$$

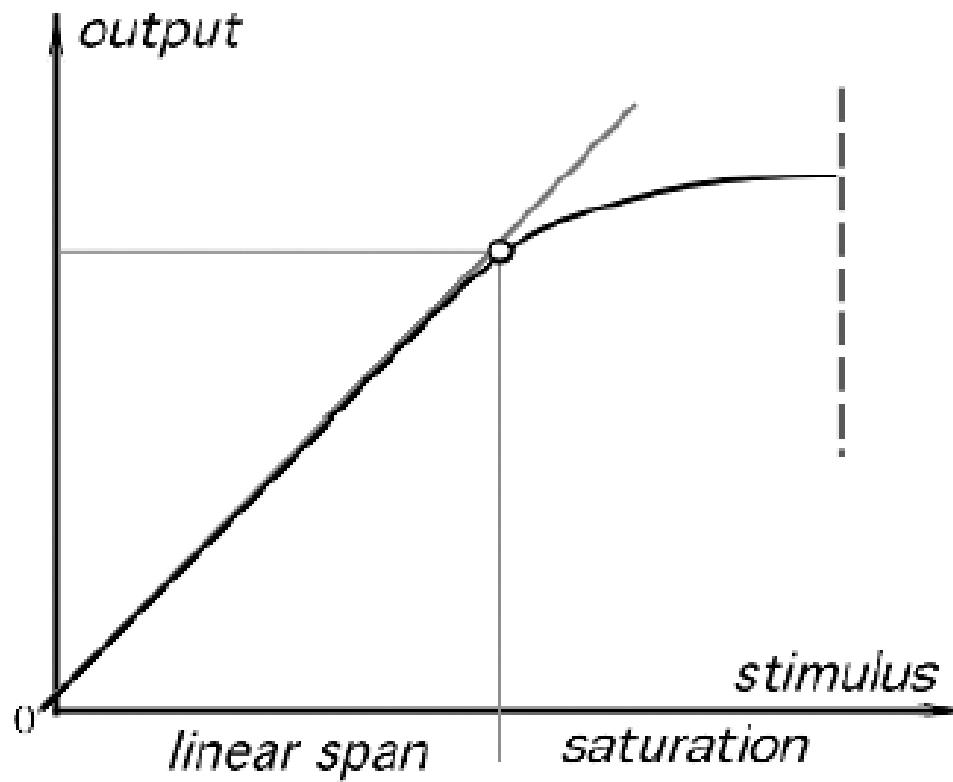
Cho phép đánh giá tính ổn định của thiết bị đo hay tính lặp lại của TBĐ, sai số lặp lại hay độ tin cậy của thiết bị đo.



Sai số về độ nhạy của thiết bị đo, $\gamma_K = \frac{dK}{K}$ sai số này có tính chất nhân tính.

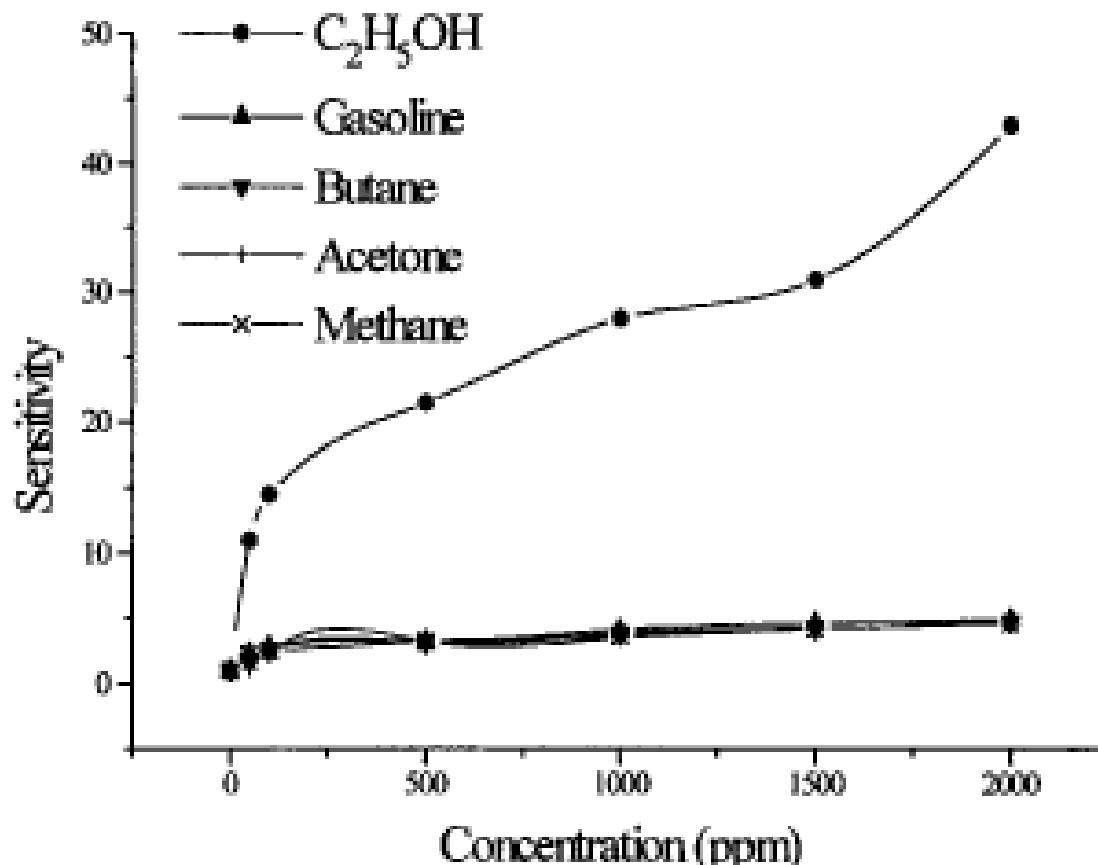
Độ bão hòa

- Đến một giá trị ngưỡng nào đấy, sự tăng thêm kích thích đầu vào không tạo ra giá trị ra như mong muốn.



Độ lựa chọn (sel)

- Một vật liệu nhạy có thể đáp ứng đồng thời với nhiều khí trong một hỗn hợp khí. Ví dụ với đặc tính trên, thì cảm biến có độ lựa chọn cao với khí C₂H₅OH.



Khoảng đo, ngưỡng nhạy và khả năng phân ly

Khoảng đo (Span/Full Scale/Range): $D_x = X_{\max} - X_{\min}$

Ngưỡng nhạy, khả năng phân ly (Resolution):

- Khi giảm X mà Y cũng giảm theo, nhưng với $\Delta X \leq \varepsilon_X$ khi đó không thể phân biệt được ΔY , ε_X được gọi là ngưỡng nhạy của thiết bị đo.

Khả năng phân ly của thiết bị

- *-Thiết bị tương tự*

$$R_X = \frac{D_x}{\varepsilon_X}$$

- *-Thiết bị số:*

$$R_X = \frac{D_X}{\varepsilon_g} = N_n$$

Đặc tính của thiết bị đo

Nguồn nhạy

- Nguồn nhạy của thiết bị đo là giá trị đo thấp nhất mà dụng cụ có thể phân biệt được : $\varepsilon_x, \varepsilon_y$.
- Đối với dụng cụ đo tương tự, X được xác định bằng kim chỉ thị thì ε_x là phần lẻ khoảng chia có thể đọc được (thông thường có thể chọn là 1/5 thang chia độ).
- Đối với dụng cụ số $\varepsilon_x = X_n / N_n$ là nguồn của ADC hay là giá trị một LSB của bộ mã hóa (Lowest Significating Bit) tức giá trị một lượng tử đo.

Ví dụ

Một bộ biến đổi tương tự số ADC-700 (D, E, F, I, N...) của Burr Brown: Số bit là 16 tức $R = 2^{16} = 65.536$

- Chữ D của ADC loại này có nghĩa là khoảng đo đầu vào là: 0 – 10V
- Chữ I có nghĩa là khoảng đo đầu vào là: 0 – 0,5V

Như vậy một LSB của ADC 700-D là : $\varepsilon =$

$$\begin{smallmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{smallmatrix}$$

LSB của ADC 700-I là: $\varepsilon =$

$$\begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{smallmatrix}$$

Ngưỡng nhạy của ADC700-I cao hơn rất nhiều so với ADC-700-D nhưng cùng một khả năng phân ly.

Đặc tính của thiết bị đo

Khả năng phân ly của thiết bị đo

■ Đối với thiết bị đo tương tự:

- ❖ Khả năng phân ly của thiết bị được tính theo công thức:

$$R_x = \frac{D_x}{\varepsilon_x} \quad \varepsilon_x \text{ được lấy } 1/5 \text{ vạch khắc độ.}$$

- ❖ Ví dụ: thang chia độ được chia 100 vạch thì $\varepsilon_x = 1/5$ khoảng chia = $D_x / 500$ như vậy khả năng phân ly $R=500$.

■ Đối với thiết bị đo số: ε_x là 1 LSB thì khả năng phân ly của thiết bị đo số:

$$\frac{D_x}{1 \text{ LSB}} = N_x$$

Đặc tính của thiết bị đo

Khả năng phân ly của thiết bị đo

- Ví dụ: Một bộ biến đổi tương tự số ADC-700 (D, E, F, I, N...) của Burr Brown số bit là 16 tức $R = 2^{16} = 65536$.

D nghĩa là khoảng đo đầu vào là 0- 10V

Như vậy một LSB của ADC 700-D là : $\frac{10V}{65536} = 0.1525 \text{ mV}$

- Để so sánh khả năng phân ly giữa thiết bị đo tương tự và số ta có thể phân tích như sau: Để có cùng khả năng phân ly 16 bit như của ADC700 dụng cụ tương tự phải có chiều dài thang chia độ là bao nhiêu? giả sử khoảng cách chia độ là 1mm

Tổn hao công suất, điện trở vào của thiết bị đo

Thiết bị đo khi nối vào đối tượng đo, muốn có đáp ứng phải thu một ít năng lượng từ phía đối tượng đo ta gọi đó là tổn hao Công suất.

Trường hợp nối tiếp với tải: $p_a = R_A \cdot I^2$ và R_A càng nhỏ thì sai số do tổn hao càng ít.

Yêu cầu :

$$\gamma_{ff} \approx \frac{R_A}{R_t} < \gamma_{yc}$$

Trong đó : γ_{yc} - Sai số yêu cầu; P_A : Tổn hao

γ_{ff} : Sai số phương pháp

P_t : công suất ở tải

$$\gamma_{ff} = \frac{p_a}{p_t} = \frac{R_A}{R_t}$$

Trong trường hợp thiết bị đo nối song song với tải.

Tổn hao

Yêu cầu:

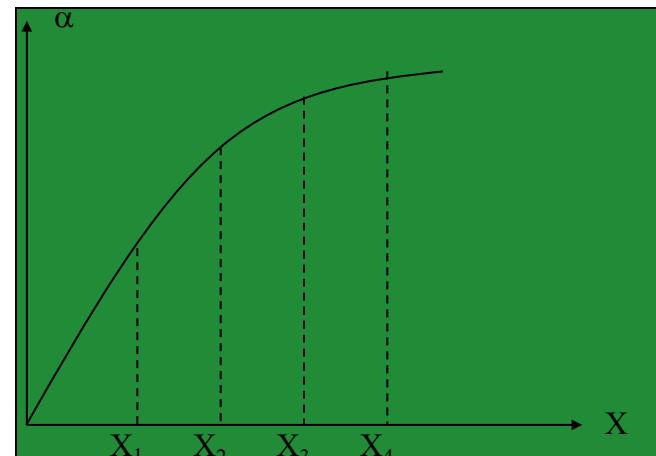
$$p_v = \frac{V^2}{R_v}$$

$$\gamma_{ff} \approx \frac{R_t}{R_v} < \gamma_{yc}$$

R_A, R_v đều được gọi là điện trở vào của thiết bị đo

Đặc tính động của thiết bị (1)

- Hàm truyền cơ bản : $Y(p)=K(p).X(p)$
- Đặc tính động:
 - + Đặc tính quá độ
 - + Đặc tính tần
 - + Đặc tính xung



Khi đại lượng X biến thiên theo thời gian ta sẽ có quan hệ

- $\alpha(t)=S_t[X(t)]$

Quan hệ được biểu diễn bằng một phương trình vi phân. Phương trình vi phân ấy được viết dưới dạng toán tử.

$$\alpha(p)=S(p).X(p)$$

$S(p)$ - Gọi là độ nhạy của thiết bị đo trong quá trình đo đại lượng động

Đặc tính động của thiết bị (1)

- Hàm truyền cơ bản :
 $Y(p)=K(p).X(p)$

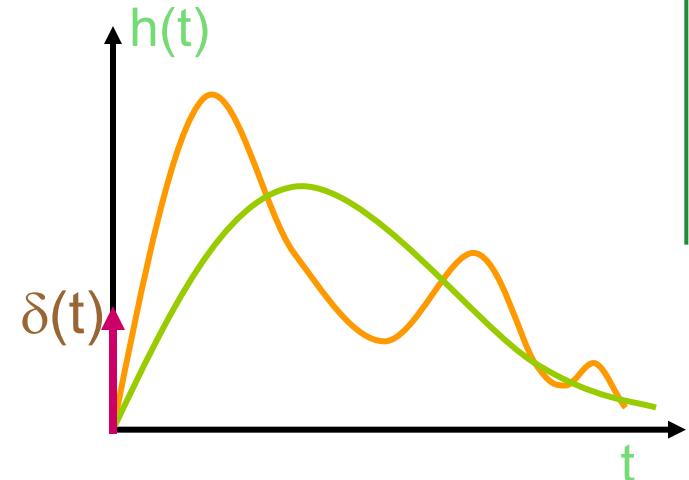
- Đặc tính động:
 - + Đặc tính quá độ
 - + Đặc tính tần
 - + Đặc tính xung

a. Đặc tính xung:

- Nếu đại lượng vào có dạng xung hẹp: $x(t) = \delta(t-\tau)$
→ Đại lượng ra $y(t) = h(t-\tau)$ gọi là đặc tính xung của thiết bị

☺☺ Ý nghĩa của đặc tính xung???

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

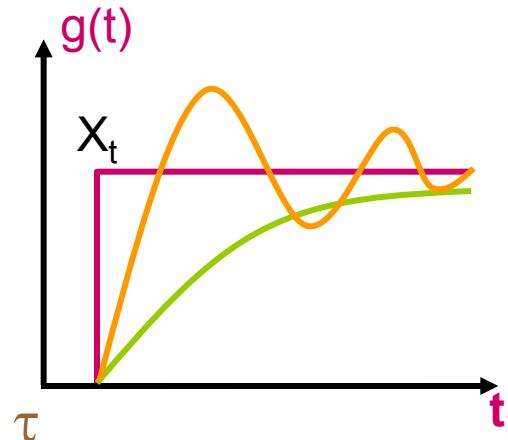


Phần tử cơ bản
cho phép tính đáp
ứng ra của thiết bị

Đặc tính động của thiết bị (2)

b. Đặc tính quá độ

- Nếu tín hiệu vào có dạng xung đơn vị: $x(t) = u(t-\tau)$
- Đại lượng ra $y(t) = g(t-\tau) [= h(t-\tau)]$ gọi là đặc tính quá độ của thiết bị



c. Đặc tính tần số

- Nếu tín hiệu vào có dạng sin: $x(t) = e^{j\omega t}$
- Đại lượng ra $y(t) = H(\omega).x(t)$ với $H(\omega)$ gọi là đặc tính tần số của thiết bị
- Đặc tính tần số được phân tích thành hai thành phần: đặc tính môđun $A(\omega)$ và đặc tính pha $\phi(\omega)$. (Lý thuyết mạch 1)

⊖⊖ Ưu điểm cơ bản khi sử dụng đặc tính tần số của thiết bị???

Đặc tính động của thiết bị (3)

Khi tín hiệu vào có dạng hình sin: $X_t = X_m e^{j\omega t}$

$S(p)$ - thể hiện dưới dạng $S(j\omega)$ được gọi là đặc tính tần của thiết bị

$S(j\omega)$ là một số phức phân tích thành hai thành phần đặc tính $A(\omega)$ và $\theta(\omega)$ đặc tính pha

$A(\omega)$ thay đổi theo (ω) , vì vậy gây ra sai số động tính theo công thức sau:

$$\gamma_{A(\omega)} = \frac{A(\omega) - A(0)}{A(0)}$$

$A(\omega)$ - đặc tính tần của thiết bị

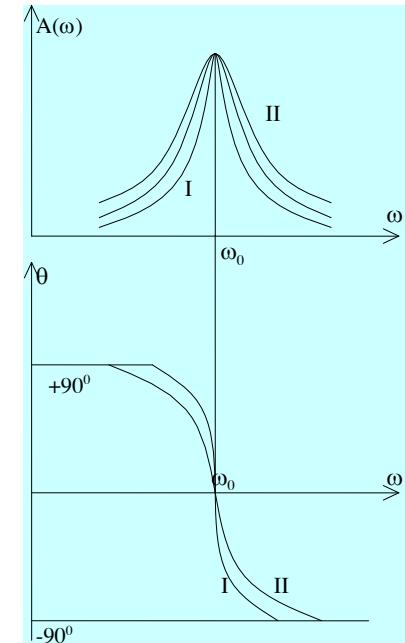
$A(0)$ - biên độ của thiết bị không ảnh hưởng của đặc tính tần.

■ Quan hệ giữa đặc tính tần và đặc tính quá độ

$$h_l(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t dt \int_{-\infty}^{+\infty} K_n(j\omega) e^{j\omega t}$$

- Sai số tần số (Giải tần của thiết bị)
- Thời gian đo của thiết bị
- Khả năng truyền tin của thiết bị: $C=I.f$

Trong đó: I- lượng thông tin một lần đo (Tính bằng bit)f- Tần số đo



Đặc tính động của thiết bị (3)

d. Hàm truyền đạt của thiết bị đo

Phương trình biểu diễn quan hệ giữa tín hiệu ra/tín hiệu vào của một thiết bị đo:

$$y(t) = b_0 x(t) + b_1 \frac{\partial x(t)}{\partial t} + \cdots + b_N \frac{\partial^N x(t)}{\partial t^N} + a_1 \frac{\partial \alpha(t)}{\partial t} + \cdots + a_M \frac{\partial^M \alpha(t)}{\partial t^M}$$

$$Y(\omega) = b_0 X(\omega) + b_1 j\omega X(\omega) + \cdots + b_N (j\omega)^N X(\omega) + a_1 j\omega Y(\omega) + \cdots + a_M (j\omega)^M Y(\omega)$$

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{b_0 + b_1 j\omega + \cdots + b_N (j\omega)^N}{1 - a_1 j\omega - \cdots - a_M (j\omega)^M}$$

ω : giá trị thực. Thay $j\omega$ bằng số phức $p = \sigma$

+ $j\omega$ ↗

Hàm truyền đạt của thiết bị đo
 $H(p)$

$$H(p) = \frac{b_0 + b_1 p + \cdots + b_N p^N}{1 - a_1 p - \cdots - a_M p^M}$$

⊖⊖ Cách xác định điểm
cực và điểm không của
hệ thống??

Đặc tính động (4)

$$H(p) = \frac{b_N(p-z_1)(p-z_2)\dots(p-z_{N1})}{-a_M(p-p_1)(p-p_2)\dots(p-p_{N1})} = \frac{b_N \prod_{i=1}^N (p-z_i)}{-a_M \prod_{i=1}^M (p-p_i)} \quad (2-9)$$

Từ các vị trí của điểm cực (p) và điểm không (z) trên mặt phẳng p (hay s) có thể nhận biết được tính chất của thiết bị đo/hệ thống đo

Đặc tính của thiết bị đo

Thời gian đo của thiết bị đo

- Là đo thời gian tính từ lúc đặt đại lượng đo vào thiết bị cho đến khi thiết bị ổn định để lấy kết quả đo.
- Đối với các thiết bị số thì thời gian đo là thời gian biến đổi của bộ biến đổi tương tự - số (T_{bd}).
- Trong các thiết bị số, thời gian lấy mẫu (T_{lm}) phải lớn hơn thời gian biến đổi.

Đặc tính của thiết bị đo

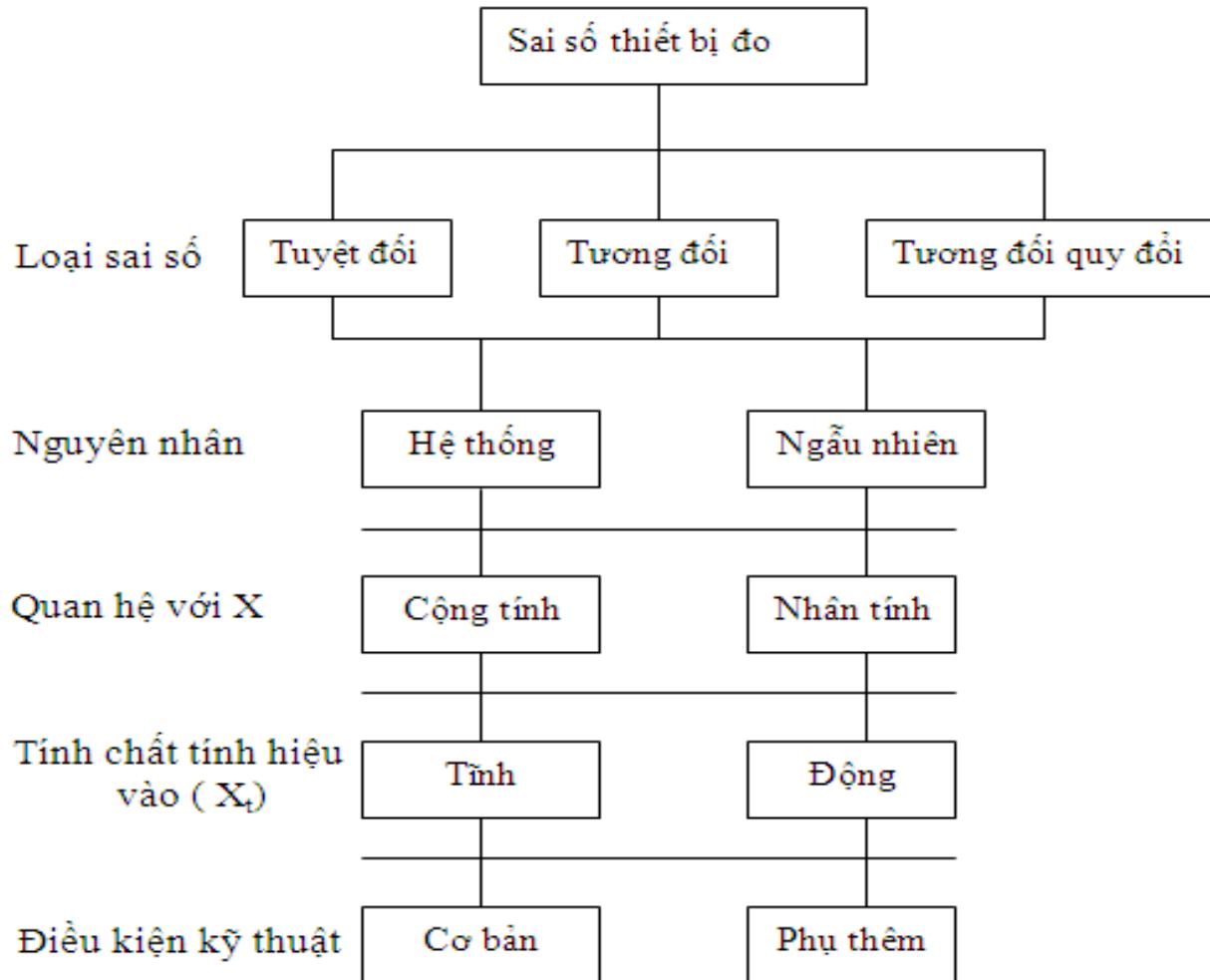
Độ chính xác của thiết bị đo

- Đo lường được thực hiện bằng cách so sánh một đại lượng cần đo với đại lượng đo tiêu chuẩn. Kết quả đo có thể biểu thị bằng số hay biểu đồ. Tuy nhiên, kết quả đo được chỉ là một trị số gần đúng, nghĩa là phép đo có sai số. Vấn đề là cần đánh giá được độ chính xác của phép đo.



Sai số của phép đo

Tính chính xác của thiết bị đo là đặc tính quan trọng nhất đối với thiết bị đo. Tính chính xác thể hiện ở sai số của thiết bị đo.



Nguyên nhân gây sai số

- Khi tính toán sai số cần tính tới trường hợp các sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất với các nguyên nhân:
 - ❖ Nguyên nhân chủ quan: do lựa chọn phương pháp đo và dụng cụ đo không hợp lý, trình độ của người sử dụng thiết bị đo không tốt, thao tác không thành thạo ...
 - ❖ Nguyên nhân khách quan: do dụng cụ đo không hoàn hảo, đại lượng đo bị can nhiễu do môi trường bên ngoài như nhiệt độ, độ ẩm, bụi bẩn, áp suất ...

Sai số tuyệt đối

- Sai số tuyệt đối xác định bằng sự sai lệch của một dụng cụ đo hay một phép đo được xác định là:

$$\Delta X = |X_{\text{thực}} - X_{\text{đo}}|$$

ΔX : Sai lệch của phép đo thứ I đại lượng X

$X_{\text{đo}}$: Kết quả phép đo thứ I đại lượng X

$X_{\text{thực}}$: Giá trị đúng, là giá trị đo do một mẫu cung cấp hay là kết quả đo X bởi dụng cụ đo cấp chính xác cao hơn nhiều lần thiết bị đo được sử dụng.

Sai số tương đối

- Sai số tuyệt đối không cho phép đánh giá một phép đo. Để đánh giá tính chính xác của một phép đo người ta dùng sai số tương đối:

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_{th}} \cdot 100\% = \frac{\Delta X}{X_{do}} \cdot 100\%$$

Với X_{do} là đại lượng đo được

X_{th} là giá trị thực của đại đại lượng đo

ΔX sai số tuyệt đối

Sai số tương đối quy đổi (quy đổi về khoảng đo)

- Sai số tương đối β không cho phép đánh giá một thiết bị đo, vì vậy người ta đưa ra sai số tương đối quy đổi là sai số tương đối quy đổi về khoảng đo của thiết bị:

- $$\gamma_{qd} = \frac{\Delta X}{D_X} \cdot 100\%$$

ΔX là sai số tuyệt đối gây ra do thiết bị đo khi đo một đại lượng xác định;

D_X là khoảng đo của thiết bị dùng để đo đại lượng X .

- Để đánh giá sai số thiết bị người ta dựa vào sai số tương đối của thiết bị đo. Như vậy ta có quan hệ các sai số :

$$\beta = \gamma = \frac{\Delta X}{X_{do}} = \frac{\gamma_{qd} D_X}{X_{do}} = \gamma_{qd} \frac{D_X}{X_{do}} = \gamma_{qd} \frac{X_n}{X_{do}}$$

Bài tập

- **Bài 1:** Một thiết bị đo có thang đo cực đại $100mA$, có sai số tương đối quy đổi $\pm 1\%$. Tính các giới hạn trên và giới hạn dưới của đối tượng cần đo và sai số theo phần trăm trong phép đo đối với :
 - a. Độ lệch cực đại.
 - b. $0,5$ độ lệch cực đại.
 - c. $0,1$ độ lệch cực đại.

Bài tập

- Bài 2: Một thiết bị đo có thang đo cực đại $100mA$, có sai số tương đối quy đổi $\pm 3\%$. Hãy tính sai số khả dĩ khi dụng cụ chỉ :
 - $50mA$.
 - $10mA$.
- Bài 3: Để $25mA$ được đo ở dụng cụ có thang đo cực đại $40mA$. Nếu phải đo $25mA$ chính xác trong khoảng $\pm 5\%$. Hãy tính độ chính xác cần thiết của dụng cụ đo.

Bài tập

Bài 4:

Một Ampemet có ba khoảng đo 5A, 2.5A, 1A. Chia thành 100 vạch, cấp chính xác 1.

- 1/ Đặt vào thang đo 5A để đo dòng điện, kim chỉ 18 vạch
 - a/ Xác định giá trị của dòng điện
 - b/ Tính sai số tương đối của phép đo
- 2/ Chọn thang đo thích hợp, xác định số vạch mà kim chỉ thị, tính sai số mới

Sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên

- Sai số tuyệt đối của dụng cụ đo ΔX được chia làm 2 loại sai số dựa theo nguyên nhân gây sai số:

$$\Delta X = \Delta_{ht} + \Delta_{ng}$$

- Trong đó:

ΔX : Sai số tuyệt đối của thiết bị đo.

Δ_{ht} : Sai số hệ thống của thiết bị đo do nguyên nhân có thể phân tích được, có thể dùng các biện pháp bù trừ được.

Δ_{ng} : Sai số ngẫu nhiên mà nguyên nhân không thể xác định được và theo quy luật ngẫu nhiên.

Sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên

- Sai số hệ thống là do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động. Nó khiến cho kết quả đo có sai số của lần đo nào cũng như nhau, nghĩa là kết quả của các lần đo đều lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị thực của đại lượng đo.
- Nhóm các sai số hệ thống thường do các nguyên nhân sau:
 - ❖ Do dụng cụ, máy móc đo không hoàn hảo
 - ❖ Do phương pháp đo, cách xử lý kết quả đo hoặc bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng.
 - ❖ Do khí hậu

Sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên

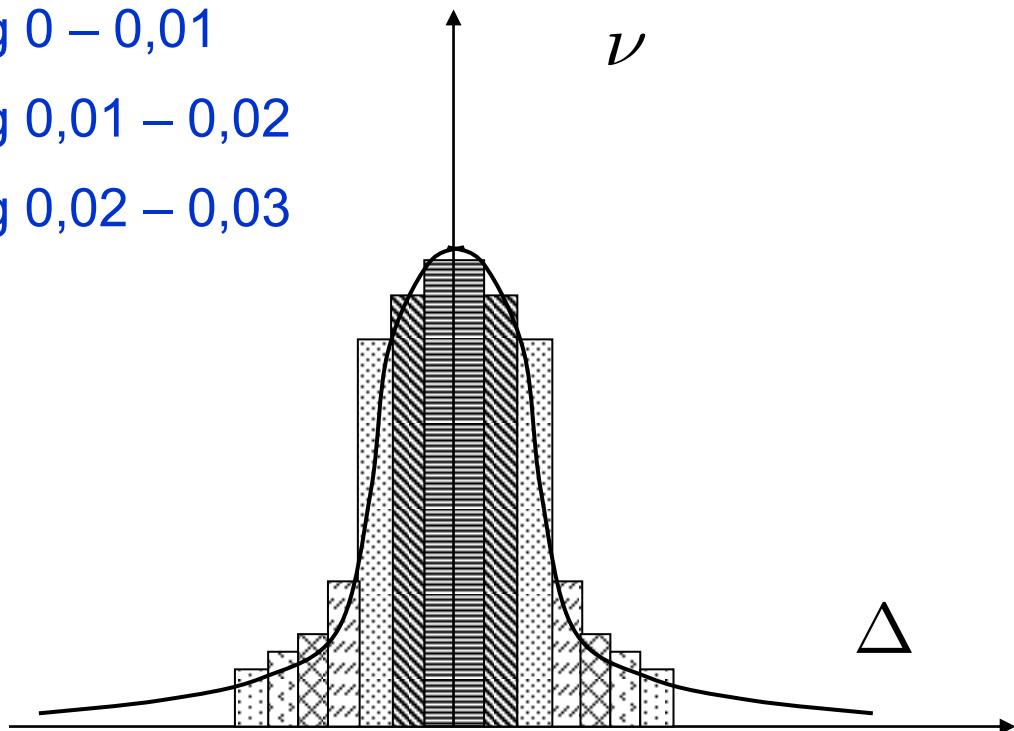
- Sai số ngẫu nhiên là sai số do các yếu tố bất thường, không có quy luật tác động.
- Do vậy, sai số hệ thống có thể xử lý được nhờ lấy lại chuẩn nhưng sai số ngẫu nhiên không thể xử lý được vì không biết quy luật tác động.

Sai số ngẫu nhiên

- Giả sử đo n lần đại lượng X với các sai số lần lượt là $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$
- Sắp xếp các sai số theo độ lớn thành từng nhóm riêng biệt n_1, n_2, \dots, n_m
 - ❖ n_1 sai số nằm trong khoảng $0 - 0,01$
 - ❖ n_2 sai số nằm trong khoảng $0,01 - 0,02$
 - ❖ n_3 sai số nằm trong khoảng $0,02 - 0,03$

$$\nu_1 = \frac{n_1}{n}$$

$$\nu_2 = \frac{n_2}{n}$$



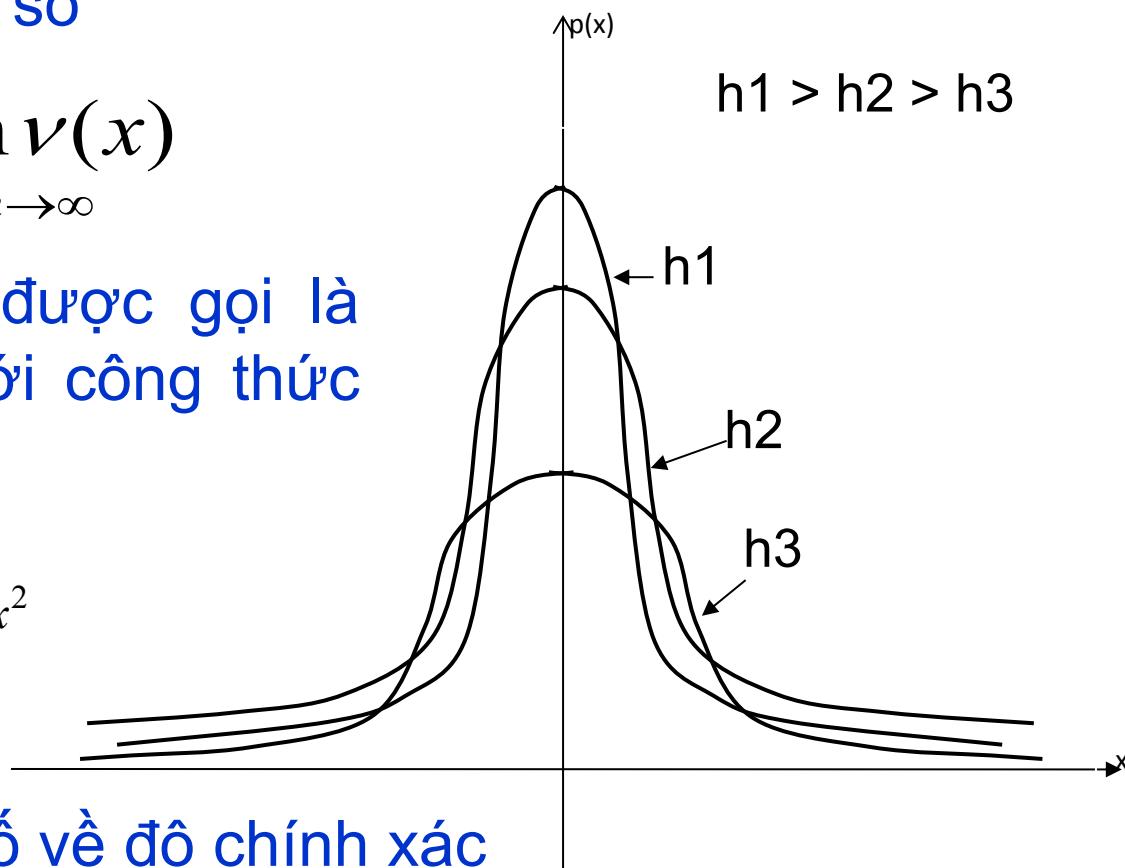
Sai số ngẫu nhiên

- Khi thực hiện phép đo nhiều lần, n tiến tới vô cùng, theo quy luật tiêu chuẩn của lý thuyết xác suất biểu đồ trên sẽ tiến đến một đường cong trung bình $p(x)$ gọi là hàm phân bố tiêu chuẩn sai số

$$p(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} v(x)$$

- Hàm $p(x)$ còn được gọi là hàm Gausse với công thức sau:

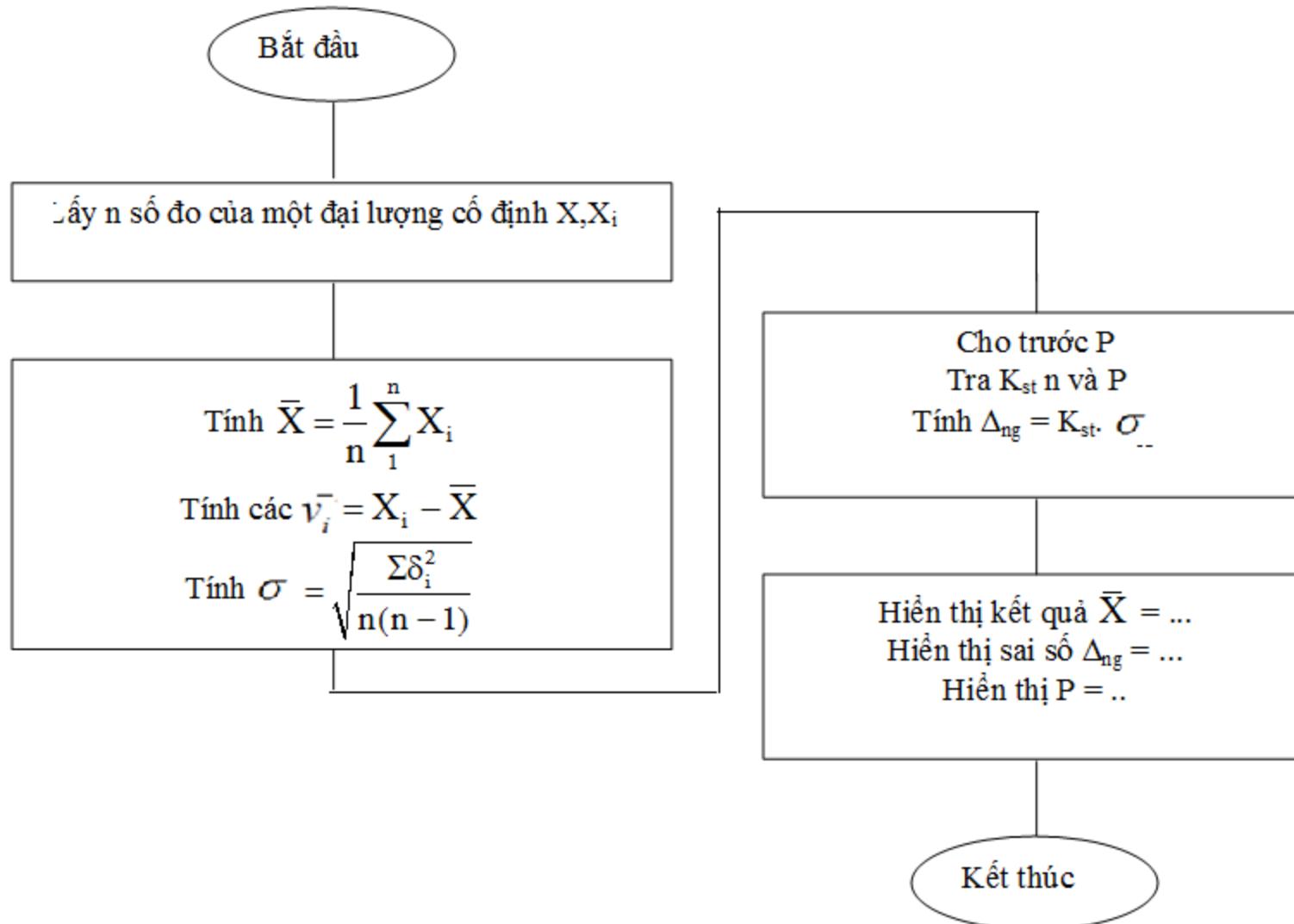
$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2}$$



với h là tham số về độ chính xác

Các bước tính sai số ngẫu nhiên

Lưu đồ thuật toán



Các bước tính sai số ngẫu nhiên

- Tính ước lượng kỳ vọng toán học m_X của đại lượng đo: chính là giá trị trung bình đại số của n kết quả đo.

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

- 2. Tính độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình vi: $v_i = x_i - \bar{X}$ \rightarrow tính δ
- Tính khoảng giới hạn của sai số ngẫu nhiên: được tính trên cơ sở đường phân bố chuẩn: $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$; thường chọn: $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$ với: h : hệ số student

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

Ví dụ

| TT | Kết quả | $v_i = X_i - \bar{X}$ | $v_i^2 = (X_i - \bar{X})^2$ | |
|----|--|-------------------------------|---|---|
| 1 | 100,5 | +0,34 | 0,0576 | |
| 2 | 100,4 | +0,14 | 0,0196 | |
| 3 | 100,6 | +0,34 | 0,1156 | |
| 4 | 100,2 | -0,06 | 0,0036 | |
| 5 | 100,2 | -0,06 | 0,0036 | |
| 6 | 99,91 | -0,36 | 0,1296 | |
| 7 | 100,4 | +0,14 | 0,0196 | |
| 8 | 100,4 | +0,14 | 0,0196 | |
| 9 | 100,1 | -0,16 | 0,0256 | |
| 10 | 99,9 | -0,36 | 0,1296 | |
| 11 | $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10}$ | $v_i^- = \frac{\sum v_i}{10}$ | $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}}$ | $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}}$ $\sigma = \sqrt{\frac{0,0576 + 0,0196 + 0,1156 + 0,0036 + 0,0036 + 0,1296 + 0,0196 + 0,0196 + 0,0256 + 0,1296}{10(10-1)}}$ $\sigma = \sqrt{\frac{0,804}{90}} = 0,076$ <p>Chọn: $P = 0,99$.</p> <p>Tra bảng Student:</p> <p>($n = 10, P = 0,99$)</p> <p>$K_{st} = 3,25$</p> <p>$\Delta_{ng} = 3,25 \cdot 0,076 = 0,247$</p> <p>Kết quả</p> <p>$100,013V < X < 100,507V$</p> <p>với xác suất tin cậy $P = 0,99$</p> |
| 12 | 100,26 | 0,00 | | |

Sai số ngẫu nhiên

| n | P _s | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,999 |
|----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 2 | | 1,000 | 1,376 | 1,963 | 3,08 | 6,31 | 12,71 | 31,8 | 63,7 | 636,6 |
| 3 | | 0,816 | 1,061 | 1,336 | 1,886 | 2,92 | 4,30 | 6,96 | 6,92 | 31,6 |
| 4 | | 0,765 | 0,978 | 1,250 | 1,638 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 | 12,9 |
| 5 | | 0,741 | 0,941 | 1,190 | 1,533 | 2,13 | 2,77 | 3,75 | 4,60 | 8,61 |
| 6 | | 0,727 | 0,920 | 1,156 | 1,476 | 2,02 | 2,57 | 3,36 | 4,03 | 6,86 |
| 7 | | 0,718 | 0,906 | 1,134 | 1,440 | 1,943 | 2,45 | 3,14 | 3,71 | 5,96 |
| 8 | | 0,711 | 0,896 | 1,119 | 1,415 | 1,895 | 2,36 | 3,00 | 3,50 | 5,40 |
| 9 | | 0,706 | 0,889 | 1,108 | 1,397 | 1,860 | 2,31 | 2,90 | 3,36 | 5,04 |
| 10 | | 0,703 | 0,883 | 1,110 | 1,383 | 1,833 | 2,26 | 2,82 | 3,25 | 4,78 |
| 11 | | 0,700 | 0,879 | 1,093 | 1,372 | 1,812 | 2,23 | 2,76 | 3,17 | 4,59 |
| 12 | | 0,697 | 0,976 | 1,088 | 1,363 | 1,796 | 2,20 | 2,72 | 3,11 | 4,49 |
| 13 | | 0,665 | 0,873 | 1,083 | 1,356 | 1,782 | 2,18 | 2,68 | 3,05 | 4,32 |
| 14 | | 0,694 | 0,870 | 1,079 | 1,350 | 1,771 | 2,16 | 2,65 | 3,01 | 4,22 |
| 15 | | 0,692 | 0,868 | 1,076 | 1,345 | 1,761 | 2,14 | 2,62 | 2,98 | 4,14 |
| 16 | | 0,691 | 0,866 | 1,074 | 1,341 | 1,753 | 2,13 | 2,60 | 2,95 | 4,07 |
| 17 | | 0,690 | 0,865 | 1,071 | 1,337 | 1,746 | 2,12 | 2,58 | 2,92 | 4,02 |
| 18 | | 0,689 | 0,863 | 1,069 | 1,333 | 1,740 | 2,11 | 2,57 | 2,90 | 3,96 |
| 19 | | 0,688 | 0,862 | 1,067 | 1,330 | 1,734 | 2,10 | 2,55 | 2,88 | 3,92 |
| 20 | | 0,688 | 0,861 | 1,066 | 1,328 | 1,729 | 2,09 | 2,54 | 2,86 | 3,88 |
| □ | | 0,674 | 0,842 | 1,036 | 2,282 | 1,645 | 1,960 | 2,33 | 2,58 | 3,29 |

Bài tập

- Đo 13 lần một giá trị điện áp U với độ chính xác như nhau bằng điện thế kế một chiều. Xác định khoảng đáng tin, cho trước xác suất đáng tin $P = 0,98$. Cho $k_{st}(13 \text{ điểm đo}) = 2,72$.

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| U(V) | 100,05 | 100,04 | 100,06 | 100,02 | 99,99 | 100,05 | 100,02 | 100,04 | 99,99 | 100,01 | 100,04 | 100,04 | 100,01 |

Sai số công tính, sai số nhân tính

- Xét theo quan hệ ΔX và X , ta có thể chia sai số tuyệt đối ΔX thành 2 thành phần:

$$\Delta X = \Delta X_a + \Delta X_m$$

- Trong đó:

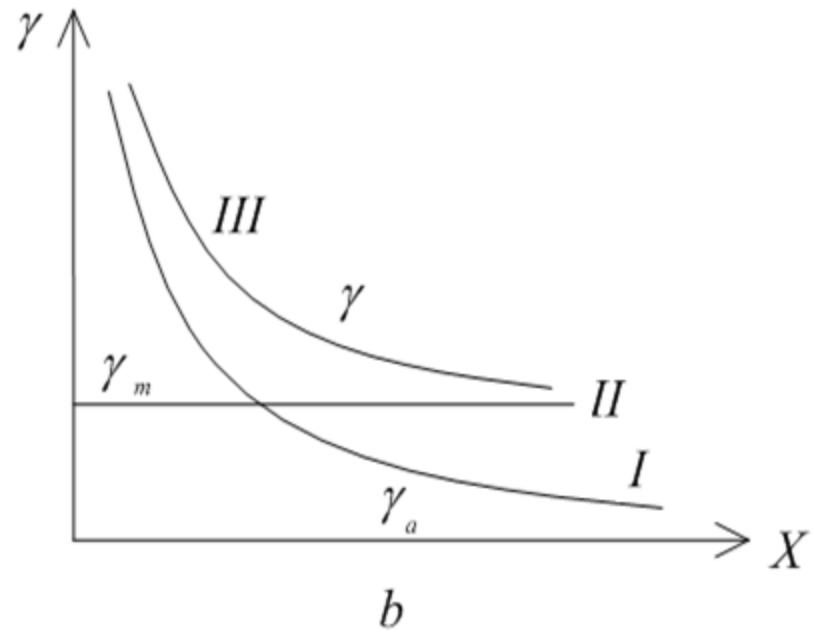
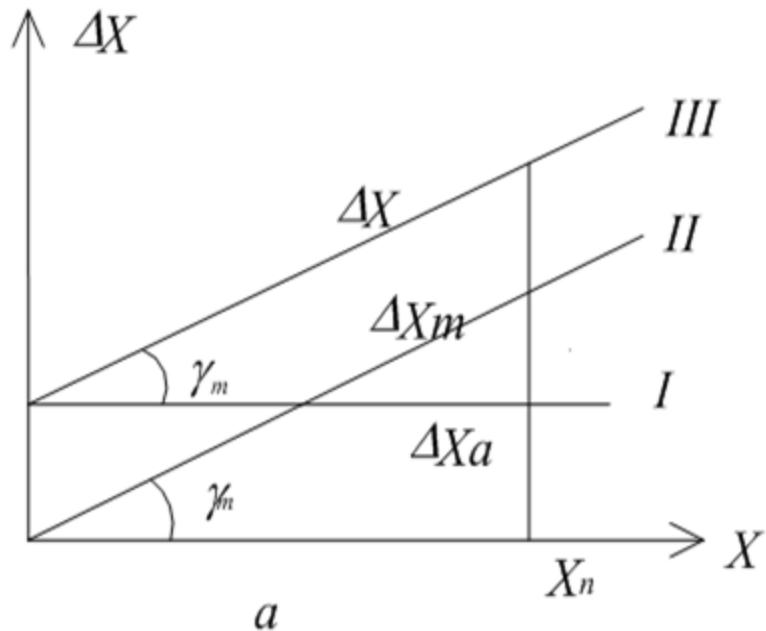
ΔX : Sai số tuyệt đối.

ΔX_a : Sai số công tính (additif) là sai số mà giá trị của nó không phụ thuộc vào đại lượng đo X .

ΔX_m : Sai số nhân tính (multiplicatif) là sai số mà giá trị của nó tỷ lệ với X .

Sai số cộng tính, sai số nhân tính

- Sai số cộng tính ΔX_a là một đường thẳng nằm ngang.
- Sai số nhân tính ΔX_m tỷ lệ với X là 1 đường thẳng có góc nghiêng là $\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X}$



Sai số cộng tính và nhân tính
a. Sai số tuyệt đối; b. Sai số tương đối

Sai số công tính, sai số nhân tính

■ Sai số cộng tính và nhân tính của thiết bị đo trong hình vẽ:

$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X}$ không thay đổi theo X biểu diễn bằng đường nằm ngang I,

$\gamma_a = \frac{\Delta X_a}{X}$ giảm dần theo X (đường II) và sai số tương đối tổng hợp

$\gamma = \gamma_m + \gamma_a$ thay đổi theo X và có dạng $\gamma = \gamma_m + \frac{\Delta X_a}{X}$

Nếu xét về sai số tương đối quy đổi của một thiết bị đo ta có thể tính

$$\gamma = \gamma_m + \frac{\Delta X_a}{X_n}$$

Và $\gamma\% = \gamma_m\% \text{ of reading} + \gamma_a\% \text{ full scale}$

Cấp chính xác của thiết bị đo

- Các thiết bị đo lường trên thị trường là các thiết bị đã được kiểm nghiệm chất lượng theo các cấp như trên, kết quả kiểm nghiệm sẽ xác định được cấp chính xác. Chúng thường được ghi trên vỏ máy, cataloge giới thiệu sản phẩm, hoặc tra trong sổ tay kỹ thuật, thông thường chỉ những trường hợp đặc biệt ta mới quan tâm tới thông số này.

Cấp chính xác của thiết bị đo

Tuỳ theo tính chất của thiết bị đo, cấp chính xác của chúng được quy định theo nhiều cách khác nhau. Sau đây là các cách thể hiện của cấp chính xác thiết bị đo.

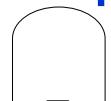
a) Đối với các thiết bị đo mà tính chính xác được thể hiện bằng sai số tuyệt đối của nó, người ta phân các thiết bị đo thành các cấp 0, cấp 1, cấp 2, cấp 3,...

■ Ví dụ:

- ❖ Pin mẫu cấp 0 là pin mẫu quốc gia được xác định theo trình độ quốc gia đó.
- ❖ Pin mẫu cấp 1 là pin mẫu dùng ở các phòng thí nghiệm quốc gia, sai số tuyệt đối của nó không vượt quá $50\mu\text{V}$ trong 1 năm.
- ❖ Pin mẫu cấp 2 sai số tuyệt đối hay dao động điện áp với pin mẫu cấp 0 không vượt quá $100\mu\text{V}$ trong 1 năm.
- ❖ Pin mẫu cấp 3 là pin mẫu công tác, dao động điện áp không quá $300\mu\text{V}$ trong một năm..

Cấp chính xác của thiết bị đo

- b) Đối với thiết bị đo mà sai số chủ yếu là sai số cộng tính.
- Cấp chính xác của thiết bị đo được sắp xếp theo sai số tương đối quy đổi của chúng tính theo %.
 - Ví dụ: Các dụng cụ cơ điện; sai số chủ yếu là do ma sát giữa trục và trụ của cơ cấu đo; sai số có tính cộng tính. Cấp chính xác của loại dụng cụ cơ điện được sắp xếp theo sai số tương đối quy đổi.
 - Ở nước ta, các dụng cụ đo cơ điện được chia làm 8 cấp chính xác: 0,05, 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 4.
 - **Ký hiệu KI . 2,5** hay class 2,5 hay đơn giản hơn là 2,5 ghi bên trái của mặt dụng cụ sau ký hiệu về nguyên lí làm việc của dụng cụ



1: cấp chính xác là 1 mà chủ yếu là sai số cộng tính

Cấp chính xác của thiết bị đo

- c) Đối với thiết bị đo mà trong ấy sai số nhân tính trội hơn sai số cộng tính. Sai số tương đối khi dùng thiết bị đo được tính: $\beta = \frac{\Delta X}{X} = \gamma_m$ γ_m không phụ thuộc vào X. Cấp chính xác của thiết bị đo này được định nghĩa là giá trị % của γ_m .
- Ký hiệu cấp chính xác của loại này được ghi là con số phần trăm của γ_m ở trong vòng tròn nằm ở phía bên trái thang chia độ sau ký hiệu về nguyên lý hoạt động của dụng cụ.
- Ví dụ ① có nghĩa là thiết bị đo có sai số nhân tính không vượt quá 1%. Sai số chủ yếu là nhân tính

Cấp chính xác của thiết bị đo

- d. Đối với thiết bị đo mà sai số cộng tính và nhân tính cùng cõi nhau nhau; thì sai số cơ bản gồm 2 thành phần: Sai số tương đối cộng tính phụ thuộc vào giá trị X và sai số nhân tính không phụ thuộc vào giá trị đo.
- Sai số tương đối khi sử dụng thiết bị đo ấy được viết dưới dạng.

$$\beta = \pm \left[C + d \left(\frac{X_n}{X} - 1 \right) \right]$$

$C = \gamma_{aqd} + \gamma_m$: Tổng sai số tương đối cộng tính và nhân tính quy đổi về thang đo

$d = \gamma_{aqd}$: Sai số cộng tính quy đổi

Cấp chính xác của dụng cụ đo được ghi tỷ số c/d

Cấp chính xác của thiết bị đo

- Ví dụ: Cấp 0,03/0,01
- Có nghĩa là $C = \gamma_{aqd} + \gamma_m = 0.03\%$
 - $D = \gamma_{aqd} = 0.01\%$
- Tức là $\gamma_m = 0.02\%$
 $\gamma_{aqd} = 0.01\%$
- Một volmet có thang đo là 300V, trên volmet ghi 0.03/0.01.
Kết quả đo volmet chỉ 100V, sai số của phép đo là bao nhiêu

Sự kết hợp của các sai số

- Ở những phép đo có sử dụng nhiều dụng cụ đo hay nhiều phép đo thì các sai số hệ thống có xu hướng tích tụ lại, khi đó sai số của toàn bộ hệ thống thường lớn hơn bất kỳ sai số của phép đo đơn lẻ nào.
- Khi tính toán cần giả định rằng sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất.
 - ❖ Sai số của tổng các величин
 - ❖ Sai số của hiệu các величин
 - ❖ Sai số của tích các величин
 - ❖ Sai số của thương các величин

Sự kết hợp của các sai số

■ Sai số của tổng các величин

$$E = (V_1 \pm \Delta V_1) + (V_2 \pm \Delta V_2)$$

$$= (V_1 + V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2)$$

■ Sai số của hiệu các величин

$$E = (V_1 \pm \Delta V_1) - (V_2 \pm \Delta V_2)$$

$$= (V_1 - V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2)$$

■ Ví dụ:

$$E1 = 100V \pm 2V = 100V \pm 2\%$$

$$E2 = 80V \pm 4V = 80V \pm 5\%$$

$$E1 + E2 = 180V \pm 6V = 180V \pm 3,3\%$$

$$E1 - E2 = 20V \pm 6V = 20V \pm 30\%$$

Từ đó ta thấy sai số % trong hiệu của các величин rất lớn nên cần tránh các phép đo có bao hàm phép hiệu của các величин.

Sự kết hợp của các sai số

■ Sai số của tích các величин

$$\begin{aligned}E &= (V_1 \pm \Delta V_1)(V_2 \pm \Delta V_2) \\&= V_1 \cdot V_2 \pm V_1 \cdot \Delta V_2 \pm V_2 \cdot \Delta V_1 \pm \Delta V_1 \cdot \Delta V_2 \\&\approx V_1 \cdot V_2 \pm (V_1 \cdot \Delta V_2 + V_2 \cdot \Delta V_1)\end{aligned}$$

$$\gamma = \delta E = \pm \left(\frac{V_1 \cdot \Delta V_2 + V_2 \cdot \Delta V_1}{V_1 V_2} \right) \cdot 100\% = \left(\pm \frac{\Delta V_1}{V_1} \pm \frac{\Delta V_2}{V_2} \right) \cdot 100\%$$

Nhận xét: sai số tương đối của tích hai величин bằng tổng sai số tương đối của từng thành phần.

■ Trường hợp riêng, khi nâng lên lũy thừa

$$\delta(E^\alpha) = \alpha \cdot \delta E$$

Sự kết hợp của các sai số

■ Sai số của thương các đại lượng

$$E = \frac{V_1 \pm \Delta V_1}{V_2 \pm \Delta V_2} \approx \frac{V_1}{V_2}$$

$$\gamma = \delta E = \pm(\delta V_1 + \delta V_2)$$

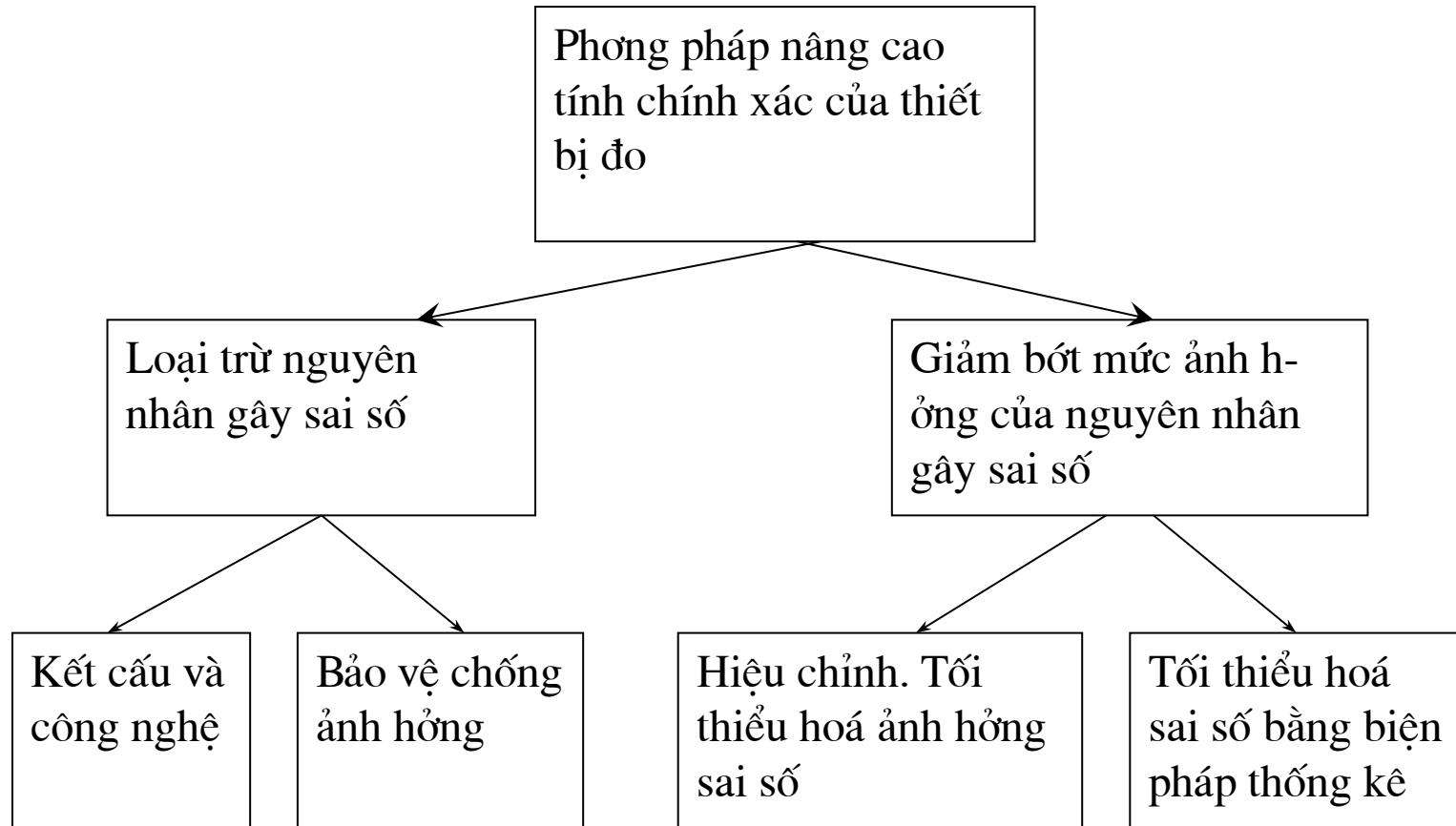
Sự kết hợp của các sai số

2. Một nguồn 12V được mắc với một điện trở $470 \pm 10\%$. Điện áp của nguồn được đo bằng một vôn kế có khoảng đo 25V và độ chính xác là 3%.

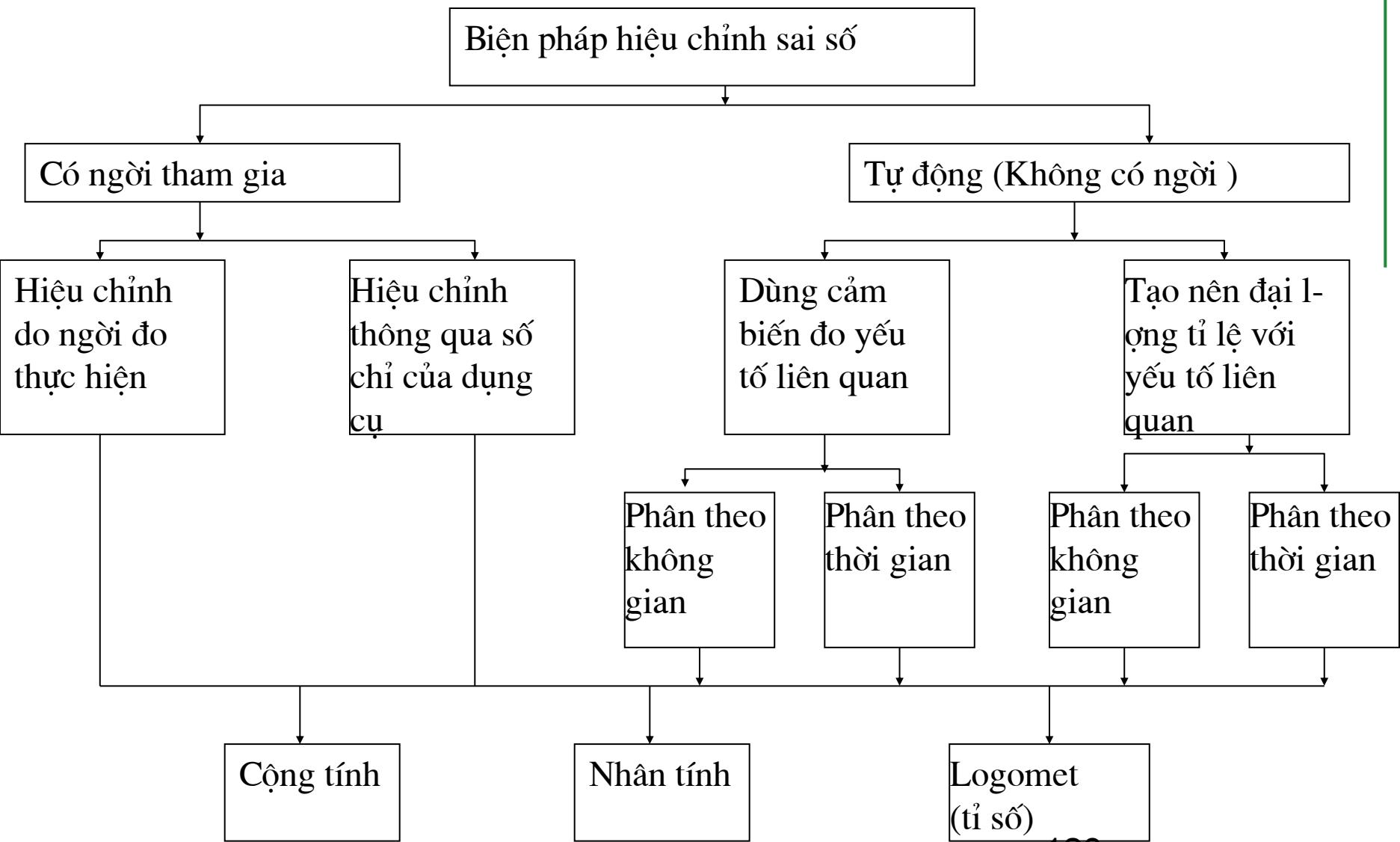
Tính công suất của điện trở và sai số của phép đo

3. Một Vôn kế có thang đo 30V và độ chính xác 4%, ampe kế có thang đo 100mA và độ chính xác 1% được sử dụng để đo điện áp và dòng điện qua điện trở R. Kết quả đo là 25V và 90mA. Hãy tính giá trị R và P_{min} và P_{max}

Một số biện pháp nâng cao cấp chính xác của thiết bị đo



Phương pháp hiệu chỉnh



Kiểm định phương tiện đo lường

- Kiểm tra giấy phép sản xuất và lưu hành
 - ❖ Đây là kiểm tra dùng để tư vấn cho cơ quan nhà nước cấp giấy phép sản xuất, cấp giấy chứng nhận thương hiệu
 - ❖ Nội dung kiểm tra đúng theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn nhà nước
 - ❖ Thiết bị nhập ngoại cũng phải kiểm định trước khi đưa ra lưu hành.
- Kiểm tra xuất xưởng
 - ❖ Hội đồng kiểm tra chất lượng sản phẩm định tiêu chuẩn cụ thể cho từng đặc tính kỹ thuật của thiết bị đo được sản xuất.
 - ❖ Mẫu của biên bản thử nghiệm phải được hội đồng duyệt. Biên bản này coi như một phần của công tác bảo hành.
 - ❖ Cơ quan quản lý đo lường, theo chu kỳ hoặc đột xuất , tiến hành kiểm tra sản xuất và xét tính trung thực của băng thử nghiệm.
- Kiểm tra định kỳ
 - ❖ Mỗi lần kiểm tra định kỳ, thiết bị được cấp một chứng chỉ và kết quả đo bởi dụng cụ ấy được coi có giá trị pháp nhân.
 - ❖ Hội đồng tiêu chuẩn nhà nước tổ chức các trung tâm đo lường được uỷ quyền thực hiện các phép kiểm tra cấp giấy chứng chỉ lưu hành.

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

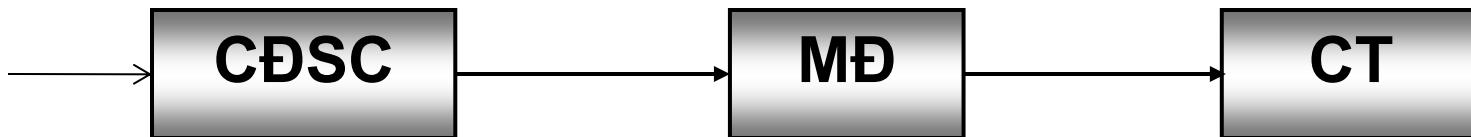
- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Phương tiện đo và phân loại
 - ❖ Chương 3: Các thông số kỹ thuật của thiết bị đo
- Phần 2: Các phần tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: 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

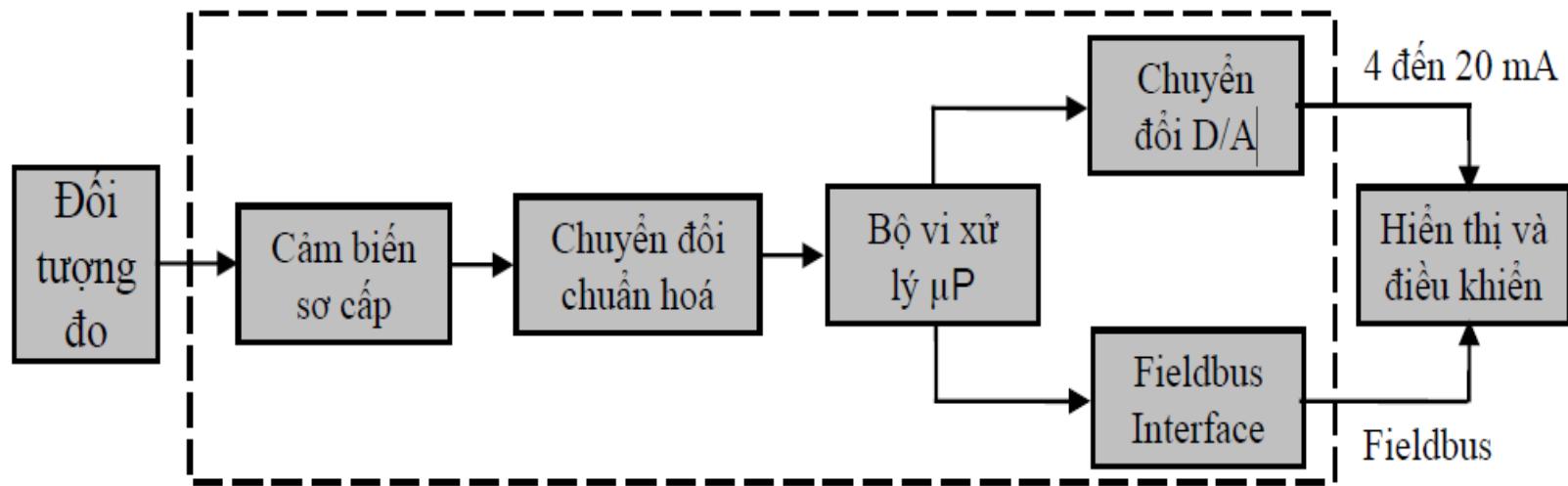
Sơ đồ khối của thiết bị đo:



- 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

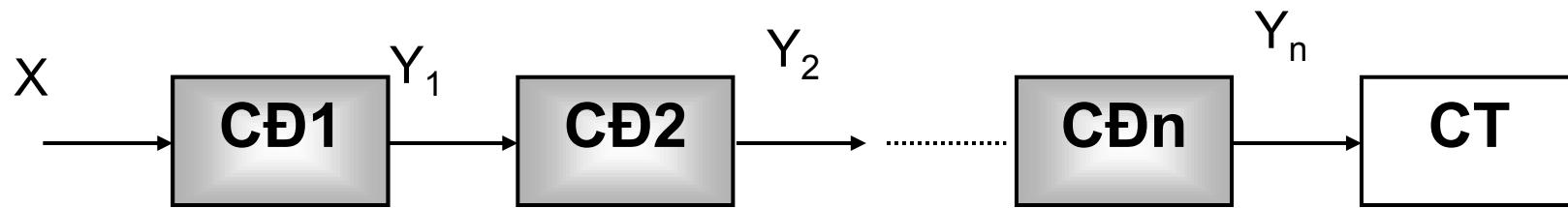
Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo

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



Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo biến đổi thẳng

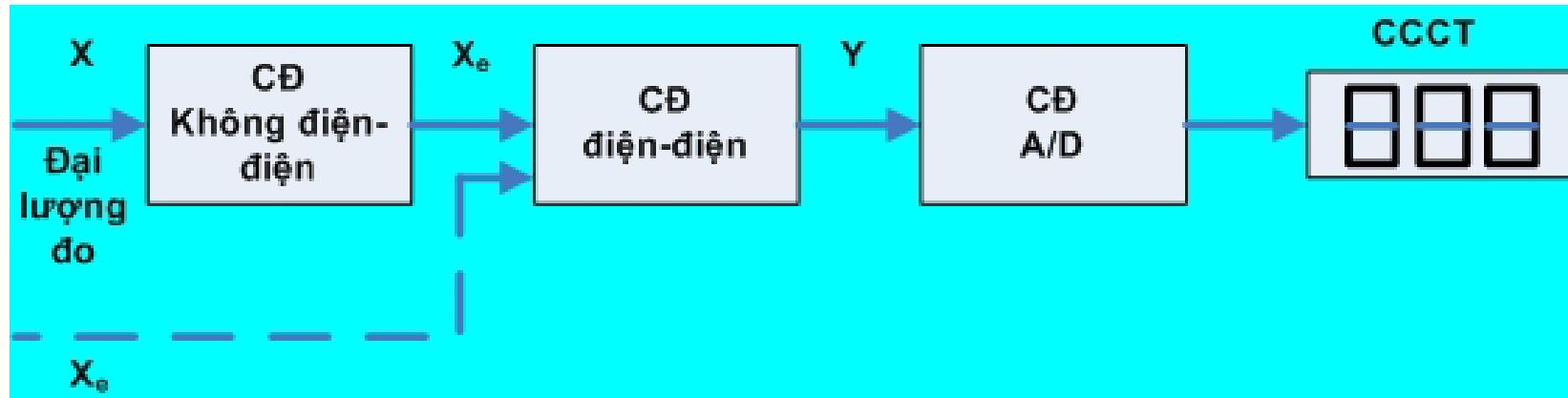
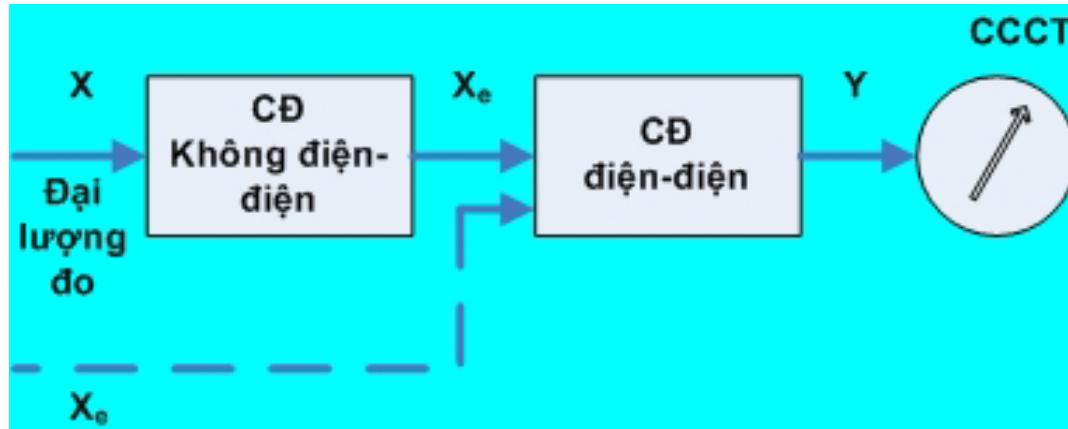
- Đối với dụng cụ đo biến đổi thẳng việc biến đổi thông tin chỉ diễn ra theo một hướng thẳng duy nhất, nghĩa là không có khâu phản hồi.
- Dụng cụ đo sử dụng phương pháp biến đổi thẳng có cấu trúc:



- ❖ CĐ: 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

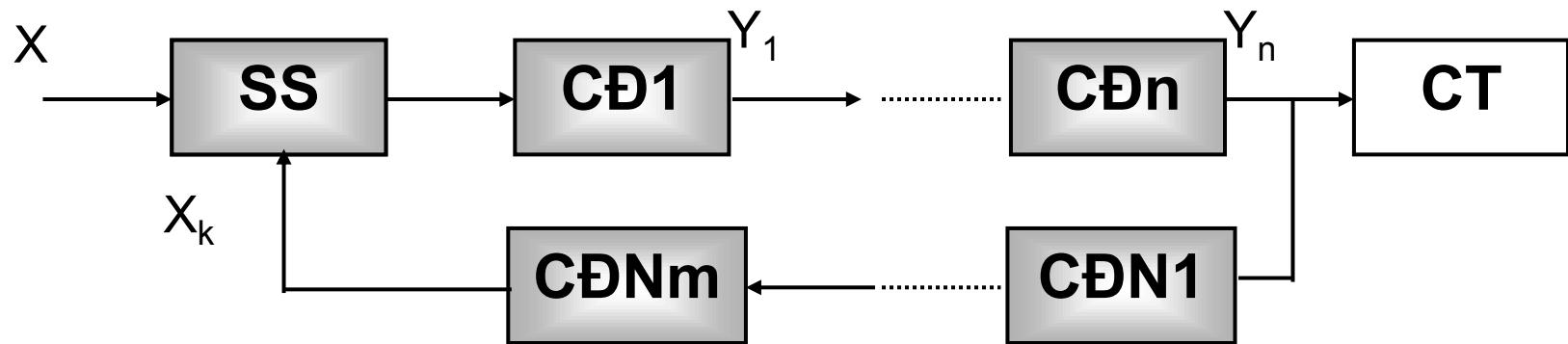


Sơ đồ cấu trúc của dụng cụ đo kiểu so sánh.

- 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:



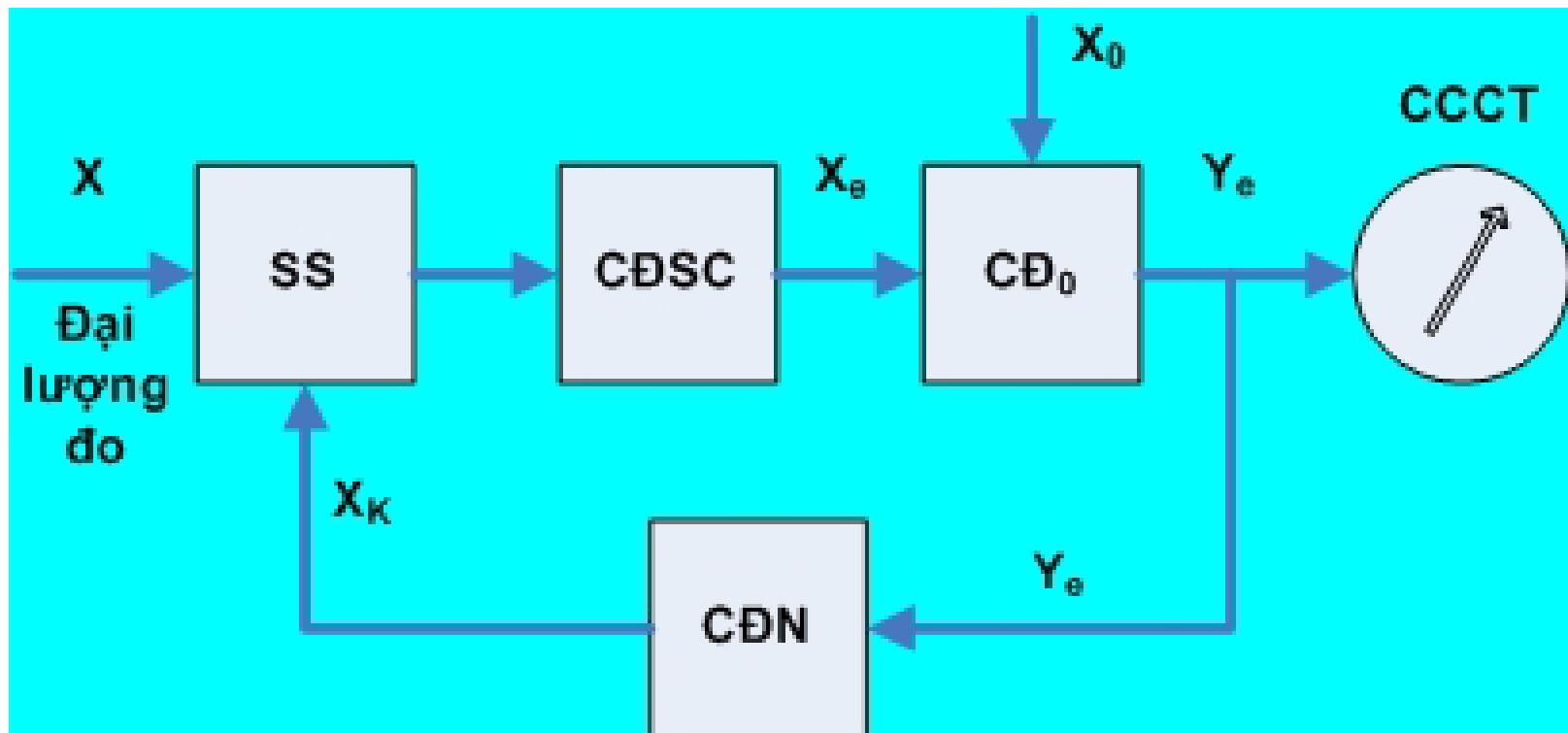
- ❖ CĐ: bộ chuyển đổi
- ❖ CĐN: bộ chuyển đổi ngược
- ❖ CT: cơ cấu chỉ thị
- ❖ SS: bộ so sánh
- ❖ $\Delta X = X - X_k$

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:

$$Mc = D \cdot \alpha$$

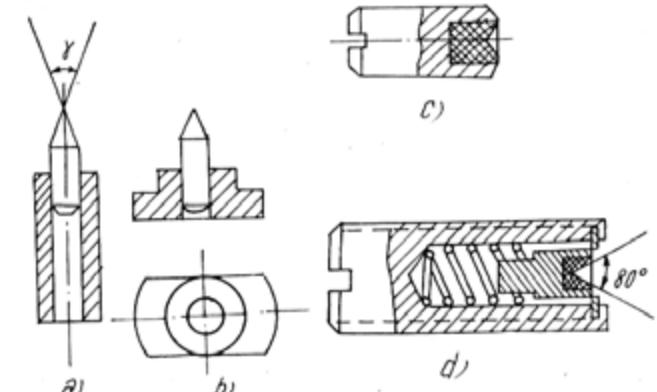
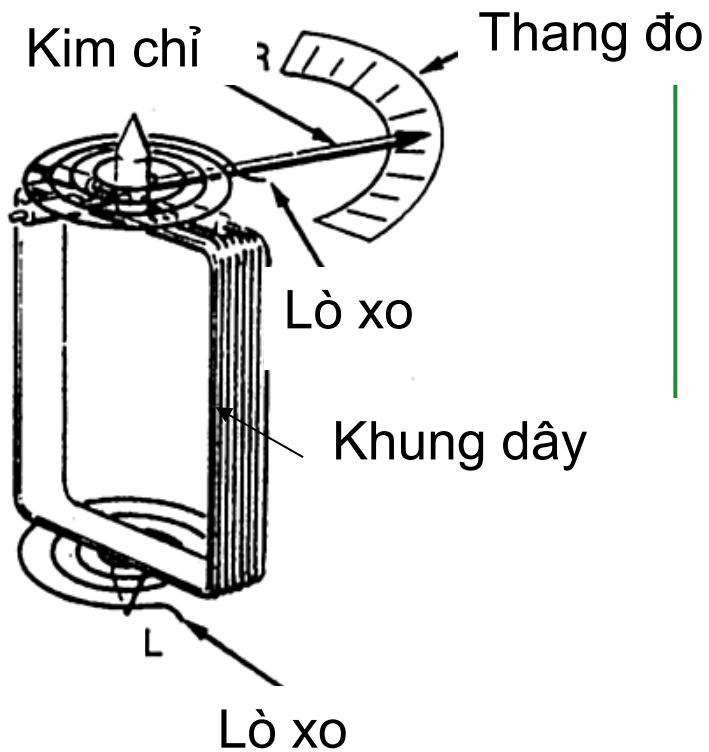
- Với D là hệ số momen cản riêng của lò xo, nó phụ thuộc vào vật liệu, hình dáng và kích thước của lò xo.
- Chiều tác động lên phần động của hai momen ngược chiều nhau nên khi momen cản bằng momen quay phần động sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng. Khi đó:

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

5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

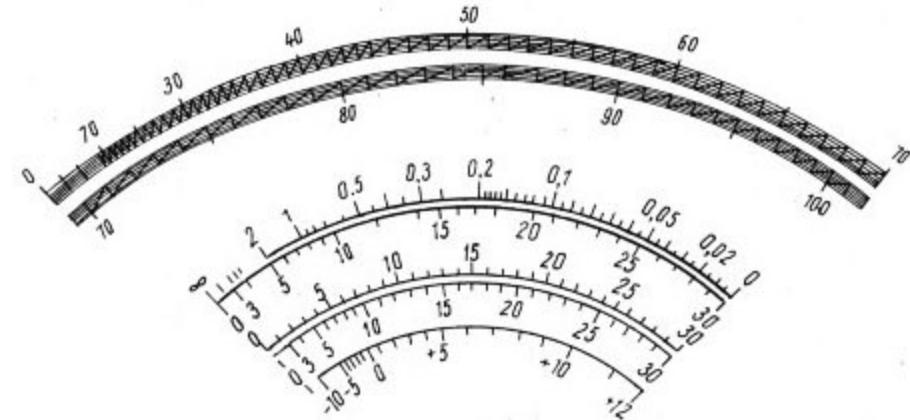
Những bộ phận chính của cơ cấu chỉ thị cơ điện

- 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



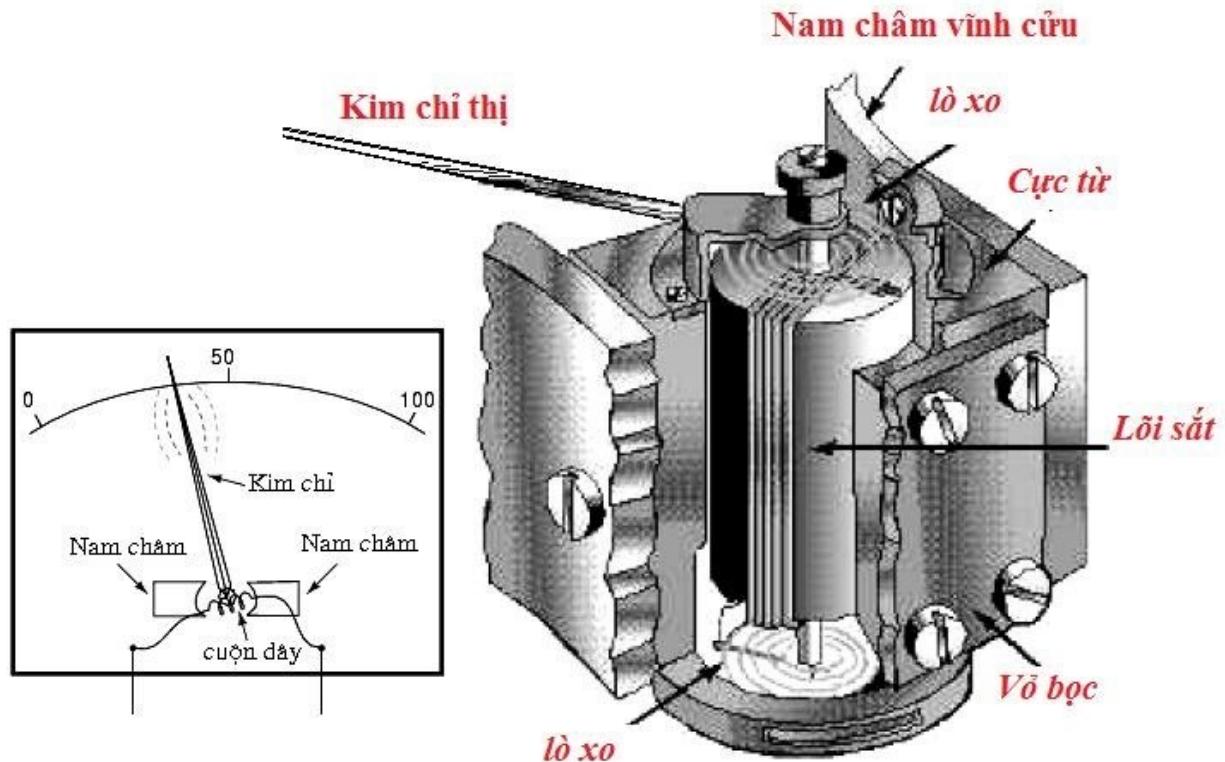
5.1 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

- 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

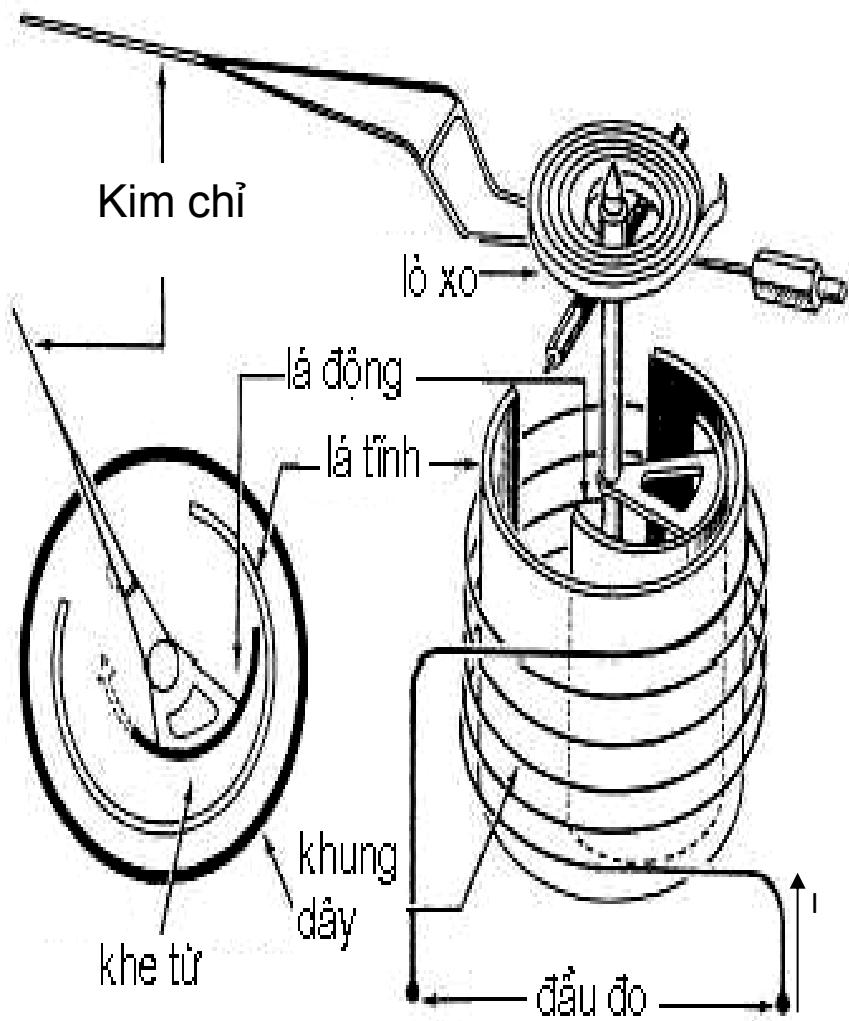
- Cơ cấu từ điện thường được chế tạo với dòng điện định mức I_n và điện trở khung quay R_{cc} như sau

| | | | | | | | |
|----------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 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.



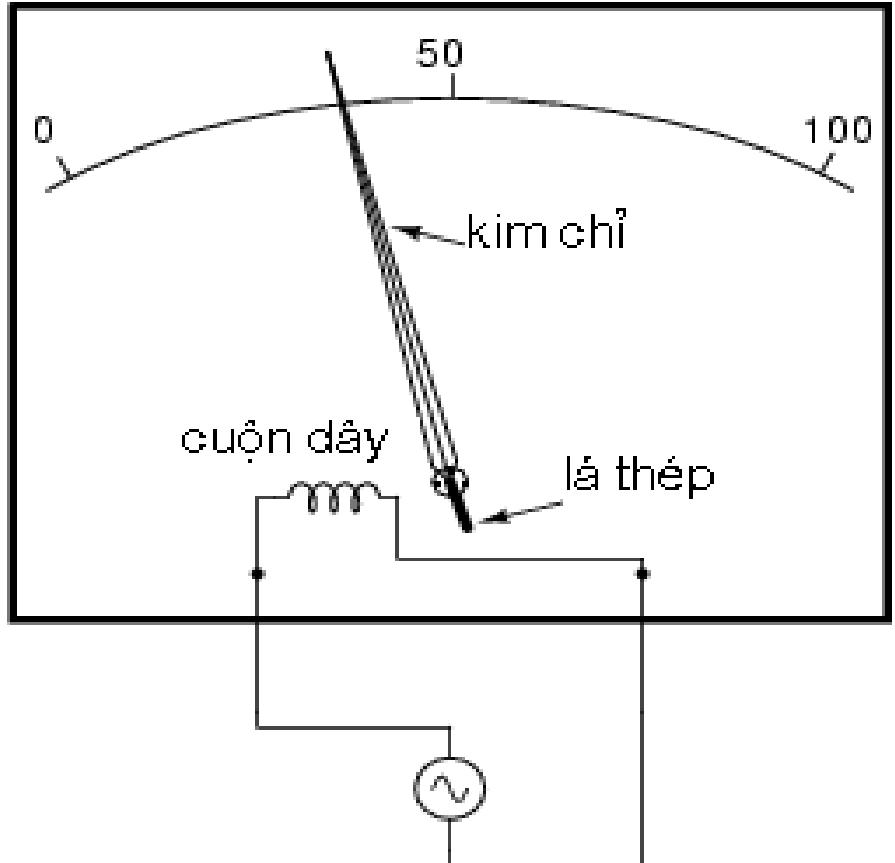
Cơ cấu chỉ thị điện từ

- 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

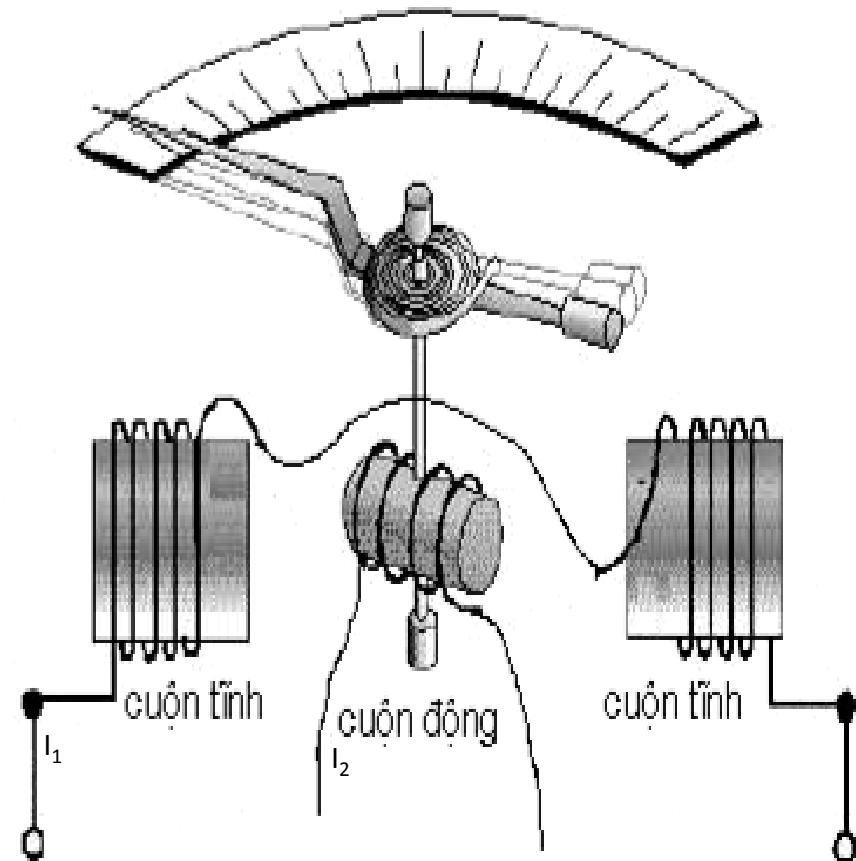
- Đặc điểm của cơ cấu điện từ như sau:
 - ❖ α là hàm của I^2 cho phép đo giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều.
 - ❖ α quan hệ với I^2 cho nên thang chia độ của dụng cụ điện từ không đều, làm khó khăn cho việc khắc độ.
 - ❖ α phụ thuộc $dL/d\alpha$ mà cuộn dây không có lõi thép nên hệ số $k_I = dL/2Dd\alpha$ 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

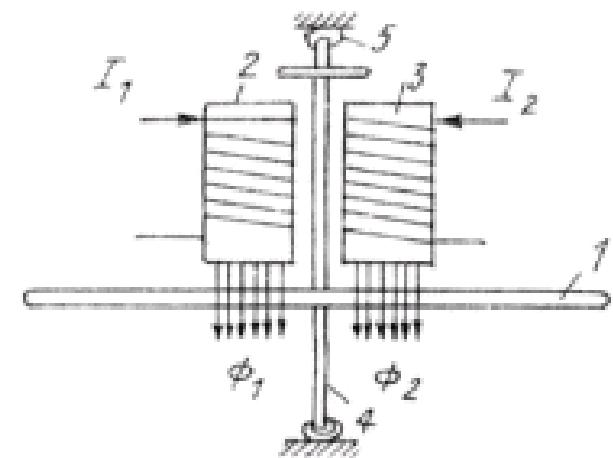
Cơ cấu chỉ thị điện động

- 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



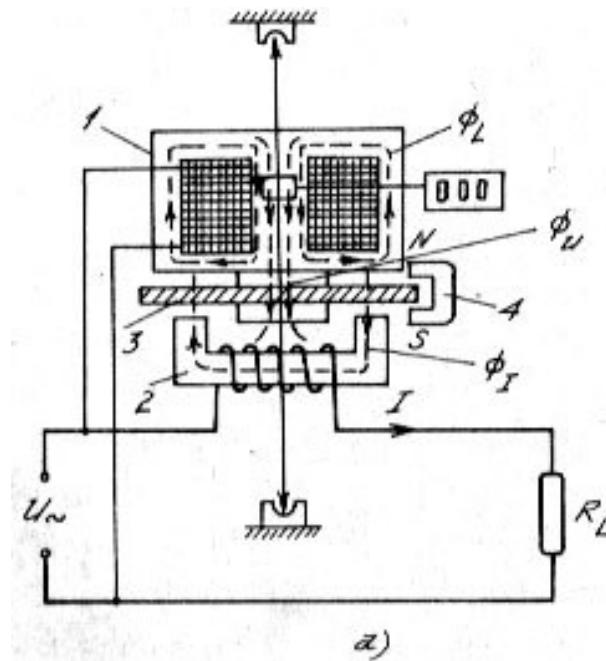
Công tơ một pha

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

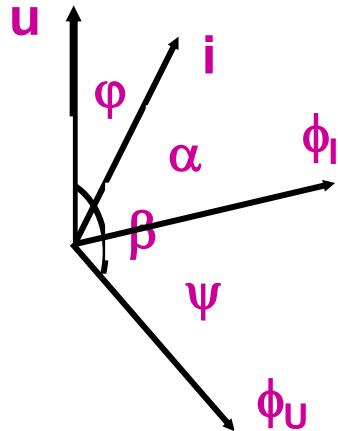
$$Z_u \approx X_u = 2\pi f L_u \Rightarrow \phi_u = k_u \frac{U}{2\pi f L_u} = k_u \frac{U}{f}$$

- 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 từ 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:

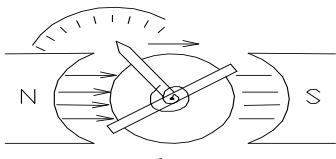
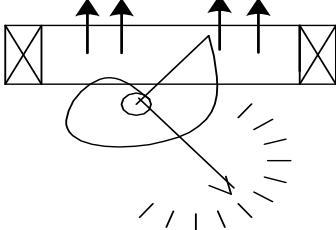
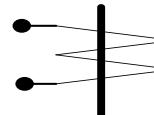
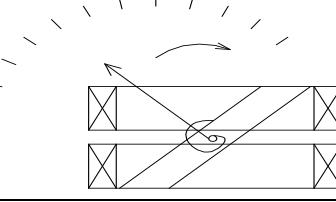
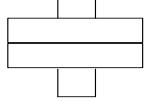
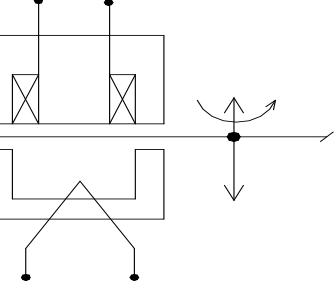
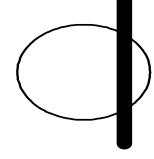
$$M_c = K_c V;$$

- ❖ 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 |

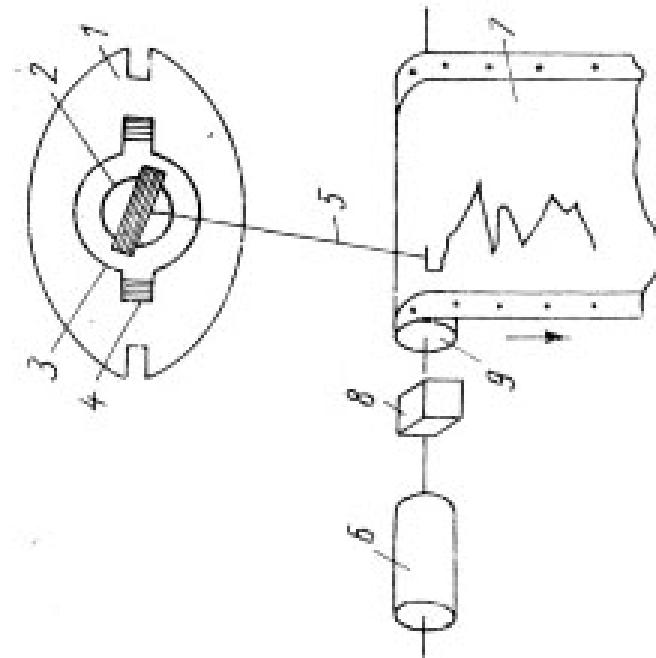
5.2 Cơ cấu chỉ thị tự ghi

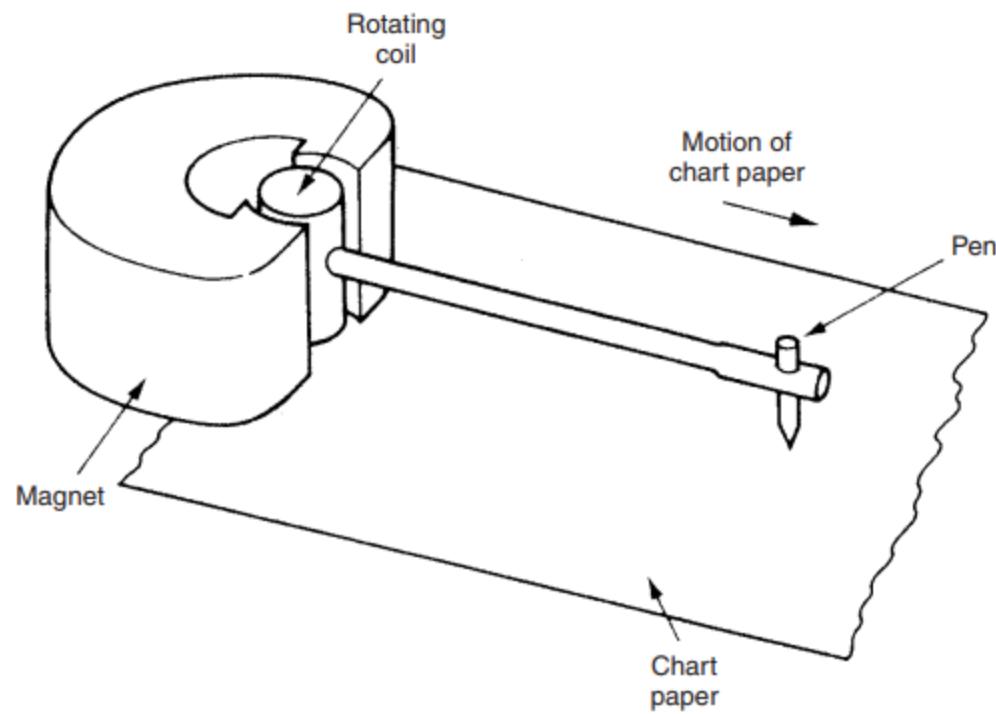
■ **Mục đích sử dụng:** được sử dụng trong các dụng cụ tự động ghi nhằm ghi lại những tín hiệu do thay đổi theo thời gian

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.

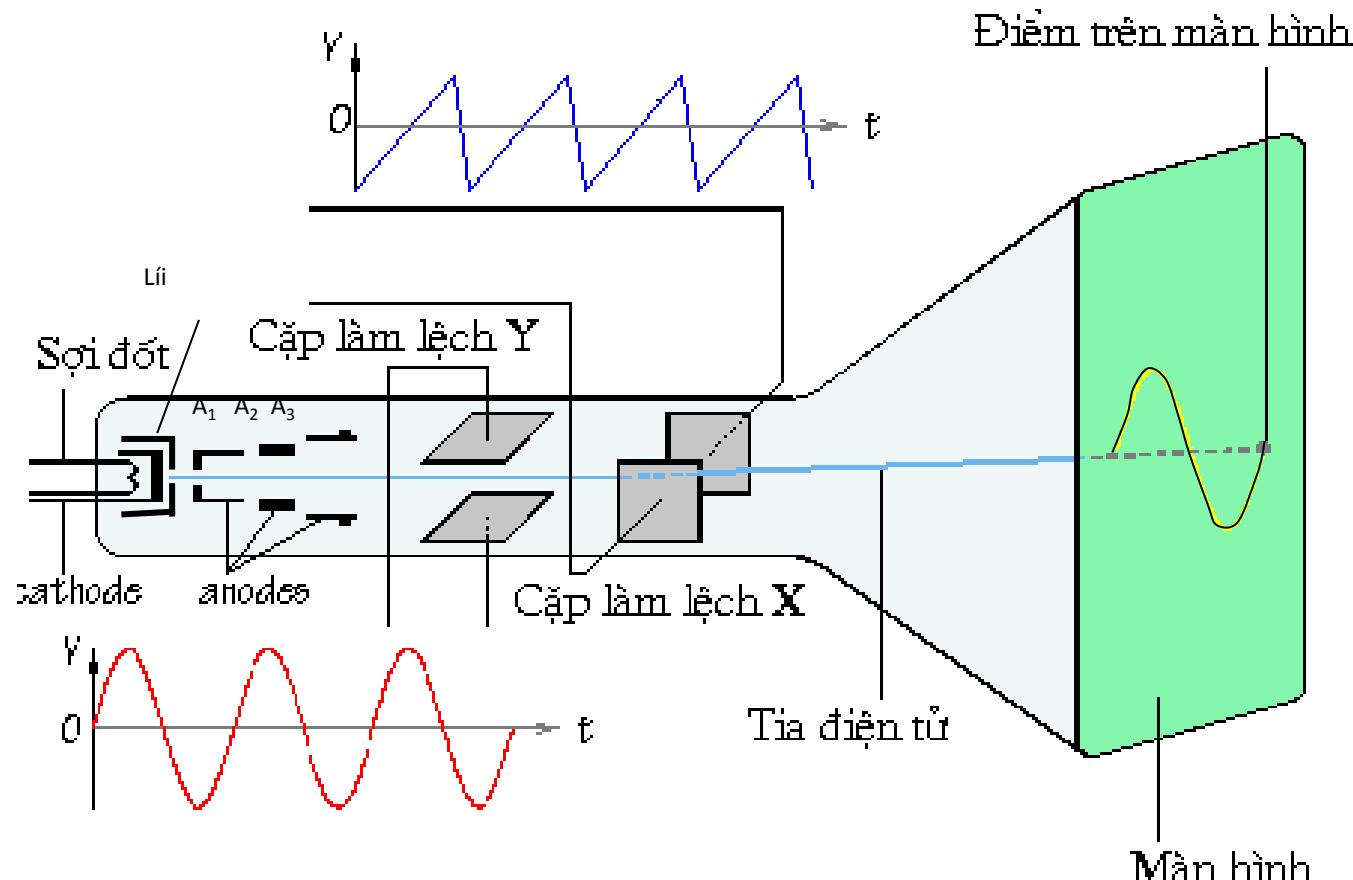
❖ **Phần 2:** thực hiện chuyển động thể hiện quan hệ $x = K(t)$: biến thiên của đại lượng đo theo thời gian. Thường bao gồm: cơ cấu đồng hồ (thường là một động cơ đồng bộ), bộ giảm tốc, quả rulô, băng giấy.



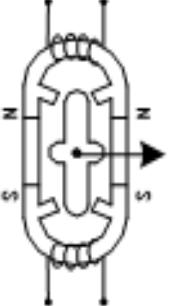
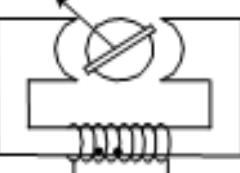
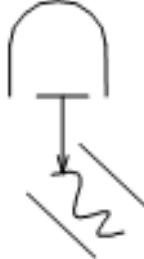
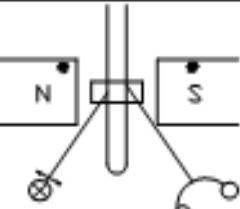
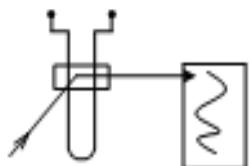


5.2 Cơ cấu chỉ thị tự ghi

- 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

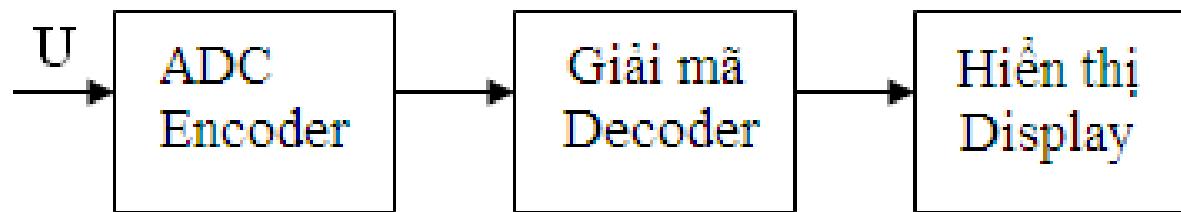
| Tên thiết bị tự ghi | Cơ cấu sử dụng | Cấu tạo | Kiểu bút ghi | Tần số cực đại | Đặc tính ứng dụng (ký hiệu) |
|-----------------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|----------------|--|
| Dụng cụ tự ghi kiểu bút ghi | Từ điện và sắt điện động |   | Mực 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

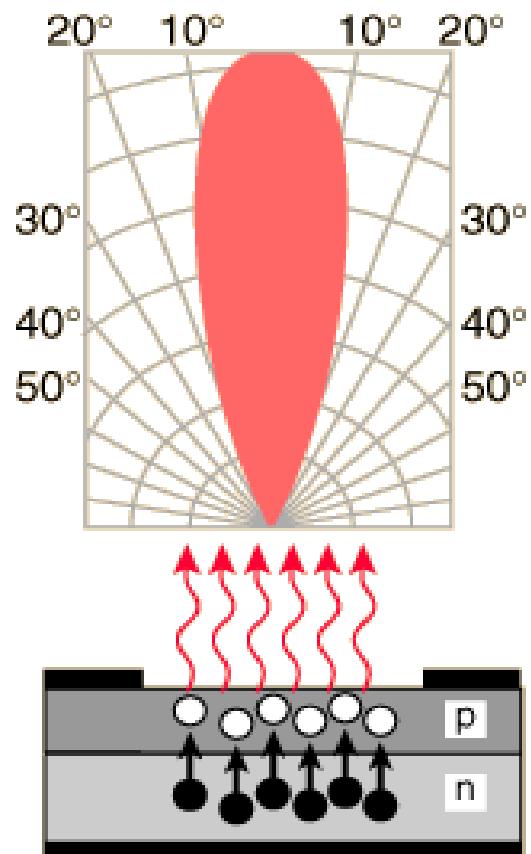
■ CT: chỉ thị số có thể dưới dạng

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

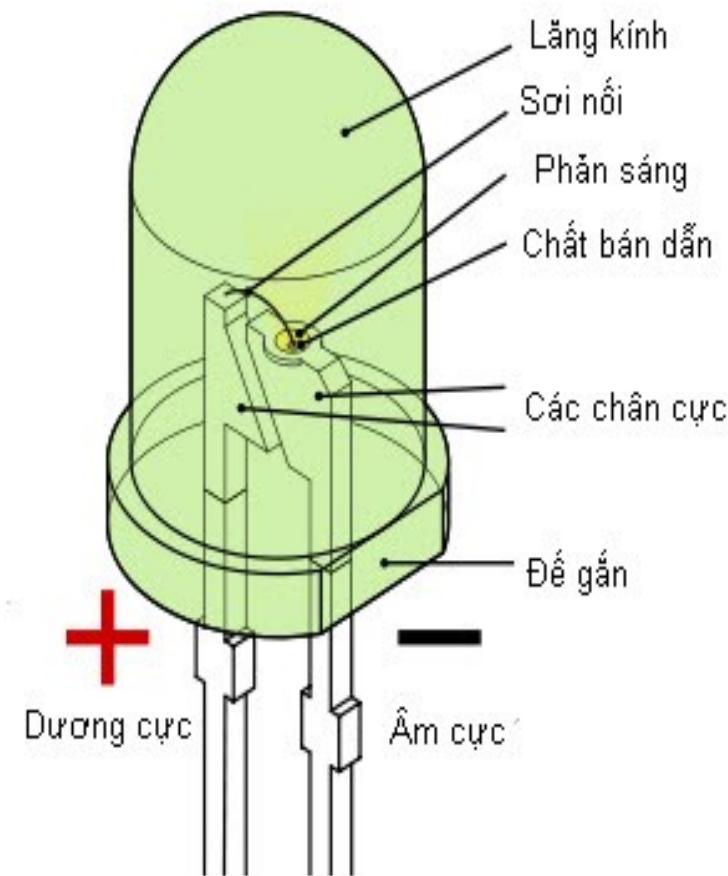
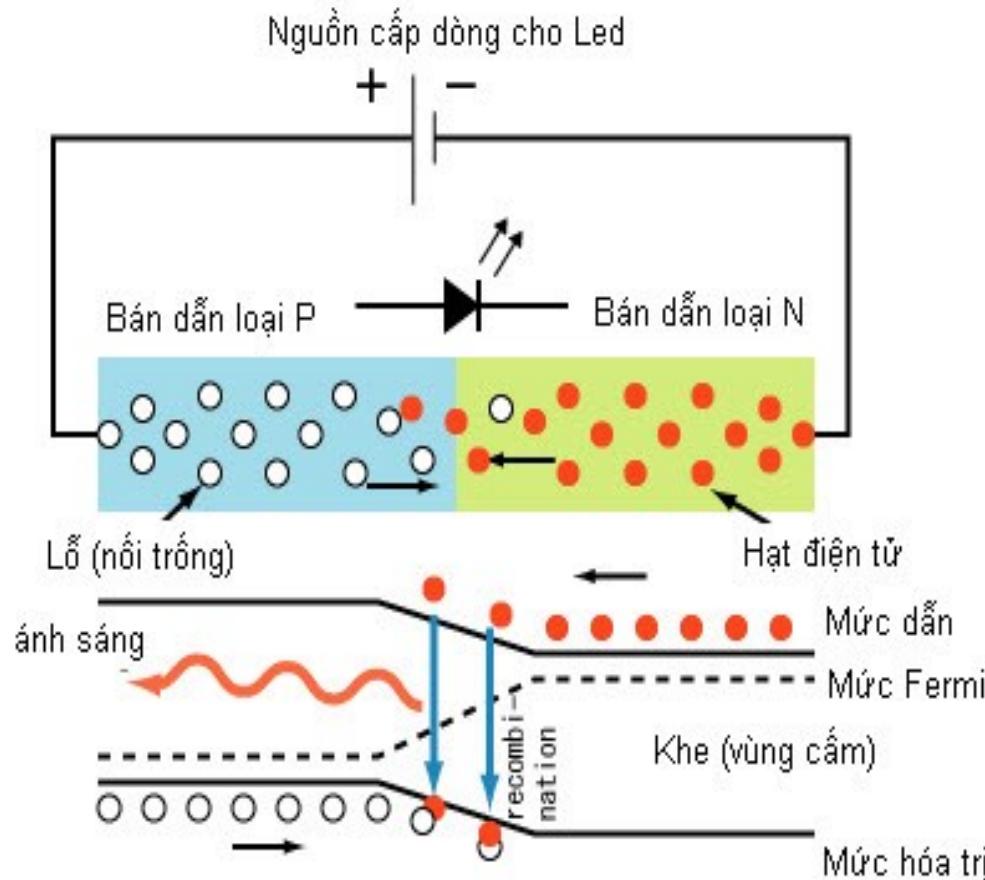
Chỉ thị số

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

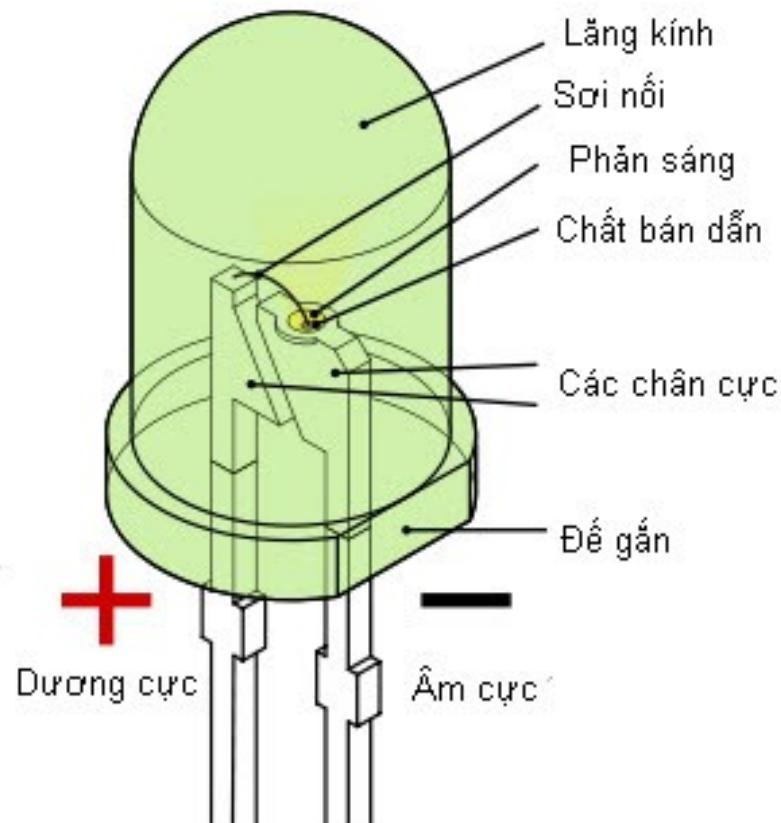


Sự chuyển dời của hạt điện và lỗ qua mối nối PN và hình dạng của LED

Chỉ thị số

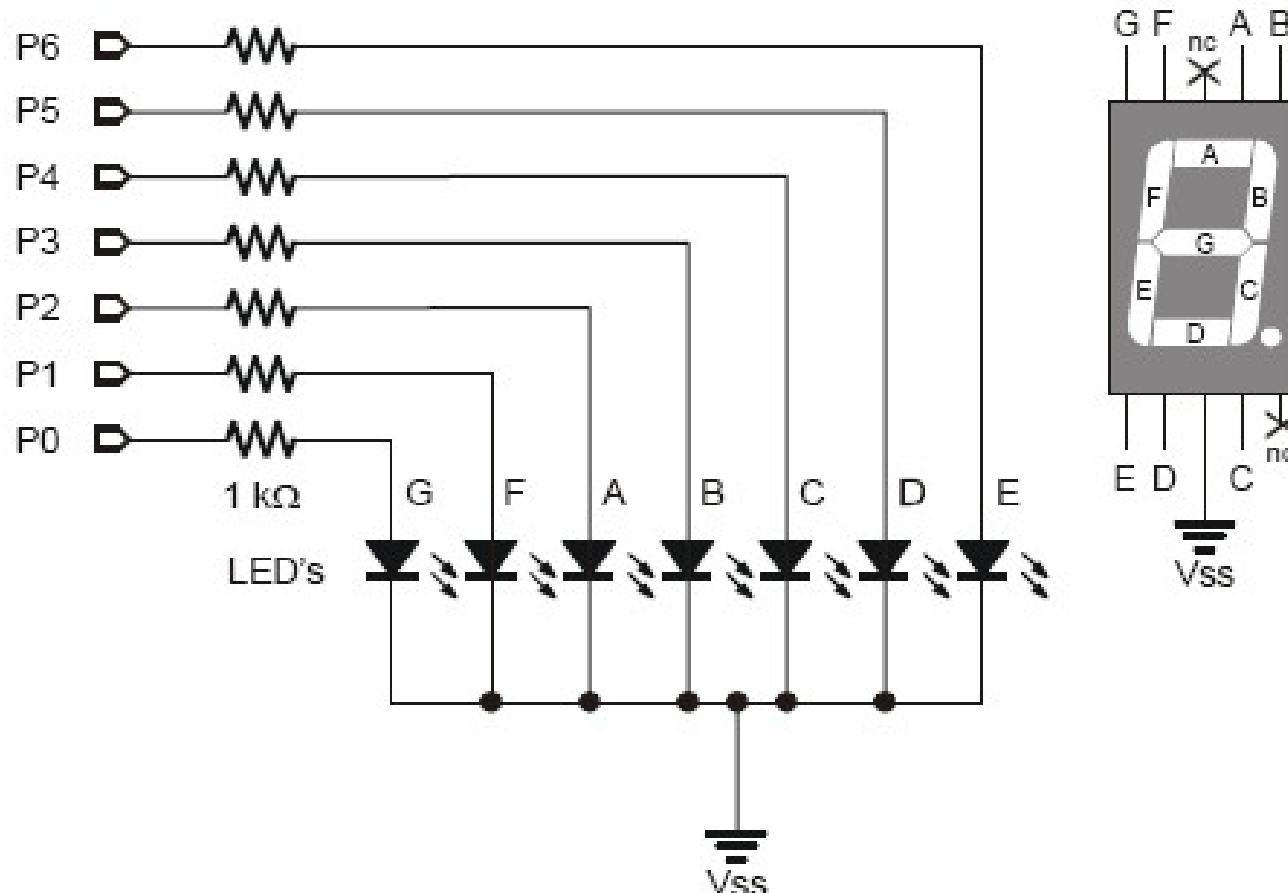
LED (*light emitting diode*)

- 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

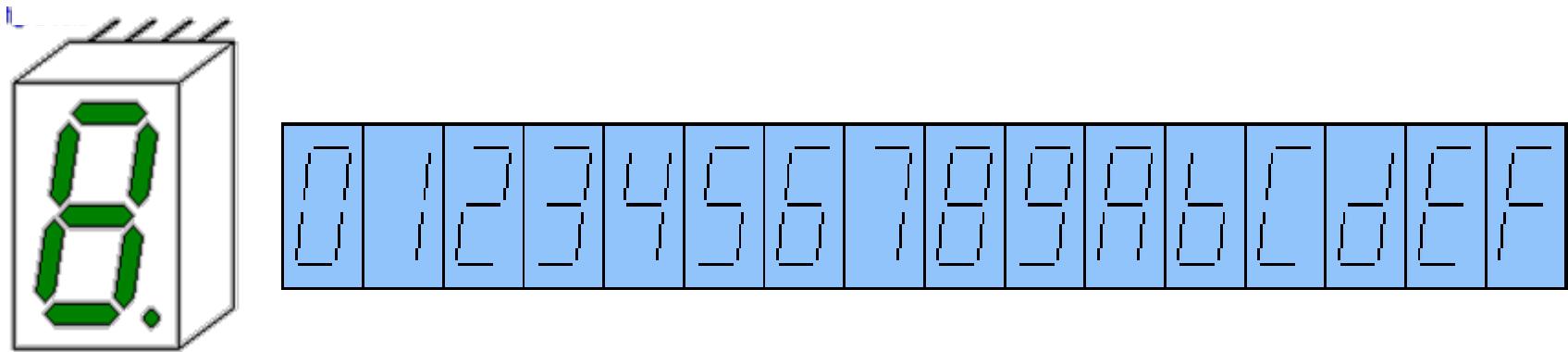
LED 7 thanh



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.

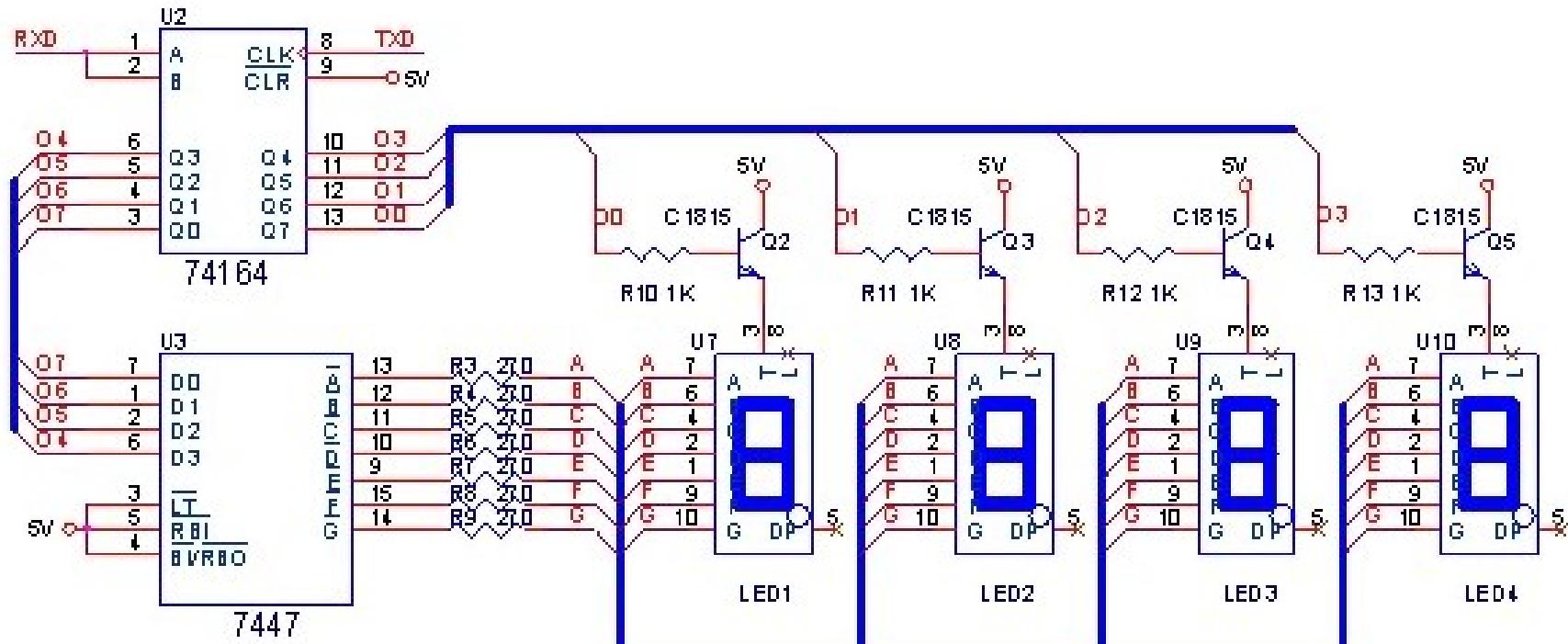
Bộ giải mã

■ 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

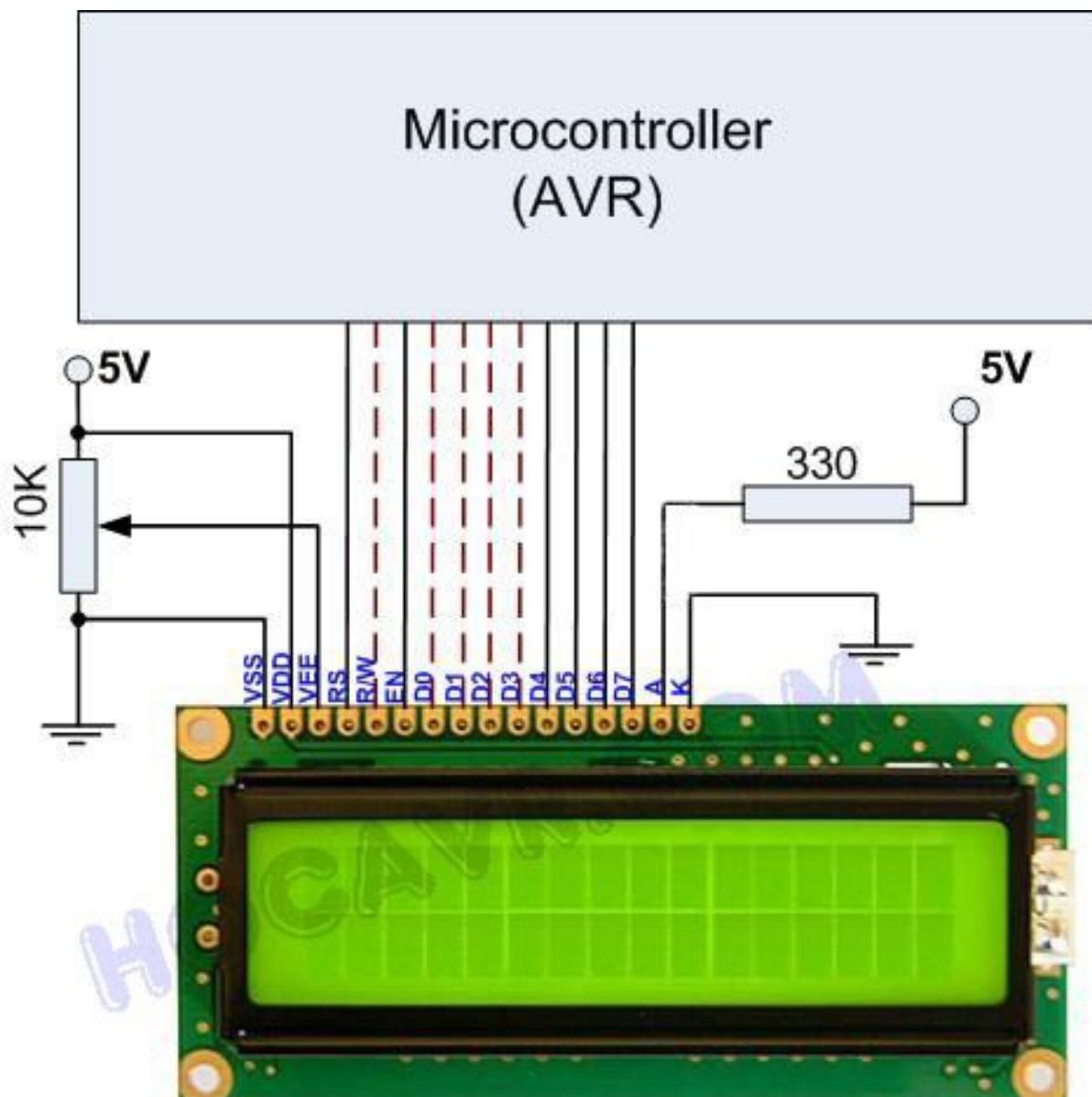
■ Giải mã led 7 thanh



Chỉ thị số

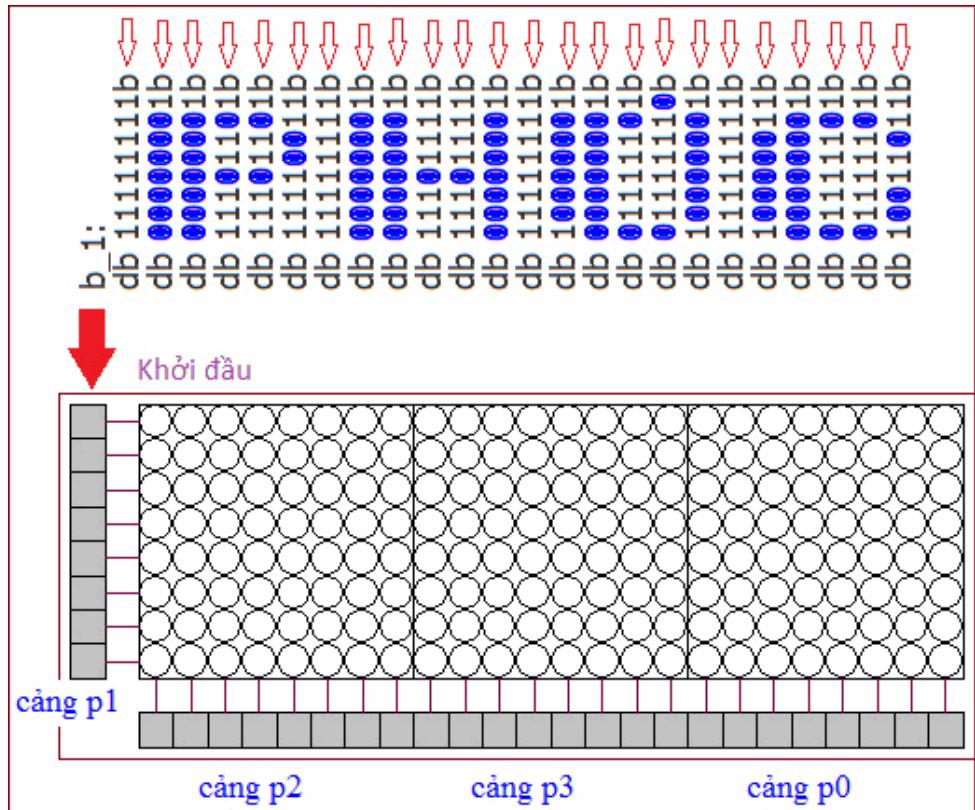
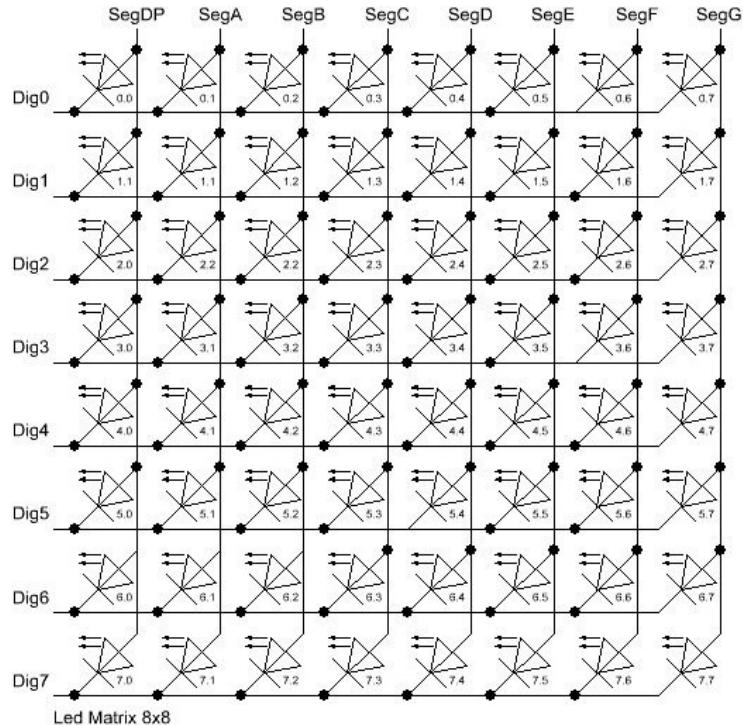
LCD

- 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).

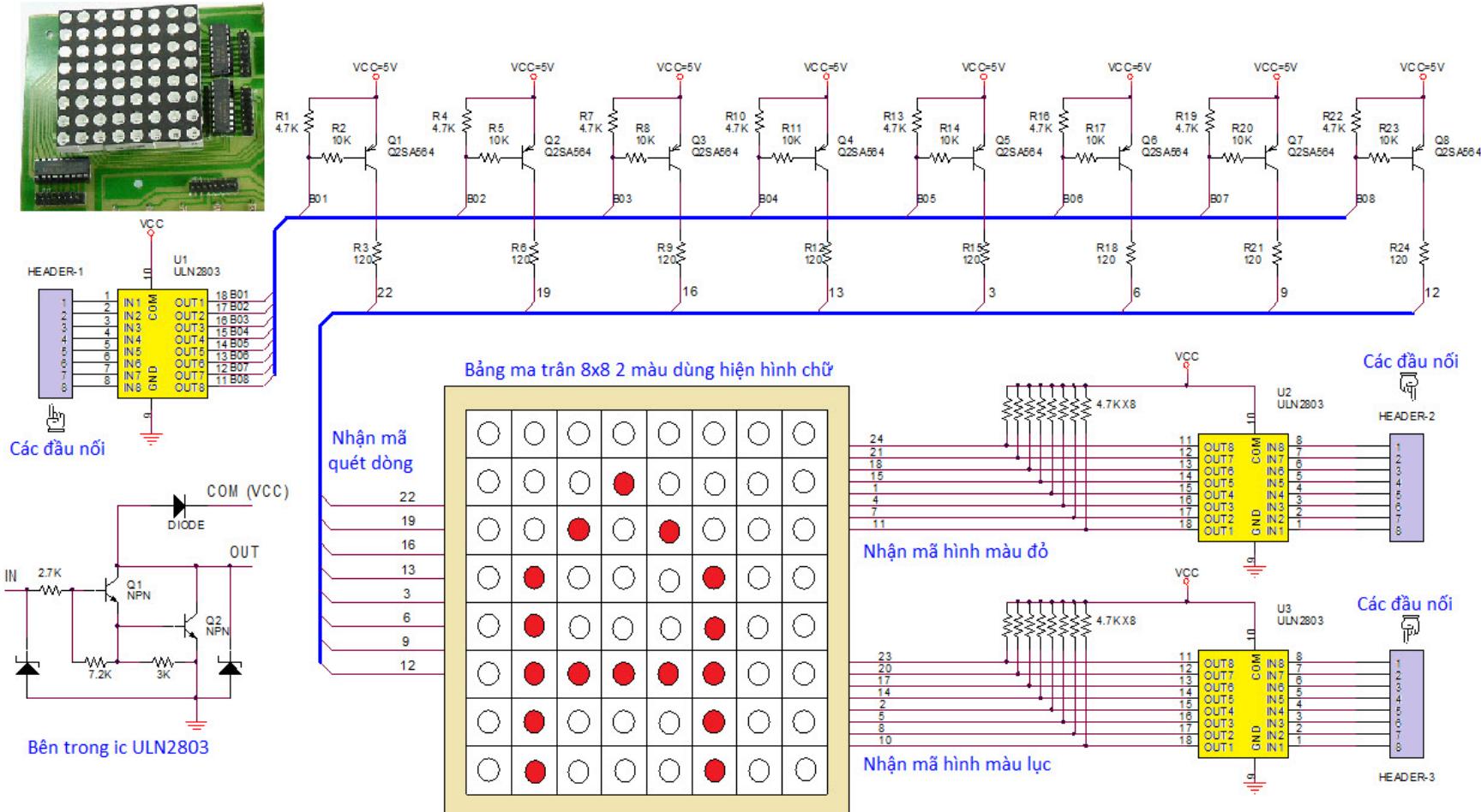


Chỉ thị số

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

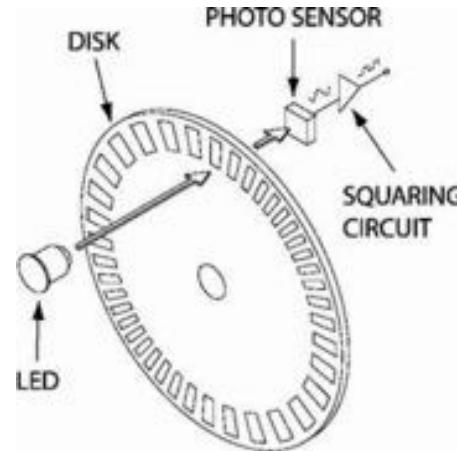
$$N_\alpha = \frac{A_x \alpha_x}{360}$$

- 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

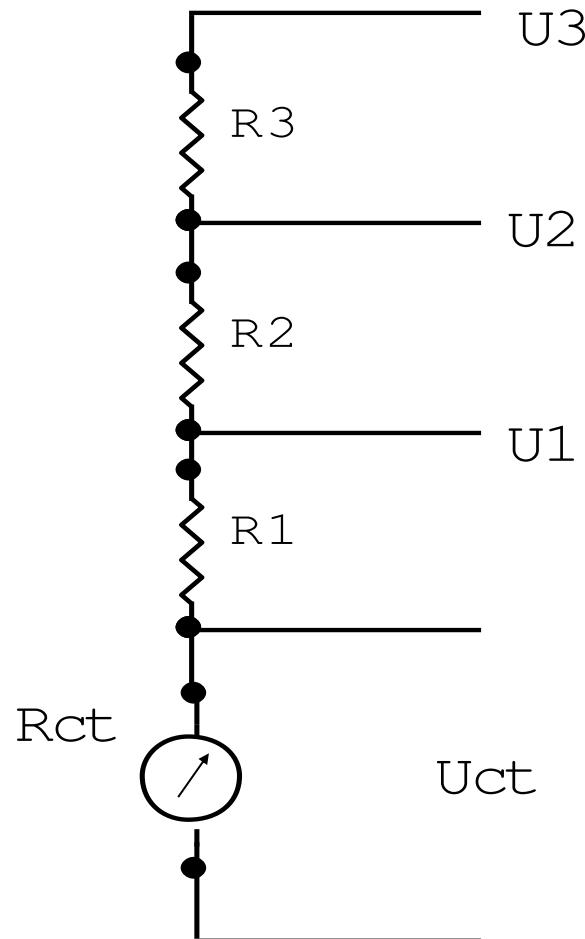
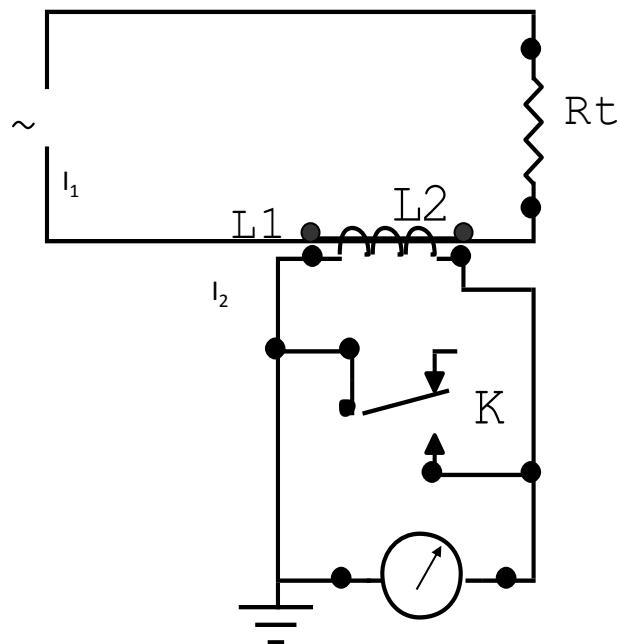
Chức năng và phạm vi làm việc:

- **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

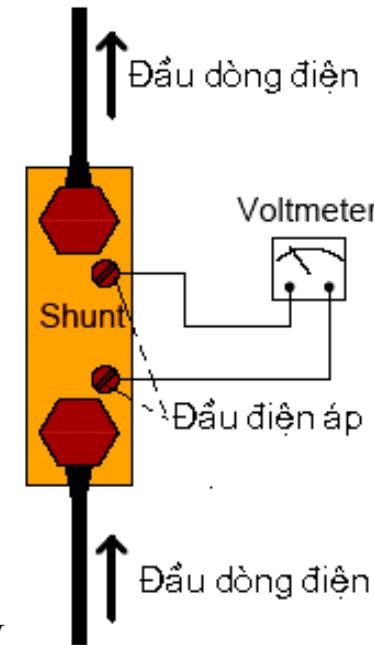
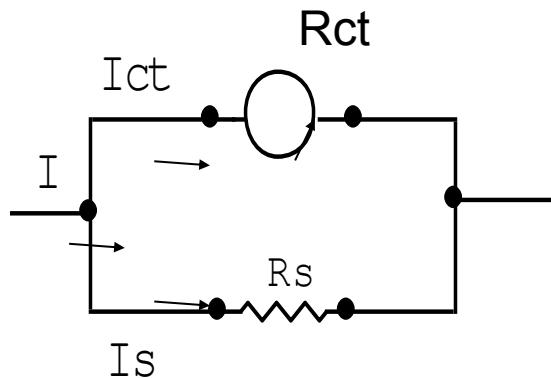


Mạch tỷ lệ dòng

- 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

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

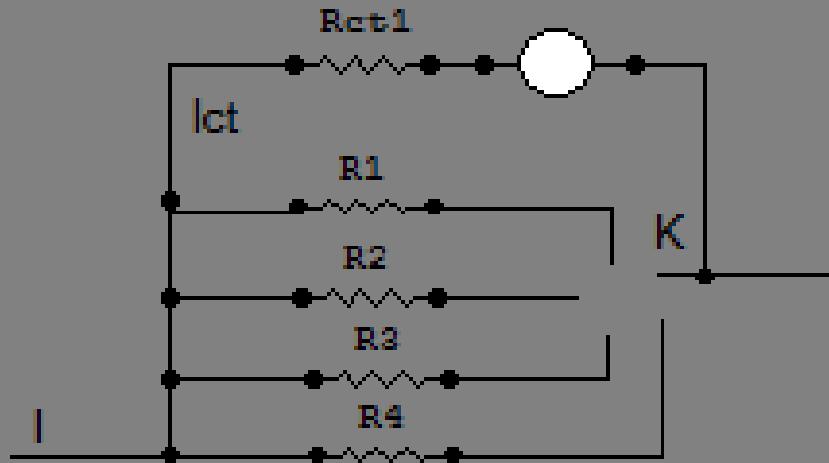
$$n = \frac{I}{I_{ct}}$$



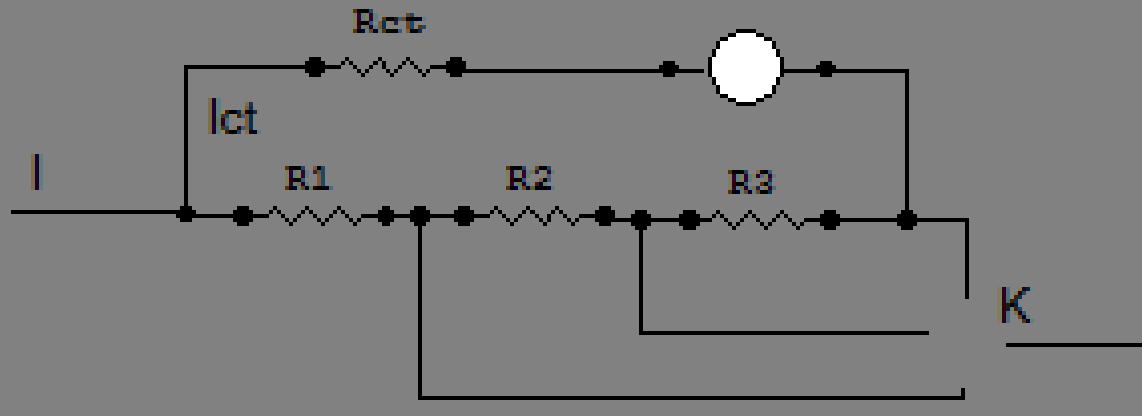
Mạch tỷ lệ dòng

- Có hai cách

Mắc điện trở sun kiểu song song

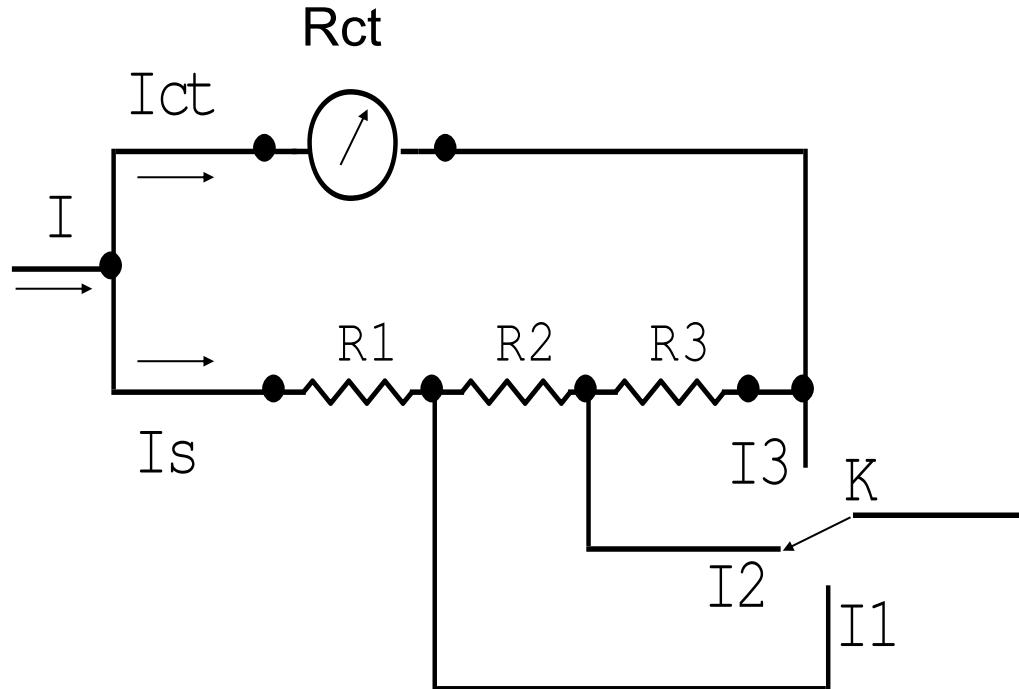


Mắc điện trở sun kiểu nối tiếp



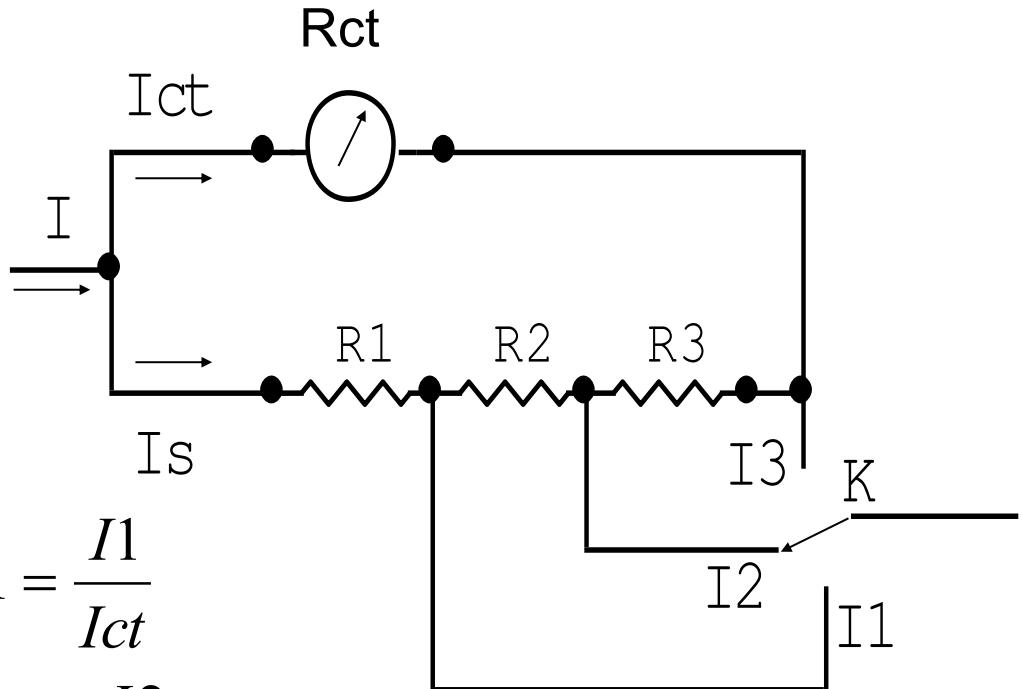
Mạch tỷ lệ dòng

- 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



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

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

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

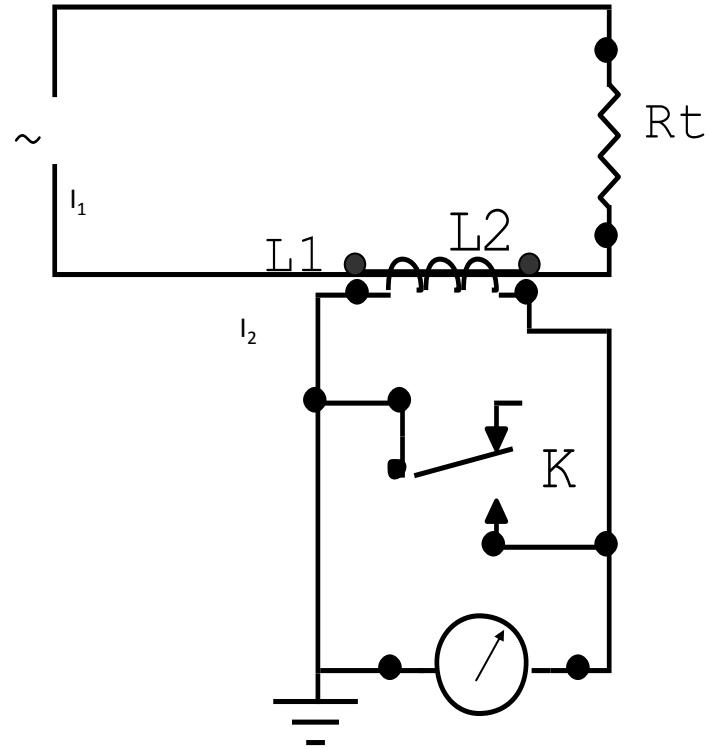
*Dòng xoay chiều nếu muốn dùng điện trở sun để chia thì
tải phải là thuận trở.*

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



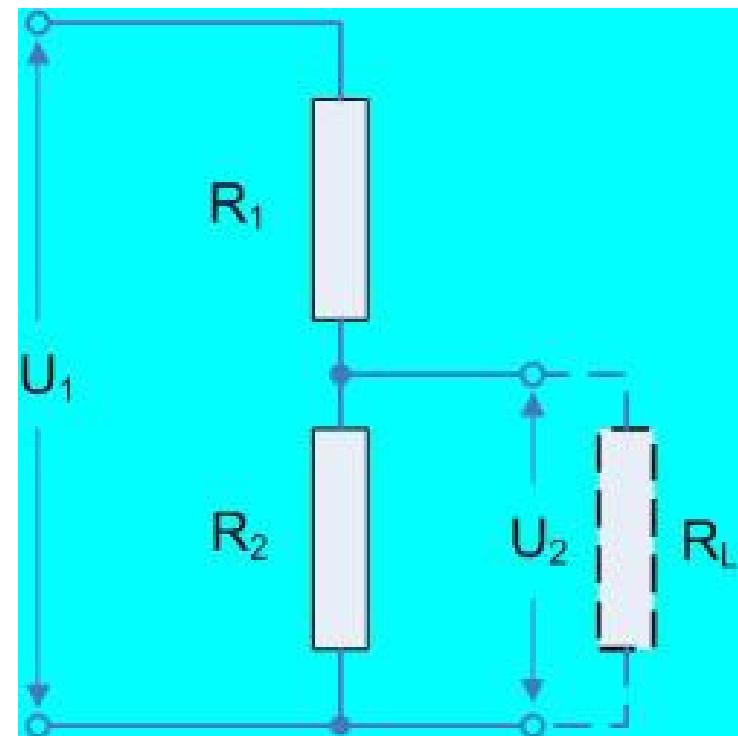
Mạch tỷ lệ dòng

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

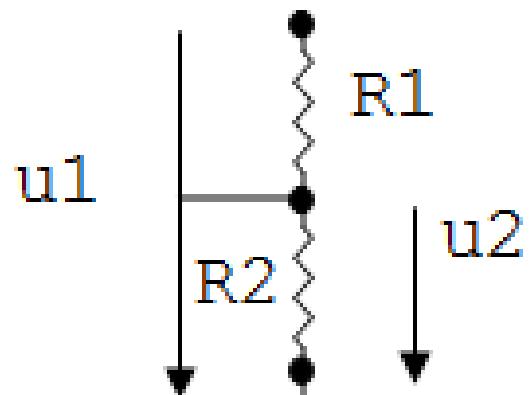
- Mạch phân áp: là mạch phân điện áp, thường có U_2 nhỏ hơn U_1 tức là công suất ra nhỏ hơn công suất vào.
- Các mạch phân áp thường dùng
 - ❖ Mạch phân áp điện trở
 - ❖ Mạch phân áp điện dung
 - ❖ Mạch phân áp điện cảm
 - ❖ Mạch biến áp đo lường



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:

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

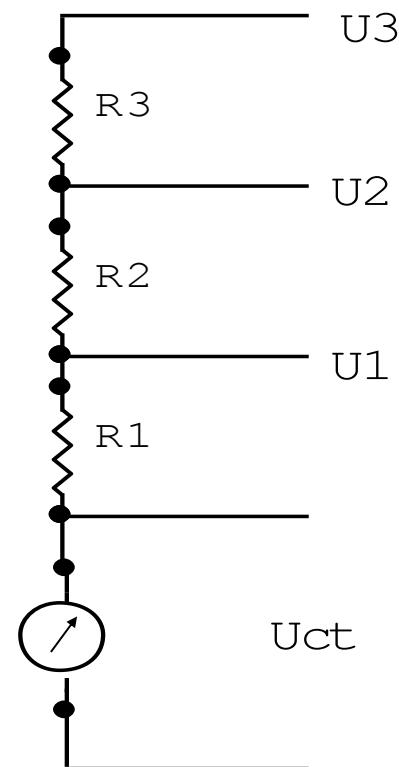
$$m1 = \frac{U1}{U_{ct}}$$

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

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

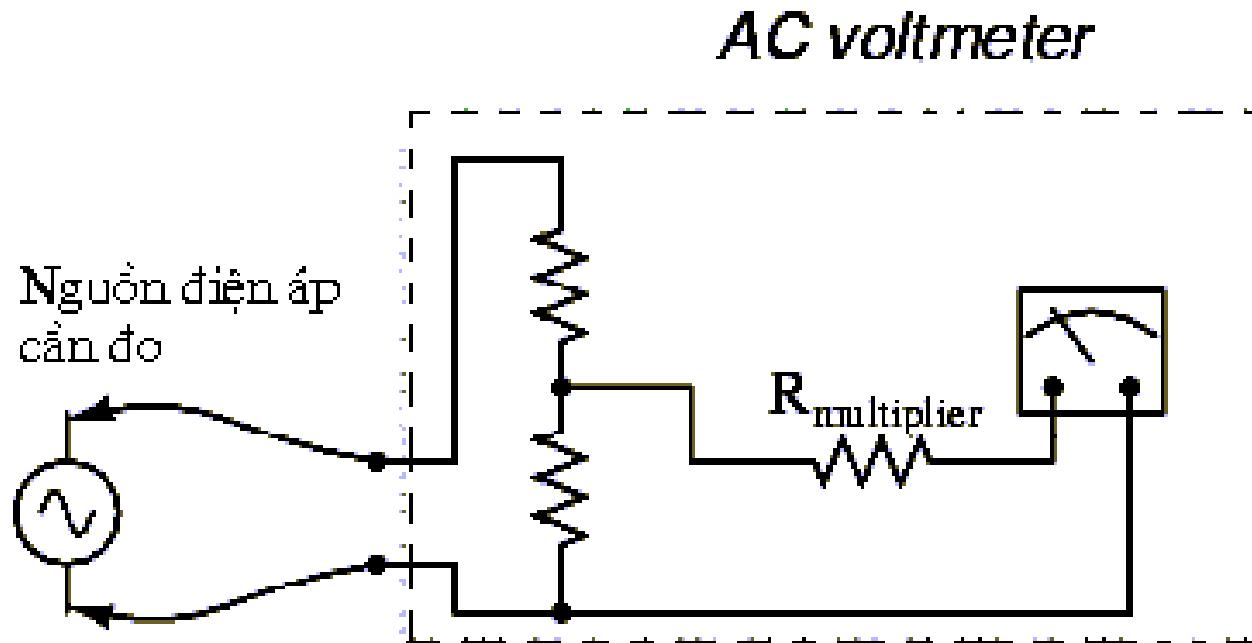
$$Rp3 = R1 + R2 + R3 = Rct(m3 - 1)$$

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



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

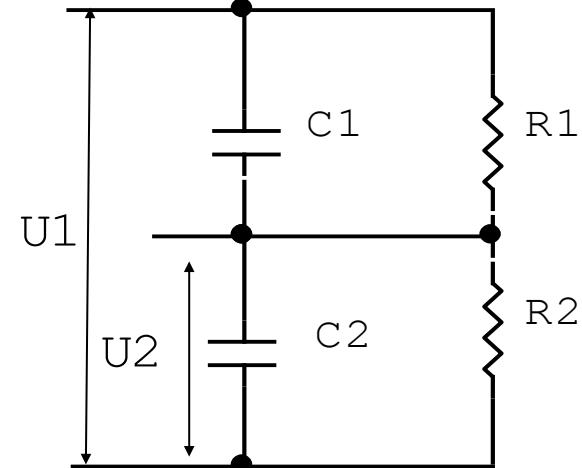
- Mạch này được sử dụng trong mạch xoay chiều.
- Có thể tính m như sau:

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

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

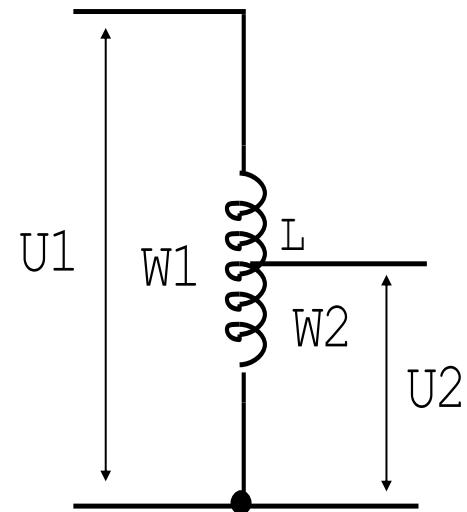
$$m = 1 + \frac{C_2}{C_1}$$

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

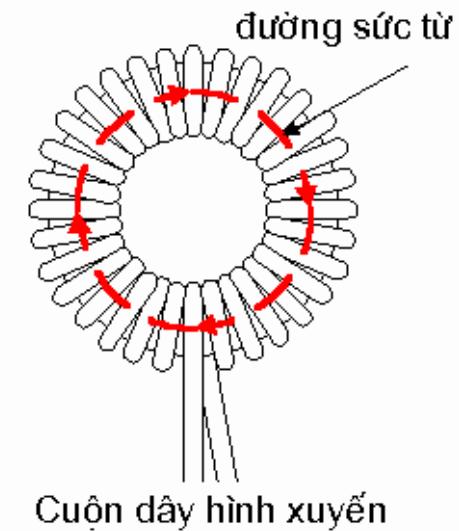
Mạch phân áp điện cảm

- 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.

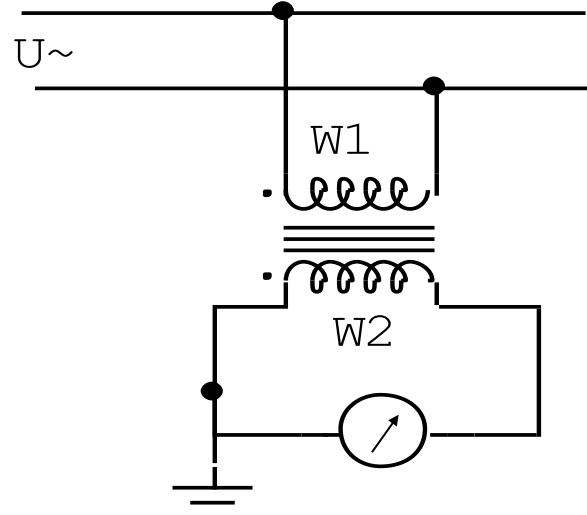


Mạch biến áp đo lường

- 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

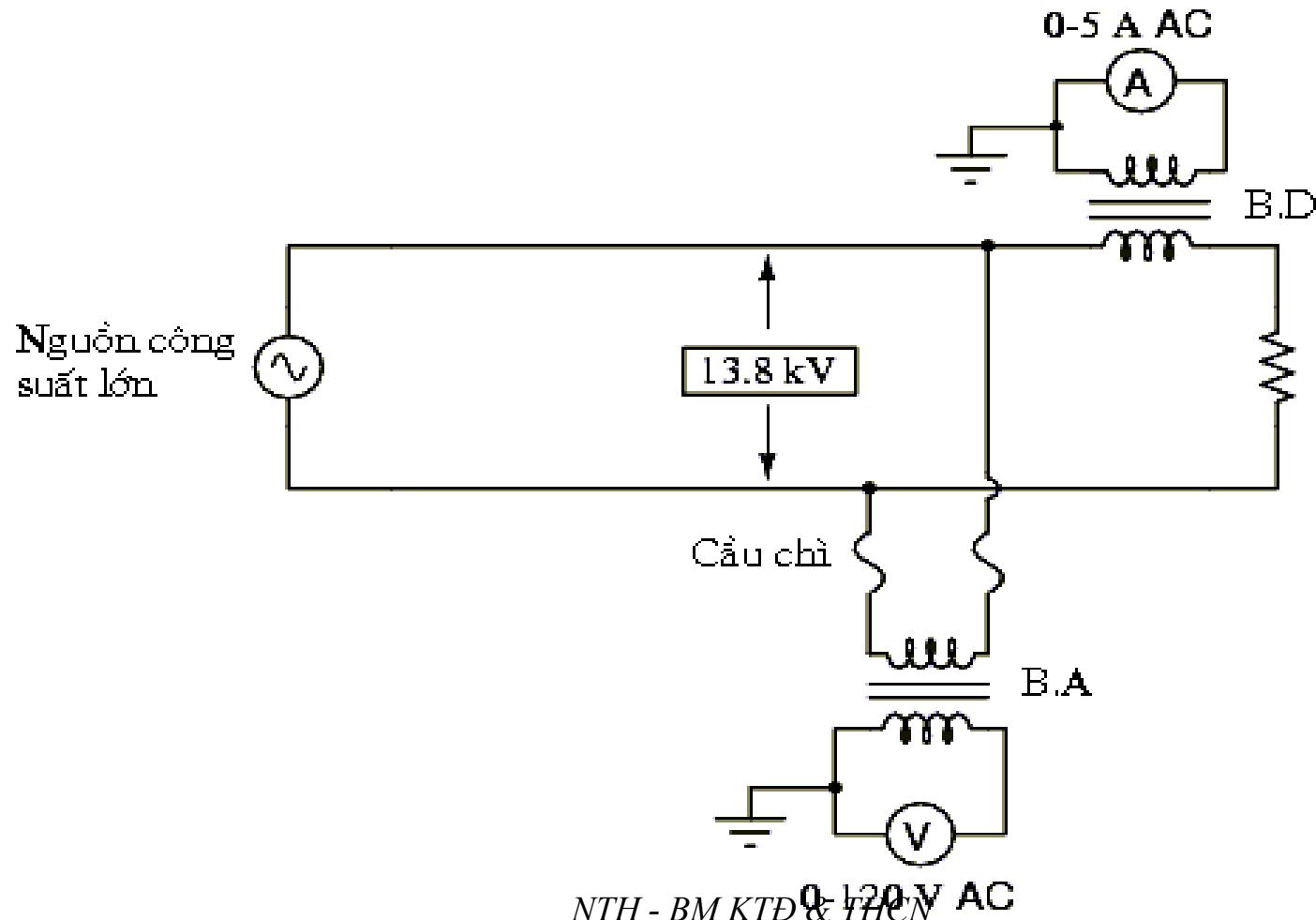
$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

- 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

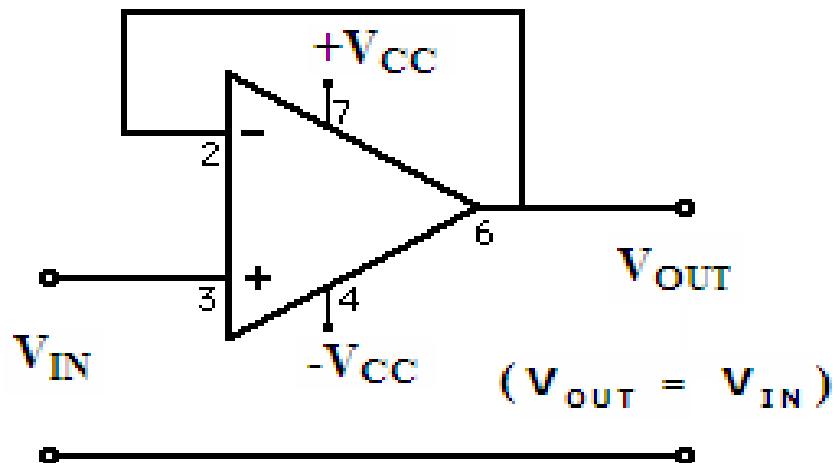
$$X_r = K \cdot X_v$$

- 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

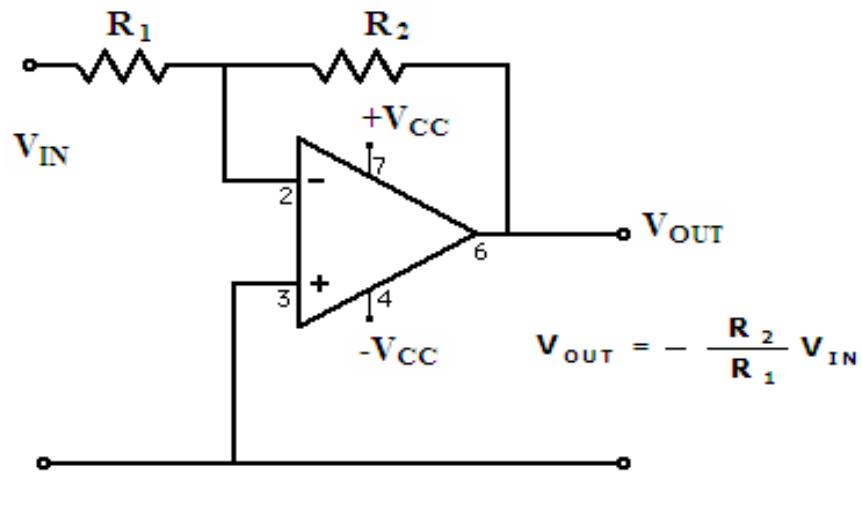
- Mạch này có nhiệm vụ khuếch đại dòng điện lên giá trị lớn hơn còn điện áp có lắp lại như đầu vào hoặc suy giảm chút ít.
- Ví dụ sơ đồ lắp điện áp như hình dưới đây:

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.

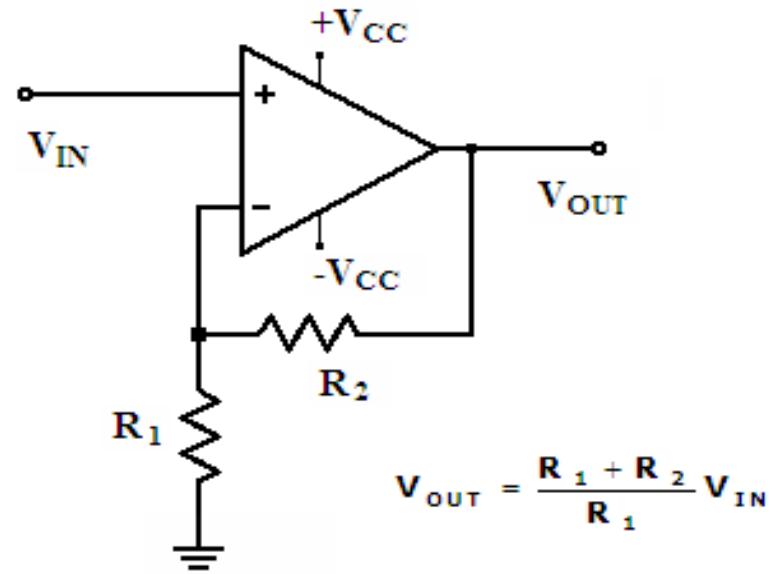


Khuếch đại thuật toán

■ Khuếch đại đảo



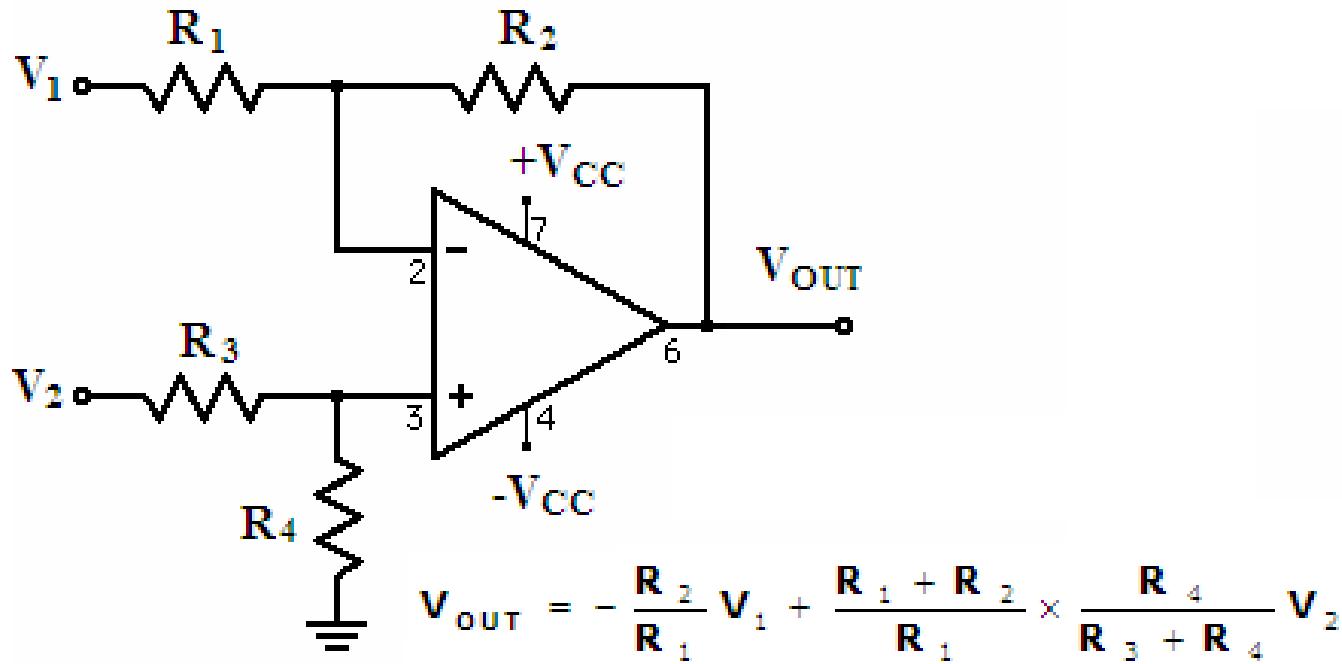
■ Khuếch đại không đảo



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

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

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:

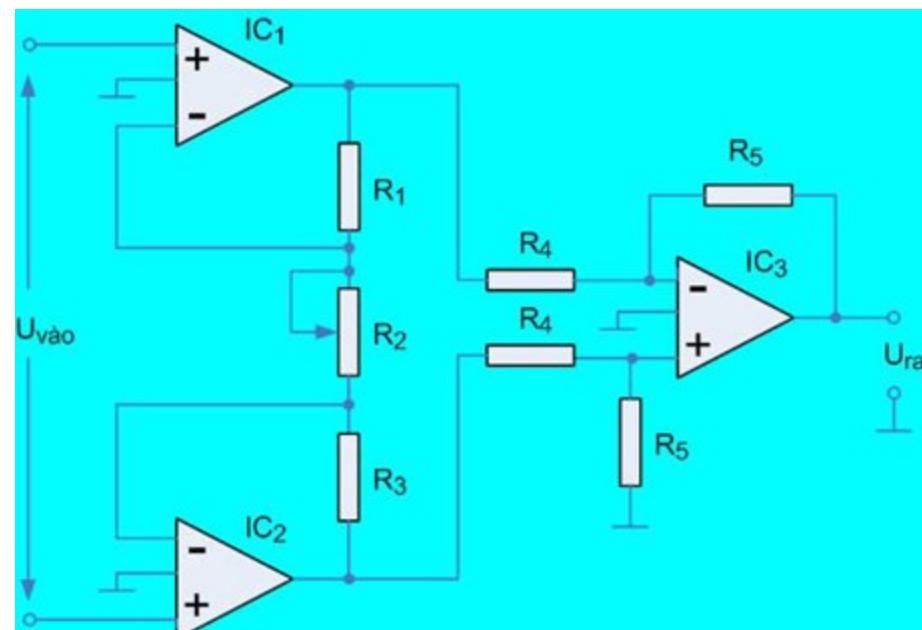
- Tầng 1: hai bộ lặp dùng khuếch đại thuật toán

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

- 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

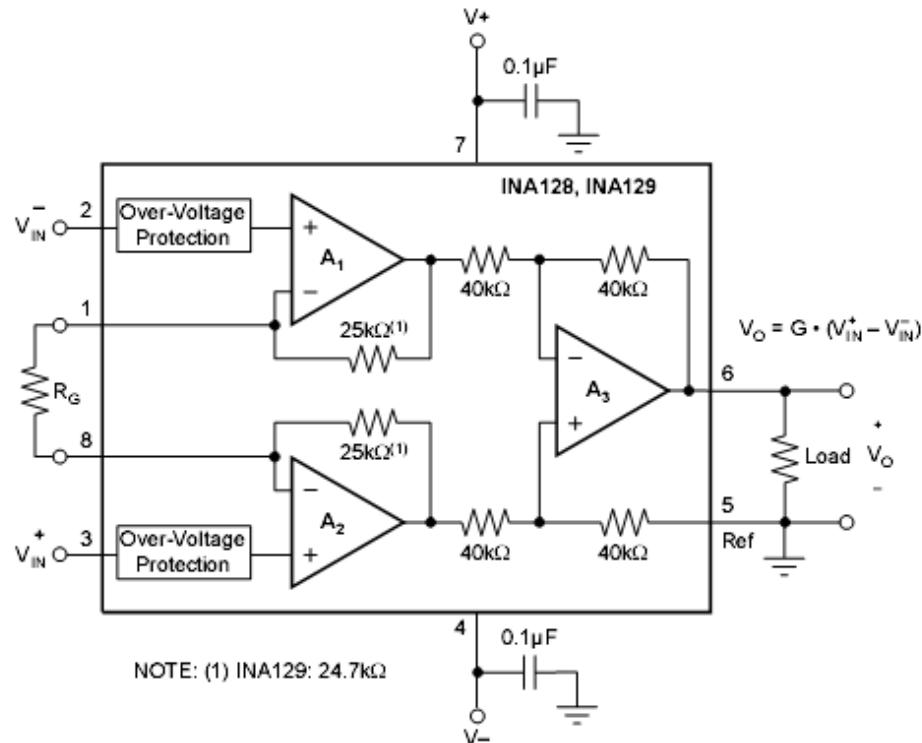
- Một số khuếch đại đo lường trong thực tế: vi mạch INA128, INA129

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

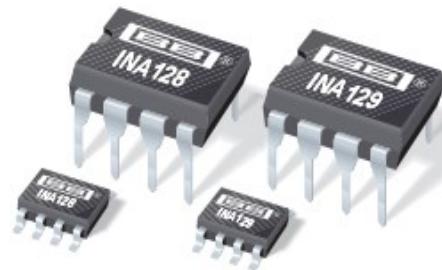
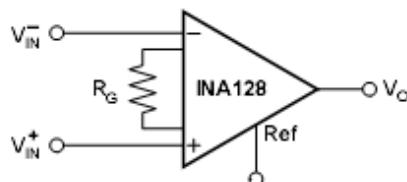
$$\text{INA129: } G = 1 + \frac{49.4\text{k}\Omega}{R_G}$$

| 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.

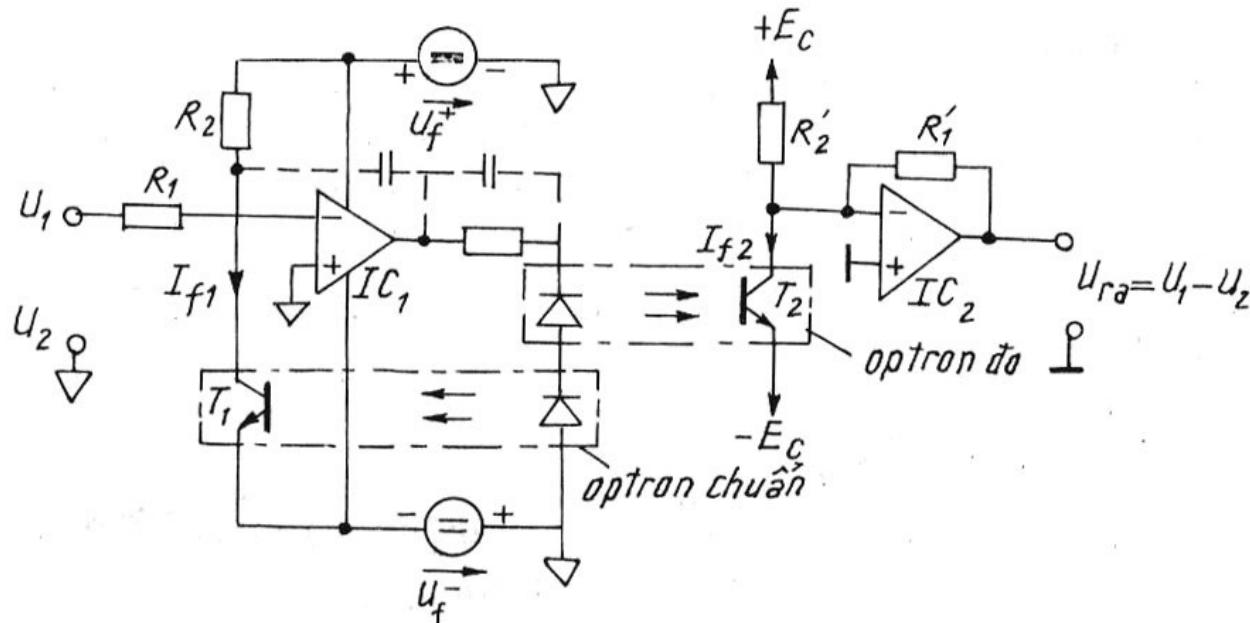


Also drawn in simplified form:



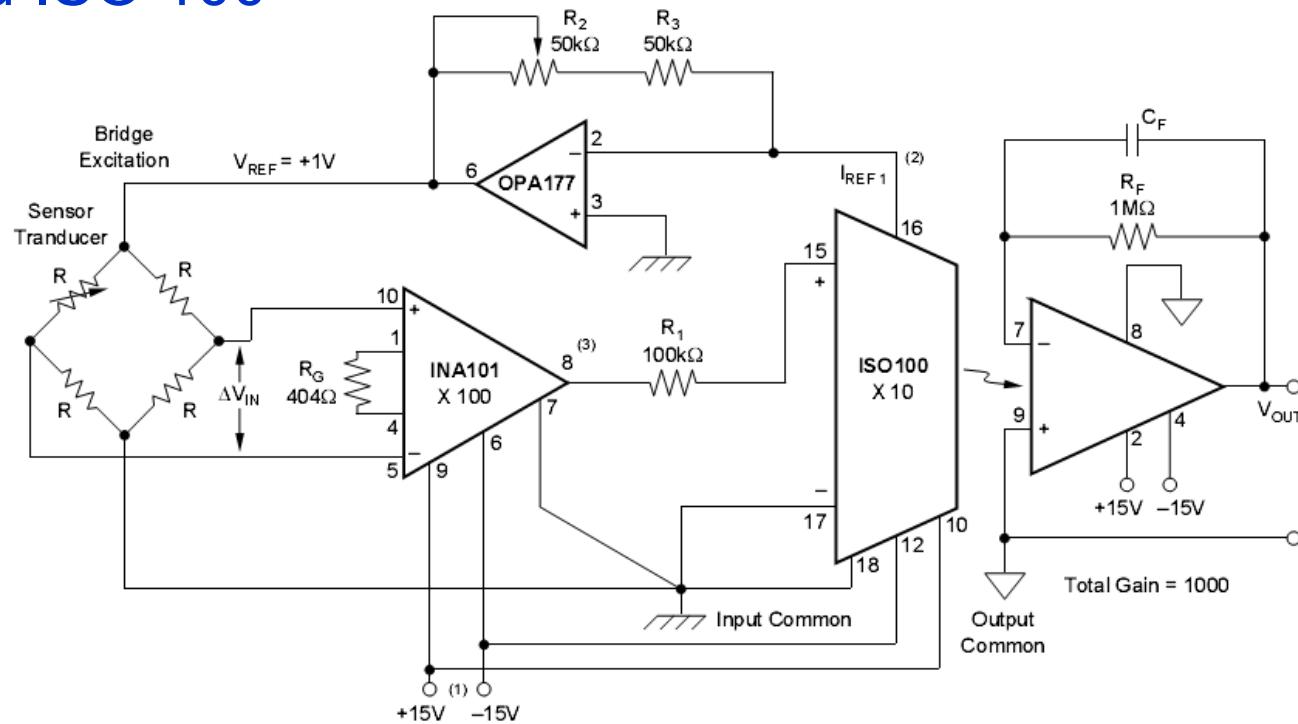
Mạch khuếch đại cách ly

- 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

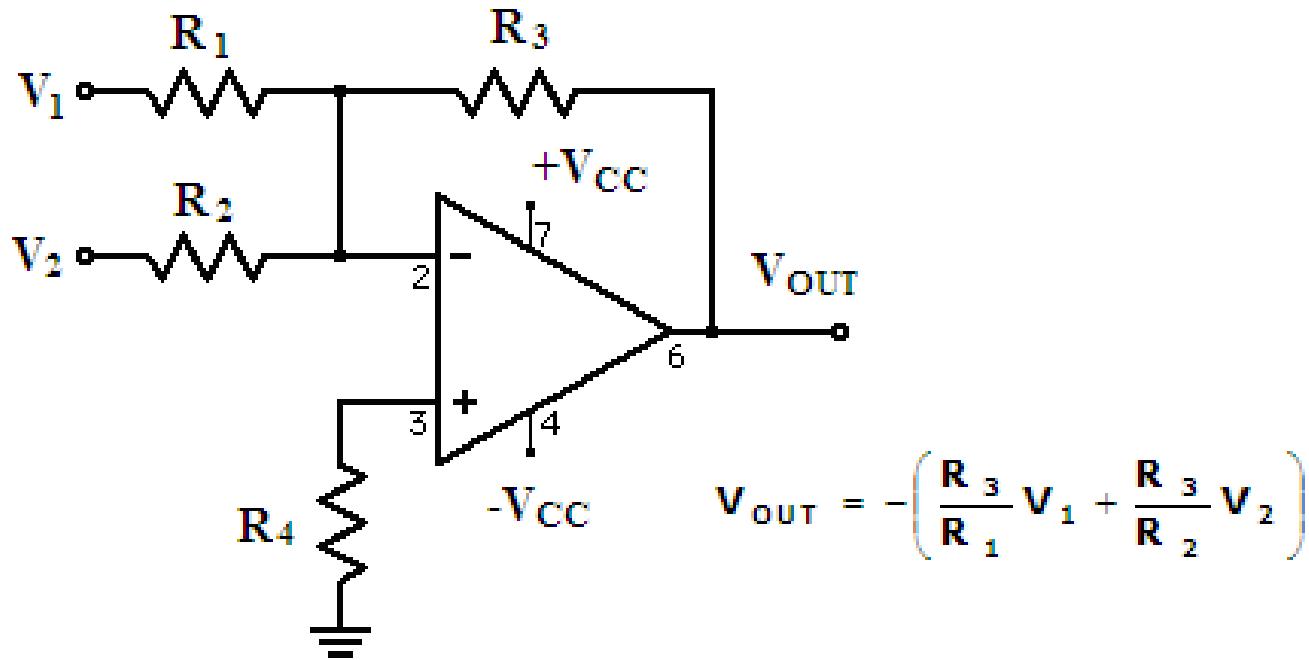


- Trong ví dụ này, điện áp cung cấp cho cầu đo được tạo ra từ nguồn dòng chuẩn bên trong ISO100, I_{REF} .
- Nguồn cung cấp cho hai tầng của ISO100 phải được cách ly với nhau

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 $R_4 = R_3 // R_2 // R_1$

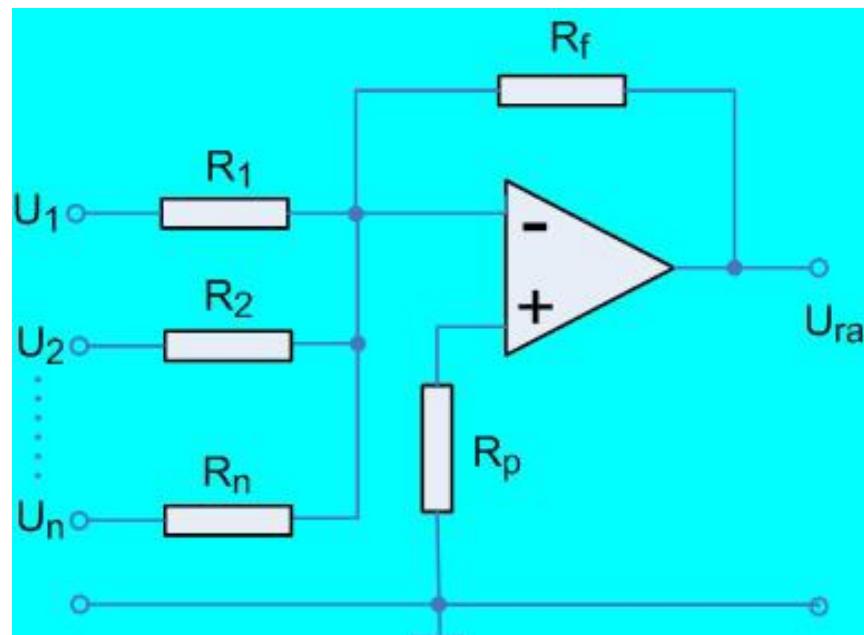
Mạch cộng đảo

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

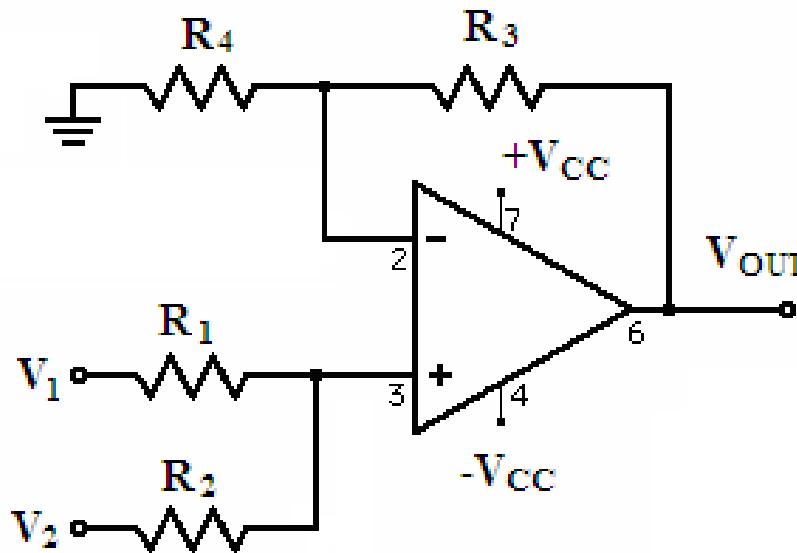
$$U_{ra} = -\frac{R_f}{R_1}U_1 - \frac{R_f}{R_2}U_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}U_n = -\sum_{i=1}^n \frac{R_f}{R_i}U_i$$

- 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 +)

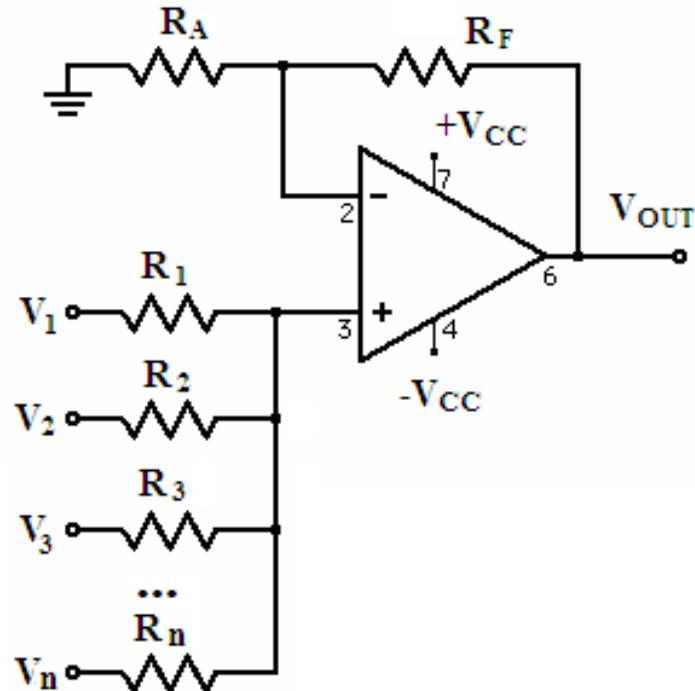
R_{pi} là trị số tương đương song song của n-1 điện trở nối ở lối vào +, không kể điện trở R)

Để đảm bảo cân bằng offset, ta chọn:

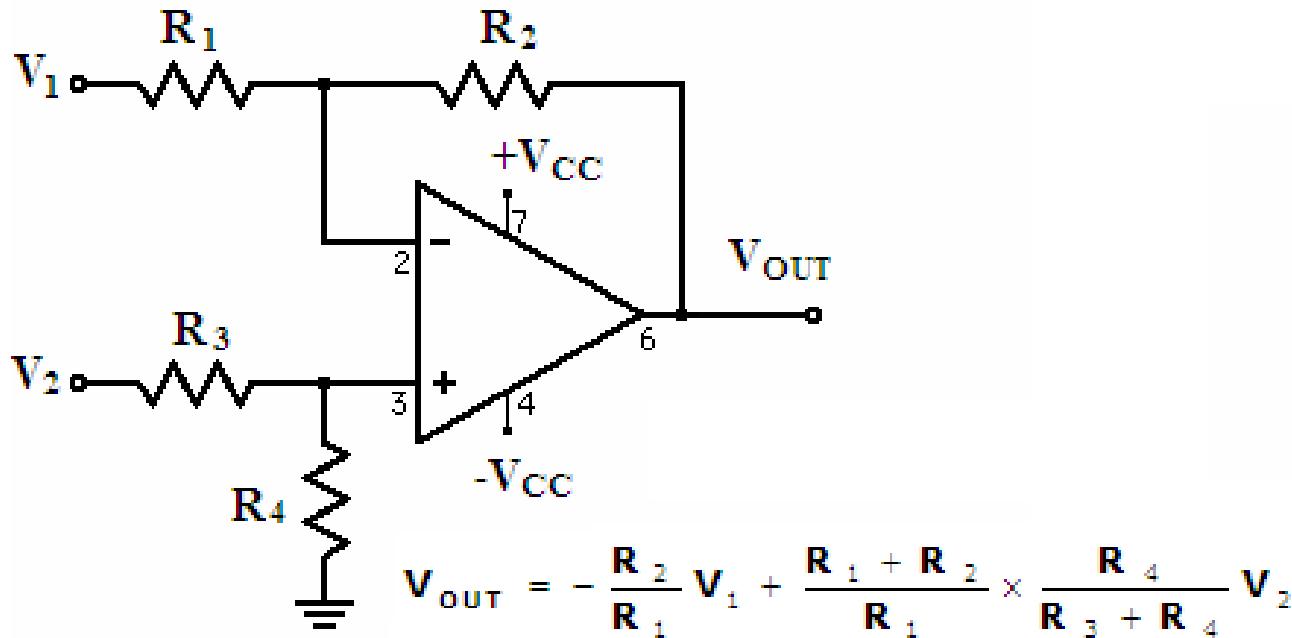
$$R_p = R_A // R_F = \frac{R_A R_F}{R_A + R_F}$$

Khi đó:

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

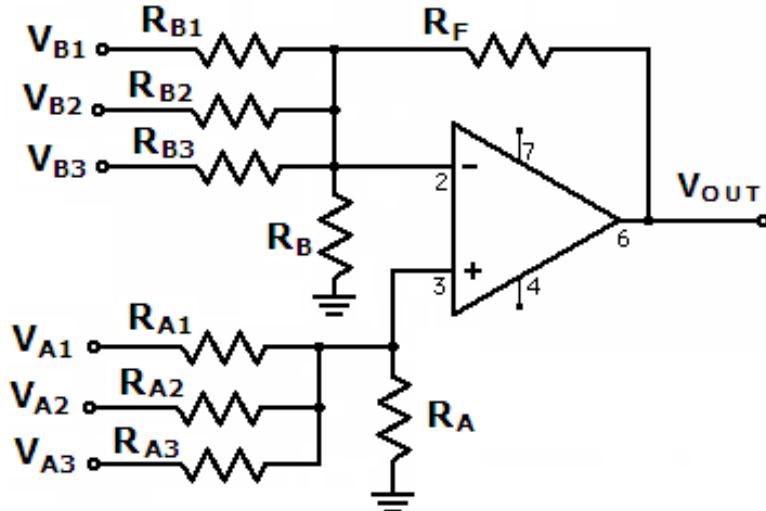


Mạch trùp điện áp



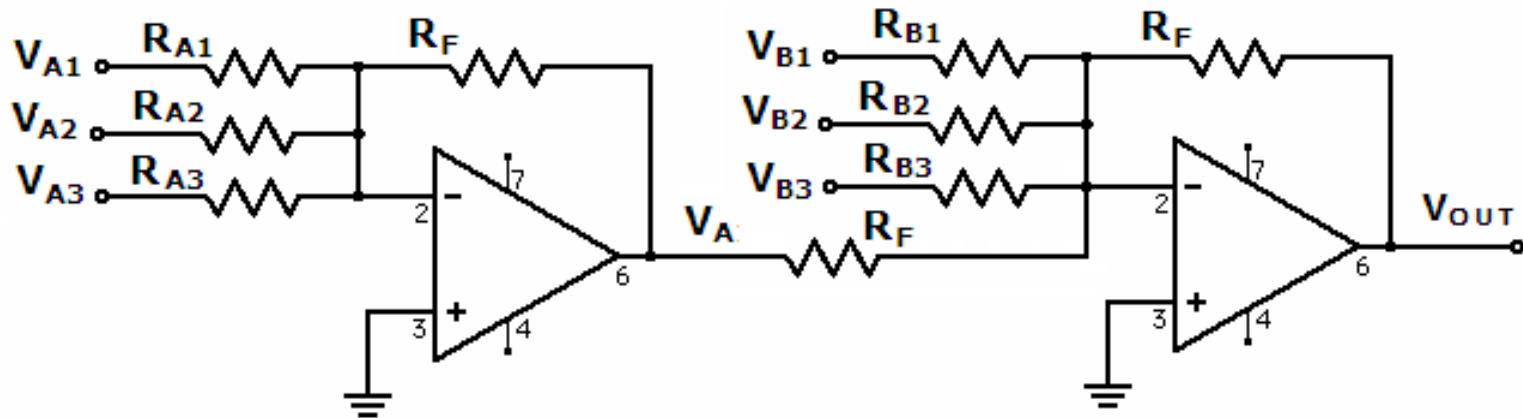
- Mạch đại này đưa điện áp tới cả hai lối vào đảo và không đảo của Op-Amp.
- Điện áp ra của mạch tỷ lệ với hiệu của điện áp ở hai lối vào, với hệ số của các điện áp vào có thể khác nhau

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



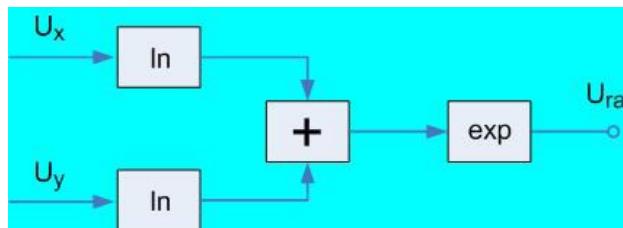
- Với sơ đồ mạch kiểu này, việc tính chọn các điện trở đơn giản hơn
- Mạch theo sơ đồ trước là dạng tổng quát từ đó có thể suy ra cho các mạch tuyến tính khác nhau

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

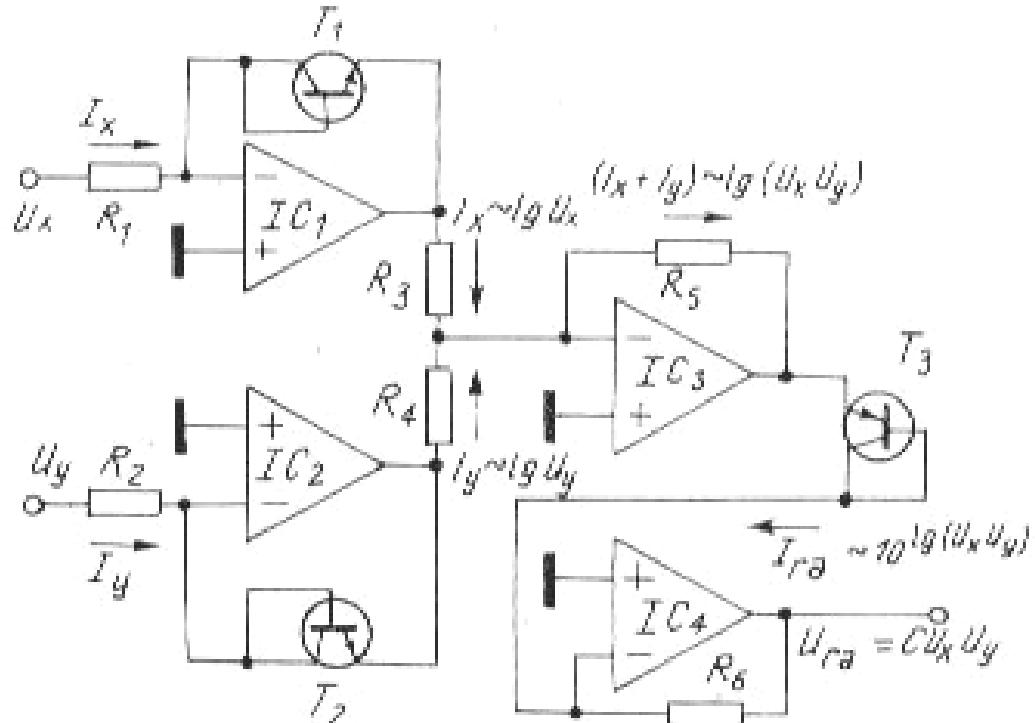
Bộ nhân sử dụng nguyên lý lấy lôgarit và đổi lôgarit:



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

Mạch nhân

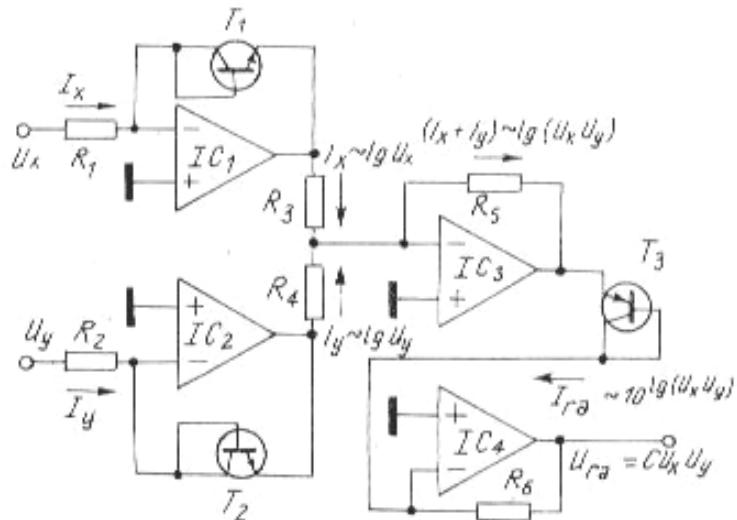
■ IC₃ là mạch cộng

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

■ 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)...



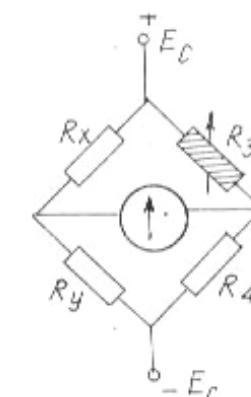
Mạch chia

- 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

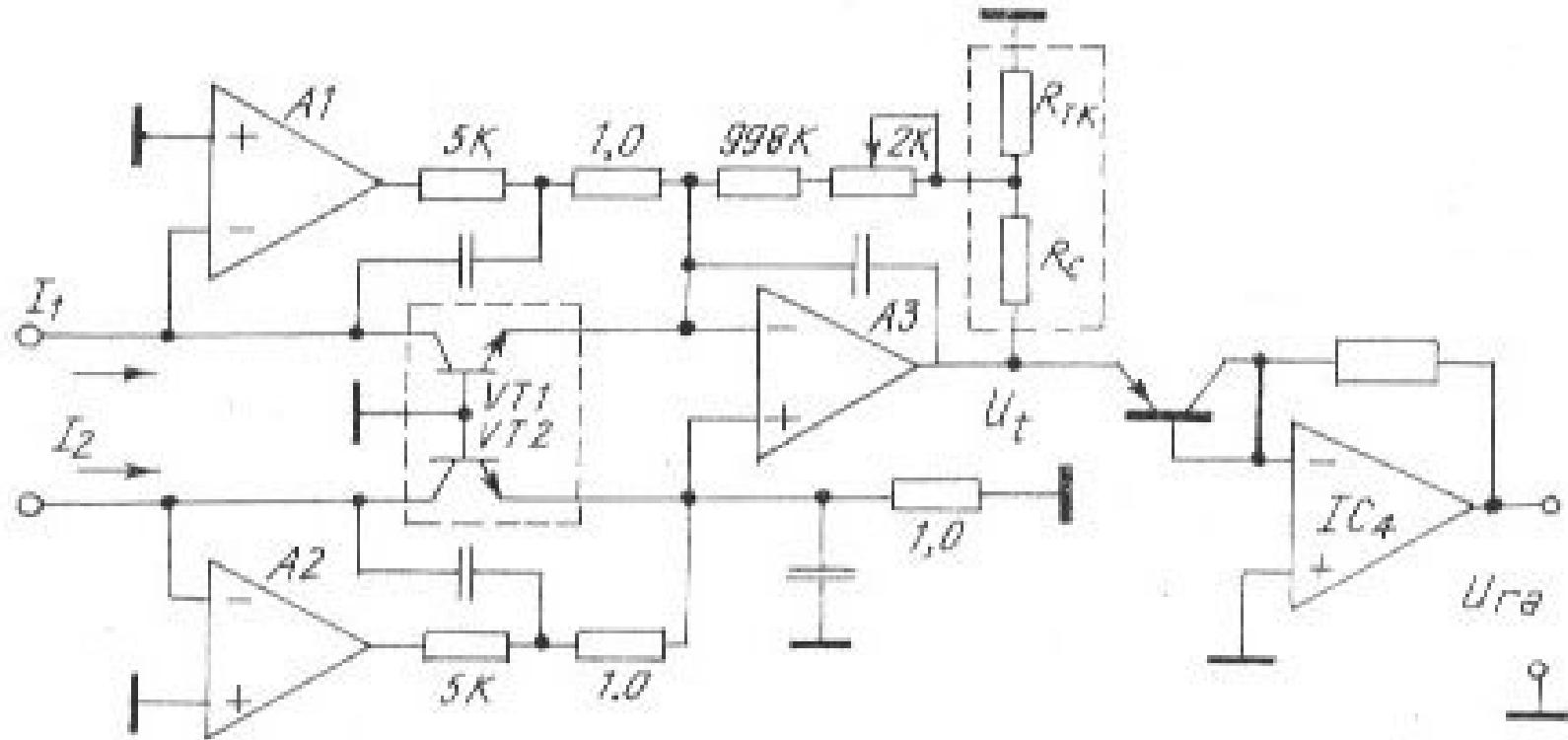
$$\alpha = f(R_3)$$

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



Mạch chia

Mạch chia điện tử



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

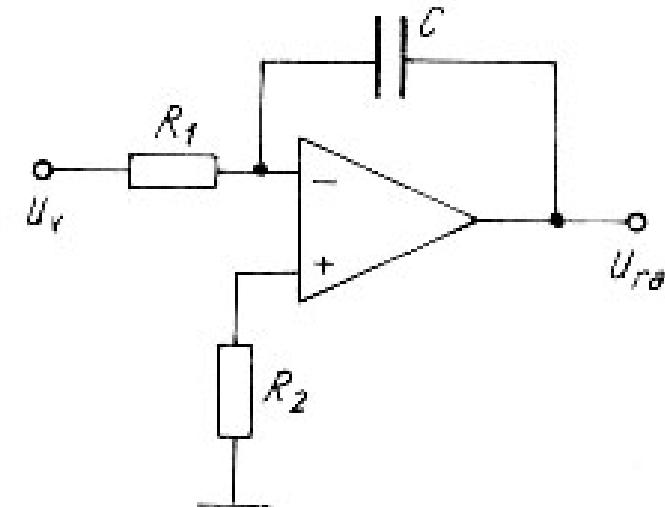
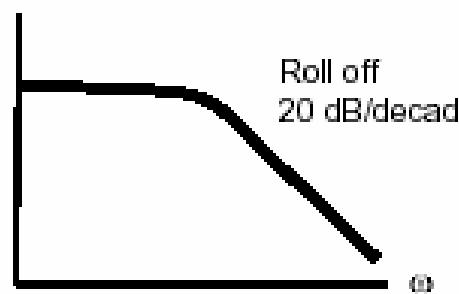
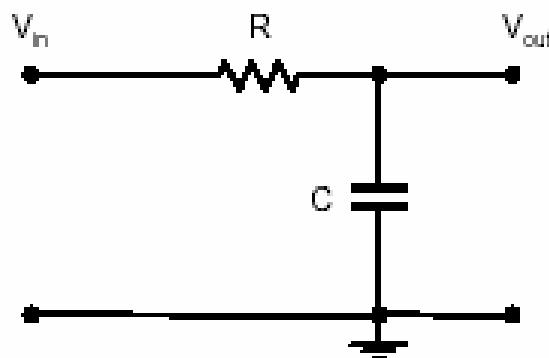
$$U_{ra} = K_2 \frac{I_x}{I_y}$$

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...

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

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



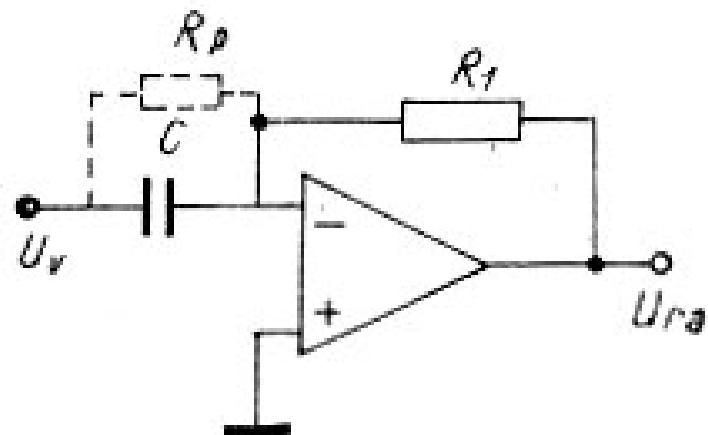
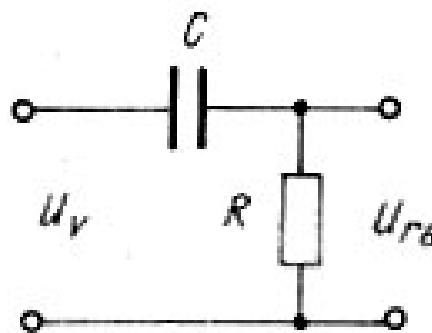
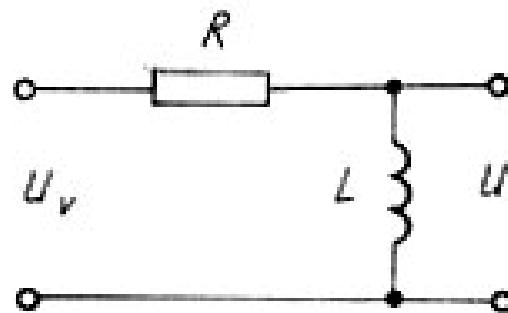
Mạch vi phân

Mạch vi phân RL

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

Mạch vi phân RC

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

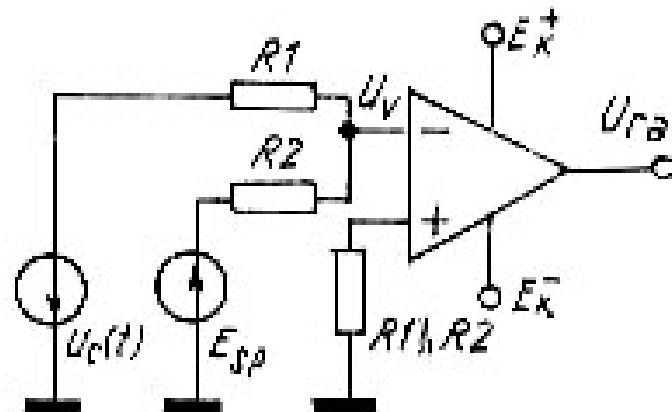


6.4. Mạch so sánh

- 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

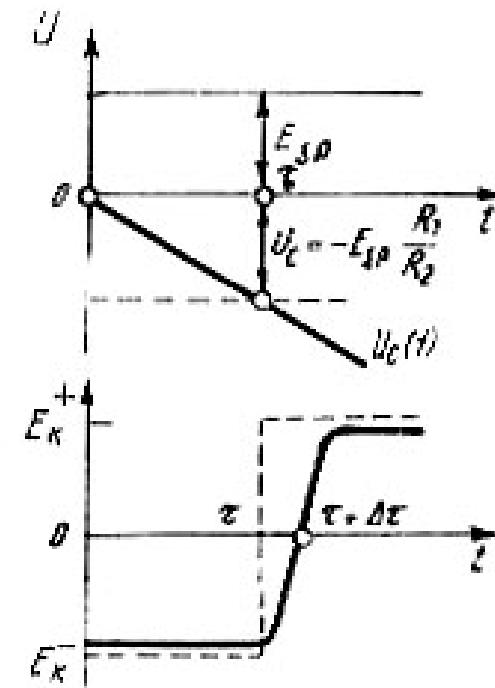
- Bộ so sánh này được sử dụng để so sánh hai điện áp vào khác dấu, KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc



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

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

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



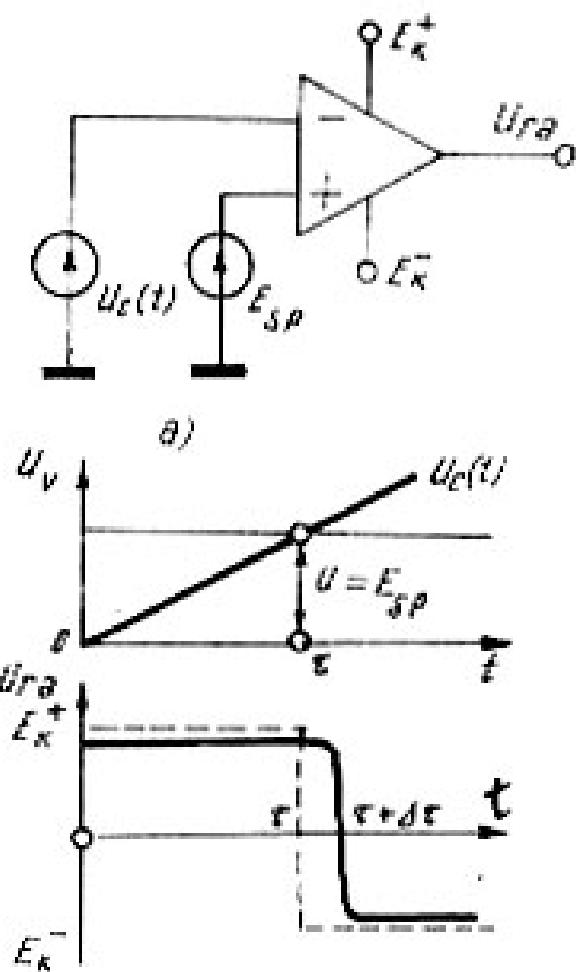
Bộ so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo mạch hai đầu vào

- 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

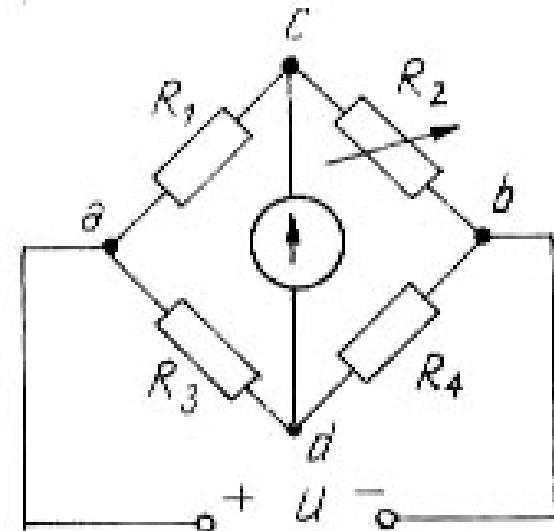
Cầu cân bằng

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

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

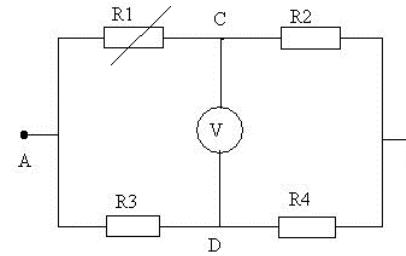


Mạch cầu đo

Mạch đo:

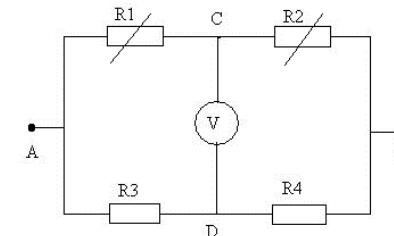
Mạch cầu một nhánh hoạt động

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



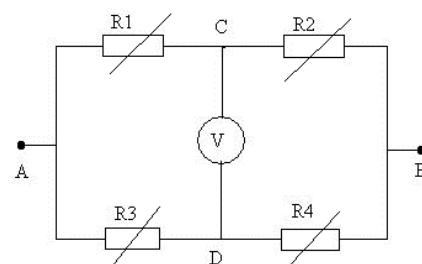
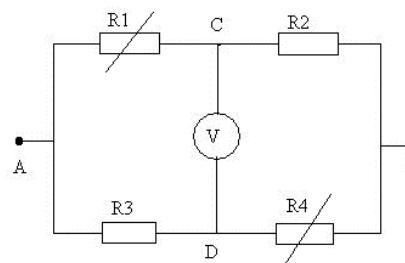
Mạch cầu hai nhánh hoạt động

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



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:

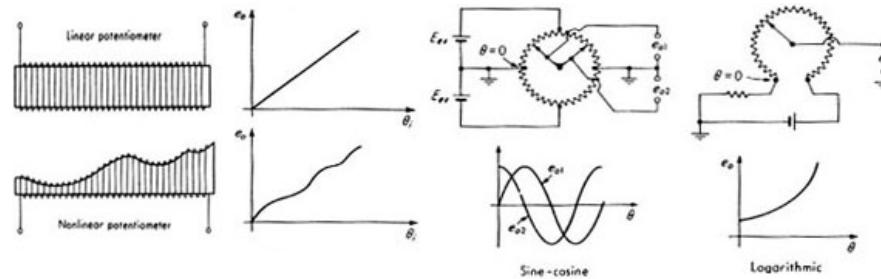
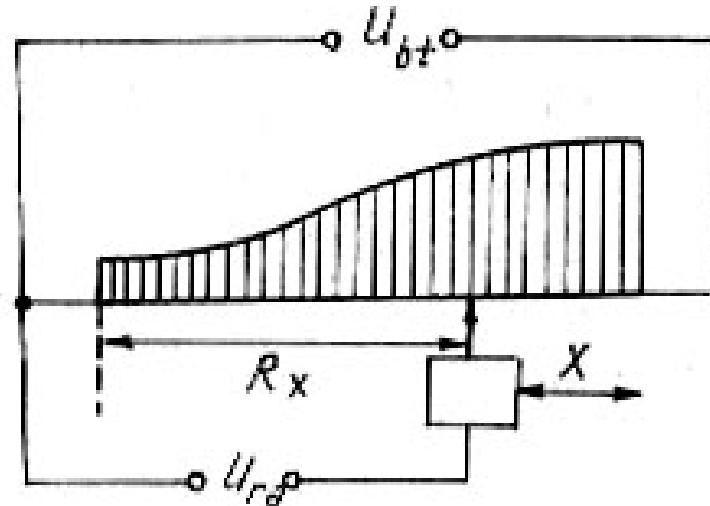
$$l = k X$$

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

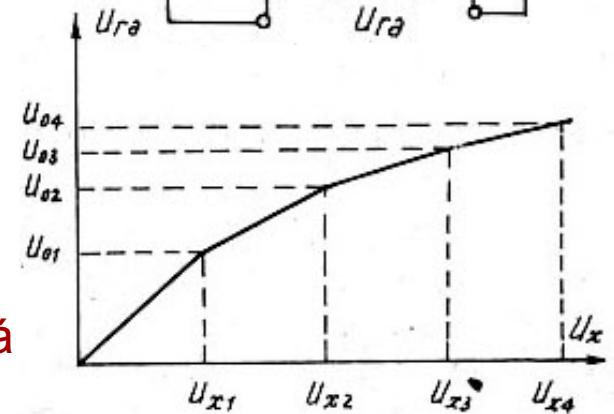
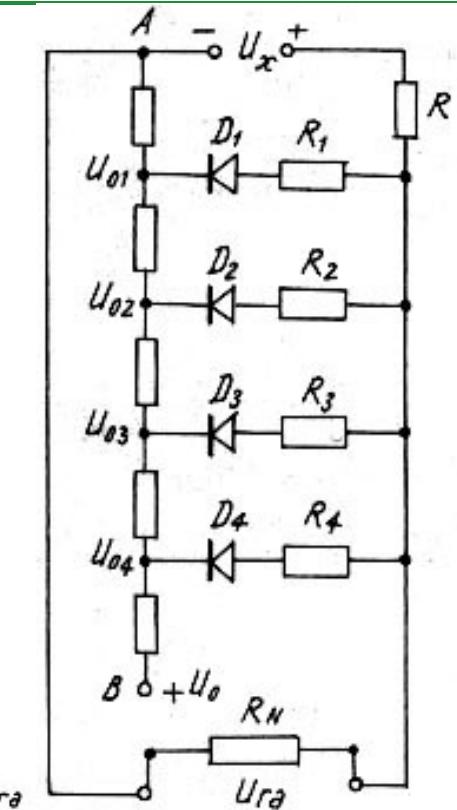
$$U_N = U_X \frac{R_N}{R + R_N}$$

- 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

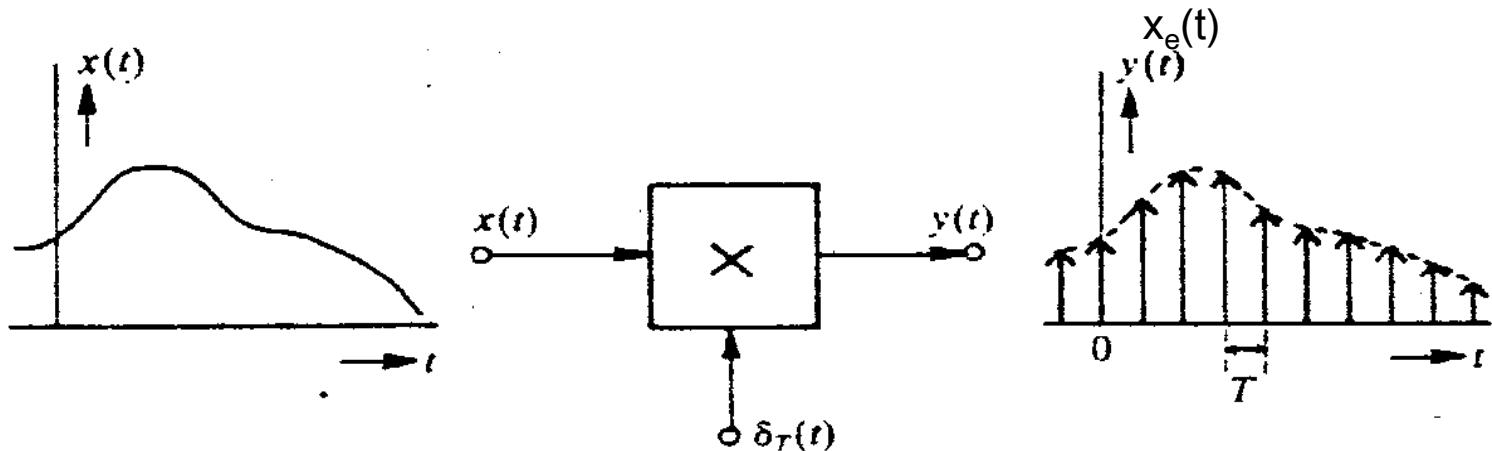
- Có 2 phương pháp cơ bản để biến đổi tín hiệu số sang tín hiệu tương tự như sau:

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

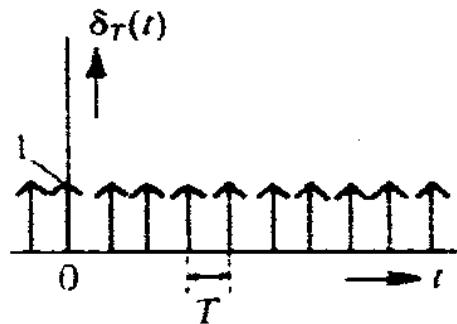
ADC

- 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



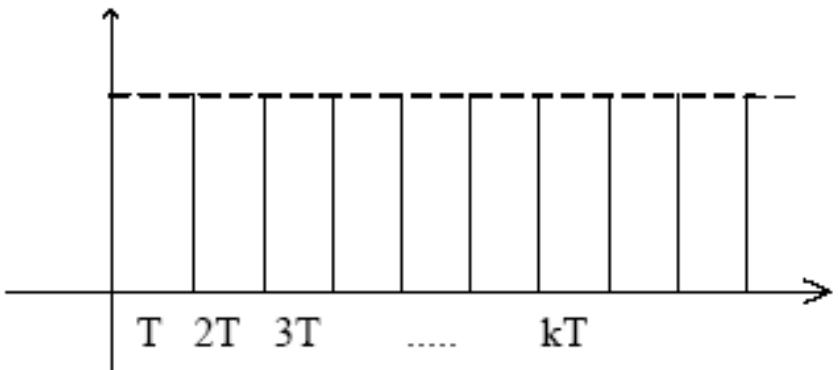
Để lấy mẫu tín hiệu $x(t)$, nhân tín hiệu này với một chuỗi xung Dirac có chu kỳ T_e



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

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

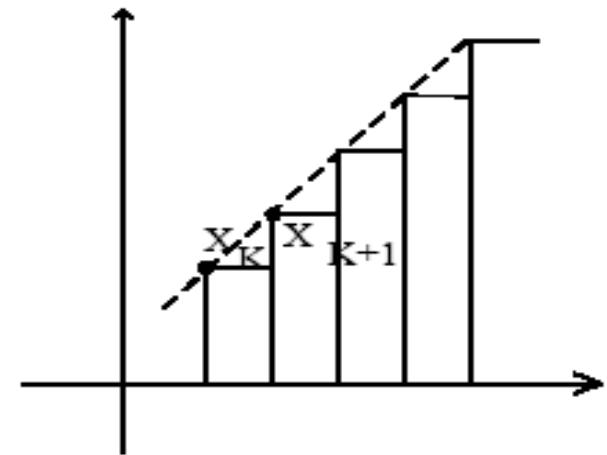
Sai số rời rạc hóa

- 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

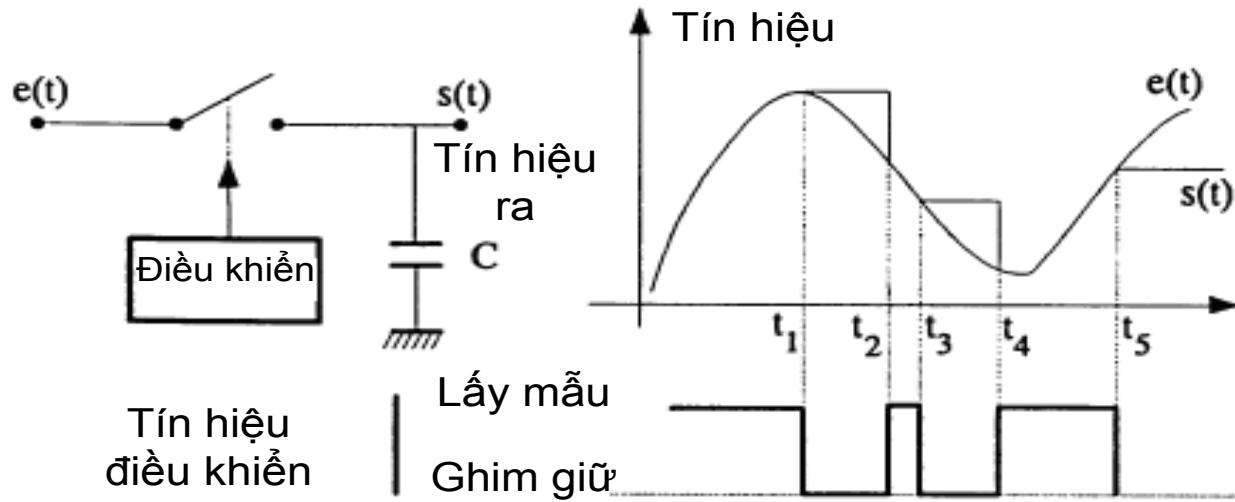
Thực hiện việc lấy mẫu
như thế nào?

■ 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).

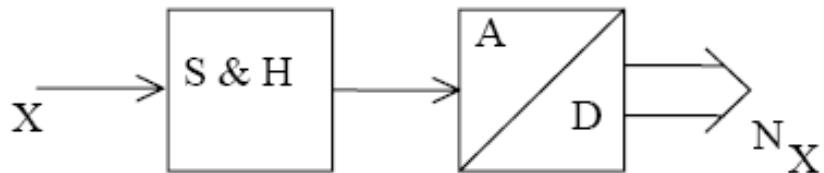
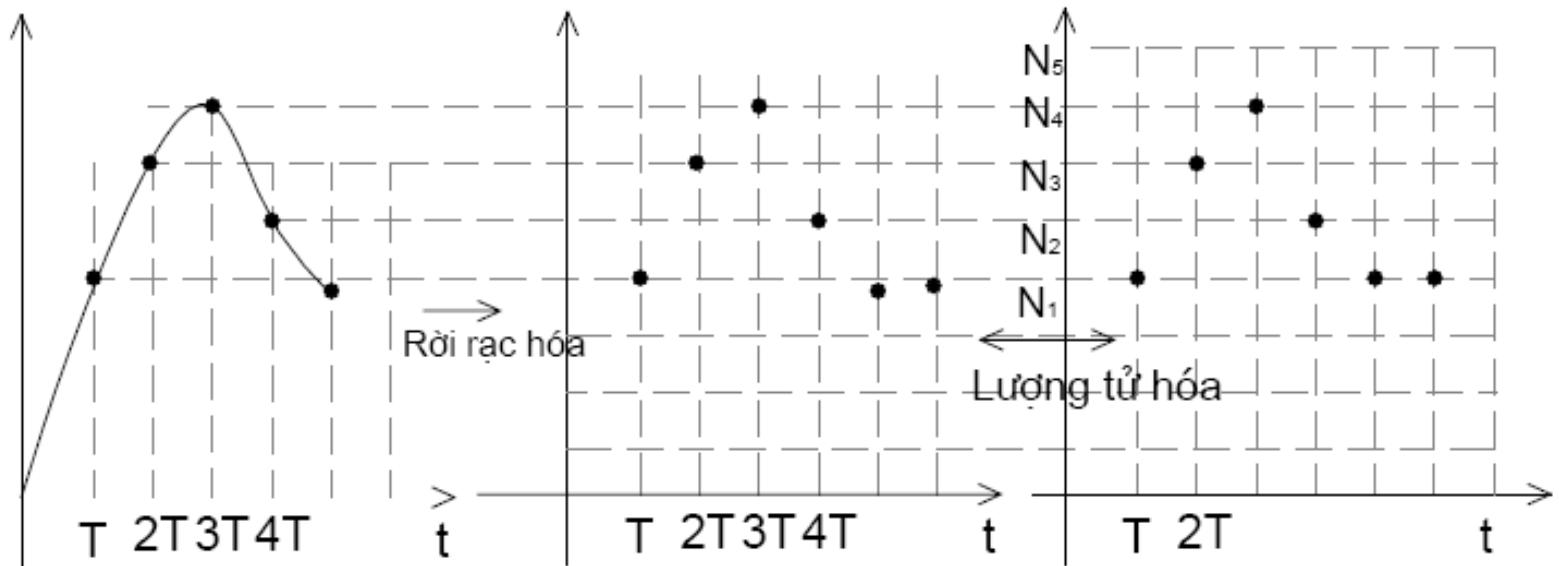
- Bộ này thực hiện phép lấy mẫu khi có lệnh, sau đó giữ nguyên giá trị cho đến lần lấy mẫu sau



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



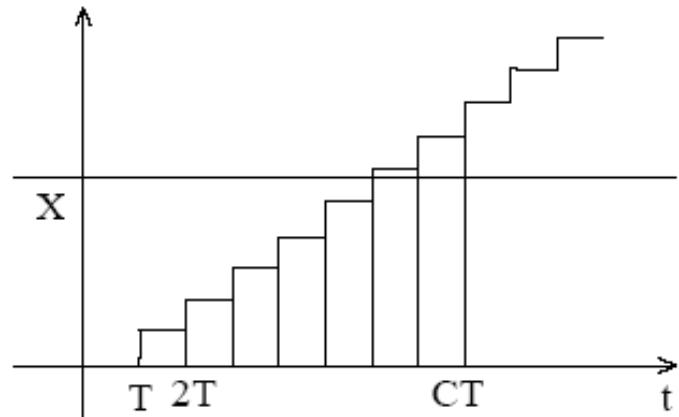
- Trong thực tế, đại lượng đo thường biến thiên. Để có thể giám sát một đại lượng biến thiên, thì khi lượng tử hóa (mã hóa), ta phải rời rạc hóa tín hiệu và ghim giữ giá trị của đại lượng trong một khoảng thời gian thích hợp để quá trình lượng tử và mã hóa kịp tiến hành.

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



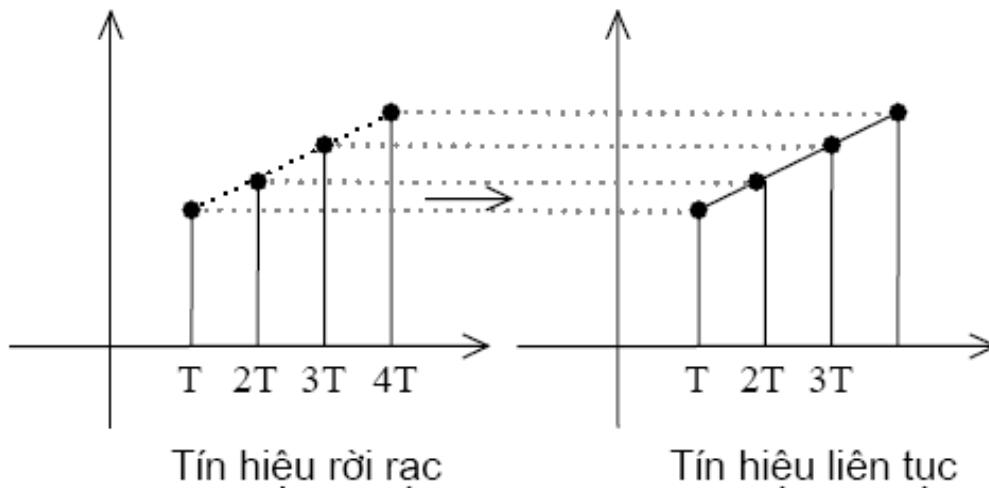
Lượng tử của đại lượng đo (LSB - Lowest Significant Bit)

- 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

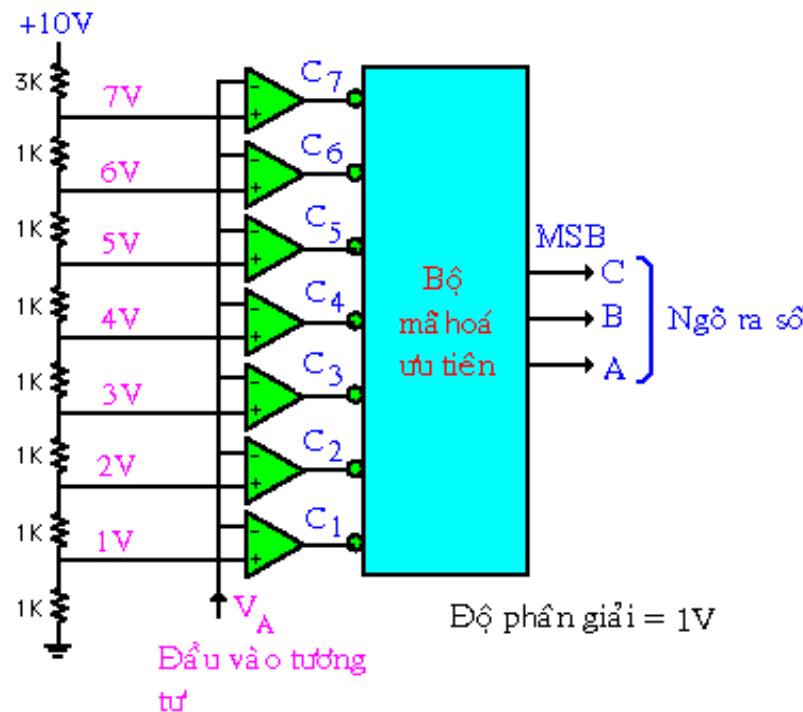
- Sau khi rời rạc hóa \longrightarrow kết quả là số liệu tại các thời điểm rời rạc khác nhau
- Chuyển các tín hiệu rời rạc đó thành tín hiệu liên tục được gọi là phục hồi tín hiệu rời rạc.



- 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.



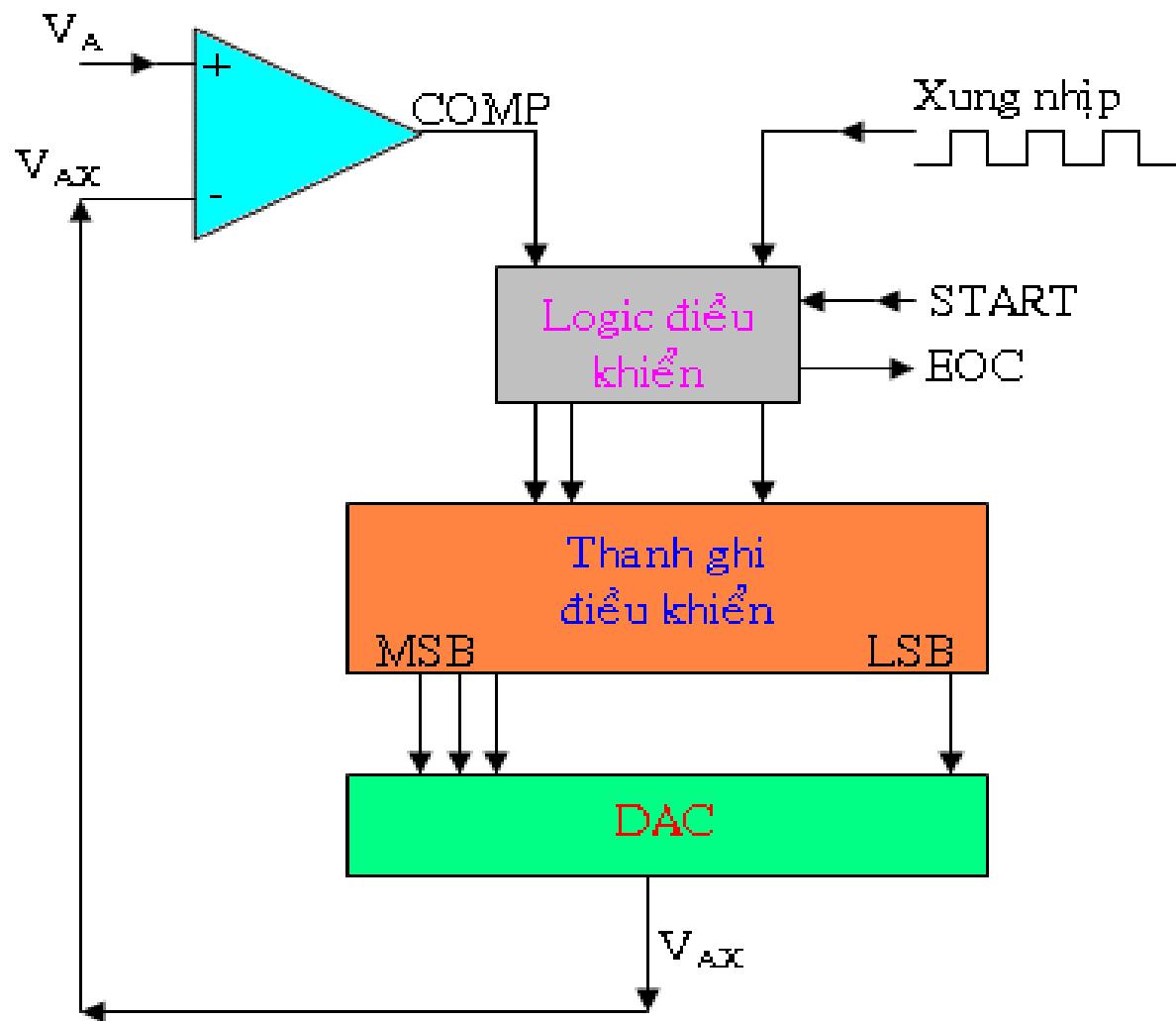
ADC - Phương pháp song song

■ 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

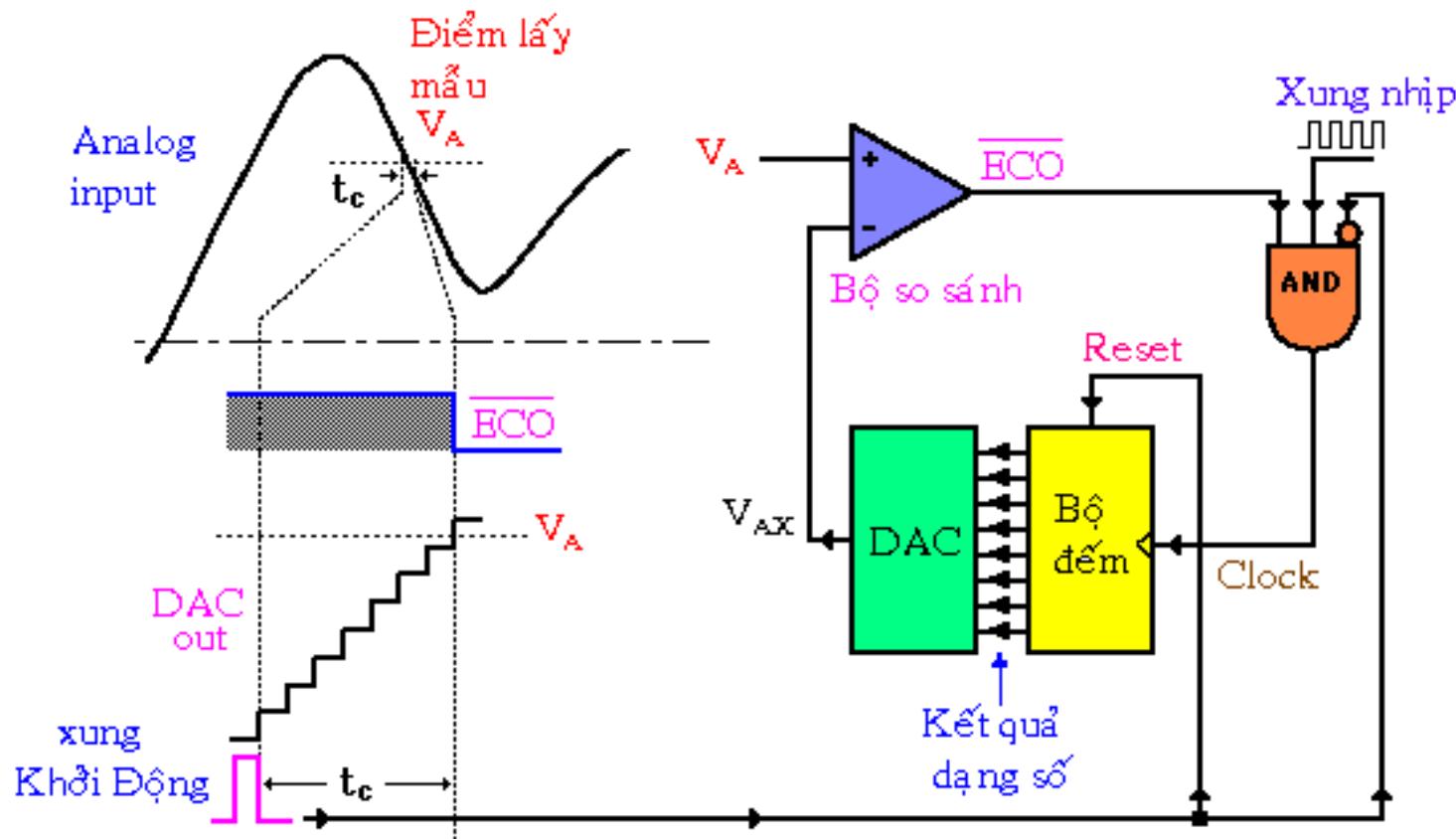


ADC liên tiếp - xấp xỉ

- 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



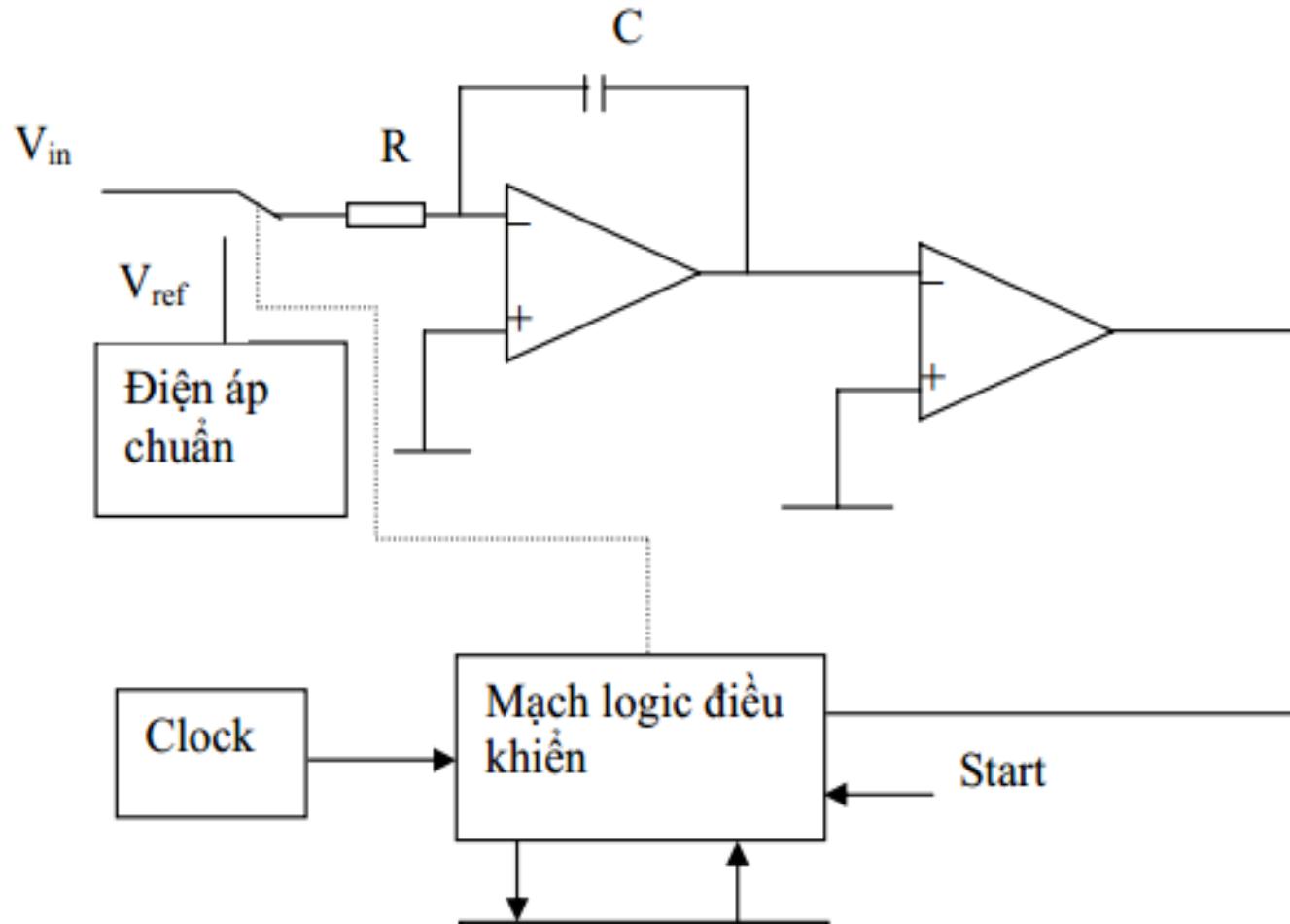
ADC - Phương pháp sóng bậc thang

- 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

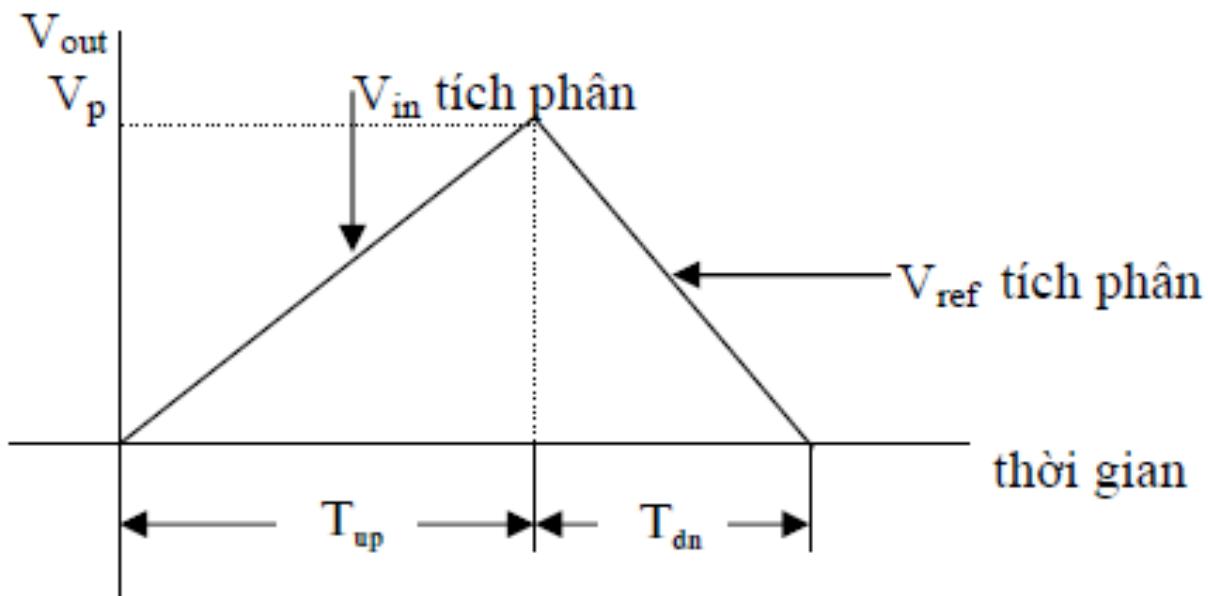
- DAC có đầu vào 10 bit và đầu ra cực đại = 10.23V nên ta tính được tổng số bậc thang có thể có là: $2^{10} - 1 = 1023$
Suy ra kích cở bậc thang là: 10mV Dựa trên thông số trên ta thấy V_{AX} tăng theo từng bậc 10mV
- V khi bộ đếm đếm lên từ 0. vì $V_A = 3.728$, khi đó ở cuối tiến trình chuyển đổi, bộ 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 |

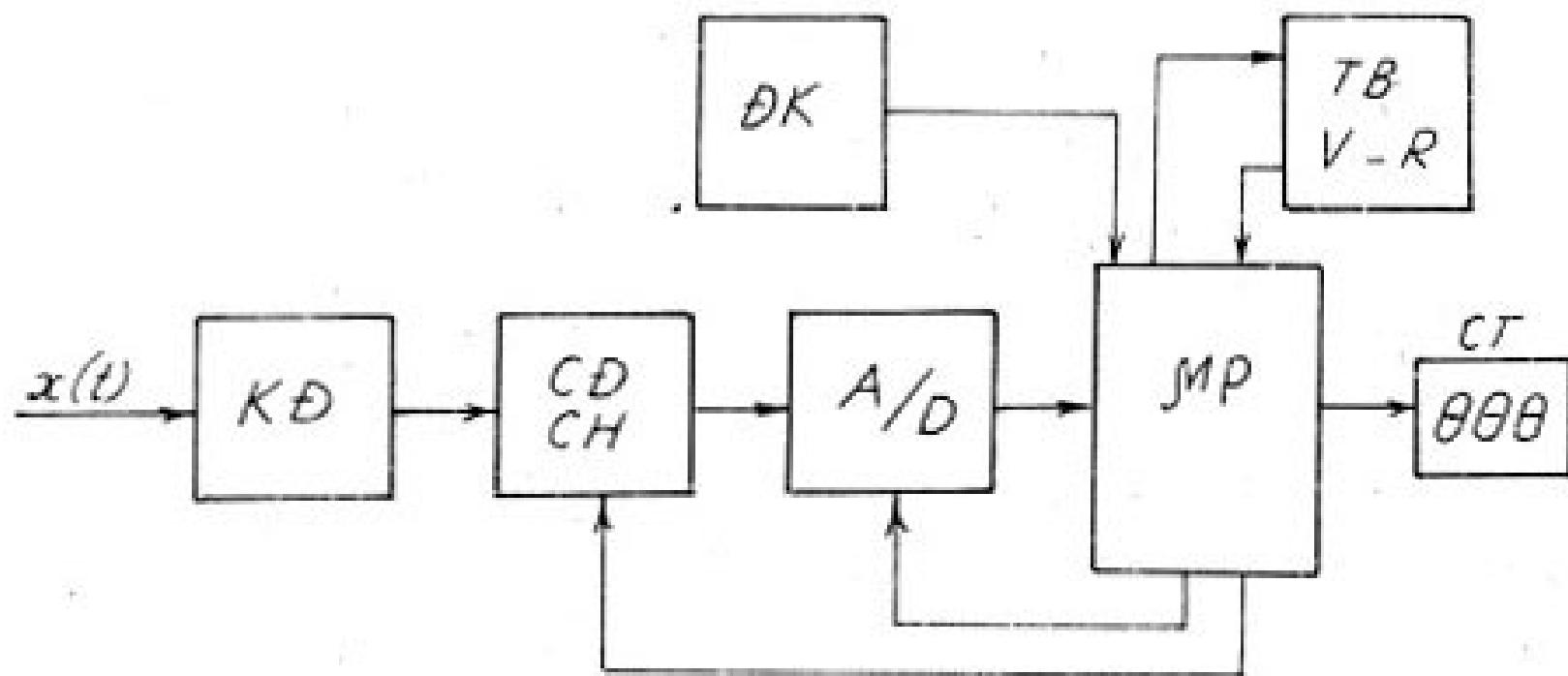
Ví dụ một số loại ADC của Burr Brown

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)

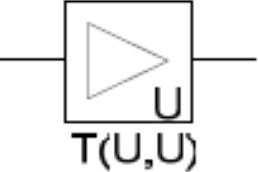
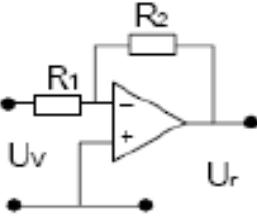
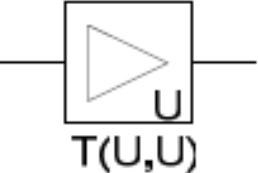
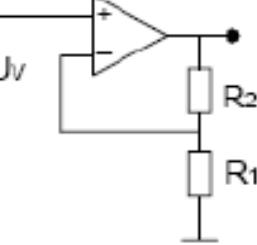
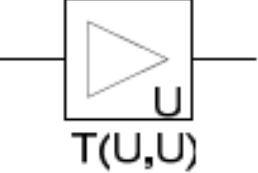
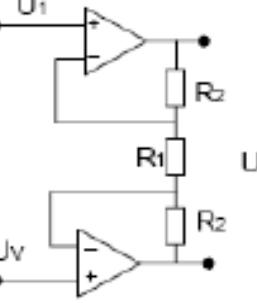
- Trong các dụng cụ sử dụng μ P thì mọi công việc thu nhận, gia công xử lý và cho ra kết quả đo đều do μ P đảm nhận theo một thuật toán đã định sẵn.



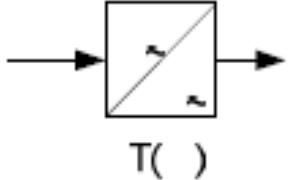
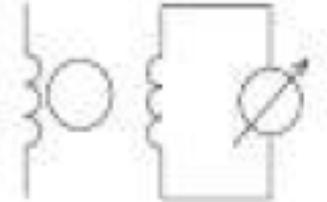
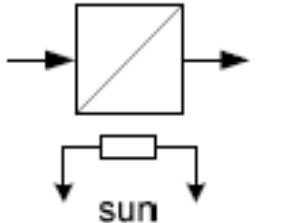
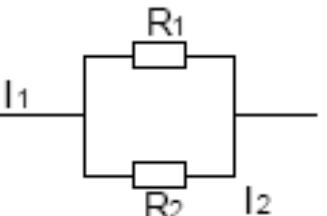
A. Biến đổi áp- áp

| 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 $Z_2=\infty;$ $\gamma_K = \frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2}$ |

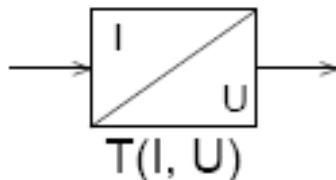
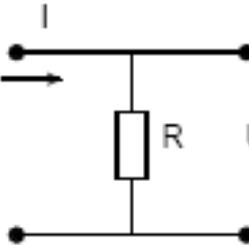
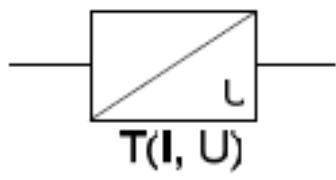
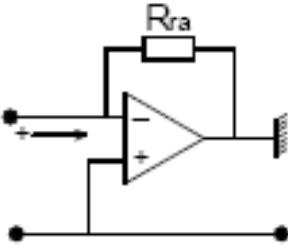
Biến đổi áp- áp (2)

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

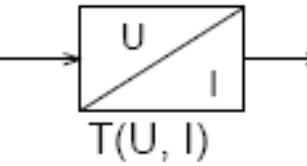
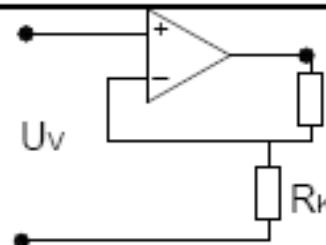
Biến đổi dòng- dòng

| 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 $\gamma_K = \frac{dR_1}{R_1} - \frac{dR_2}{R_2}$ |

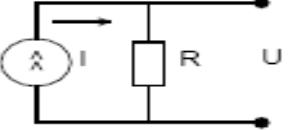
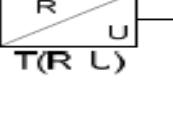
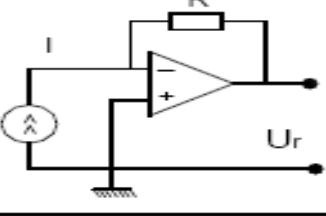
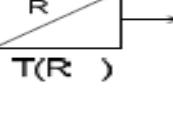
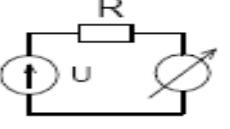
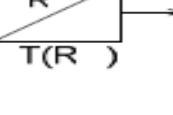
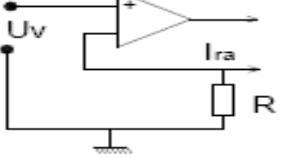
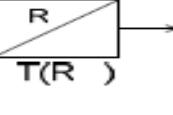
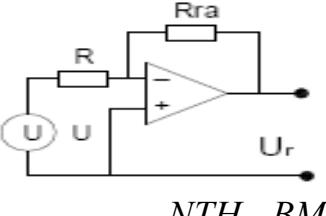
Biến đổi dòng áp

| Phép biến đổi | Ký hiệu | Sơ đồ | Hệ số | Đặc tính |
|---------------------------|---|---|-------------------------------|--|
| Điện áp rơi trên điện trở |  $T(I, U)$ |  | $U = I \cdot R$ $K_V = R$ | 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 |  $T(I, U)$ |  | $U_{ra} = KI$ $K = R_{ra}$ | 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

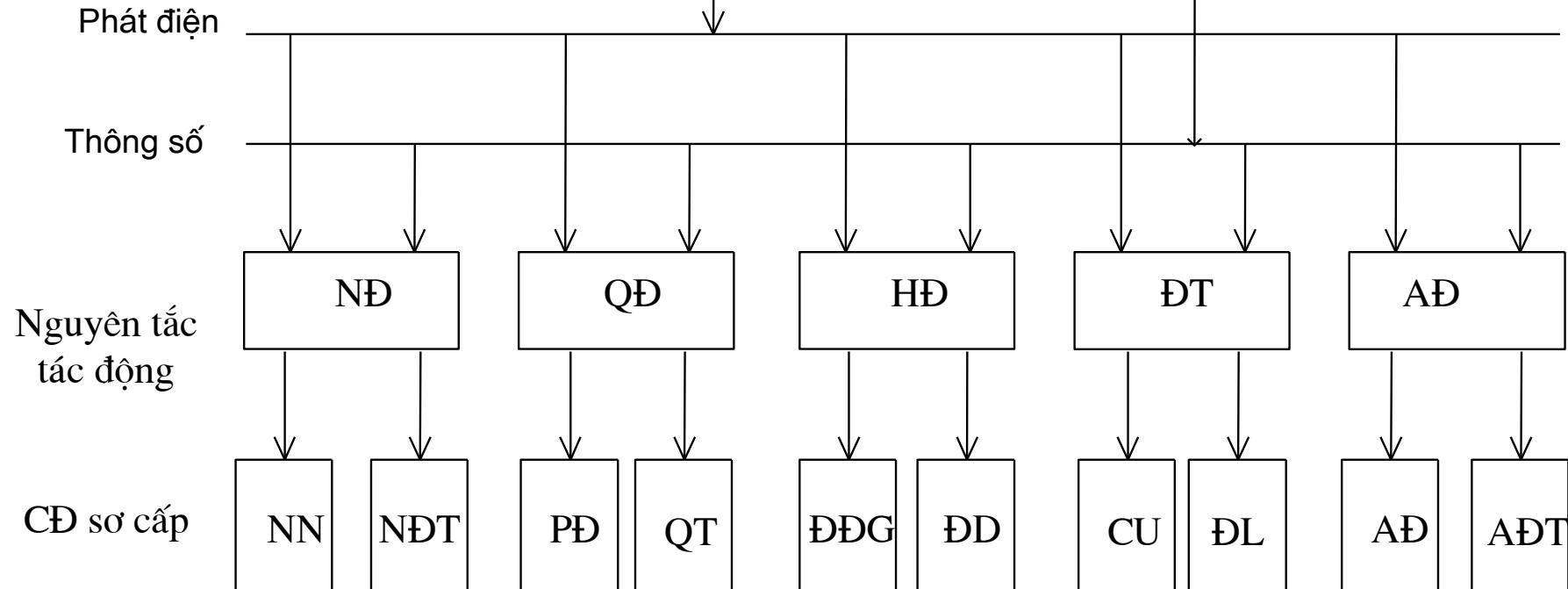
Chương 7: Các chuyển đổi do lưỡng sơ cấp

■ 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

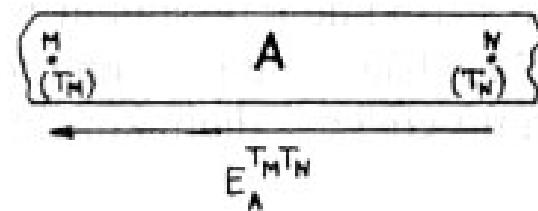
Các hiệu ứng vật lý

- 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:

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

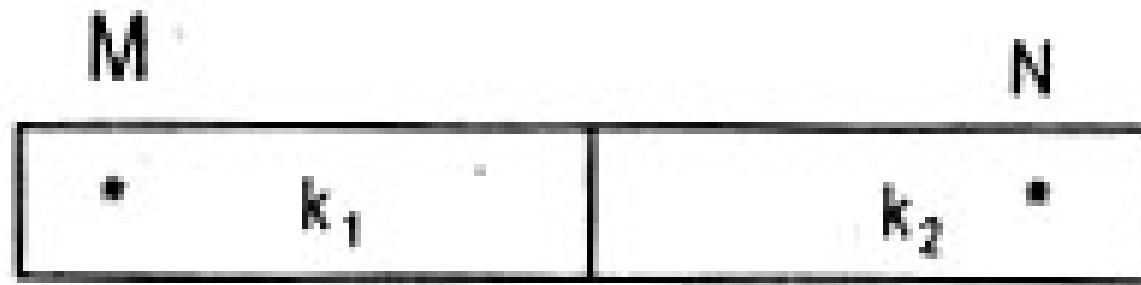


σ_{k1} , σ_{k2} - hệ số Thomson với hai vật liệu k_1 , k_2 .

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

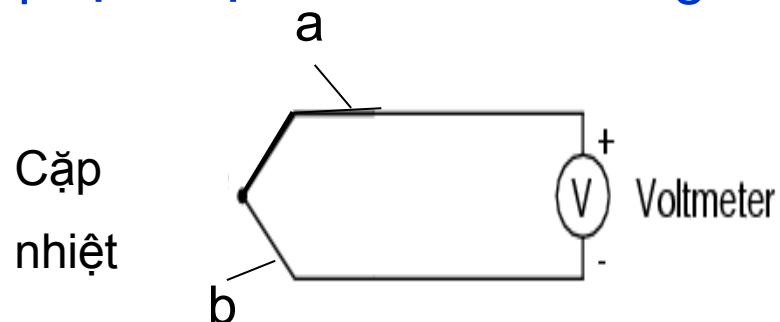
- Khi 2 thanh kim loại a, b có bản chất hóa học khác nhau được hàn với nhau tại một đầu làm việc t₁, hai đầu còn lại là 2 đầu tự do có nhiệt độ t₀, nếu t₁ ≠ t₀ thì sẽ xuất hiện sức điện động giữa 2 đầu tự do

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

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

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

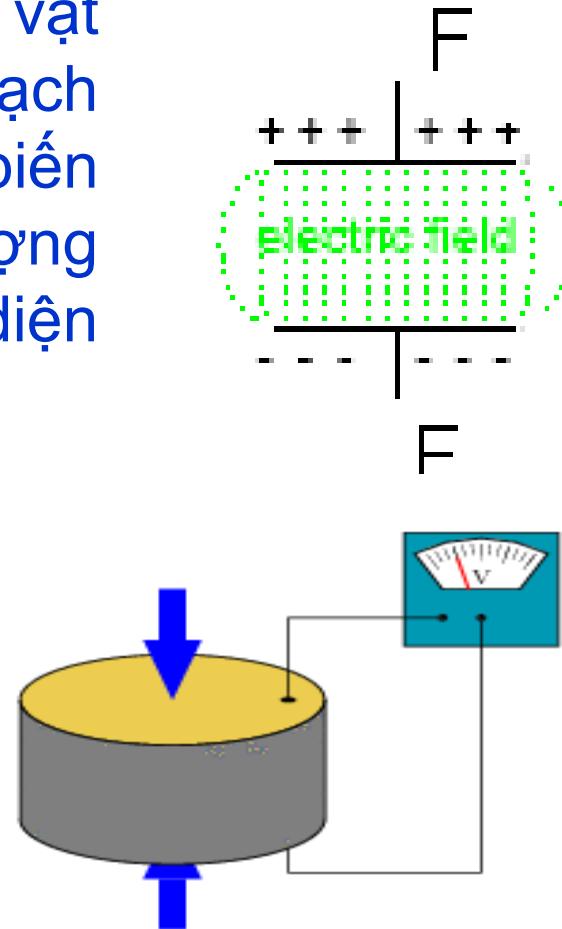
Với C là hằng số C = E_{ab}(t₀)



- 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

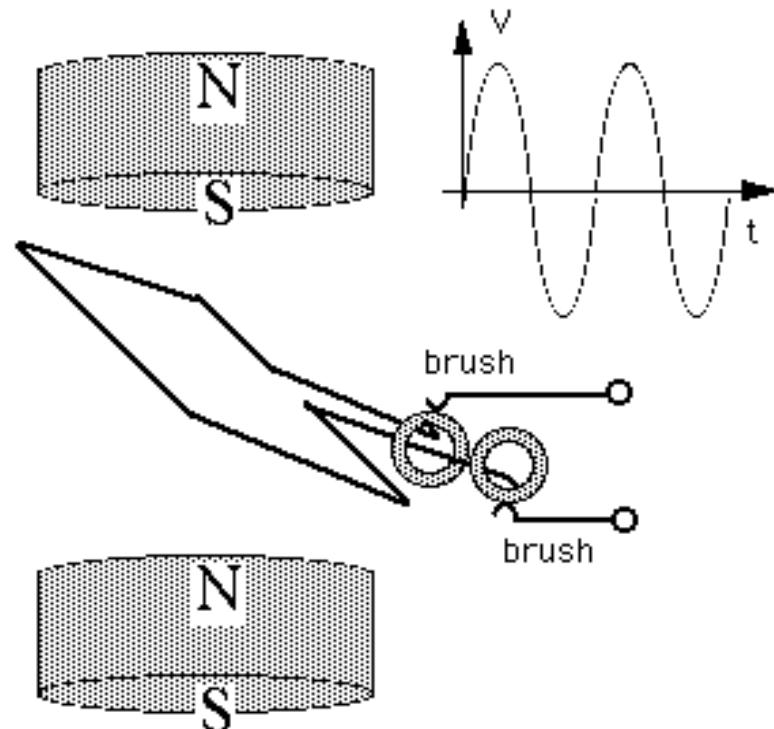
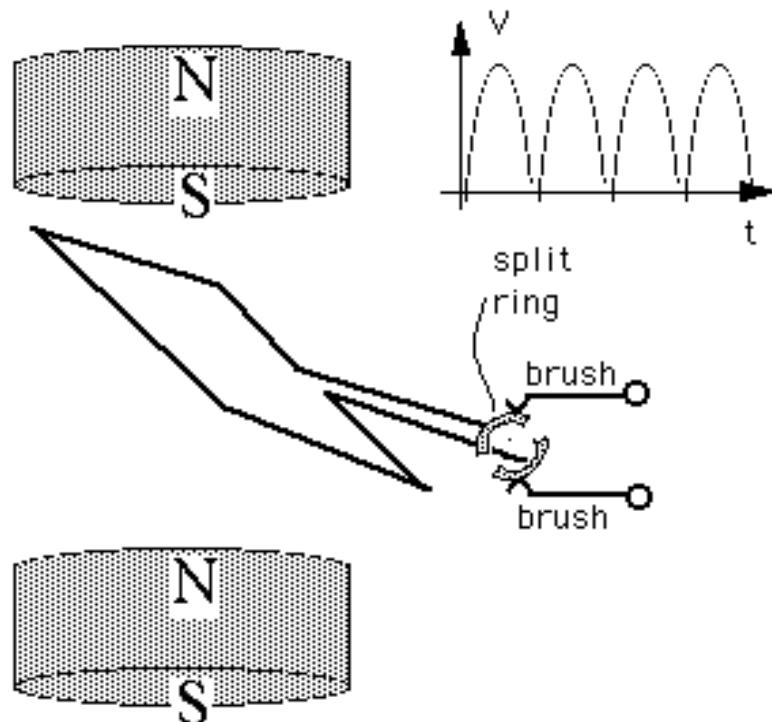
Hiệu ứng áp điện (Piezo)

- 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

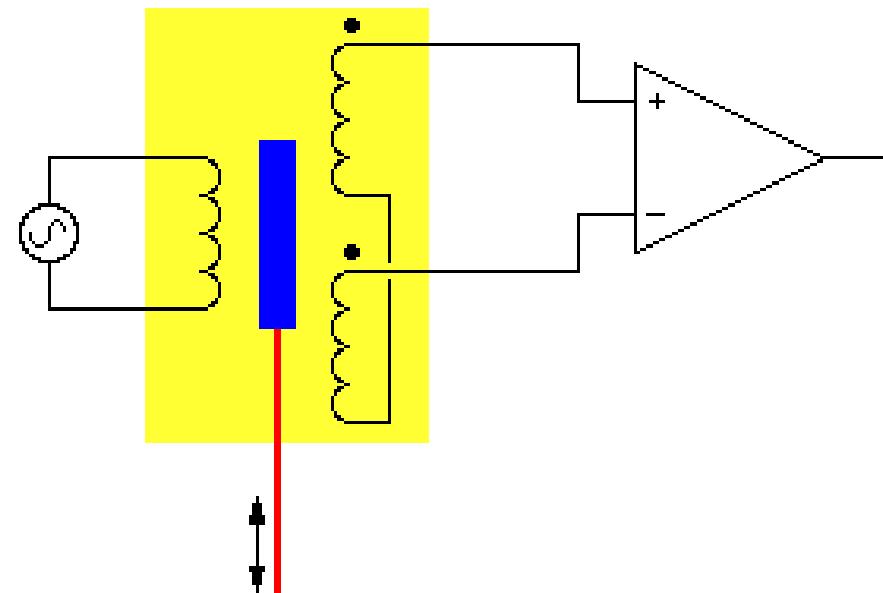
- Trong một dây dẫn chuyển động từ trường không đổi sẽ xuất hiện một sức điện động tỉ lệ với từ thông cắt ngang dây trong một đơn vị thời gian, nghĩa là tỉ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây dẫn



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

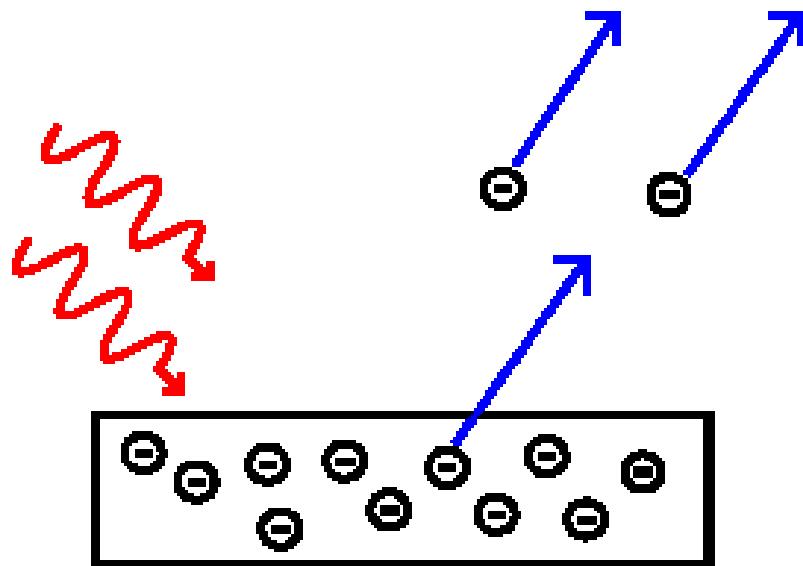


Hiệu ứng quang điện

- 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.



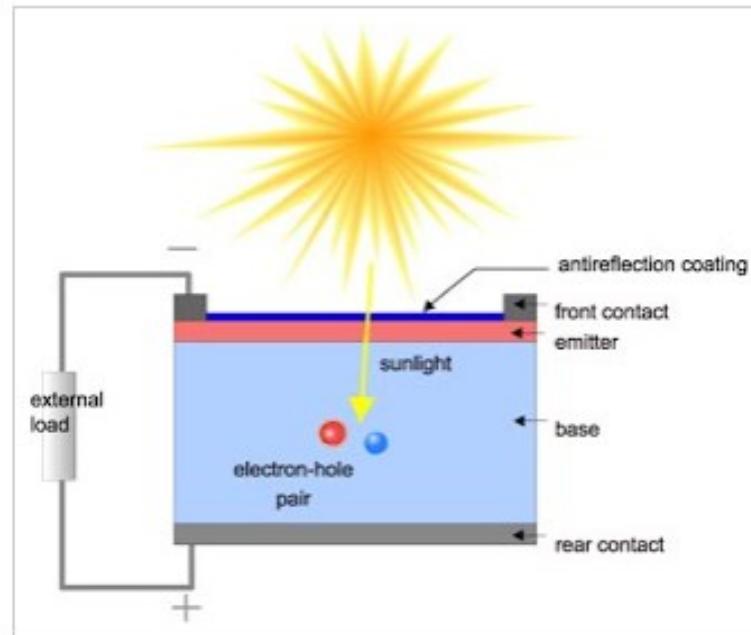
Hiệu ứng quang điện

- 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

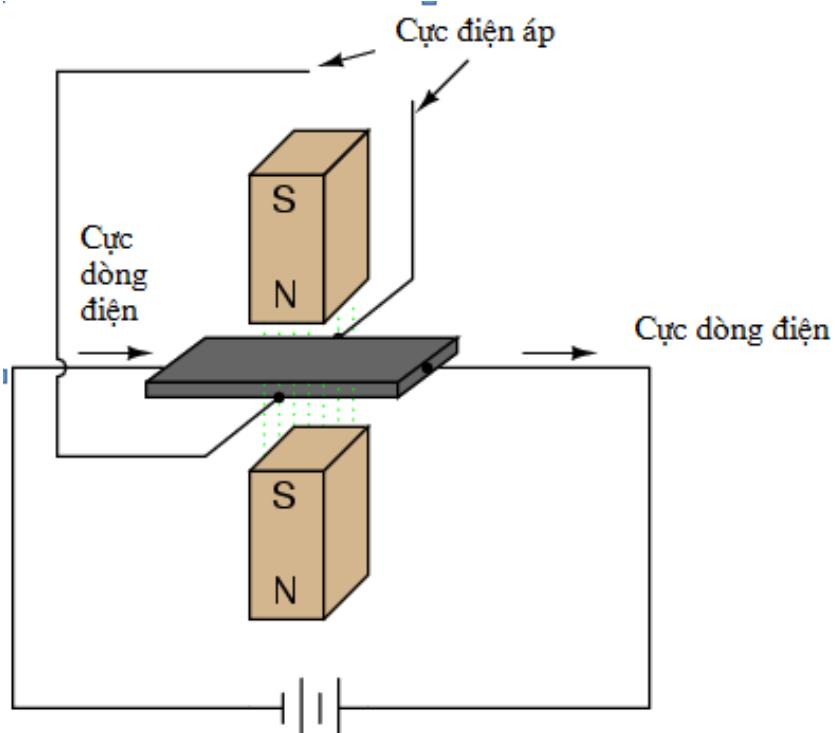


Hiệu ứng hall

- 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

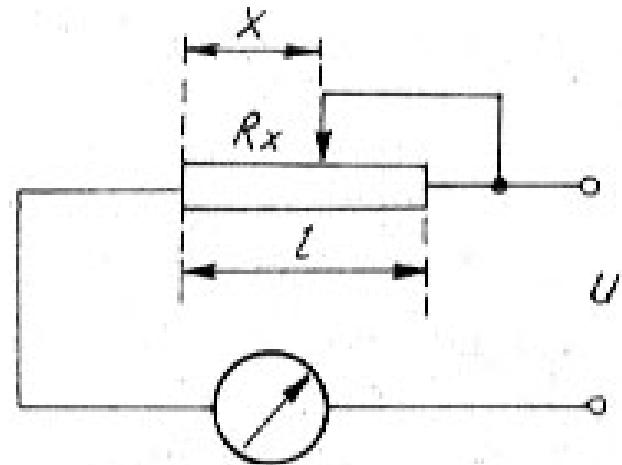
- **Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** là một biến trở gồm có lõi bằng vật liệu cách điện trên có quấn dây dẫn điện, dây quấn được phủ lớp cách điện. Trên lõi và dây quấn có con trượt, dưới tác dụng của đại lượng vào con trượt di chuyển làm cho điện trở thay đổi.

Mạch biến trở:

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

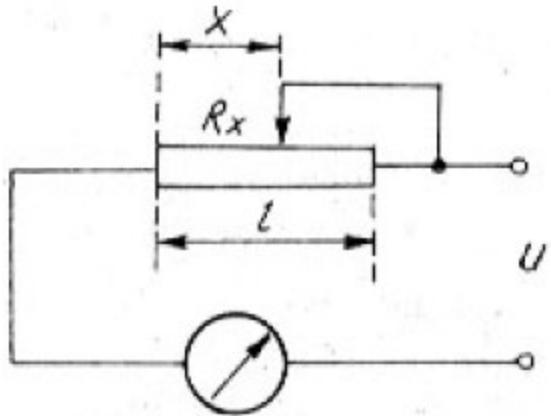
Dòng điện tỉ lệ nghịch với lượng di chuyển X

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

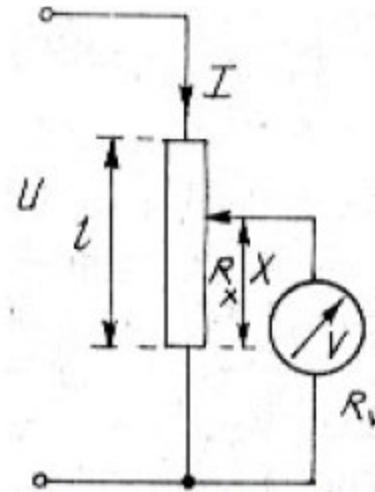


Các chuyển đổi điện trở

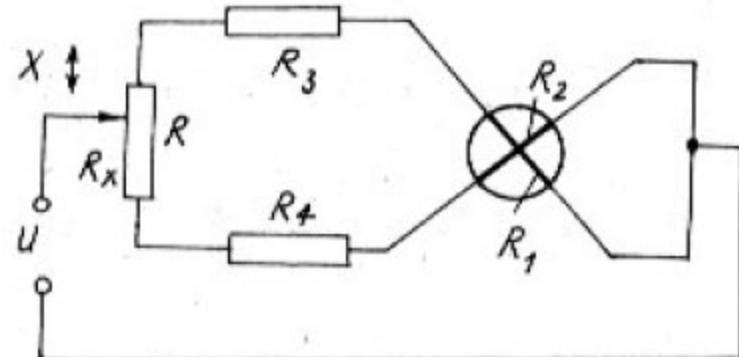
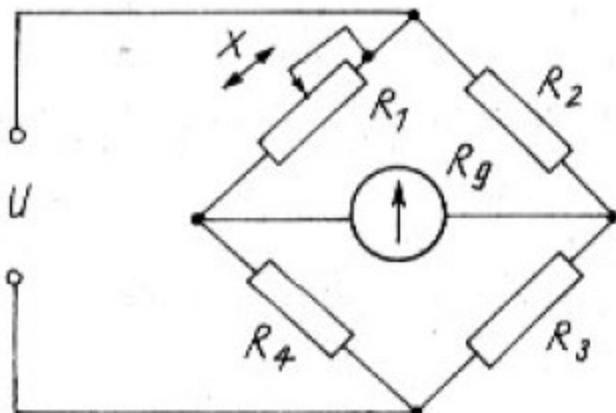
Mạch đo chuyển đổi biến trở



a) Mạch biến trở



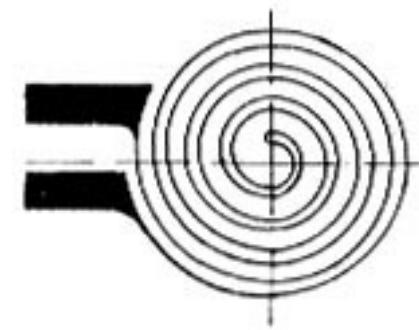
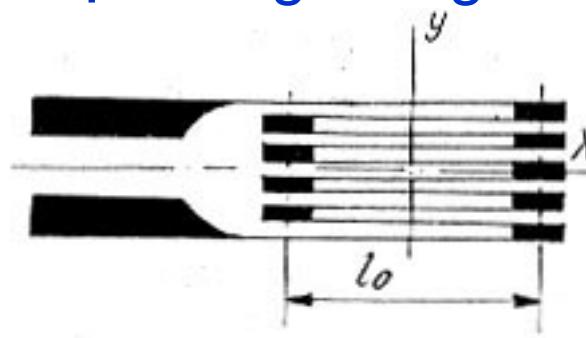
b) Mạch phân áp



Các chuyển đổi điện trở

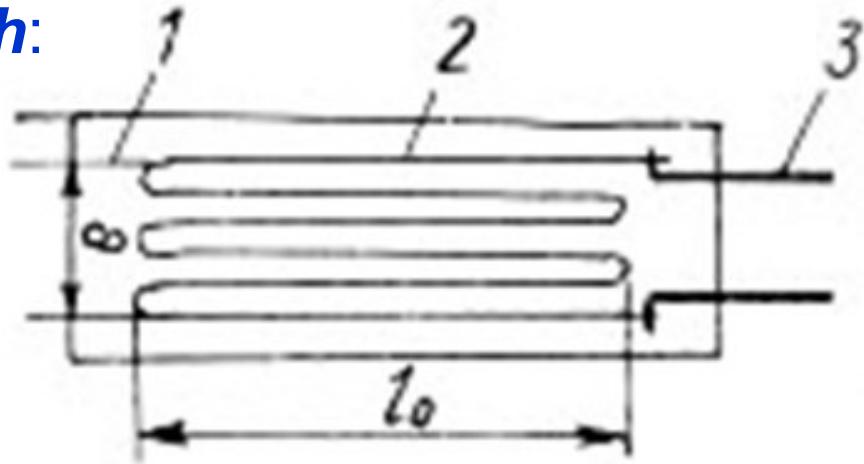
2. Chuyển đổi điện trở lực căng.

- 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:

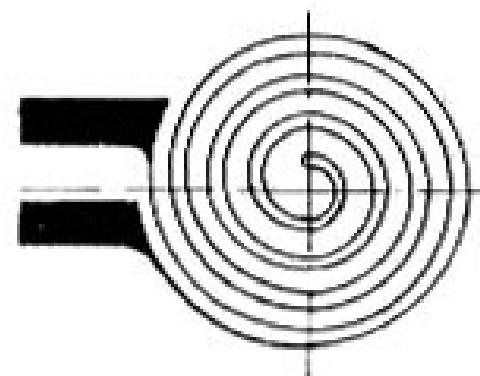
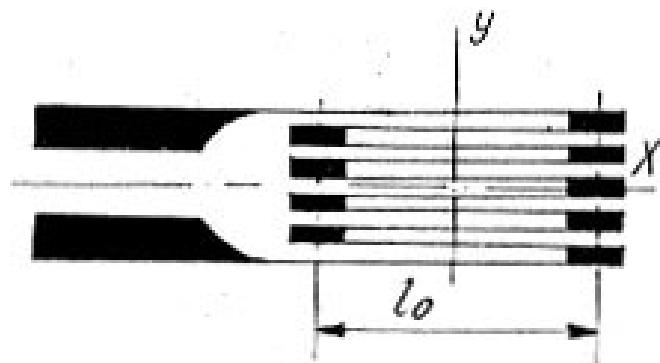


- 1 - Tấm giấy mỏng bền
- 2 - Sợi dây điện trở (hình răng lược có đường kính từ 0,02-0,03mm; chế tạo bằng constantan, nicrôm, hợp kim platin-iriđi...).
- 3 - Hai đầu dây được hàn với lá đồng dùng để nối với mạch đo.

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 $K_p=0,24-0,4$.

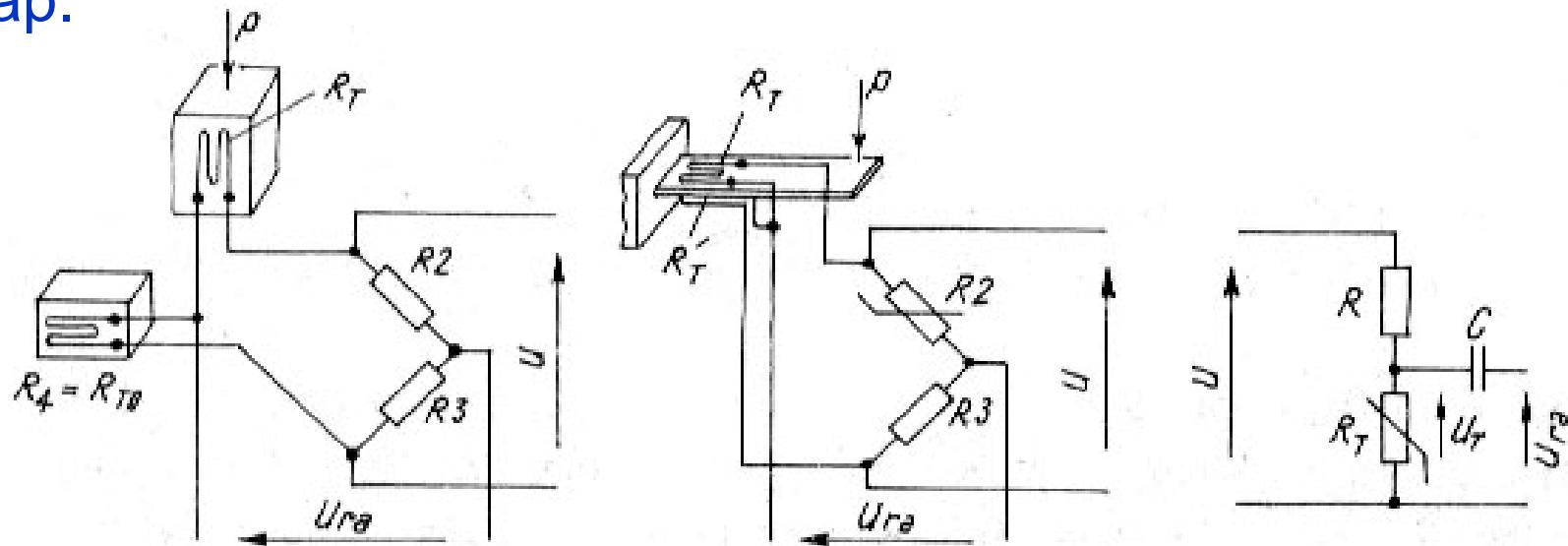
m : hệ số tỉ lệ $m = \varepsilon_\rho / \varepsilon_l$, với $\varepsilon = \Delta \rho / \rho$ là biến thiên tương đối của điện trở suất đặc trưng cho sự thay đổi tính chất vật lý của chuyển đổi.

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.

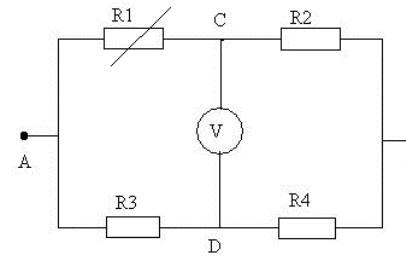


Chuyển đổi điện trở lực căng.

Mạch đo:

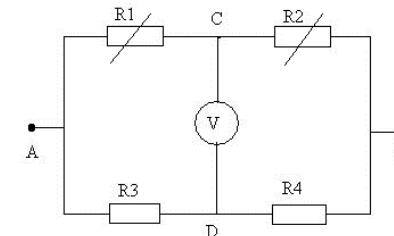
Mạch cầu một nhánh hoạt động

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



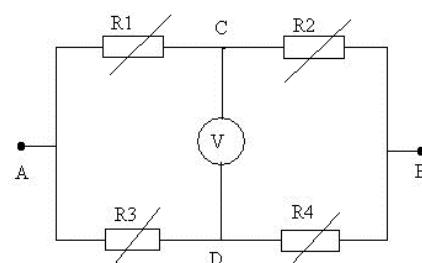
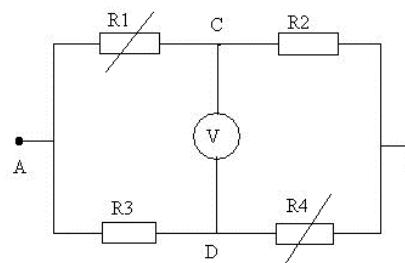
Mạch cầu hai nhánh hoạt động

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



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:

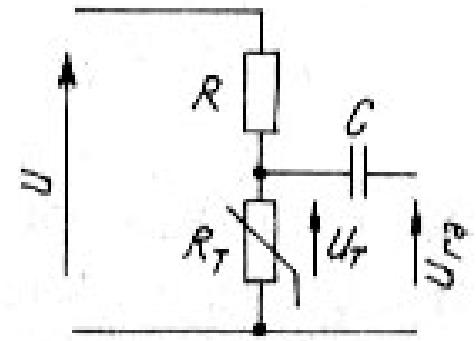
$$U_T \approx U \cdot \left[\frac{R_T}{R_T + R} + \frac{R_T(\varepsilon_R \sin \omega t)}{R_T + R} \right]$$

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.



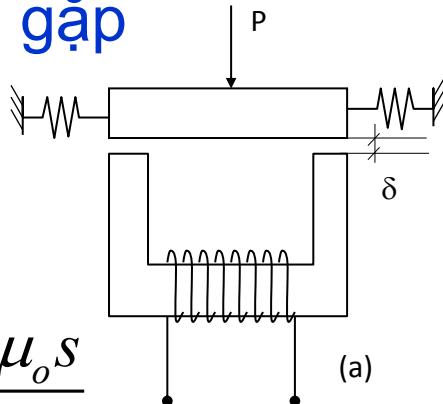
7.2. Các chuyển đổi điện tử.

- **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

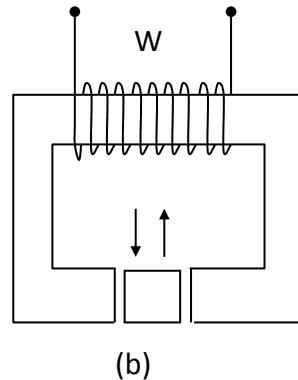
Chuyển đổi điện cảm

- 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

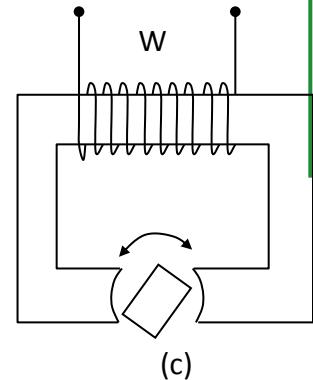
$$L = \frac{W^2}{R_s} = W^2 \cdot \frac{\mu_0 s}{\delta}$$



(a)



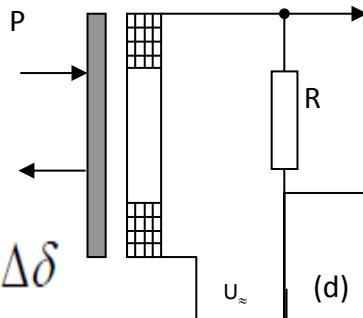
(b)



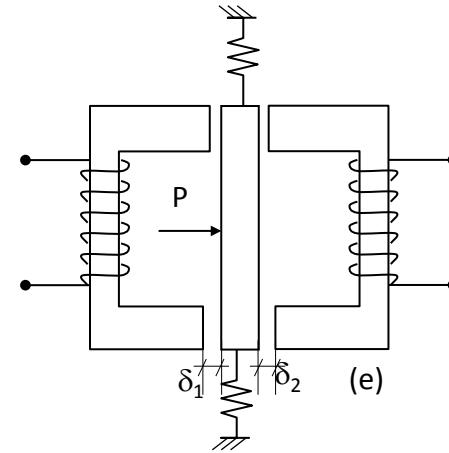
(c)

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

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



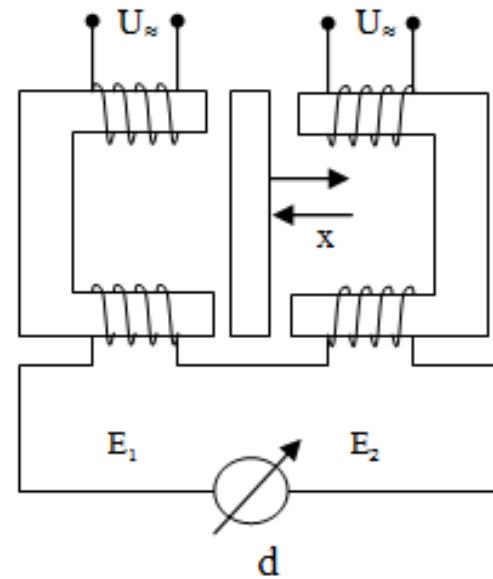
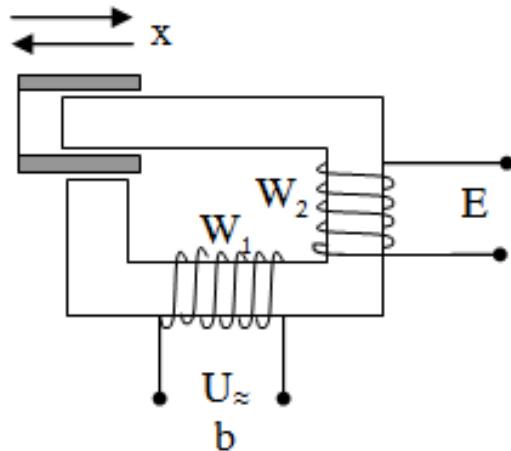
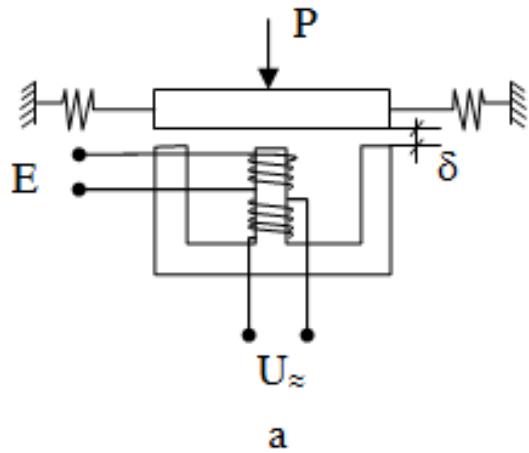
(d)



(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



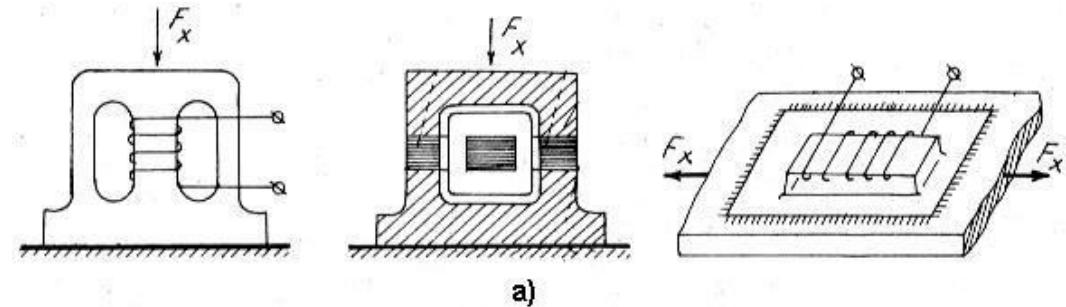
$$e = -W_2 \cdot \frac{W_1 \mu_0 s}{\delta} \cdot \frac{di}{dt}$$

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

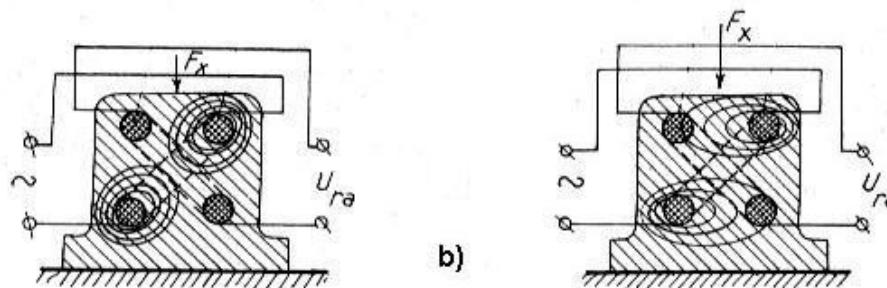
$$\Rightarrow \Delta E = \frac{K}{\delta_0} \cdot \Delta s - \frac{K \cdot s}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \cdot \Delta \delta$$

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



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



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

Chuyển đổi cảm ứng

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

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

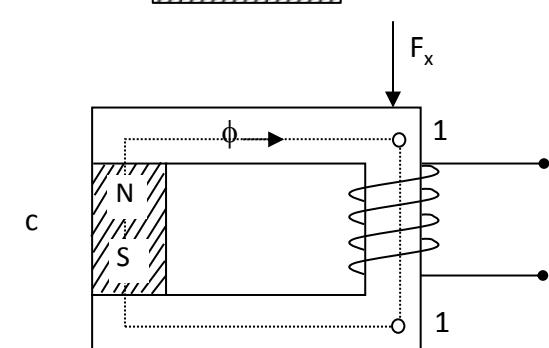
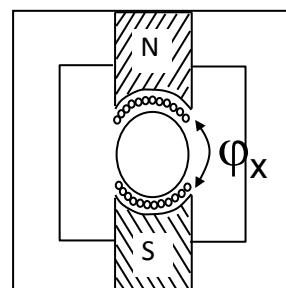
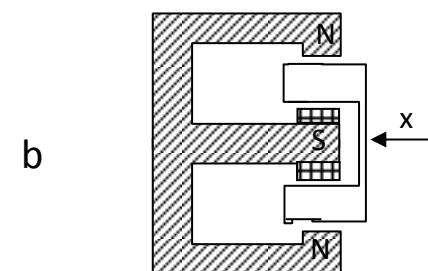
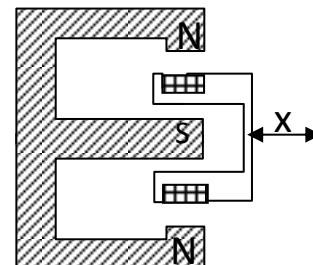
X: độ di chuyển thẳng của cuộn dây

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

B: độ từ cảm của khe hở không khí

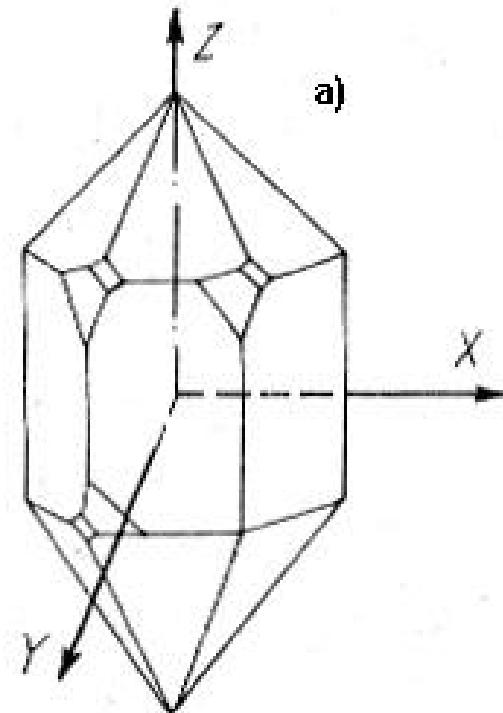
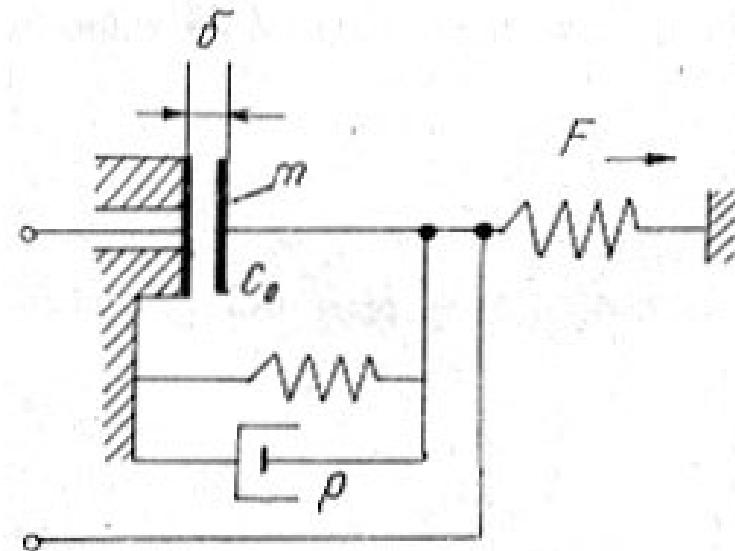
D: đường kính trung bình của cuộn dây

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

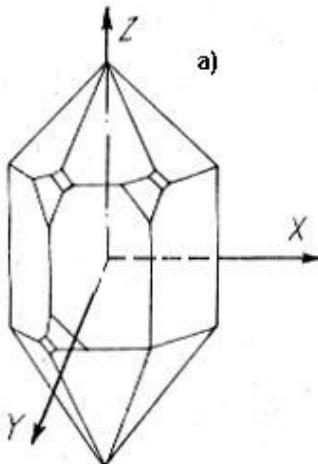
Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:

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:

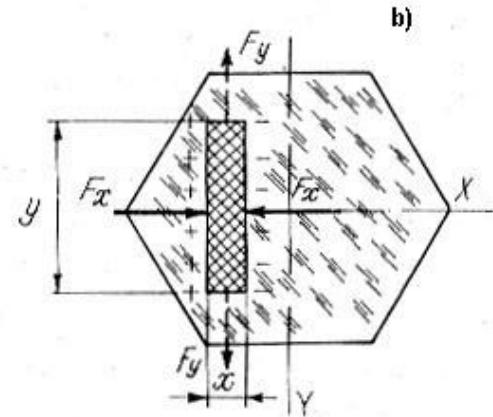
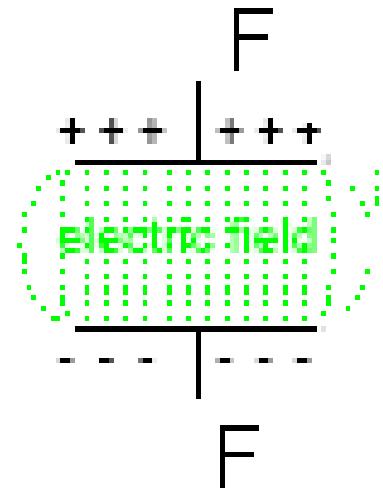
Hiệu ứng áp điện thuận: vật liệu khi chịu tác động của một lực cơ học biến thiên thì trên bề mặt của nó xuất hiện các điện tích, khi lực ngừng tác dụng thì các điện tích biến mất

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

d_1 là hằng số áp điện



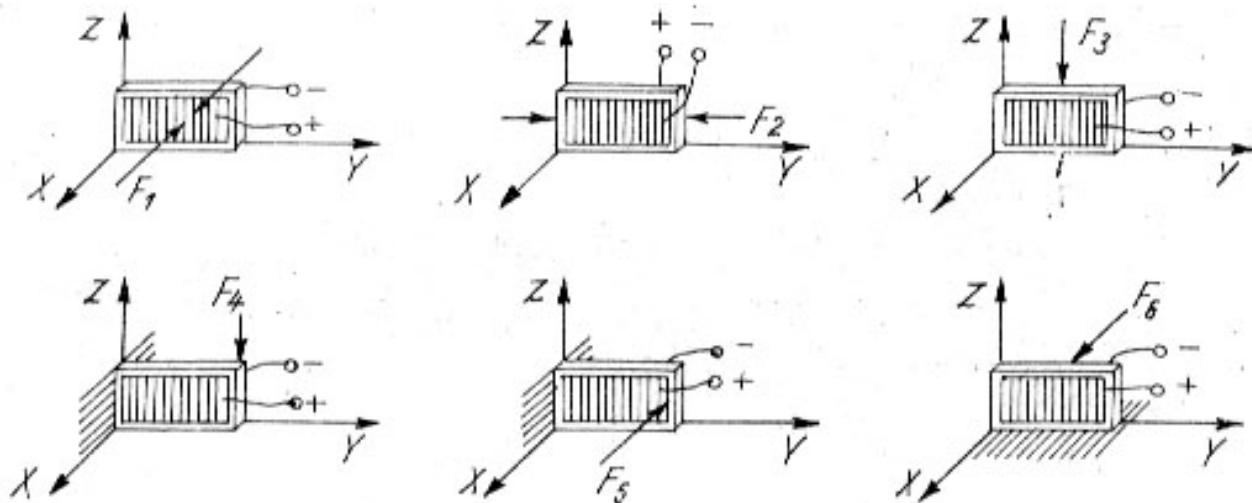
NTH - BM KTD & THCN



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

$$\Delta x = d_1 U_x$$



d₁ là hằng số áp điện

7.4 Chuyển đổi nhiệt điện.

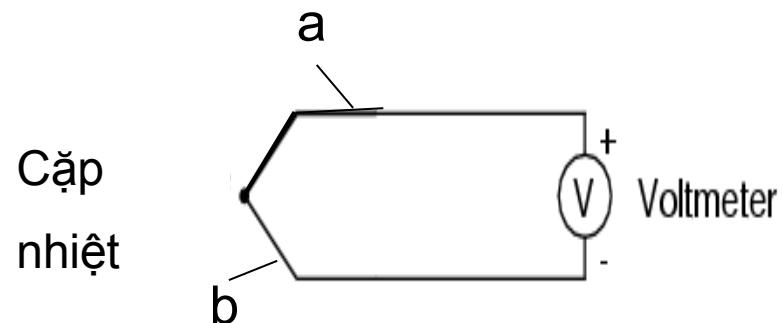
- Chuyển đổi nhiệt điện là những chuyển đổi điện trên các quá trình nhiệt như đốt nóng, làm lạnh, trao đổi nhiệt...
- Thực tế khi đo các đại lượng theo phương pháp điện người ta thường sử dụng hai hiện tượng, đó là *hiệu ứng nhiệt điện* và *hiệu ứng thay đổi điện trở của dây dẫn hay chất bán dẫn khi 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 nikén, 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 anode đến catốt. Trên đường đi các điện tử ion hóa không khí tạo thành các ion dương và âm.
- **b) Ứng dụng:** cũng như loại chuyển đổi phát xạ điện tử, chuyển đổi loại này dùng cho độ chân không tới 10⁻⁶ mm Hg.
- Nếu giữ cho đèn có độ chân không ổn định thì dòng điện chạy trong mạch phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai cực anode và catốt. Ứng dụng hiện tượng trên, người ta chế tạo các thiết bị đo các đại lượng cơ học như đo độ di chuyển.

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

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: Đơn vị đo, chuẩn và mẫu
 - ❖ Chương 3: Đặc tính cơ bản của dụng cụ 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 Hàn, 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 8: Đo dòng điện



Kí hiệu



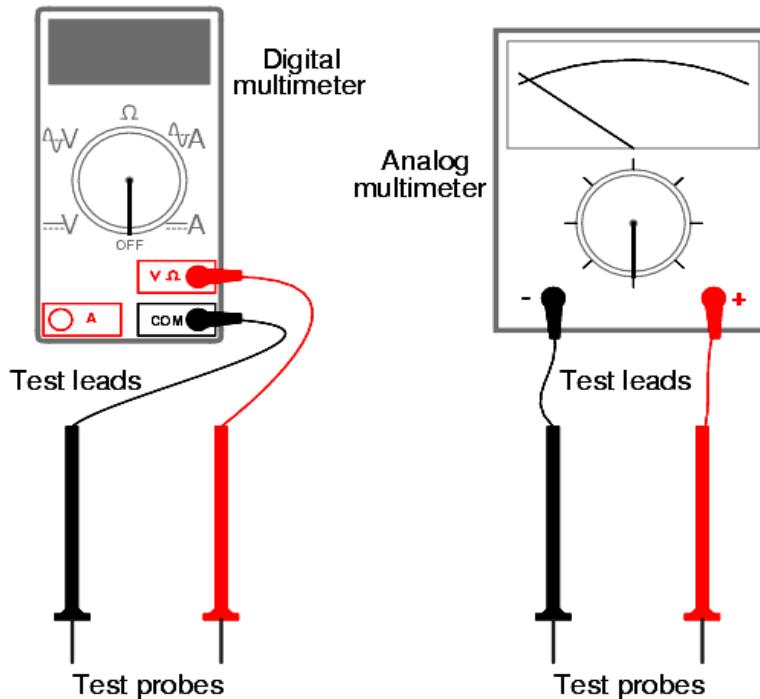
Phân loại

Nếu chia theo kết cấu ta có:

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

Nếu chia theo tính chất của đại lượng đo, ta có:

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



Nếu chia theo loại chỉ thị ta có:

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

Chương 8: Đo dòng điện



Yêu cầu đối với dụng cụ đo dòng điện là:

- Công suất tiêu thụ càng nhỏ càng tốt, điện trở của ampe kế càng nhỏ càng tốt và lý tưởng là bằng 0.
- Điều kiện làm việc

❖ **Về giá trị đo:** $I_{\text{đo}} < I_n$

$I_{\text{đo}}$: dòng điện đo bởi Ampemet; I_n : dòng điện định mức của Ampemet

❖ **Về sai số:** $\beta_{\text{đo}} < \beta_{yc}$

$\beta_{\text{đo}}$: sai số tương đối của phép đo, ; β_{yc} : sai số yêu cầu.

- Dựa trên 2 điều kiện ấy, ta có thể chọn dụng cụ đo thích hợp với $I_{\text{đomax}} < I_n$ và

$$\gamma \frac{X_n}{X_{\text{domin}}} < \beta_{yc}$$

Chương 8: Đo dòng điện

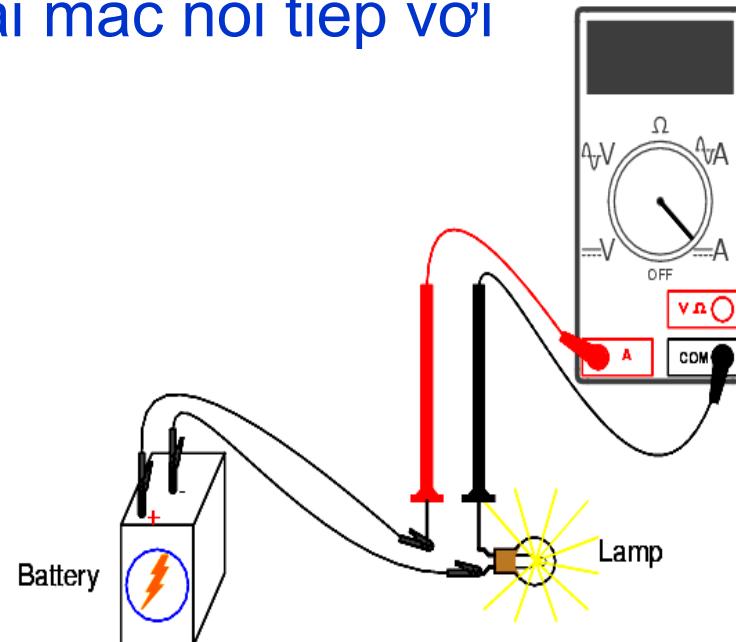
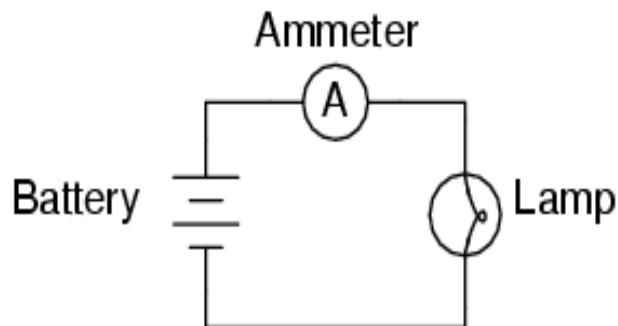


Sai số phương pháp:

- Khi Ampemet được ghép nối tiếp vào phụ tải sẽ gây ra một sự biến đổi về dòng điện và gây ra sai số phương pháp

$$\gamma_{pp} = \frac{\Delta I}{I} \approx \frac{R_A}{R_t}$$

Mắc ampe kế để đo dòng phải mắc nối tiếp với dòng cần đo (hình dưới)





Chương 8: Đo dòng điện

■ Đo dòng một chiều

- ❖ Đo bằng cơ cấu tương tự
- ❖ Đo bằng cơ cấu số
- ❖ Đo dòng điện rất lớn
- ❖ Đo dòng điện rất nhỏ

■ Đo dòng xoay chiều

- ❖ Đo dòng tức thời
- ❖ Đo dòng hiệu dụng
- ❖ Biến dòng điện

Cơ cấu tương tự - Ampe kế một chiều



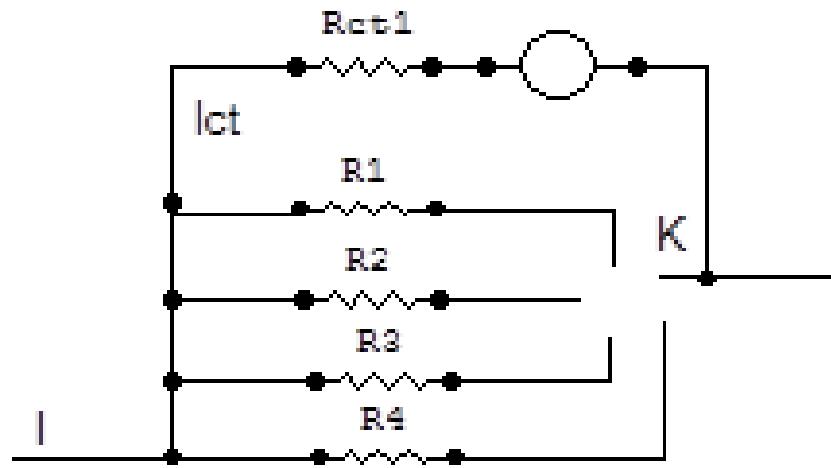
- Ampe kế một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện.
- Trong cơ cấu từ điện, góc quay: $\alpha = \frac{BSW}{D} I = K_I I$
 $K_I = \frac{BSW}{D}$ là hệ số biến đổi dòng điện của cơ cấu từ điện.
- Độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quần bằng dây có tiết diện bé nên khả năng chịu dòng rất kém.
- Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng 10^{-4} đến 10^{-2} A; điện trở của cuộn dây từ 20Ω đến 2000Ω với cấp chính xác 0,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05

Cơ cấu tương tự - Ampe kế một chiều

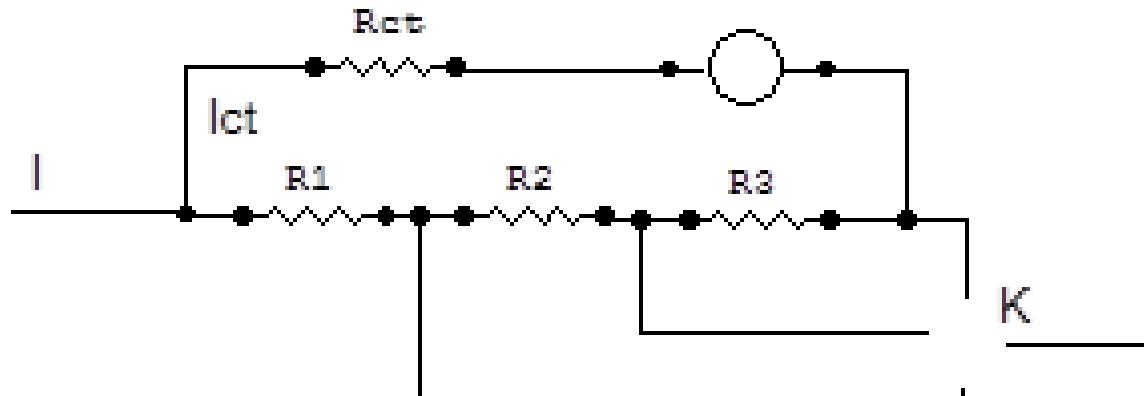


- Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị

Mắc điện trở sun kiểu song song



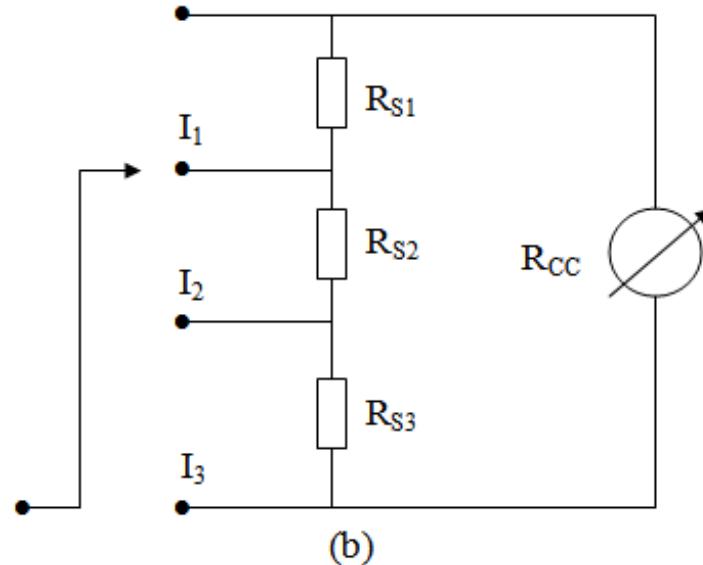
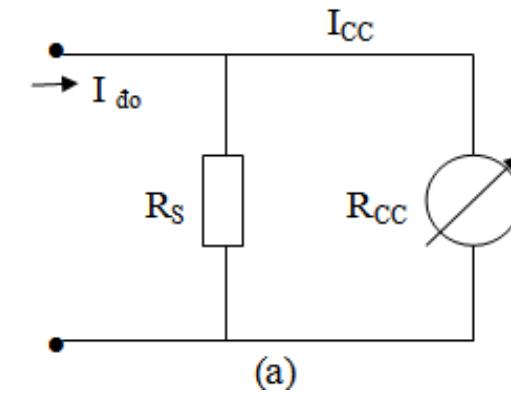
Mắc điện trở sun kiểu nối tiếp



Ampe kế một chiều



$$\left\{ \begin{array}{l} R_{S1} = \frac{R_{S2} + R_{S3} + R_{CC}}{n_1 - 1} \\ R_{S1} + R_{S2} = \frac{R_{S3} + R_{CC}}{n_2 - 1} \\ R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} = \frac{R_{CC}}{n_3 - 1} \end{array} \right.$$





Ampe kế một chiều

- Sai số do nhiệt độ và bù nhiệt độ trong Ampemeter từ điện:

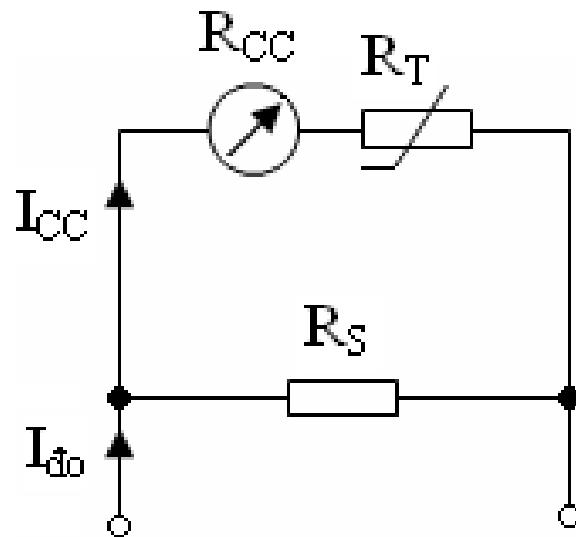
$$\Delta I_{CC} = R_S I_{do} \left(\frac{1}{R_{CC}(1+\alpha t) + R_S} - \frac{1}{R_{CC} + R_S} \right)$$

- Để bù sai số đó ta nối tiếp với cơ cấu đo một nhiệt điện trở bán dẫn có hệ số nhiệt độ β

$$\Delta R_{CC} + R_T \beta t = 0$$

- Điện trở bán dẫn có giá trị

$$R_T = -\frac{R_{CC}\alpha}{\beta}$$





Ví dụ:

- 1. Một dụng cụ từ điện có dòng cực đại qua chỉ thị là $100\mu A$ và điện trở cuộn dây $R_{CT} = 1k\Omega$. Tính điện trở sun cần thiết để biến dụng cụ thành 1 ampe kế có độ lệch thang đo $100mA$ và độ lệch thang đo $1A$.
- 2. Một ampe kế từ điện có dòng điện cực đại chạy qua chỉ thị là $0,1mA$; điện trở khung dây chỉ thị $R_{CT} = 99\Omega$. Điện trở sun $R_S = 1\Omega$. Xác định dòng đo được khi kim của ampe kế ở vị trí:
 - + Lệch toàn thang đo
 - + Lệch $1/2$ thang đo
 - + Lệch $1/4$ thang đo



Ampe kế một chiều

Bài 1

■ Độ lệch thang do 100mA

$$V_{CT} = R_{CT} \cdot I_{CT} = 1k\Omega \cdot 100\mu A = 100mV$$

$$I_S = I - I_{CT} = 100mA - 100\mu A = 99,9mA$$

$$R_S = \frac{V_{CT}}{I_S} = \frac{100}{99,9} = 1,001\Omega$$

■ Độ lệch thang do 10A

$$V_{CT} = R_{CT} \cdot I_{CT} = 1k\Omega \cdot 100\mu A = 100mV$$

$$I_S = I - I_{CT} = 1A - 100\mu A = 999,9mA$$

$$R_S = \frac{V_{CT}}{I_S} = \frac{100}{999,9} = 0,10001\Omega$$



Bài 2

■ Lệch toàn thang đo

$$I_{CT} = 0,1mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 9,9 \cdot 10^{-3} V = 9,9mV$$

$$I_S = \frac{U_{CT}}{R_S} = \frac{9,9 \cdot 10^{-3}}{1} = 9,9 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_S = 0,1 + 9,9 = 10mA$$

■ Lệch 1/2 thang đo

$$I_{CT} = \frac{0,1}{2} = 0,05mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 4,95 \cdot 10^{-3} V$$

$$I_S = \frac{U_{CT}}{R_S} = \frac{4,95 \cdot 10^{-3}}{1} = 4,95 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_S = \frac{0,1}{2} + 4,95 = 5mA$$



- **Ví dụ 3:** một ampe có 3 thang đo với các điện trở sun $R_1=0,05\Omega$; $R_2=0,45\Omega$; $R_3=4,5\Omega$ mắc nối tiếp. $R_{CT}= 1k\Omega$; $I_{CT}= 50\mu A$
 - ❖ Tính giá trị dòng cực đại qua chỉ thị trong 3 trường hợp đó.
- **Ví dụ 4:** Một miliampé kẽ từ điện có thang đo 150 vạch với giá trị độ chia là $C=0.1mA$; $R_{CT} = 100\Omega$. Tính giá trị R_s để đo được các giá trị dòng tối đa là 1A, 2A và 3A



Bài tập 3.

Khóa ở vị trí 3

$$R_S = R1 + R2 + R3 = 5\Omega$$

$$I_S = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_S} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{5} = 10mA$$

khoảng đọc ñaampէk ũ 10mA

Khóa ở vị trí 2

$$R_S = R1 + R2 = 0,5\Omega$$

$$I_S = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_S} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot (4,5 + 10^3)}{0,5} = 100mA$$

khoảng đọc ñaampէk ũ 100mA

$$R_S = R1 = 0,05\Omega$$

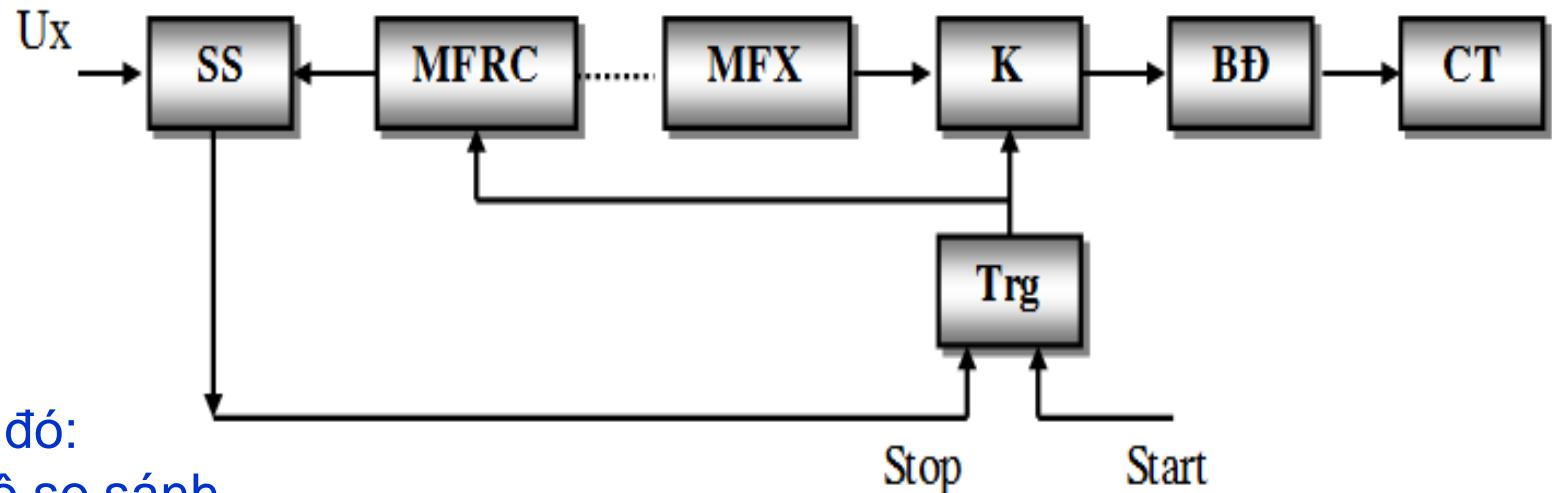
$$I_S = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_S} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot (0,45 + 4,5) \cdot 10^3}{5} = 1A$$

khoảng đọc ñaampէk ũ 1A

Ampemet số chuyển đổi thời gian



- Nguyên tắc hoạt động: I_x tỷ lệ với U_x , Bộ đếm được dùng để đếm số lượng xung (N) tỉ lệ với U_x để suy ra U_x .
- Sơ đồ khối:



Trong đó:

SS: Bộ so sánh

MFRC: mạch phát tín hiệu răng cưa

MFX: mạch phát xung chuẩn tần số f_0

Trigo: mạch lật

K: Khóa điện tử được điều khiển bởi trigo

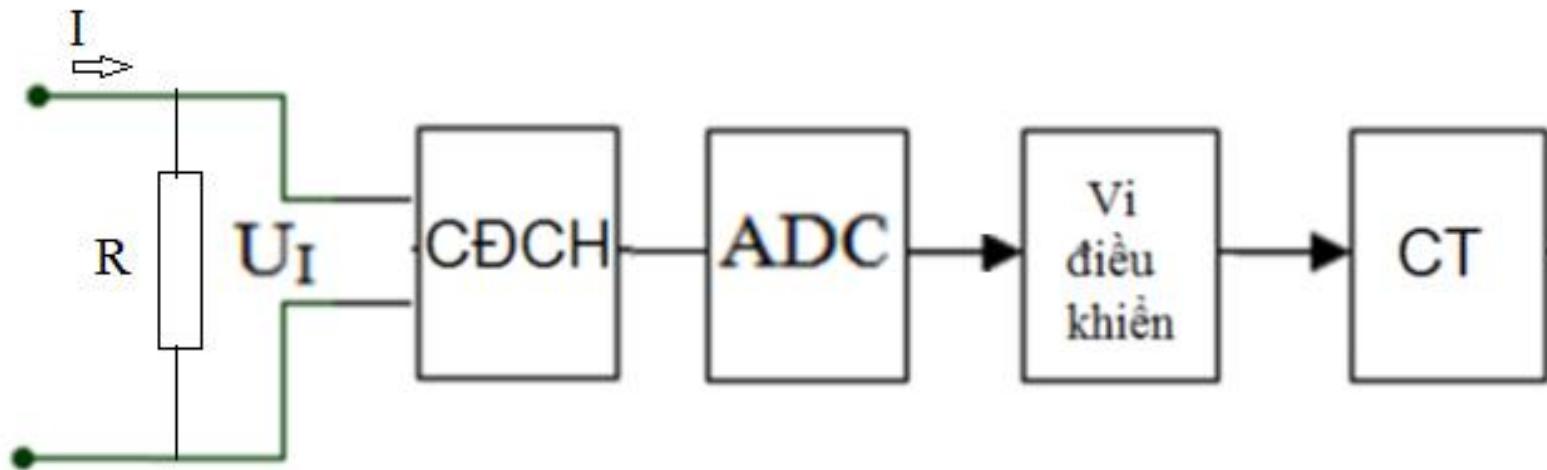
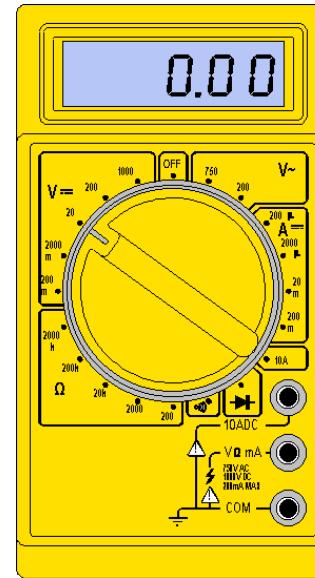
BĐ: bộ đếm

CT: bộ chỉ thị số (bao gồm cả mạch mã hoá, giải mã và hiển thị)

Ampe kế số



- Ampe kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo.



Các phương pháp khác đo dòng điện một chiều



Đo dòng điện lớn

- Khi dòng điện đo quá lớn, hao tổn trên Sun $p_{th} = R_S \cdot I^2$ rất lớn. Để cho p_{th} đủ nhỏ thì R_S phải vô cùng nhỏ (cỡ $n\Omega$) rất khó chế tạo. Người ta sử dụng phương pháp không tiếp xúc.
- Dòng điện I gây ra một từ trường quanh nó theo công thức

$$H = \frac{I}{2\pi d}$$

H: Từ trường trong mặt phẳng vuông góc với dây dẫn
I: Dòng điện chạy trong dây
d: Khoảng cách từ điểm đo đến dây dẫn

- Từ cảm ứng: $B = \mu H$
- Để đo B có thể sử dụng các biện pháp sau:
 - ❖ Cuộn dây cảm ứng với mạch tích phân
 - ❖ Cảm biến Hall
 - ❖ Cộng hưởng từ hạt nhân.

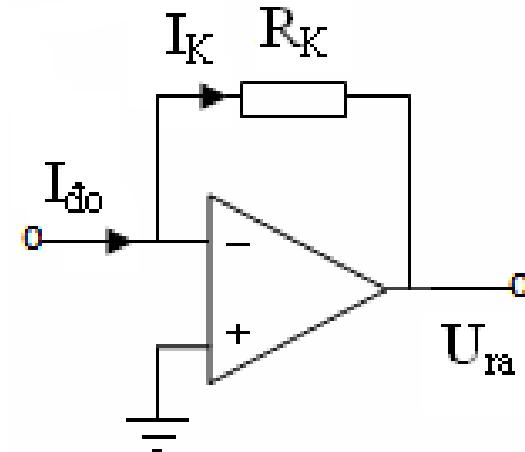
Các phương pháp khác đo dòng điện một chiều

Đo dòng điện rất nhỏ

- Từ công thức: $U_S = R_S I_{\text{đo}}$
- Nếu dòng điện $I_{\text{đo}}$ nhỏ, để cho U_S đủ để đo được (cỡ 10mV trở lên), điện trở Sun R_S phải lớn.
- Ta dùng biện pháp bù dòng bằng khuếch đại thuật toán ở sơ đồ dưới gọi là mạch electromet.

$$I_K = \frac{U_{ra}}{R_K} = I_{\text{đo}}$$

Nên: $U_{ra} = R_K \cdot I_{\text{đo}}$





9.2 Ampemeter xoay chiều

- Dòng điện biến thiên $I_t = f(t)$ là dòng điện thay đổi theo thời gian. Trong thực tế, dòng điện chu kỳ có hai dạng thông

- ❖ **Dòng điện hình sin:**

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

- Để xác định dòng điện hình sin phải xác định I_m , ω và φ .
 - Cũng có thể xác định dòng trung bình và dòng hiệu dụng của một dòng điện biến thiên.

- ❖ **Dòng điện xung**

- Dòng điện xung là dòng có chu kỳ; có hai dạng thông dụng: xung nhọn và xung vuông.



9.2 Ampemet xoay chiều

Đo dòng điện tức thời

- Đo dòng điện tức thời tức là xác định được giá trị dòng điện ở các thời điểm khác nhau.
- Sự ra đời của các ADC tốc độ cao và các vi xử lý cho phép theo dõi các tín hiệu biến thiên có tốc độ rất cao (MHz hay cao hơn nữa).
- Hiện nay các ADC kiểu so sánh song song có thể đạt đến 25GS/s cho phép theo dõi các quá trình xảy ra cỡ ns hay tín hiệu có tần số 500MHz, tức vượt các máy hiện sóng hiện đại.



9.2 Ampemeter xoay chiều

- **Đo dòng điện tức thời**
- Để đo được giá trị tức thời của dòng điện biến thiên ta sử dụng phương pháp rời rạc hoá tín hiệu bằng các phần tử lấy mẫu và ghim giữ (Sample and Hold).
- Chu kỳ rời rạc hoá và lấy mẫu T_{lm} phụ thuộc vào sai số yêu cầu rời rạc hoá và thời gian biến đổi T_{ADC} của ADC

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{lm} \leq \sqrt{\frac{2\gamma_{yc} X_m}{g_m}} \\ T_{lm} > T_{ADC} \end{array} \right.$$

T_{lm} : Chu kỳ rời rạc hoá hay lấy mẫu.
 γ : Sai số yêu cầu của phép đo.
 X_m : Giá trị cực đại của tín hiệu.
 g_m : Giá tốc cực đại của tín hiệu;



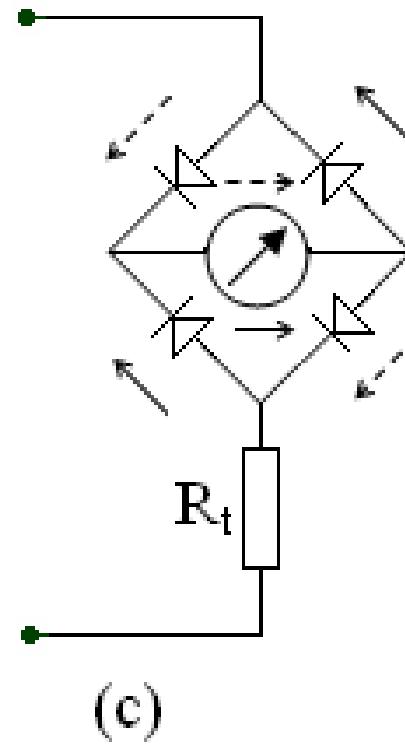
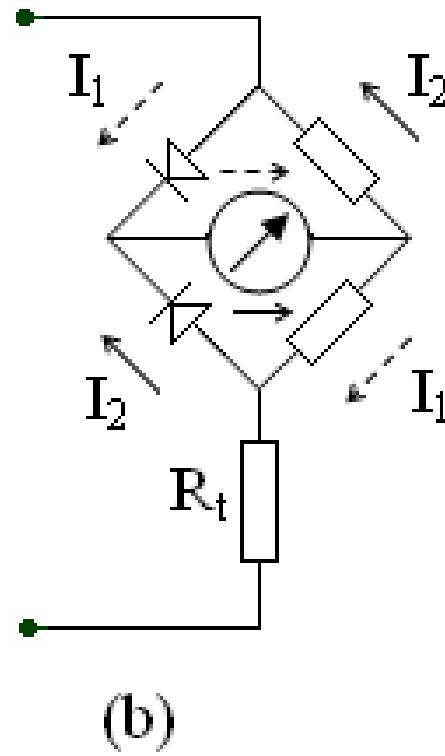
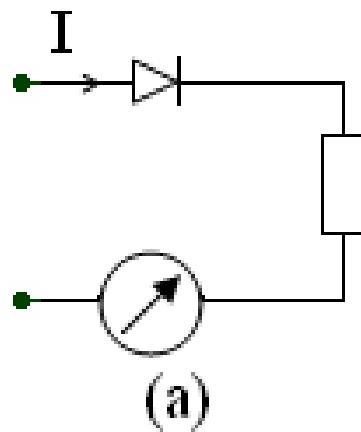
Đo dòng trung bình, hiệu dụng

- Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng
 - ❖ Ampemet từ điện chỉnh lưu
 - ❖ Ampemet điện từ
 - ❖ Ampemet điện động

Ampemet từ điện chỉnh lưu



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





Dòng trung bình

■ Với chỉnh lưu nửa chu kì

$$I_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_{IM} \sin \omega t dt = \frac{1}{\omega T} I_{IM} (\cos 0 - \cos \pi) = \frac{1}{\pi} I_{IM}$$

■ Chỉnh lưu hai nửa chu kì

❖ Đối với dòng điện hình sin I_{tb} lấy trong một chu kỳ đối xứng. Vì vậy I_{tb} chỉ có nghĩa khi lấy giá trị trong $\frac{1}{2}$ chu kỳ:

$$I_{tb} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin(\omega t) dt = -\frac{2}{T} I_m \frac{1}{\omega} \cos(\omega t) \Big|_0^{T/2} = \frac{2I_m}{\pi}$$



Đo dòng hiệu dụng

$$I_{hd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$
$$I_{hd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2 dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

■ Chỉnh lưu nửa chu kì

$$I_{tb} = \frac{1}{\pi} I_{IM} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{Ihd} = \frac{1}{2,22} I_{Ihd}$$

■ Chỉnh lưu cả chu kì

$$I_{tb} = \frac{2}{\pi} I_{IM} = \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} I_{Ihd} = \frac{1}{1,11} I_{Ihd}$$

Ampemet từ điện chỉnh lưu



Chỉnh lưu cả chu kì

■ Đổi với dòng điện hình sin

$$I_{trb} = \frac{2}{\pi} \cdot I_P = 0,637 \cdot I_m$$

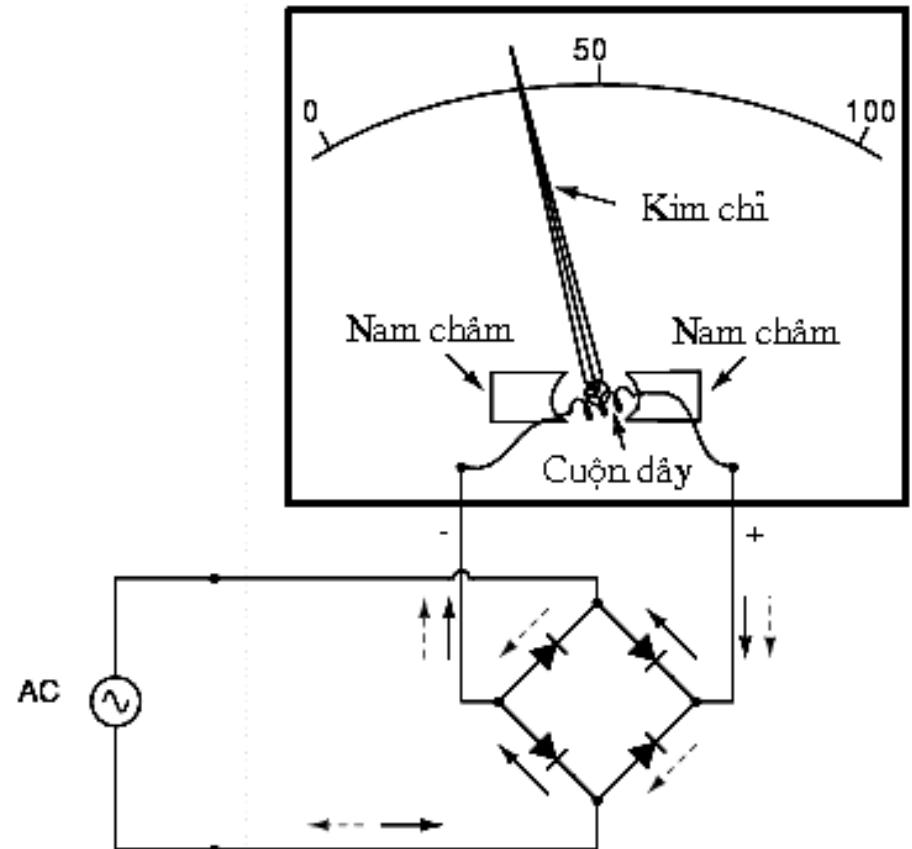
$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m$$

$$I_{rms} = 1,11 \cdot I_{trb}$$

I_m - dòng đỉnh

I_{trb} - dòng trung bình

I_{rms} - dòng hiệu dụng



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

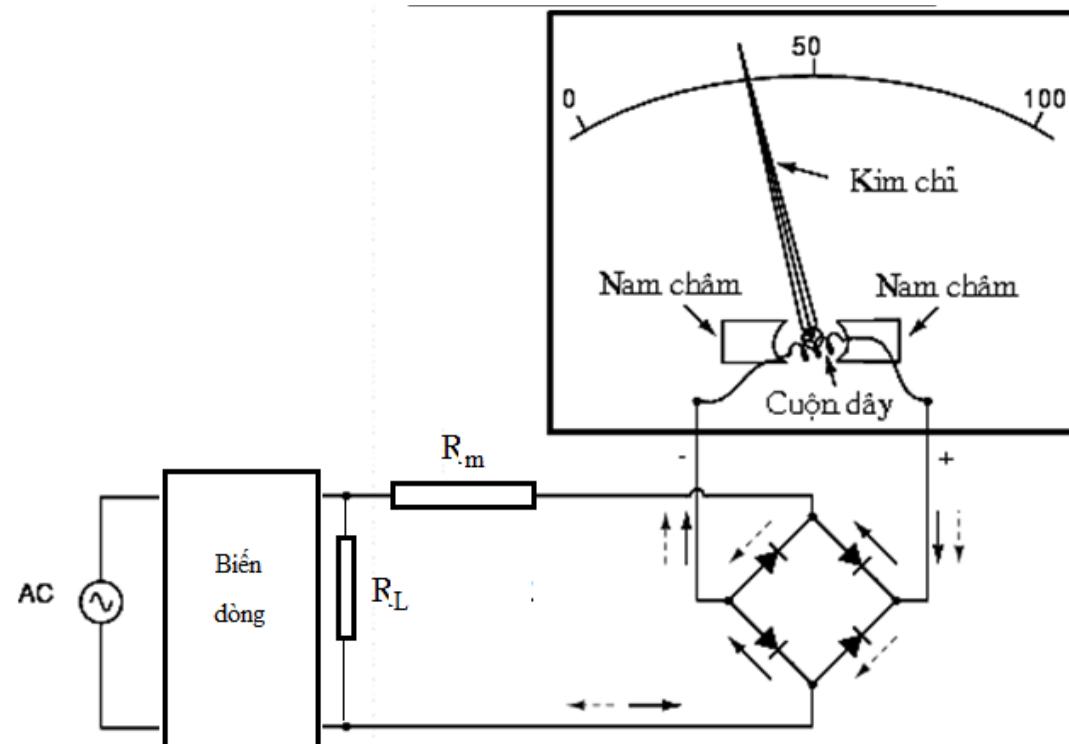
Ampemet từ điện chỉnh lưu



- Ví dụ: Một ampe kế chỉnh lưu hai nửa chu kỳ (sơ đồ như hình dưới) có với dòng sơ cấp là 250mA. Máy đo có dòng qua cơ cấu chỉ thị là 1mA; R_{ct} là $1,7\text{k}\Omega$. Biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là 4 và 500 vòng; sụt áp trên diode là 0,7V; R_m là $20\text{k}\Omega$.

Xác định R_L

R_L được chọn để gánh phần dòng dư thừa giữa I_{trb} và I_{ct} hay chính là sun mở rộng thang đo





Giải:

■ Ta có: $R_L = \frac{U_2 rms}{I_L rms}$

$$U_2 rms = 0,707 \cdot U_2 p$$

$$U_2 p = I_2 p \cdot (Rm + Rct) + 2 \cdot V_D$$

$$I_2 p = \frac{Itrb}{0,637} = \frac{1mA}{0,637} = 1,57mA$$

$$\Rightarrow U_2 rms = 0,707(1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 21,7 \cdot 10^3 + 2 \cdot 0,7) = 25,08V$$

$$I_L rms = I_2 rms - I_{ct} rms$$

$$I_2 rms = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1 rms = \frac{4}{500} \cdot 250mA = 2mA$$

$$I_{ct} rms = 1,11 \cdot I_{ct} trb = 1,11 \cdot 1mA = 1,11mA$$

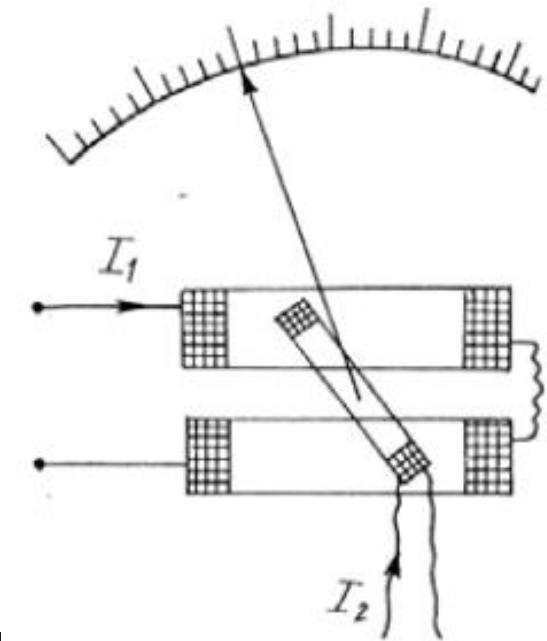
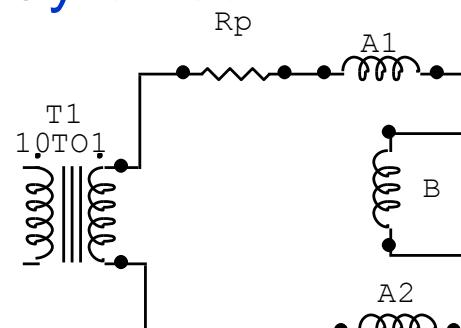
$$\Rightarrow I_L rms = 2 - 1,11 = 0,89mA$$

$$\Rightarrow R_L = \frac{25,08V}{0,89mA} = 28,18k\Omega$$

Ampemet điện động



- Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 2)
- Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song
- Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với I^2 nên máy đo chỉ giá trị r_{ms} .
- Dụng cụ có thể đo giá trị hiệu dụng của dòng một chiều hoặc xoay chiều.

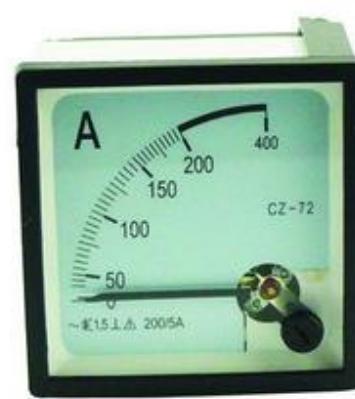




Ampemet điện từ

- Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ.
- Trong cơ cấu này, góc quay

$$\alpha = \frac{dL}{2Dda} I^2$$



- Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng xác định (I_w là một hằng số)
- Các ampemet điện từ thường có số vòng rất ít. Đối với các ampemet có cuộn dây tròn $I_w = 200$ (A.vòng).
- Để thay đổi thang đo, ta chỉ cần thay đổi số vòng quấn của ampemet.

Ampemet nhiệt điện



- Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cǎp nhiệt điện.
- Cǎp nhiệt điện (hay còn gọi là cǎp nhiệt ngẫu) một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ t1), hai đầu kia nối với milivonkế gọi là đầu tự do (nhiệt độ t0).
- Khi nhiệt độ đầu làm việc t1 khác nhiệt độ đầu tự do t0 thì cǎp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

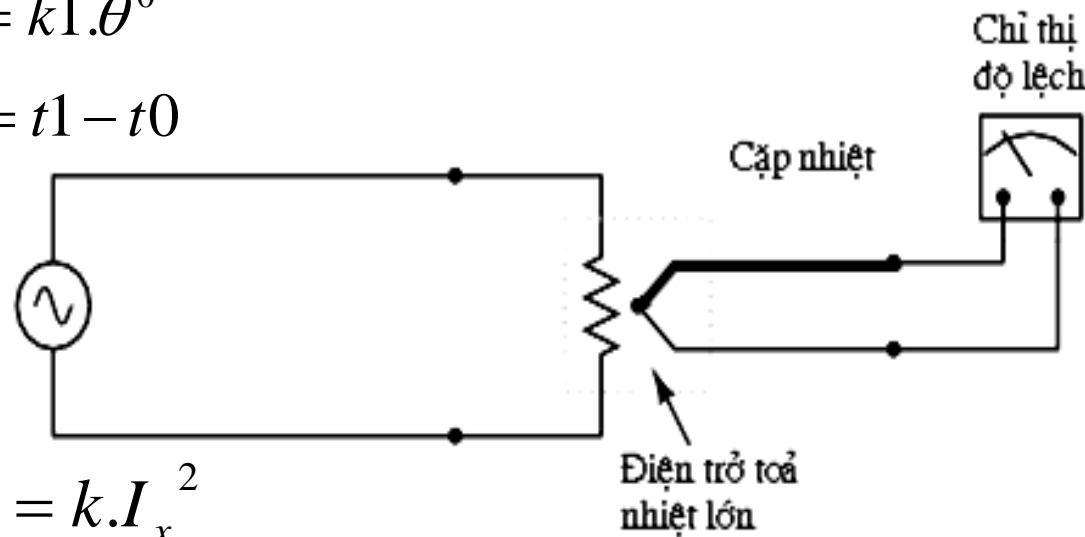
$$Et = k1 \cdot \theta^0$$

$$\theta^0 = t1 - t0$$

Khi dùng dòng I_x để đốt nóng đầu t1 thì:

$$\theta^0 = k2 \cdot I_x^2$$

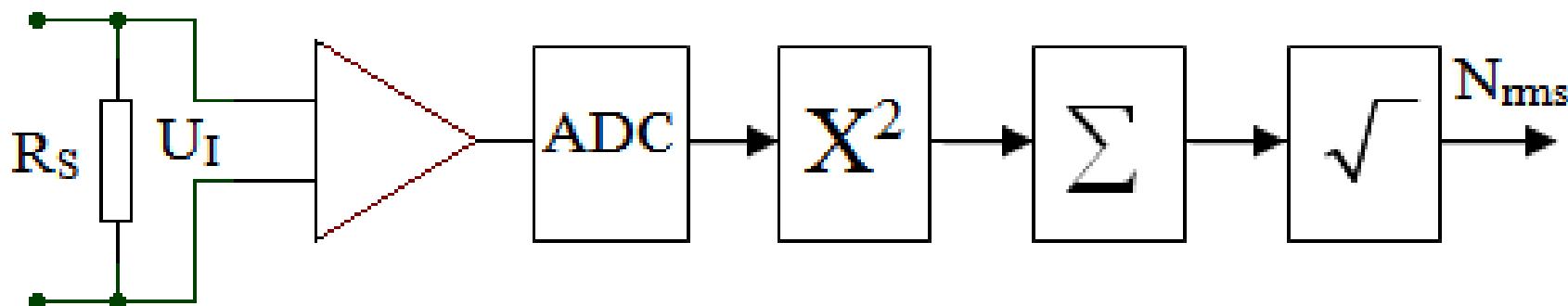
$$\Rightarrow Et = k1 \cdot k2 \cdot I_x^2 = k \cdot I_x^2$$



Ampemet số



- Dòng điện I_x tạo trên Sun một điện áp U_I , điện áp này được khuếch đại thông qua một khuếch đại đo lường chính xác cao, sau đó qua một ADC tốc độ đủ lớn biến thành số tỷ lệ với dòng tức thời. Con số này được bình phương, lấy trung bình, lấy căn thành N_{rms} . Các phép bình phương, cộng, chia, lấy căn đều thực hiện trong không gian số nhờ vi xử lý.



$$I_{hd} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i^2}$$

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N N_{ADCi}^2}$$

Đo dòng gián tiếp



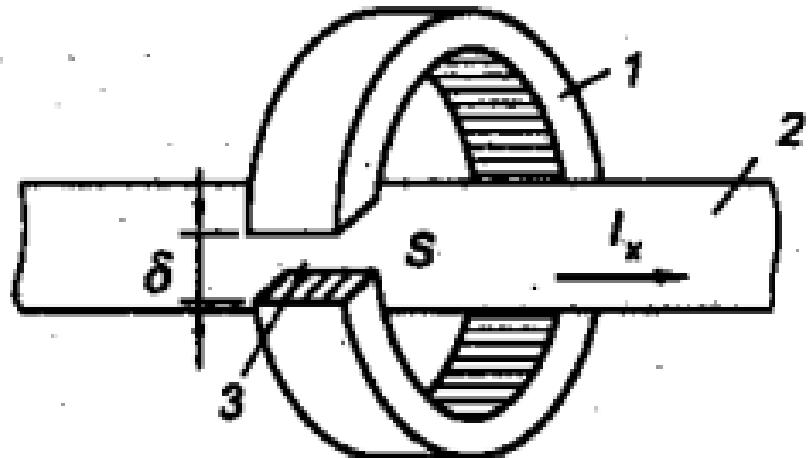
- Dòng điện cần đo đi qua vòng xuyên như hình dưới
- Mối quan hệ giữa dòng điện và từ trường

$$B = \frac{\phi}{S}; \quad \phi = \frac{F}{R_m} = \frac{I \cdot W}{R_m}$$

$$\Rightarrow B = \frac{IW}{R_m \cdot S}$$

- Trong đó:

- ❖ B: từ cảm
- ❖ Phi: từ thông
- ❖ S: tiết diện mà từ thông xuyên qua
- ❖ R_m: từ trở mạch từ,
- ❖ W: số vòng dây cuốn trên mạch từ



- ❖ I: Dòng điện chạy qua cuộn dây tạo lực từ F
- ❖ F: Lực từ

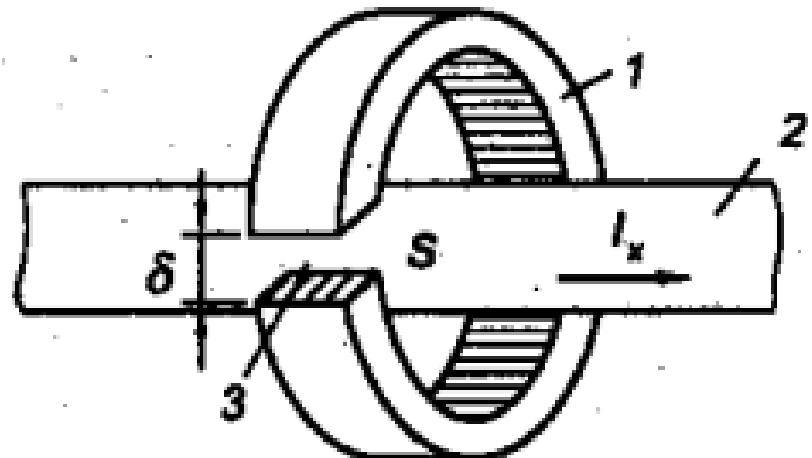
Đo dòng gián tiếp



- Dòng điện cần đo đi qua vòng xuyên như hình dưới
- Tùy trở của mạch từ

$$R_m = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot S}$$

- Trong đó:
 - ❖ delta : từ cảm
 - ❖ Mi : Hệ số từ thẩm của không khí
 - ❖ S: tiết diện cực từ



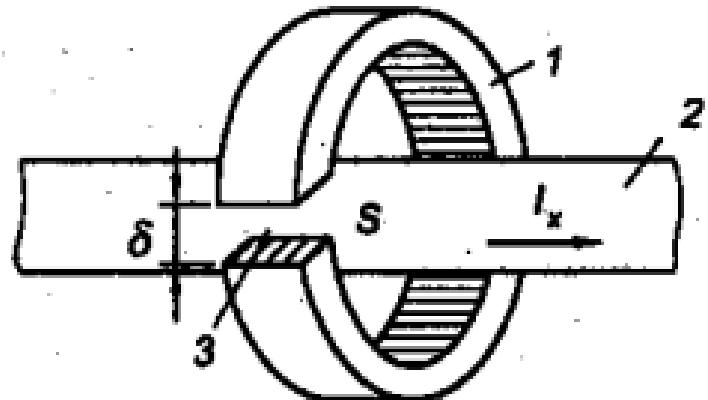
1. Mạch từ hình xuyên :
2. Dây dẫn điện để dòng I_x chạy qua :
3. Khe hở không khí.



■ Nếu số lượng vòng dây $W=1$

$$B = \frac{\mu_0}{\delta} I$$

■ Như vậy người ta có thể đo dòng điện thông qua từ cảm B



1. Mạch từ hình xuyến :
2. Dây dẫn điện để dòng I_x chạy qua :
3. Khe hở không khí.

Biến dòng điện

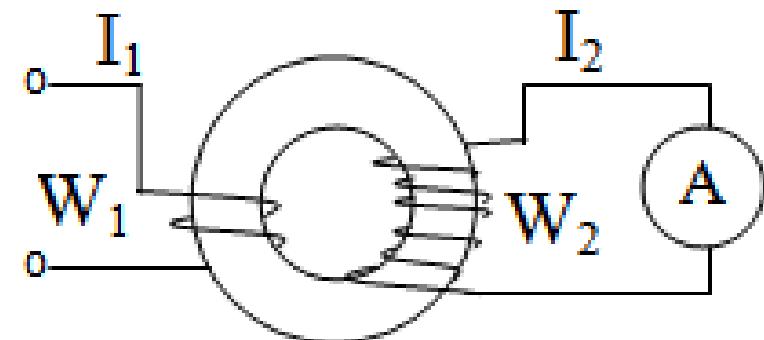


Khi cần đo dòng điện lớn hoặc đo dòng điện ở điện áp cao, người ta sử dụng biến dòng điện.

Biến dòng điện TI là một loại biến áp nhỏ có cuộn dây sơ cấp rất ít vòng W_1 cho dòng điện cần đo I_x chạy qua. Cuộn dây thứ cấp W_2 nhiều vòng nối trực tiếp vào Ampemet điện tử.

Ampemet có điện trở rất nhỏ, biến dòng điện (TI) là biến áp làm việc ở chế độ ngắn mạch thứ cấp nên ta có

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

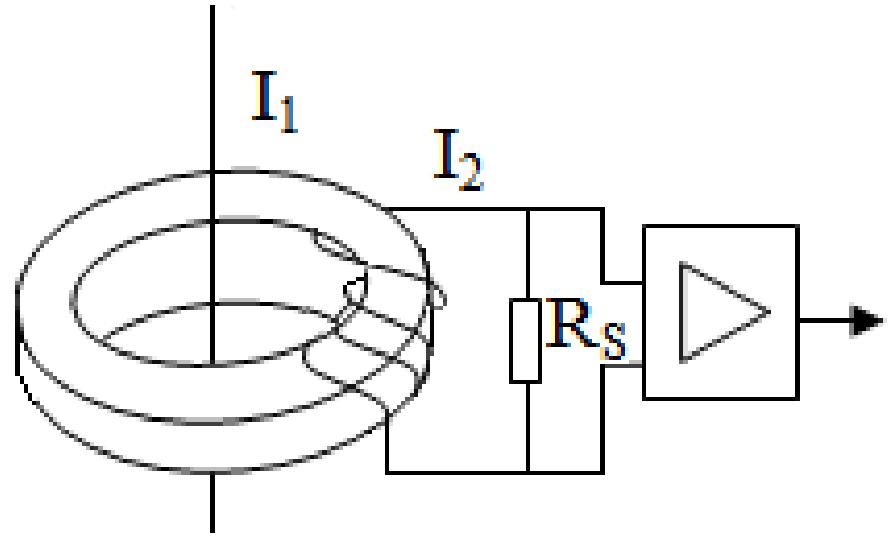


Biến dòng điện



- Biến dòng điện là một lõi hình xuyến có số vòng W_2 lớn còn W_1 chỉ là một vòng ứng với dây dẫn xuyên qua lõi thép nên $W_1=1$

Thú cắp ngắn mạch phải đặt một điện trở Sun biến dòng thứ cắp thành điện áp $U_s = I_2 R_s$.



R_s còn có nhiệm vụ đảm bảo là biến dòng làm việc ở chế độ thứ cắp ngắn mạch (tức $R_s \ll R_{W2}$).

Biến dòng điện



- Để tiện lợi cho việc đo, người ta chế tạo các biến dòng, có cuộn dây thứ cấp có nhiều vòng ứng với các hệ số biến dòng điện hay hệ số biến đổi dòng – áp khác nhau.
- Để phục vụ cho việc đo dòng điện trên đường dây đang hoạt động, người ta chế tạo ra các biến dòng lõi thép có thể mở ra – đóng lại để có thể cắp lên đường dây. Ta gọi là Ampemet kìm.





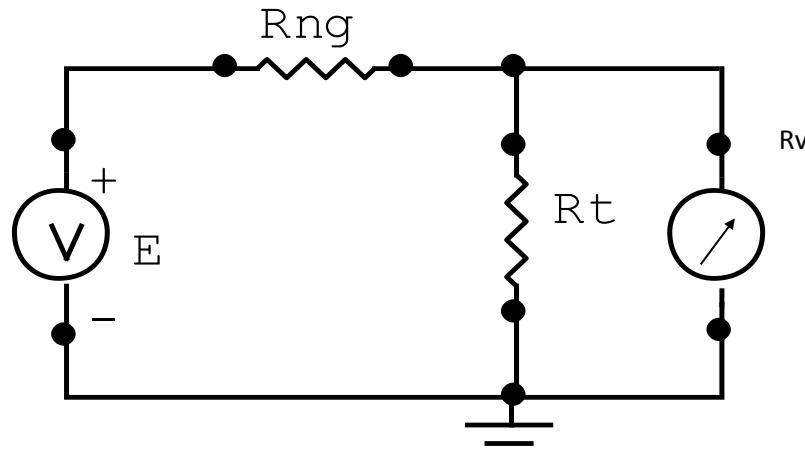
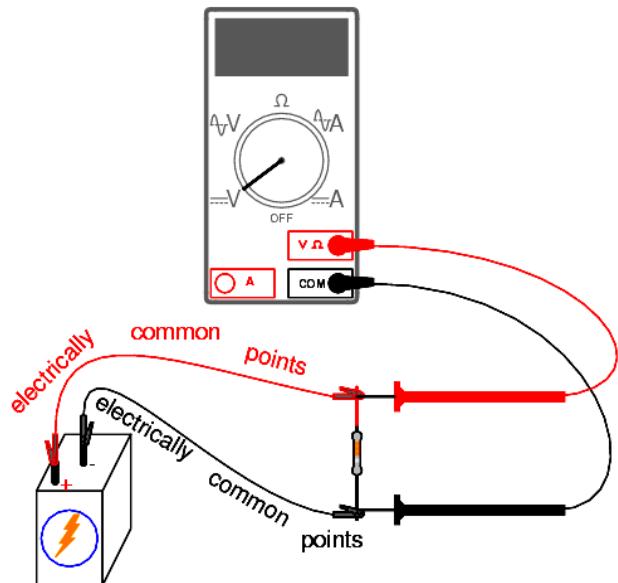
Chương 9: Đo điện áp

- Dụng cụ dùng để đo điện áp gọi là Vôn kế hay Voltmeter



- Ký hiệu là

- Khi đo điện áp bằng Vôn kế thì Vôn kế luôn được mắc song song với đoạn mạch cần đo như hình dưới đây

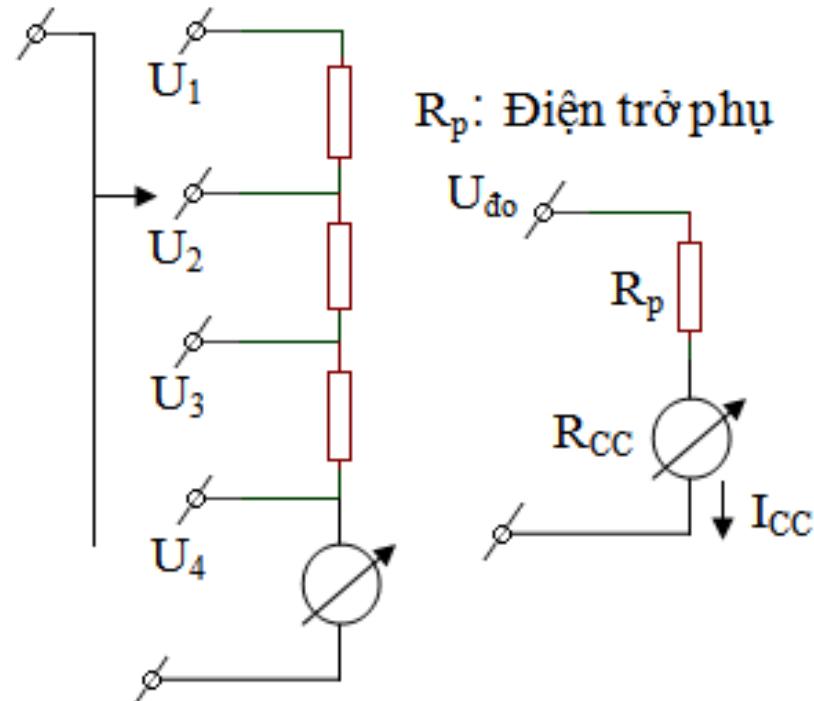




Volmet một chiều từ điện

- Cơ cấu từ điện chủ yếu chế tạo để đo dòng điện một chiều.
- Bản thân cơ cấu có cuộn dây bằng đồng điện trở vào khoảng $5-600\Omega$ ứng với dòng điện $150\mu A$ tức vào khoảng $U_{CC} = 100mV$.

Để đo các điện áp trên $100mV$, ta phải mở rộng thang đo. Điện trở R_{CC} làm một điện trở của phân áp, điện trở kia được gọi là điện trở phụ của Volmet



Volmet một chiều từ điện



- Một dụng cụ đo C với ĐLTĐ (độ lệch thang đo) là $100\mu A$ và $R_{ct} = 1k\Omega$ được sử dụng để làm Vôn kế.
 - + Xác định điện trở nhân cần thiết nếu muốn đo điện áp 100 V trên toàn thang.
 - + Tính điện áp đặt vào khi kim chỉ $3/4$; $1/2$ và $1/4$ ĐLTĐ

Giải



- + Để đo điện áp 100V trên toàn thang thì phải sử dụng điện trở R_p có giá trị như sau:
- $R_p = R_{ct} \cdot (m - 1)$

$$m = \frac{U}{U_{ct}} = \frac{U}{I_{ct} \cdot R_{ct}} = \frac{100}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} = 1000$$

$$\Rightarrow R_p = (1000 - 1) \cdot 1k\Omega = 999k\Omega$$

- Với ĐLT $I_{ct} = 100\mu A$

- ❖ $\frac{3}{4}$ ĐLT sẽ có $U_x = \frac{3}{4} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 75V$

- ❖ $\frac{1}{2}$ ĐLT sẽ có $U_x = \frac{1}{2} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 50V$

- ❖ $\frac{1}{4}$ ĐLT sẽ có $U_x = \frac{1}{4} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 25V$

Đo điện áp xoay chiều



- Volmet chỉnh lưu từ điện
- Volmet xoay chiều điện từ
- Vôn kế điện động
- Vôn kế số
- Biến áp



Volmet chỉnh lưu từ điện



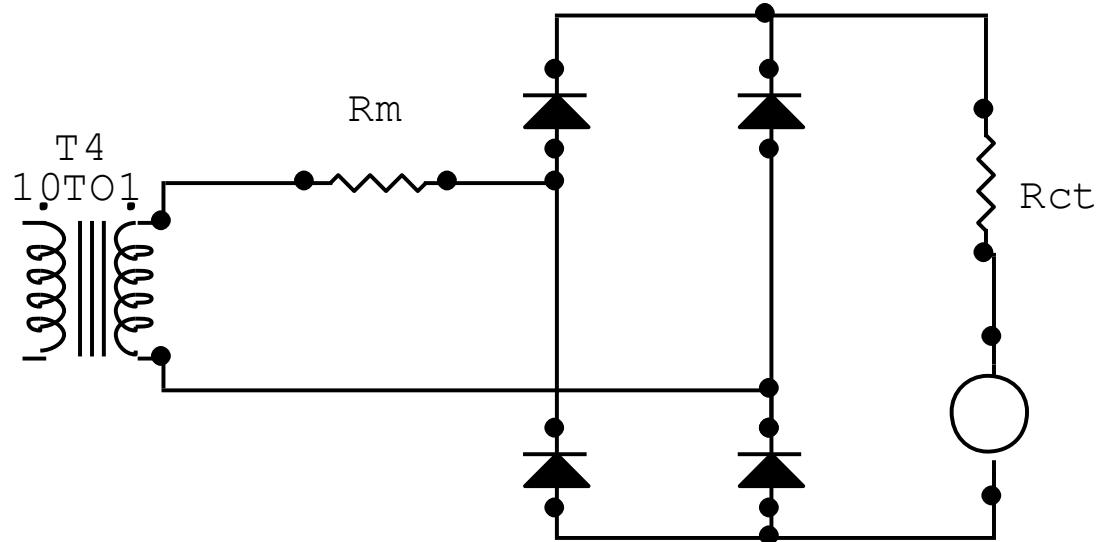
Sơ đồ chỉnh lưu cầu

- Đối với sóng đầu vào hình sin thì các giá trị điện áp được tính như sau:

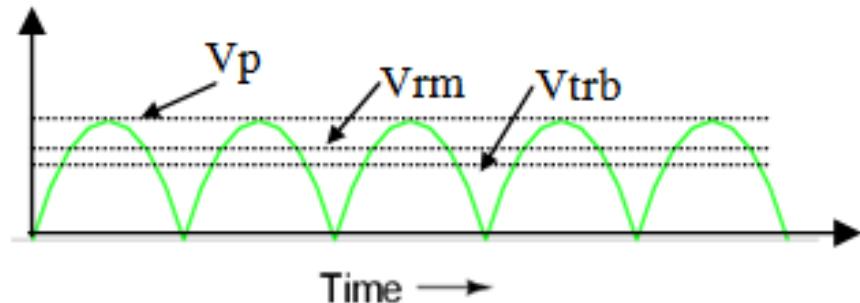
$$V_{rms} = 0,707 \cdot V_p$$

$$V_{trb} = 0,637 \cdot V_p$$

$$V_{rms} = 1,11 \cdot V_{trb}$$



Dòng qua chỉ thị có dạng:

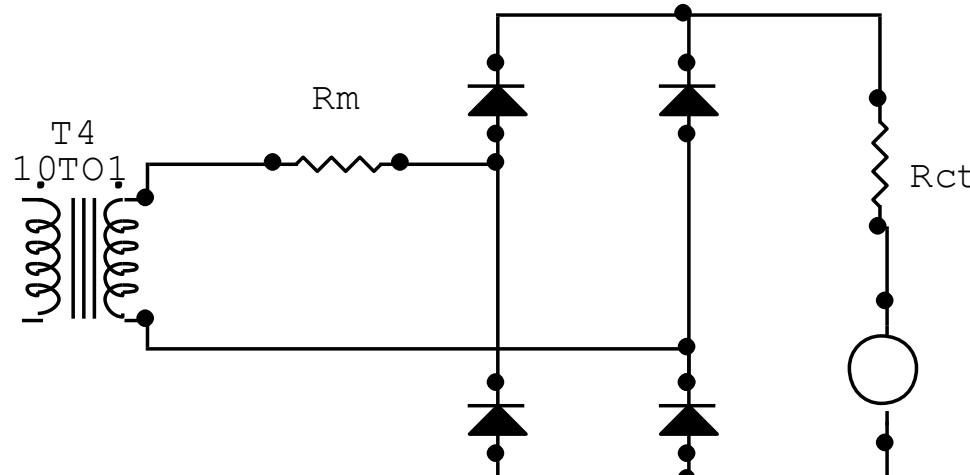


Volmet chỉnh lưu từ điện



- Ví dụ: Một dụng cụ đo với ĐLTĐ là $100\mu\text{A}$ và $R_{ct} = 1\text{k}\Omega$ được dùng như một Vôn kế xoay chiều có ĐLTĐ là 100V bằng cách sử dụng sơ đồ chỉnh lưu cầu diode như hình trên.

- + Xác định giá trị của điện trở nhân cần thiết
- + Xác định dòng trung bình đi qua cơ cầu khi điện áp vào V_{rms} là 75V và 50V
- + Tính độ nhạy của Vôn kế trên





Bài tập

■ Giải: Xác định điện trở nhân

điện trở toàn phần của mạch = (điện áp đỉnh đặt vào - độ sụt áp chỉnh lưu)/dòng đỉnh chạy trong mạch

ĐLTĐ của cơ cấu chỉ thị TĐNCVC là $100\mu A \Rightarrow I_{trb} = 100\mu A$

ĐLTĐ của Vôn kế là $100V \Rightarrow V_{rms} = 100V$

Từ đó ta có công thức tính các đại lượng liên quan là:

$$V_p = V_{rms} / 0,707 = 100V / 0,707 = 141,44V$$

$V_D = 0,7V$ (giả sử mạch cầu sử dụng diode Si)

$$I_p = I_{trb} / 0,637 = 156,99\mu A$$

$$R_m + R_{ct} = \frac{V_p - 2.V_D}{I_p} = \frac{141,44 - 2.0,7}{156,99 \cdot 10^{-6}} = 892 \cdot 10^3 \Omega$$

$$\text{vì } R_{ct} = 1k\Omega \Rightarrow R_m = 892 - 1 = 891k\Omega$$

Bài tập



- Xác định số chỉ của kim, nghĩa là xác định giá trị dòng trung bình ứng với các điện áp đầu vào là 75V và 50V

❖ Khi điện áp đầu vào là 75V ta có:

$$V_p = \sqrt{2} \cdot V_{rms} = \sqrt{2} \cdot 75$$

$$\Rightarrow I_{trb} = 0,637 \cdot I_p = 0,637 \cdot \frac{V_p - 2 \cdot V_D}{R_m + R_{ct}} = 0,637 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 75 - 2 \cdot 0,7}{\sqrt{2} \cdot 100 - 2 \cdot 0,7} \cdot \frac{100 \mu A}{0,637} \approx 75 \mu A$$

❖ Khi điện áp đầu vào là 75V ta có:

$$V_p = \sqrt{2} \cdot V_{rms} = \sqrt{2} \cdot 50$$

$$\Rightarrow I_{trb} = 0,637 \cdot I_p = 0,637 \cdot \frac{V_p - 2 \cdot V_D}{R_m + R_{ct}} = 0,637 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 50 - 2 \cdot 0,7}{\sqrt{2} \cdot 100 - 2 \cdot 0,7} \cdot \frac{100 \mu A}{0,637} \approx 50 \mu A$$



■ Tính độ nhạy của Vôn kế

Độ nhạy = 1 / giá trị dòng rms trên toàn thang đo = điện trở của Vôn kế / giá trị điện áp rms trên toàn thang đo

Vôn kế trên có dòng trb ứng với ĐLTT là $100\mu A$

$$\Rightarrow I_{rms} = 1,11 \cdot I_{trb} = 1,11 \cdot 100\mu A = 111\mu A$$

$$\Rightarrow \text{độ nhạy của Vôn kế là } 1 / 111\mu A = 9.009k\Omega/V$$

Có thể tính cách khác như sau:

$$V_{rms} = 100V$$

$$R_V = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{100}{1,11 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}$$

$$\text{Độ nhạy } \frac{R_V}{V_{rms}} = 90..9k\Omega/V$$

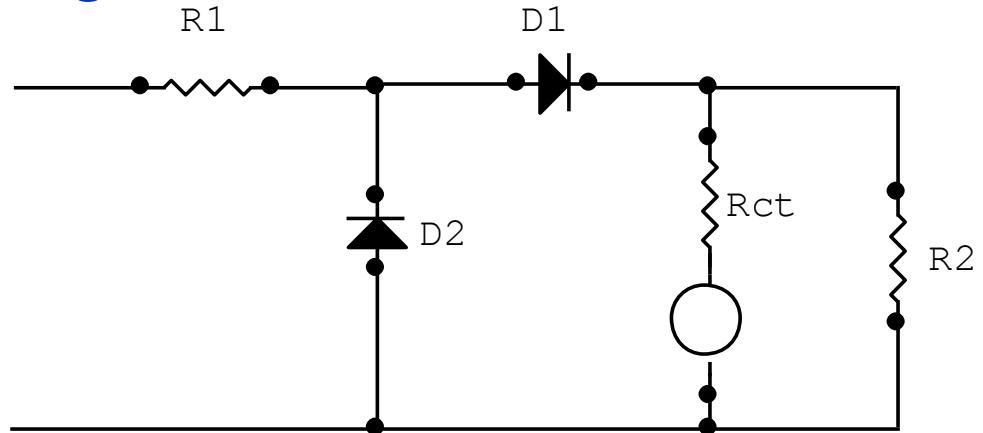
Volmet chỉnh lưu từ điện



Sơ đồ chỉnh lưu nửa sóng

$$I_{trb} = \frac{1}{2} \cdot 0,637 \cdot I_p$$

$$I_{rms} = \frac{1}{2} \cdot I_p$$

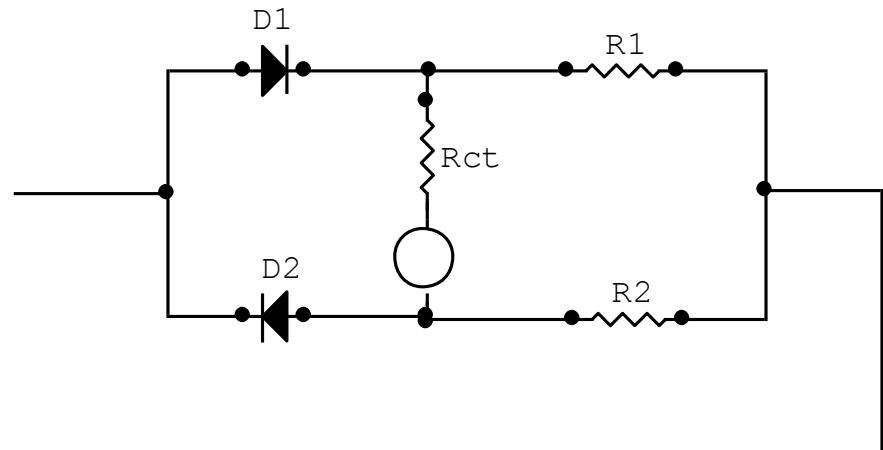


Sơ đồ chỉnh lưu nửa cầu toàn sóng

$$V_{rms} = 0,707 \cdot V_p$$

$$V_{trb} = 0,637 \cdot V_p$$

$$V_{rms} = 1,11 \cdot V_{trb}$$

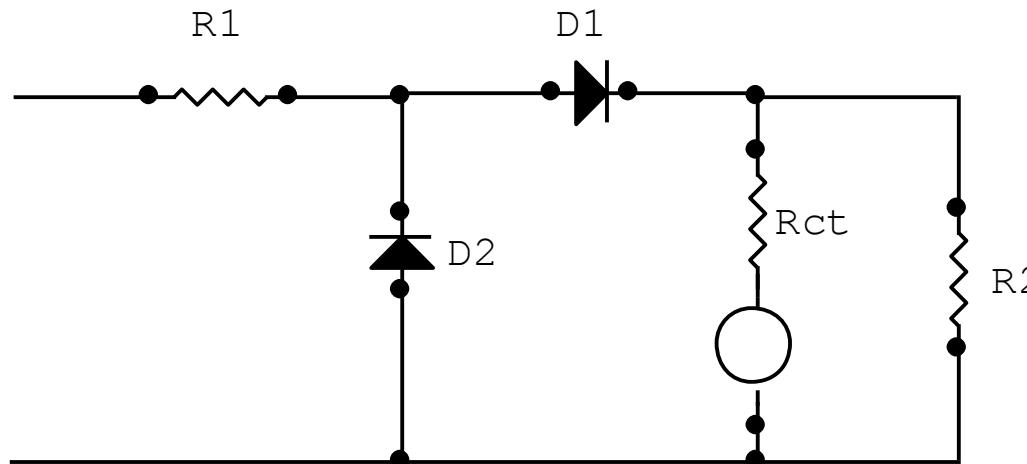


Volmet chỉnh lưu từ điện



- Một dụng cụ đo với ĐLTT là 50 và $R_{ct} = 1,7k\Omega$. D1 phải có dòng thuận minh $100\mu A$ khi điện áp cần đo là 20% ĐLTT. Vôn kế chỉ 50V tại toàn thang.

- + Xác định R_1 và R_2
- + Tính độ nhạy của Vôn kế ở trên khi có D_2 và không có D_2





Volmet xoay chiều điện từ

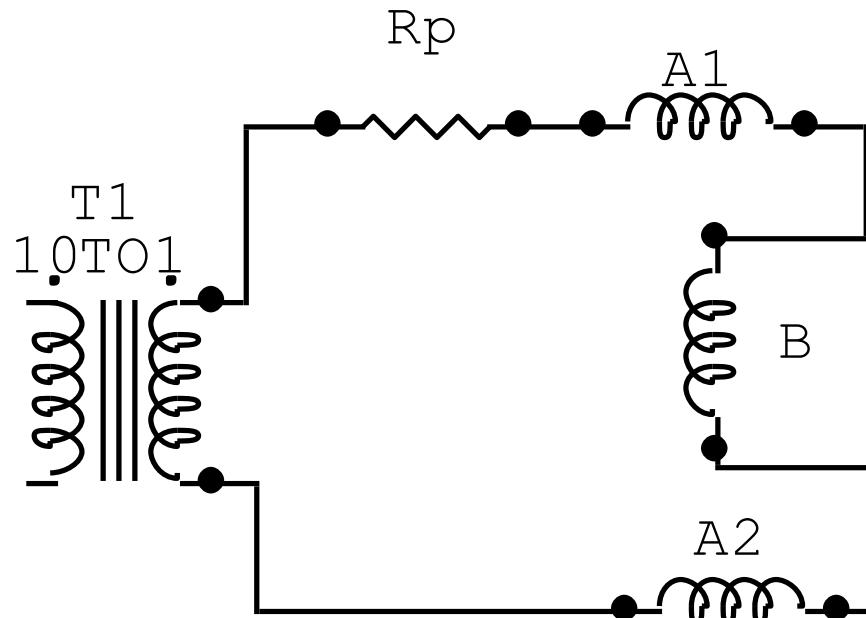
- Lúc chế tạo cơ cấu điện từ, IW có một giá trị cố định. Vì thế khi chế tạo volmet điện từ, người ta chế tạo cuộn dây với rất nhiều vòng (hàng vạn vòng), dòng điện đủ nhỏ; khi điện trở của cuộn dây chưa đủ lớn. Ta nối tiếp nó với một điện trở phụ để đảm bảo điện trở vào của volmet.
- Tuy nhiên, công suất tiêu thụ của volmet điện từ lớn và sai số lớn. Hơn nữa, thiết bị đo điện tử rẻ hơn so với thiết bị đo điện từ. Vì vậy, ngày nay thiết bị đo điện từ chỉ còn được sử dụng rất ít



Vôn kế điện động



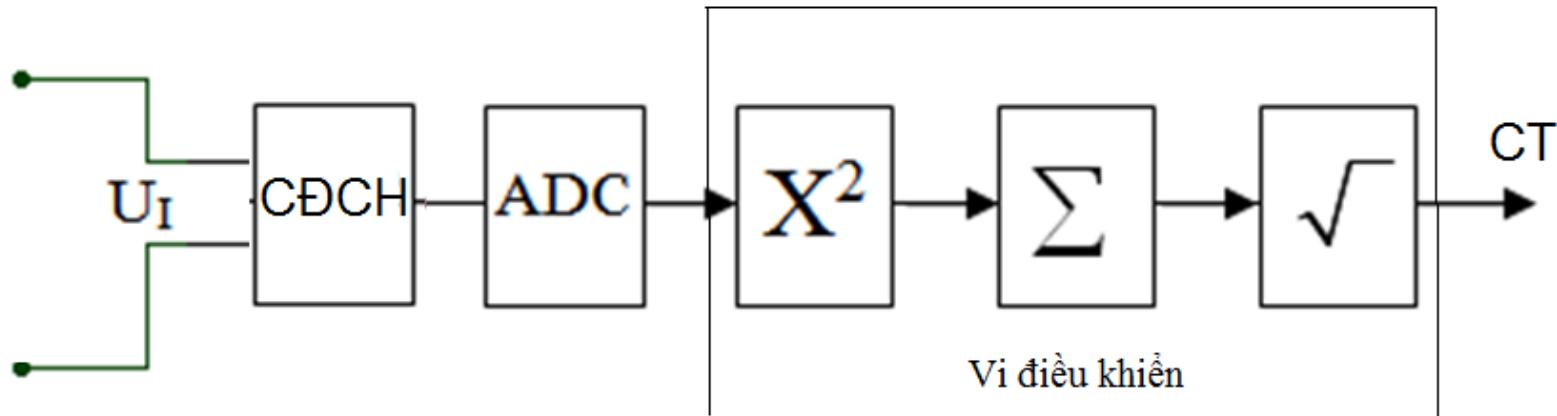
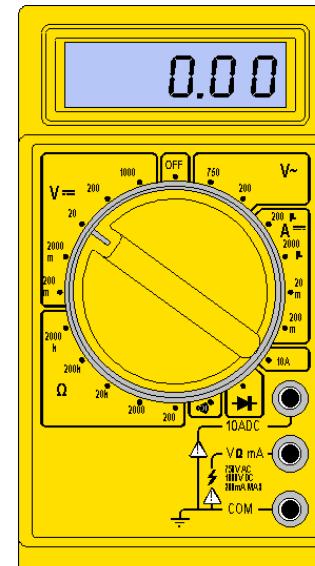
- Cuộn kích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau và nối tiếp với cuộn động. Độ lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với I^2 nên kim dừng ở giá trị trung bình của I^2 tức giá trị rms.
- Tác dụng của dòng rms giống như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể khác độ theo giá trị một chiều và dùng cho cả xoay chiều



Vôn kế số



- Vôn kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo.



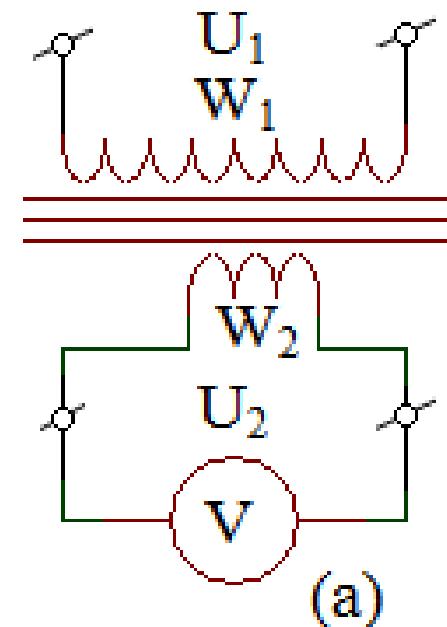
Biến điện áp



- Biến điện áp hay biến áp đo lường được dùng trong các hệ thống điện biến điện áp cao áp ở các cấp khác nhau thành điện áp thấp nhất ở thứ cấp. Đó là một biến áp công suất nhỏ như những biến áp điện lực. Sơ cấp được nối vào lưới điện cao áp, thứ cấp nối với các Volmet để đo điện áp
- Theo nguyên lý các Volmet có điện trở vào rất lớn nên thứ cấp của biến điện áp coi là hở mạch

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

Ku Hệ số biến điện áp



Chương 10: Đo công suất và năng lượng



- Công suất là đại lượng cơ bản của các hiện tượng và quá trình vật lý nói chung và của các hệ thống điện tử nói riêng, do vậy việc xác định công suất là phép đo quan trọng và phổ biến.
- Trong thực tế, người ta phân công suất thành các loại như sau:
 - ❖ Công suất thực (công suất hữu công): P
 - ❖ Công suất phản kháng (công suất vô công): Q
 - ❖ Công suất biểu kiến (công suất danh định): S
- Dải đo của công suất từ 10^{-20} W đến 10^{10} W và dải tần từ 0 tới 10^9 Hz

Đo công suất và năng lượng



- * Đối với mạch điện một chiều công suất thực P được tính theo một trong các công thức sau đây:

$$P = U \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = U^2 / R$$

Trong đó:

I là dòng trong mạch

U là điện áp rơi trên phụ tải có điện trở R

- * Đối với mạch điện xoay chiều một pha

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt$$

Trong đó: p, u, i là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng. T là chu kỳ



Đo công suất và năng lượng

Như vậy công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha được xác định như là một giá trị trung bình của công suất trong một chu kỳ T

Nếu dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì công suất được tính theo công thức:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\phi$$

$$S = U \cdot I$$

Trong đó: U, I là các giá trị hiệu dụng

$\cos\phi$ được gọi là hệ số công suất

Năng lượng trong mạch

$$W = \int_0^T P dt = \int_0^T u \cdot i dt$$

10.1. Dụng cụ đo công suất trong mạch một pha

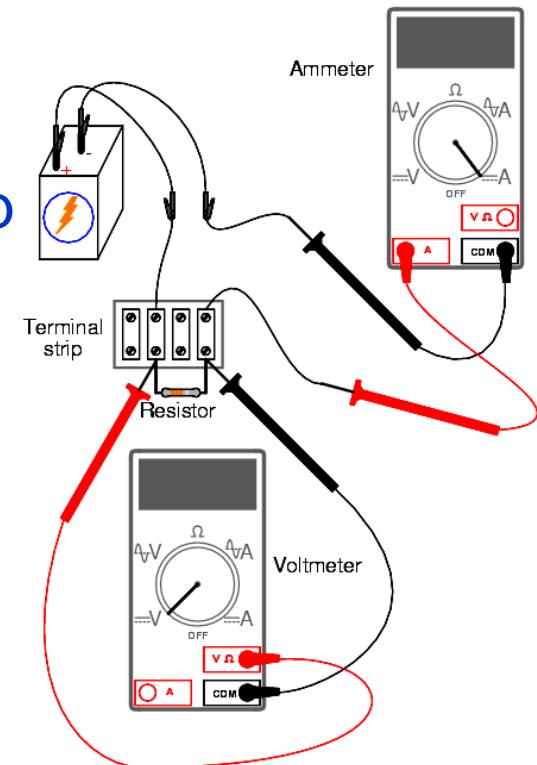
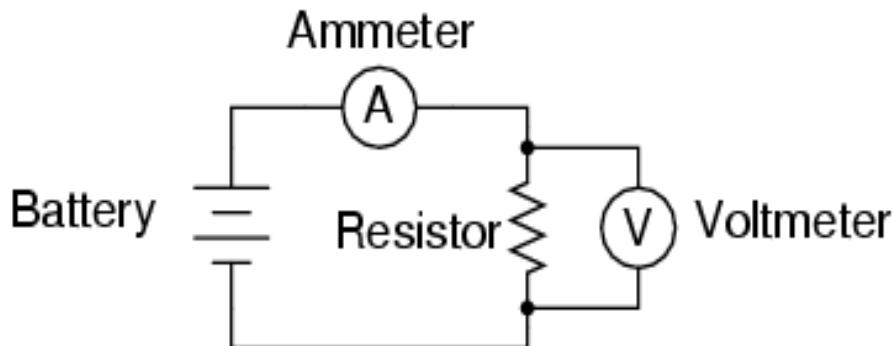


- Từ công thức tính P ta có thể thấy ngay rằng để đo công suất của mạch một chiều trên phụ tải R thì có thể sử dụng các cặp dụng cụ như sau:

+ Ampe kế và Vôn kế

Khi đó: $P = U \cdot I$

U và I là kết quả chỉ thị trên Vôn kế và Amp



Dụng cụ đo công suất trong mạch một pha



Có các phương pháp đo cơ bản sau:

■ Đo theo phương pháp cơ điện:

- ❖ Watmet điện động
- ❖ Watmet sắt điện động

■ Đo theo phương pháp điện:

- ❖ Watmet chỉnh lưu điện tử
- ❖ Watmet dùng chuyển đổi Hall
- ❖ Watmet dùng phương pháp nhiệt điện
- ❖ Watmet dùng phương pháp điều chế
- ❖ Dùng ADC, Vi xử lý,...

Đo theo phương pháp cơ điện (Oat kế điện động)

- Oat kế điện động (hoặc sắt điện động) là dụng cụ cơ điện để đo công suất thực trong mạch điện một chiều hoặc xoay chiều một pha. Cấu tạo chủ yếu của Oat kế điện động là cơ cấu chỉ thị điện động
- Với mạch một chiều

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

$$I_1 = I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_u + R_p}$$

$$g/s : \frac{dM_{12}}{d\alpha} = const$$

$$\Rightarrow \alpha = K \cdot U \cdot I = K \cdot P$$

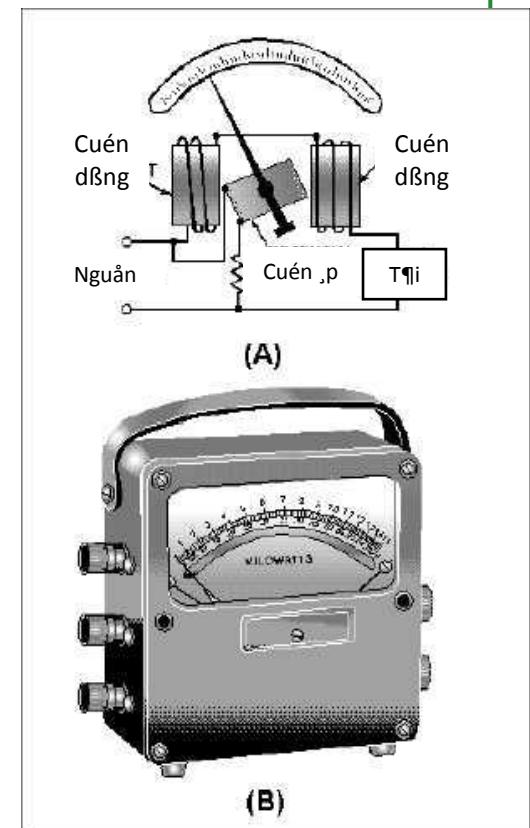
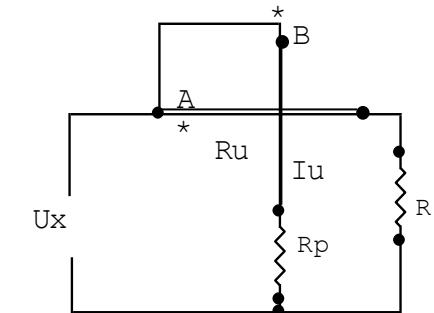
$$K = \frac{1}{D \cdot (R_u + R_p)} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} = const$$

D: momen cản riêng của lò xo phản kháng

I_1, I_2 : dòng qua cuộn tĩnh và cuộn động

M_{12} : hổ cảm giữa 2 cuộn dây

K được gọi là hệ số của Oat met với dòng một chiều



Đo theo phương pháp cơ điện (Oat kế điện động)

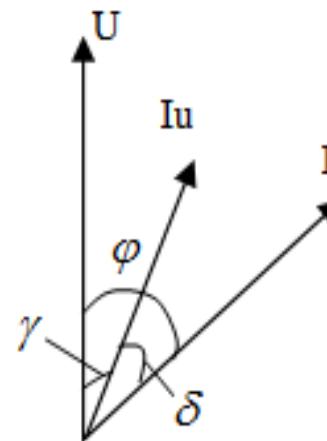
■ Với mạch xoay chiều

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I \cdot I_u \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cos \delta$$

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_p} \cdot \cos \gamma$$

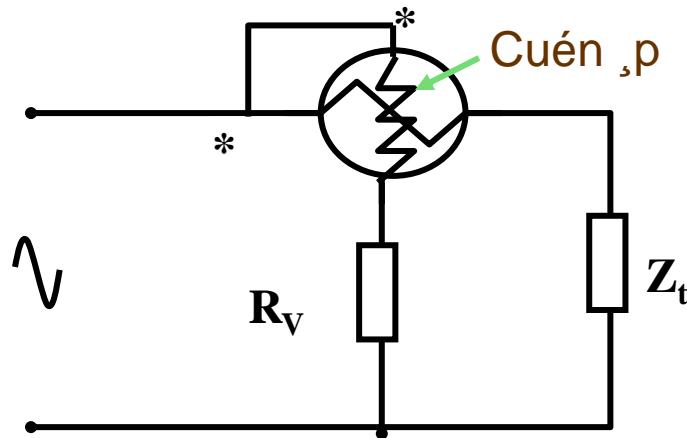
$$\delta = \varphi - \gamma$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{U \cdot I}{R_u + R_p} \cdot \cos \gamma \cdot \cos(\varphi - \gamma)$$

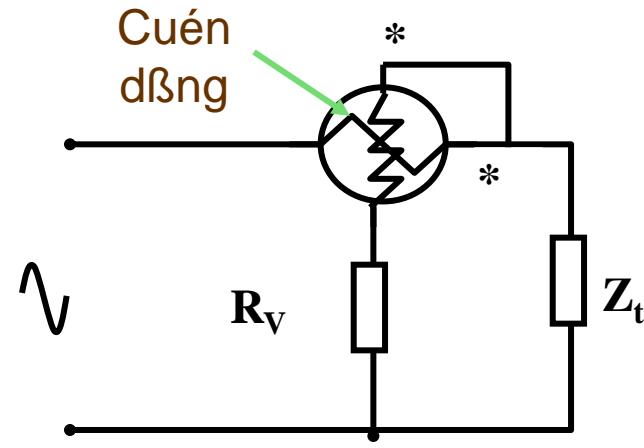


Nếu $\varphi = \gamma \Rightarrow \alpha = K \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = K \cdot P$ nghĩa là số chỉ của Oatmet tỉ lệ với công suất tiêu thụ trên phụ tải.

Sơ đồ mắc trong mạch



a)



b)

- Mạch a) phù hợp cho tải nhỏ còn b) phù hợp cho tải lớn

Để xác định được chiều công suất
cần đánh dấu đầu cuối của cuộn dây.

Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu



Oatmet nhiệt điện

- Biến áp có điện áp thứ cấp tỉ lệ với điện áp U và tạo ra dòng i_u tỉ lệ với U và biến dòng có dòng thứ cấp tỉ lệ với dòng điện I và tạo dòng i_i tỉ lệ với dòng tải I .

Với sơ đồ như trên ta có dòng đốt nóng R_1 là $(i_i + i_u)$ và dòng đốt nóng R_2 là $(i_i - i_u)$

Theo công thức của cặp nhiệt điện ta có:

$$e_1 = k \cdot (i_i + i_u)^2 \text{ và } e_2 = k \cdot (i_i - i_u)^2$$

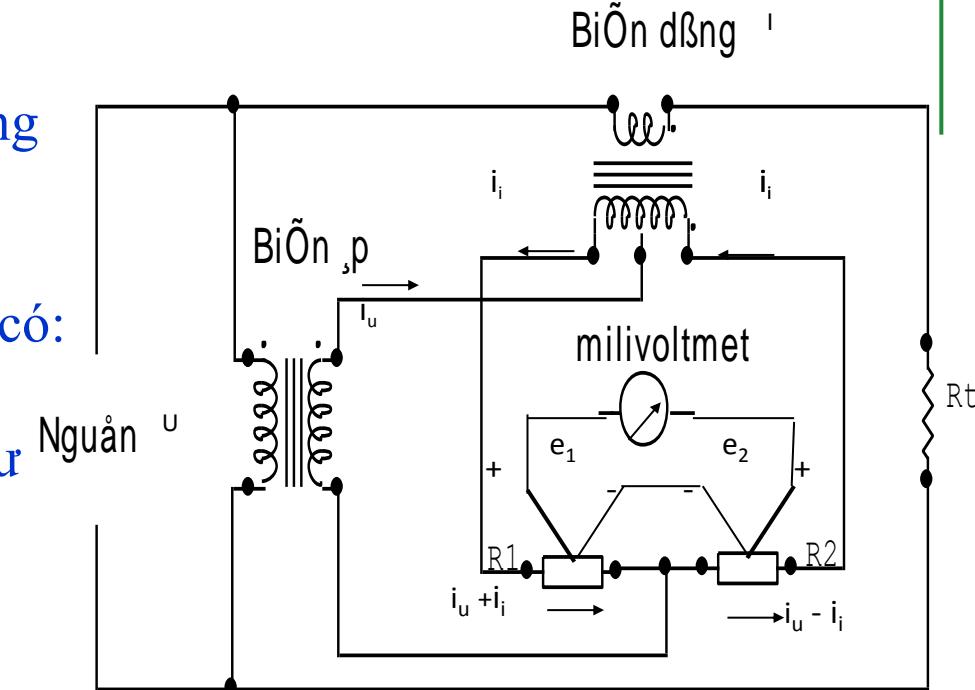
(giả sử 2 cặp nhiệt điện có hệ số k như nhau)

Số chỉ của milivonmet khi đó là

$$E_{ra} = e_1 - e_2 = 4ki_u i_i$$

Do bộ biến đổi nhiệt có quán tính nhiệt cao nên loại bỏ thành phần xoay chiều ta sẽ có:

$$E_{ra} = K \cdot U \cdot I = K \cdot P$$



Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu



Oatmet dùng chuyển đổi Hall

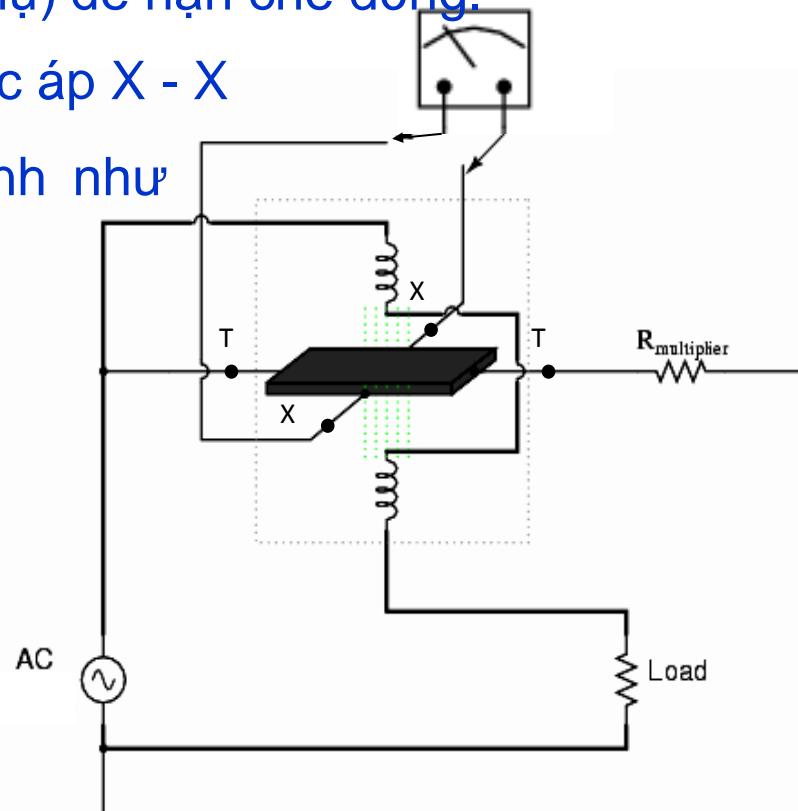
- Cho chuyển đổi vào khe hở của nam châm điện. Hướng của từ trường như hình vẽ (đường gạch – gạch). Dòng qua cuộn hút L chính là dòng qua phụ tải. Dòng qua 2 cực T – T tỉ lệ với điện áp đặt lên phụ tải (load). Rmultiplier (điện trở phụ) để hạn chế dòng.
- Milivonke để xác định áp giữa hai cực áp X - X
- Khi đó thể điện động Hall được tính như sau:

$$e_x = k \cdot u \cdot i = k \cdot P$$

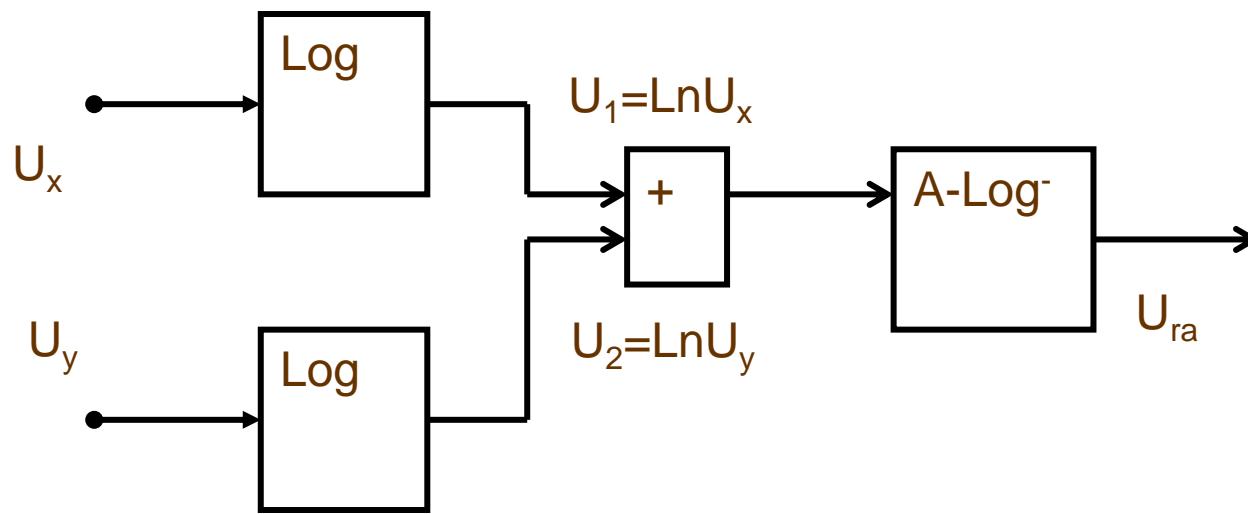
- Trong đó:

e_x được xác định bởi milivon kế;
k là hệ số tỉ lệ

Do đó có thể suy ra giá trị của công suất P là: $P = e_x / k$



Nhân bằng Logarithm và Anti-logarithm



Hai đại lượng U_x và U_y được đưa vào hai bộ loga:

$$U_1 = \ln U_x ; U_2 = \ln U_y$$

U_1, U_2 được cho vào bộ cộng: $U_3 = U_1 + U_2 = \ln(U_x \cdot U_y)$

$$U_{ra} = \text{antilog}(\ln(U_x \cdot U_y)) = U_x \cdot U_y = k \cdot U_x I_y$$



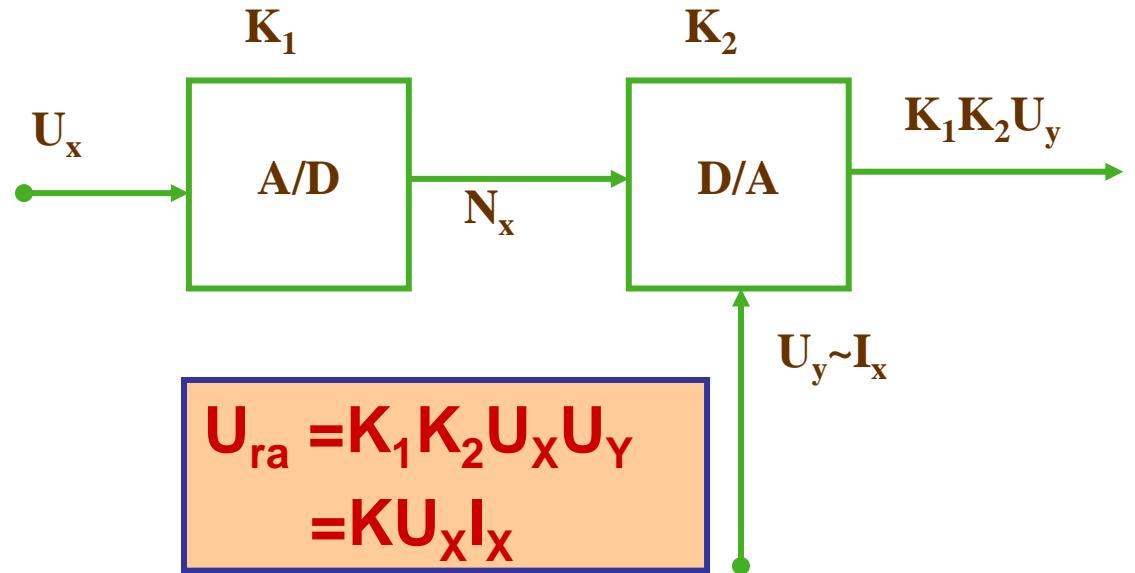
Nhân bằng phần tử A/D và D/A

U_x đưa vào bộ A/D
biến thành N_x :

$$N_x = K_1 U_x$$

N_x lại đưa vào bộ D/A
được chế tạo đặc biệt
có điện áp cung cấp
nền U_Y

$$U_{ra} = K_2 N_x U_Y$$

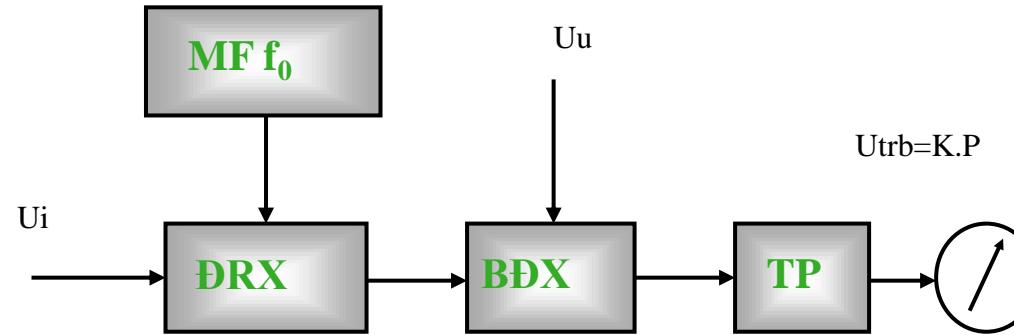


- Để đảm bảo bộ biến đổi được công suất tức thời, thì thời gian biến đổi của A/D và D/A phải đủ nhanh (cỡ 100 μ s)
- Người ta chế tạo D/A đặc biệt cho bộ nhân, bộ phân áp có điều khiển, bộ biến đổi mã dòng - điện. Ví dụ ADC 7107 thuộc họ Intel.

Đo theo phương pháp điện



Watmet dùng phương pháp điều chế



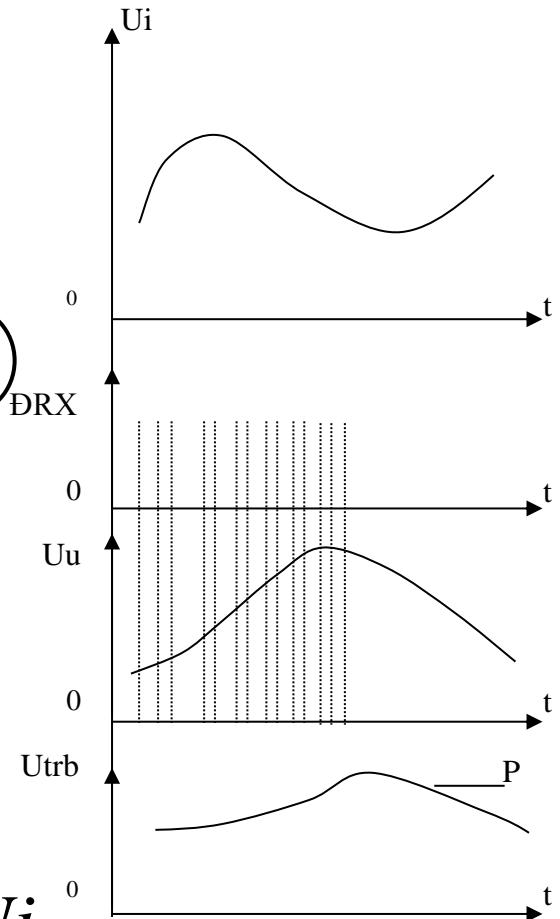
MF f_0 : máy phát xung tần số chuẩn f_0

ĐRX: bộ điều chế độ rộng xung

BĐX: bộ điều chế biên độ xung

TP: bộ tích phân

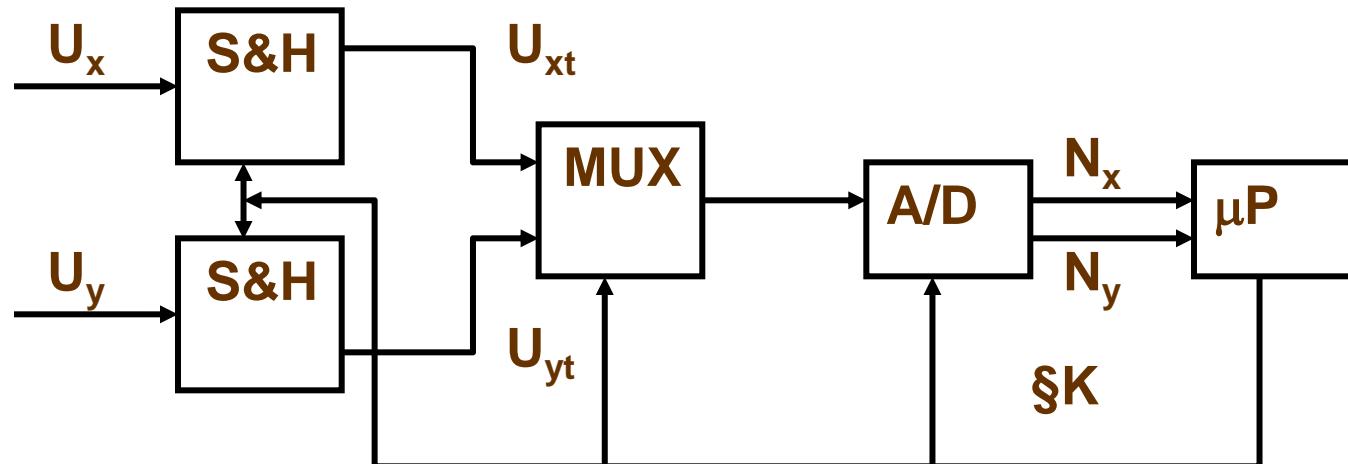
$$S(t) = k2 \cdot Uu \cdot t_i = k1 \cdot k2 \cdot Uu \cdot Ui = K \cdot Uu \cdot Ui$$



Mạch nhân tức thời dùng vi xử lý



Vi xử lý thực hiện việc nhân các giá trị tức thời $u_x(t)$ và $u_y(t)$
Chú ý: Giá trị $u_x(t)$ và $u_y(t)$ phải được lấy cùng thời điểm



U_x được bộ A/D biến thành $N_x = K_1 U_x$

U_y được bộ A/D biến thành $N_y = K_2 U_y$

N_x và N_y được đưa vào bộ vi xử lý để làm phép nhân

Nếu $N_z = N_x N_y = K_1 K_2 U_x U_y$
 $U_x = K_x \cdot u$; $U_y = K_y \cdot i$;
 u điện áp tức thời
 i dòng tức thời



N_z là giá trị tức thời của p, có giá trị khác nhau ở các thời điểm khác nhau.

Mạch nhân tức thời dùng vi xử lý (2)



- Để xét sự biến thiên của p theo thời gian N_z được lưu giữ lại thành một bảng số liệu về giá trị tức thời ở các thời điểm khác nhau và cũng có thể vẽ trên màn hình ở giá trị biến thiên theo t, hoặc in ra.
- Để công suất tức thời $p=ui$, giá trị tức thời của u và i phải được lấy cùng thời gian. Bộ lấy mẫu S&H được dùng để ghim giữ giá trị của u và i vào cùng một thời điểm. Cũng có thể sử dụng một A/D cùng cho cả hai biến u và i.
- Để giảm sai số lượng tử hóa của p, số lần lấy mẫu cho một chu kỳ phải đủ lớn, chu kỳ lấy mẫu đủ nhỏ, tốc độ biến thiên của A/D phải đủ lớn. Tốc độ tính toán của bộ xử lý phải đủ nhanh để có thể tính toán theo thời gian thực.

Mạch nhân tức thời dùng vi xử lý (3)



- Tùy công thức tính công suất tức thời p , công suất trung bình hay năng lượng truyền cho tải:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T uidt \quad \text{hay} \quad P = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_k i_k \quad W = \int_0^t uidt \quad W = \sum_{k=1}^n u_k i_k$$

- Có thể tính năng lượng giờ cao điểm và thấp điểm, tính hệ số $\cos\phi = P/UI$ ở thời điểm khác nhau → Bằng cách này công ty ARDETEM Pháp đã chế tạo bộ biến đổi (P,U,I) số PECA-2000 trong đó dùng bộ biến đổi tương tự số 12 bit tốc độ lớn để băm tín hiệu điện, điện áp thành 300 điểm rời rạc hóa trong một chu kỳ. Vi xử lý dùng để xử lý thuật toán là bộ vi xử lý 32 bit tốc độ nhanh

10.2 Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha

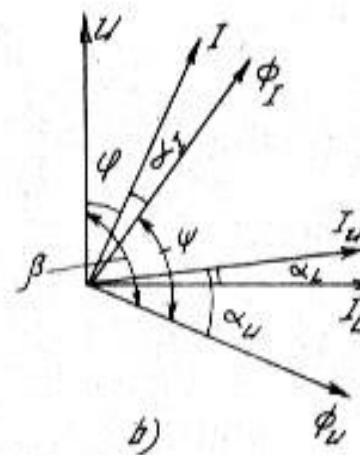
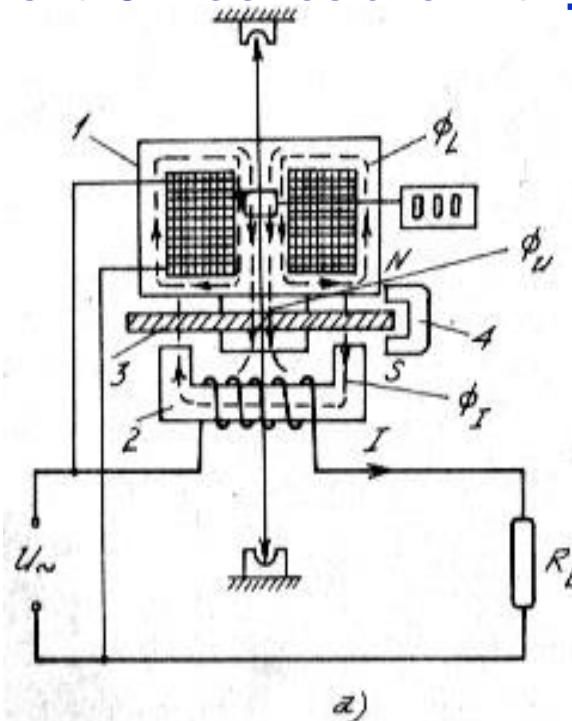


10.2 Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha

- Năng lượng trong mạch xoay chiều một pha được tính:

$$W = \int_0^T P dt = \int_0^T u.i dt$$

- Dụng cụ đo để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng





Công tơ một pha

Cấu tạo:

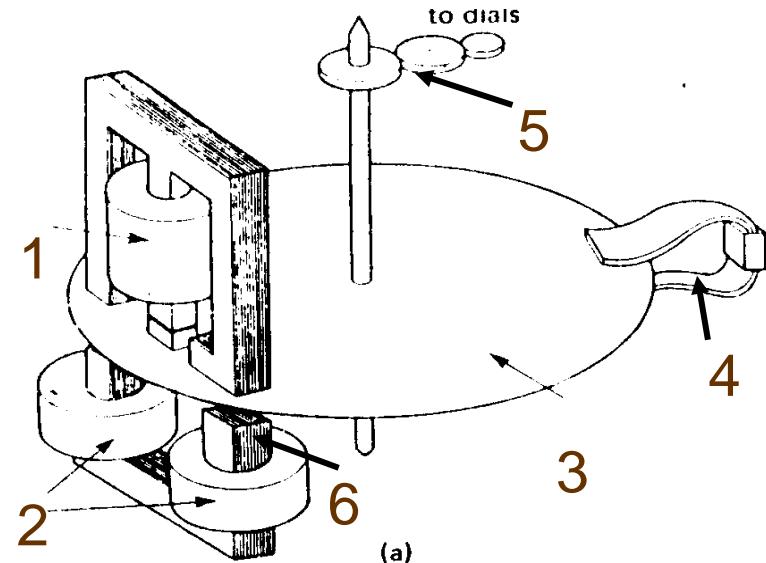
Cuộn dây 1 (tạo nên nam châm điện 1): gọi là cuộn áp được mắc song song với phụ tải. Cuộn này có số vòng dây nhiều, tiết diện dây nhỏ để chịu được điện áp cao.

Cuộn dây 2 (tạo nên nam châm điện 2): gọi là cuộn dòng được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn này dây to, số vòng ít, chịu được dòng lớn.

Đĩa nhôm 3: được gắn lên trực tì vào trụ có thể quay tự do giữa hai cuộn dây 1, 2.

Hộp số cơ khí 5: gắn với trực của đĩa nhôm.

Nam châm vĩnh cửu 4: có từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm để tạo ra mômen hãm





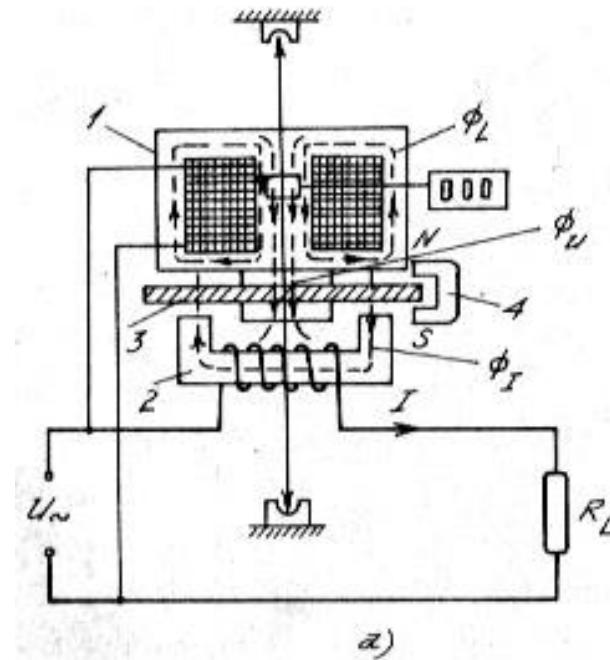
Công tơ một pha

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

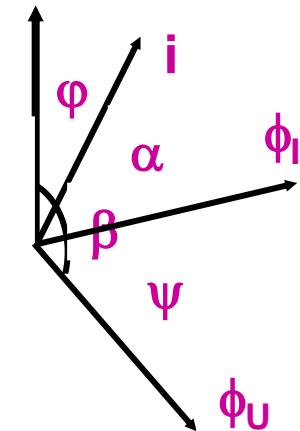
$$Z_u \approx X_u = 2\pi f L_u \Rightarrow \phi_u = k_u \frac{U}{2\pi f L_u} = k_u \frac{U}{f}$$

- 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 từ 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 hâm 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 $n_0 = N / t$

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



Công tơ một pha

- Sau một thời gian t đĩa quay được N vòng suy ra:

$$N = C_p P \cdot t = C_p \cdot W$$

C_p là hằng số công tơ

$$C_p = \frac{N}{W} = \frac{N}{P \cdot t}$$

C_p là số vòng của công tơ khi tiêu hao công suất là 1kW trong 1 giờ , hằng số này không đổi và ghi trên mặt công tơ

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\beta_w (\%) = \frac{W_N - W_{do}}{W_{do}} \cdot 100\% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100\%$$

W_N, C_{PN}: là năng lượng và hằng số công tơ định mức.

W_{đo}, C_{Pđo}: là năng lượng và hằng số công tơ đo được.

Cấp chính xác của công tơ thường là: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5

10.2 Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha



■ Ý NGHĨA CÁC THÔNG SỐ

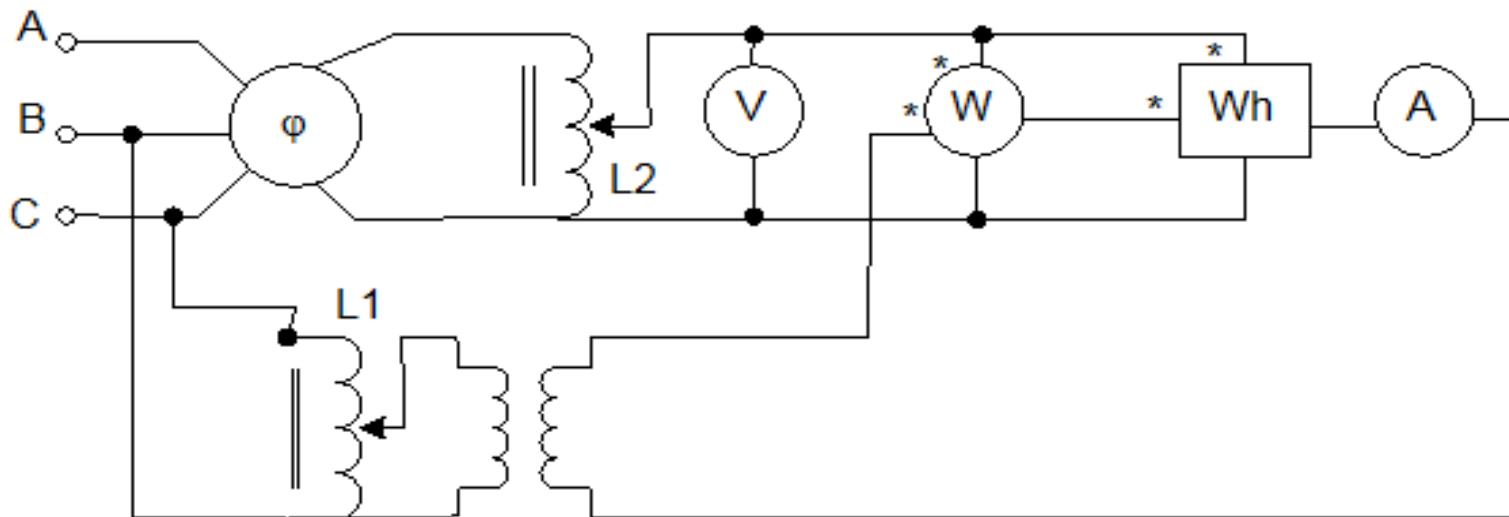
- ❖ **220V:** điện áp định mức của công tơ
- ❖ **5(20)A:** Dòng điện định mức của công tơ là 5A. Có thể sử dụng quá tải đến 20A mà vẫn đảm bảo độ chính xác. Nếu sử dụng quá 20A thì công tơ chạy không đảm bảo chính xác và có thể hỏng.
- ❖ **900 vòng/kWh:** Đĩa công tơ quay 900 vòng thì được 1 kWh. 450 vòng/kWh, 225vòng/kWh cũng tương tự
- ❖ **Cấp 2:** Cấp chính xác của công tơ. Sai số 2% toàn dải đo. Tương tự cho cấp 1, cấp 0.5.
- ❖ **50Hz:** Tần số lưới điện





Kiểm tra công tơ

- Kiểm tra công tơ với ý nghĩa $\text{R} \parallel \text{L}$ bù mômen bù ma sát lớn hơn mômen ma sát một ít.
 - Điều chỉnh tự quay của công tơ:
 - Điều chỉnh góc
 - Chỉnh hằng số công tơ, xác định sai số tương đối quy đổi với các tải khác nhau và $\cos \varphi$ khác nhau.





Kiểm tra công tơ

Điều chỉnh tự quay của công tơ:

- Chỉ L2 sao cho $U = U_N$; chỉ L1 sao cho $I=0 \rightarrow$ công tơ đứng yên, nếu công tơ quay là hiện tượng tự quay, chỉnh mô men hãm

Điều chỉnh góc $\beta - \alpha = \frac{\pi}{2}$

- Chỉnh L2 sao cho $U=U_N$, Điều chỉnh L1 $I=I_N$, điều chỉnh góc lệch pha $\varphi = \frac{\pi}{2}$
- Lúc này watmet chỉ 0, công tơ lúc này phải đứng yên, nếu công tơ quay điều đó có nghĩa là $\beta - \alpha \neq \frac{\pi}{2}$ và công tơ không tỉ lệ với công suất ta điều chỉnh từ thông Φ^u bằng cách điều chỉnh bộ phận phân nhánh từ của cuộn áp



Kiểm tra công tơ

Kiểm tra hằng số công tơ

- Chỉnh L2 sao cho $U=U_N$, $I=I_N$, điều chỉnh góc lệch pha $\varphi = 0$

Đo thời gian quay của công tơ bằng đồng hồ bấm giây t. Đếm số vòng N mà công tơ quay được trong khoảng thời gian t. Từ đó ta tính được hằng số công tơ:

$$C_p = \frac{N}{W} = \frac{N}{U \cdot I \cdot t} \quad \text{vòng /kWh}$$

- Sai số $\gamma_c \% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100 (\%)$
- Trong thực tế đôi khi người ta sử dụng một đại lượng nghịch đảo với hằng số C_p đó là hằng số k:

$$k = \frac{1}{C_p} = \frac{P \cdot t}{N} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{so vong}} \right]$$



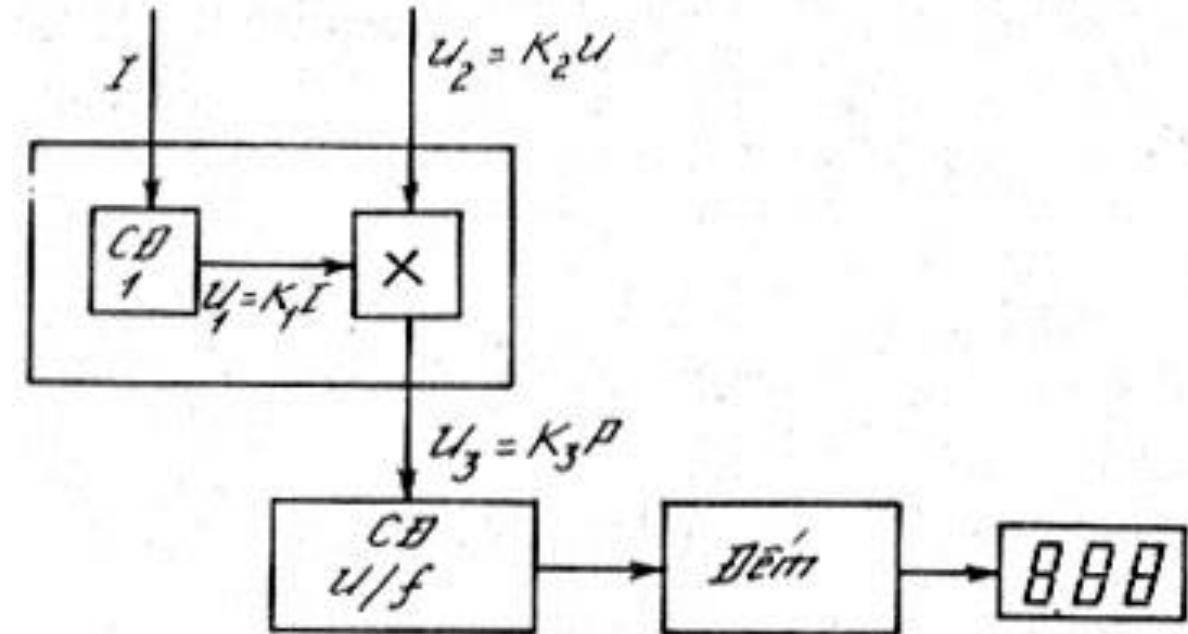
Công tơ số

- Để chế tạo công tơ điện tử, người ta biến đổi dòng điện I thành điện áp U_1 tỉ lệ với nó:

$$U_1 = k_1 I$$

- Một điện áp khác tỉ lệ với điện áp đặt vào U:

$$U_2 = k_2 U$$



- U_1, U_2 qua bộ phận điện tử (nhân analog) sẽ nhận được điện áp U^3 tỉ lệ với công suất P:

$$U_3 = k_3 \cdot P$$

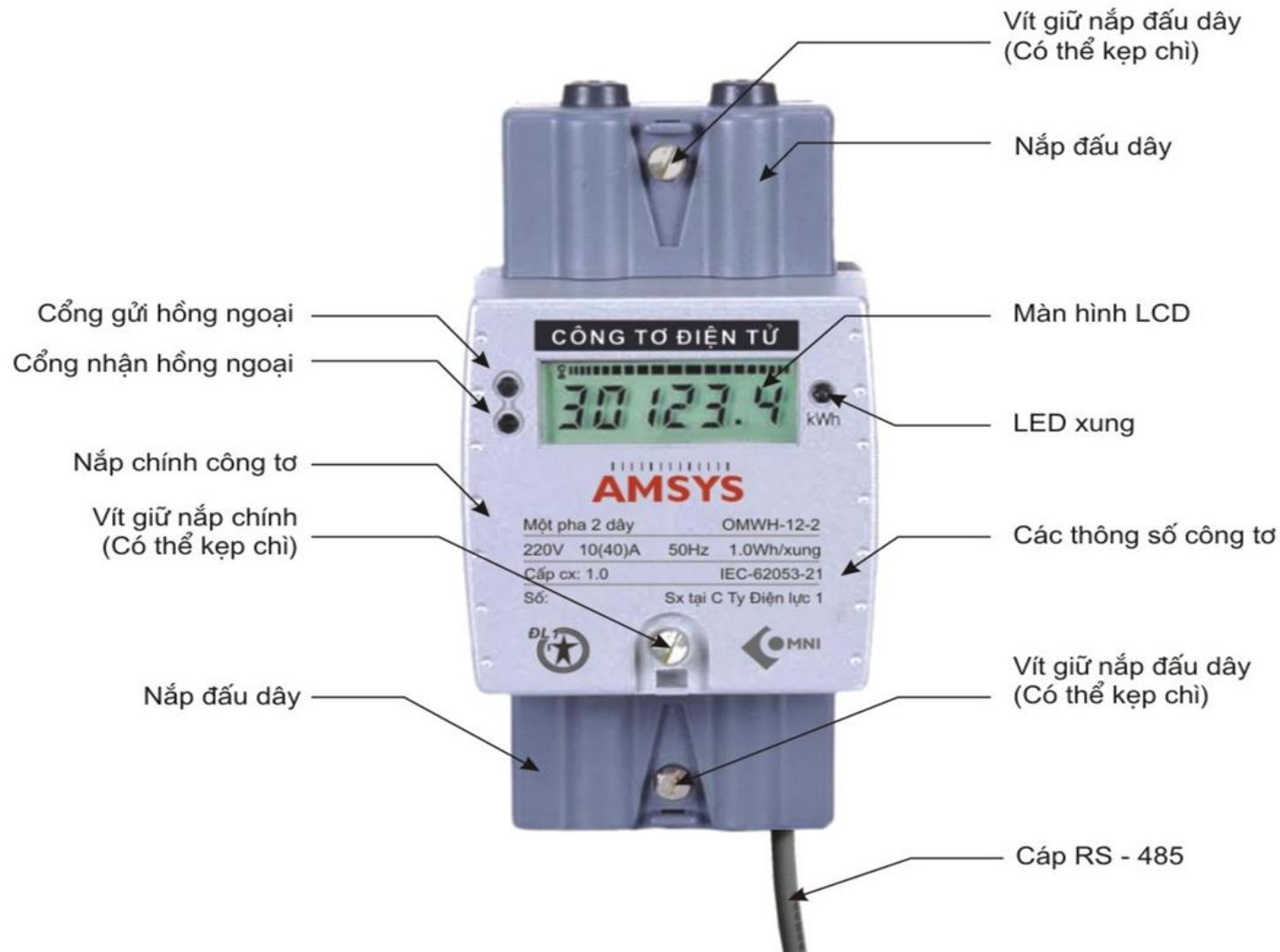


Công tơ số

- Tiếp theo điện áp này sẽ lần lượt qua các khâu: qua bộ biến đổi điện áp-tần số (hoặc bộ biến đổi A/D), vào bộ đếm, ra chỉ thị số. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số sẽ tỉ lệ với năng lượng $N = CW$ trong khoảng thời gian cần đo năng lượng đó.



Công tơ số



Một số dòng IC chế tạo công tơ số



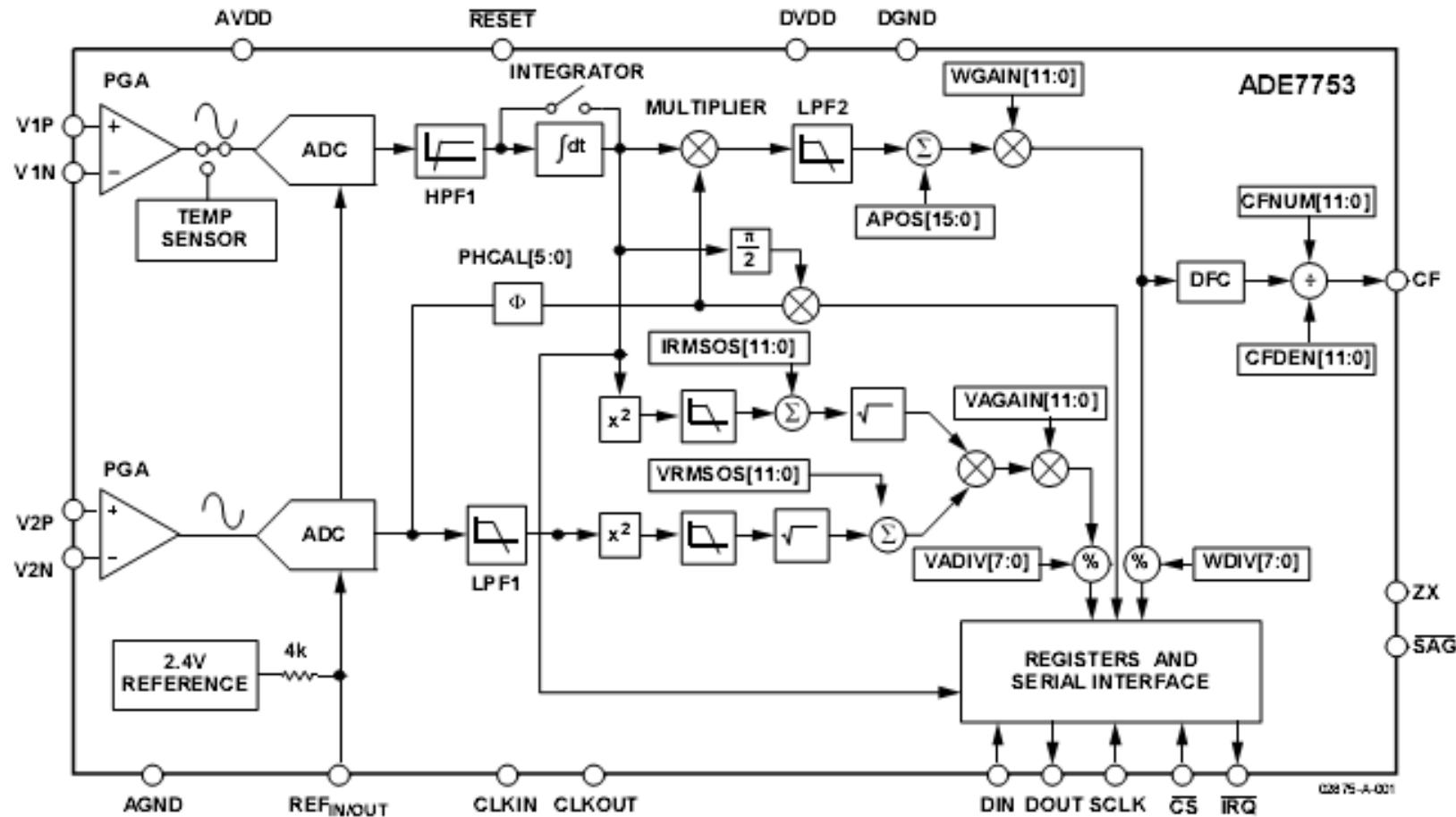
- Biến đổi dùng để chế tạo công tơ 1 pha gồm các IC: AD7750, AD7751, AD7755, ADE 7757
- Biến đổi vạn năng 1 pha gồm các IC: ADE7753, ADE7756, ADE7759, v.v...

Ở các loại IC này cho phép giao tiếp với vi xử lý MCU thông qua các đầu: IRQ, SPI và DIN, DOUT; cho phép lấy ra các số liệu sau: Điện áp hiệu dụng U_{rms} , dòng điện hiệu dụng I_{rms} , điện áp tức thời u_t , dòng điện tức thời i_t , công suất tức thời p , công suất tác dụng P , công suất phản kháng Q , công suất biểu kiến S , năng lượng tác dụng E_a , năng lượng phản kháng E_r , tần số f , hệ số công suất $\cos\phi$ và góc lệch pha ϕ .



Giới thiệu ADE7753

- ADE7753 có thể coi là một bộ biến đổi vạn năng một pha điển hình. Sơ đồ cấu trúc chức năng của ADE7753 có thể tóm tắt ở sơ đồ hình sau





Giới thiệu ADE7753

- Với giá trị định mức 500mV. Tín hiệu qua 2 khuếch đại lập trình được (PGA) với các giá trị sau: 1, 2, 4, 8, 16 điều khiển bằng 6 bit của thanh ghi chọn thang đo.
- ADC là một bộ biến đổi tương tự số có thể lên đến 24 bit; tốc độ biến đổi 900 ks/sc đảm bảo cho được giá trị tức thời của các tín hiệu dòng và áp lên đến 20kHz.
- Sai số có thể đạt được là 0.1 %.
- Như vậy là sau ADC là các số liệu số của 2 điện áp V_1 và V_2 . Các chức năng còn lại trong sơ đồ đều thực hiện trong không gian số nhờ một DSP mạnh (TS-320 của Texas Instrument) các bộ lọc thông cao, thông thấp, nhân, cộng, biến đổi số thành tần v.v...đều thực hiện bằng số



Giới thiệu ADE7753

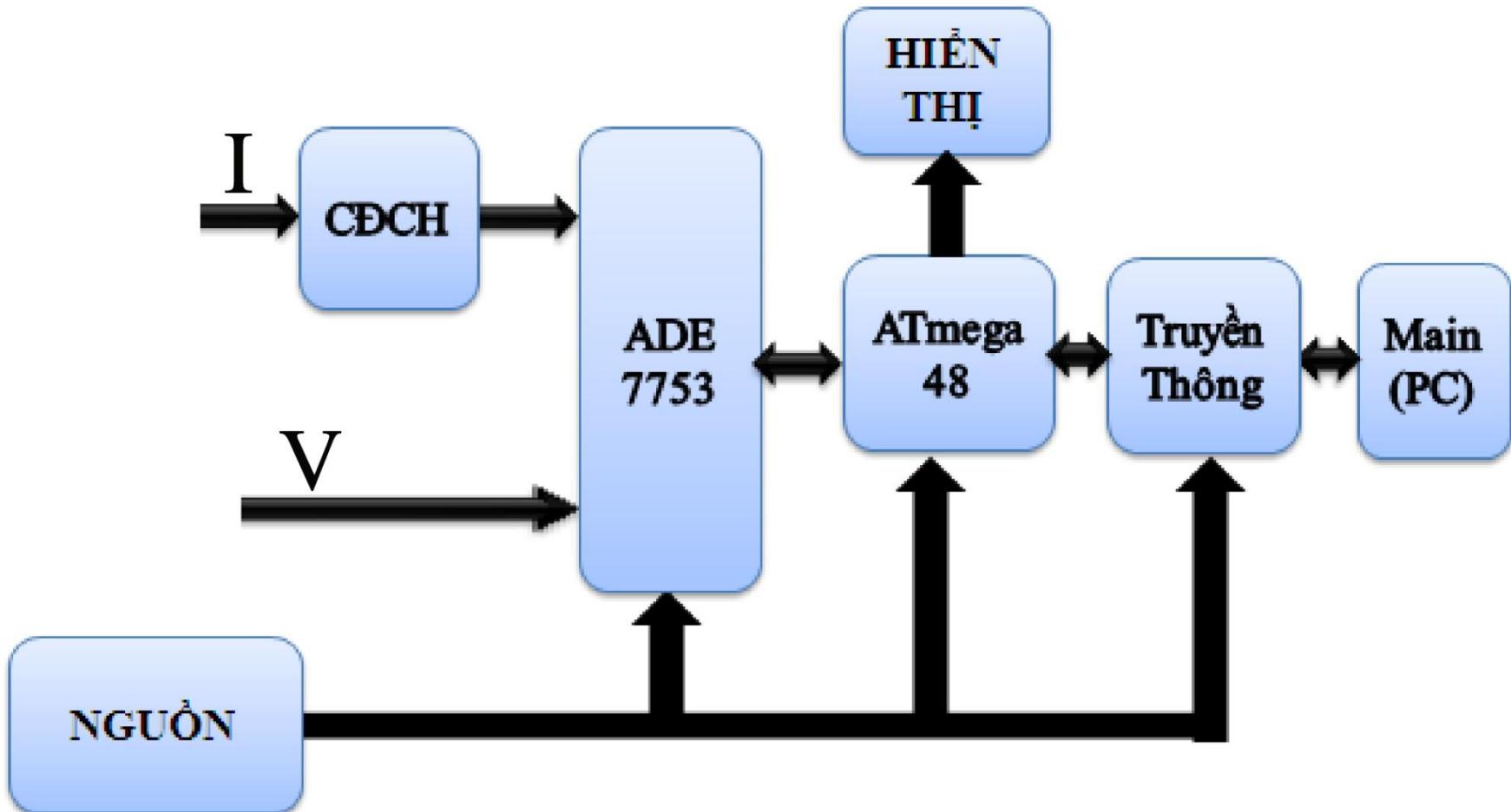
- Các khâu hiệu chỉnh được lập trình trên các thanh ghi của DSP và điều khiển thông qua các cổng của ADE. Dòng và áp hiệu dụng được xử lý theo công thức

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2} \quad U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^2}$$

- Công suất tác dụng P được tính

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$

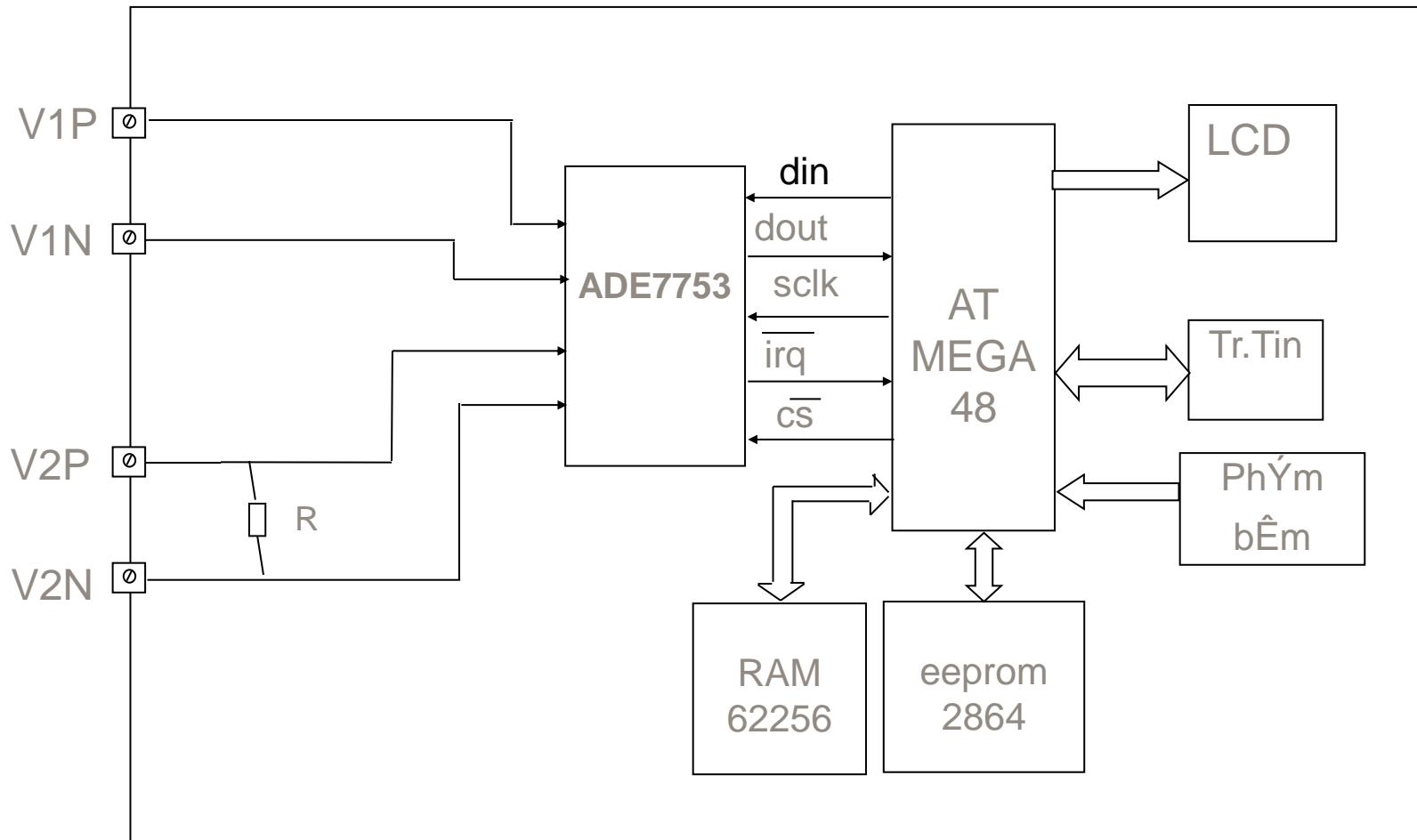
Giới thiệu ADE7753



Giới thiệu ADE7753



Mô hình chế tạo thiết bị





Bài tập

Trong sơ đồ đó công tơ có các thông số sau: 5A -220V; hằng số công tơ 1100 vòng/kWh.

- ❖ Voltmet có khoảng đo 0-250V 100 vạch
 - ❖ Ampemet có khoảng đo 0-5A 100vạch chia
 - ❖ Wattmet có khoảng đo 0-1500W 150 vạch chia
- Tính toán các giá trị I,U,P trong bảng kết quả thí nghiệm sau?

| | | | | | |
|--------------------|------|----|------|----|------|
| Uv ¹ ch | 88 | 88 | 88 | 88 | 88 |
| Iv ¹ ch | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Pv ¹ ch | 22 | 44 | 66 | 88 | 110 |
| Nv ² ng | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| t giây | 68,1 | 34 | 45,2 | 34 | 27,2 |

- Tính sai số ở các giá trị khác nhau của P?
- Lập quan hệ $\gamma = f(p)$ bằng đồ thị?



Bài tập

Sau một tháng công tơ của một trạm biến thế quay 125.000 vòng, với hằng số công tơ 600vòng/kWh.

Công tơ được nối qua biến điện áp có: $k_u = 15.000/100$ và biến dòng $k_i = 100/5$

1. Tính số tiền phải trả, biết giá điện năng là 1300đ/kWh
2. Công tơ phản kháng quay 100.000vòng . Tính hệ số $\cos\varphi$
Tính tiền điện phải trả với giá điện sau:

$\cos\varphi > 0.8$ Giá điện 1400đ/kWh

$0.7 < \cos\varphi < 0.8$ Giá điện 1500đ/kWh

$0.5 < \cos\varphi < 0.7$ Giá điện 2000đ/kWh



10.3. Đo công suất mạch ba pha

- Biểu thức tính công suất tác dụng và công suất phản kháng là :

$$P = PA + PB + PC$$

$$= U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos \phi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos \phi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos \phi_C$$

$$Q = QA + QB + QC$$

$$= U_{\Phi A} I_{\Phi A} \sin \phi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \sin \phi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \sin \phi_C$$

với: U_{Φ} , I_{Φ} : điện áp pha và dòng pha hiệu dụng

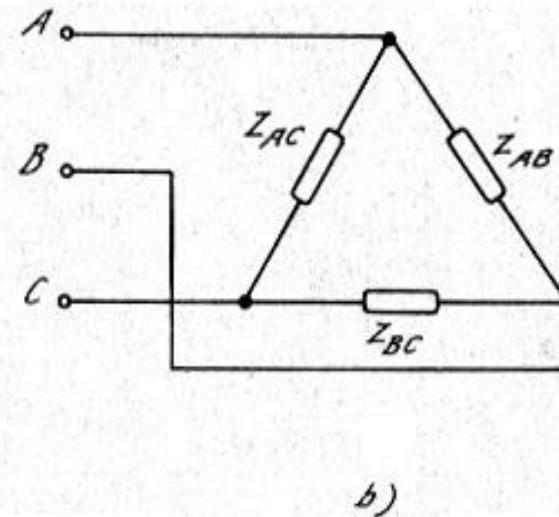
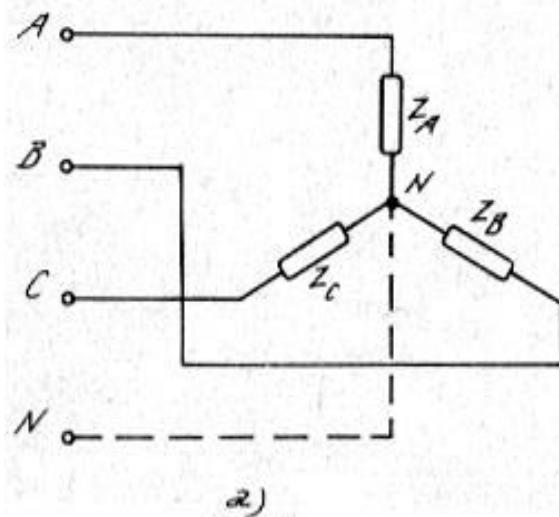
ϕ : góc lệch pha giữa dòng và áp của pha tương ứng.

- Tính theo công suất tức thời ta có:

Đo công suất mạch ba pha



- Trong mạch điện 3 pha, phụ tải thường được mắc theo hai cách: phụ tải mắc hình sao hoặc phụ tải mắc hình tam giác.
- Đối với phụ tải hình sao có thể không có dây trung tính (nghĩa là mạch chỉ có 3 dây) hoặc có dây trung tính (tức là mạch có 4 dây)





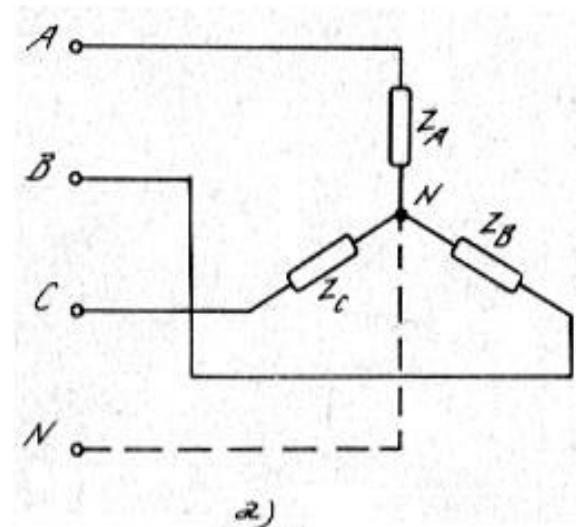
Đo công suất mạch ba pha

- Các điện áp u_{AB} , u_{BC} , u_{AC} là các giá trị tức thời của điện áp dây; u_{AN} , u_{BN} , u_{CN} là các giá trị tức thời của điện áp pha ; i_A , i_B , i_C là các giá trị tức thời của dòng điện pha.
- Ta có thể viết các phương trình sau đây :

$$i_A + i_B + i_C = 0; P_{\Sigma} = u_{AN}i_A + u_{BN}i_B + u_{CN}i_C$$

Suy ra:

$$\begin{aligned}P_{\Sigma} &= u_{AN}i_A + u_{BN}i_B - u_{CN}i_A - u_{CN}i_B \\&= i_A(u_{AN} - u_{CN}) + i_B(u_{BN} + u_{CN}) \\&= i_A \cdot u_{AC} + i_B \cdot u_{BC}.\end{aligned}$$

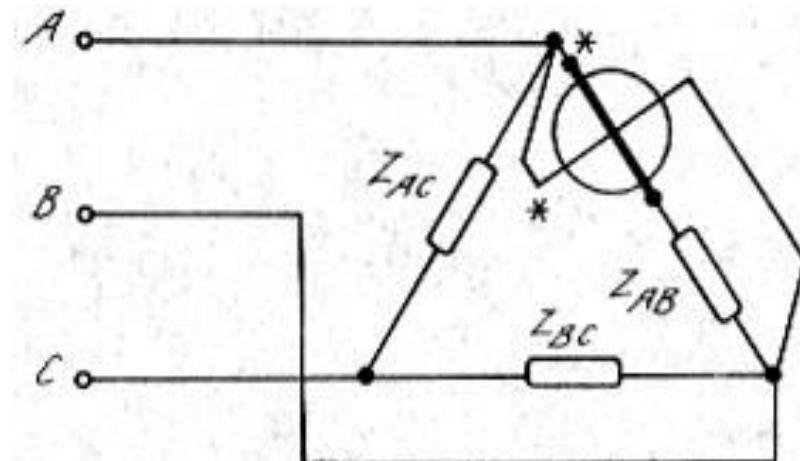
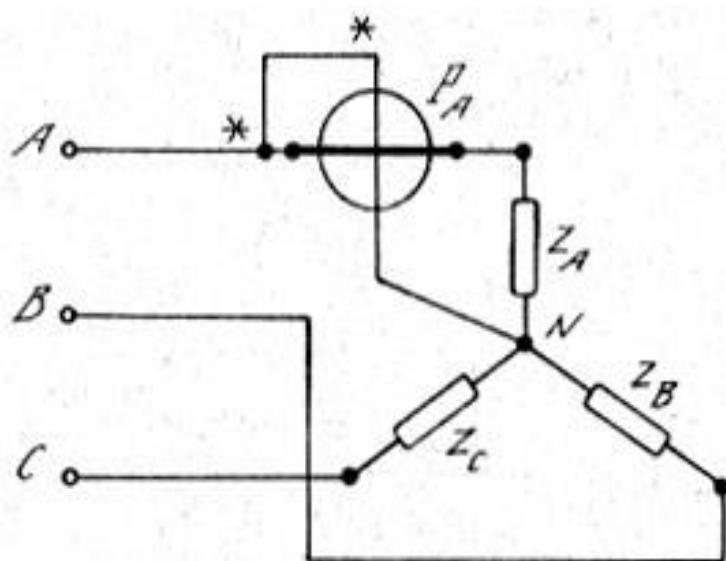


Đo công suất mạch ba pha



■ Đo công suất bằng một watmeter

Nếu như mạch 3 pha có phụ tải hình sao đối xứng hoặc mắc tam giác đối xứng : chỉ cần đo công suất ở một pha của phụ tải sau đó nhân 3 ta nhận được công suất tổng



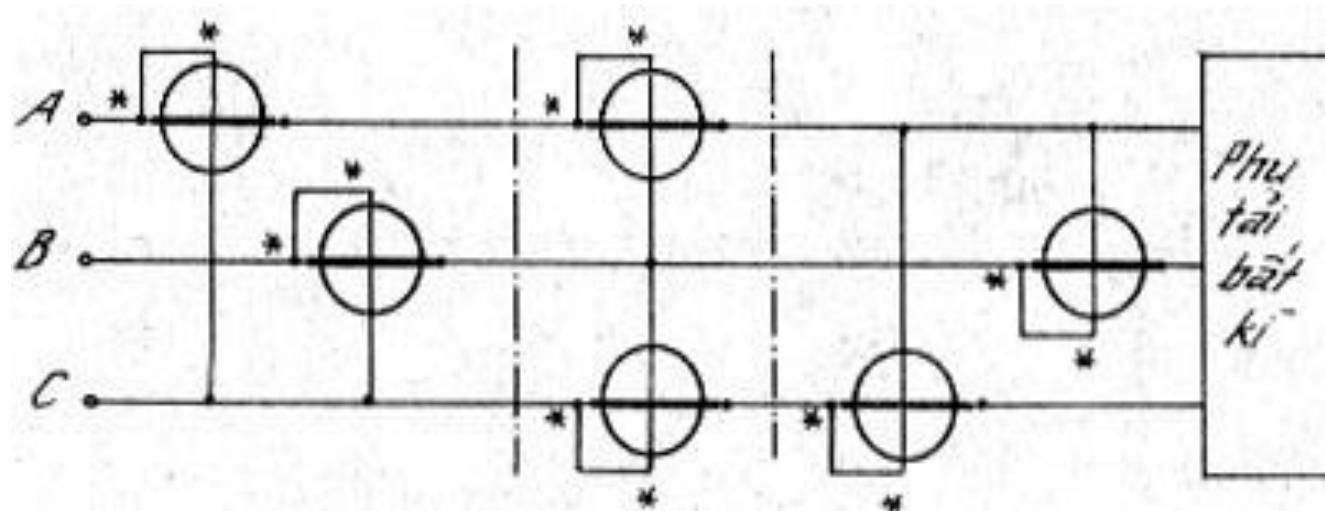
Đo công suất mạch ba pha



■ Đo công suất bằng hai watmet

$$P_{\Sigma} = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B ; P_{\Sigma} = u_{AB} i_A + u_{CB} i_C ; P_{\Sigma} = u_{BA} i_B + u_{CA} i_C .$$

Không phụ thuộc vào phụ tải (đối xứng hay không đối xứng, tam giác hay hình sao không có dây trung tính) đều có thể đo công suất tổng bằng hai watmet theo một trong 3 cách mắc như sau:



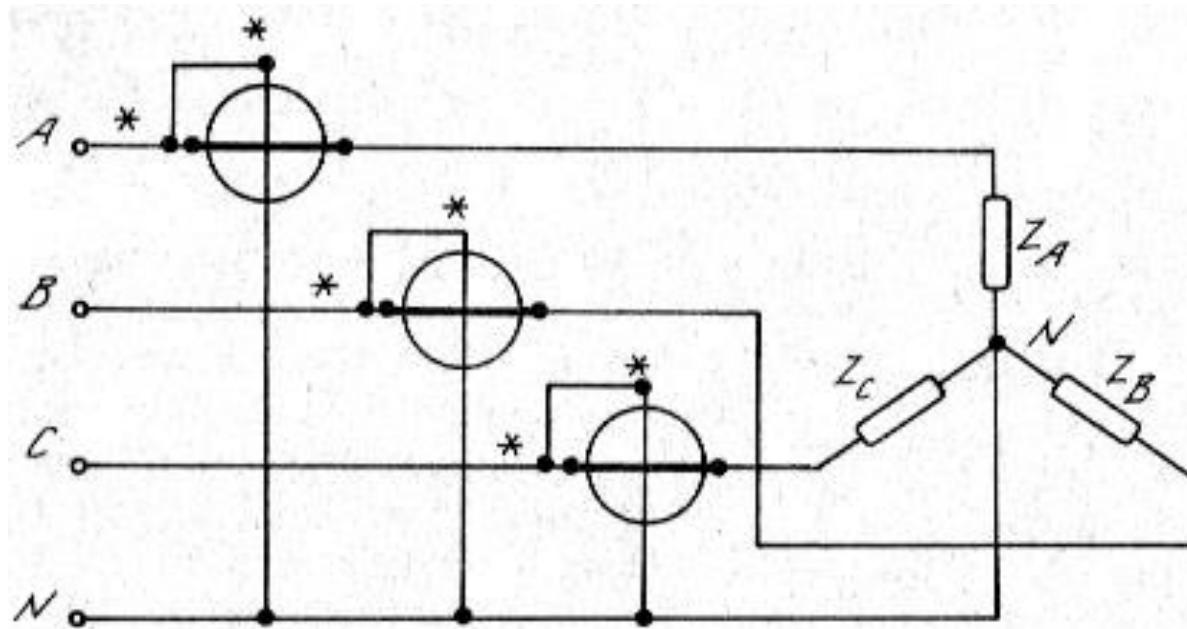
Đo công suất mạch ba pha



■ Đo công suất bằng ba watmeter:

Trong trường hợp mạch 3 pha có tải hình sao có dây trung tính: nghĩa là mạch 3 pha 4 dây phụ tải không đối xứng. Để đo được công suất tổng ta phải sử dụng 3 watmeter, công suất tổng bằng tổng công suất của cả 3 watmeter

$$P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$$





10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha

Cũng giống như trường hợp đo công suất, đo năng lượng trong mạch 3 pha ta cũng sử dụng phương pháp 1 công tơ, 2 công tơ, hay 3 công tơ một pha:

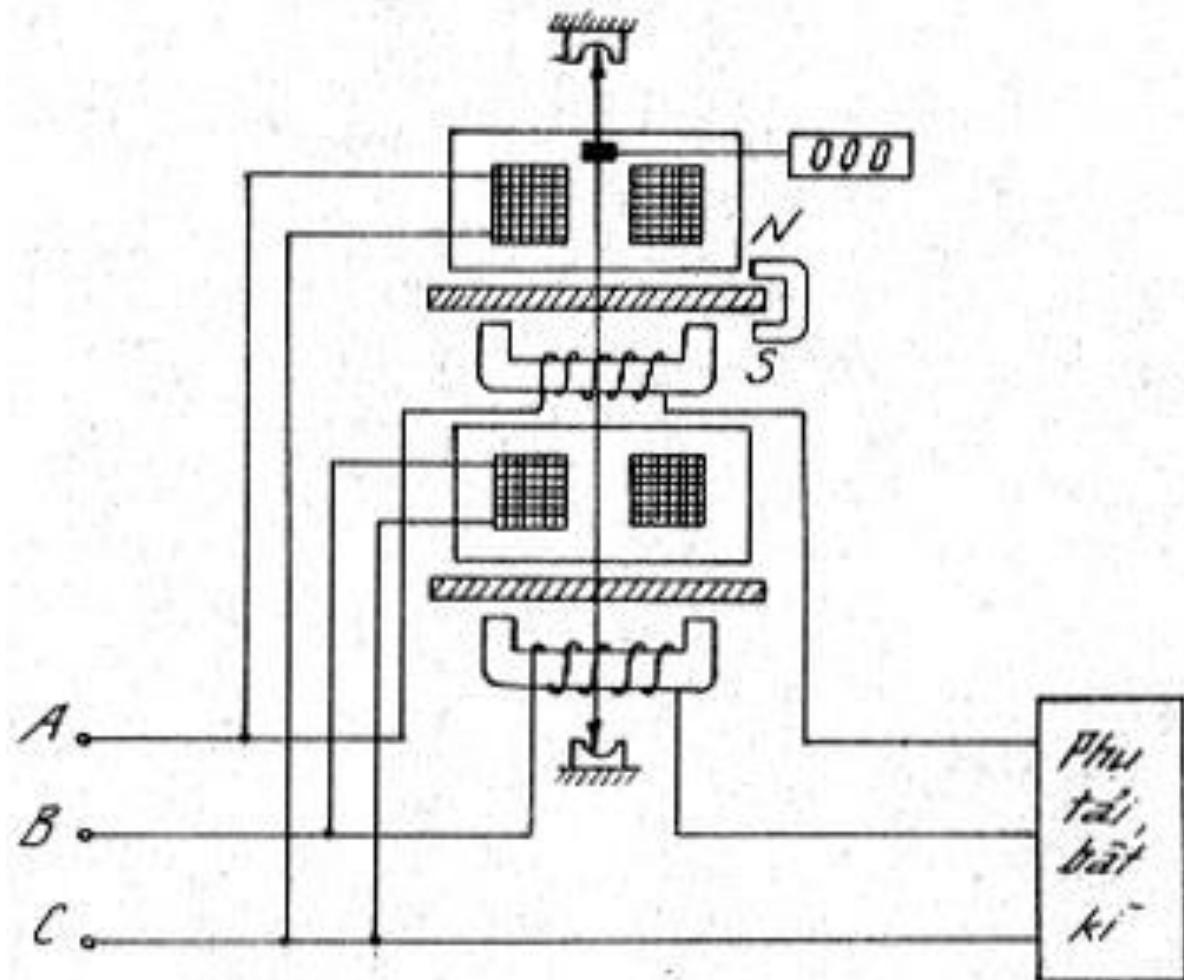
- Trường hợp sử dụng phương pháp 1 công tơ khi phụ tải hoàn toàn đối xứng: năng lượng tổng bằng 3 lần năng lượng của một pha.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 2 công tơ khi phụ tải bất kỳ, và mạch chỉ có 3 dây: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của hai công tơ.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 3 công tơ khi mạch có 4 dây (nghĩa là tải hình sao có dây trung tính) và đặc tính của phụ tải có thể đối xứng hay không đối xứng: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của ba công tơ.



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha

■ Tuy nhiên trong thực tế người ta sử dụng công tơ 3 pha. Công tơ 3 pha có hai loại:

- Loại 2 phần tử (dựa trên phương pháp 2 công tơ)
- Loại 3 phần tử (dựa trên phương pháp 3 công tơ)

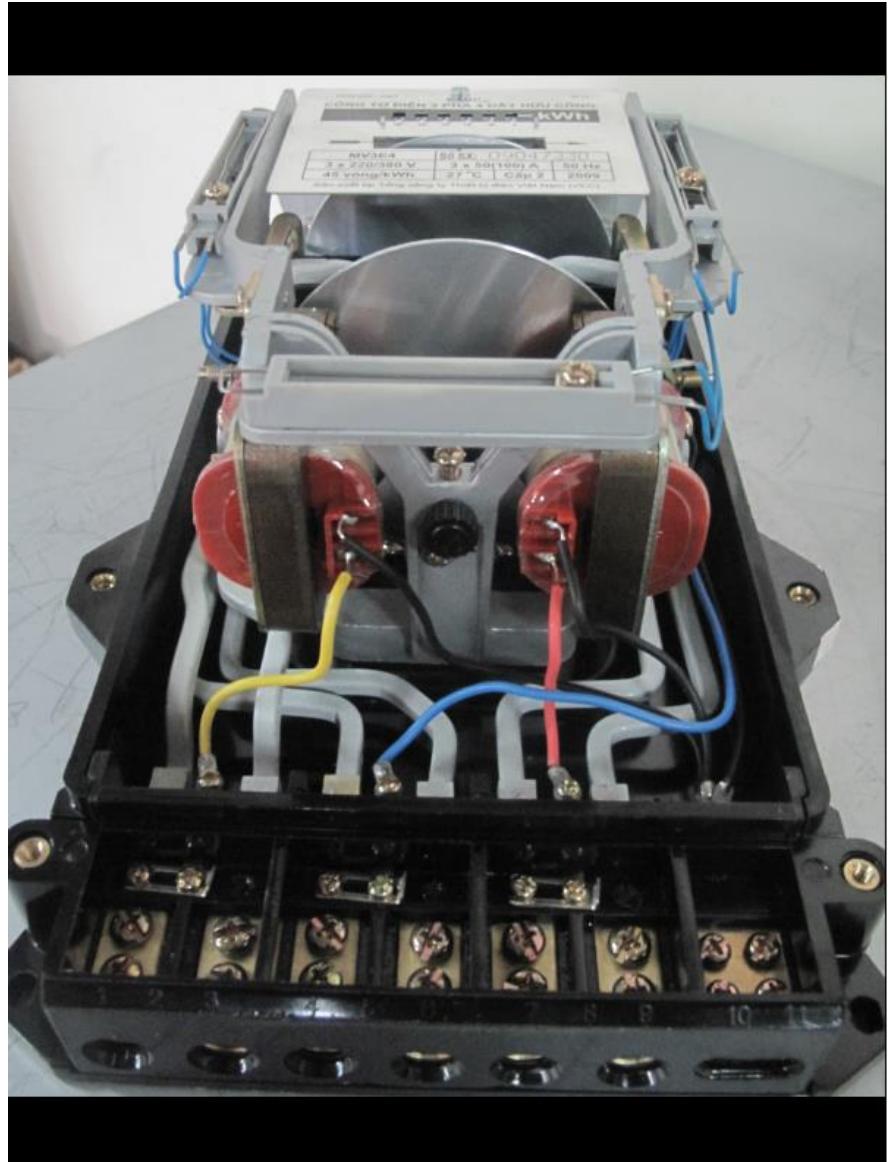


Sơ đồ cấu tạo của một công tơ 2 phần tử

10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



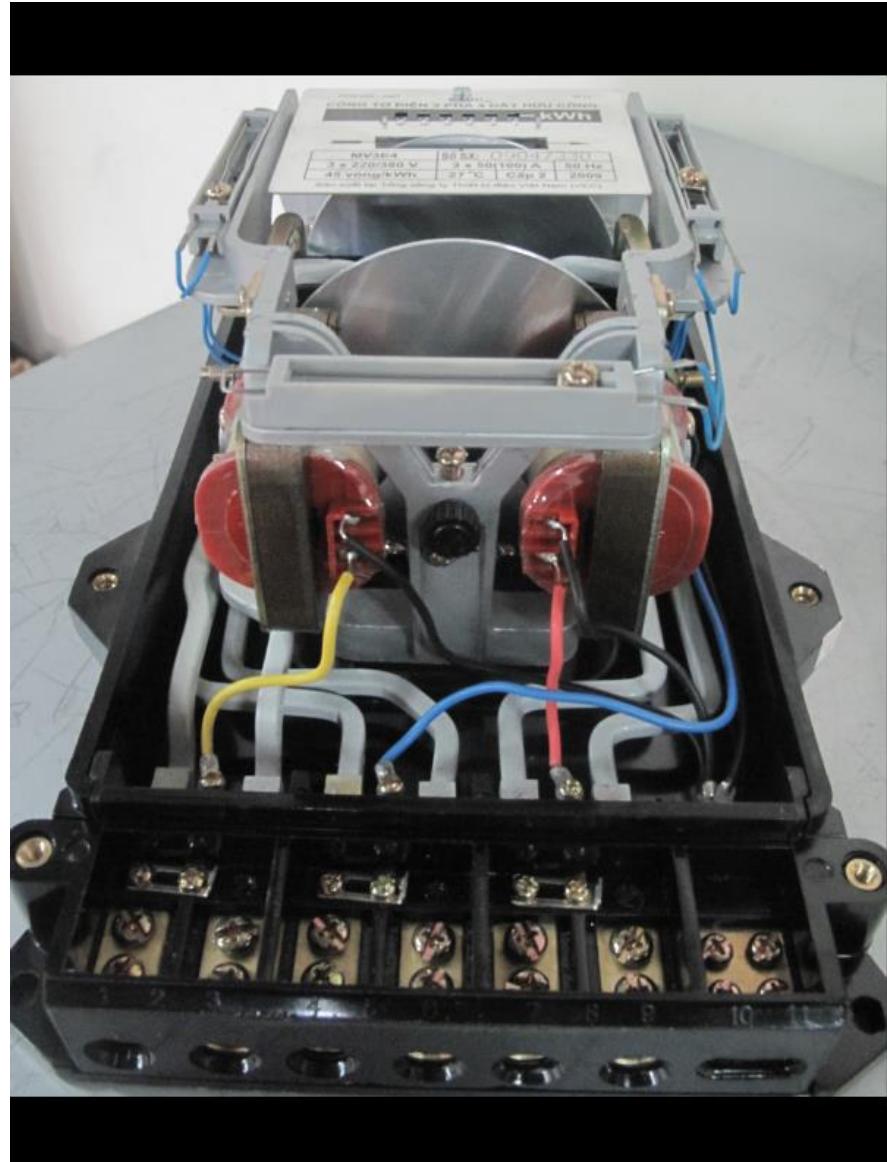
- Phần động gồm 2 đĩa nhôm được gắn vào cùng một trục dựa vào trụ có thể quay được. Mỗi đĩa nhôm đều nằm trong từ trường của cuộn áp và cuộn dòng của pha tương ứng (phần tĩnh). Cuộn áp được mắc song song với phụ tải (có một pha chung), cuộn dòng của các pha được mắc nối tiếp với phụ tải.





10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha

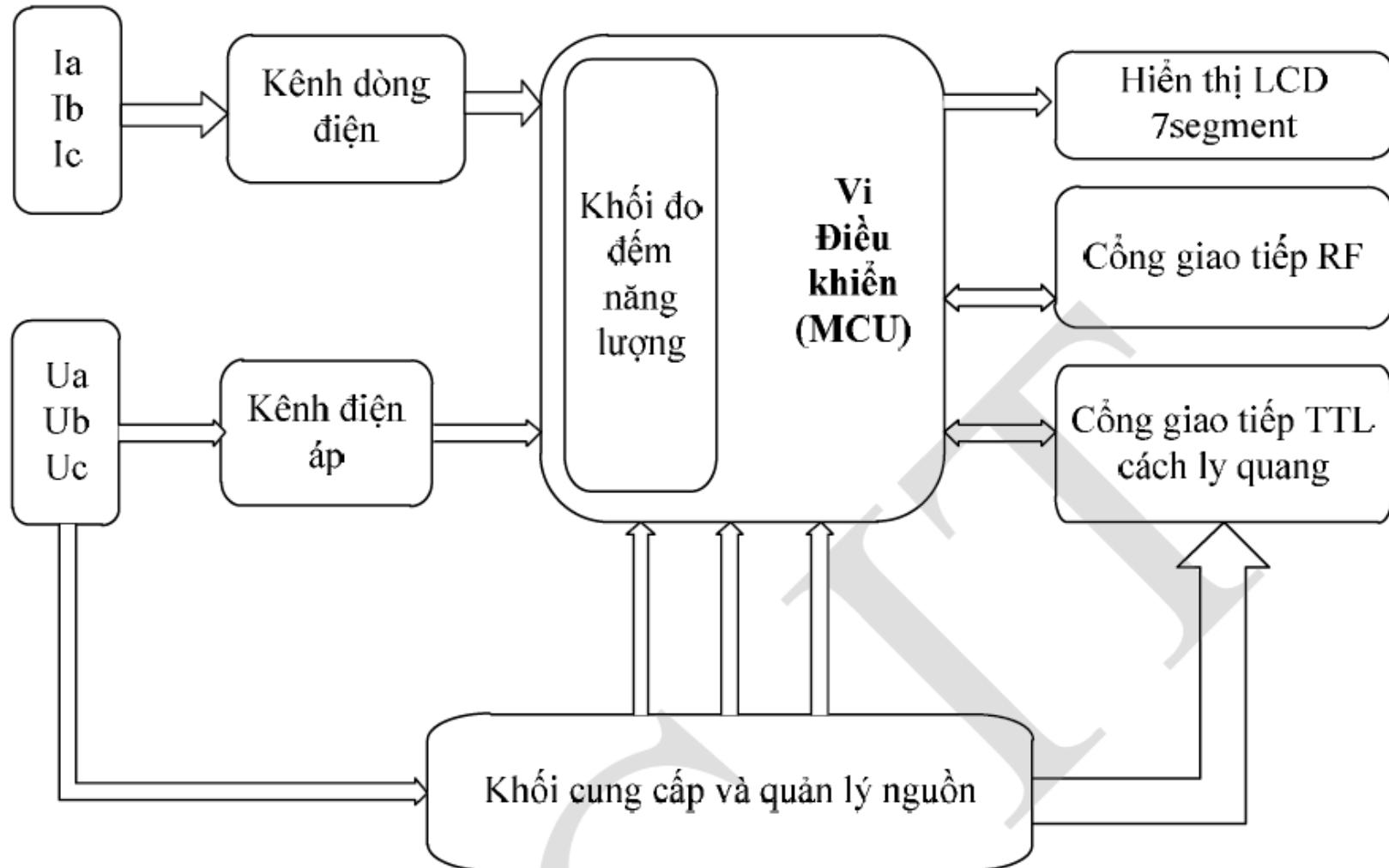
- Nam châm vĩnh cửu được đặt vào một trong hai đĩa nhôm. Như vậy mômen quay tạo ra sẽ bằng tổng của hai mômen quay do hai phần tử sinh ra và năng lượng đo được chính là tổng của mạch 3 pha.



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



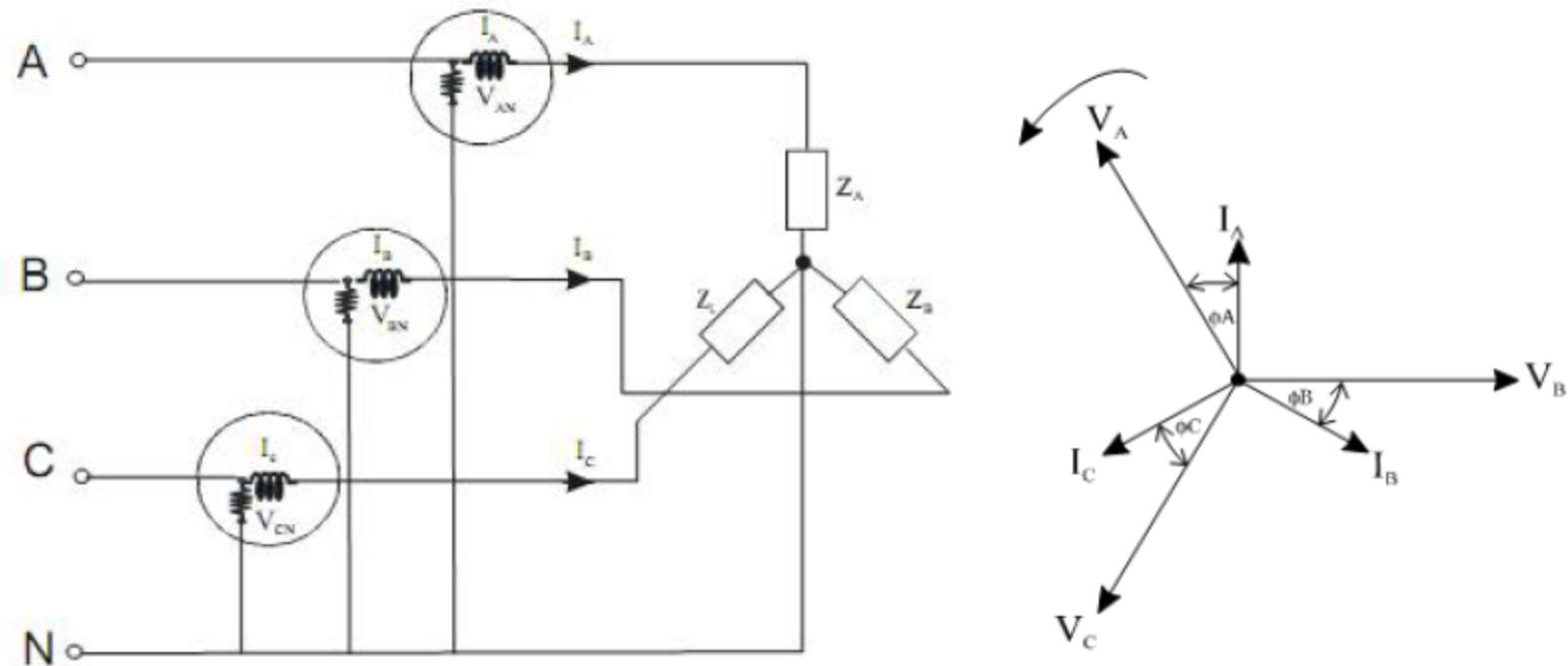
Công tơ điện tử ba pha





10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha

Công tơ điện tử ba pha

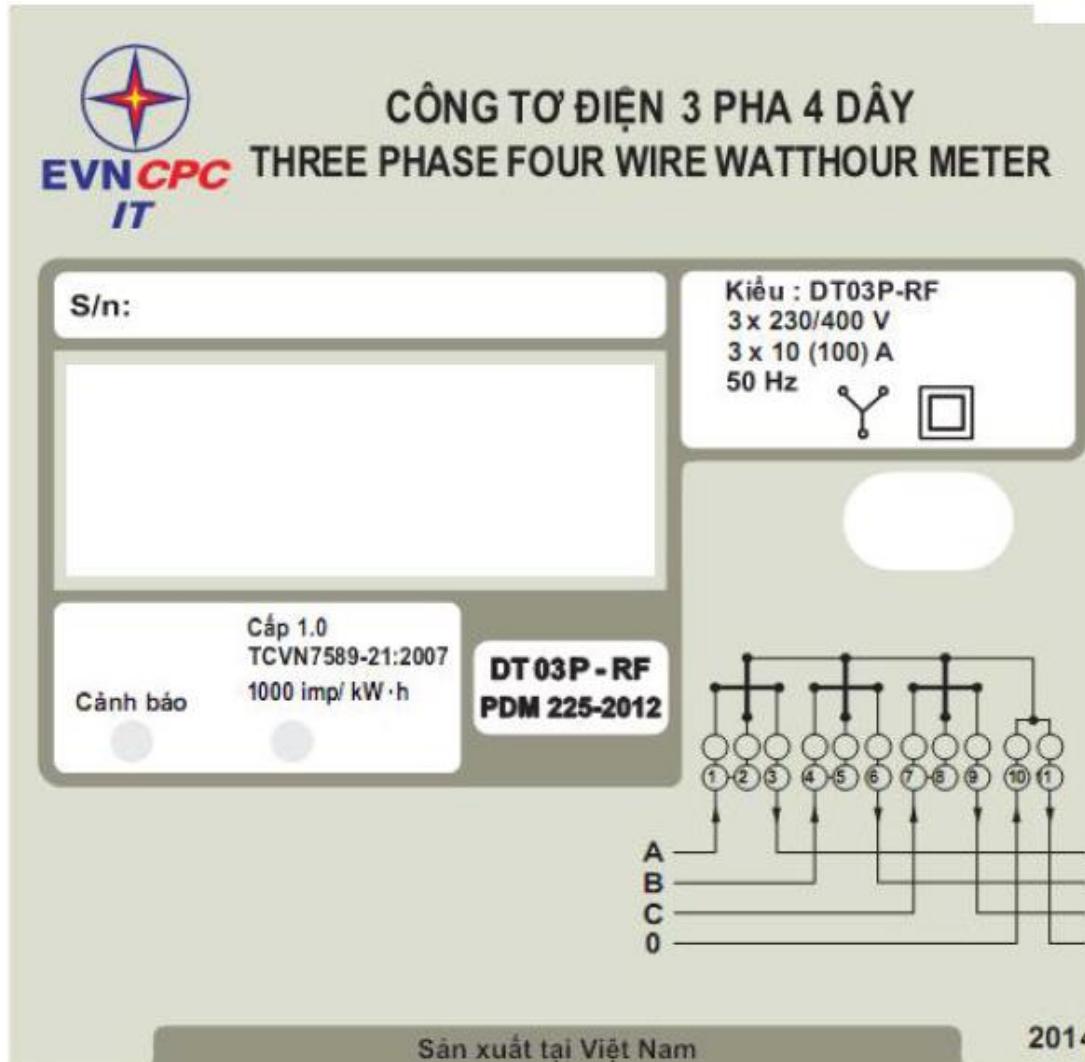


$$E_P(kWh) = \int_{T1}^{T2} (V_A I_A \cos \Phi_A + V_B I_B \cos \Phi_B + V_C I_C \cos \Phi_C) dt$$

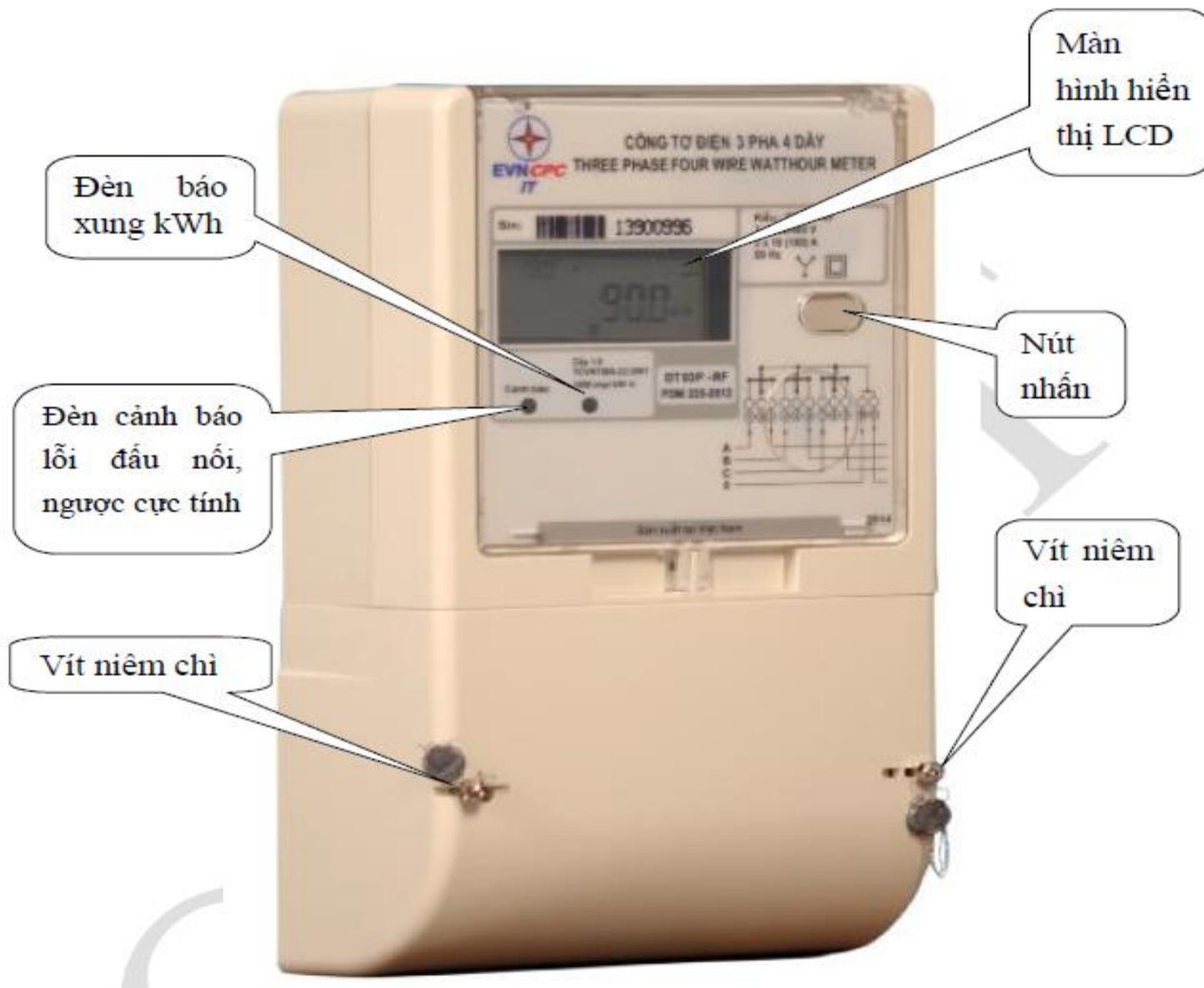


10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha

Công tơ điện tử ba pha



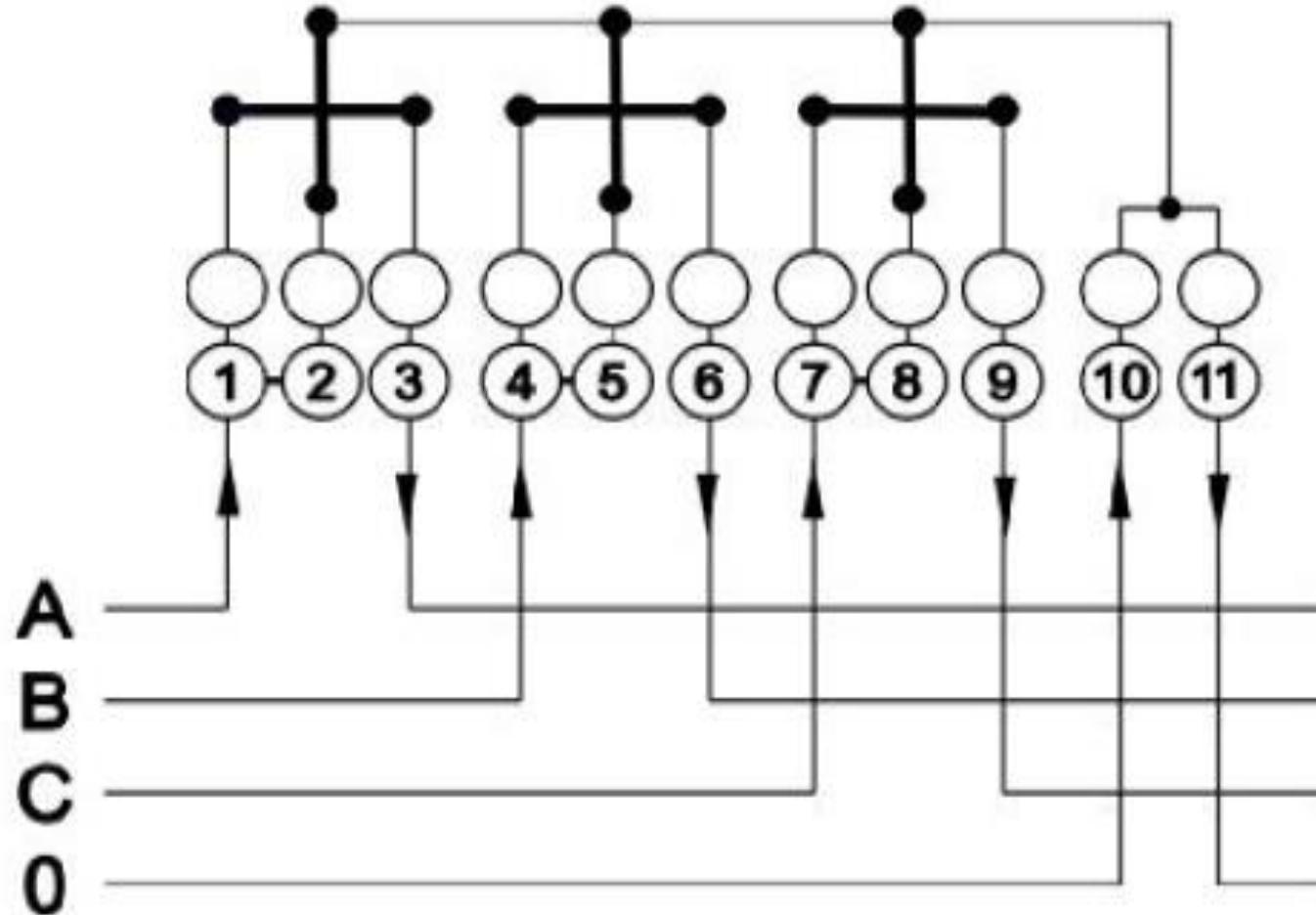
10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



Sơ đồ đấu nối dây

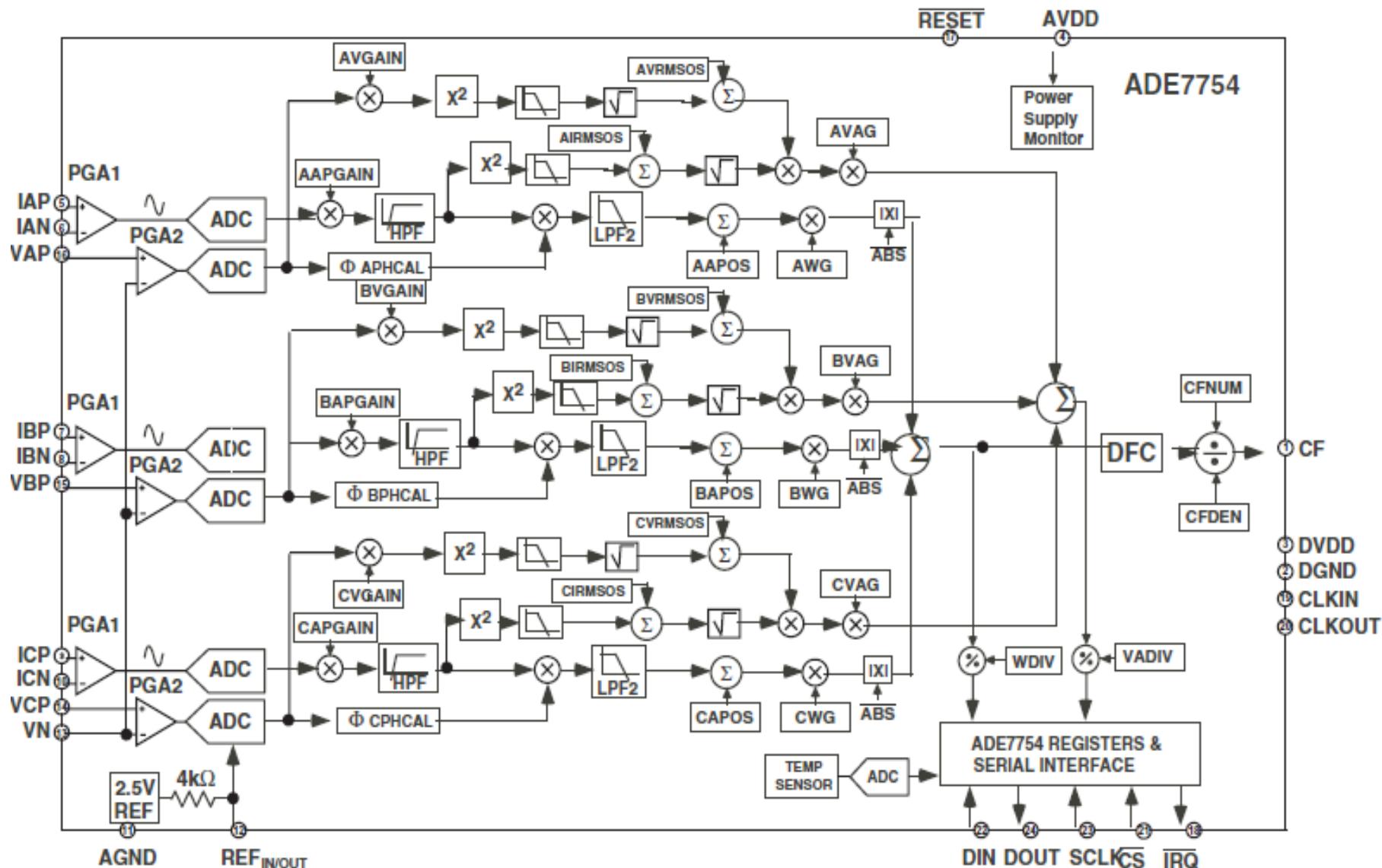


IC Biến đổi vạn năng 3 pha của Analog Devices

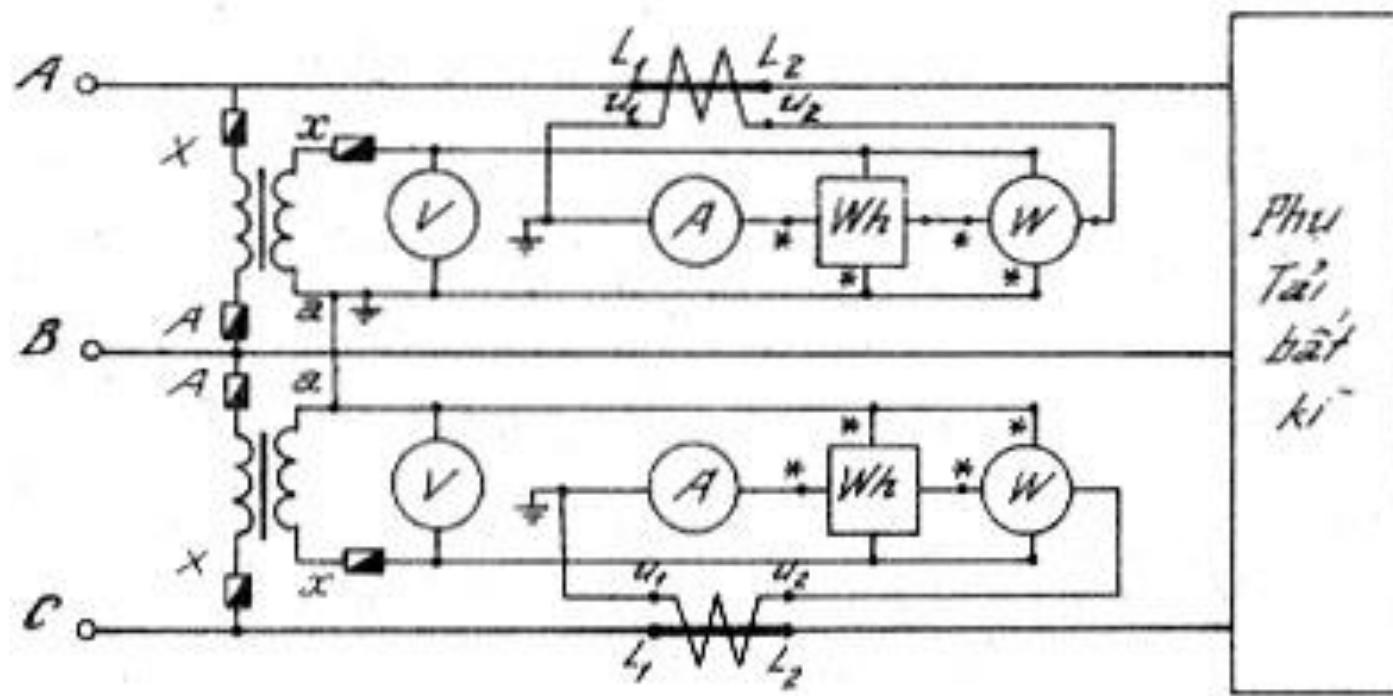


- Analog device đưa ra thị trường các bộ biến đổi vạn năng 3 pha AD7752 ADE7754 và ADE7758.
- Các bộ biến đổi này cho phép thu thập các số liệu sau: Điện áp hiệu dụng 3 pha U_a, U_b, U_c ; dòng điện hiệu dụng 3 pha I_a, I_b, I_c ; công suất tác dụng 3 pha $P_{3\text{ pha}}$; công suất phản kháng $Q_{3\text{ pha}}$; công suất biểu kiến S ; năng lượng tác dụng E_a ; năng lượng phản kháng E_r ; tần số f ; $\cos\phi$.
- Như vậy là với bộ các IC biến đổi của Analog device cho phép ứng dụng để đo tất cả các đại lượng điện trong công nghiệp với độ chính xác theo yêu cầu của công nghệ phát điện truyền tải và sử dụng điện năng.
- Các công tơ 3 pha nhiều chức năng hiện nay đều được xây dựng trên cơ sở các IC này.

IC Biến đổi vạn năng 3 pha của Analog Devices



Đo CS, năng lượng trong mạch 3 pha cao áp



- Thông thường kết quả đo phụ thuộc vào sai số của dụng cụ đo và của biến áp và biến dòng đo lường mà chủ yếu là sai số góc.
- Kết quả đo công suất tổng bằng tổng công suất (và năng lượng) của từng dụng cụ đo nhân với hệ số biến áp và biến dòng

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



- Thông số của mạch điện bao gồm điện trở R, điện cảm L, điện dung C, góc tổn hao của tụ điện và hệ số phảm chất của cuộn dây.
- Có 2 phương pháp đo thông số của mạch là đo trực tiếp và đo gián tiếp.
 - ❖ + Đo gián tiếp là sử dụng ampe kế và vôn kế đo dòng và áp để từ các phương trình và định luật suy ra thông số cần đo.
 - ❖ + Đo trực tiếp là dùng các thiết bị xác định trực tiếp thông số cần đo như Ohmmet, Henrimet, Faramet



Các quan hệ trong mạch điện

■ Trong mạch điện một chiều

- ❖ Điện trở $R = \frac{U}{I}$

- ❖ Điện cảm và điện dung không có tác dụng

■ Trong mạch điện xoay chiều

- ❖ Điện áp trên điện cảm: $U_L = -L \frac{di}{dt}$

- ❖ Điện áp trên điện dung $U_C = \frac{1}{C} \int idt$

$$U = RI + \frac{1}{C} \int idt - L \frac{di}{dt}$$

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



- Trong mạch điện tín hiệu hình sin, ta có:
 - ❖ Điện áp trên điện cảm: $U_L = L\omega I = X_L I$
 - ❖ Điện áp trên điện dung $U_C = \frac{1}{\omega C} = X_C I$

- Trong mạch điện xoay chiều hình sin có R, L, C, quan hệ giữa dòng điện và điện áp được viết theo quan hệ vécto

$$\mathbf{U} = \mathbf{IR} + (\mathbf{X}_L - \mathbf{X}_C) \mathbf{I}$$

- Hay viết theo giá trị hiệu dụng

$$U = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} I = ZI$$



Các điều kiện kỹ thuật

Sai số về thiết bị đo.

$$R = \frac{U}{I}; X_L = \frac{U_L}{I}; X_C = \frac{U_C}{I}$$

- ❖ U, I được đo bằng volmet và ampemeter.
- ❖ Sai số $\gamma = \gamma_U + \gamma_I$

Sai số phương pháp

- ❖ Để đảm bảo sai số yêu cầu sai số phương pháp phải nhỏ hơn rất nhiều so với sai số của thiết bị đo.
- ❖ Đối với các thiết bị đo U và I phải có các điều kiện sau
 - ❖ $R_A \ll R_{đo}$: điện trở thiết bị đo dòng điện; $R_A < R_{đo} \cdot \gamma_{yc}$
 - ❖ $R_V \gg R_{đo}$: điện trở thiết bị đo điện áp. $R_V > R_{đo} / \gamma_{yc}$

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



■ Sai số do yếu tố ảnh hưởng.

- ❖ Điện trở, điện cảm, điện dung thường chịu ảnh hưởng của môi trường.Ví dụ:
 - Điện trở của dây dẫn chịu ảnh hưởng của nhiệt độ.
 - Điện cảm chịu ảnh hưởng của từ trường bên ngoài.
 - Điện dung thay đổi theo nhiệt độ và độ ẩm.
- ❖ Vì thế, khi đo thông số của mạch điện phải chú ý đến sai số gây ra do các yếu tố ảnh hưởng nói trên.
- ❖ Ngoài ra, nhiều khi người ta lại sử dụng các yếu tố ảnh hưởng đến thông số của mạch điện để đo các đại lượng ảnh hưởng đến các thông số ấy.Ví dụ:
 - Đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở,
 - Đo độ ẩm bằng cảm biến điện dung



11.1. Đo điện trở

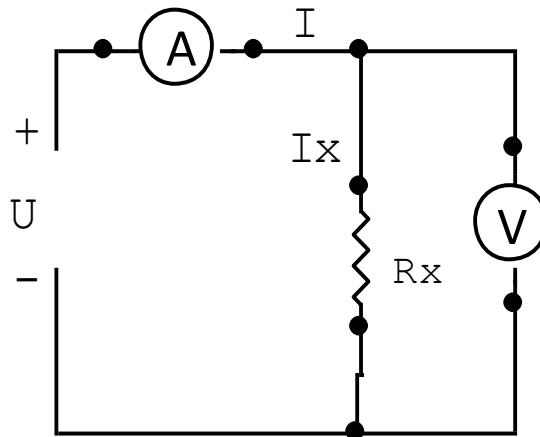
- Đo điện trở gián tiếp
 - ❖ Đo bằng phương pháp U I
 - ❖ Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu
- Đo điện trở trực tiếp
 - ❖ Đo điện trở trực tiếp bằng Ohmmeter
- Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)
 - ❖ Meghomet tương tự
 - ❖ Meghomet chỉ số
- Phương pháp đo điện trở rất nhỏ (điện trở 4 đầu)

Đo điện trở gián tiếp



Sử dụng Ampe kế và Vôn kế

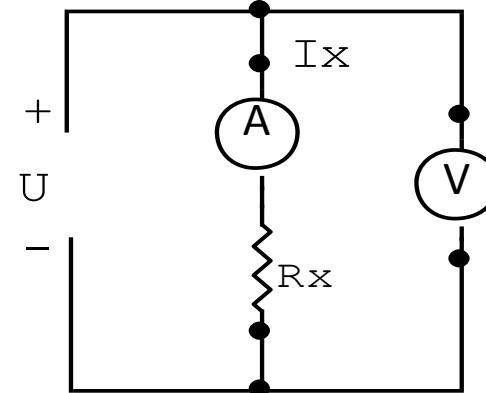
- Dựa vào định luật Ohm ta xác định được
- Có thể mắc theo một trong hai sơ đồ sau:



$$R'_{\text{v}} = \frac{U_v}{I_x} = \frac{U_v}{I_A - I_v} = \frac{U_v}{I_A} - \frac{U_v}{R_v}$$

Hình a

$$R = \frac{U}{I}$$



$$R'_{\text{v}} = \frac{U_v - U_A}{I_A} = \frac{U_v - I_A \cdot R_A}{I_A}$$

Hình b

Đo điện trở gián tiếp



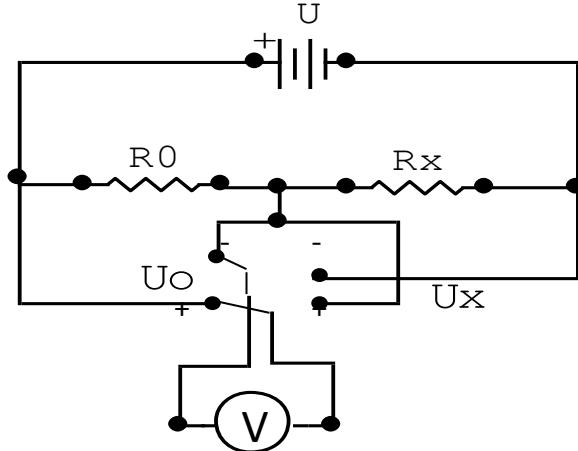
- Hình a: Ta thấy phép đo đạt giá trị chính xác cao khi R_V càng lớn càng tốt ($R_V \gg R_x$).
 - ❖ Đảm bảo sai số yêu cầu $R_V > R_{đo} / \gamma_{yc} \Rightarrow R_{đo} < R_V \cdot \gamma_{yc}$
 - ❖ Sơ đồ này được dùng để đo điện trở có giá trị nhỏ.
- Hình b: Rõ ràng để $R'x$ tiến tới giá trị của R_x thì R_A càng nhỏ càng tốt ($R_A \ll R_x$).
 - ❖ Đảm bảo sai số yêu cầu $R_A < R_{đo} \cdot \gamma_{yc} \Rightarrow R_{đo} > R_A / \gamma_{yc}$
 - ❖ Sơ đồ b thường dựng để đo điện trở R_x lớn

Đo điện trở gián tiếp



Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu

So sánh hai điện trở nối tiếp

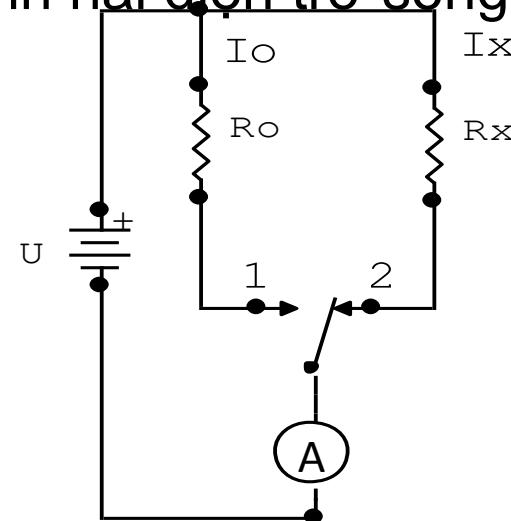


$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x} \Rightarrow R_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0$$

Thích hợp cho đo điện trở nhỏ

$$R_V > R_x \cdot \frac{1}{\gamma}; R_V > R_0 \cdot \frac{1}{\gamma}$$

So sánh hai điện trở song song



$$I_0 \cdot R_0 = I_x \cdot R_x \Rightarrow R_x = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0$$

Thích hợp cho đo điện trở rất lớn

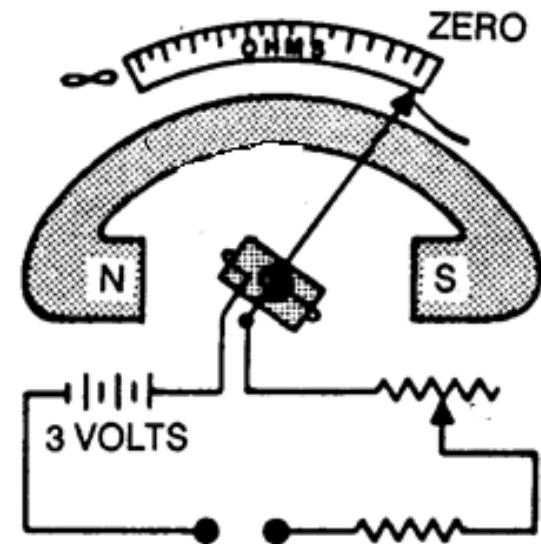
$$R_A < R_x \cdot \gamma; R_A < R_0 \cdot \gamma$$

Các phương pháp đo điện trở (Đo trực tiếp)



Đo điện trở trực tiếp bằng Ohmmeter

- Ohmmeter là dụng cụ đo có cơ cấu chỉ thị từ điện với nguồn cung cấp là pin và các điện trở chuẩn
- Dựa vào định luật Ohm ta có $R=U/I$, nếu giữ U không đổi thì dòng điện I qua mạch đo sẽ thay đổi khi điện trở thay đổi (tức là kim sẽ lệch những góc khác nhau khi giá trị của điện trở thay đổi).
- Có hai loại Ohmmeter là
 - ❖ Ohmmeter nối tiếp
 - ❖ Ohmmeter song song.

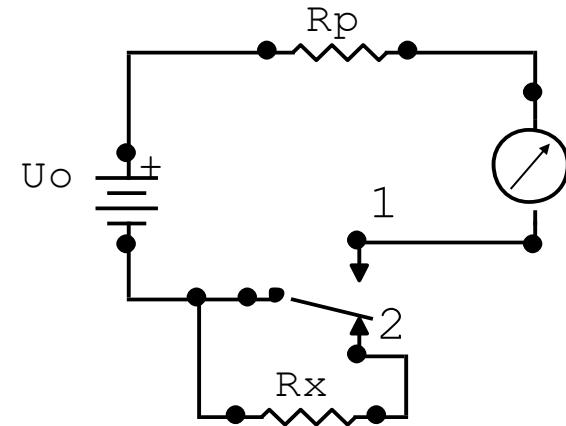




Ohmmeter nối tiếp

- Đây là Ohmmeter trong đó điện trở cần đo mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị.
- Ohmmeter loại này thường dễ đo giá trị điện trở R_x cỡ từ Ohm trở lên.
- R_p là điện trở phụ đảm bảo khi $R_x = 0$ dòng điện qua cơ cấu đo là lớn nhất (hết thang chia độ) và dễ bảo vệ cơ cấu chỉ thị.
- Điện trở trong của Ohmmeter được xác định là

$$R_\Omega = R_{ct} + R_p = \frac{U_o}{I_{ct \max}}$$



$$Rx = 0 \quad I_{ct \max} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p}$$

$$Rx \neq 0 \quad I_{ct} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p + R_x}$$

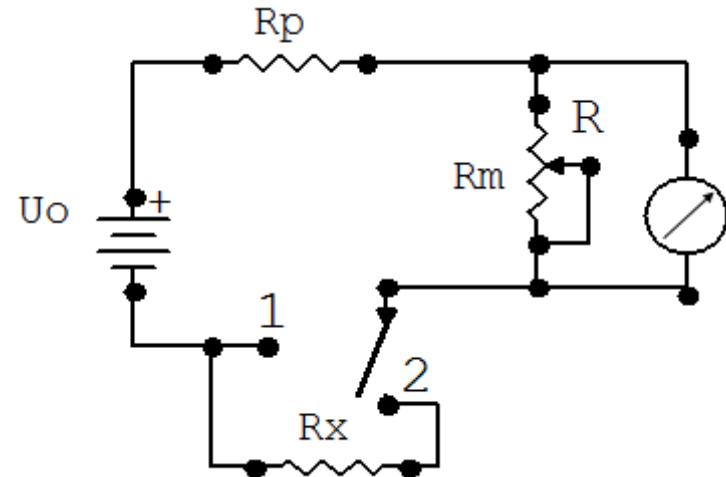
$$Rx = \infty \quad I_{ct} = 0$$

Như vậy thang đo của Ohmmeter song song có dạng nghịch

Ohmmeter nối tiếp



- Ngoài ra số chỉ của Ohmmeter còn phụ thuộc vào nguồn pin cung cấp bên trong. Khi U_o giảm thì sai số khá lớn. Để điều chỉnh sai số này (hay còn gọi là điều chỉnh zero) người ta mắc thêm chiết áp R_m như hình bên:
- Cách chỉnh zero: mỗi lần sử dụng Ohmmeter ta ngắn mạch đầu vào (cho $R_x = 0$ bằng cách chập hai đầu que đo với nhau), vặn núm điều chỉnh của R_m để kim chỉ zero trên thang đo.
- Bằng cách làm như trên ta sẽ có kết quả đo chính xác hơn dù nguồn pin bị yếu đi.

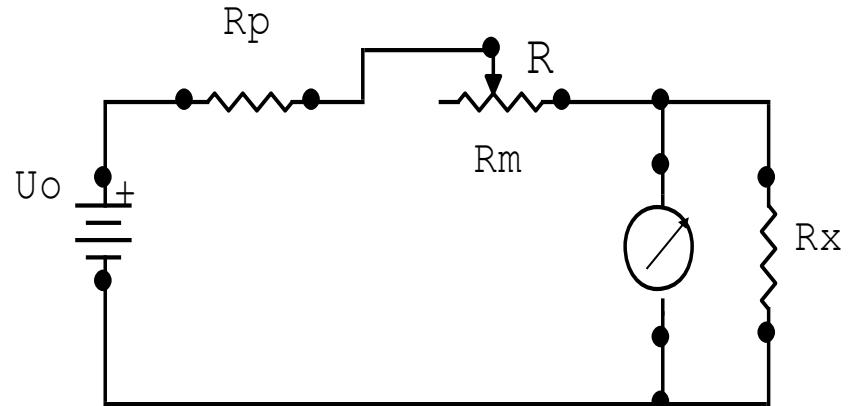




Ohmmeter song song

- Loại Ohmmeter này có điện trở cần đo R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị như hình dưới đây
- Ohmmeter loại này dùng để đo điện trở R khá nhỏ, nó có thang đo thuận chiều vì khi không có R_x (tức là $R_x = \infty$) dòng qua chỉ thị là lớn nhất còn khi $R_x = 0$ dòng qua chỉ thị xấp xỉ 0.

$$I_{ct} = \frac{U_o}{R_{ct} \left(1 + R_p \left(\frac{1}{R_{ct}} + \frac{1}{R_x} \right) \right)}$$

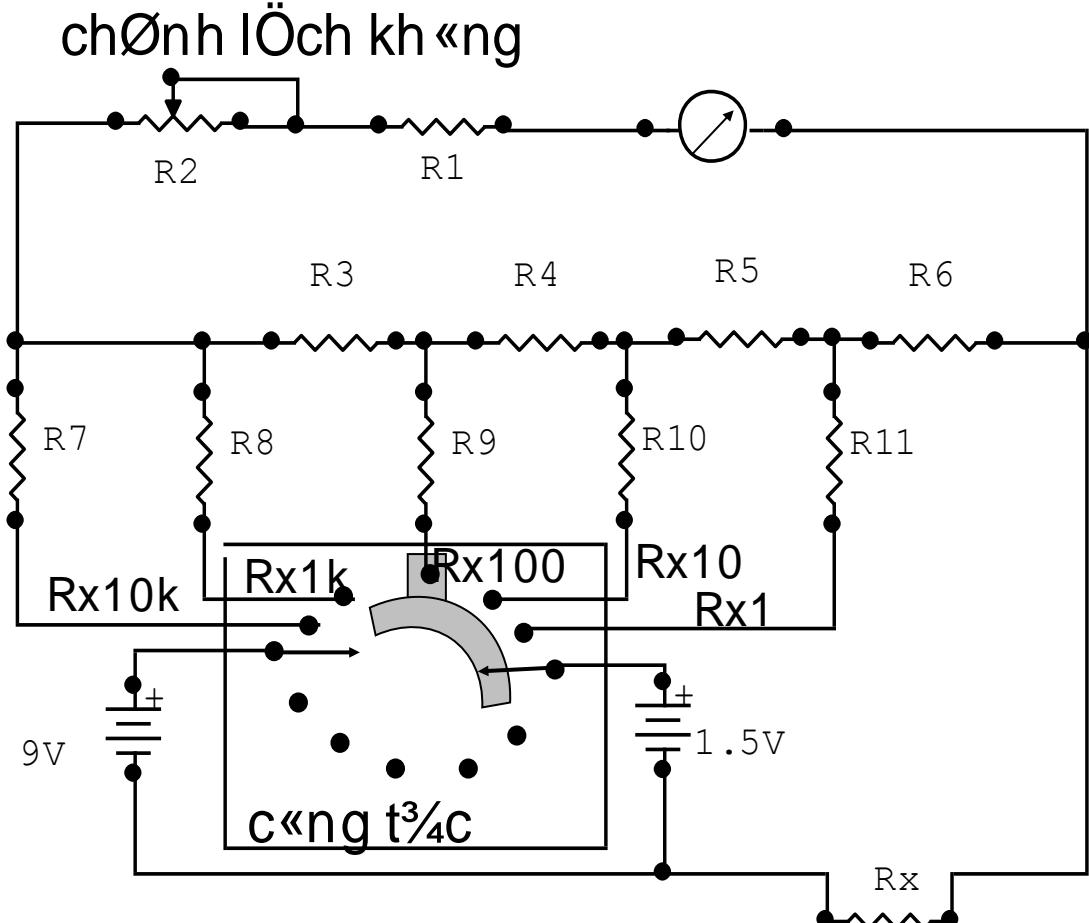


- Như vậy thang đo của Ohmmeter song song có dạng thuận

Ohmmeter nhiều thang đo



Việc mở rộng nhiều thang đo cho Ohmmeter sẽ tuân theo nguyên tắc chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở vào của Ohmmeter với một số lần nhất định sao cho khi $R_x = 0$ kim chỉ vẫn đảm bảo lệch hết thang đo tức là dòng qua cơ cầu đo bằng giá trị định mức đã chọn



Ohmmeter nhiều thang Ω

Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

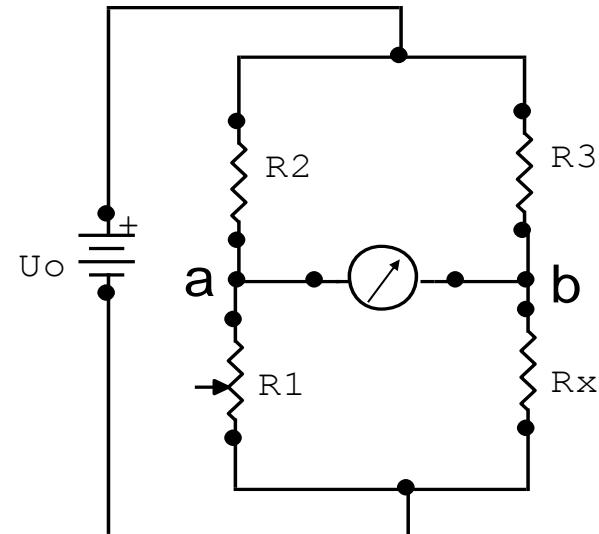
Cầu Wheatstone (cầu đơn)

- Để xác định điện trở R_x người ta điều chỉnh con chạy của R_1 để chỉ thị chỉ 0, khi đó cầu ở trạng thái cân bằng, tức là $U_{ab} = 0$
- Theo công thức phân áp ta có:

$$V_a = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_o \quad V_a = V_b \Rightarrow \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_x}{R_3 + R_x}$$

$$\begin{aligned} V_b &= \frac{R_x}{R_x + R_3} \cdot U_o \\ &\Leftrightarrow R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x \\ &\Rightarrow R_x = \frac{R_3}{R_2} \cdot R_1 \end{aligned}$$

Hệ số R_3 / R_2 biết trước nên thang khắc độ có thể khắc trực tiếp giá trị của điện trở cần đo tùy thuộc vào vị trí con chạy của R_1



Cầu Wheatstone

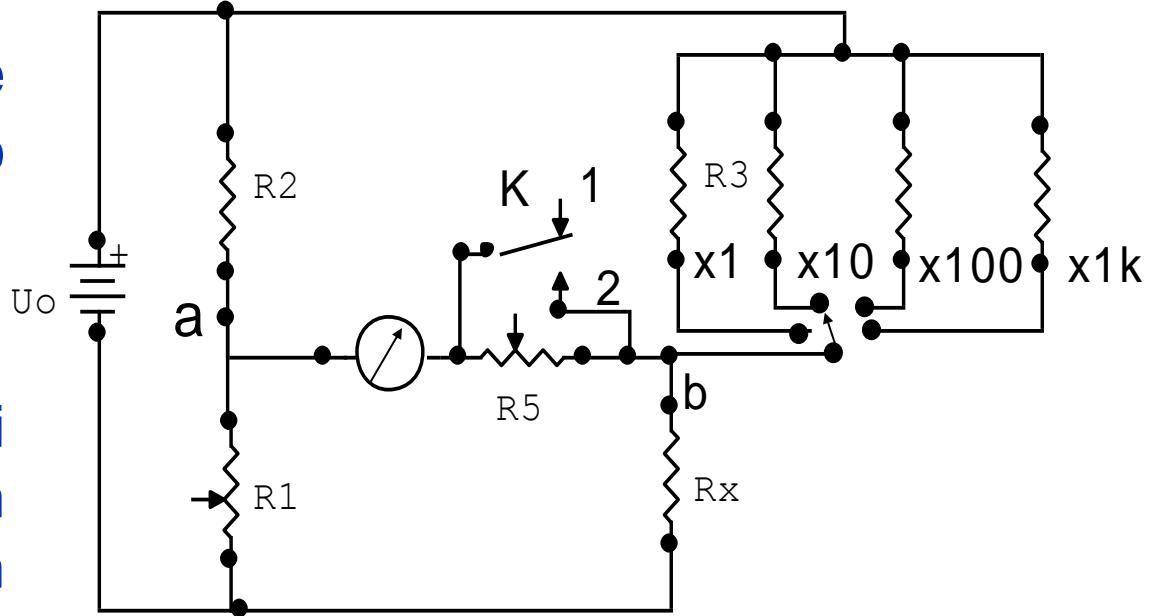
Đưa điện trở R_x vào cầu và điều chỉnh con chạy của R_1 sao cho kim chỉ thị chỉ 0, khi đó

$$R_x = \frac{R_3}{R_2} \cdot R_1$$

Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

Cầu Wheatstone (cầu đơn)

- Thường để mở rộng thang đo người ta
 - Giữ nguyên R_2
 - R_3 được thay bởi một dãy các điện trở có giá trị hơn kém nhau 10 lần
- khi đó ta sẽ có hệ số nhân là bội của 10.



Cầu Wheatstone nêu thang Ω
 R_5 là chiết áp điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị. Cách điều chỉnh

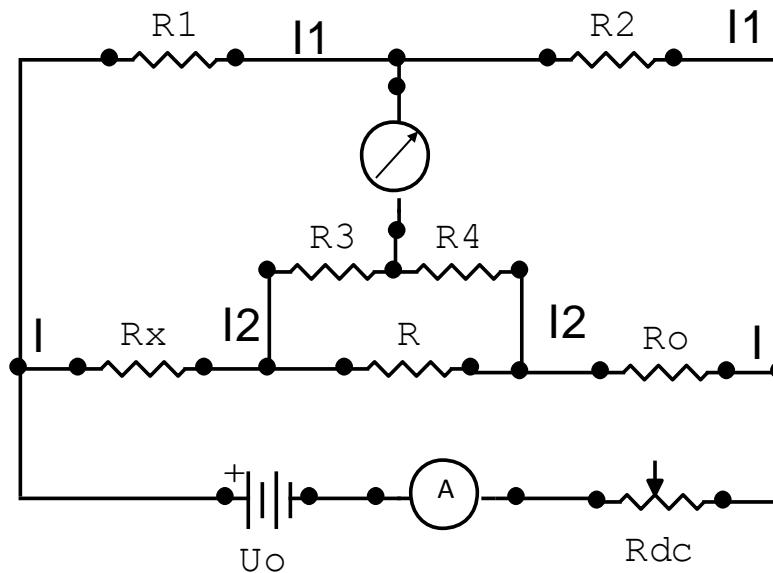
- Cho K ở vị trí 1 để chỉnh thô, bảo vệ quá dòng cho chỉ thị
- Cho K ở vị trí 2 để chỉnh tinh sao cho cầu cân bằng hoàn toàn

Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)



Cầu Kelvin (cầu kép)

- Đây là dụng cụ dùng để đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà cầu đơn ở trên không đo được hoặc có sai số quá lớn do điện trở dây nối và điện trở tiếp xúc.
- Dưới đây là mạch nguyên lý và sơ đồ thông thường của cầu kép:



Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

Cầu Kelvin (cầu kép)

- Khi cầu cân bằng ta có chỉ thị chỉ 0, dòng qua chỉ thị bằng 0 nên dòng qua R_1, R_2 là dòng I_1 , dòng qua R_3, R_4 là dòng I_2

Vòng 1

$$I_1 \cdot R_1 = I \cdot R_x + I_2 \cdot R_3$$

$$I \cdot R_x = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_3$$

$$\Rightarrow I \cdot R_x = R_1 (I_1 - I_2 \cdot \frac{R_3}{R_1})$$

Vòng 2

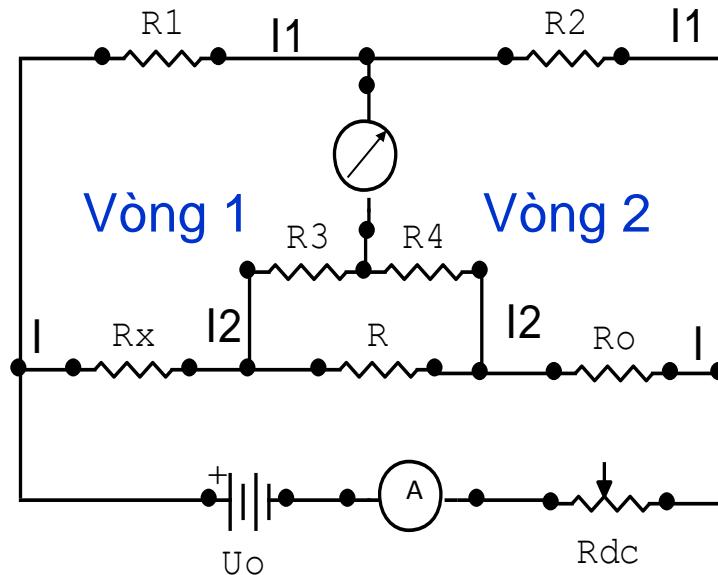
$$I_1 \cdot R_2 = I \cdot R_o + I_2 \cdot R_4$$

$$I \cdot R_o = I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_4$$

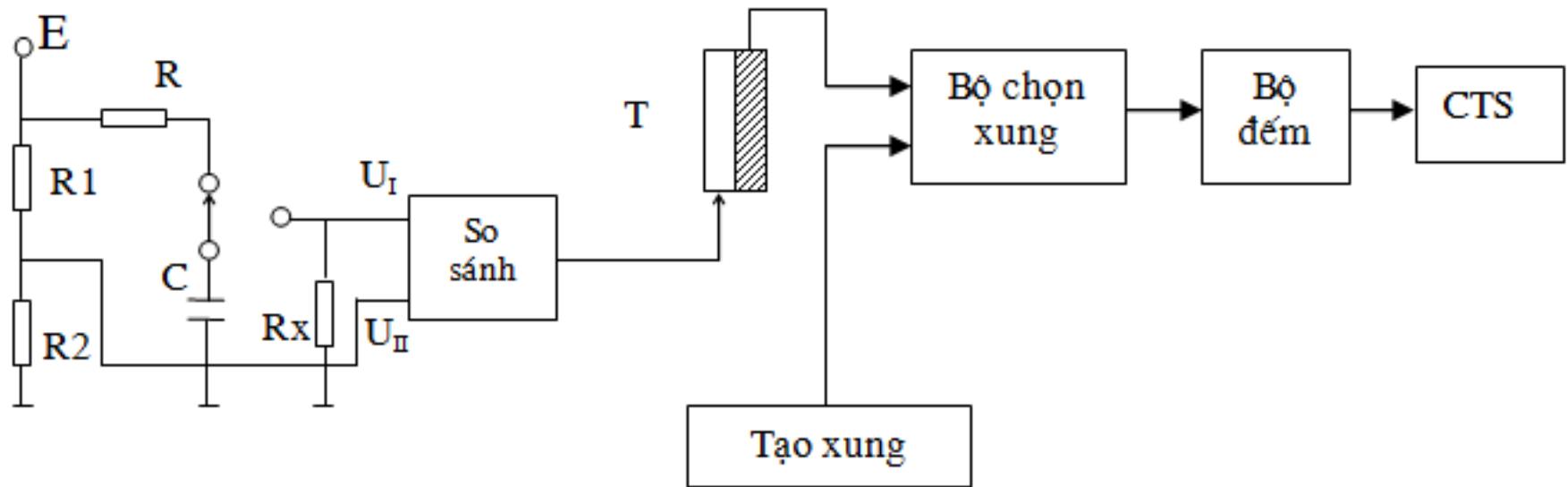
$$\Rightarrow I \cdot R_o = R_2 (I_1 - I_2 \cdot \frac{R_4}{R_2})$$

$$\Rightarrow \frac{R_x}{R_o} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{\frac{I_1 - I_2 \cdot \frac{R_3}{R_1}}{I_1 - I_2 \cdot \frac{R_4}{R_2}}}{\frac{R_3}{R_1}} \quad Neu \quad \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$$

$$\Rightarrow R_x = R_o \cdot \frac{R_1}{R_2}$$



Đo điện trở chỉ thị số



Đo điện trở chỉ thị số



- Tụ C phóng điện qua điện trở R_X theo phương trình :

$$U_T = E \cdot e^{-t/T}$$

$T = R_X C$ hằng số thời gian của mạch

- Sau khoảng $t=T$, ta có $U_I=E \cdot e^{-1}$
- Trong quá trình chế tạo, chọn R_1 và R_2 sao cho :

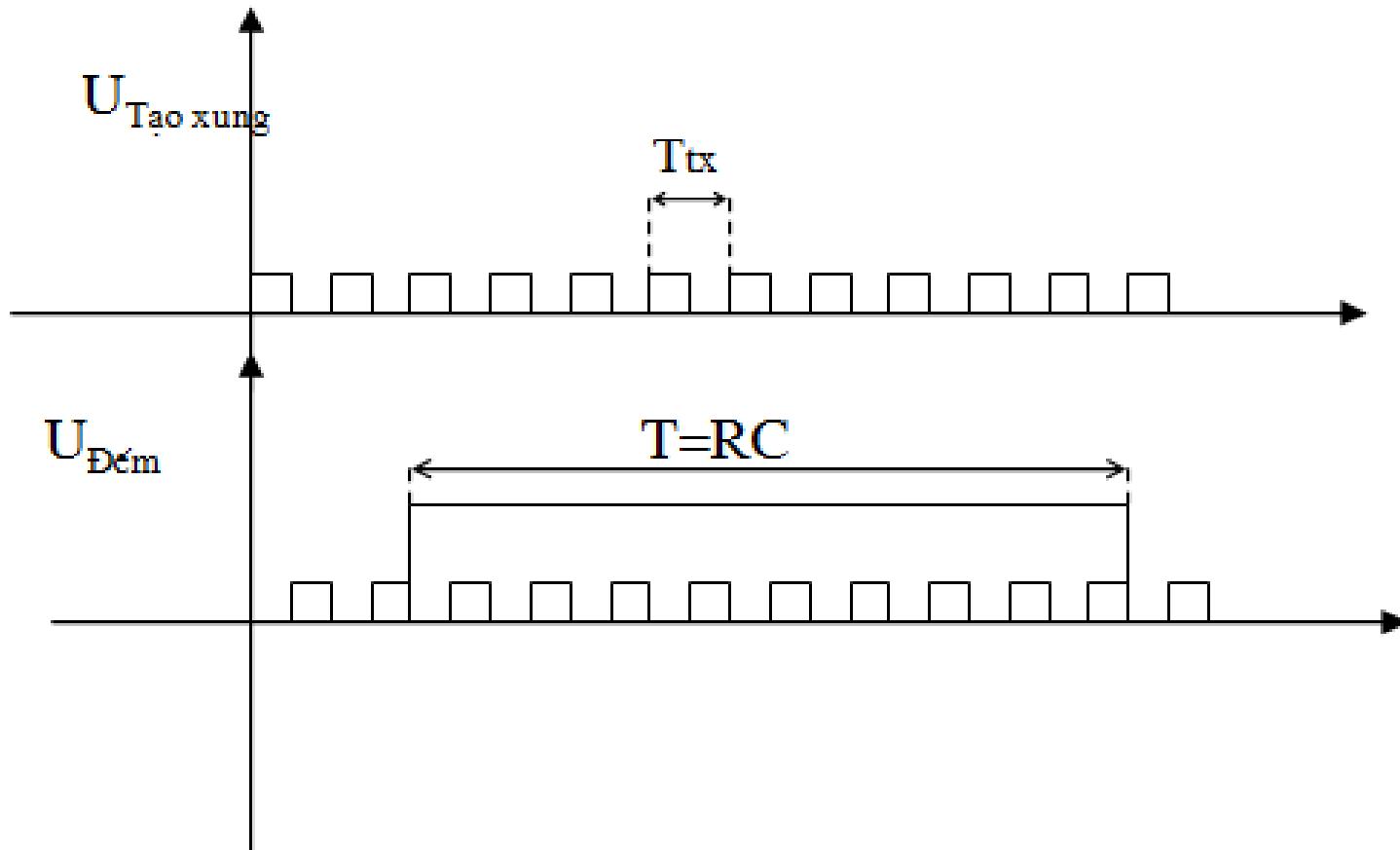
$$U_{II}=E \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = E \cdot e^{-1}$$

- Tức là sau khoảng thời gian $t=T=RC$ điện áp đầu vào bộ so sánh là bằng nhau, tức là đầu ra bộ so sánh có tín hiệu, tín hiệu này kích hoạt trigger T làm T chuyển trạng thái '1'-->'0', làm cho mạch chọn xung ngừng không cho xung qua, mạch đếm kết thúc quá trình đếm. Bộ chỉ thị chỉ thị kết quả đo

Đo điện trở chỉ thị số



Ta có biểu đồ thời gian như sau :



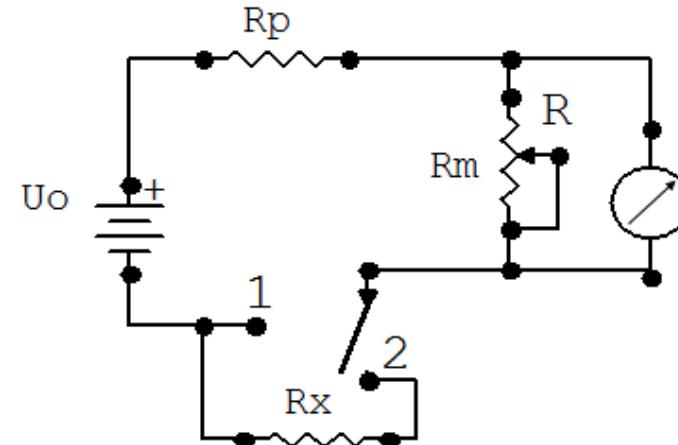
Gọi số xung đếm được là m, ta có : $T = R_x C = m \cdot T_{tx} \Rightarrow R_x = (T_{tx}/C) \cdot m = K \cdot m$, trong đó K là hằng số, vì T, C là những giá trị biết trước

Đo điện trở



Xác định khoảng đo điện trở của Ommeter nối tiếp có các chỉ kĩ thuật sau:

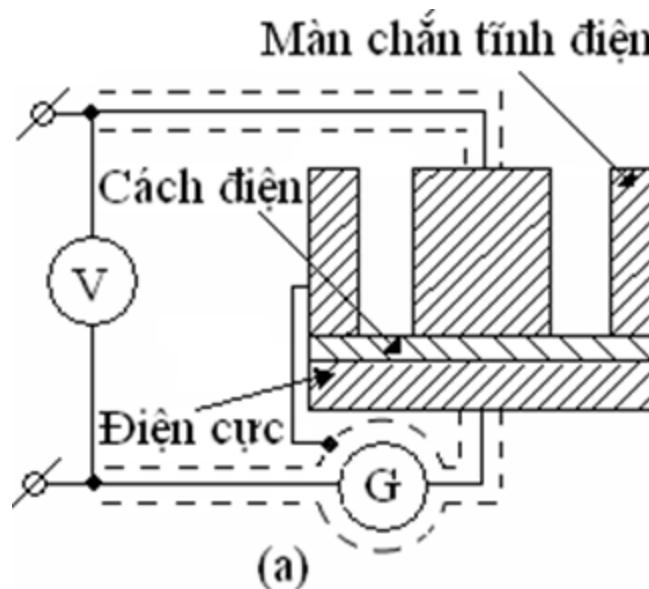
- Điện áp cung cấp $U_0 = 3V$; điện trở phụ nối tiếp $R_p = 30k\Omega$; điện trở điều chỉnh “0” $R_m = 50\Omega$ nối song song với các cơ cấu chỉ thị : $I_{ctmax} = 50\mu A$, giá trị nhỏ nhất cơ cấu đo được là $\varepsilon = 1\mu A$
- Vẽ sơ đồ Ommeter, xác định khoảng đo R và tính các R_x tương ứng với các dòng điện sau: $I_{ct} = 1/2I_{ctmax}$; $I_{ct} = 3/4I_{ctmax}$



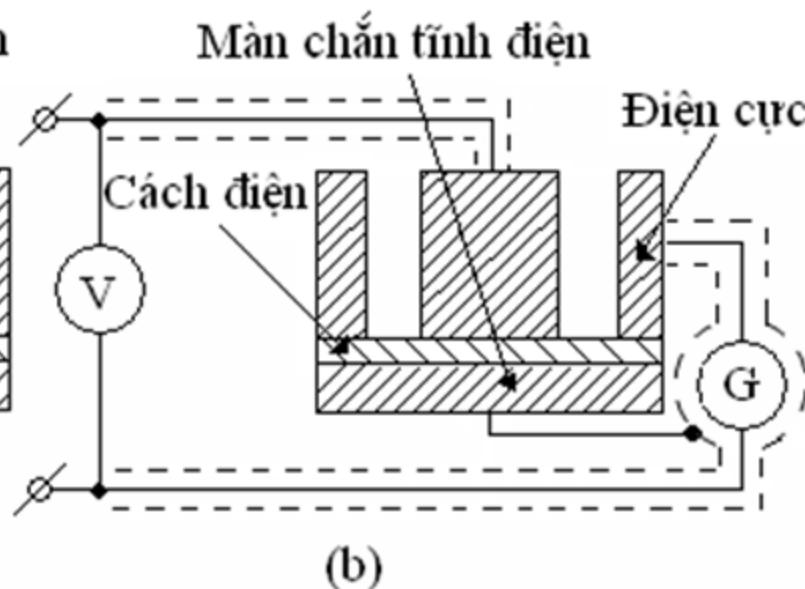
Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)



- Điện trở cách điện của vật liệu đo được thông qua đo dòng xuyên qua vật liệu gọi là cách điện khói.
- Điện trở cách điện của vật liệu đo được thông qua đo dòng bò trên bề mặt vật liệu gọi là cách điện mặt.
- Phương pháp đo là phương pháp U, I nhưng khi đo cách điện khói thì phải loại trừ dòng điện bò trên mặt và ngược lại.



Đo điện trở cách điện khói



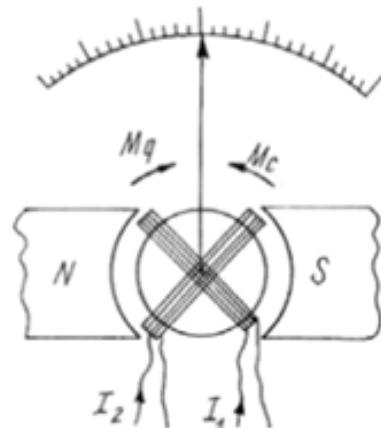
Đo điện trở cách điện bề mặt

Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)

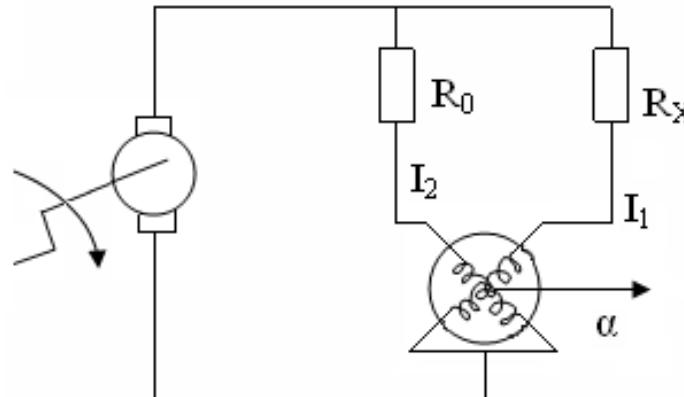


Meghomet tương tự

- để có nguồn cao áp, trong meghomet phải có một máy phát điện một chiều quay tay. Người đo phải quay máy phát với một tốc độ đủ lớn để phát được điện áp đủ cho phép đo.



(a) Logometre từ điện



(b) Sơ đồ megahomet

Góc quay

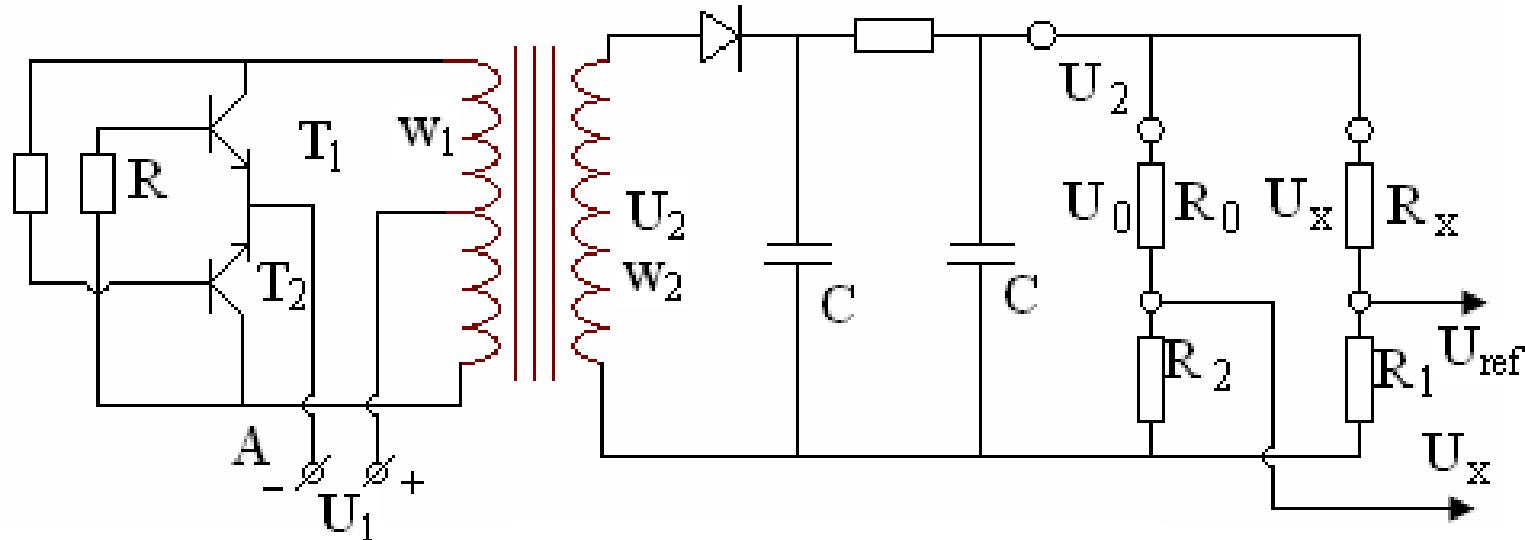
$$\alpha = f\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = f\left(\frac{U}{R_0} : \frac{U}{R_x}\right) = f\left(\frac{R_x}{R_0}\right)$$

Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)



Meghomet chỉ số

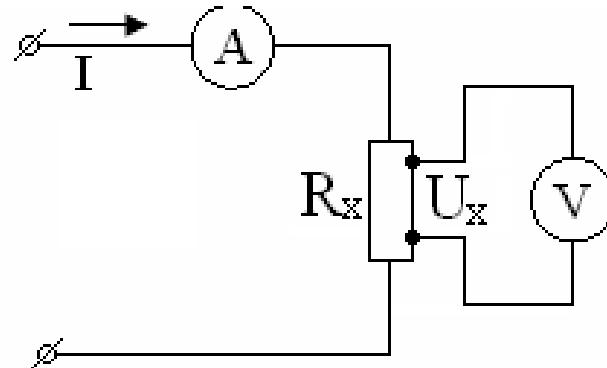
- Nguồn cao áp được chế tạo bằng một bộ phát nghẹt (blocking generator). Logomet sử dụng là bộ mã hoá tích phân 2 sườn xung ICL 7106.



Phương pháp đo điện trở rất nhỏ (điện trở 4 đầu)



- Trong thực tế người ta phải đo những điện trở nhỏ như đo điện trở của các cuộn dây của động cơ.
- Nếu dùng phương pháp U, I ; $U_x = IR_x + 2IR_{tx}$.
- Để loại trừ ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc, ta thực hiện phép đo với sơ đồ điện trở 4 đầu

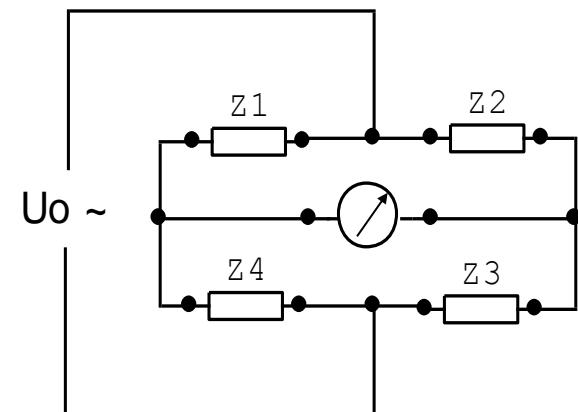


- Tuy nhiên, để có thể đo các điện trở rất nhỏ, I phải đủ lớn (10-100A) và dụng cụ đo áp phải đủ nhạy (cỡ mV).
- Ví dụ: Dòng $I = 10A$, $U_x = 5mV \rightarrow$ Điện trở $R_x = 0.5m\Omega$.



11.2 Cầu dòng xoay chiều (Đo C, L)

- Đây là dụng cụ dựa trên cầu đơn để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao và hệ số phasc chất Q.
- Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều tần số công nghiệp (50 – 60Hz), âm tần hoặc cao tần từ máy phát tần.
- Chỉ thị zero là dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng ...
- Trong đó Z là tổng trở của các nhánh, $Z = R + jX$ với R là phần thực và X là phần ảo.
- Điều kiện cân bằng của cầu là:
$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$
- Điều kiện trên thoả mãn khi các điều kiện cân bằng biên độ và cân bằng pha được thoả mãn.



Một cách dùng xoay chiều



11.2.1 Cầu xoay chiều đo điện dung

- Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không qua tụ) nhưng trong thực tế vẫn có thành phần dòng rò đi qua lớp điện môi vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất. Để đặc trưng cho sự tổn hao này người ta sử dụng thông số góc tổn hao tg
 - ❖ Với tụ có tổn hao nhỏ $\text{tg}\delta = R \cdot \omega \cdot C$
 - ❖ Với tụ có tổn hao lớn $\text{tg}\delta = 1/(R \cdot \omega \cdot C)$
- Trong đó R, C là hai thành phần đại diện cho phần thuận trở và phần thuận dung của tụ điện.



a. Cầu đo tụ điện tốn hao nhỏ

- Tụ điện có tốn hao nhỏ được biểu diễn bởi một tụ điện lý tưởng mắc nối tiếp với một điện trở. Khi đó người ta mắc cầu như hình bên

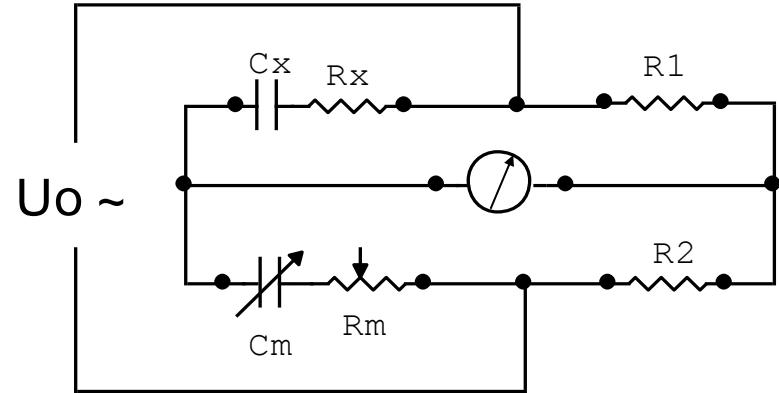
- Cx, Rx là nhánh tụ điện cần đo
- Cm, Rm là nhánh tụ mẫu điều chỉnh

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ: $Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \quad \Rightarrow$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$



CÇu ®o tô ®iÖn cã tæn hao r

$$(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}) \cdot R_2 = R_1 (R_m + \frac{1}{j\omega C_m})$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_2 \cdot R_x = R_1 \cdot R_m \\ R_2 / C_x = R_1 / C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_m \end{cases}$$



b. Cầu đo tụ điện tổn hao lớn

- Cầu cân bằng ta có điều kiện:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

$$Z_x = \frac{R_x \cdot \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$$

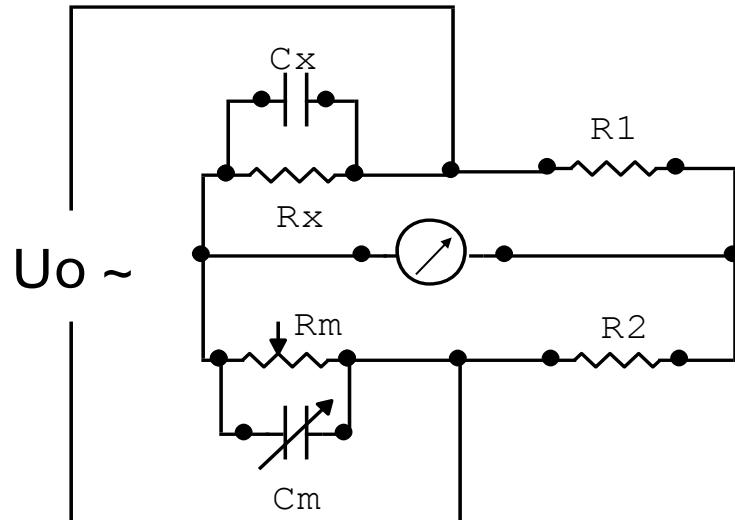
$$Z_m = \frac{R_m \cdot \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R1}{1/Rm + j\omega Cm} = \frac{R2}{1/Rx + j\omega Cx}$$

$$\Rightarrow R1(1/Rx + j\omega Cx) = R2.(1/Rm + j\omega Cm)$$



CÇu ®o tô ®iÖn cã tæn ha

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R1}{Rx} = \frac{R2}{Rm} \\ R1.Cx = R2.Cm \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Rx = \frac{R1}{R2} \cdot Rm \\ Cx = \frac{R2}{R1} \cdot Cm \end{cases}$$



11.2.2 Cầu đo điện cảm

- Cuộn cảm lý tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng là ($X_L = L$) hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm L , nhưng trong thực tế các cuộn dây bao giờ cũng có một điện trở nhất định. Điện trở càng lớn phẩm chất của cuộn dây càng kém. Q là thông số đặc trưng cho phẩm chất của cuộn dây, nó được tính bằng:

$$Q = \frac{X_L}{R_L}$$

- Để đo các thông số của cuộn dây người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều.

Cầu xoay chiều dùng điện cảm mău



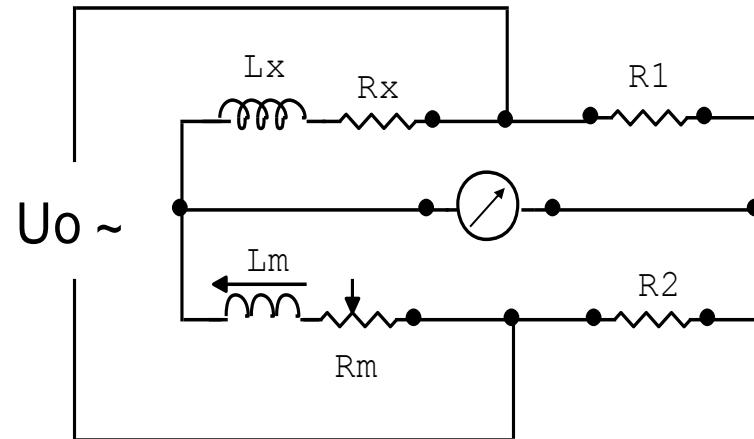
- Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = R_m + j\omega L_m$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$



Cứu \Rightarrow Q_x

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \cdot R_2 = (R_m + j\omega L_m) \cdot R_1$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x \cdot R_2 = R_m \cdot R_1 \\ L_x \cdot R_2 = L_m \cdot R_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ L_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot L_m \end{cases} \Rightarrow Q_x = \frac{w \cdot L_x}{R_x} = \frac{w \cdot L_m}{R_m}$$

Cầu điện cảm Maxwell



- Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

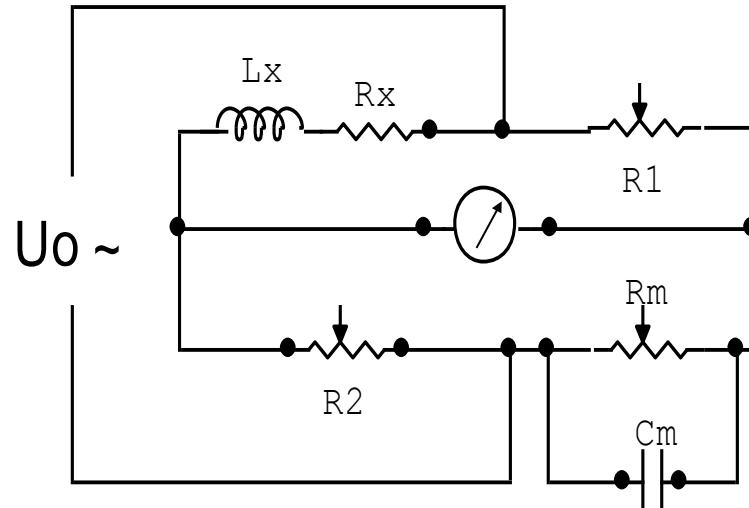
$$Z_m = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m} = R_1 \cdot R_2$$

$$R_x + j\omega L_x = R_1 \cdot R_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

$$Q_x = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \omega \cdot C_m \cdot R_m$$



Cứu điện cảm Maxwell

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_m} \\ L_x = R_1 \cdot R_2 \cdot C_m \end{cases}$$

Cầu điện cảm Hay



- Khi cầu cân bằng ta có:

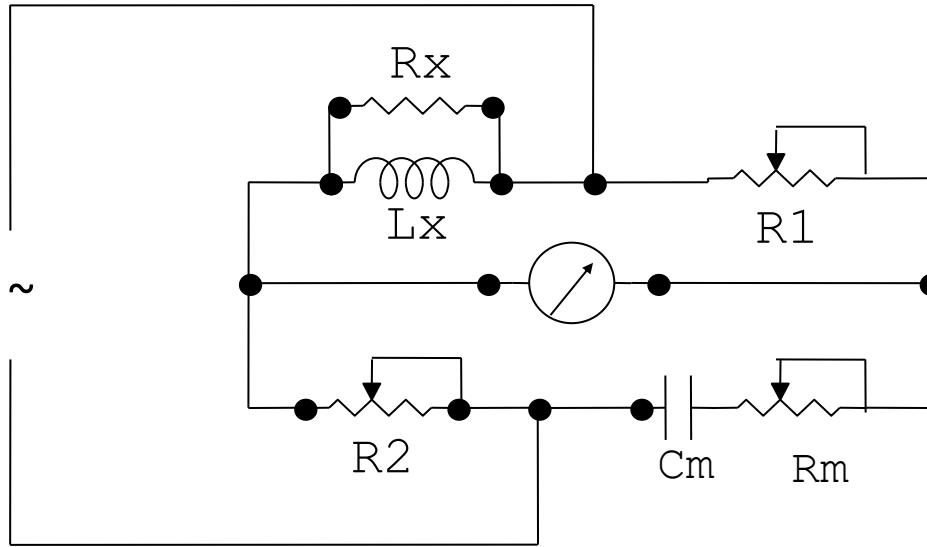
$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

$$Z_x = \frac{R_x \cdot j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$U_o \sim$$



Cầu điện cảm Hay

$$\Rightarrow \frac{R_x \cdot j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) = R_1 \cdot R_2$$

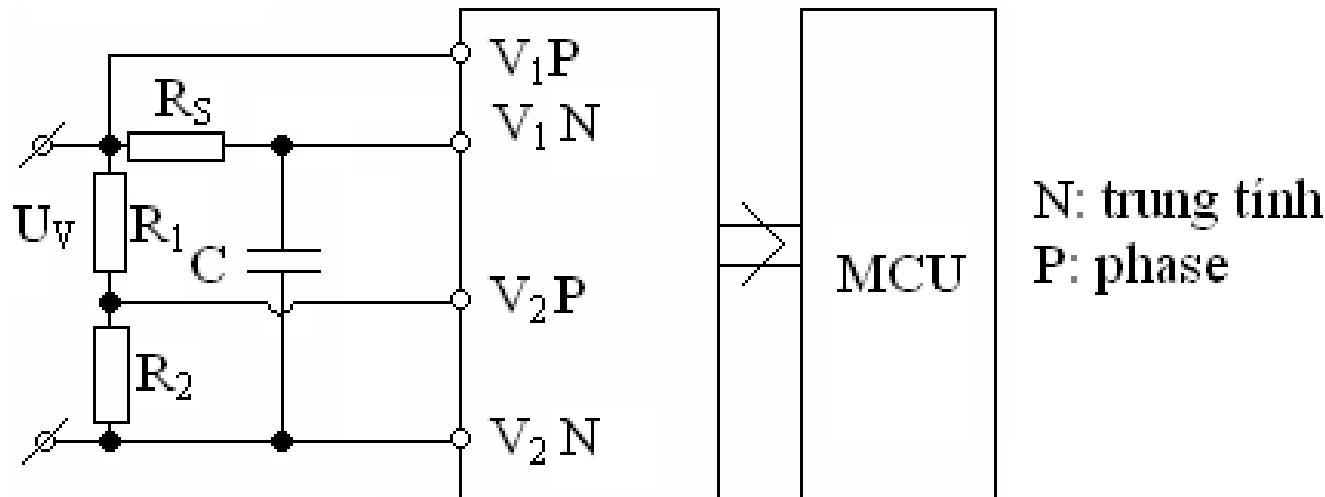
$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_x = R_1 \cdot R_2 \cdot C_m \\ R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_m} \end{cases}$$

$$Q_x = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \omega \cdot C_m \cdot R_m$$

11.3. Đo điện dung, điện cảm với bộ biến đổi vạn năng



- Sử dụng ADE7753 có thể đo tổn hao của tụ điện cùng với điện dung của tụ điện



- Điện áp được đo bằng đầu V_2 thông qua phân áp.

$$U_2 = U_v \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_C = \frac{U_v}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 + R_s^2}}$$

Đo điện dung, điện cảm với bộ biến đổi vạn năng



- ADE7753 cho ta U_{rms} , I_{rms} , $P_{tổn hao}$, f .

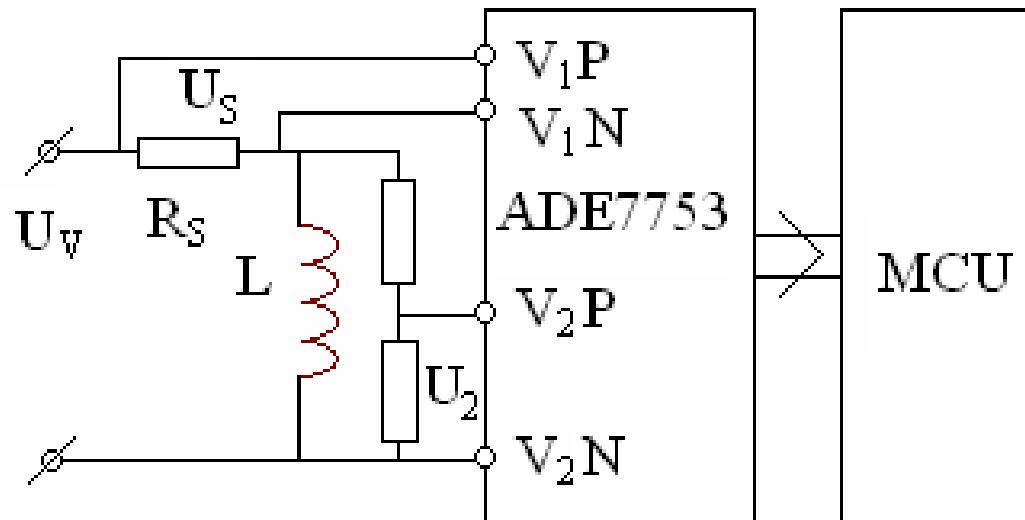
$$C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\left(\frac{U_c}{I_c}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}}$$

- Các công thức trên được tính trong MCU nối với ADE7753. Các số liệu f , I_c , U_c , P được lấy trong các thanh ghi tương ứng

Đo điện dung, điện cảm với bộ biến đổi vạn năng



- Đầu vào điện áp V_1 và V_2 của ADE7753 có nhiều thang đo và có thể lập trình điều khiển tự động.



$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U_{rms}}{I_{rms}} \right)^2 - \left(\frac{P}{I_{rms}^2} \right)^2}$$



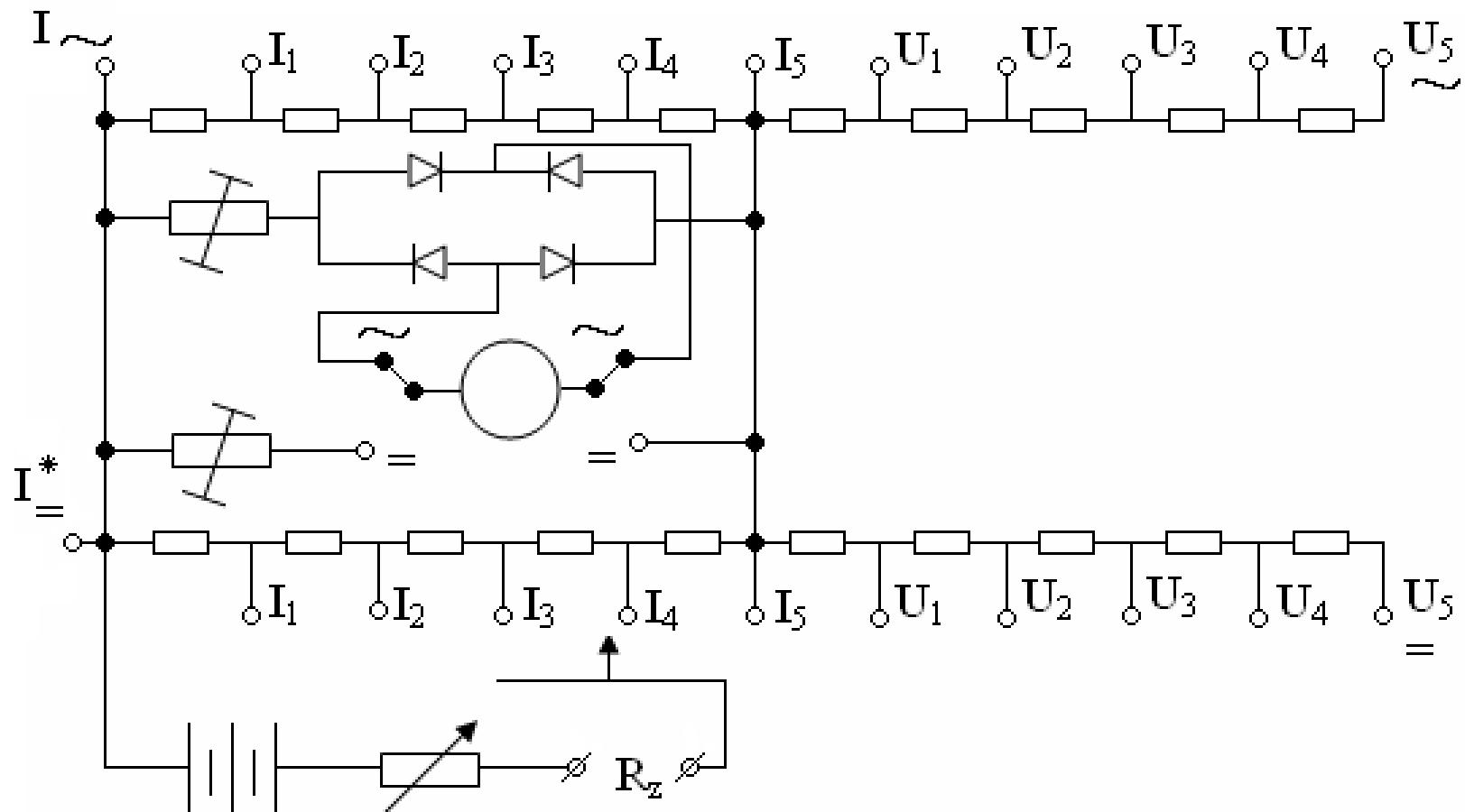
Vạn năng kế

- Vạn năng kế được chế tạo để đo các đại lượng điện thường gặp trong thực tế.
- Các đại lượng cần đo như là: điện áp một chiều, điện áp xoay chiều, dòng điện một chiều, dòng điện xoay chiều, điện trở. Các đại lượng đo được bố trí và có nhiều thang đo do người sử dụng tùy chọn hoặc có thể tự động chọn thang đo
 - ❖ Vạn năng kế tương tự
 - ❖ Vạn năng kế số

Vạn năng kế



■ Van năng kế tương tự





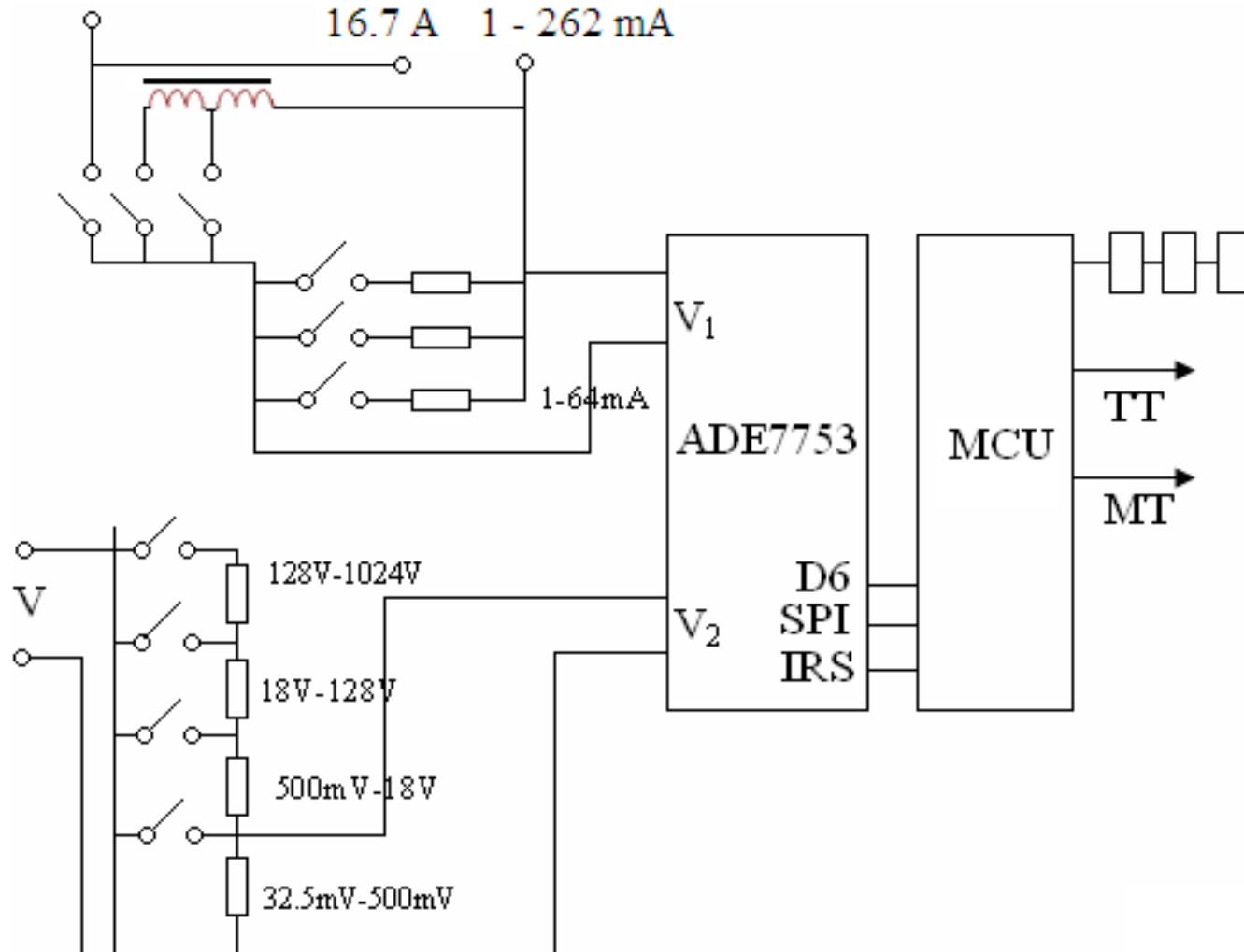
■ Van năng kế tương tự

- ❖ Dòng điện và điện áp xoay chiều được chỉnh lưu cho ta giá trị trung bình của điện áp hay dòng điện.
- ❖ Điện trở được đo bằng phương pháp U, I nhưng điện áp U được duy trì cố định, đo dòng điện để suy ra R.

Vạn năng kế



■ Bộ biến đổi vạn năng và vạn năng kế số.





■ Bộ biến đổi vạn năng và vạn năng kế số.

- ❖ Ví dụ trên cho thấy dòng điện có thể đo được từ $1\mu A$ đến $107\mu A$ và có lập trình cho rất nhiều thang đo (35 thang), điện áp có thể đo từ $31,2mV$ đến $2048V$ với 20 thang đo ở 2 đầu vào. Dòng và áp như vậy có thể bố trí đo công suất với khoảng đo rất thấp đến rất cao.
- ❖ Cũng có thể bố trí đo điện trở thông qua U, I, P; đo L và C bằng phương pháp U, I, P nói ở trên.
- ❖ Phối hợp với máy tính có thể biến thành thiết bị tự ghi dòng, áp, công suất, tần số.

Chương 12: Đo tần số, chu kỳ và góc pha



- Tần số, chu kỳ và góc pha là các đại lượng đặc trưng cho các quá trình dao động có chu kỳ.
- Phép đo tần số sử dụng tần số chuẩn có thể đạt độ chính xác cao nhất so với các phép đo khác ($10^{-13} - 10^{-12}$)
 - + Chu kỳ $T(s)$ là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó $U(t) = U(t + T)$
 - + Tần số $f(Hz)$ được xác định bởi số chu kỳ lặp lại của tín hiệu trong một đơn vị thời gian.
 - + Tần số góc của tín hiệu được xác định bởi biểu thức

$$\omega = 2\pi f$$

Tần số, góc pha và chu kỳ liên quan với nhau theo biểu thức:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 2\pi$$
 Với $\boxed{\tau}$ là khoảng thời gian chênh lệch giữa hai tín hiệu

Chương 12: Đo tần số, chu kỳ và góc pha



■ Tần số kế tương tự

- ❖ Tần số kế điện tử
- ❖ Tần số kế chỉnh lưu
- ❖ Tần số kế kiểu điện động
- ❖ Tần số cộng hưởng

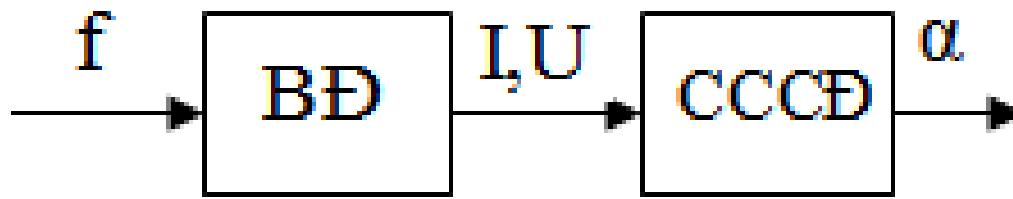
■ Tần số kế số

- ❖ Bộ đếm vạn năng
- ❖ Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian

12.1 Tần số kế tương tự



- Tần số kế tương tự là tần số kế mà đầu ra là dòng điện hoặc điện áp chỉ thị bằng dụng cụ chỉ thị cơ điện
- Cấu trúc chung của tần số kế



- Tín hiệu vào bất kỳ có tần số f . $BĐ$ là bộ biến đổi tần số - áp hoặc tần số - dòng. Dòng hoặc áp qua cơ cấu cơ điện ($CCCD$) biến thành goc quay chỉ thị trên thang chia độ



Tần số kế tương tự

Tần số kế điện từ

- Bộ biến đổi (BD) là một khâu có đặc tính tần phụ thuộc tần số, là phần tử điện cảm, hoặc điện dung có đặc tính , tỷ lệ nghịch hoặc tỷ lệ thuận với tần số.

$$I = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{2\pi f L}$$

$$I = \frac{U}{1/(\omega C)} = U\omega C = U2\pi f C$$

- C hoặc L cố định, I phụ thuộc vào U và f để loại trừ ảnh hưởng của U biến động phải dùng cơ cấu điện từ kiểu logomet điện từ



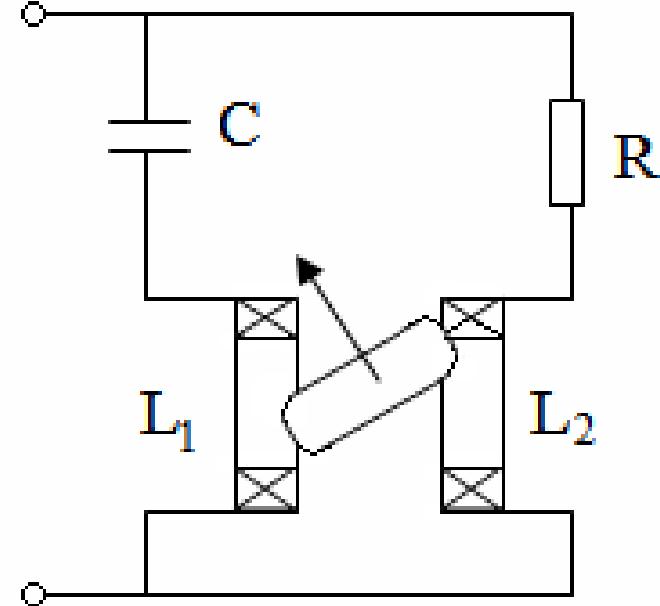
Tần số kế điện từ

Tần số kế điện từ

- Logomet điện từ được chế tạo gồm 2 cuộn dây phần tĩnh L_1 và L_2

$$M_1 = \frac{dL_1}{d\alpha} I_1^2 = \frac{dL_2}{d\alpha} I_2^2 = M_2$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2 = \frac{dL_2}{d\alpha} : \frac{dL_1}{d\alpha} = f(\alpha)$$



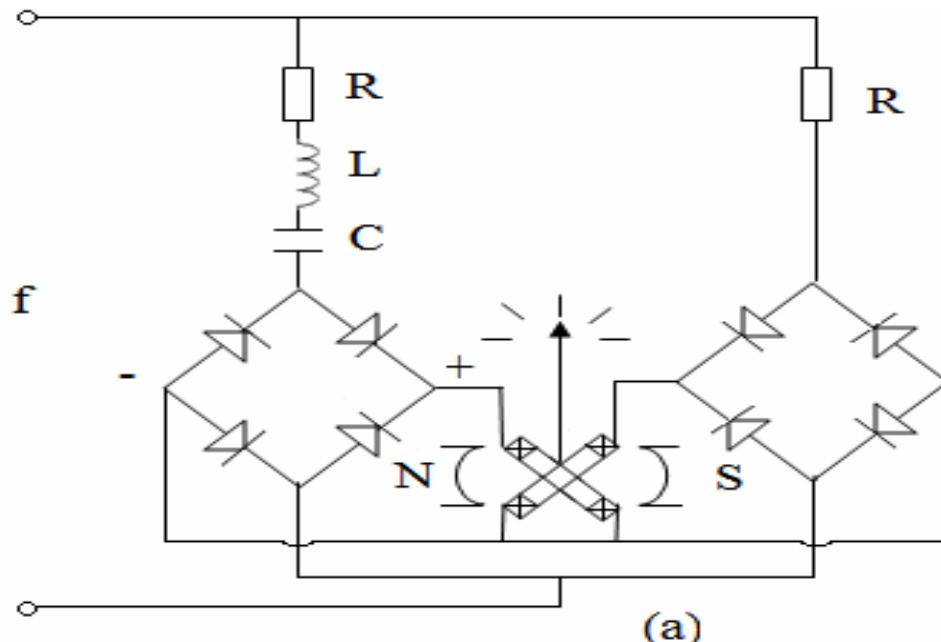
logomet điện từ

- Ở tần số kiểu điện từ thường ít được dùng vì $I_1 = U\omega C$ tỷ lệ với tần số f nhưng độ nhạy thấp vì C không thể lớn được và Độ chính xác của cơ cấu điện từ thấp.



Tần số kế chỉnh lưu

- Để cải thiện đặc tính tần số của bộ biến đổi (BĐ) và độ nhạy của cơ cấu cơ điện (CCCD) ta dùng một mạch cộng hưởng (RLC) ở bộ biến đổi (BĐ) và dùng logomet từ điện ở CCCT. Do logomet từ điện dùng cho điện một chiều nên cầu có 2 bộ chỉnh lưu



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

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = R/Z(\omega)$$

Tần số kế tương tự

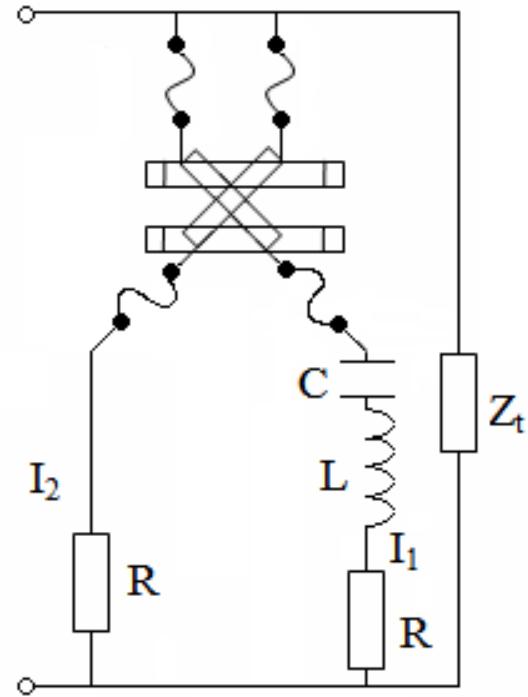


Tần số kế kiểu điện động

$$\dot{I}_1 = \dot{U} / Z(\omega) \quad \dot{I}_2 = \dot{U} / R$$

$$M_{q1} = \frac{dM_1}{d\alpha} \cdot I \cdot I_1 = \frac{dM_2}{d\alpha} \cdot I \cdot I_2 = M_{q2}$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{dM_2}{d\alpha}}{\frac{dM_1}{d\alpha}}$$



$$\alpha = G \left(\frac{I_1}{I_2} \right) = G \left(\frac{R}{Z(\omega)} \right) = F(\omega)$$

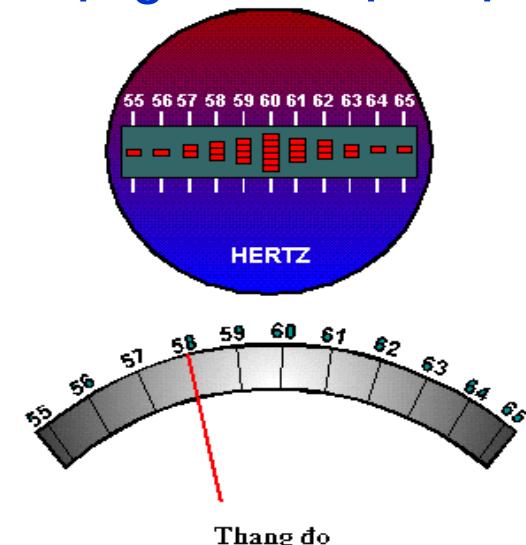
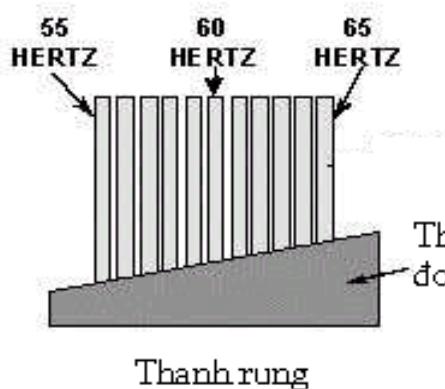
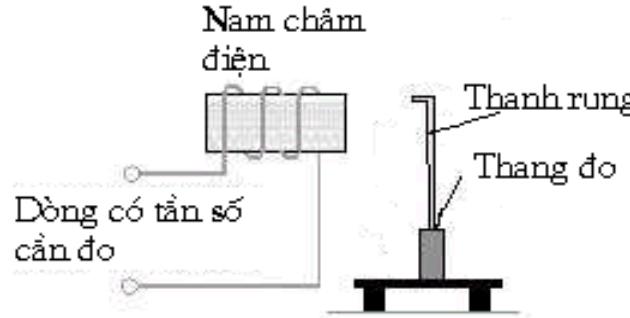


Tần số kế tương tự

Tần số kế cộng hưởng điện từ

Cấu tạo

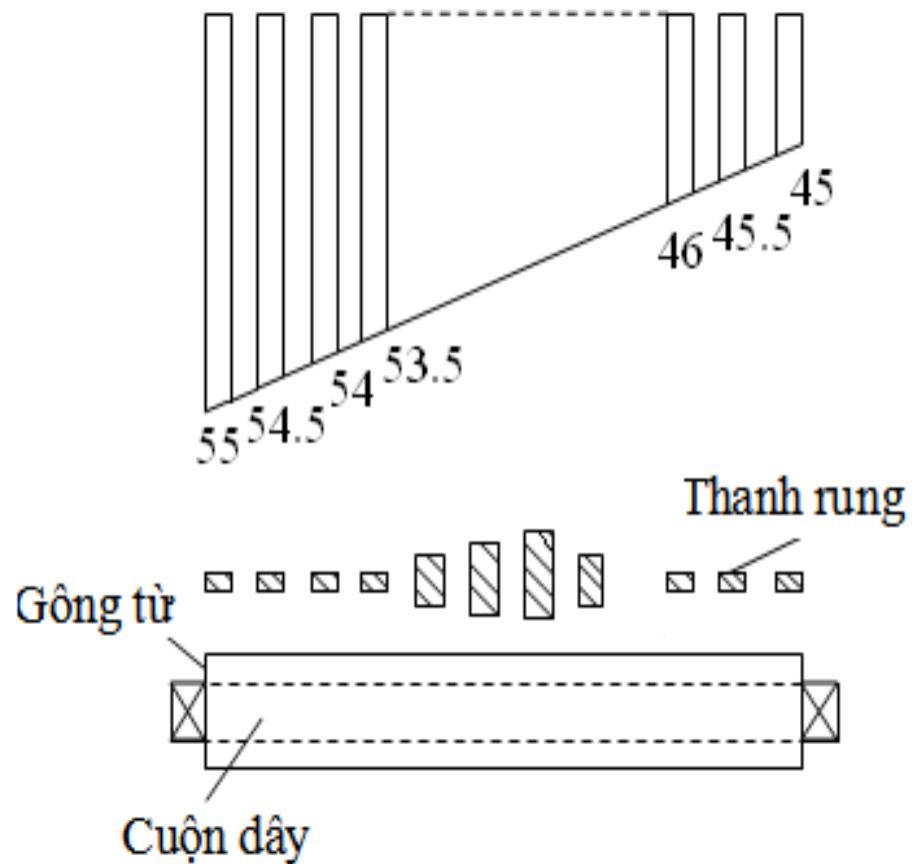
- ❖ Nam châm điện
- ❖ Thanh rung bằng các lá thép có tần số cộng hưởng riêng. Một đầu của thanh rung bị gắn chặt còn một đầu dao động tự do. Tần số dao động riêng của mỗi thanh bằng 2 lần tần số cần đo.
- ❖ Thang đo khắc độ theo tần số, có thể dạng đĩa hoặc dạng thanh





Tần số kế cộng hưởng điện từ

- Điện áp của tín hiệu đo được đặt vào cuộn dây đo. Dòng điện chạy trong cuộn dây tạo ra từ trường có tần số bằng tần số của điện áp đo. Nếu tần số của từ trường bằng tần số 1 thanh rung nào đó, thanh rung ấy rung mạnh lên và tạo ra một dải rộng hơn các thanh rung khác





12.2. Tần số kế số

- Đo tần số hoặc chu kỳ là một vì từ $f \rightarrow T$ hay ngược lại.
- $T_x = N_x \cdot T_0$ trong phép đo chu kỳ hay $T_0 = N_x T_x$ trong phép đo tần số.
- Như vậy tần số kế gồm 3 phần:
 - ❖ Bộ đếm xung nhiều bit (để có N_x lớn).
 - ❖ Bộ phát xung chuẩn chính xác cao (để có T_0 chính xác).
 - ❖ Bộ khoá điện tử điều khiển đóng mở bộ đếm.
- Trong thực tế, người ta thường sản xuất trên một máy có các bộ phận:
 - ❖ Bộ đếm vạn năng
 - ❖ Tần số kế
 - ❖ Đo chu kỳ.



12.2.1 Bộ đếm vạn năng

Sơ đồ khối của bộ đếm vạn năng

TX: tạo xung

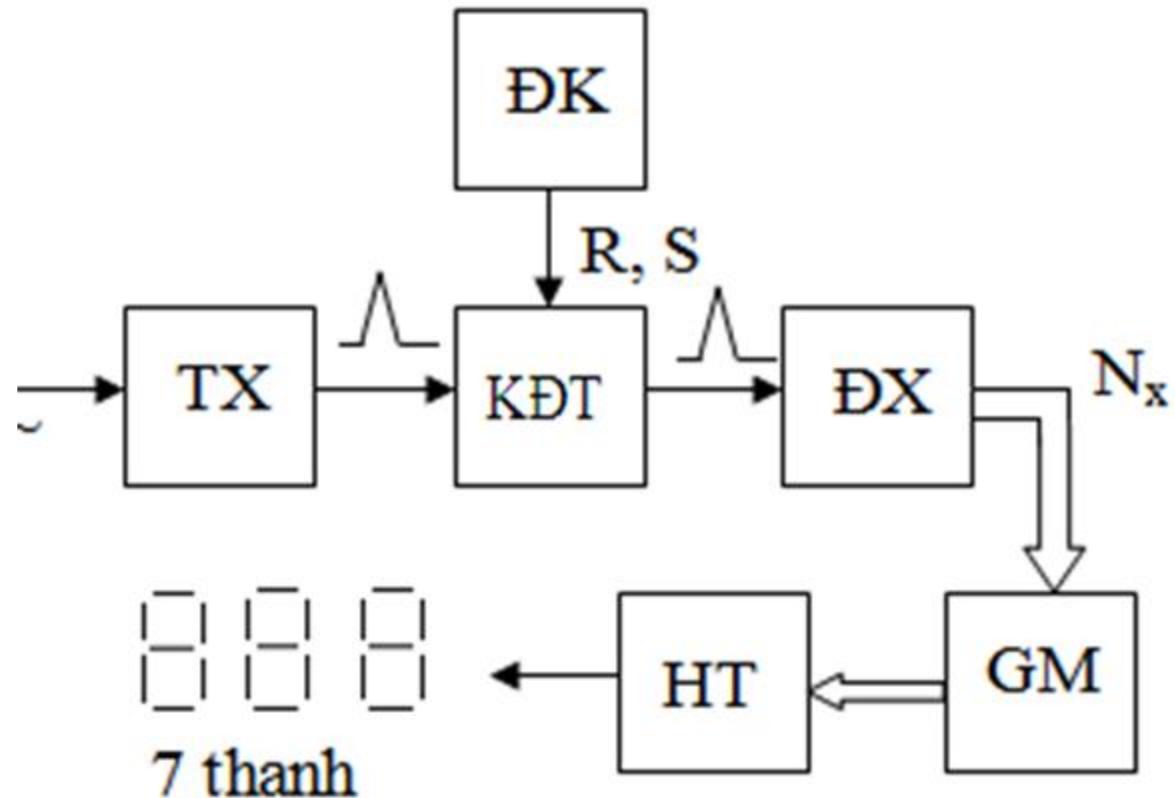
KĐT: khoá điện tử

ĐK: điều khiển

ĐX: đếm xung

GM: giải mã;

HT: hiển thị.





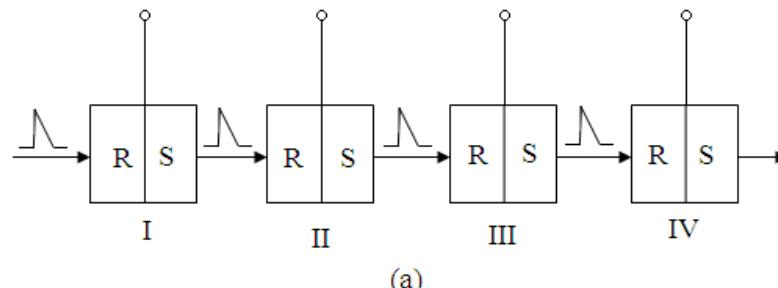
12.2.1 Bộ đếm vạn năng

Tạo xung

- Biến đổi tín hiệu dạng bất kỳ thành xung vuông, sau đó thành xung nhọn thuận lợi cho việc đếm.
 - ❖ Mạch tạo xung thường được xây dựng trên cơ sở của Trigger Smith biến xung bất kỳ thành xung vuông.
 - ❖ Sau đó là mạch vi phân biến xung vuông thành xung nhọn.

Bộ đếm xung

- Bộ đếm xung (ĐX) được chế tạo bằng ghép các phần tử logic “trigger”

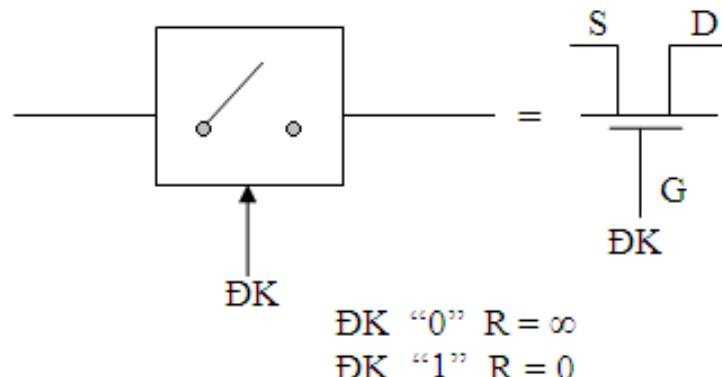




12.2.1 Bộ đếm vạn năng

Khoá điện tử

- Khóa điện tử là một phần tử điều khiển có các tính chất sau:
 - Khi xung điều khiển ở trạng thái “0” điện trở của phần tử bằng vô cực (trạng thái hở mạch), xung không truyền qua.
 - Lúc xung điều khiển ở trạng thái “1” điện trở của phần tử bằng 0, xung truyền qua.





12.2.1 Bộ đếm vạn năng

Bộ giải mã

- Trong bộ đếm hexa (gồm có 4 trigger) nếu ta dừng tại xung thứ 10 (0 đến 9), ta có bộ đếm nhị thập phân (BCD)
- Bộ giải mã có nhiệm vụ biến các ký hiệu ở mã nhị phân hay hexa thành mã thập phân.

Chỉ thị

- Ngày nay để hiển thị các con số người ta dùng kiểu số ghép gồm 7 thanh LED (diode phát quang)

Công nghiệp điện tử ngày nay đã tạo ra đầy đủ linh kiện về bộ đếm, giải mã, khoá điện tử và các bộ hiển thị theo các yêu cầu cần thiết.

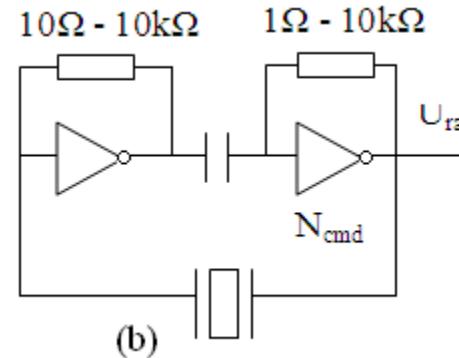
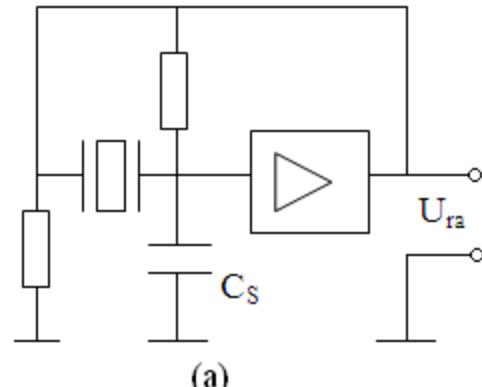


Máy phát tần số chuẩn

- Máy phát tần số chuẩn tạo thời gian chuẩn T_0 vì thế đòi hỏi phải có độ chính xác cao, độ ổn định cao
- Ngày nay, mạch phát tần số mẫu thường dùng là mạch phát xung chuẩn bằng thạch anh

Mạch tạo xung

- Mạch tạo xung rất đơn giản, có thể sử dụng một trong các sơ đồ



12.2.2 Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian

- Các bộ đếm điện tử, máy phát tần số chuẩn ta có thể phối hợp để thực hiện việc đo tần số (tần số kế), đo chu kỳ hoặc đo và định thời gian

TX: tạo xung

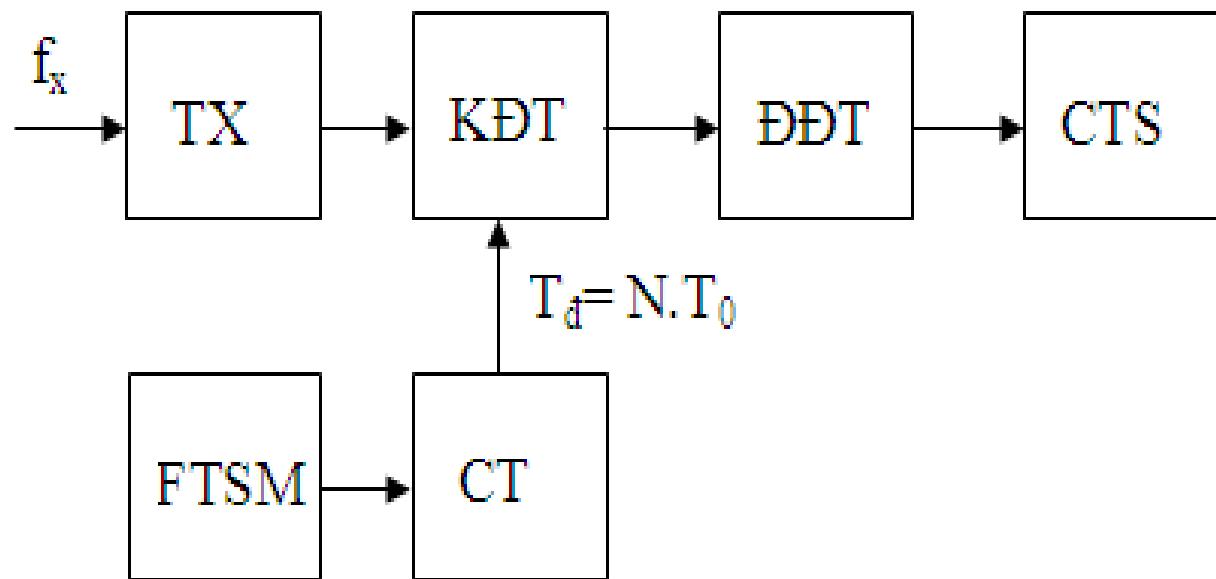
KĐT: khoá điện tử

ĐK: điều khiển

ĐĐT: Đếm điện tử;

CT: Chia tần.

CTS: Chỉ thị số





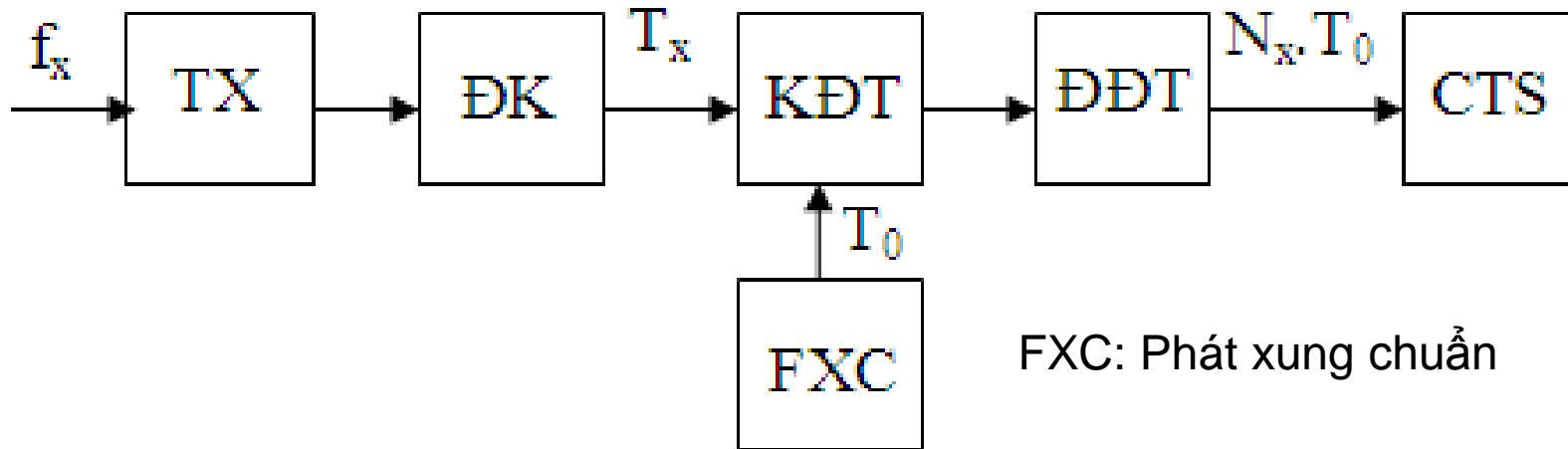
Hoạt động của tần số kế

- Tín hiệu có tần số f_x được đưa vào bộ tạo xung (TX) biến thành xung hẹp (nhọn) thuận lợi cho việc đếm xung. Xung đi qua một khóa điện tử mở cho xung vào bộ đếm xung điện tử (ĐXĐT).
- Khoá điện tử làm việc theo sự điều khiển của một bộ điều khiển theo thời gian đếm T_d ; T_d được tạo ra chính xác do bộ phát tần số mẫu FTSM và bộ chia tần (CT), hệ số chia được xác định là N_0 thế nào để T_d là một ước số của giây (10, 1, 0.1, 0.01, v.v...).
- Giả sử trong thời gian T_d bộ ĐXĐT đếm được N_x xung thì $f_x = N_x/T_d$.
- Ví dụ trong 0.1 giây đếm được $N_x = 353750$ xung thì $f_x = 353750/0.1 = 3.5375$ MHz.



Đo chu kỳ

- Phương pháp đo chu kỳ được thực hiện trong trường hợp tần số cần đo f_x nhỏ



- Tín hiệu vào có chu kỳ T_x được đưa vào bộ tạo xung (TX) biến thành xung nhọn vào bộ điều khiển (ĐK) để tạo ra tín hiệu mở và đóng khoá điện tử theo chu kỳ xung T_x

$$T_x = N_x T_0 = \frac{N_x}{f_0} \rightarrow f_x = \frac{f_0}{N_x}$$

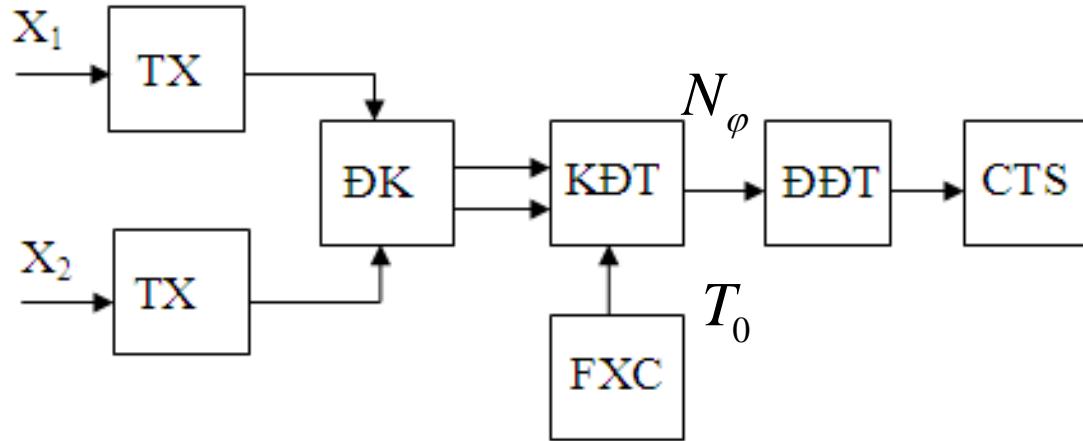


Đo góc lệch pha

- Góc lệch pha giữa hai tín hiệu chu kỳ được tính là thời gian lệch t_ϕ từ lúc tín hiệu thứ nhất qua Zero cho đến khi tín hiệu thứ 2 qua Zero

$$t_\phi = N_\phi T_0$$

$$\varphi = \frac{2\pi N_\phi T_0}{T_{Ck}}$$



- Tín hiệu X_1 qua điểm Zero, bộ tạo xung cho 1 xung vào điều khiển mở khóa điện tử (KĐT) và bộ đếm điện tử đếm số xung từ bộ phát xung chuẩn. Khi tín hiệu X_2 qua giá trị Zero, xung thứ hai khoá điện tử lại

Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian



- Ta có một bộ đếm điện tử có số đếm tối đa là 99999, một bộ phát xung mẫu 1MHz sai số 10^{-6} .
 1. Lập sơ đồ đo tần số. Xác định thời gian đếm khi đo tần số 10MHz, 0.1MHz, và 50Hz. Điều kiện tận dụng tối đa bộ đếm, và từ bộ đếm đưa thẳng ra phần hiện thị
 2. Đo góc pha giữa hai điện áp 50Hz ta được con số 2000, tính góc pha φ bằng độ

Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian



■ Đo bằng vi xử lý

Chương 12: Đo tần số, chu kỳ và góc pha



■ Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng bao gồm các loại sau:

- ❖ Tần số kế cơ điện tương tự (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động). Loại tần số kế này dùng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz – 2,5kHz với cấp chính xác không cao (0,2; 0,5; 1,5 và 2,5) và tiêu thụ điện năng khá lớn
- ❖ Tần số kế điện dung tương tự để đo tần số trong dải từ 10Hz – 500kHz
- ❖ Tần số kế chỉ thị số có thể đo khá chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz – 50GHz. Ngoài ra nó còn được sử dụng để đo tỉ số giữa các tần số, chu kỳ, độ dài xung và khoảng thời gian.

Chương 12: Đo tần số, chu kì và góc pha



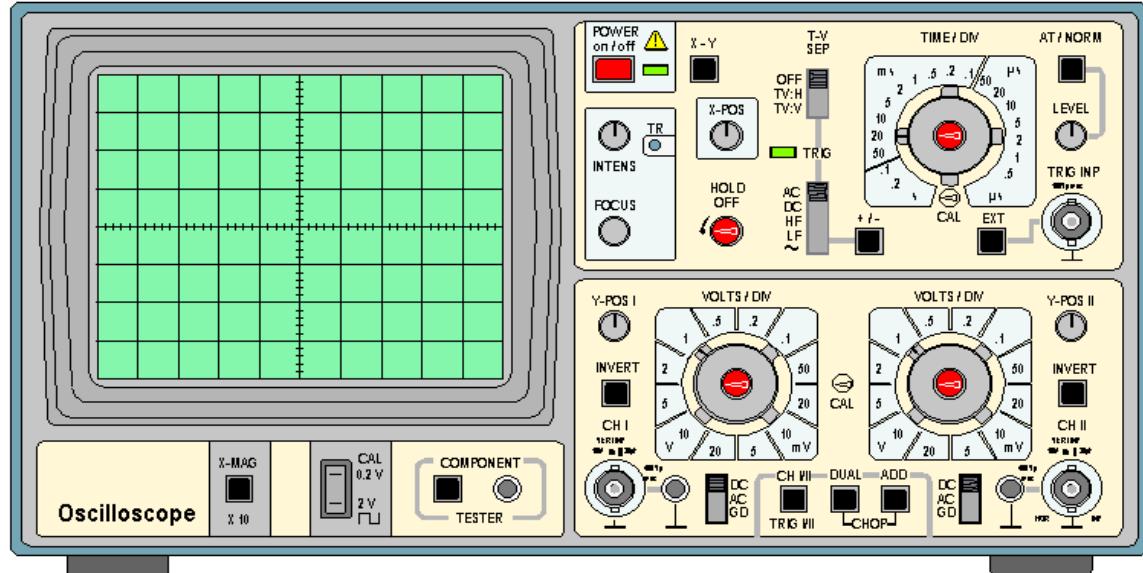
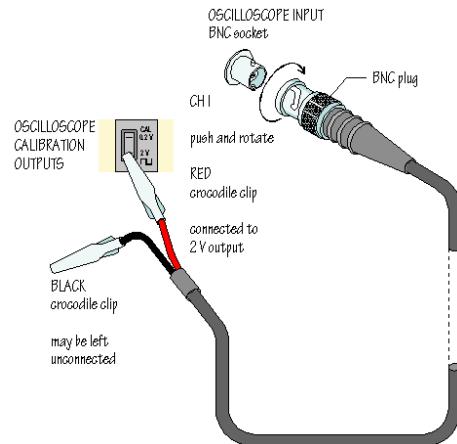
■ Đo tần số bằng phương pháp so sánh bao gồm:

- ❖ Tần số kế trộn tần dùng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng 100kHz – 20GHz
- ❖ Tần số kế cộng hưởng để đo tần số trong dải tần 50kHz – 10GHz
- ❖ Cầu xoay chiều phụ thuộc vào tần số để đo tần số trong khoảng 20Hz – 20kHz
- ❖ Máy hiện sóng (oscilloscope) để so sánh tần số cần đo với tần số của máy phát chuẩn, dải tần đo có thể từ 10Hz – 100MHz (loại hiện đại nhất hiện nay có thể lên tới 500MHz)

Chương 13: Dao động kí điện tử



- Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng



Chương 13: Dao động kí điện tử

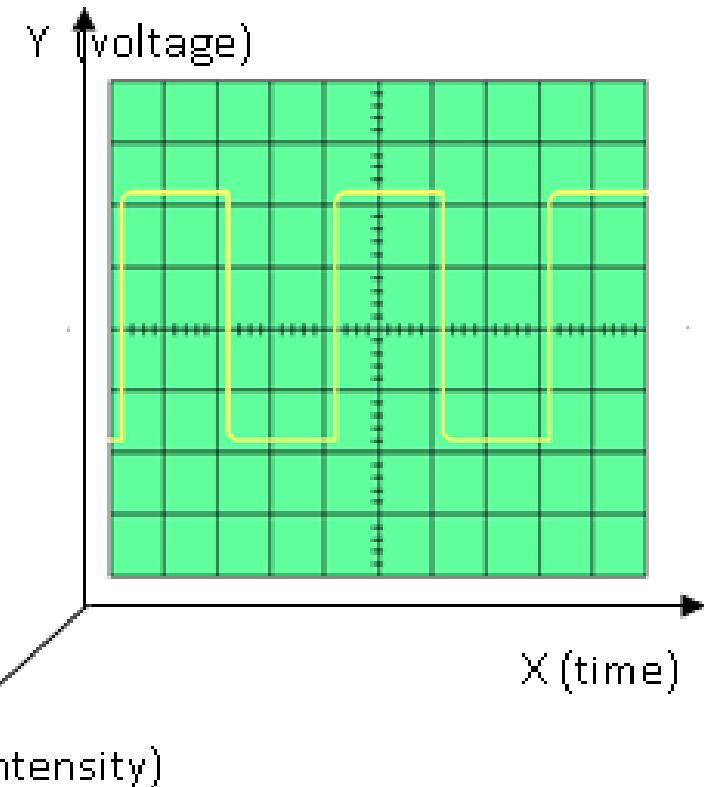


- Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được:
 - ❖ Giá trị điện áp và thời gian tương ứng của tín hiệu
 - ❖ Tần số dao động của tín hiệu
 - ❖ Góc lệch pha giữa hai tín hiệu
 - ❖ Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử
 - ❖ Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như thế nào
 - ❖ Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không

Chương 13: Dao động kí điện tử



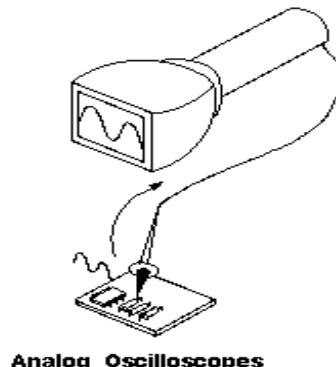
- Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. Ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian:
 - ❖ Trục đứng Y là trục điện áp,
 - ❖ Trục ngang X là trục thời gian.
 - ❖ Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi là trục Z



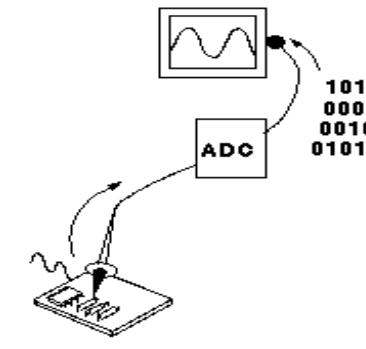
Chương 13: Dao động kí điện tử



- Các thiết bị điện tử thường được chia thành 2 nhóm
 - ❖ Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên màn hình.
 - ❖ Máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự / số (ADC). Sau đó nó sử dụng các thông tin dưới dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình.



Analog Oscilloscopes

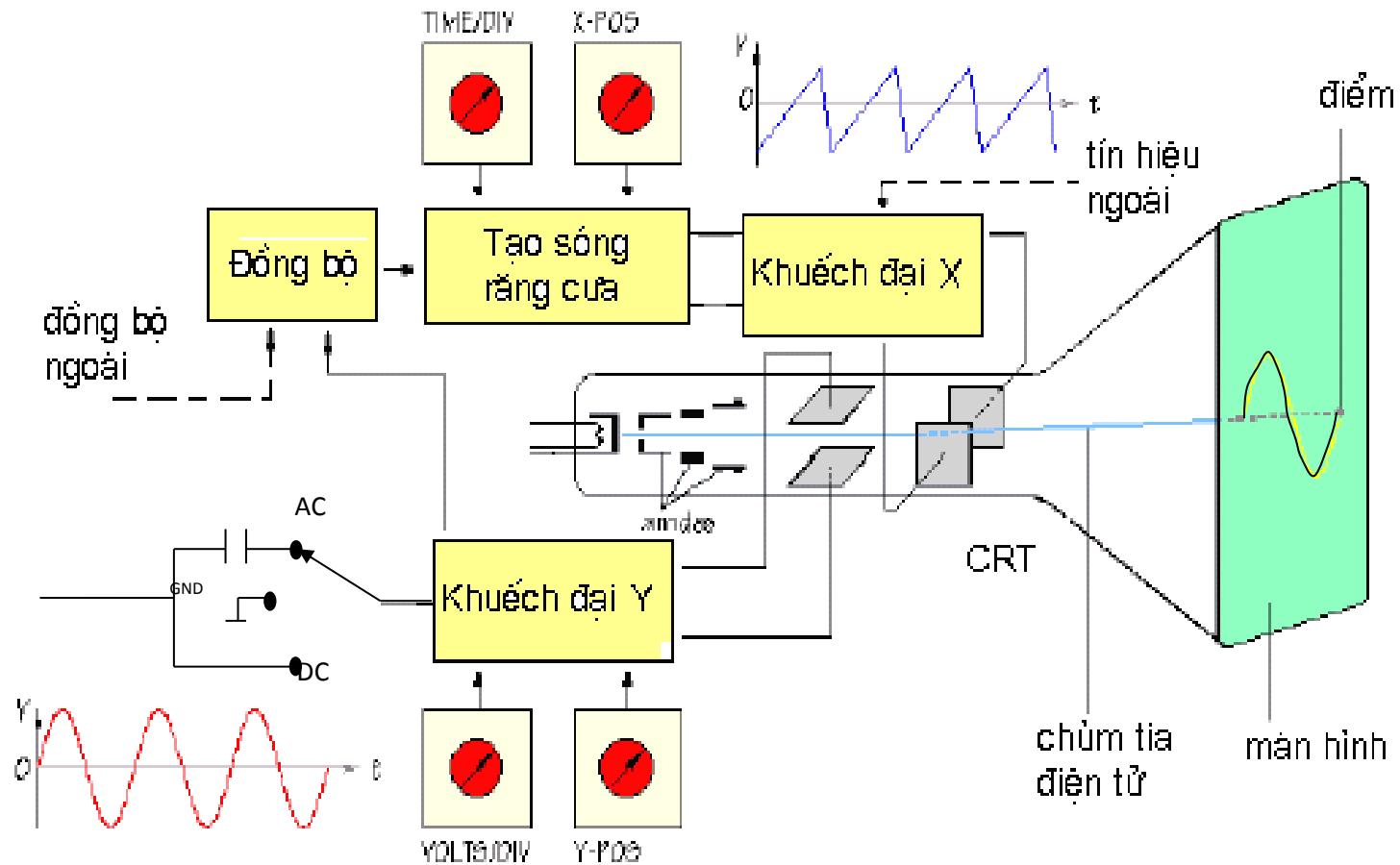


Digital Oscilloscopes

Chương 13: Dao động kí điện tử



Sơ đồ khối của một máy hiện sóng thông dụng



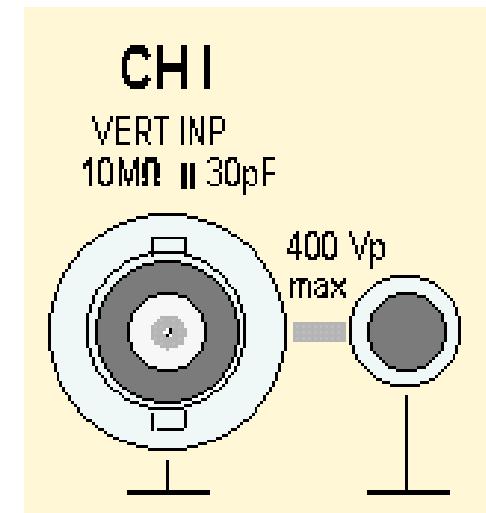
Chương 13: Dao động kí điện tử



Thiết lập chế độ hoạt động

- Panel trước của máy hiện sóng gồm 3 phần chính là VERTICAL (phần điều khiển đứng), HORIZONTAL (phần điều khiển ngang) và TRIGGER (phần điều khiển đồng bộ). Một số phần còn lại (FOCUS - độ nét, INTENSITY - độ sáng...) có thể khác nhau tùy thuộc vào hãng sản xuất, loại máy, và model.

Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình bên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có 2 que đo ứng với 2 kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mỗi kênh





Cách điều khiển một máy hiện sóng

■ *Điều khiển màn hình*

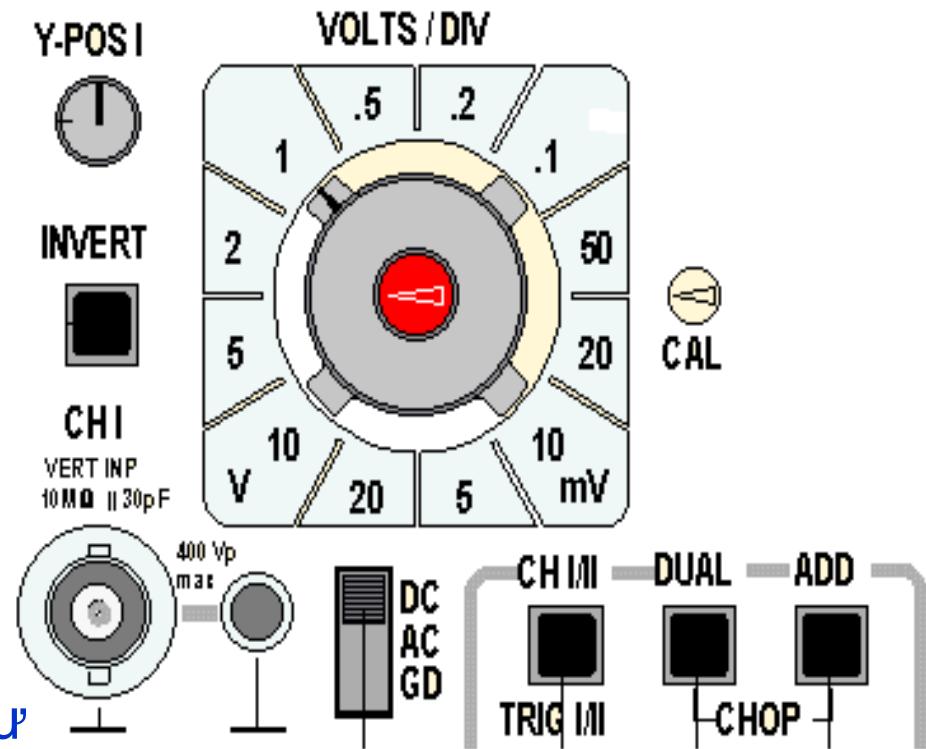
■ Phần này bao gồm:

- ❖ Điều chỉnh độ sáng- INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lươí
- ❖ Điều chỉnh độ nét – FOCUS - của dạng sóng. Thực chất là điều chỉnh điện áp các anot A1, A2 và A3
- ❖ Điều chỉnh độ lệch của trực ngang – TRACE - (khi vị trí của máy ở những điểm khác nhau thì tác dụng của từ trường trái đất cũng khác nhau nên đôi khi phải điều chỉnh để có vị trí cân bằng)

Chương 13: Dao động kí điện tử



- Điều khiển theo trục đứng
- Phần này sẽ điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều đứng. Khi tín hiệu đưa vào càng lớn thì VOLTS/DIV cũng phải ở vị trí lớn và ngược lại
- Ngoài ra còn một số phần như
 - ❖ INVERT: đảo dạng sóng
 - ❖ DC/AC/GD: hiển thị phần một chiều/ xoay chiều/ đất của dạng sóng
 - ❖ CH I/II: chọn kênh 1 hoặc kênh 2
 - ❖ DUAL: chọn cả hai kênh
 - ❖ ADD: cộng tín hiệu của cả hai kênh

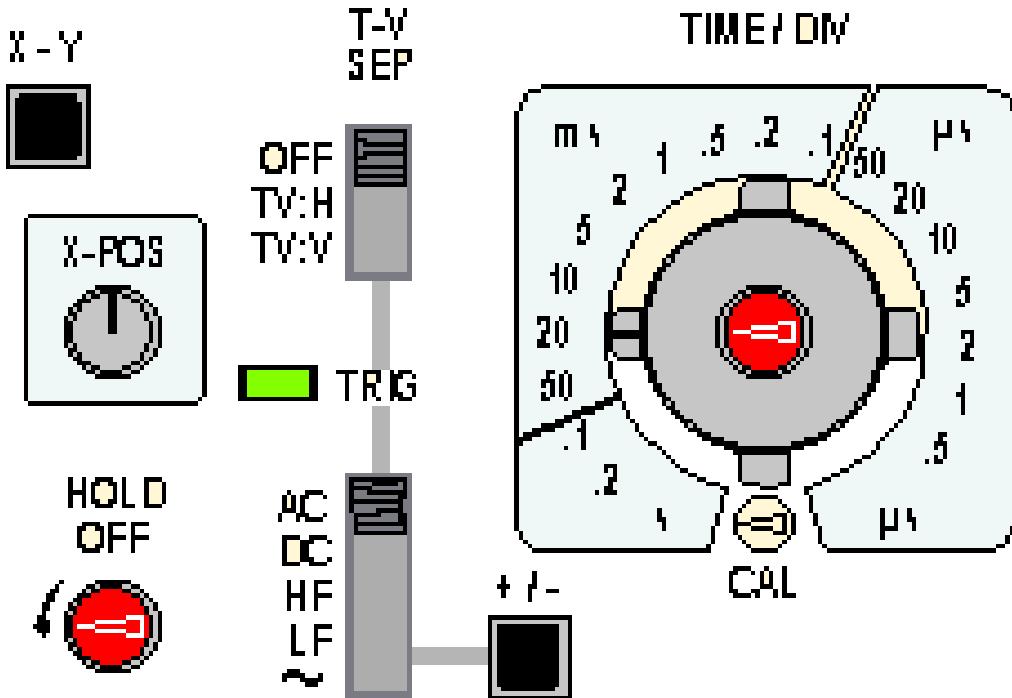




Điều khiển theo trục ngang

- Phần này điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều ngang. Khi tín hiệu đưa vào có tần số càng cao thì TIME/DIV phải càng nhỏ và ngược lại. Ngoài ra còn một số phần sau:

- X-Y: ở chế độ này kênh thứ 2 sẽ làm trục X thay cho thời gian như ở chế độ thường.





Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường

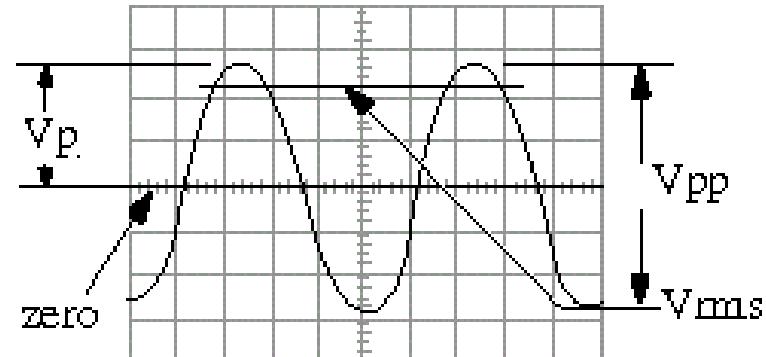
- Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu thập và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu ...
- Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng
 - ❖ Quan sát tín hiệu
 - ❖ Đo điện áp
 - ❖ Đo tần số và khoảng thời gian
 - ❖ Đo tần số và độ lệch pha



Chương 13: Dao động kí điện tử

Đo điện áp

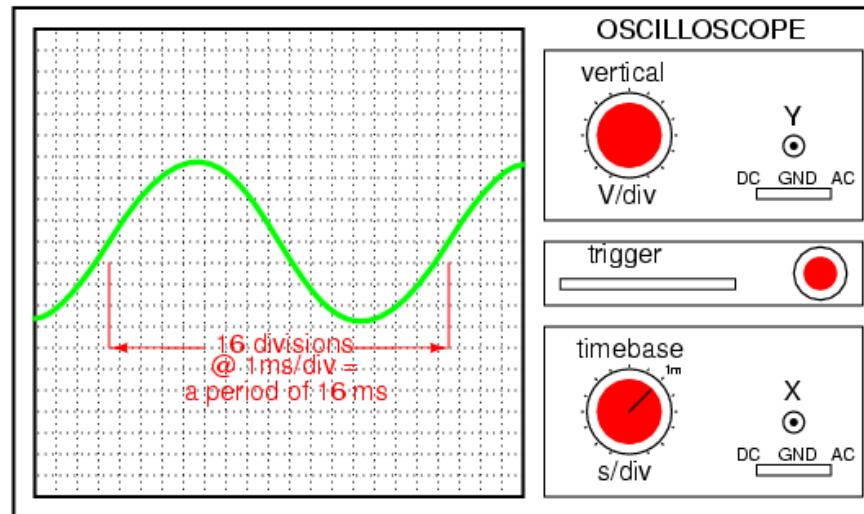
- Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV
- Ví dụ: VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở hình trên có:
 - $V_p = 2,7 \times 1V = 2,8V$
 - $V_{pp} = 5,4 \times 1V = 5,4V$
 - $V_{rms} = 0,707V_p = 1.98V$
- Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng may hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình bên





Đo tần số và khoảng thời gian

- Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV
- Ví dụ: ở hình bên s/div là 1ms. Chu kỳ của tín hiệu dài 16 ô, do vậy chu kỳ là 16ms $\Rightarrow f = 1/16\text{ms} = 62,5\text{Hz}$



$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{period}} = \frac{1}{16 \text{ ms}} = 62.5 \text{ Hz}$$

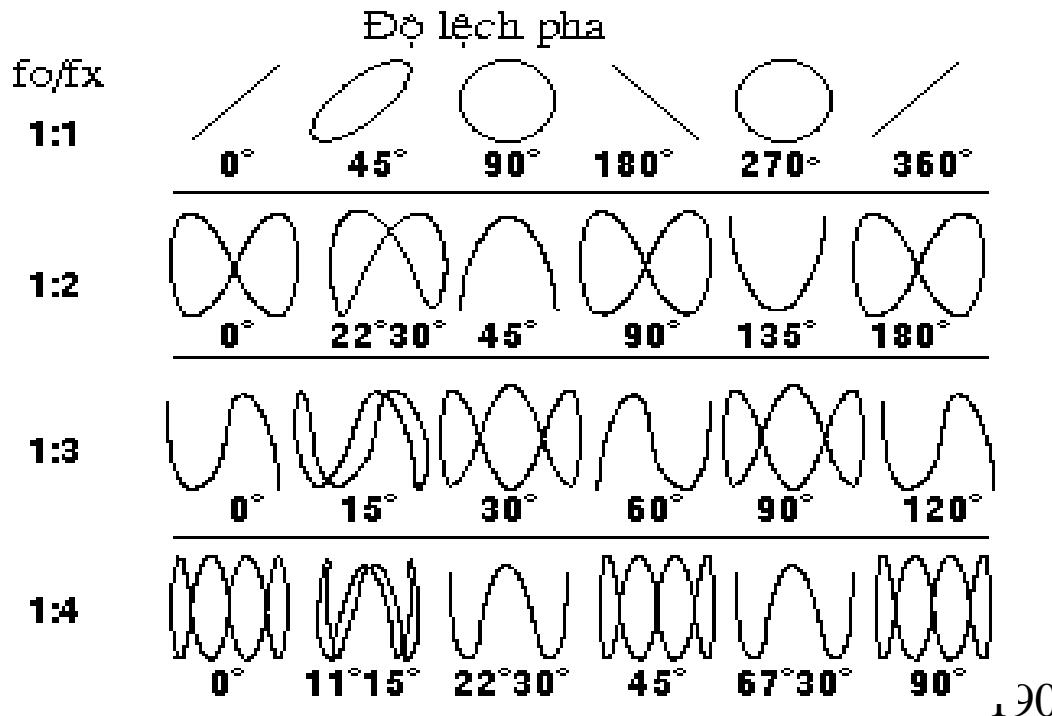
Chương 13: Dao động kí điện tử



- So sánh tần số của tín hiệu cần đo f_x với tần số chuẩn f_o
- Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dáng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tỉ số tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng

$$\frac{f_o}{f_x} = \frac{m}{n}$$

n là số múi theo chiều ngang
m là số múi theo chiều dọc



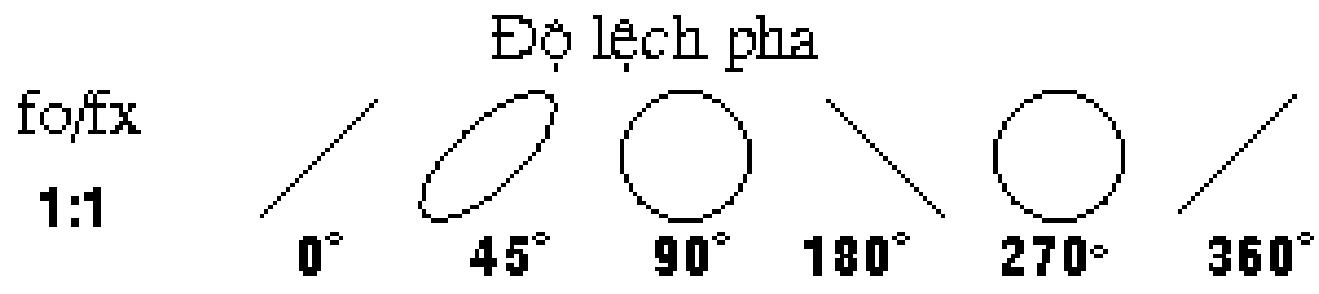
Chương 13: Dao động kí điện tử



- Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho 2 tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y-POS và X-POS sao cho tâm của elip trùng với tâm màn hình (gốc toạ độ).

$$\varphi = \arctg\left(\frac{A}{B}\right)$$

với A, B là đường kính trực dài và đường kính trực ngắn của elip



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

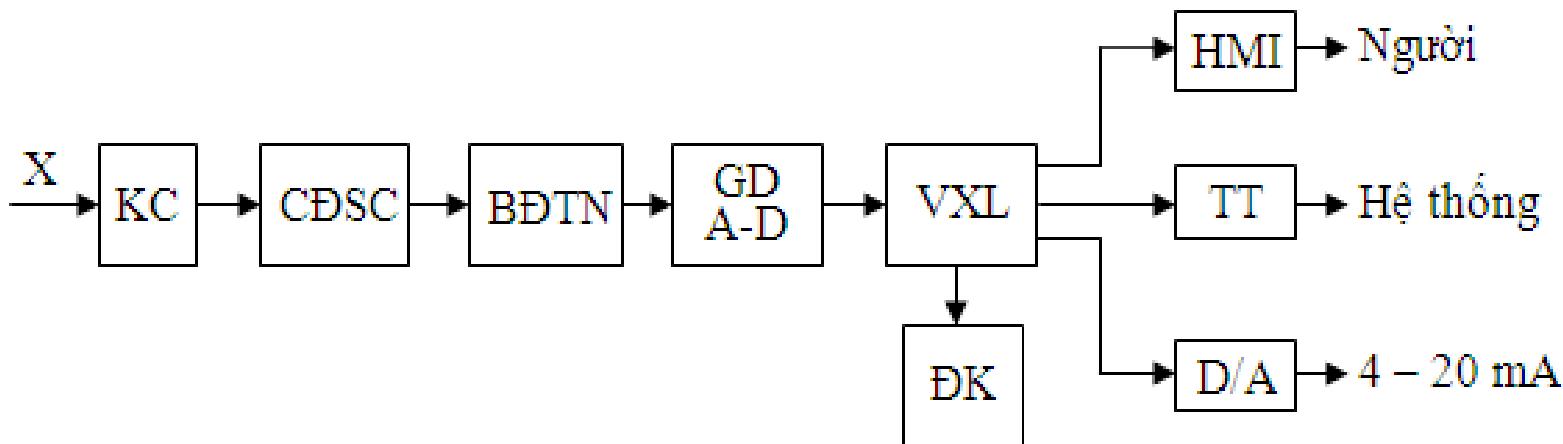
- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Đơn vị đo, chuẩn và mẫu
 - ❖ Chương 3: Đặc tính cơ bản của dụng cụ đo
- Phần 2: Các phần tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: Cơ cấu chỉ 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 Hàn, 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

Các thiết bị đo các đại lượng không điện

- Qua các thời kỳ phát triển, thiết bị đo các đại lượng không điện hiện đại được xây dựng trên cơ sở vi xử lý (micro processor based) và bắt đầu chuyển sang giai đoạn xây dựng trên cơ sở vi hệ thống (micro system based).



Chương 14: Đo nhiệt độ

- **Nhiệt độ** là một trong những thông số quan trọng nhất ảnh hưởng đến đặc tính của vật chất nên trong các quá trình kỹ thuật cũng như trong đời sống hằng ngày rất hay gặp yêu cầu đo nhiệt độ.
- Ngày nay hầu hết các quá trình sản xuất công nghiệp, các nhà máy đều có yêu cầu đo nhiệt độ.
- Tùy theo nhiệt độ đo có thể dùng các phương pháp khác nhau, thường phân loại các phương pháp dựa vào dải nhiệt độ cần đo. Thông thường nhiệt độ đo được chia thành ba dải: nhiệt độ thấp, nhiệt độ trung bình và cao.

Chương 14: Đo nhiệt độ

■ Đơn vị

| Nhiệt độ | Kelvin (K) | Celsius (°C) | Fahrenheit (°F) |
|-------------------------------|------------|--------------|-----------------|
| Điểm 0 tuyệt đối | 0 | -273,15 | -459,67 |
| Hỗn hợp nước - nước đá | 273,15 | 0 | 32 |
| Cân bằng nước - nước đá - hơi | 273,16 | 0,01 | 32,018 |
| Nước sôi | 373,15 | 100 | 212 |

$$^{\circ}C = \frac{5}{9} \cdot (^{\circ}F - 32)$$



Nhiệt kế dạng kẹp



Nhiệt kế đo tai



Nhiệt kế đo trán



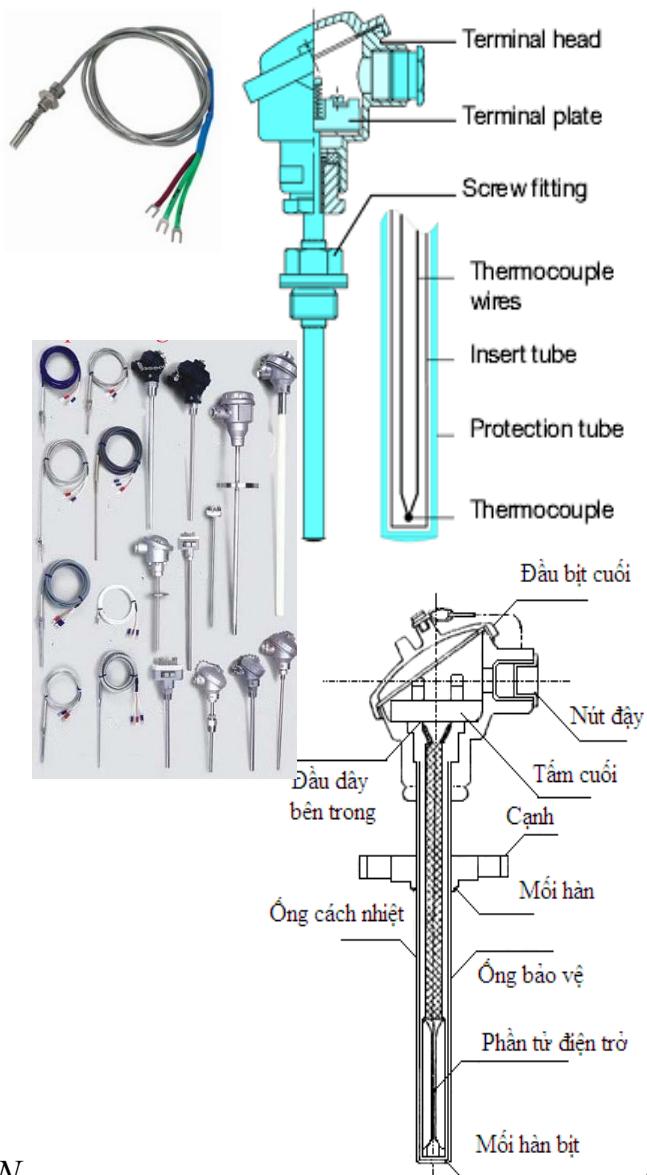
Chương 14: Đo nhiệt độ

➤ Đo tiếp xúc

- ❖ *Nhiệt kế giãn nở vì nhiệt*
- ❖ *Nhiệt điện trở*
- ❖ *Cặp nhiệt ngẫu (K, E, J,...)*

➤ Đo không tiếp xúc

- ❖ *Đo bằng phương pháp hỏa quang kế*
- ❖ *Đo bằng hồng ngoại*
- ❖



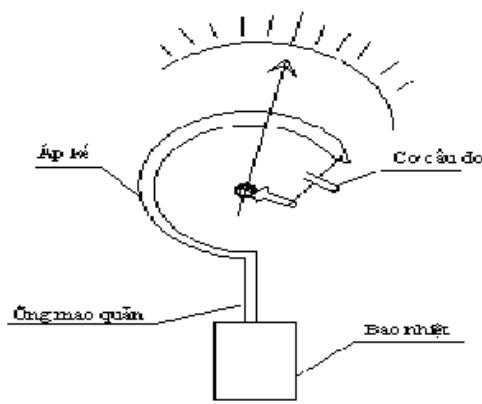
Chương 14: Đo nhiệt độ

Dải
đo
của
một
số
phươ
ng
pháp

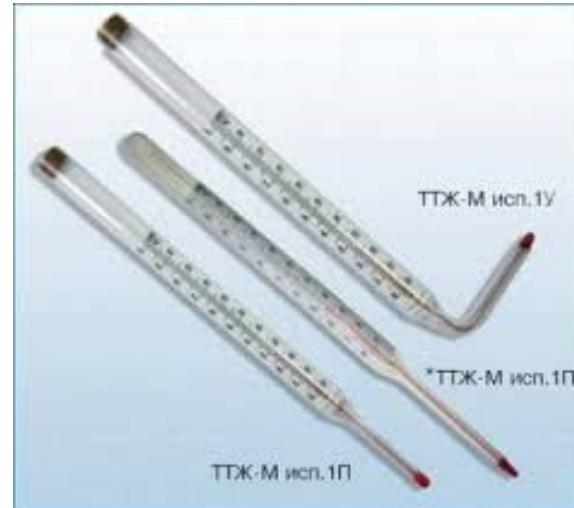
| Dụng cụ và phương pháp đo | Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$ | | | | | | Sai số % |
|---|-----------------------------|---|------|------|------|---------|-------------------------------|
| | -273 | 0 | 1000 | 2000 | 3000 | 100.000 | |
| Nhiệt điện trở: bằng vật liệu quý vật liệu không quý bán dẫn | | | — | | | | 0,001 0,5 ÷ 2 1 ÷ 2 |
| Nhiệt kế nhiệt điện bằng vật liệu quý vật liệu không quý vật liệu khó cháy | | | — | | | | 0,1 1 ÷ 2 1 ÷ 3 |
| Điện âm | — | | | | | | 0,05 |
| Nhiệt nhiễu | — | | | | | | 0,1 |
| Phương pháp cộng hưởng hạt nhân | — | | | | | | 0,01 |
| Hoà quang kế: bức xạ màu sắc cường độ sáng quang phổ kế | | — | — | — | — | — | 5 1 ÷ 5 1 ÷ 2 5 ÷ 10 |

14.1 Nhiệt kế giản nở

- Thể tích và chiều dài của một vật thay đổi tùy theo nhiệt độ và hệ số giãn nở của vật đó. Nhiệt kế đo nhiệt độ theo nguyên tắc đó gọi là nhiệt kế kiểu giãn nở.
- Ta có thể phân nhiệt kế này thành 2 loại chính đó là :
 - Nhiệt kế giãn nở chất rắn (còn gọi là nhiệt kế cơ khí)
 - Nhiệt kế giãn nở chất lỏng.



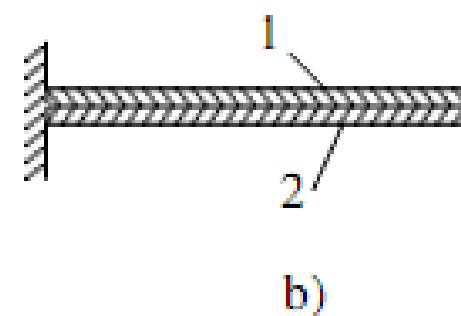
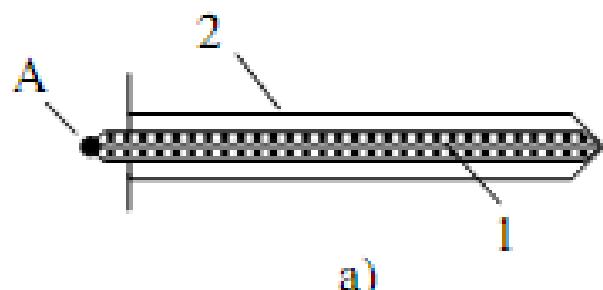
Hình 1.3 Nhiệt kế áp kế



Nhiệt kế giãn nở chất rắn

Thường có hai loại: gỗm và kim loại, kim loại và kim loại

- Nhiệt kế gỗm - kim loại (a) (Dilatomet): gồm một thanh gỗm (1) đặt trong ống kim loại (2),
- Nhiệt kế kim loại - kim loại (b): gồm hai thanh kim loại (1) và (2) có hệ số giãn nở nhiệt khác nhau liên kết với nhau theo chiều dọc

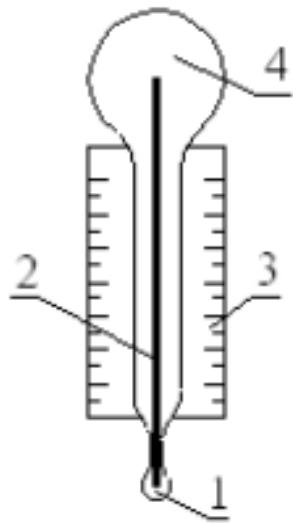


Nhiệt kế giãn nở chất rắn

- Một đầu thanh gốm liên kết với ống kim loại, con đầu A nối với hệ thống truyền động tới bộ phận chỉ thị. Hệ số giãn nở nhiệt của kim loại và của gốm là α_k và α_g . Do $\alpha_k > \alpha_g$, khi nhiệt độ tăng một lượng dt , thanh kim loại giãn thêm một lượng dl_k , thanh gốm giãn thêm dl_g với $dl_k > dl_g$, làm cho thanh gốm dịch sang phải
- Dịch chuyển của thanh gốm phụ thuộc $dl_k - dl_g$ do đo phụ thuộc nhiệt độ.

Nhiệt kế giãn nở chất lỏng

- *Nguyên lý:* tương tự như các loại khác nhưng sử dụng chất lỏng làm môi chất (như Hg , rượu)
- *Cấu tạo:* Gồm ống thủy tinh hoặc thạch anh trong đựng chất lỏng như thủy ngân hay chất hữu cơ.



1 - Phần tiếp xúc môi trường cần đo gọi là
bao nhiệt.

2 - ống mao dẫn có đường kính rất nhỏ.

3 - thang đo.

4 - đoạn dự phòng.

Nếu dùng Hg thì $\alpha = 0,18 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ còn thủy
tinh thì $\alpha = 0,02 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (nên có thể bỏ qua)

14.2 Nhiệt điện trở

- Nguyên lý: Điện trở của kim loại thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ.

- ❖ Nhiệt điện trở kim loại

$$R = R_o \left(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots \right)$$

- ❖ Nhiệt điện trở bán dẫn

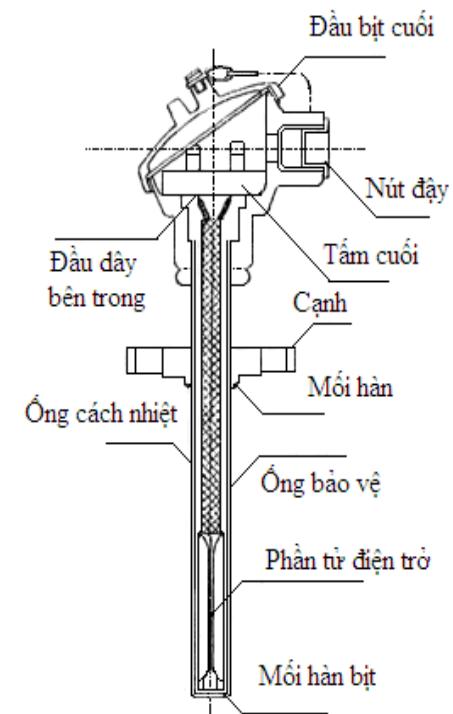
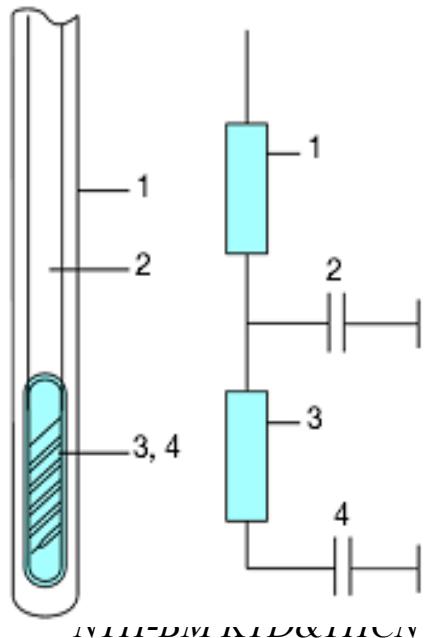
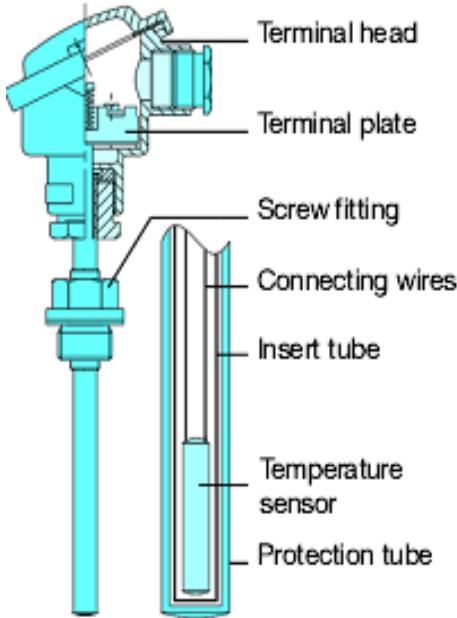
$$R = R_o \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right]$$

T₀ là nhiệt độ tuyệt đối, B là hệ số thực nghiệm

Nhiệt điện trở kim loại

- Nhiệt kế nhiệt điện trở thường dùng trong công nghiệp, thường được chế tạo bằng Pt, dây đồng, dây Ni và có ký hiệu là: Pt-100, Cu-100, Ni-100
- Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ cho bởi:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t)$$



Nhiệt điện trở kim loại

■ Yêu cầu chung

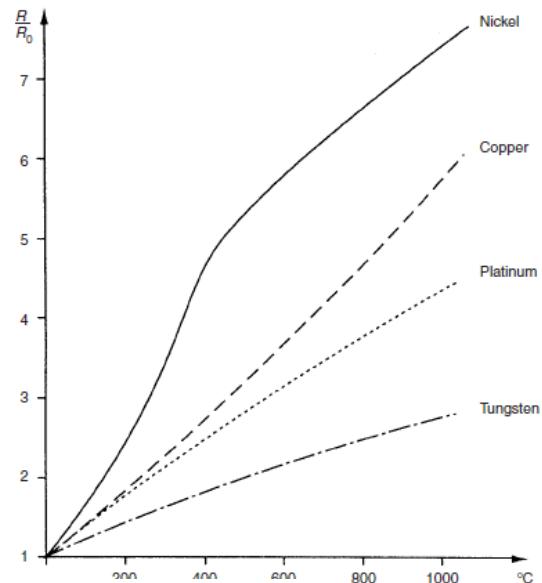
- ❖ Có điện trở suất đủ lớn để điện trở ban đầu R lớn mà kích thước nhiệt kế vẫn nhỏ
- ❖ Hệ số nhiệt điện trở của nó không đổi dấu
- ❖ Có đủ độ bền cơ hóa ở nhiệt độ làm việc
- ❖ Dễ gia công



Nhiệt điện trở kim loại

Dải đo

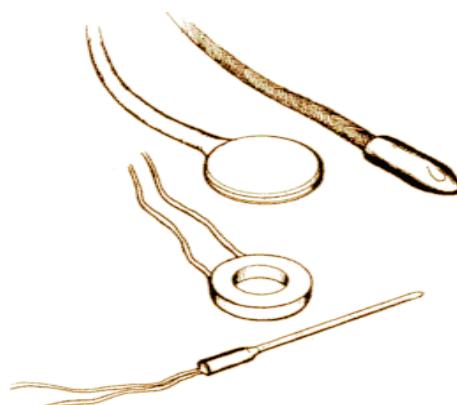
- Platinum: -270°C to C1000°C
- Copper: -200°C to C260°C
- Nickel: -200°C to C430°C
- Tungsten: -270°C to C2700°C



| Thông số | Cu | Ni | Pt | W |
|--|------|------|------|------|
| T_f ($^{\circ}\text{C}$) | 1083 | 1453 | 1769 | 3380 |
| c ($\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{kg}^{-1}$) | 400 | 450 | 135 | 125 |
| λ ($\text{W}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{m}^{-1}$) | 400 | 90 | 73 | 120 |
| $\alpha_l \times 10^6$ ($^{\circ}\text{C}$) | 16,7 | 12,8 | 8,9 | 6 |
| $\rho \times 10^8$ (Ωm) | 1,72 | 10 | 10,6 | 5,52 |
| $\alpha \times 10^3$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) | 3,9 | 4,7 | 3,9 | 4,5 |

Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

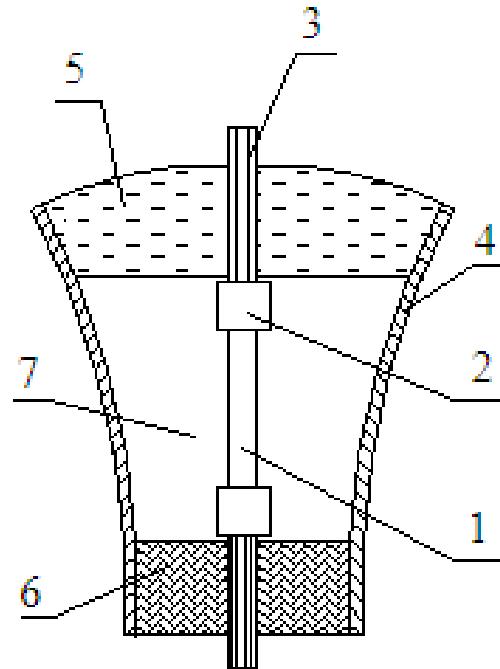
- Cấu tạo: Làm từ hỗn hợp các oxid kim loại: mangan (MnO), nickel (NiO), cobalt (Co_2O_3),...
- Nguyên lý: Thay đổi điện trở khi nhiệt độ thay đổi.
- Ưu điểm: Bền, rẻ tiền, dễ chế tạo.
- Khuyết điểm: Dãy tuyển tính hẹp.
- Thường dùng: Làm các chức năng đo nhiệt độ để bảo vệ, ép vào cuộn dây động cơ, mạch điện tử.
- Dải đo: $50 < 150$ độ C.



Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

$$R_T = A \cdot e^{\beta/T}$$

- 1- Vật bán dẫn
- 2- Nắp tiếp mạch
- 3- Dây nối (thường = Cu)
- 4- Vỏ kim loại bảo vệ
- 5- Chất cách điện (thủy tinh)
- 6- Thiếc
- 7- Sơn êmay cách điện.



- A hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn, kích thước và hình dáng của điện trở
- β : hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn

Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

- Thermistor được cấu tạo từ hỗn hợp các bột ocid. Các bột này được hòa trộn theo tỉ lệ và khối lượng nhất định sau đó được nén chặt và nung ở nhiệt độ cao. Và mức độ dẫn điện của hỗn hợp này sẽ thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.



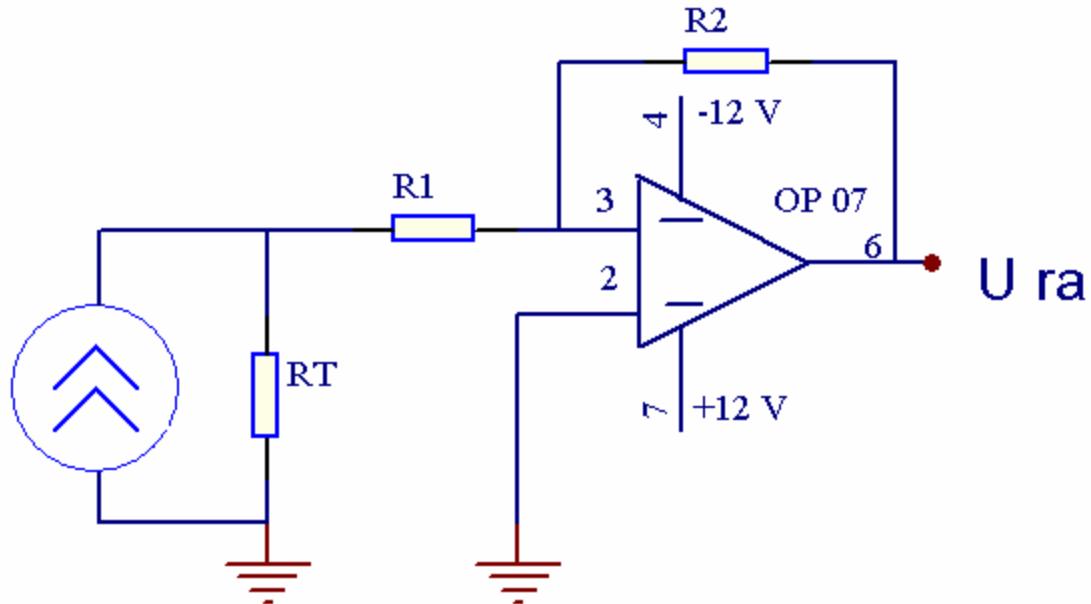
- Có hai loại thermistor:

- ❖ Hệ số nhiệt dương PTC- điện trở tăng theo nhiệt độ;
- ❖ Hệ số nhiệt âm NTC – điện trở giảm theo nhiệt độ.
- ❖ Thường dùng nhất là loại NTC.

- Thermistor chỉ tuyển tính trong khoảng nhiệt độ nhất định 50-150°C do vậy người ta ít dùng để dùng làm cảm biến đo nhiệt

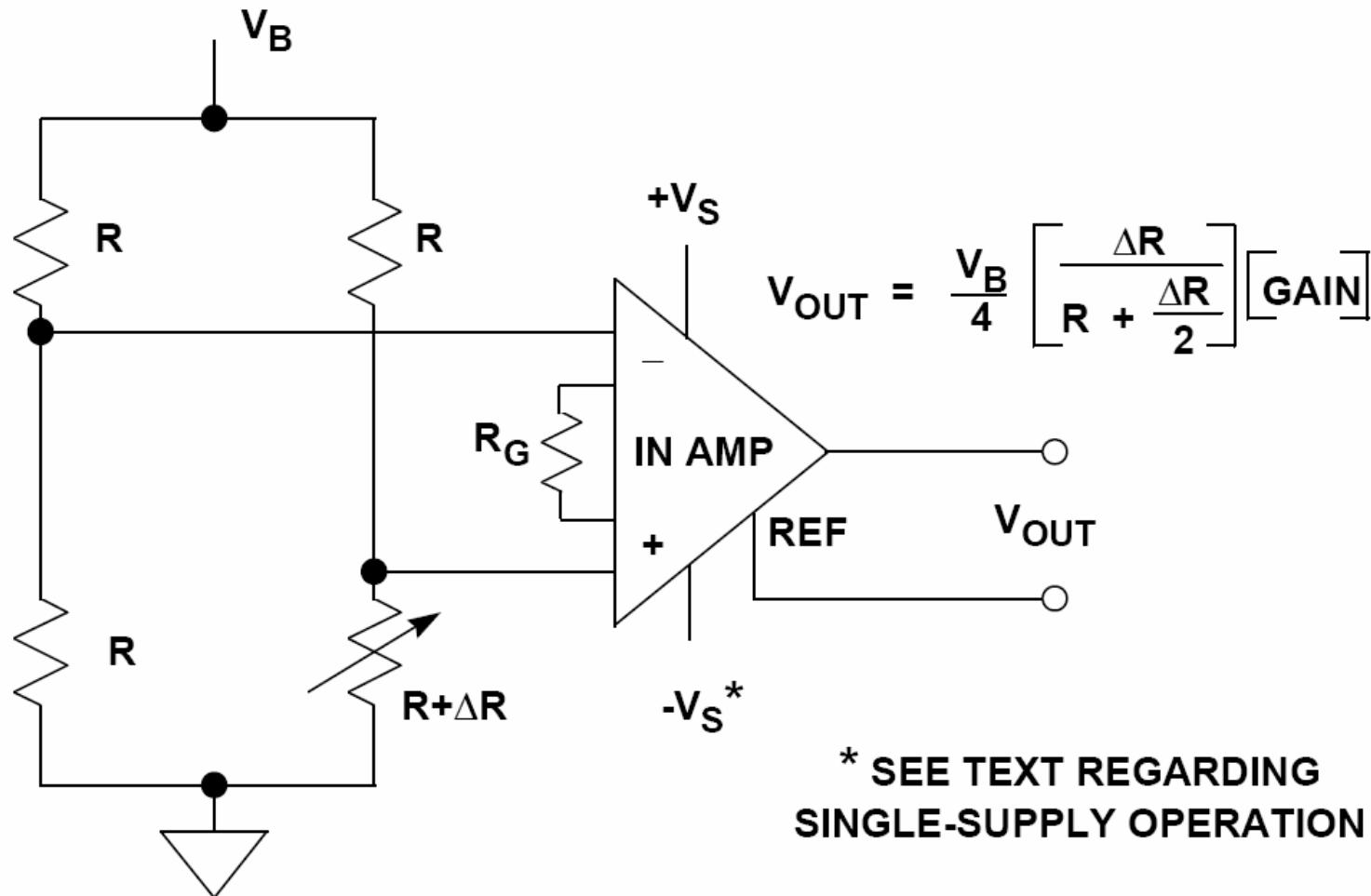
Mạch đo

- Mạch dùng nguồn dòng
- IC tạo nguồn dòng

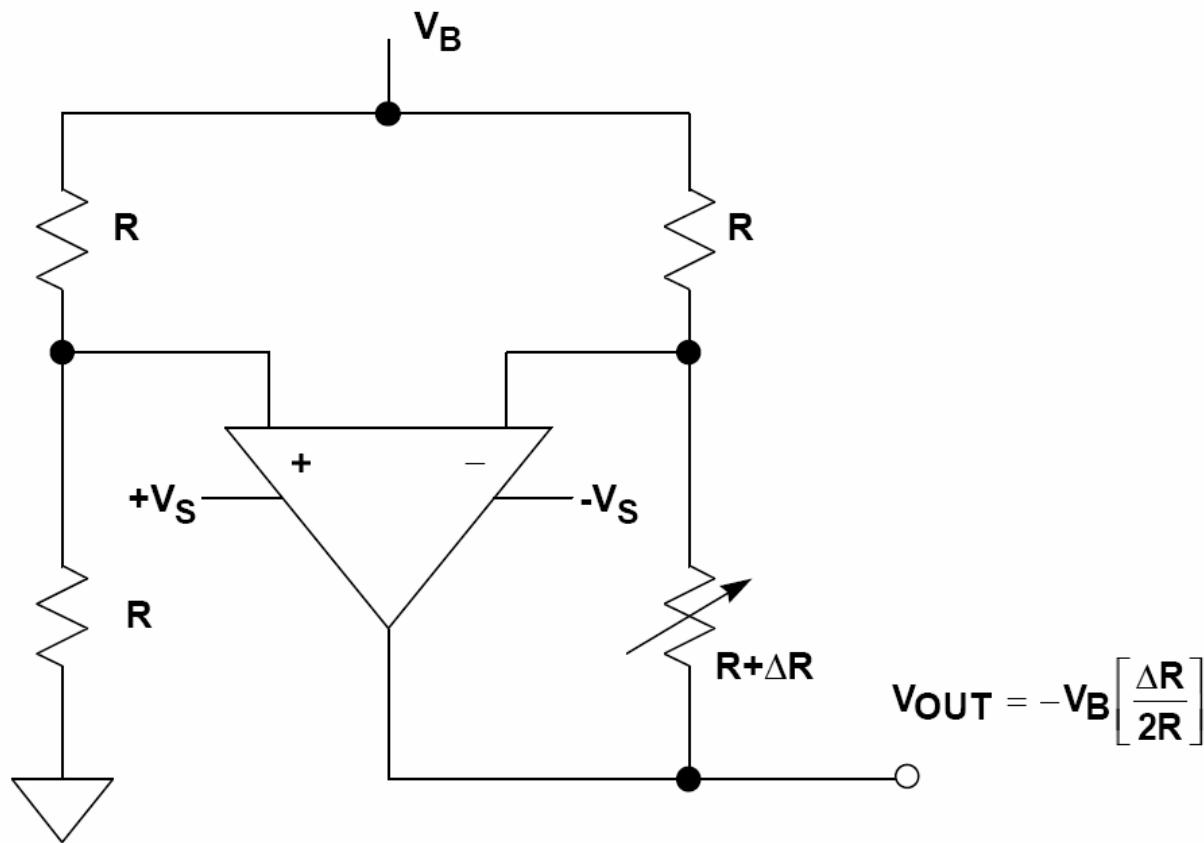


$$U_R = U_{RT} \frac{R_2}{R_1} = I \cdot R_{RT} \frac{R_2}{R_1}$$

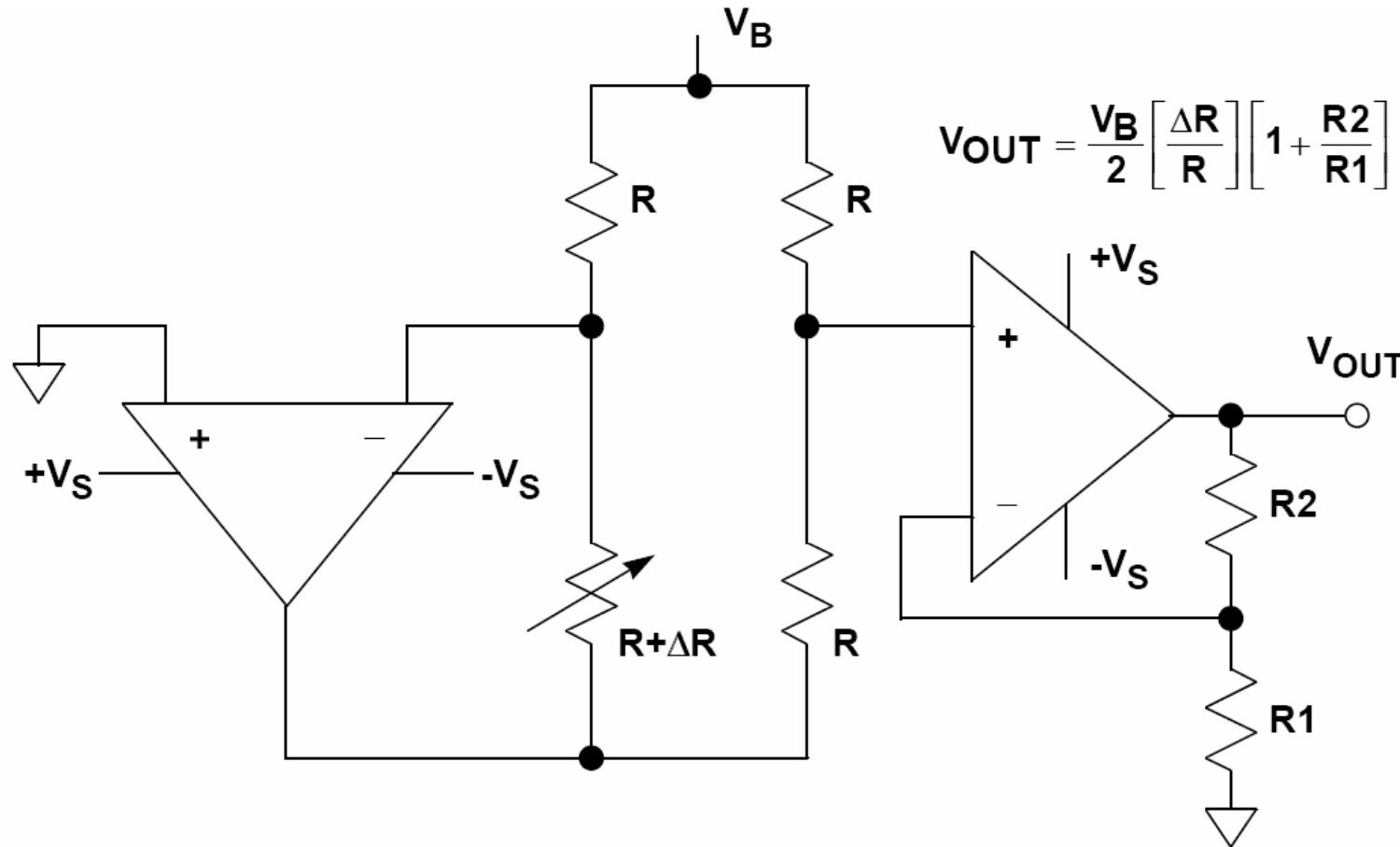
Một số mạch đo dùng nguồn áp



Một số mạch đo

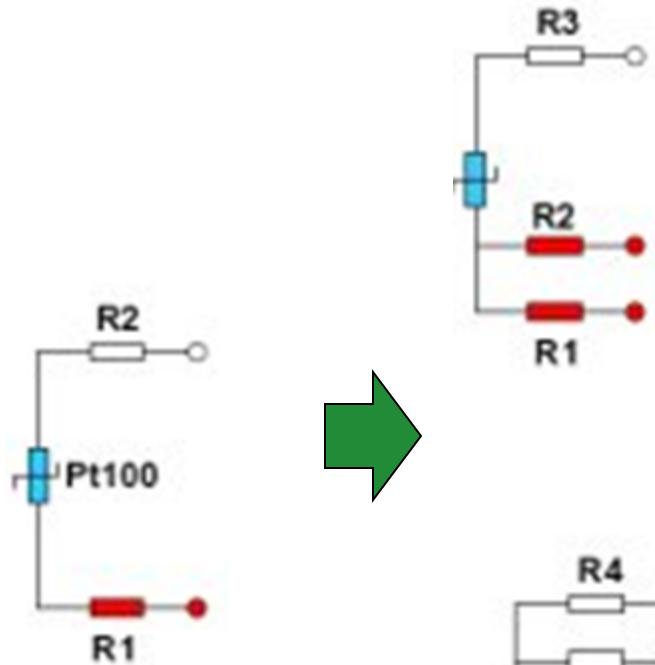


Một số mạch đo

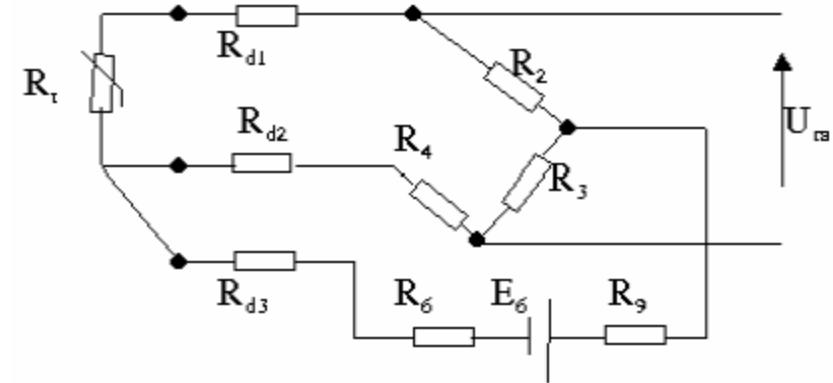


Ảnh hưởng của điện trở dây

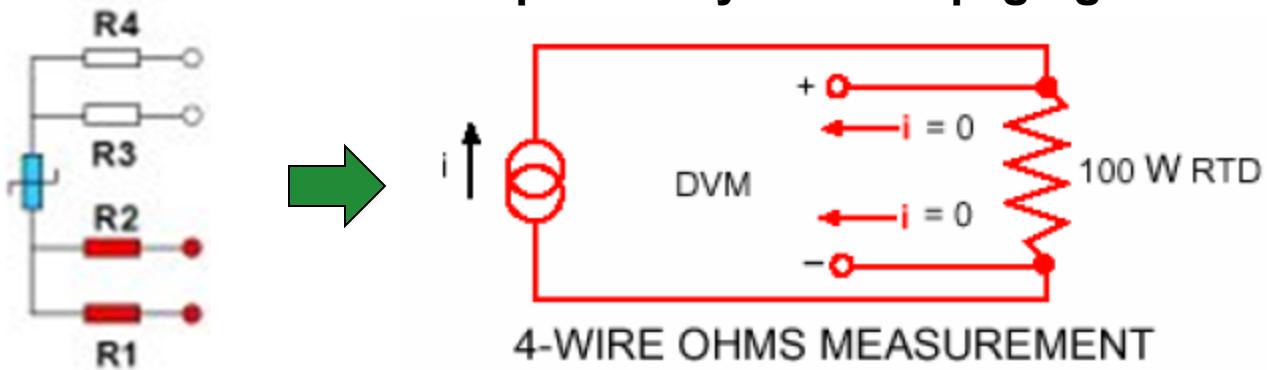
- Tại sao là nhiệt điện trở 2, 3 và 4 dây ?



Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn áp



Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn dòng



Nhiệt điện trở

- Giải thích Pt100, Pt 500, Pt 1000?
- Tại sao Platin lại được sử dụng chủ yếu để chế tạo RTD?

Transmitter nhiệt điện trở trong công nghiệp

1- Nhiệt điện trở

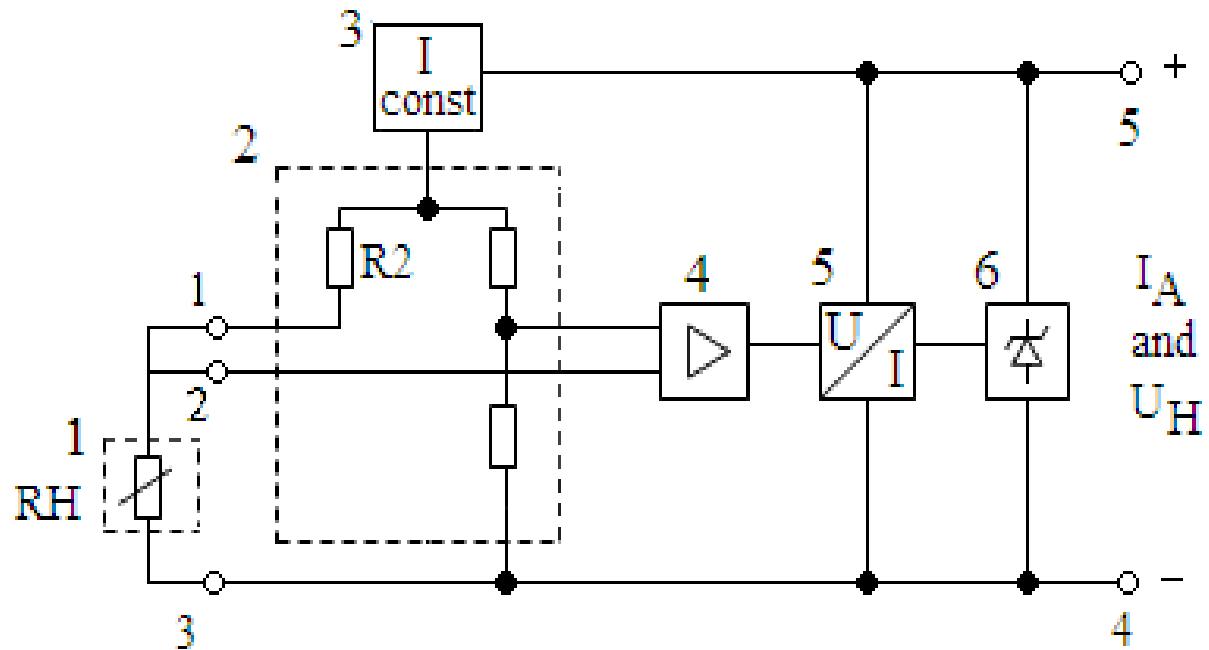
3- Dòng cung cấp (hằng)

5- Modul ra

2- Modul vào

4- Khuếch đại điện áp một chiều

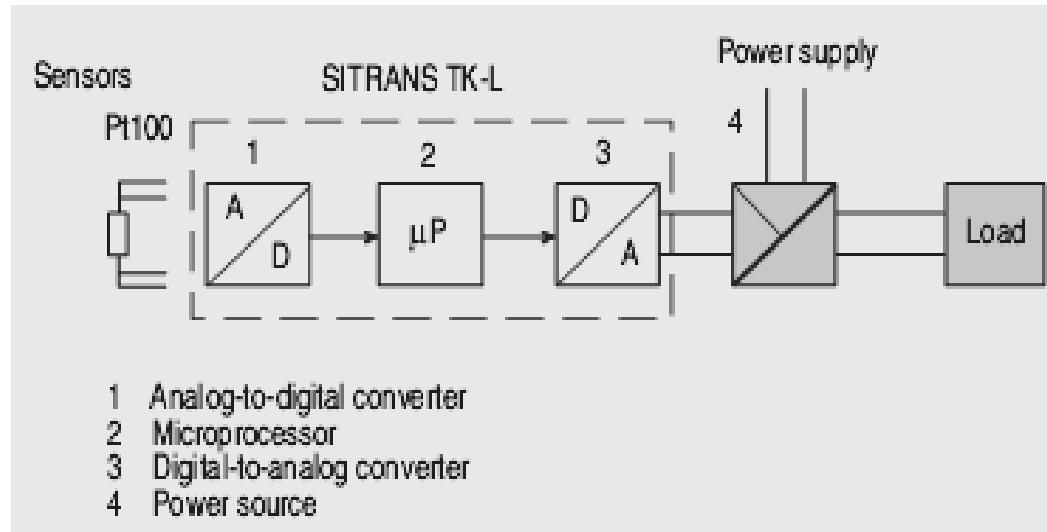
6- Điều chỉnh điện áp



Sơ đồ nguyên lý của transmitter nhiệt điện trở; (b) Transmitter nhiệt điện trở 7MC2932 của Siemens

Transmitter nhiệt điện trở

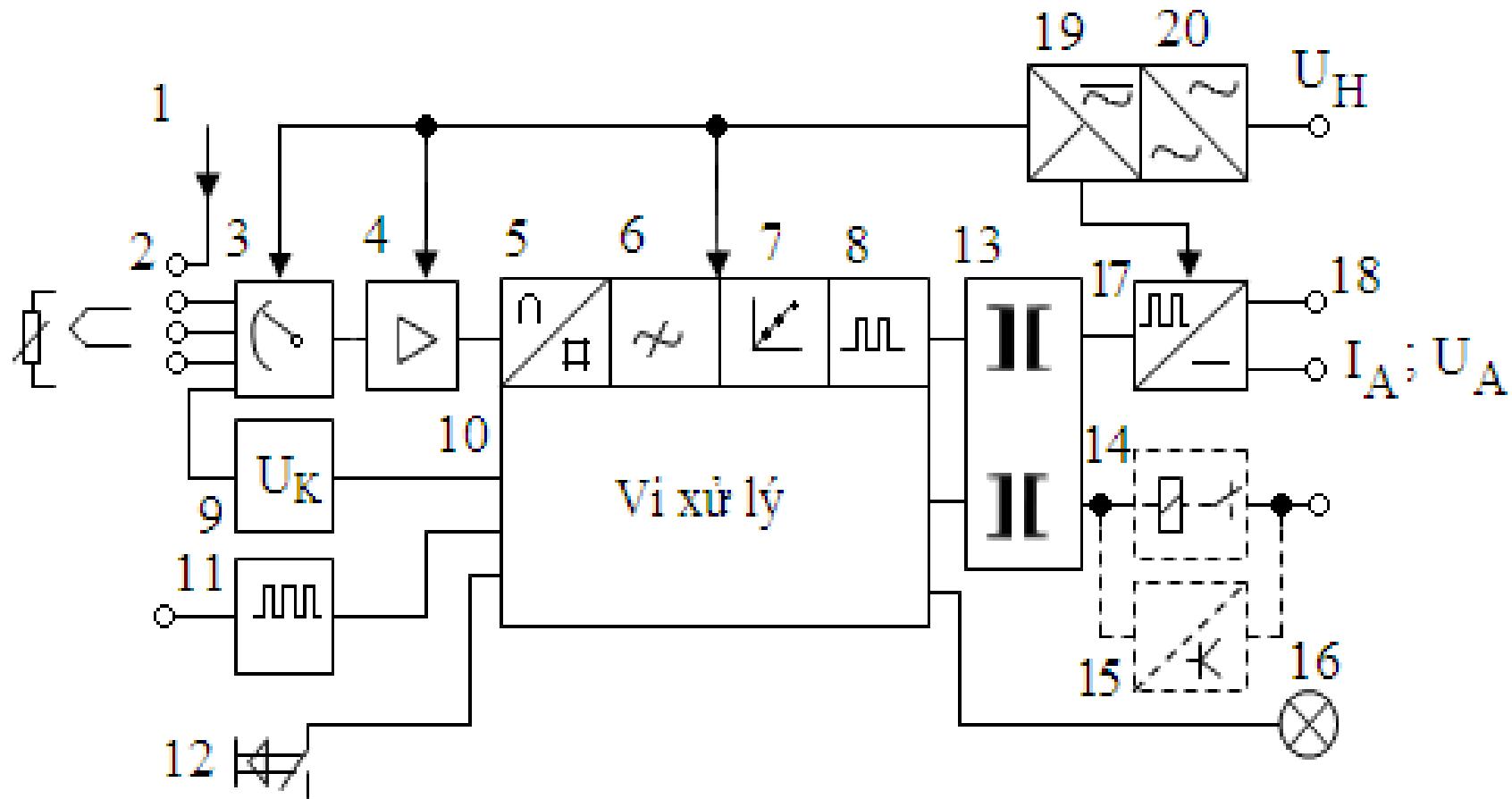
- Để tránh ảnh hưởng của điện trở đường dây ta phải bố trí để có thể lắp sơ đồ 2 dây, 3 dây, 4 dây.



- Điện áp nhiệt điện trở đưa qua A/D biến thành số. Vì xử lý tính toán ra nhiệt độ, sau đó qua D/A thành dòng điện ra 4-20 mA ứng với khoảng đo của nhiệt độ vào. Vì xử lý còn làm nhiệm vụ tuyến tính hóa nhiệt kế.

Đo nhiệt độ

- Sơ đồ của bộ biến đổi thông minh đo nhiệt độ SITRANS – T của Siemens



Bài tập

Để đo nhiệt độ của một lò nhiệt thay đổi: $0^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$. Người ta dùng nhiệt điện trở. Nguồn cung cấp tự chọn.

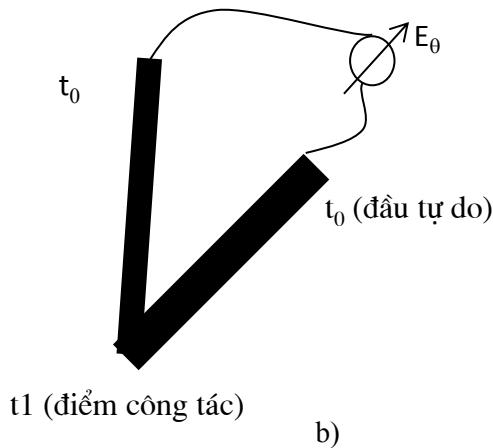
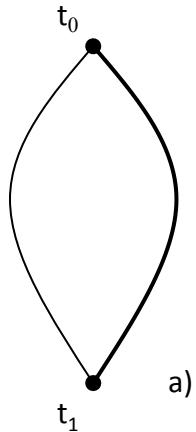
- Lựa chọn cảm biến thích hợp, thiết mạch đo, tính toán giá trị các linh kiện cho mạch?
- Hãy chọn mạch chuẩn hóa tín hiệu và tính toán các giá trị điện trở để đưa tín hiệu đo vào ADC có dải điện áp 0-5V?
- Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy $< 0.5^{\circ}\text{C}$, lựa chọn ADC. Biểu diễn giá trị 700°C dưới dạng nhị phân theo số bit ADC đã chọn.

14.3 Cặp nhiệt điện

Cặp nhiệt điện

+ Cấu tạo:

- Gồm hai hay thanh kim loại khác nhau được hàn với nhau tại một đầu, điểm hàn ấy gọi là điểm công tác hai đầu còn lại gọi là đầu tự do.



Cặp nhiệt điện

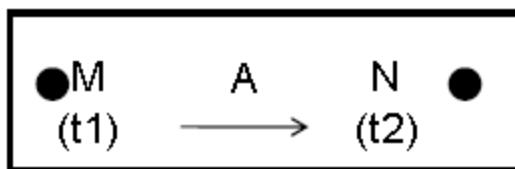
Cặp nhiệt điện

■ Nguyên lý:

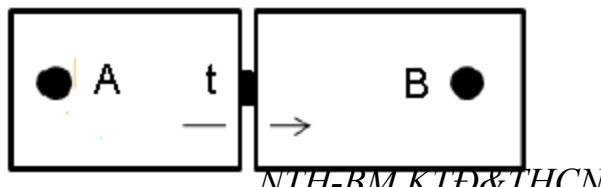
Hiệu ứng Thom son: với vật liệu đồng nhất A, trên nó có hai điểm phân biệt khác nhau là M và N có nhiệt độ tương ứng là t_1 và t_2 , thì giữa chúng sẽ xuất hiện một suất điện động :

$$E_{MN} = \int_{t_1}^{t_2} \delta dt$$

Trong đó δ là hệ số vật liệu thomson cho trước



Hiệu ứng Peltier: hai vật liệu A và B khác nhau tiếp xúc với nhau tại một điểm nào đó thì xuất hiện một suất điện động $e_{AB}(t)$



Căp nhiệt điện

- Hiệu ứng seebeck: kết hợp hai hiệu ứng nói trên -> xuất hiện suất điện động nhiệt điện

$$E_{MN} = \int_{t_1}^{t_2} (\delta_A - \delta_B) dt + e_{KM}(t_2) - e_{JN}(t_1)$$

Trong đó :

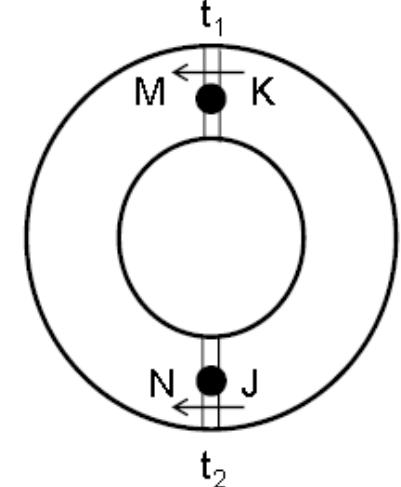
δ_A, δ_B là hệ số vật liệu thomson của hai vật

liệu A, B tương ứng

$t_1 < t_2$ là nhiệt độ tương ứng tại hai điểm khác nhau.

- Vì $E = \int_{t_1}^{t_2} (\delta_A - \delta_B) dt$ rất nhỏ nên ta sấp sỉ coi xuất điện động trên cáp nhiệt ngẫu là

$$E_{MN} = +e_{KM}(t_2) - e_{JN}(t_1)$$



Cặp nhiệt điện

- Nếu giữ nhiệt độ một đầu không đổi bằng không đổi (nhiệt độ đầu tự do) thì xuất hiện suất điện động ra một chiều ở đầu còn lại (đầu làm việc, nhiệt độ t) tỉ lệ với nhiệt độ:

$$E_{MN} = +e_{KM}(t_2) + C = f(t)$$

- Phương trình biến đổi cặp nhiệt trong trường hợp chung có thể biểu diễn dưới dạng

$$E_{MN} = At + Bt^2 + Ct^3$$

E_{MN} là sức điện động đầu ra

t là hiệu nhiệt độ đầu đo và đầu tự đo ($t=t_2-t_1$)

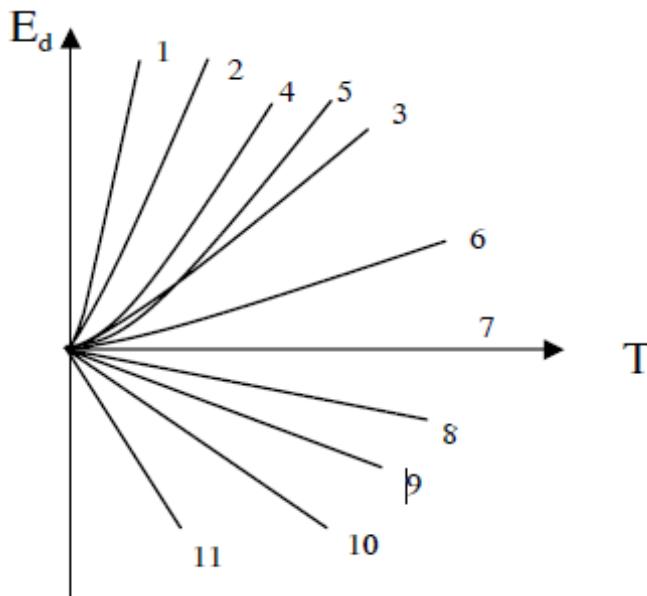
A, B, C là các hằng số phụ thuộc cặp nhiệt

Vật liệu chế tạo

- Tuy nhiên chúng phải đảm bảo các yêu cầu sau:
 - ❖ Sức điện động đủ lớn (để dễ dàng chế tạo dụng cụ đo thứ cấp).
 - ❖ Có đủ độ bền cơ học vụ hoá học ở nhiệt độ lùm việc.
 - ❖ Dễ kéo sợi.
 - ❖ Có khả năng thay lẫn.
 - ❖ Giá thành rẻ.

Vật liệu chế tạo

- Hình dưới biểu diễn quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của các vật liệu dùng để chế tạo điện cực so với điện cực chuẩn platin.



Hình 3.10 Sức điện động của một số vật liệu chế tạo điện cực

- 1) Telua
- 2) Chromel
- 3) Sắt
- 4) Đồng
- 5) Graphit
- 6) Hợp kim platin-rođi
- 7) Platin
- 8) Alumel
- 9) Niken
- 10) Constantan
- 11) Coben

Các kiểu nhiệt kế nhiệt ngẫu

| KH | KH HT | Vật liệu cấu thành | Đặc điểm lưu tâm |
|----|-------|---------------------------------------|---|
| B | - | Platin Rhodium 30 Platin.Rhodium 6 | Dây dương như là hợp kim 70%Pt, 30%Rh. Dây âm là hợp kim 94%Pt, 6%Rh. Loại B bền hơn loại R, giải đo nhiệt độ đến 1800 C, còn các đặc tính khác thì như loại R. |
| R | - | PtRh 13-Pt | Dây dương là loại hợp kim 87%Pt, 13%Rh. Dây âm là Pt nguyên chất. Cặp này rất chính xác, bền với nhiệt và ổn định. Không nên dùng ở những môi trường có hơi kim loại. |
| S | - | PtRh 10-Pt | Dây dương là hợp kim 90%Pt, 10%Rh. Dây âm là Pt nguyên chất. Các đặc tính khác như loại R. |
| K | CA | Cromel-Alumel | Dây dương là hợp kim gồm chủ yếu là Ni và Cr. Dây âm là hợp kim chủ yếu là Ni. Dùng rộng rãi cho Công nghiệp, bền với môi trường oxy hóa. Không được dùng trong môi trường có CO, SO hay khí S có H |

Các kiểu nhiệt kế nhiệt ngẫu

| KH | KHHT | Vật liệu cấu thành | Đặc điểm lưu tâm |
|-----------------|------|-------------------------------------|--|
| E | CRC | Cromel-Constantan | Dây dương như loại K, dây âm như loại J. Có sức điện động nhiệt điện cao và thường dùng ở môi trường acid |
| J | IC | Sắt-Constantan | Dây dương là đồng. Dây âm là hợp kim chủ yếu là hợp Ni và Cu. Nhiệt ngẫu này bền ở trong môi trường ăn mòn Fe và dùng ở nhiệt độ trung bình. |
| T | CC | Đồng-Constantan | Dây dương là Cu. Dây âm cũng là Cu và Ni. Độ chính xác cao khi làm việc ở dưới 300 C (-200 C - 1000 C) dùng và với môi trường khí và oxy hóa. |
| W/ W- 26E | | Tungsten- Tungsten-Rhenium 26 | Dây dương bằng Tungsten và dây âm 74% tungsten và 26% rhenium. Phù hợp đo nhiệt độ cao, tính bền giảm với các khí tro trong không khí, không chống được oxy hóa, không sử dụng được trong không khí. |

Vật liệu chế tạo

| Cặp nhiệt ngẫu | Dải nhiệt độ làm việc (°C) | Sức điện động (mV) |
|--|----------------------------|--------------------|
| Đồng/ Constantan Φ = 1,63 mm | -270-370 | -6,258-19,027 |
| Sắt/ Constantan Φ = 3,25 mm | -210-800 | -8,095-45,498 |
| Chromel/Alumen Φ = 3,25 mm | -270-1250 | -5,354-50,633 |
| Chromel/Constantan Φ = 3,25 mm | -270-870 | -9,835-66,473 |
| Platin-Rođi (10%) /Platin Φ = 0,51 mm | -50-1500 | -0,236-15,576 |
| Platin-Rođi (13%) /Platin Φ = 0,51 mm | -50-1500 | -0,226-17,445 |
| Platin-Rođi (30%) /Platin-Rođi (6%) Φ = 0,51 mm | 0-1700 | 0-12,426 |
| Vonfram-Reni (5%)/Vonfram-Reni (26%) | 0-2700 | 0-38,45 |

Căp nhiệt điện

Nhiệt ngẫu (can nhiệt) người ta dùng công thức sấp xỉ

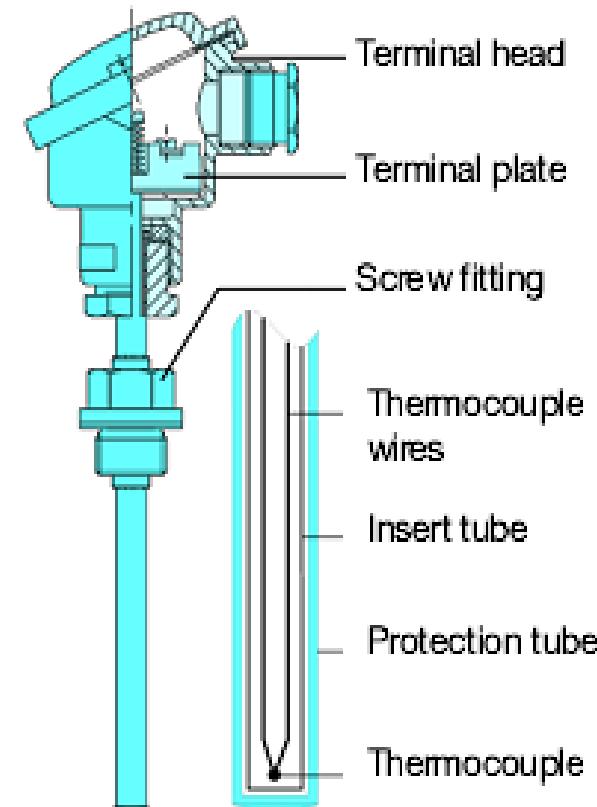
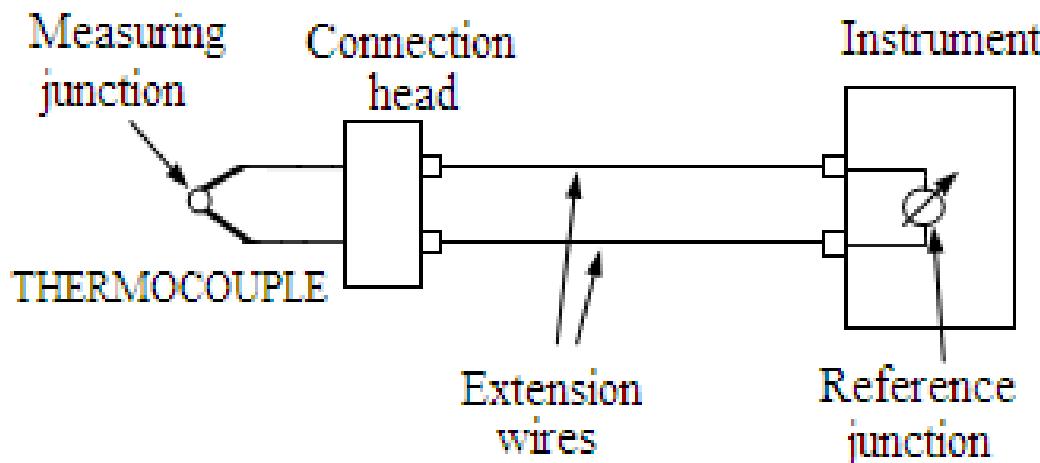
$$E_T = K_T (t_{\text{nóng}} - t_{\text{tự do}}) = K_T t_{\text{nóng}} - K_T t_{\text{tự do}}$$

E_T : sức điện động nhiệt ngẫu

K_T : độ nhạy của căp nhiệt ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)

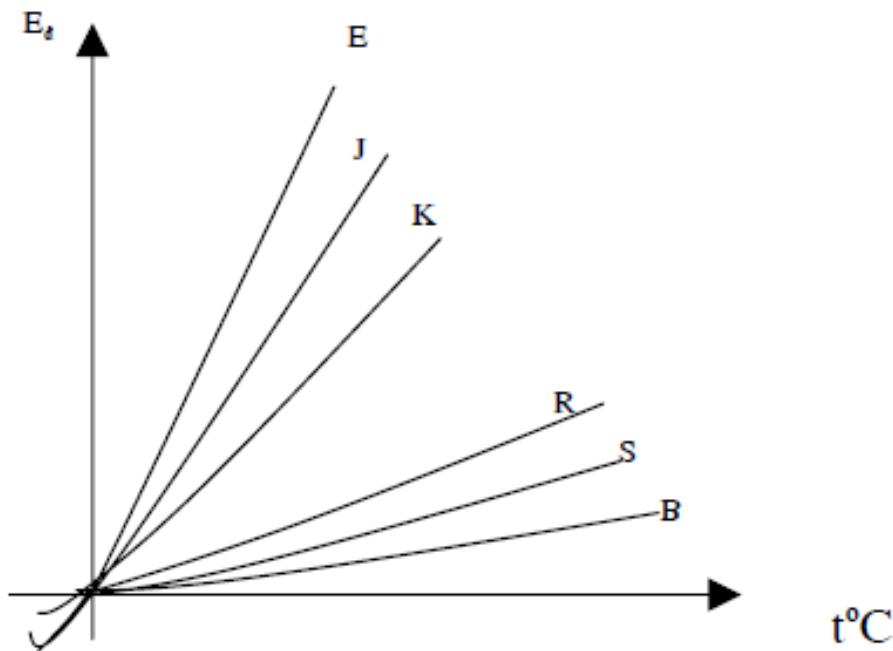
$t_{\text{nóng}}$: nhiệt độ đầu nóng (nhiệt độ cần đo)

$t_{\text{tự do}}$: nhiệt độ đầu tự do



Cặp nhiệt điện

- Quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của một số cặp nhiệt



Hình 3.11 Sức điện động của một số cặp nhiệt ngẫu
E-Chromel/Constantan R- Platin-Rodi (13%)/Platin
J- Sắt/Constantan S- Platin-Rodi (10%)/Platin
K- Chromel/Alumel B-Platin-rodi (30%)/ Platin-rodi (6%)

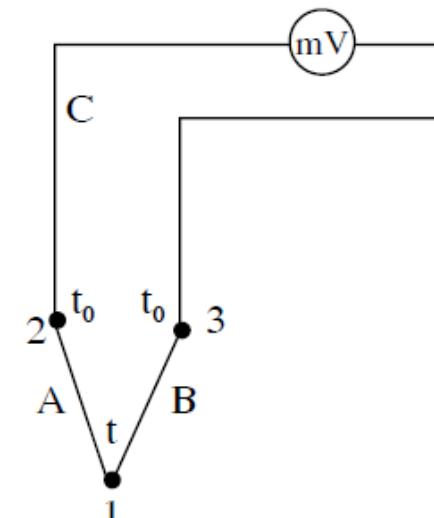
Đo nhiệt độ - hệ số K của một số cặp nhiệt

Table A.10. Characteristics of Thermocouple Types

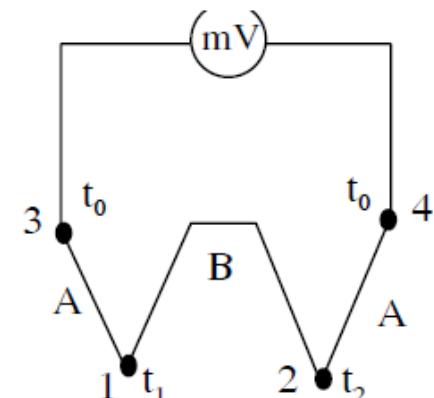
| Junction Materials | Sensitivity (at 25°C) ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) | Temperature Range ($^\circ\text{C}$) | Applications | Designation |
|---------------------|--|---|--|-------------|
| Copper/constantan | 40.9 | –270 to 600 | Oxidation, reducing, inert, vacuum; preferred below 0°C ; moisture resistant | T |
| Iron/constantan | 51.7 | –270 to 1000 | Reducing and inert atmosphere; avoid oxidation and moisture | J |
| Chromel/alumel | 40.6 | –270 to 1300 | Oxidation and inert atmospheres | K |
| Chromel/constantan | 60.9 | –200 to 1000 | | E |
| Pt (10%)/Rh–Pt | 6.0 | 0 to 1550 | Oxidation and inert atmospheres; avoid reducing atmosphere and metallic vapors | S |
| Pt (13%)/Rh–Pt | 6.0 | 0 to 1600 | Oxidation and inert atmospheres; avoid reducing atmosphere and metallic vapors | R |
| Silver–Paladium | 10.0 | 200 to 600 | | |
| Constantan–tungsten | 42.1 | 0 to 800 | | |
| Silicon–aluminum | 446 | –40 to 150 | Used in thermopiles and micromachined sensors | |

Mạch đo

- Mạch đo sử dụng mili vôn kế
- Nếu hai đầu 2 và 3 bằng nhau thì sức điện động chính là sức điện động của cắp nhiệt
- Để đi trực tiếp nhiệt độ giữa hai điểm đo người ta dùng sơ đồ vi sai như hình bên



Sơ đồ mạch đo

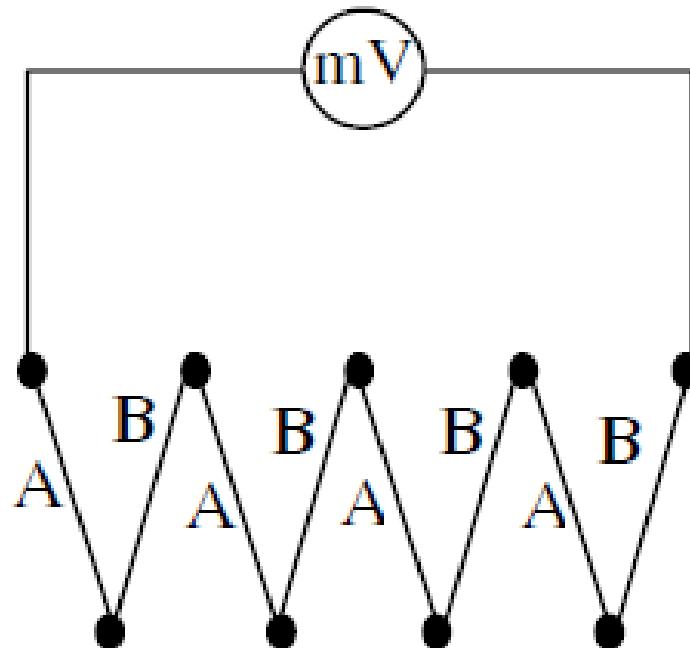


Sơ đồ đo vi sai

Mạch đo

- Để tăng độ nhạy phép đo người ta có thể mắc n cấp nhiệt nối tiếp

$$E = n \cdot E_{ab}$$



Mạch đo

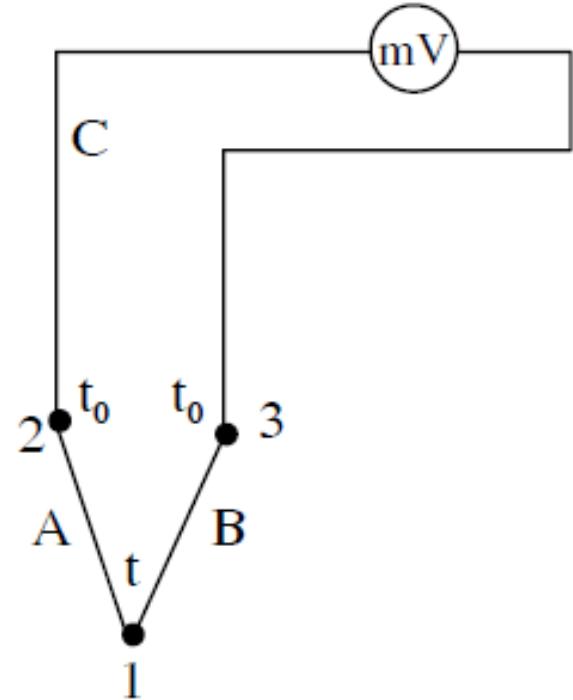
■ Ảnh hưởng của vôn kẽ

$$I = \frac{E_T}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$

với:
E_T - sức điện động nhiệt điện
R_{CT} - điện trở của milivônmét
R_{ND} - điện trở cặp nhiệt điện
R_d - điện trở đường dây.

Điện áp rơi trên milivônmét:

$$U_{CT} = E - I(R_{ND} + R_d) = \frac{E \cdot R_{CT}}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$



Mạch đo

Ảnh của dây nối

Sử dụng dây bù

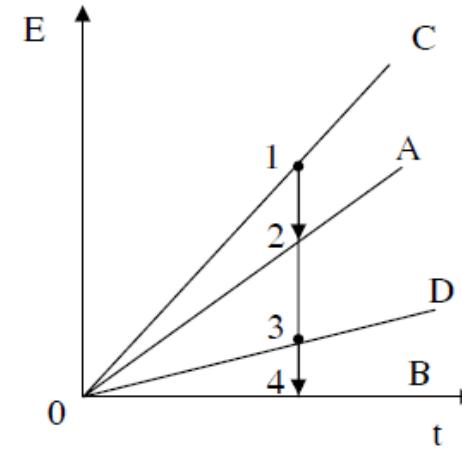
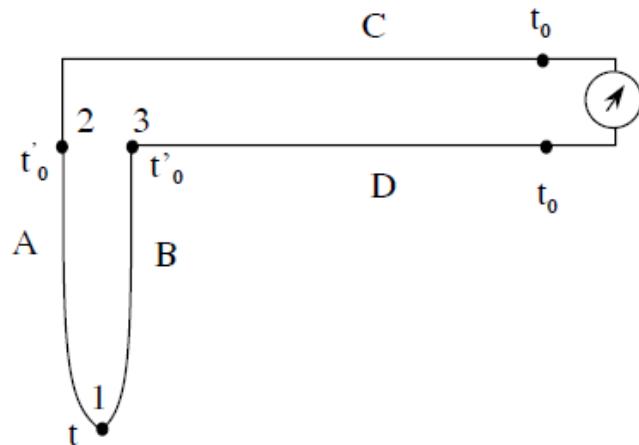
$$E = e_{AB}(t) - e_{CA}(t_0) + e_{BD}(t_0) - e_{CD}(t_0)$$

Chọn dây dẫn C và D sao cho $e_{CA}(t_0) = e_{DB}(t_0)$ ($\overline{12} = \overline{34}$), khi đó:

$$E = e_{AB}(t) - e_{CD}(t_0)$$

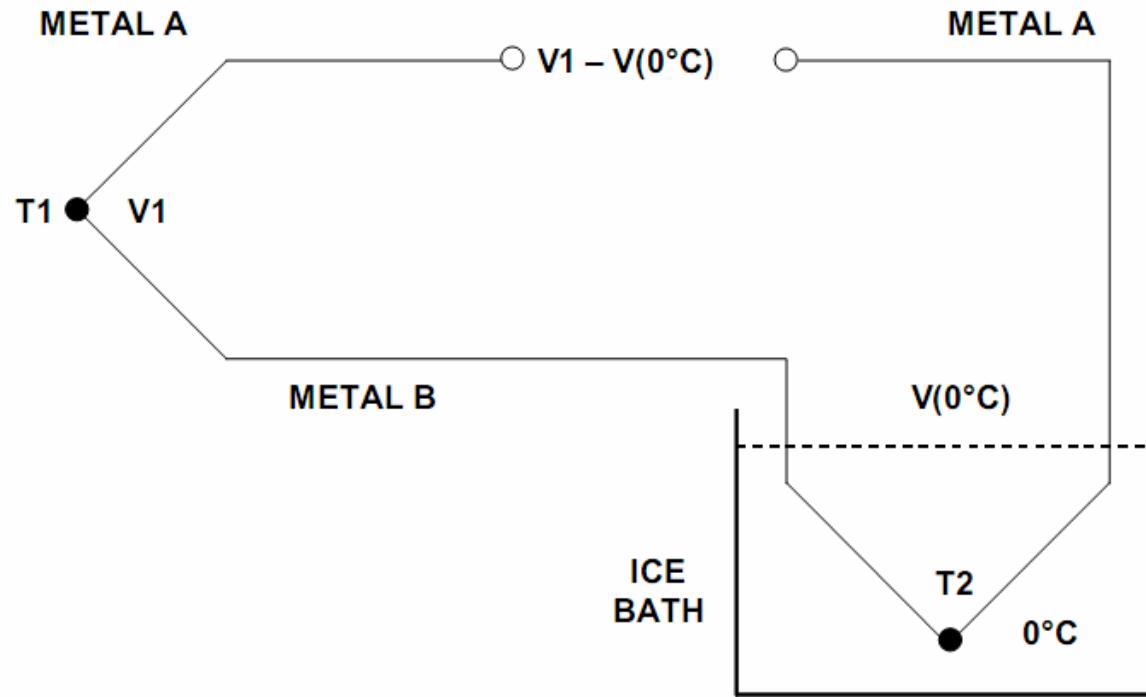
Vì $e(t_0) = 0$, nên:

$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$



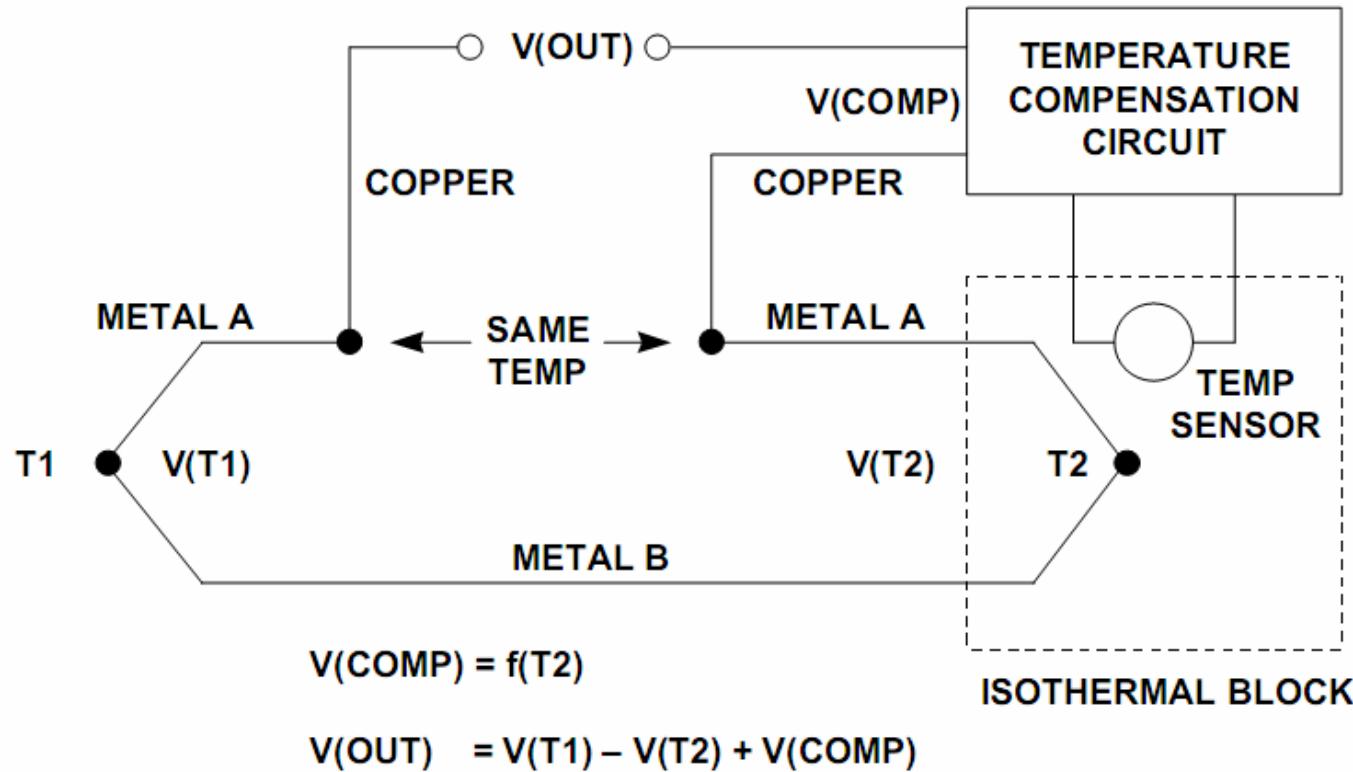
Mạch đo

■ Bù nhiệt độ đầu tự do



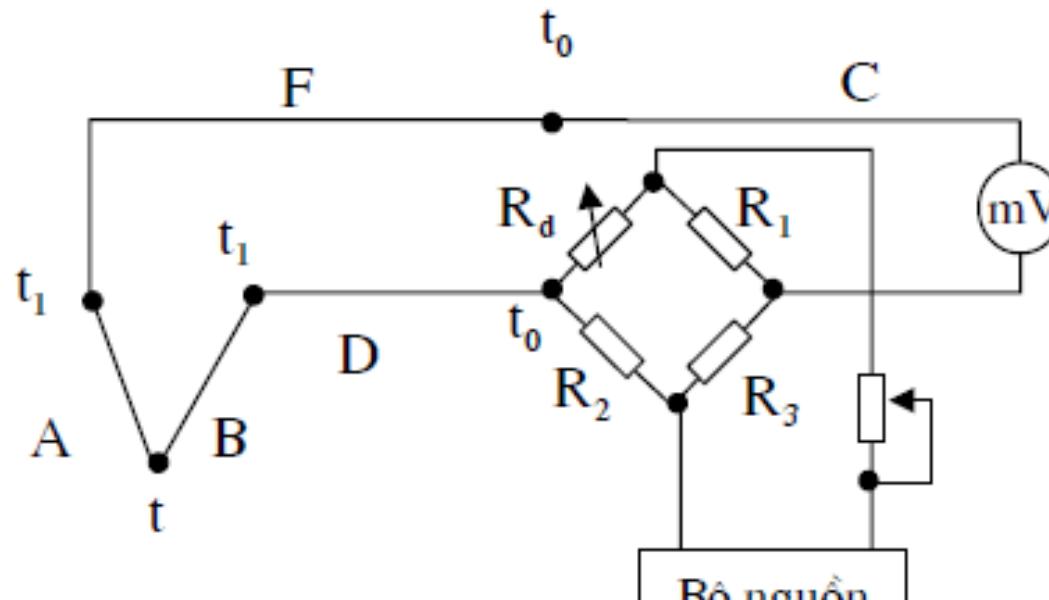
Mạch đo

Dùng mạch điện tử



Mạch đo

Dùng cầu bù



$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{4} \frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{td}$$

Ta lại có

$$E_T = K_T (t_{nóng} - t_{tự do}) = K_T t_{nóng} - K_T t_{tự do}$$

Để bù ảnh hưởng của nhiệt độ đầu tự do ta có

$$K_T t_{tự do} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{tự do} \rightarrow U_{CC} = \frac{4K_T}{\alpha}$$

Transmitter nhiệt ngẫu

- Transmitter nhiệt ngẫu làm các nhiệm vụ sau:
 - ❖ Biến điện áp thành dòng thông nhất 4-20 mA.
 - ❖ Bù nhiệt độ đầu tự do của các nhiệt ngẫu khác nhau

Đầu vào của Transmitter là điện áp.

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

$$t_{\text{đo}} = \frac{E_T - K_T \cdot t_{\text{tự do}}}{K_T}$$

E_T – sức điện động nhiệt ngẫu

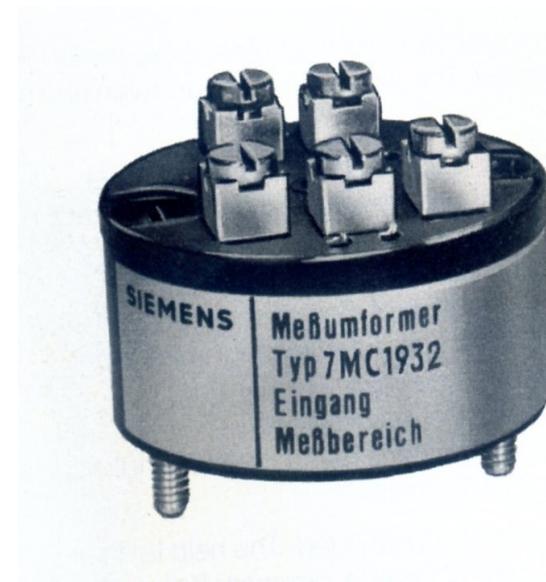
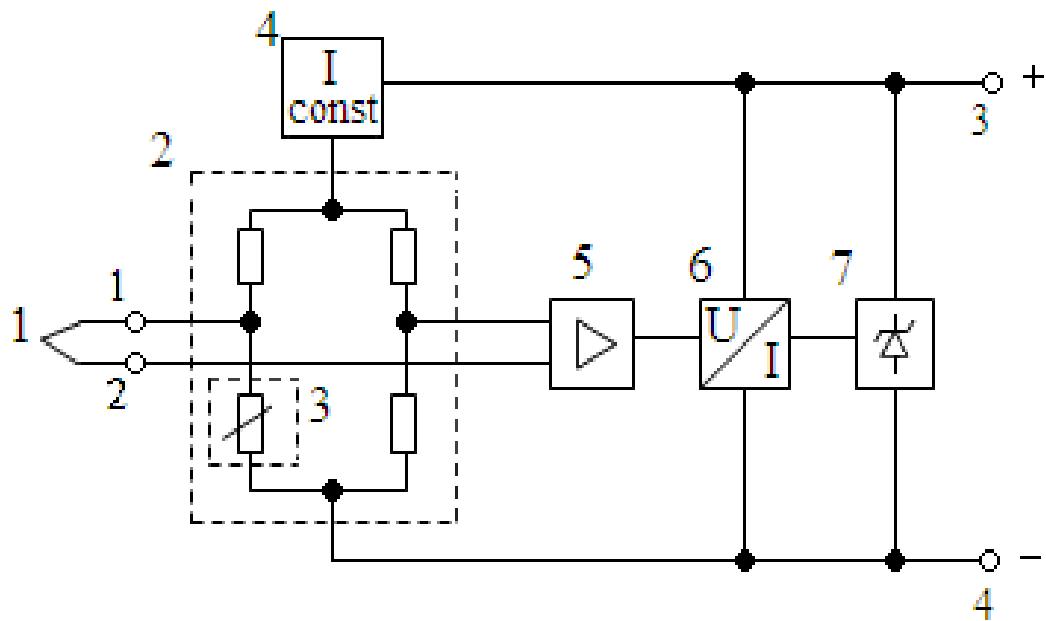
K_T – độ nhạy của cặp nhiệt

$t_{\text{nóng}}$ – nhiệt độ đầu nóng (nhiệt độ cần đo)

$t_{\text{tự do}}$ – nhiệt độ đầu tự do

Transmitter nhiệt ngẫu

- Ta phải chỉnh K_T thế nào để cho 0 C ứng với 4 mA và nhiệt độ định mức ứng với 20 mA. Muốn thế ta phải khuếch đại và phải bố trí để có thể định hệ số khuếch đại ứng với các K_T mong muốn.

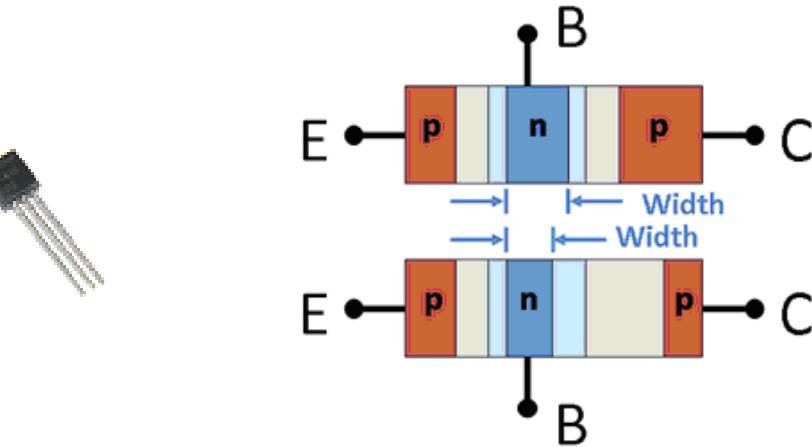
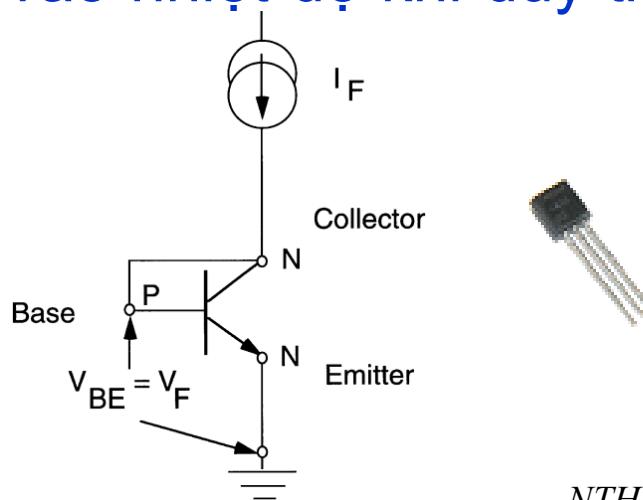


Sơ đồ nguyên lý của transmitter nhiệt ngẫu 7MC1932 của

14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- Cấu tạo: Làm từ các loại chất bán dẫn.
- Nguyên lý:

Đặc tính của điốt phụ thuộc vào nhiệt độ. Dựa trên đặc tính đó người ta đo nhiệt độ hoặc sự thay đổi nhiệt độ của một đối tượng nào đó. Tuy nhiên sự phụ thuộc này không tuyến tính và không đủ tin cậy, do vậy người ta sử dụng tính chất phụ thuộc điện áp giữa bazo-emito của một tranzito vào nhiệt độ khi duy trì dòng điện colecto (I_c) không đổi



14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

Theo mẫu Ebers-Moll, dòng điện collecto (I_C) đối với một tranzito lí tưởng là:

$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left(\exp \left\{ \frac{qU_{BE}}{KT} \right\} - 1 \right) - I_{CS} \left(\exp \left\{ \frac{-qU_{CB}}{KT} \right\} - 1 \right) \quad (7-31)$$

α_F – hệ số tỉ lệ;

I_{ES} – dòng emitơ bão hòa;

q – điện tích; $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C;

U_{BE} – điện áp bazơ - emitơ;

T – nhiệt độ tuyệt đối;

I_{CS} – dòng collecto bão hòa;

U_{CB} – điện áp collecto - bazơ;

$\alpha_F I_{ES}$ được kí hiệu là I_S ($\alpha_F I_{ES} = I_S$).

Trong vùng hoạt động thường $I_C \gg I_S$.

Với điều kiện $U_{CB} = 0$ từ công thức (7-31) ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_C}{I_S} \quad (7-32)$$

14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

$$\text{Một cách gần đúng ta có } I_S = BT^3 \exp\left\{\frac{-qU_{go}}{KT}\right\} \quad (7-33)$$

B – hằng số;

U_{go} – điện áp tiếp giáp.

Từ công thức (7-32) và (7-33) ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_C}{I_{CO}} \left(\frac{T_0}{T} \right)^3 + (U_{BEo} - U_{go}) \frac{T}{T_0} + U_{go}$$

U_{BEo} – điện áp bazơ-emitter với dòng I_{CO} ở nhiệt độ T_0 ;

I_C – dòng collectơ.

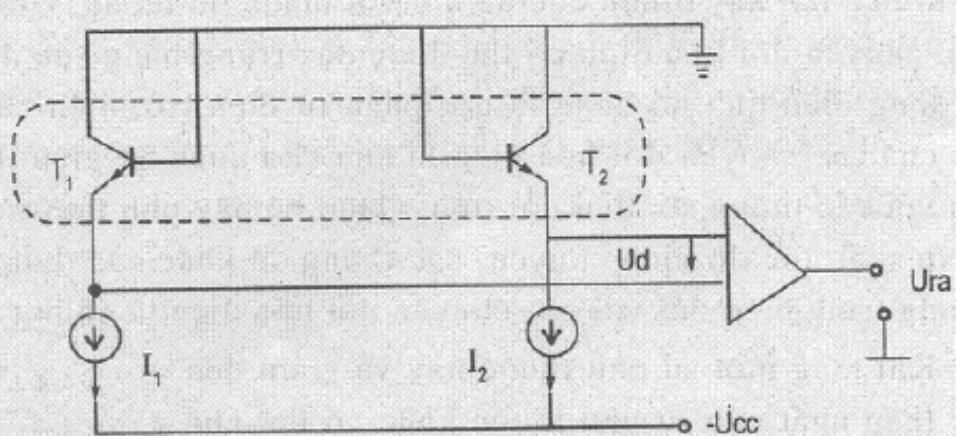
Từ công thức trên ta thấy quan hệ giữa U_{BE} và T là phi tuyến và phụ thuộc vào dòng I_C .

Độ nhạy của U_{BE} theo T :

$$S = \left. \frac{dU_{BE}}{dt} \right|_{I_C=I_{CO}} = \frac{U_{BEo} - U_{go}}{T_0} - \frac{3K}{q} \left(1 + \ln \frac{T}{T_0} \right)$$

14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

Thông thường người ta sử dụng hai tranzito có dòng emitor giống nhau và được cung cấp bởi dòng điện collectơ khác nhau như hình vẽ 7-27d.



Nếu cả hai tranzito ở cùng nhiệt độ thì sự khác nhau giữa dòng bazơ-emitor là:

$$U_d = U_{BE1} - U_{BE2} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}}$$

Nếu cả hai tranzito được coi là giống nhau ta có:

$$I_{S1} = I_{S2} \text{ và } U_d = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}$$

Với $\frac{I_{C1}}{I_{C2}}$ là hằng số; U_d sẽ tỉ lệ với T mà không cần đến một nguồn ổn định.

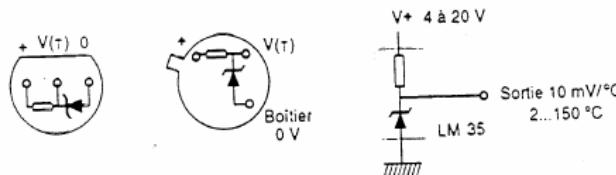
14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- Ưu điểm: Rẽ tiền, dễ chế tạo, độ nhạy cao, chống nhiễu tốt, mạch xử lý đơn giản.
- Khuyết điểm:
 - ❖ Không chịu nhiệt độ cao, kém bền.
 - ❖ Chế tạo từ các thành phần bán dẫn nên cảm biến nhiệt Bán Dẫn kém bền, không chịu nhiệt độ cao, độ ẩm, va đập, hóa chất có tính ăn mòn
 - ❖ Cảm biến bán dẫn mỗi loại chỉ tuyến tính trong một giới hạn nào đó, ngoài ra cảm biến sẽ mất tác dụng
- Thường dùng: Đo nhiệt độ không khí, dùng trong các thiết bị đo, bảo vệ các mạch điện tử.
- Dải đo: -50 < 150 D.C.

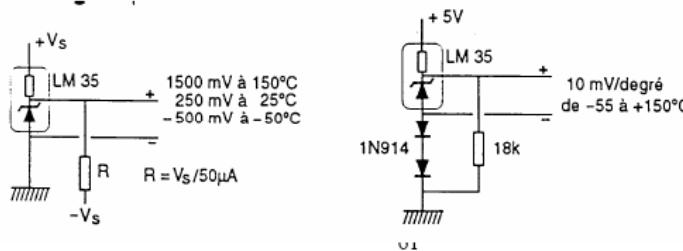
14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- Cảm biến nhiệt Bán Dẫn là những loại cảm biến được chế tạo từ những chất bán dẫn. Có các loại như Diode, Transistor, IC.
- Ta dễ dàng bắt gặp các cảm biến loại này dưới dạng diode, các loại IC như: LM35, LM335, LM45.

Nguồn áp : LM35



Mạch đo với nhiệt điện trở bán dẫn



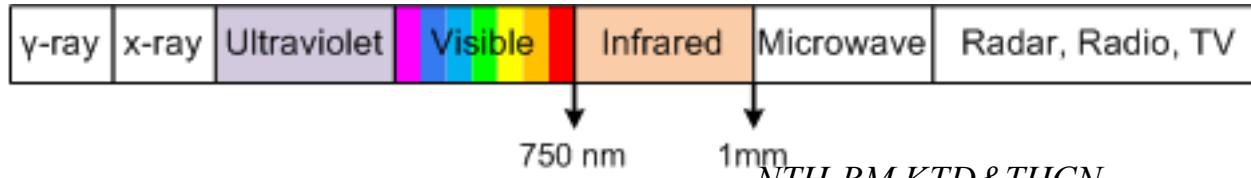
Đo không tiếp xúc

- Phương pháp này sử dụng khi đo nhiệt độ bề mặt của vật ở xa, cao, khó tiếp cận, trong môi trường khắc nghiệt (đường ống trên cao, nhiệt độ khu vực quá nóng và nguy hiểm đến tính mạng).
 - ❖ Đo bằng hồng ngoại
 - ❖ Hỏa quang kế

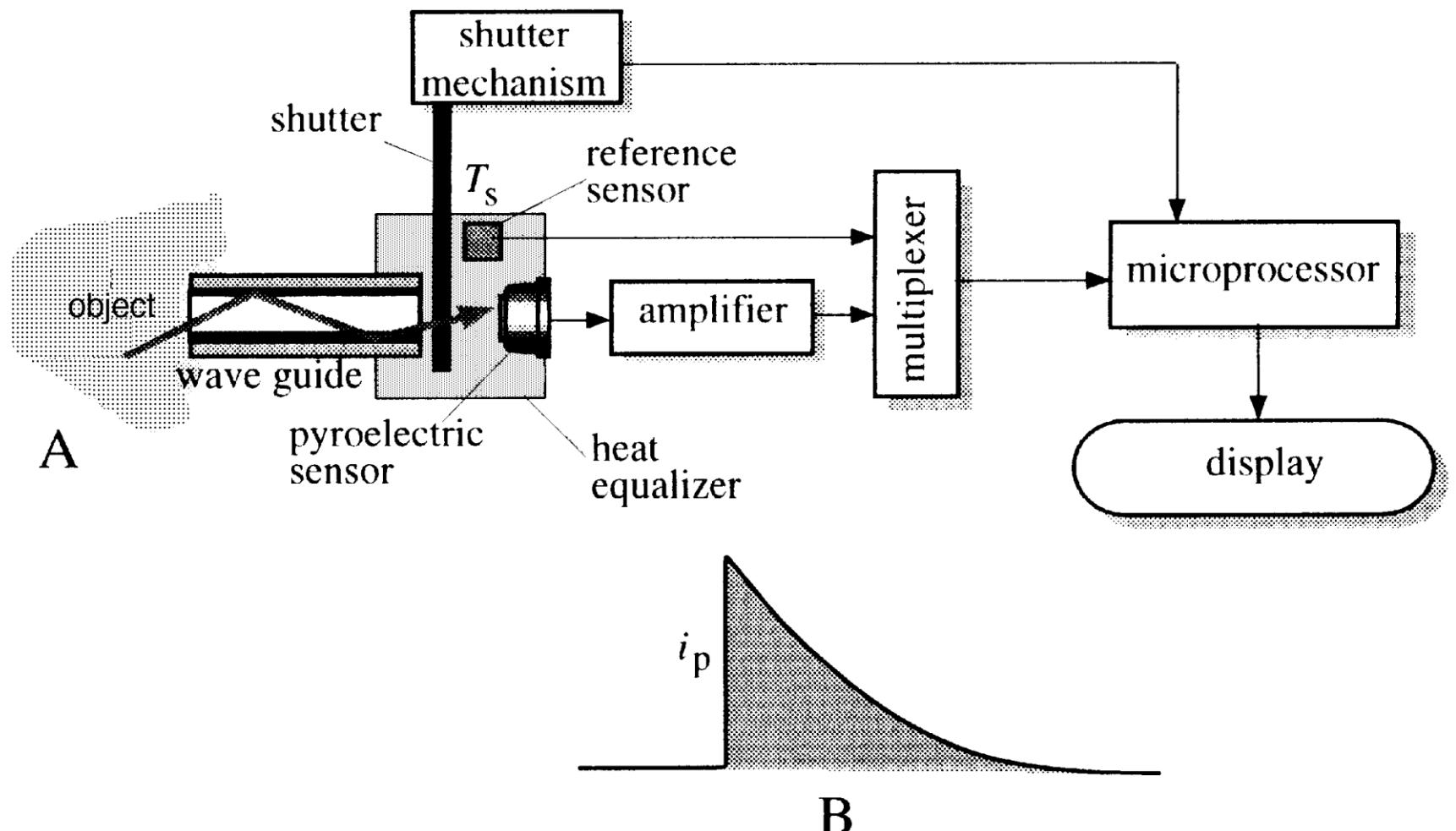


14.5 Đo bằng hồng ngoại

- Nhiệt kế hồng ngoại (IRT) cơ bản gồm có 4 thành phần:
 - Ông dẫn sóng (waveguide) để thu gom năng lượng phát ra từ bia (target)
 - Cảm biến hỏa nhiệt kế (Pyroelectric sensor) có tác dụng chuyển đổi năng lượng sang tín hiệu điện
 - Bộ điều chỉnh độ nhạy (reference sensor) để phối hợp phép đo của thiết bị hồng ngoại với chỉ số bức xạ của vật thể được đo.
 - Một mạch cảm biến bù nhiệt (heater equalizer) để đảm bảo sự thay đổi nhiệt độ phía bên trong thiết bị



14.5 Đo bằng hồng ngoại



- Cảm biến hồng ngoại là một cảm biến hỏa điện (pyroelectric sensor) theo sau là bộ chuyển đổi dòng sang áp

14.5 Đo bằng hồng ngoại

- Công nghệ hồng ngoại dùng các bước sóng từ $0.7\text{ }\mu\text{m}$ - $14\text{ }\mu\text{m}$, các bước sóng lớn hơn thì năng lượng quá thấp, cảm biến hồng ngoại không thể nhận ra được
- Bất kể một vật nào có nhiệt độ trên -273°C đều phát ra bức xạ điện tử, theo định luật Flanck
$$\varepsilon = h \cdot f = h \cdot 1/T = h \cdot 1/(c \cdot \lambda)$$
.
 - ❖ Với: ε = Mức năng lượng, h = hằng số Flanck, f = tần số, c = vận tốc ánh sáng, λ = bước
- Cảm biến hồng ngoại sẽ đo mức năng lượng của vật, từ đó sẽ tính toán ra nhiệt độ.
- Mỗi cảm biến hồng ngoại chỉ nhạy với một khoảng bước sóng nhất định. Khi chọn đúng loại cảm biến phù hợp vừa cho kết quả đo chính xác hơn cũng như tiết kiệm chi phí.

14.6 Hỏa quang kế

Nguyên lý

- Quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật có thể diễn ra dưới hình thức bức xạ nhiệt, không cần các vật đó trực tiếp tiếp xúc với nhau. Bức xạ nhiệt chính là sự truyền nội năng của vật bức xạ đi bằng sóng điện từ
- *Bất kỳ một vật nào sau khi nhận nhiệt thì cũng có một phần nhiệt năng chuyển đổi thành năng lượng bức xạ, số lượng được chuyển đổi đó có quan hệ với nhiệt độ*
- Vậy từ năng lượng bức xạ người ta sẽ biết được nhiệt độ của vật
- Dụng cụ dựa vào tác dụng bức xạ nhiệt để đo nhiệt độ của vật gọi là hỏa kế bức xạ, chúng thường được dùng để đo nhiệt độ trên 600°C .

14.6 Hỏa quang kế

Nguyên lý

- Một vật bức xạ một lượng nhiệt là Q (W) \Rightarrow mật độ bức xạ toàn phần E (là năng lượng bức xạ qua một đơn vị diện tích)

$$E = \frac{dQ}{dF} (\text{W} / m^2)$$

- Cường độ bức xạ đơn sắc :

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} (\text{W} / m^3)$$

- Dựa vào năng lượng do một vật hấp thụ người ta có thể biết được nhiệt độ của vật bức xạ nếu biết được các quan hệ giữa chúng.

14.6 Hỏa quang kế

Những định luật cơ sở về bức xạ nhiệt

■ Định luật Planck:

Đối với vật đen tuyệt đối thì quan hệ $E_{0\lambda}$ và T bằng công thức :

$$E_{0\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{C_2/\lambda T} - 1 \right)}; C_1 = 0.370^{-15} \text{ W.m}^2$$
$$C_2 = 1.438^{-2} \text{ m.K}$$

■ Định luật Stefan-Boltzman:

Cường độ bức xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối liên hệ với nhiệt độ của nó bằng biểu thức

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda} d\lambda = C_0 \frac{T^4}{100}; \quad C_0 = 5.67 \left(\text{W / m}^2 \cdot \text{K}^4 \right)$$

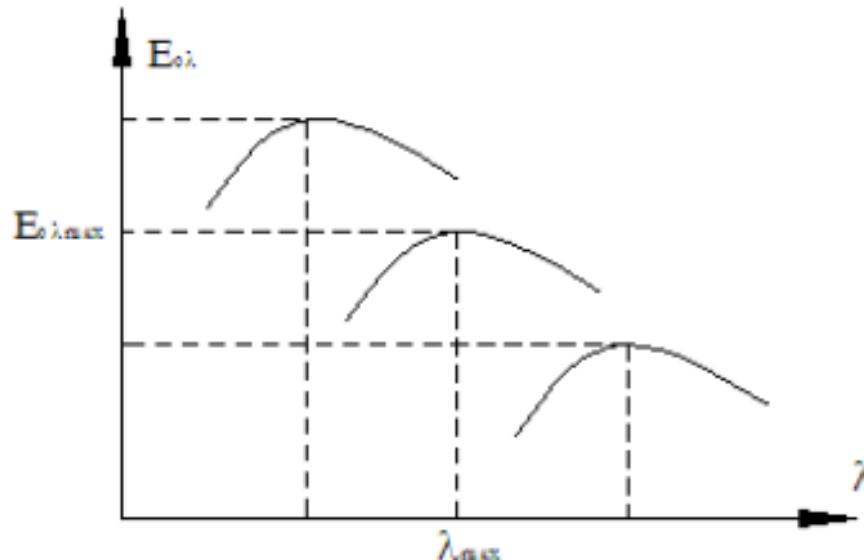
14.6 Hỏa quang kế

Những định luật cơ sở về bức xạ nhiệt

■ Định luật chuyển định của Wiên

Khi vật nhiệt độ T có cường độ bức xạ lớn nhất thì sóng λ_{\max} sẽ quan hệ với nhiệt độ theo biểu thức :

$$\lambda_m \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \left(m \cdot {}^0K \right)$$



14.6 Hỏa quang kế

- Trong công nghiệp khi nhiệt độ đo cao (trên 1600 C) ta dùng hỏa quang kế. Hỏa quang kế chia làm 3 loại là:
 - ❖ Hỏa quang kế bức xạ. $T = f(E)$ (Stefan-Boltzman)
 - ❖ Hỏa quang kế quang học. $T = f(E_{0\lambda})$ (Planck)
 - ❖ Hỏa quang kế màu sắc. (Wiên)

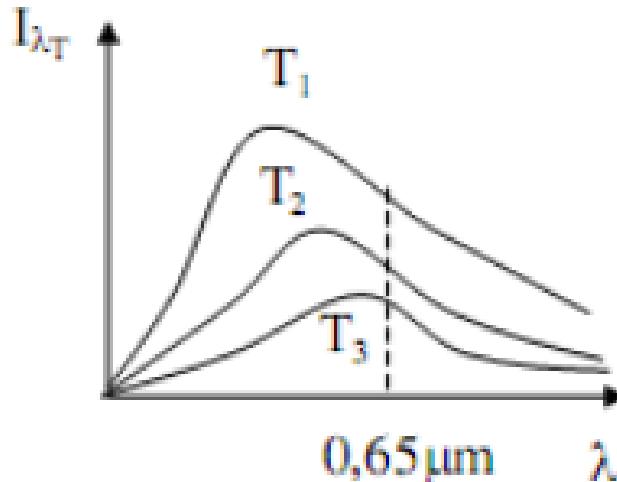
$$T = f \left(\frac{E_{0\lambda_1}}{E_{0\lambda_2}} \right)$$



Hỏa kế quang học

- Hoả kế quang điện chế tạo dựa trên định luật Plăng
- Nguyên tắc đo nhiệt độ bằng hỏa kế quang học là so sánh cường độ sáng của vật cần đo và độ sáng của một đèn mẫu ở trong cùng một bước sóng nhất định và theo cùng một hướng. Khi độ sáng của chúng bằng nhau thì nhiệt độ của chúng bằng nhau

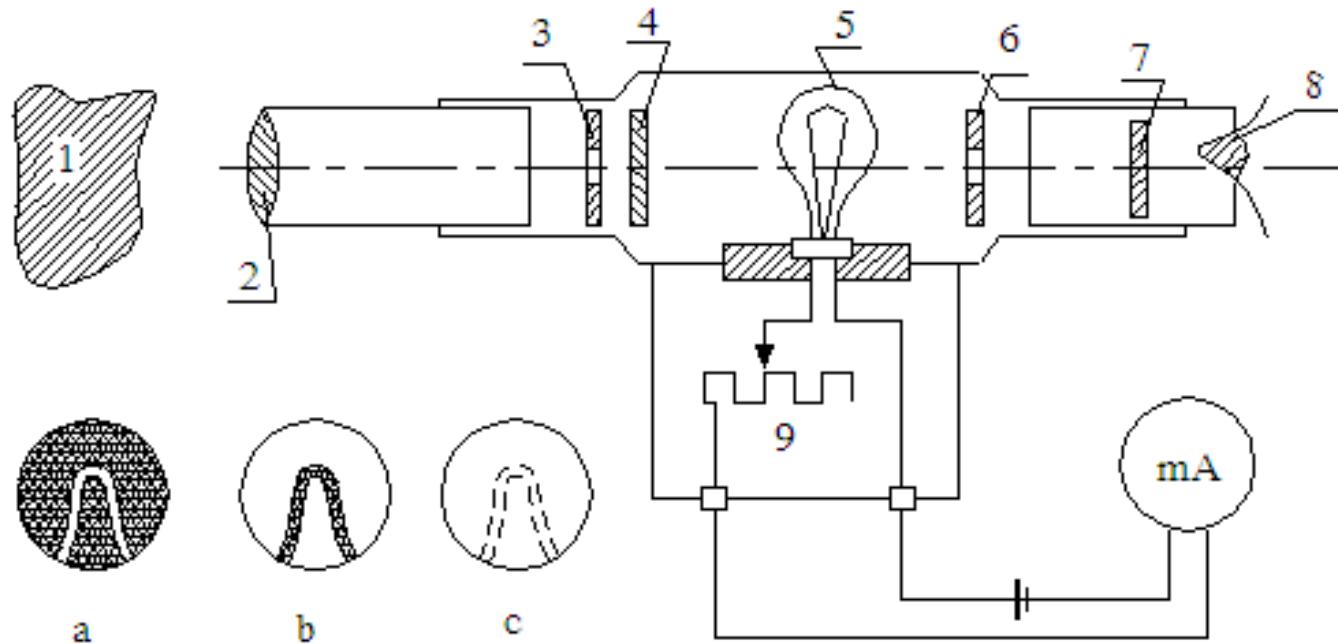
Sự phụ thuộc giữa I và λ không đơn trị, do đó người ta thường cố định bước sóng ở $0,65\mu\text{m}$.



Sự phụ thuộc của cường độ ánh sáng vào bước sóng và nhiệt độ

Hỏa kế quang học

Sơ đồ cấu tạo



1- vật cản đo nhiệt độ

2- thấu kính (kinh vật)

3- vòng đ/chỉnh

4- kính mờ

5- bóng đèn

7- kính đố (bộ lọc)

6-vòng đ/chỉnh

8- kính mắt (ống nhòm) 9- biến trở

Hỏa kế quang học

- Khi đo, hướng hỏa kế vào vật cần đo, ánh sáng từ vật bức xạ cần đo nhiệt độ (1) qua vật kính (2), kính lọc (3), và các vách ngăn (4), (6), kính lọc ánh sánh đỏ (7) tới thị kính (8) và mắt. Bật công tắc K để cấp điện nung nóng dây tóc bóng đèn mẫu (5), điều chỉnh biến trở R_b để độ sáng của dây tóc bóng đèn trùng với độ sáng của vật cần đo.

$$\frac{1}{T_{do}} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon\lambda}$$

- Công thức hiệu chỉnh: $T_{đo} = T_{đọc} + \Delta T$

Giá trị của ΔT cho theo đồ thị.

Hỏa kế quang học

Nguyên lý làm việc của hỏa kế quang học

- Bóng đèn sợi đốt vonfram sau khi đã được già hóa trong khoảng 100 giờ với nhiệt độ 2000°C , sự phát sáng của đèn ổn định nếu sử dụng ở nhiệt độ $400 \div 1500^{\circ}\text{C}$.
- Cường độ sáng có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi dòng đốt bằng điều chỉnh biến trở

Hỏa quang kế bức xạ

Nguyên lý của hỏa quang kế bức xạ

- Một vật tuyệt đối đen khi đốt nóng lên bức xạ, năng lượng bức xạ là

$$E_{BX} = \sigma_T \cdot T^4$$

E_{BX} - năng lượng bức xạ

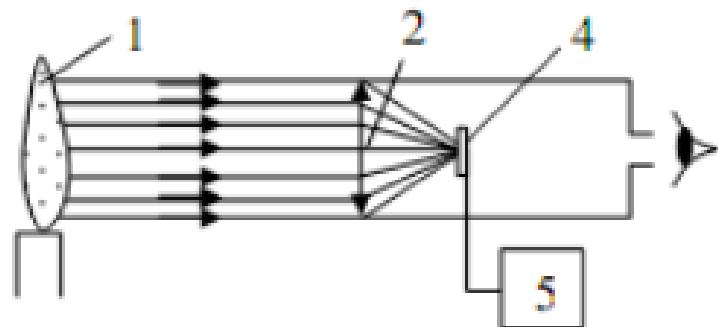
σ_T - hệ số phát xạ tuyệt đối

- Hỏa quang kế bức xạ gồm một bộ cặc nhiệt kích thước nhỏ gồm 10 cặc nhiệt bố trí nối tiếp nhau thành hình rẻ quạt. Ánh sáng hồng ngoại bức xạ, được thấu kính hoặc gương lõm tập trung vào đúng đầu này của bộ biến đổi. Năng lượng ấy làm nóng cặc nhiệt và phát ra sức điện động nhiệt điện

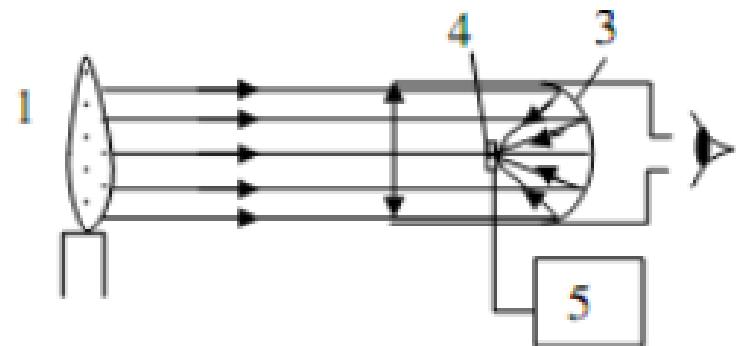
$$E_T = K_T \cdot E_{BX} = K_T \cdot \sigma_T \cdot T^4$$

Hỏa quang kế bức xạ

- Cấu tạo của bộ thu hỏa quang kế bức xạ
- Thông thường có hai loại: hỏa kế bức xạ có ống kính hội tụ, hỏa kế bức xạ có kính phản xạ.



a)



b)

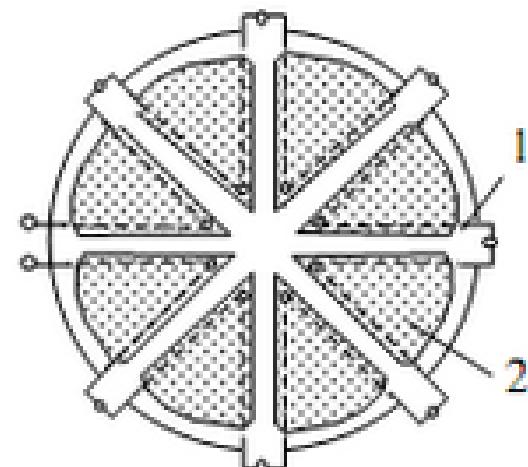
- 1) Nguồn bức xạ
- 2) Thấu kính hội tụ
- 3) Gương phản xạ
- 4) Bộ phân thu năng lượng
- 5) Dụng cụ đo thứ cấp

Hỏa quang kế bức xạ

- Bộ phận thu năng lượng có thể là một vi nhiệt kế điện trở hoặc là một tổ hợp cặp nhiệt, chúng phải thoả mãn các yêu cầu:
 - + Có thể làm việc bình thường trong khoảng nhiệt độ 100 - 150°C.
 - + Phải có quán tính nhiệt đủ nhỏ và ổn định sau 3 - 5 giây.
 - + Kích thước đủ nhỏ để tập trung năng lượng bức xạ vào đo.

Các cặp nhiệt (1) thường dùng cặp crômen/côben mắc nối tiếp với nhau.

Các vết đen (2) phủ bằng bột platin

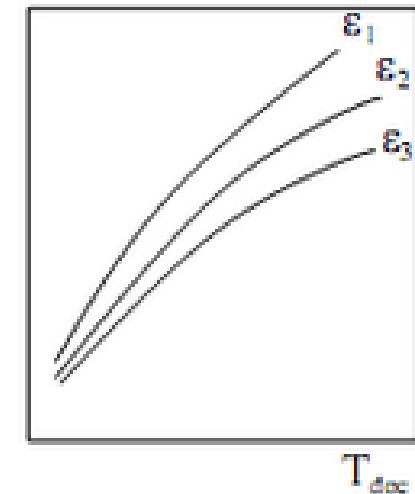


Hỏa quang kế bức xạ

- Khi đo nhiệt độ bằng hỏa kế bức xạ sai số thường không vượt quá 27°C, trong điều kiện:
 - ❖ Vật đo phải có độ đen xấp xỉ bằng 1.
 - ❖ Tỉ lệ giữa đường kính vật bức xạ và khoảng cách đo (D/L) không nhỏ hơn 1/16.
- Trong thực tế độ đen của vật đo $e < 1$, khi đó

$$T_{do} = \sqrt[4]{\frac{1}{e}} \cdot T_{doc}$$

ΔT



- Thông thường xác định theo công thức sau:

$$T_{do} = T_{doc} + \Delta T$$

Hỏa quang kế bức xạ

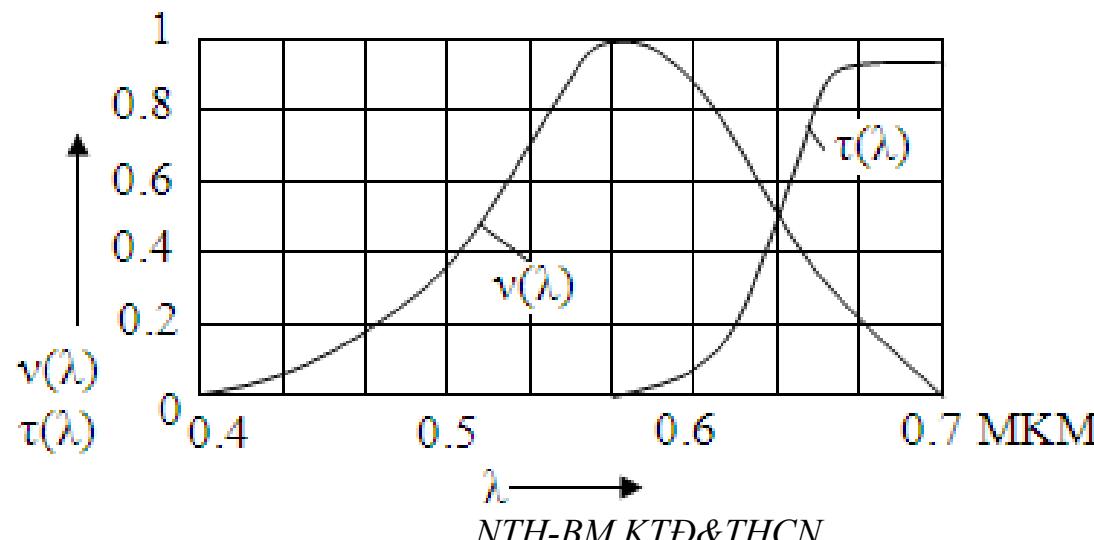
- Trong các hỏa quang kế, trước kia người ta phải bố trí hệ thống máy ngắm để cho ảnh thật của đối tượng trùng với tiêu điểm của bộ thu
- Hiện nay cũng có những photo điốt hồng ngoại thay thế cho bộ thu của hỏa quang nói trên.. Ngày nay người ta đặt một điốt lazer phát ra một chùm tia hẹp song song với trực của hỏa quang kế. Vòng tròn sáng của bộ phát lazer chính và vùng ta đo nhiệt độ

*Hỏa quang kế bức xạ 566,
568 của Fluke*



Hỏa quang kế màu sắc

- Bước sóng của ánh sáng phát ra càng giảm khi nhiệt độ càng tăng (ở nhiệt độ thấp đối tượng phát ra ánh sáng đỏ, nhiệt độ cao phát ra ánh xanh đến tím). So sánh cường độ ánh sáng xanh và đỏ ta có thể suy ra nhiệt độ của đối tượng. Ta lần lượt cho ánh sáng xanh và đỏ của chùm sáng phát ra bởi đối tượng (thông qua hai bộ lọc xanh và đỏ). Cường độ ánh sáng xanh và đỏ được chia cho nhau và tỷ số giữa hai cường độ ấy cho phép suy ra nhiệt độ



Hỏa quang kế màu sắc

A Đổi tượng đo nhiệt độ

1 Vật kính

2 Đĩa lọc xanh đỏ

3 Mô tơ đồng bộ

4 Tế bào quang điện

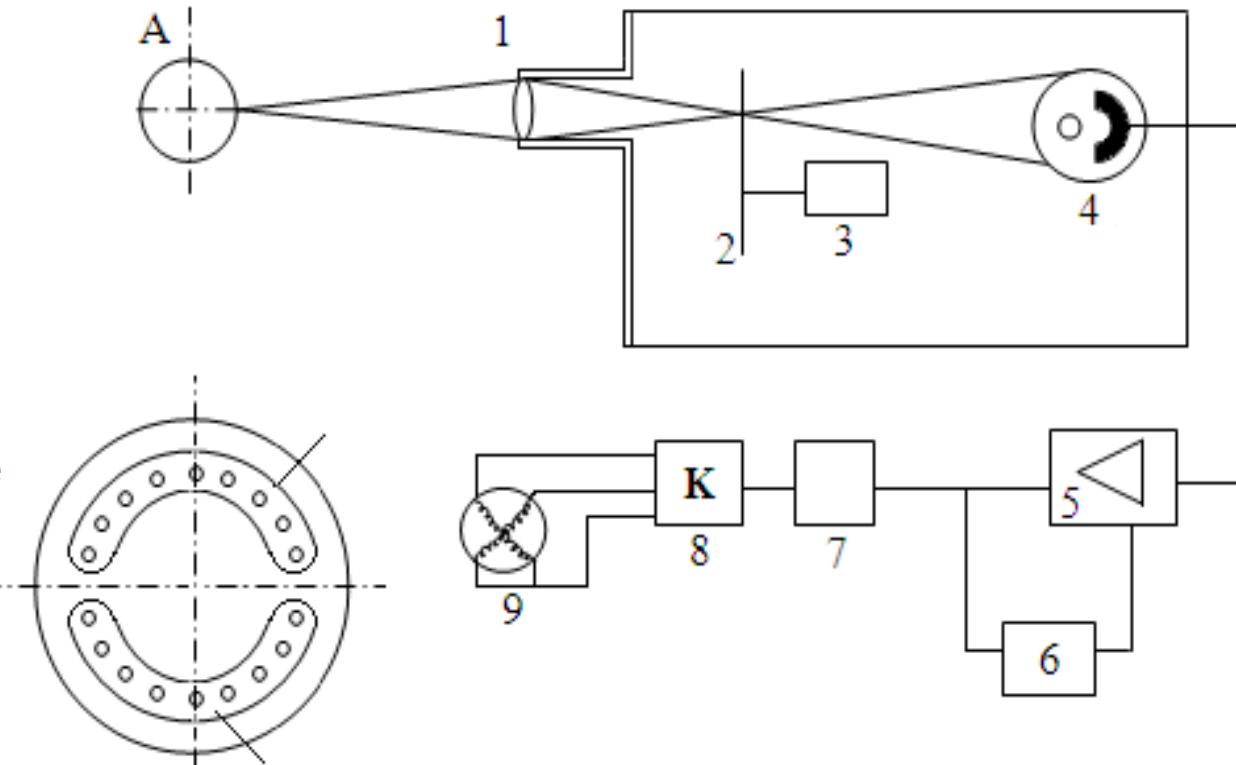
5 Khuếch đại

6 Tự động chỉnh hệ số khuếch đại

7 Lọc

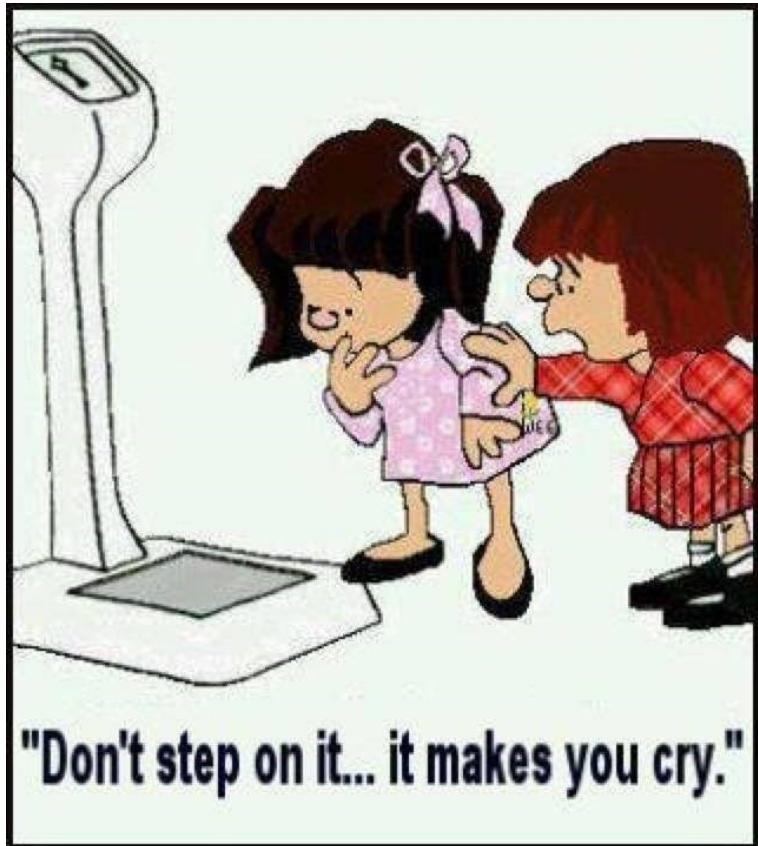
8 Khóa đổi nối

9 Logomet chia dòng quang học đỏ, xanh



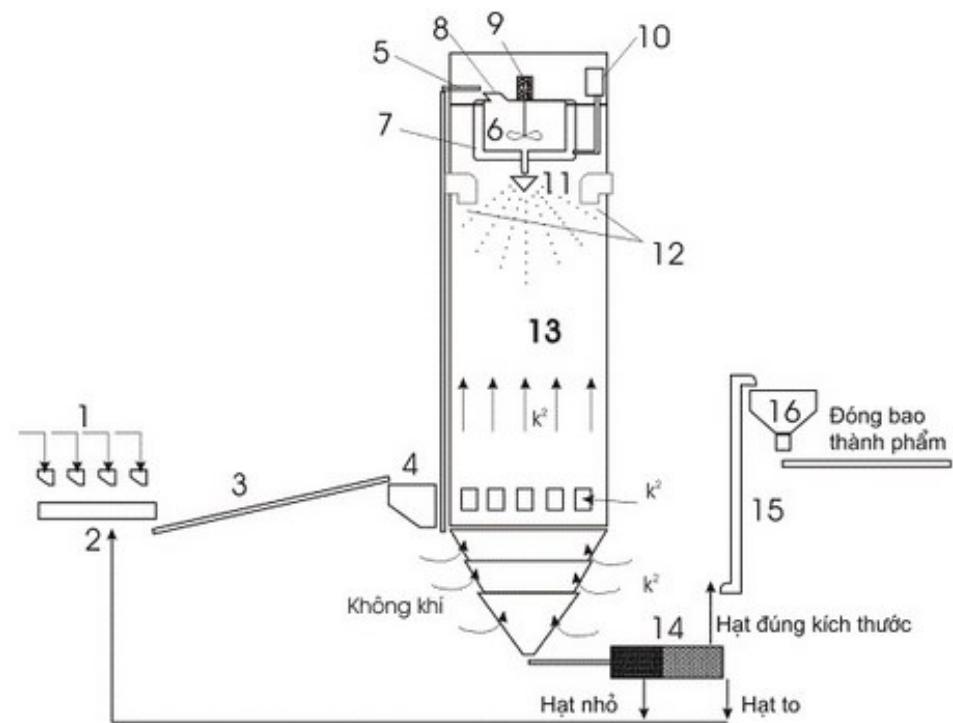
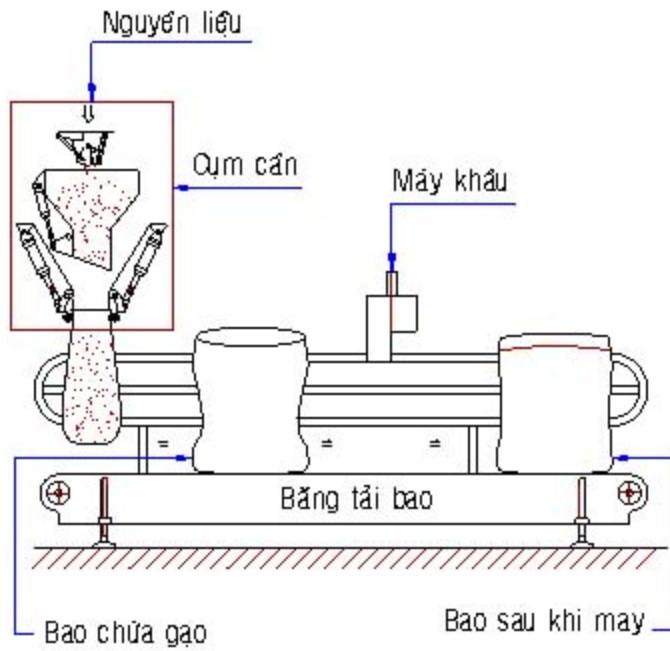
Chương 15: Đo Lực

■ Trong đời sống



Chương 15: Đo Lực

Vai trò đo lực



Chương 15: Đo Lực

- Lực là một đại lượng vật lý quan trọng
- Lực được xác định từ định luật cơ bản của động học

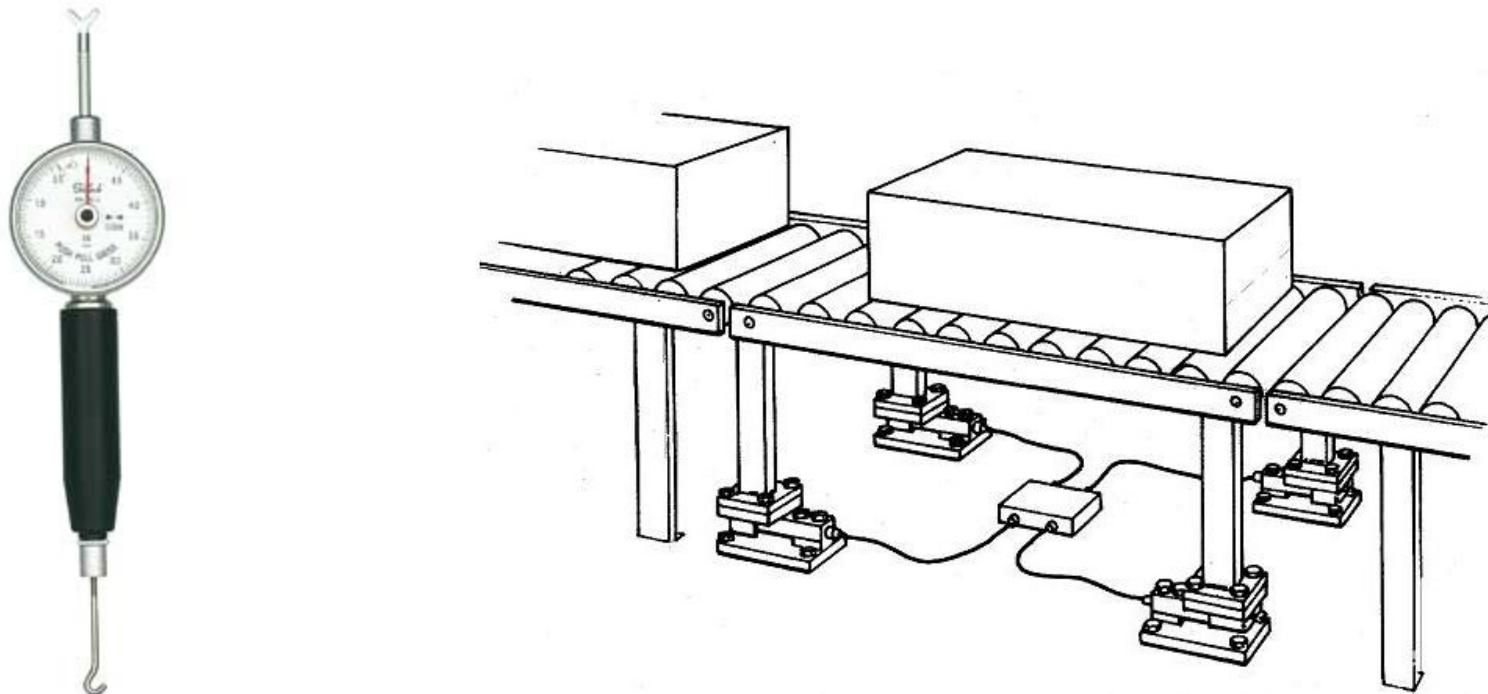
$$F=m.a.$$

Trong đó m là khối lượng (kg) chịu tác động của lực F gây nên bởi gia tốc a (ms^{-1}).

- Trọng lực P chính của vật chính là lực tác dụng lên vật đó trong trọng trường trái đất: $P=m.g$. Trong đó g chính là gia tốc trọng trường ($g=9.8$) phụ thuộc vào độ cao.
- Khi đo trọng lượng của một vật thực chất là ta xác định khối lượng của vật đó.
- Ngược lại, sử dụng khối lượng đã biết trước trong môi trường có gia tốc g thì ta sẽ thu được một lực xác định

Chương 15: Đo Lực

- Trong cảm biến đo lực thường có một vật trung gian chịu tác động của lực cần đo và bị biến dạng, biến dạng này là nguyên nhân của lực đối kháng: trong giới hạn đàn hồi biến dạng tỉ lệ với lực đối kháng (định luật hooke).



Chương 15: Đo Lực

- Biến dạng và lực cần gây nên biến dạng có thể đo trực tiếp bằng đầu đo biến dạng hoặc đo gián tiếp nếu một trong các tính chất điện của vật liệu làm vật trung gian phụ thuộc vào biến dạng (ví dụ như vật liệu áp điện và vật liệu từ giảo).
- Để đo lực, người ta có thể dùng các phương pháp chuyển đổi khác nhau nên mỗi loại sẽ có cấu tạo khác nhau và mạch đo khác nhau.

Chương 15: Đo Lực

- Để đo lực, người ta có thể dùng các phương pháp chuyển đổi khác nhau nên mỗi loại sẽ có cấu tạo khác nhau và mạch đo khác nhau. Sau đây là một số loại cảm biến lực mà ta thường gặp.
 - ❖ Cảm biến lực loại áp điện.
 - ❖ Cảm biến từ giảo.
 - ❖ Cảm biến từ đòn hồi.
 - ❖ Cảm biến chuyển đổi Tenzo.

Chương 15: Đo Lực

- Trong công nghiệp, để đo trọng lượng người ta sử dụng rất nhiều loại cân như cân trọng tải, cân băng tải.
- Cân được chia làm 3 bộ phận:
 - ❖ Bộ phận cơ khí tạo thành cân như kết cấu dầm, sàn, công son, kết cấu bộ phận đòn hồi trên băng tải v.v...
 - ❖ Tế bào cân hay tế bào mang tải (loadcell).
 - ❖ Hệ thống đo lường và gia công số liệu.
- Ở đây, chúng ta không xét đến phần kết cấu cơ khí của cân mà chỉ xét tới loadcell và hệ thống đo lường và gia công số liệu

Chương 15: Đo Lực

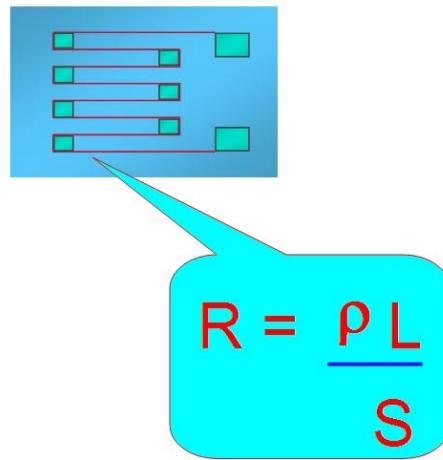
■ **Loadcell được cấu tạo từ 3 bộ phận chính:**

- ❖ 4 điện trở Tenzo: Được chế tạo từ các vật liệu đặc biệt chúng được cắt chính xác theo hình lưới. Tất cả các điện trở Tenzo đều có các thông số giống nhau
- ❖ Một lõi thép đặc biệt: Lõi thép có cấu tạo hình ống được chế tạo đặc biệt đảm bảo đặc tính co giãn, đàn hồi tuyến tính và độ mồi rất nhỏ.
- ❖ Vỏ bao bên ngoài: ở hai đầu ống thép gắn các vỏ phần tĩnh và phần động, vỏ có thể được chế tạo bằng hợp kim có độ chịu nhiệt và chịu mài mòn cao.

Chương 15: Đo Lực

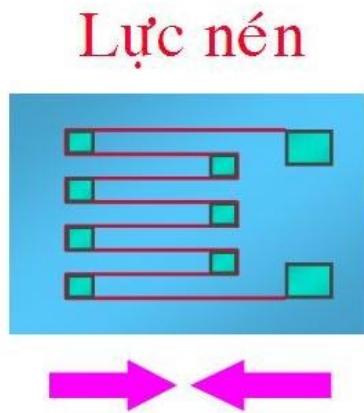
Điện trở lực căng (Strain gauge - tenzo)

- Strain gauge là thành phần cấu tạo chính của loadcell, nó bao gồm một sợi dây kim loại mảnh đặt trên một tấm cách điện đàn hồi.
- Để tăng chiều dài của dây điện trở strain gauge, người ta đặt chúng theo hình ziczac, mục đích là để tăng độ biến dạng khi bị lực tác dụng qua đó tăng độ chính xác của thiết bị cảm biến sử dụng strain gauge.



Chương 15: Đo Lực

■ Điện trở thay đổi tỷ lệ với lực tác động



Điện trở giảm

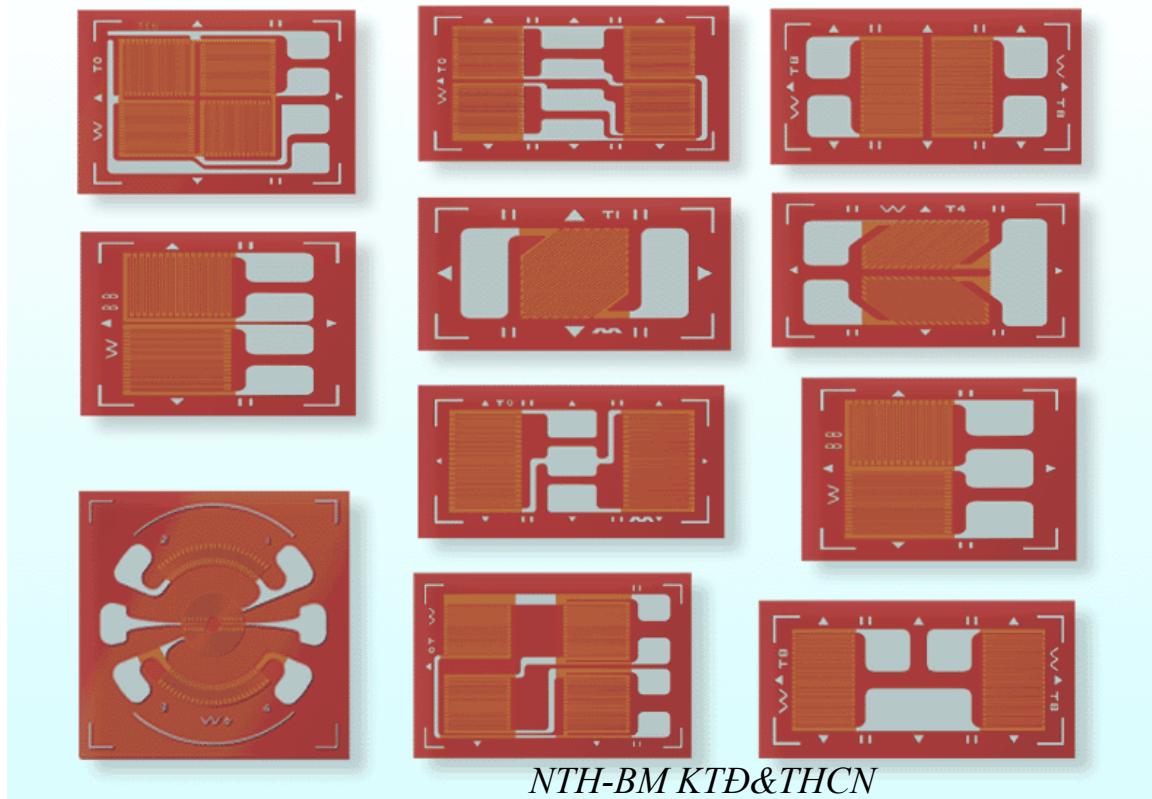


Điện trở
tăng

- Yêu cầu của vật liệu chế tạo tenzo là hệ số nhạy cảm lớn. Các vật liệu thường dùng làm tenzo là constantan (60%Cu+40%Ni), nikен...

Chương 15: Đo Lực

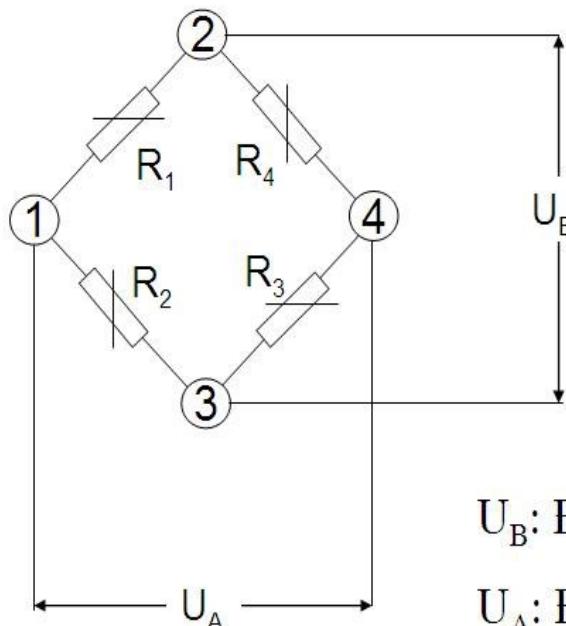
- Hầu hết các nhà sản xuất strain gauge cung cấp nhiều loại strain gauge khác nhau để phù hợp với các sản phẩm Loadcell khác nhau, các ứng dụng trong nghiên cứu và công nghiệp dự án khác nhau



Chương 15: Đo Lực

Cấu tạo tế bào tải (loadcell)

- Về nguyên tắc 1 Loadcell sẽ bao gồm 4 phần tử tenzo mắc thành 1 mạch cầu 4 nhánh.
- Mỗi phần tử tenzo là 1 điện trở lực căng ($R_x = R_0 + \Delta R$), trong đó R_0 là điện trở ban đầu của tenzo khi chưa có tác động của vật nặng, ΔR là lượng điện trở thay đổi khi có vật nặng làm loadcell biến đổi.



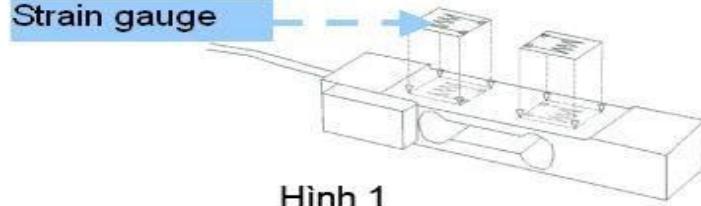
U_B : Điện áp cung cấp
 U_A : Điện áp tín hiệu ra

Chương 15: Đo Lực

Tế bào tải (loadcell)

Nhìn vào Hình 1: các điện trở strain gauges được dán vào bề mặt của thân loadcell. Khi bị kéo - nén, điện trở của strain gauge sẽ thay đổi tỉ lệ thuận với biến độ kéo - nén

Strain gauge



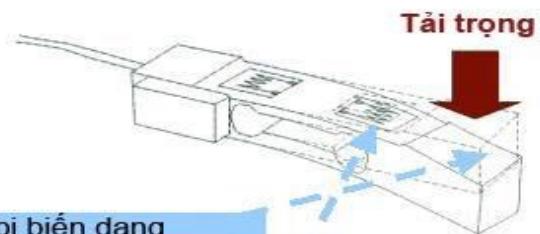
Hình 1



1) Loadcell bị biến dạng

2) Strain gauge bị biến dạng theo

3) Điện trở của các strain gauge bị thay đổi



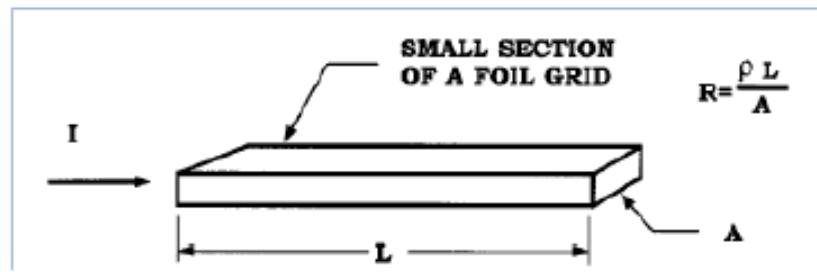
Hình 2

Nhìn vào Hình 2: Khi có tải trọng hoặc lực tác động lên loadcell làm cho loadcell bị biến dạng, điều đó dẫn tới sự biến dạng các điện trở strain gauges dán trên thân loadcell dẫn đến một sự thay đổi giá trị của các điện trở strain gauges. Sự thay đổi này dẫn tới sự thay đổi trong điện áp đầu ra nếu một điện áp kích thích được cung cấp cho ngõ vào loadcell. Nói cách khác, loadcell đã chuyển đổi lực tác dụng thành tín hiệu điện.

Chương 15: Đo Lực

Điện trở lực căng (tenzo)

- Đặc trưng cơ bản của chuyển đổi tenzo là hệ số nhạy cảm tương đối K.



where R = Resistance
 ρ = Resistivity
L = Length
A = Area of the cross-section

$$\text{Ta có } \frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$$

$$\text{và } \varepsilon_R = \varepsilon_l$$

Mặt khác ta có
$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}$$



$$\varepsilon_R = \varepsilon_\rho + \varepsilon_l - \varepsilon_S$$

Trong cơ học ta có $\varepsilon_S = -2K_p \varepsilon_l$; K_p hệ số Poisson

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

Độ nhạy của chuyển đổi: $K = \varepsilon_R / \varepsilon_l = 1 + 2K_p + m$

Chương 15: Đo Lực

Tế bào tải (loadcell)

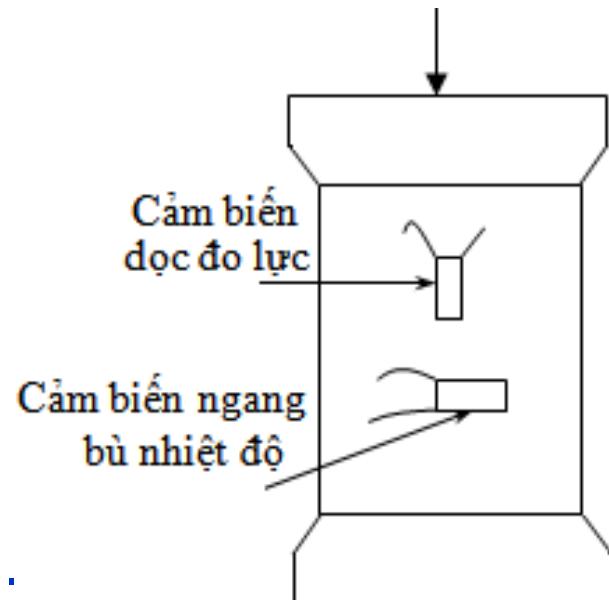
- Tế bào tải là một kết cấu đòn hồi bằng thép chất lượng cao, đảm bảo giải biến dạng đòn hồi rộng
- Biến dạng được tính:

$$\varepsilon_1 = \frac{F}{SE}$$

F: lực tác động lên loadcell;

S: tiết diện phần tử đòn hồi;

E: modul đòn hồi thép làm loadcell.



Chương 15: Đo Lực

- Cảm biến điện trở lực căng được nuôi cấy trên phần tử đòn hồi. Nó gồm 4 điện trở, 2 điện trở dọc là điện trở tác dụng, 2 điện trở ngang là điện trở bù nhiệt độ, 4 điện trở này được nối thành cầu hai nhánh hoạt động

$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{2} \frac{\Delta R}{R} = \frac{U_{CC}}{2} k \varepsilon_1$$

U_{CC} : điện áp cung cấp cho cầu;

$\Delta R/R$: biến thiên điện trở do biến dạng của phần tử đòn hồi;

ε_1 : biến dạng tính theo công thức trên;

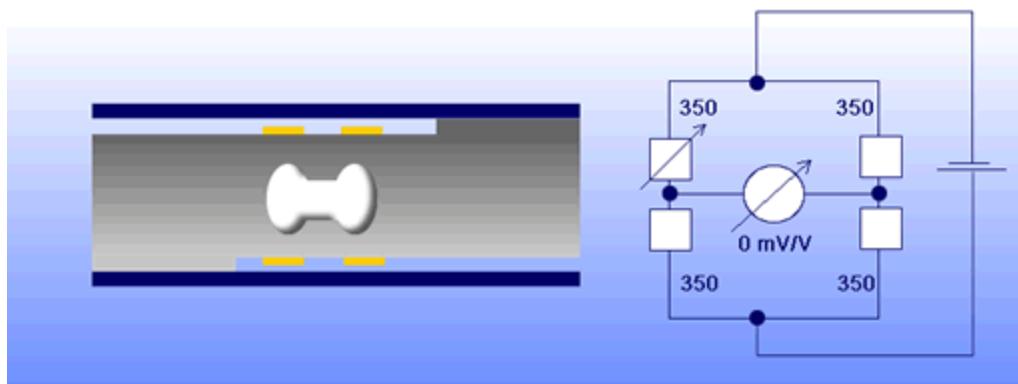
k: độ nhạy của cảm biến điện trở lực căng.

Chương 15: Đo Lực

- Khi chế tạo xong, nhà chế tạo cho ta độ nhạy của loadcell là:

$$\frac{\Delta U}{U_{CC}} = KF \quad (mV/V)$$

- Như vậy, nếu độ nhạy loadcell là 2mV/V thì khi cung cấp điện áp 12V, điện áp định mức ở đường chéo cầu là: $12 \times 2 = 24mV$.



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

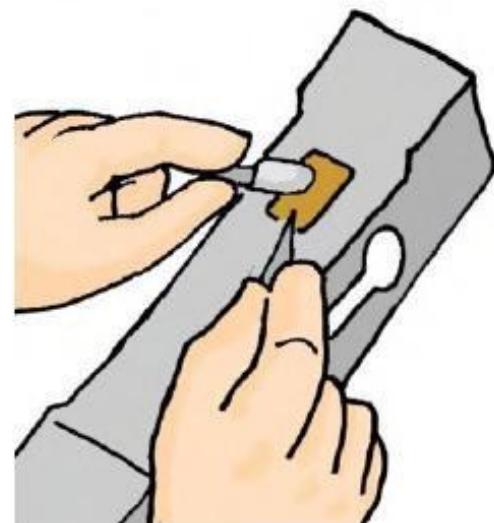
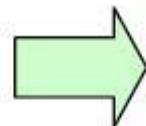
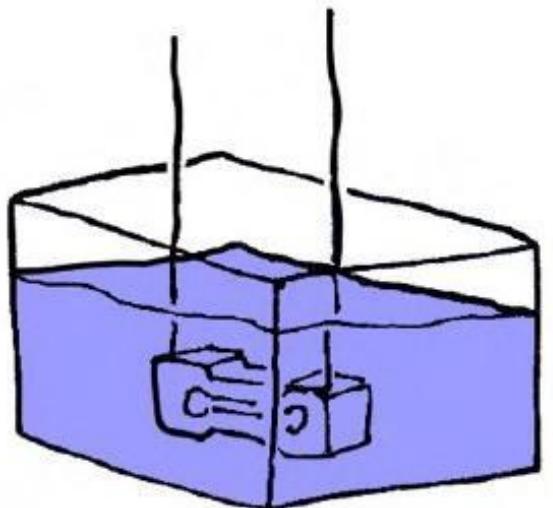
- Gia công thân Loadcell với một hình dạng phức tạp để tối ưu các vị trí biến dạng để dán các điện trở strain gauge
 - ❖ Kiểm soát độ nhám bề mặt các vị trí dán strain gauge trên thân loadcell thông qua đánh bóng bề mặt
 - ❖ Mục đích là tăng cường độ kết dính của strain gauge với thân loadcell.



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

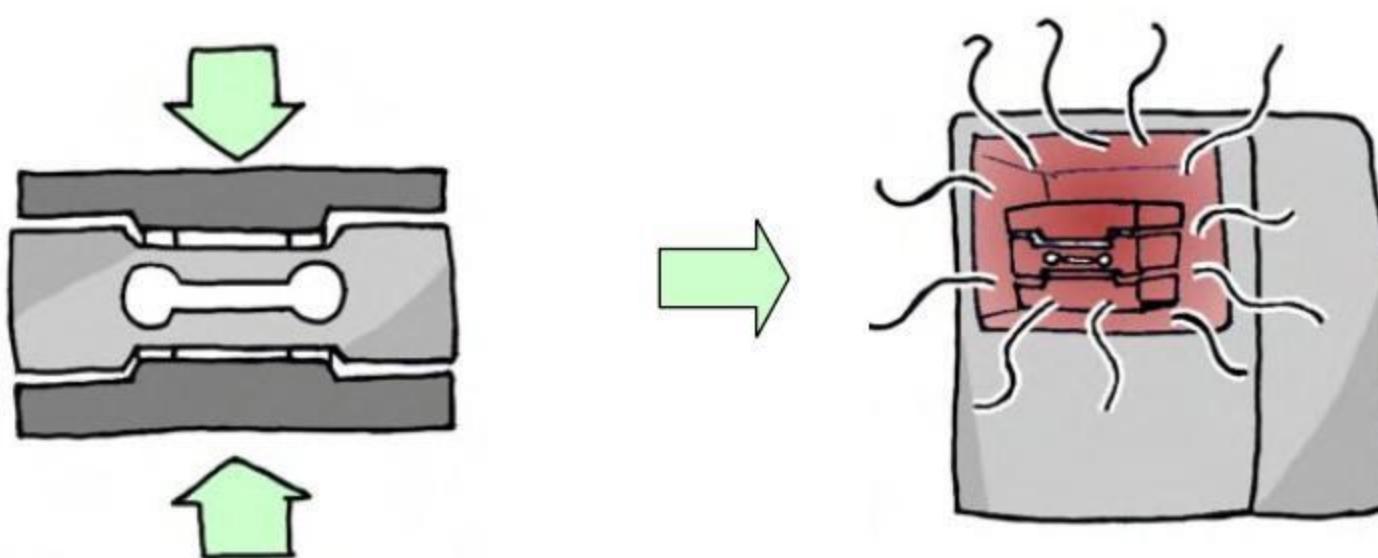
- Nhúng keo và dán các tấm strain gauge lên thân loadcell



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

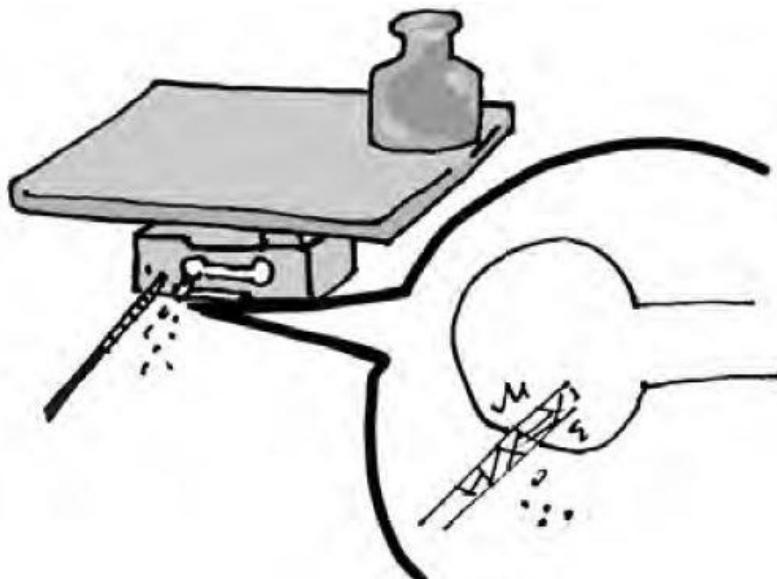
- **Tăng cường sự kết dính giữa tâm strain gauge và thân loadcell:** Một khuôn ép được sử dụng để tạo áp lực giữa các strain gauge với thân Loadcell. Khuôn được đặt trong một nhiệt độ cao để tăng cường tác dụng kết dính của lõi keo dính



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

- **Hiệu chỉnh tải trọng các vị trí khác nhau của loadcell:** Loadcell được gắn vào một khung bàn cân. Thân Loadcell mài giữa, điều chỉnh cho đến khi số hiển thị là giống nhau khi có cùng 1 tải trọng đặt lên bất kì góc bàn cân nào.

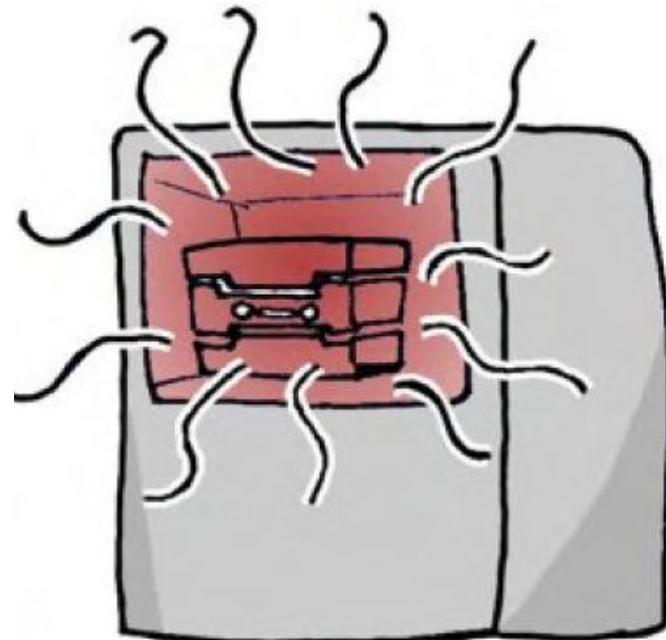


Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

■ Kiểm tra tín hiệu loadcell theo nhiệt độ thay đổi:

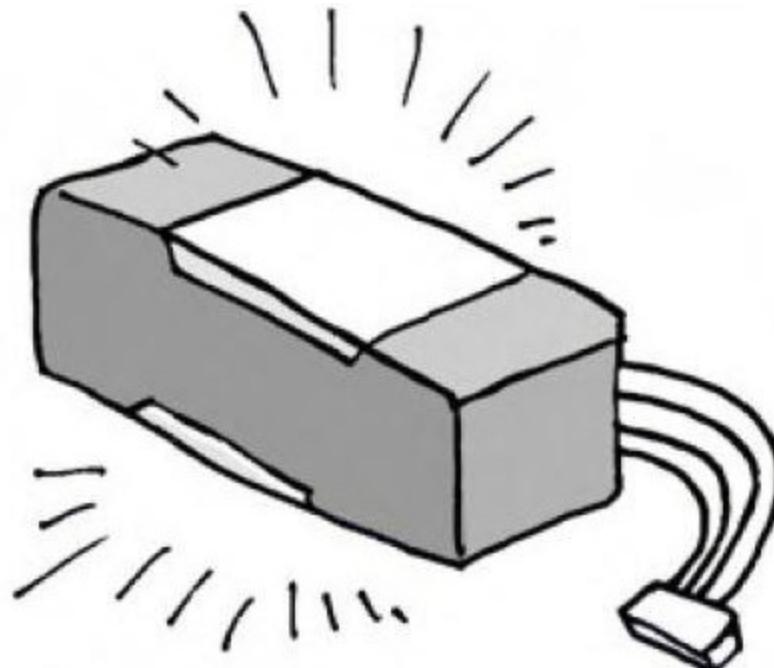
- ❖ Loadcell được đặt trong một buồng kín và nhiệt độ xung quanh được điều chỉnh trong 1 phạm vi nhất định, điện áp tín hiệu ngõ ra của loadcell được đo ở nhiệt độ thấp và nhiệt độ cao
- ❖ Nếu kết quả tín hiệu ngõ ra của loadcell không đạt yêu cầu kỹ thuật, một điện trở bù trừ nhiệt độ sẽ được tích hợp vào mạch cầu straingauge.



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

- **Phủ silicon bảo vệ:** Bề mặt dán các strangauge và mạch điện trở của loadcell sẽ được phủ một lớp silicon đặc biệt bảo vệ straingauge, mạch điện trở và hệ thống dây điện từ khỏi tác động của độ ẩm môi trường.



Chương 15: Đo Lực

- Tùy theo cấu tạo loadcell và vị trí cần khảo sát ta có thể đặt tenzo cho hợp lí theo đúng nguyên tắc và có thể bù được nhiệt độ và đạt sai số nhỏ.

Figure 1 Compressive load transducer

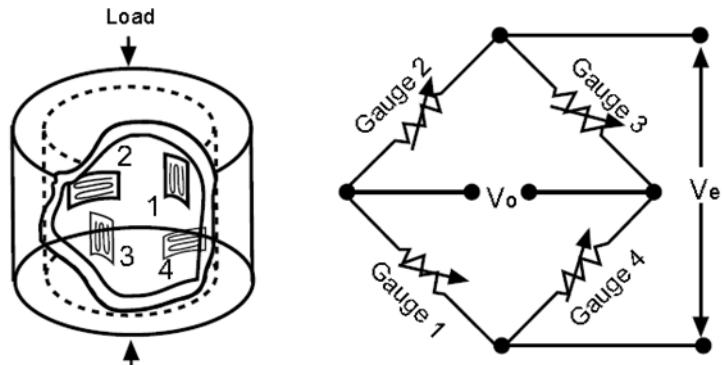
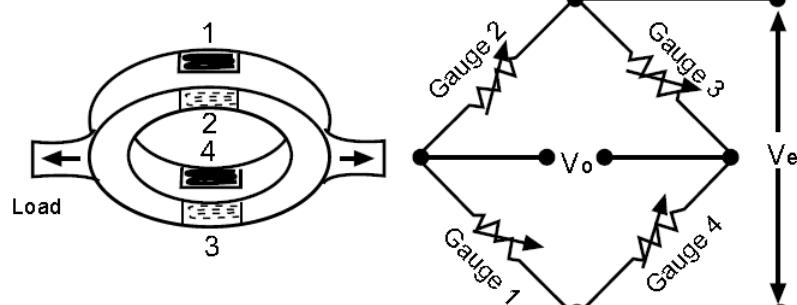


Figure 2 Tensile load transducer



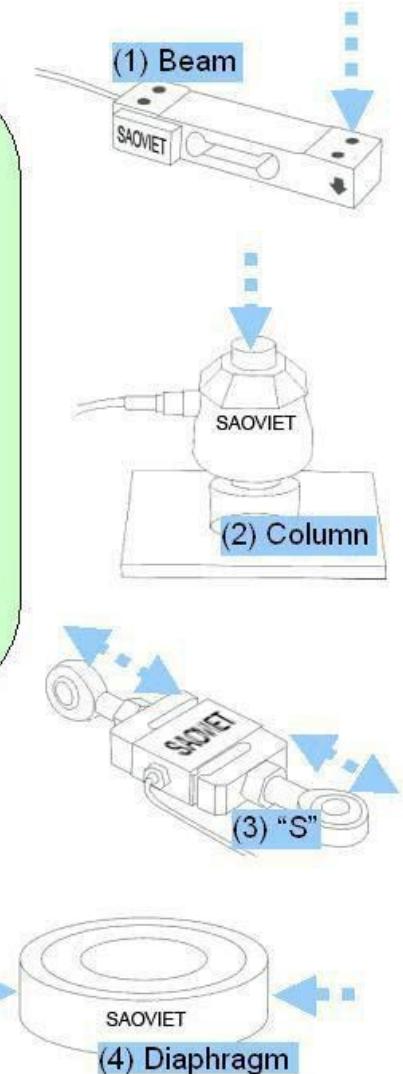
Chương 15: Đo Lực

■ Loadcell bao gồm các loại cơ bản

Loadcell được chia ra thành 4 loại chính, theo như hình bên là:

- (1) Loadcell dạng thanh (beam type loadcell)
- (2) Loadcell dạng trụ (Column type loadcell)
- (3) Loadcell dạng chữ "S" ("S" type loadcell)
- (4) Loadcell dạng mỏng (Diaphragm type loadcell)

Chiều mũi tên màu xanh là chiều lực tác dụng lên loadcell



Chương 15: Đo Lực

■ Các hình dạng loadcell

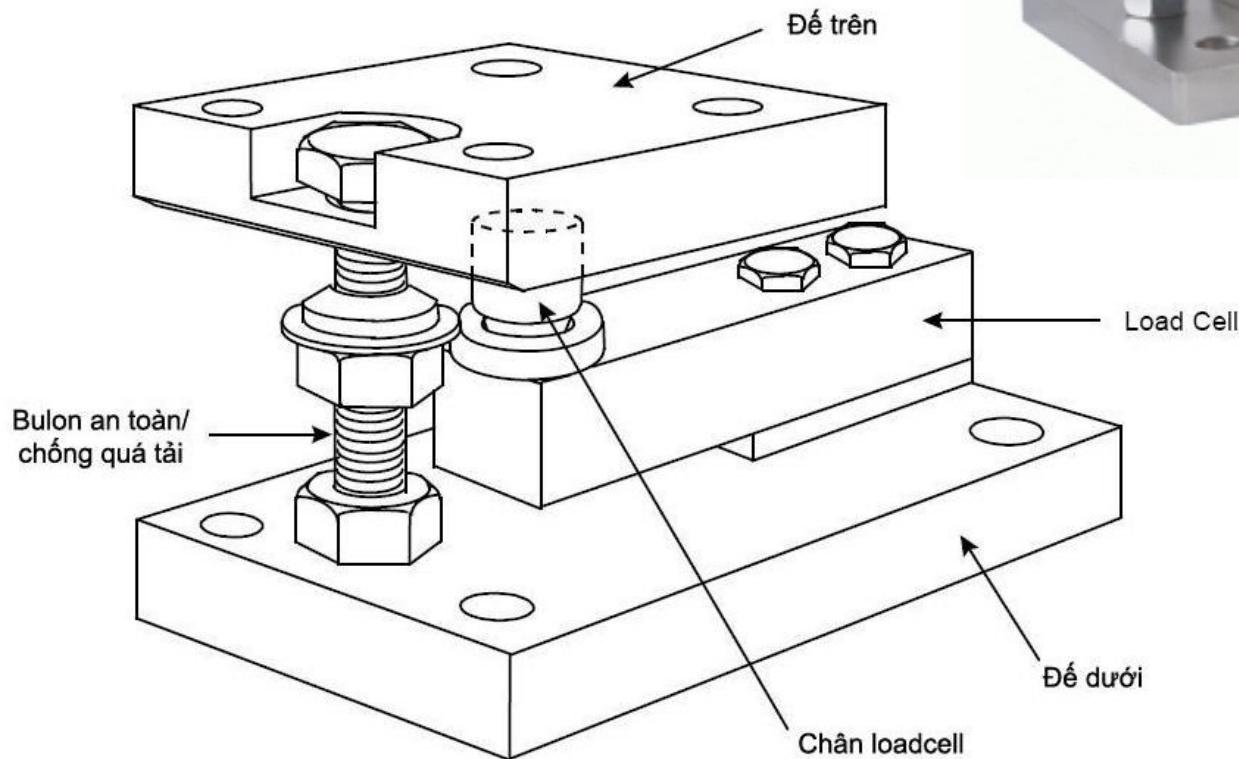


Product Compression Load Cells



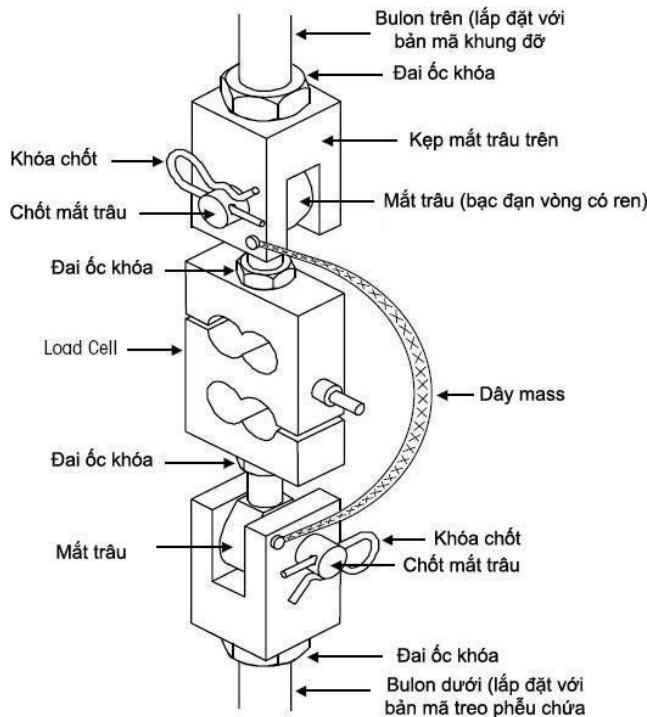
Chương 15: Đo Lực

■ Cách lắp đặt loadcell cân



Chương 15: Đo Lực

■ Cách lắp đặt loadcell cân



Chương 15: Đo Lực

Mạch đo

- Vậy điện áp ra (Ura) sẽ tỷ lệ với lực tác động (trọng lượng) lên loadcell, đưa Ura khuếch đại rồi đưa vào ADC và đưa vào VXL -> Hiển thị kết quả

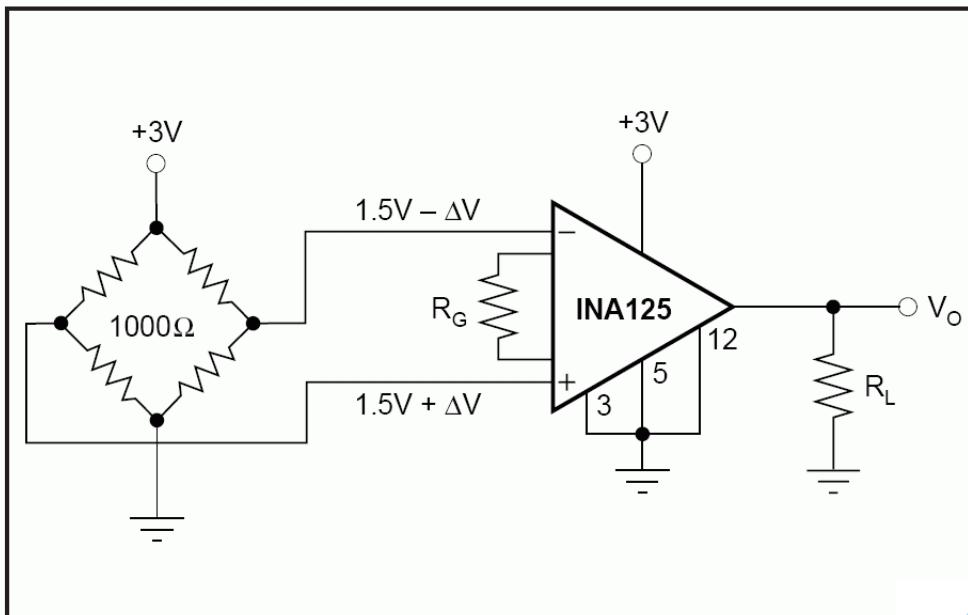
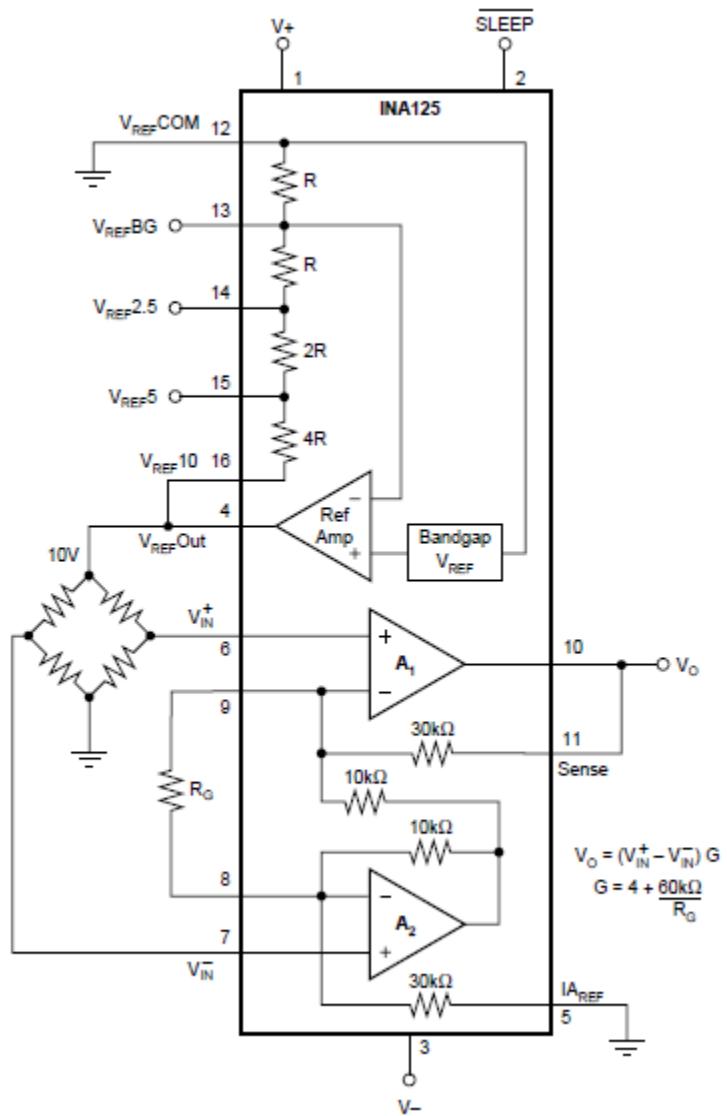
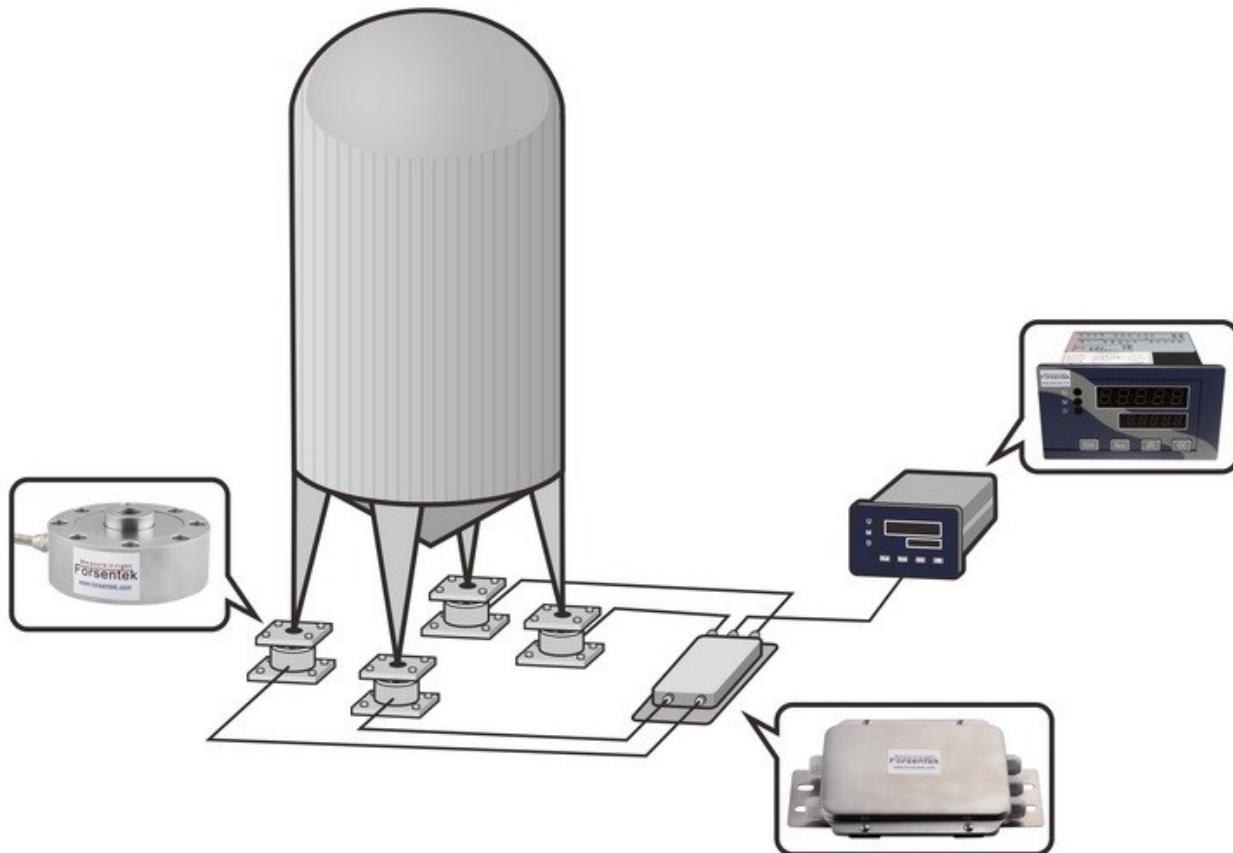


FIGURE 5. Single Supply Bridge Amplifier.



Chương 15: Đo Lực

- Với 1 cân điện tử bạn có thể sử dụng 4 loadcell đặt ở 4 góc của bàn cân, 4 tín hiệu này được đưa vào một bộ cộng điện áp trước khi đưa vào ADC



Chương 15: Đo Lực

- Để đo 0-2kg người ta sử dụng một loadcell có độ nhạy cầu là 1.6mV/V . Biết điện áp cung cấp là 10V . Chọn loại loadcell và vẽ sơ đồ mạch mắc cảm biến
 - ❖ Tính điện áp ra khi có một khối lượng 0.8kg
 - ❖ Hãy chọn mạch chuẩn hóa tín hiệu và tính toán các giá trị điện trở để đưa tín hiệu đo vào ADC có dải điện áp $0-3.3\text{V}$?
 - ❖ Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy $< 0.0015\text{kg}$, lựa chọn ADC. Tính khối lượng của vật khi đầu ra $101\ 1010\ 1111$.

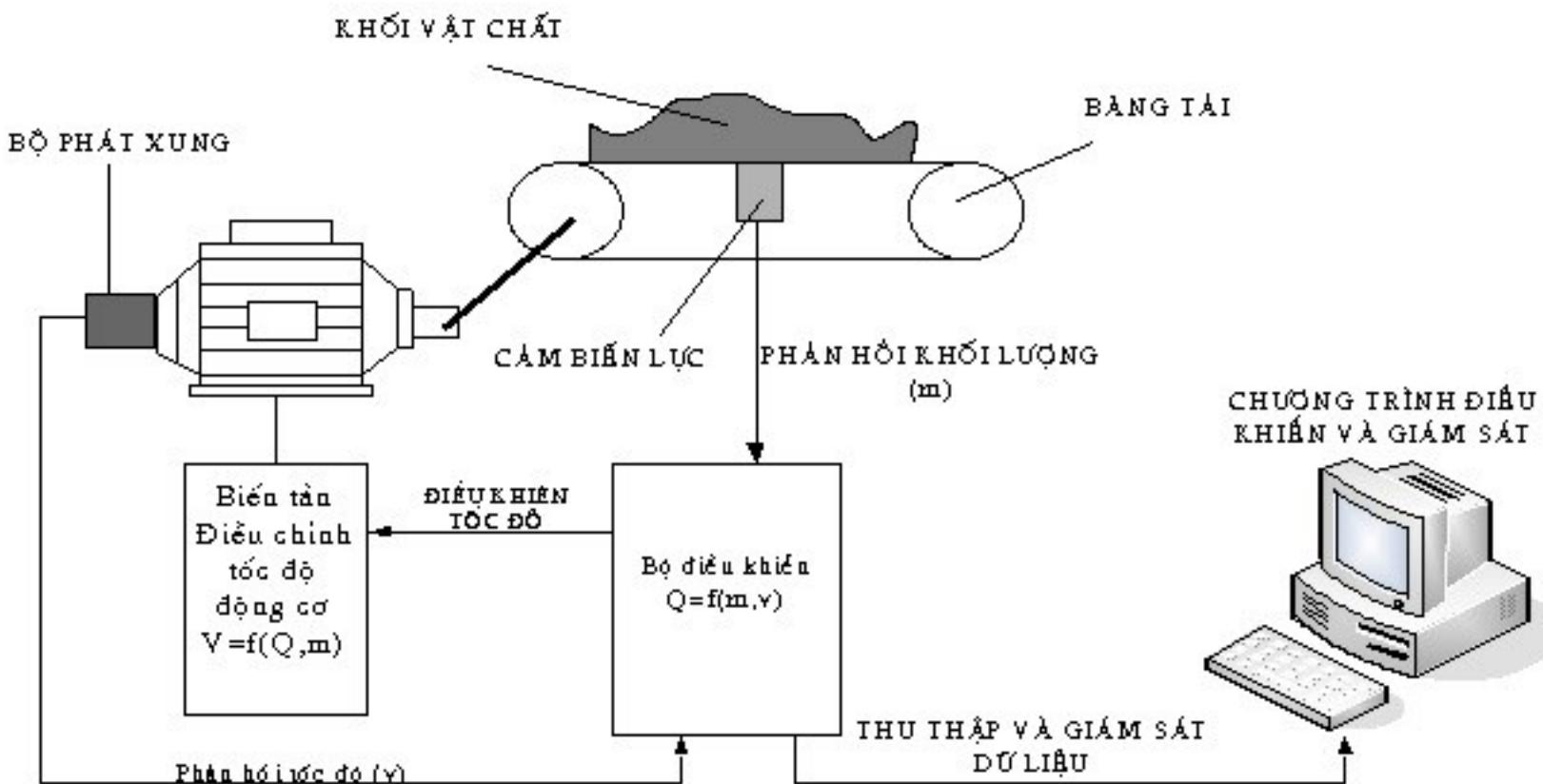
Chương 15: Đo Lực

■ Cân tải động



Chương 15: Đo Lực

Cân băng tải



Hình 1: Sơ lược về hệ thống điều khiển cân băng tải

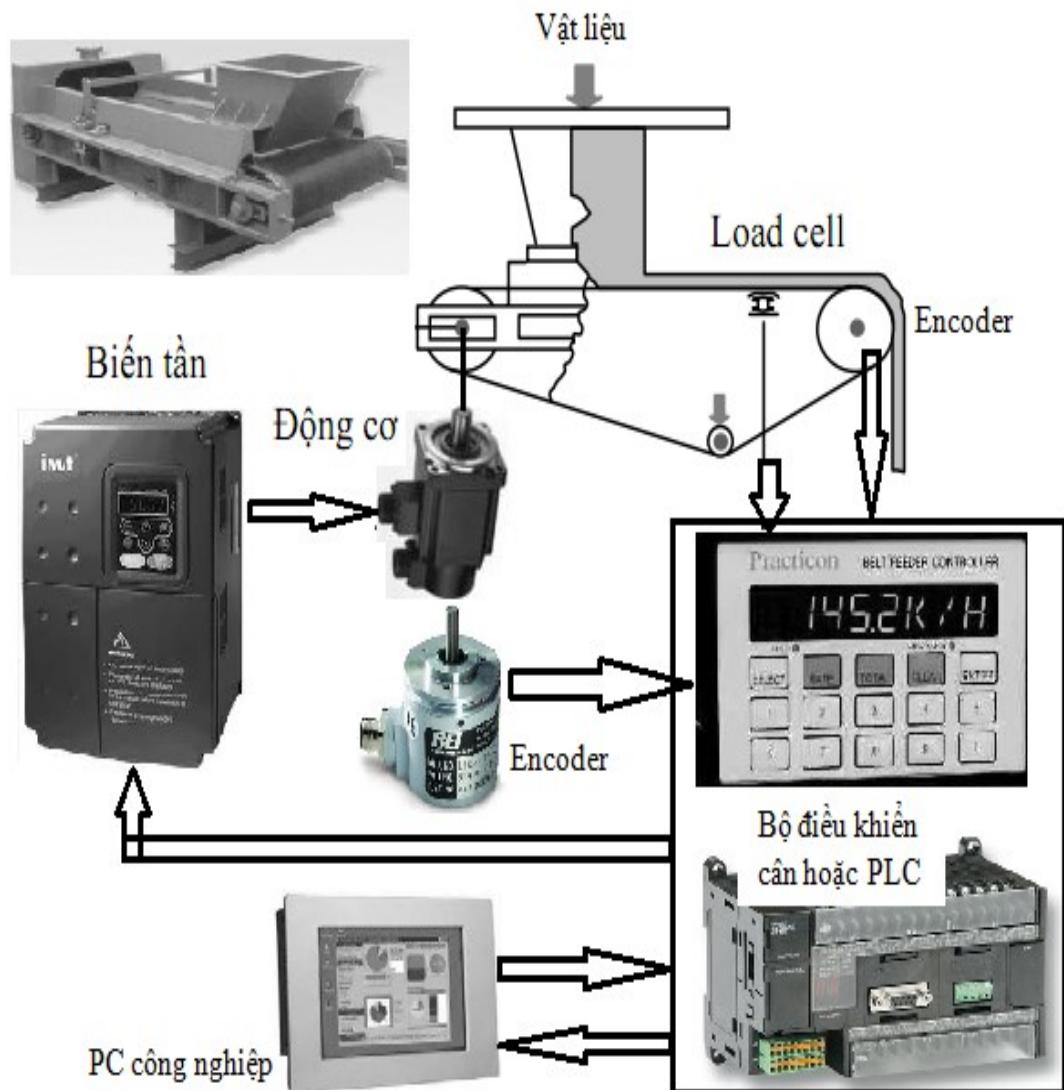
Chương 15: Đo Lực

- Hình bên là một hệ thống cân bằng định lượng, trong đó tổng tích luỹ vật liệu của băng cân sau thời gian t là:

$$M \text{ (kg)} = k \cdot v \cdot m \cdot t$$

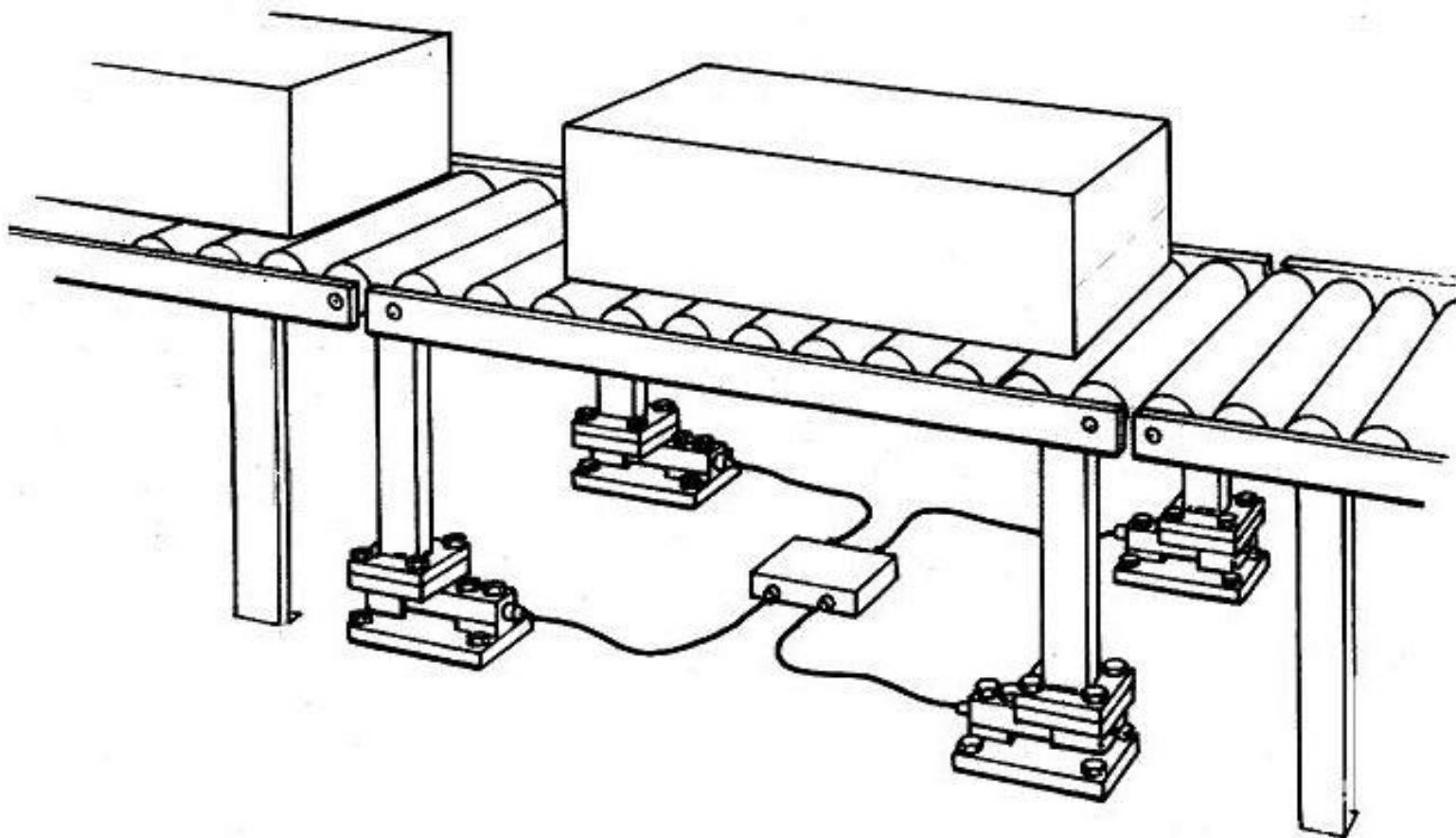
Trong đó

- k là một hệ số tỷ lệ,
- v là vận tốc băng cân được xác định từ cảm biến đo tốc độ encoder,
- m khối lượng tức thời từ cảm biến đo khối lượng loadcell,
- t là thời gian hoạt động.



Chương 15: Đo Lực

■ Cân tải động



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI



CẢM BIẾN VÀ XỬ LÝ TIN HIỆU

Nguyễn Thị Huế

BM: Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp

Nội dung môn học

- Chương 1: Tổng quan về cảm biến
- Chương 2: Các mạch xử lý trong đo lường
- Chương 3: Cảm biến dựa trên nguyên lý điện trở (đo lực, áp suất,...)
- Chương 4: Cảm biến dựa trên nguyên lý nhiệt điện
- Chương 5: Cảm biến trên nguyên lý điện dung, cảm biến tiệm cận
- Chương 6: Cảm biến quang (Quang trở, photodiode, phototransistor,...)
- Chương 7: Cảm biến đo thông số chuyển động (di chuyển, khoảng cách,...)

Tài liệu tham khảo

- Sách:
 - ❖ Kĩ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, 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

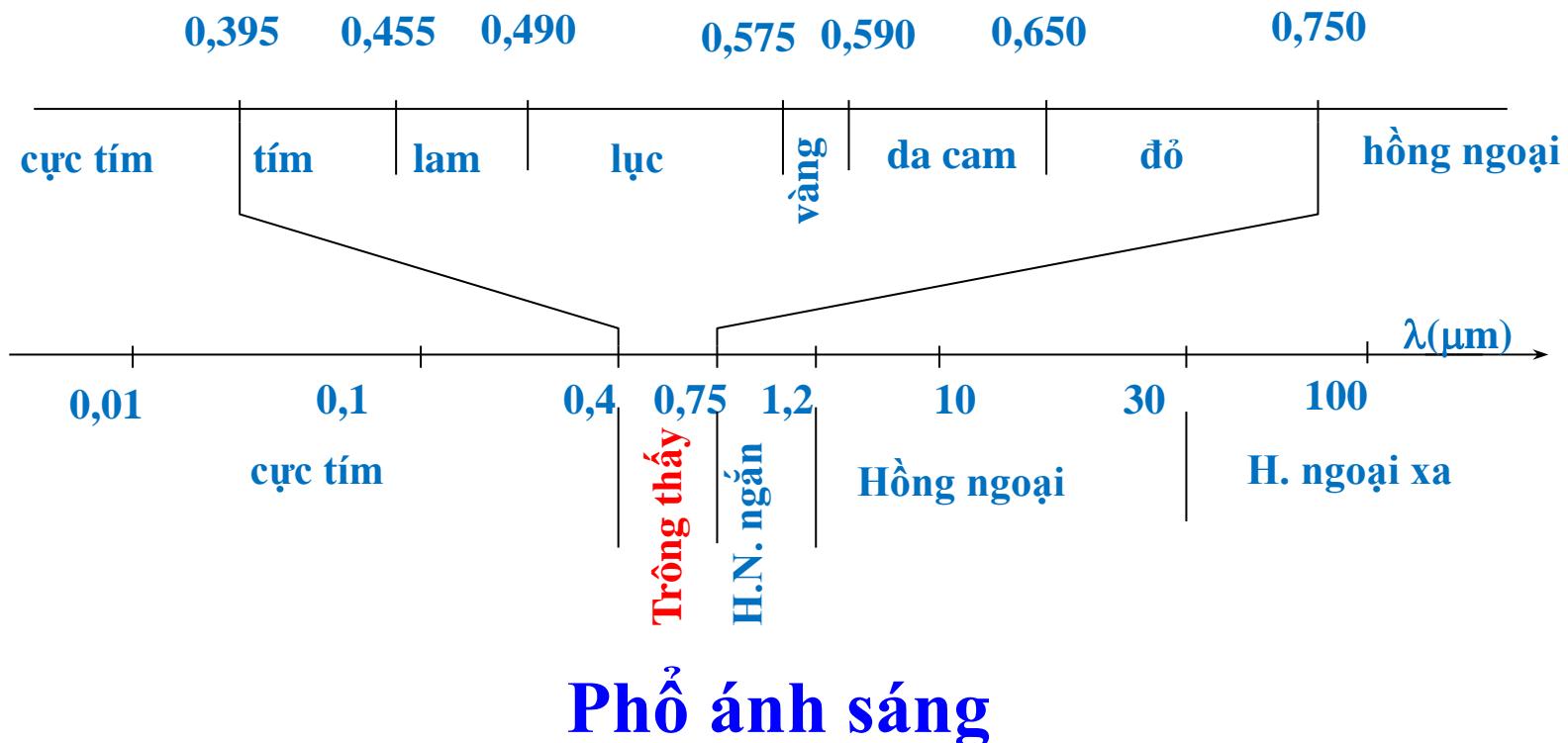
Cảm biến quang

- Ánh sáng và các thông số của ánh sáng
- Hiệu ứng quang điện trong với chế độ quang dẫn
 - ❖ Quang trở
 - ❖ Photodiode quang
 - ❖ Phototransistor
- Hiệu ứng quang điện trong với chế độ quang thế
- Hiệu ứng quang điện ngoài

1. Tính chất và đơn vị đo

1.1 Tính chất ánh sáng

a) **Tính chất sóng:** một dạng của sóng điện từ:



I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

1. **Tính chất của ánh sáng**

Ánh sáng có hai tính chất cơ bản: sóng và hạt.

➤ Tính chất

- ❖ Dạng sóng của ánh sáng là sóng điện từ, phát ra khi có sự dịch chuyển điện tử giữa các mức năng lượng của nguyên tử của nguồn sáng.
- ❖ Các sóng này truyền đi trong chân không với vận tốc: $c = 299792\text{km/s}$.
- ❖ Trong vật rắn, ánh sáng có vận tốc: $v = c/n$, với n : chiết suất của môi trường.
- ❖ Mối liên hệ giữa tần số và bước sóng $\lambda = v/f$

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

➤ Tính chất hạt của ánh sáng thể hiện qua sự tương tác của nó với vật chất.

❖ Ánh sáng bao gồm các hạt photon, với năng lượng W_ϕ phụ thuộc duy nhất vào tần số:

$$W_\phi = h\nu = hc/\lambda \quad h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} : \text{hằng số Planck}$$

❖ Khi một photon được hấp thụ sẽ có một điện tử được giải phóng nếu $W_\phi \geq W_{lk}$.

$$W_\phi = hc / \lambda \geq W_{lk} \quad \text{hay} \quad \lambda \leq hc / W_{lk} = 1,237 / W_{lk} \quad (\mu\text{m})$$

W_{lk} : năng lượng liên kết điện tử và ion

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

- ❖ Với mỗi loại vật liệu khi bị chiếu sáng, loại điện tích được giải phóng là khác nhau
 - ✓ Với điện môi và bán dẫn tinh khiết, loại điện tích được giải phóng là cặp điện tử - lỗ trống.
 - ✓ Với bán dẫn pha tạp:
 - Bán dẫn loại n: loại điện tích được giải phóng là điện tử.
 - Bán dẫn loại p: loại điện tích được giải phóng là lỗ trống.
- Hiện tượng giải phóng hạt dẫn dưới tác dụng của ánh sáng bằng hiệu ứng quang điện → sự thay đổi tính chất điện của vật liệu.
- Đây là nguyên lý cơ bản của cảm biến quang

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

2. Các thông số ánh sáng

Đơn vị đo năng lượng

- Năng lượng bức xạ Q: Năng lượng phát ra, lan truyền hoặc hấp thụ dưới dạng bức xạ, đơn vị Jun (J)
- Thông lượng ánh sáng Φ: Công xuất phát ra, lan truyền hoặc hấp thụ, đơn vị oat (W)

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

- Cường độ sáng I: luồng năng lượng phát ra theo một hướng cho trước dưới một đơn vị góc khối

Đơn vị cd

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

- Độ chói năng lượng L: Tỷ số giữa cường độ ánh sáng bởi một phần tử bề mặt dA theo một phương xác định và diện tích hình chiếu của phần tử này dA_n trên mặt phẳng vuông góc với hướng đó:

$$L = \frac{dI}{dA_n}$$

$$dA_n = dA \cos \theta$$

- Độ dọi năng lượng (E) là tỷ số giữa luồng năng lượng thu được bởi một phần tử bề mặt và diện tích của phần tử đó

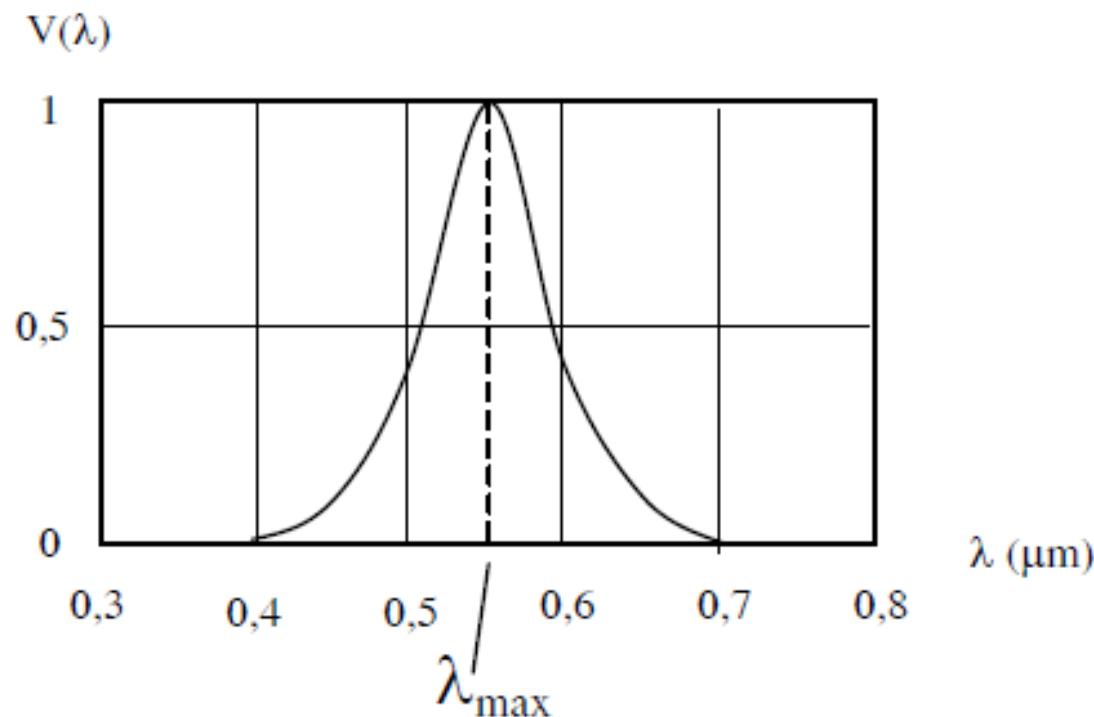
Đơn vị: oat/m² hoặc lux

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

I. Ánh sáng và các thông số của ánh sáng

Đơn vị đo thị giác

- ❖ Độ nhạy của mắt người đối với ánh sáng có bước sóng khác nhau là khác nhau.



Đường cong độ nhạy tương đối của mắt

Đơn vị đo quang

Đơn vị đo thị giác:

| Đại lượng đo | Đơn vị năng lượng | Đơn vị thị giác |
|--------------|---------------------|--|
| Thông lượng | W | lumen(lm) |
| Cường độ | W/sr | cadela(cd) |
| Độ chói | W/sr.m ² | cadela/m ² (cd/m ²) |
| Độ rọi | W/m ² | lumen/m ² hay lux (lx) |
| Năng lượng | J | lumen.s (lm.s) |

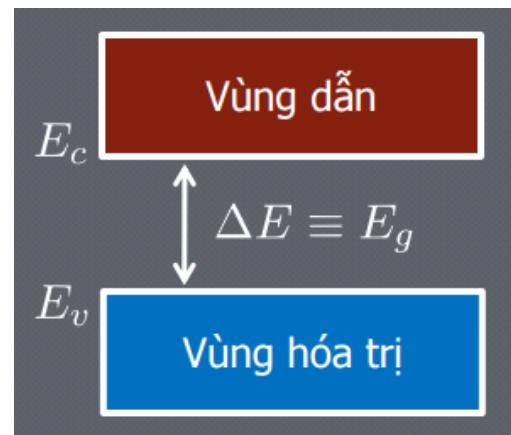
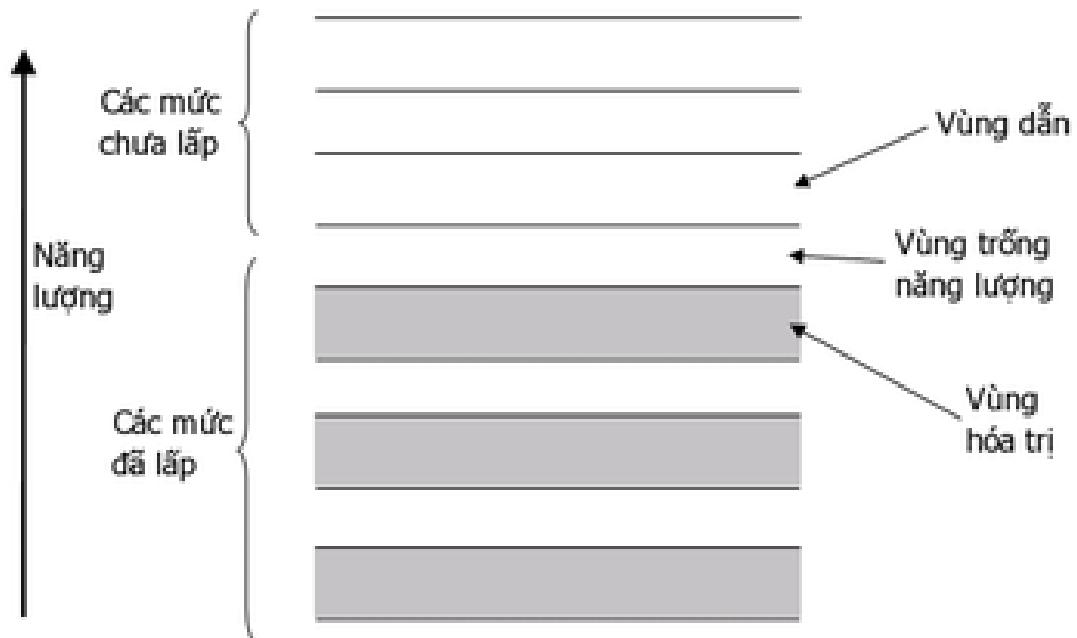
Hiệu ứng quang điện trong

Định nghĩa: là hiện tượng giải phóng các electron liên kết của chất bán dẫn để trở thành các electron quang dẫn do tác dụng của bức xạ thích hợp.

- Hạt dẫn được giải phóng do chiếu sáng phụ thuộc vào bản chất của vật liệu bị chiếu sáng.
 - ❖ Đối với các chất bán dẫn tinh khiết các hạt dẫn là cặp điện tử - lỗ trống.
 - ❖ Đối với trường hợp bán dẫn pha tạp, hạt dẫn được giải phóng là điện tử nếu là pha tạp dono hoặc là lỗ trống nếu là pha tạp accepto.

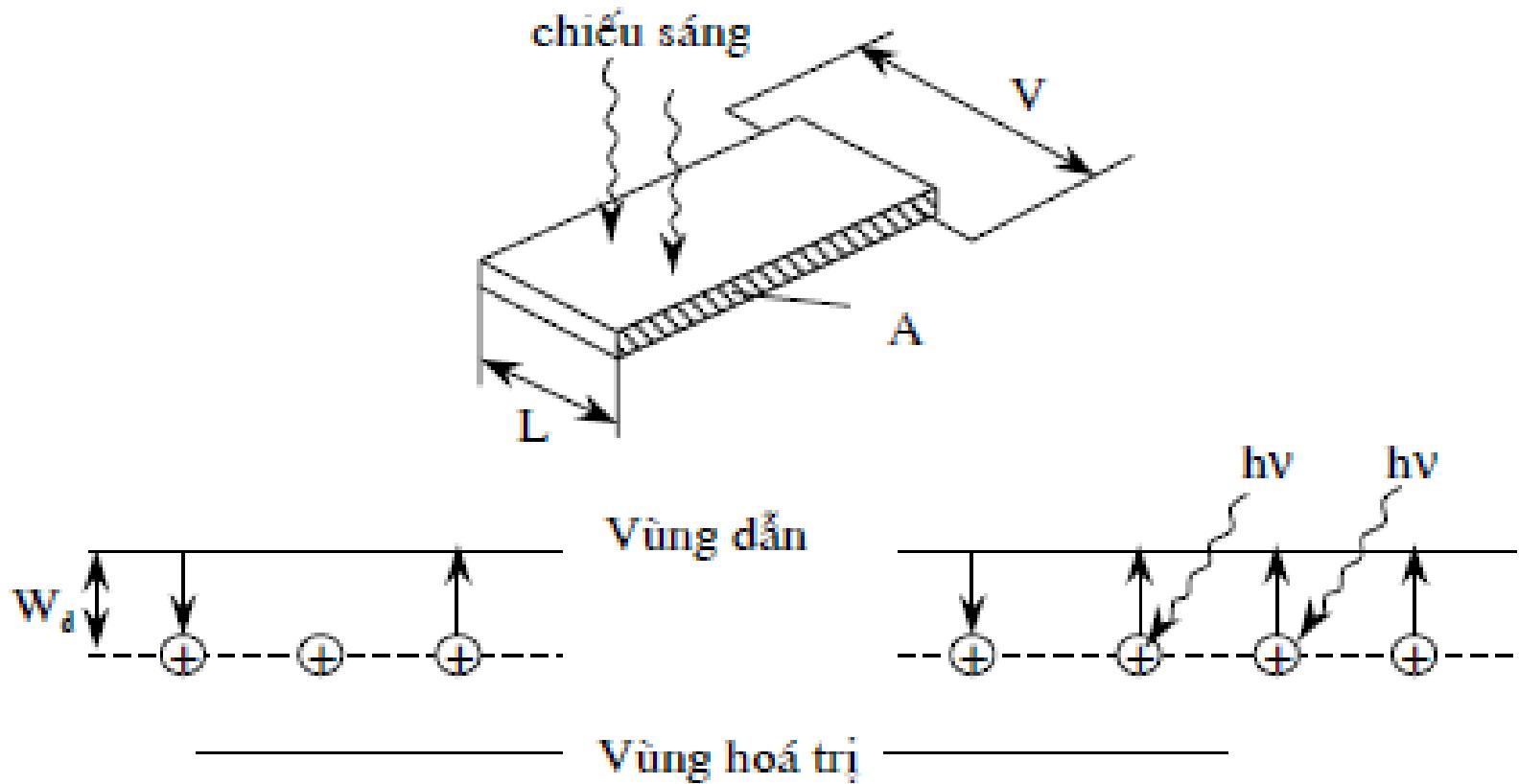
Hiệu ứng quang điện trong

- Người ta phân biệt chất dẫn điện, bán dẫn và cách điện dựa trên độ rộng vùng cấm
- Với chất bán dẫn độ rộng vùng cấm khoảng 0.3 đến 3eV



Hiệu ứng quang điện trong

Xét vật liệu bán dẫn



Hiệu ứng quang dẫn

- Mật độ điện tử trong tối:

$$n_0 = \frac{a}{2.r} + \left(\frac{a^2}{4r^2} + \frac{aN_d}{r} \right)^{1/2}$$

$N_d \rightarrow$ Nồng độ tạp chất loại N

$a = \exp\left(-\frac{qW_d}{kT}\right) \rightarrow$ Hệ số tỉ lệ giải phóng e.

$r \rightarrow$ Hệ số tái hợp.

Hiện tượng quang điện trong:

■ Độ dẫn trong bóng tối

$$\delta_0 = q\mu n_0$$

■ Trong đó

- ❖ Q: là giá trị của điện tích
- ❖ n_0 : mật độ điện tử trong đối
- ❖ μ : là độ linh động của điện tử

Hiện tượng quang điện trong:

- Đối với vật liệu có hệ số phản xạ R lớn và được chiếu sáng bởi ánh sáng đơn sắc

- ❖ Số photon chiếu tới trong 1s:

$$n_p = \frac{\Phi}{hv} = \frac{\Phi\lambda}{hc}$$

- λ - bước sóng ánh sáng.
- Φ - thông lượng ánh sáng.
- h - hằng số Planck.

- ❖ Số photon bị hấp thụ trong 1s:

$$n_{pht} = 1 - R \quad n_p = 1 - R \frac{\Phi\lambda}{hc}$$

- ❖ Số điện tử hoặc lỗ trống được giải phóng trong 1s

$$G = \eta n_{pht} = \eta (1 - R) \frac{\Phi\lambda}{hc}$$

Hiện tượng quang điện trong:

- Số điện tử (g) được giải phóng do bị chiếu sáng trong một giây ứng với một đơn vị thể tích vật liệu, xác định bởi công thức:

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{A \cdot L} \cdot \frac{\eta}{h \nu} \frac{1 - R}{\Phi}$$

- Trong đó:
 - G - số điện tử được giải phóng trong thể tích V trong thời gian một giây.
 - $V=A \cdot L$, với A , L là diện tích mặt cạnh và chiều rộng tẩm bán dẫn
 - η - hiệu suất lượng tử (số điện tử hoặc lỗ trống trung bình được giải phóng khi một photon bị hấp thụ).

Hiện tượng quang điện trong:

- Mật độ điện tử ở điều kiện cân bằng dưới tác dụng chiếu sáng:

$$n = \left(\frac{g}{r} \right)^{1/2}$$

r là hệ số tái hợp

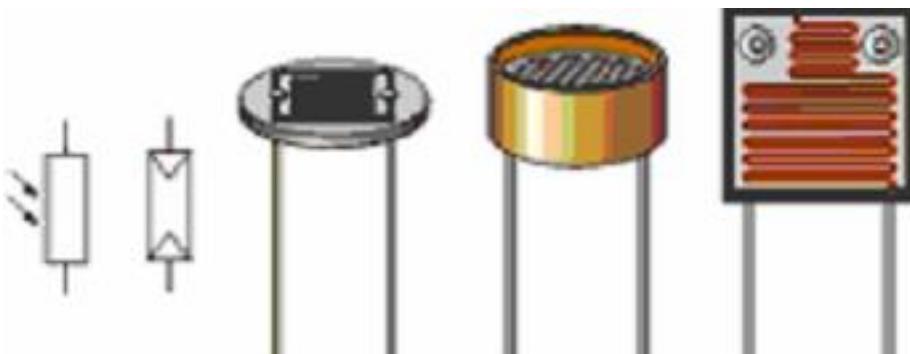
- Độ dẫn tương ứng với nồng độ điện tử:

- Trong đó : $\sigma = q\mu n$

- q: giá trị tuyệt đối của điện tích điện tử
- μ : độ linh động của điện tử
- Nhận thấy độ dẫn là hàm không tuyến tính của thông lượng ánh sáng, nó tỉ lệ với $\Phi^{1/2}$. Thực nghiệm cho thấy số mũ của hàm Φ nằm trong khoảng 0,5 - 1.

Cảm biến quang trở

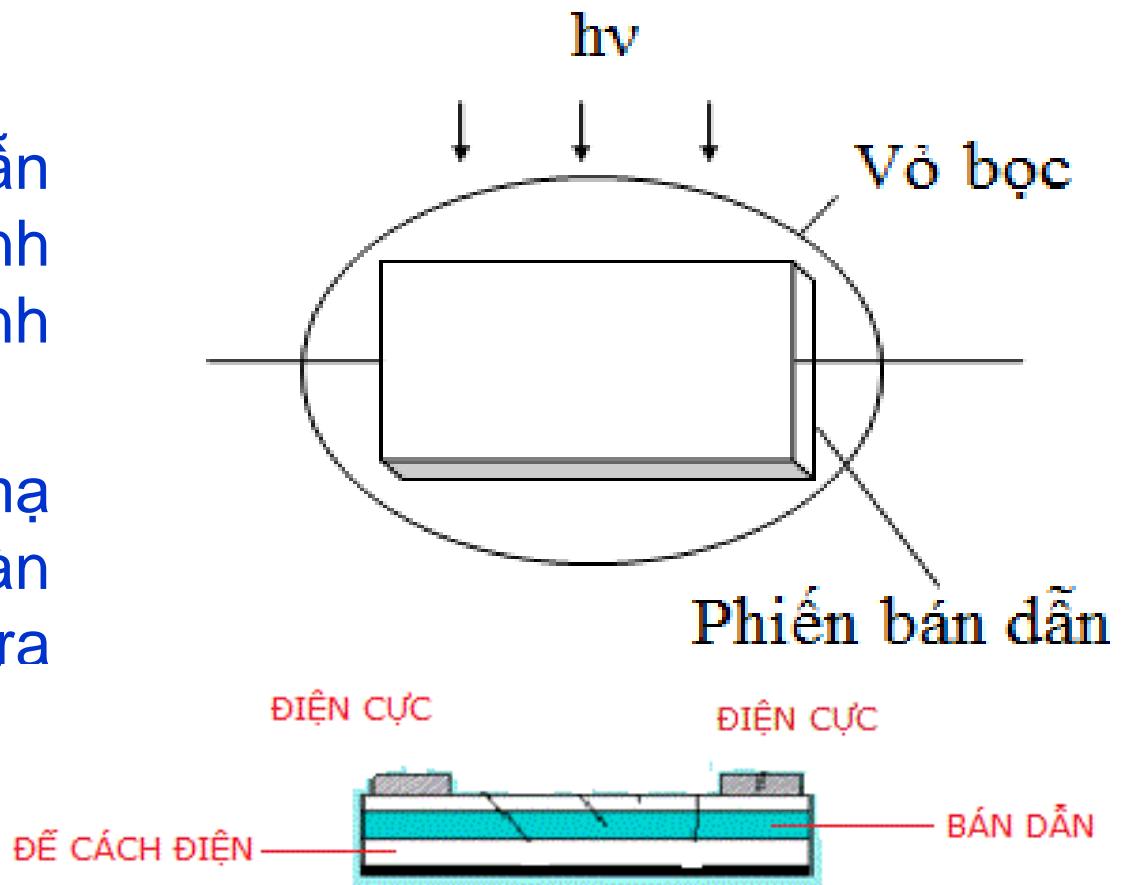
- Quang trở là:
 - ❖ Một linh kiện bán dẫn hai cực,
 - ❖ Có điện trở thay đổi theo năng lượng ánh sáng chiếu vào,
 - ❖ Hoạt động dựa trên hiệu ứng quang điện nội (quang dẫn).
- Khi chiếu ánh sáng vào quang trở, các hạt mang điện trong bán dẫn nhận thêm được năng lượng từ photon trở thành điện tử tự do làm thay đổi điện trở suất (hay độ dẫn) trong bán dẫn.



Cảm biến quang trở

Cấu tạo

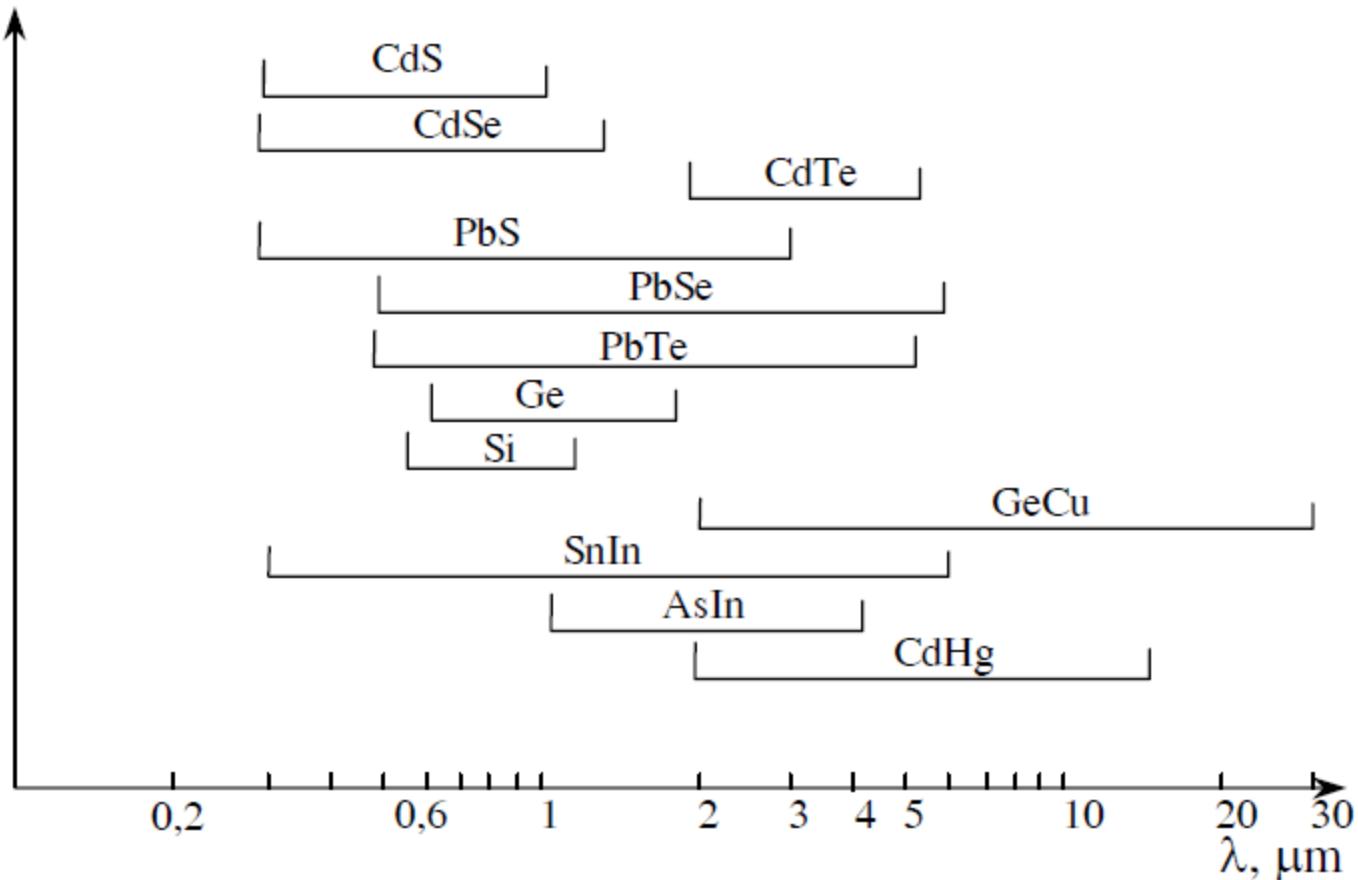
- ❖ Một phiến bán dẫn nhạy sáng đa tinh thể hay đơn tinh thể.
- ❖ Hai đầu được mạ kim loại để hàn điện cực dẫn ra ngoài



- ❖ Toàn bộ phiến bán dẫn được bọc trong vỏ kim loại hoặc chất dẽo có cửa sổ trong suốt để ánh sáng có thể chiếu vào phiến bán dẫn.

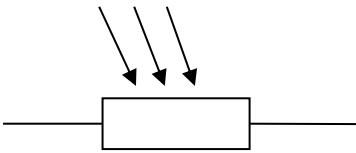
Cảm biến quang trở

- Vật liệu và vùng làm việc của một số vật liệu quang dẫn

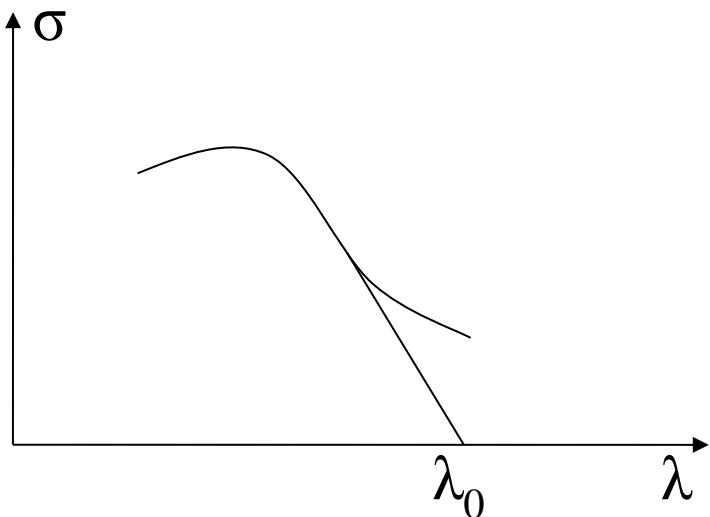


Cảm biến quang trở

- Ký hiệu trong mạch điện :



- Mỗi quang trở có một đặc tính quang phổ riêng: sự phụ thuộc giá trị độ dẫn suất vào độ dài của bước sóng ánh sáng.



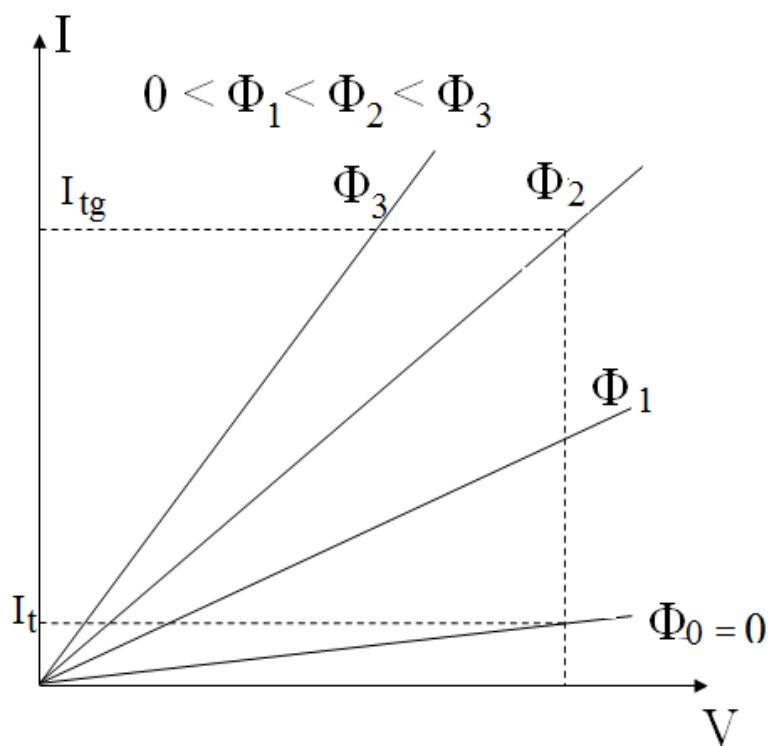
Đặc tuyến quang phổ riêng $\sigma = f(\lambda)$

Cảm biến quang trở

Đặc tuyến và tham số của quang trở

■ Đặc tuyến Volt ampere (V-A)

- Mô tả quan hệ giữa dòng điện qua quang trở và điện áp hạ trên nó ứng với các mức độ chiếu sáng khác nhau.



- Khi không chiếu sáng, nếu đặt điện áp vào hai đầu quang trở thì vẫn có dòng chạy qua: dòng tối I_t .
- Khi chiếu sáng, nếu đặt điện áp vào hai đầu quang trở, dòng qua quang trở tăng lên: dòng tổng I_{tg} .
 \Rightarrow Dòng sáng: $I_\phi = I_{tg} - I_t$.

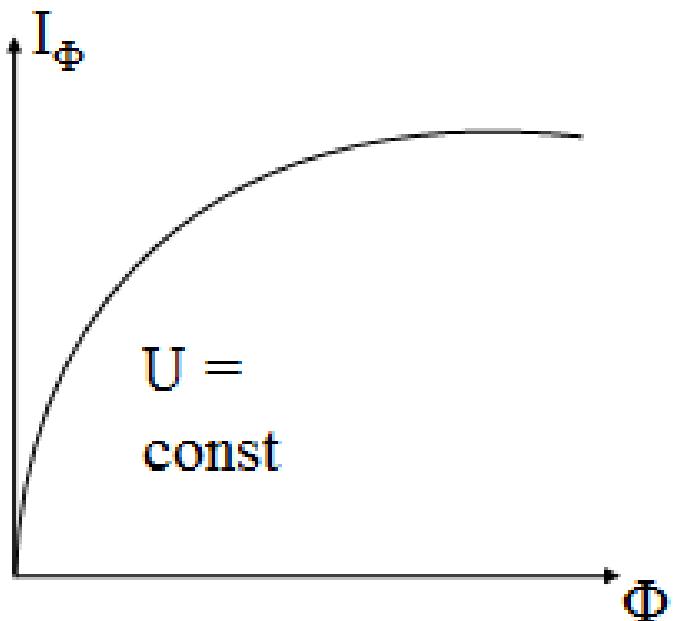
- $I_\phi = f(\Phi)|_{U=\text{const}}$

Cảm biến quang trở

■ Đặc tuyến năng lượng dòng sáng

- ❖ Mô tả quan hệ giữa cường độ dòng sáng và năng lượng ánh sáng chiếu vào khi điện áp đặt vào hai đầu quang trở không đổi.

$$I_\Phi = f(\Phi)|_{U=\text{const}}$$



- ❖ Khi năng lượng chùm sáng Φ thấp, quan hệ gần như tuyến tính.
- ❖ Khi năng lượng chùm sáng Φ tăng lên, đặc tuyến mang tính phi tuyến rõ nét. ($\Phi \nearrow \rightarrow$ nồng độ các hạt tải $\nearrow \rightarrow$ tốc độ tái hợp bởi các bẫy $\nearrow \rightarrow$ thời gian sống của các hạt tải $\searrow \rightarrow$ dòng \nearrow chậm lại.).

Cảm biến quang trở

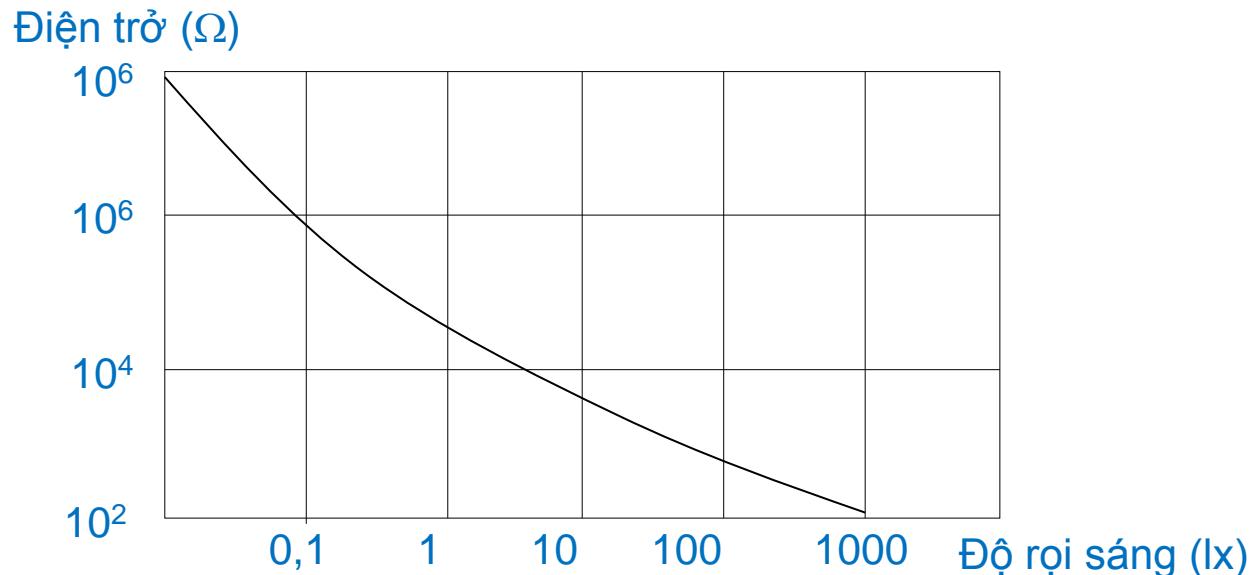
■ Đặc tuyến phô tương đối

- ❖ Đặc tuyến phô tương đối xác định quan hệ giữa tần số ánh sáng chiếu vào và độ nhạy đơn sắc của dụng cụ.
 - ❖ Với các bán dẫn khác nhau, độ nhạy của chúng đối với ánh sáng đơn sắc cũng khác nhau.
- ⇒ Các bán dẫn có độ rộng vùng cảm khác nhau → có điểm hấp thụ cực đại tại các tần số khác nhau.

Cảm biến quang trở

■ Đặc tuyến điện trở

- ❖ Mô tả quan hệ giữa điện trở của dụng cụ với độ rọi của chùm tia sáng chiếu vào.



$$E = \frac{\Phi}{A}$$

E: Độ rọi

Φ : Quang thông

- ❖ Đây là đặc tính thường gặp và được ứng dụng nhiều trong thực tế.

Cảm biến quang trở

- Tế bào quang dẫn có thể coi như một mạch tương đương gồm hai điện trở R_{co} và R_{cp} mắc song song:

$$R_o = \frac{R_{co} R_{cp}}{R_{co} + R_{cp}}$$

- Trong đó
 - R_{co} - điện trở trong tối
 - R_{cp} - điện trở khi chiếu sáng $R_{cp} = a \cdot \Phi^{-\gamma}$
 - a - hệ số phụ thuộc vào bản chất vật liệu, nhiệt độ, bức xạ
 - γ - hệ số có giá trị từ 0.5 đến 1

Cảm biến quang trở

- Thông thường $R_{cp} \ll R_{co}$, nên có thể coi $R_c = R_{cp}$.
- Công thức (2.12) cho thấy sự phụ thuộc của điện trở của tế bào quang dẫn vào thông lượng ánh sáng là không tuyến tính, tuy nhiên có thể tuyến tính hóa bằng cách sử dụng một điện trở mắc song song với tế bào quang dẫn.
- Mặt khác, độ nhạy nhiệt của tế bào quang dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ, khi độ rời càng lớn độ nhạy nhiệt càng nhỏ.

Cảm biến quang trở

■ Độ nhạy:

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{A} \Phi^{\gamma-1}$$

■ Nhận xét:

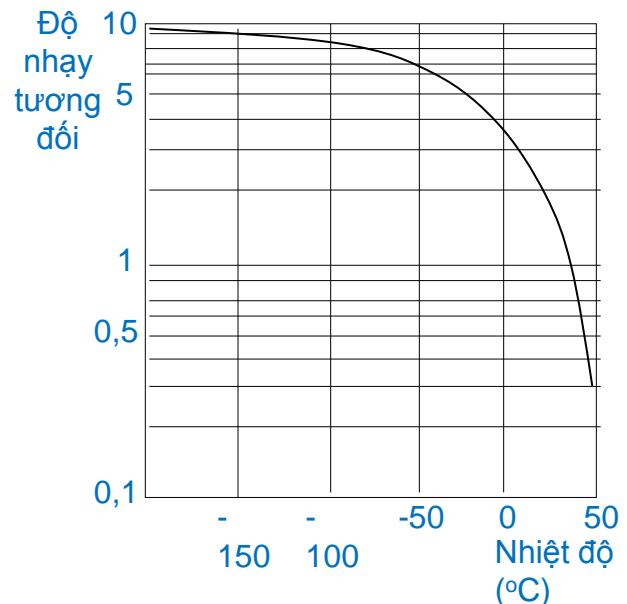
- + Độ nhạy giảm khi Φ tăng (trừ $\gamma = 1$)
- + Độ nhạy giảm khi tăng nhiệt độ, khi điện áp đặt vào lớn.
- + Độ nhạy phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

Cảm biến quang trở

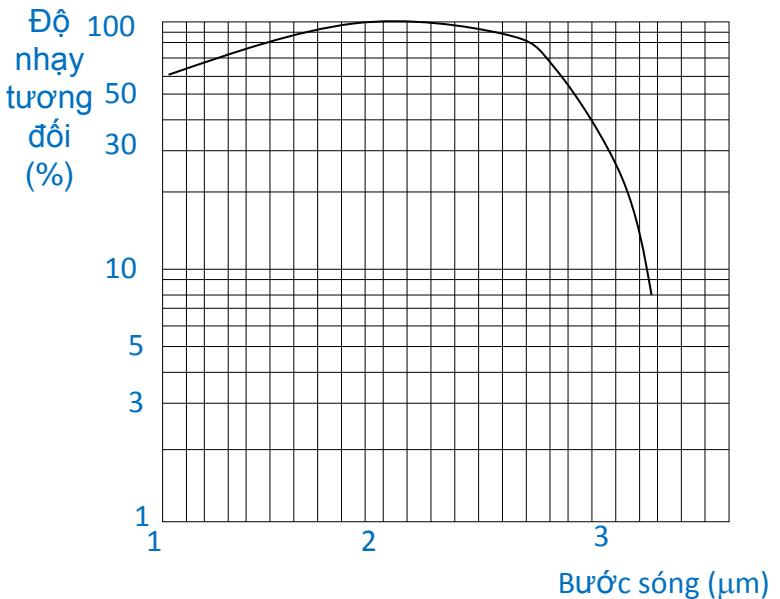
❖ Đặc điểm

- Tỷ lệ chuyển đổi tĩnh cao.
- Độ nhạy cao.
- Hồi đáp phụ thuộc không tuyến tính Φ .
- Thời gian hồi đáp lớn.
- Các đặc trưng không ổn định do già hoá.
- Độ nhạy phụ thuộc nhiệt độ, một số loại đòi hỏi làm nguội.

Cảm biến quang trở



Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhạy của tế bào quang dẫn



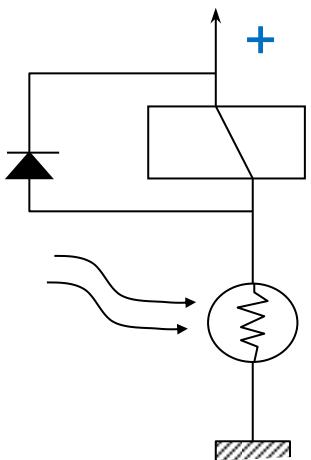
Ảnh hưởng bước sóng đến độ nhạy của tế bào quang dẫn

Cảm biến quang trở

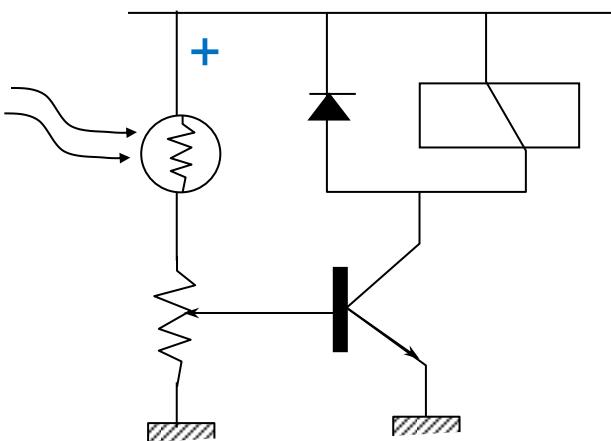
Ứng dụng:

- Điều khiển rơ le: khi có bức xạ ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn, điện trở giảm, cho dòng điện chạy qua đủ lớn → sử dụng trực tiếp hoặc qua khuếch đại để đóng mở rơle.
- Thu tín hiệu quang: dùng tế bào quang dẫn để thu và biến tín hiệu quang thành xung điện.

Cảm biến quang trở



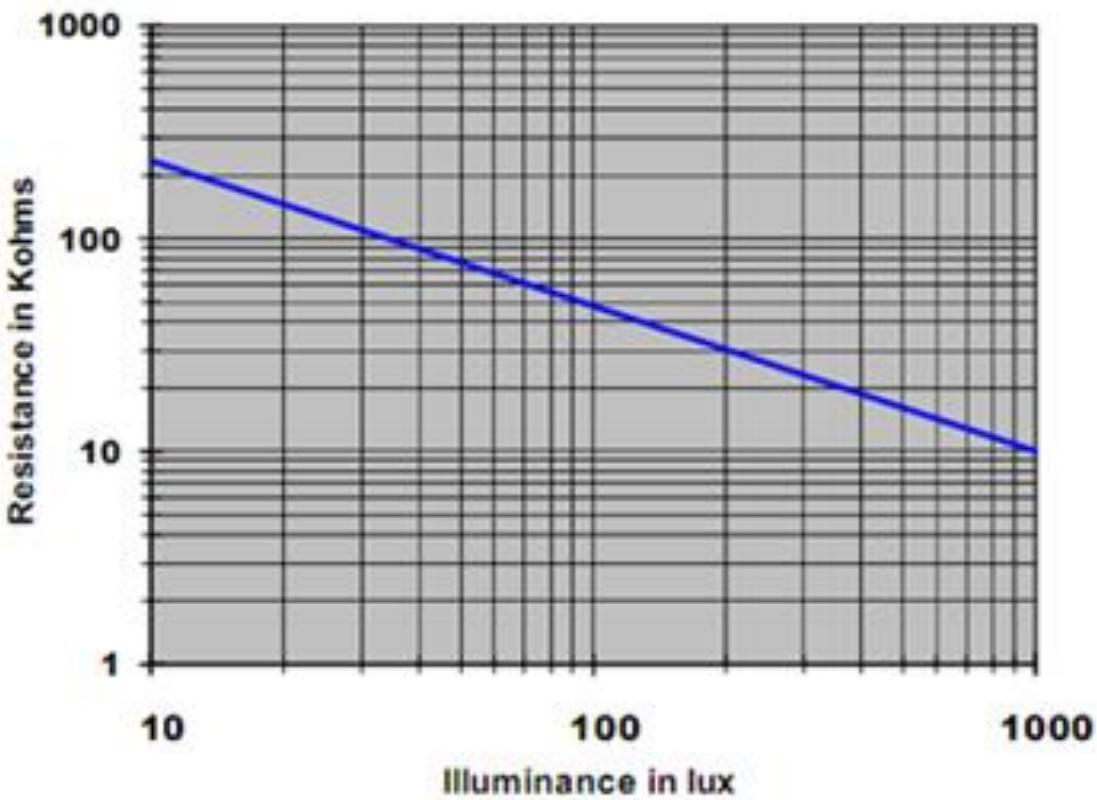
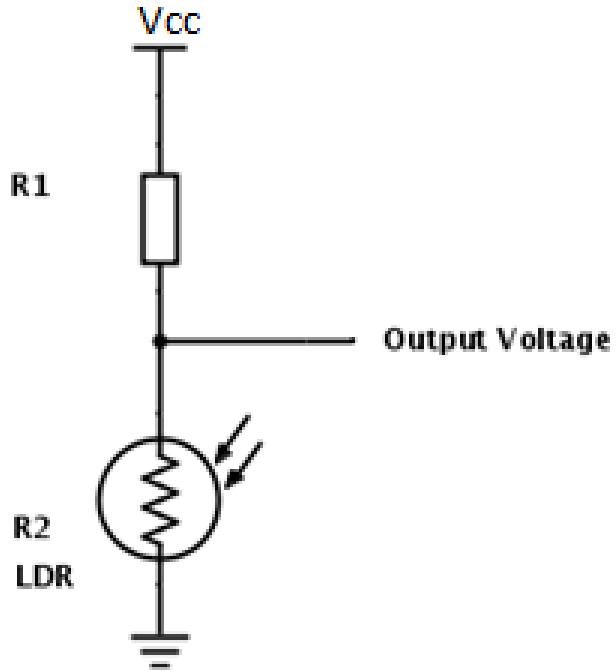
Điều khiển trực tiếp



Điều khiển thông qua
tranzito khuếch đại

Cảm biến quang trở

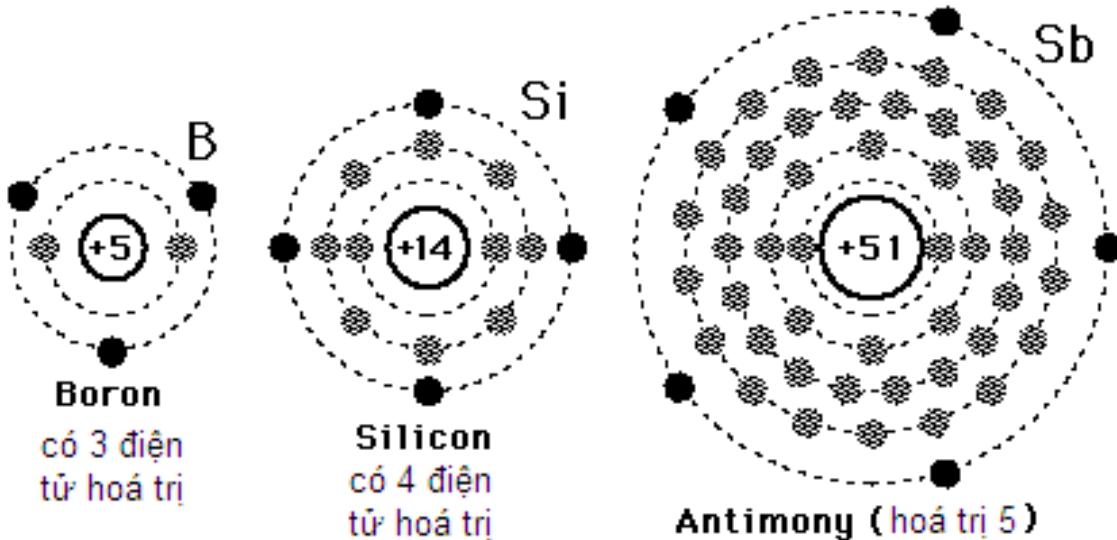
Câu 3: Cho quang trở có đặc tính như sau, biết $V_{cc} = 9V$, $R_1 = 10k\Omega$, tính độ rọi của ánh sáng khi điện áp ra là 6V; 7.87V



Photodiode

■ Nguyên lý của photodiode

Điện tử hoá trị

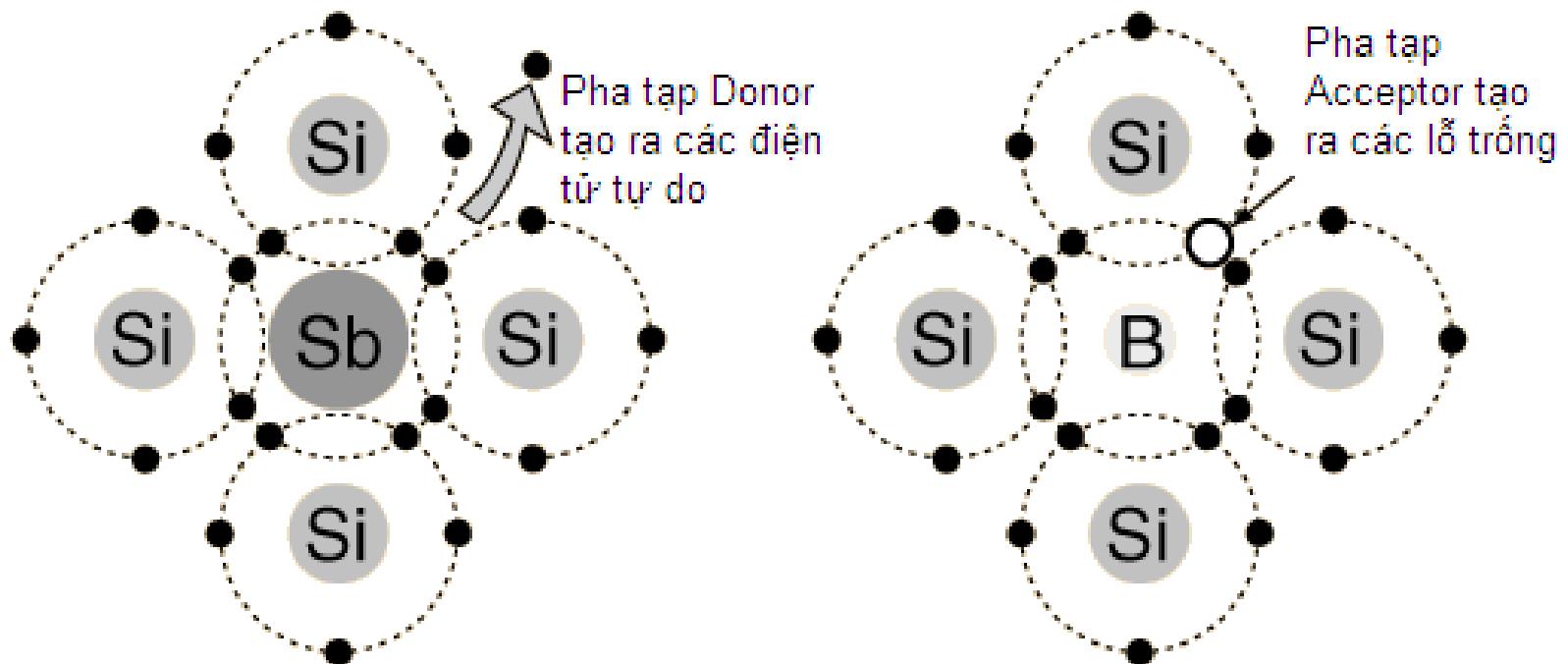


- Các điện tử ở vòng ngoài cùng của mỗi nguyên tử được gọi là các điện tử hoá trị; chúng quyết định tính chất hóa học và cũng quyết định cả tính dẫn điện của vật liệu.
- Tính dẫn điện của vật liệu được giải thích bằng lý thuyết về các giải năng lượng (mức năng lượng cần để giải phóng một điện tử hoá trị thành điện tử tự do).

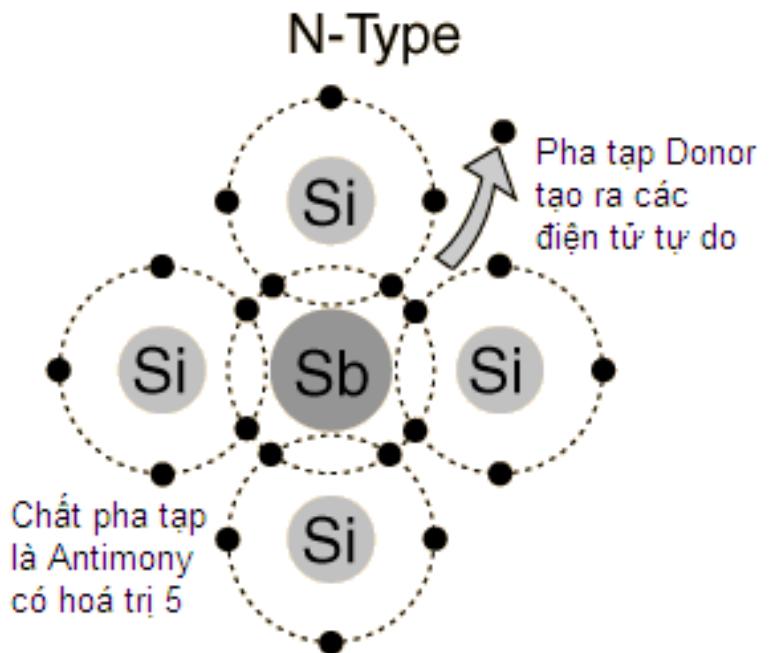
Pha tạp (doping) chất bán dẫn

- Pha tạp một lượng nhỏ các nguyên tử ngoại lai vào cấu trúc mạng tinh thể của silicon hoặc germanium sẽ làm thay đổi đáng kể tính chất dẫn điện của chúng.
- Các nguyên tử pha tạp có 5 điện tử hóa trị sẽ làm xuất hiện điện tử thừa ở mỗi liên kết đồng hóa trị và tạo ra chất bán dẫn **pha tạp loại n** (negative). Chất pha tạp trong trường hợp này được gọi là “Donor”.
- Các nguyên tử pha tạp có 3 điện tử hóa trị sẽ làm xuất hiện “lỗ trống” do bị thiếu điện tử ở mỗi liên kết đồng hóa trị. Pha tạp này được gọi là **pha tạp loại p** (positive), còn nguyên tố pha tạp được gọi là “Acceptor”.

Pha tạp loại N và loại P



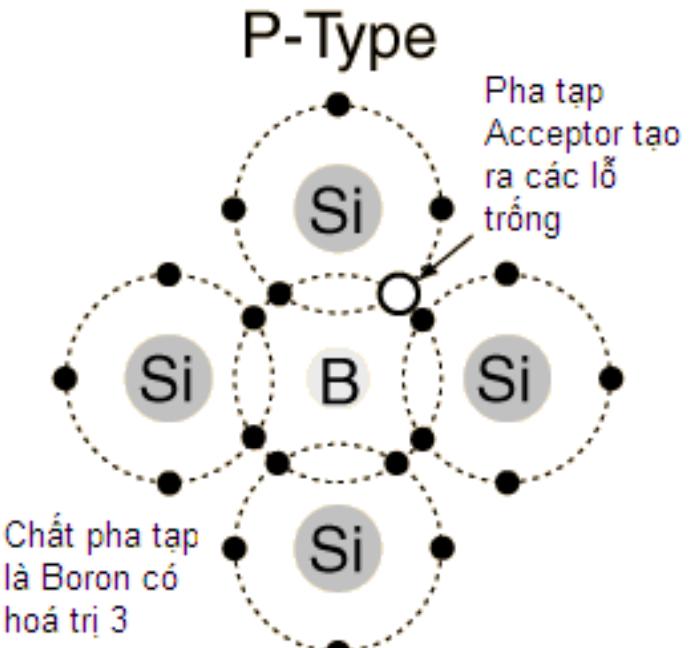
Bán dẫn pha tạp loại N



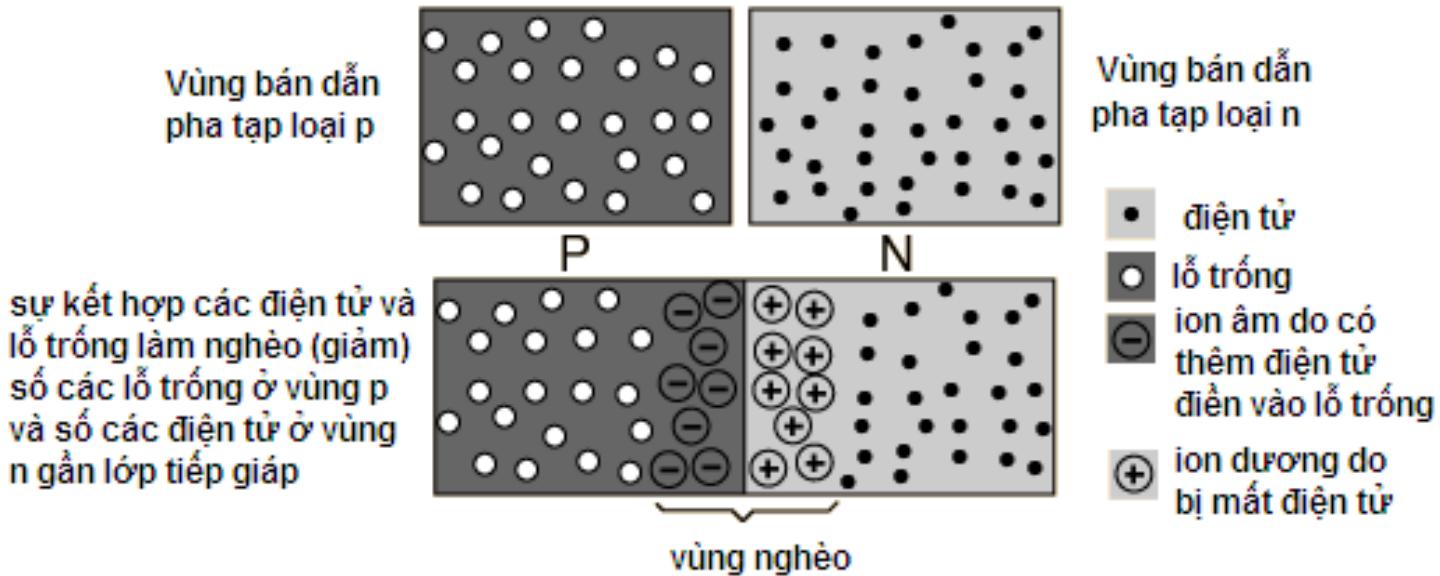
- Pha tạp thêm các nguyên tử của các nguyên tố có hoá trị năm như là antimony, arsenic hoặc phosphorous sẽ tạo ra thêm các điện tử tự do làm tăng đáng kể tính dẫn điện của chất bán dẫn.
- Có thể pha tạp phosphorous bằng cách cho khuếch tán khí phosphine (PH_3).

Bán dẫn pha tạp loại P

- Pha tạp thêm các nguyên tử của các nguyên tố có hoá trị ba như là boron, aluminum hoặc gallium vào silicon sẽ tạo ra các "lỗ trống". Điều này cũng làm tăng độ dẫn điện của silicon.
- Người ta thường dùng khí diborane B_2H_6 để khuếch tán boron vào mạng tinh thể silicon.



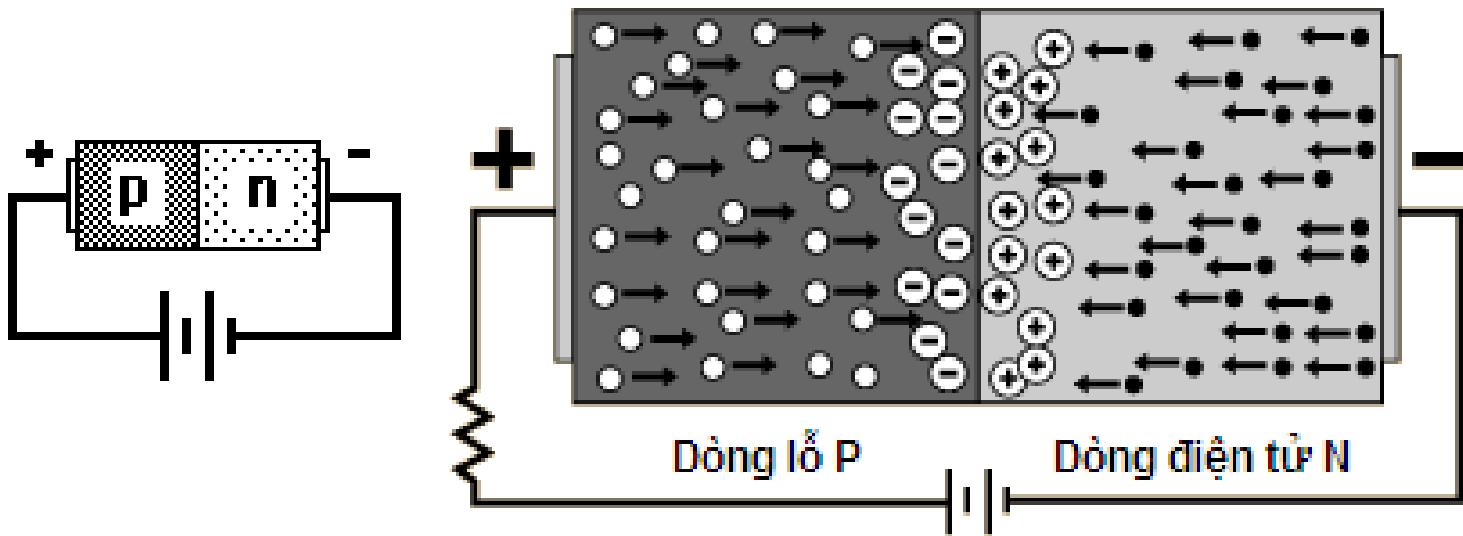
Vùng nghèo



- Khi một tiếp giáp p-n được hình thành, một số điện tử tự do ở vùng n khuếch tán qua tiếp giáp và kết hợp với các lỗ trống để tạo nên các ion âm ở vùng p.
- Đồng thời, các nguyên tử ở vùng n do bị thiếu điện tử nên trở thành các ion dương.
- Vùng chứa các ion âm và dương ở lân cận tiếp giáp được gọi là vùng nghèo.

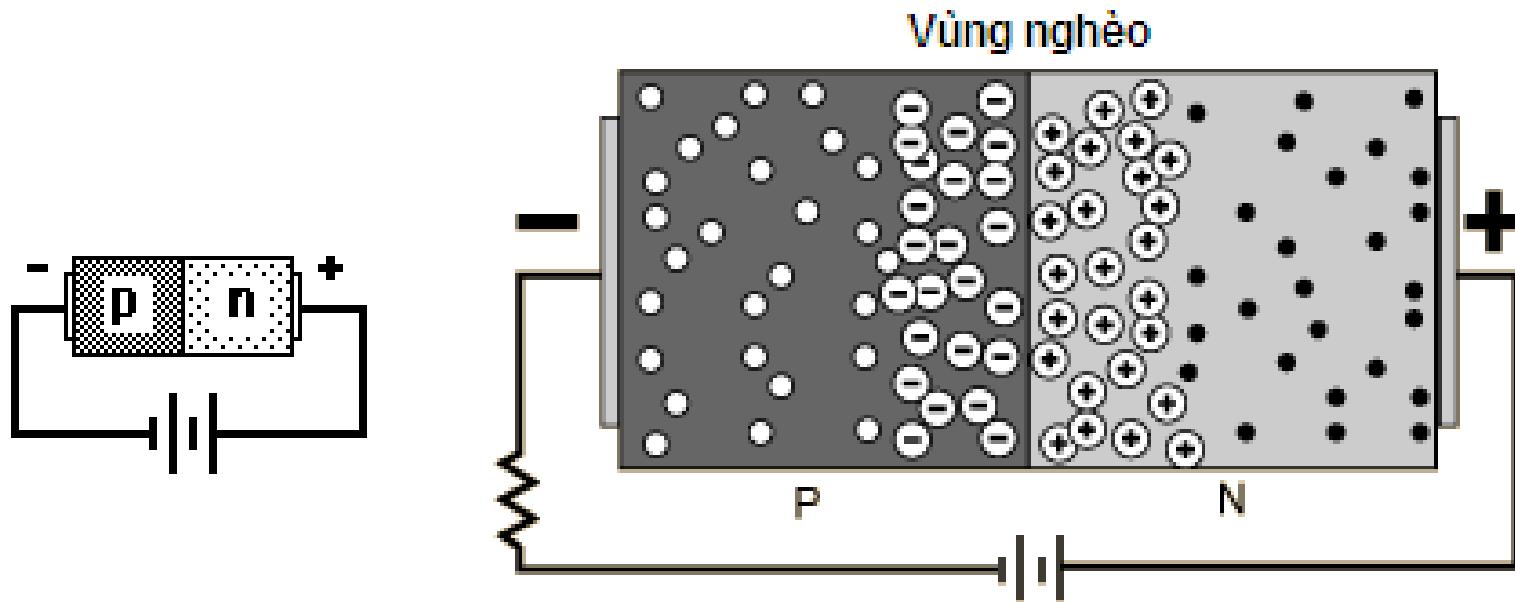
Tiếp giáp P-N phân cực thuận

- Một tiếp giáp p-n được phân cực thuận làm cho các lỗ trống ở vùng bán dẫn pha tạp loại p và các điện tử ở vùng bán dẫn pha tạp loại n chuyển động tới miền tiếp xúc.
- Tại vùng tiếp xúc các điện tử và lỗ trống tái hợp, tạo nên một dòng điện liên tục đi qua tiếp giáp p-n, dòng điện này phụ thuộc vào điện áp phân cực thuận.



Tiếp giáp P-N phân cực ngược

- Nếu đặt một điện áp ngược lên tiếp giáp p-n, cả điện tử và lỗ trống đều bị kéo xa khỏi vùng tiếp xúc tạo nên một dòng điện quá độ có cường độ nhỏ.
- Vùng nghèo ở lân cận mặt tiếp xúc được mở rộng ra cân bằng với điện áp đặt vào, dòng điện ngược được duy trì với giá trị gần như không đổi và được gọi là dòng ngược bão hòa.



Diode bán dẫn P-N

- Bản chất của tiếp giáp p-n là chỉ dẫn dòng điện khi được phân cực thuận và không dẫn dòng khi phân cực ngược.
- Đây là linh kiện dùng để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều AC thành một chiều DC trong các mạch tạo nguồn cung cấp.



Đặc tính Volt-Amp của diode

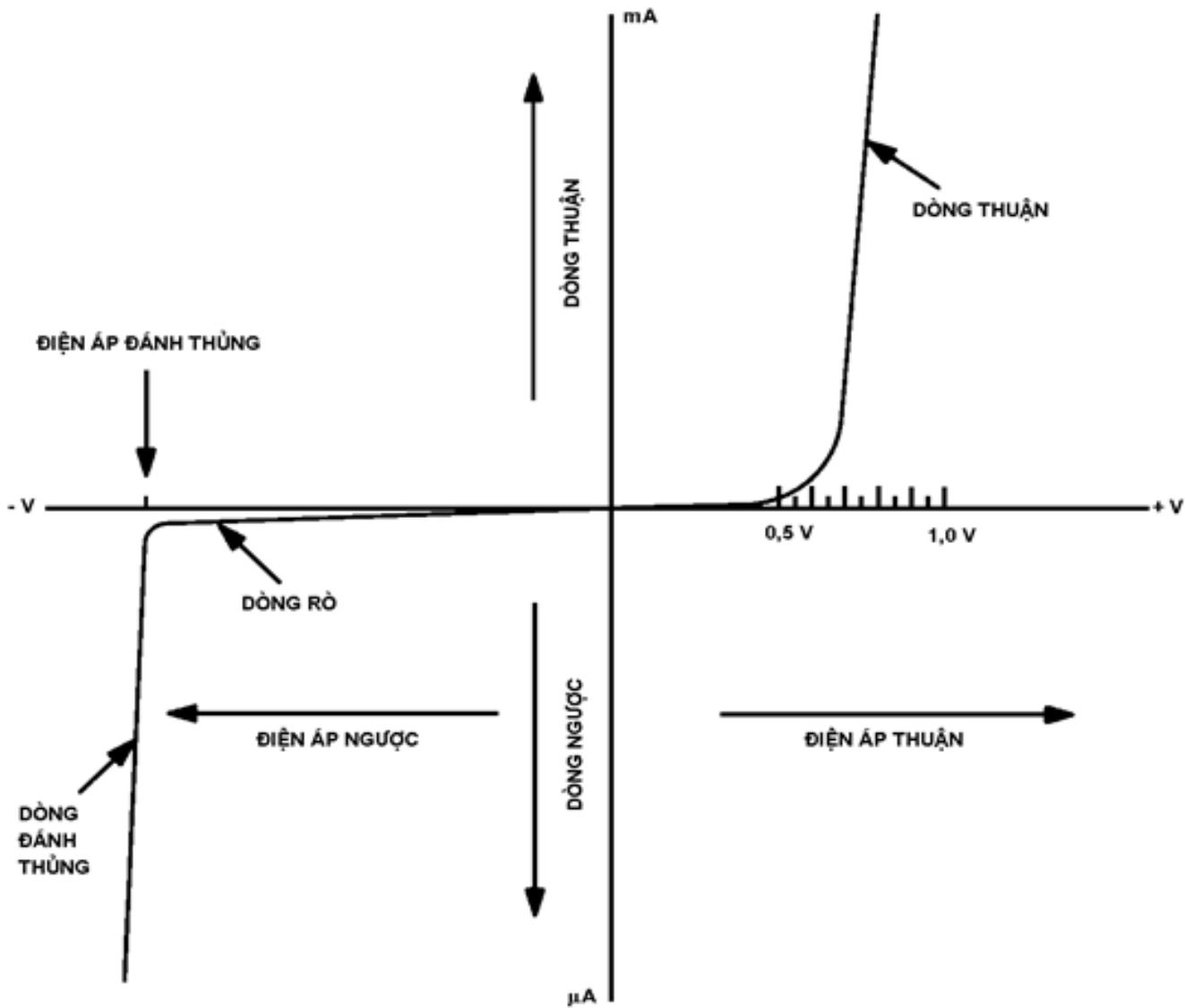
$$I_D = I_S \left(e^{qV_D/kT} - 1 \right)$$

Trong đó,

- I_D = dòng qua diode, tính bằng amp
- I_S = dòng ngược bão hòa của diode, tính bằng amp
(có độ lớn cỡ 10^{-12} amp)
- e = hằng số Euler ($\sim 2,718281828$)
- q = điện tích của điện tử ($1,6 \times 10^{-19}$ coulomb)
- V_D = điện áp đặt lên tiếp giáp P-N
- k = hằng số Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$)
- T = nhiệt độ của tiếp giáp, tính theo thang độ Kelvin

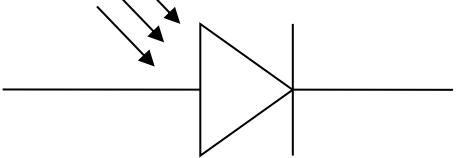
Ở điều kiện nhiệt độ phòng ($T=300K$):
thế nhiệt $\varphi_T = kT/q = 26mV$

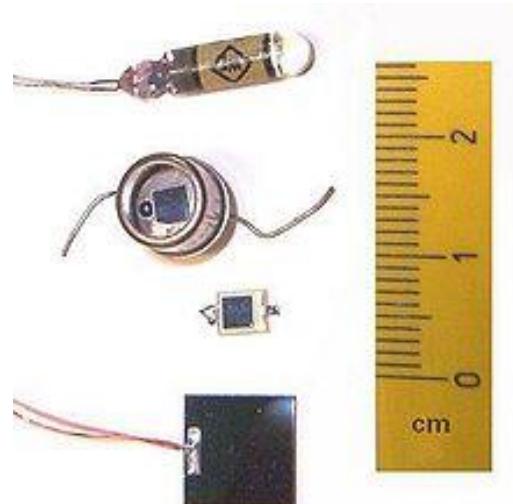
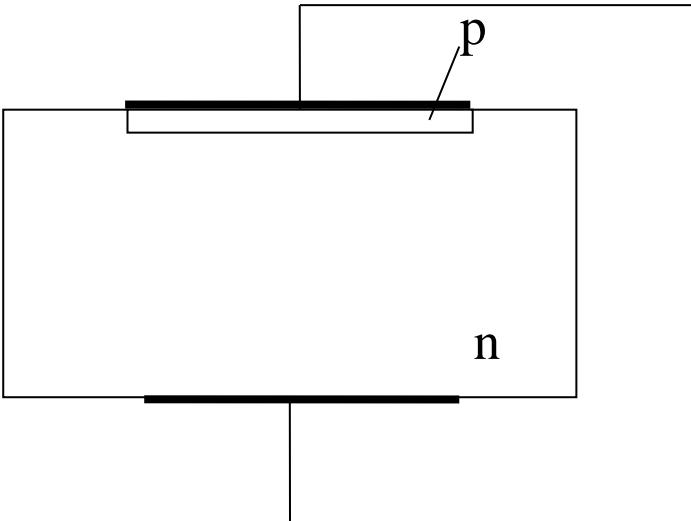
Đặc tính Volt-Amp của diode



Photodiode P-N

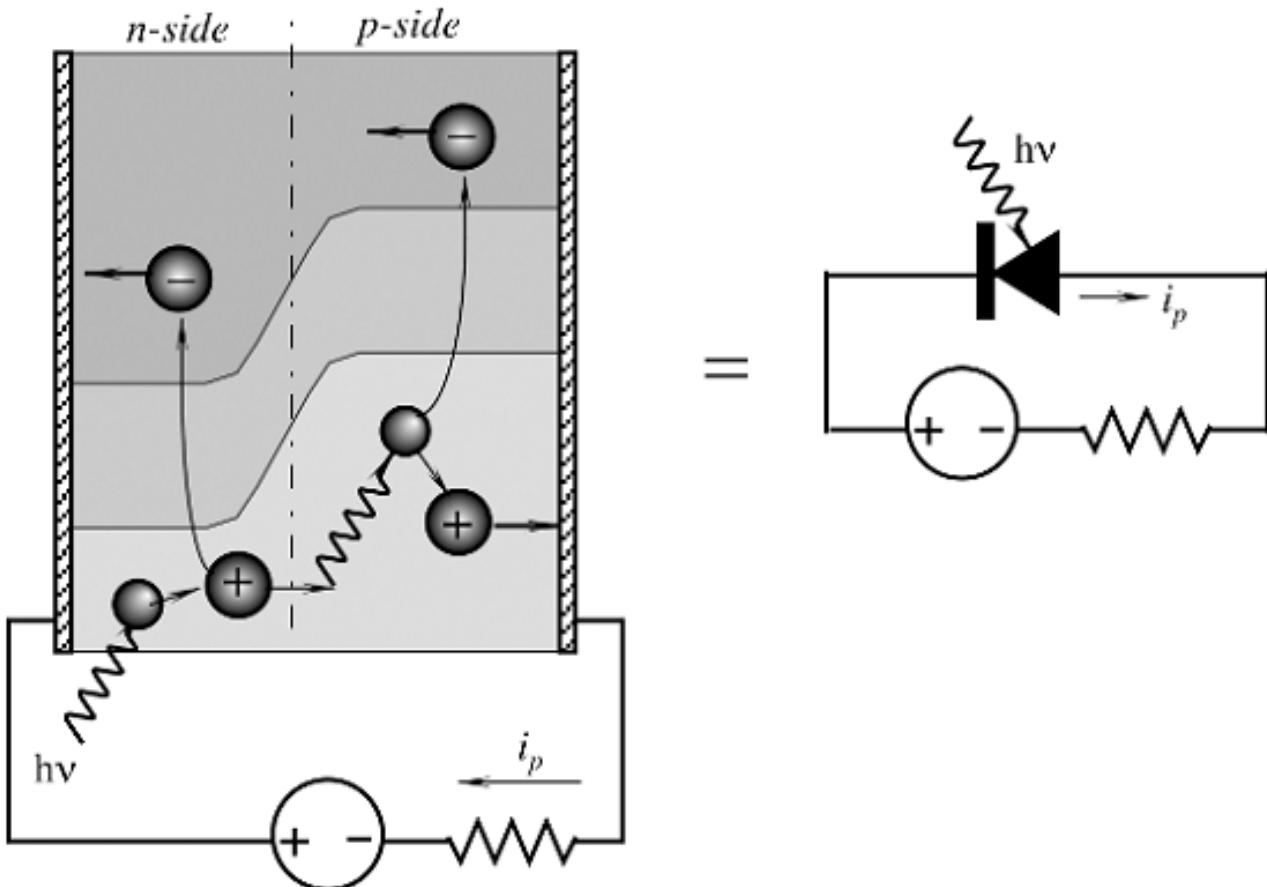
Cấu tạo:

- Một phiến bán dẫn loại n (hay p), người ta khuếch tán loại tạp p (hay n) để tạo tiếp giáp p-n.
 - Hai lớp bán dẫn n và p được gắn điện cực để đưa ra ngoài.
 - Điện cực phía p phải trong suốt để ánh sáng đi qua.
 - Ký hiệu:
- 



2.3. Photodiode

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động



2.3. Photodiode

■ Nguyên lý hoạt động:

- Khi $\Phi = 0$ và $V = 0$, dòng điện chạy qua

$$I = I_{kt} - I_0 = I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] - I_0 = 0$$

I_{kt} → Dòng khuếch tán các hạt cơ bản. I_0 → Dòng hạt dẫn không cơ bản sinh ra do kích thích nhiệt.

- Khi $V > 0$ → dòng ngược: $I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 \neq 0$

- Khi V đủ lớn $-I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] \rightarrow 0$ và $I_r = I_0$.

Photodiode P-N

Khi không có ánh sáng và cấp áp thuận

- Khi không có ánh sáng chiếu vào, photodiode hoạt động như một diode bình thường.

Khi chiếu sáng và chưa cấp điện áp

- Khi có ánh sáng chiếu vào, chưa có điện áp cung cấp thì vẫn có dòng điện qua nó: dòng tối, và bề mặt bán dẫn có thê hiệu mới: suất điện động quang.
 - ❖ Dòng tối là một thông số quan trọng của photodiode.
 - ❖ Dòng này càng nhỏ, diode càng tốt vì dòng này sinh nhiễu tạp âm.

Photodiode P-N

Giải thích:

- Khi chiếu vào bán dẫn chùm ánh sáng có năng lượng đủ lớn $h\nu \geq \Delta E_g$:
 - ❖ Một phần ánh sáng bị phản xạ,
 - ❖ Một phần đi sâu vào bán dẫn và bị hấp thụ sinh ra các cặp điện tử - lỗ trống.
- Tại miền này của bán dẫn p có sự không cân bằng nồng độ hạt dẫn, các điện tử - lỗ trống mới phát sinh khuếch tán về bờ miền nghèo chuyển tiếp p-n.
- Ở đây, điện tử bị điện trường tiếp xúc E_{tx} của chuyển tiếp p-n cuốn sang bán dẫn n: dòng tối; còn lỗ trống bị cản lại. Khi đó chuyển tiếp p-n đạt trạng thái cân bằng mới

Photodiode P-N

■ Thế hiệu mới trên tiếp xúc p-n :

$$U = U_{tx} - U_\Phi$$

- ❖ U_{tx} : điện thế tiếp xúc vốn có của chuyển tiếp p-n.
- ❖ U_Φ : điện thế tạo bởi các hạt dẫn mới phát sinh trong quá trình hấp thụ ánh sáng, và được gọi là sức điện động quang.

$$U_\Phi < U_{tx}$$

■ Sức điện động quang phụ thuộc vào:

- ❖ Cường độ chùm sáng chiếu vào bán dẫn,
- ❖ Hiệu suất của photon,
- ❖ Và nhiều yếu tố khác.

2.3. Photodiode

- Khi chiếu sáng bằng luồng ánh sáng $\Phi_0 \rightarrow I_p$.

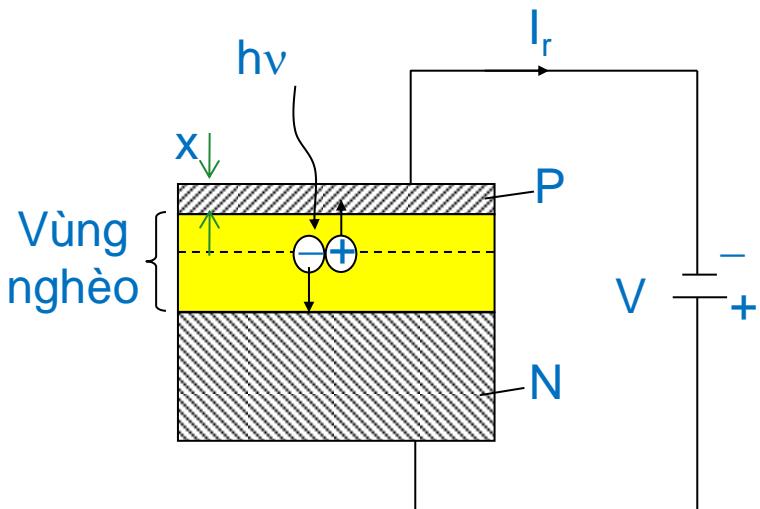
$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{hc} \Phi_0 \exp(-\alpha X)$$

$$I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 + I_p$$

- Khi V đủ lớn:

$$I_r = I_0 + I_p \approx I_p$$

I_p : dòng quang điện



Hiệu ứng quang
diện khi chiếu
sáng

Photodiode P-N

Khi chiếu sáng và cấp điện áp ngược

- Khi chiếu ánh sáng vào bán dẫn và đặt điện áp ngược lên hai cực của chuyển tiếp p-n, trong mạch sẽ xuất hiện dòng điện I_p .
 - ❖ Chiều của dòng I_p trùng với chiều dòng ngược của diode.
 - ❖ I_p được tạo bởi các hạt thiểu số mới phát sinh do hấp thụ ánh sáng
- ⇒ Nó phụ thuộc vào tốc độ phát xạ cấp điện tử - lỗ trống khi bán dẫn hấp thụ ánh sáng.

2.3. Photodiode

■ Chế độ quang dẫn:

Phương trình mạch điện:

$$E = V_R - V_D$$

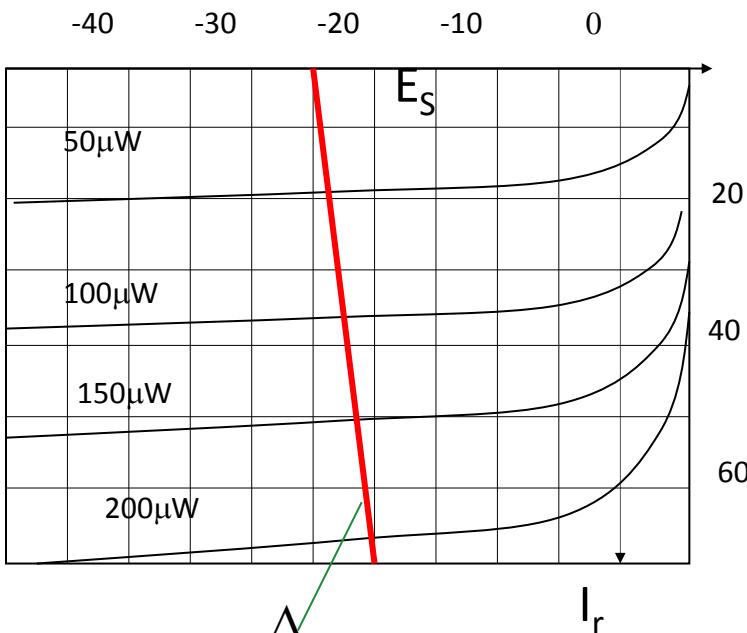
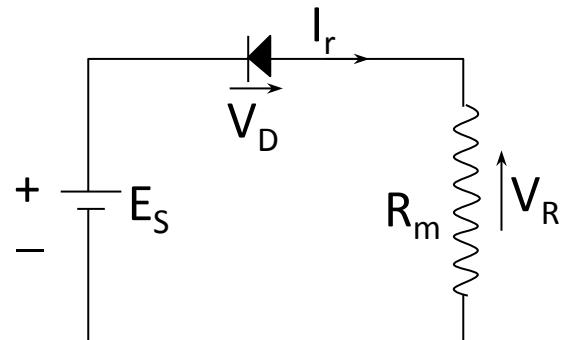
Tín hiệu ra: $V_R = R_m \cdot I_r$

⇒ đường thẳng tải Δ .

⇒ Dòng ngược:

$$I_r = \frac{E}{R_m} + \frac{V_D}{R_m}$$

Cảm biến làm việc ở chế độ tuyến tính $V_R \sim \Phi$.



2.3. Photodiode

■ Chế độ quang thê: điện áp ngoài $V = 0$.

⇒ Đo thế hở mạch

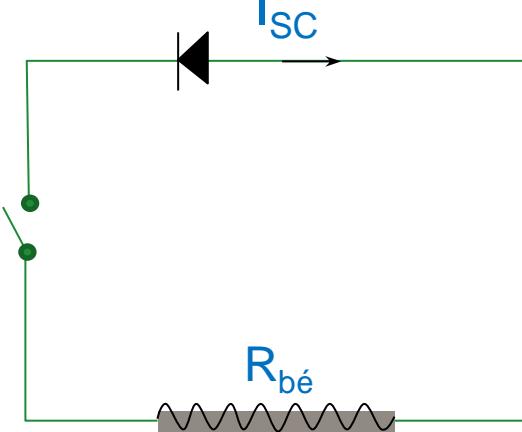
$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \log \left[1 + \frac{I_p}{I_0} \right]$$

Khi $I_p \ll I_0$: $V_{OC} \approx \frac{kT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_0}$ ⇒ nhỏ nhưng tỉ lệ với Φ .

Khi $I_p \gg I_0$: $V_{OC} = \frac{kT}{q} \log \frac{I_p}{I_0}$ ⇒ lớn nhưng tỉ lệ với $\log \Phi$.

⇒ Đo dòng ngắn mạch:

$$I_{SC} \approx I_p$$

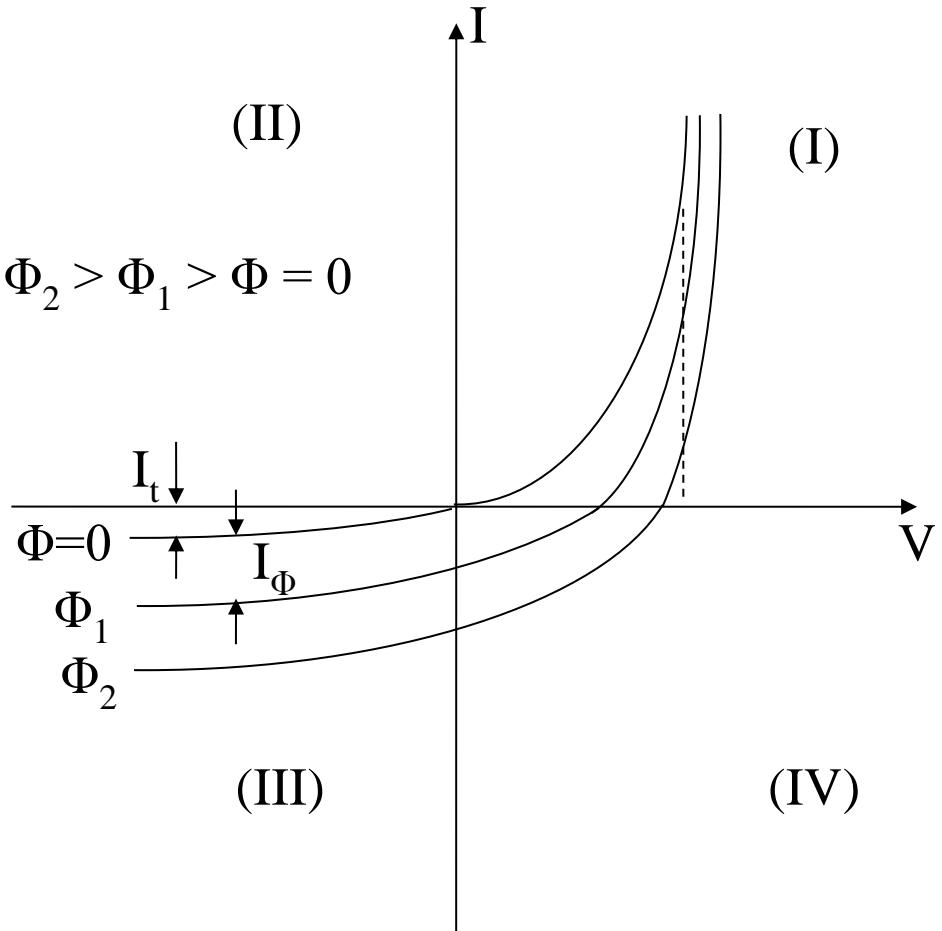
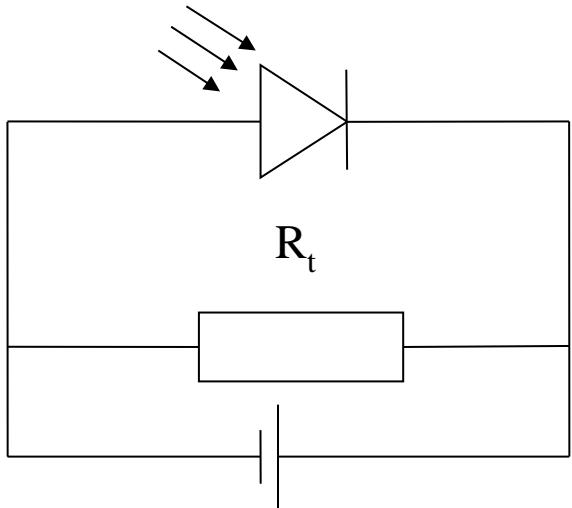


Photodiode P-N

■ Các đặc tuyến và tham số

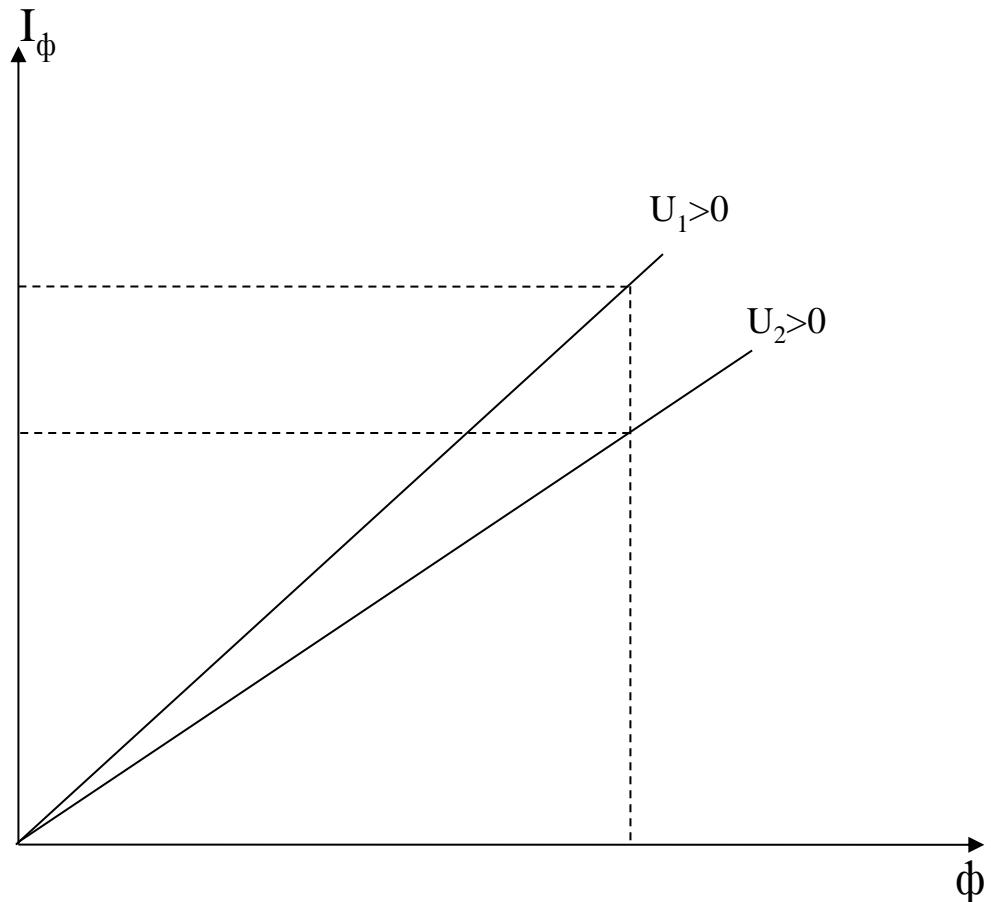
❖ Đặc tuyến V-A:

Sử dụng sơ đồ:



Photodiode P-N

Đặc tuyến năng lượng của photodiode:



- Dòng I_ϕ thay đổi tuyến tính trong khoảng biến thiên rộng của năng lượng chiếu sáng.
- Cùng một lượng chiếu sáng, điện áp phân cực ngược càng lớn \rightarrow dòng I_ϕ càng lớn.

Photodiode

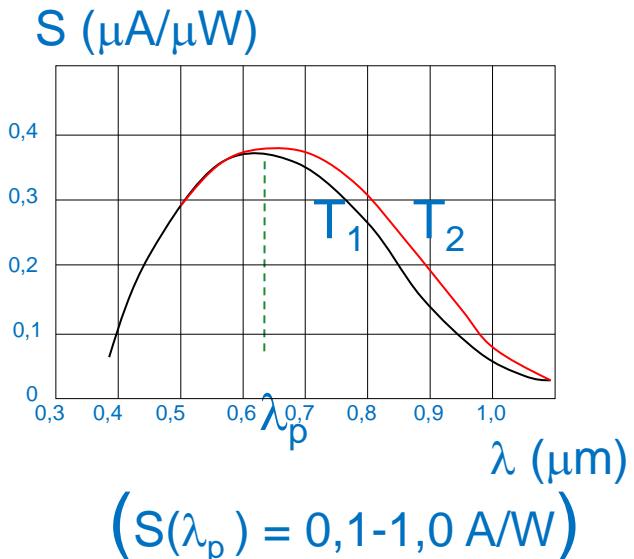
Độ nhạy:

- S không phụ thuộc thông lượng ánh sáng Φ .
- S phụ thuộc vào λ , với $\lambda \leq \lambda_s$:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda$$

$S \rightarrow S_{max}$ khi $\lambda = \lambda_p$

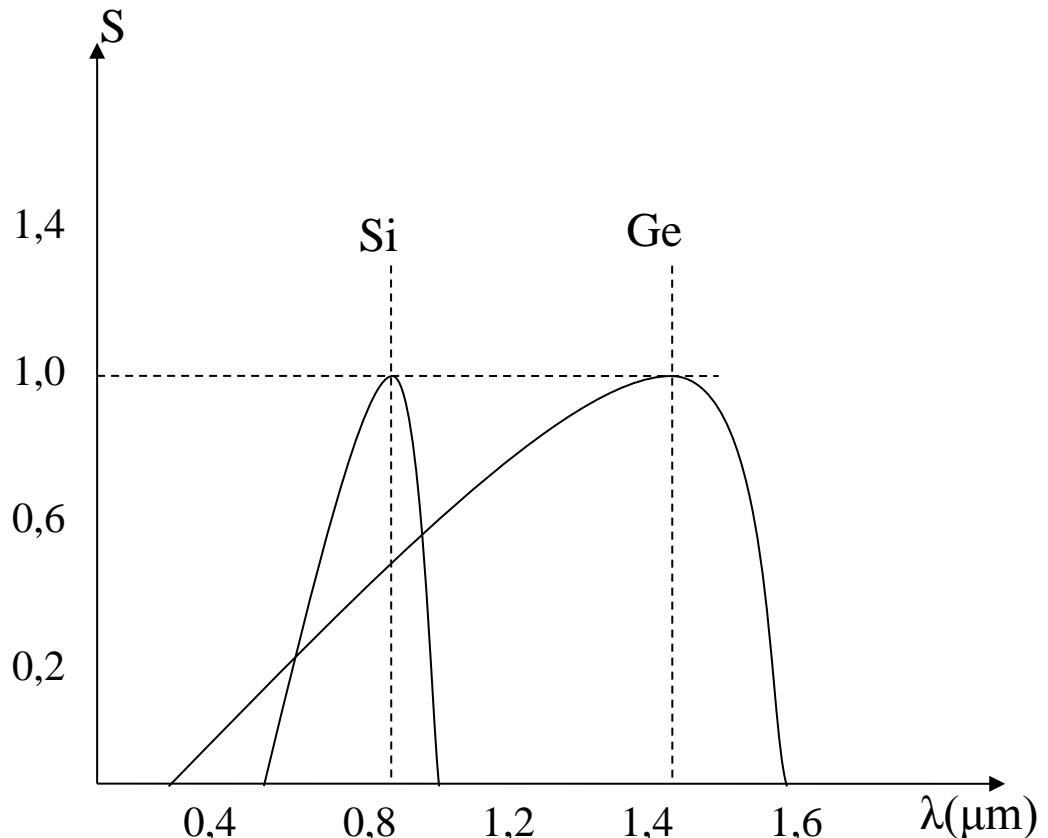
- Khi nhiệt độ tăng, λ_p dịch sang phải.
- S phụ thuộc hiệu suất lượng tử η , hệ số phản xạ R , hệ số hấp thụ α .



$$(S(\lambda_p) = 0,1-1,0 \text{ A/W})$$

Photodiode P-N

- Đặc tuyến phổ tương đối của photodiode:**
Thể hiện quan hệ độ nhạy của photodiode với bước sóng ánh sáng chiếu vào bán dẫn.



- ❖ Ở vùng sóng ngắn, độ nhạy của photodiode giảm nhỏ.
- ❖ Bán dẫn có độ rộng vùng cấm càng lớn → có bước sóng giới hạn càng bé, và ngược lại.
- ❖ Silic có $\Delta E_g = 1,1\text{eV}$.
- ❖ Ge có $\Delta E_g = 0,7\text{eV}$.

Photodiode P-N

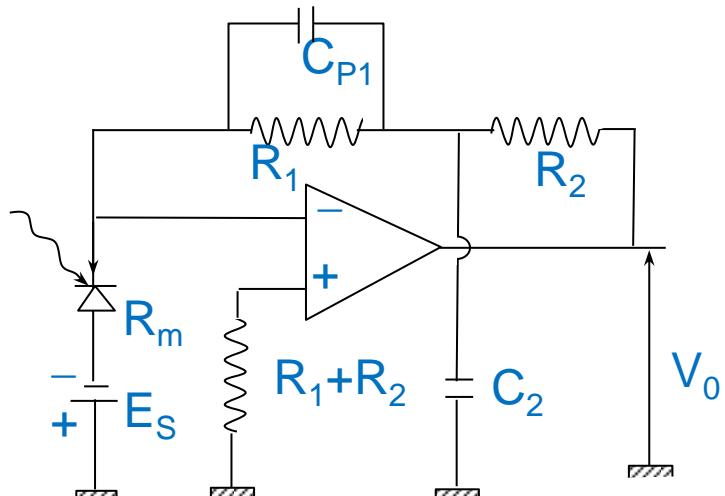
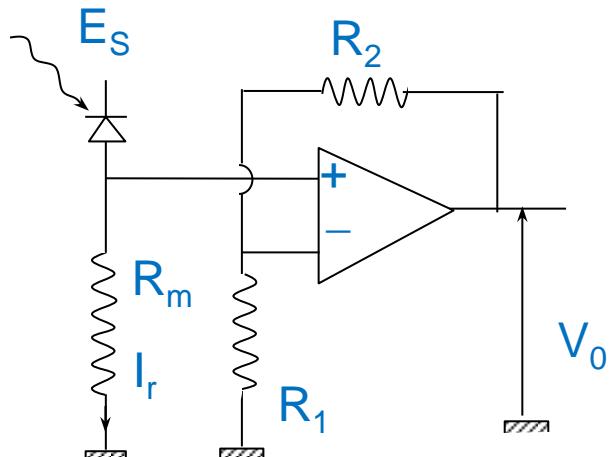
■ Các tham số quan trọng của photodiode:

- ❖ Điện áp công tác và điện áp đánh thủng là hai tham số cho biết chế độ điện áp để photodiode làm việc an toàn.
- ❖ Độ nhạy, tần số giới hạn và chùm sáng ngưỡng cho biết đặc tính của cảm biến.

Photodiode

Ứng dụng:

- Sơ đồ mạch làm việc ở chế độ quang dẫn:



Sơ đồ cơ sở

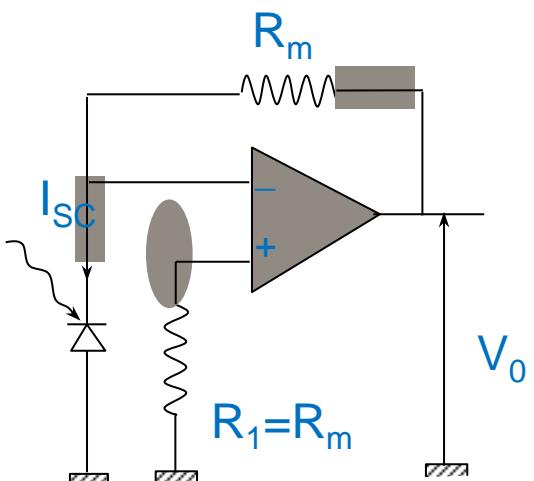
$$V_0 = R_m \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] I_r$$

Sơ đồ tác động nhanh

$$V_0 = R_1 + R_2 \cdot I_r$$

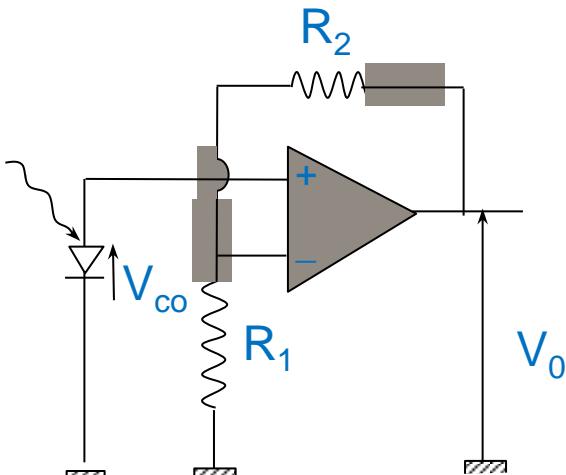
Photodiode

- Sơ đồ làm việc ở chế độ quang thê:



Sơ đồ tuyến tính

$$V_0 = R_m \cdot I_{sc}$$



Sơ đồ logarit

$$V_0 = \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] V_{oc}$$

Photodiode

Chế độ quang dẫn:

- + Độ tuyến tính cao.
- + Thời gian hồi đáp ngắn.
- + Dải thông lớn.

Chế độ quang thế:

- + Có thể làm việc ở chế độ tuyến tính hoặc logarit.
- + Ít nhiễu.
- + Thời gian hồi đáp lớn.
- + Dải thông nhỏ.
- + Nhạy cảm với nhiệt độ ở chế độ logarit.

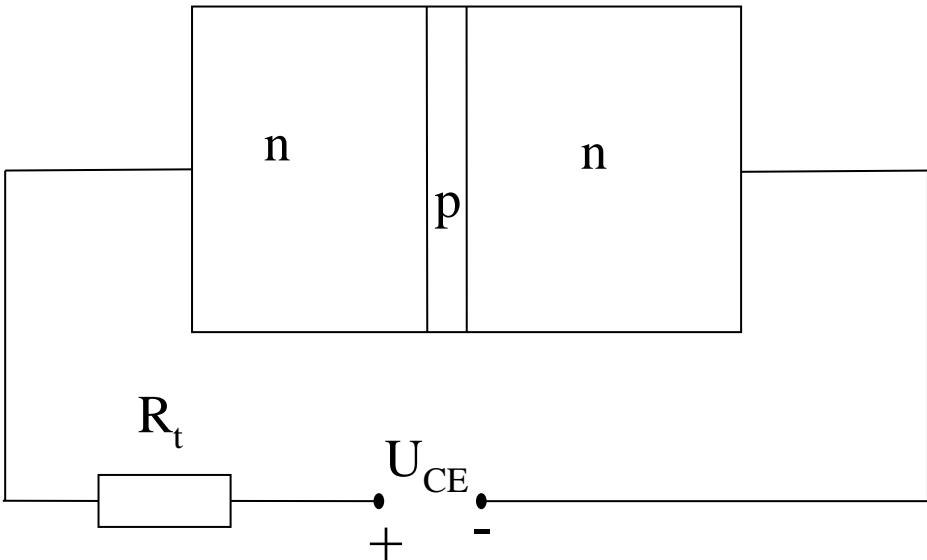
2.3. Photodiode

c) Ứng dụng:

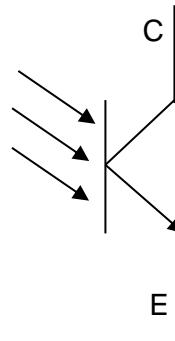
- Chuyển mạch: điều khiển rơ le, công logic,
- Đo ánh sáng không đổi (Chế độ tuyến tính)

Phototransistor

- PT có cấu tạo giống như transistor thường.
- Chỉ khác là:
 - ❖ Ở vỏ bọc phải có cửa sổ trong suốt để ánh sáng chiếu qua đến vùng Bazor.
 - ❖ Không tác dụng dòng lên Bazor mà tác dụng ánh sáng lên Bazor.



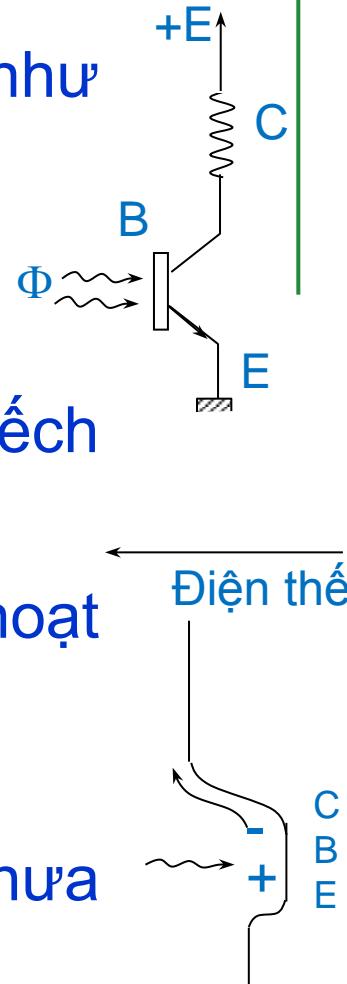
Ký hiệu:



Phototransistor

- **5.2. Nguyên lý hoạt động:**
 - Khi sử dụng, PT được mắc mạch tương tự như transistor mắc E chung:
 - ❖ Tiếp giáp B - E phân cực thuận
 - ❖ Tiếp giáp B - C phân cực ngược

⇒ Khi làm việc, PT được phân cực ở chế độ khuếch đại.
 - Khi chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, nó sẽ hoạt động giống như photodiode với dòng ngược:
- $$I_r = I_0 + I_p$$
- ❖ I_0 : dòng ngược của chuyển tiếp p-n khi chưa chiếu sáng I_p : dòng quang điện.
 - ❖ I_r : đóng vai trò của dòng I_B .



Phototransistor

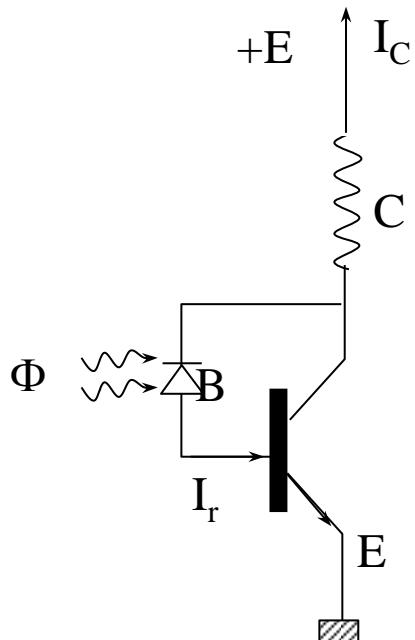
- I_r đóng vai trò của dòng I_B ⇔ I_r gây nên dòng I_C:

$$\begin{aligned} I_C &= (\beta + 1)I_r \\ &= (\beta + 1)I_0 + (\beta + 1)I_p \end{aligned}$$

- ❖ β: hệ số khuếch đại dòng của transistor khi đấu E chung.
- Sơ đồ tương đương của phototransistor:

Có thể coi PT như một tổ hợp gồm:

- ❖ Một photodiode cung cấp dòng quang điện tại Bazor,
- ❖ Một transistor cho hiệu ứng khuếch đại

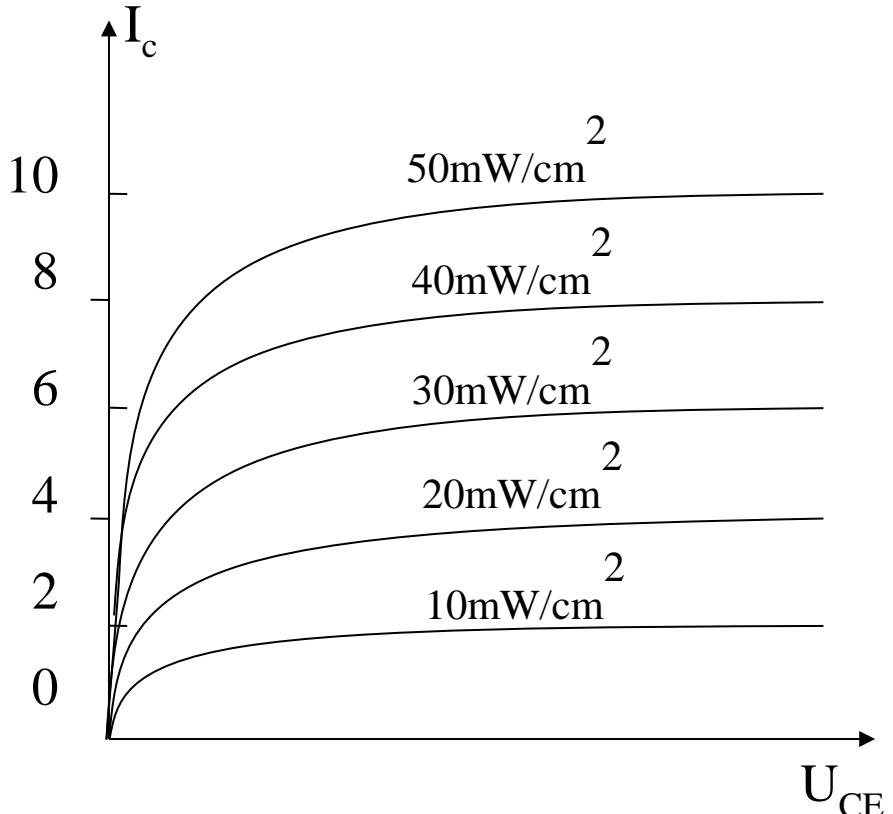


Phototransistor

Đặc tuyến và các tham số

■ Đặc tuyến V-A

- ❖ Tương tự như đặc tuyến của transistor thường.
- ❖ Điểm khác ở đây là các tham số không phải là dòng I_B mà là lượng chiếu sáng Φ .



Các đặc tuyến khác: Tương tự như của photodiode.

2.4. Phototranzito

c) Độ nhạy: $S(\lambda) = \frac{\Delta I_c}{\Delta \Phi_0}$

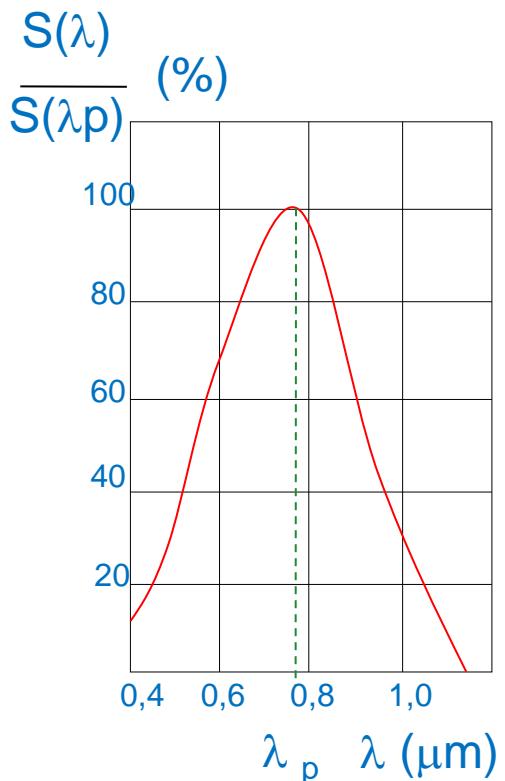
$$I_c = \beta + 1 \cdot I_r = \beta + 1 \cdot I_0 + \beta + 1 \cdot I_p$$

$I_c \in I_p \in \Phi$ và $\beta \in I_c \rightarrow \beta \in \Phi$

$\Rightarrow S \in \Phi \Rightarrow$ độ nhạy phụ thuộc thông lượng ánh sáng.

- Độ nhạy phụ thuộc λ
(hình vẽ)

$$S(\lambda p) = 1 \div 100 A/W$$

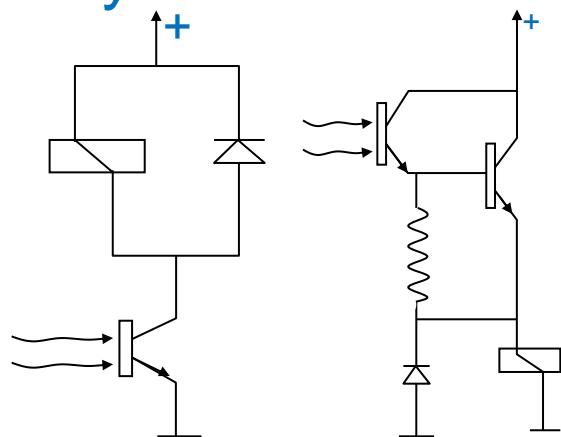


Đường cong phổ hồi đáp

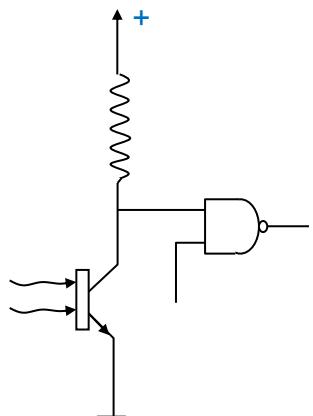
2.4. Phototranzito

d) Ứng dụng phototranzito:

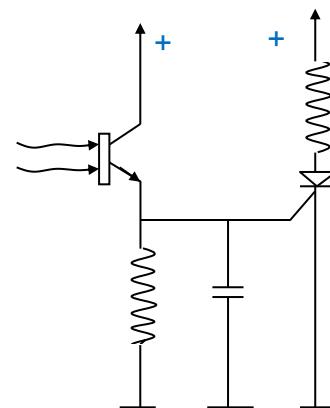
- **Chuyển mạch:** thông tin dạng nhị phân (có hay không có bức xạ, bức xạ nhỏ hơn hoặc lớn hơn ngưỡng) → điều khiển role, cổng logic hoặc thyristo.



Điều khiển role



Điều khiển cổng logic



Điều khiển thyristo

⇒ Cho độ khuếch đại lớn có thể dùng ĐK trực tiếp.

Cảm biến tiện cận quang

■ Cấu tạo

❖ Bộ phát sáng:

- ✓ Thường dùng LED: **LED đỏ, LED hồng ngoại, LED lazer, ...**
- ✓ Ánh sáng được phát ra theo xung

❖ Bộ thu sáng:

- ✓ Thường dùng Phototransistor
- ✓ Cảm nhận ánh sáng và chuyển đổi thành tín hiệu điện tỉ lệ

❖ Mạch tín hiệu ra:

- ✓ Chuyển tín hiệu tỉ lệ từ bộ thu sáng thành tín hiệu ON/OFF được khuếch đại

Cảm biến tiện cận quang

■ Một số hình ảnh ảnh thực tế

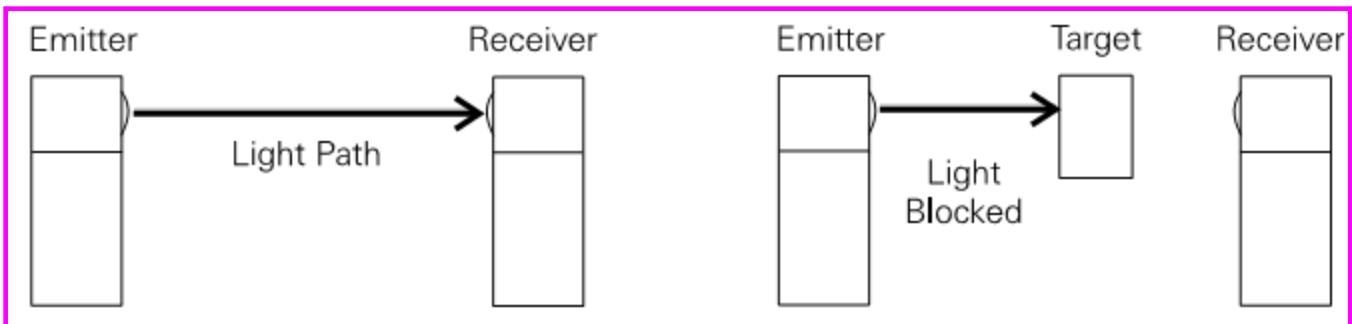


Cảm biến tiện cận quang

■ Hoạt động

❖ Thu phát:

- ✓ Bộ thu và phát tách biệt riêng nhau
- ✓ Nếu có vật chắn ngang nguồn sáng sẽ có tín hiệu ra



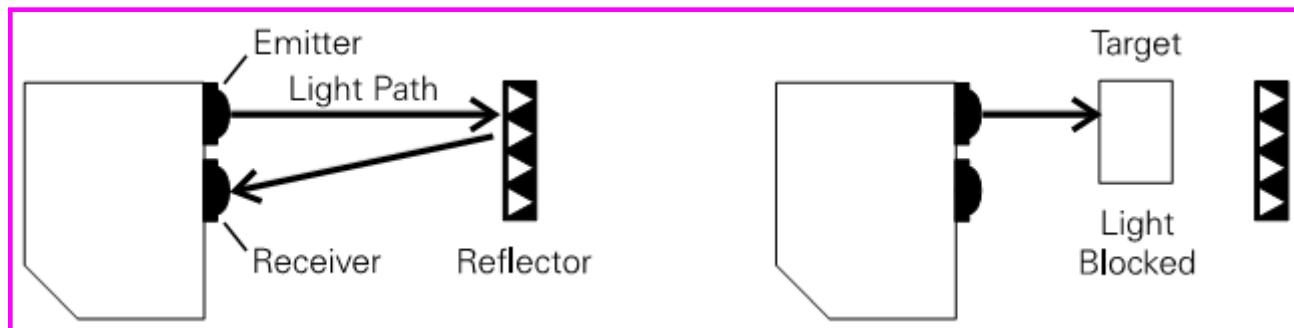
- ✓ **Ưu điểm:** khoảng cách phát hiện xa (có thể đến 30 m), độ tin cậy và độ chính xác vị trí cao, phát hiện được mọi vật thể (trừ trong suốt).
- ✓ **Nhược điểm:** mất nhiều thời gian cho việc lắp đặt, giá thành cao.

Cảm biến tiện cận quang

■ Hoạt động

❖ Phản xạ gương:

- ✓ Nguồn sáng phát ra tới gương và phản xạ lại bộ thu
- ✓ Nếu có vật chắn ngang nguồn sáng sẽ có tín hiệu ra



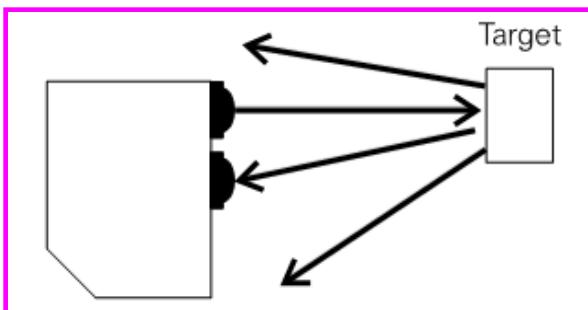
- ✓ **Ưu điểm:** giá thành thấp hơn loại thu phát, dễ lắp đặt và hiệu chỉnh, tin cậy.
- ✓ **Nhược điểm:** khoảng cách phát hiện ngắn, vẫn cần 2 điểm lắp đặt cảm biến và gương

Cảm biến tiện cận quang

■ Hoạt động

❖ Phản xạ khuếch tán:

- ✓ Bộ phát sáng phát nguồn sáng tới đối tượng
- ✓ Đối tượng này sẽ phản xạ một phần ánh sáng (phản xạ khuếch tán) ngược lại bộ thu sáng, kích hoạt tín hiệu ra



- ✓ **Ưu điểm:** giá thành thấp, dễ lắp đặt (chỉ cần 1 điểm lắp đặt duy nhất)
- ✓ **Nhược điểm:** khoảng cách phát hiện ngắn và phụ thuộc vào kích thước, bề mặt và hình dáng của đối tượng.

Cảm biến tiệm cận quang

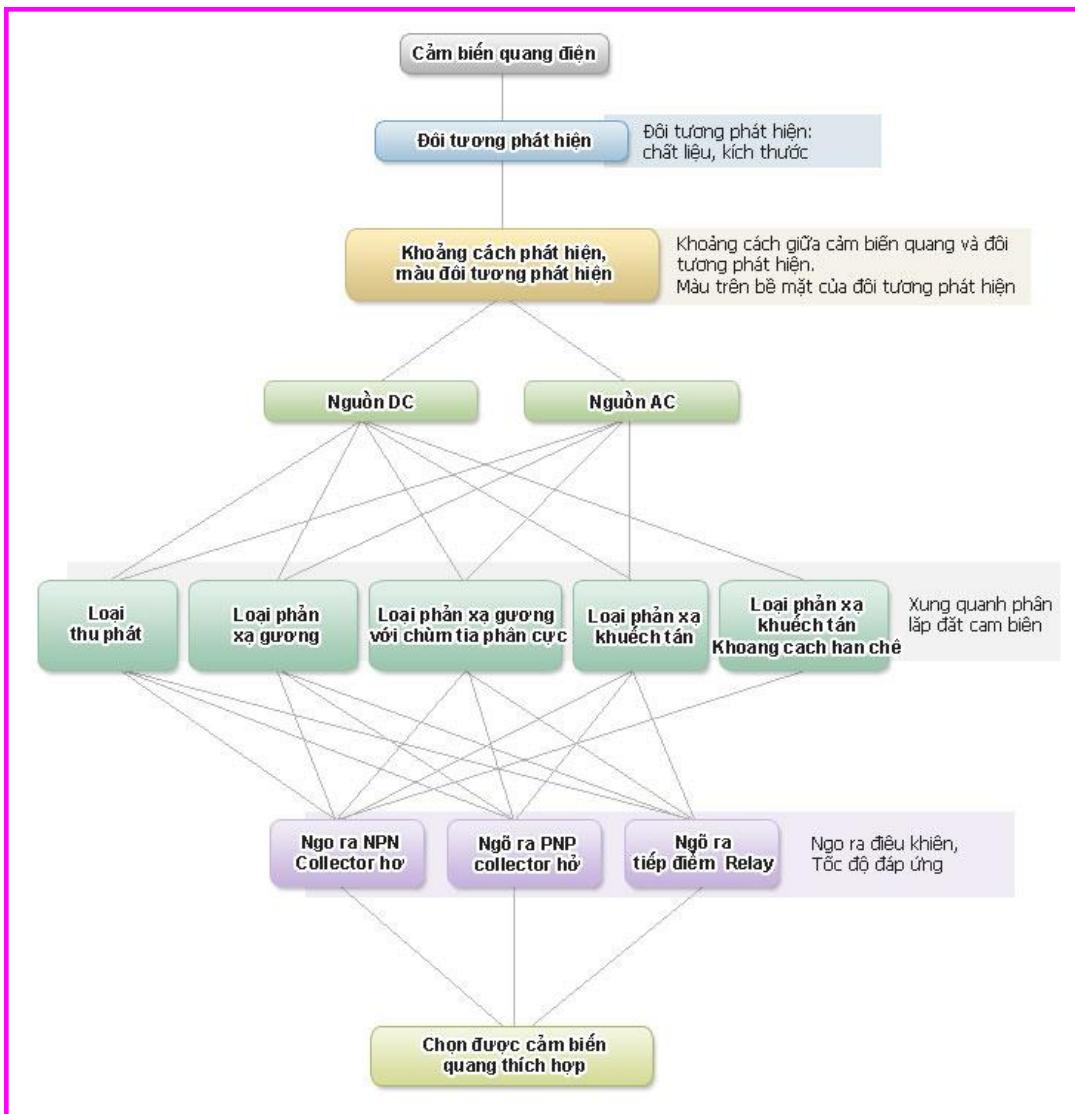
■ Ưu điểm

- ❖ Phát hiện được mọi vật liệu
- ❖ Ồn định và tốc độ cao
- ❖ Độ phân giải tốt
- ❖ Giá thấp

■ Nhược điểm

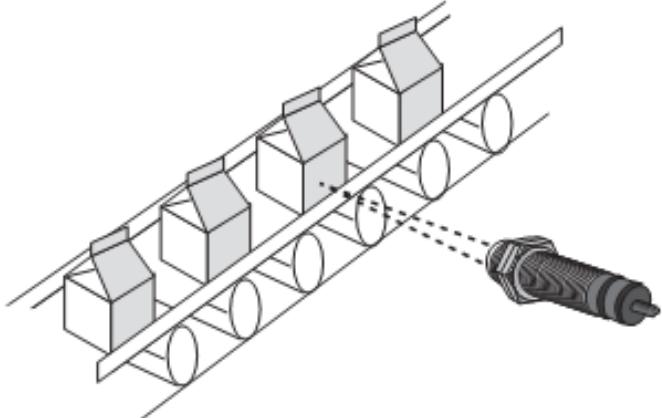
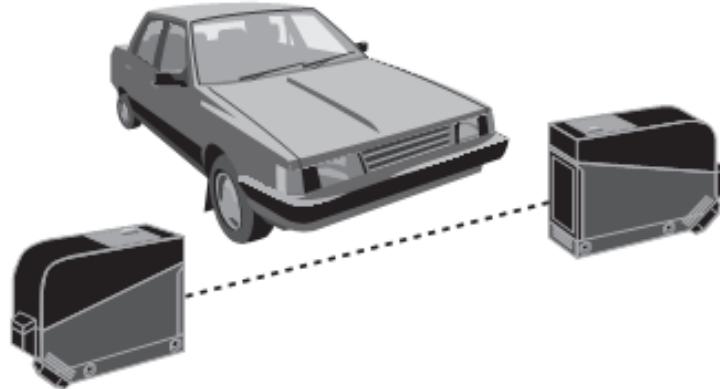
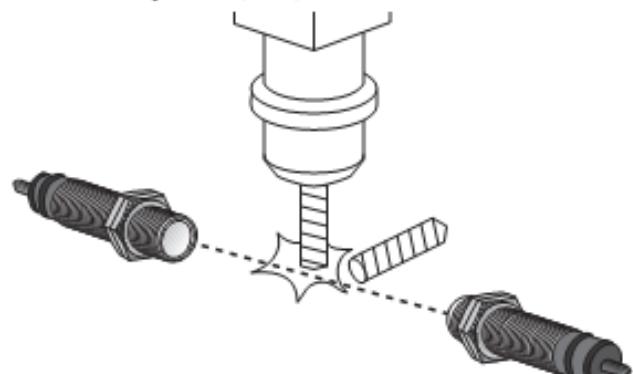
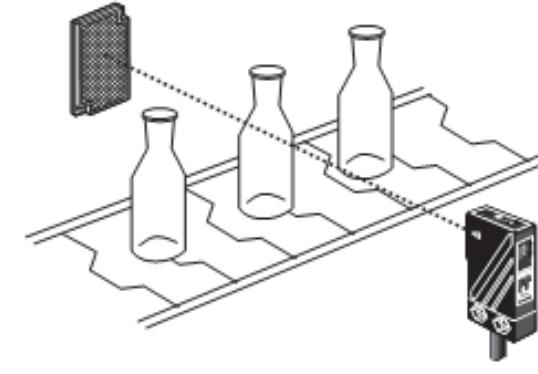
- ❖ Ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm
- ❖ Khó thiết kế
- ❖ Độ tuyến tính không cao
- ❖ Không chính xác bằng cảm biến loại cảm ứng

Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang



Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang

M

| | |
|--|--|
| <p>Phát hiện hộp sữa</p>  | <p>Phát hiện xe đi qua</p>  |
| <p>Phát hiện mũi khoan bị gãy</p> <p>* Nếu mũi khoan quá nhỏ, nó không thể phát hiện bởi vì BR4M-TDT□ phát hiện vật trên 15mm</p>  | <p>Phát hiện có mặt / thiếu chai trong suốt</p> <p>* Loại phản xạ gương (Có thể điều chỉnh độ nhạy)</p>  |

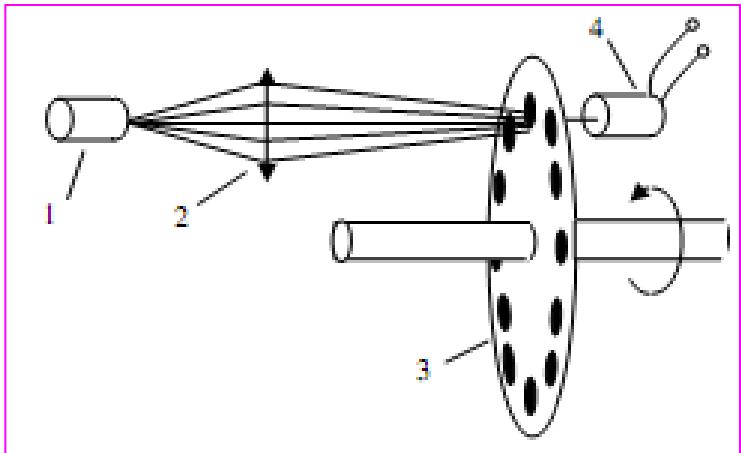
Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang

■ M

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <p>Phát hiện có / thiếu đường ren</p> | <p>Phát hiện chiều của IC</p> |
| <p>Phát hiện vị trí di chuyển vật</p> | <p>Phát hiện vị trí thang máy</p> |

Ứng dụng - Cảm biến đo vận tốc

- c) Đo vận tốc góc
- Tốc độ kế xung
- ❖ Quang



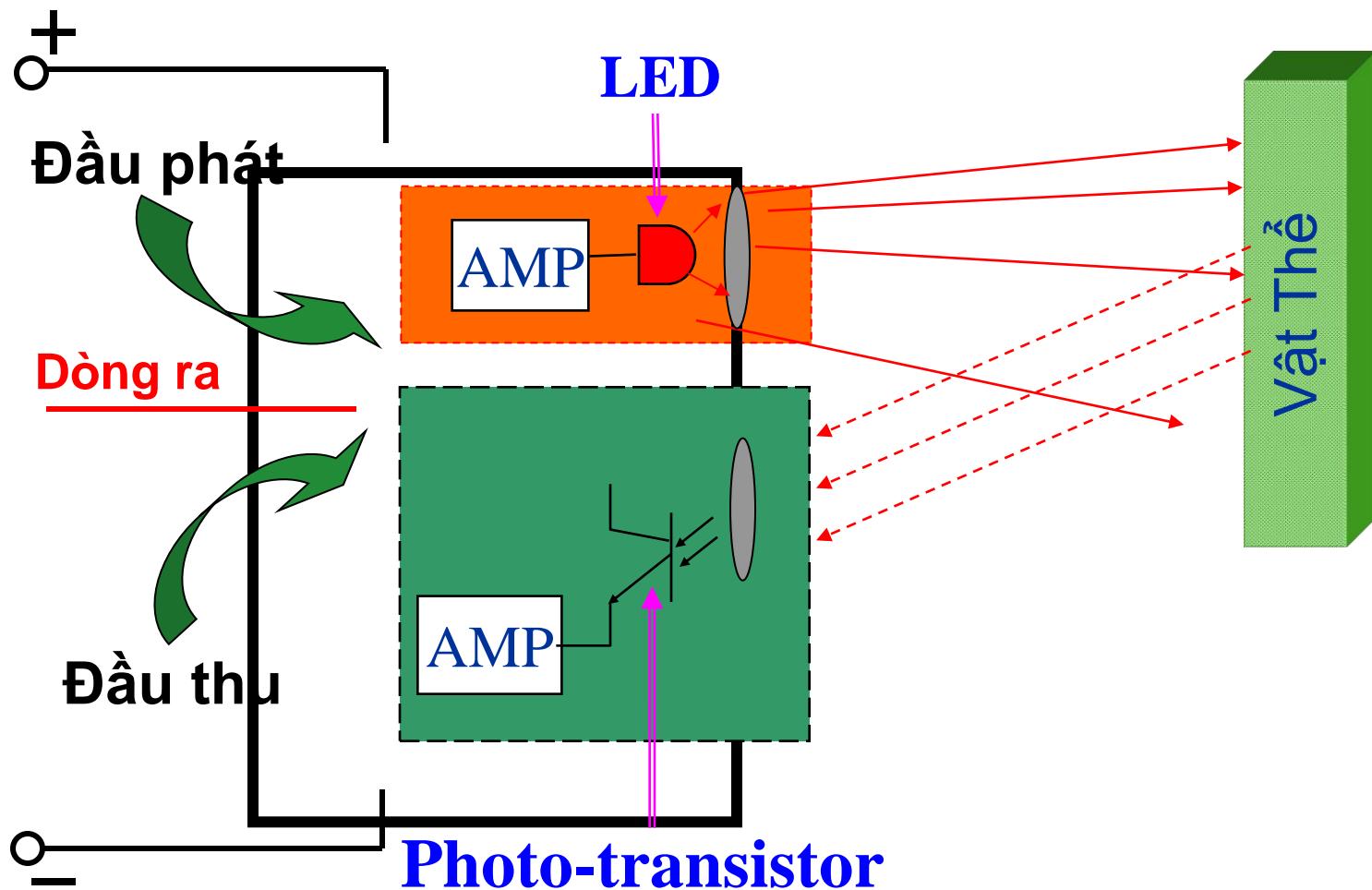
- 1) Nguồn sáng
- 2) Thấu kính hội tụ
- 3) Đĩa quay
- 4) Đầu thu quang

- Nguồn sáng là một diot phát quang
- Đĩa quay: đặt giữa nguồn sáng và đầu thu, có các lỗ bố trí cách đều trên một vòng tròn.
- Đầu thu là một photodiode hoặc phototranzitor.

Hoạt động

- Khi đĩa quay, đầu thu chỉ chuyển mạch khi nguồn sáng, lỗ, nguồn phát sáng thẳng hàng.
- Đầu thu quang nhận được một thông lượng ánh sáng thay đổi và phát tín hiệu có tần số tỉ lệ với tốc độ quay nhưng biên độ không phụ thuộc tốc độ quay.

Ứng dụng phát hiện đối tượng



Cấu Tạo Và Nguyên Tắc Hoạt Động

Cảm biến hồng ngoại

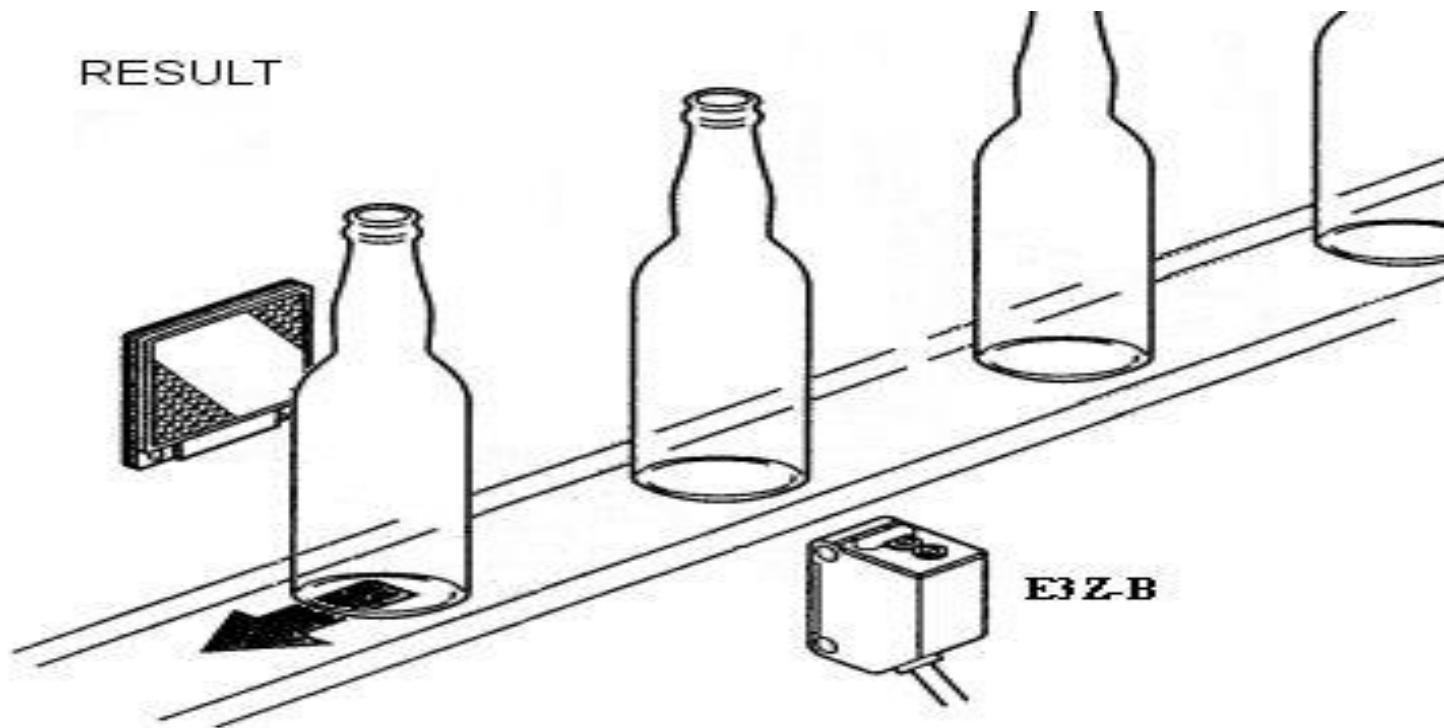


Cảm biến hồng ngoại ở cửa tự động



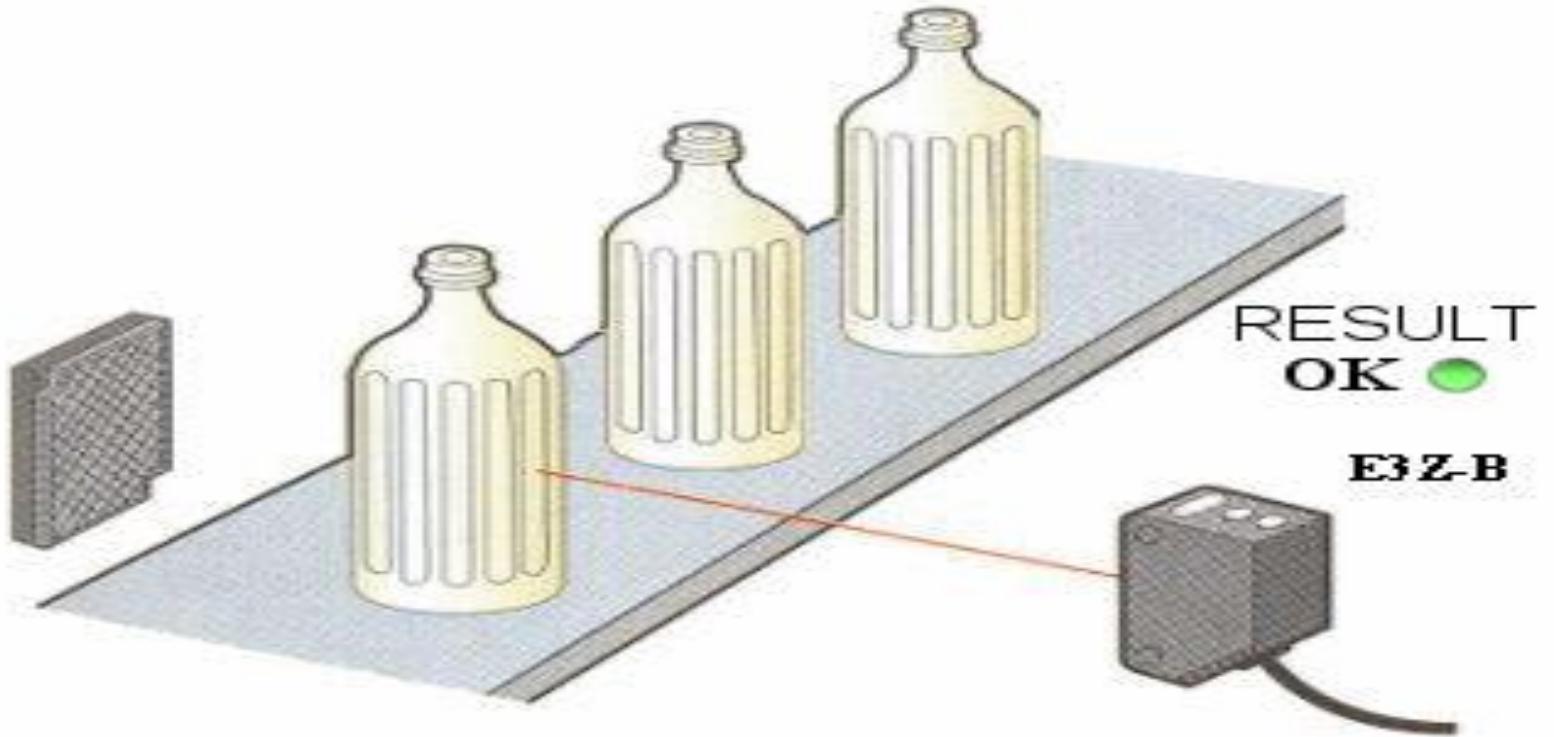
-Trong chế tạo các thiết bị cảm ứng hồng ngoại : cửa tự động,,,,,,

Một số Ứng dụng



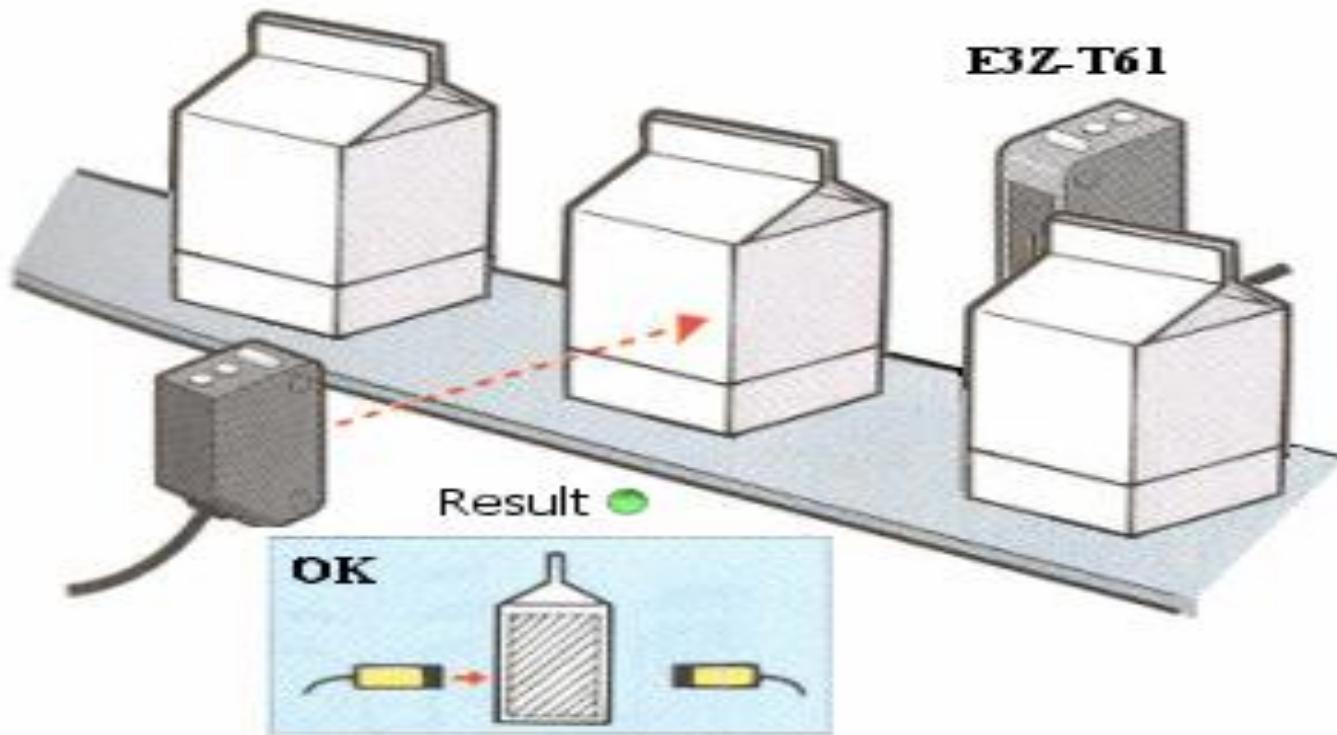
E3Z-B là loại sensor mới của Omron chuyên dùng để nhận biết các chai PET và chai trong suốt. Bạn cũng có thể dùng model cũ là E3S-CR67 .

Ứng dụng thu phát



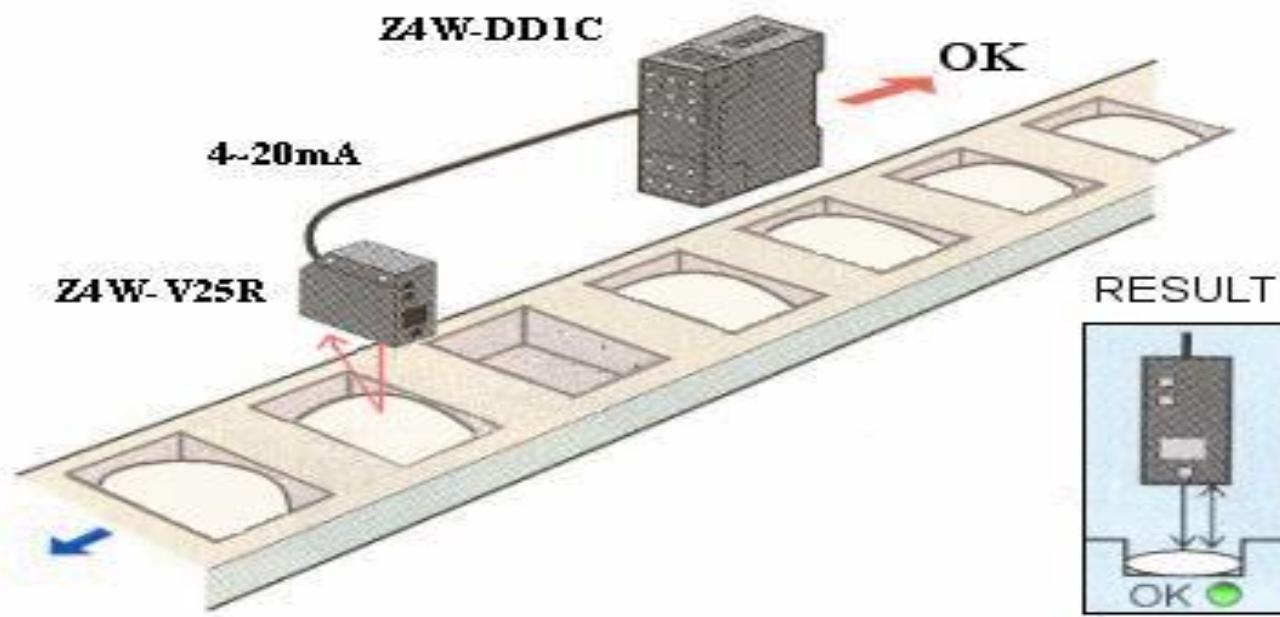
Nếu sử dụng các sensor thường để phát hiện chai PET trong thi
đôi lúc không ổn định. Sensor E3Z-B có khả năng phát hiện tốt
với độ tin cậy rất cao.

Một số Ứng dụng



E3Z-T61, với tia sáng mạnh có thể xuyên qua vỏ bọc giấy bên ngoài và vì vậy có thể phát hiện được sữa / nước trái cây tại thời điểm hiện tại cũng như phát hiện được mức của chất lỏng này.

Một số Ứng dụng



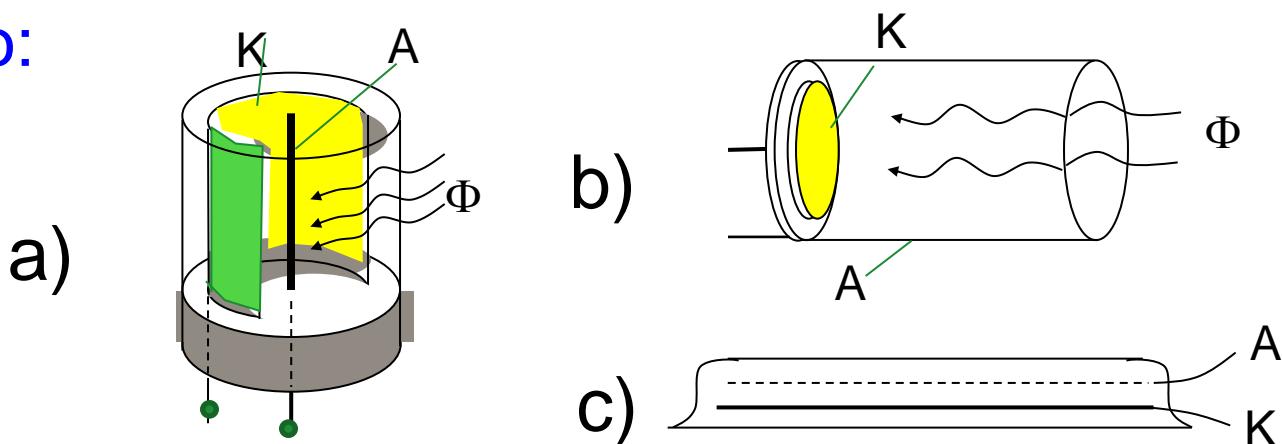
Z4W-V là loại Laser sensor và nó có thể phát hiện được chiều cao của bánh được làm ra với độ chính xác tới vài micromet.

3. Cảm biến quang điện phát xạ

- Cơ chế phát xạ điện tử khi chiếu sáng:
 - Hấp thụ photon và giải phóng điện tử.
 - Điện tử được giải phóng di chuyển → bề mặt.
 - Điện tử thoát khỏi bề mặt vật liệu.
- Do nhiều nguyên nhân \Rightarrow số điện tử phát xạ trung bình khi một photon bị hấp thụ (hiệu suất lượng tử) thường nhỏ hơn 10% và ít vượt quá 30%.

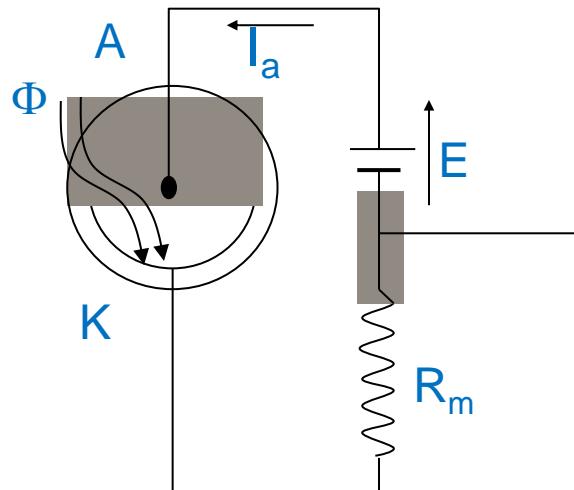
3.2. Tế bào quang điện chân không

a) Cấu tạo:

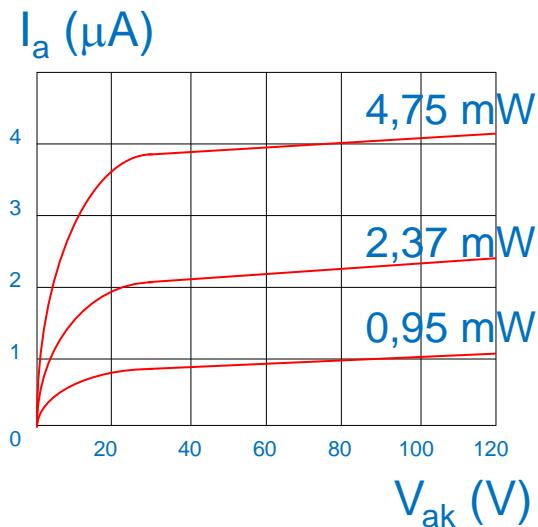


- **Catot:** có phủ lớp vật liệu nhạy với ánh sáng (Cs_3Sb , K_2CsSb , Cs_2Te , Rb_2Te , CsTe ...) đặt trong vỏ hình trụ trong suốt (b) hoặc vỏ kim loại có một đầu trong suốt (b) hoặc hộp bên trong được hút chân không (áp suất $\sim 10^{-6} - 10^{-8}$ mmHg).
- **Anot:** bằng kim loại.

3.2. Tế bào quang điện chân không



Sơ đồ tương đương



Đặc tính V - A

- Khi chiếu sáng catot (K) các điện tử phát xạ và dưới tác dụng của điện đường do V_{ak} tạo ra tập trung về anot (A) → tạo thành dòng anot (I_a).

3.2. Tế bào quang điện chân không

- Đặc tính V - A có hai vùng:
 - Vùng điện tích không gian.
 - Vùng bão hòa.
- TBQĐ làm việc ở vùng bão hòa → tương đương nguồn dòng, cường độ dòng chủ yếu phụ thuộc thông lượng ánh sáng. Điện trở trong ρ của tế bào quang điện rất lớn:

$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{dI_a}{dV_{ak}} \right)_{\Phi}$$

Độ nhạy: $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta \Phi} = 10 \div 100 \text{ mA/W}$

3.2. Tế bào quang điện chân không

c) Đặc điểm và ứng dụng:

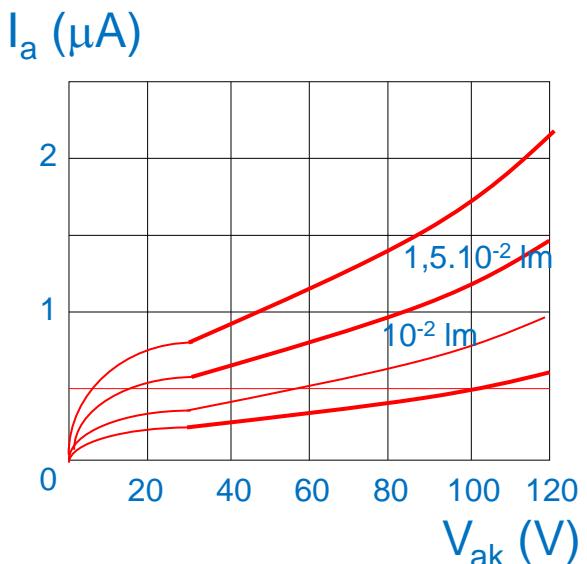
- Độ nhạy lớn ít phụ thuộc V_{ak} .
- Tính ổn định cao

⇒ Chuyển mạch hoặc đo tín hiệu quang.

3.3. Tế bào quang điện dạng khí

a) Cấu tạo và nguyên lý làm việc: cấu tạo tương tự TBQĐ chân không, chỉ khác bên trong được điền đầy bằng khí (acgon) dưới áp suất cỡ 10^{-1} - 10^{-2} mmHg.

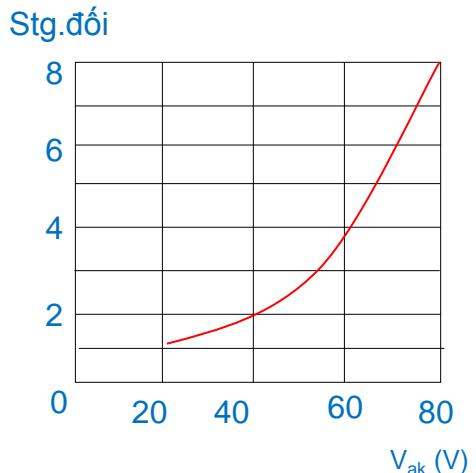
Khi $V_{ak} < 20V$, đặc tuyến I - V có dạng giống TBQĐ.
 Khi điện áp cao, điện tử chuyển động với tốc độ lớn
 → ion hóa các nguyên tử khí → I_a tăng 5 ÷ 10 lần.



3.3. Tế bào quang điện dạng khí

c) Đặc điểm và ứng dụng:

- Dòng I_a lớn.
- S phụ thuộc mạnh vào V_{ak} .
⇒ Chuyển mạch và đo tín hiệu quang.



**TRƯỜNG ĐẠI HỌC
BÁCH KHOA HÀ
NỘI
VIỆN ĐIỆN**



**CẢM BIẾN VÀ
XỬ LÝ TIN HIỆU**



Nguyễn Thị Huế
BM: Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp

Nội dung môn học

- ❖ Chương 1: Tổng quan về cảm biến và Các mạch xử lý trong đo lường
- ❖ Chương 2: Chuyển đổi nhiệt điện
- ❖ Chương 3: Chuyển đổi điện trở
- ❖ Chương 4: Cảm biến tĩnh điện(áp điện, điện dung)
- ❖ Chương 5: Chuyển đổi điện tử
- ❖ Chương 6: Chuyển đổi tĩnh điện Chuyển đổi điện tử và ion
- ❖ Chương 7: Chuyển đổi hóa điện
- ❖ Chương 8: Chuyển đổi khác
- ❖ **Chương 9: Cảm biến đo lưu lượng**

Tài liệu tham khảo

- Sách:
 - ❖ Kĩ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, 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

Lưu lượng

■ Khái niệm:

- ❖ Là số lượng về thể tích hoặc khối lượng di chuyển được của chất lưu trong một đơn vị thời gian.
- ❖ Đôi khi lưu lượng được tính tổng để tính toán số lượng vật liệu chảy qua.
- ❖ Tốc độ dòng chảy là cự ly di chuyển được của chất lưu trong một đơn vị thời gian.

Lưu lượng

■ Đơn vị:

❖ Hệ Anh:

- ✓ Đo theo đơn vị thể tích: gpm (gallons/minute)
- ✓ Đo theo đơn vị trọng lượng: lbs/phút
- ✓ Đo theo đơn vị tốc độ: ft/phút

➤ Lưu lượng nước là 60gpm, một gallons nước nặng 8,33 pounds, nên ở đơn vị trọng lượng là $60 \times 8,33 = 500$ lbs nước/phút

❖ Hệ SI:

- ✓ Lưu lượng thể tích: m³/h
- ✓ Lưu lượng khối lượng: kg/h
- ✓ Đơn vị tốc độ: m/h

Lưu lượng

■ Đơn vị:

- ❖ Lựa chọn dựa trên các yếu tố:
 - ✓ Trạng thái vật liệu (khí, dung dịch, chất rắn)
 - ✓ Đơn vị đo hệ Anh hay hệ SI.
 - ✓ Số lượng vật liệu di chuyển trong một khoảng thời gian là bao nhiêu.

Lưu lượng

■ Các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy

- ❖ Ma sát
- ❖ Khối lượng riêng
- ❖ Độ nhớt
- ❖ Dạng đường ống
- ❖ Khoảng cách di chuyển
- ❖ Khả năng chịu nén của khí

Lưu lượng

■ Các mối quan hệ:

❖ Giữa lưu lượng thể tích và lưu lượng khối lượng:

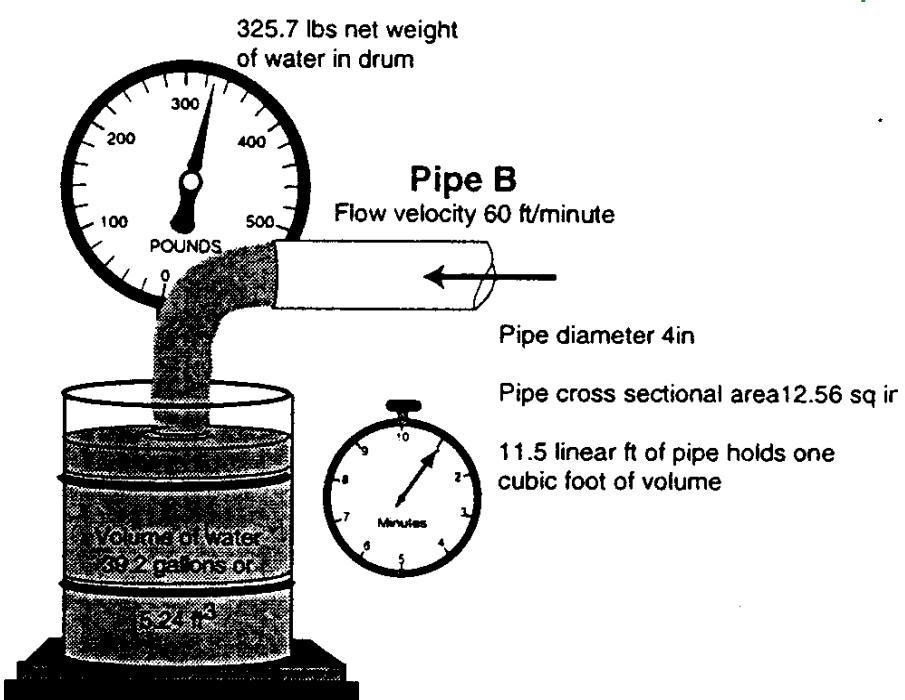
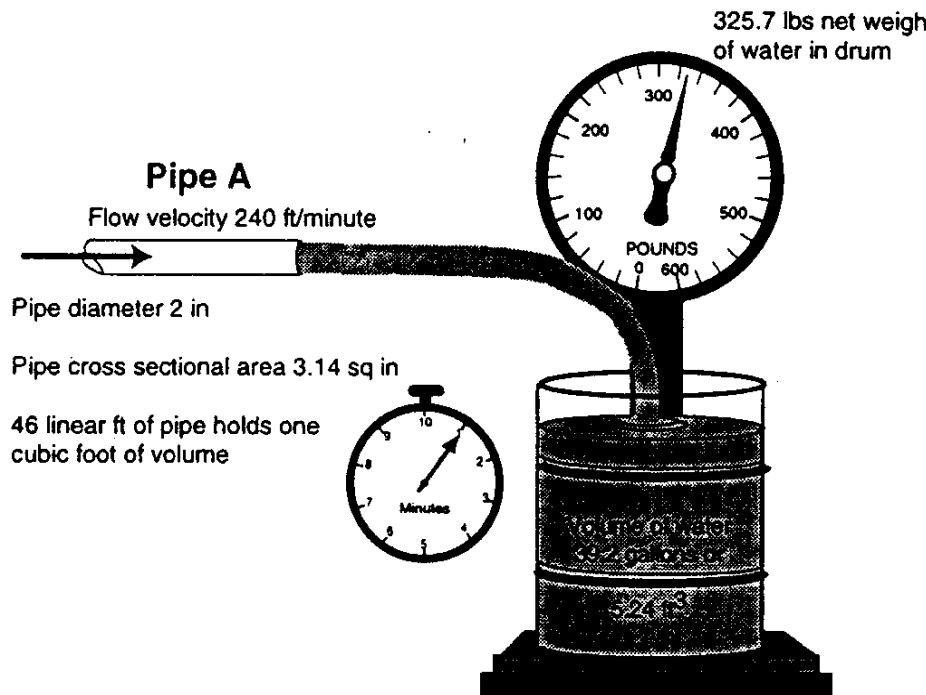
Lưu lượng thể tích x khối lượng riêng = Lưu lượng khối lượng

❖ Giữa lưu lượng và vận tốc dòng:

Lưu lượng thể tích = vận tốc x tiết diện ngang của ống

Lưu lượng

■ Các mối quan hệ:

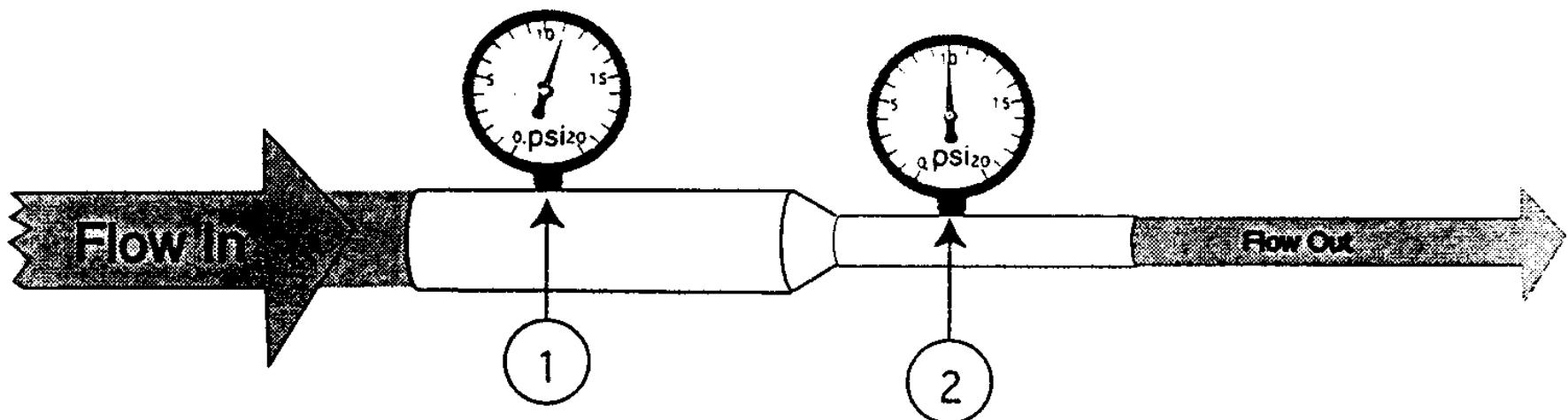


Lưu lượng

■ Các mối quan hệ:

- ❖ Giữa áp suất và vận tốc dòng

Nếu lưu lượng thể tích duy trì không đổi, áp suất giảm khi vận tốc dòng tăng.

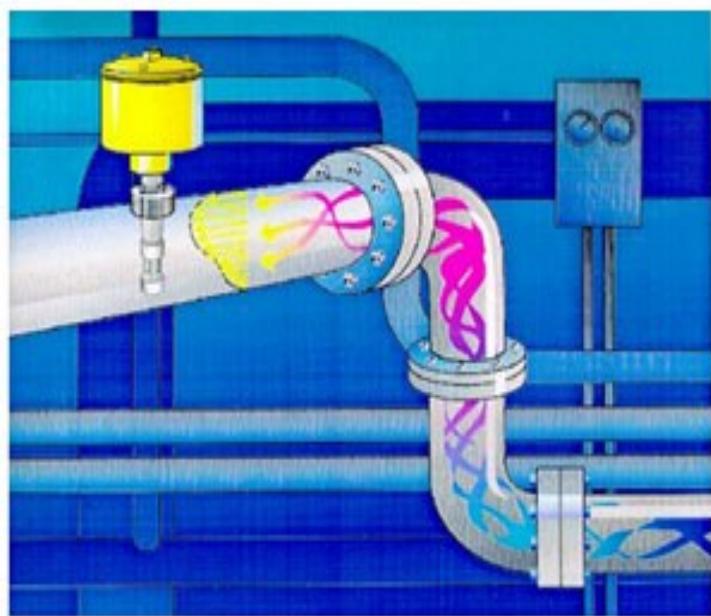


Lưu lượng

- Trên thực tế, khi lựa chọn thiết bị đo lưu lượng để kiểm soát cho dòng môi chất cần trong ứng dụng đã có rất nhiều các **yếu tố khách quan** (vị trí lắp đặt thiết bị đo dòng môi chất, nhiệt độ dòng môi chất/nhiệt độ môi trường xung quanh, môi trường lắp đặt, dải lưu lượng tương thích của dòng môi chất qua ống,tính kinh tế/chất lượng/độ chính xác/tính năng hỗ trợ

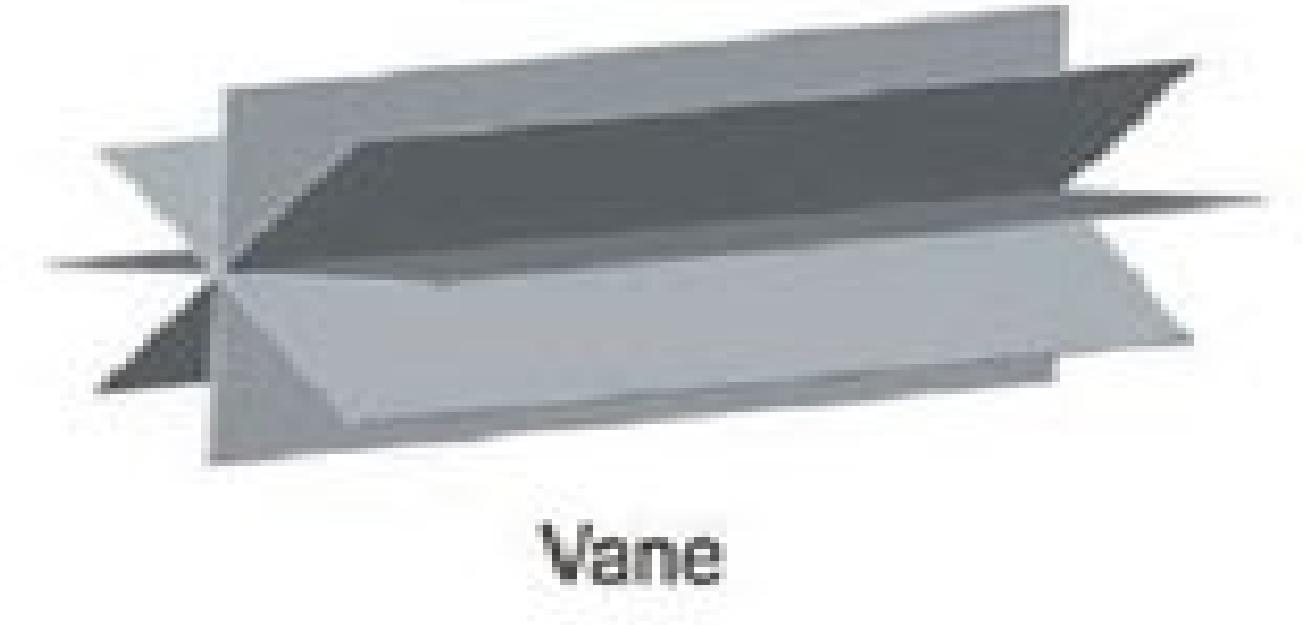
Lưu lượng

- Một vấn đề thường xuyên gặp phải trong quá trình lắp đặt thiết bị đo, đặc biệt đồng hồ đo lưu lượng là khoảng cách dòng chảy thẳng trước (upstream) và sau (downstream) thiết bị. Với mỗi một hãng sản xuất đồng hồ thì có vị trí lắp đặt tương ứng khác nhau cho thiết bị đo của mình.



Lưu lượng

- Bộ điều tiết kiểu **Honeycomb Vane** được dùng phổ biến trong hệ thống HVAC hoặc các ứng dụng trong hệ thống xử lý khí nén. Với rất nhiều thiết kế khác nhau và các chất liệu có sẵn



Lưu lượng

- Bộ điều tiết kiểu **Perforated Plate** thường chọn để ứng dụng trong đường ống dẫn khí đốt tự nhiên hoặc khí sạch khác và các ứng dụng chất lỏng. Việc cài đặt rất đơn giản và không cần mảnh spool, nhưng cũng có thể dễ bị tắc nghẽn trong các đường ống chứa khí bẩn.



Perforated Plate

Lưu lượng

- Bộ điều tiết kiểu **Tube Bundles** và Vanes đã được sử dụng trong nhiều thập niên. Ống bundles rất có hiệu quả trong việc lạo bỏ dòng xoáy, nhưng có xu hướng "đóng băng" các trạng thái vận tốc và do đó không hiệu quả khi điều chỉnh biến dạng dòng chảy



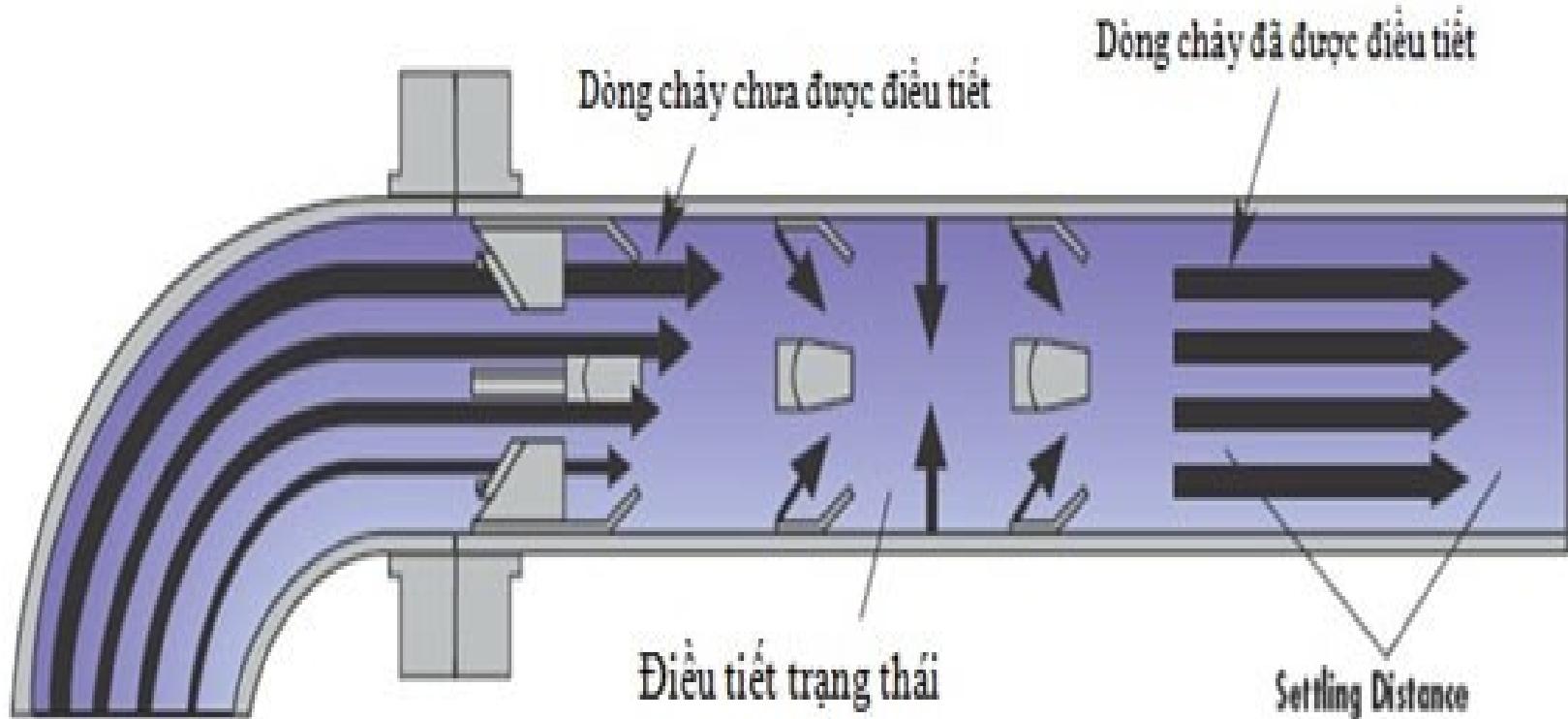
Lưu lượng

- Bộ điều tiết kiểu **Tab** là một lựa chọn tốt dùng cho khí sạch hoặc bẩn và chất lỏng vì những thiết kế giảm dần của các tab. Chúng cung cấp những sự kết hợp tuyệt vời để loại bỏ các dòng xoáy và điều chỉnh trạng thái vận tốc đúng với áp suất tối thiểu.



Tab Type

Lưu lượng



Dụng cụ đo lưu lượng đọc trực tiếp

■ Rotameter

- ❖ Là dụng cụ đo lưu lượng trong ống dẫn kín.
- ❖ Cấu tạo:
 - ✓ Gồm một ống thuỷ tinh có đường kính nhỏ dần có chứa phao (còn gọi là cục trọng lượng).
 - ✓ Phao có thể di chuyển tự do trong ống.
 - ✓ Ống được gắn vào đường ống theo chiều thẳng đứng, đầu có đường kính nhỏ hướng xuống dưới là lối vào của chất chảy.
 - ✓ Phao có nhiều hình dạng khác nhau như: hình quả roi, ống chỉ, cầu.

Dụng cụ đo lưu lượng đọc trực tiếp

■ Rotameter

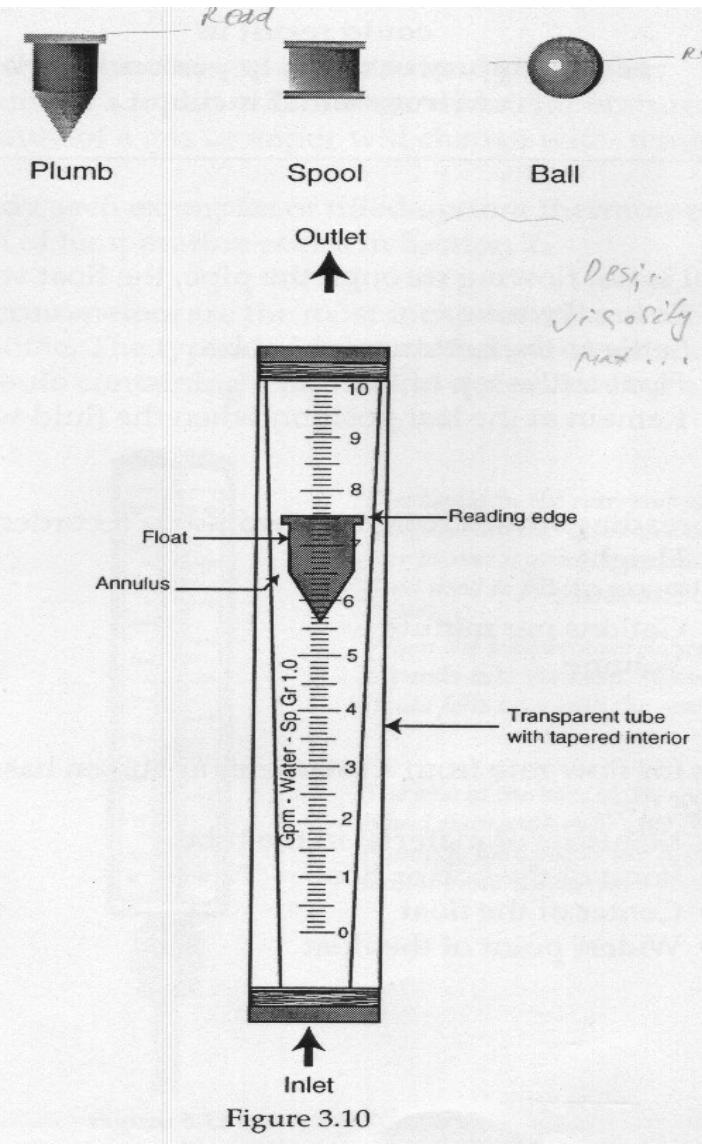
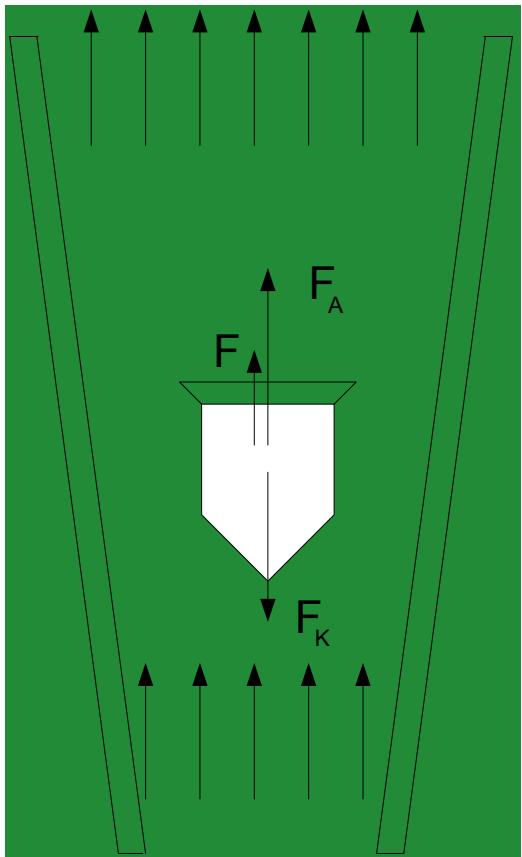


Figure 3.10

ĐO LƯU LƯỢNG BẰNG PHAO CHÌM

- Thiết bị gồm một ống hình côn trụ thẳng đứng cho dòng chất lỏng chảy từ dưới lên trên.
- Phao được thả vào trong chất lỏng sẽ tìm được vị trí đứng yên khi nó cân bằng giữa trọng lực và lực đẩy.
- Chiều cao vị trí của phao chìm tỉ lệ với lưu lượng của dòng chảy.
- Trên vành phao, người ta tạo thành rãnh xiên nhỏ làm phao quay quanh trục.

ĐO LƯU LƯỢNG BẰNG PHAO CHÌM

- Quan hệ giữa lưu lượng và vị trí của phao:

$$q_m = A_r \cdot C \cdot \sqrt{(\rho_s - \rho_1) \rho_1}$$

Trong đó:

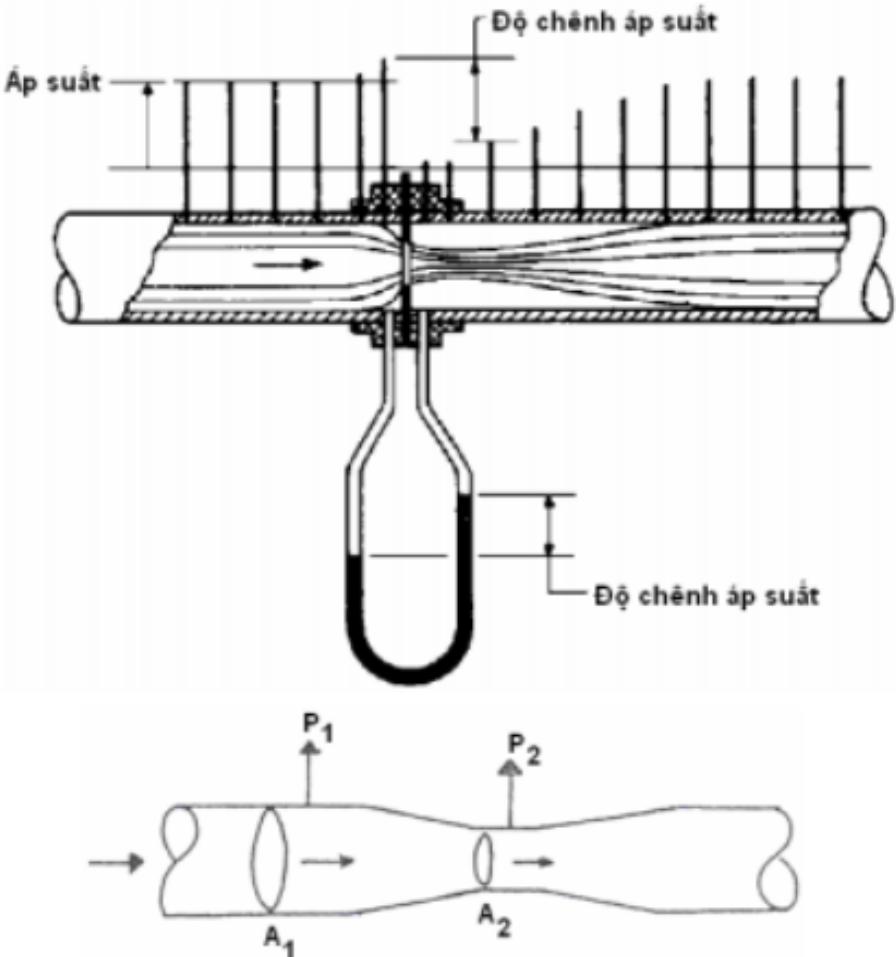
- A_r là tiết diện của khe hở tròn
- ρ_s Tỉ trọng của phao.
- ρ_1 Tỷ trọng chất lỏng.
- C Hệ số kể đến lực ma sát.

Cảm biến lưu lượng

- Kiểu chênh áp (DP)
- Kiểu Vortex (tần số dòng xoáy)
- Kiểu siêu âm
- Kiểu từ tính
- Kiểu thế chõ (PD)
- Kiểu cơ khí:
 - Lưu lượng kế cánh quạt-tuabin (Turbine flowmeters),
 - Lưu lượng kế phao nổi (Variable-area flowmeters)
- Kiểu khối lượng
 - Coriolis Mass Flowmeter
 - Thermal Mass Flowmeter

Cảm biến lưu lượng kiểu chênh áp suất

- ❖ Nguyên lý đo lưu lượng bằng chênh áp
- Nguyên tắc thay đổi độ giảm áp suất qua ống thu hẹp
- ✓ Các ống “venturi”, các tẩm “orifice” và các “nozzle” là những thiết bị giảm áp thường được đặt trong đường ống quá trình để đo lưu lượng. Cả ba đều tạo nên một chênh lệch áp suất mà có thể dễ dàng đo được và từ đó tính được lưu lượng thể tích.
- Độ chênh áp suất này phụ thuộc vào lưu lượng chảy qua ống



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

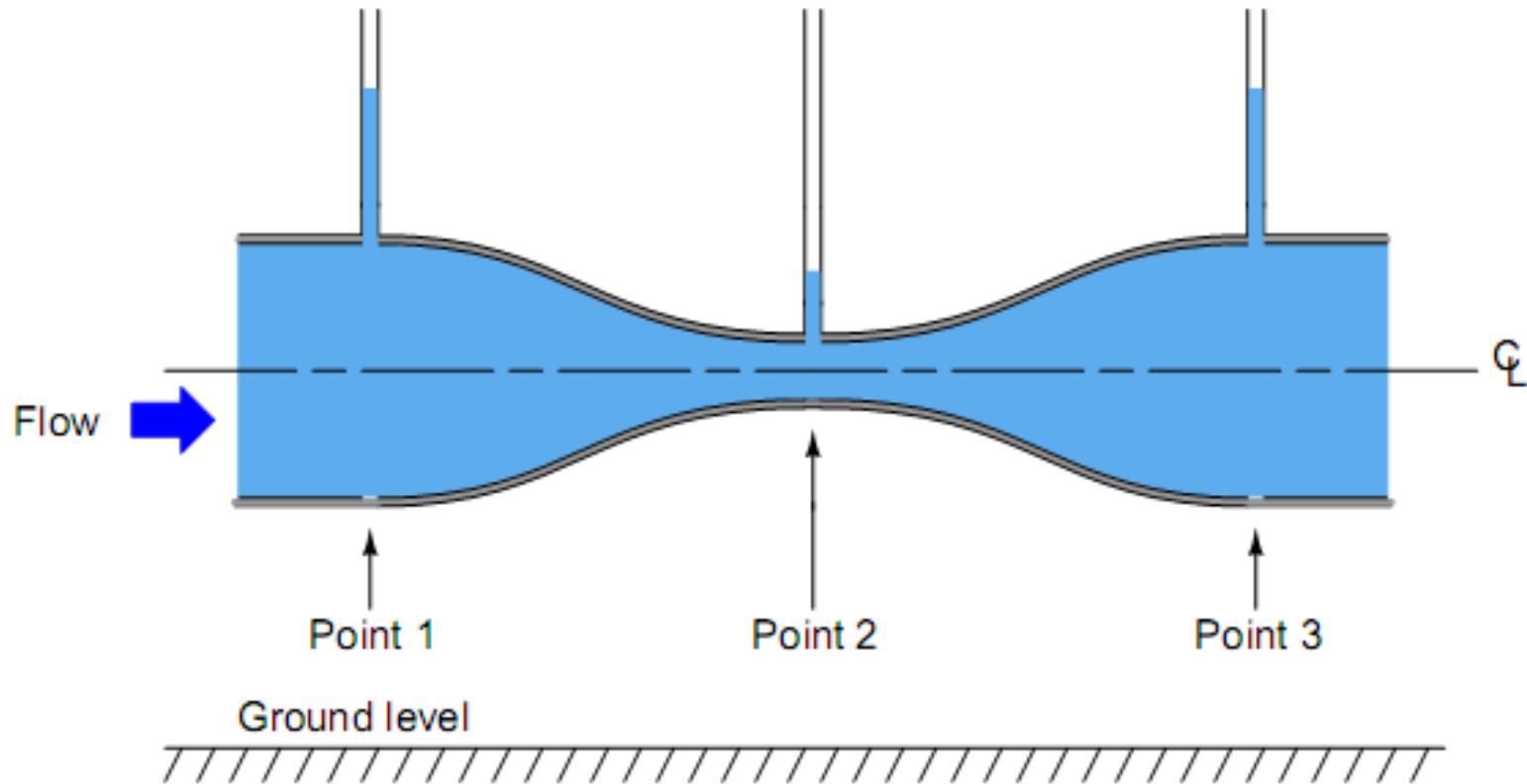
❖ Nguyên lý:

- Dòng chảy có lưu lượng thể tích không đổi đi qua một vùng giới hạn, vận tốc dòng chảy tăng lên. Sự thay đổi về vận tốc làm giảm áp suất tĩnh nơi mà dòng chảy tăng tốc.

❖ Hoạt động:

- Áp suất trên mỗi phía của vùng giới hạn có thể đo được nhờ sử dụng đồng hồ áp suất hoặc thiết bị cảm biến áp suất chênh lệch.
- Một đồng hồ áp suất được đặt phía trước vùng giới hạn, và cái còn lại được đặt nơi dòng chảy hẹp nhất và có vận tốc cao nhất

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI



$$z_1 \rho g + \frac{v_1^2 \rho}{2} + P_1 = z_2 \rho g + \frac{v_2^2 \rho}{2} + P_2$$

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI

Trong đó:

z_1, z_2 là chiều cao của dòng quá trình so với đất

ρ Khoi luong rieng.

g gia tốc trọng trường.

v là vận tốc dòng quá trình

P là áp suất dòng quá trình

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI

- Bỏ qua z_1, z_2 ta có:

$$\frac{v_1^2 \rho}{2} + P_1 = \frac{v_2^2 \rho}{2} + P_2$$

$$\frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) = P_1 - P_2$$

- Lưu lượng trước và sau lỗ thu hẹp không thay đổi:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

→

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2$$

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI

$$\frac{\rho}{2} \left(v_2^2 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 v_2^2 \right) = P_1 - P_2$$

$$\frac{\rho}{2} v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right) = P_1 - P_2$$

$$v_2 = \sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI

- Lưu lượng chất lỏng chảy qua một đường ống:

$$Q = A \cdot v$$

$$A_2 v_2 = \sqrt{2} A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

$$Q = \sqrt{2} A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI

- Lưu lượng chất lỏng chảy qua một đường ống:

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = \sqrt{2} A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

$$Q = k \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Đo lưu tốc- hiệu áp suất

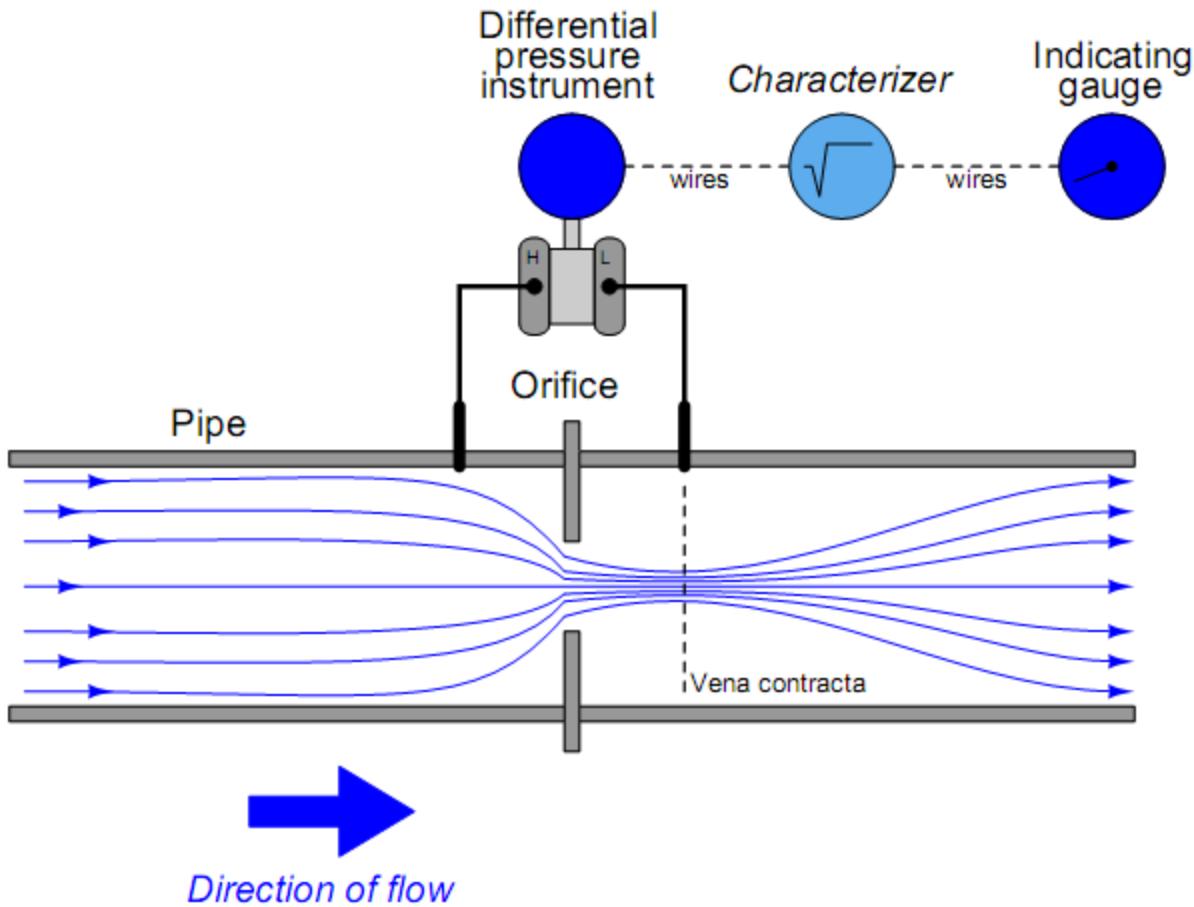
- Một trong những phương pháp được dùng rất nhiều trong Công nghiệp là cảm biến hiệu áp suất.
- Trong một ống dẫn chất lỏng hoặc khí, khi có một vật chắn đặt trên ống dẫn thì dòng chảy bị rối và tạo ra một hiệu áp suất trước và sau vật chắn. Theo công thức

• Berloulli

$$q_v = k\mu S \sqrt{\frac{h}{\rho}} \quad q_g = k\mu S \sqrt{h\rho}$$

- q_v - lưu tốc tính bằng thể tích của chất lỏng.
- q_g - lưu tốc tính bằng trọng lượng của chất lỏng.
- k - Hệ số phụ thuộc vào hình dáng hệ số biến đổi kích thước giữa ống và lỗ chấnvv..
- μ - độ nhớt của chất lỏng.
- S - Diện tích của ống dẫn
- h - hiệu áp suất trước và sau lỗ chấn.
- ρ - trọng lượng riêng của chất lỏng.

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

● Ưu điểm:

- Không có thành phần chuyển động.
- Thích hợp với nhiều loại vật liệu (such as air, hydrogen, ethane, methane, nitrous oxide, carbon dioxide, carbonmonoxide, helium, oxygen, argon, propane and neon,...)

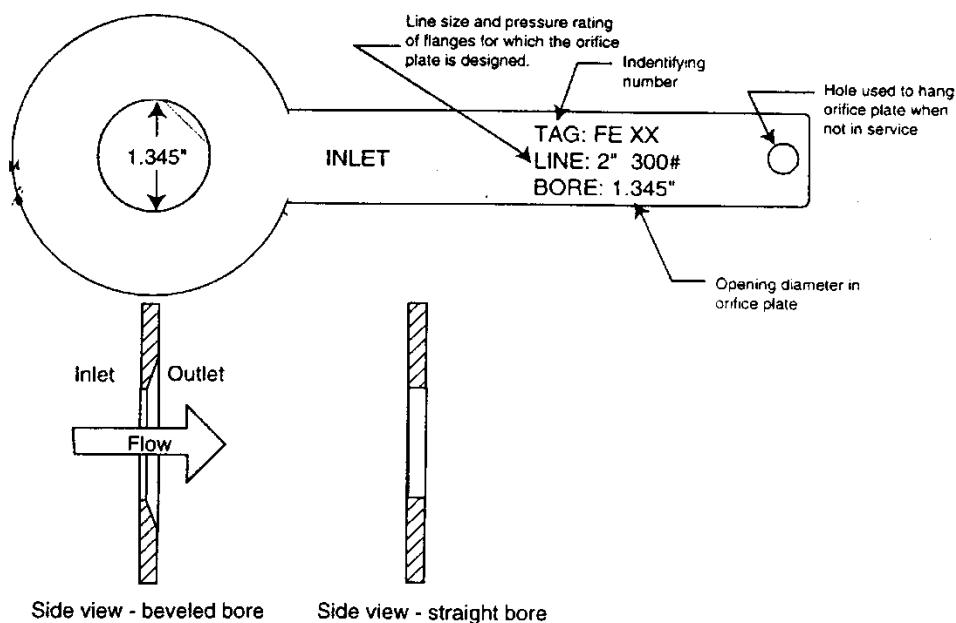
● Nhược điểm:

- Chỉ dùng với vật liệu sạch.

Cảm biến lưu lượng kiểu chênh áp suất

■ Tấm Orifice:

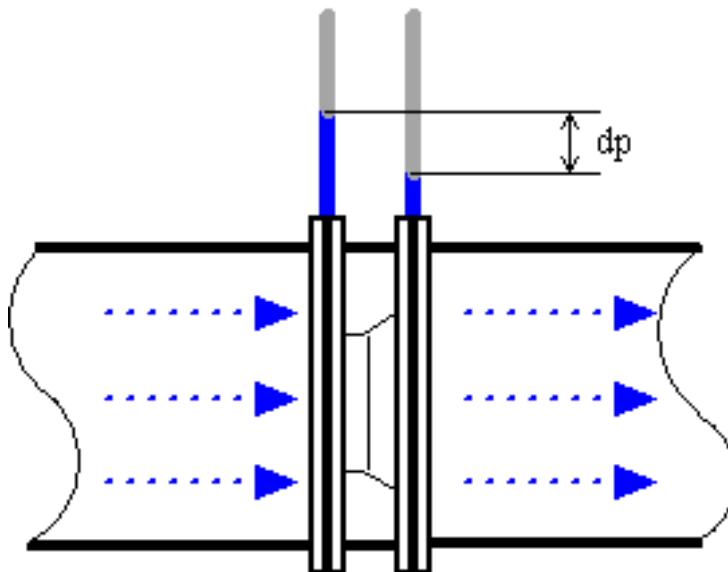
- ❖ Tấm orifice là dạng thiết bị giới hạn phồng biến nhất dùng cho cảm biến lưu lượng kiểu chênh áp. Một tấm orifice về cơ bản là một tấm kim loại mỏng với lỗ khoan ở giữa. Lỗ khoan phải nhẵn, một vết khía hoặc gờ có thể làm cho kết quả đọc bị sai lệch, tạo ra xoáy cho dòng chảy.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tấm Orifice:

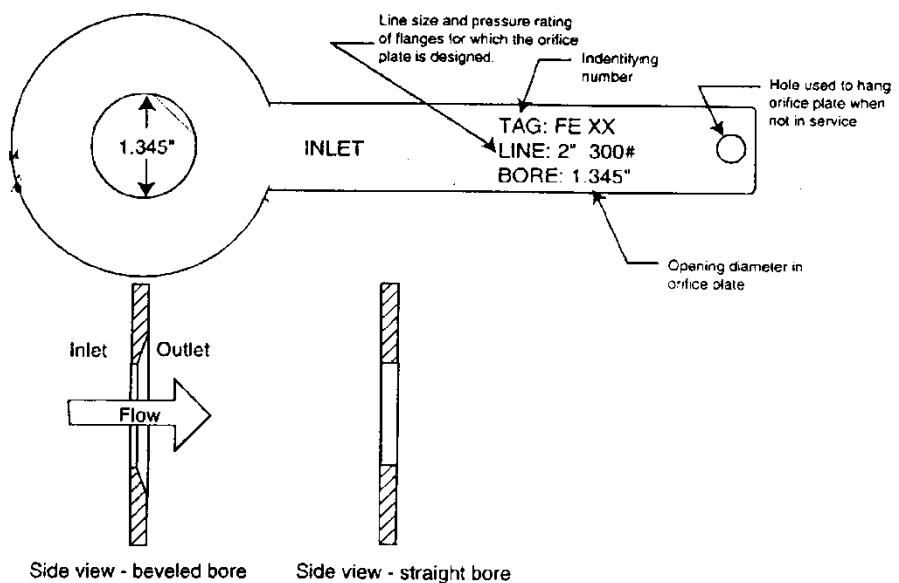
- ❖ Tấm “orifice” được đặt trong dòng chảy qua tròn giữa hai mặt bích nằm trên các ống nằm ngang hay thẳng đứng.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tấm Orifice:

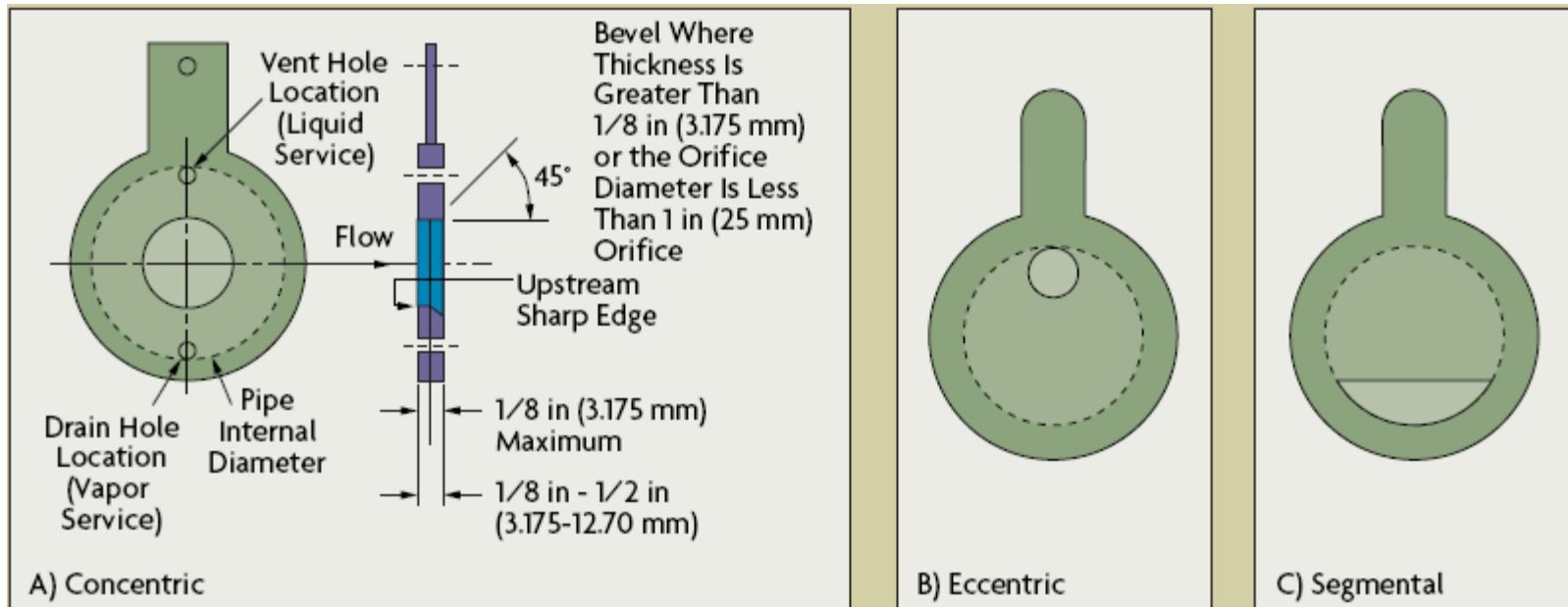
- ❖ Phía vào của tấm “orifice” thường được đánh dấu trên tay cầm của nó. Nó có thể được nhận dạng bằng cách kiểm tra lỗ khoan.
- ❖ Thông thường, các tấm “orifice” được đánh dấu các thông tin nhận dạng bên phía vào.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tâm Orifice:

❖ Hình dáng lỗ khoan:



Đồng tâm

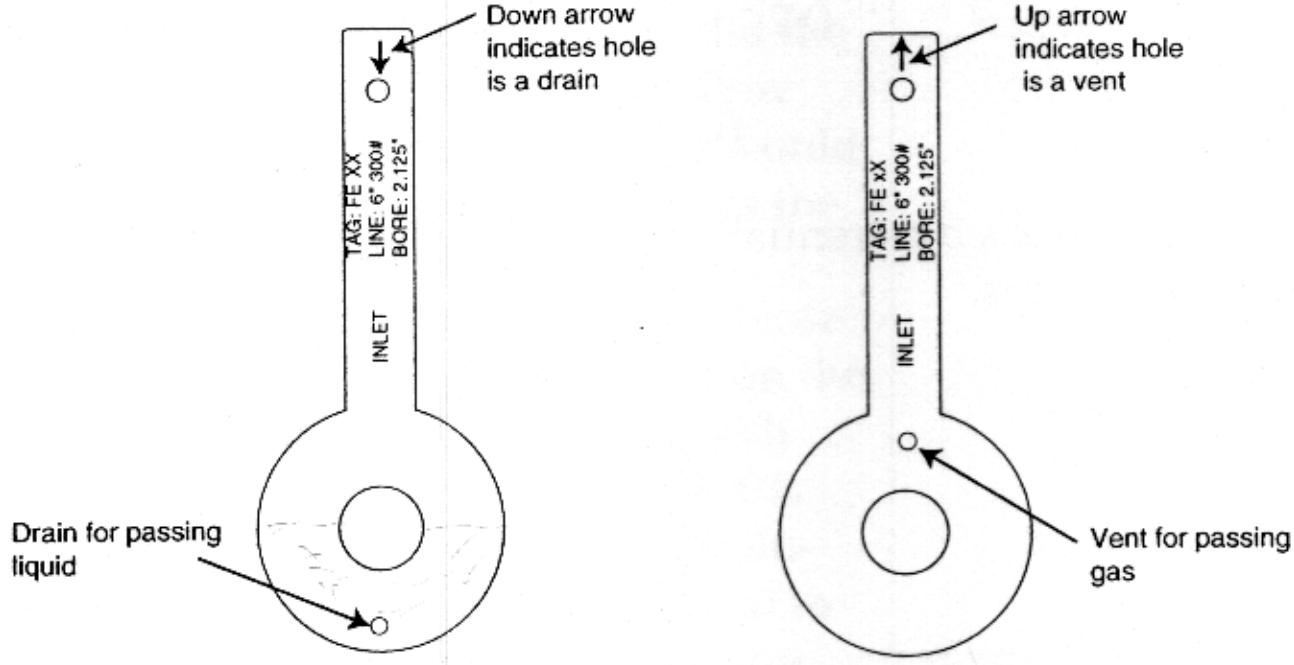
Lệch tâm

Vòm

Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tâm Orifice:

- ❖ Tâm orifice có thể có lỗ hở với hình dáng và vị trí khác nhau phụ thuộc vào tính chất của chất chảy.



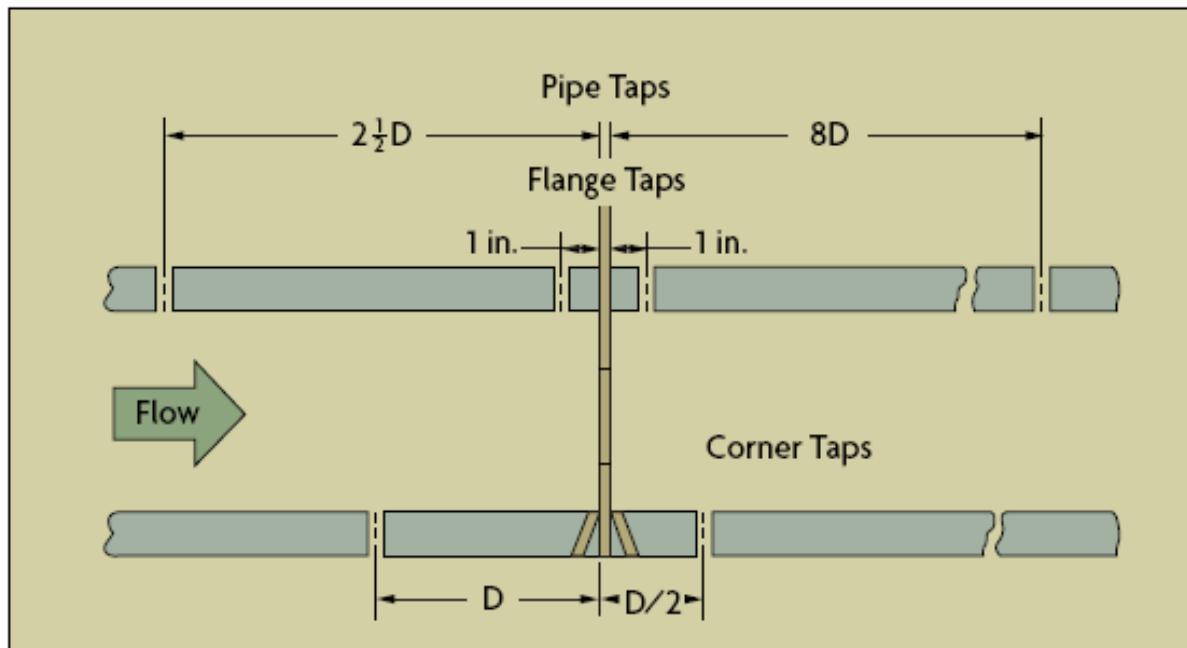
Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tấm Orifice:

Cách xác định vị trí đo áp suất:

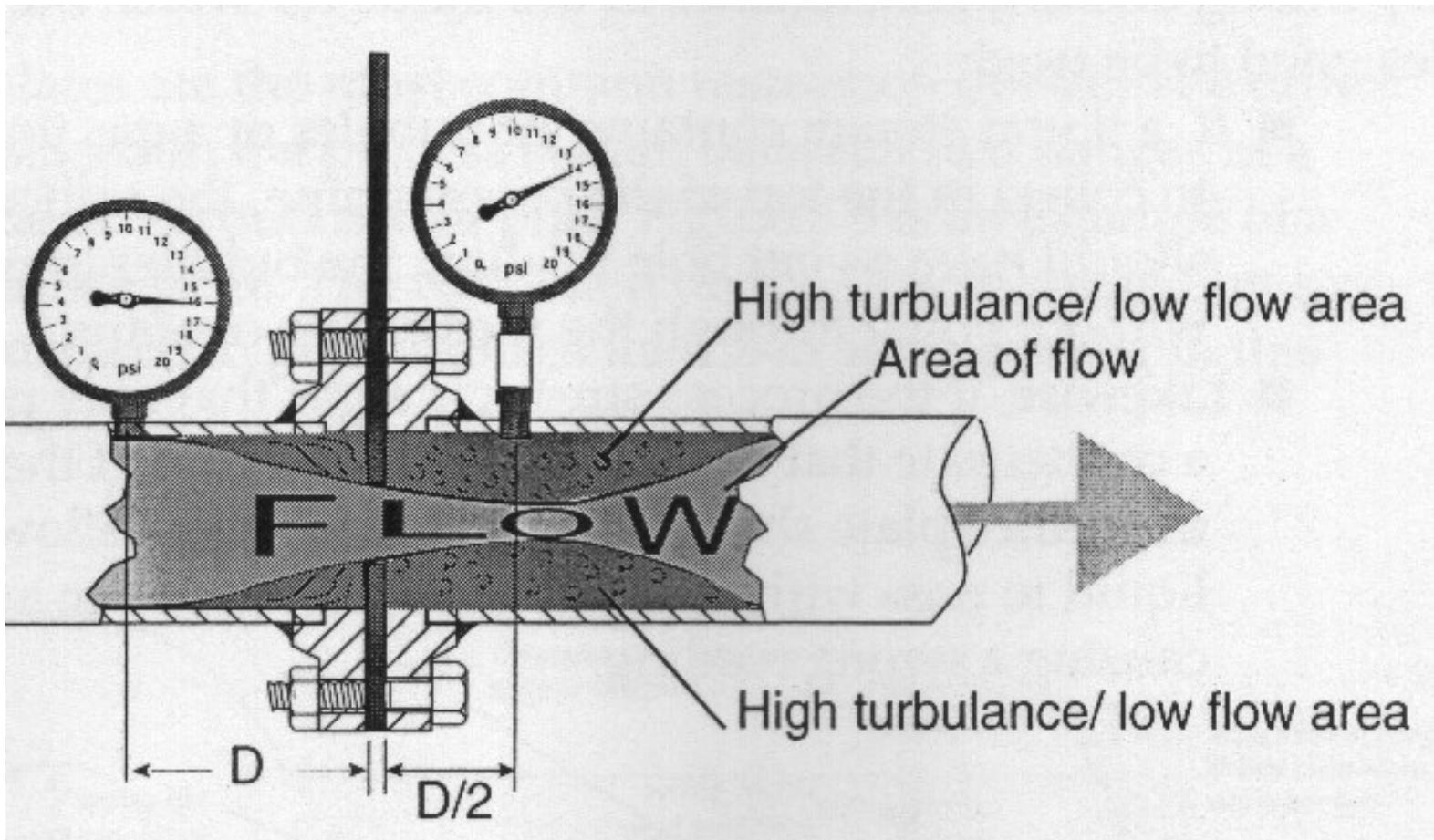
Phía áp suất cao đủ xa để không bị ảnh hưởng thay đổi áp suất do lỗ khoan gây ra, phía áp suất thấp ở vị trí tốc độ dòng chảy là cao nhất.

Thông thường ta có hai tỉ lệ sau: $D - D/2$ hoặc $2\frac{1}{2}D - 8D$ với D là đường kính ống.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tâm Orifice:



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

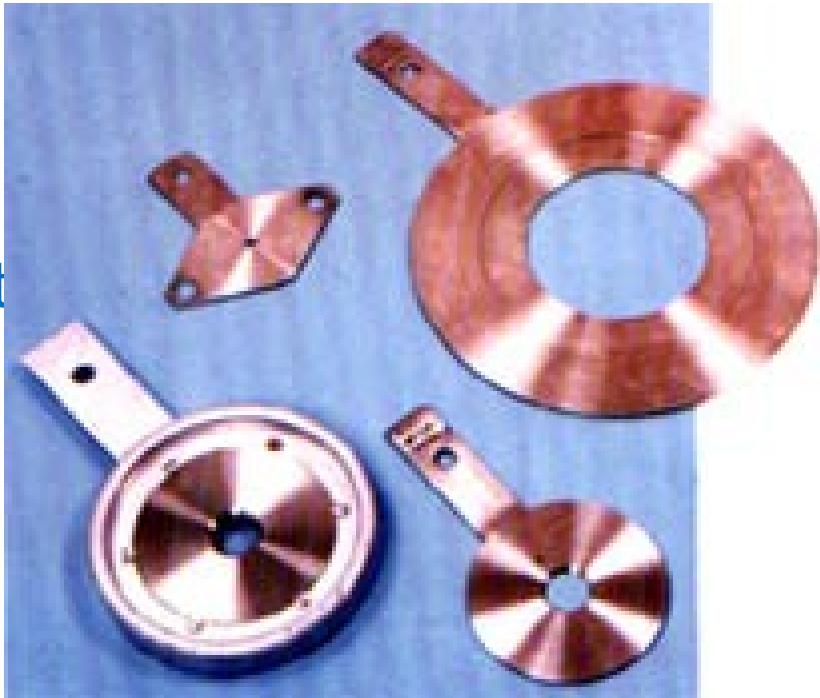
■ Tâm Orifice:

❖ Ưu điểm:

- ✓ Tạo ra chênh áp cao
- ✓ Giá thành thấp
- ✓ Dễ dàng lắp đặt và thay thế

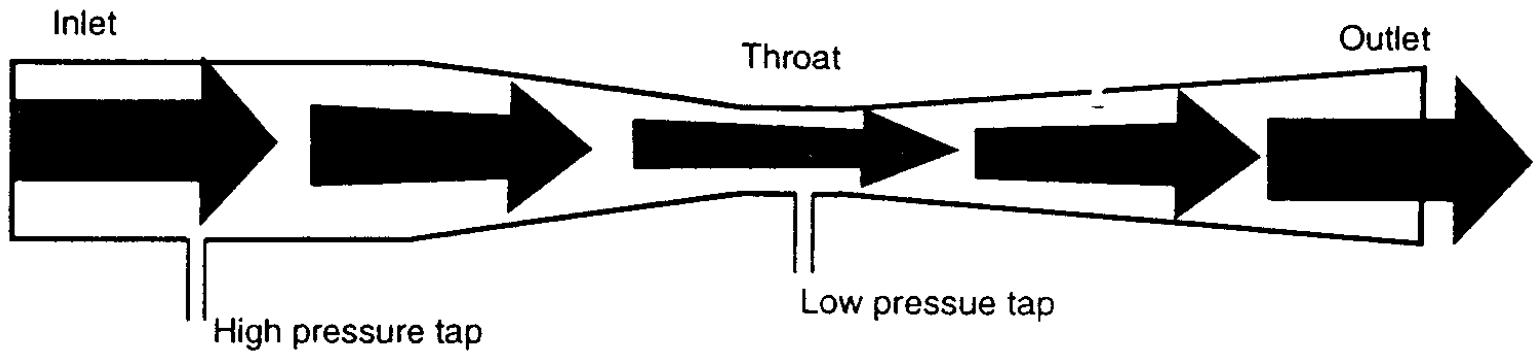
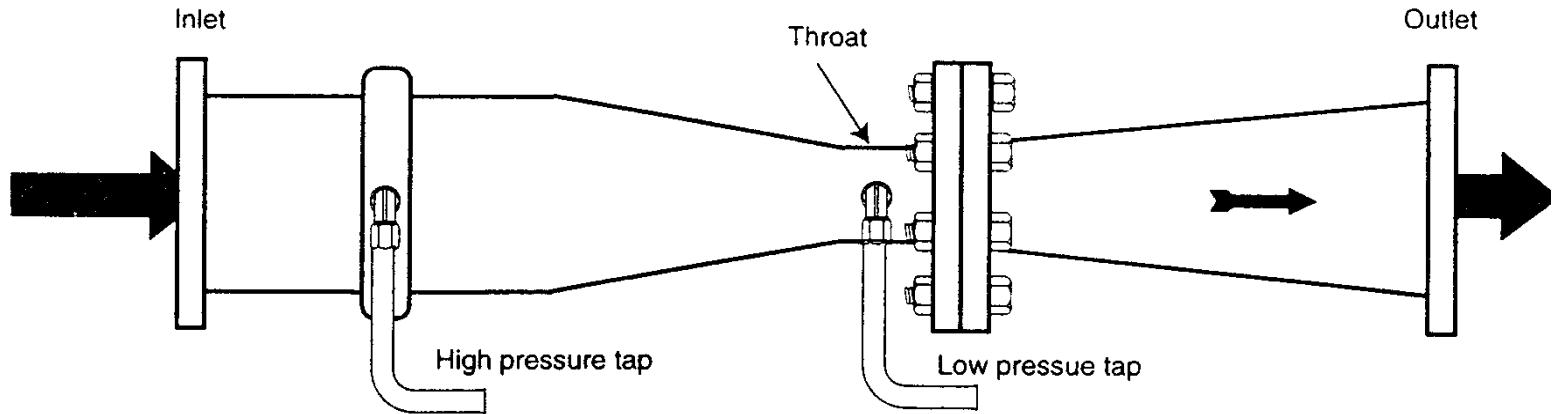
❖ Nhược điểm:

- ✓ Tăng chi phí về bơm



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Ống Venturi:



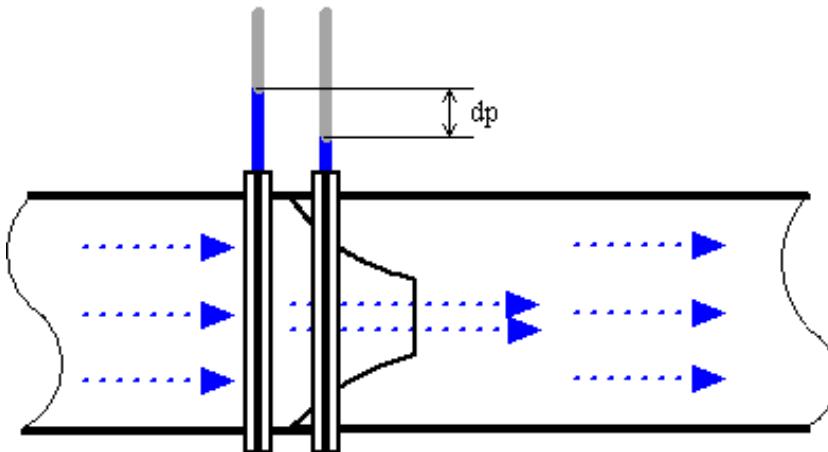
Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Ông Venturi:

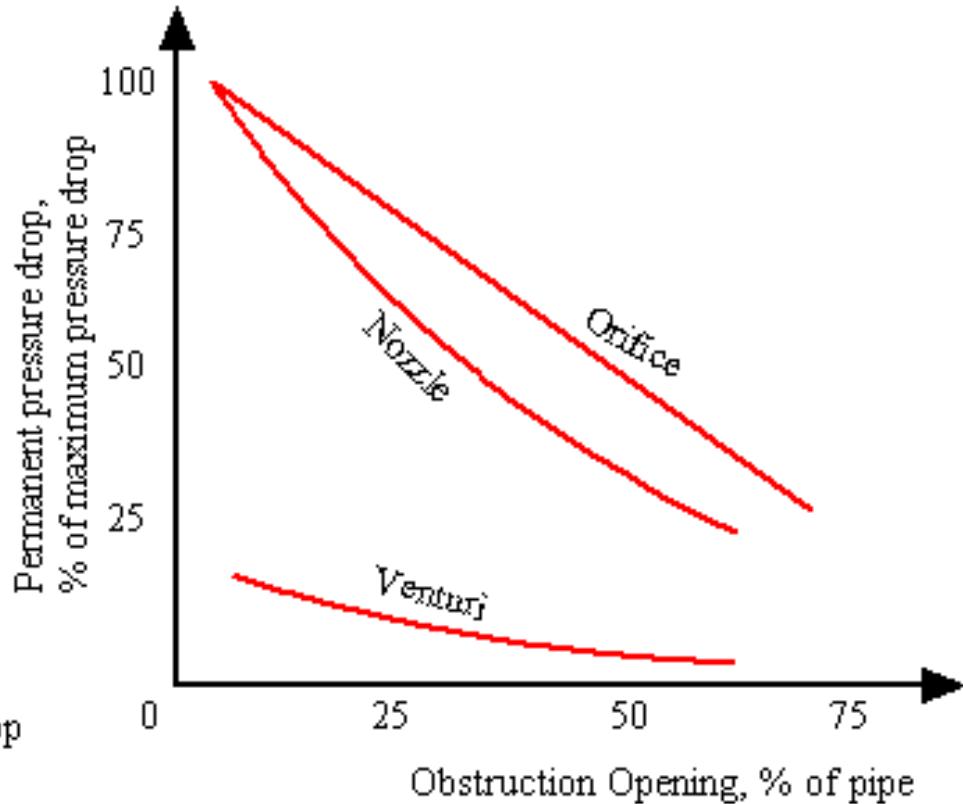
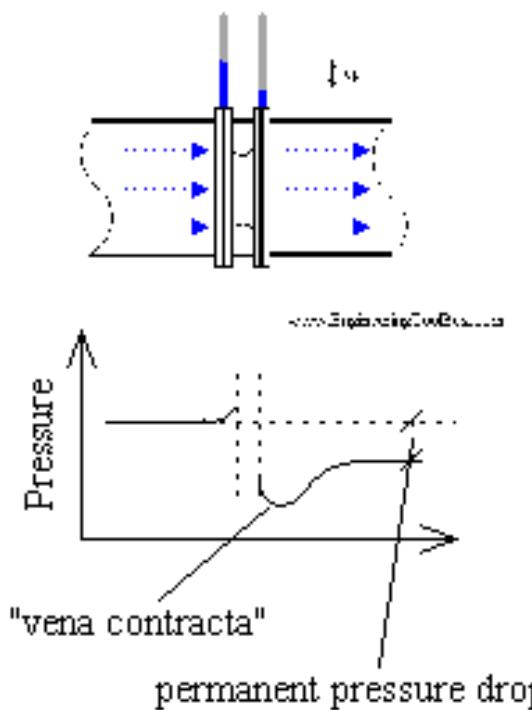
- ❖ Kém chính xác hơn so với tâm Orifice
- ❖ Chênh áp tạo ra cũng nhỏ hơn với tâm Orifice
- ❖ Công kềnh và đắt tiền
- ❖ Có thể sử dụng với vật liệu bẩn

Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

- Vòi Nozzle:
 - Chênh áp tạo ra nhỏ hơn tâm orifice nhưng lớn hơn ống venturi.
 - Rẻ hơn ống venturi
 - Thích hợp với những dòng chảy có tốc độ cao



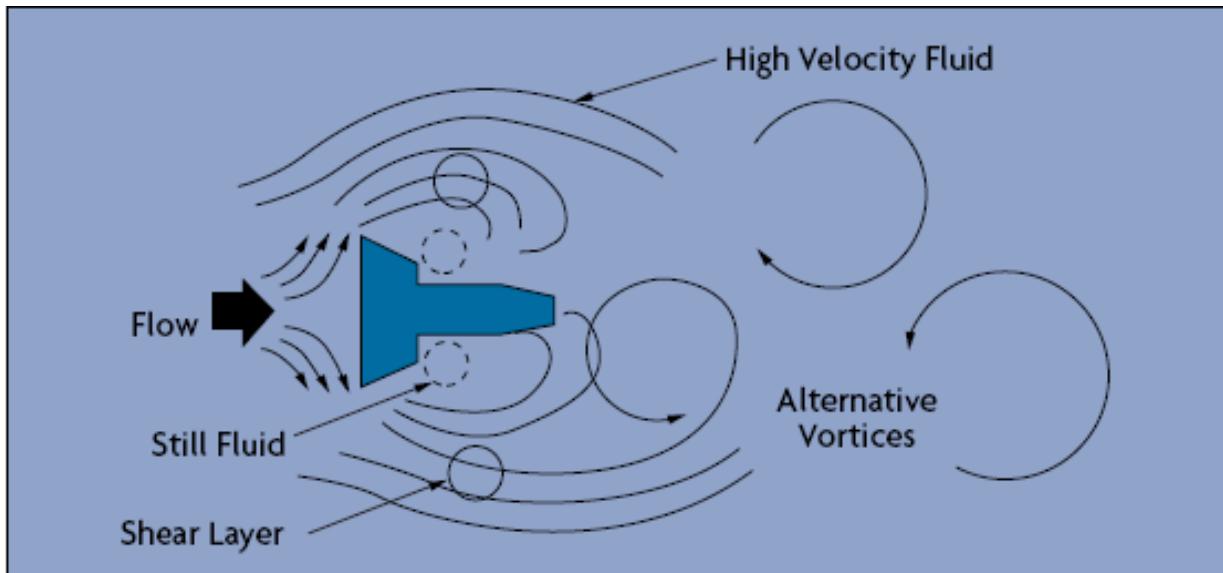
Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất



Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

■ Nguyên lý hoạt động:

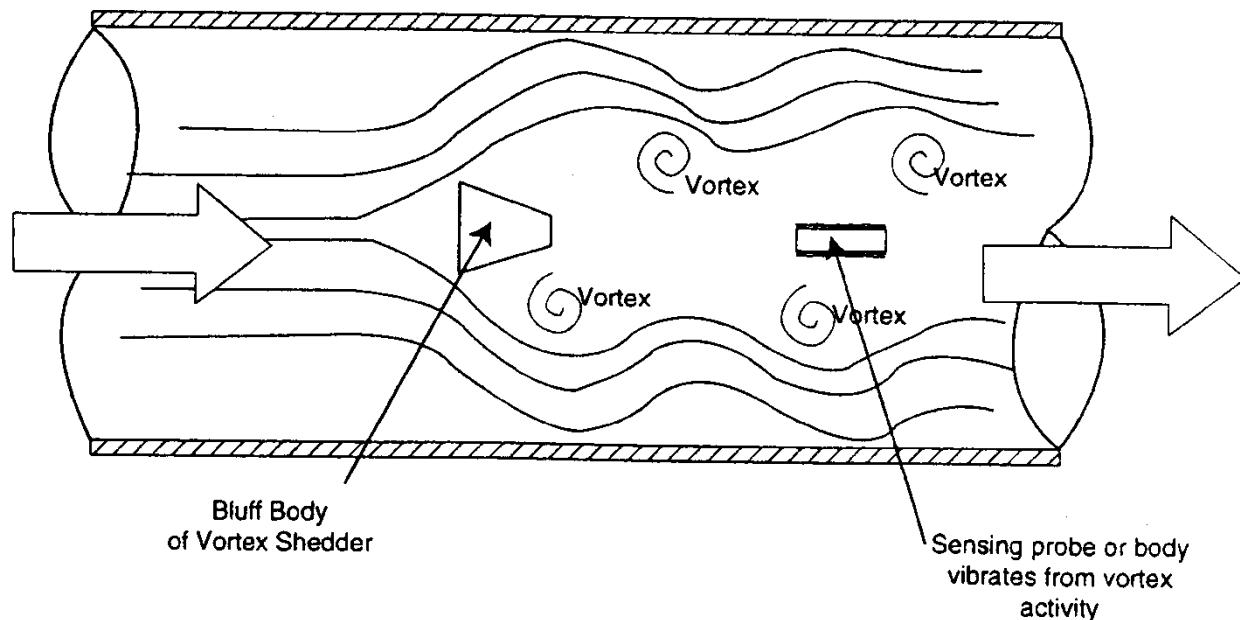
- ❖ Khi một dòng chất chảy chảy nhanh tác động vào một vật cản dốc đứng đặc vuông góc với dòng chảy sẽ tạo ra các vùng xoáy.
- ❖ Tốc độ tạo xoáy trong dòng chất chảy tăng lên khi lưu lượng tăng.



Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

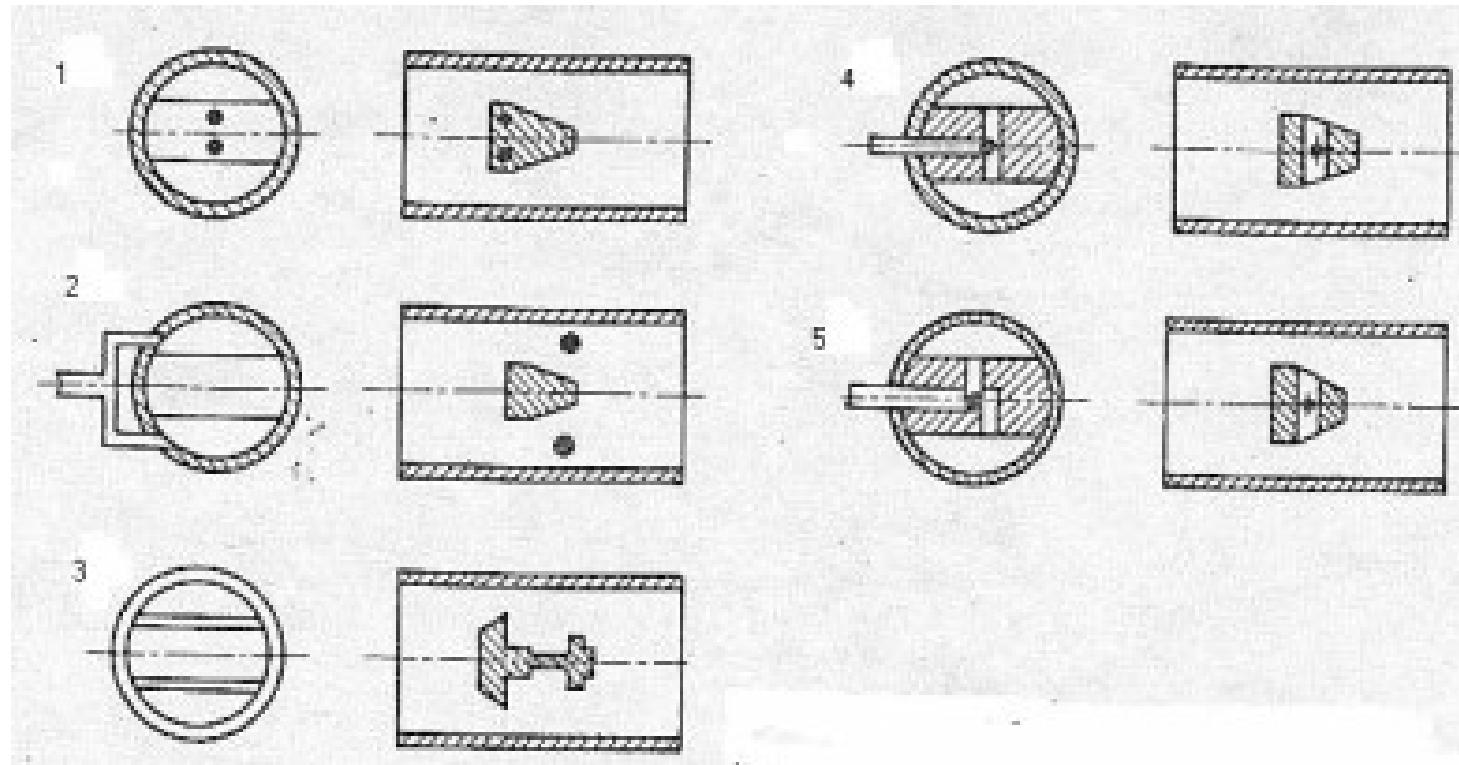
■ Cấu tạo:

- ❖ Vật cản dòng chảy, có chức năng tạo ra các kiểu xoáy định trước tùy thuộc vào hình dáng vật cản.
- ❖ Một cảm biến bị làm rung bởi dòng xoáy, chuyển đổi sự rung động này thành các tín hiệu điện.

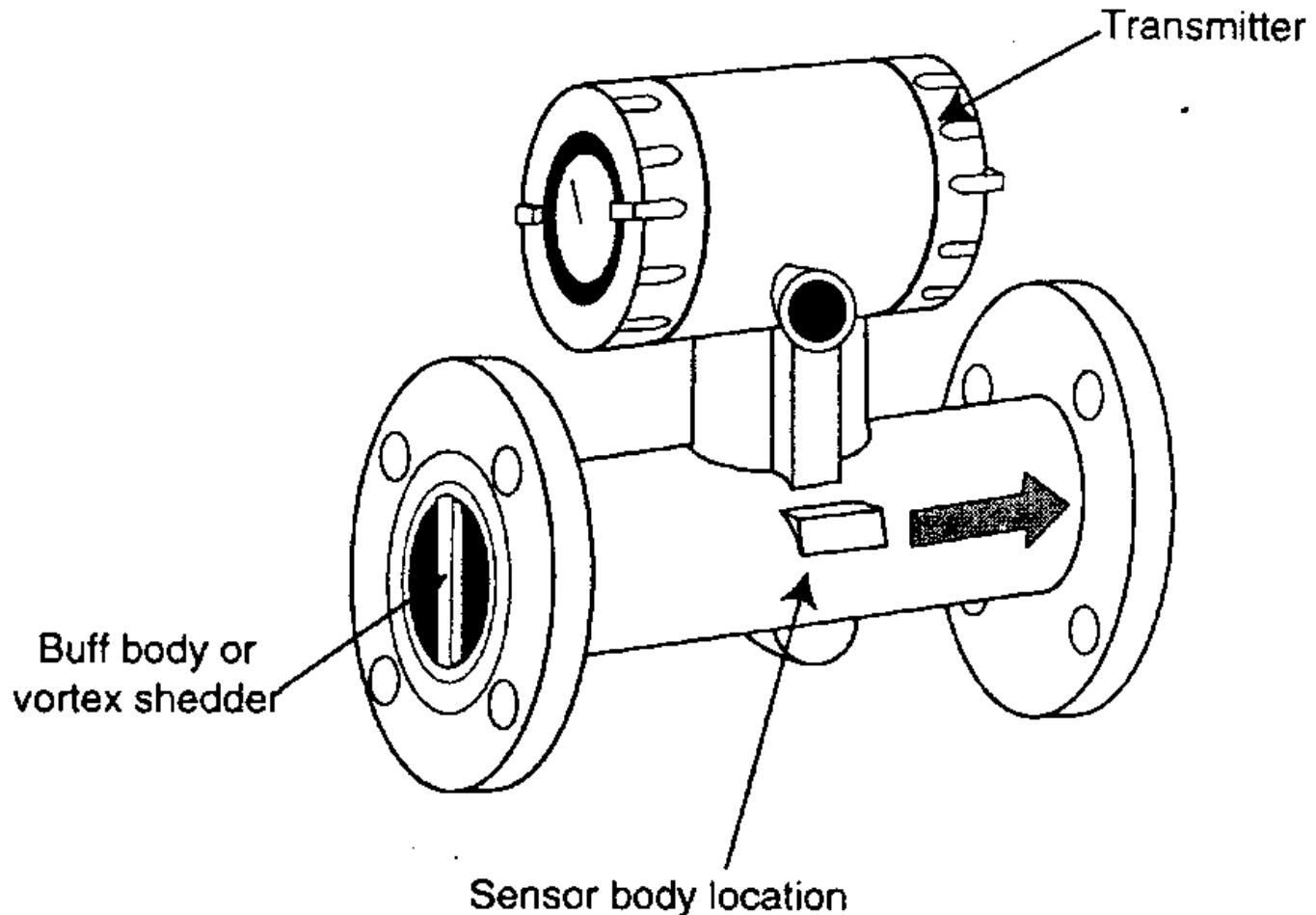


Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

Một số hình dạng vật chắn

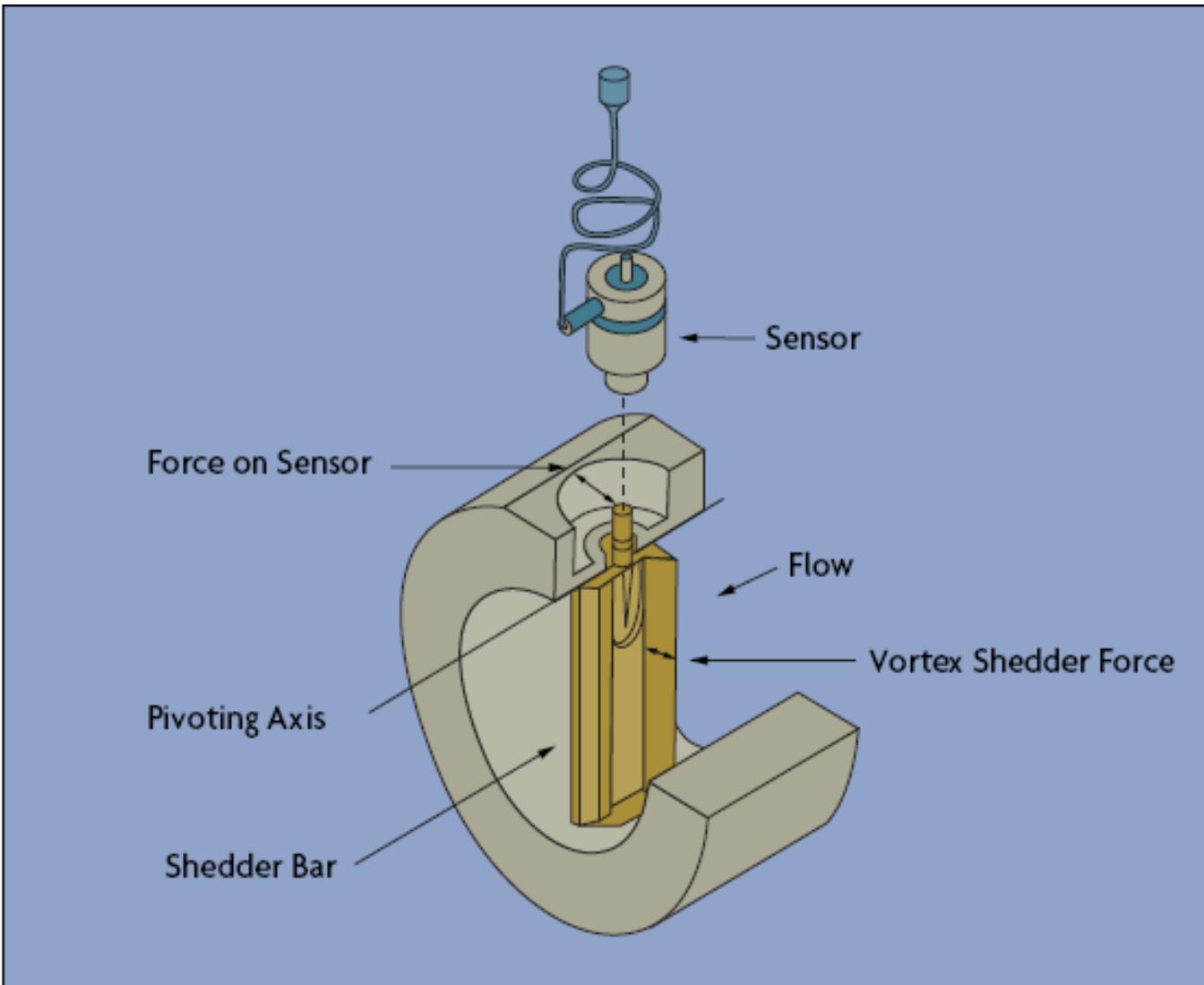


Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex



Profile of typical vortex flow sensor

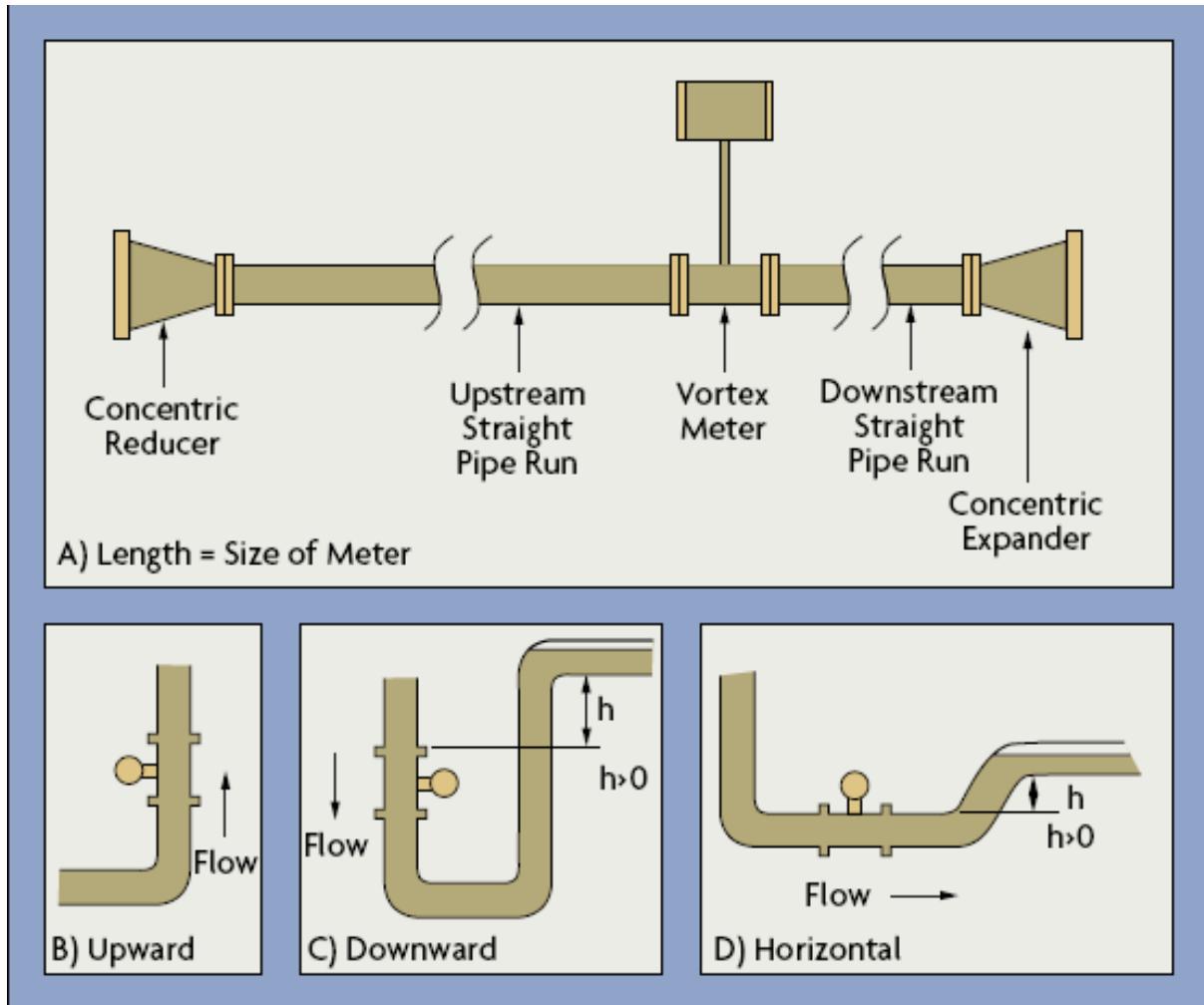
Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex



Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex



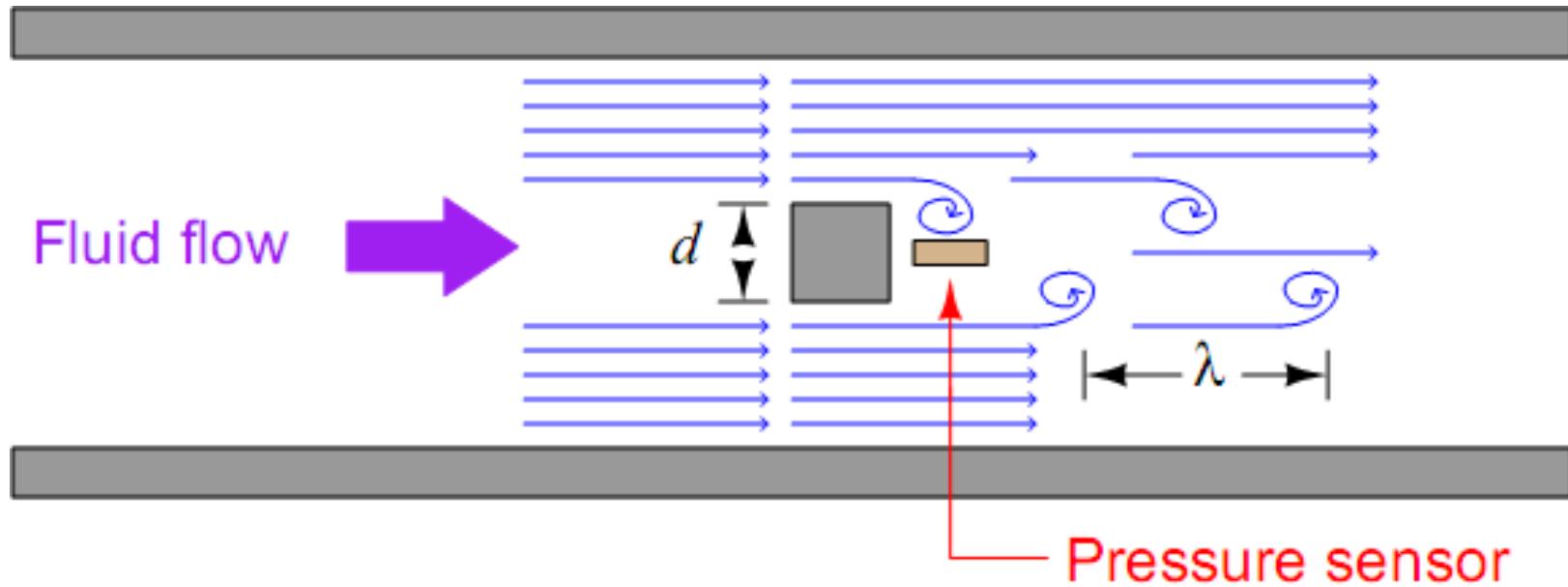
Figure 6
This photo shows a typical vortex meter. It may be installed horizontally or vertically in the pipe.



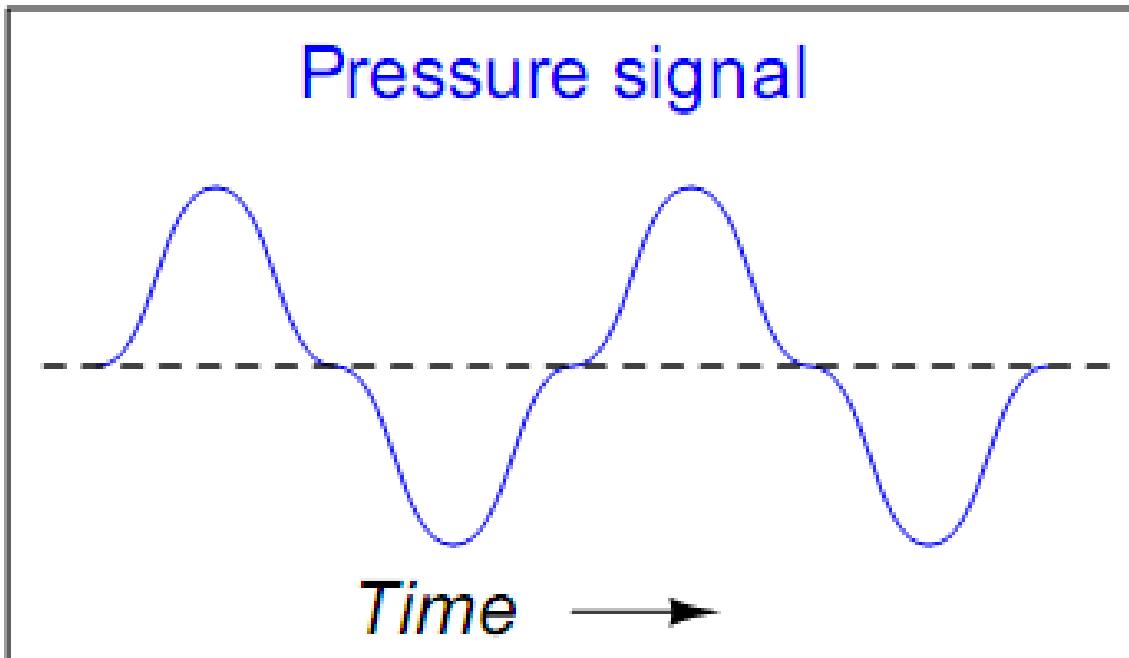
CẢM BIẾN VORTEX

- Người ta sử dụng một vật cản hình cô con (Bluff Body of Vortex Sheddler) đặt vuông góc và chắn dòng chảy.
- Khi lưu chất gặp thiết bị này sẽ hình thành lên các xoáy nước phía hạ nguồn.
- Lưu lượng càng lớn thì các xoáy nước hình thành càng nhiều.
- Để xác định lưu lượng người ta sẽ đặt cảm biến đo dao động do các Vortex này gây nên.

CẢM BIẾN VORTEX



CẢM BIẾN VORTEX



CẢM BIẾN VORTEX

- Tùy tín hiệu tần số đo được từ cảm biến ta có thể xác định được vận tốc của dòng chảy theo công thức:

$$v = \lambda f$$

- Tùy đó ta biết được chiều dài của bước sóng sẽ bằng độ rộng của vật cản chia cho hằng số Strouhal ($\approx 0,17$):

$$v = \frac{d}{0.17} f$$

- Ta có công thức giữa tần số và lưu lượng:

$$f = k.Q$$

Trong đó : k là hệ số Vortex

Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

■ Ưu điểm:

- ❖ Không có thành phần động
- ❖ Không cần bảo dưỡng thường kỳ
- ❖ Thích hợp với cả chất lỏng, chất khí hoặc hơi.
- ❖ Độ chính xác ổn định
- ❖ Chi phí lắp đặt thấp
- ❖ Dùng được với nhiều cỡ ống

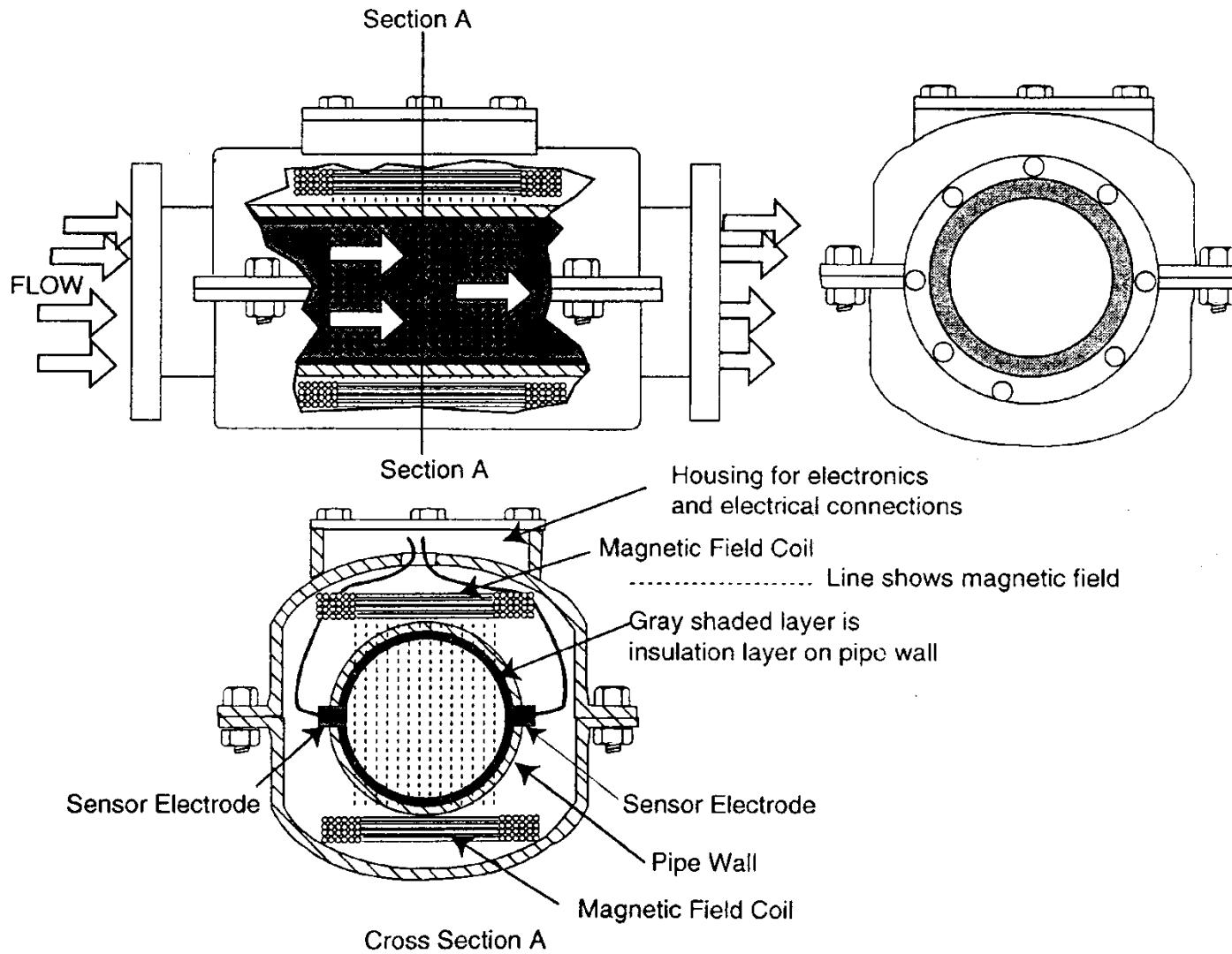
● Nhược điểm:

- Không thích hợp với tốc độ dòng thấp ($<3\text{ft/s}$).
- Bị ảnh hưởng bởi rung động bên ngoài.

Cảm biến lưu lượng kiểu từ tính

- Nguyên lý hoạt động:
 - ❖ Tương tự máy phát điện, khi vật dẫn điện đi qua từ trường, một điện áp sẽ được tạo ra trên vật dẫn điện (chất lỏng hay chất dạng vữa)
 - ❖ Dòng chảy càng nhanh, điện áp tạo ra càng lớn.
- Cấu tạo và hoạt động:
 - Hai cuộn dây từ tính, được đặt đối diện nhau trong một ống cách ly, tạo ra một từ trường qua đường kính ống.
 - Điện áp tạo ra khi vật liệu dẫn điện chạy qua ống được đo bởi các điện cực lắp trên thành ống.
 - Các điện cực chuyển đổi điện áp này thành tín hiệu điện ngõ ra tỷ lệ thuận với lưu lượng thể tích.

Cảm biến lưu lượng kiểu từ tính



Nguyên lý

- Công thức sức điện động:

$$E = Blv$$

- Trong đó:

B là từ trường của nam châm

d= l chiều dài của từ trường

v là vận tốc dòng chảy.

- Lưu lượng dòng chảy:

$$Q = A.v$$

- Trong đó: A là diện tích đường ống

Nguyên lý

$$E = \frac{q}{4\pi}$$

- Trong đó: $A = 4\pi d^2$:

$$E = \frac{q}{4\pi}$$

- Từ đó ta tìm được lưu lượng

$$Q = \frac{q}{4\pi}$$

Cảm biến lưu lượng kiểu tử tính

■ Ưu điểm:

- ❖ Không cản trở dòng chảy, không tạo ra chênh áp
- ❖ Không nhạy với độ nhớt, nhiệt độ và áp suất
- ❖ Có thể đáp ứng tốt với dòng chảy thay đổi nhanh
- ❖ Độ chính xác tốt (0.5 đến 1%)
- ❖ Không có thành phần chuyển động
- ❖ Thích hợp được với nhiều loại vật liệu dẫn điện trong đó có chất ăn mòn

Cảm biến lưu lượng kiểu từ tính

■ Nhược điểm:

- ❖ Chỉ thích hợp được với chất lỏng dẫn điện
- ❖ Các hụ hỏng đối với bộ phận cách ly ống và các điện cực có thể làm hỏng máy đo.

Cảm biến lưu lượng kiểu tử tính



Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

■ Nguyên lý hoạt động:

- ❖ Tính các lượng chất lỏng riêng biệt khi nó chảy liên tục qua 1 khoang chứa của thiết bị đo.
- ❖ Thể tích của khoang chứa hay thể tích của mỗi lượng chất chảy vào đó là một hằng số biết trước.
- ❖ Lưu lượng được xác định bằng cách nhân thể tích của khoang chứa (hay thể tích của chất lỏng nằm trong khoang) với số lượng tín hiệu trên một đơn vị thời gian. Từ đó có thể tính toán tổng dòng chảy.

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

■ Cấu tạo:

- ❖ Khoang chứa
- ❖ Các phần tử cơ khí di chuyển theo chất lỏng
- ❖ Các van để điều khiển khoang chứa đầy và rỗng.
- ❖ Một cảm biến - bộ chuyển đổi để tính toán số chu kỳ thực hiện và gửi tín hiệu đến các phần tử khác trong vòng điều khiển.



Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

Các máy đo lưu lượng kiểu thế chõ tích cực có thể sử dụng một trong những cơ chế sau đây để cách ly và chuyển động mỗi khi có một lượng chất lỏng đi qua:

- ❖ Các màng ngăn mềm dẻo
- ❖ Pittông chuyển động qua lại
- ❖ Pittông chuyển động quay
- ❖ Cánh quạt quay
- ❖ Bánh công tác và hộp số

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

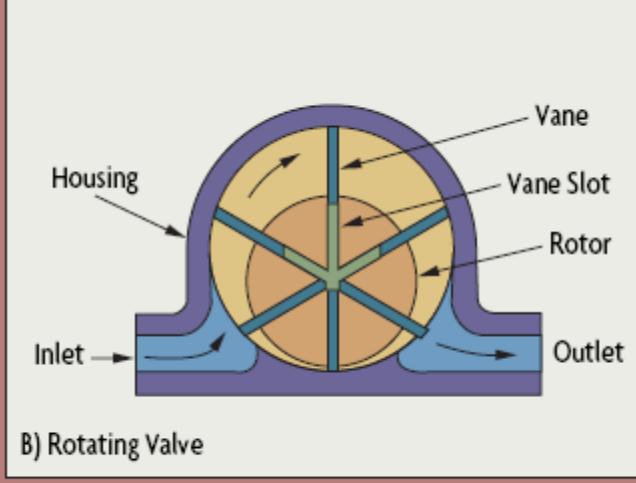
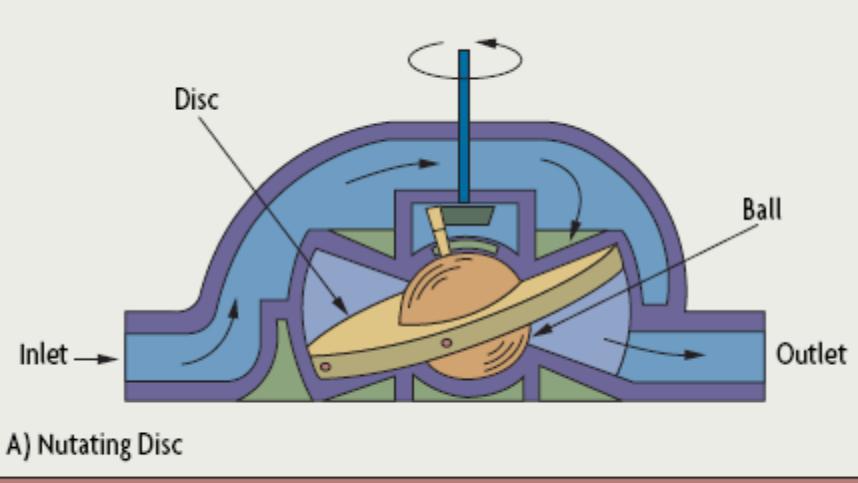


Figure 3-1: Positive Displacement Flowmeter Designs

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

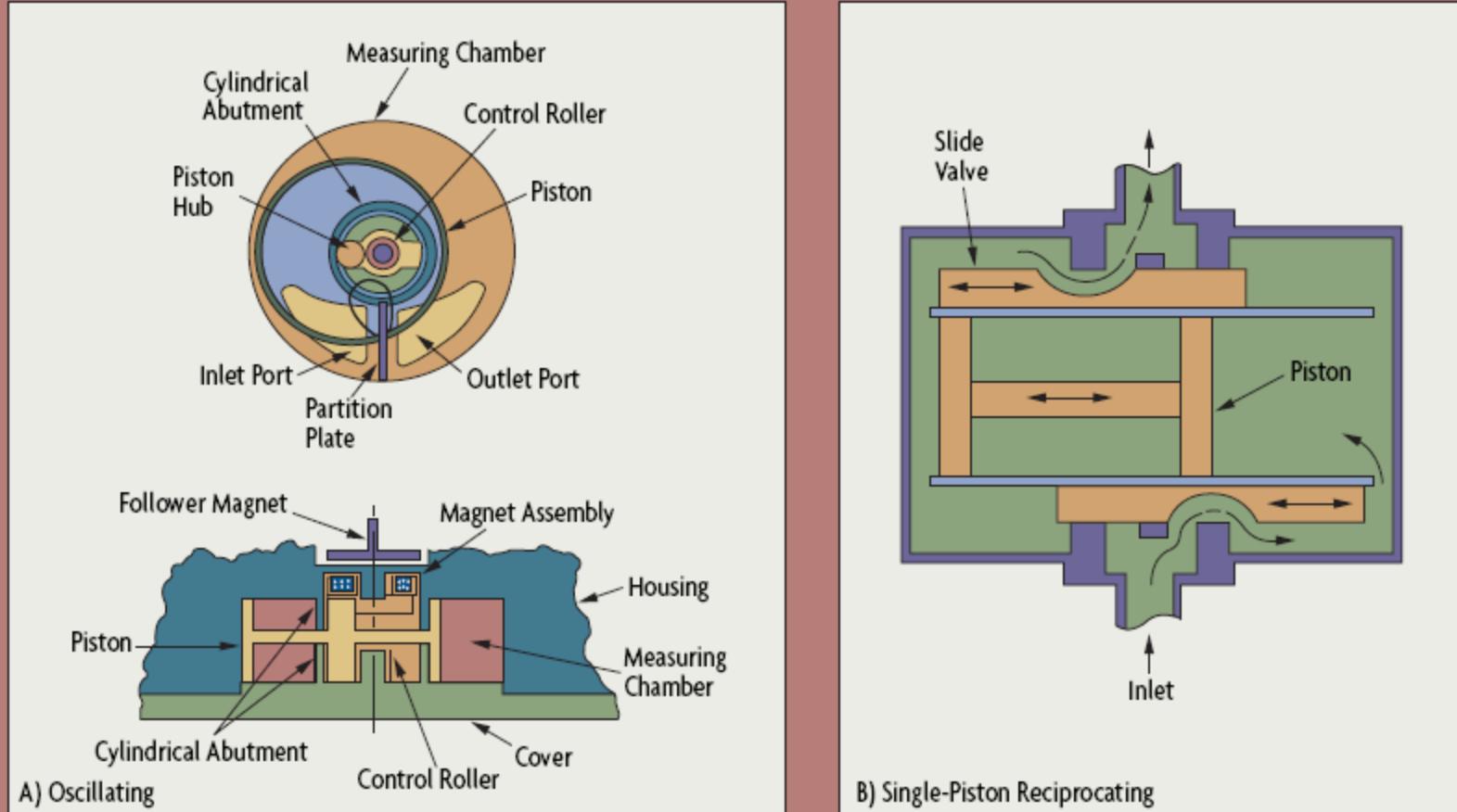


Figure 3-2: Piston Meter Designs

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

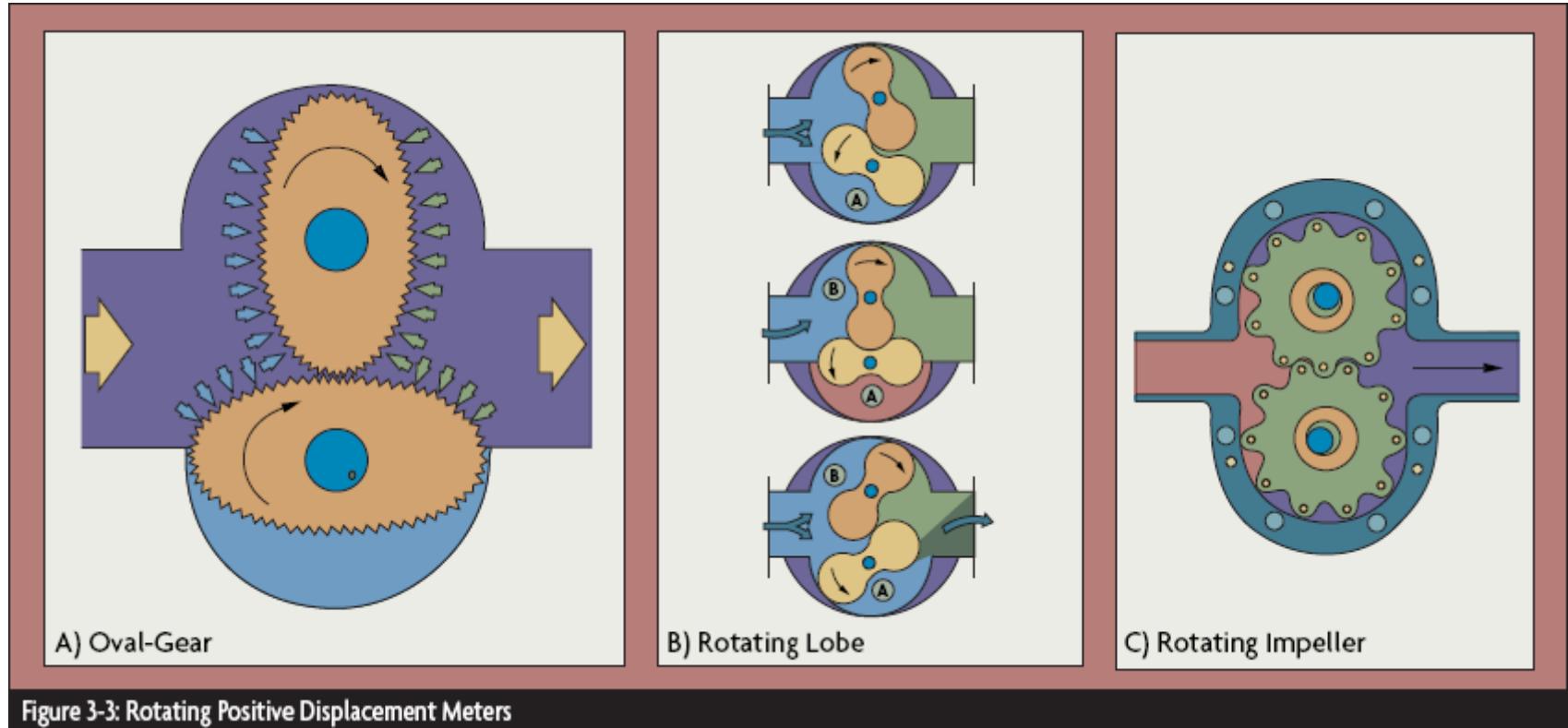


Figure 3-3: Rotating Positive Displacement Meters

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chẽ

■ Chú ý:

- ❖ Các bộ phận phải được chế tạo tinh vi để tránh sự rò rỉ và đảm bảo thể tích ngăn chứa chính xác.
- ❖ Loại này ít được sử dụng khi chất lỏng có tính ăn mòn hoặc phủ lên thiết bị nó tiếp xúc

Cảm biến lưu lượng kiểu tuabin

■ Nguyên lý hoạt động:

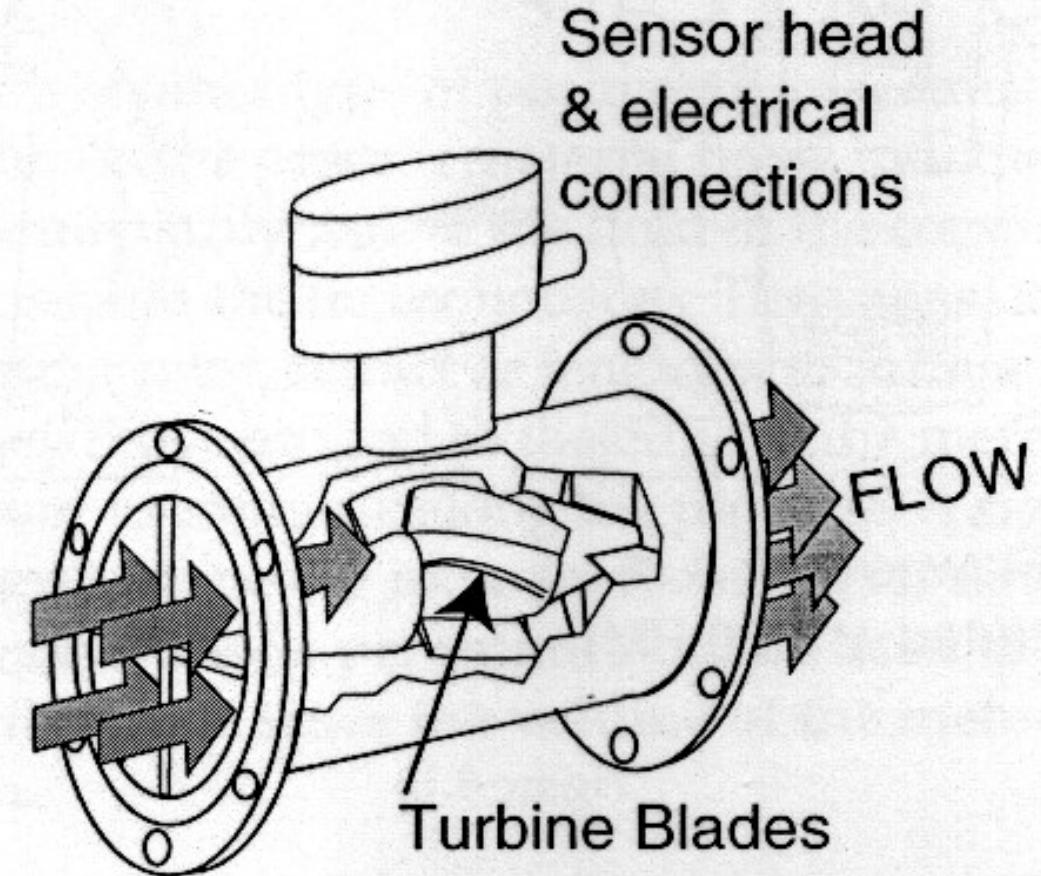
- ❖ Khi một chất lỏng chảy qua sẽ làm tuabin xoay với tốc độ tỷ lệ với lưu lượng chất lỏng.
- ❖ Khi chất lỏng đi qua khắp cánh rotor, chúng quay.
- ❖ Một đầu cảm biến được gắn trên thành của tuabin, máy đo sẽ phát hiện được sự hiện diện của từ trường nam châm vĩnh cửu (được gắn trên rotor hoặc trên một trong các cánh của rotor) khi nó đi qua ứng với mỗi vòng quay của tuabin.
- ❖ Cảm biến từ trường sẽ gửi ra một tín hiệu xung ứng với mỗi vòng quay của tuabin.
- ❖ Số lượng xung trong một khoảng thời gian cho trước có thể được sử dụng để xác định lưu lượng.

Cảm biến lưu lượng kiểu tuabin

■ Chú ý:

- ❖ Loại này có thể dùng với chất lỏng và khí
- ❖ Dải đo có giới hạn được xác định trước
- ❖ Dòng chảy không được lẫn các hạt có thể làm hỏng cánh tuabin
- ❖ Để chính xác, dòng chảy phải có dạng thẳng và đồng nhất, sự chảy rối là nhỏ nhất khi tiếp xúc với cánh tuabin
- ❖ Phải sử dụng bộ lọc và thiết bị nắn dòng chảy

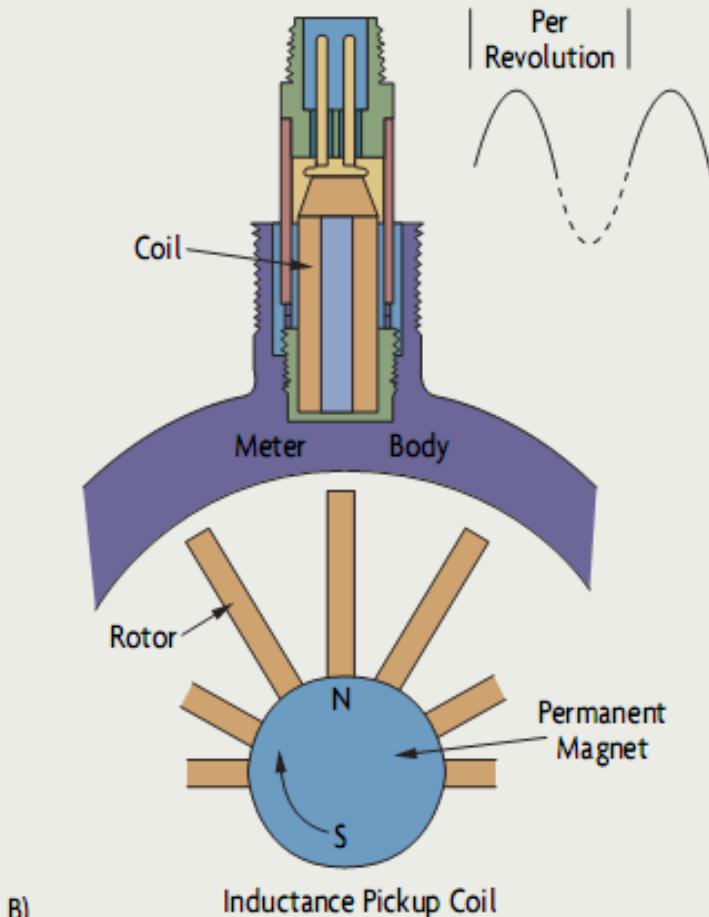
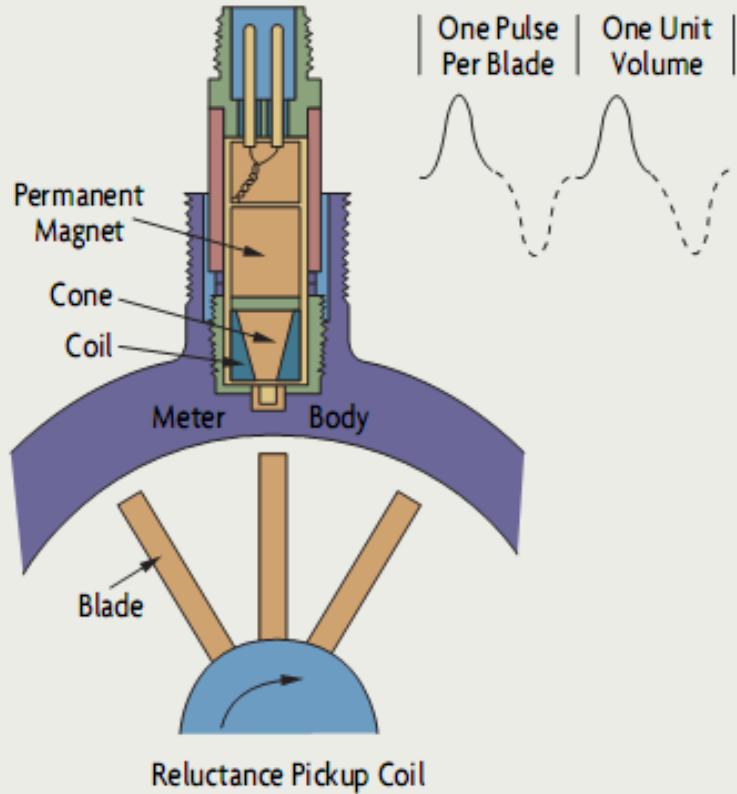
Cảm biến lưu lượng kiểu tuabin



Nguyên lý

- Cảm biến này được phát minh bởi Reinhard Woltman trong thế kỉ 18.
- Tuabin gồm nhiều cánh quạt sẽ quay khi có dòng lưu chất chảy qua.
- Tuabin quay có thể được phát hiện bởi một từ trở trên các cánh tuabin.
- Nguyên lý hoạt động dựa vào nguyên lý Hall

Nguyên Lý

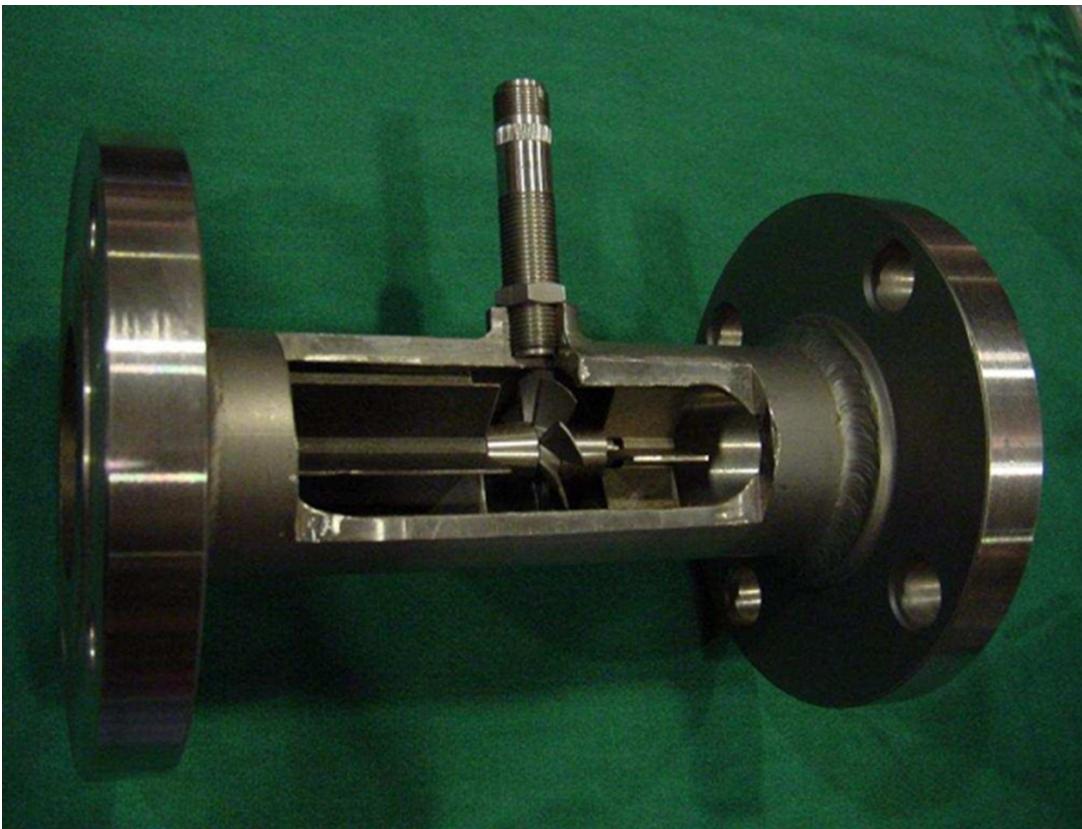


A)

B)

Nguyên Lý

- Lưu lượng càng lớn thì tốc độ càng lớn.
- Dựa vào số xung thu được từ tuabin người ta có thể tính được vận tốc dòng chảy.



Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng

- Dùng để đo lưu lượng khối lượng (kg/h)
- Dựa vào sự thay đổi về lực, phương chiều và tốc độ của chất lỏng qua trình để xác định khối lượng
- Chính xác ngay cả khi thành phần, khối lượng riêng, áp suất, nhiệt độ của chất lỏng qua trình thay đổi
- Làm việc tốt nhất với chất lỏng dạng vữa, đôi khi sử dụng với khí cao áp
- Không đủ độ nhạy để làm việc với khí áp suất thấp vì khối lượng riêng của nó rất thấp

Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng

■ Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng dựa vào động lực:

Trong một cảm biến lưu lượng khối lượng dựa vào động lực, lưu lượng đi qua một ống cảm biến hình bán nguyệt hoặc hình tròn mà nó bị dao động với biên độ và tần số biết trước khi nó còn rỗng.

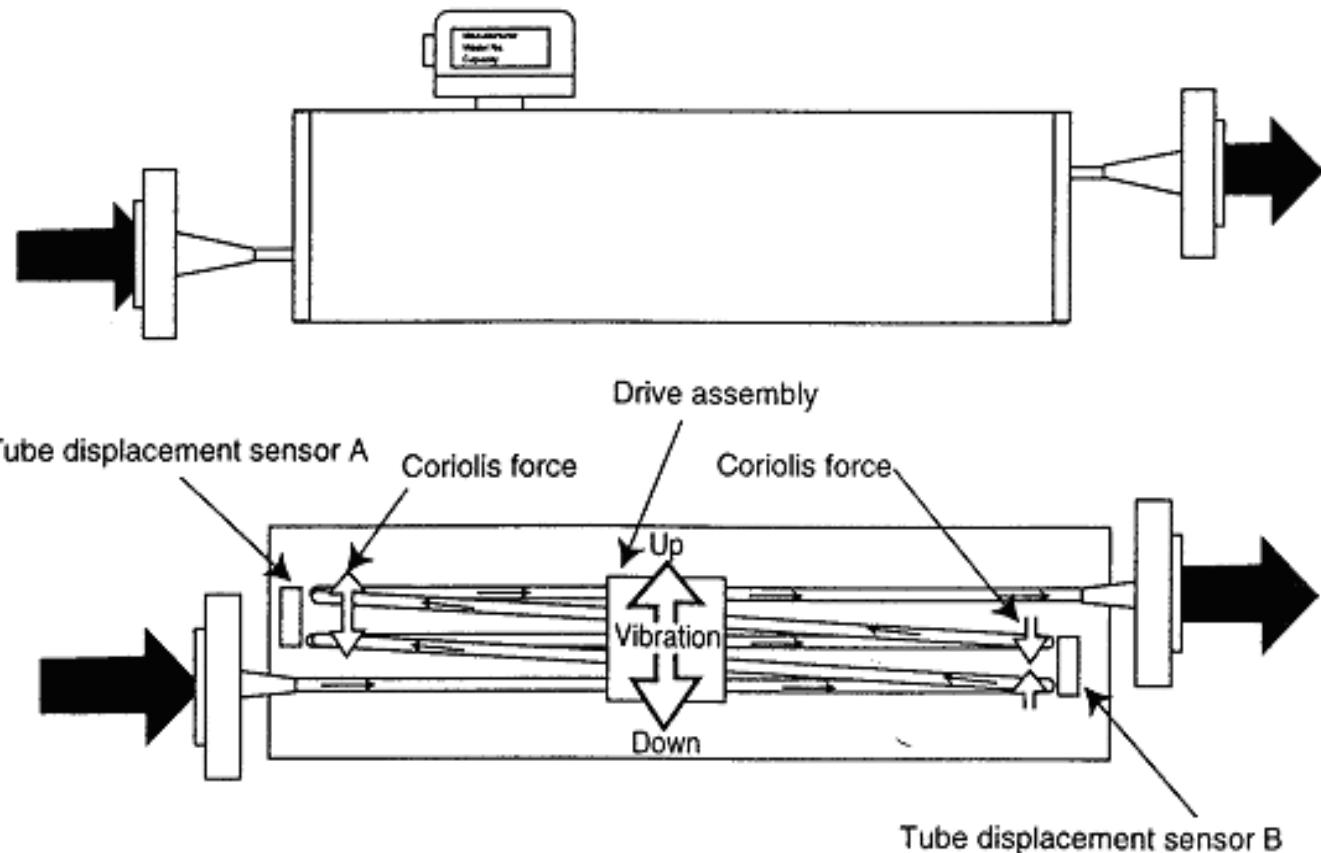
Khi ống được điền đầy chất lỏng, tần số và biên độ dao động giảm xuống. Chất lỏng càng nặng, tần số và biên độ càng giảm.

Động lực của chất lỏng làm ống cảm biến bị tách xa nhau ở một đầu và bị kéo lại gần nhau ở đầu còn lại

Mạch điện tử sẽ tính toán lưu lượng khối lượng dựa vào sự dịch chuyển này

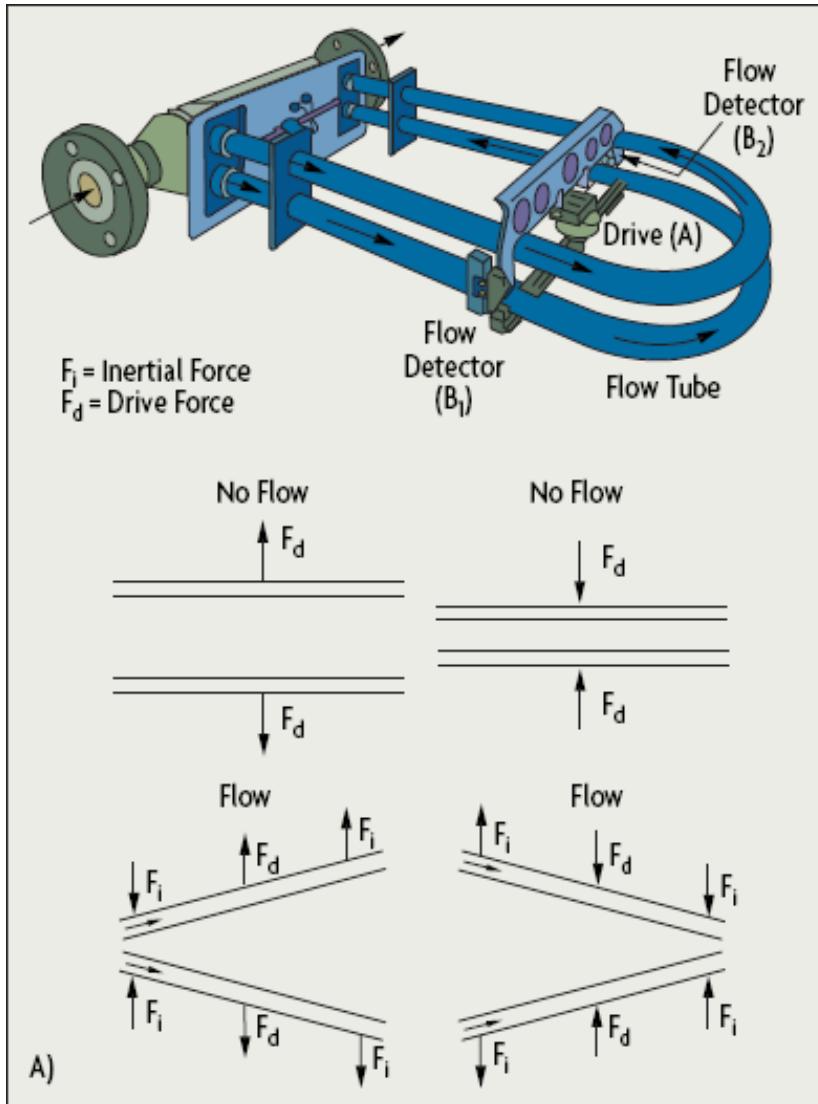
Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng

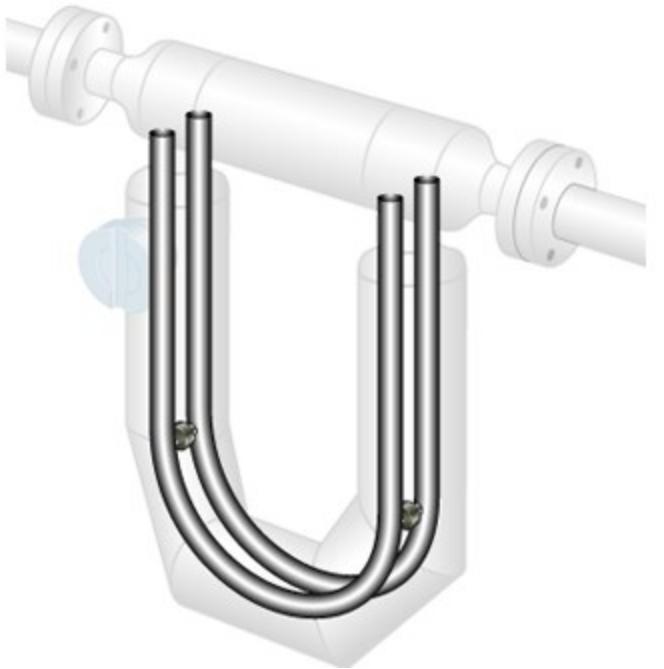
- Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng dựa vào động lực:

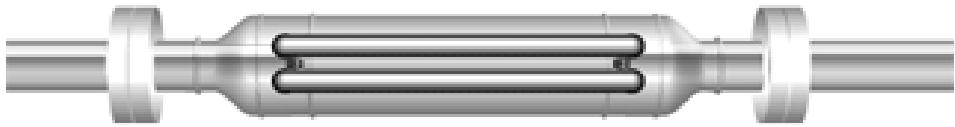


Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng

- Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng dựa vào động lực:







Cảm biến lưu lượng

A Comparison of Flowmeter Options

| Attribute | Variable-area | Coriolis | Gas mass-flow | Differential-Pressure | Turbine | Oval Gear |
|--|---------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|
| Clean gases | yes | yes | yes | yes | yes | — |
| Clean Liquids | yes | yes | — | yes | yes | yes |
| Viscous Liquids | yes (special calibration) | yes | — | no | yes (special calibration) | yes, >10 centistokes (cst) |
| Corrosive Liquids | yes | yes | — | no | yes | yes |
| Accuracy, \pm | 2-4% full scale | 0.05-0.15% of reading | 1.5% full scale | 2-3% full-scale | 0.25-1% of reading | 0.1-0.5% of reading |
| Repeatability, \pm | 0.25% full scale | 0.05-0.10% of reading | 0.5% full scale | 1% full-scale | 0.1% of reading | 0.1% of reading |
| Max pressure, psi | 200 and up | 900 and up | 500 and up | 100 | 5,000 and up | 4,000 and up |
| Max temp., °F | 250 and up | 250 and up | 150 and up | 122 | 300 and up | 175 and up |
| Pressure drop | medium | low | low | medium | medium | medium |
| Turndown ratio | 10:1 | 100:1 | 50:1 | 20:1 | 10:1 | 25:1 |
| Average cost* | \$200-600 | \$2,500-5,000 | \$600-1,000 | \$500-800 | \$600-1,000 | \$600-1,200 |



Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt



Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt

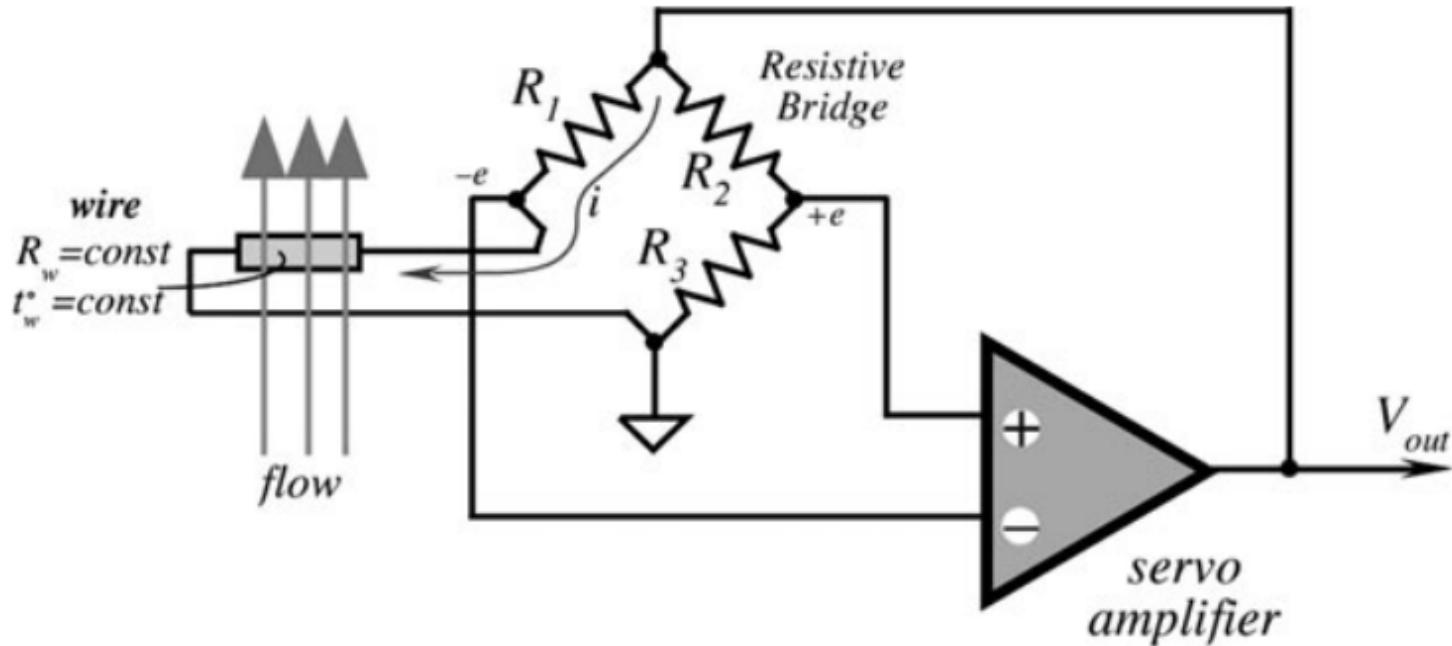
- A hot-wire thermoanemometer is a single-part sensor as opposed to two- and three-part sensors as described below. The key element of this sensor is a heated wire having typical dimensions 0.00015–0.0002 in. (0.0038–0.005 mm) in diameter and 0.040–0.080 in. (1.0–2.0 mm) in length.
- The wire resistance typically is between 2 and 3 Ohm. The operating principle is based on warming up the wire by electric current to 200–300°C, well above the flowing media temperature and then measuring temperature of the wire
- Under a steady flow rate, the electric power Q_e supplied to the wire is balanced by the out-flowing thermal power Q_T carried by the flowing media due to a convective heat transfer

Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt

Considering the heating current i , the wire temperature t_w , temperature of the fluid t_f , the wire surface area A_w , and the heat transfer coefficient h , we can write the balance equation

$$Q_e = Q_T.$$

$$i^2 R_w = h A_w (t_w - t_f).$$



Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt

In 1914 King [4] developed a solution of a heat loss from an infinite cylindrical body in an incompressible low Reynolds number flow that may be written as

$$h = a + bv_f^c, \quad (11.14)$$

where a and b are constant and $c \approx 0.5$. This equation is known as King's law.

Combining the above three equations allows us to eliminate the heat transfer coefficient h :

$$a + bv_f^c = \frac{i^2 R_w}{A_w(t_w - t_f)}. \quad (11.15)$$

Considering that $V_{out} = i(R_w + R_I)$ and $c = 0.5$, we can solve this equation for the output voltage as function of the fluid velocity:

$$V_{out} = (R_w + R_I) \sqrt{\frac{A_w(a + b\sqrt{v})(t_w - t_f)}{R_w}}. \quad (11.16)$$

Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt

- A typical design of the hot-wire sensor is shown in Fig. 11.6a. The most common wire materials are tungsten, platinum, and a platinum–iridium alloy

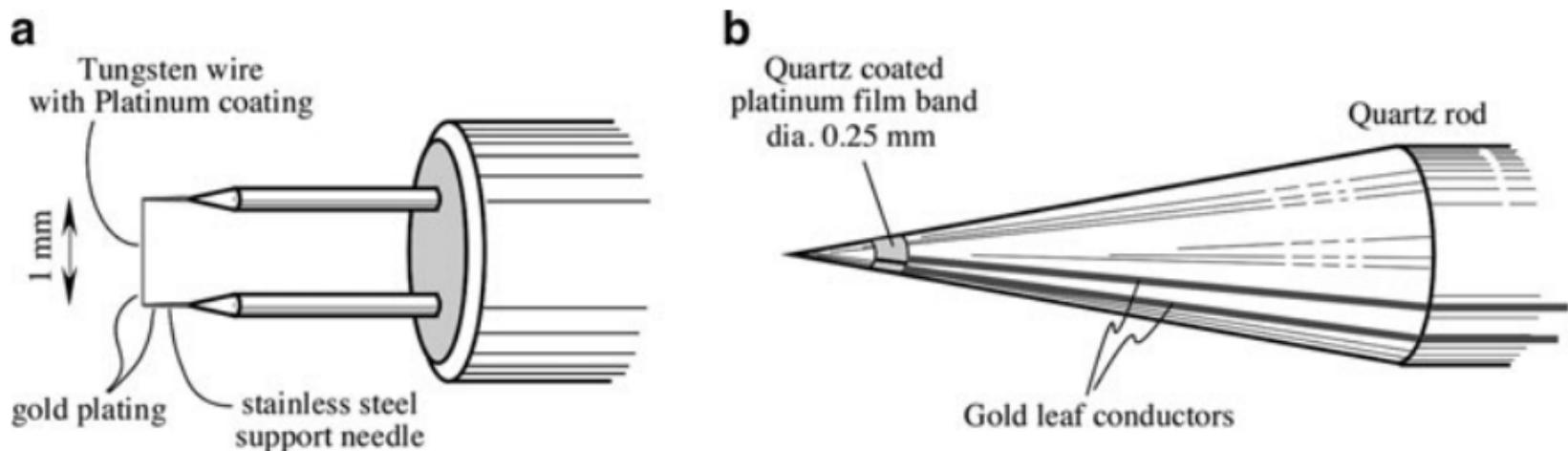


Fig. 11.6 Hot-wire probe (**a**) and a conical hot-film probe (**b**)