

HUST

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

HANOI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ONE LOVE. ONE FUTURE.



TRƯỜNG ĐẠI HỌC
BÁCH KHOA HÀ NỘI
HANOI UNIVERSITY
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

KĨ THUẬT CẢM BIẾN

Giảng viên: Nguyễn Thị Huế
Khoa Tự động hóa, Trường Điện – Điện tử

ONE LOVE. ONE FUTURE.

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 Sĩ 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

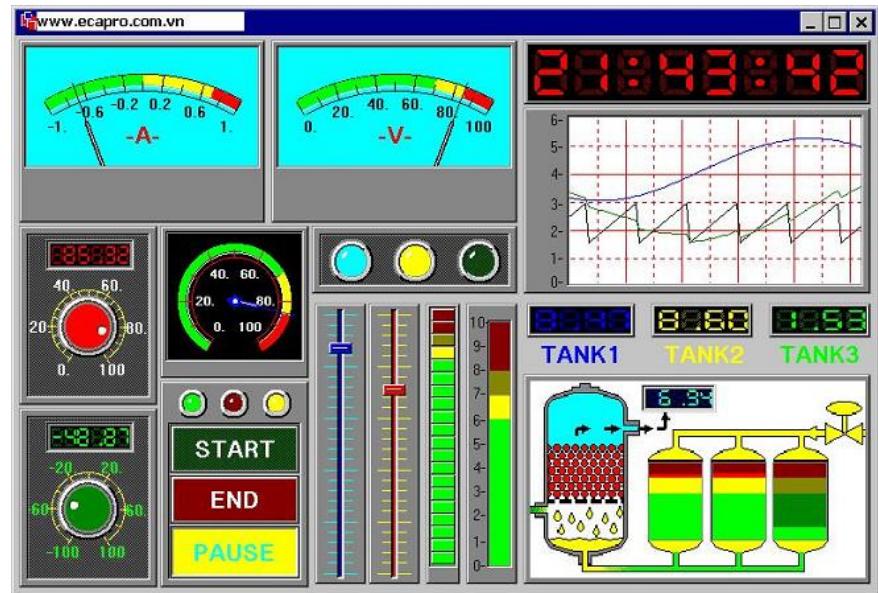
Nội dung môn học

- ❖ 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 điện tử và ion
- ❖ Chương 7: Chuyển đổi hóa điện
- ❖ Chương 8: Chuyển đổi khác



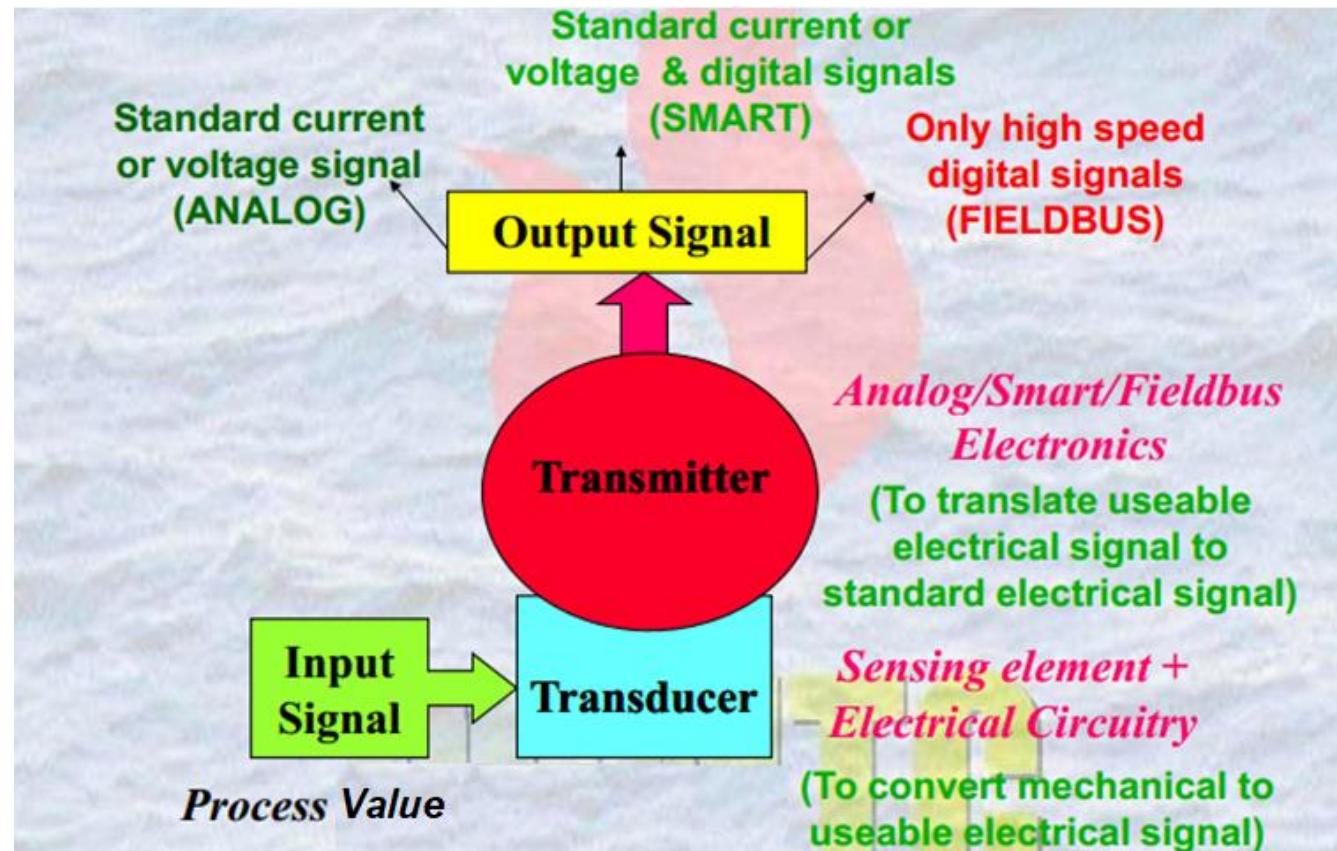
Chương 1: Tổng quan về cảm biến

1. Các định nghĩa
2. Phân loại cảm biến
3. Các thông số kỹ thuật cơ bản của cảm biến
4. Một số công nghệ chế tạo cảm biến



Khái niệm

- Cảm biến/Bộ chuyển đổi (sensor/tranducer)
- Bộ transmitter



Khái niệm cảm biến

- Bộ cảm biến là thiết bị điện tử cảm nhận những trạng thái hay quá trình vật lý, hóa học hay sinh học của môi trường cần khảo sát, và biến đổi thành tín hiệu điện để thu thập thông tin về trạng thái hay quá trình đó.
- Cảm biến (CB): là chuyển đổi thực hiện chức năng biến đổi đại lượng không điện thành đại lượng điện. Ví dụ như biến áp suất, nhiệt độ, lưu lượng, vận tốc...thành tín hiệu điện (mv, V, mA...)
-



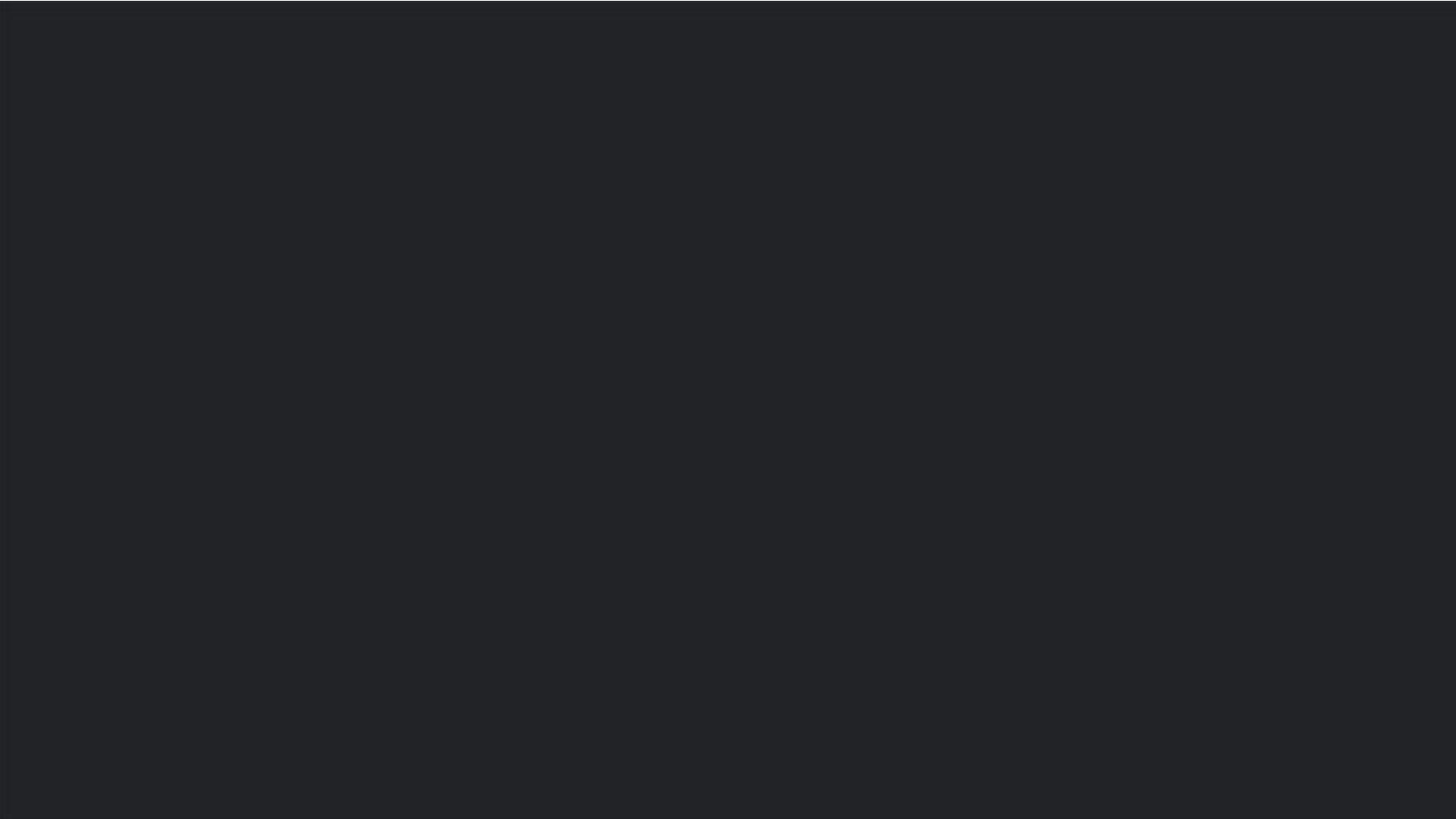
Khái niệm

- Các bộ cảm biến thường được định nghĩa theo nghĩa rộng là thiết bị cảm nhận và đáp ứng với các tín hiệu và kích thích. Nói cách khác cảm biến chính là các chuyển đổi đo lường sơ cấp được đặt trong một vỏ hộp có kích thước hình dáng rất khác nhau, có thể có kèm các mạch điện hỗ trợ và được chuẩn hóa để phù hợp với sử dụng trong thực tế (lắp đặt, đặc tính, cấu tạo..)
- Vai trò của cảm biến:
 - ✓ Cảm biến đóng vai trò quan trọng trong hệ thống đo lường và ĐK hiện đại.
 - ✓ Nó quyết định việc có thể ĐK tự động hay TĐH các quá trình hay không
 - ✓ Quyết định độ chính xác và chất lượng của hệ thống



Tổng quan về transmitter

- https://www.youtube.com/watch?v=DtNyLZ-BGa4&list=RDCMUCUKKQwBQZczpYzETkZNxi-w&index=34&ab_channel=RealPars



Phân loại cảm biến

- Cảm biến chủ động và cảm biến bị động phân biệt ở nguồn năng lượng dùng cho phép biến đổi lấy từ đâu.
 - **Cảm biến chủ động** có sử dụng điện năng bổ sung để chuyển sang tín hiệu điện. Diễn hình là cảm biến áp điện làm bằng vật liệu gốm, chuyển áp suất thành điện tích trên bề mặt. Các antenna cũng thuộc kiểu cảm biến chủ động.
 - **Cảm biến bị động** không sử dụng điện năng bổ sung để chuyển sang tín hiệu điện. Diễn hình là các photodiode khi có ánh sáng chiếu vào thì có thay đổi của điện trở tiếp giáp bán dẫn p-n được phân cực ngược. Các cảm biến bằng biến trở cũng thuộc kiểu cảm biến bị động.



Phân loại Cảm biến

- Phân loại nguyên lý chuyển đổi
 - ✓ Chuyển đổi nhiệt điện
 - ✓ Chuyển đổi điện trở
 - ✓ Chuyển đổi tĩnh điện (áp điện, điện dung)
 - ✓ Chuyển đổi điện từ
 - ✓ Chuyển đổi hóa điện
 - ✓ Chuyển đổi điện tử và ion
 - ✓ Chuyển đổi lượng tử
 - ✓ Chuyển đổi đo độ ẩm
-



Phân loại Cảm biến

- Phân loại cảm biến theo nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích: có 3 loại cảm biến:
 - ✓ Cảm biến vật lý: Sóng điện từ, ánh sáng, tử ngoại, tia X, tia gamma, hạt bức xạ, nhiệt độ, áp suất, âm thanh, rung động, khoảng cách, chuyển động, gia tốc, từ trường,...
 - ✓ Cảm biến hóa học: độ ẩm, độ PH, hợp chất đặc hiệu, ...
 - ✓ Cảm biến sinh học: biến đổi sinh hóa, biến đổi vật lý, hiệu ứng trên cơ thể sống,...



Phân loại Cảm biến

- Phân loại cảm biến theo dạng kích thích: có 7 loại cảm biến
 - ✓ **Cảm biến âm thanh:** Biên pha, phân cực - Phổ - Tốc độ truyền sóng
 - ✓ **Cảm biến từ:** Từ trường (biên, pha, phân cực, phổ) - Từ thông, cường độ từ trường - Độ từ thâm
 - ✓ **Cảm biến điện:** Điện tích, dòng điện - Điện thế, điện áp - Điện trường (biên, pha, phân cực, phổ) - Điện dẫn, hằng số điện môi ...
 - ✓ **Cảm biến quang:** Biên, pha, phân cực, phổ - Tốc độ truyền - Hệ số phát xạ, khúc xạ - Hệ số hấp thụ, hệ số bức xạ
 - ✓ **Cảm biến cơ:** Vị trí - Lực, áp suất - Gia tốc, vận tốc - Ứng suất, độ cứng - Mô men - Khối lượng, tỉ trọng - Vận tốc chất lưu, độ nhớt
 - ✓ **Cảm biến nhiệt:** Nhiệt độ - Thông lượng - Nhiệt dung, tỉ nhiệt
 - ✓ **Cảm biến bức xạ:** Năng lượng - Cường độ ...



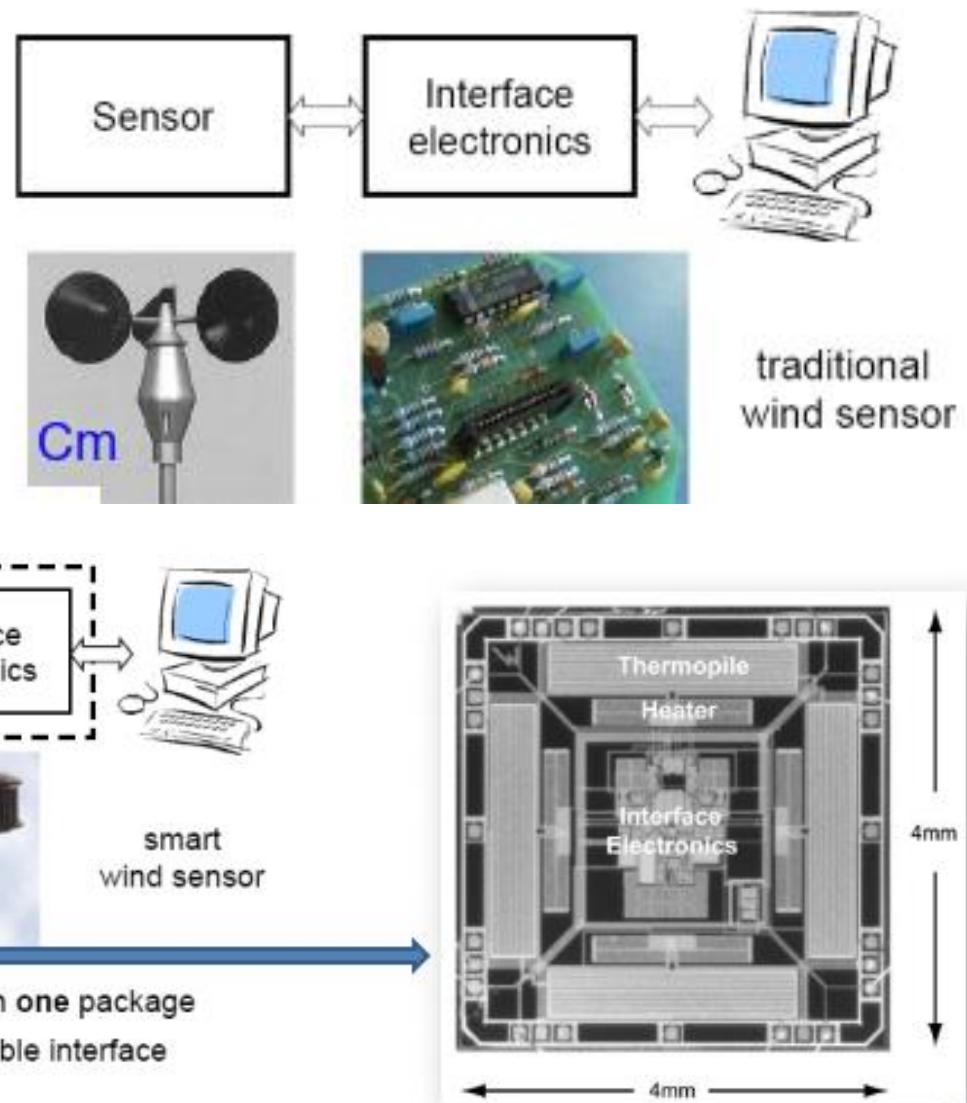
Phân loại cảm biến

• Phân loại theo kích thước

- Cảm biến truyền thống

- Vi cảm biến

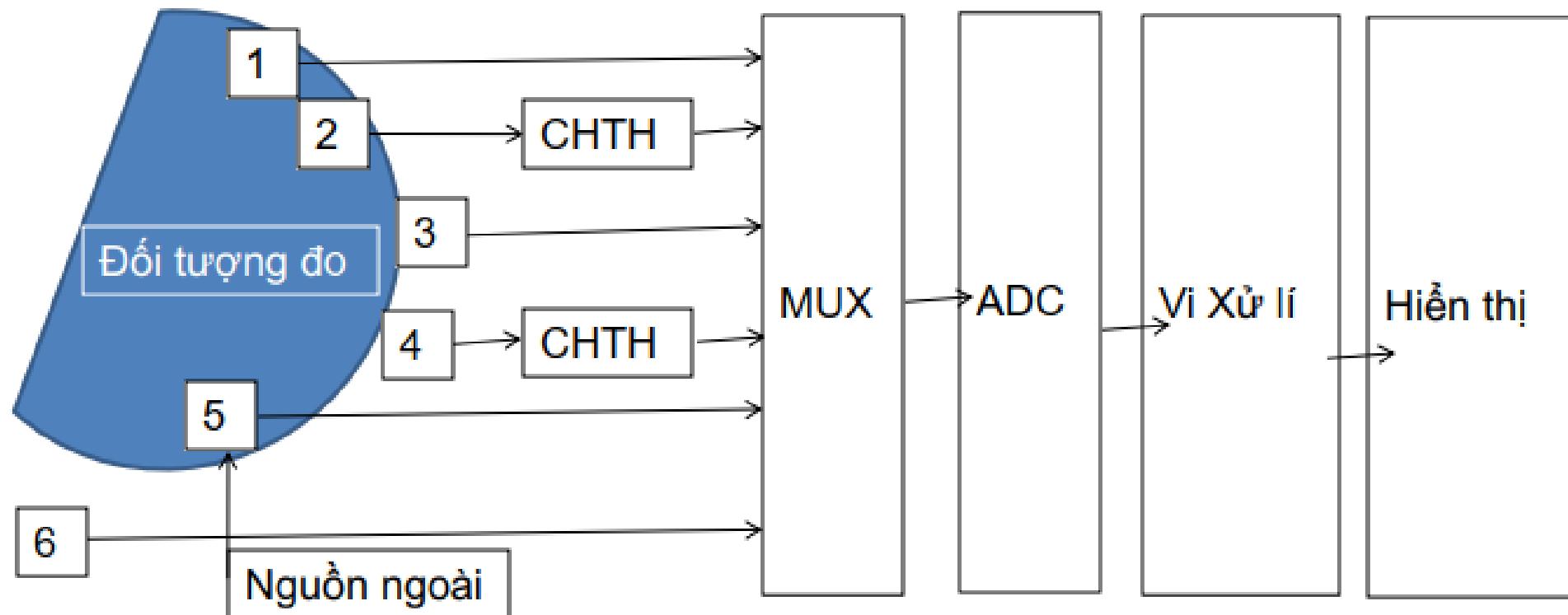
(microsensor) là cảm biến được sản xuất trên cơ sở công nghệ vi cơ điện tử với kỹ thuật xử lý silicon truyền thống có kích thước vật lý rất nhỏ (mm, micro, nano..)



• Phân loại theo phương pháp tiếp xúc

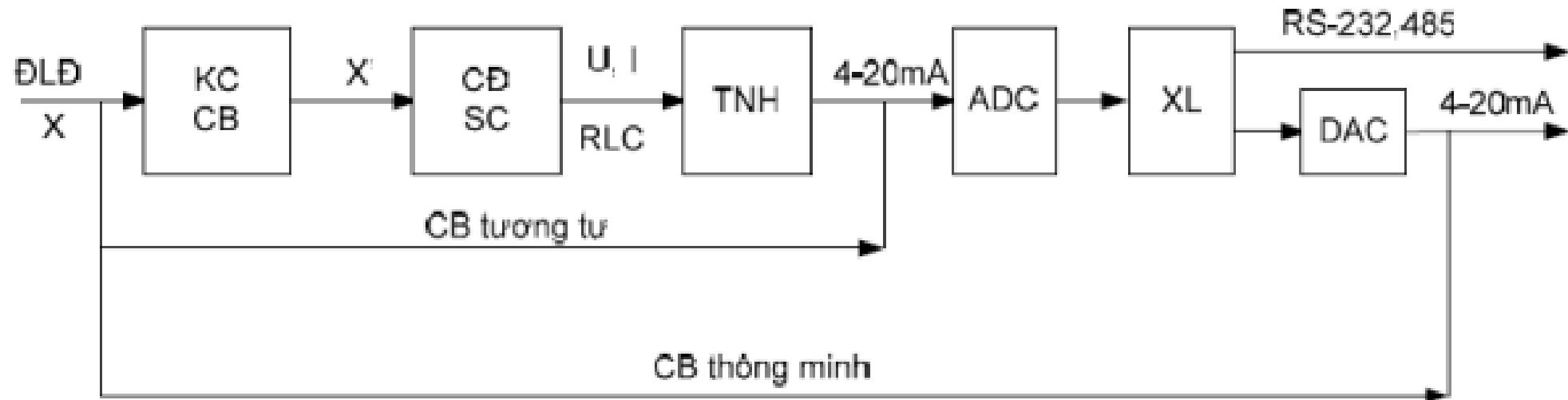
- ✓ CB1: đo tiếp xúc với đối tượng và không cần CHTH (chủ động).
- ✓ CB2 đo tiếp xúc chủ động và cần chuẩn hóa tín hiệu.
- ✓ CB3 đo ko tiếp xúc, ko cần CHTH và chủ động.

- ✓ CB4 đo ko tiếp xúc, chủ động và cần CHTH.
- ✓ CB5 đo tiếp xúc, thụ động (cần nguồn ngoài).
- ✓ CB6 đo môi trường.



Phân loại cảm biến

- Phân loại theo tính năng



- ✓ Cảm biến tương tự
- ✓ Cảm biến thông minh

Phân loại cảm biến

- Phân loại theo loại cảm biến sử dụng

Các loại cảm biến hay được sử dụng trong công nghiệp và dân dụng

- Cảm biến đo nhiệt độ (37,29%*)
- Cảm biến đo vị trí (27,12%*)
- Cảm biến đo di chuyển (16,27%*)
- Cảm biến đo áp suất (12,88%*)
- Cảm biến đo lưu lượng (1,36%*)
- Cảm biến đo mức (1,2%*)
- Cảm biến đo lực (1,2%*)
- Cảm biến đo độ ẩm (0,81%*)

*: Xếp theo số lượng các loại cảm biến bán được tại Pháp năm 2002



Phân loại Cảm biến

- Phân loại cảm biến theo phạm vi sử dụng:
 - ✓ Cảm biến dùng trong công nghiệp
 - ✓ Cảm biến dùng cho nghiên cứu khoa học
 - ✓ Cảm biến dùng cho môi trường, khí tượng
 - ✓ Cảm biến dùng cho thông tin, viễn thông
 - ✓ Cảm biến dùng cho nông nghiệp
 - ✓ Cảm biến dùng cho dân dụng
 - ✓ Cảm biến dùng cho giao thông
 - ✓ Cảm biến dùng cho vũ trụ
 - ✓ Cảm biến dùng cho quân sự



Các lĩnh vực ứng dụng

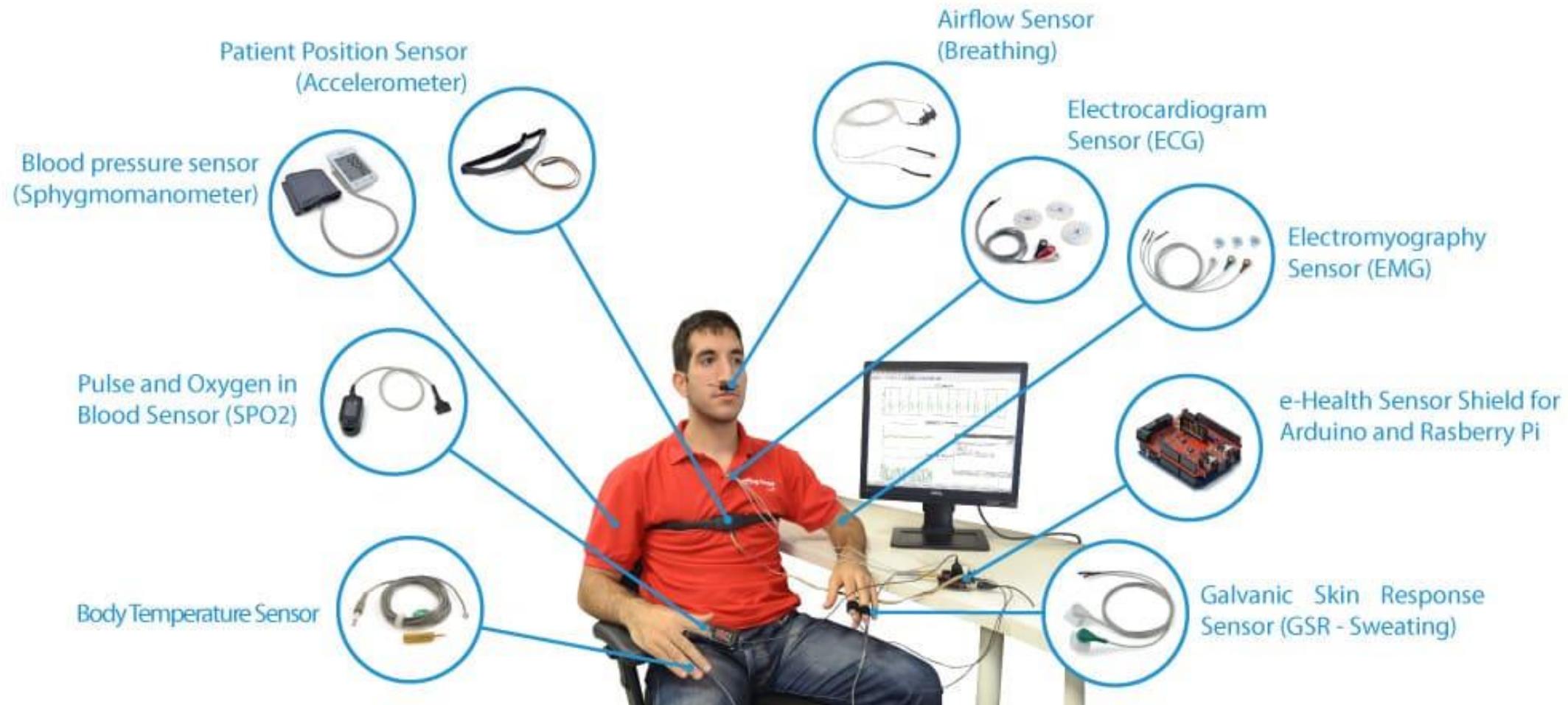
- Xe hơi : (38%*)
- Sản xuất công nghiệp: (20%*)
- Điện gia dụng : (11%*)
- Văn phòng: (9%*)
- Y tế: (8%*)
- An toàn: (6%*)
- Môi trường: (4%*)
- Nông nghiệp: (4%*)

*: Xếp theo số lượng các loại cảm biến bán được tại Pháp năm 2002



Ứng dụng của cảm biến

- Sức khỏe con người

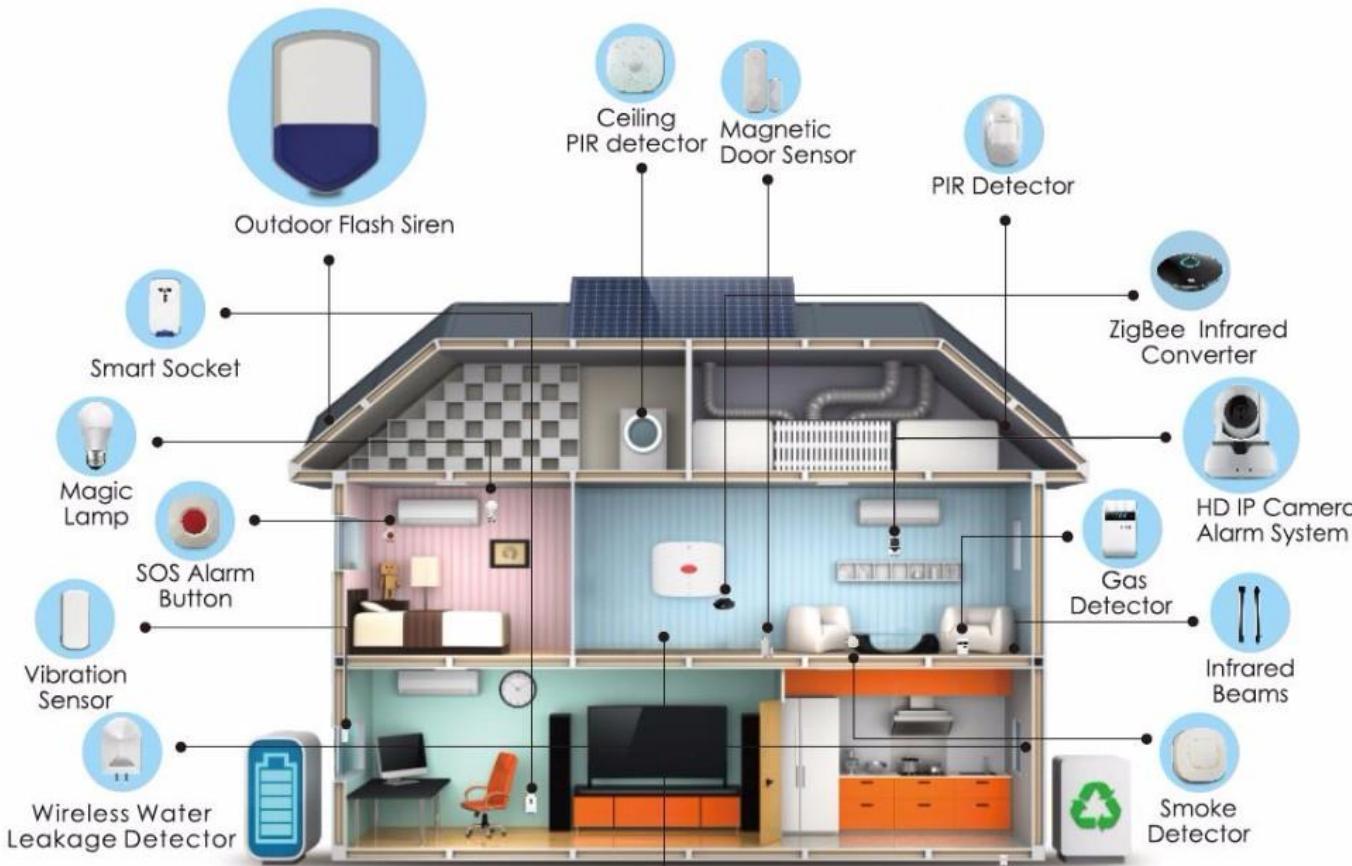


Ứng dụng của cảm biến

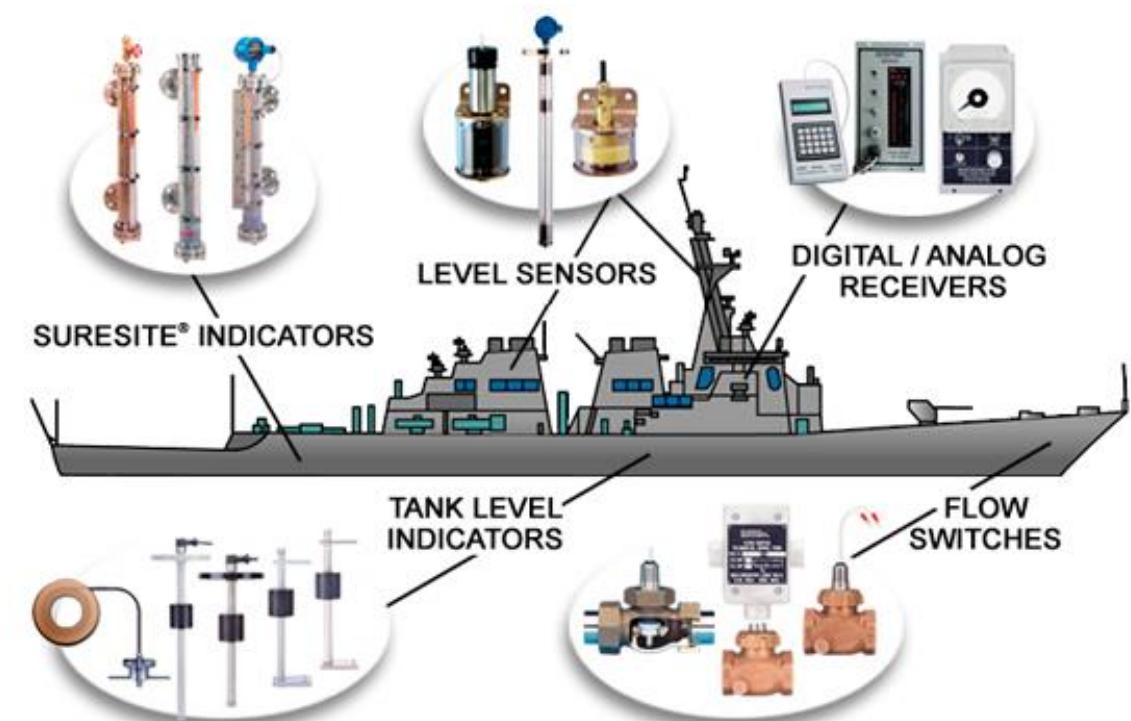
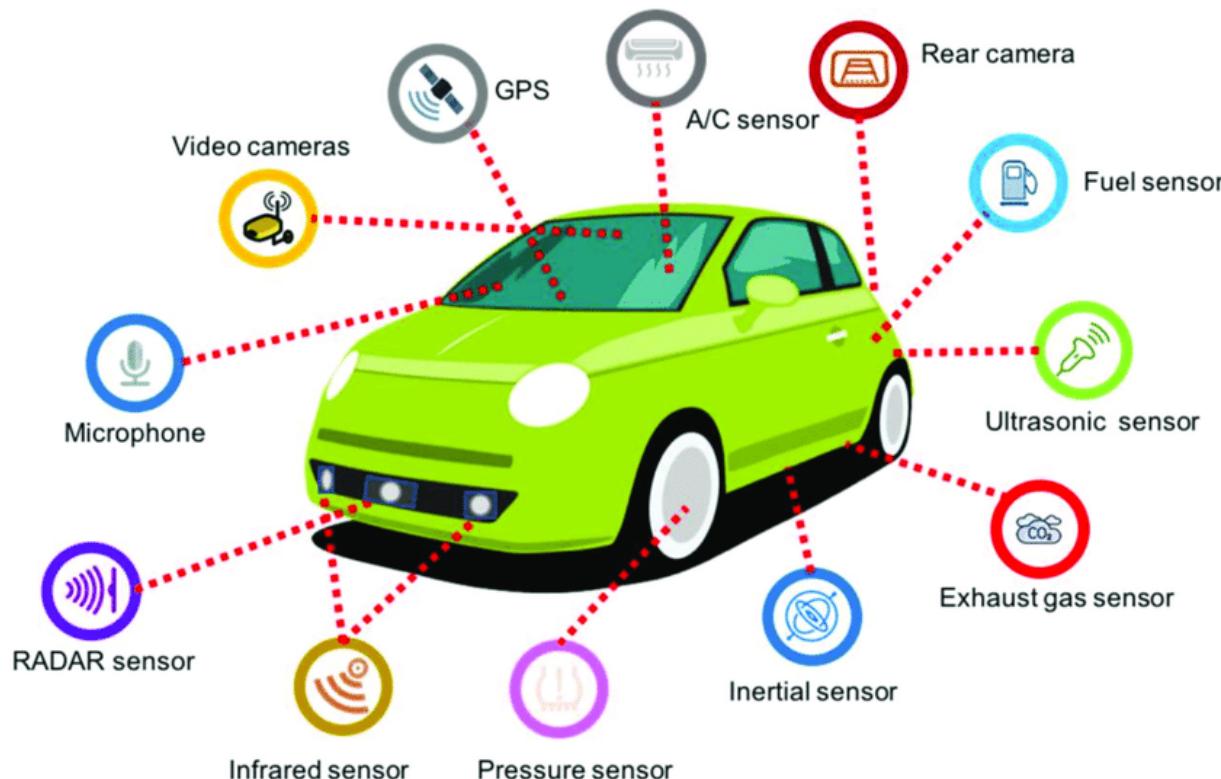
Smart Home



ZigBee[®]
ZigBee HA / ZigBee Light Link

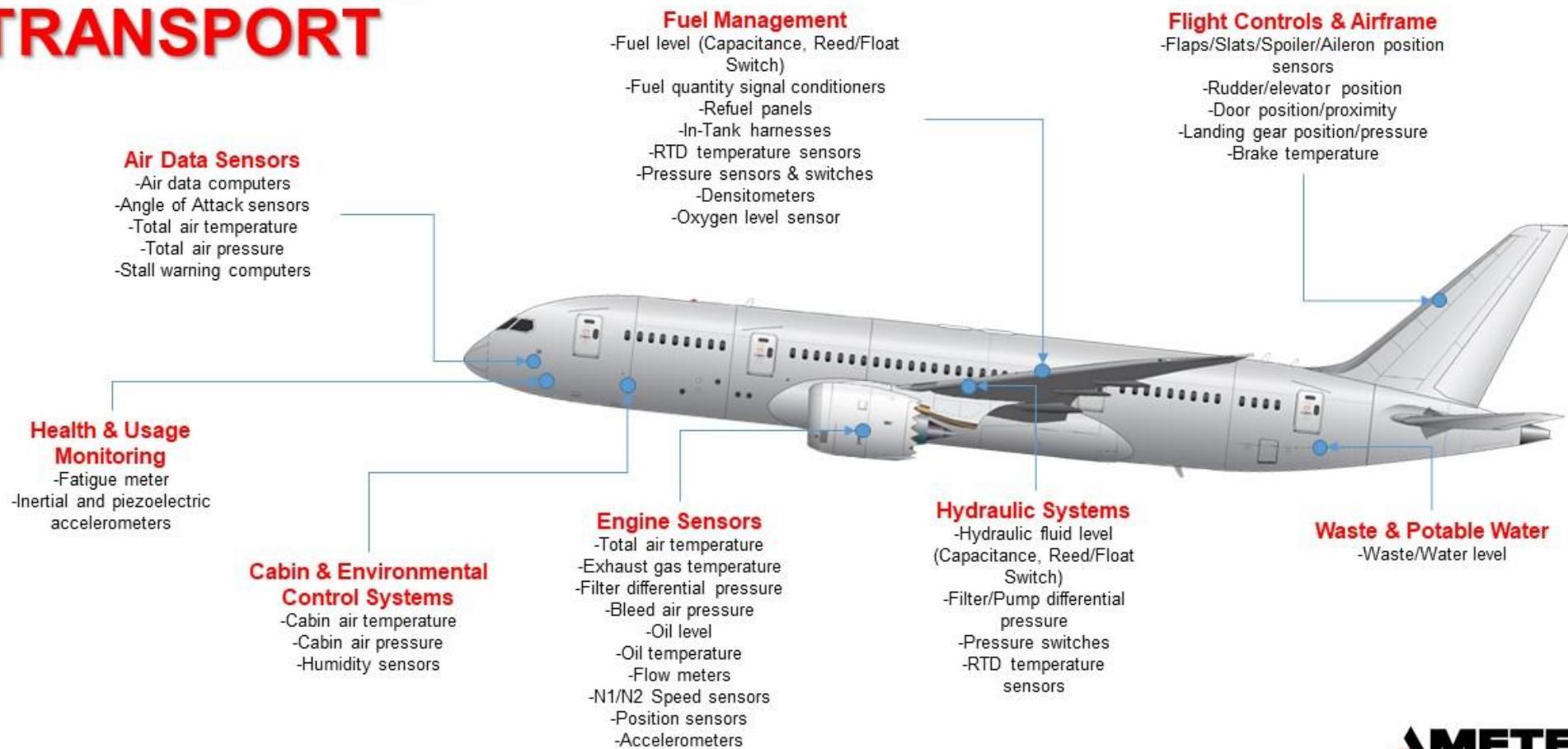


Ứng dụng của cảm biến



Ứng dụng của cảm biến

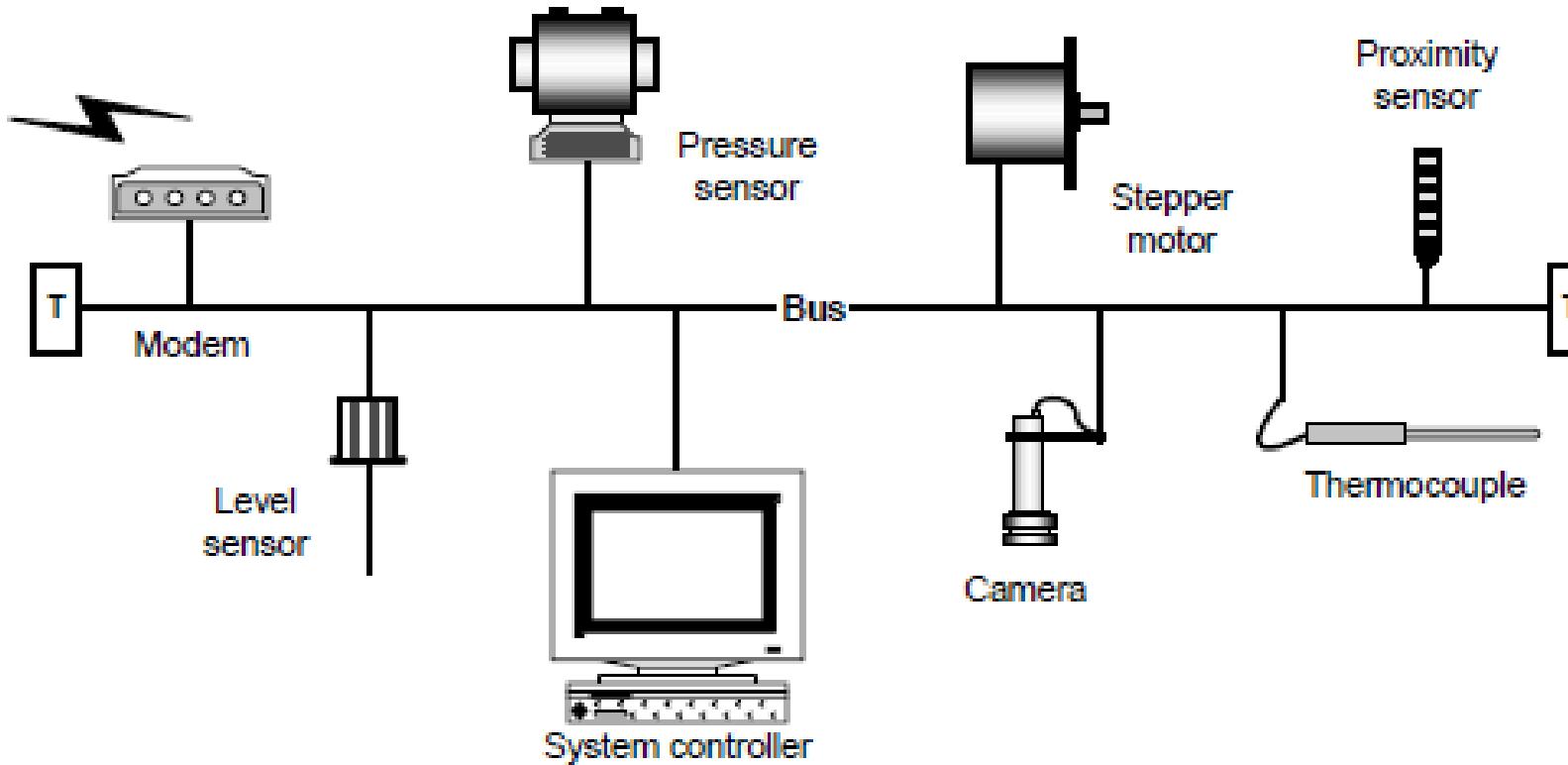
COMMERCIAL TRANSPORT



AMETEK
SFMS



Ứng dụng của cảm biến

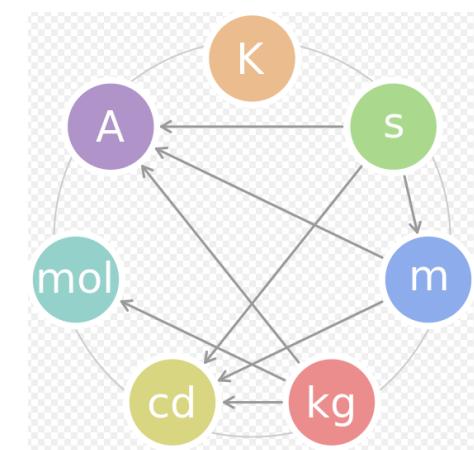


Các thông số kỹ thuật cơ bản của cảm biến

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

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 (hai 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	$1,0161 \cdot 10^3 \text{kg}$		



1.3. Các thông số kỹ thuật cơ bản của cảm biến

- Đáp ứng (response)
- Độ nhạy (sensitivity)
- Độ lựa chọn (selectivity)
- Giới hạn phát hiện (detection limit)
- Độ phân giải (Resolution)
- Ngưỡng nhạy
- Tốc độ đáp ứng (speed of response)
- Độ trễ (hysteresis)
- Độ lặp lại (repeatability)
- Độ phi tuyến (Nonlinearity)
- Độ ổn định (stability)
- Khả năng chịu quá tải

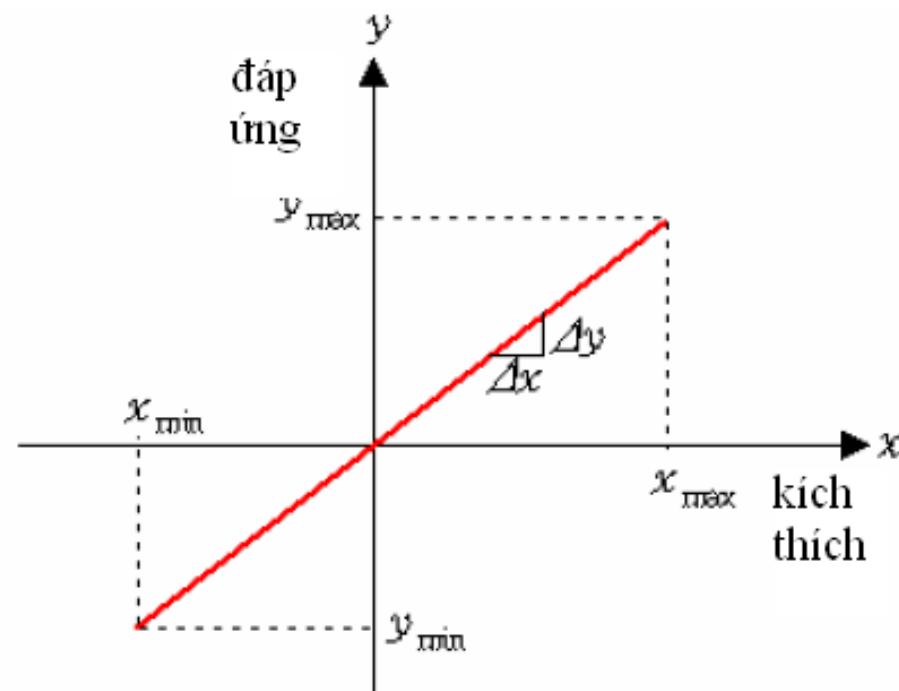


Độ nhạy

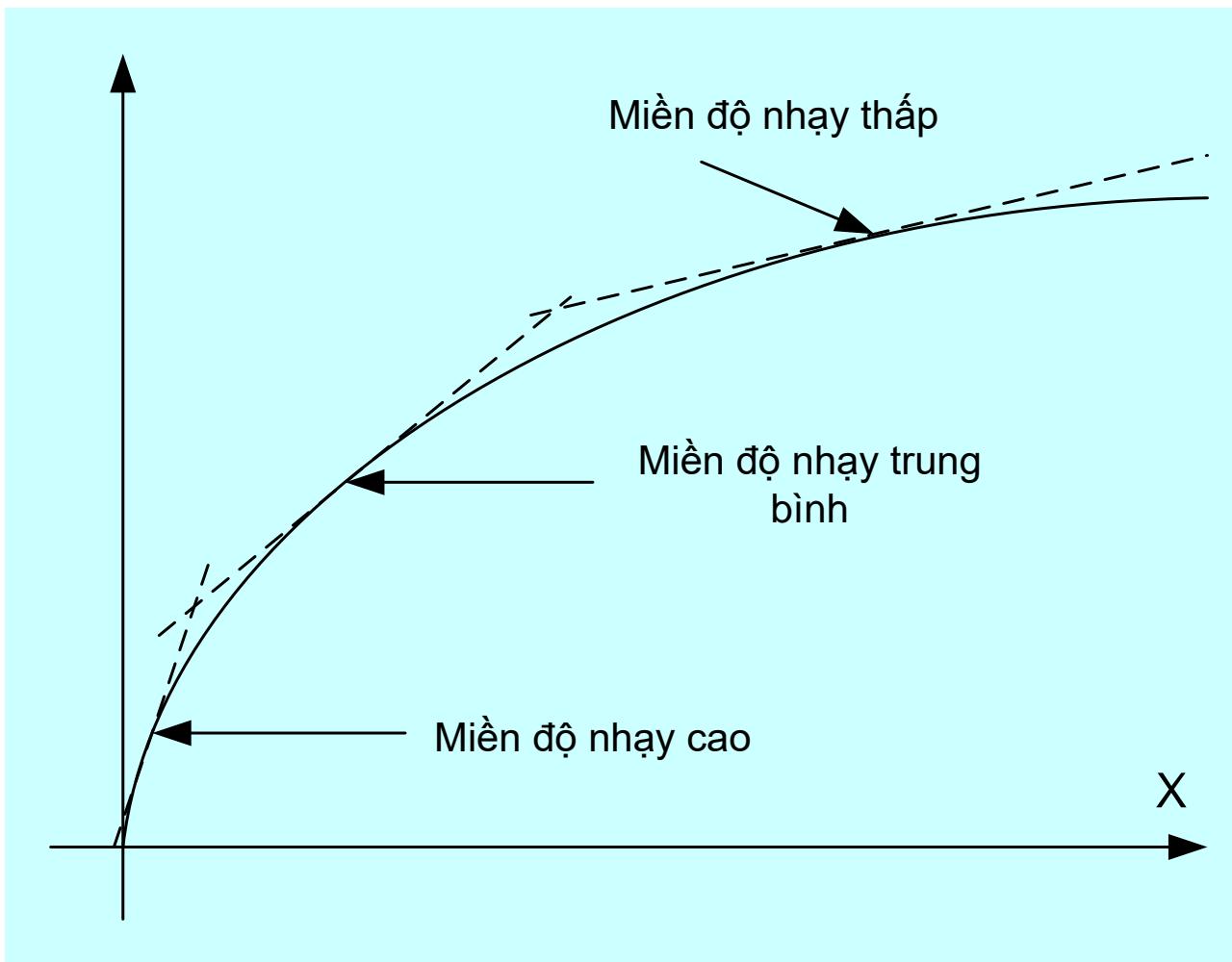
- $K = \partial F / \partial X$ – Độ nhạy với X
- Người ta còn ký hiệu là S
 - Khi $K = \text{const}$ -> X, Y là tuyến tính.
 - $K = f(X)$ -> X, Y là không tuyến tính -> sai số phi tuyến.

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.

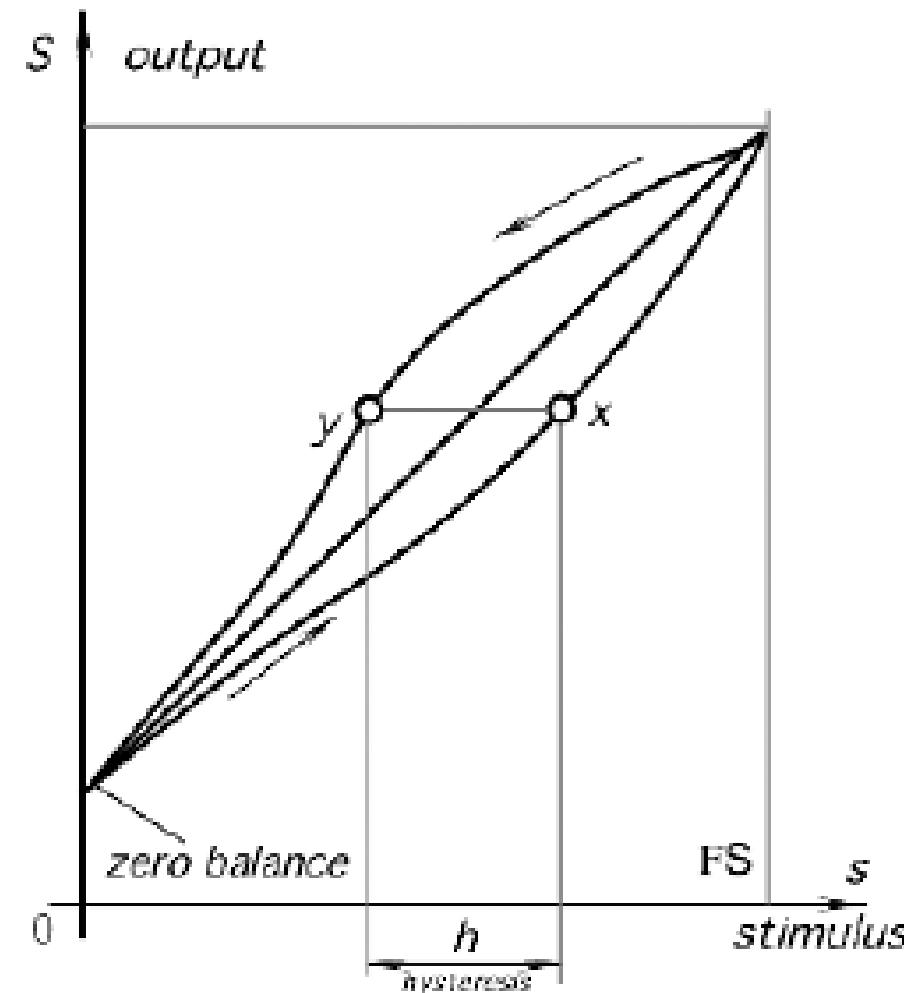


Độ nhạy



Trễ hay trơ của thiết bị (H- Hysteresis)

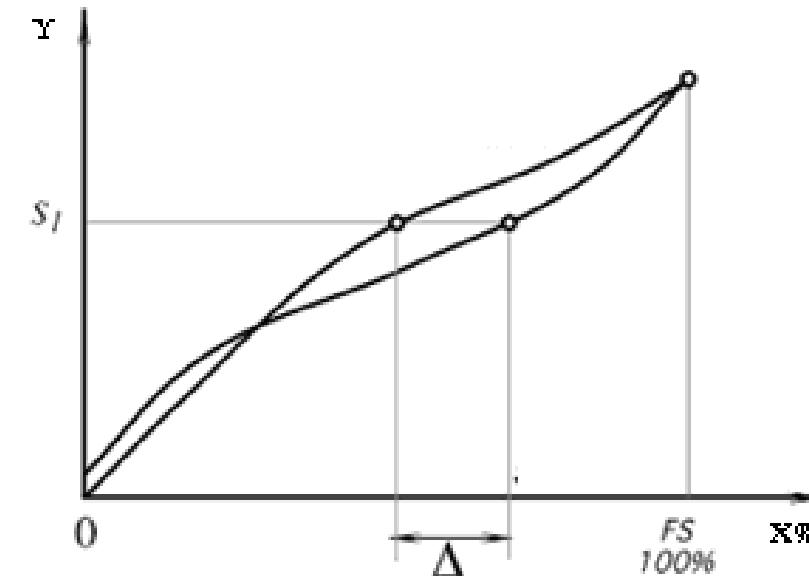
- Nguyên nhân: do sự thay đổi trong cấu trúc vật liệu hoặc ma sát



Tính lặp lại

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

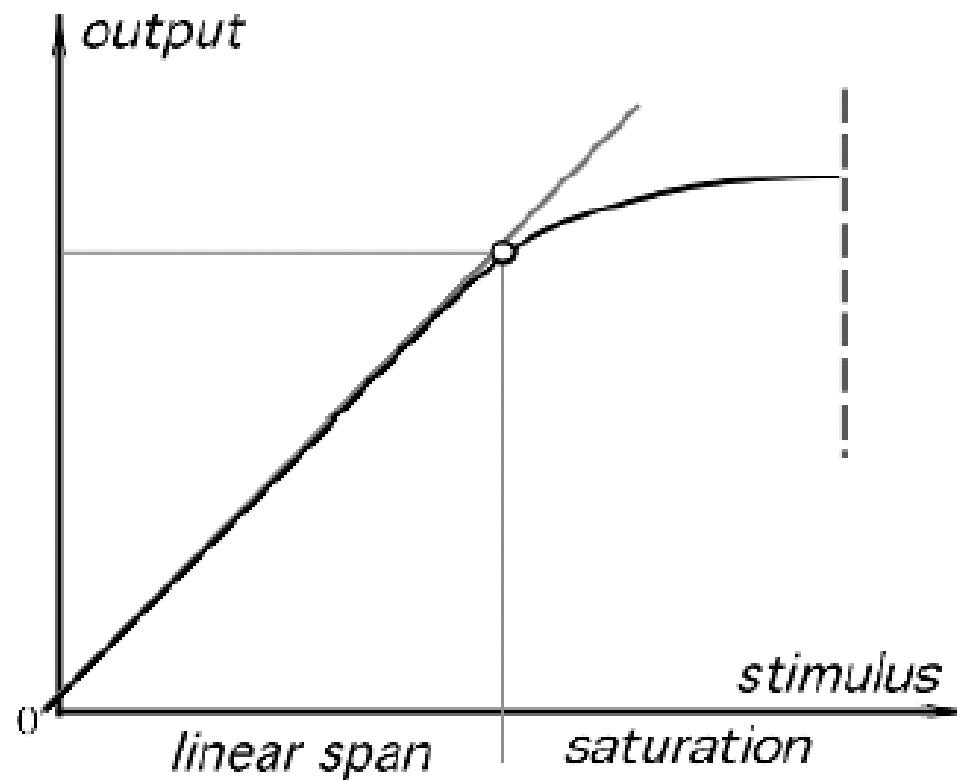
$$\frac{dK_x}{K_x}$$



- 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.

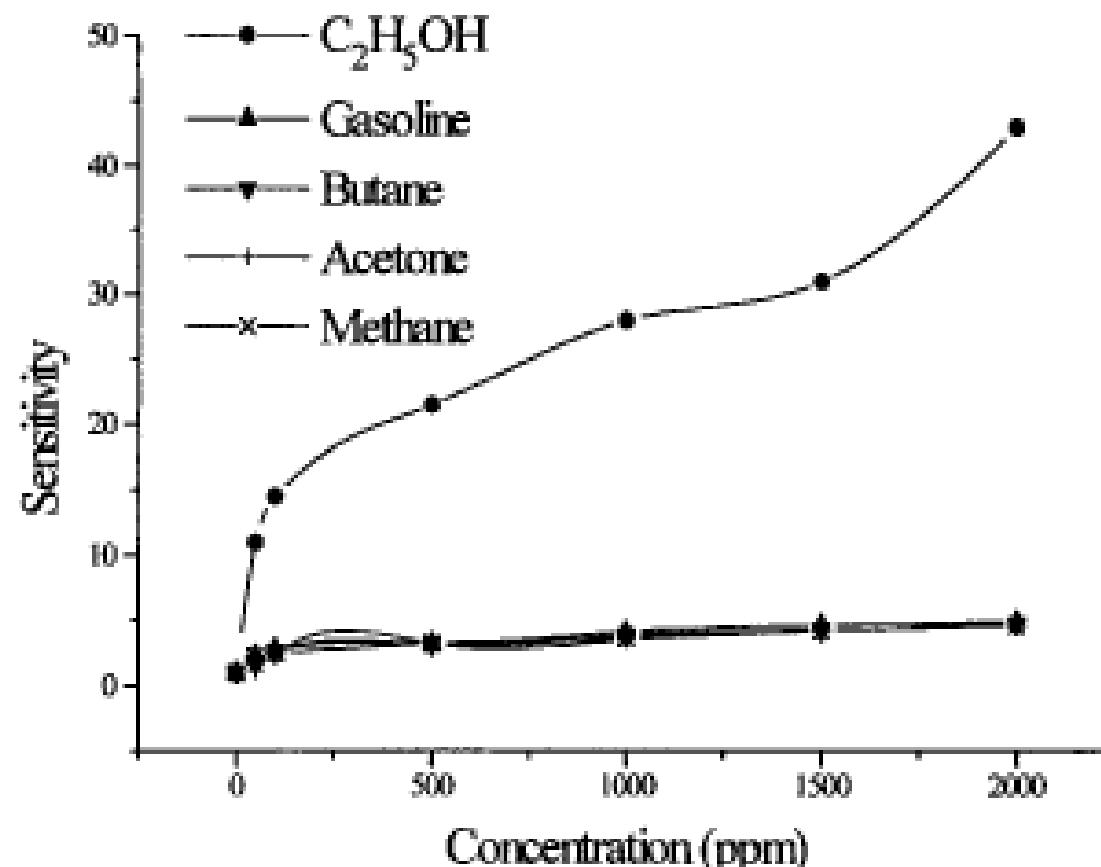
Độ bão hòa

- 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 chọn lựa cao với khí C₂H₅OH.



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:

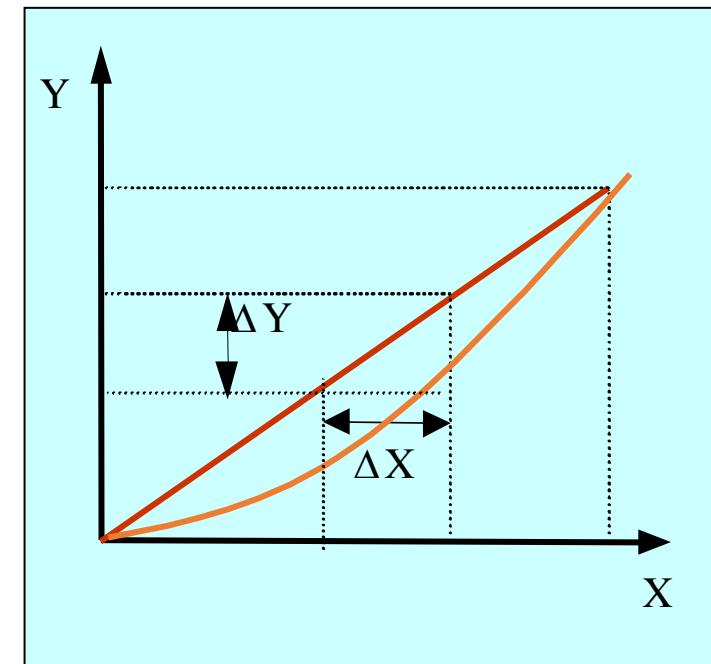
$$K_{pt} = \frac{\Delta X_{\max}}{X_n}$$

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.



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:*

$$R_x = \frac{D_x}{\varepsilon_g} = N_n$$



Ngưỡng nhạy

- Ngưỡng nhạy của thiết bị đo là giá trị đo thấp nhất mà dụng cụ có thể phân biệt được : ε_x , ε_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 ngưỡng 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 :

$$\varepsilon = \frac{10}{65536}$$

LSB của ADC 700-I là:

$$\varepsilon = \frac{0.5}{65536}$$

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



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:

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



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 cung suất và trở đầu 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:

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

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

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



Đặc tính động của thiết bị

Hàm truyền cơ bản : $Y(p)=K(p).X(p)$

Đặc tính động:

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

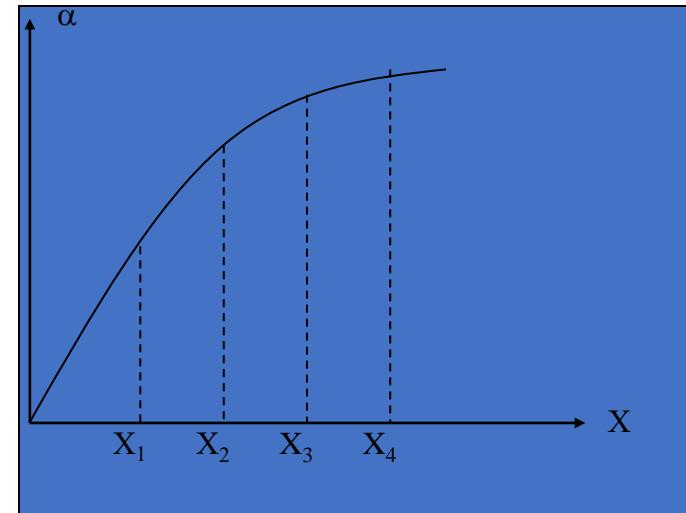
- Khi đại lượng X biến thiên theo thời gian ta sẽ có quan hệ

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

- 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

Hàm truyền cơ bản :

$$Y(p) = K(p) \cdot X(p)$$

Đặc tính động:

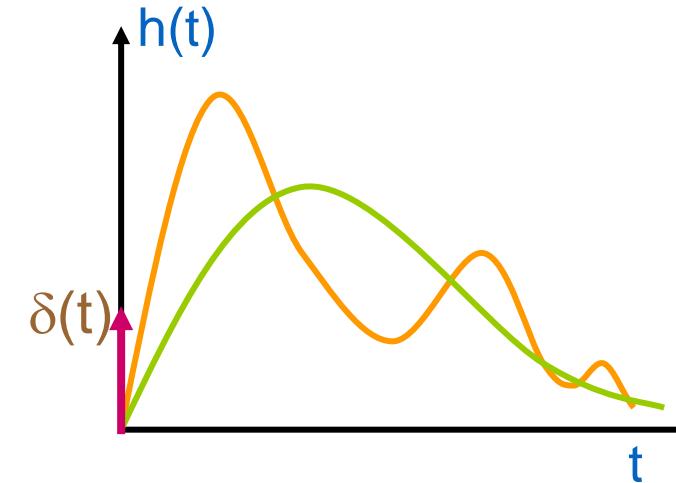
- + Đặc tính quá độ
- + Đặc tính tần
- + Đặc tính xung

- **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???

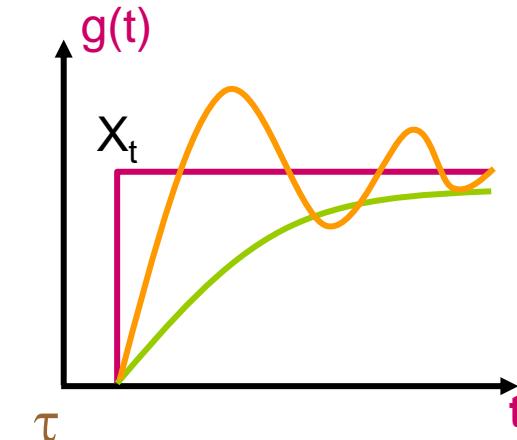


**Phản tử cơ bản cho phép tính đáp ứng
ra của thiết bị**

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

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 $\varphi(\omega)$. (Lý thuyết mạch 1)

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

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 tự - số (T_{bd}).
- Trong các thiết bị số, thời gian lấy mẫu (T_{lm}) phải lớn hơn thời gian biến đổi.



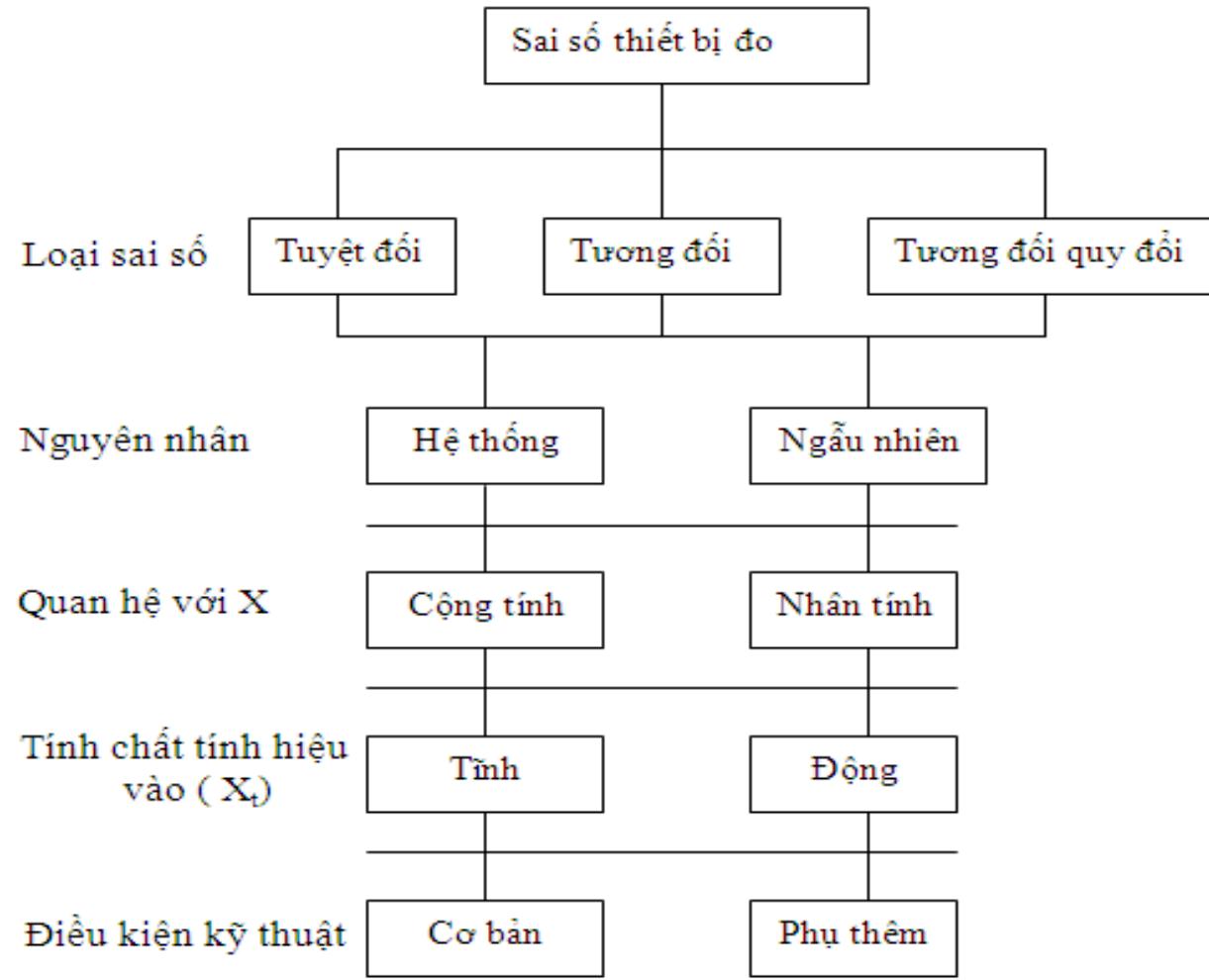
Độ chính xác của thiết bị đo

- 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.



ĐỘ CHÍNH XÁC VÀ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO

- Khi xem xét dụng cụ đo từ **độ chính xác và độ không đảm bảo đo** thường bị nhầm lẫn, song chúng là hai khái niệm khác nhau, nhất là đối với thế giới dụng cụ đo hiện đại ngày nay. Trong phạm trù đo lường:
- **Độ chính xác:** thường được biểu thị theo phần trăm toàn dải hoặc giá trị đo và nó cho biết con số khác nhau giữa giá trị đo và giá trị thật. Điểm yếu DCX là người ta không thể biết giá trị thật là bao nhiêu.
- **Độ không đảm bảo đo:** thường được biểu diễn là một khoảng giá trị đo được mà giá trị thật tồn tại trong nó với một xác xuất nhất định.



- **Hiệu chuẩn (Calibration)**
- Tập hợp các thao tác trong điều kiện quy định để thiết lập mối quan hệ giữa các giá trị được chỉ bởi PTĐ, hệ thống đo hoặc giá trị được thể hiện bằng vật độ hoặc mẫu chuẩn và các giá trị tương ứng thể hiện bằng chuẩn.



- **Kiểm định (Verification)**
- Là việc xác định và chứng nhận đối với PTĐ đáp ứng đầy đủ các yêu cầu quy định do tổ chức có thẩm quyền hoặc được uỷ quyền kiểm định thực hiện.
- Nhận xét
 - Về bản chất kỹ thuật
 - Về pháp lý
 - + Hiệu chuẩn: tự nguyện
 - + Kiểm định bắt buộc



Hiệu chuẩn (Calibration)

- Hiệu chuẩn, hiệu chỉnh thiết bị đo giúp cho việc đảm bảo quá trình công nghệ vận hành an toàn trong phạm vi kỹ thuật cho phép và tạo ra sản phẩm có chất lượng.
- Hiệu chuẩn, hiệu chỉnh là đo và so sánh độ chính xác các giá trị tín hiệu vào và tín hiệu ra với một chuẩn đã biết. Qua sự diễn dài, phân tích các kết quả của việc so sánh, các sai lệch của thiết bị đo có thể được xác định và được hiệu chỉnh
- Hiệu chuẩn, hiệu chỉnh dựa theo phép đo của quá trình thực tế, là thao tác được sử dụng để điều chỉnh một thiết bị đo sao cho độ chính xác của nó nằm trong mô tả kỹ thuật của nhà chế tạo



- **Hiệu chuẩn phương tiện đo**

- Hiệu chuẩn là hoạt động cần thiết mang tính **tự nguyện của cơ sở sản xuất kinh doanh, nghiên cứu để đánh giá được tình trạng phương tiện đo trong quá trình bảo quản sử dụng nhằm đảm bảo độ chính xác phù hợp với yêu cầu sản xuất kinh doanh, nghiên cứu của cơ sở**
- Kiểm định là biện pháp quản lý của Nhà nước đối với phương tiện đo, mang tính **bắt buộc, được Nhà nước quy định bằng luật pháp**
-



Ý NGHĨA CỦA HIỆU CHUẨN HIỆU CHỈNH

- Hiệu Chuẩn, Hiệu Chỉnh là so sánh các giá trị vào ra của thiết bị đo với chuẩn đã biết để đánh giá độ chính xác và có thể chỉnh lại
- Vận hành thành công một quá trình phụ thuộc vào độ chính xác và đặc tính của từng thiết bị đo trong mạch điều khiển
- Hiệu Chuẩn, Hiệu Chỉnh thiết bị giúp cho quá trình công nghệ vận hành an toàn trong phạm vi kỹ thuật cho phép
-



TẦM QUAN TRỌNG CỦA HIỆU CHUẨN HIỆU

- Các thiết bị đo có thể được yêu cầu cân chỉnh lại vì một số lý do
 - Sau một thời gian vận hành
 - Trôi các thông số của quá trình công nghệ
 - Vật liệu và điều kiện môi trường có thể bị thay đổi
 -



TẦM QUAN TRỌNG CỦA HIỆU CHUẨN HIỆU

- Do đó việc hiệu chuẩn, hiệu chỉnh lại thiết bị đo lường trong hệ thống điều khiển là cần thiết. Việc hiệu chuẩn, hiệu chỉnh thường được thực hiện trong quá trình shutdown nhà máy.
- Các thiết bị đo sau khi được sửa chữa và trước khi đưa chúng vào làm việc trở lại cần phải được hiệu chuẩn, hiệu chỉnh.
- Các thiết bị đo sau khi hoạt động thường xuyên lâu dài cần phải được hiệu chuẩn, hiệu chỉnh theo chu kỳ: 03 tháng, 06 tháng, 12 tháng ...
 -



NHẬN BIẾT ĐỘ LỆCH ZERO VÀ SAI LỆCH SPAN

- Độ lệch zero là trường hợp tín hiệu ngõ ra của thiết bị đo cao hơn hoặc thấp hơn giá trị mong đợi khi tín hiệu vào nằm trong dải đo của nó.
- Để kiểm tra độ lệch zero, người ta sử dụng một thiết bị thiết bị hiệu chuẩn (calibrator). Thiết bị này cung cấp một tín hiệu vào đã biết và tin cậy cho thiết bị đo cần kiểm tra.
- Phương thức kiểm tra là calibrator sẽ tạo ra tín hiệu chuẩn ở 5 điểm.
- Kiểm tra 5 điểm là quá trình kiểm tra đơn giản các giá trị output tương ứng với các giá trị input theo 5 điểm đọc theo thang đo



NHẬN BIẾT ĐỘ LỆCH ZERO VÀ SAI LỆCH SPAN

- Một bảng ghi số liệu hiệu chuẩn, hiệu chỉnh điển hình được trình bày dưới đây, nó được sử dụng để ghi các số liệu được tạo ra trong quá trình thử thiết bị đo. Bởi vì sai lệch zero được quan tâm qua toàn bộ thang đo của thiết bị đo, do đó sai lệch zero có thể được dò dễ dàng nhờ việc sử dụng bảng số liệu này

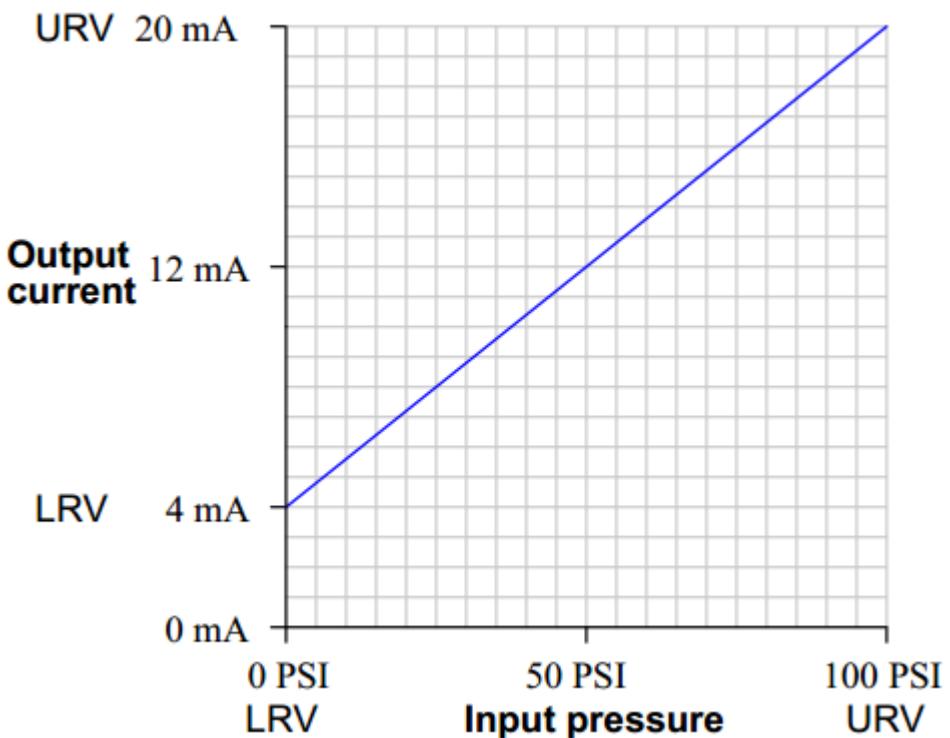
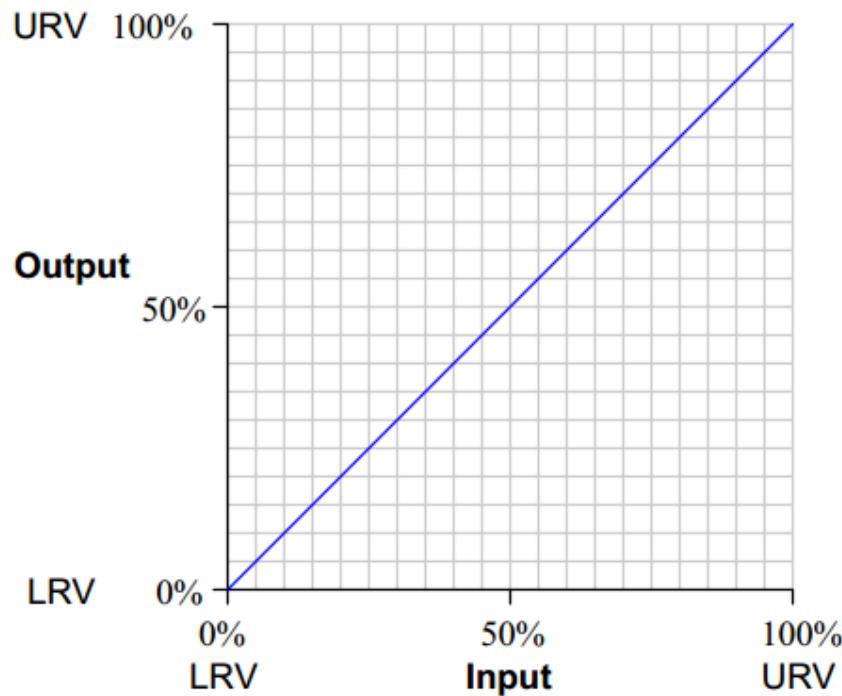
Giá trị Input	
Điểm thử	Input
0%	0°C
25%	25°C
50%	50°C
75%	75°C
100%	100°C

Giá trị mong muốn	Giá trị thực tế
4,00 mA	4,043 mA
8,00 mA	8,034 mA
12,00 mA	12,022 mA
16,00 mA	16,018 mA
20,00 mA	20,009 mA



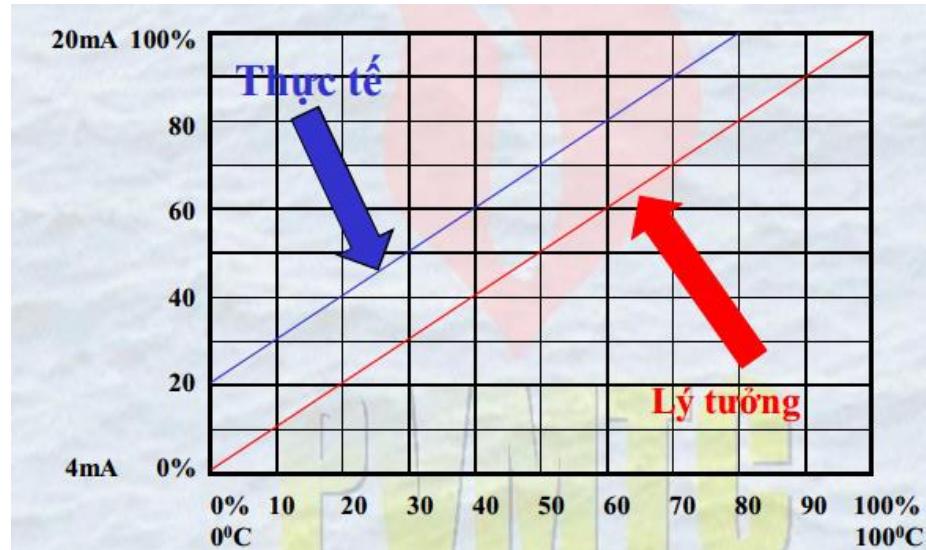
NHẬN BIẾT ĐỘ LỆCH ZERO VÀ SAI LỆCH SPAN

- Calibration

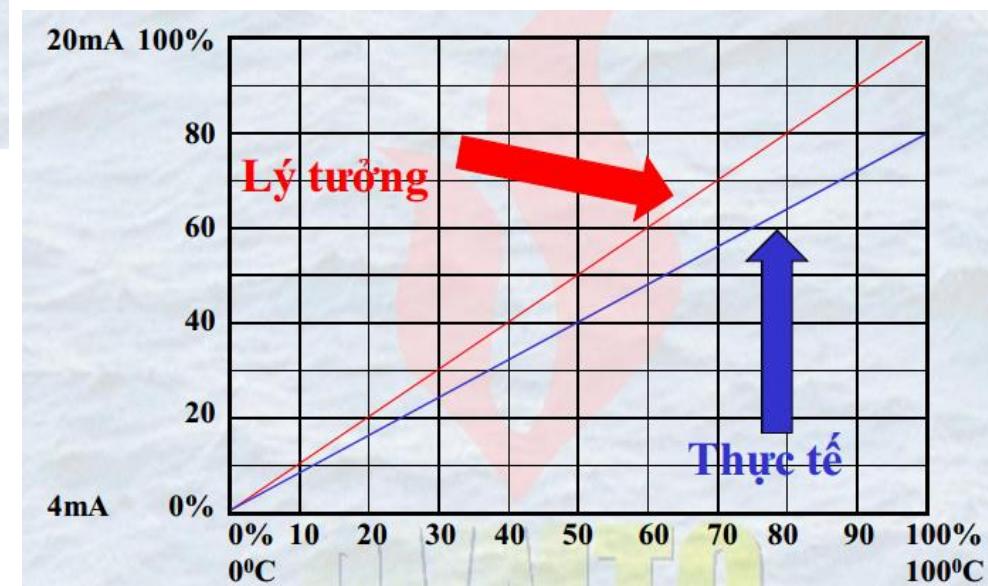


NHẬN BIẾT ĐỘ LỆCH ZERO VÀ SAI LỆCH SPAN

• LỆCH ZERO



✓ LỆCH SPAN



Phạm vi đo và Span của tín hiệu vào, tín hiệu ra

- **Phạm vi đo (range)** là sự xác lập các giá trị, qua đó việc đo có thể được thực hiện mà không làm ảnh hưởng đến độ nhạy của thiết bị đo.
- **Span của thiết bị đo** là khoảng cách (hoặc sự chênh lệch) giữa giá trị giới hạn trên và giá trị giới hạn dưới của thang đo ứng dụng
- **Tín hiệu vào (input range)** là tín hiệu tương ứng với giá trị thực cần đo nằm trong span của dải đo .
- **Tín hiệu ra (output signal)** của một transmitter điện tử hiển hình là 4 – 20mA tương ứng với 0% - 100% phạm vi đo tín hiệu vào.



Các mạch xử lý trong đồ lường



Các mạch đo và xử lý trong đo lường

- Mạch cầu wheston
- Mạch khuếch đại
- Mạch cộng trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân,..
- Mạch so sánh
- Mạch lọc
- ADC và DAC
- Hiệu chỉnh thiết bị

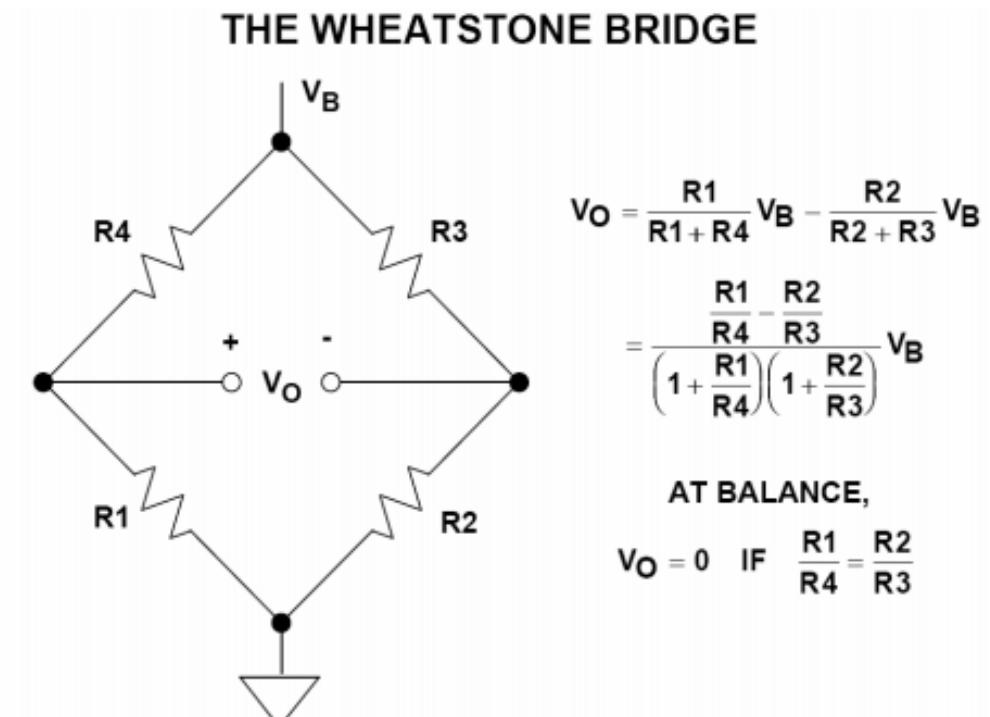


Mạch cầu đo

- Ứng dụng cho các loại cảm biến thụ động.
- Giá trị điện trở của phần tử cảm biến thường từ 100Ω đến vài trăm $k\Omega$. Ví dụ như bảng bên dưới.
- Thường giá trị điện trở thay đổi do tác động của đại lượng đo là rất nhỏ so với giá trị điện trở ban đầu
- Thiết kế sao cho dòng qua điện trở đủ nhỏ để không đốt nóng điện trở gây ra lỗ

■ Strain Gages	$120\Omega, 350\Omega, 3500\Omega$
■ Weigh-Scale Load Cells	$350\Omega - 3500\Omega$
■ Pressure Sensors	$350\Omega - 3500\Omega$
■ Relative Humidity	$100k\Omega - 10M\Omega$
■ Resistance Temperature Devices (RTDs)	$100\Omega, 1000\Omega$
■ Thermistors	$100\Omega - 10M\Omega$

Figure 4.1.1: Resistance of popular sensors.



Mạch cầu đo

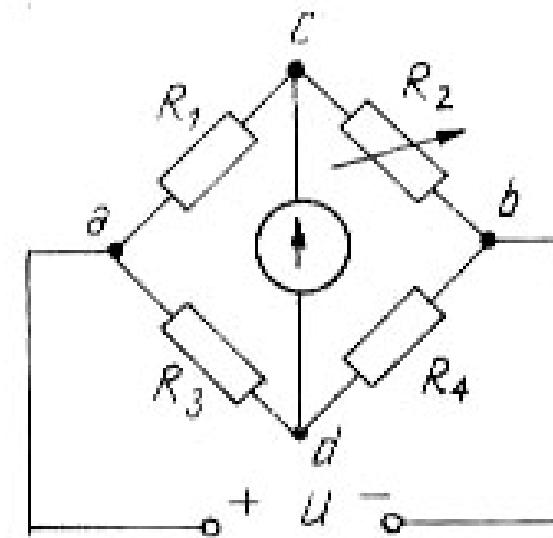
- Cầu cân bằng

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

Thay một điện trở của cầu (ví dụ R1) bằng điện trở cần đo Rx, ở trạng thái cầu cân bằng có:

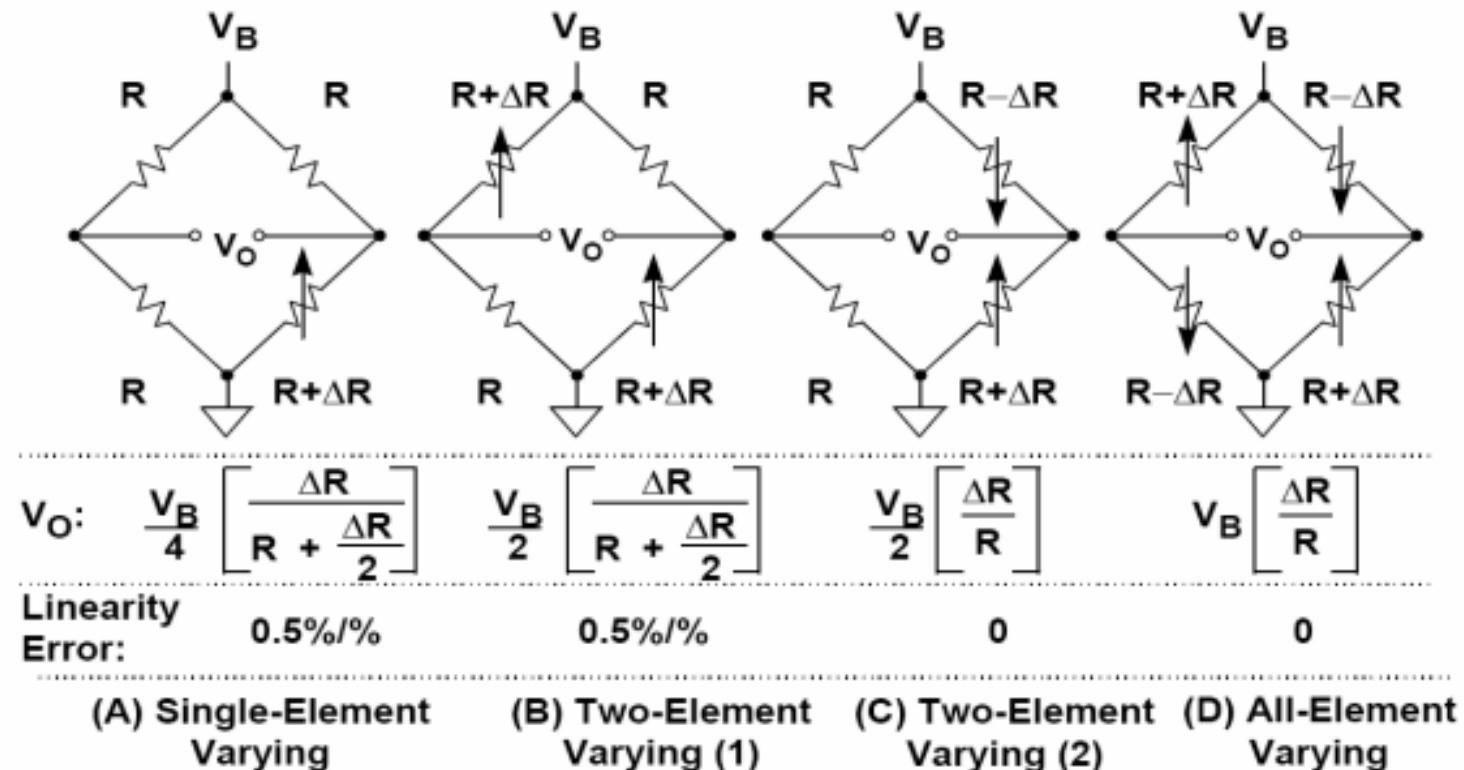
$$R_x = R_1 \frac{R_4}{R_3}$$

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

- Để tăng độ nhạy người ta dùng cầu 2 nhánh và 4 nhánh như hình vẽ
- Trong đó cầu một nhánh ứng dụng chủ yếu cho cảm biến nhiệt điện trở (RTD)
- Cầu 2 hoặc 4 nhánh ứng dụng chủ yếu cho strain gages
- Nếu nguồn cấp cho cầu $V_B = 10 \text{ V}$, và điện áp ra toàn thang là 10 mV thì độ nhạy cầu là 1 mV/V



Mạch cầu đo

Mạch đo:

- Mạch cầu một nhánh hoạt động

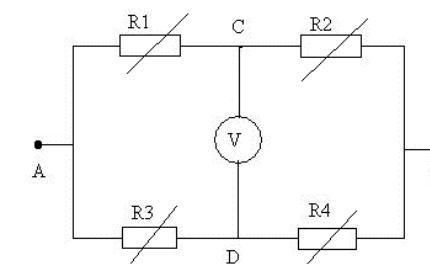
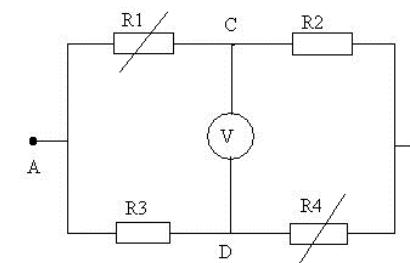
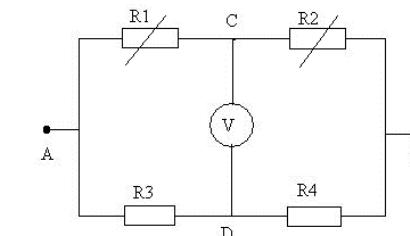
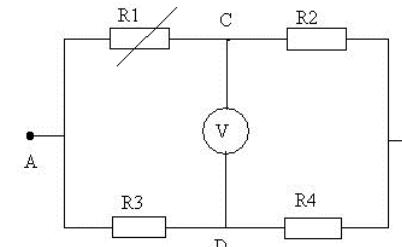
$$U_{ra} = \frac{1}{4} U_{cc} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{4} U_{cc} \cdot \varepsilon_R$$

- 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

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



Ảnh hưởng của điện trở dây đến mạch đo

• ↗

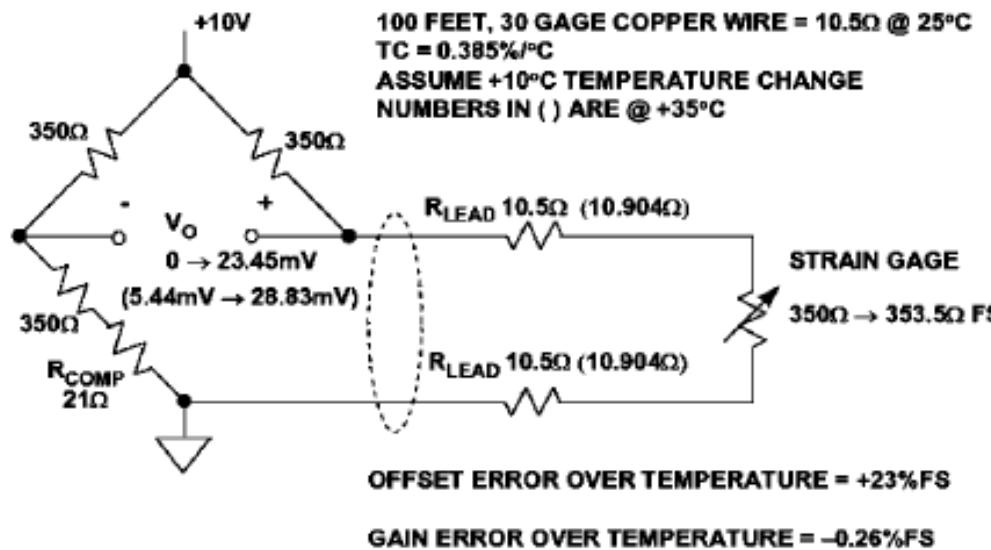


Figure 4.1.13: Errors produced by wiring resistance for remote resistive bridge sensor.

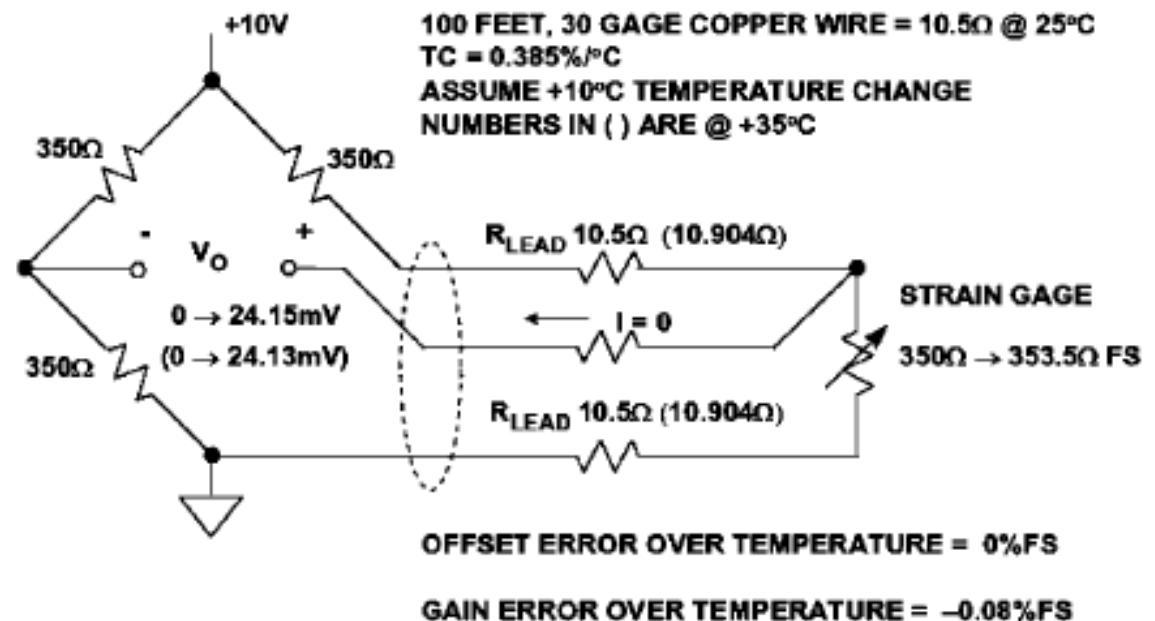
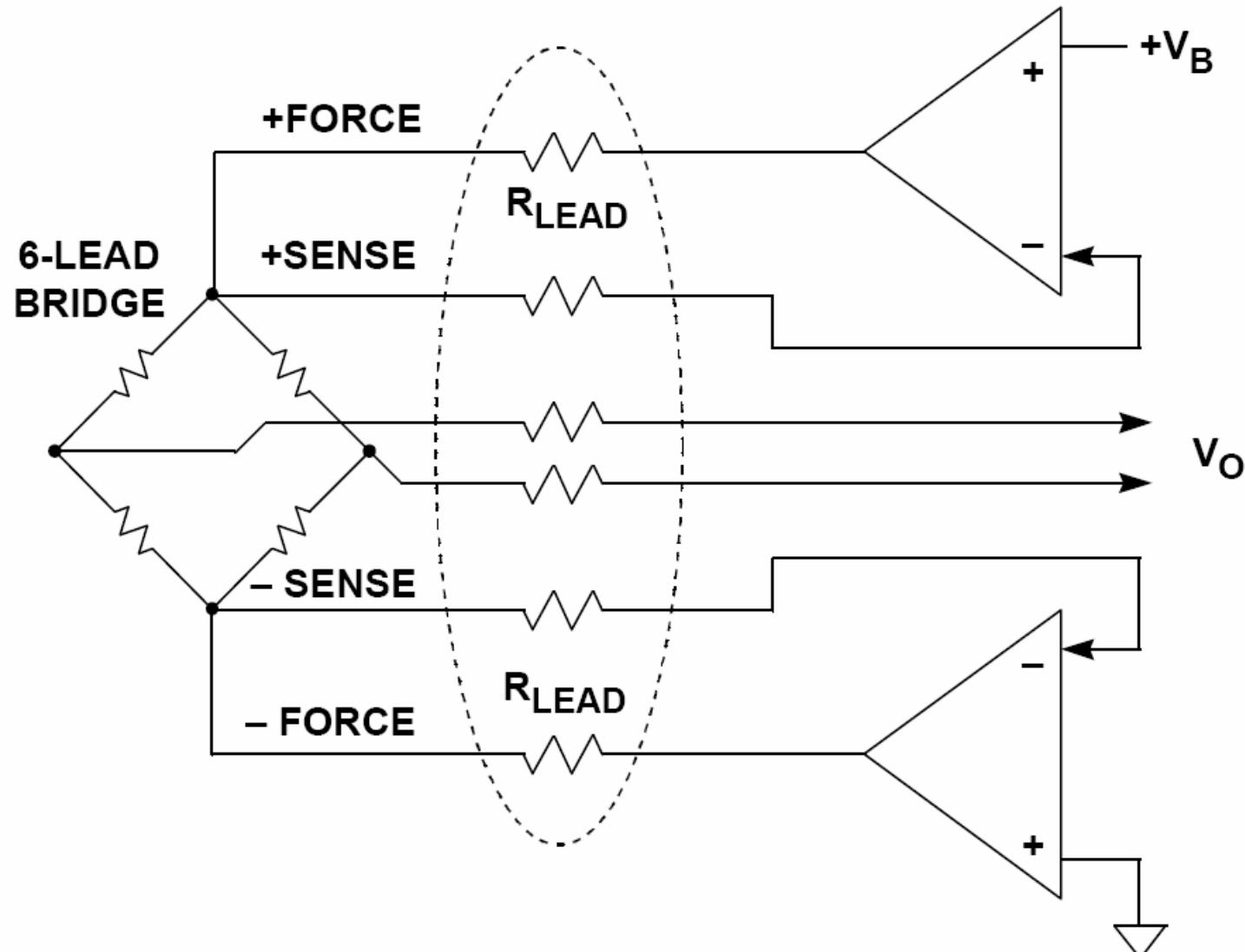
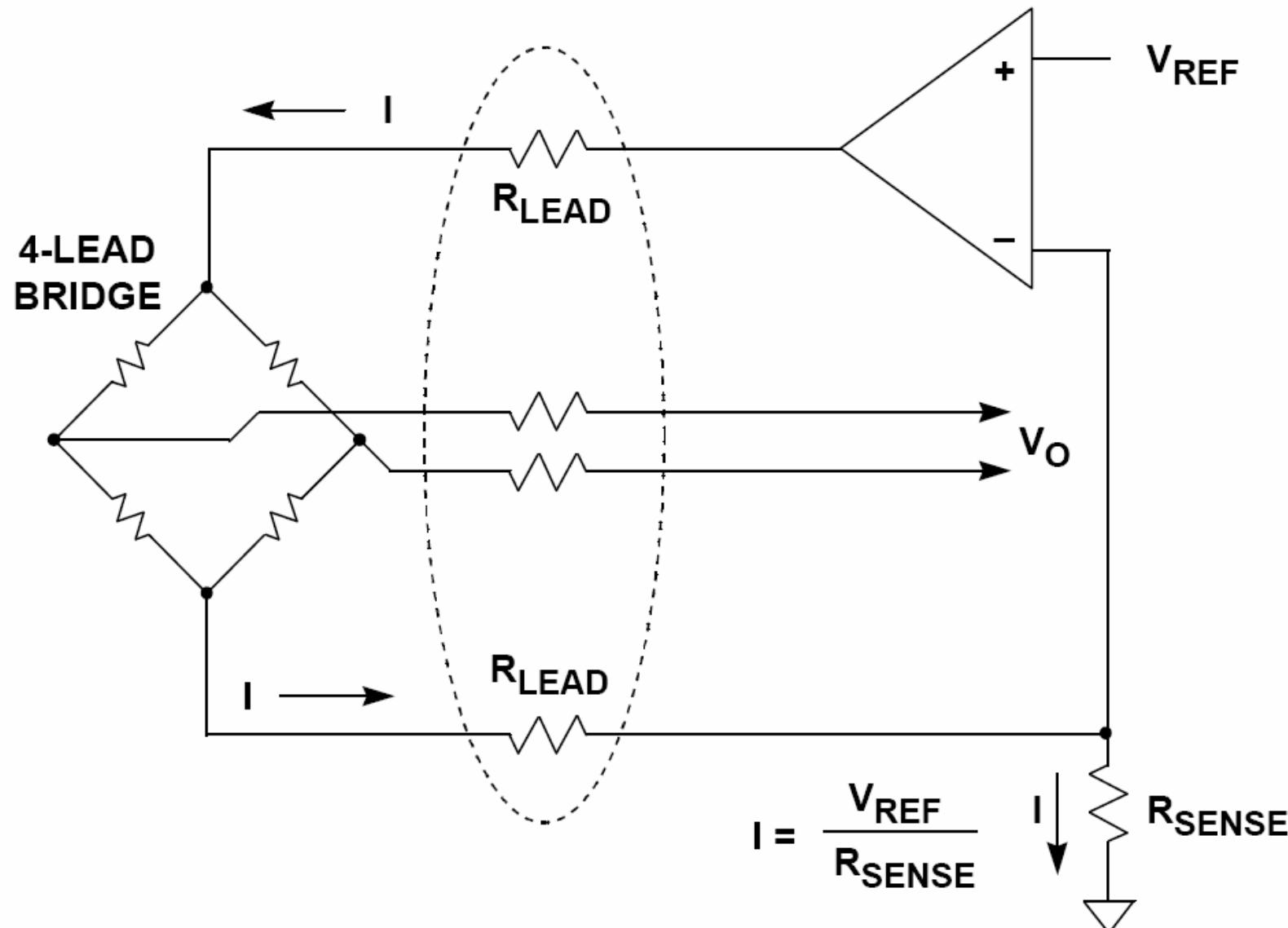


Figure 4.1.14: 3-wire connection to remote bridge element (single-element varying).

Ảnh hưởng của điện trở dây



Ảnh hưởng của điện trở dây



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

$$X_r = K \cdot X_v$$

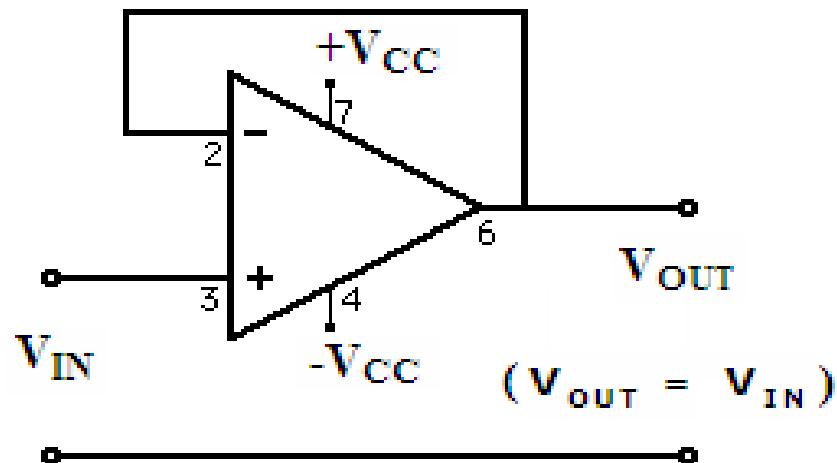
- Mạch khuếch đại đo lường còn có khả năng mở rộng đặc tính tần của thiết bị đo và đặc biệt là tăng độ nhạy lên nhiều lần cũng như tăng trở kháng đầu vào của thiết bị.
- Mạch khuếch đại có thể được thực hiện bởi đèn điện tử, đèn bán dẫn và vi mạch.
 - Mạch lắp điện áp
 - Mạch khuếch thuật toán
 - Khuếch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



Mạch lặp điện áp

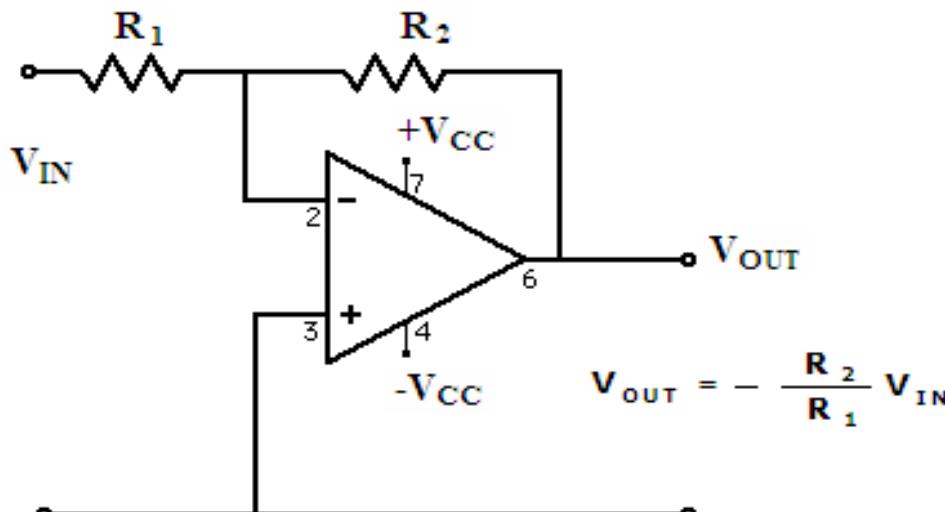
- Mạch này có nhiệm vụ khuếch đại dòng điện lên giá trị lớn hơn còn điện áp có lặp lại như đầu vào hoặc suy giảm chút ít.
- Ví dụ sơ đồ lặp điện áp như hình dưới đây:

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.



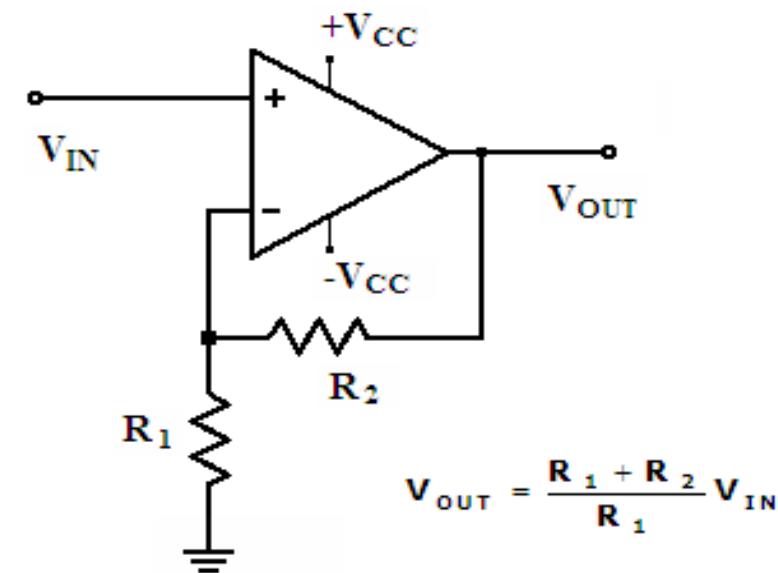
Khuếch đại thuật toán

- Khuếch đại đảo



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

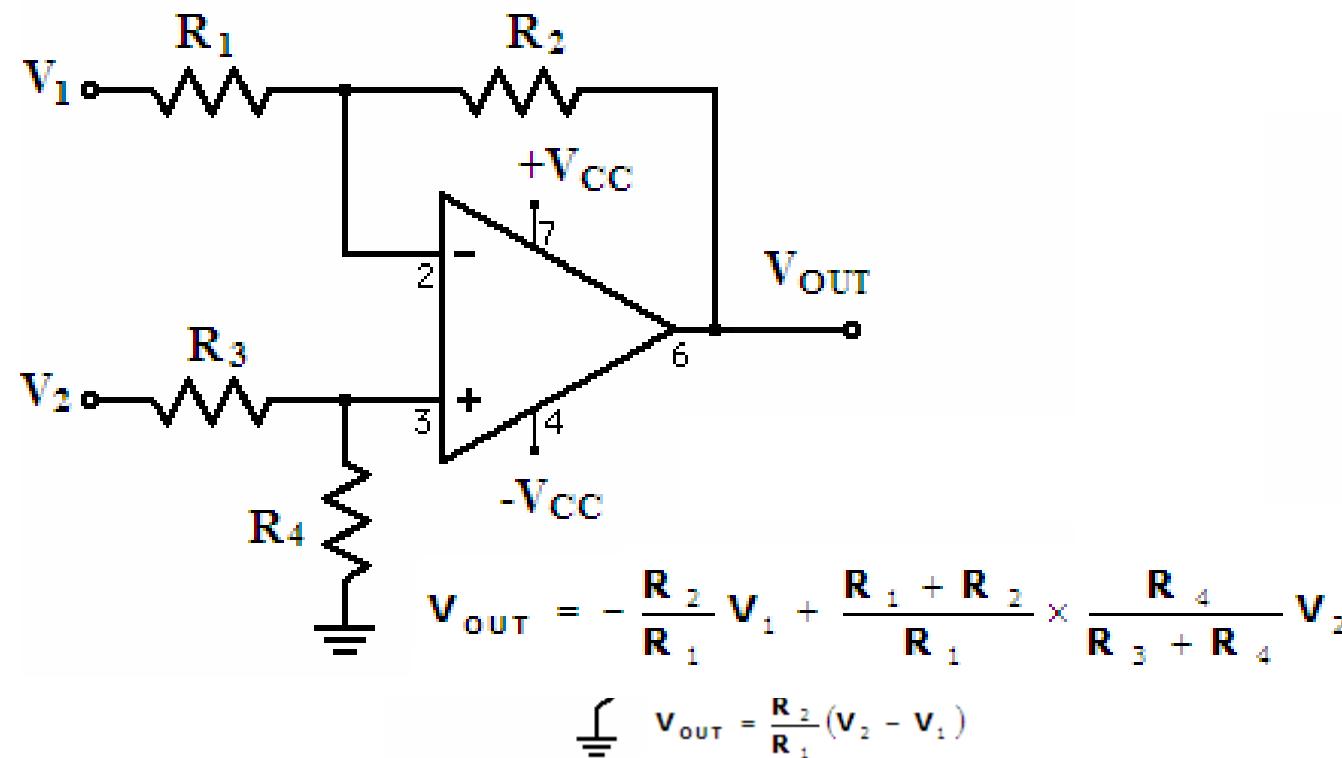
- Khuếch đại không đảo



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



Khuếch đại vi sai



- Trong mạch trừ 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.

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

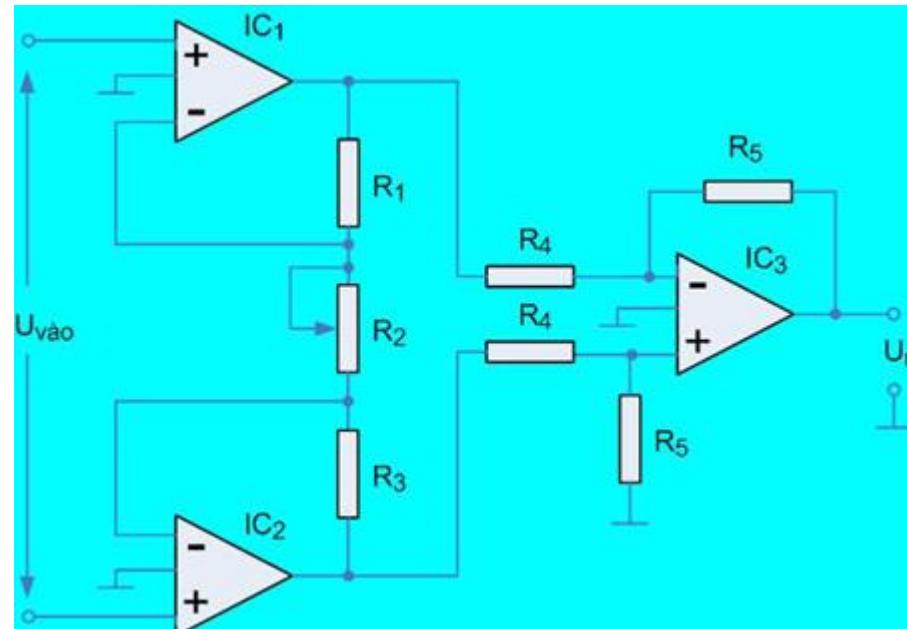
$$K_1 = 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2}$$

- 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

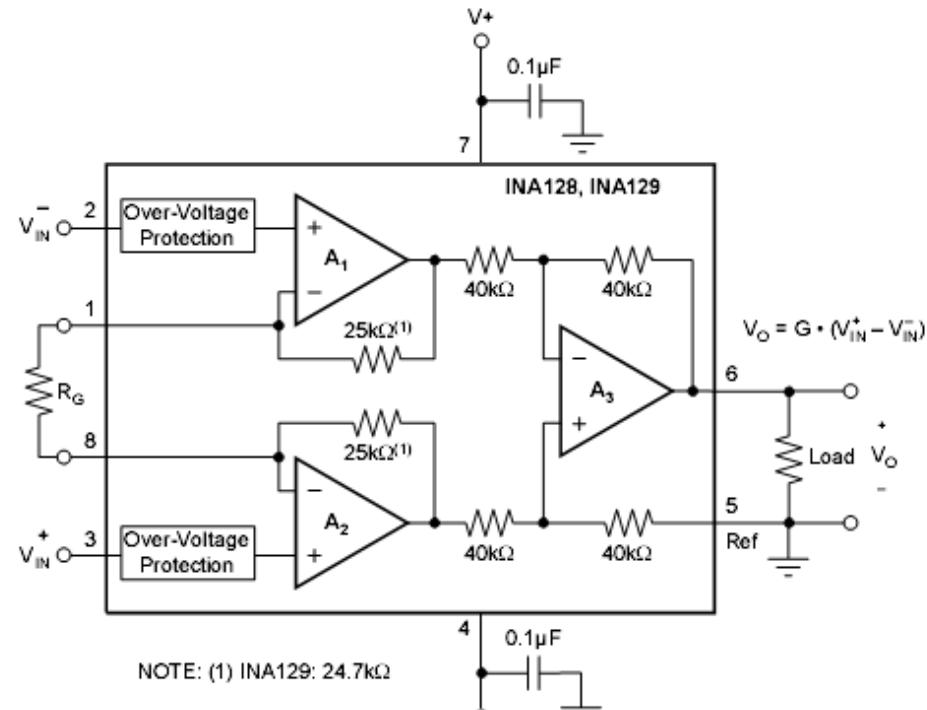
- Một số khuếch đại đo lường trong thực tế: vi mạch INA128, INA129

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

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

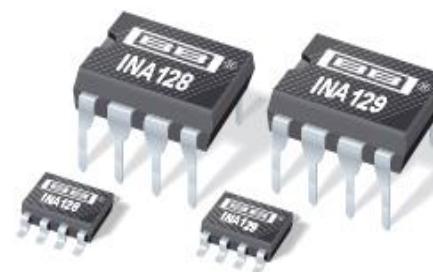
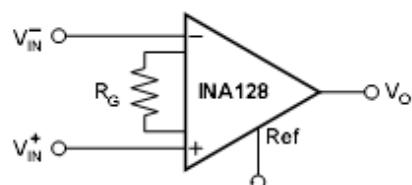
DESIRED GAIN (V/V)	INA128		INA129	
	R _G (Ω)	NEAREST 1% R _G (Ω)	R _G (Ω)	NEAREST 1% R _G (Ω)
1	NC	NC	NC	NC
2	50.00k	49.9k	49.4k	49.9k
5	12.50k	12.4k	12.35k	12.4k
10	5.556k	5.62k	5489	5.49k
20	2.632k	2.61k	2600	2.61k
50	1.02k	1.02k	1008	1k
100	505.1	511	499	499
200	251.3	249	248	249
500	100.2	100	99	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.



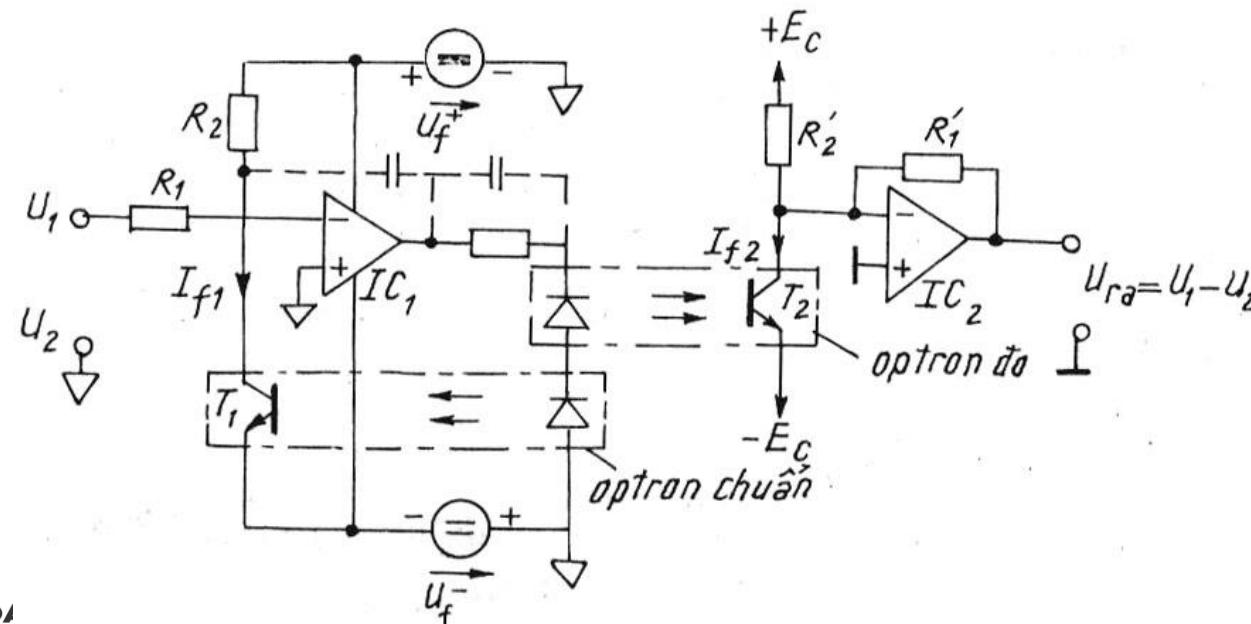
NOTE: (1) INA129: 24.7kΩ

Also drawn in simplified form:



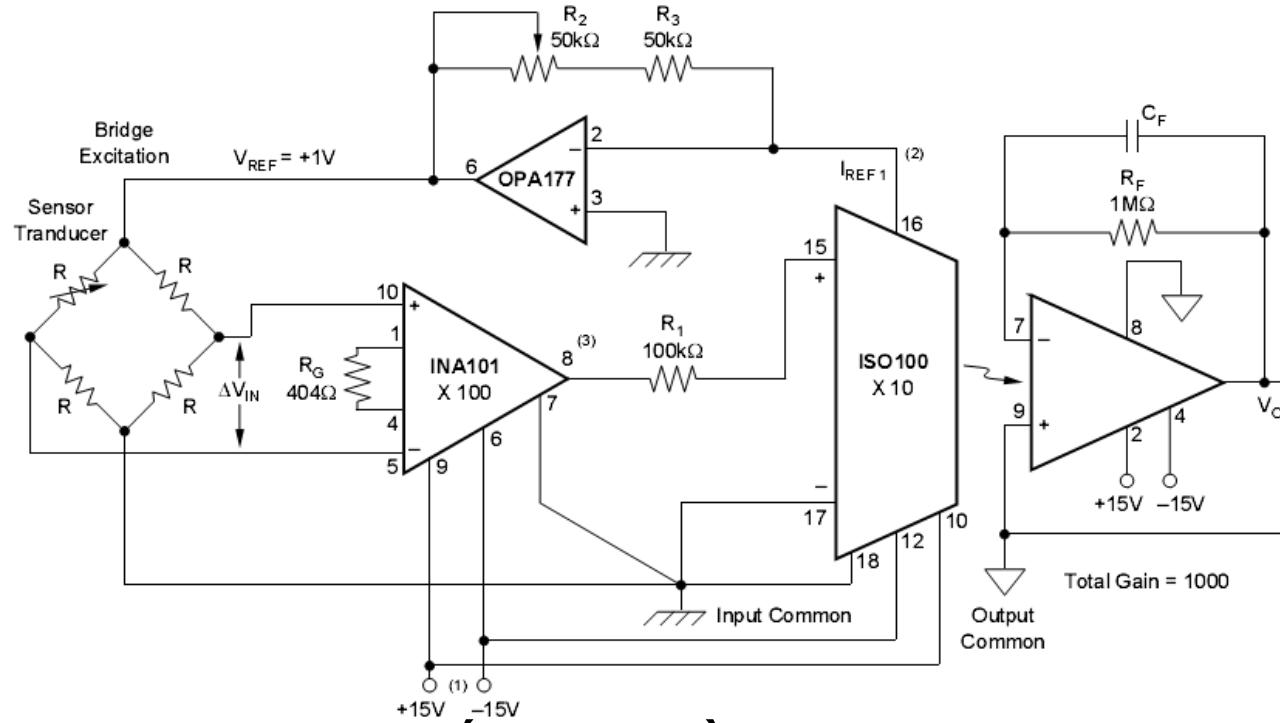
Mạch khuếch đại cách ly

- 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.



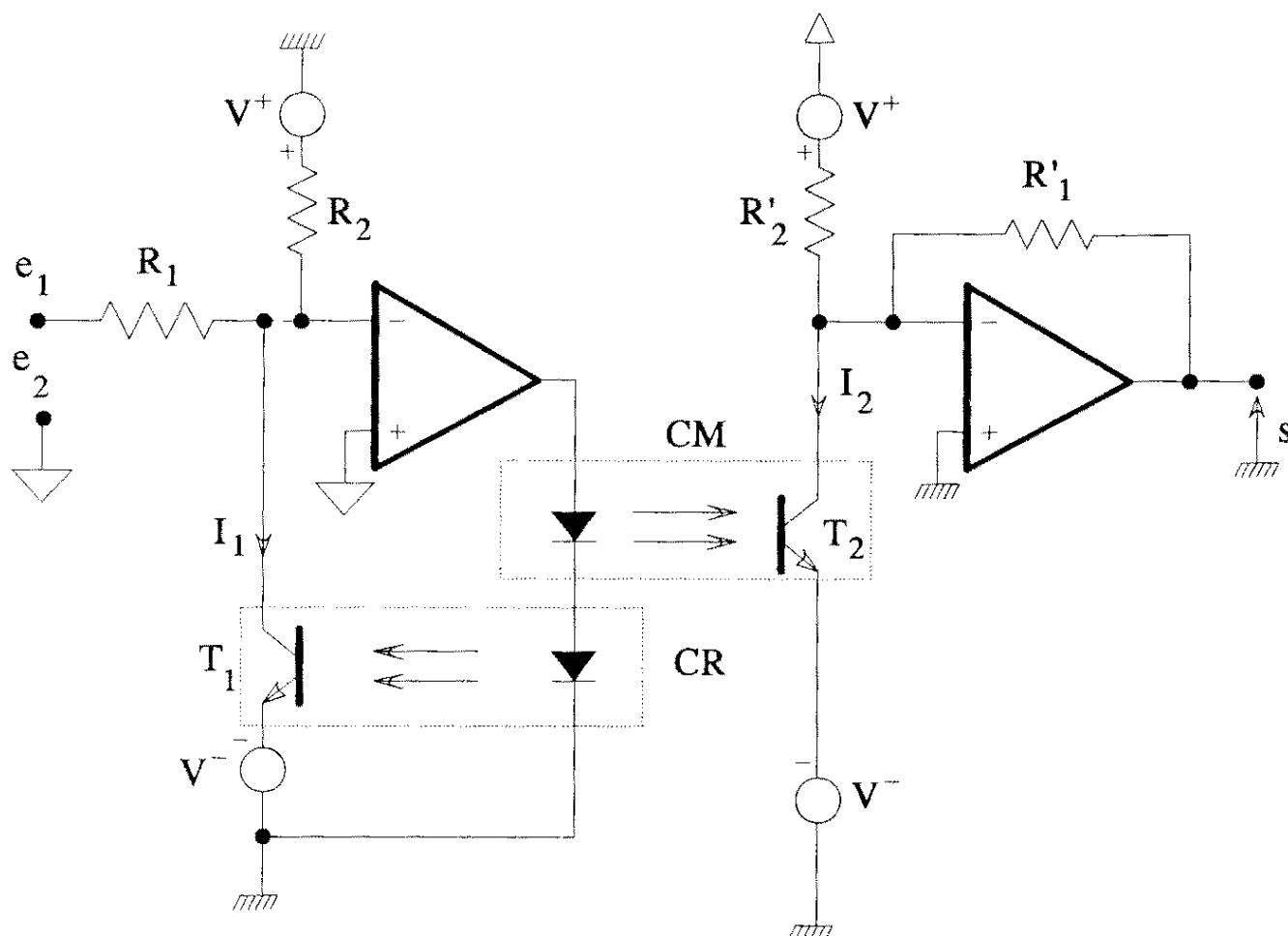
Mạch khuếch đại cách ly

- 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

• Cách ly quang



CM coupleur de mesure

CR coupleur de référence

Tension d'isolation: 2000 V

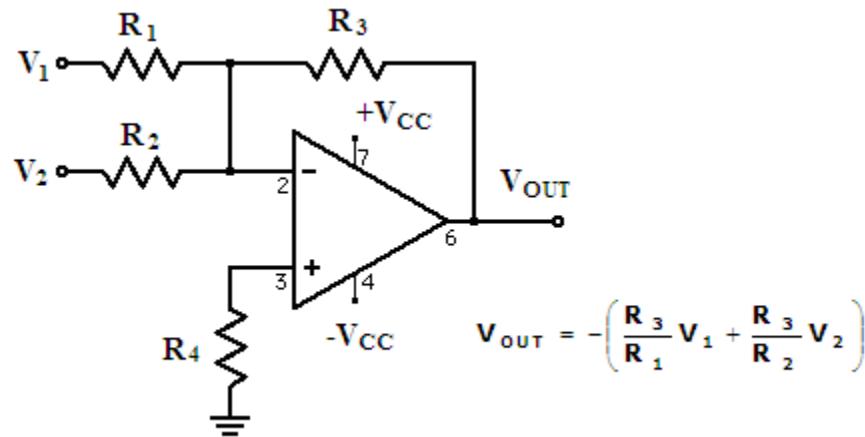
Courant de fuite : 0,25 μ A maximum

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 $R_4 = R_3 // R_2 // R_1$

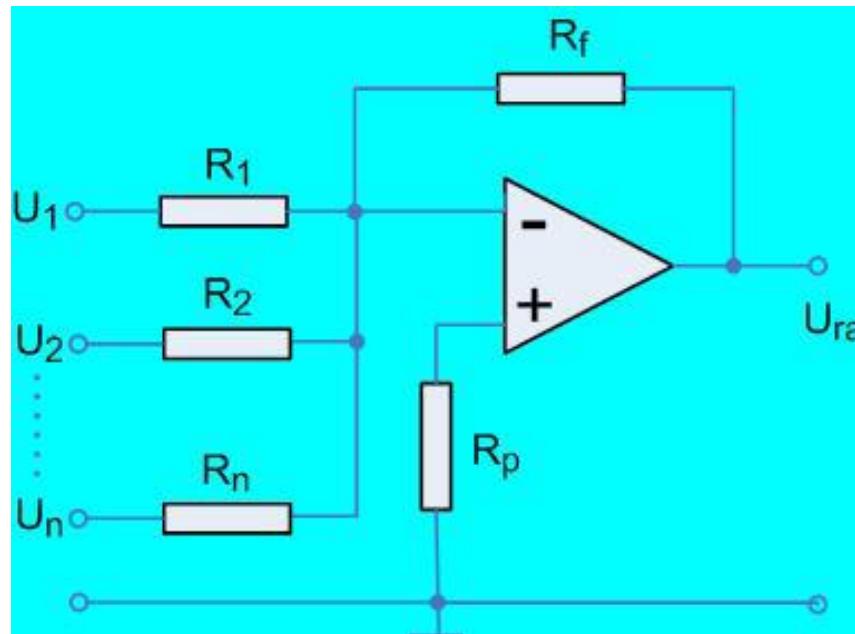
Mạch cộng đảo

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

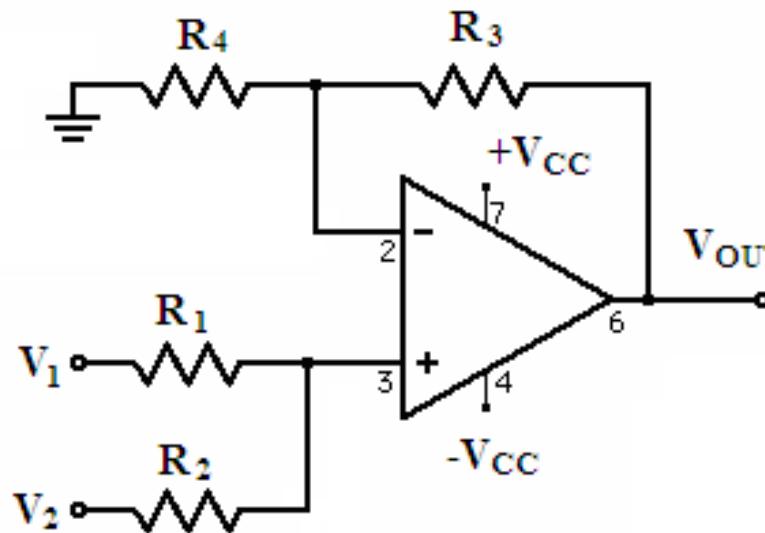
$$U_{ra} = -\frac{R_f}{R_1}U_1 - \frac{R_f}{R_2}U_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}U_n = -\sum_{i=1}^n \frac{R_f}{R_i} U_i$$

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

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



Mạch cộng không đảo



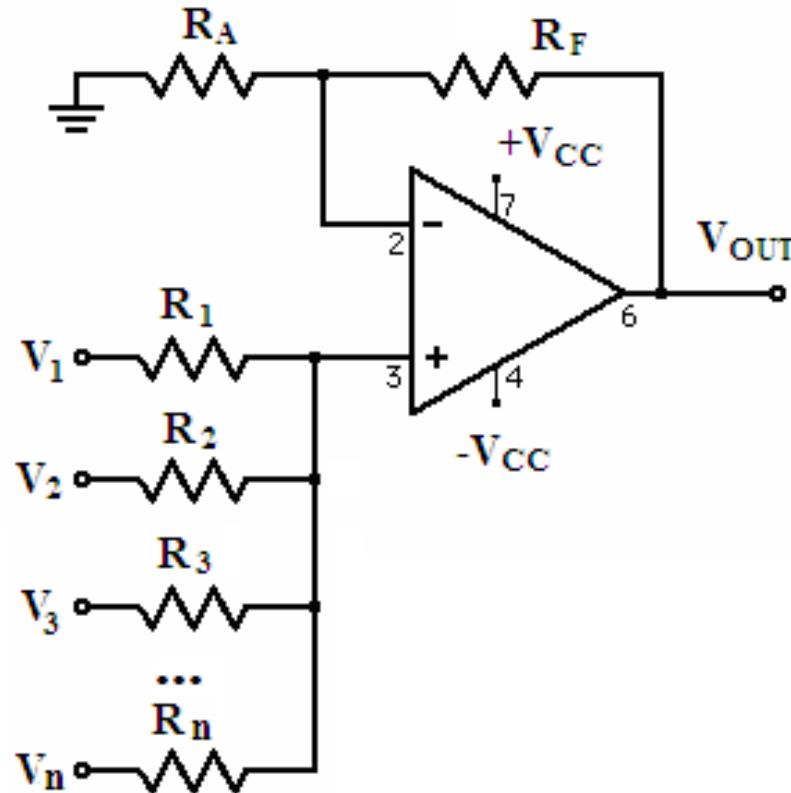
- Biểu thức tính điện áp ra của mạch:

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

- 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:

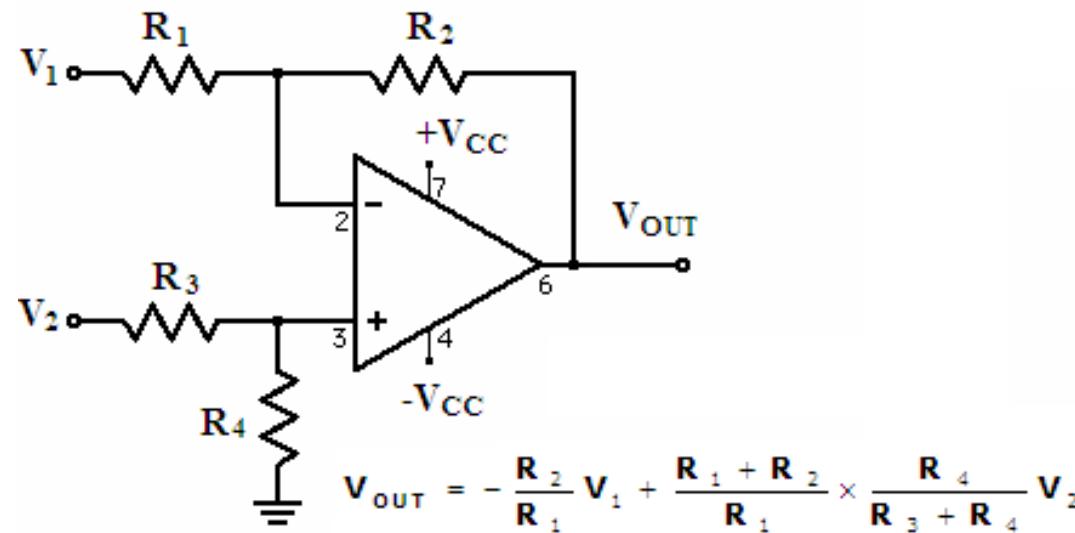
$$R_p = R_A // R_F = \frac{R_A R_F}{R_A + R_F}$$

Khi đó:

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



Mạch trù 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/trừ điện áp

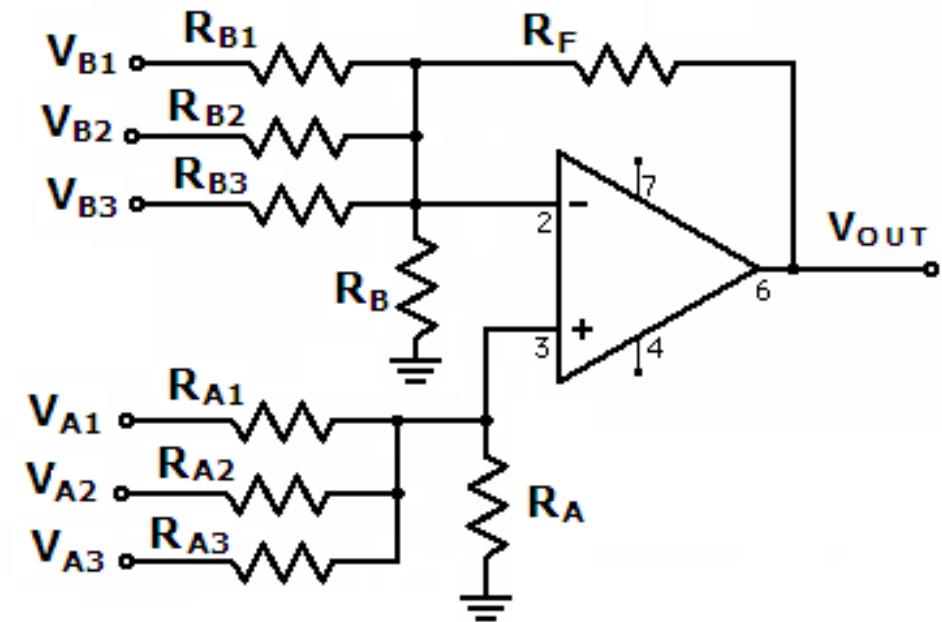
- Truyền đạt áp:

$$V_{OUT} = \sum a_i \times V_{Ai} - \sum b_i \times V_{Bi}$$

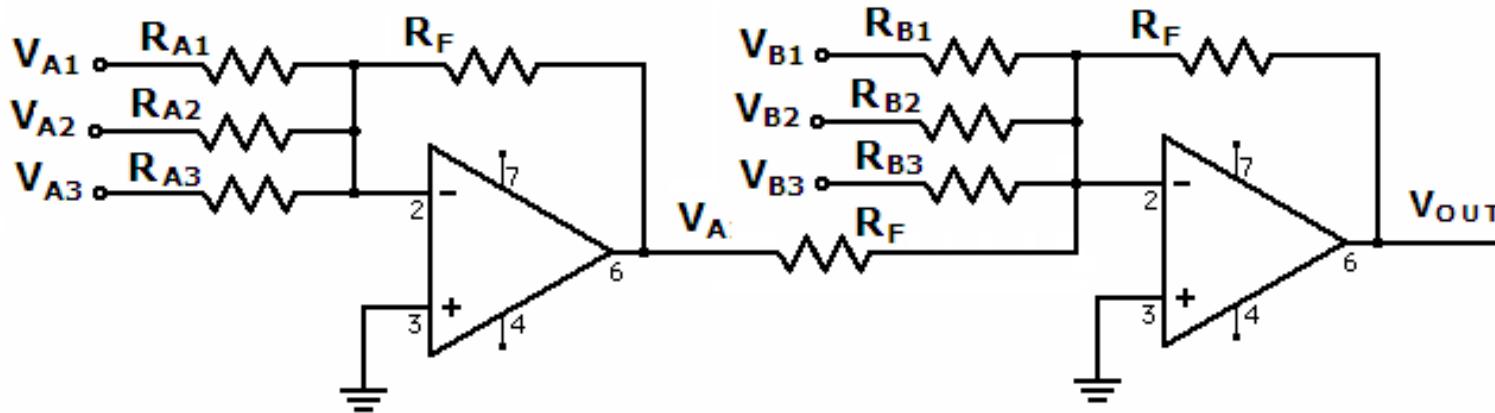
- Điều kiện cân bằng offset:

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

- Nếu $\sum a_i > \sum b_i + 1$: chọn $R_A = \infty$
 - Nếu $\sum a_i < \sum b_i + 1$: chọn $R_B = \infty$
 - Nếu $\sum a_i = \sum b_i + 1$: chọn $R_A = R_B = \infty$
- Điện trở: R_F tùy chọn, $R_{Ai} = R_F/a_i$, $R_{Bi} = R_F/b_i$



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

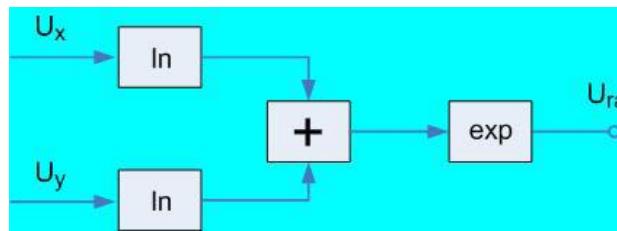


- Với sơ đồ mạch kiểu này, việc tính chọn các điện trở đơn giản hơn
- Mạch theo sơ đồ trước là dạng tổng quát từ đó có thể suy ra cho các mạch tuyến tính khác nhau

- 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 Hall (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.



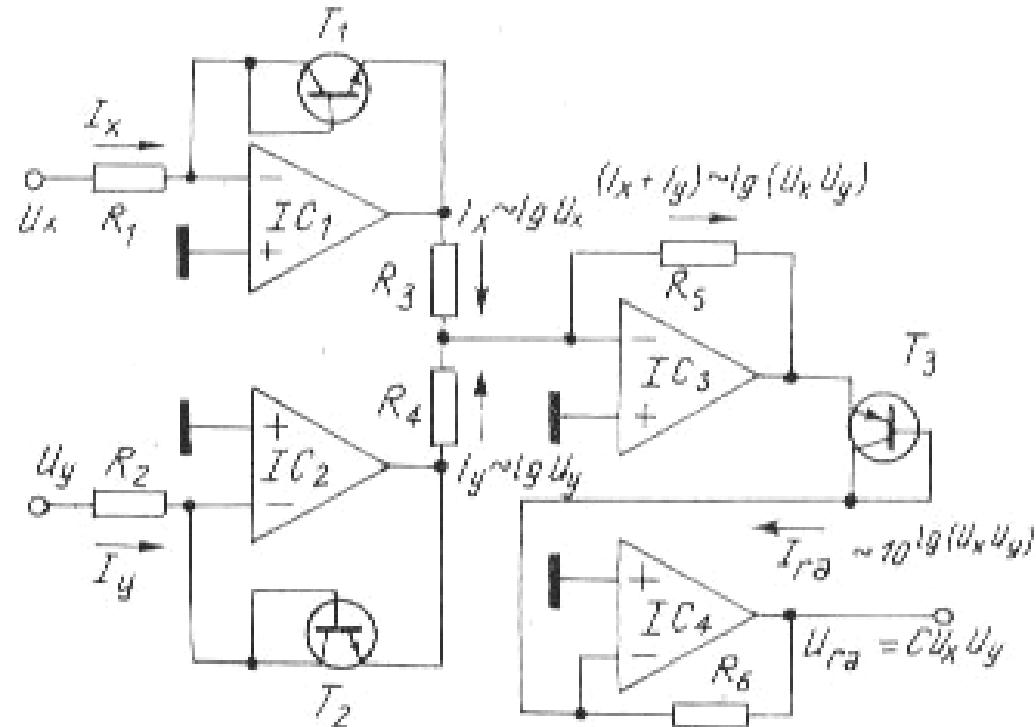
Bộ nhân sử dụng nguyên lí lấy lôgarit và đổi lôgarit:



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

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

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



- U_T là thế nhiệt của tranzito

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

Mạch nhân

- IC₃ là mạch cộng

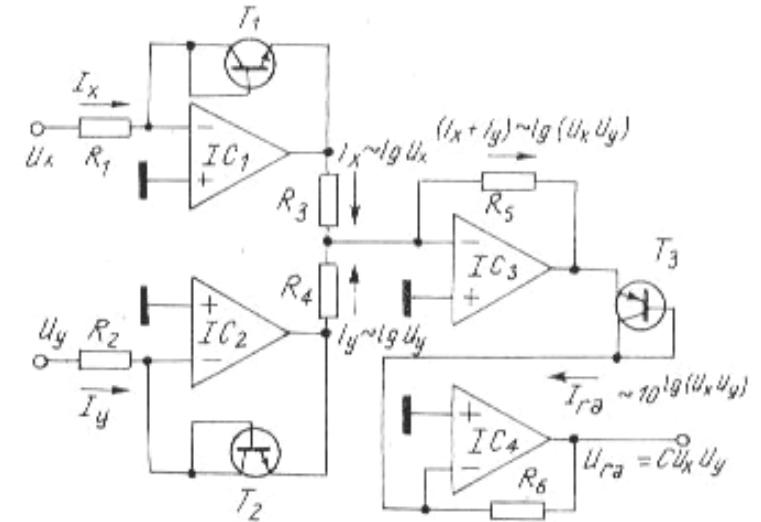
$$\begin{aligned}U_{ra3} &= -(U_{ra1} + U_{ra2}) \\&= U_T \left(\ln\left(\frac{U_x}{I_{ES}R_1}\right) + \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES}R_2}\right) \right)\end{aligned}$$

- Mạch IC₄ tại hàm mũ

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

chọn $\alpha = U_T$

- 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)...



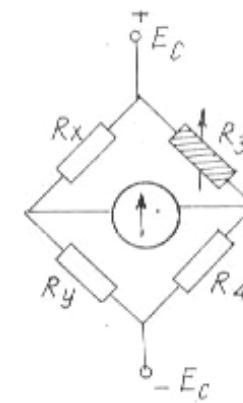
Mạch chia

- 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

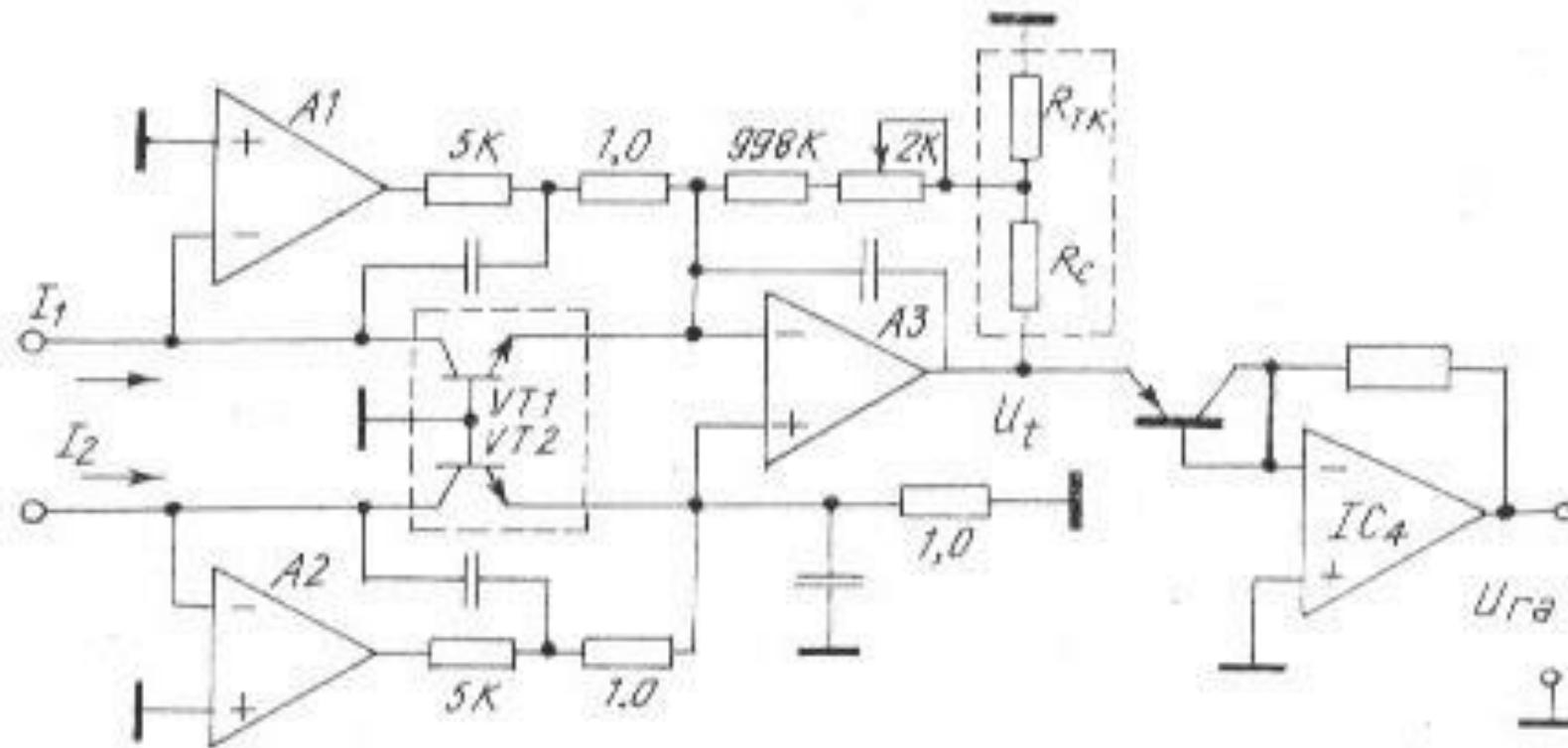
$$\alpha = f(R_3)$$

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



Mạch chia

- Mạch chia điện tử



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

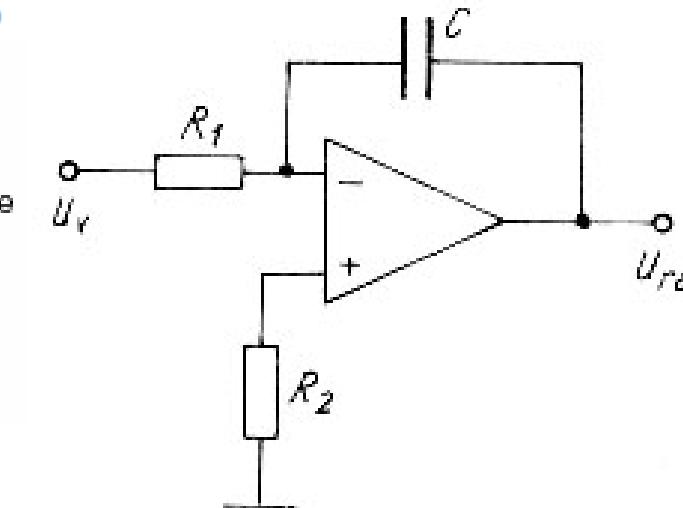
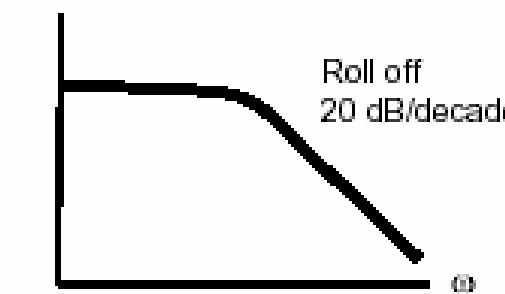
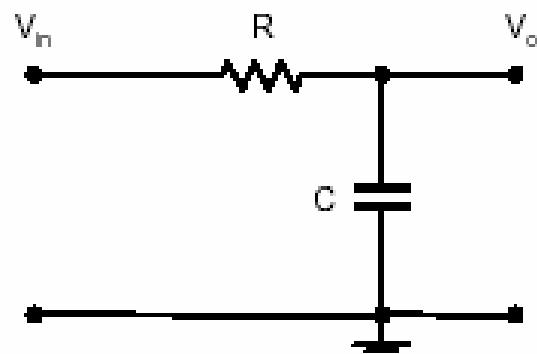
$$U_{ra} = K_2 \frac{I_x}{I_y}$$

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...

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

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



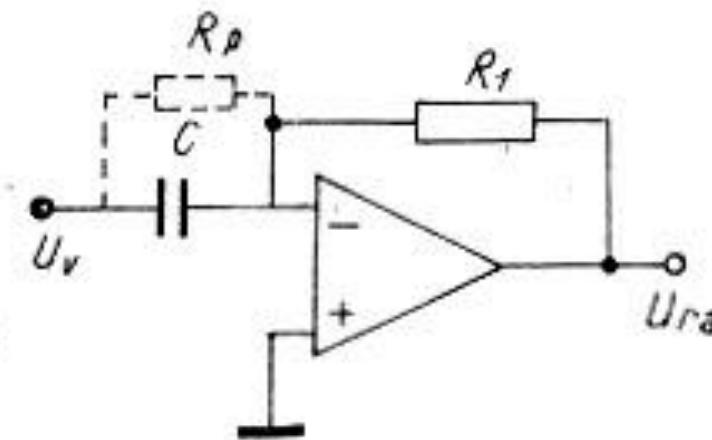
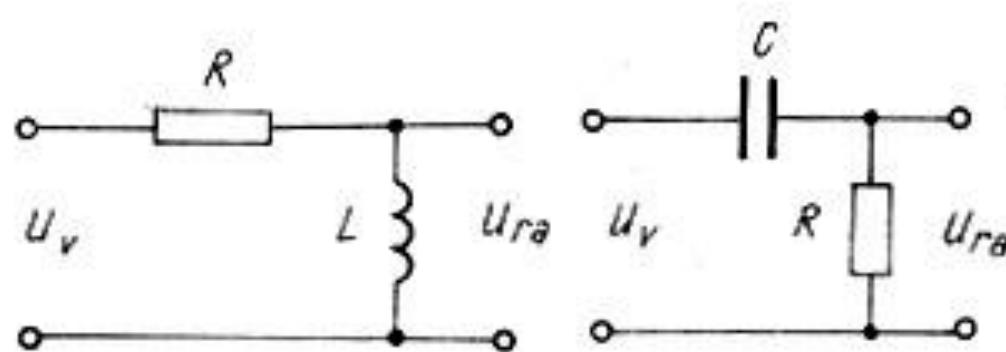
Mạch vi phân

- Mạch vi phân RL

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

- Mạch vi phân RC

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



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.



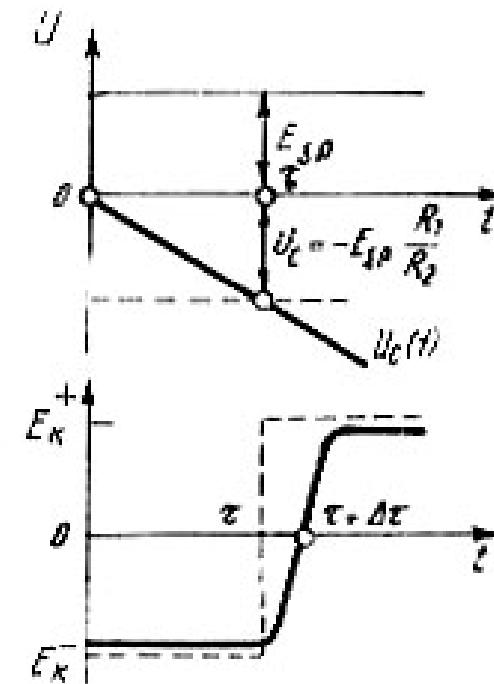
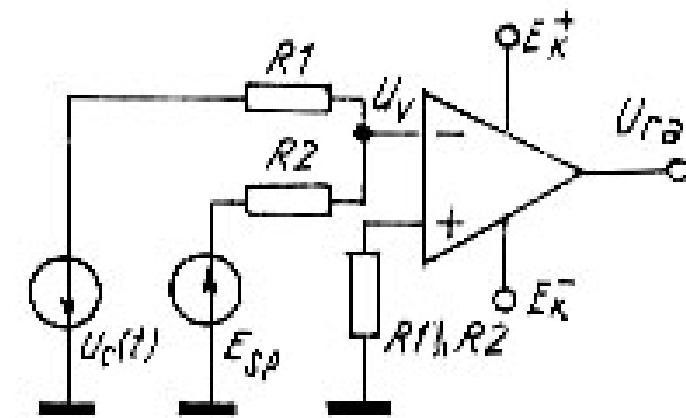
Bộ so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo mạch một đầu vào

- 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

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

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

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



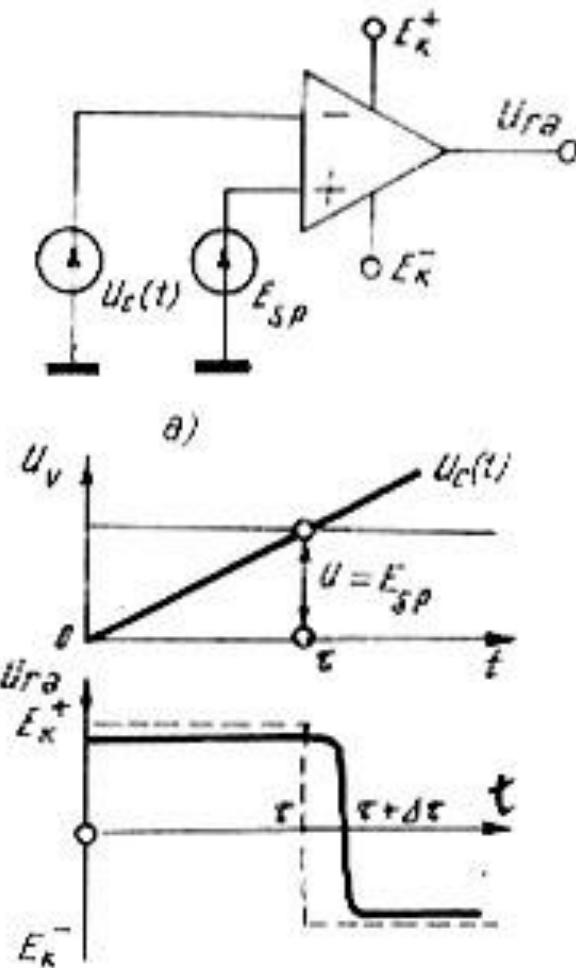
Bộ so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo mạch hai đầu vào

- 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 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:

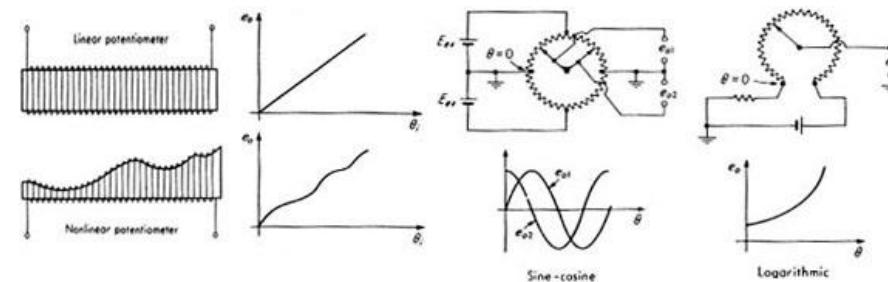
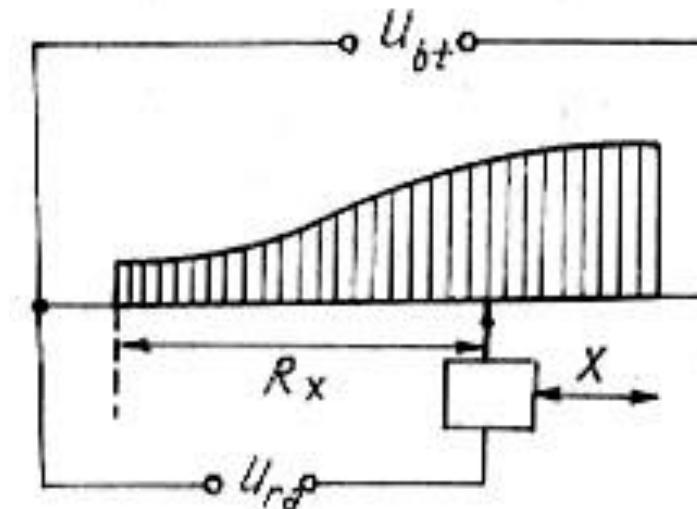
$$I = kX$$

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

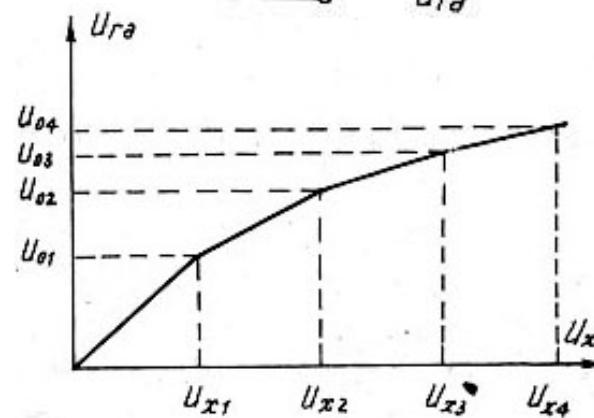
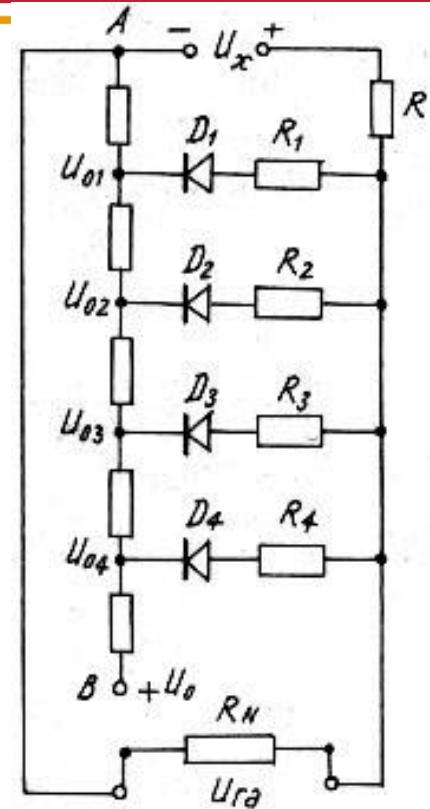
- Điện áp vào là U_x . Nhờ bộ phân áp AB trên dây đặt điện áp nền U_0 , ở các catốt của điođot có điện áp $U_{01}, U_{02} \dots$
- Khi $0 < U_x < U_{x1}$: Các diode khóa

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

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

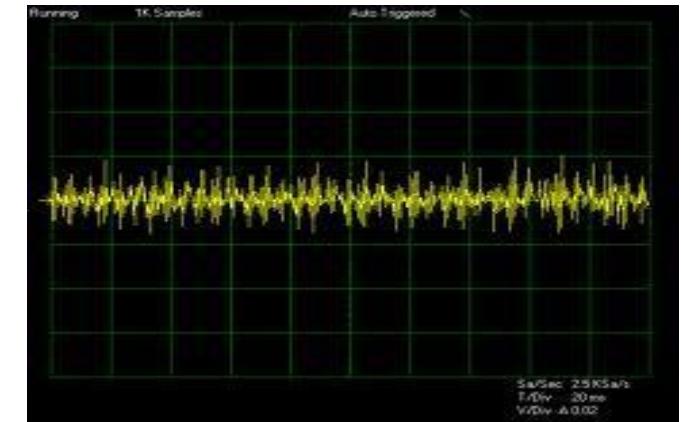
$$U_N = U_x - IR = U_x - \frac{R U_x}{R + R_E}$$

Để hiệu chỉnh độ cong có thể thay đổi các giá trị điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 cho phù hợp.



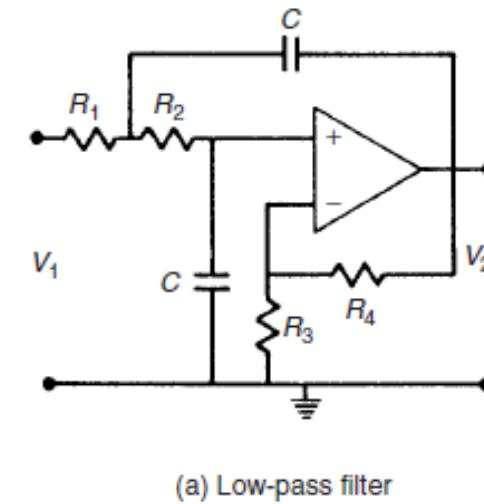
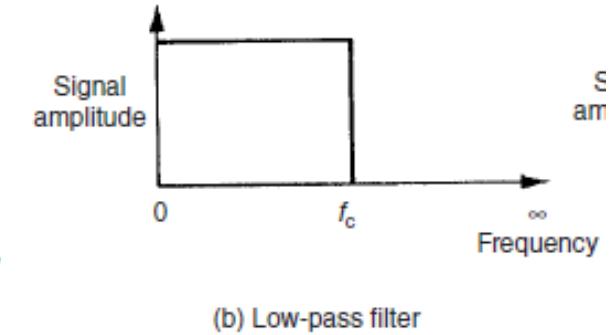
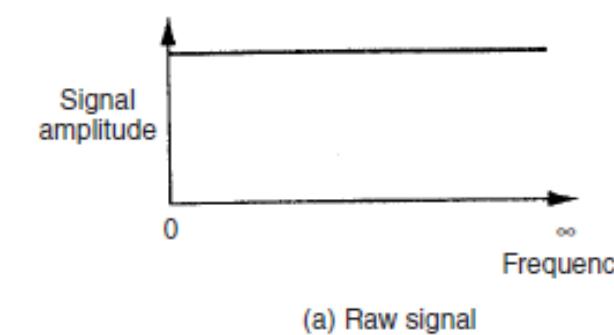
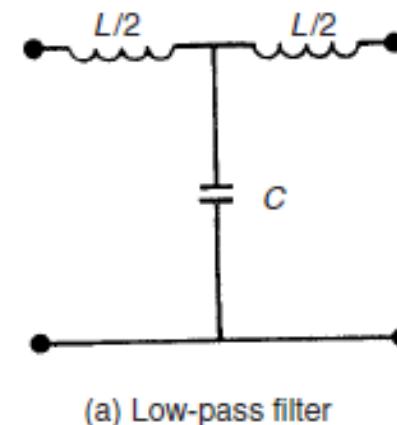
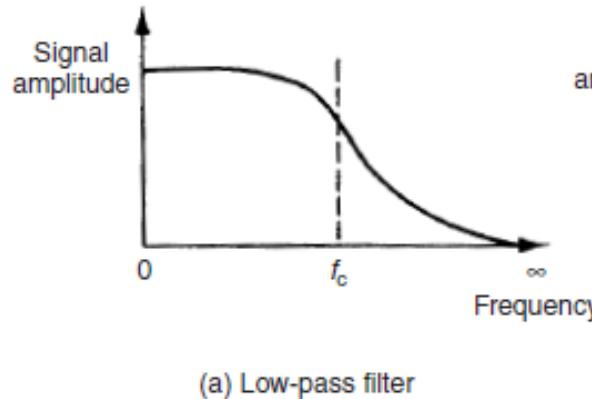
Chống nhiễu

- Nhiễu nội tại: phát sinh do sự không hoàn thiện cấu trúc thiết kế, chế tạo hoặc vật liệu cảm biến. Vì vậy đáp ứng cảm biến sai lệch so với đáp ứng chuẩn.
- Nhiễu do truyền dẫn: gây ra do các nguồn nhiễu như từ trường, nguồn nuôi, trường điện từ tần số radio, sự thay đổi của nhiệt độ, lực hấp dẫn, bức xạ ion, độ ẩm môi trường, các tạp chất hóa học
- Nhiễu do nối nhiều đất khác nhau
- Nhiễu xung điện áp khi tắt bật động cơ hoặc thiết bị điện
- Nhiễu thế nhiệt điện gây ra do hiệu ứng nhiệt điện (seebeck..)
- Nhiễu phóng gây ra do các phần tử transistor, mạch tích hợp và thiết bị bán dẫn.
- Nhiễu thế hóa điện



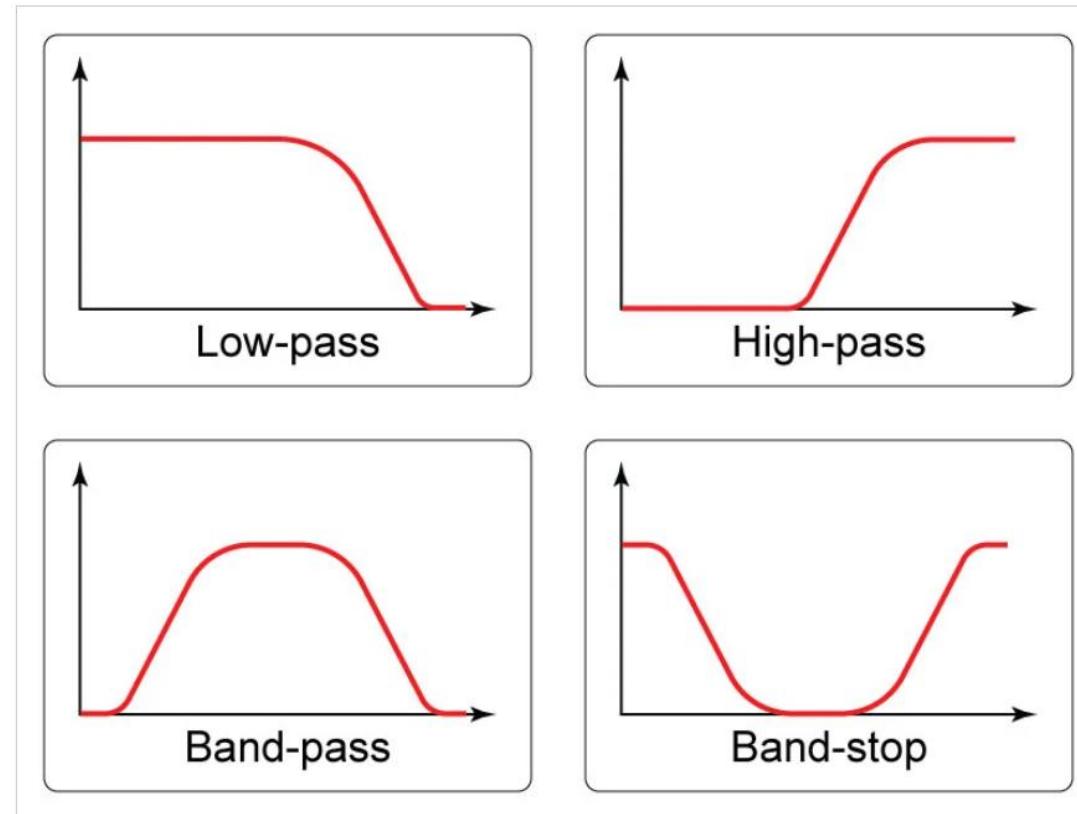
Chống nhiễu

- Chống nhiễu: chuẩn hoá về công nghệ mạch in, sử dụng kỹ thuật vi sai trong truyền dẫn, truyền dòng điện, môi trường truyền dẫn cáp quang, sử dụng nối đất, mạch lọc tương tự, lọc số...
- Lọc tương tự dùng phần tử thụ động
- Lọc tương tự dùng phần tử chủ động



Bộ lọc

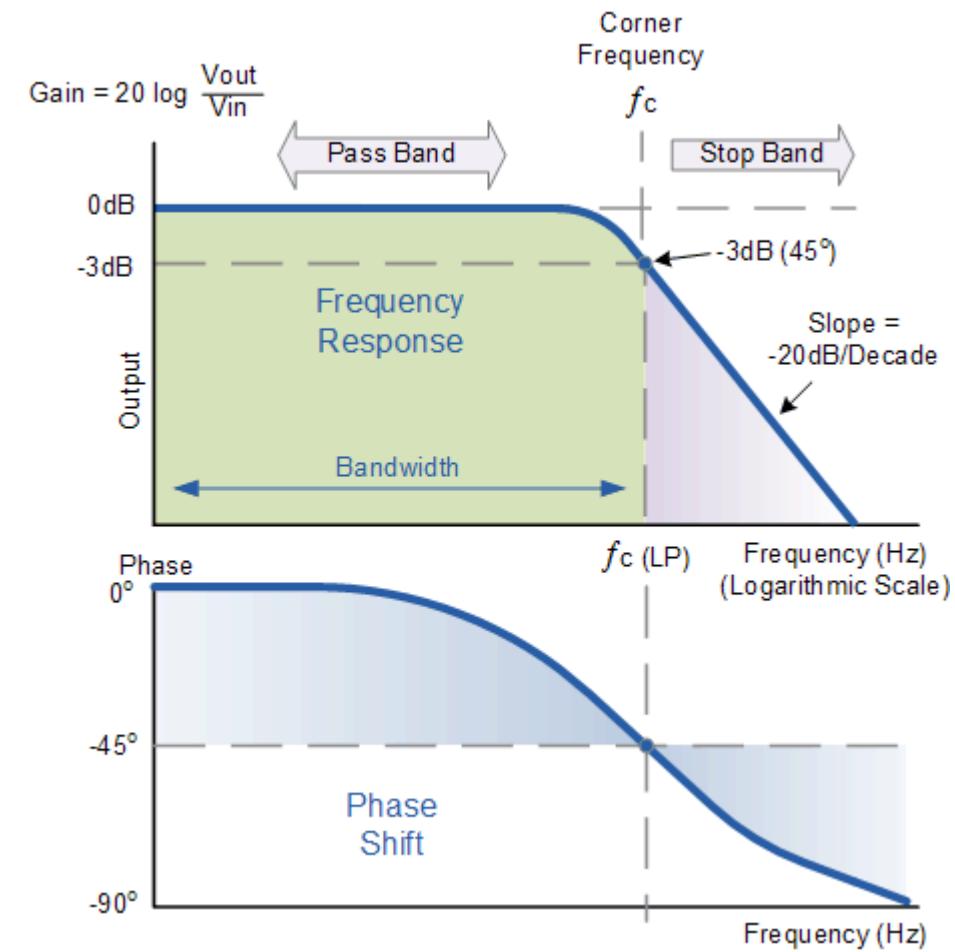
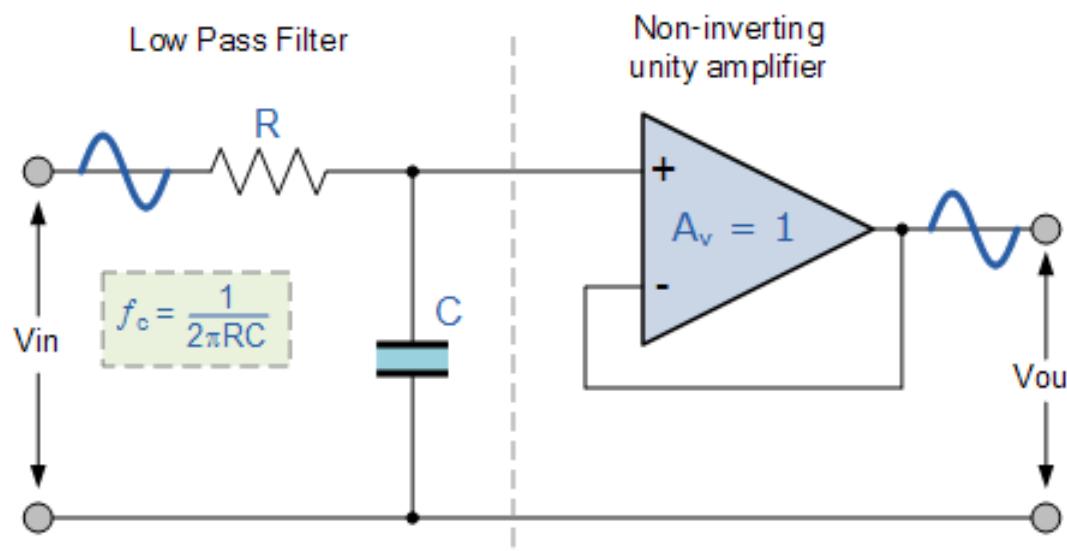
- Bộ lọc là một mạch loại bỏ hoặc "lọc ra" một dải tần số được chỉ định. Nói cách khác, nó phân tách phổ của tín hiệu thành các thành phần tần số sẽ được **đi qua** và các thành phần tần số sẽ **bị chặn**.



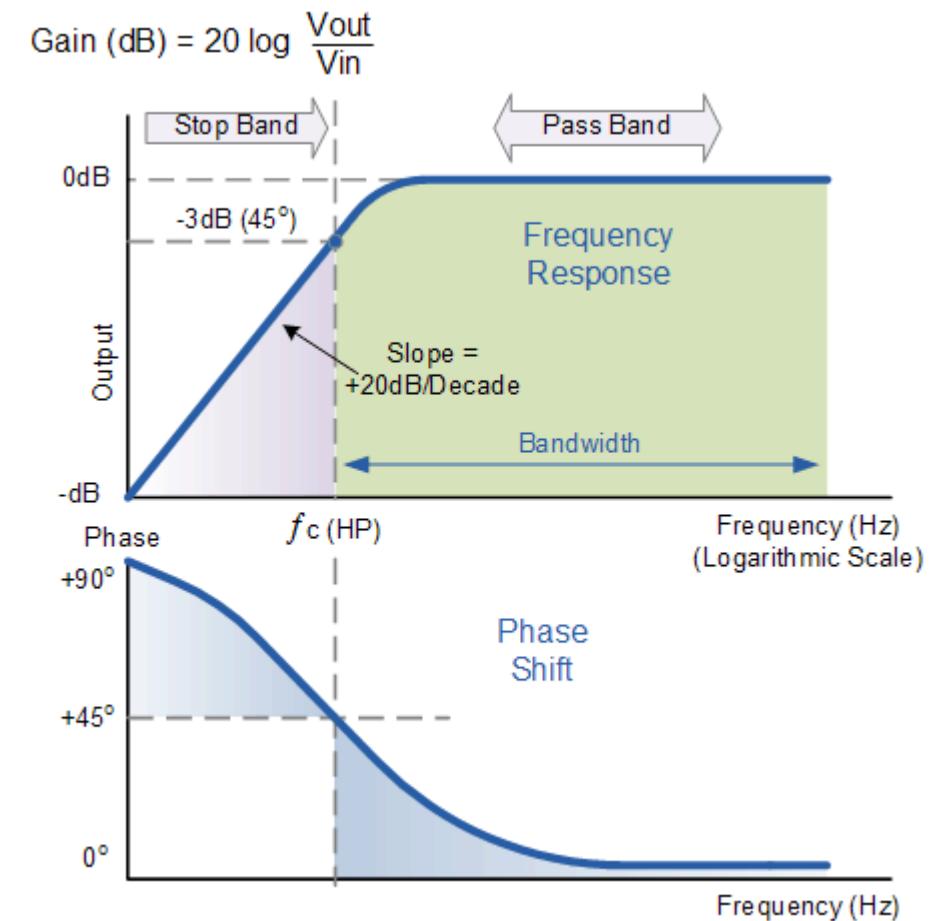
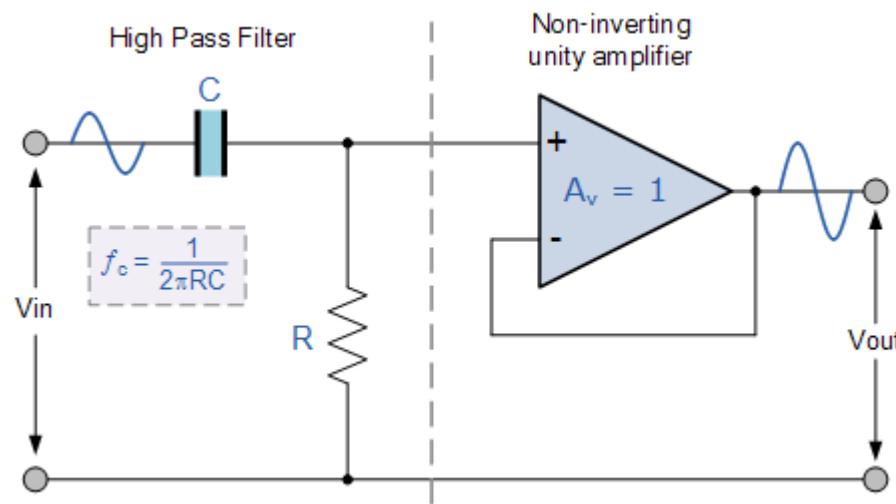
- **Bộ lọc thông thấp:** chúng được gọi như vậy bởi vì chúng là những bộ lọc cho phép các tần số thấp nhất đi qua và triệt tiêu hoặc giảm bớt sự vượt qua của các tần số cao hơn. Chúng bao gồm một hoặc nhiều cuộn dây (mắc nối tiếp với nguồn điện và tải), và một hoặc hai tụ điện shunt với nguồn điện và tải. Hãy nhớ rằng tải được hiểu là thiết bị được kết nối với bộ lọc và thu thập đầu ra của bộ lọc ... Trong các bộ lọc này cũng có các biến thể, chẳng hạn như L, T và π.
- **Bộ lọc thông cao:** bộ lọc thông cao ngược lại với thông thấp, trong trường hợp này, những gì nó sẽ lọc hoặc giới hạn là thông tần thấp, cho các tần số cao hơn đi qua. Trong đó, các yếu tố điện tử tạo nên nó được đầu tư. Có nghĩa là, ở đây các tụ điện sẽ là những cái mắc nối tiếp với nguồn điện và tải, trong khi các cuộn dây sẽ được đóng lại. Ngoài ra còn có các kiểu con tương tự như trong trường hợp bộ lọc thông thấp.
- **Bộ lọc băng thông:** Loại bộ lọc này sử dụng hai khối tỷ lệ vượt qua dải tần số. Có nghĩa là, chúng hoạt động như một bộ lọc thông thấp và bộ lọc thông cao, chống lại việc đi qua các tần số thấp nhất và cũng là cao nhất cùng một lúc. Nói cách khác, nó chỉ cho phép các tần số trung bình đi qua.
- **Bộ lọc dải:** nó hoàn toàn ngược lại với cái trước, những gì nó làm được là nó lọc các tần số trung bình và chỉ cho phép thông qua các tần số thấp nhất và cao nhất

Bộ lọc thông thấp

- Bộ lọc thông thấp

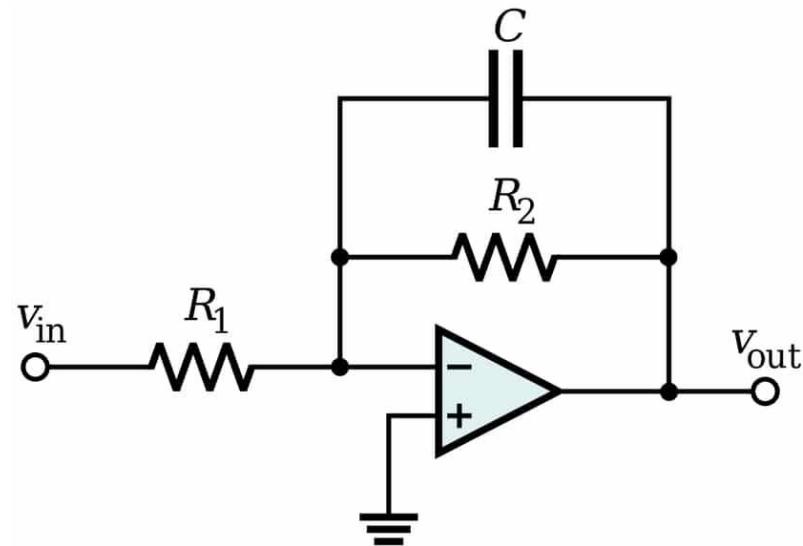


Bộ lọc thông cao

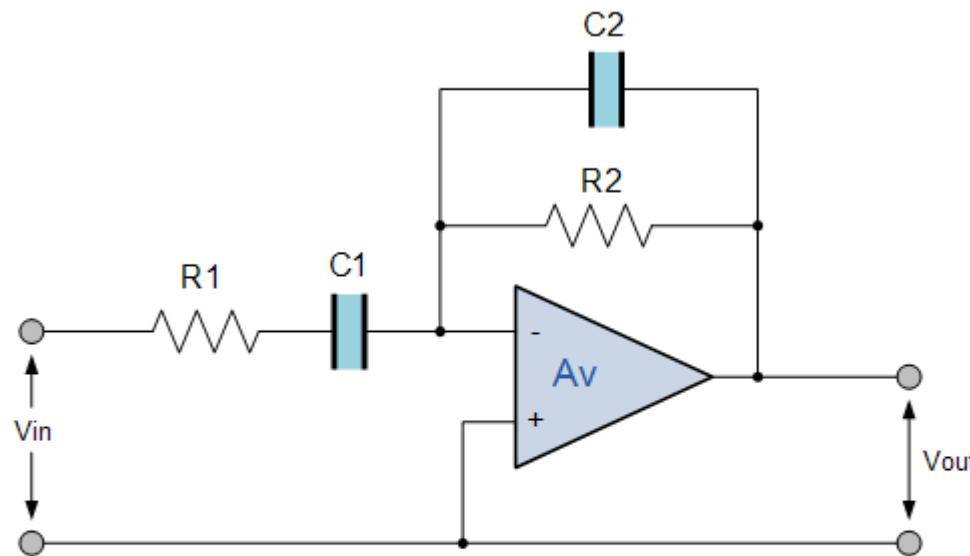


- Bộ lọc thông thấp RC tích cực

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R C}$$



• Bộ lọc thông dài



$$Voltage\ Gain = -\frac{R_2}{R_1}, \quad f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}, \quad f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

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

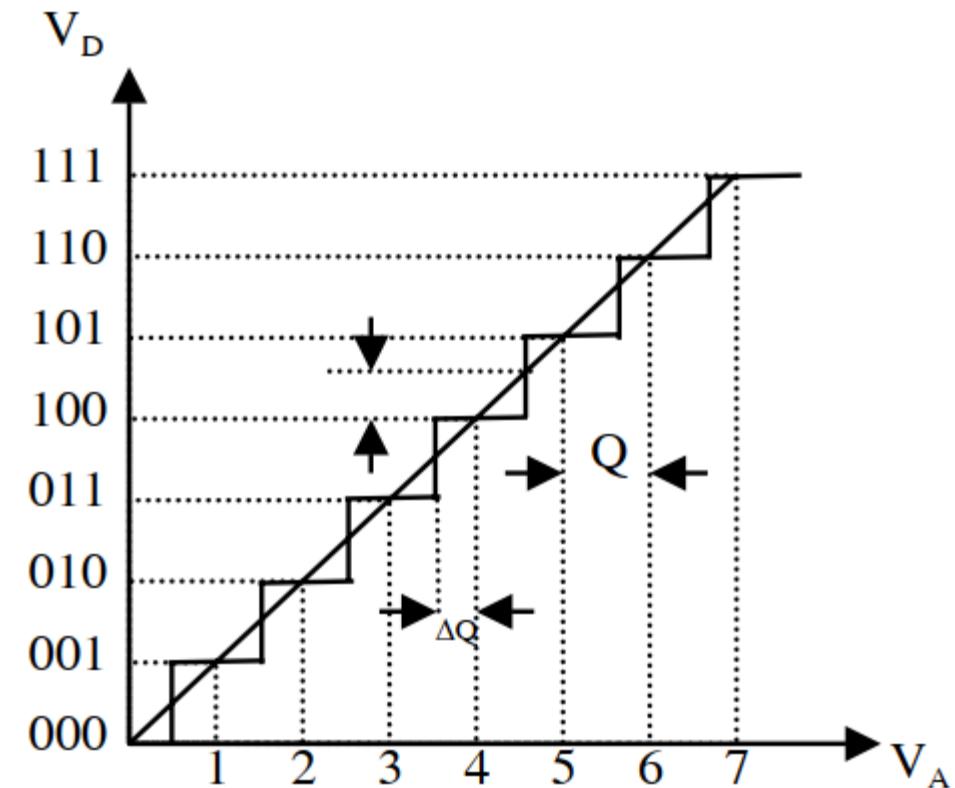
Các bộ biến đổi D/A

- 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



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

- Để phối ghép giữa nguồn tín hiệu có dạng tương tự với các hệ thống xử lý số người ra dụng các mạch chuyển đổi tương tự - số (ADC) và các mạch chuyển đổi số - tương tự (DAC)

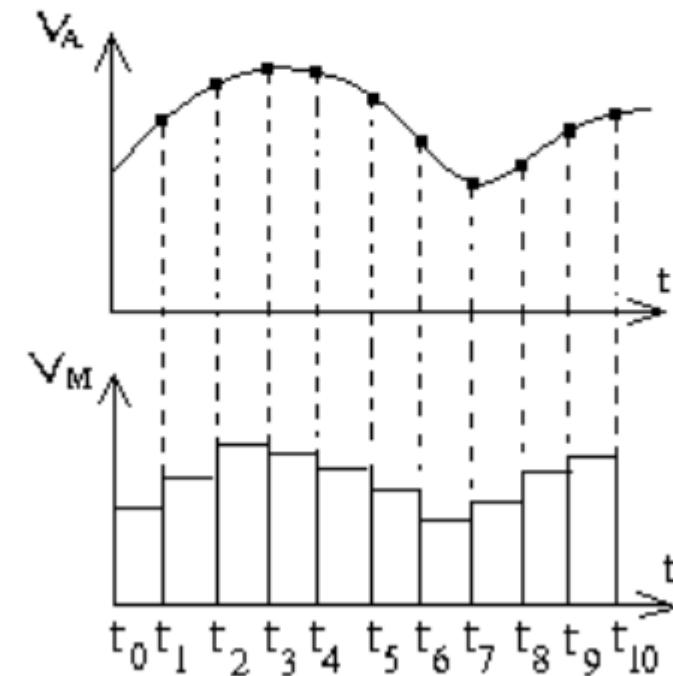
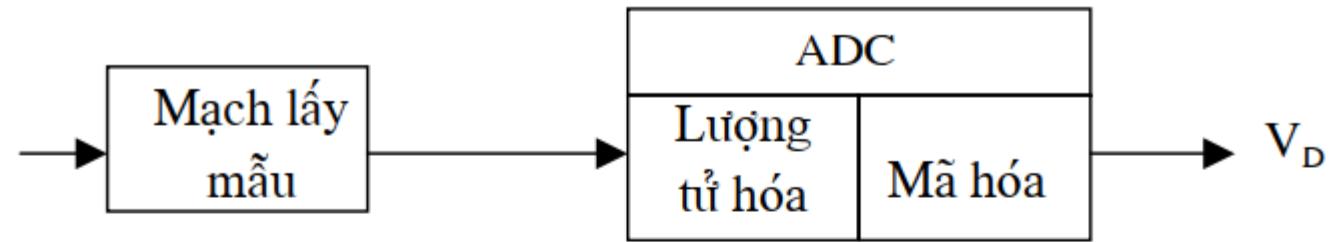


- Mạch chuyển đổi tín hiệu tương tự sang số, chuyển một tín hiệu ngõ vào tương tự (dòng điện hay điện áp) thành dạng mã số nhị phân có giá trị tương ứng.
- Chuyển đổi ADC có rất nhiều phương pháp. Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có những thông số cơ bản khác nhau:
 - Độ chính xác của chuyển đổi AD.
 -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

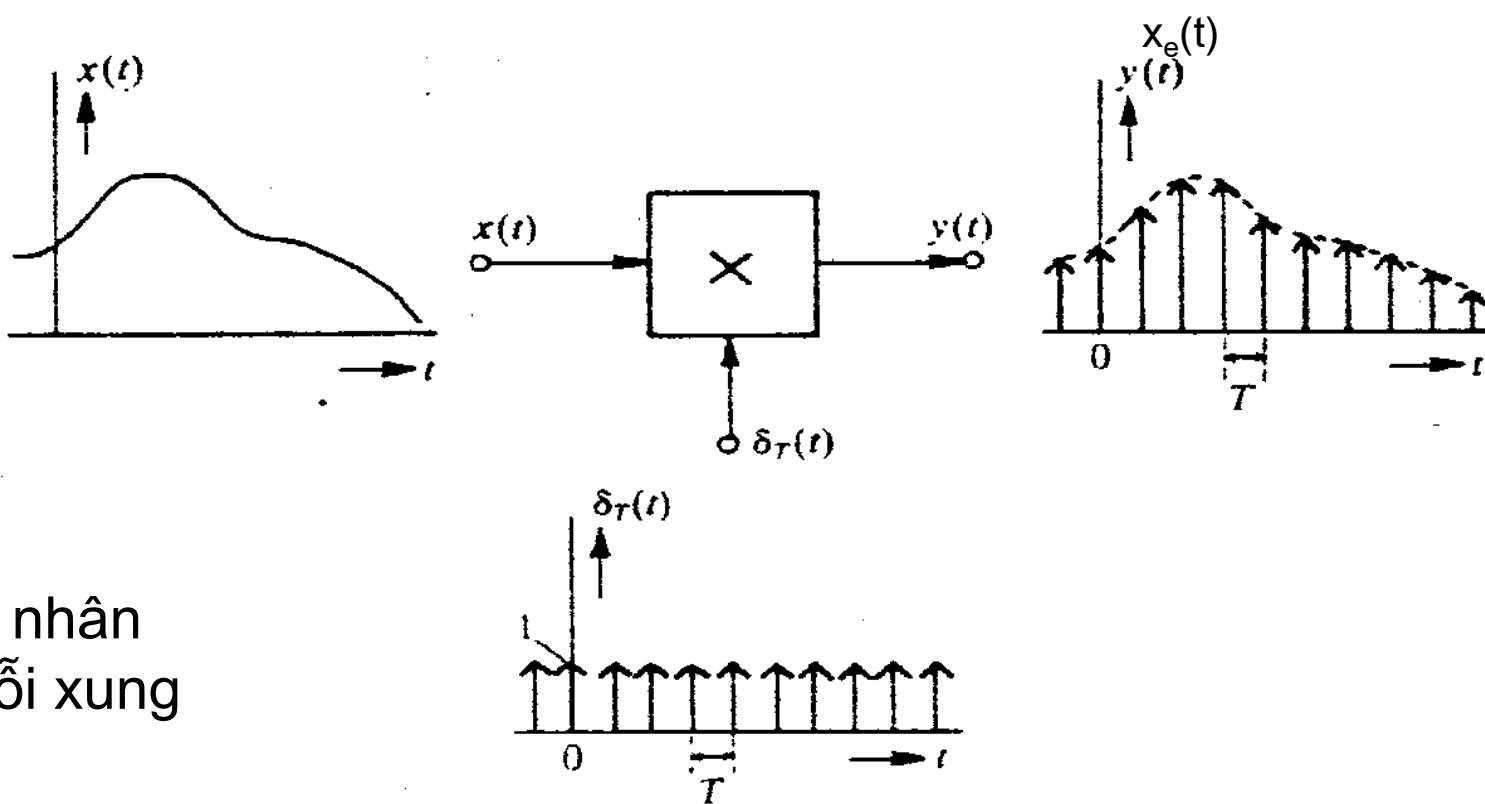


- Các bước chuyển đổi AD

- Mạch lấy và giữ mẫu
- Lượng tử hóa
- Mã hóa bit



Mạch lấy và giữ mẫu



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

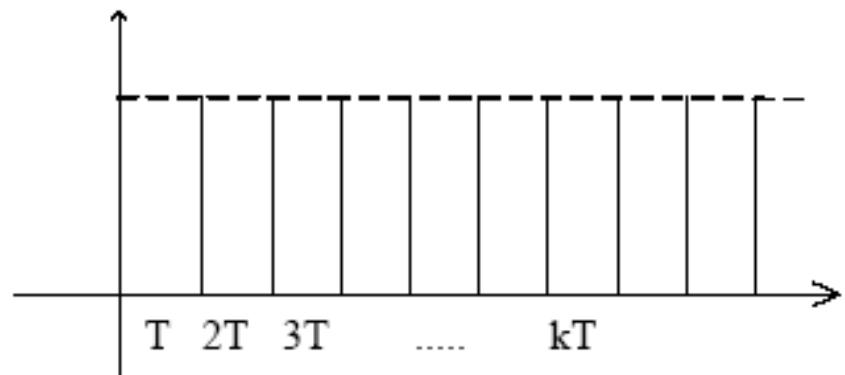
$$\begin{aligned}x_e(t) &= x(t)\delta_{T_e}(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_e) \\&= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_e)\delta(t - nT_e) \quad (3-1)\end{aligned}$$

Phép biến đổi dạng tín hiệu

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

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

- Đặt



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

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



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

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

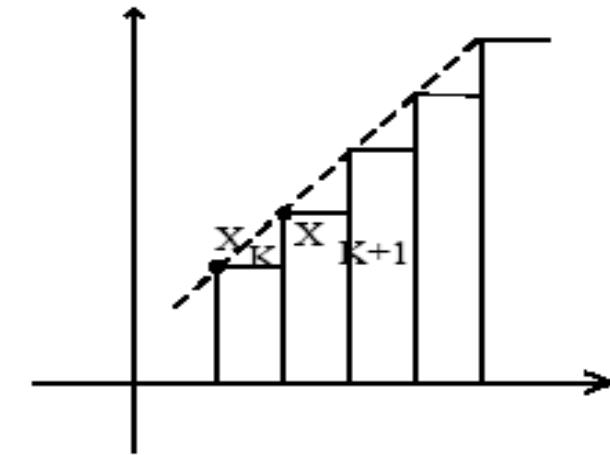
- Giá trị trung bình

$$X_{tb} = \frac{X_K + X_{K+1}}{2}$$

- 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 $\gamma = 1\%$.

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

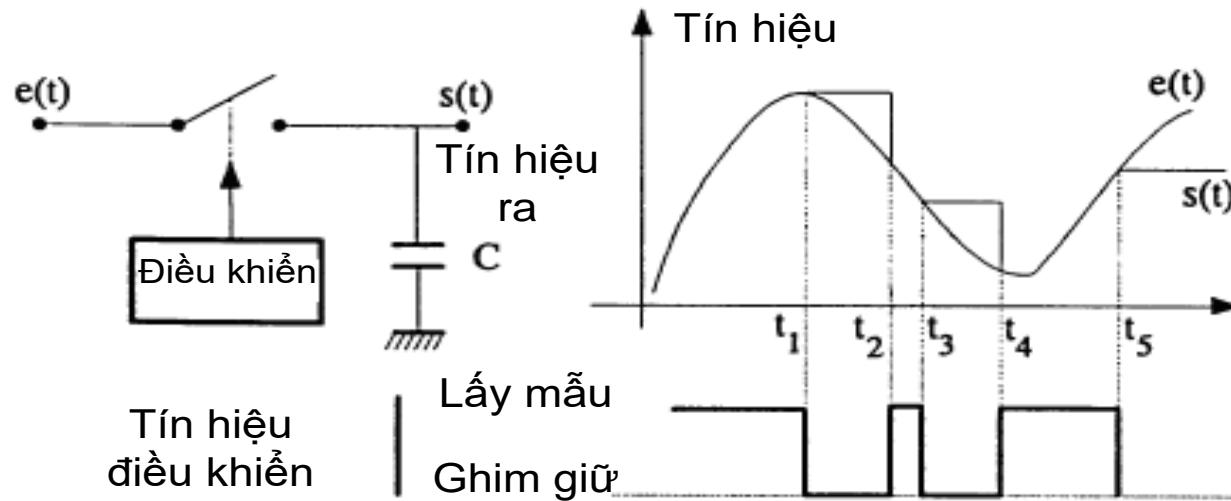
- g cực đại lúc $\sin \omega t = 1$; $g_m = X_m \cdot \omega^2$
- Thay vào
- $T_{rr} = \sqrt{\frac{2(0.01)}{(2\pi)^2}} \cdot T_{\sin} \rightarrow T_{rr} = \frac{T_{\sin}}{44}$
- Chu kỳ rời rạc bằng 1/44 chu kỳ của tín hiệu hình sin.*
- Kết quả này lớn hơn rất nhiều so với định lý lấy mẫu Shannon

Thực hiện việc lấy mẫu
như thế nào?



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

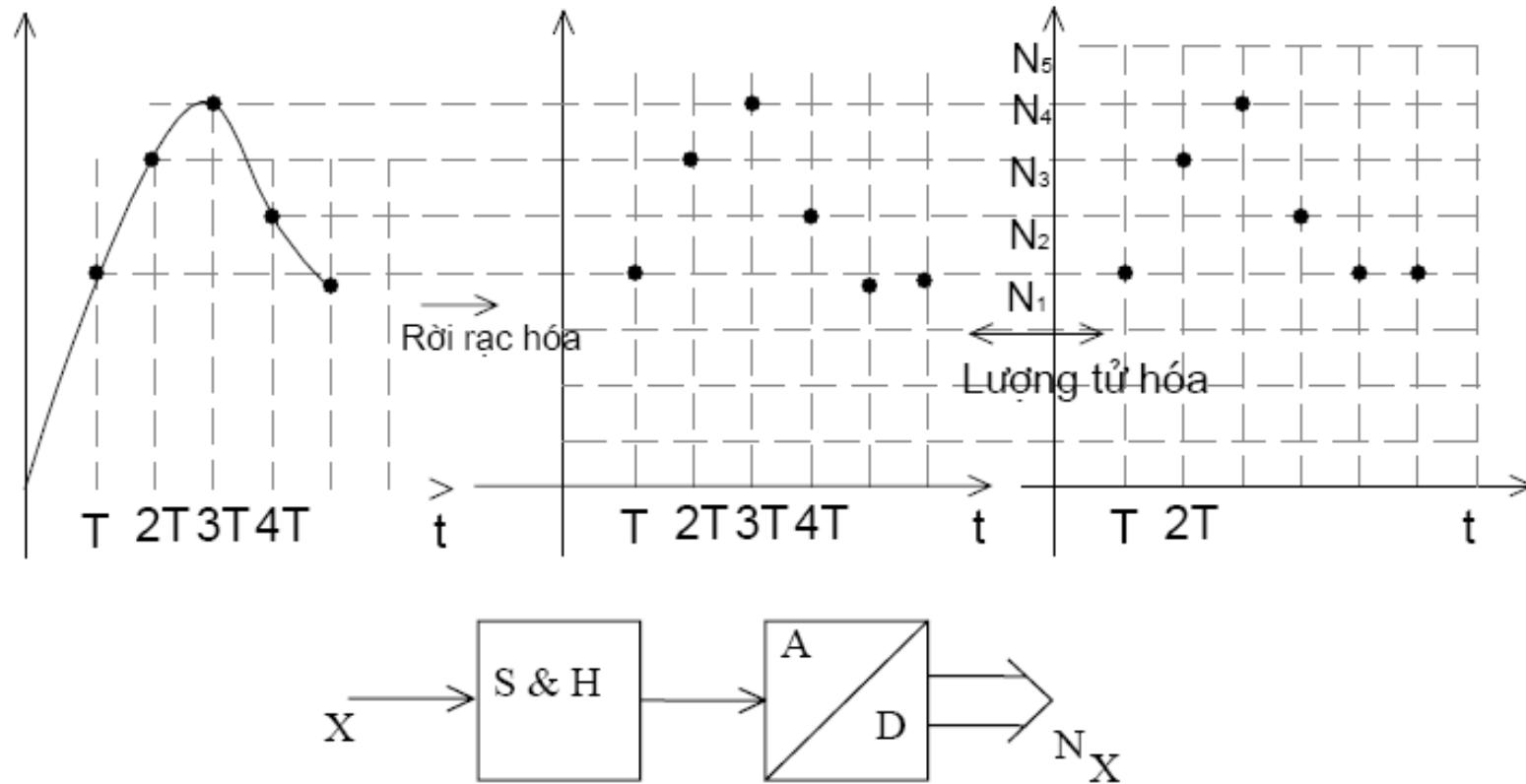


Giải thích

- 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

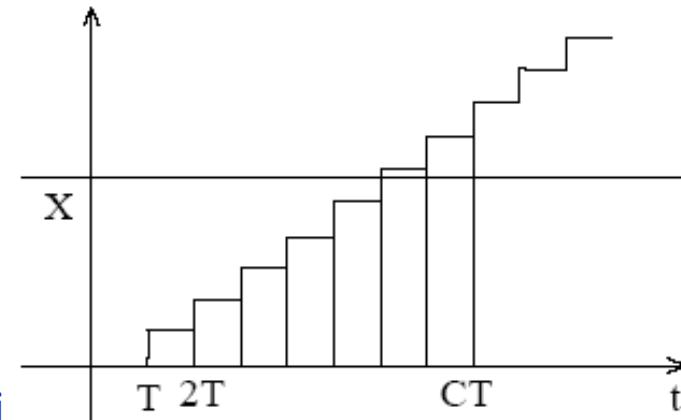
$$X_t = N_x \cdot \Delta X_0$$

- ✓ 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

- Mô tả bằng phương trình

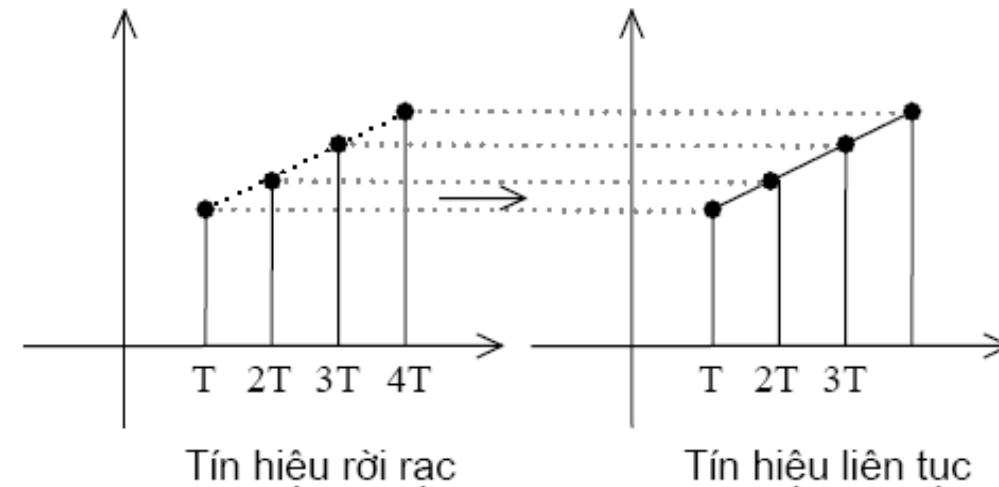
Lượng tử của đại lượng đo (LSB - Lowest Significatif Bit)

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



Khôi phục tín hiệu

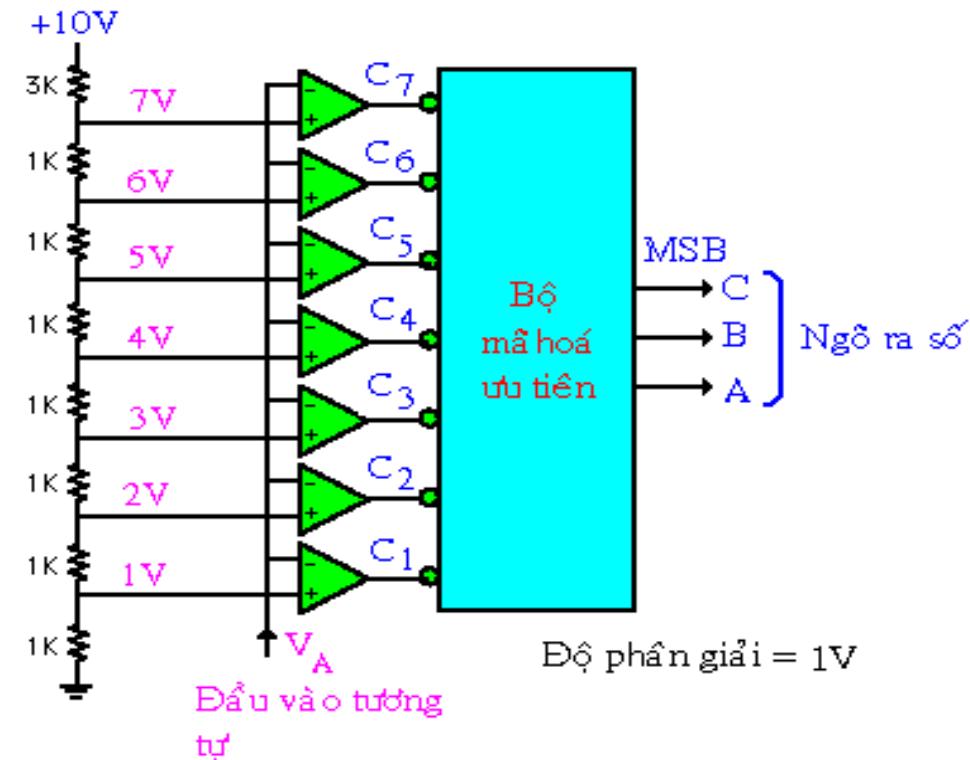
- Sau khi rời rạc hóa \longrightarrow kết quả là số liệu tại các thời điểm rời rạc khác nhau
- Chuyển các tín hiệu rời rạc đó thành tín hiệu liên tục được gọi là phục hồi tín hiệu rời rạc.



- 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.



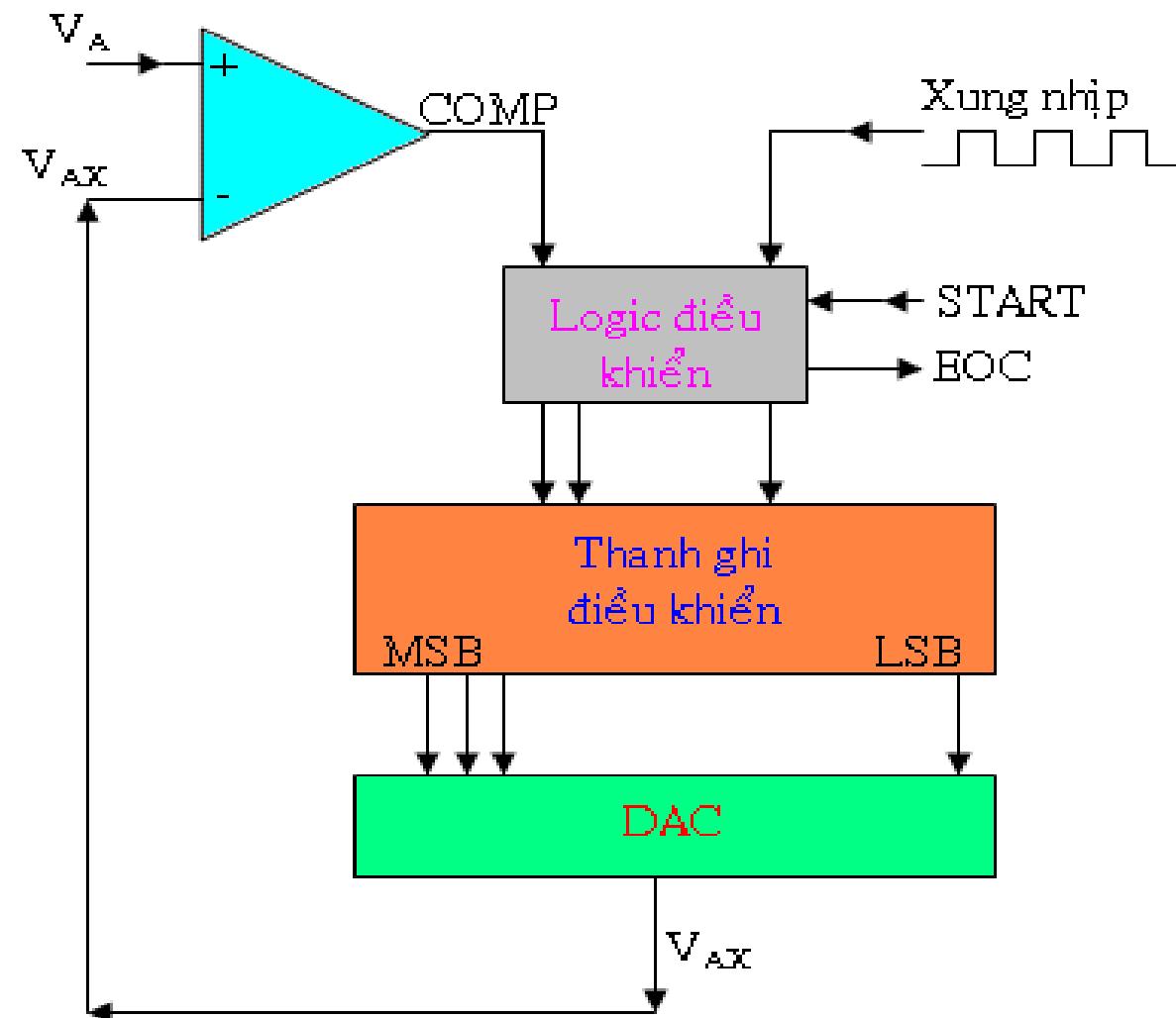
ADC - Phương pháp song song

- 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 thế 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

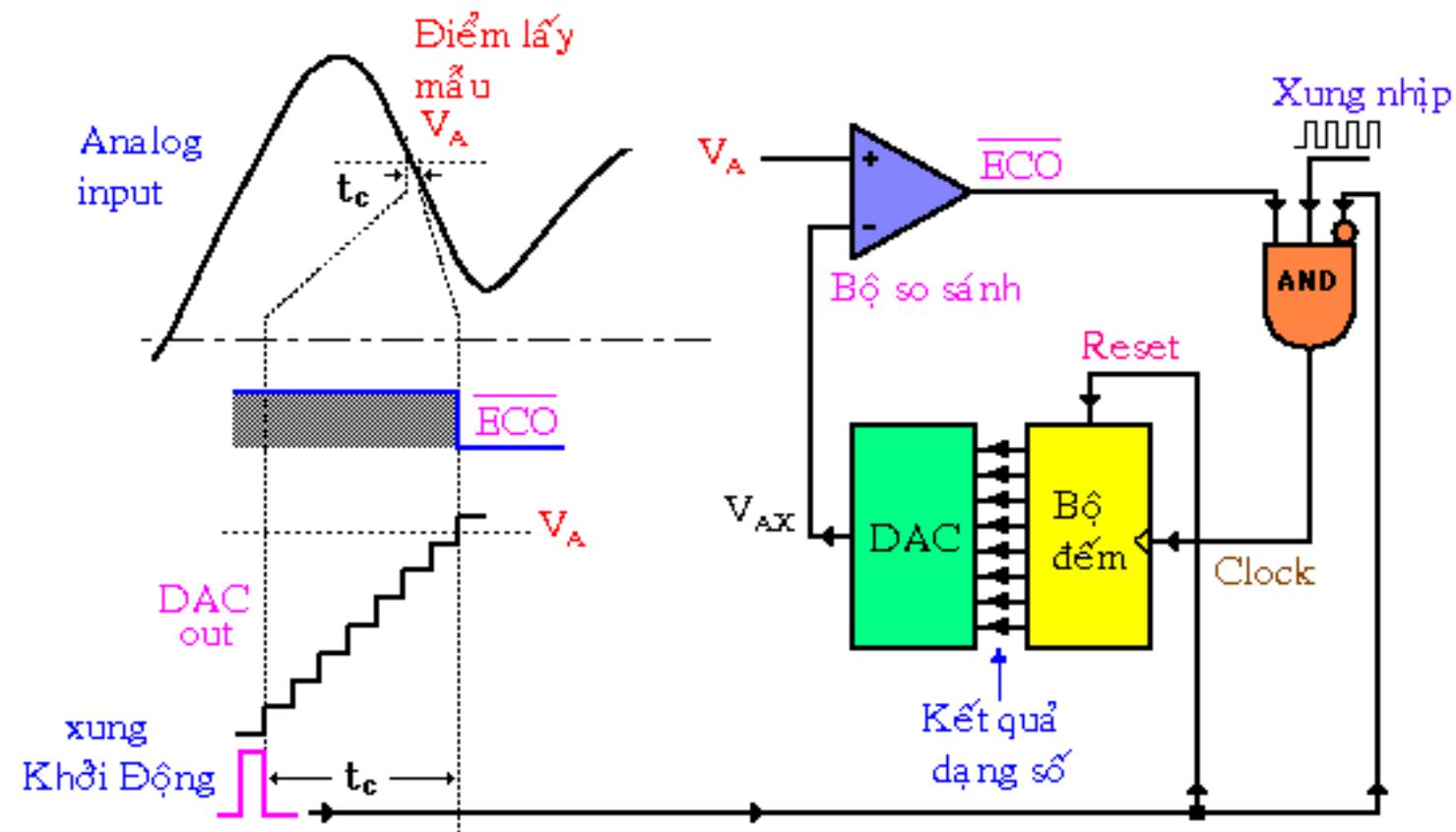
ADC liên tiếp - xấp xỉ



- 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 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:
 - Giá trị số tương đương cho $V_A = 3.728V$
 - Độ phân giải của bộ chuyển đổi này



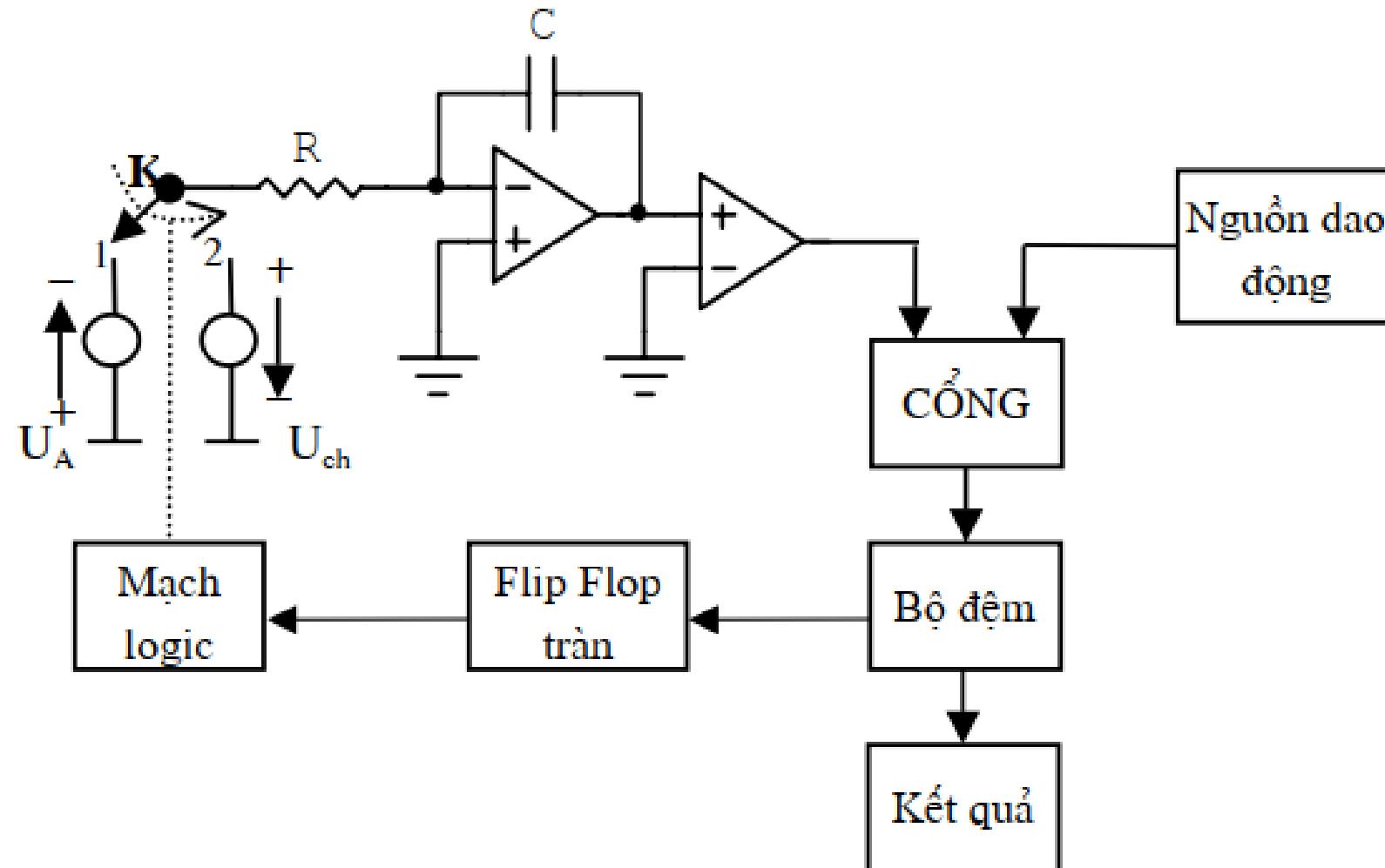
ADC - Phương pháp sóng bậc thang

- 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)

- h



ADC loại tích phân sườn dốc(Intergration)

- Trong đó

t_1 : thời gian đếm ứng với số xung làm bộ đếm bị tràn.

t_2 : thời gian tích điện áp chuẩn V_{ch}

V_C : điện áp răng cưa ở đầu ra của bộ tích phân.

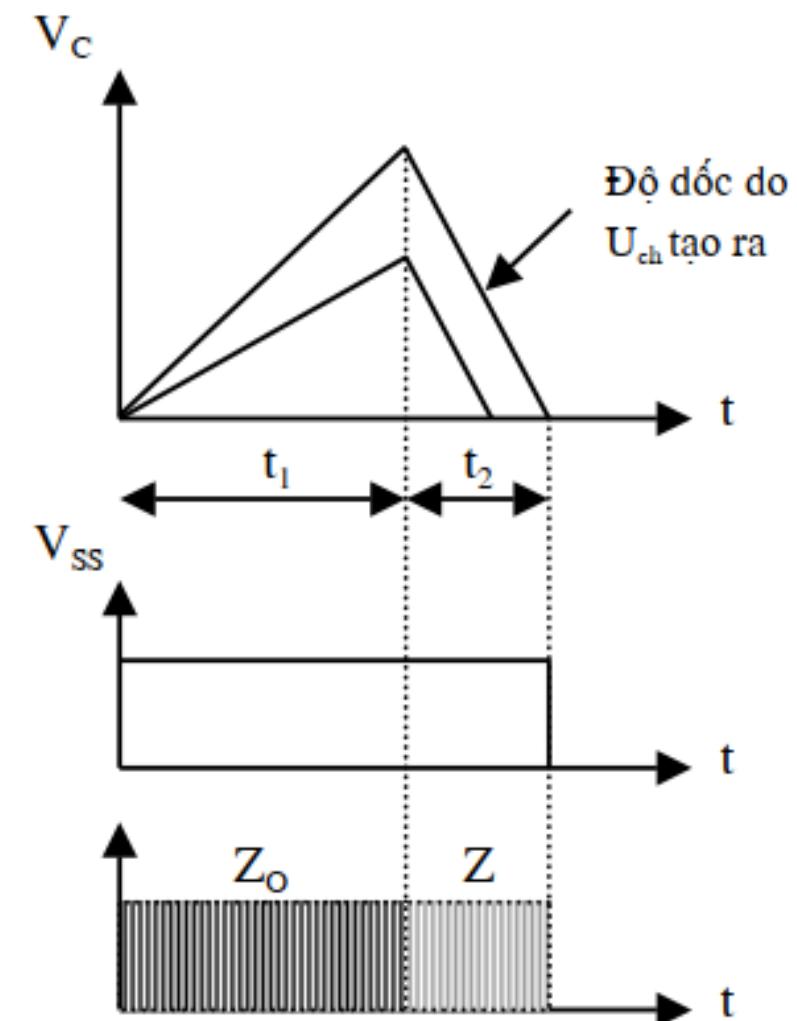
V_{ss} : điện áp ra của bộ so sánh

Z : số xung đếm được.

Z_o : số xung trong thời gian t_0

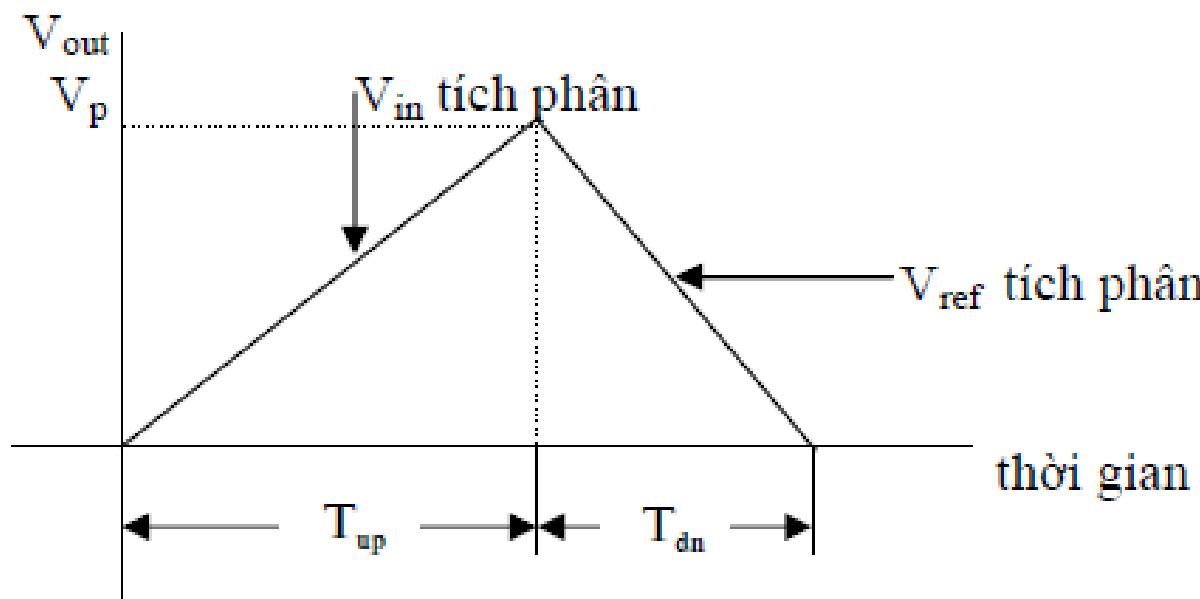
V_{ch} : điện áp chuẩn có đặc tính như hình vẽ

V_A : điện áp vào (đặc tính như hình vẽ)



ADC loại tích phân sườn dốc (Integration)

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



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

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

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

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



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, $\Delta\Sigma$

Ví dụ một số loại ADC của Burr Brown

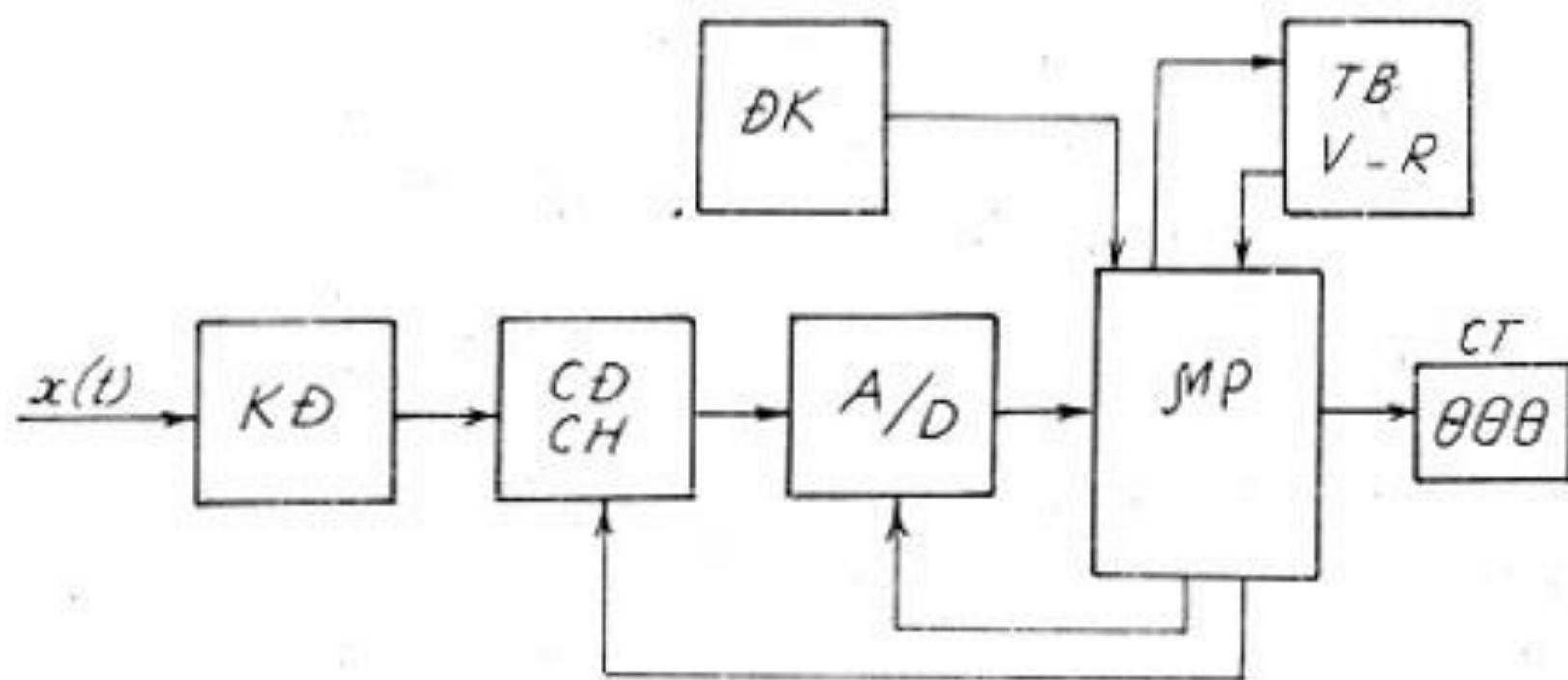
Chú thức về kí hiệu mức điện áp của ADC ...

- 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.





HUST

**TRÂN TRỌNG
CẢM ƠN!**

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

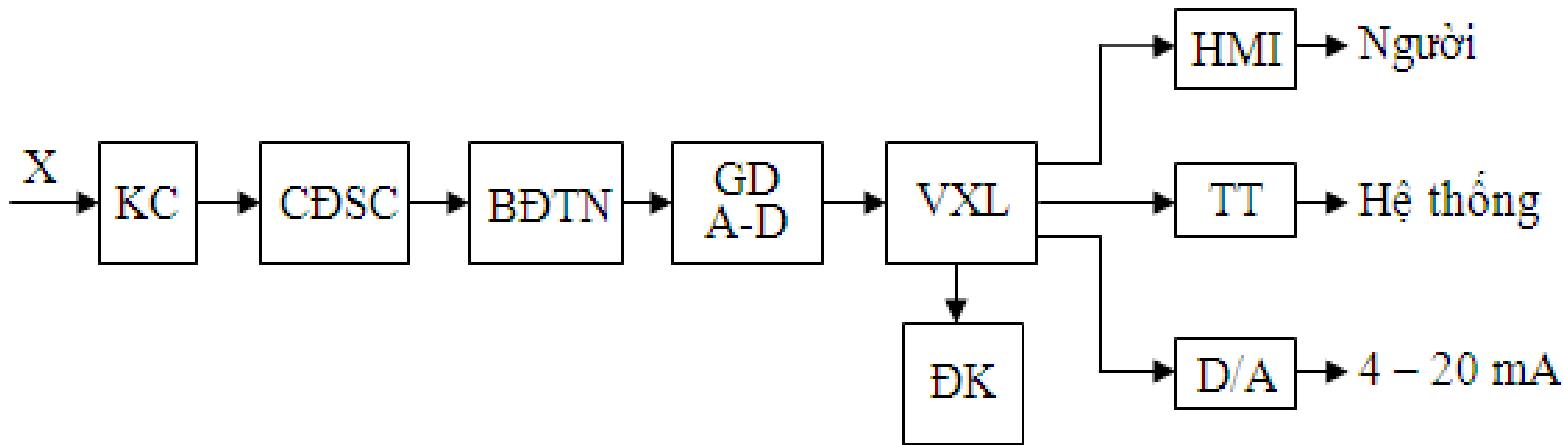
- ❖ Chương 1: Tổng quan về cảm biến và Các mạch xử lý trong đo lường
- ❖ **Chương 2: Chuyển đổi nhiệt điện**
- ❖ Chương 3: Chuyển đổi điện trở
- ❖ Chương 4: Cảm biến tĩnh điện(áp điện, điện dung)
- ❖ Chương 5: Chuyển đổi điện tử
- ❖ Chương 6: Chuyển đổi tĩnh điện Chuyển đổi điện tử và ion
- ❖ Chương 7: Chuyển đổi hóa điện
- ❖ Chương 8: Chuyển đổi khác

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

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
bob.vn



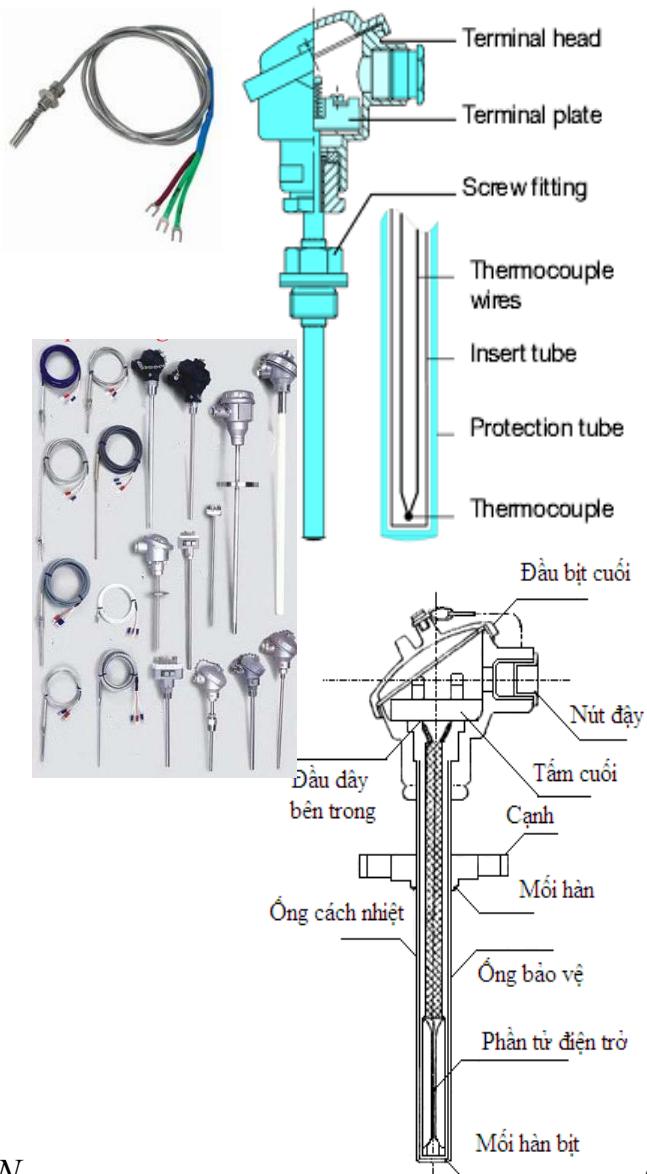
Chương 14: Đo nhiệt độ

➤ 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*
- ❖



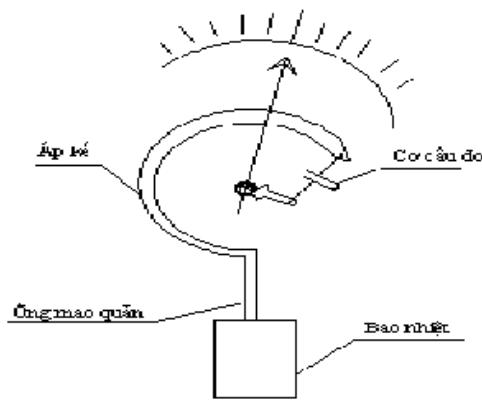
Chương 14: Đo nhiệt độ

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.



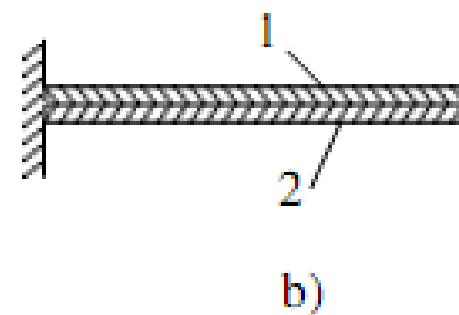
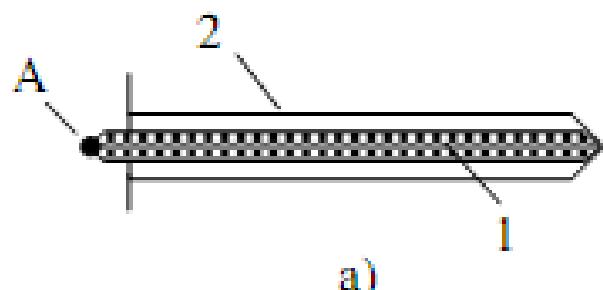
Hình 1.3 Nhiệt kế áp kế



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

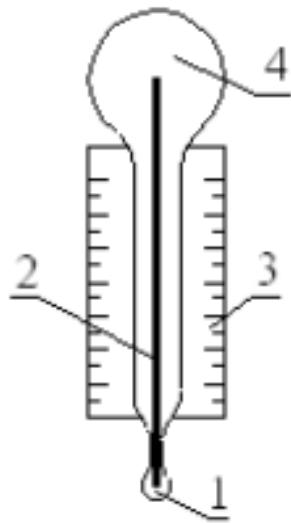


Nhiệt kế giãn nở chất rắn

- 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.

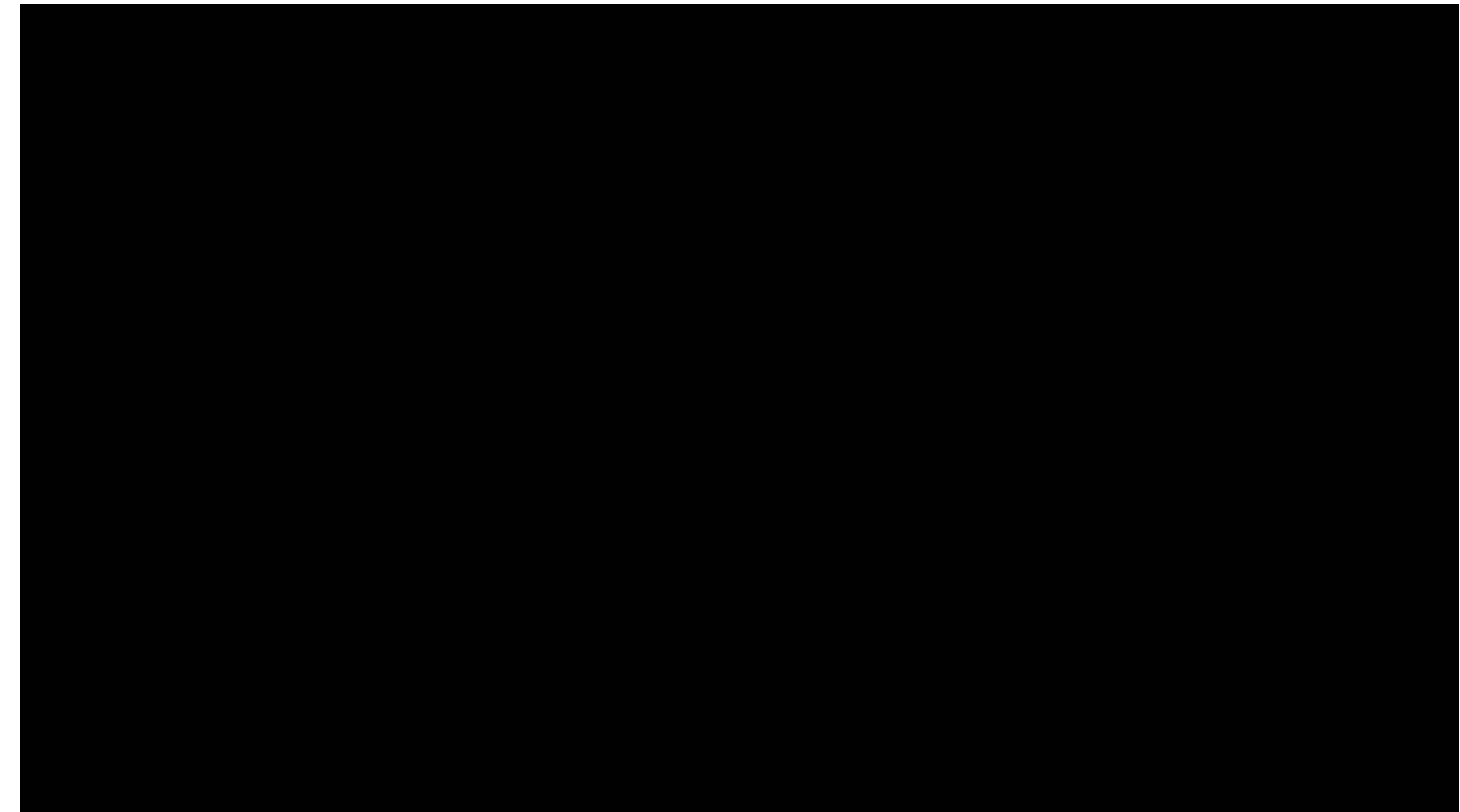
3 - thang đo.

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.



14.2 Nhiệt điện trở

■ Nguyên lý:

- ❖ 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

$$R = R_o \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right]$$

T_o là nhiệt độ tuyệt đối, B là hệ số thực nghiệm

Nhiệt điện trở kim loại

■ Yêu cầu chung

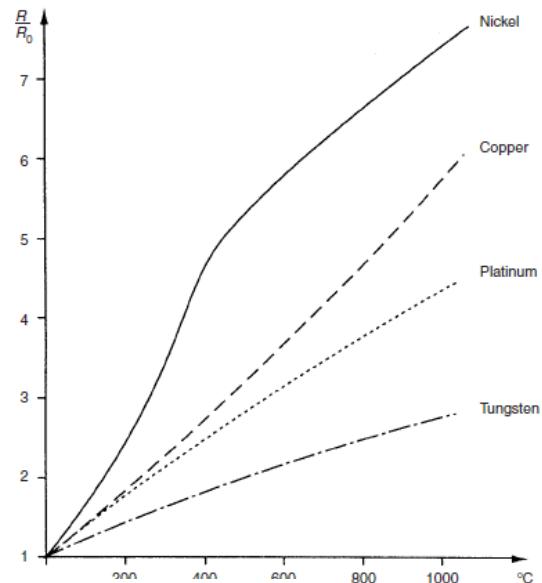
- ❖ Có điện trở suất đủ lớn để điện trở ban đầu R lớn mà kích thước nhiệt kế vẫn nhỏ
- ❖ Hệ số nhiệt điện trở của nó không đổi dấu
- ❖ Có đủ độ bền cơ hóa ở nhiệt độ làm việc
- ❖ Dễ gia công



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

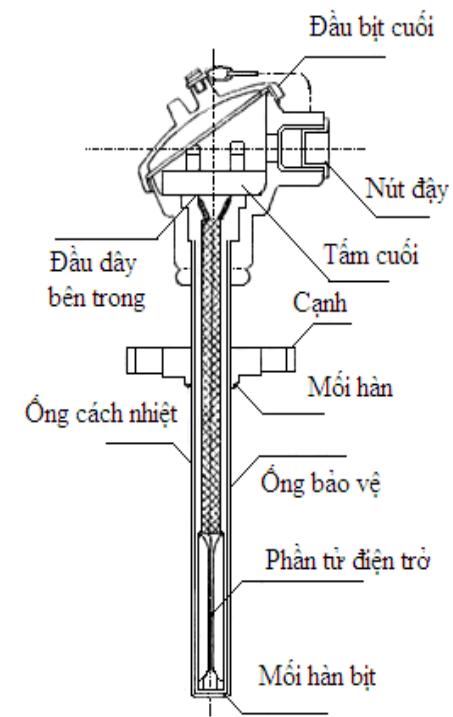
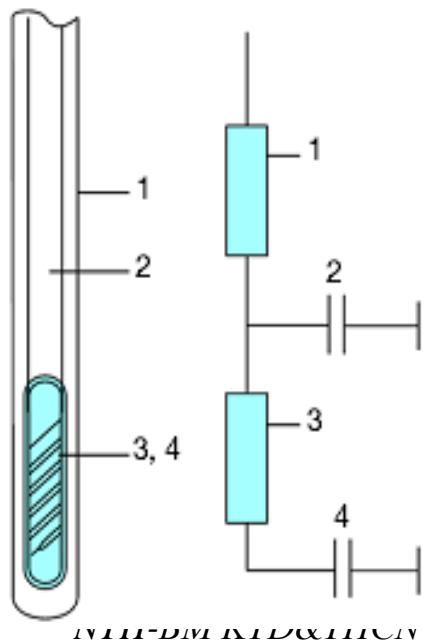
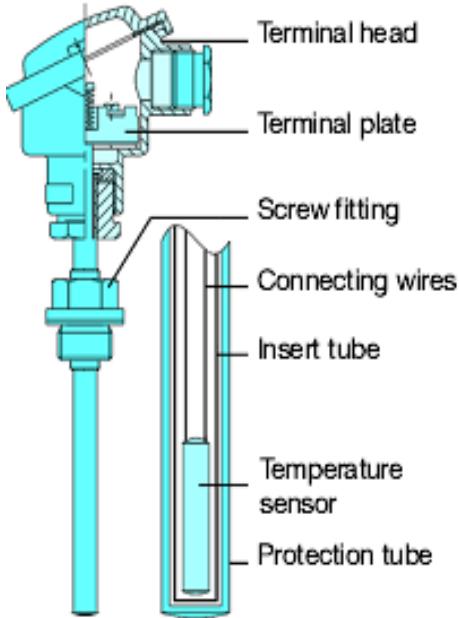


Thông số	Cu	Ni	Pt	W
T_f ($^{\circ}\text{C}$)	1083	1453	1769	3380
c ($\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{kg}^{-1}$)	400	450	135	125
λ ($\text{W}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{m}^{-1}$)	400	90	73	120
$\alpha_l \times 10^6$ ($^{\circ}\text{C}$)	16,7	12,8	8,9	6
$\rho \times 10^8$ (Ωm)	1,72	10	10,6	5,52
$\alpha \times 10^3$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	3,9	4,7	3,9	4,5

Nhiệt điện trở kim loại

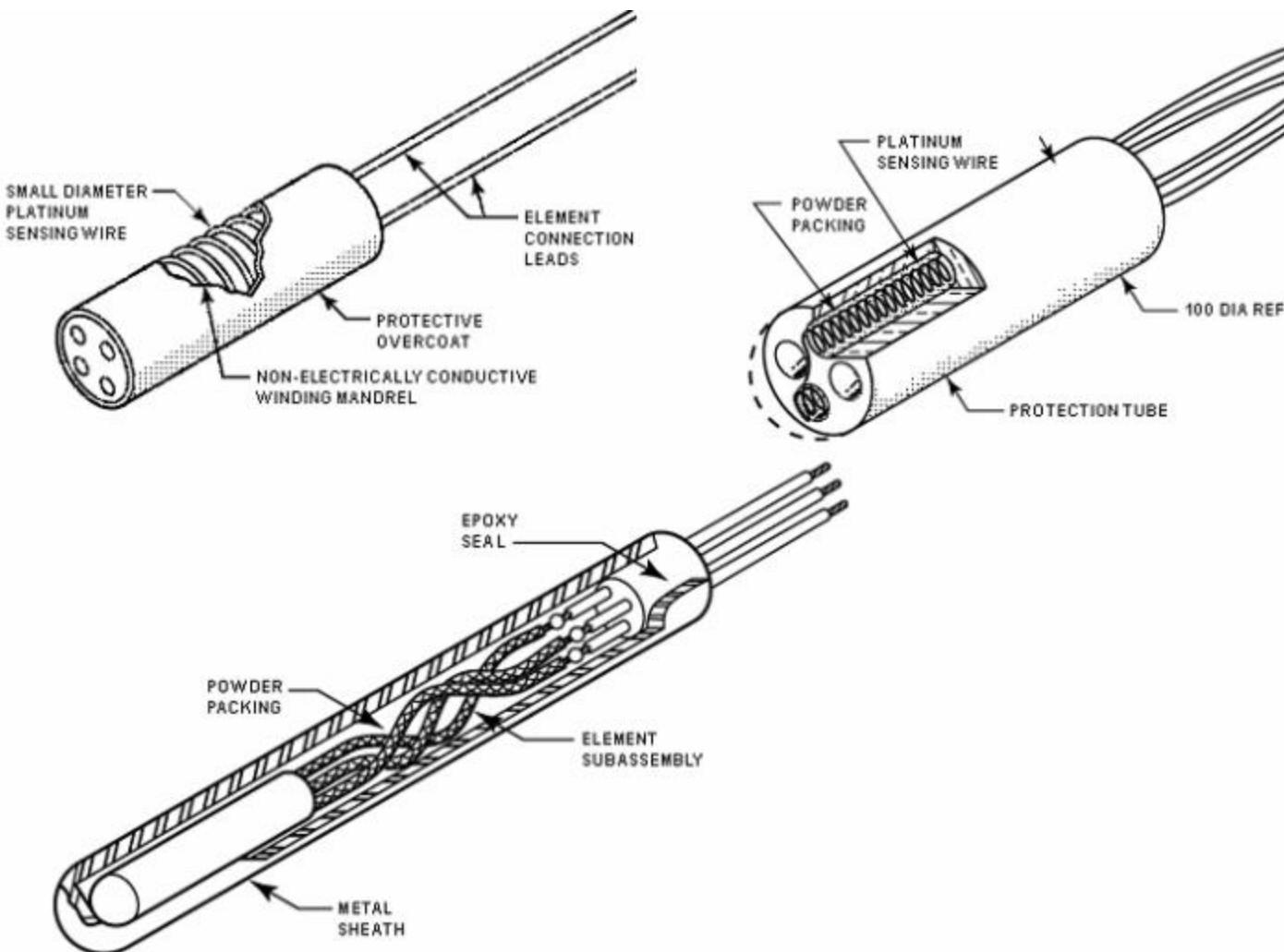
- Nhiệt kế nhiệt điện trở thường dùng trong công nghiệp, thường được chế tạo bằng Pt, dây đồng, dây Ni và có ký hiệu là: Pt-100, Cu-100, Ni-100
- Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ cho bởi:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t)$$



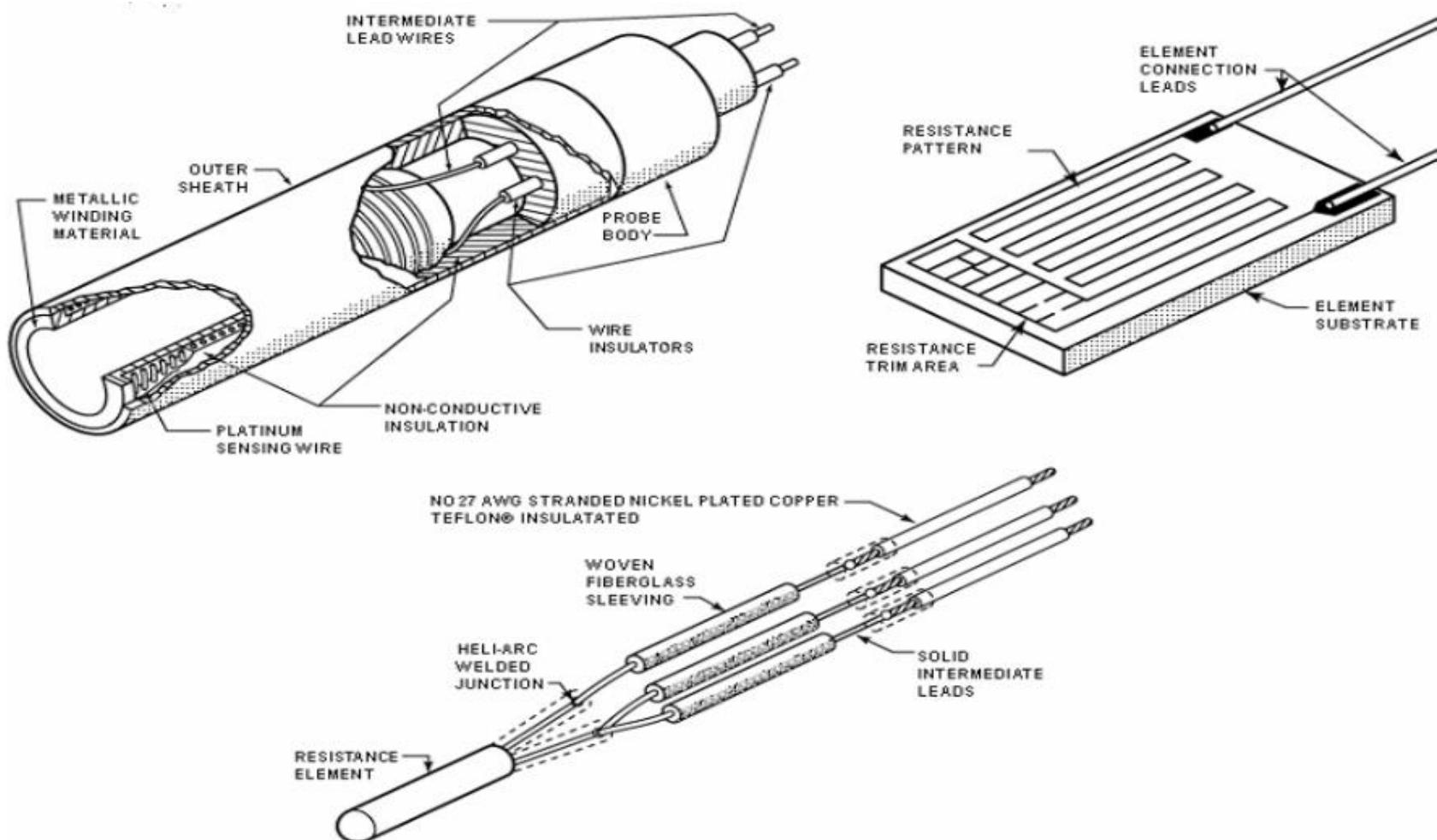
Nhiệt điện trở kim loại

Cấu tạo



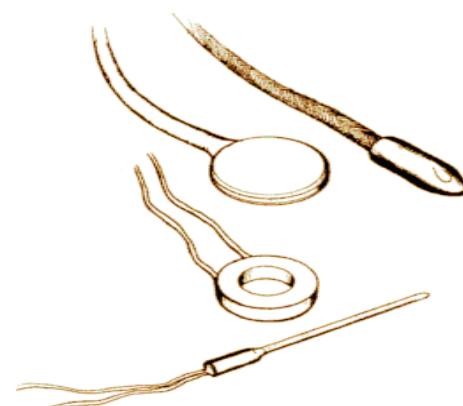
Nhiệt điện trở kim loại

Cấu tạo



Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

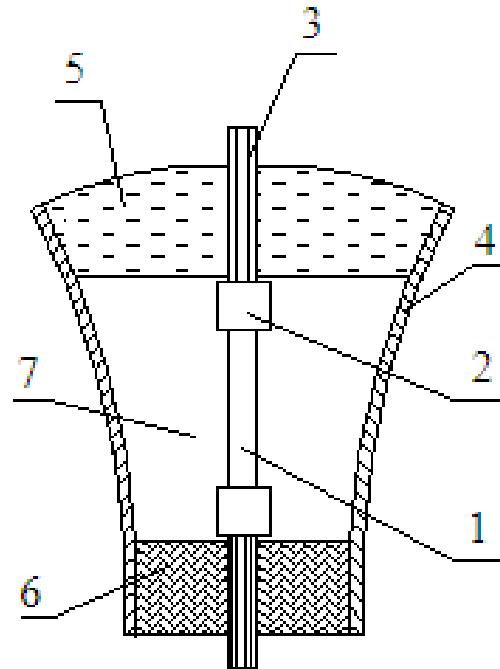
- Cấu tạo: Làm từ hỗn hợp các oxid kim loại: mangan (MnO), nickel (NiO), cobalt (Co_2O_3),...
- Nguyên lý: Thay đổi điện trở khi nhiệt độ thay đổi.
- Ưu điểm: Bền, rẻ tiền, dễ chế tạo.
- Khuyết điểm: Dây tuyển tính hẹp.
- Thường dùng: Làm các chức năng đo nhiệt độ để bảo vệ, ép vào cuộn dây động cơ, mạch điện tử.
- Dải đo: $50 < 150$ độ C.



Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

- 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.

$$R_T = A \cdot e^{\beta/T}$$



- 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.



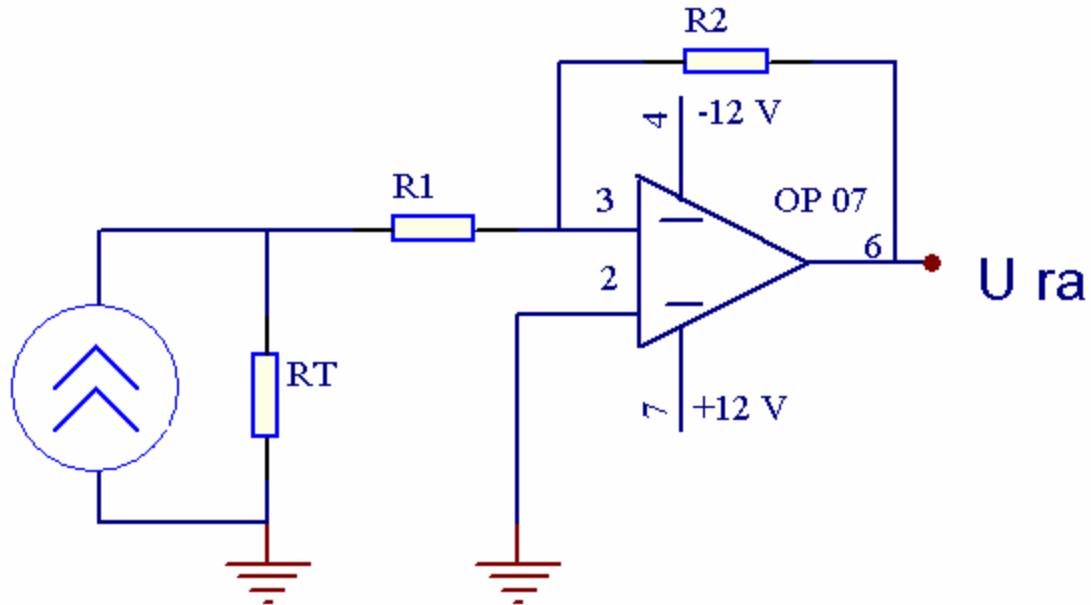
- Có hai loại thermistor:

- ❖ 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

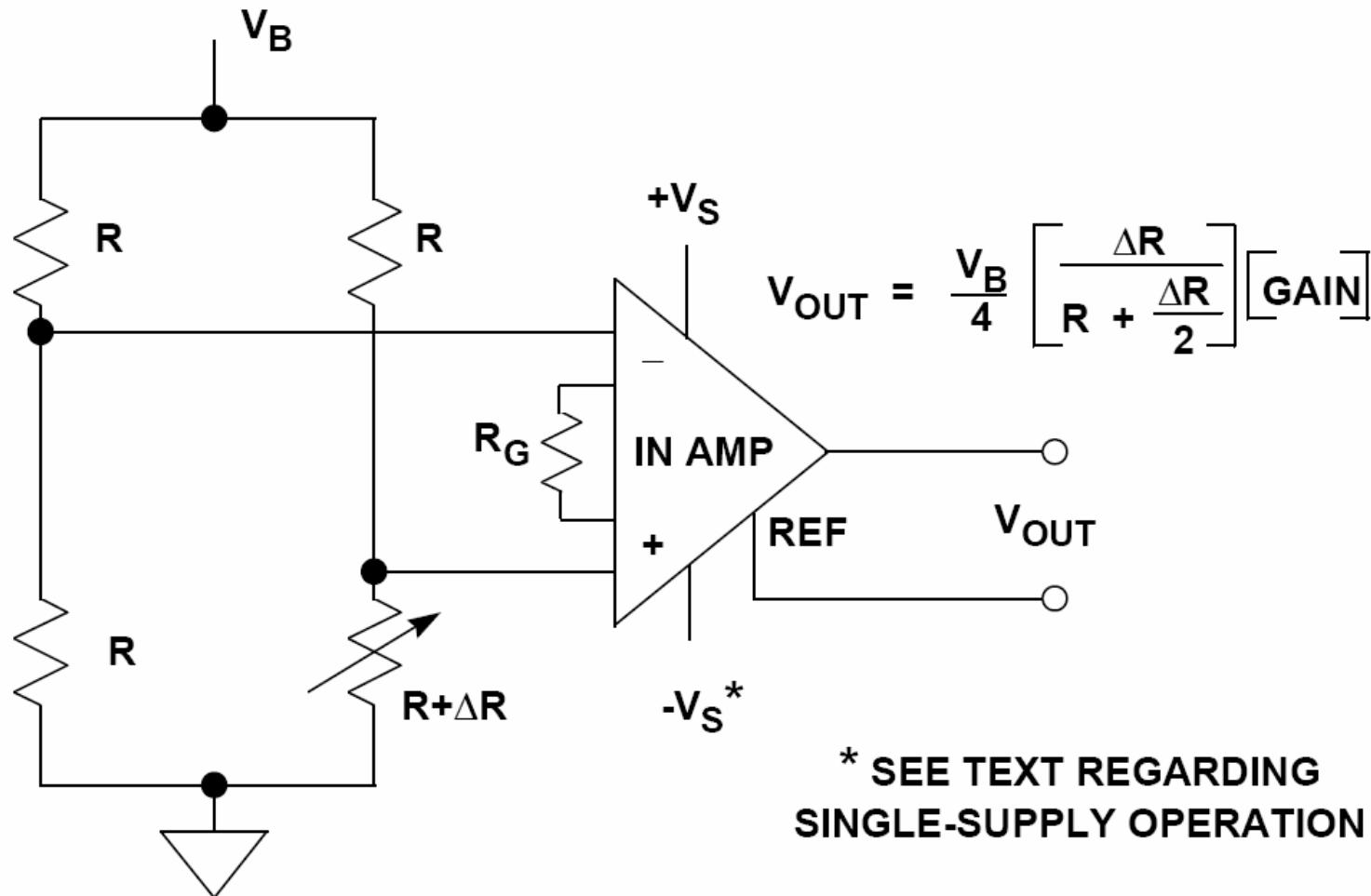
Mạch đo

- Mạch dùng nguồn dòng
- IC tạo nguồn dòng

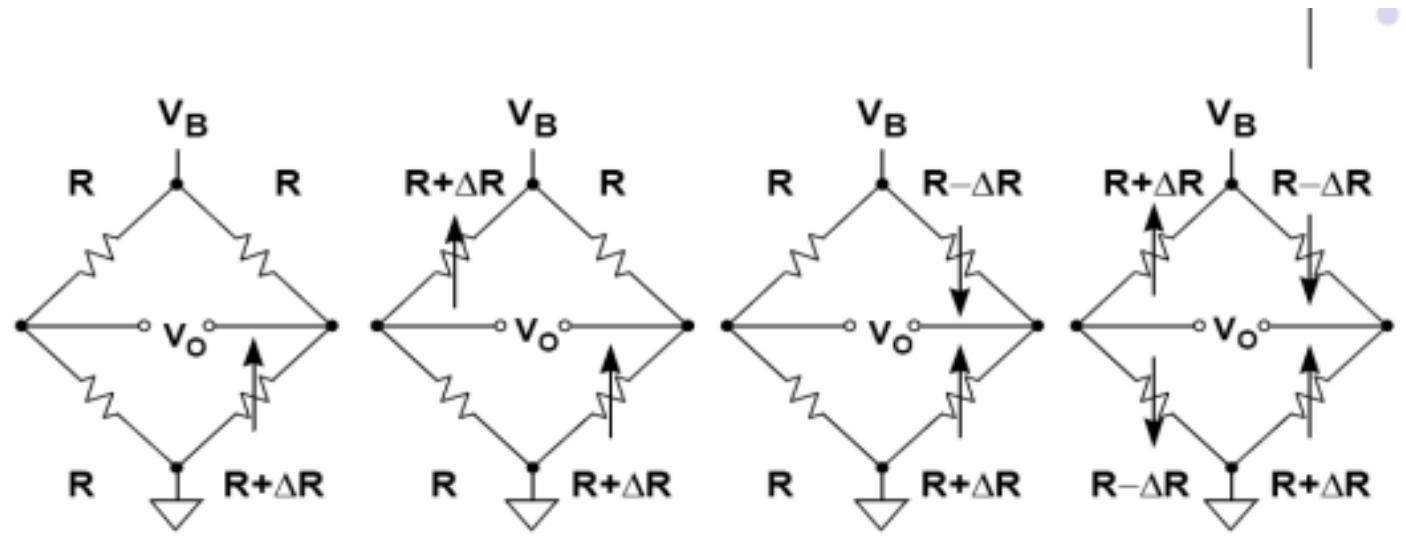


$$U_R = U_{RT} \frac{R_2}{R_1} = I \cdot R_{RT} \frac{R_2}{R_1}$$

Một số mạch đo dùng nguồn áp



Một số mạch đo dùng nguồn áp



$$V_O: \frac{V_B}{4} \left[\frac{\Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right]$$

$$\frac{V_B}{2} \left[\frac{\Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right]$$

$$\frac{V_B}{2} \left[\frac{\Delta R}{R} \right]$$

$$V_B \left[\frac{\Delta R}{R} \right]$$

Linearity
Error:

0.5%/%

0.5%/%

0

0

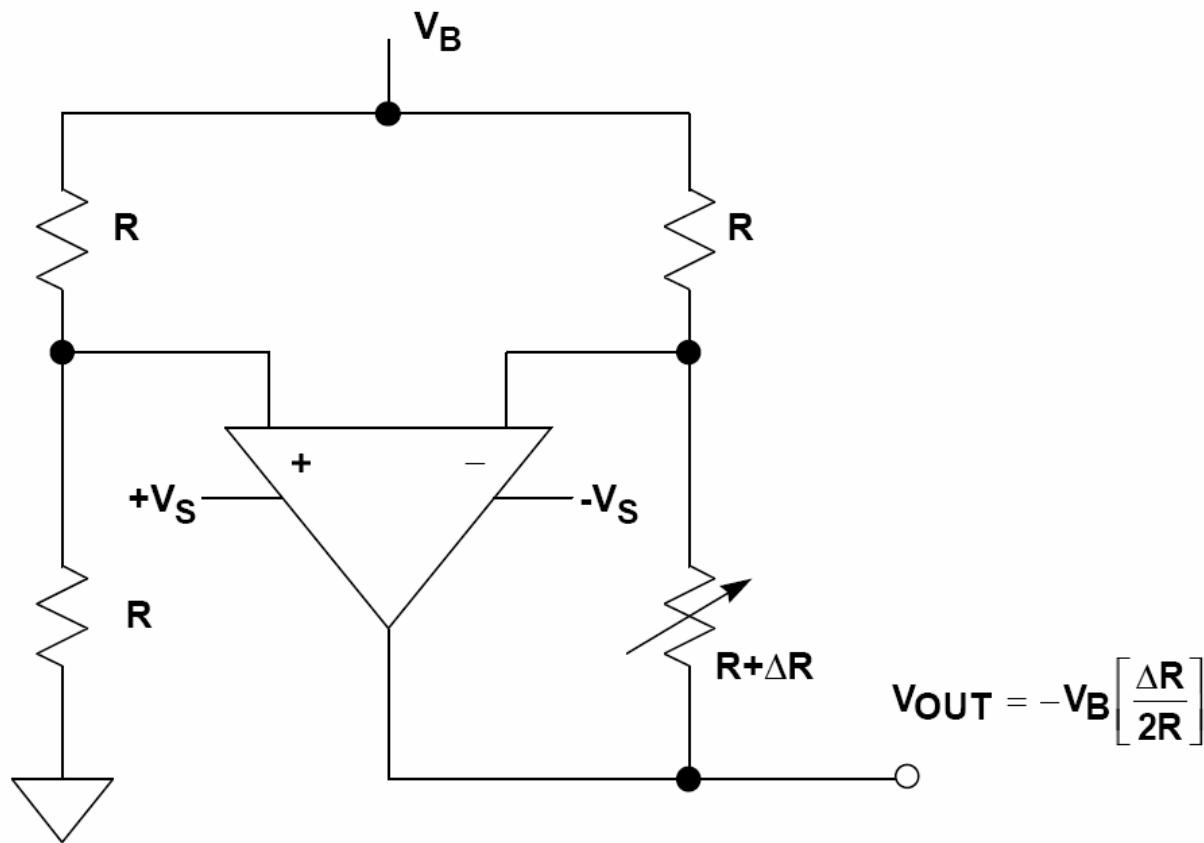
(A) Single-Element
Varying

(B) Two-Element
Varying (1)

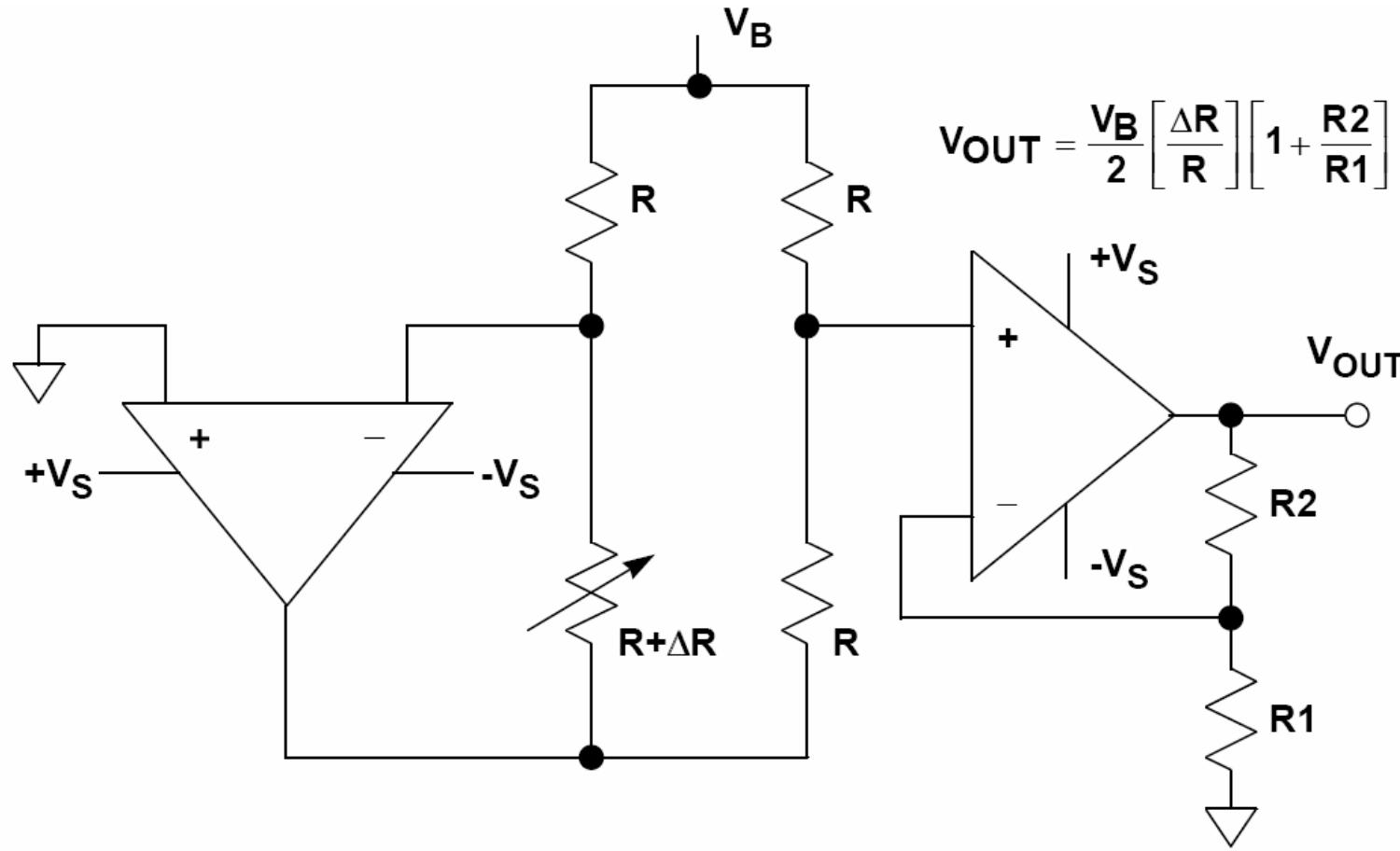
(C) Two-Element
Varying (2)

(D) All-Element
Varying

Một số mạch đo

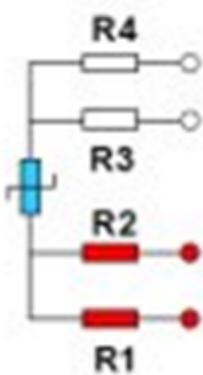
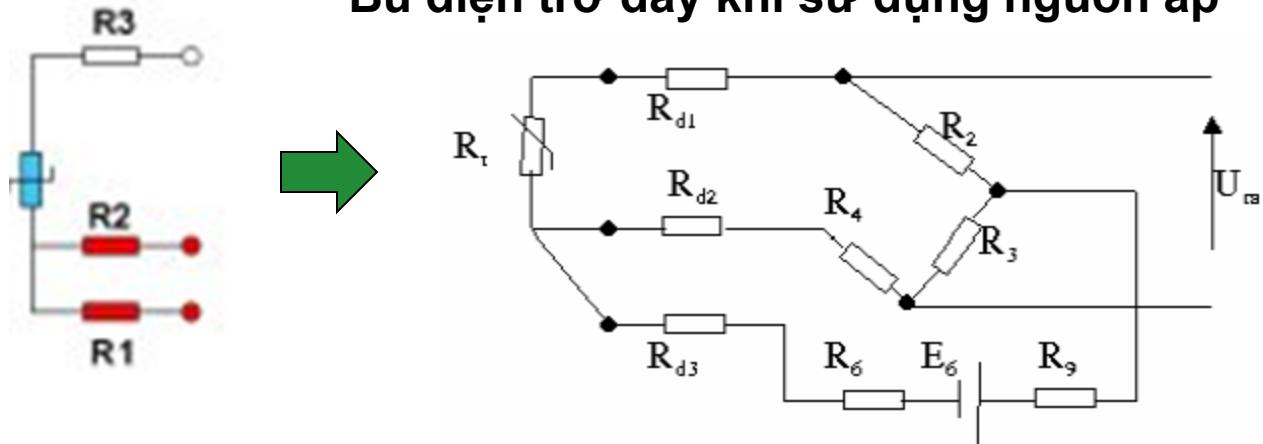
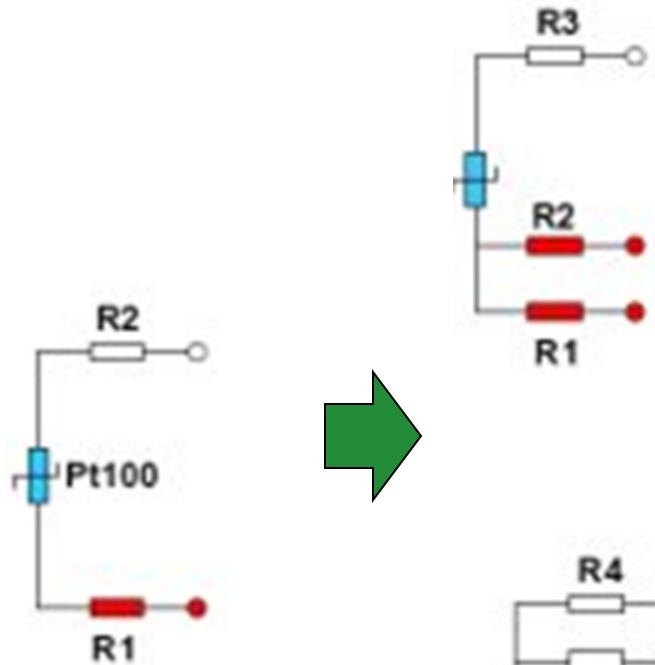


Một số mạch đo

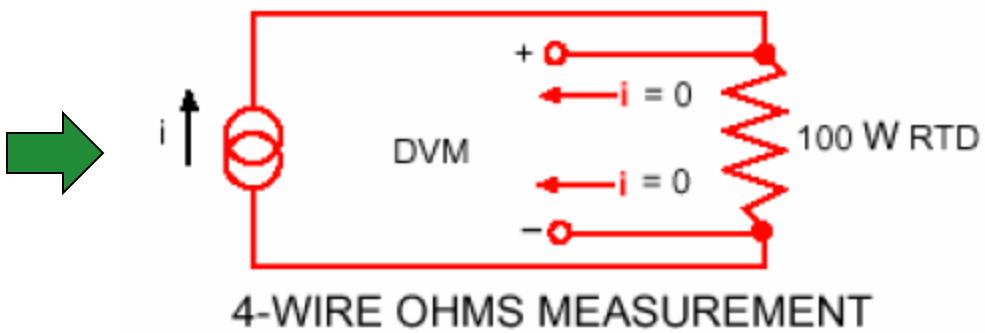


Ảnh hưởng của điện trở dây

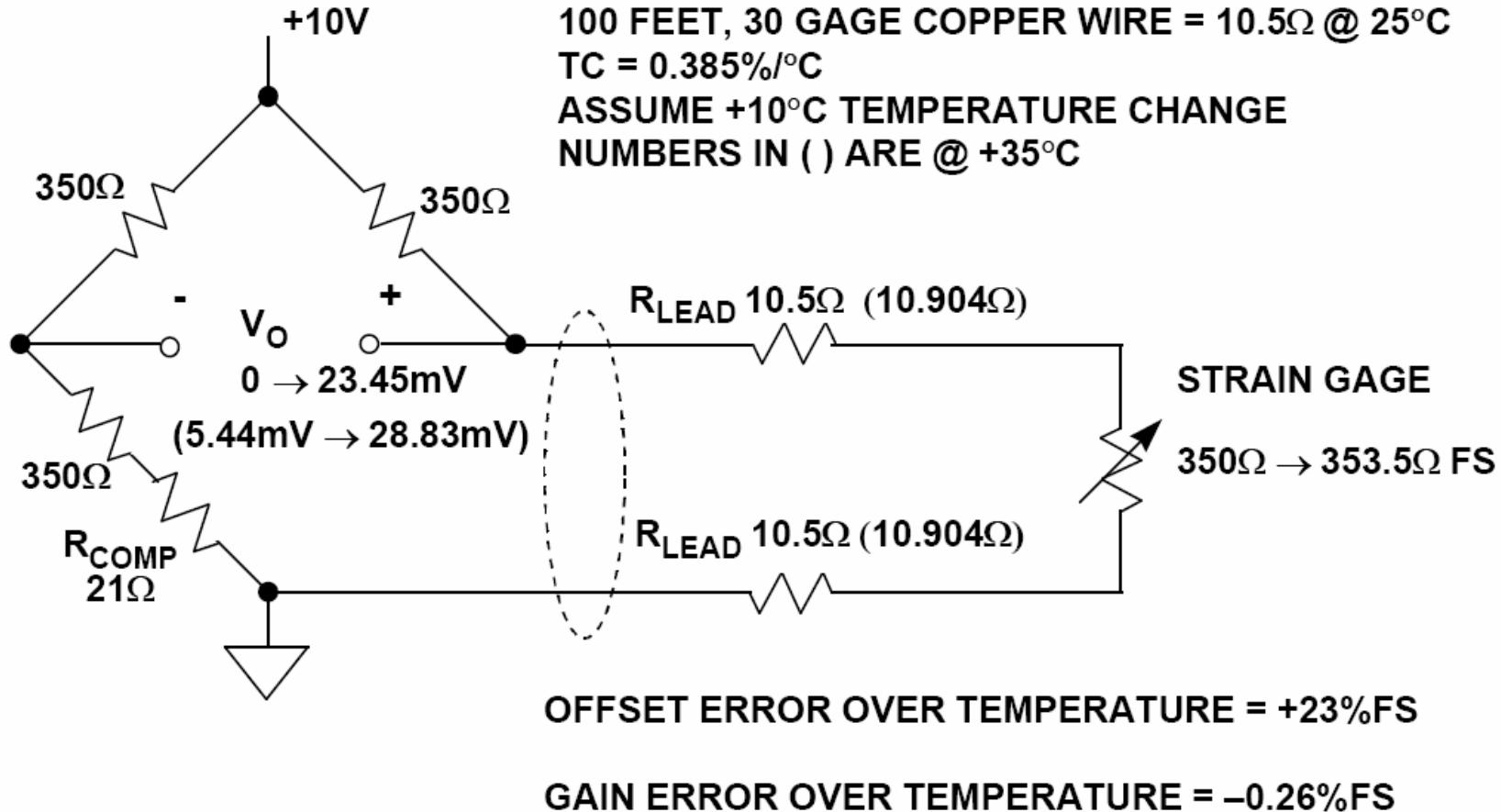
- Tại sao là nhiệt điện trở 2, 3 và 4 dây ?



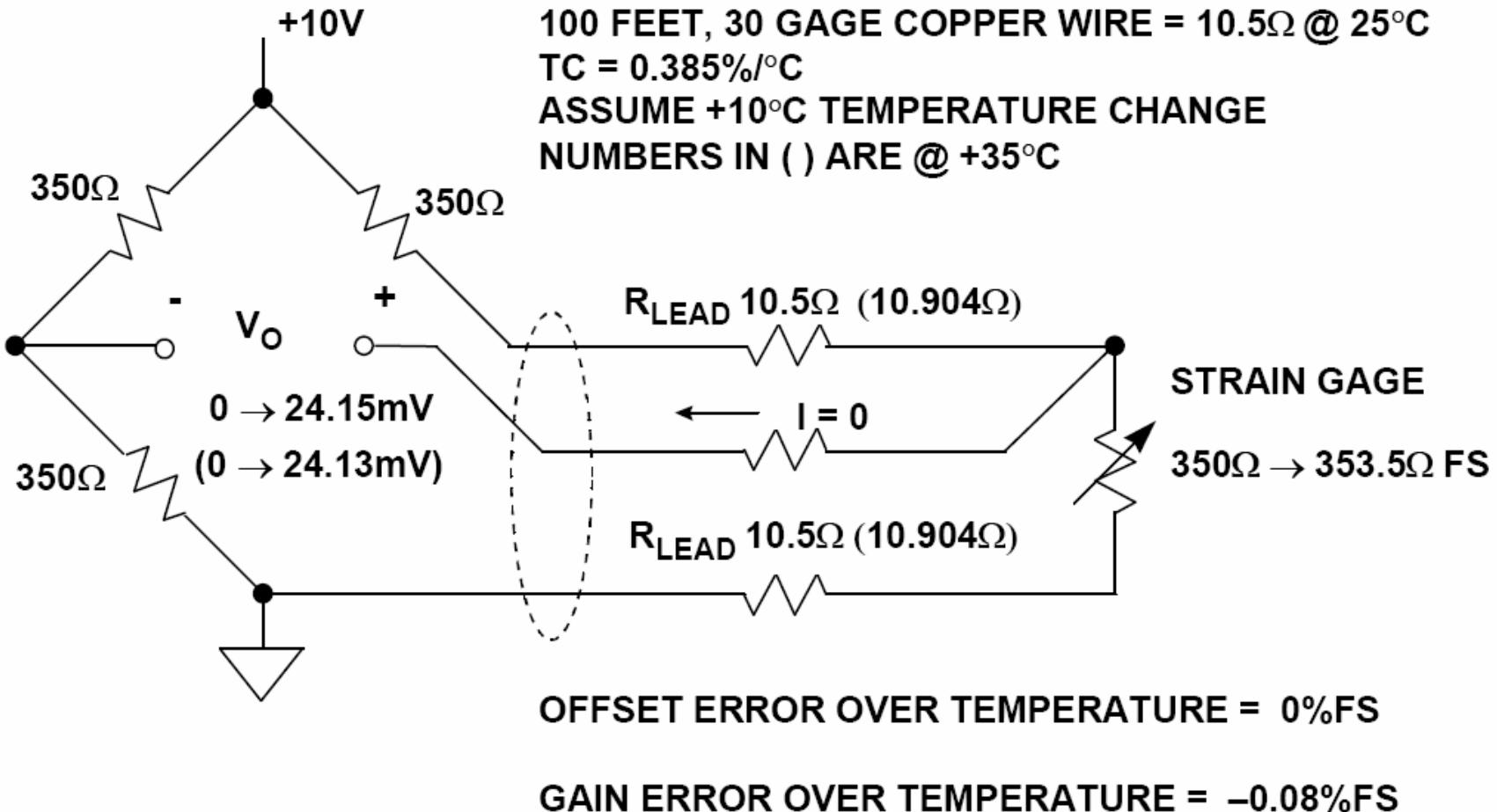
Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn dòng



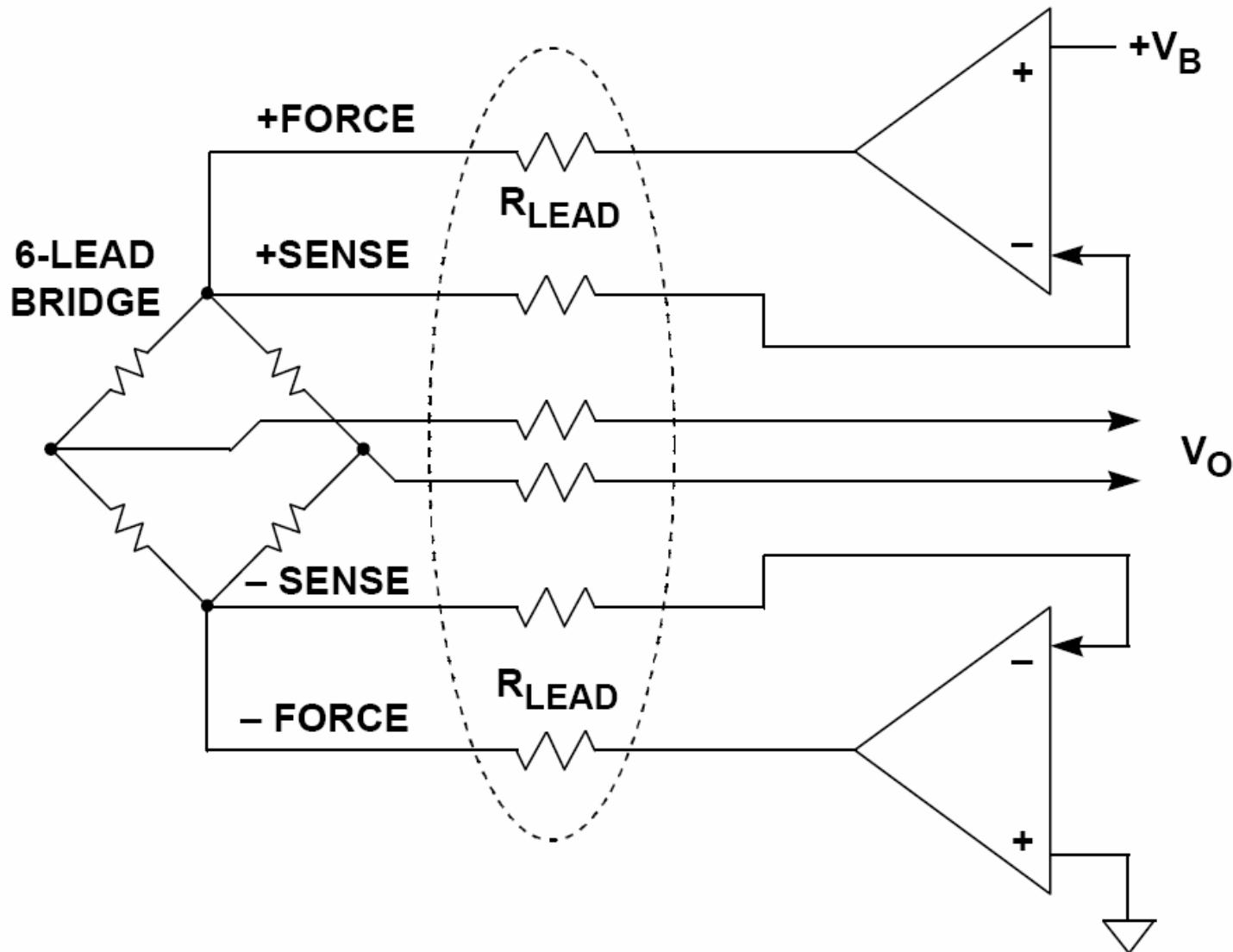
Ảnh hưởng của điện trở dây



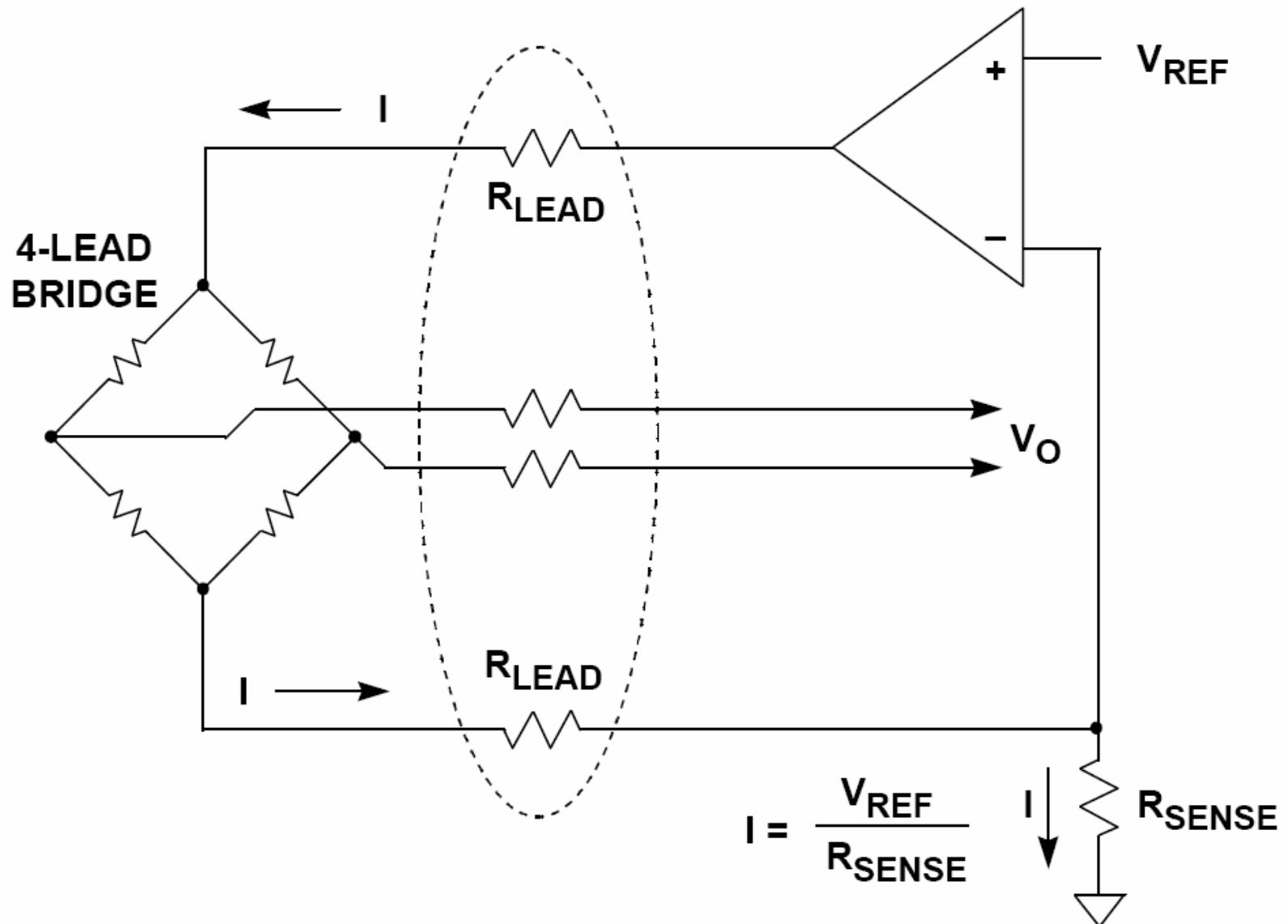
Ảnh hưởng của điện trở dây



Ảnh hưởng của điện trở dây



Ảnh hưởng của điện trở dây



Transmitter nhiệt điện trở trong công nghiệp

1- Nhiệt điện trở

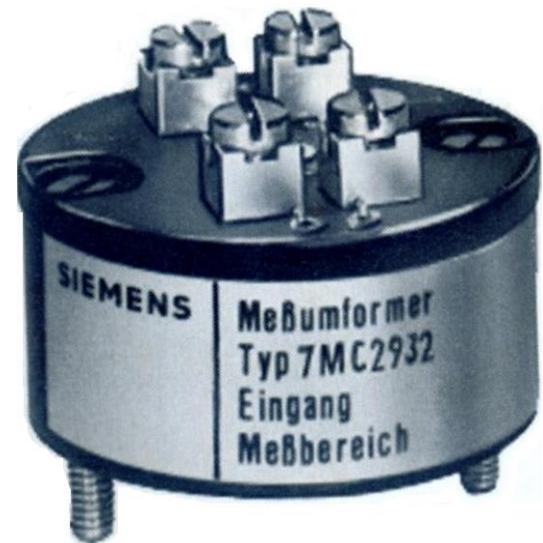
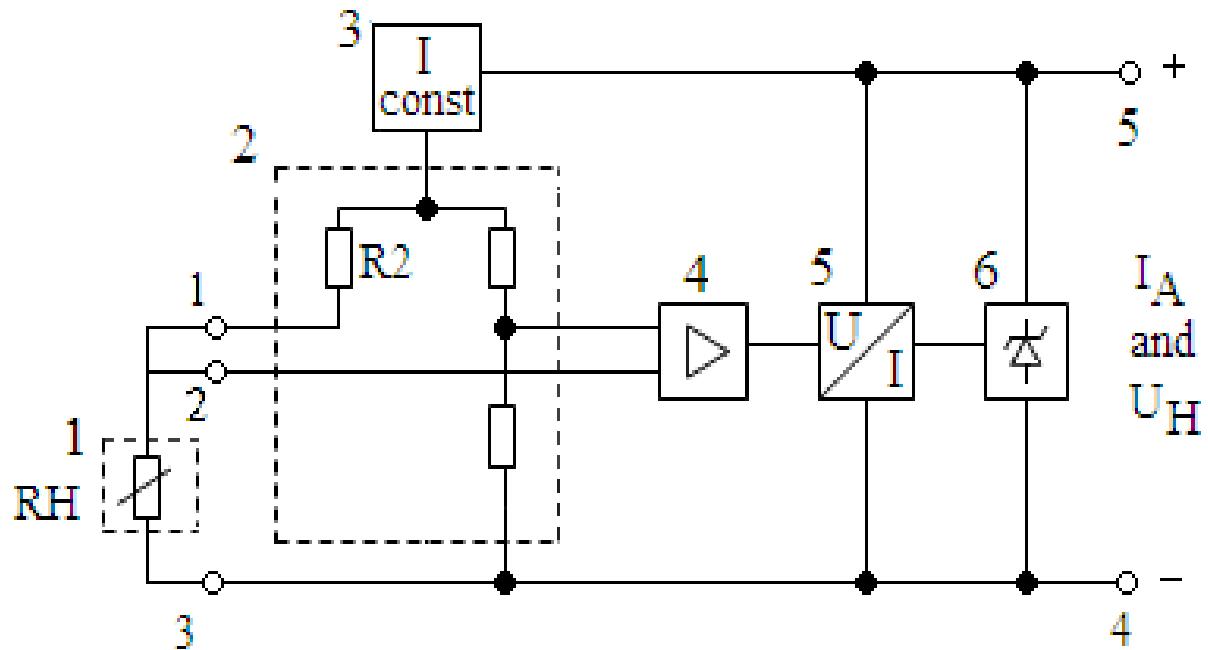
3- Dòng cung cấp (hằng)

5- Modul ra

2- Modul vào

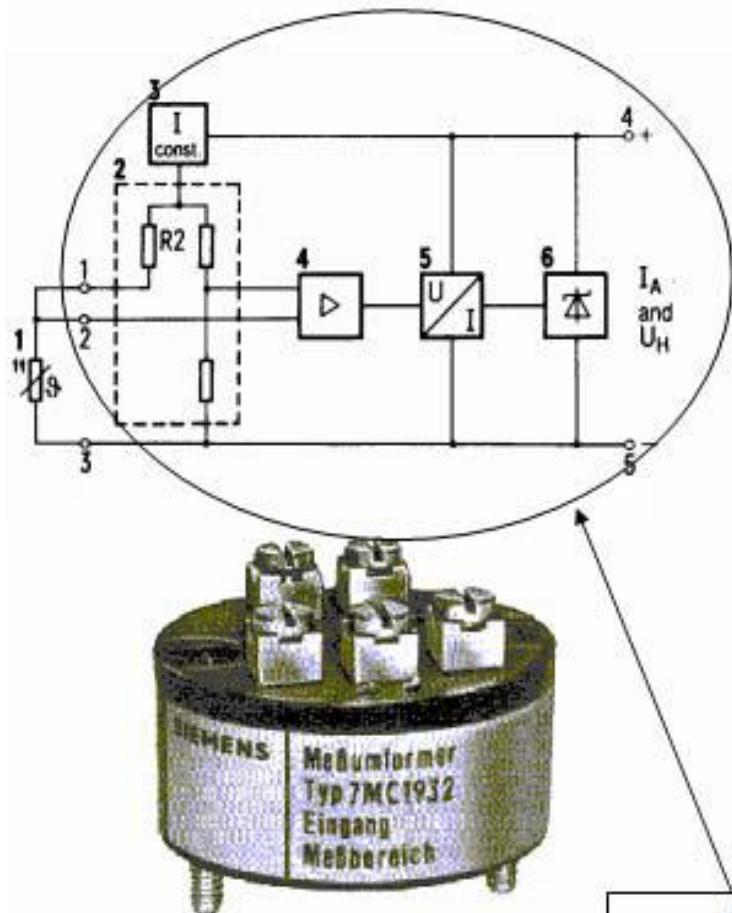
4- Khuếch đại điện áp một chiều

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 trong công nghiệp



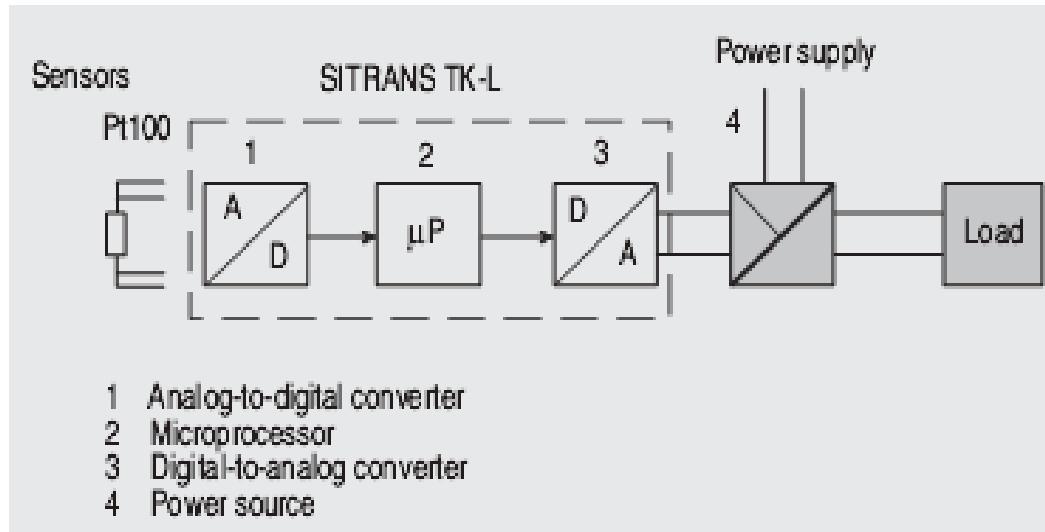
- ✓ Nguồn dòng 2.5mA tạo ra một sự biến thiên điện áp trên điện trở là 100mV/100°C.
 $R_T = R_0 (1+\alpha t); \quad \alpha = 0.385\% / {}^\circ C$
- ✓ Nếu R_T được cung cấp bằng nguồn dòng 259 mA thì khi nhiệt độ biến thiên 100°C
 $\Delta U = \Delta R_T \cdot I = 0.385 \times 2.58 = 100mV$
- ✓ Điện áp rơi trên R_T được đưa vào khuếch đại bù điện áp ở 0°C và biến đổi áp thành dòng (4-20mA) để đưa vào hệ thống thu thập số đo.

- 1- Nhiệt điện trở 2- Modul vào
3- Dòng cung cấp (hàng)
4- Điện áp một chiều khuếch đại
5- Modul ra 6- Điều chỉnh điện áp

Mạch chuẩn hóa

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.



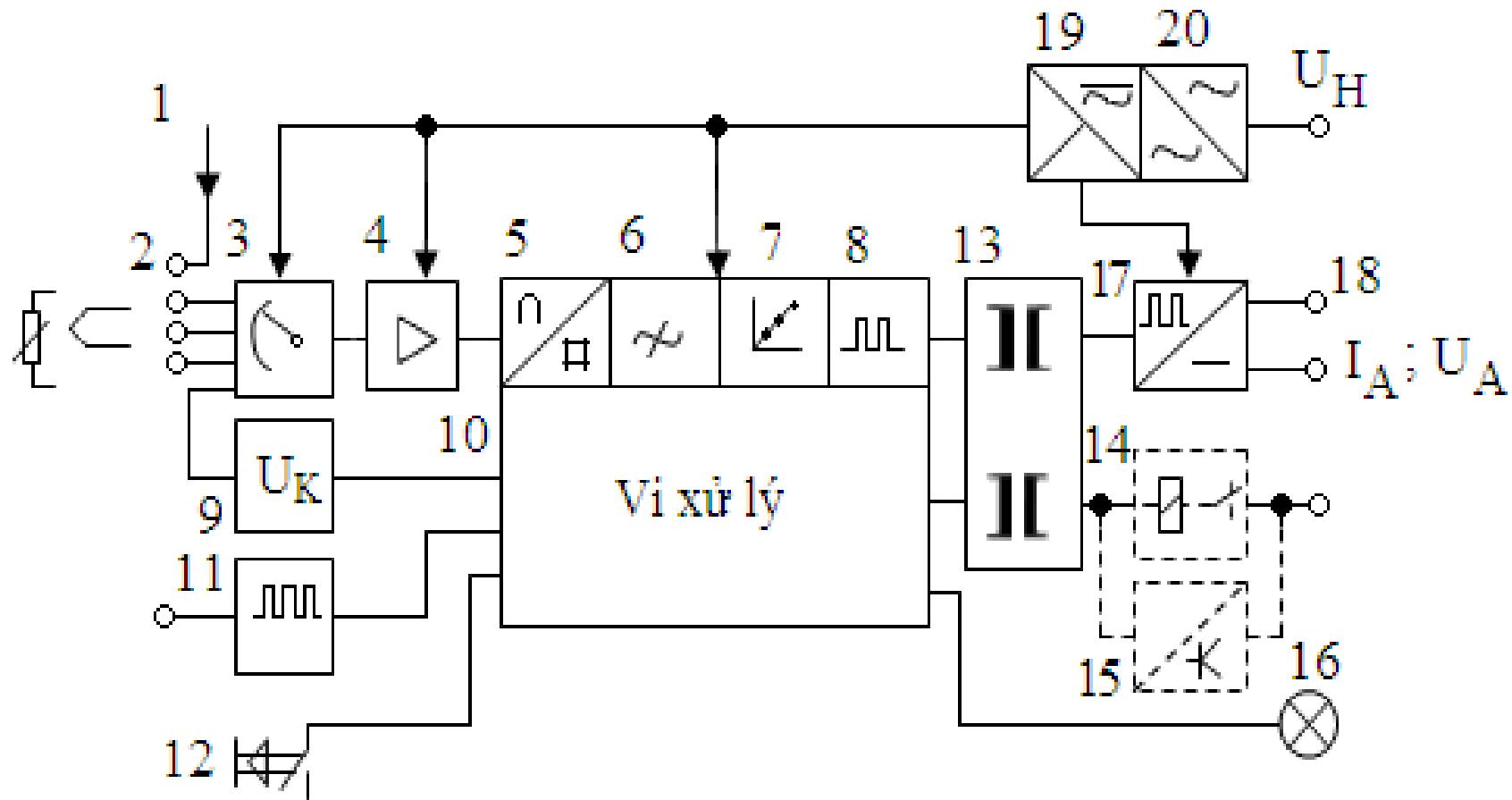
- Điện áp nhiệt điện trở đưa qua A/D biến thành số. Vì xử lý tính toán ra nhiệt độ, sau đó qua D/A thành dòng điện ra 4-20 mA ứng với khoảng đo của nhiệt độ vào. Vì xử lý còn làm nhiệm vụ tuyến tính hóa nhiệt kế.

Nhiệt điện trở

- Giải thích Pt100, Pt 500, Pt 1000?
- Tại sao Platin lại được sử dụng chủ yếu để chế tạo RTD?

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°C - 800°C . Người ta dùng nhiệt điện trở. Nguồn cung cấp tự chọn.

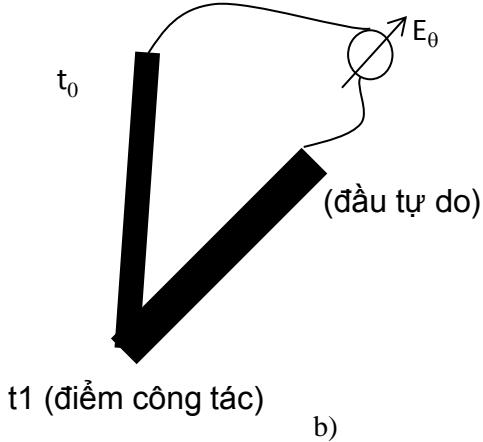
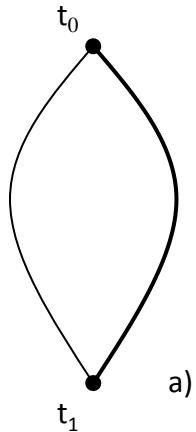
- Lựa chọn cảm biến thích hợp, thiết mạch đo, tính toán giá trị các linh kiện cho mạch?
- Hãy chọn mạch chuẩn hóa tín hiệu và tính toán các giá trị điện trở để đưa tín hiệu đo vào ADC có dải điện áp 0-5V?
- Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy $< 0.5^{\circ}\text{C}$, lựa chọn ADC. Biểu diễn giá 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

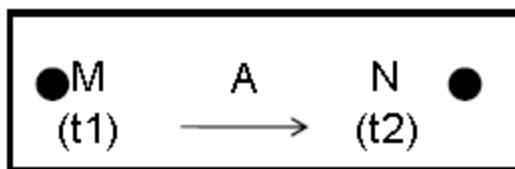
Cặp nhiệt điện

■ Nguyên lý:

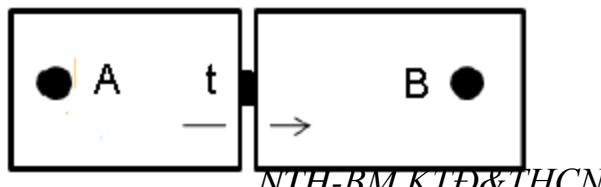
Hiệu ứng Thom son: với vật liệu đồng nhất A, trên nó có hai điểm phân biệt khác nhau là M và N có nhiệt độ tương ứng là t_1 và t_2 , thì giữa chúng sẽ xuất hiện một suất điện động :

$$E_{MN} = \int_{t_1}^{t_2} \delta dt$$

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 :

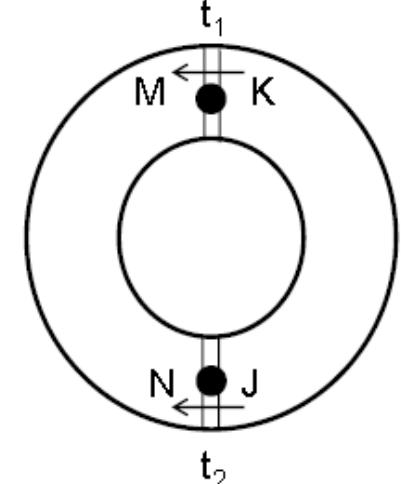
δ_A, δ_B là hệ số vật liệu thomson của hai vật

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 ($t=t_2-t_1$)

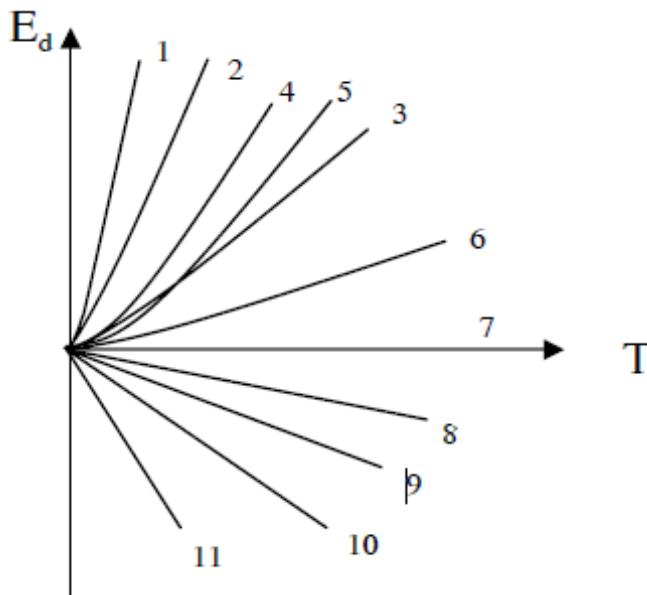
A, B, C là các hằng số phụ thuộc cặp nhiệt

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 lumen việc.
 - ❖ Dễ kéo sợi.
 - ❖ Có khả năng thay lần.
 - ❖ 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

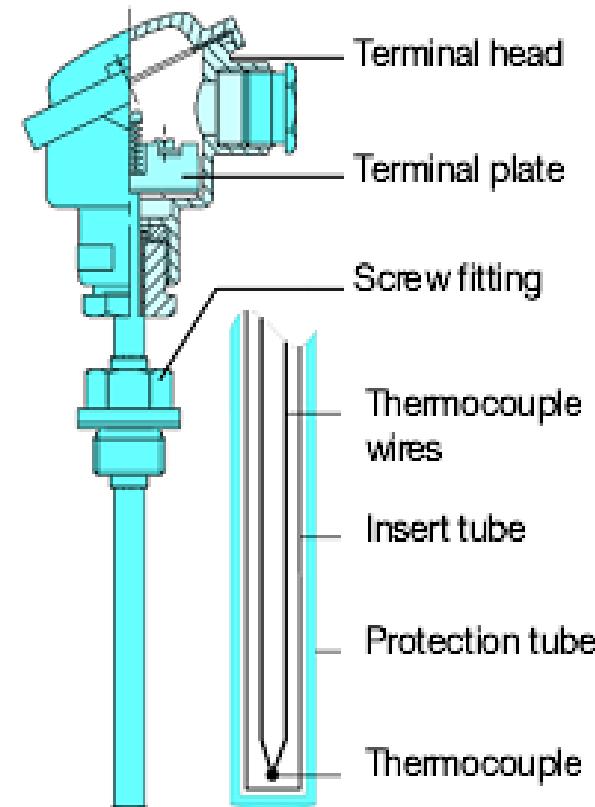
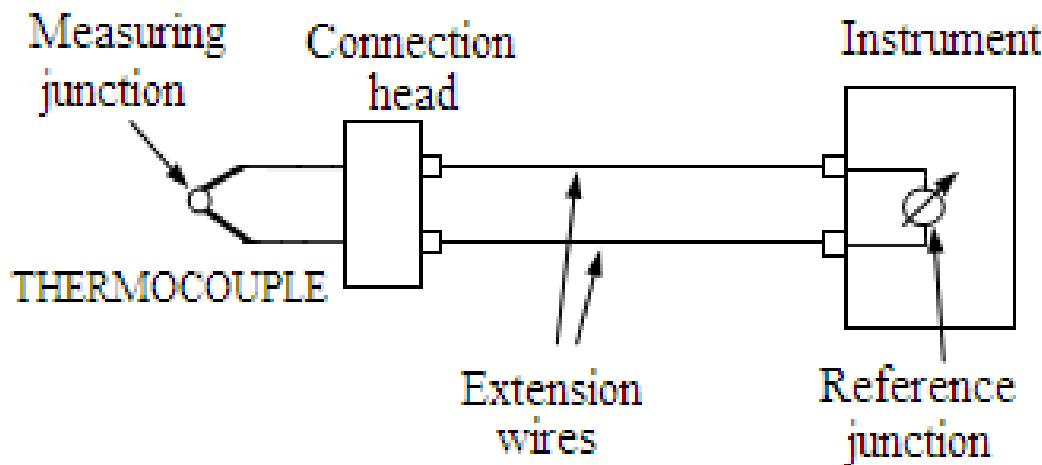
$$E_T = K_T (t_{\text{nóng}} - t_{\text{tự do}}) = K_T t_{\text{nóng}} - K_T t_{\text{tự do}}$$

E_T : sức điện động nhiệt ngẫu

K_T : độ nhạy của căp nhiệt ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)

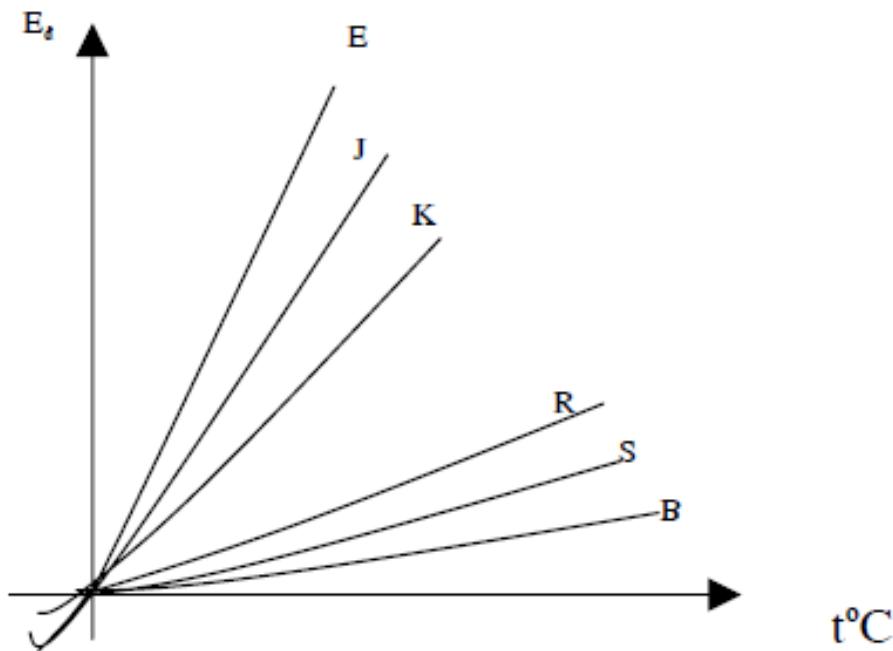
$t_{\text{nóng}}$: nhiệt độ đầu nóng (nhiệt độ cần đo)

$t_{\text{tự do}}$: 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%)

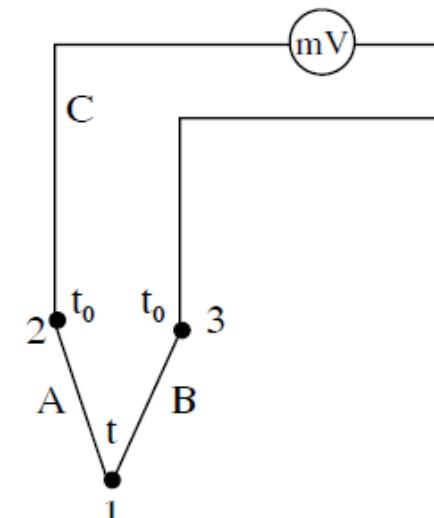
Đo nhiệt độ - hệ số K của một số cặp nhiệt

Table A.10. Characteristics of Thermocouple Types

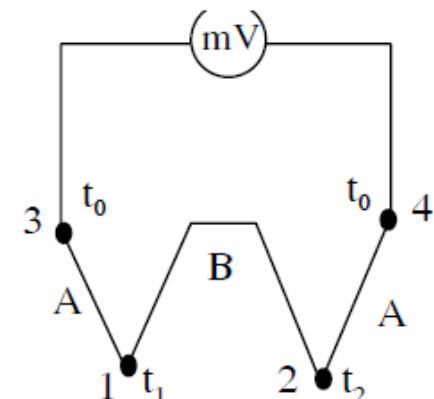
Junction Materials	Sensitivity (at 25°C) ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Temperature Range ($^\circ\text{C}$)	Applications	Designation
Copper/constantan	40.9	–270 to 600	Oxidation, reducing, inert, vacuum; preferred below 0°C; moisture resistant	T
Iron/constantan	51.7	–270 to 1000	Reducing and inert atmosphere; 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

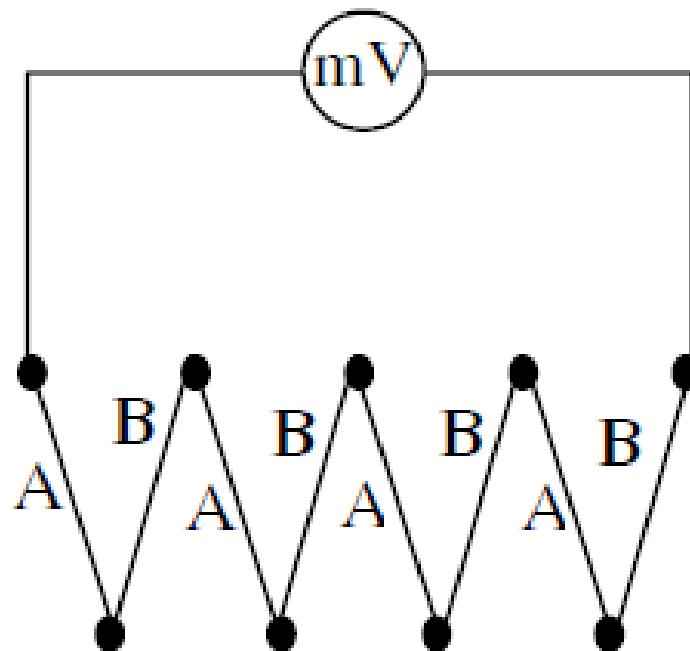


Sơ đồ đo vi sai

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

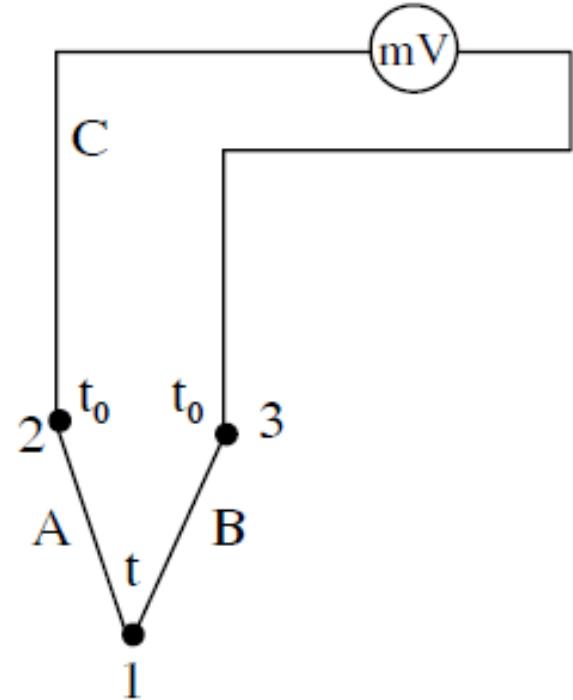
■ Ảnh hưởng của vôn kẽ

$$I = \frac{E_T}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$

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

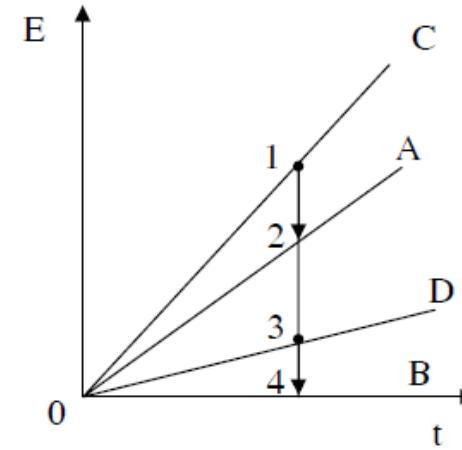
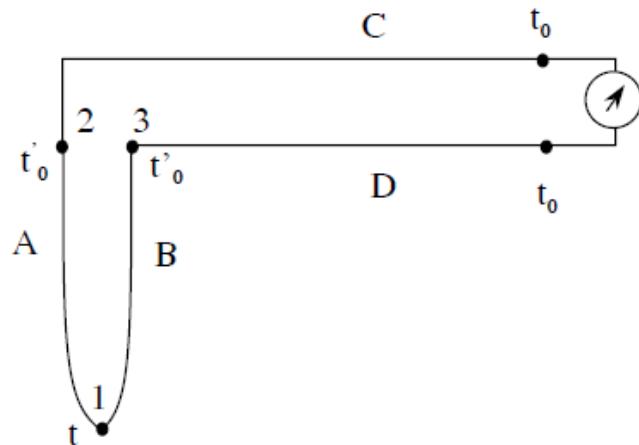
$$E = e_{AB}(t) - e_{CA}(t_0) + e_{BD}(t_0) - e_{CD}(t_0)$$

Chọn dây dẫn C và D sao cho $e_{CA}(t_0) = e_{DB}(t_0)$ ($\overline{12} = \overline{34}$), khi đó:

$$E = e_{AB}(t) - e_{CD}(t_0)$$

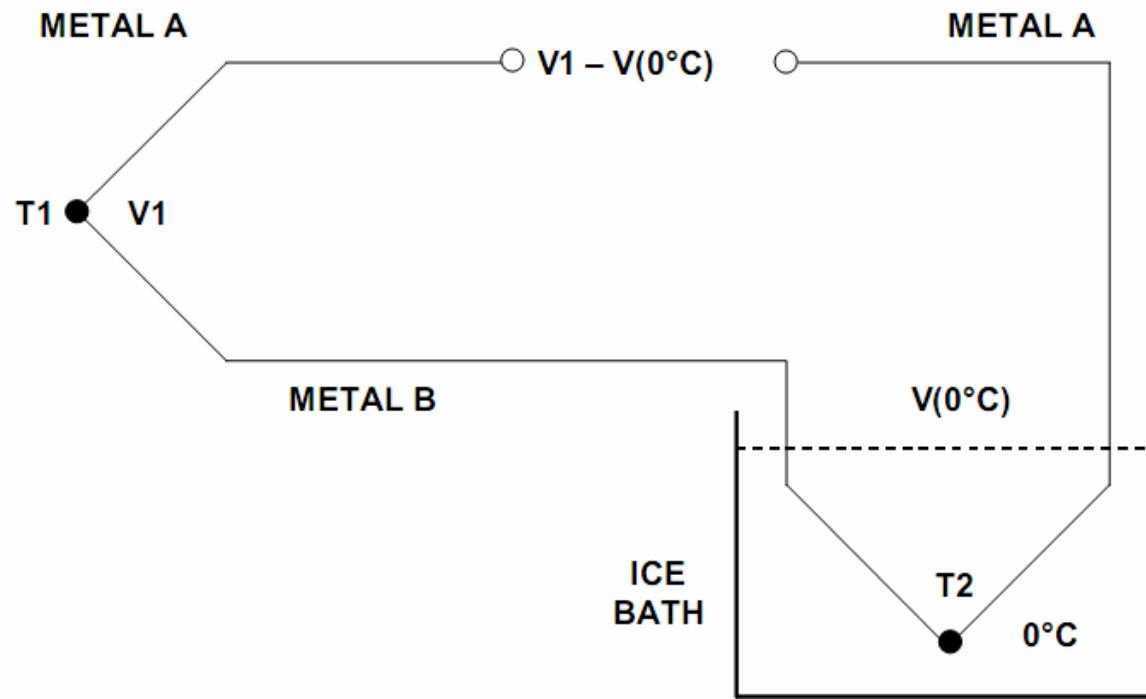
Vì $e(t_0) = 0$, nên:

$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$



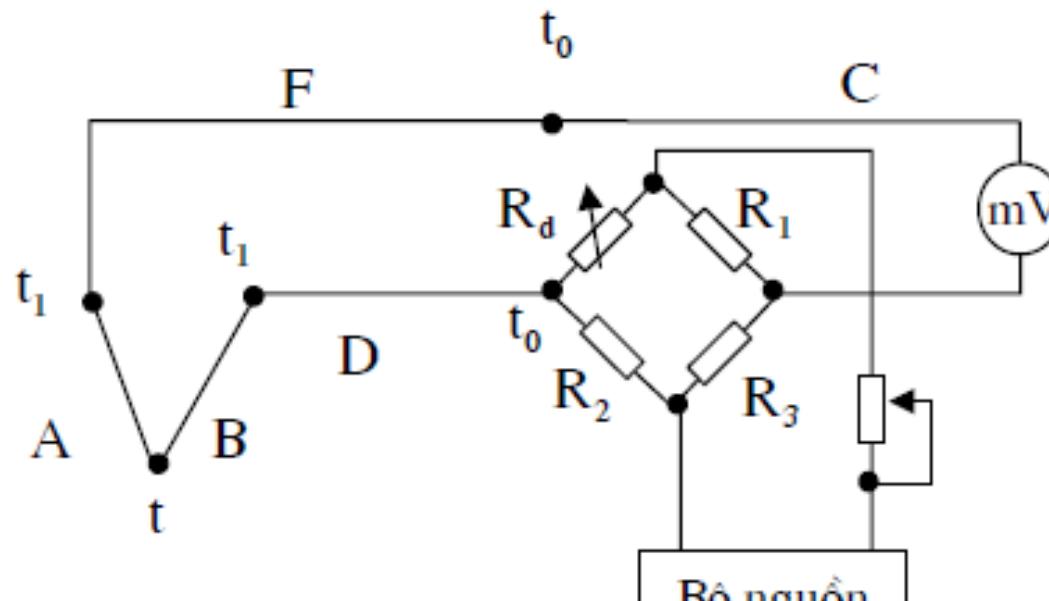
Mạch đo

■ Bù nhiệt độ đầu tự do



Mạch đo

Dùng cầu bù



$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{4} \frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{td}$$

Ta lại có

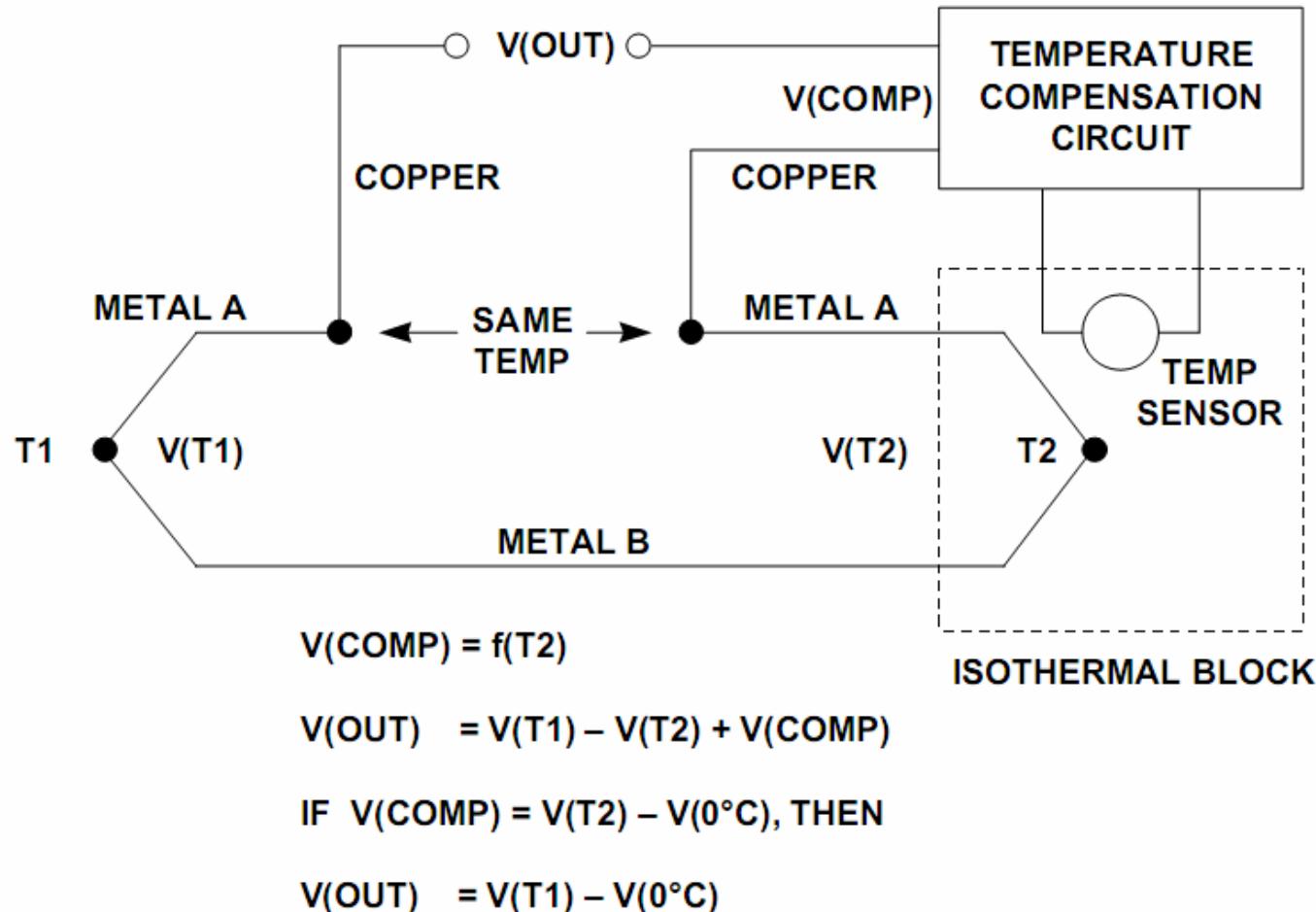
$$E_T = K_T (t_{nóng} - t_{tự do}) = K_T t_{nóng} - K_T t_{tự do}$$

Để bù ảnh hưởng của nhiệt độ đầu tự do ta có

$$K_T t_{tự do} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{tự do} \rightarrow U_{CC} = \frac{4K_T}{\alpha}$$

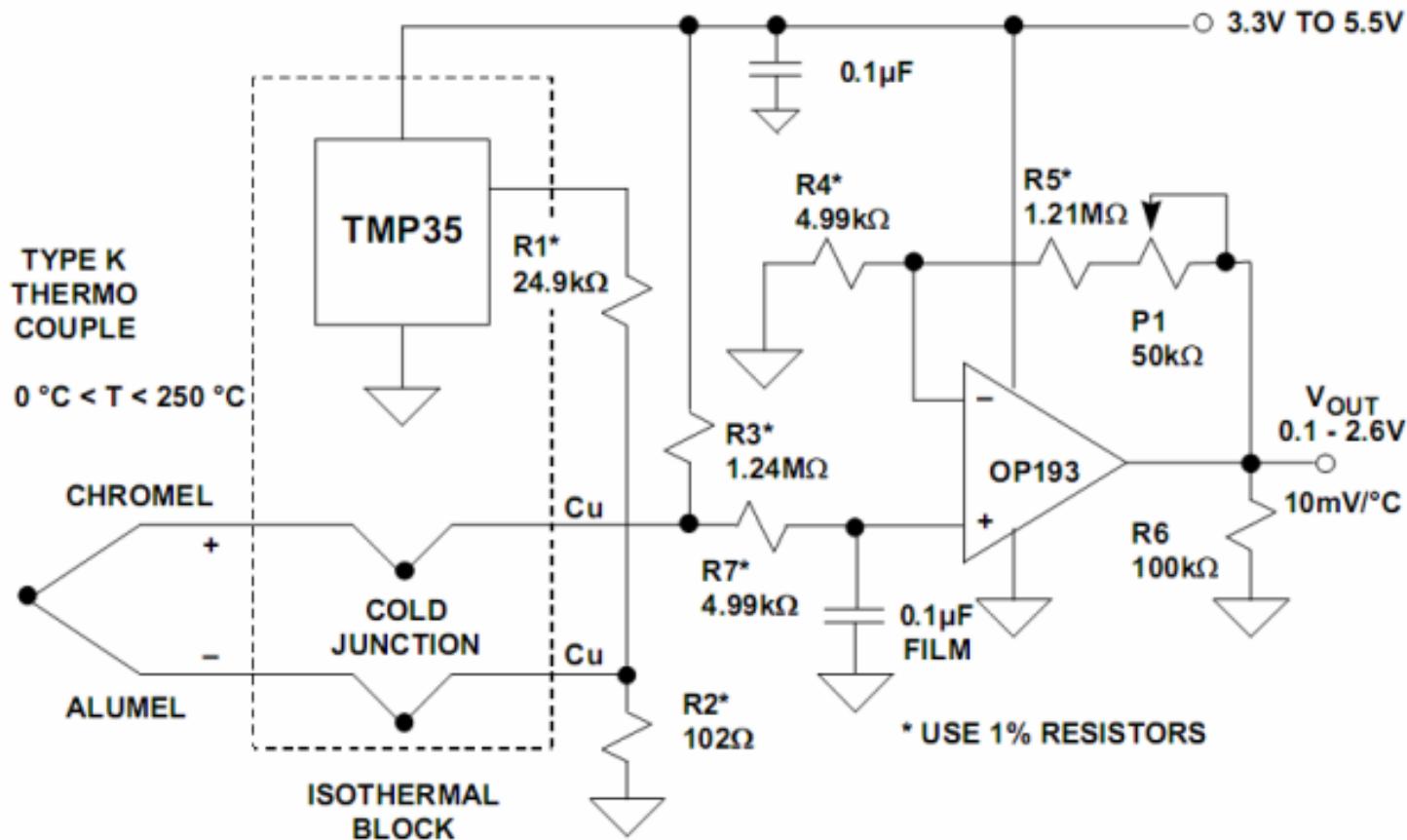
Mạch đo

Dùng mạch điện tử



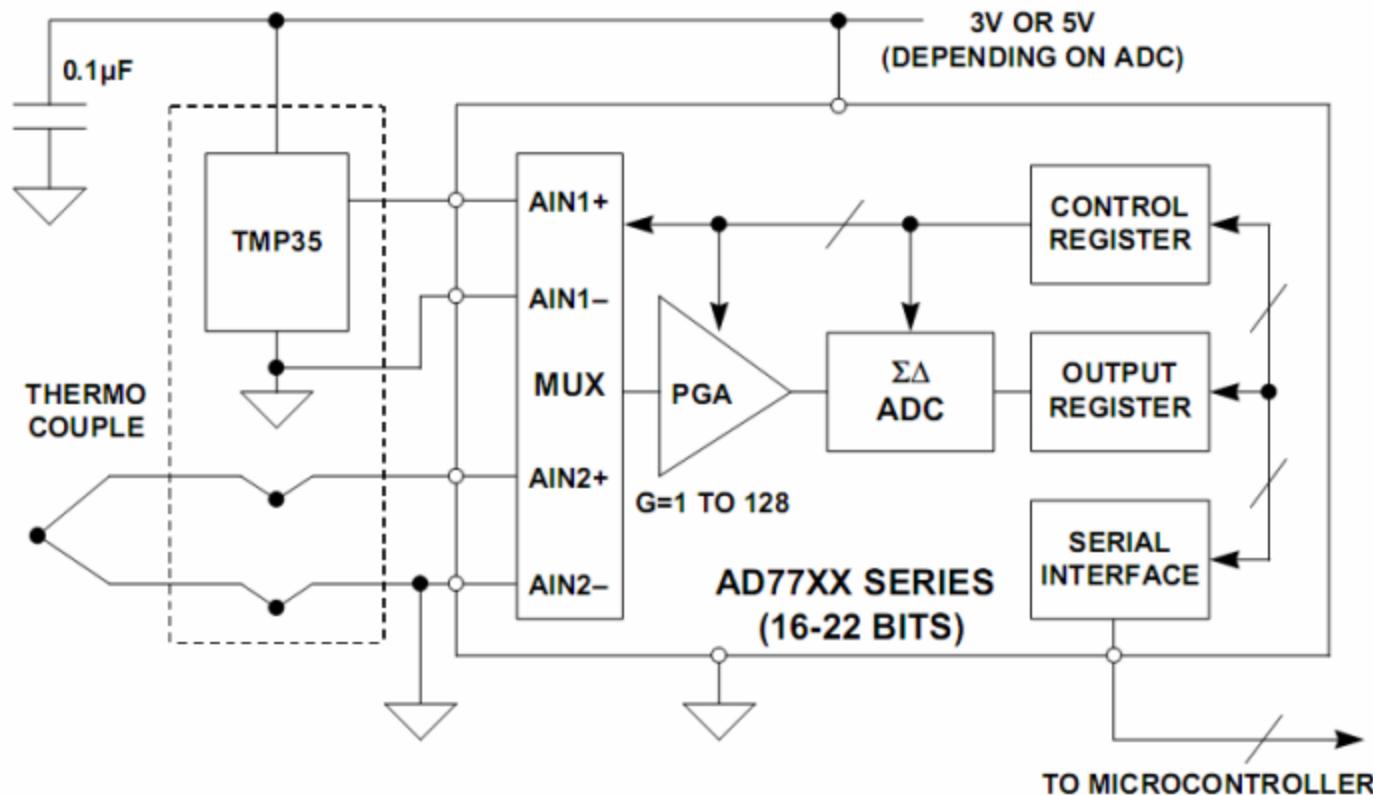
Mạch đo

Bù bằng mạch điện tử



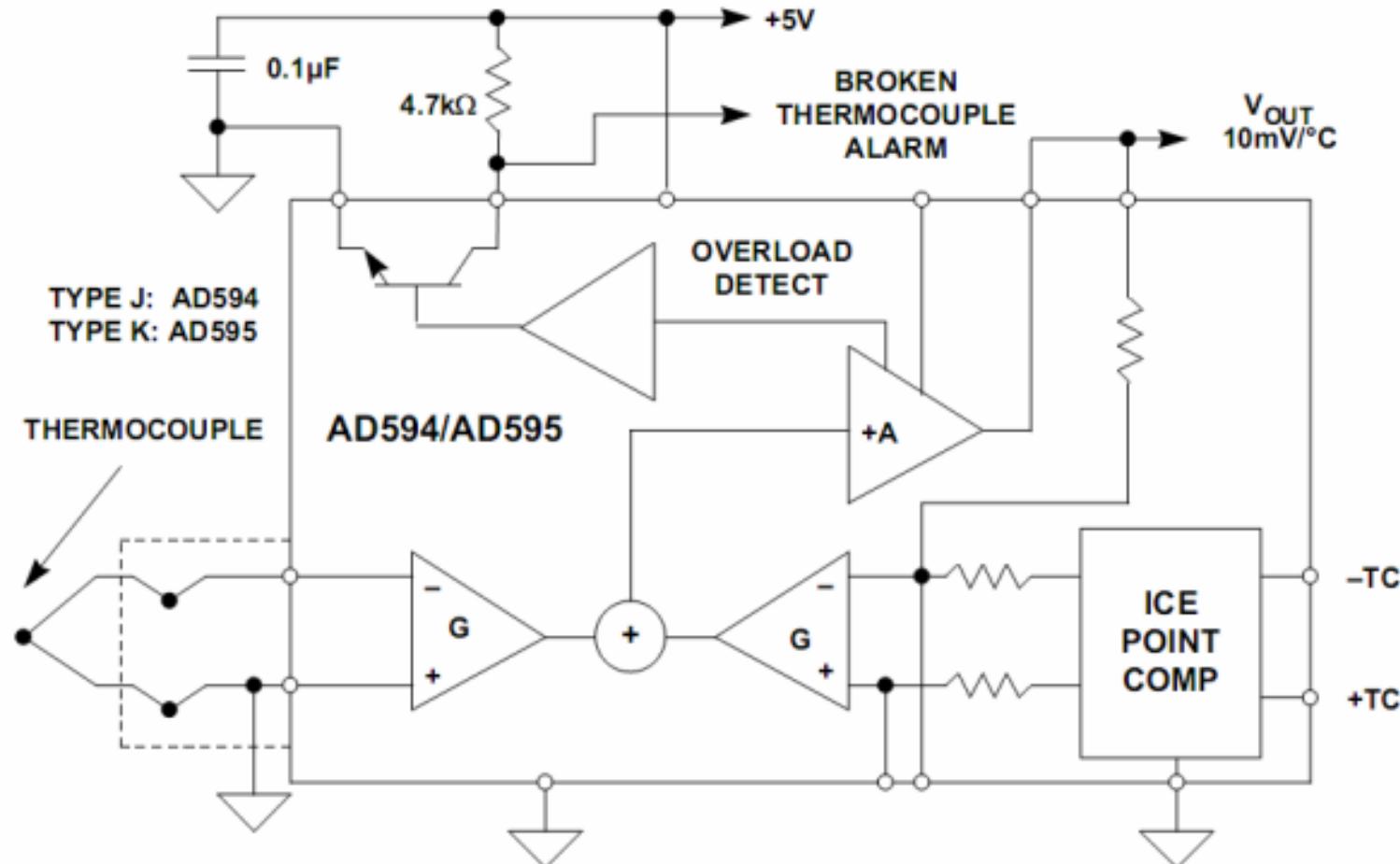
Mạch đo

Bù bằng vi điều khiển



Mạch đo

Bù bằng mạch điện tử



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

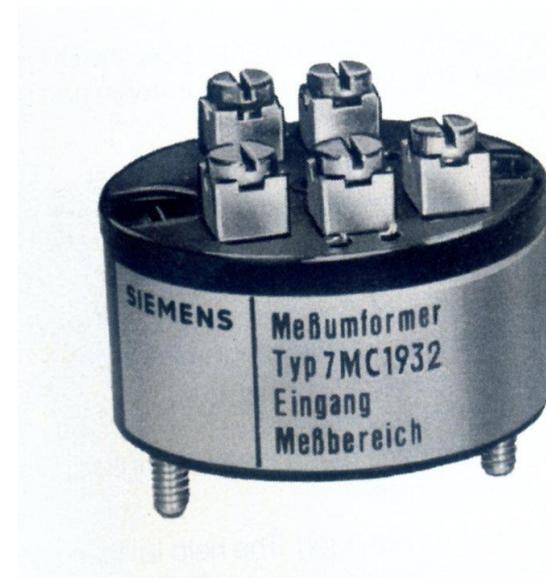
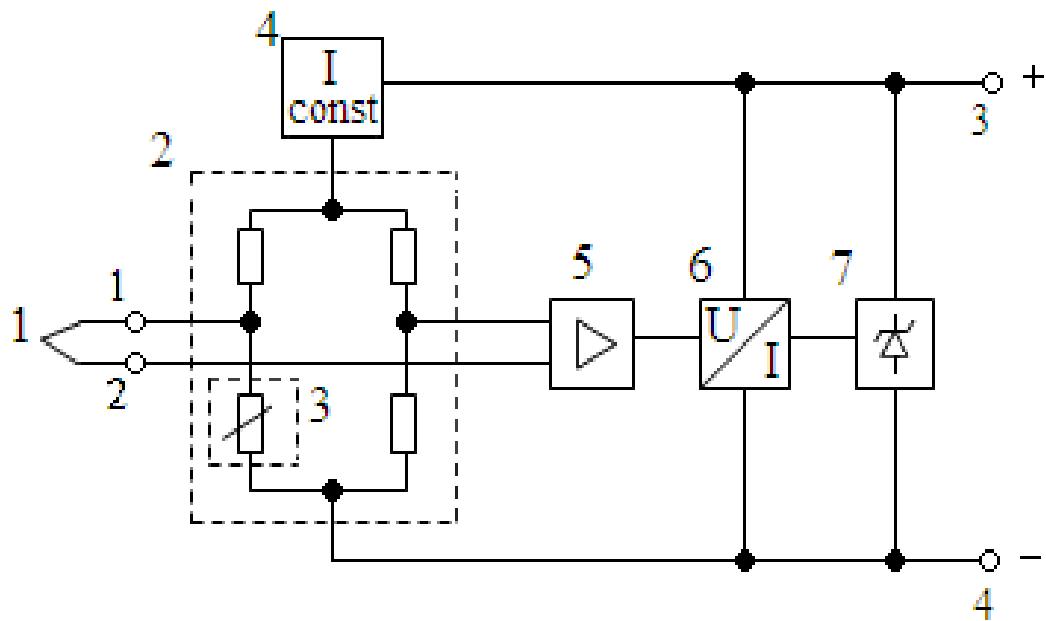
K_T – độ nhạy của cặp nhiệt

$t_{\text{nóng}}$ – 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.

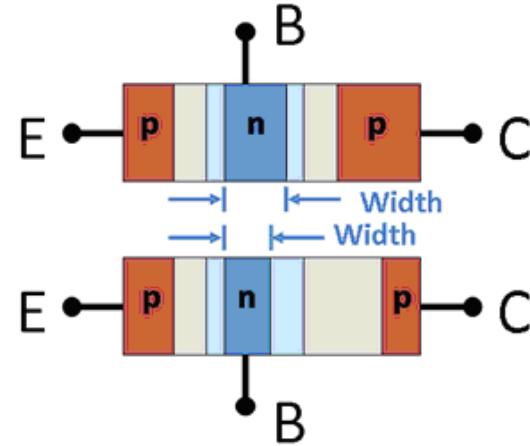
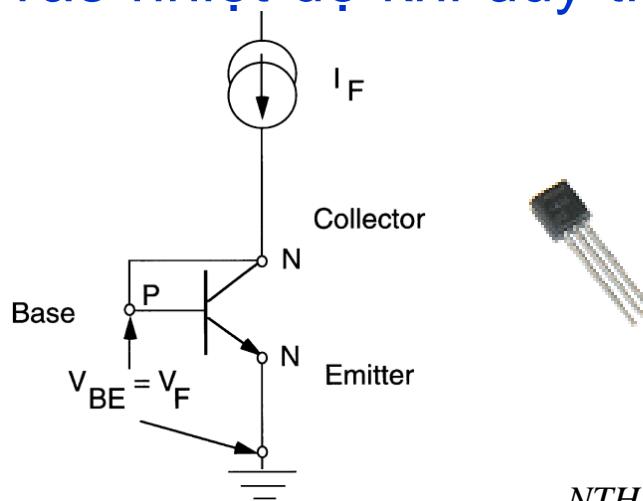


Sơ đồ nguyên lý của transmitter nhiệt ngẫu 7MC1932 của

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

Một cách gần đúng ta có $I_S = BT^3 \exp\left\{\frac{-qU_{go}}{KT}\right\}$ (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.

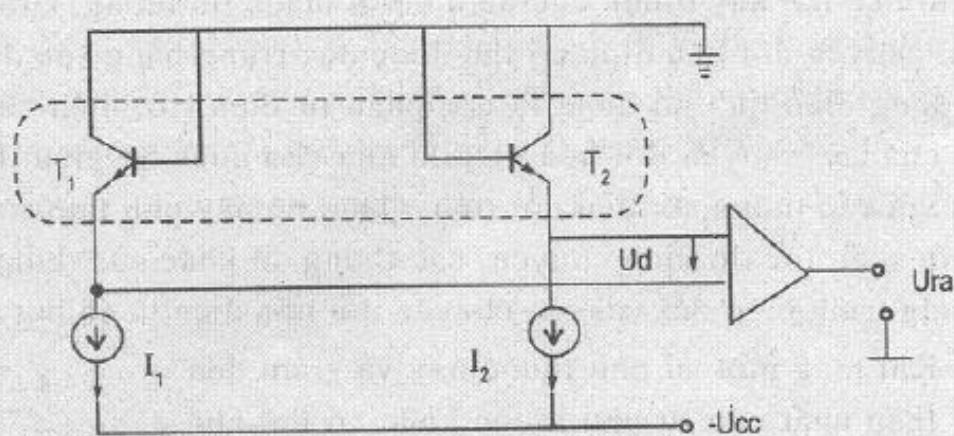
Từ công thức trên ta thấy quan hệ giữa U_{BE} và T là phi tuyến và phụ thuộc vào dòng I_C .

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.

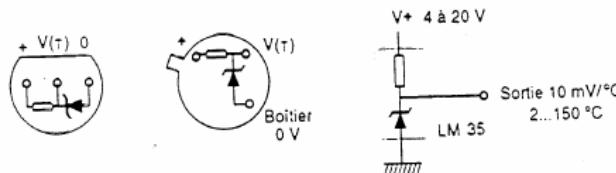
14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- 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.

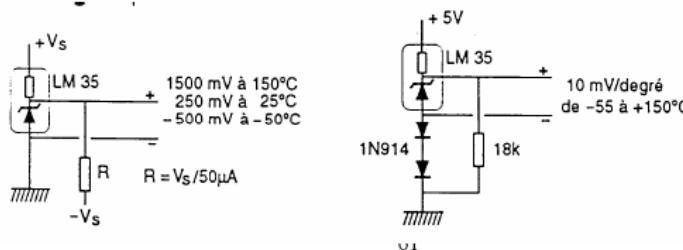
14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- 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



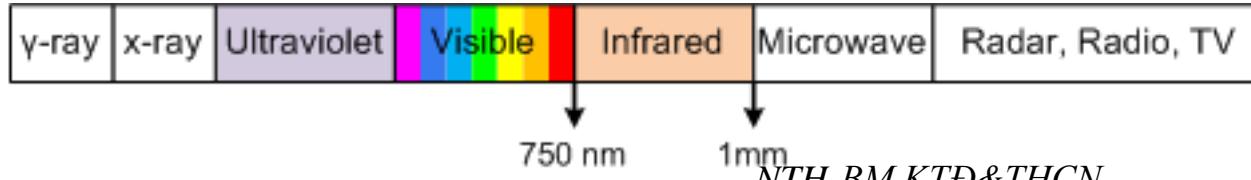
Đo không tiếp xúc

- 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

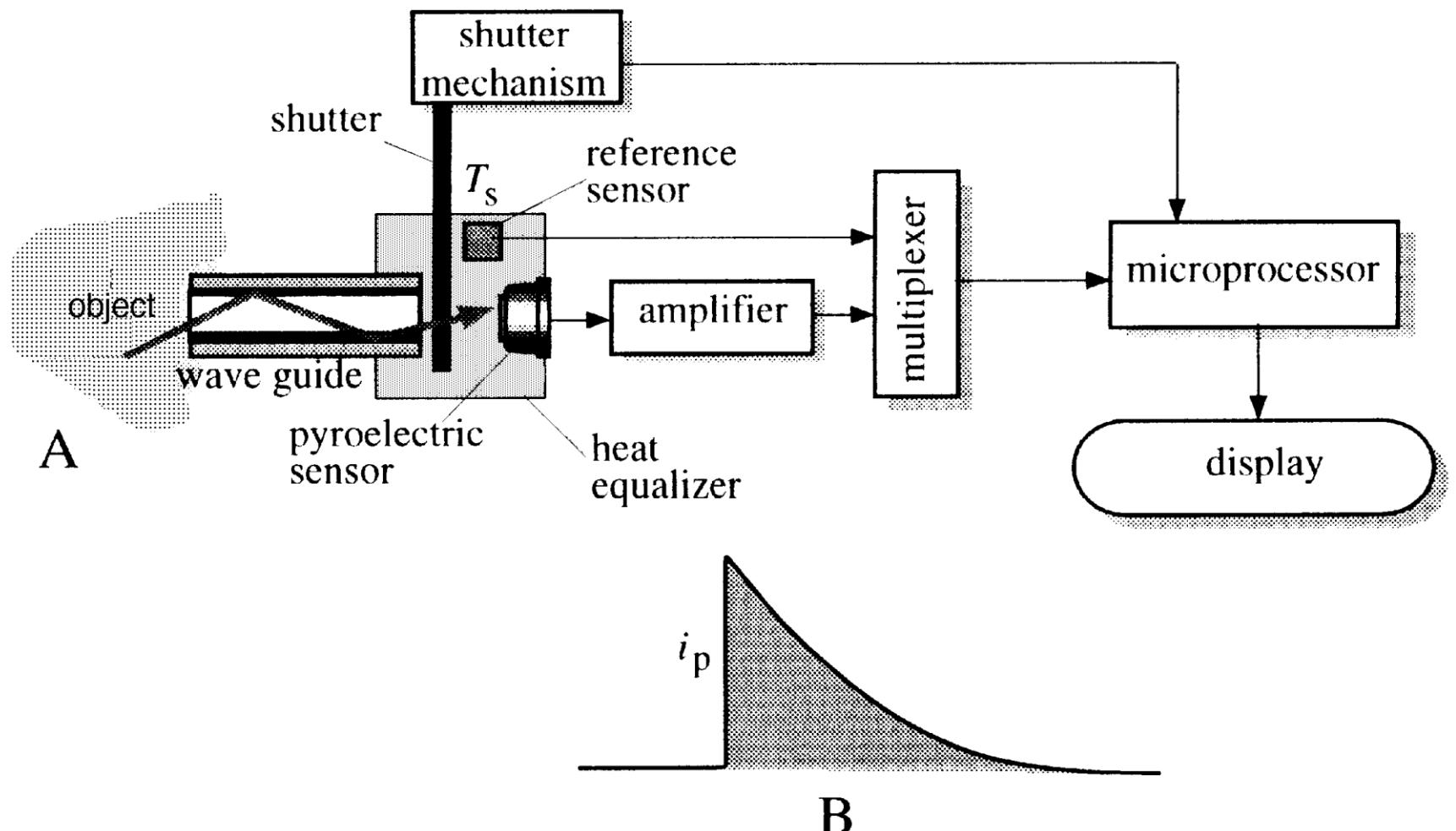


14.5 Đo bằng hồng ngoại

- Nhiệt kế hồng ngoại (IRT) cơ bản gồm có 4 thành phần:
 - ❖ Ống 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 $0.7\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$, 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

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda} d\lambda = C_0 \frac{T^4}{100}; \quad C_0 = 5.67 \left(\text{W / m}^2 \cdot \text{K}^4 \right)$$

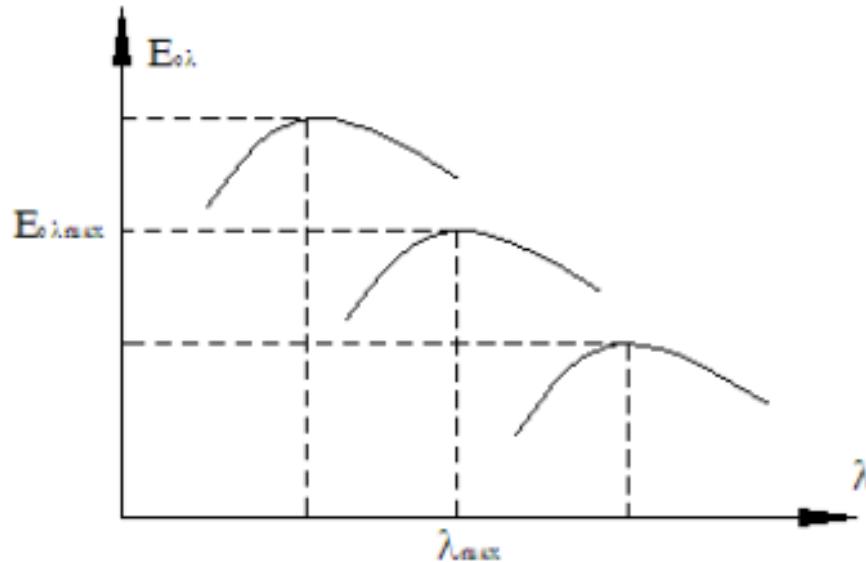
14.6 Hỏa quang kế

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)

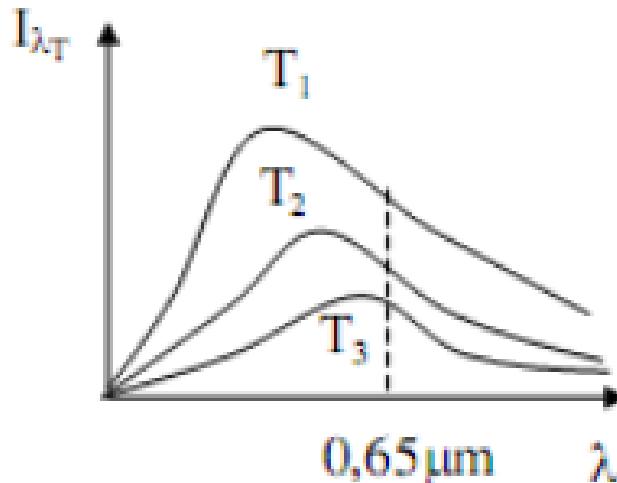
$$T = f \left(\frac{E_{0\lambda_1}}{E_{0\lambda_2}} \right)$$



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

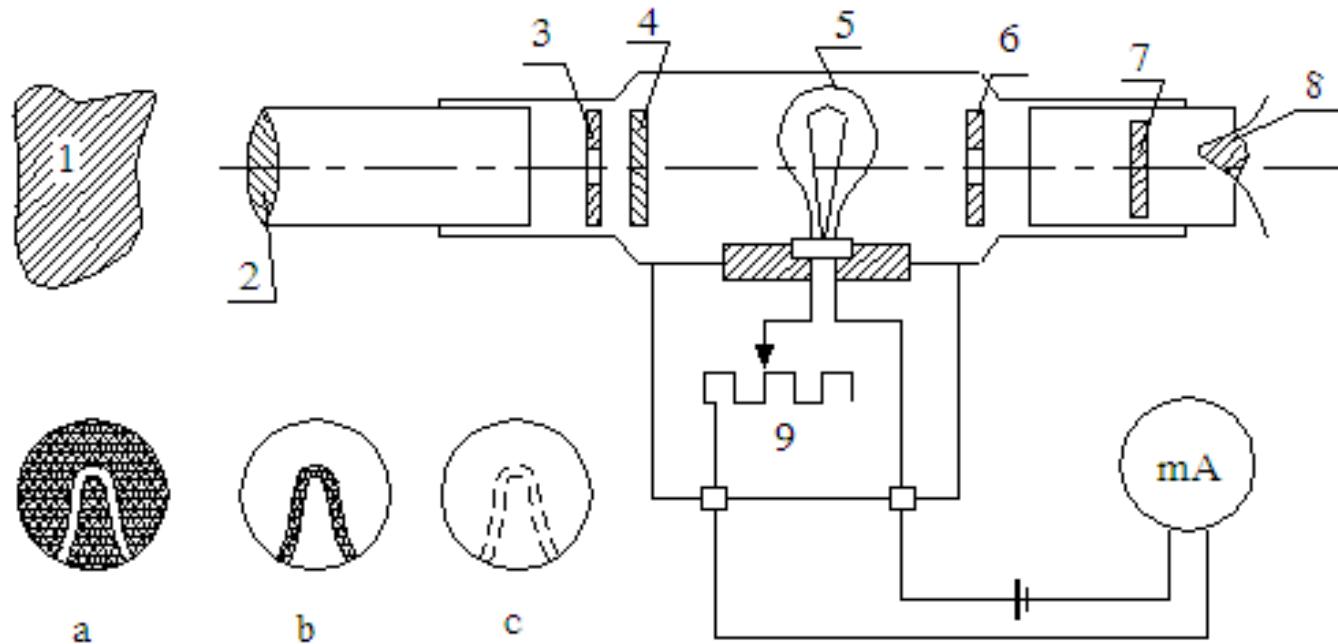
Sự phụ thuộc giữa I và λ không đơn trị, do đó người ta thường cố định bước sóng ở $0,65\mu\text{m}$.



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 đỗ (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

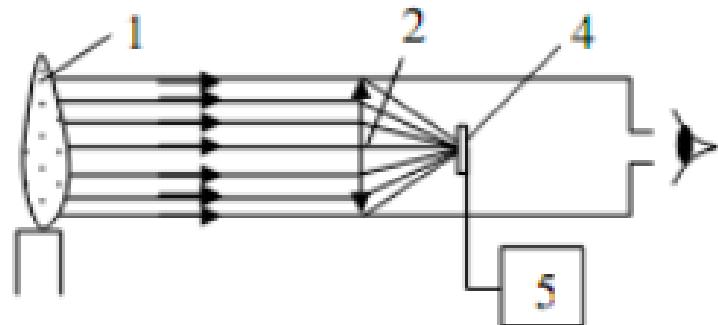
σ_T - hệ số phát xạ tuyệt đối

- Hỏa quang kế bức xạ gồm một bộ cặp nhiệt kích thước nhỏ gồm 10 cặp 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 cặp nhiệt và phát ra sức điện động nhiệt điện

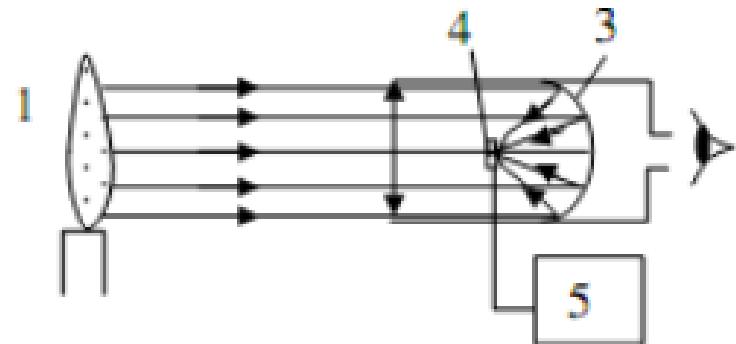
$$E_T = K_T \cdot E_{BX} = K_T \cdot \sigma_T \cdot T^4$$

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)

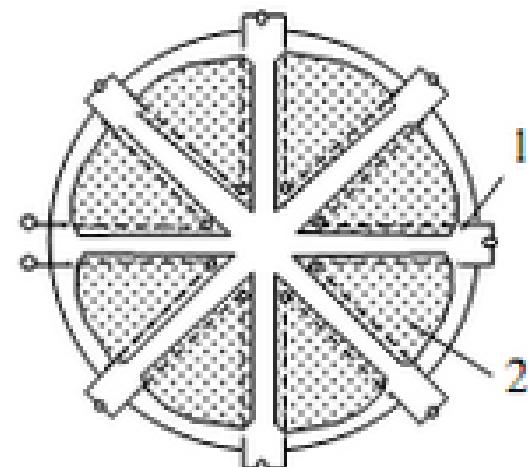
- 1) Nguồn bức xạ
- 2) Thấu kính hội tụ
- 3) Gương phản xạ
- 4) Bộ phân thu năng lượng
- 5) Dụng cụ đo thứ cấp

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

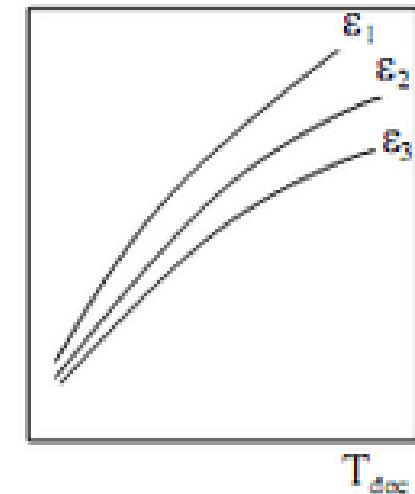


Hỏa quang kế bức xạ

- 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

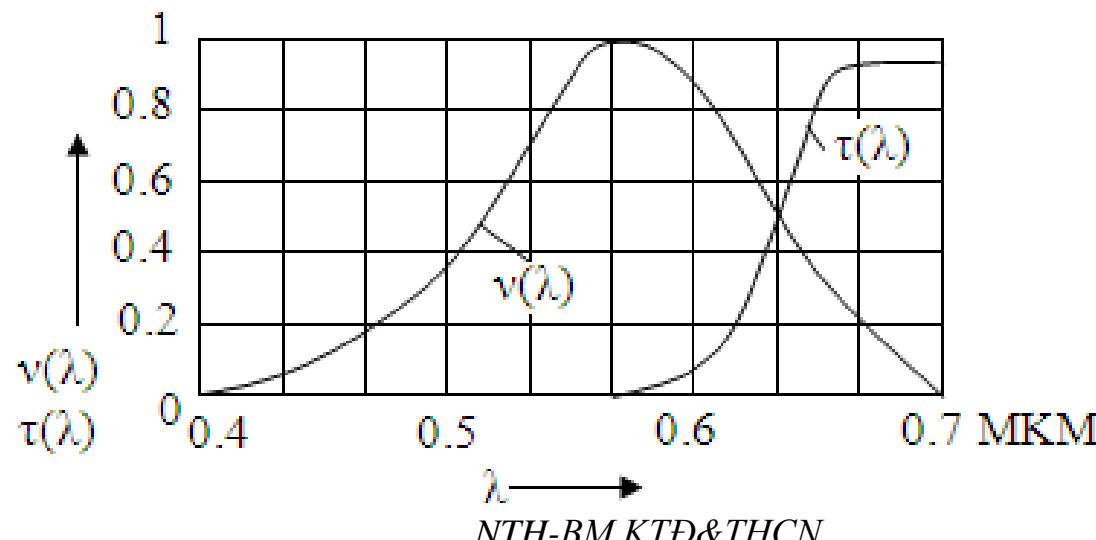
- Trong các hỏa quang kế, trước kia người ta phải bố trí hệ thống máy ngắm để cho ảnh thật của đối tượng trùng với tiêu điểm của bộ thu
- Hiện nay cũng có những photo điốt hồng ngoại thay thế cho bộ thu của hỏa quang nói trên.. Ngày nay người ta đặt một điốt lazer phát ra một chùm tia hẹp song song với 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

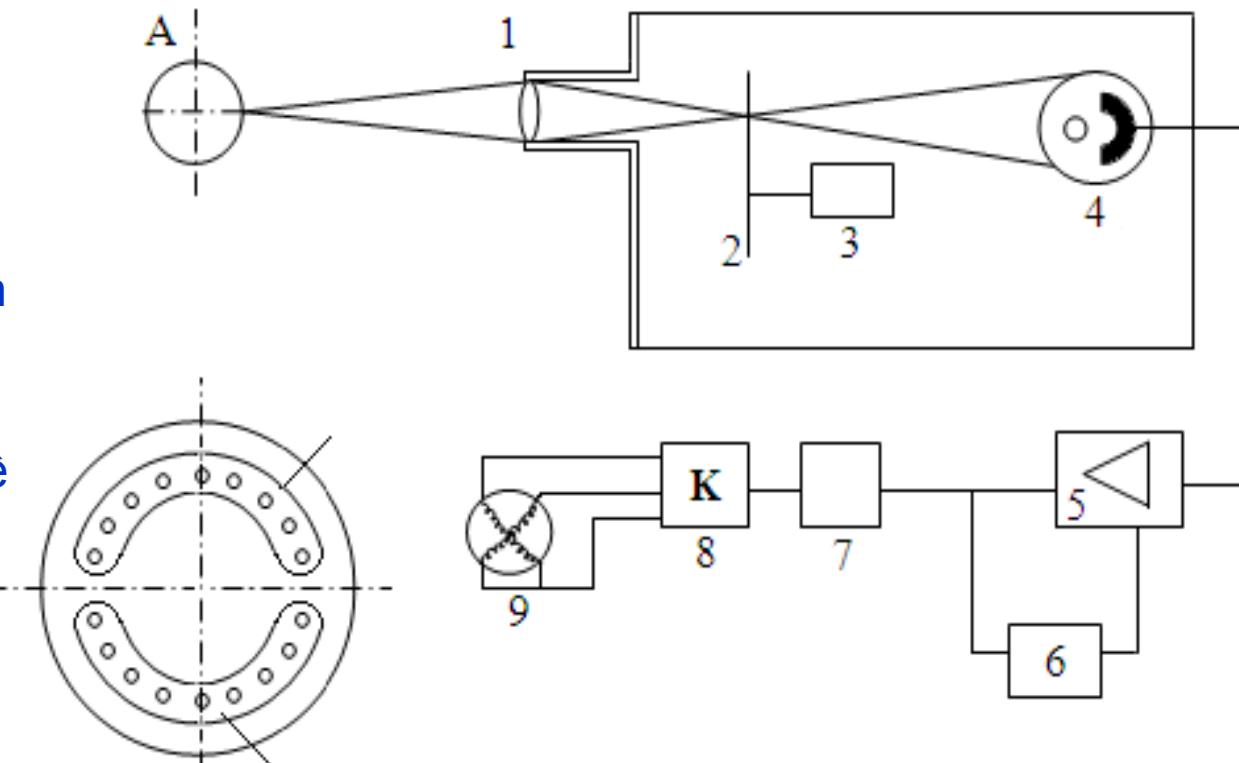
5 Khuếch đại

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

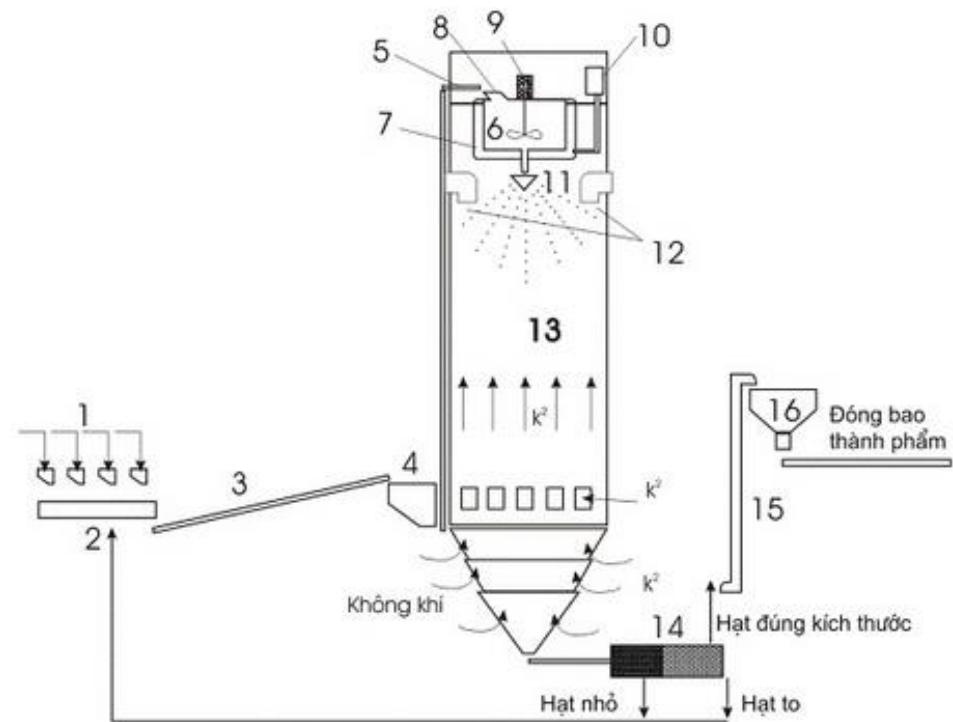
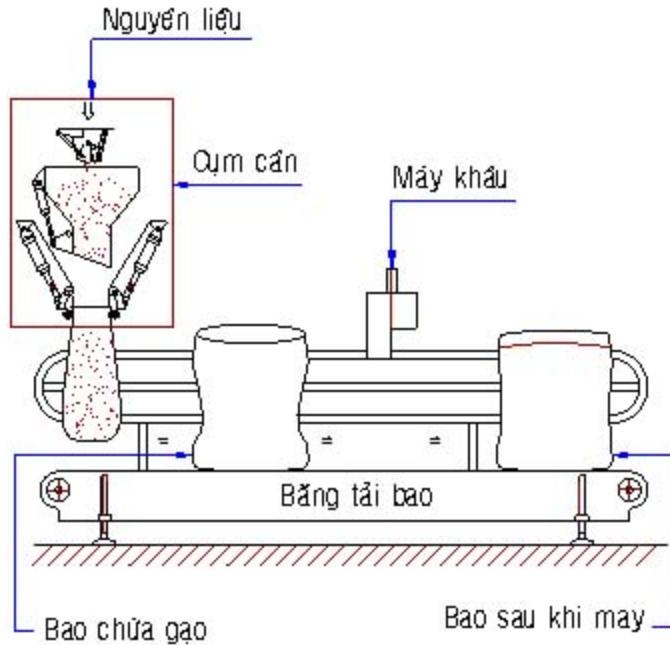
■ Trong đời sống



"Don't step on it... it makes you cry."

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

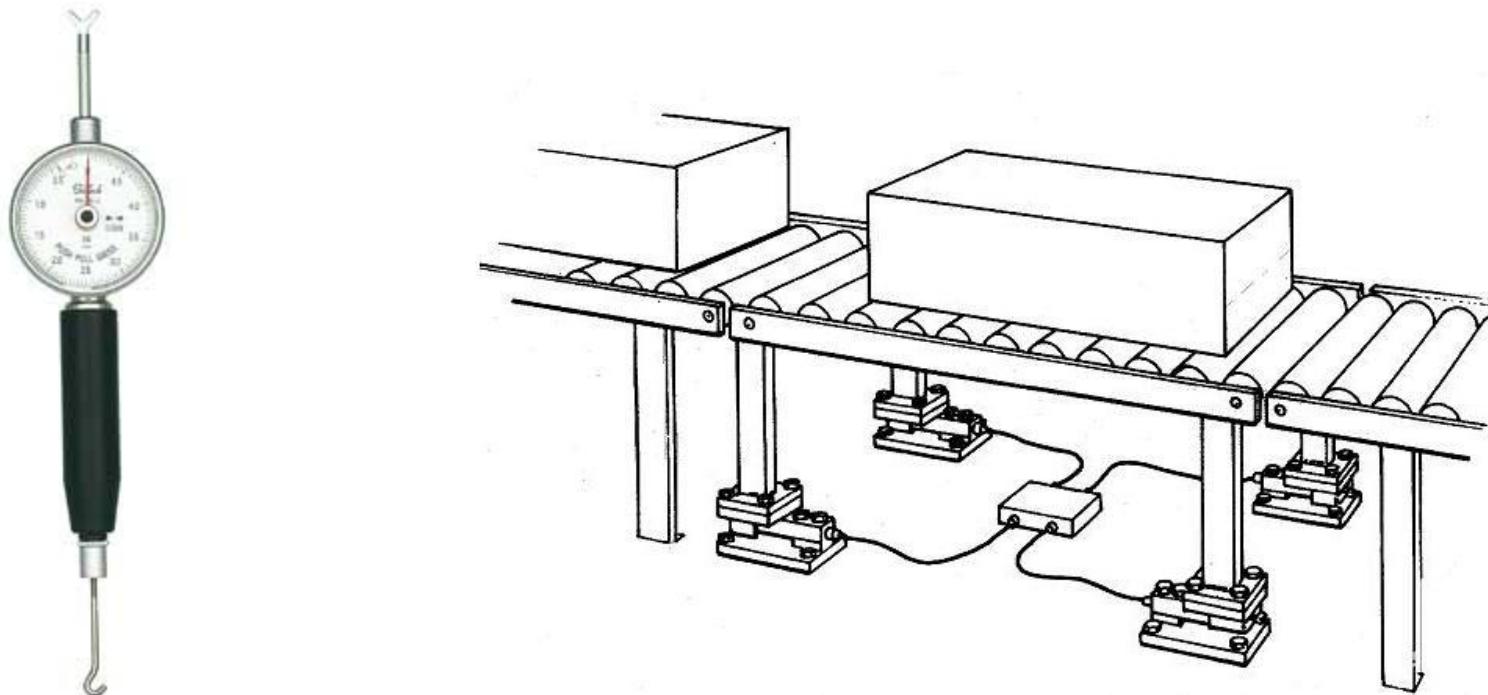
$$F=m.a.$$

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

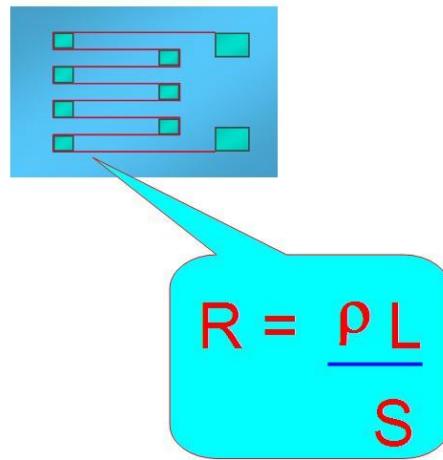
■ **Loadcell được cấu tạo từ 3 bộ phận chính:**

- ❖ 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

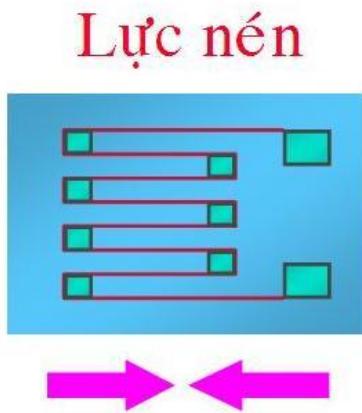
Điện trở lực căng (Strain gauge - tenzo)

- 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

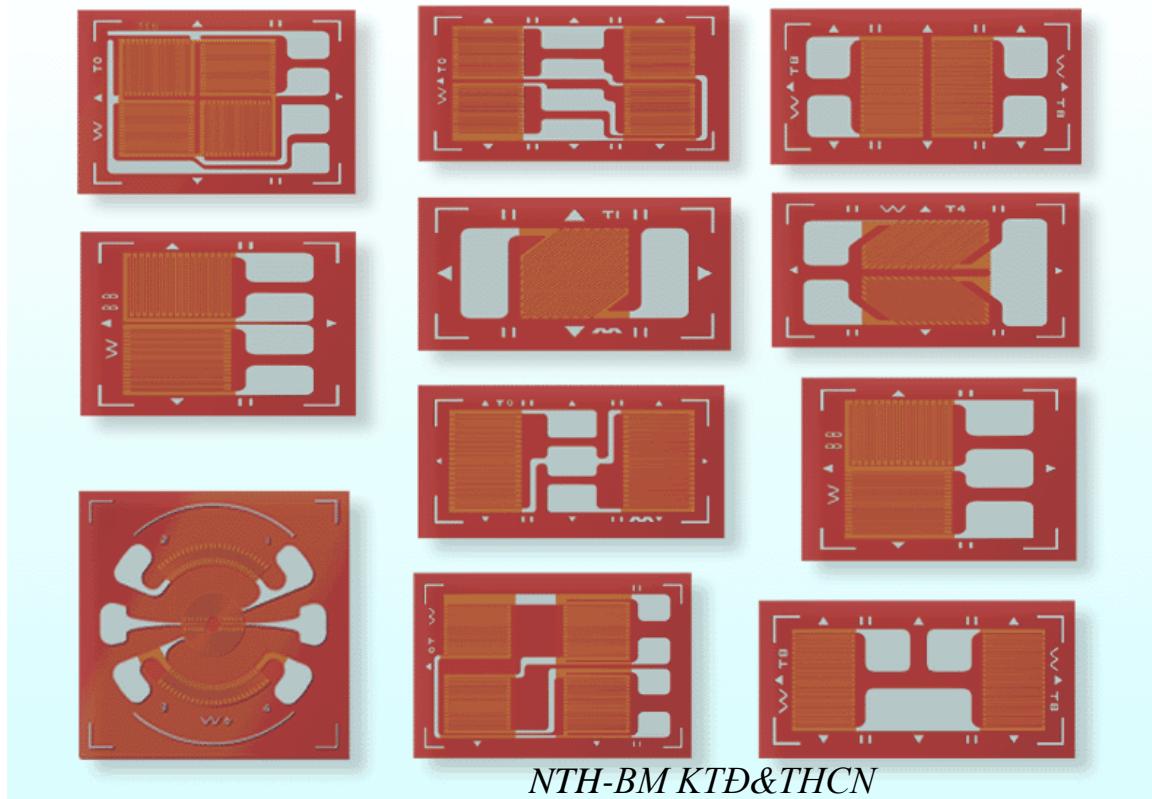


Điện trở
tăng

- 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), niken...

Chương 15: Đo Lực

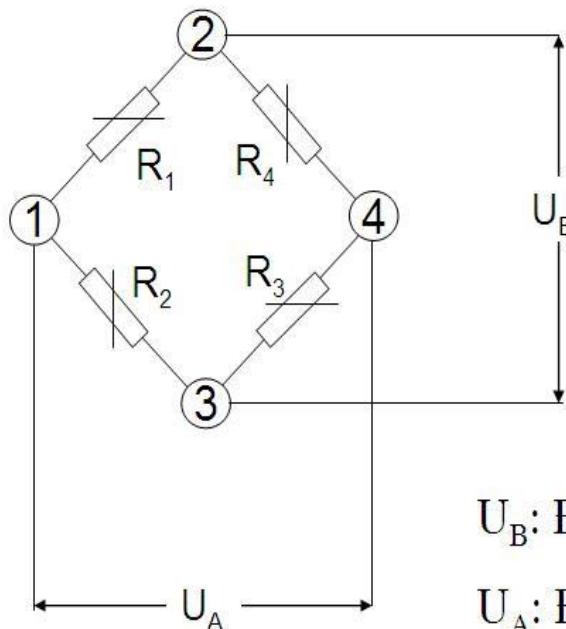
- Hầu hết các nhà sản xuất strain gauge cung cấp nhiều loại strain gauge khác nhau để phù hợp với các sản phẩm Loadcell khác nhau, các ứng dụng trong nghiên cứu và công nghiệp dự án khác nhau



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.

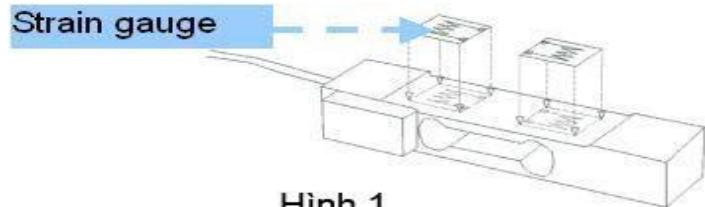


U_B : Điện áp cung cấp
 U_A : Điện áp tín hiệu ra

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



Hình 1



1) Loadcell bị biến dạng

2) Strain gauge bị biến dạng theo

3) Điện trở của các strain gauge bị thay đổi

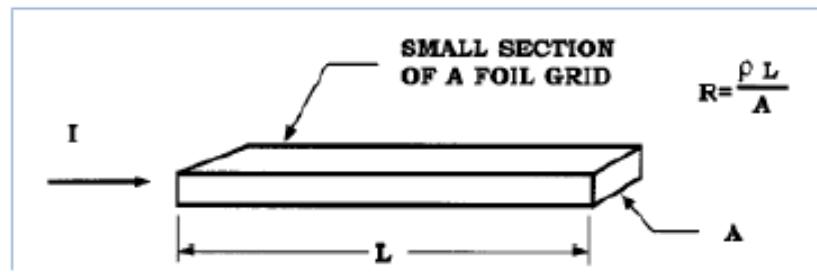
Hình 2

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

Ta có $\frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$
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

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

Độ nhạy của chuyển đổi: $K = \varepsilon_R / \varepsilon_l = 1 + 2K_p + m$

Chương 15: Đo Lực

Tế bào tải (loadcell)

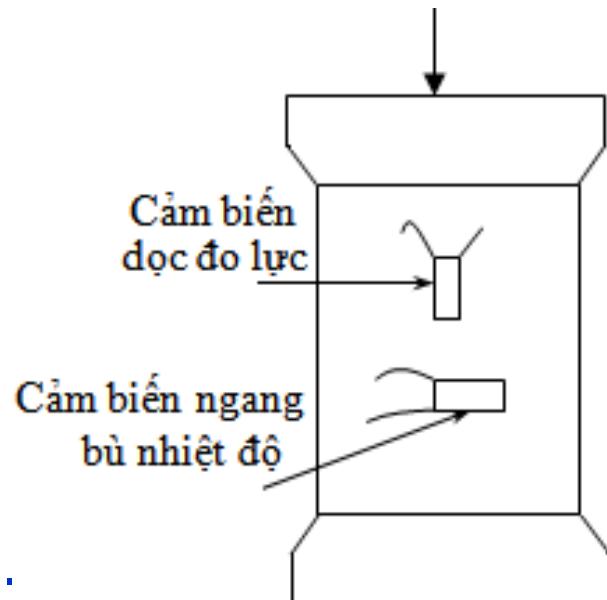
- Tế bào tải là một kết cấu đòn hồi bằng thép chất lượng cao, đảm bảo giải biến dạng đòn hồi rộng
- Biến dạng được tính:

$$\varepsilon_1 = \frac{F}{SE}$$

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;

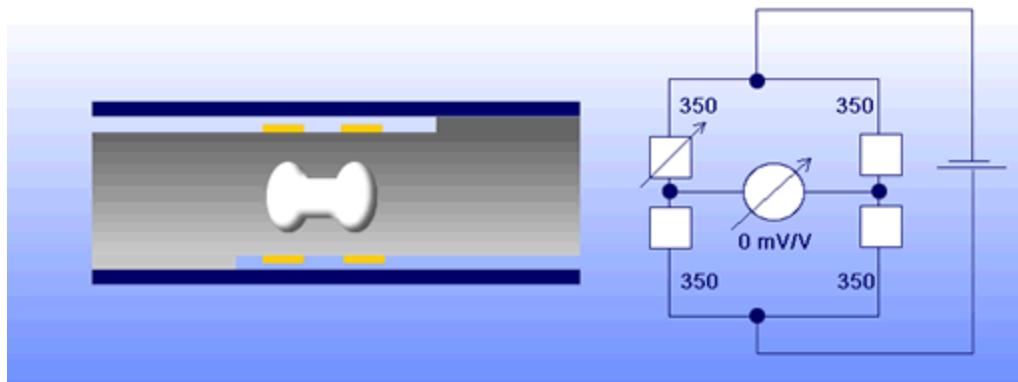
k: độ nhạy của cảm biến điện trở lực căng.

Chương 15: Đo Lực

- Khi chế tạo xong, nhà chế tạo cho ta độ nhạy của loadcell là:

$$\frac{\Delta U}{U_{CC}} = \frac{k\varepsilon_1}{2} \quad (mV/V)$$

- 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 ?

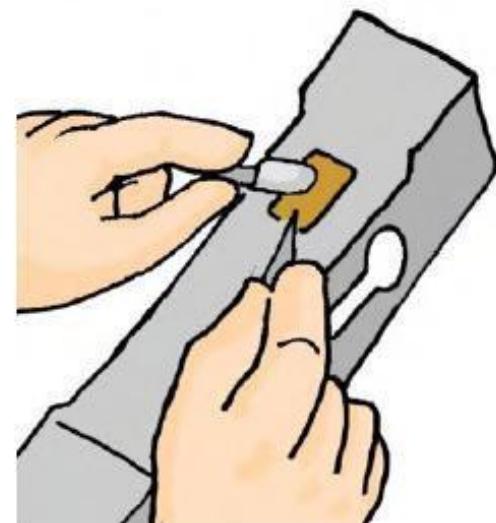
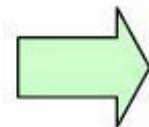
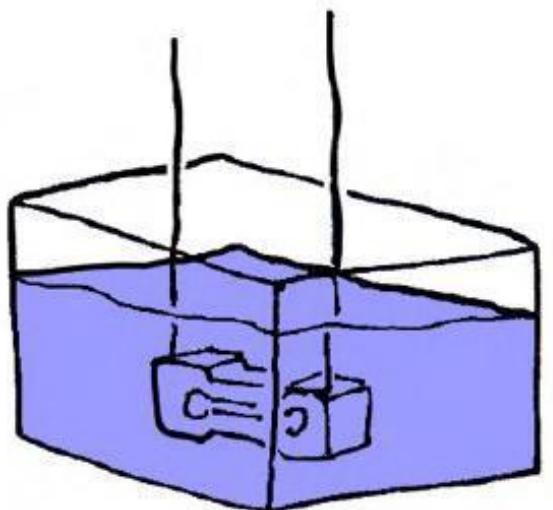
- Gia công thân Loadcell với một hình dạng phức tạp để tối ưu các vị trí biến dạng để dán các điện trở strain gauge
 - ❖ Kiểm soát độ nhám bề mặt các vị trí dán strain gauge trên thân loadcell thông qua đánh bóng bề mặt
 - ❖ Mục đích là tăng cường độ kết dính của strain gauge với thân loadcell.



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

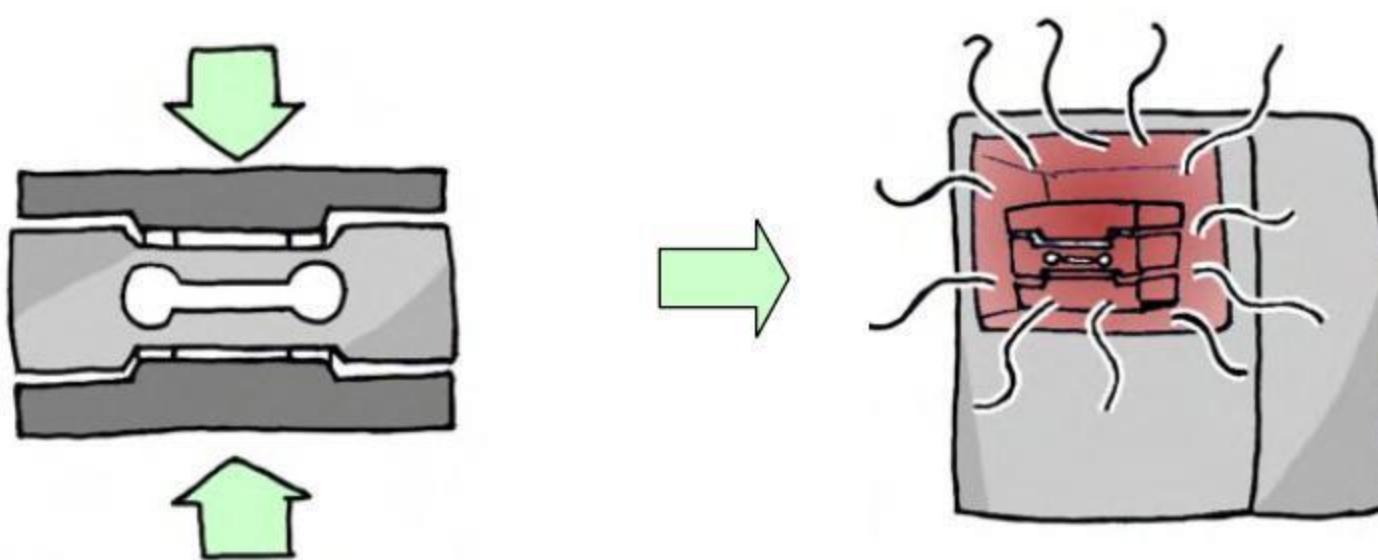
- Nhúng keo và dán các tấm strain gauge lên thân loadcell



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

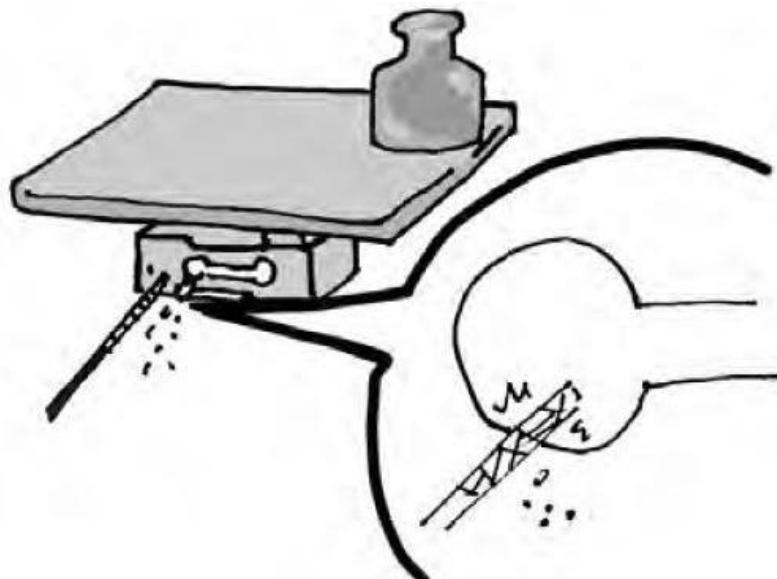
- **Tăng cường sự kết dính giữa tâm strain gauge và thân loadcell:** Một khuôn ép được sử dụng để tạo áp lực giữa các strain gauge với thân Loadcell. Khuôn được đặt trong một nhiệt độ cao để tăng cường tác dụng kết dính của lõi keo dính



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.

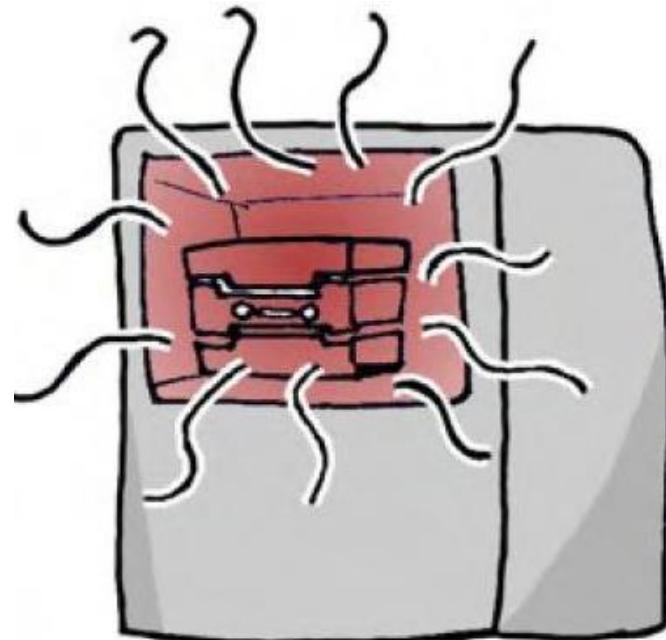


Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

■ Kiểm tra tín hiệu loadcell theo nhiệt độ thay đổi:

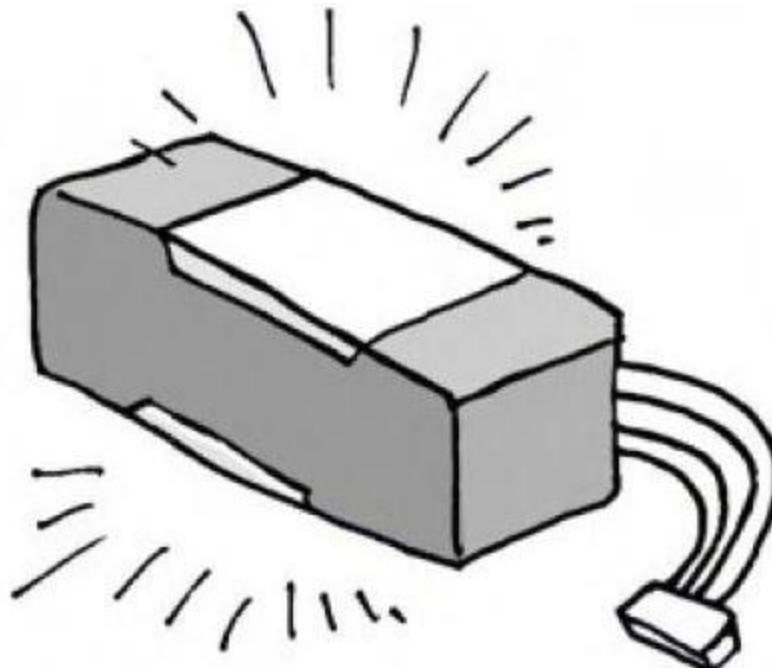
- ❖ Loadcell được đặt trong một buồng kín và nhiệt độ xung quanh được điều chỉnh trong 1 phạm vi nhất định, điện áp tín hiệu ngõ ra của loadcell được đo ở nhiệt độ thấp và nhiệt độ cao
- ❖ Nếu kết quả tín hiệu ngõ ra của loadcell không đạt yêu cầu kỹ thuật, một điện trở bù trừ nhiệt độ sẽ được tích hợp 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

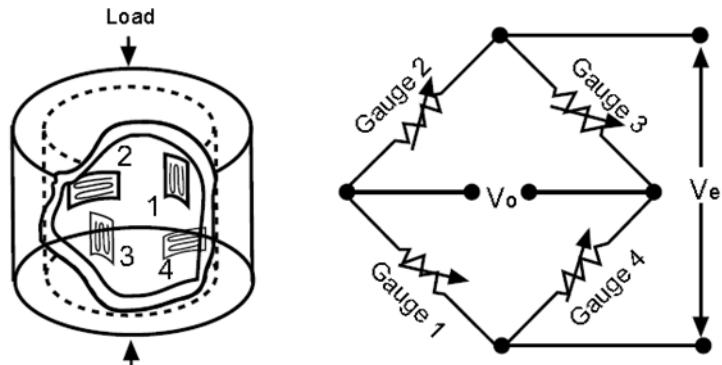
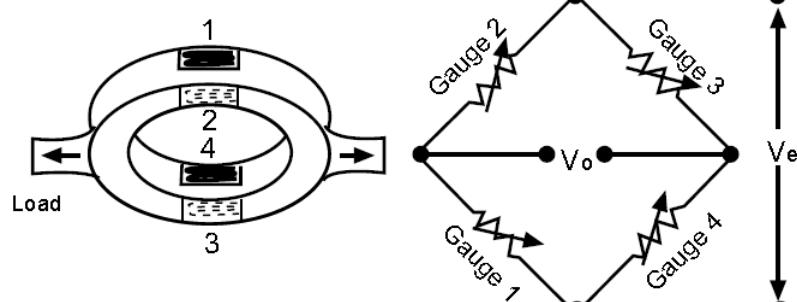


Figure 2 Tensile load transducer



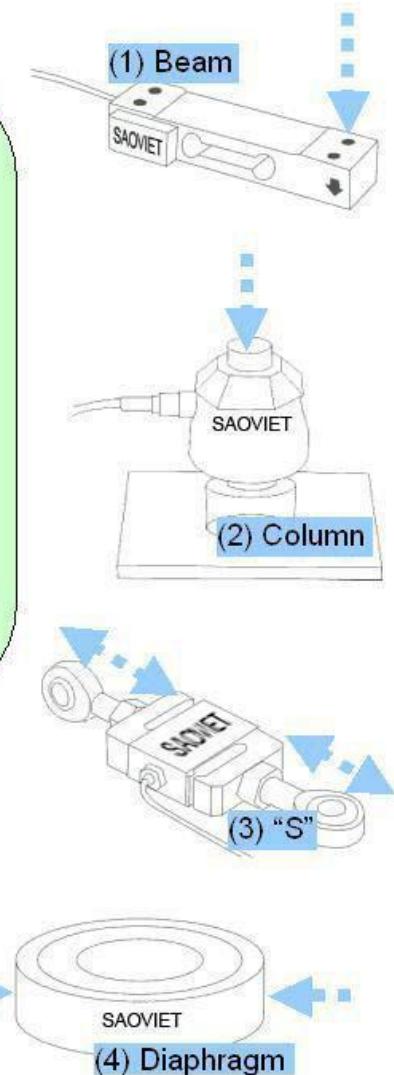
Chương 15: Đo Lực

■ 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



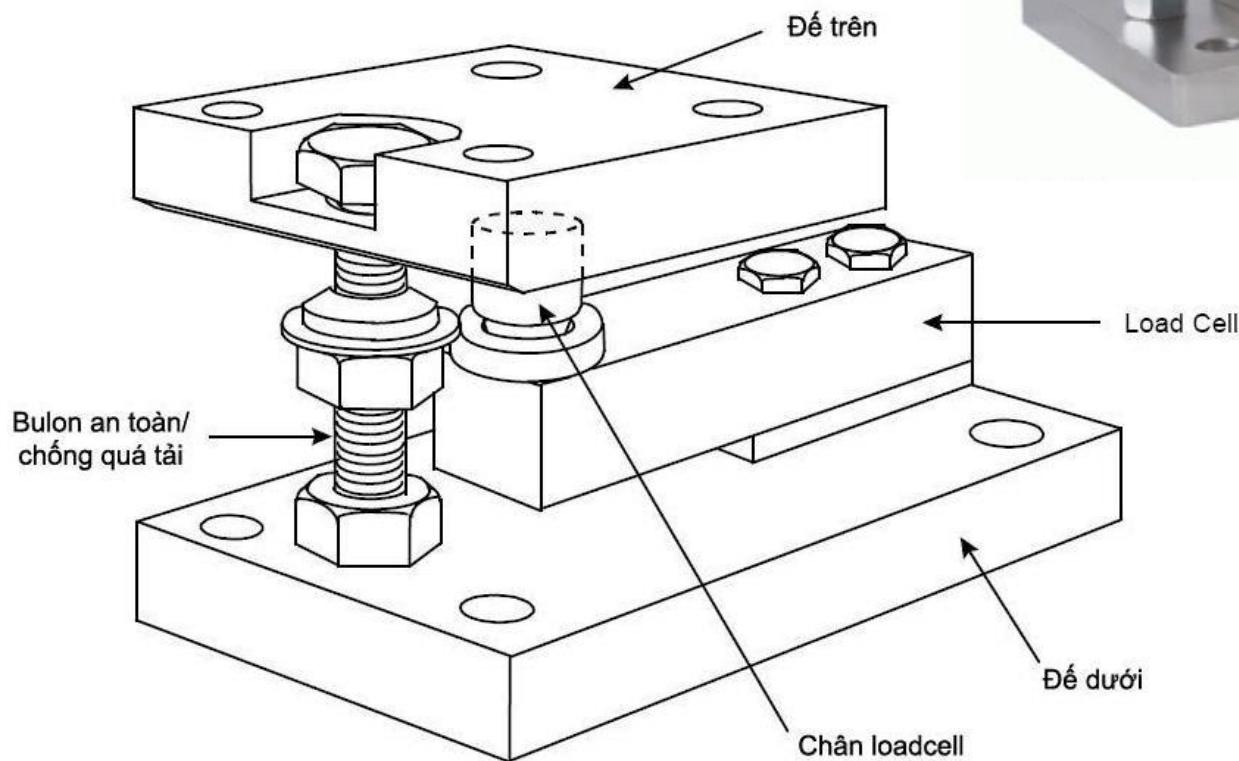
Product

Compression Load Cells



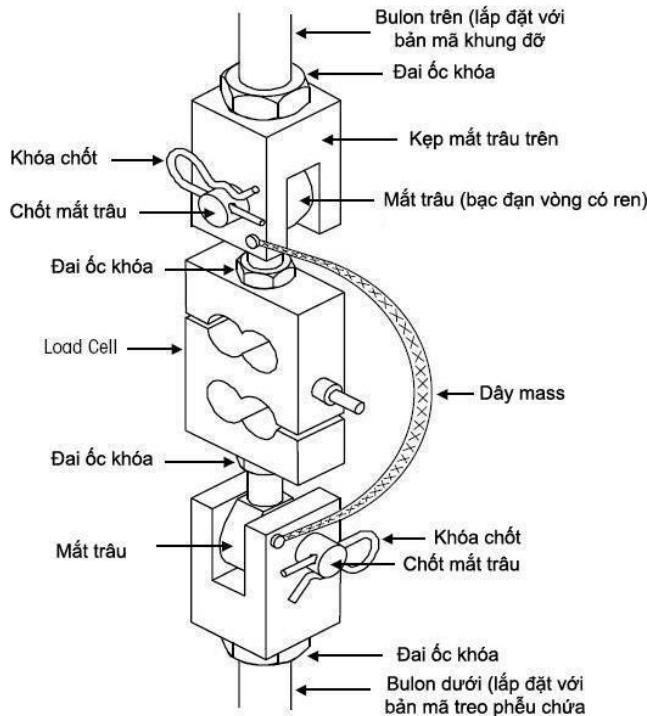
Chương 15: Đo Lực

■ Cách lắp đặt loadcell cân



Chương 15: Đo Lực

■ Cách lắp đặt loadcell cân



Chương 15: Đo Lực

Mạch đo

- Vậy điện áp ra (U_{ra}) sẽ tỷ lệ với lực tác động (trọng lượng) lên loadcell, đưa U_{ra} khuếch đại rồi đưa vào ADC và đưa vào VXL -> Hiển thị kết quả

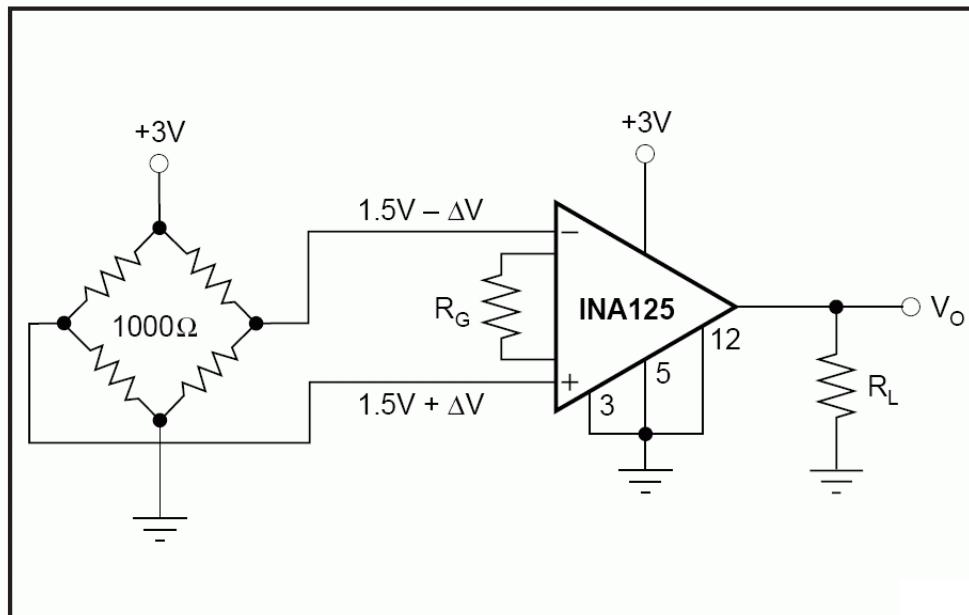
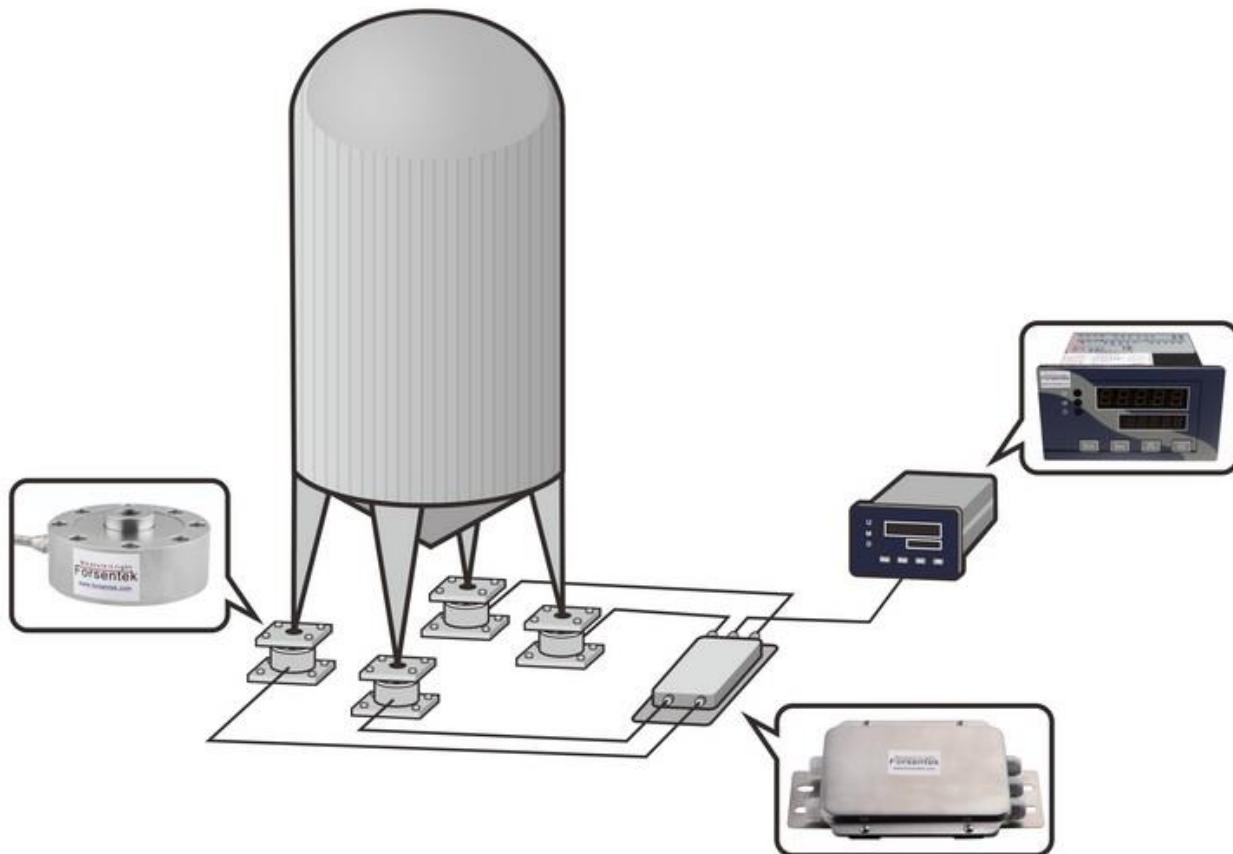


FIGURE 5. Single Supply Bridge Amplifier.

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 0-10 tấn người ta sử dụng một loadcell có độ nhạy cầu là 2 mV/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 8 tấn
 - ❖ 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 $< 0,003$ tấn, lựa chọn ADC. Tính khối lượng của vật khi đầu ra $1110\ 1010\ 1111$.

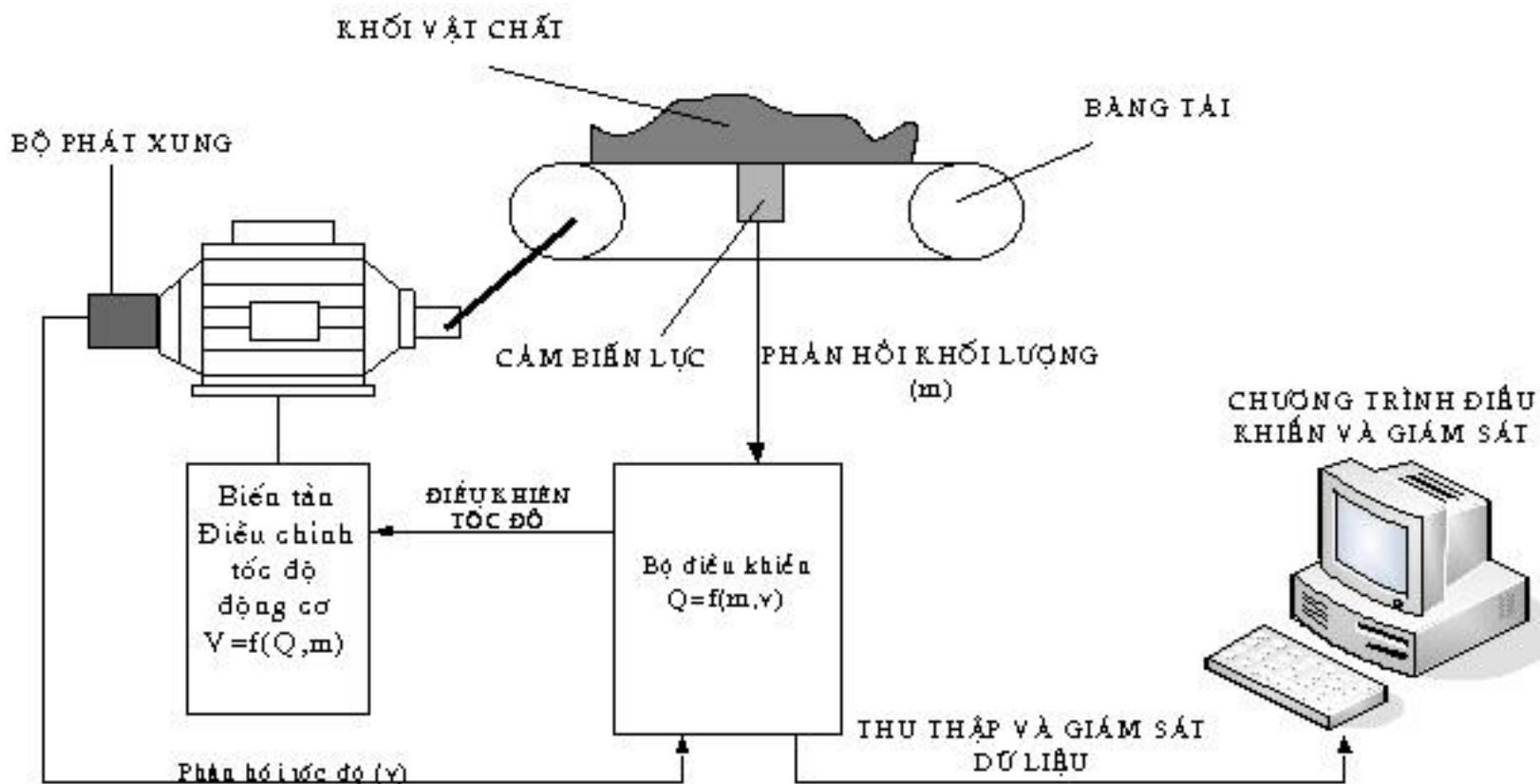
Chương 15: Đo Lực

■ Cân tải động



Chương 15: Đo Lực

Cân băng tải



Hình 1: Sơ lược về hệ thống điều khiển cân băng tải

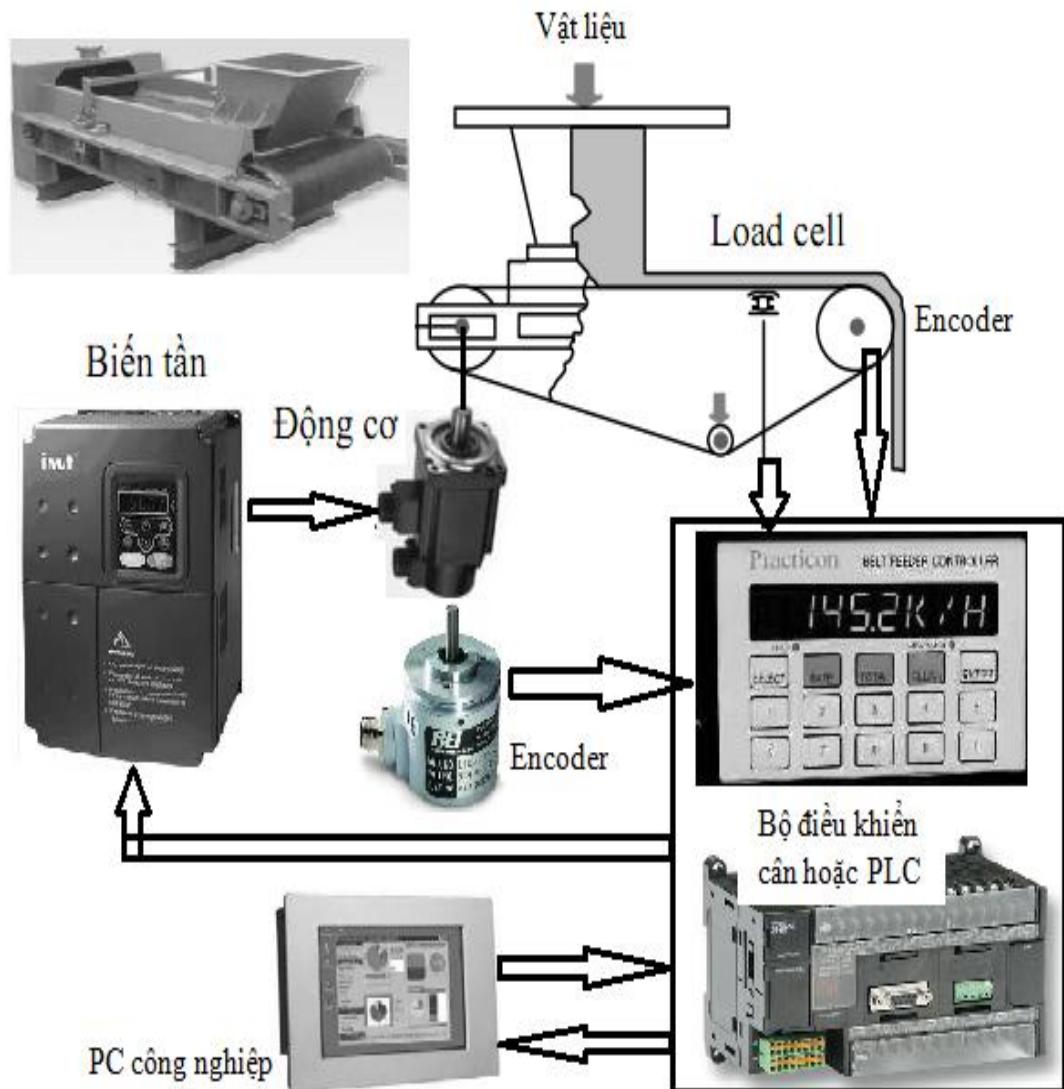
Chương 15: Đo Lực

- 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:

$$M \text{ (kg)} = k \cdot v \cdot m \cdot t$$

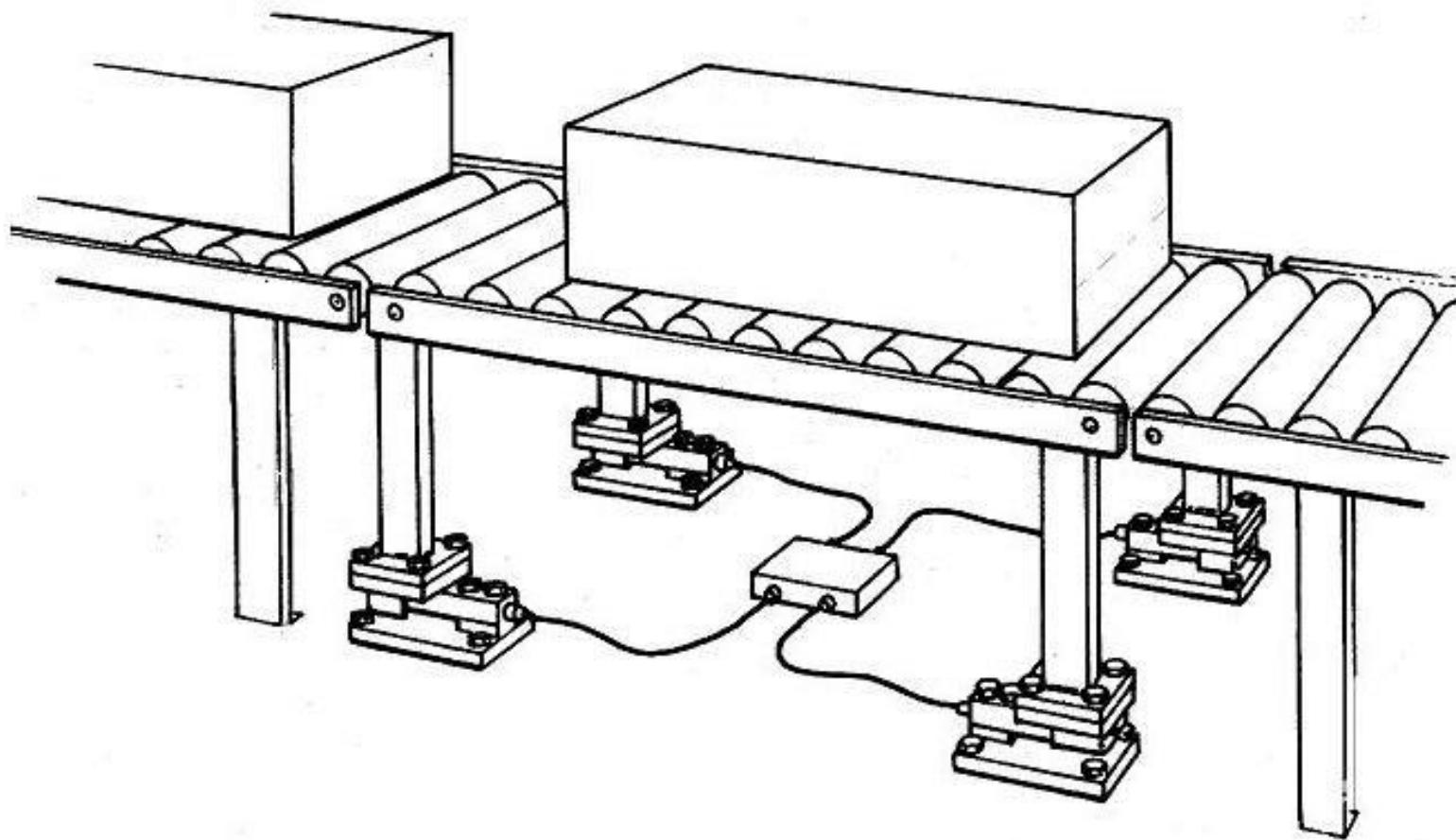
Trong đó

- 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 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

Tài liệu tham khảo

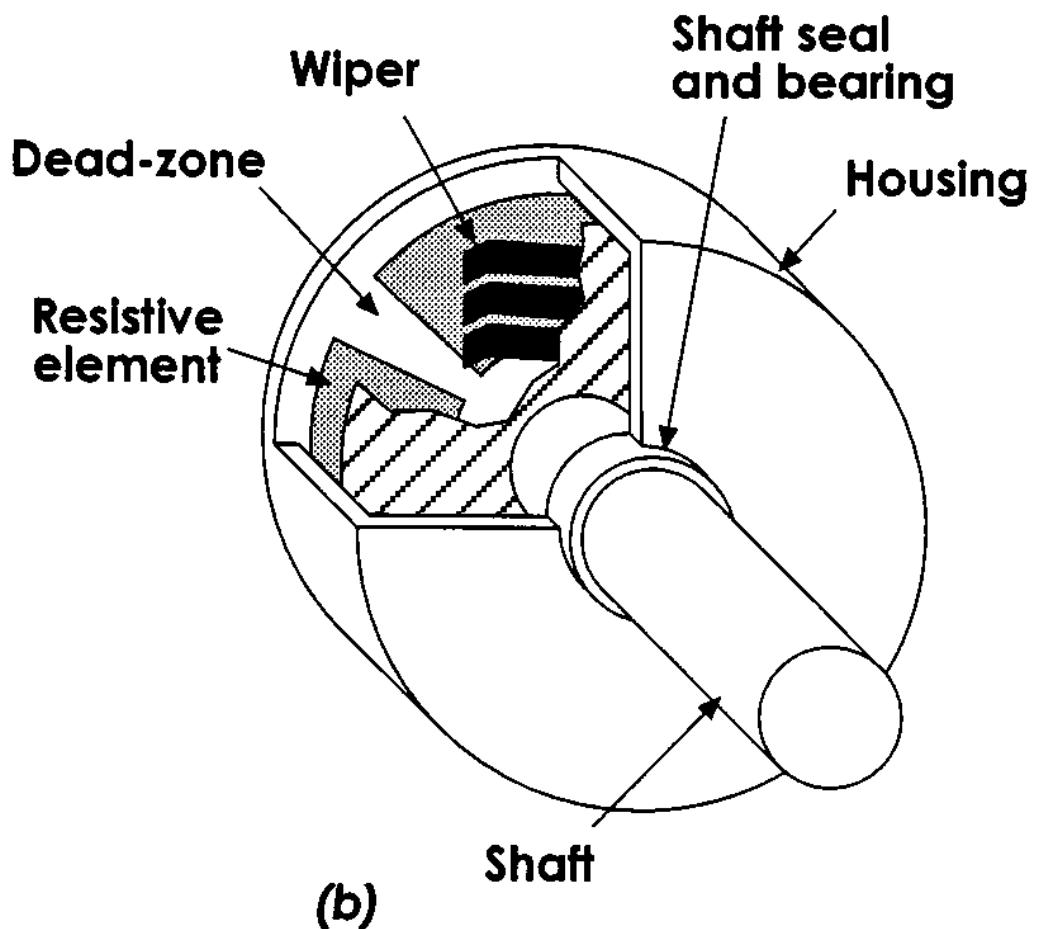
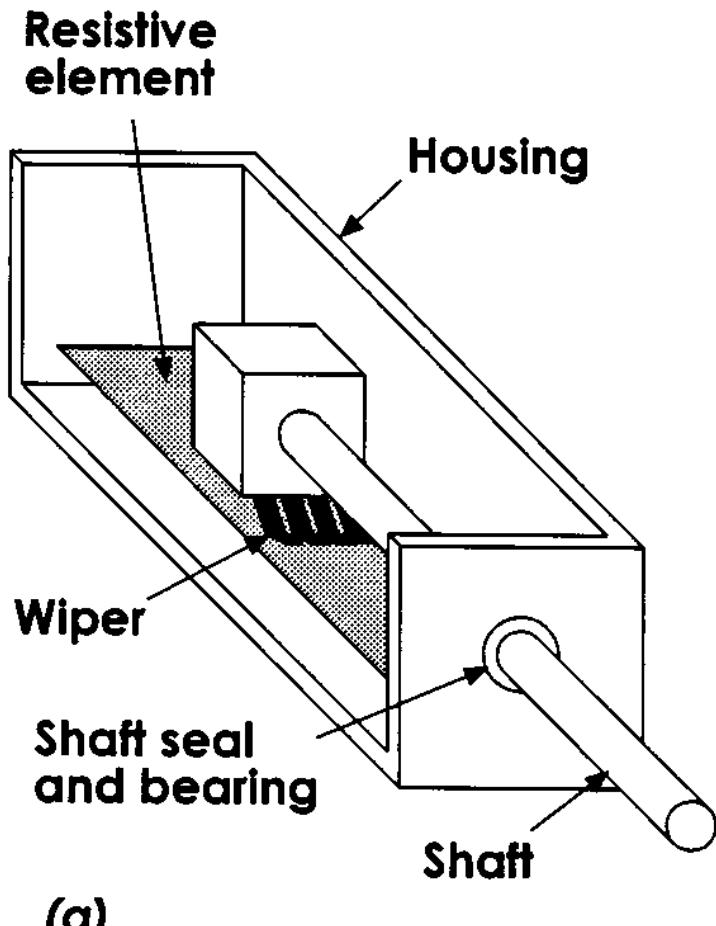
- Sách:
 - ❖ Kĩ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
 - ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Si Hồng
- Bài giảng và website:
 - ❖ Bài giảng kĩ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
 - ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong,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

Cảm biến điện trở

- Cảm biến biến trở
- Cảm biến điện trở lực căng
- Cảm biến nhiệt điện trở
- Cảm biến quang trở

3.1 Cảm biến biến trở

Cấu tạo và nguyên lý làm việc



3.1 Cảm biến biến trở

■ Cấu tạo và nguyên lý làm việc

- + Cảm biến gồm một điện trở cố định R_n , trên đó có một tiếp xúc điện có thể di chuyển được gọi là con chạy.
- + Con chạy được liên kết cơ học với vật chuyển động cần khảo sát.
- + Giá trị của điện trở R_x giữa con chạy và một đầu của điện trở R_n là hàm phụ thuộc vào vị trí con chạy, cũng chính là vị trí của vật chuyển động.

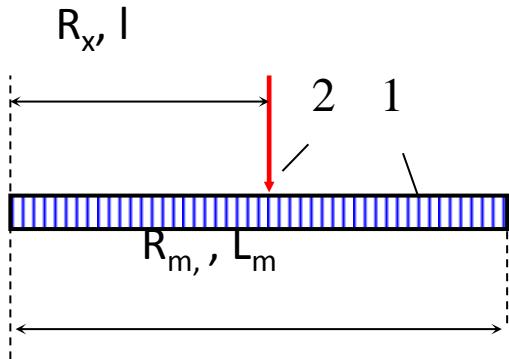
3.1 Cảm biến biến trở

■ Cấu tạo và nguyên lý làm việc

- ❖ **Điện trở dạng dây cuộn:** được chế tạo từ các hợp kim Ni - Cr, Ni - Cu , Ni - Cr - Fe, Ag - Pd quấn thành vòng xoắn dạng lò xo trên lõi cách điện (bằng thuỷ tinh, gốm hoặc nhựa), giữa các vòng dây cách điện bằng emay hoặc lớp oxyt bề mặt.
- ❖ **Điện trở dạng băng dẫn:** được chế tạo bằng chất dẻo trộn bột dẫn điện là cacbon hoặc kim loại cỡ hạt $\sim 10^{-2}$ μm .

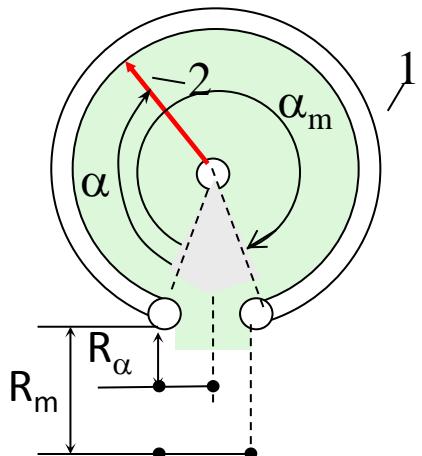
3.1 Cảm biến biến trở

Cấu tạo và nguyên lý làm việc



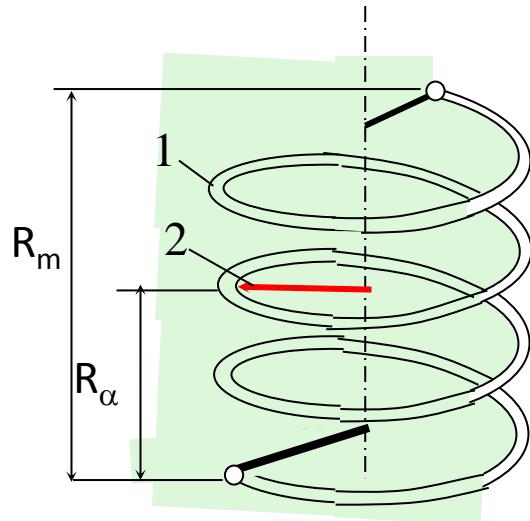
Đo dịch chuyển thẳng

$$R_x = \frac{1}{L} R_m$$



Đo dịch chuyển quay $\alpha < 360^\circ$

$$R_\alpha = \frac{\alpha}{\alpha_m} R_m$$



Đo dịch chuyển quay $\alpha > 360^\circ$

$$R_\alpha = \frac{\alpha}{\alpha_m} R_m$$

3.1 Cảm biến biến trở

■ Các đặc trưng

❖ Khoảng chạy có ích của con chạy:

Thông thường ở đầu hoặc cuối đường chạy của con chạy tỉ số R_x/R_n không ổn định. Khoảng chạy có ích là khoảng thay đổi của x mà trong khoảng đó R_x là hàm tuyến tính của dịch chuyển

❖ - Năng suất phân giải:

Đối với điện trở dây cuốn, độ phân giải xác định bởi lượng dịch chuyển cực đại cần thiết để đưa con chạy từ vị trí tiếp xúc hiện tại sang vị trí tiếp xúc lân cận tiếp theo. Giả sử cuộn dây có n vòng dây, có thể phân biệt $2n-2$ vị trí khác nhau về điện của con chạy:

3.1 Cảm biến biến trở

- ❖ Độ phân giải
 - ✓ Độ phân giải của điện trở dạng dây phụ thuộc vào hình dạng và đường kính của dây điện trở và vào khoảng $\sim 10\mu\text{m}$
 - ✓ Độ phân giải của các điện trở kiểu băng dẫn phụ thuộc vào kích thước hạt, thường vào cỡ $\sim 0,1 \mu\text{m}$
- ❖ Thời gian sống:

Thời gian sống của cảm biến điện trở là số lần sử dụng của cảm biến điện trở. Nguyên nhân gây ra hư hỏng và hạn chế thời gian sống của cảm biến điện trở là sự mài mòn con chạy và dây điện trở trong quá trình làm việc. Thường thời gian sống của cảm biến điện trở dạng dây dẫn vào cỡ 106 lần, điện kế dạng băng dẫn vào cỡ 107 - 108 lần.

3.1 Cảm biến biến trở

■ Ưu điểm

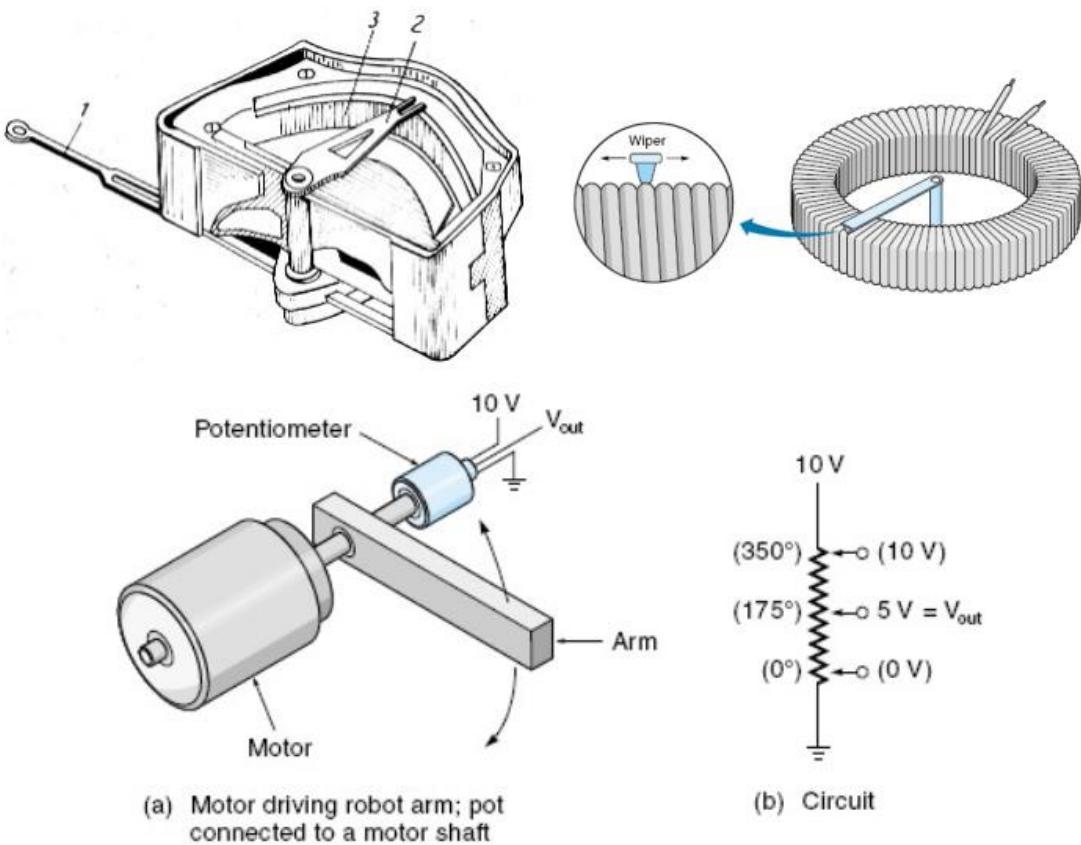
- ❖ Rẻ tiền
- ❖ Cấu tạo đơn giản, dễ sử dụng
- ❖ Đo được khoảng dịch chuyển lớn

■ Nhược điểm

- ❖ Bị ảnh hưởng của bụi và ẩm
- ❖ Tuổi thọ kém, mau bị hao mòn

3.1 Cảm biến biến trở

■ Ứng dụng đo góc

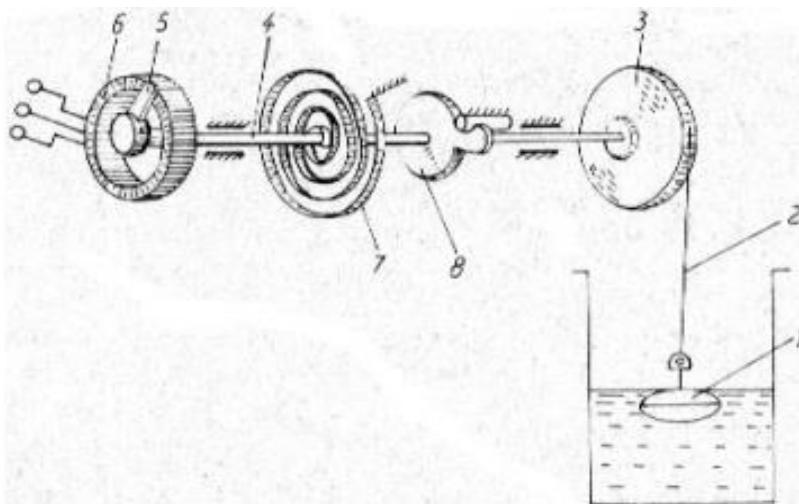


Nguyên lý hoạt động: di chuyển góc cần đo qua tay gạt 1 tác động lên con trượt 2 làm con trượt di chuyển trên biến trở 3, giá trị của biến trở 3 tỉ lệ với góc quay cần đo.

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

3.1 Cảm biến biến trở

■ Ứng dụng đo mức



Cấu tạo của thiết bị đo mức nước dùng các bộ biến đổi tỉ lệ ở dạng dân truyền bằng tay gạt hoặc dây curooa kết hợp với chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: phao nổi 1 phản ánh mức nước cần đo được nối với sợi dây 2 gắn vào puli 3. Khi puli quay, trục 4 gắn với con trượt 5 quay theo và trượt trên biến trở 6 làm thay đổi điện trở của biến trở tỉ lệ với mức nước cần đo. Đầu dây ra của biến trở được mắc vào mạch đo.

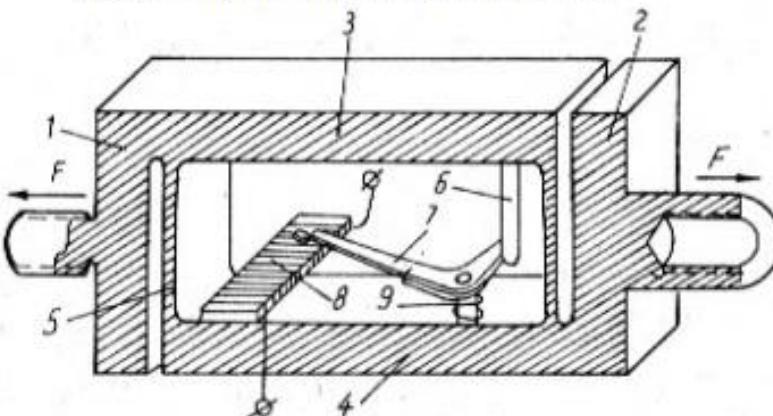
Khi thiết kế, đường kính của puli được tính sao cho chu vi của nó có độ dài đúng bằng khoảng cách mức nước cần đo.

Để giữ cho dây treo phao luôn được căng người ta gắn thêm lò xo xoắn 7 và cơ cấu cam 8 để puli chỉ có thể quay được một vòng.

3.1 Cảm biến biến trở

■ Ứng dụng đo lực

Lực kế dùng chuyển đổi biến trở:



Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của lực kế dùng chuyển đổi biến trở

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: lực cần đo F tác động lên hai tấm thép 1 và 2, hai tấm này gắn liền với hai khối 3 và 4. Dưới tác dụng của lực đo, bản mỏng 5 bị biến dạng và khối 3 và 4 di chuyển tương đối với nhau. Trong quá trình di chuyển, khối 3 gắn cần 6 đẩy tay gạt 7 làm con trượt di chuyển trên biến trở dây 8. Con trượt được chế tạo từ hợp kim platin-iridi, dây biến trở làm bằng constantan mạ vàng. Lò xo đàn hồi 9 được gắn với tay gạt 7 để đảm bảo tay gạt có thể trở lại vị trí ban đầu khi không có lực tác động.

Thông số đặc trưng: biến trở có 170 vòng, điện trở 500Ω , giới hạn đo khoảng $3kN$. Áp lực của con trượt lên các vòng dây bằng $0,02 N$.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

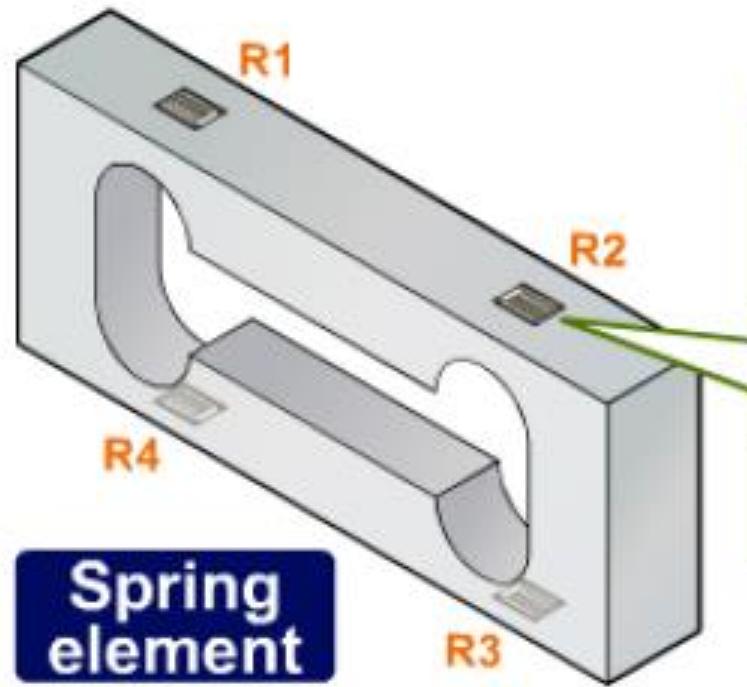
Load cell

Load

Convert

Electrical
signals

• • • Load transducer

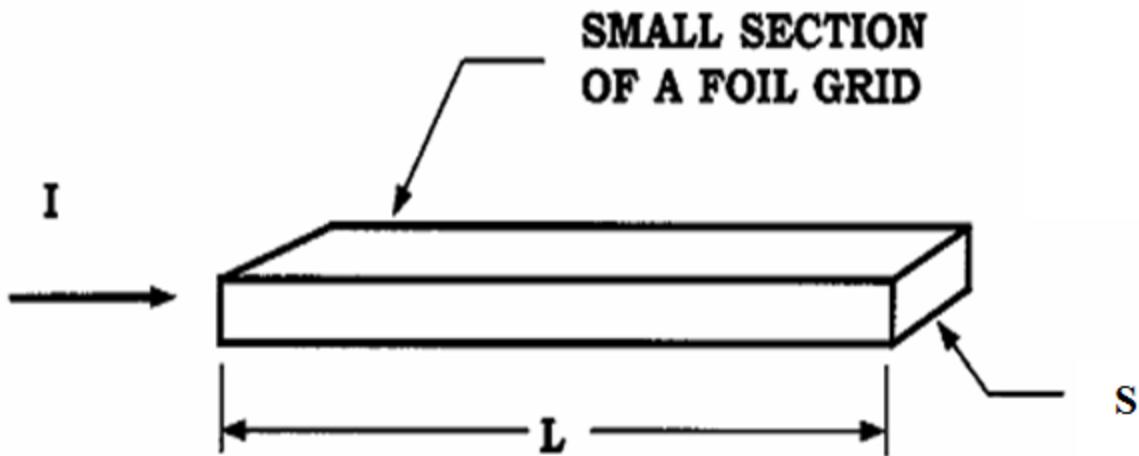


Strain gauge

Bridge circuit

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

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



$$R = \rho \frac{L}{S}$$

where R = Resistance

ρ = Resistivity

L = Length

S = Area of the cross-section

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Điện trở lực căng (tenzo)

Ta có $\frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}$$
$$\varepsilon_R = \varepsilon_p + \varepsilon_l - \varepsilon_S$$

Trong cơ học ta có $\varepsilon_S = -2K_p \varepsilon_l$; K_p hệ số Poisson

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

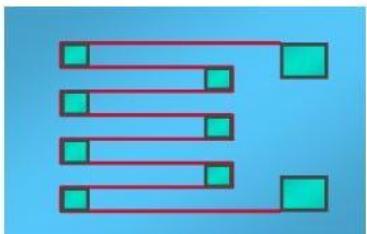
Độ nhạy của chuyển đổi: $K = \varepsilon_R / \varepsilon_l = 1 + 2K_p + m$

- K hệ số phụ thuộc vào vật liệu với constantan k=2

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

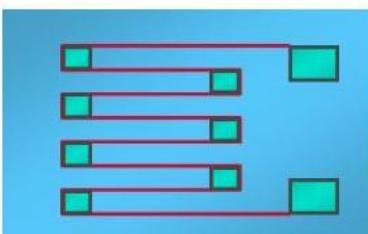
■ Điện trở thay đổi tỷ lệ với lực tác động

Lực nén



Điện trở giảm

Lực kéo dãn



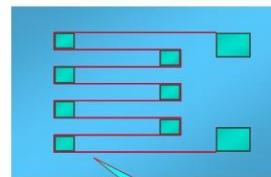
Điện trở
tăng

- 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), niken...

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Cấu tạo: 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 mỏng bằng vật liệu cách điện có độ bền cao
- 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.



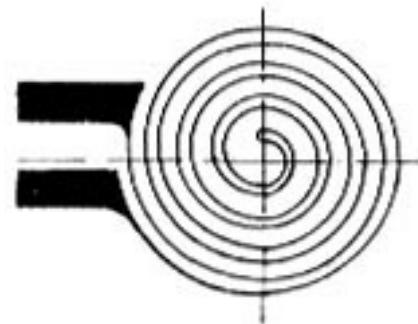
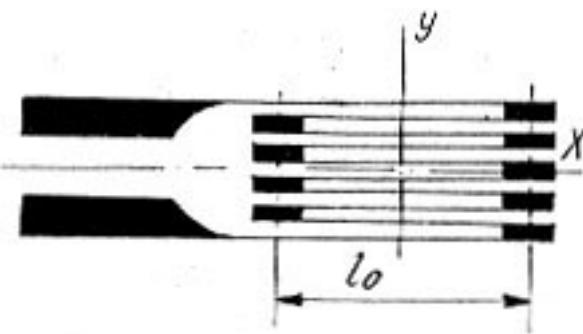
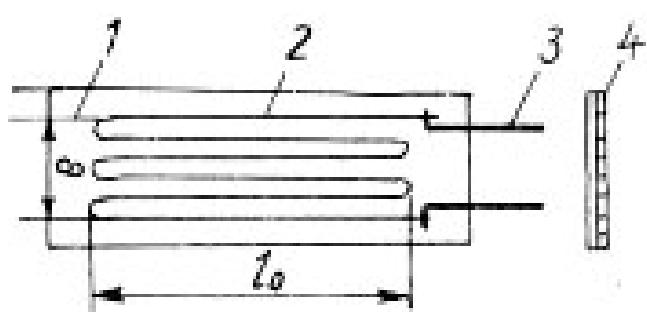
$$R = \frac{\rho L}{S}$$

Các chuyển đổi điện trở

Chuyển đổi điện trở lực căng.

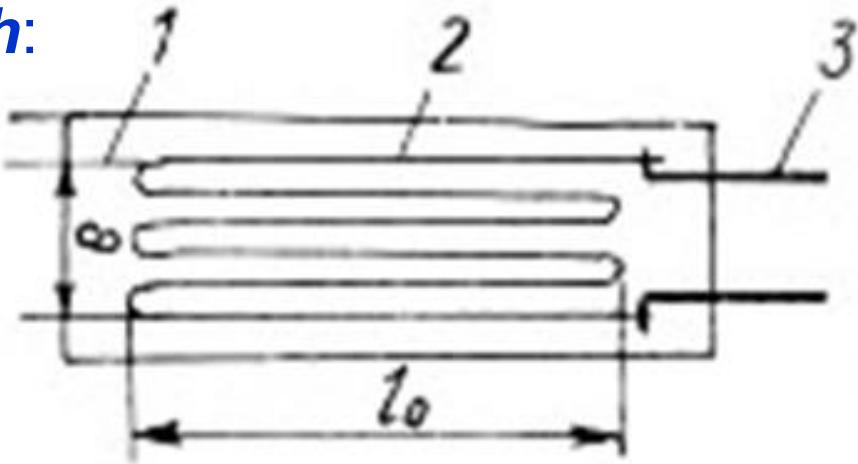
■ Gồm có 3 loại chính:

- ❖ 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:

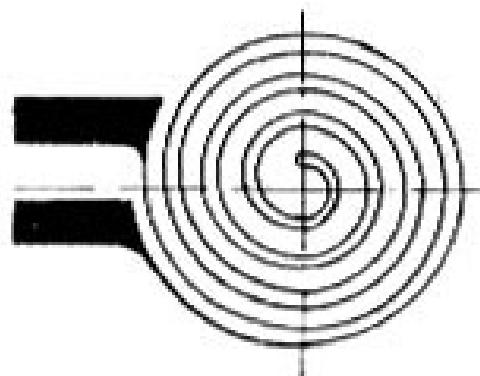
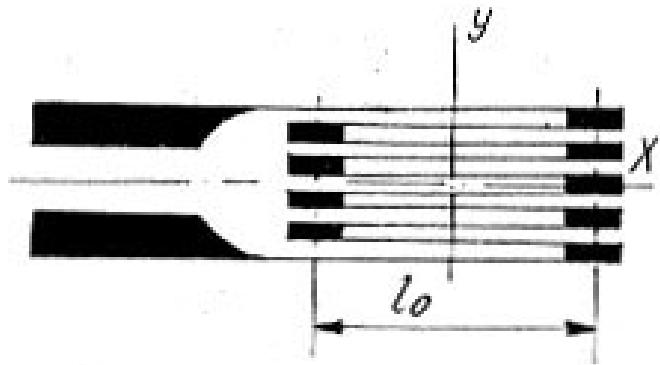


- 1 - Tấm giấy mỏng bền
- 2 - Sợi dây điện trở (hình răng lược có đường kính từ 0,02-0,03mm; chế tạo bằng constantan, nicrôm, hợp kim platin-iriđi...).
- 3 - Hai đầu dây được hàn với lá đồng dùng để nối với mạch đo.

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



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- Để mỏng bằng vật liệu cách điện có độ bền cao.
- Dây dẫn hay màng bằng constantan, nicrom, platin-iridi.
- Dây và màng được cố định trên đế.
- Các cực đấu tín hiệu.
- Có thể dùng vật liệu bán dẫn (K cỡ vài trăm) nhưng có độ bền cơ học kém.
- Vật liệu: có độ nhạy cao, hệ số nhiệt nhỏ, điện trở xuất lớn.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Dây mảnh:

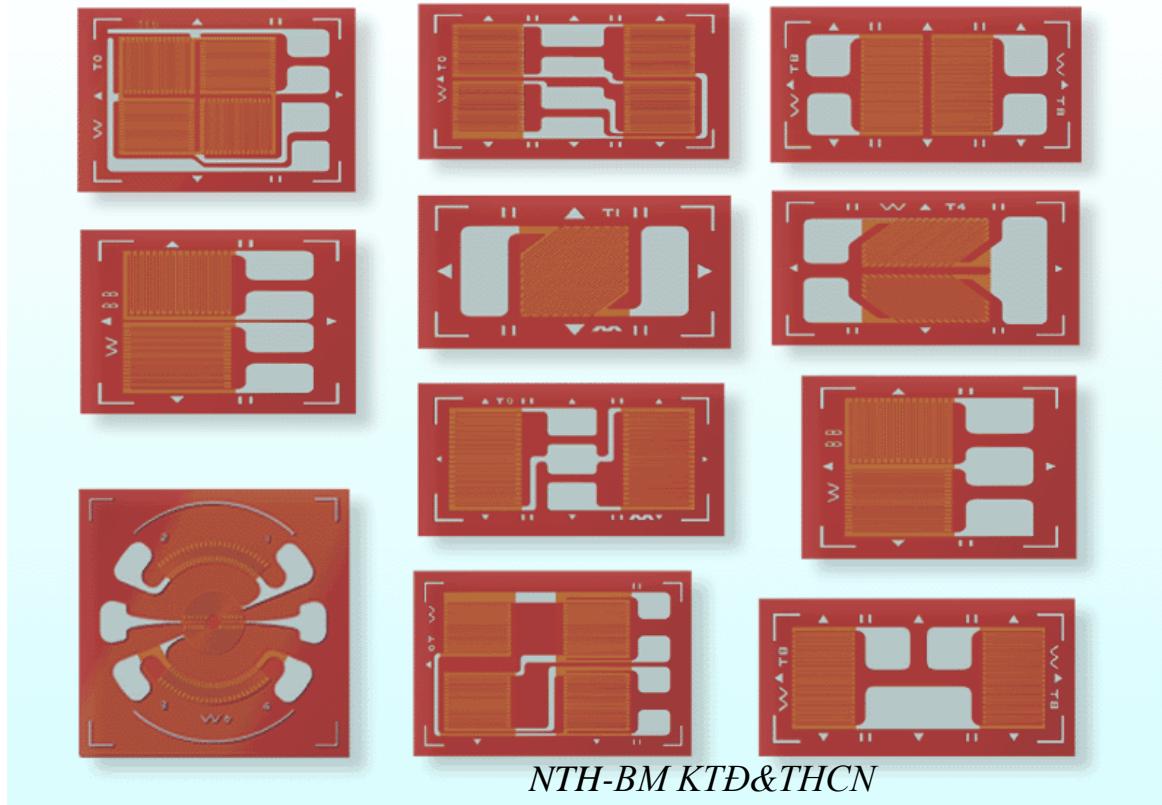
- ❖ Có thể chế tạo kích thước lớn.
- ❖ Giá thành rẻ.
- ❖ Điện trở ngang lớn
- ❖ Tiếp xúc nhỏ nên truyền biến dạng kém.
- ❖ Tiếp xúc nhỏ nên truyền nhiệt kém

Màng mỏng:

- ❖ Kích thước nhỏ và có thể chế tạo hình dạng bất kỳ.
- ❖ Điện trở ngang nhỏ.
- ❖ Tiếp xúc tốt nên truyền biến dạng và nhiệt tốt.
- ❖ Độ đồng đều cao

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- 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



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

■ Ứng dụng

- ❖ Đo lực (loadcell)
- ❖ Đo áp suất
- ❖

Loadcell

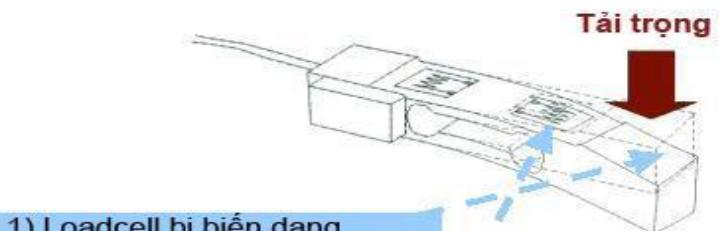
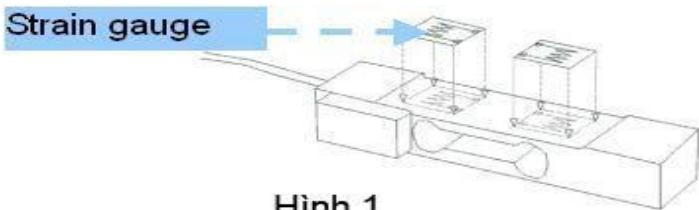
■ **Loadcell được cấu tạo từ 3 bộ phận chính:**

- ❖ 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.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

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



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.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Tế bào tải (loadcell)

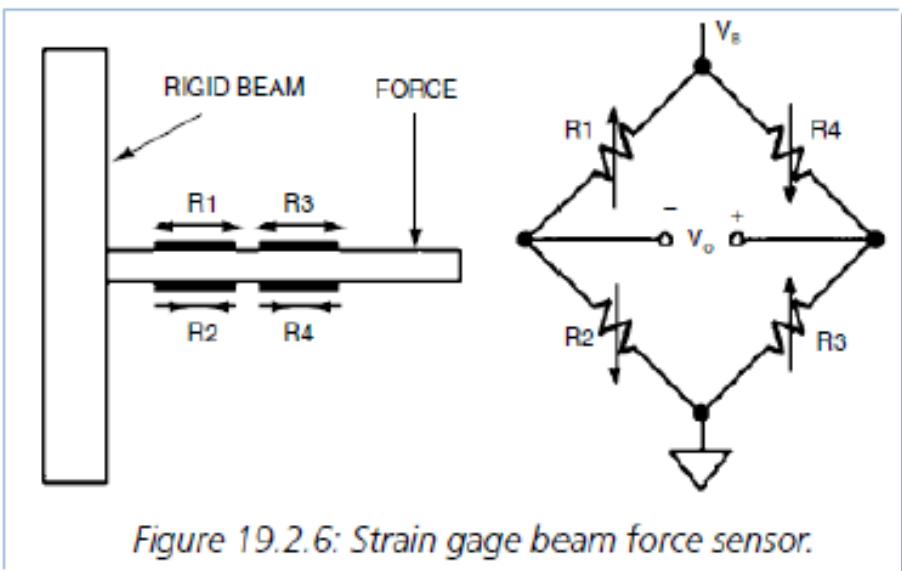
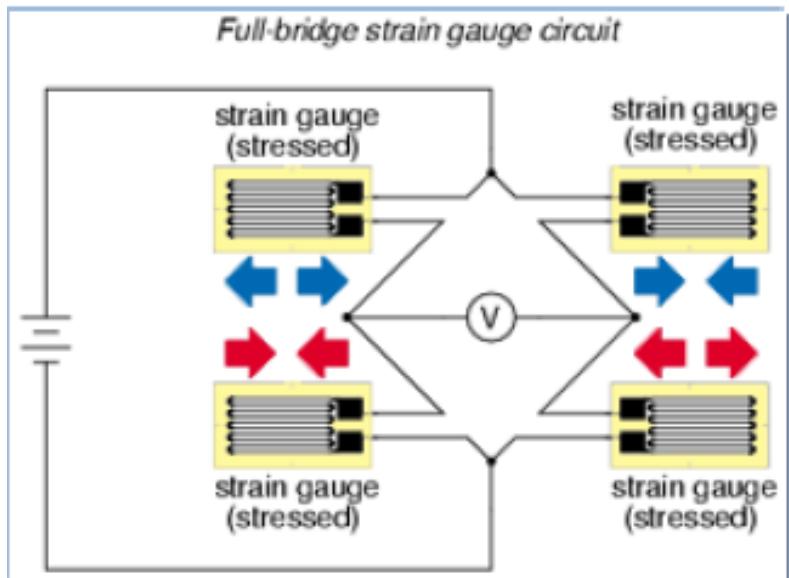


Figure 19.2.6: Strain gage beam force sensor.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Tế bào tải (loadcell)

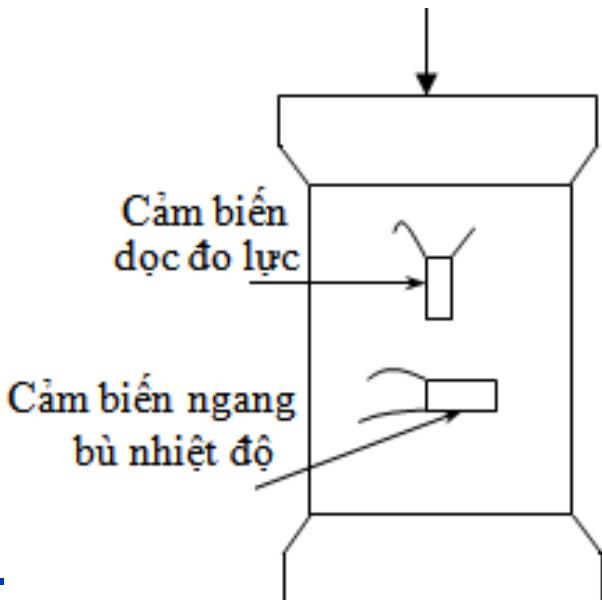
- Tế bào tải là một kết cấu đòn hồi bằng thép chất lượng cao, đảm bảo giải biến dạng đòn hồi rộng
- Biến dạng được tính:

$$\varepsilon_1 = \frac{F}{SE}$$

F: lực tác động lên loadcell;

S: tiết diện phần tử đòn hồi;

E: modul đòn hồi thép làm loadcell.



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- 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;

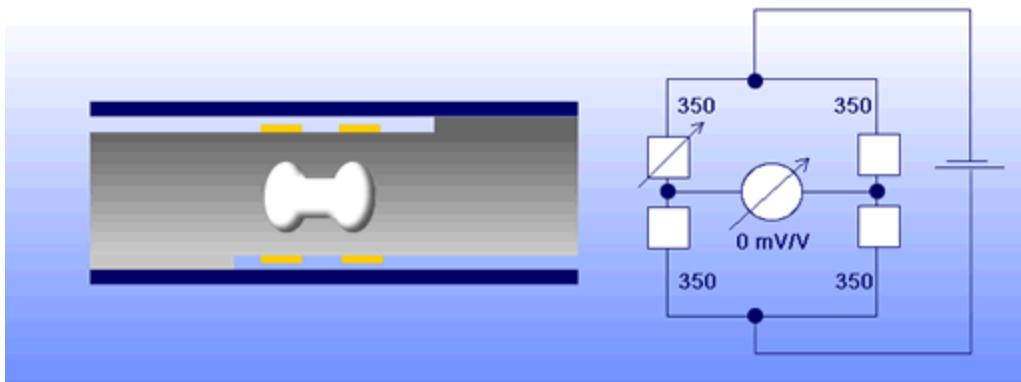
k: độ nhạy của cảm biến điện trở lực căng.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- Khi chế tạo xong, nhà chế tạo cho ta độ nhạy của loadcell là:

$$\frac{\Delta U}{U_{CC}} = \frac{k\varepsilon_1}{2} \quad (mV/V)$$

- 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: $12 \times 2 = 24mV$.



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

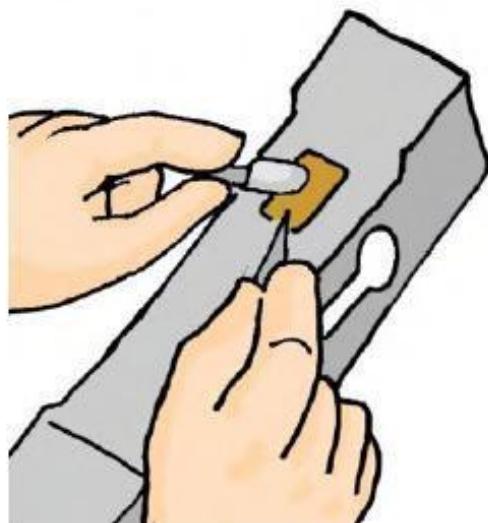
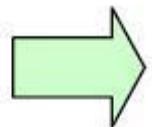
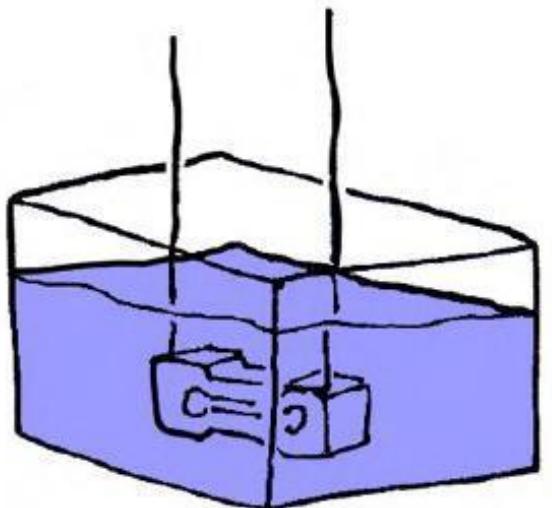
- Gia công thân Loadcell với một hình dạng phức tạp để tối ưu các vị trí biến dạng để dán các điện trở strain gauge
 - ❖ Kiểm soát độ nhám bề mặt các vị trí dán strain gauge trên thân loadcell thông qua đánh bóng bề mặt
 - ❖ Mục đích là tăng cường độ kết dính của strain gauge với thân loadcell.



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

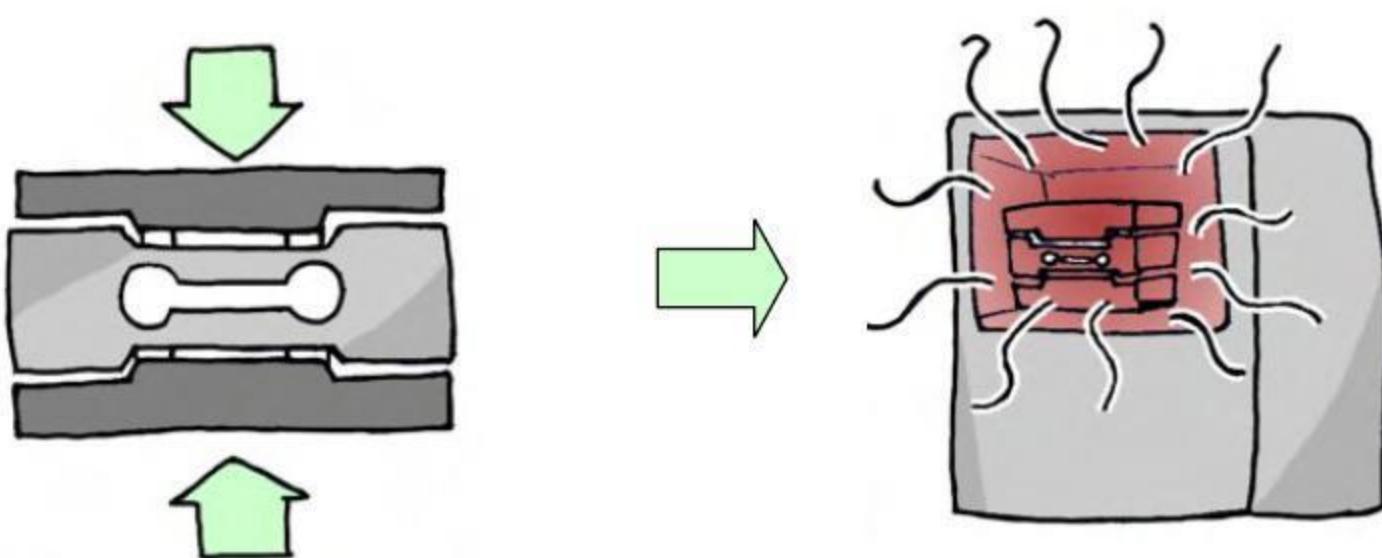
- Nhúng keo và dán các tấm strain gauge lên thân loadcell



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

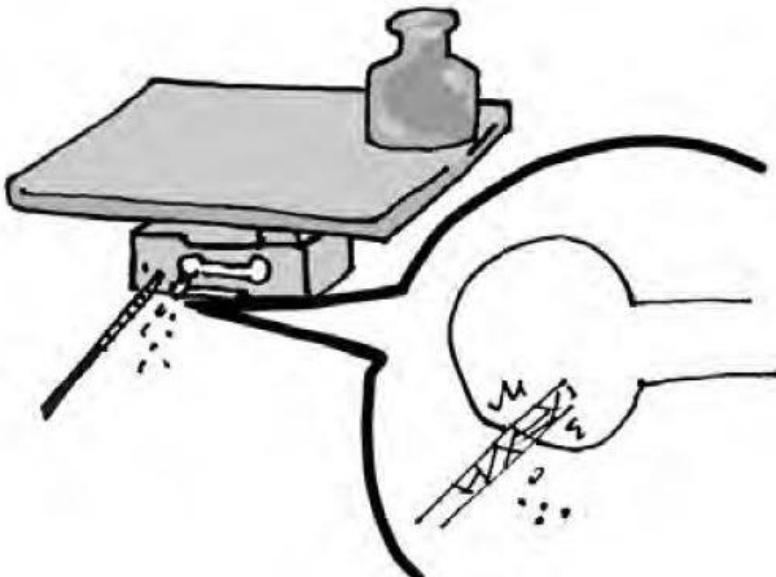
- Tăng cường sự kết dính giữa tâm strain gauge và thân loadcell:** Một khuôn ép được sử dụng để tạo áp lực giữa các strain gauge với thân Loadcell. Khuôn được đặt trong một nhiệt độ cao để tăng cường tác dụng kết dính của lõi keo dính



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

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.

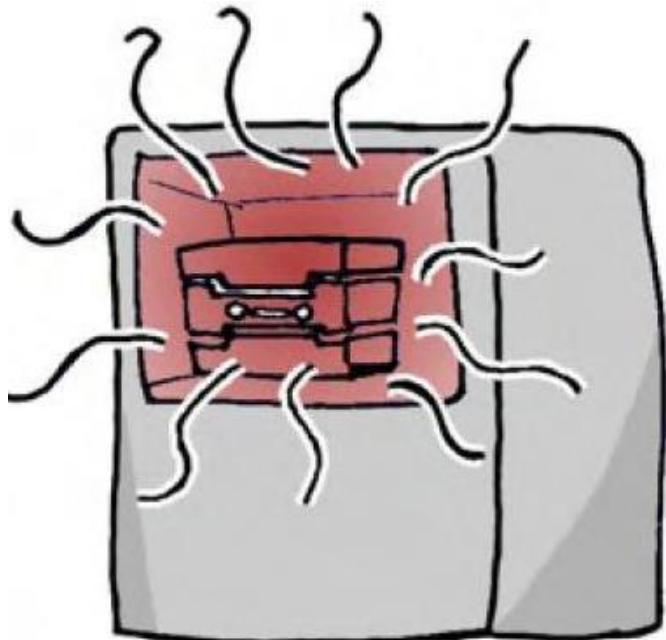


3.2 Cảm biến điện trở lực căng

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

■ Kiểm tra tín hiệu loadcell theo nhiệt độ thay đổi:

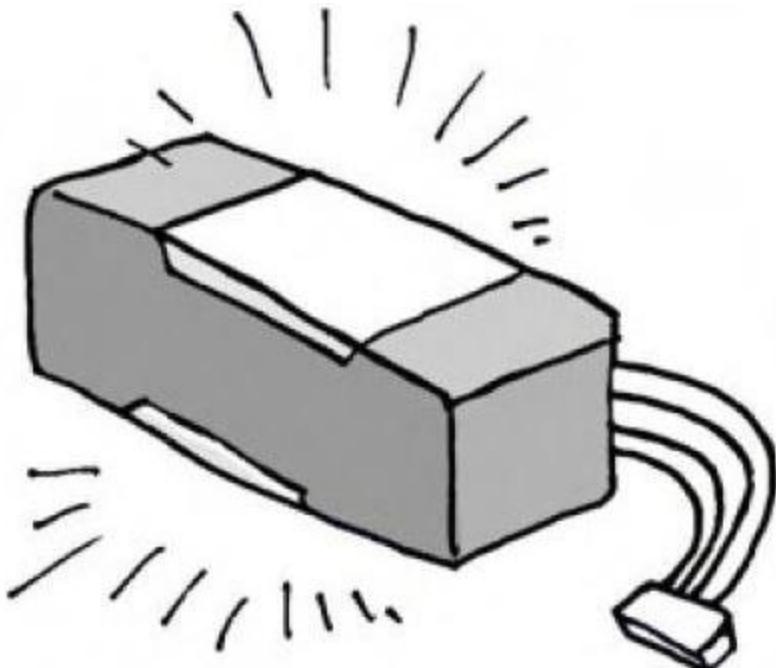
- ❖ Loadcell được đặt trong một buồng kín và nhiệt độ xung quanh được điều chỉnh trong 1 phạm vi nhất định, điện áp tín hiệu ngõ ra của loadcell được đo ở nhiệt độ thấp và nhiệt độ cao
- ❖ Nếu kết quả tín hiệu ngõ ra của loadcell không đạt yêu cầu kỹ thuật, một điện trở bù trừ nhiệt độ sẽ được tích hợp vào mạch cầu straingauge.



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

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.



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- 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

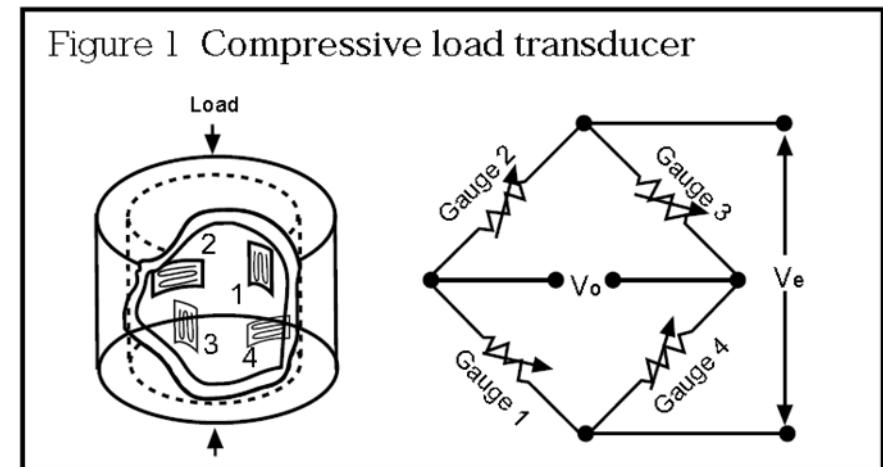
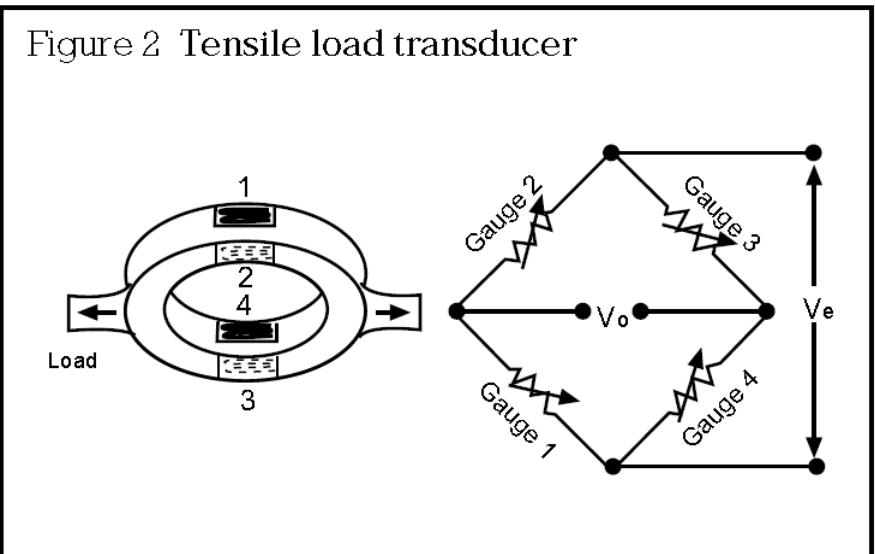


Figure 2 Tensile load transducer



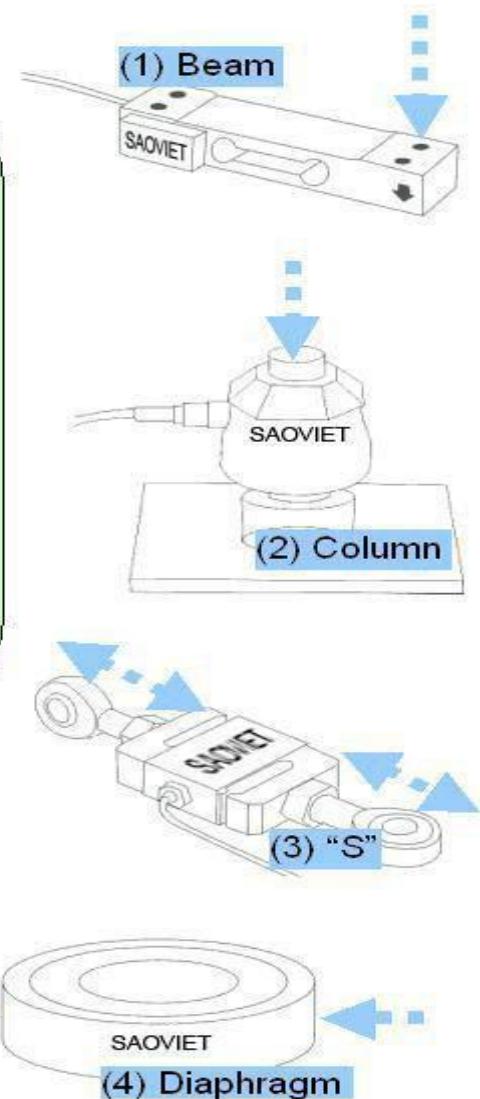
3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Loadcell bao gồm các loại cơ bản

Loadcell được chia ra thành 4 loại chính, theo như hình bên là:

- (1) Loadcell dạnh 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)

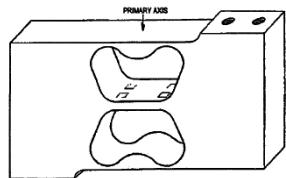
Chiều mũi tên màu xanh là chiều lực tác dụng lên loadcell



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

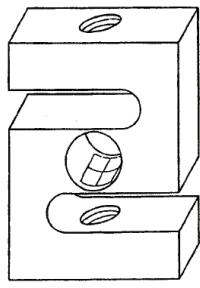
■ Phân loại:

Loại đơn điểm



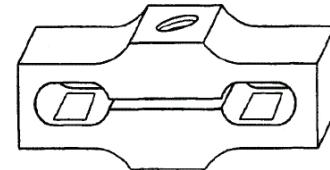
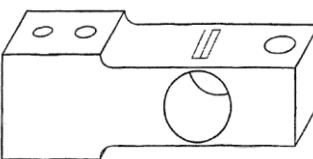
1-1000 Kg

Loại S (Đo lực kéo và nén)



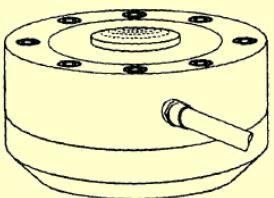
50 – 5000 Kg

Loại thanh uốn



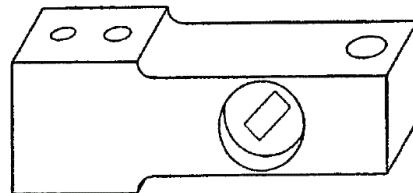
5-500 Kg

Loại nén



5,000-60,000 Kg

Loại thanh trượt



500-5000 Kg

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Các hình dạng loadcell

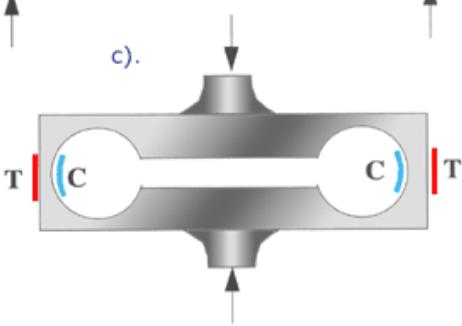
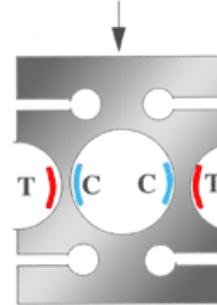
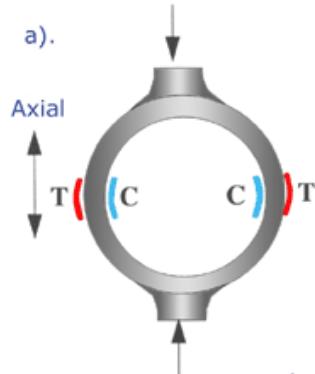
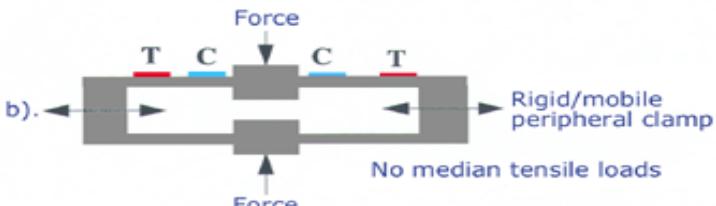
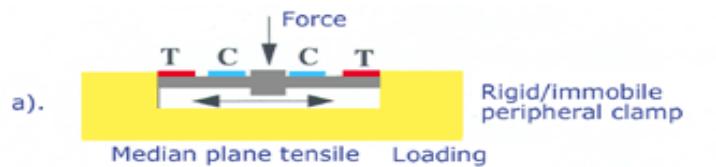
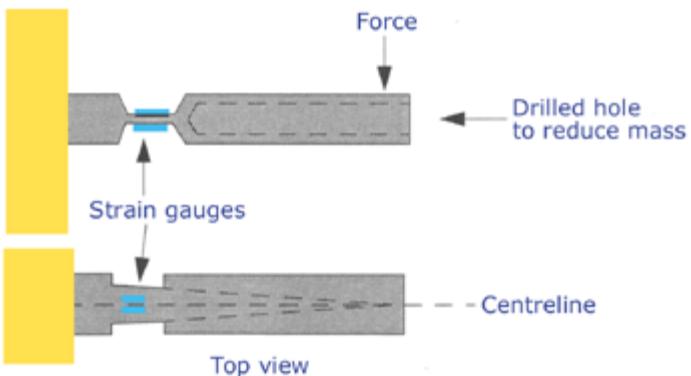
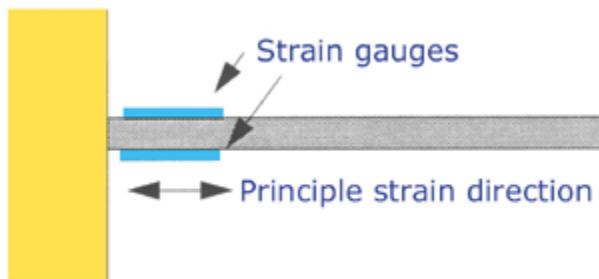
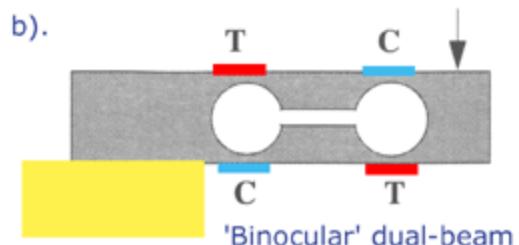
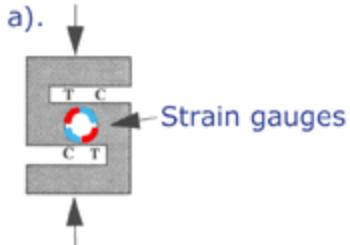
Product

Compression Load Cells



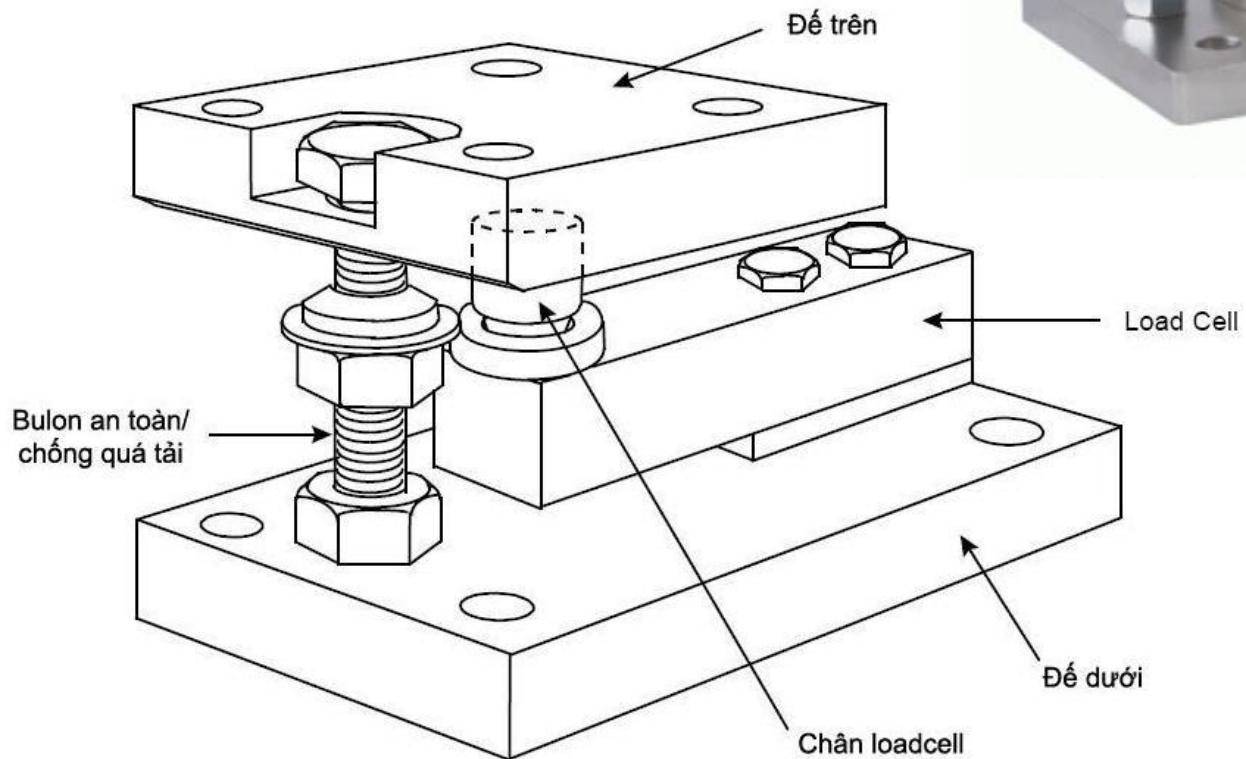
3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Phân loại:



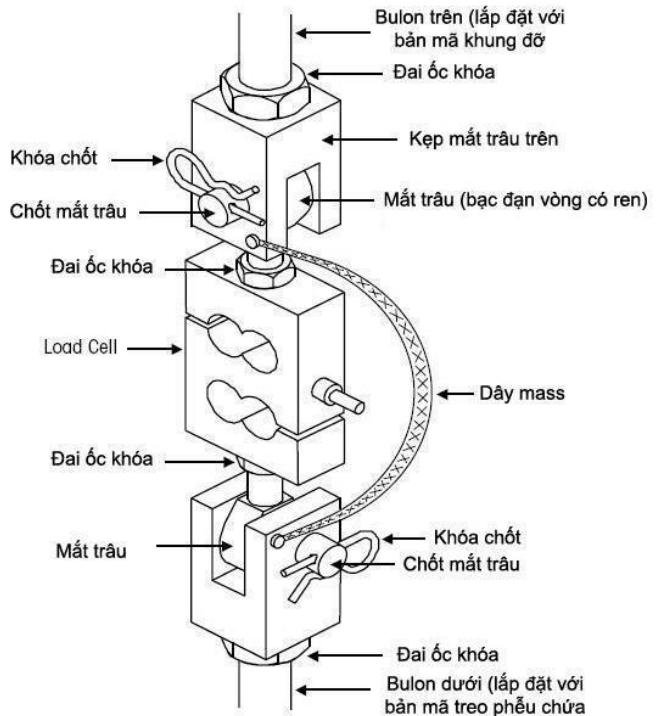
3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Cách lắp đặt loadcell cân



3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Cách lắp đặt loadcell cân



Cân

- 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

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Mạch đo

- Vậy điện áp ra (U_{ra}) sẽ tỷ lệ với lực tác động (trọng lượng) lên loadcell, đưa U_{ra} khuếch đại rồi đưa vào ADC và đưa vào VXL -> Hiển thị kết quả

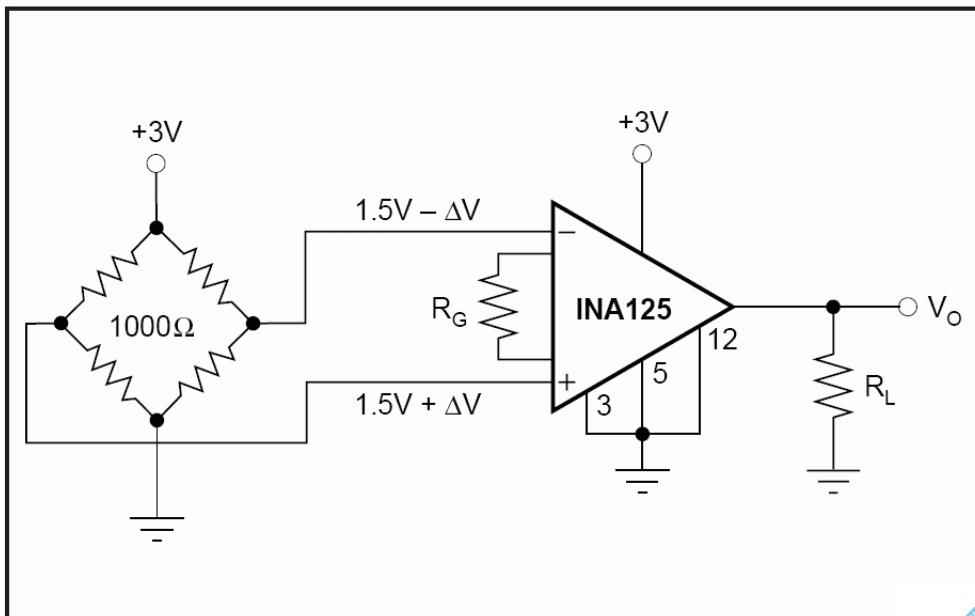


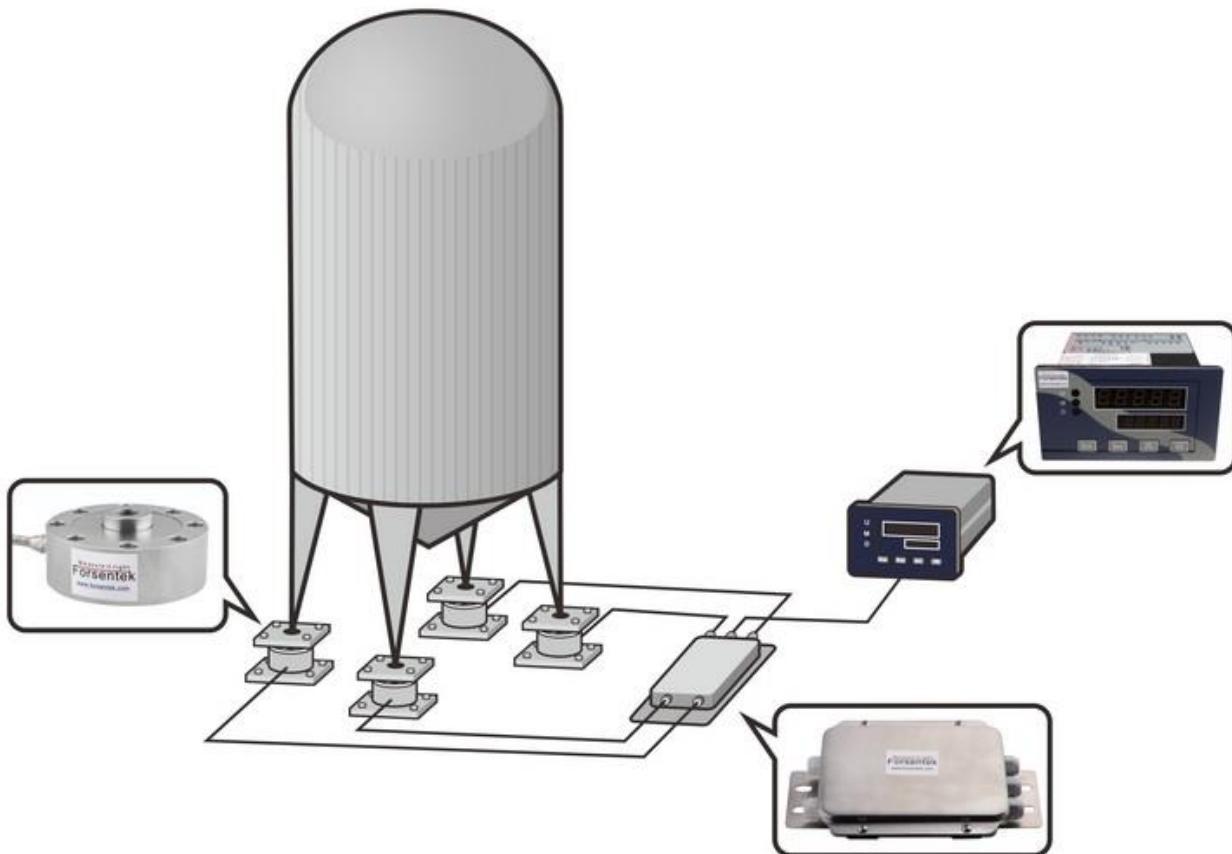
FIGURE 5. Single Supply Bridge Amplifier.

3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- Nối giữa thiết bị đo với mạch cầu:
 - ❖ Cầu 4 dây.
 - ❖ Cầu 6 dây.

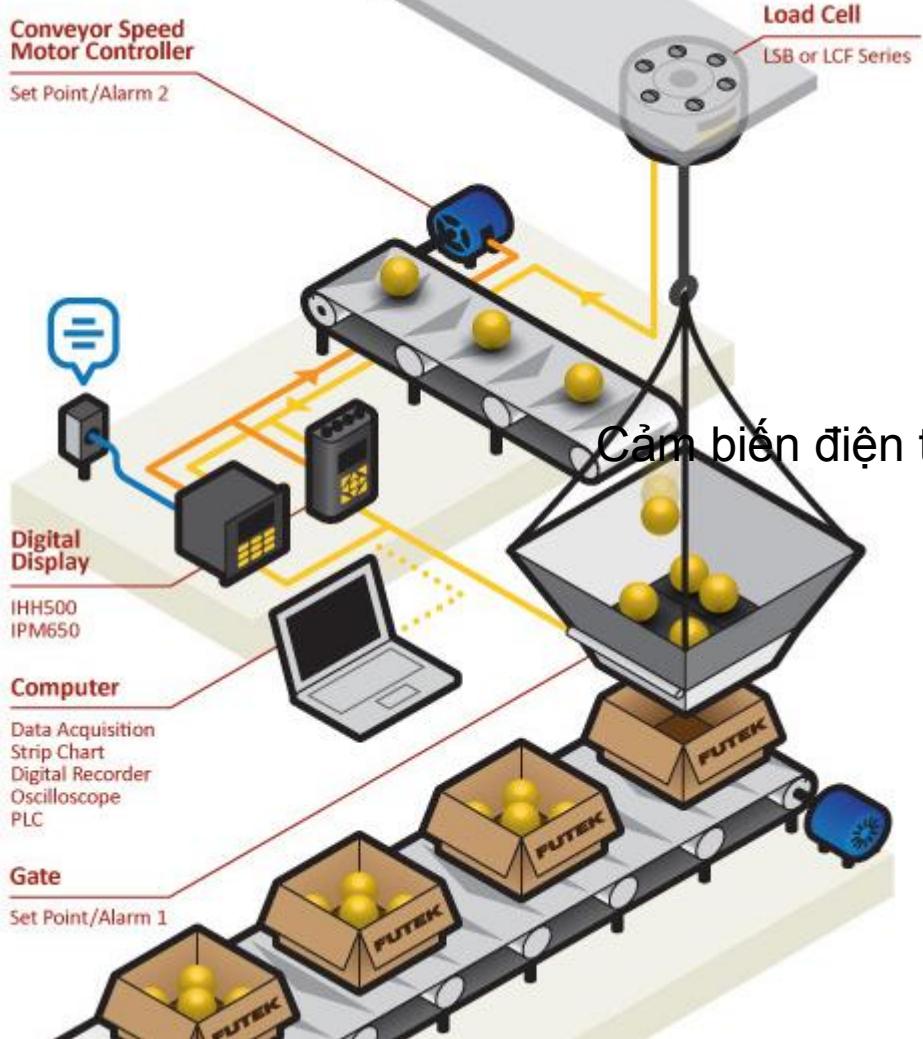
3.2 Cảm biến điện trở lực căng

- 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



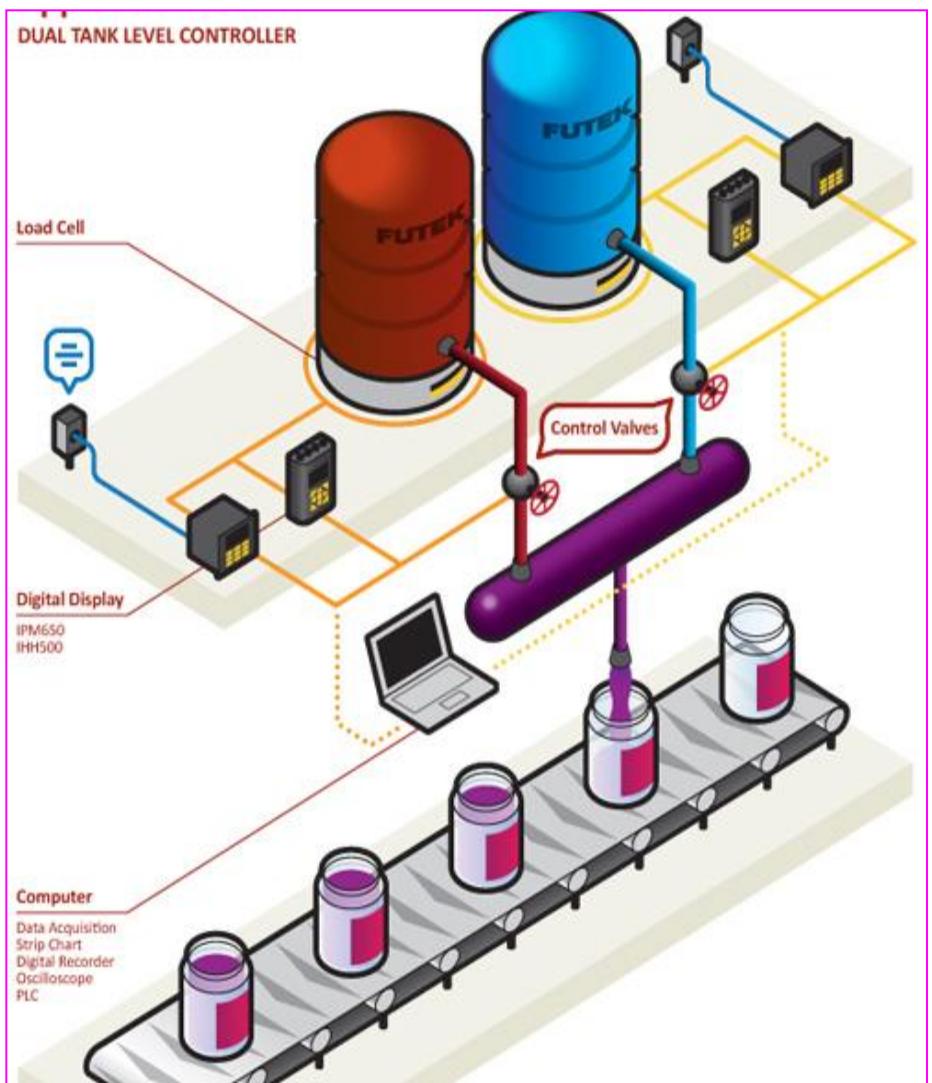
3.2 Cảm biến điện trở lực căng

Một số ứng dụng



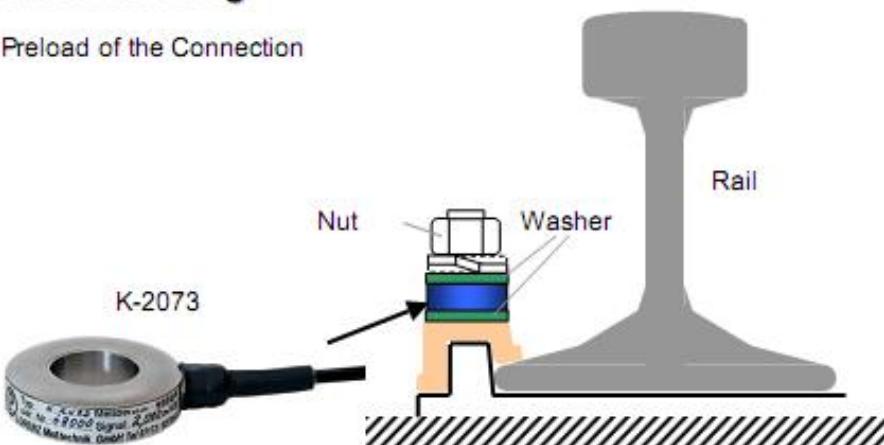
3.2 Cảm biến điện trở lực căng

■ Ứng dụng

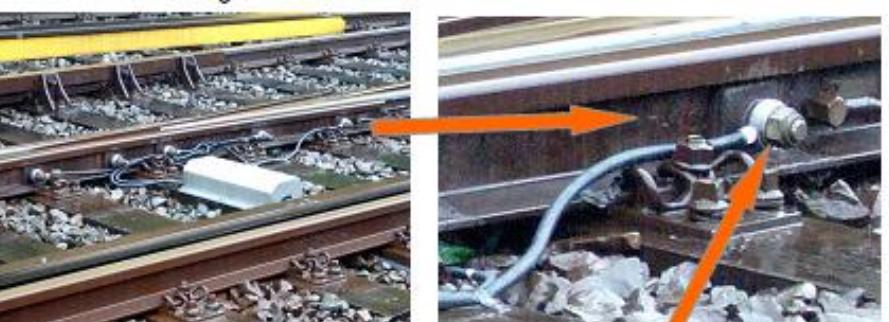


Rail Monitoring

Preload of the Connection



Preload at the frog of the switch



- Intense loaded range
- Measurement at fastening bolt
- Early detection of damages

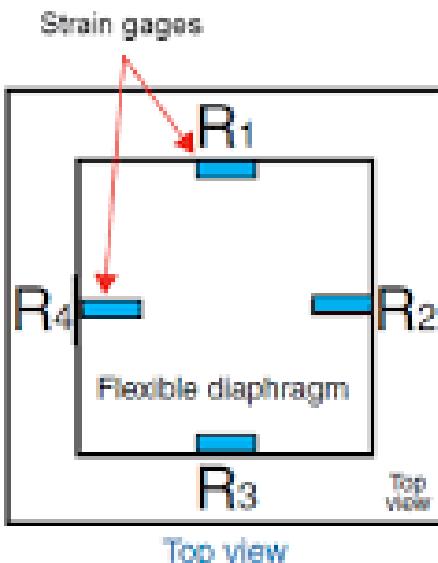
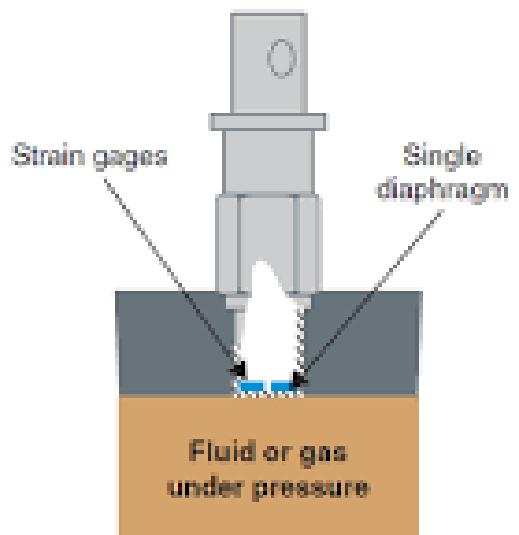
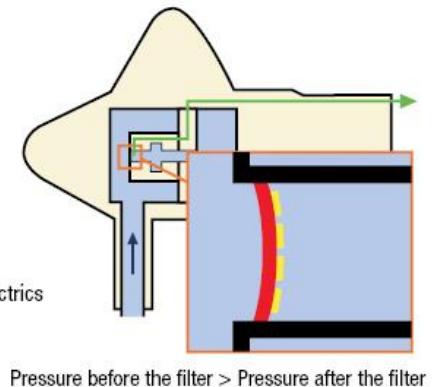
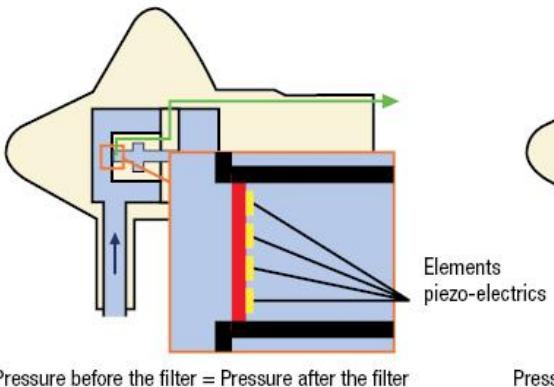
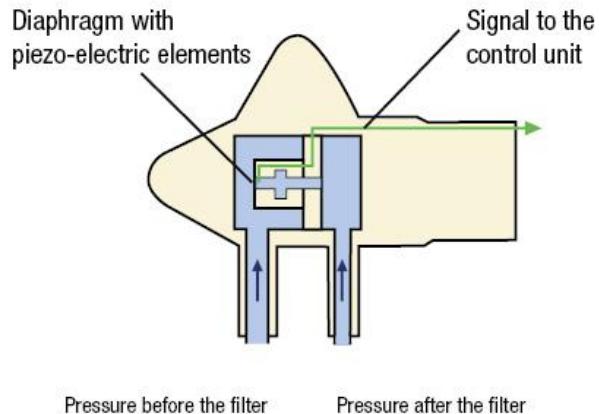


3.2 Cảm biến điện trở lực căng

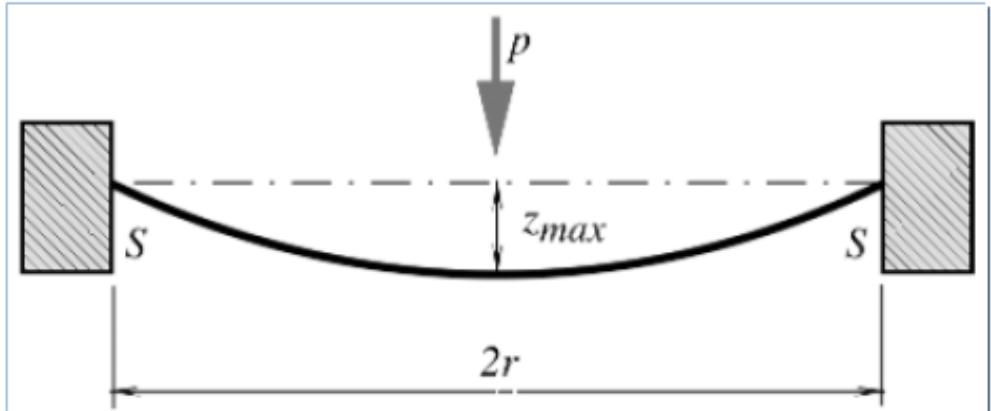
- Để đo 0-10 kg người ta sử dụng một loadcell có độ nhạy cầu là 2 mV/V. Biết điện áp cung cấp là 10V. Chọn loại loadcell và vẽ sơ đồ mạch mắc cảm biến
 - ❖ Tính điện áp ra khi có một khối lượng 8 kg
 - ❖ Hãy chọn mạch chuẩn hóa tín hiệu và tính toán các giá trị điện trở để đưa tín hiệu đo vào ADC có dải điện áp 0-3.3V?
 - ❖ Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy 0,003kg, lựa chọn ADC. Tính khối lượng của vật khi đầu ra 1110 1010 1111

Cảm biến điện trở lực căng

■ Ứng dụng điện trở lực căng đo áp suất

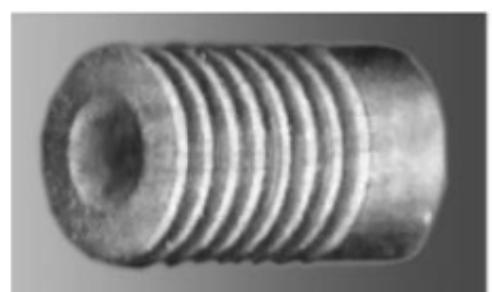
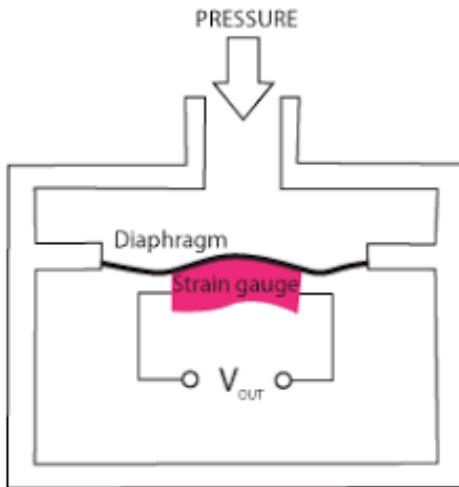


Ứng dụng điện trở lực căng đo áp suất



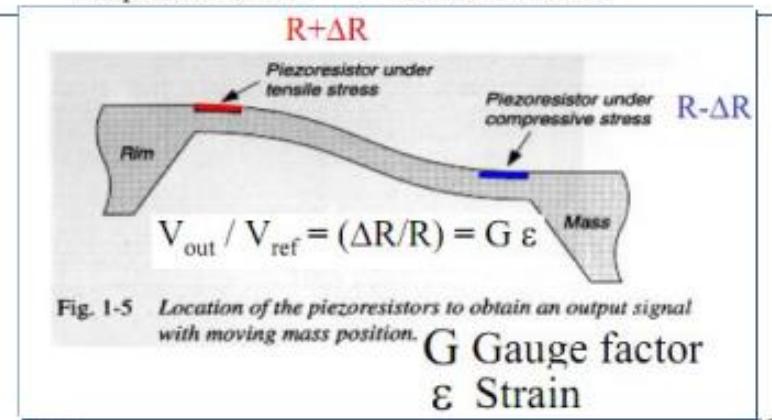
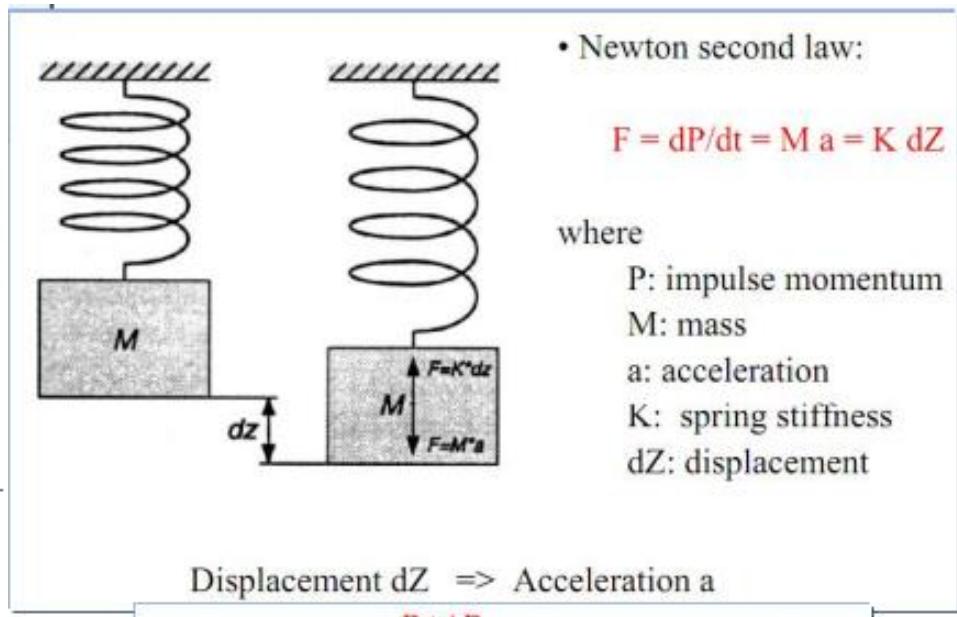
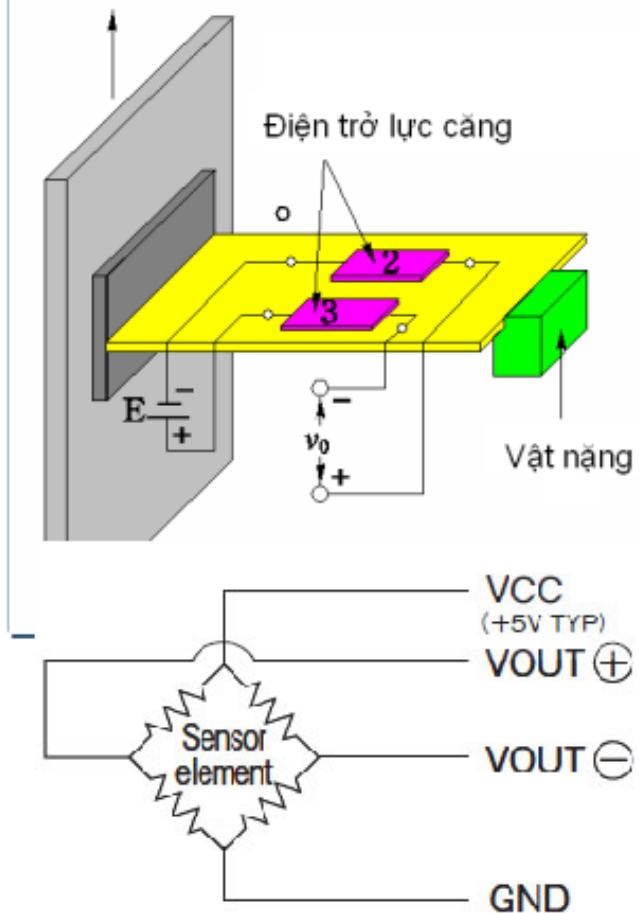
- Mối liên hệ giữa độ vồng Z và áp suất p xác định như sau:

$$z_{\max} = \frac{3(1-v^2)r^4 p}{16Eg^3},$$



(A)

Ứng dụng điện trở lực căng đo gia tốc



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

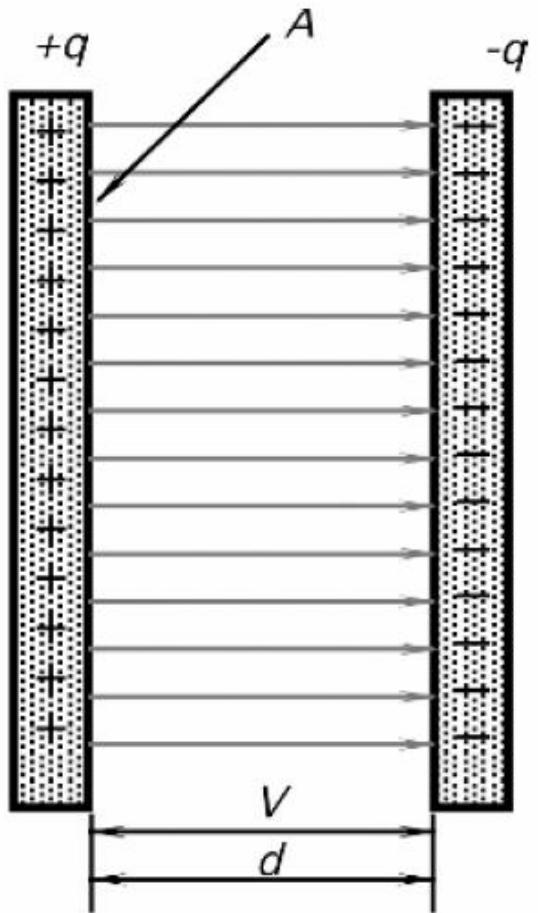
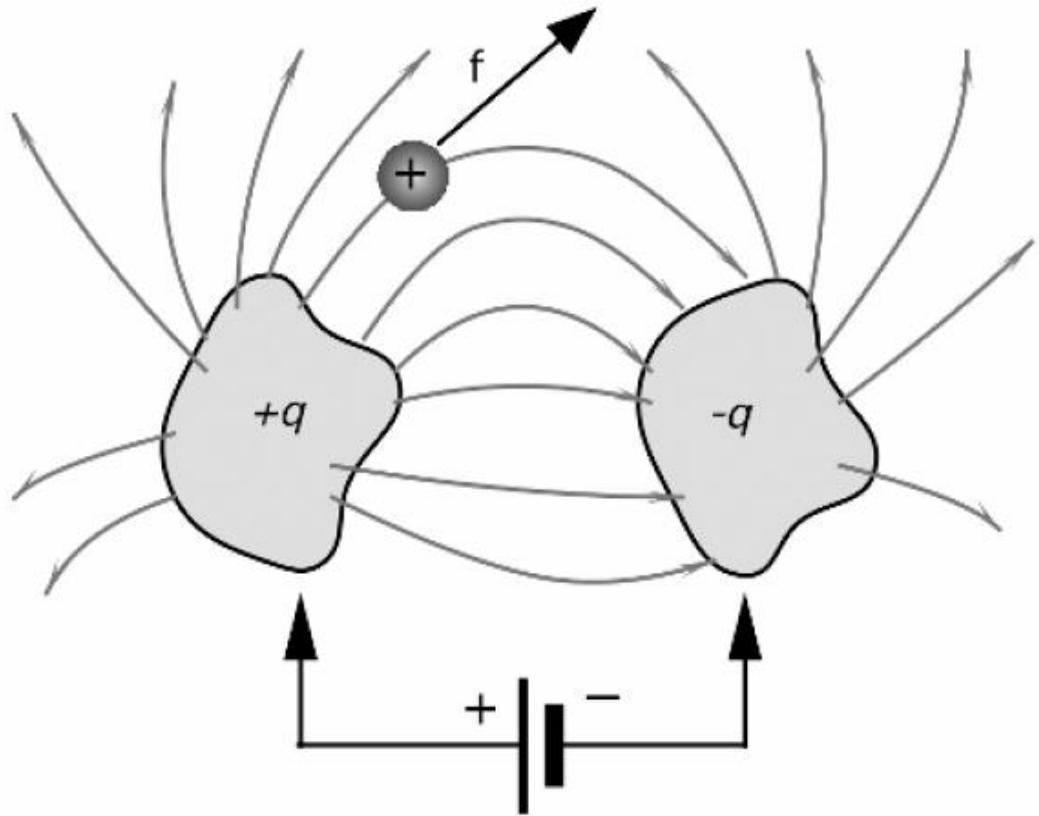
- ❖ Chương 1: Tổng quan về cảm biến và Các mạch xử lý trong đo lường
- ❖ Chương 2: Chuyển đổi nhiệt điện
- ❖ Chương 3: Chuyển đổi điện trở
- ❖ **Chương 4: Cảm biến tĩnh điện(áp điện, điện dung)**
- ❖ Chương 5: Chuyển đổi điện tử
- ❖ Chương 6: Chuyển đổi tĩnh điện Chuyển đổi điện tử và ion
- ❖ Chương 7: Chuyển đổi hóa điện
- ❖ Chương 8: Chuyển đổi khác

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 tĩnh điện

■ Cấu tạo và nguyên lý làm việc

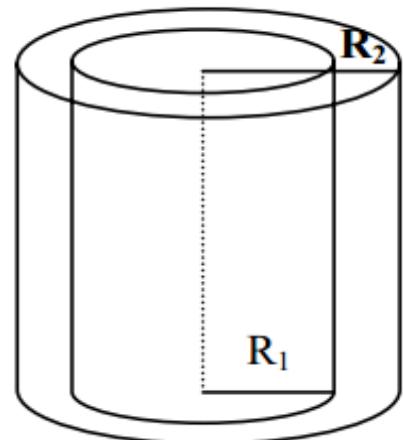


Cảm biến tĩnh điện

- Cấu tạo của tụ điện trụ:

- Là tụ điện có hai bản tụ có 2 mặt trụ đồng trục, bán kính R_1 & R_2 gần bằng nhau. Chiều cao l .
- Điện dung của tụ được tính theo công thức:

ℓ



$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

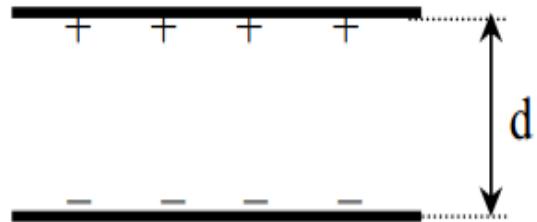
Với : ϵ – hằng số điện môi giữa 2 bản tụ
 ϵ_0 – hằng số điện

Cảm biến tĩnh điện

- Cấu tạo của tụ điện phẳng:

 - o Là tụ điện có 2 bản tụ là hai tấm kín loại phẳng có cùng diện tích S , đặt song song với nhau và cách nhau một khoảng d rất nhỏ so với kích thước tụ.
 - o Điện dung của tụ được tính theo công thức:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

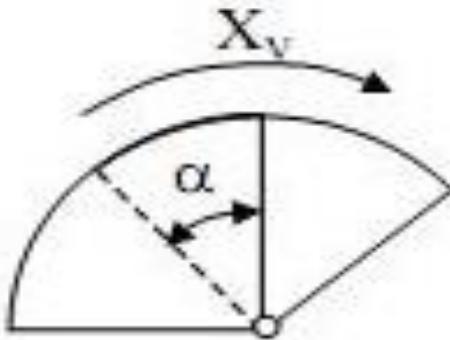


Với : ϵ – hằng số điện môi giữa 2 bản tụ
 ϵ_0 – hằng số điện

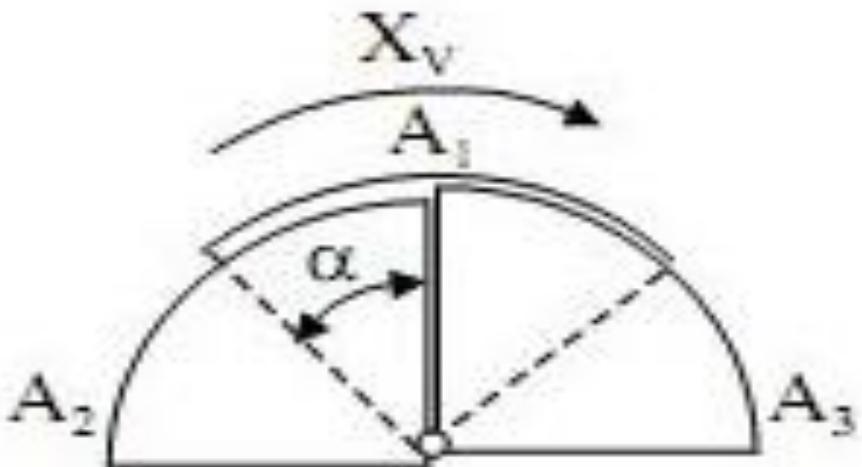
Cảm biến tĩnh điện

- Thay đổi tiết diện
 - ❖ Ứng dụng bài toán đo góc

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{\pi R^2 \alpha}{d}$$

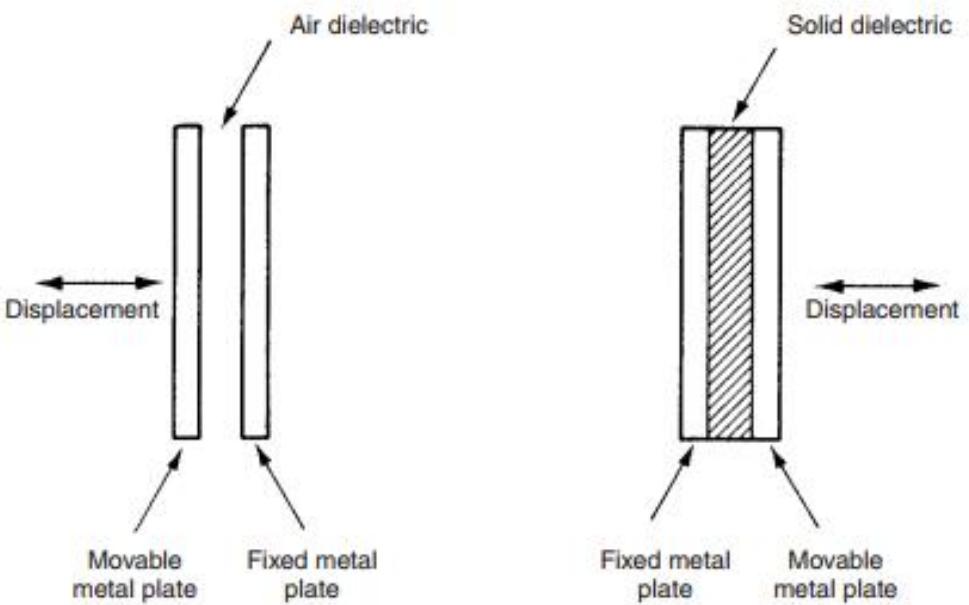
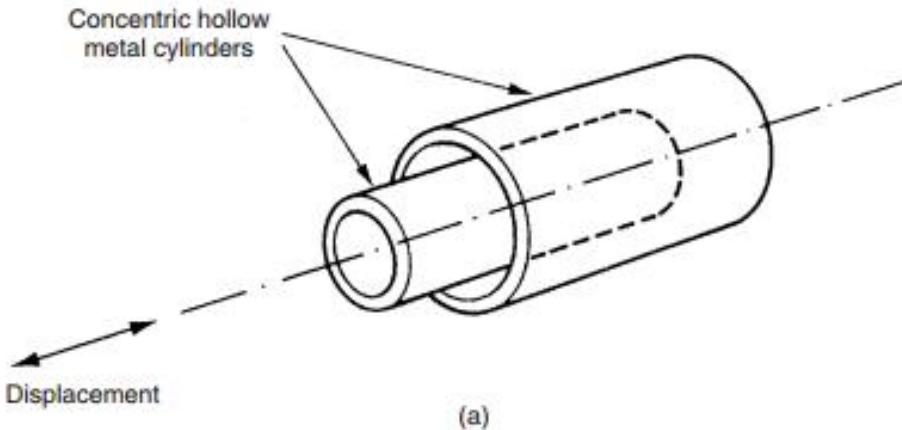


- ❖ Với
 - R là bán kính
 - Alpha là góc lệch



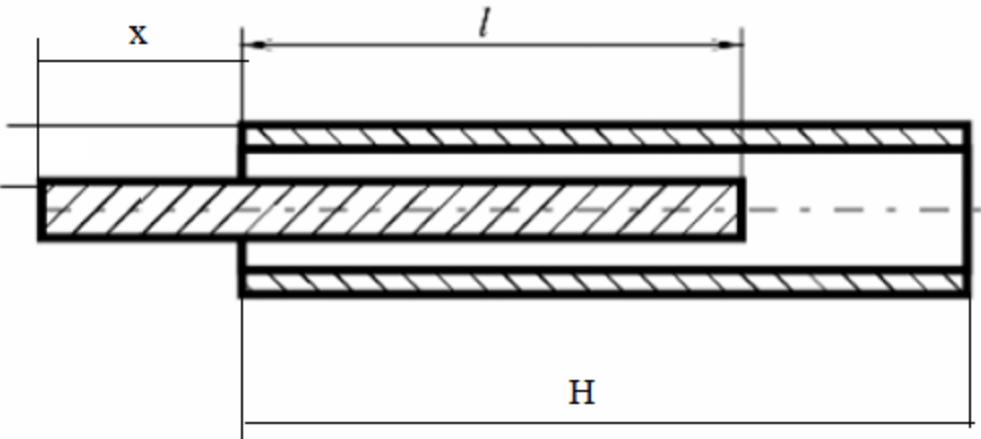
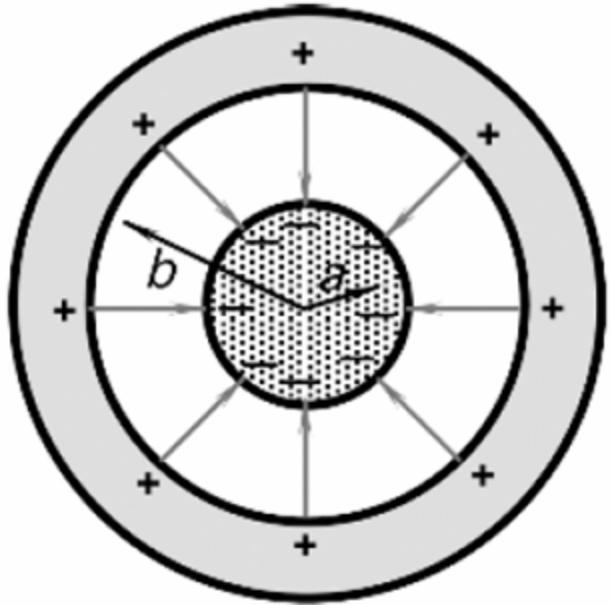
Cảm biến tĩnh điện

■ Thay đổi tiết diện



Cảm biến tĩnh điện

■ Thay đổi tiết diện

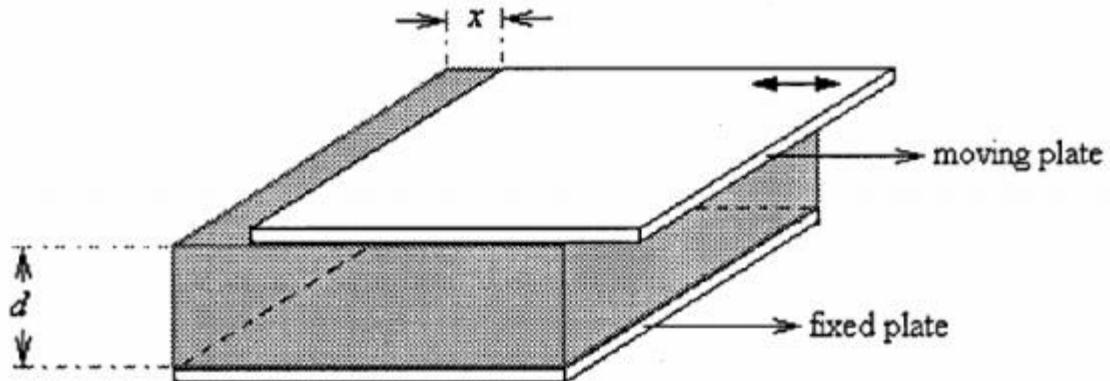


$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 (H - x)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Cảm biến tĩnh điện

■ Thay đổi tiết diện

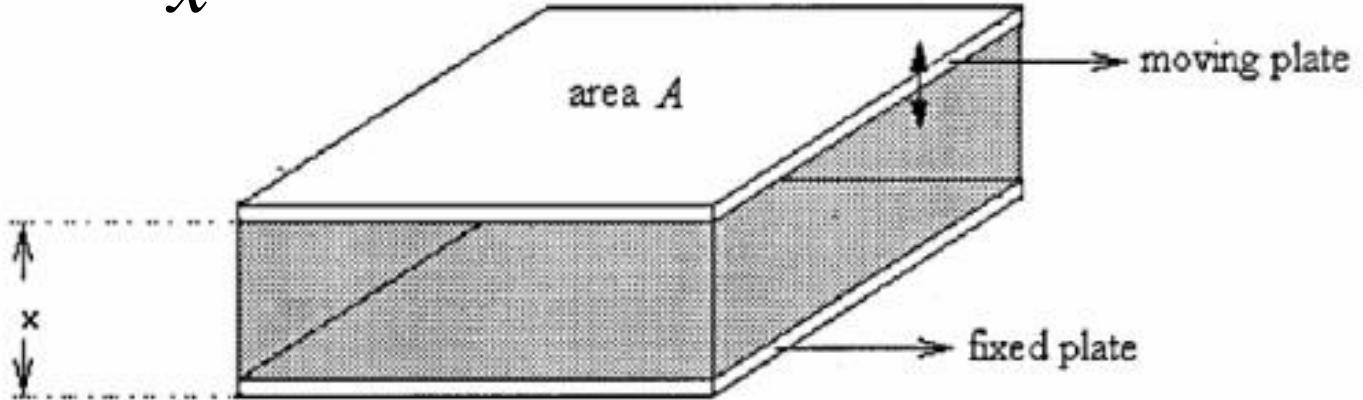
$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{(A - wx)}{d}$$



Cảm biến tĩnh điện

- Thay đổi khoảng cách các bản cực

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{A}{x}$$

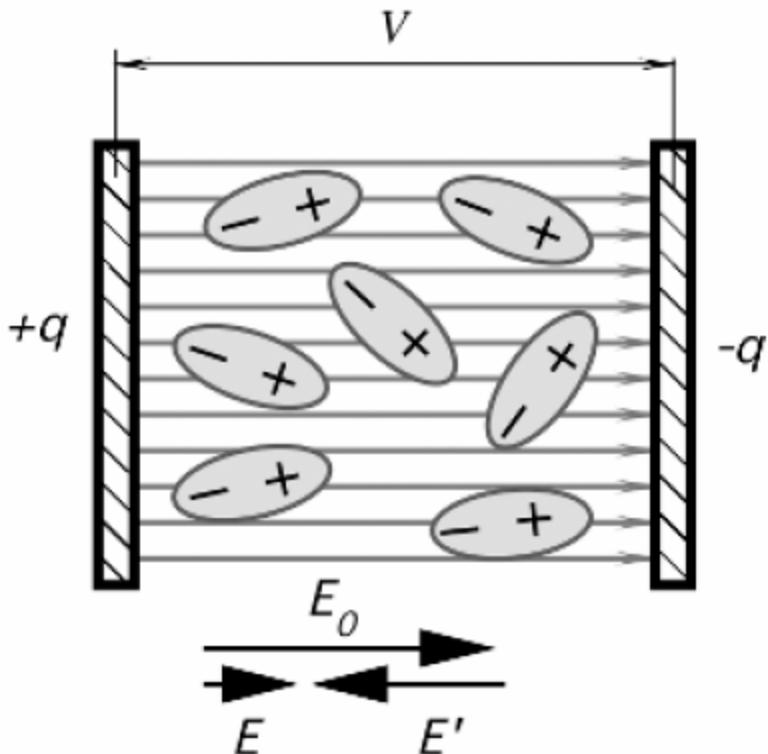
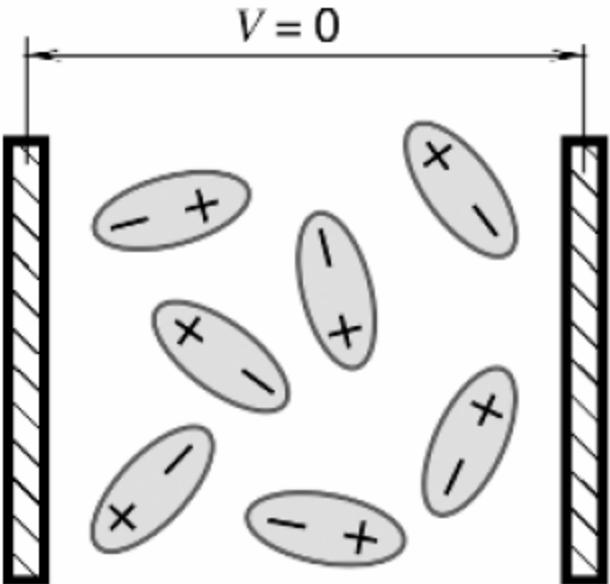


$$\frac{dC}{x} = \epsilon \epsilon_0 \frac{A}{x^2}$$

$$\frac{dC}{C} = -\frac{dx}{x}$$

Cảm biến tĩnh điện

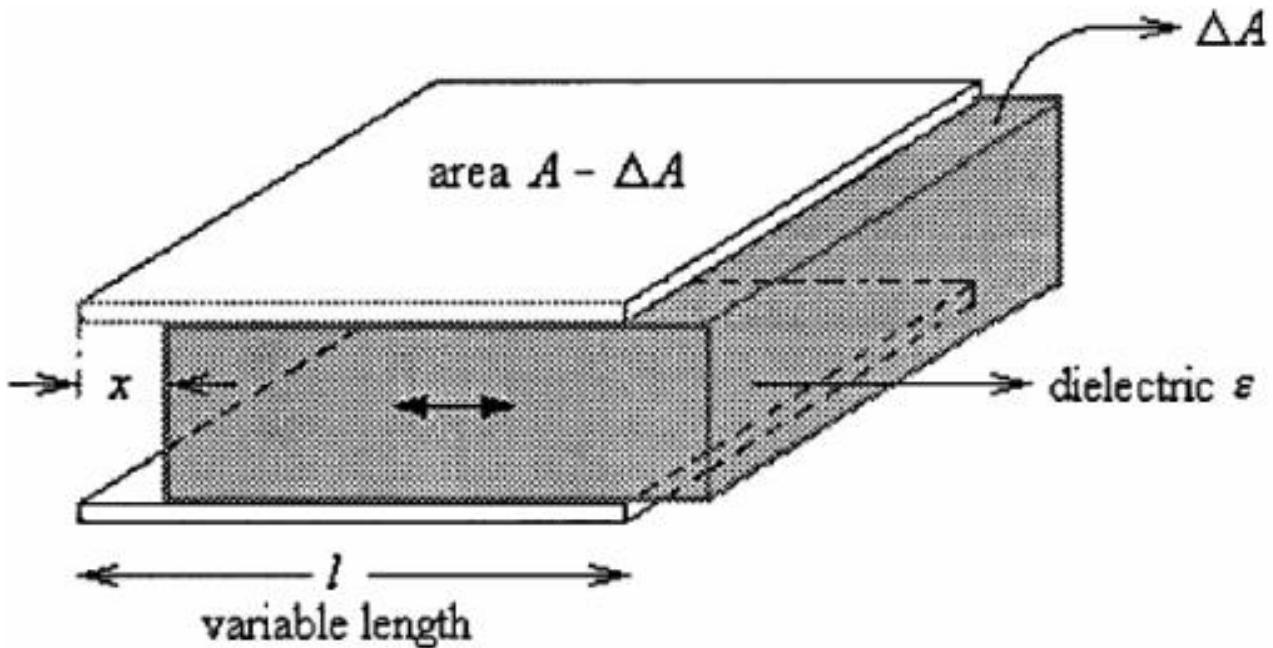
- Điện môi thay đổi



$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

Cảm biến tĩnh điện

- Điện môi thay đổi

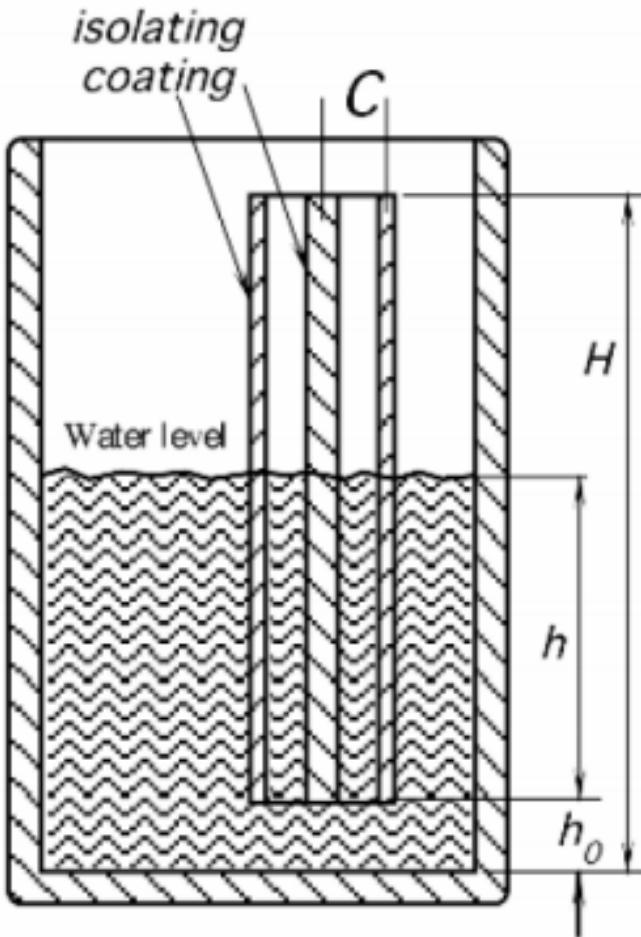


$$C = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{(A - \Delta A)}{d} + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{(\Delta A)}{d} = \frac{\epsilon_0 w}{d} (\epsilon_2 l - (\epsilon_2 - \epsilon_1)x)$$

Cảm biến tĩnh điện

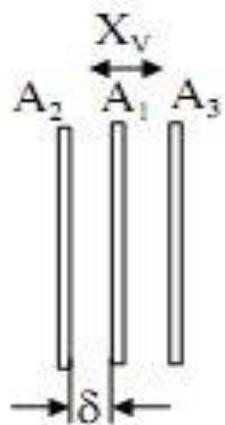
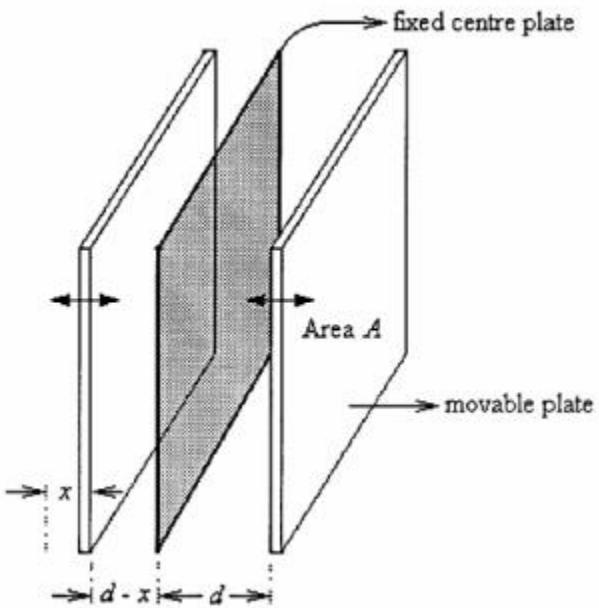
■ Điện môi thay đổi

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[H + h(\epsilon - 1) \right]$$

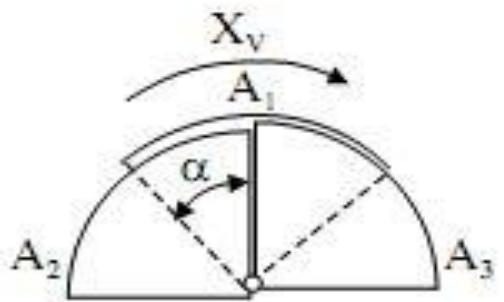


Cảm biến tĩnh điện

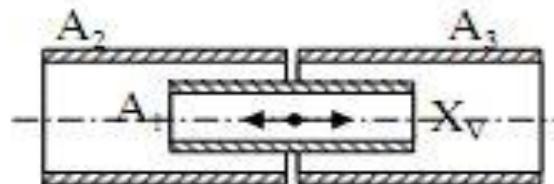
Cảm biến loại vi sai



a)



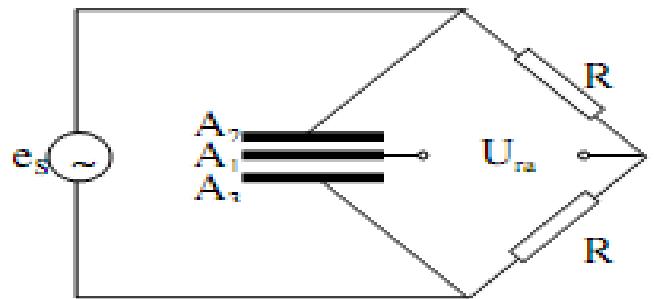
b)



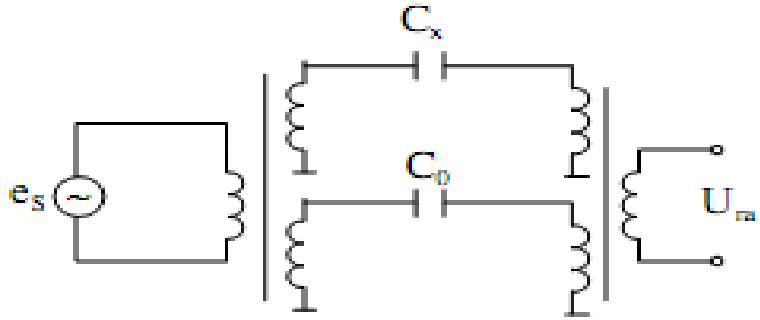
c)

Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

- Mạch cầu



a)



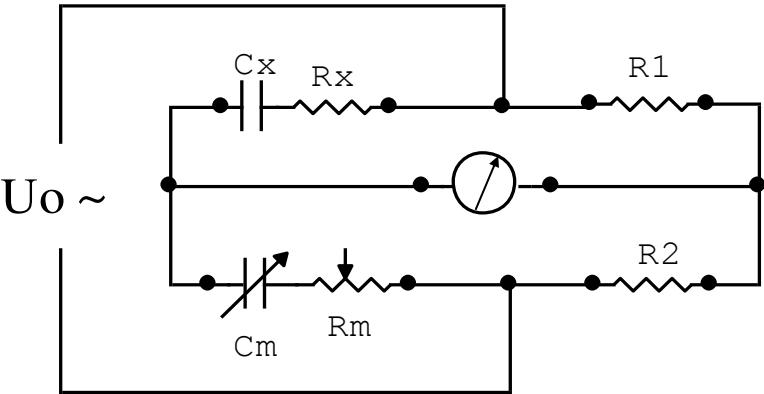
b)

Hình 4.15 Mạch đo thường dùng với cảm biến tụ điện

- Thông thường mạch đo dùng với cảm biến điện dung là các mạch cầu không cân bằng cung cấp bằng dòng xoay chiều

a. Cầu đo tụ điện

- Khi đó người ta mắc cầu như hình bên
 - ❖ C_x , R_x là nhánh tụ điện cần đo
 - ❖ C_m , R_m là nhánh tụ mẫu điều chỉnh



Cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ

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

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

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

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

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

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

b. Cầu đo tụ điện

■ Cầu cân bằng ta có điều kiện:

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

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

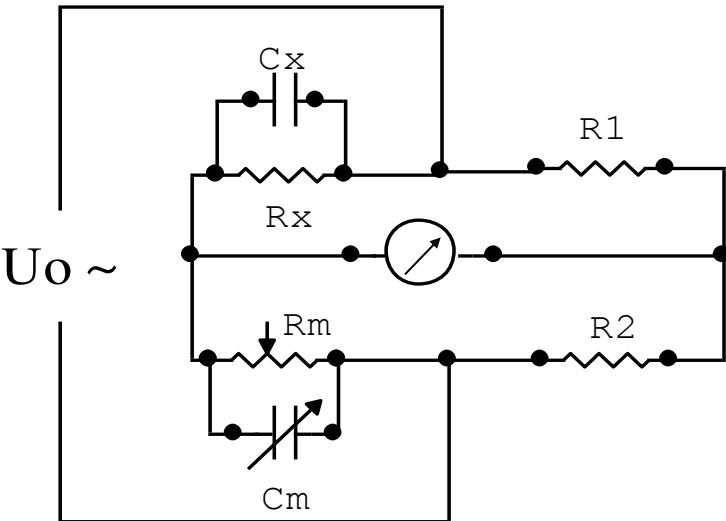
$$Z_m = \frac{R_m \cdot \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

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

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

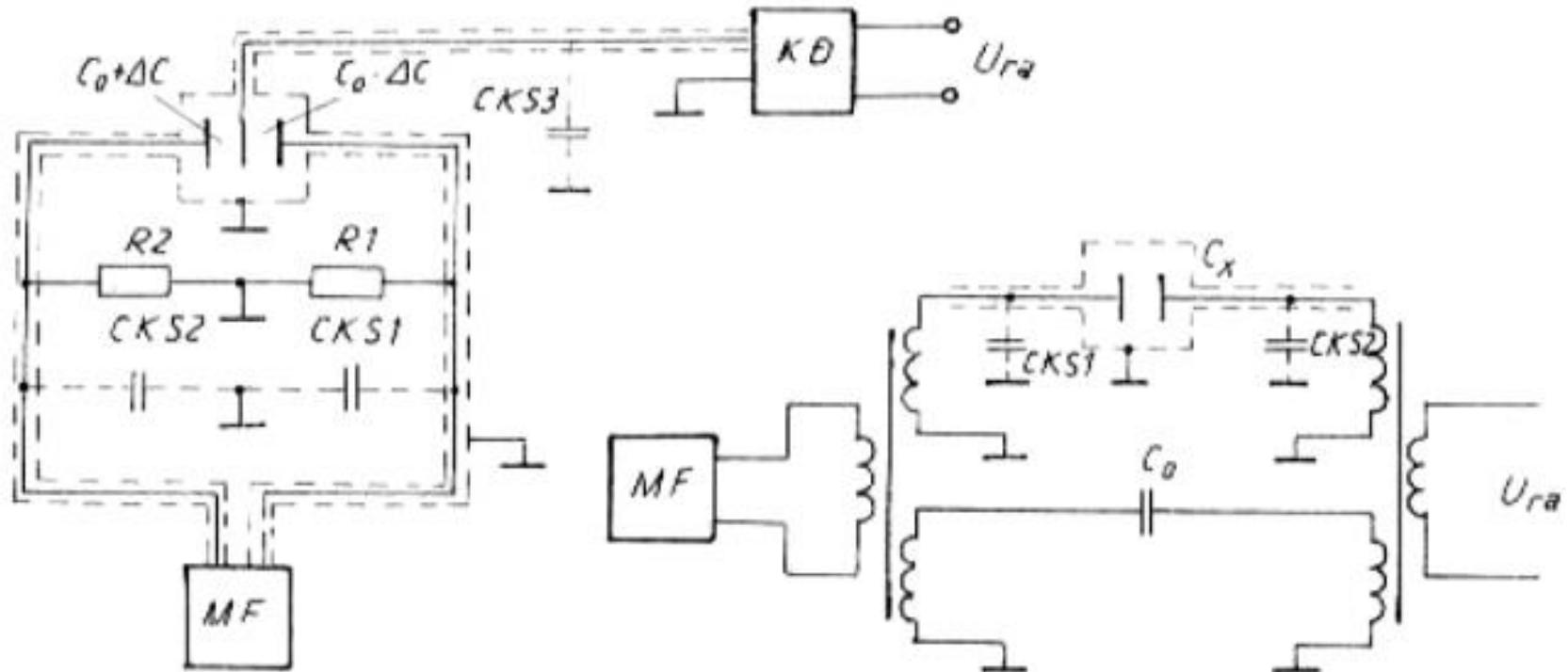


Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

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

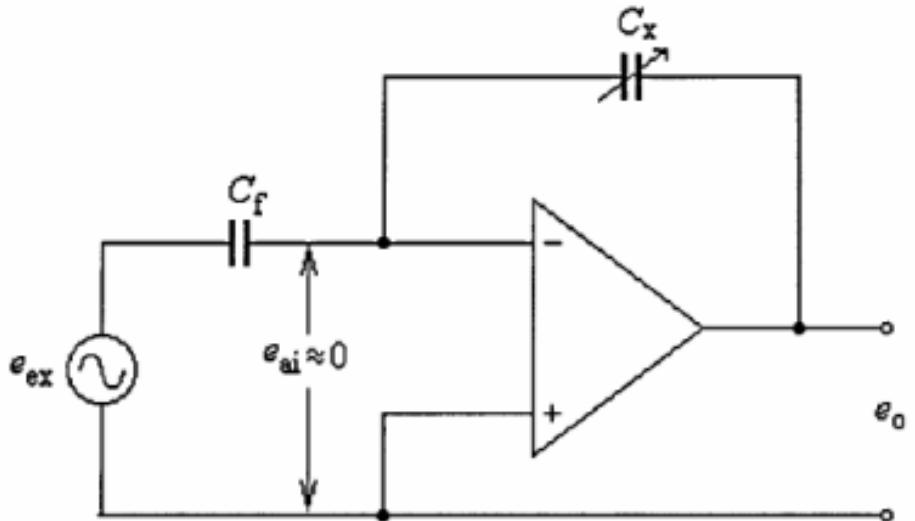
Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

Mạch cầu



Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

Mạch khuếch đại



$$1/C_f = \int i_f \, dt = e_{ex} - e_{ai} = e_{ex}$$

$$1/C_x = \int i_x \, dt = e_0 - e_{ai} = e_0$$

$$i_f + i_x - i_{ai} = 0 = i_f + i_x$$

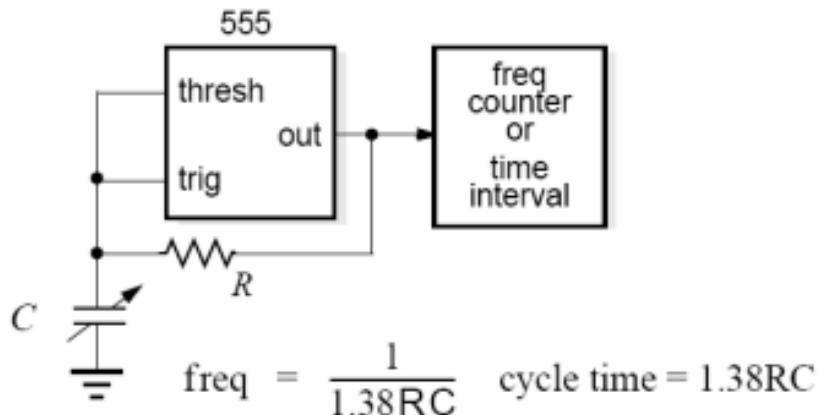
$$e_0 = -C_f / C_x \cdot e_{ex}$$

$$e_0 = -C_f / C_x \cdot e_{ex} / \epsilon A$$

Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

Mạch phát tần

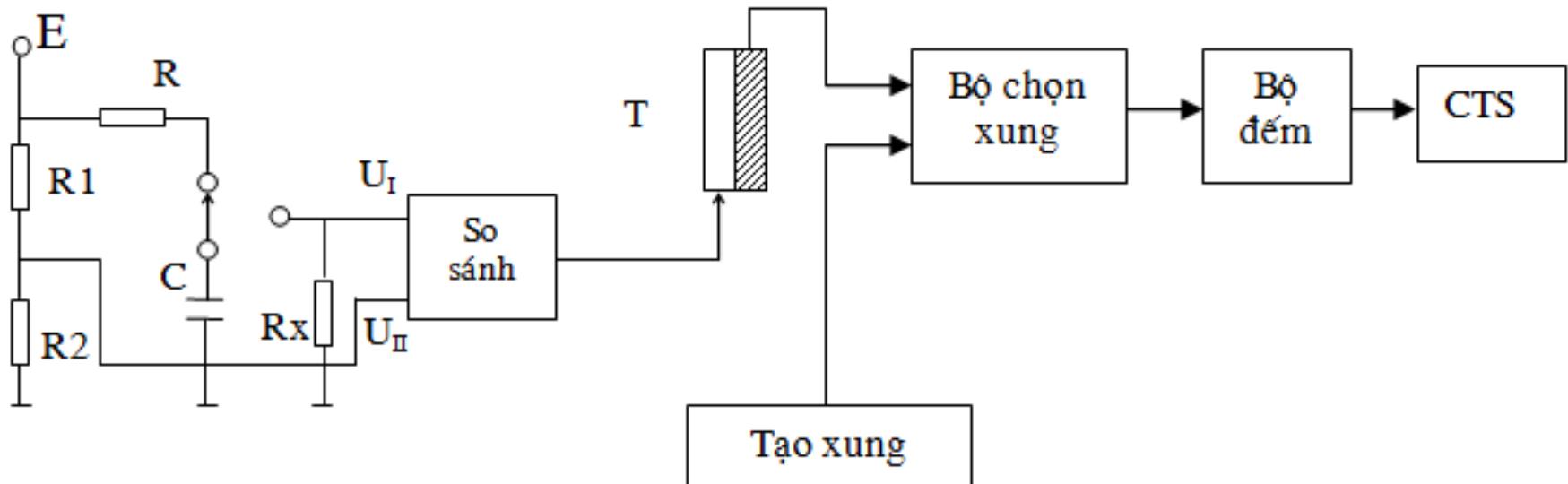
- Máy phát L-C.
- Cầu Wein (R-C)
- Mạch đa hài



Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

Mạch phát tần R-C

Hằng số thời gian của mạch dao động RC $T = R_X C$



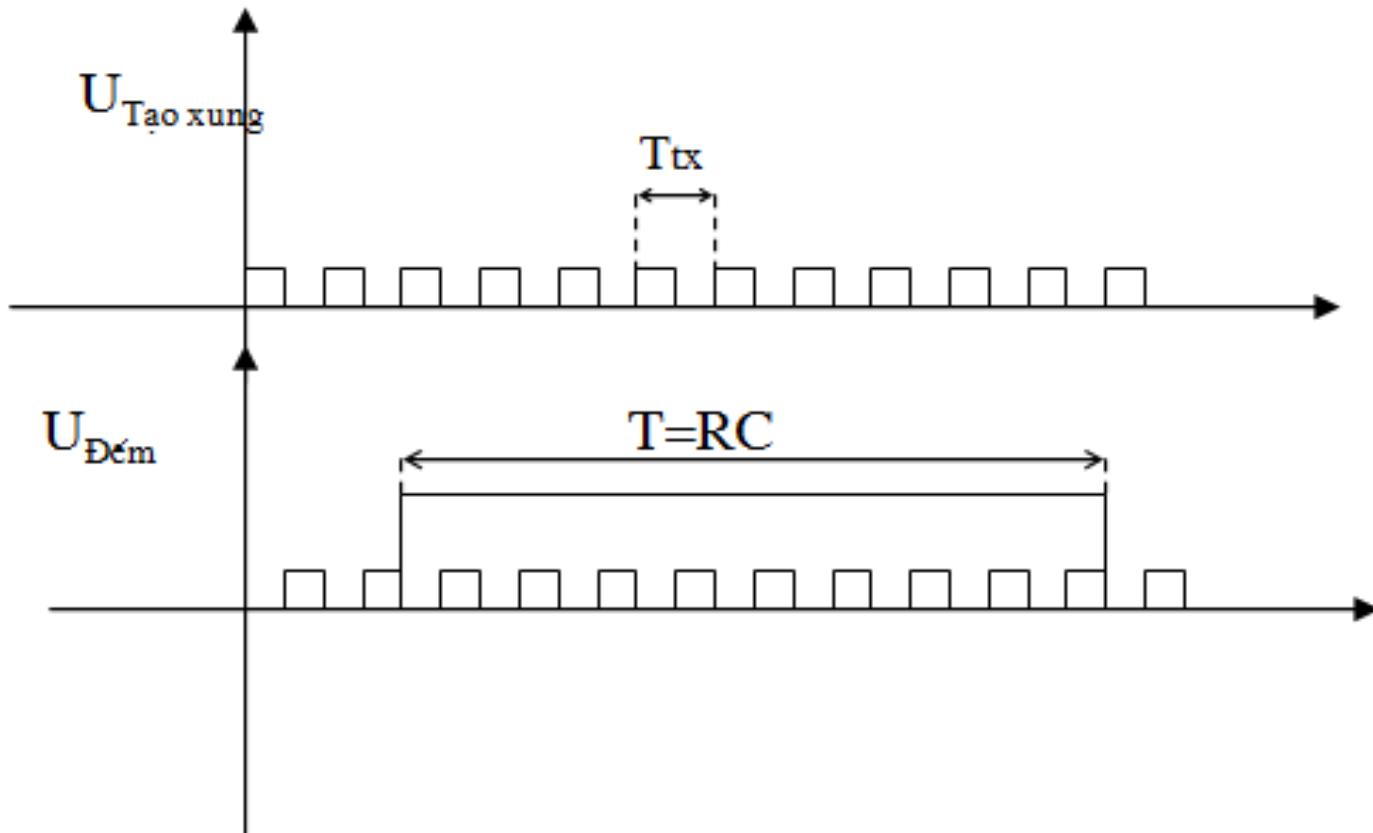
$$U_I = E \cdot e^{-t/T}, t = T \Rightarrow U_T = E \cdot e^{-1}$$

$$U_{II} = E \cdot \frac{R2}{(R1 + R2)} = E \cdot e^{-1}$$

Cảm biến tĩnh điện- Mạch đo

Mạch đo

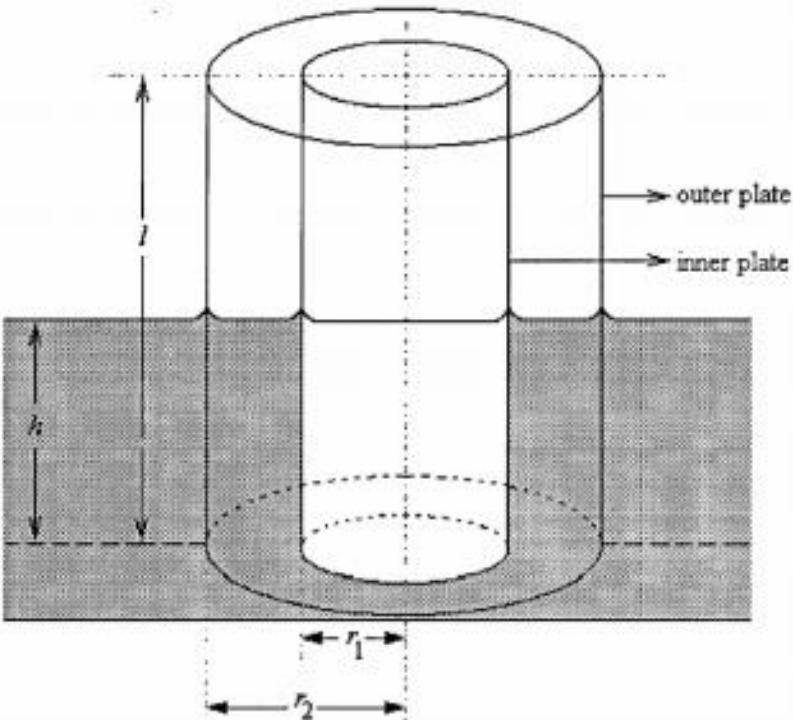
Ta có biểu đồ thời gian như sau :



Gọi số xung đếm được là m, ta có : $T = R_x C = m \cdot T_{tx} \Rightarrow$

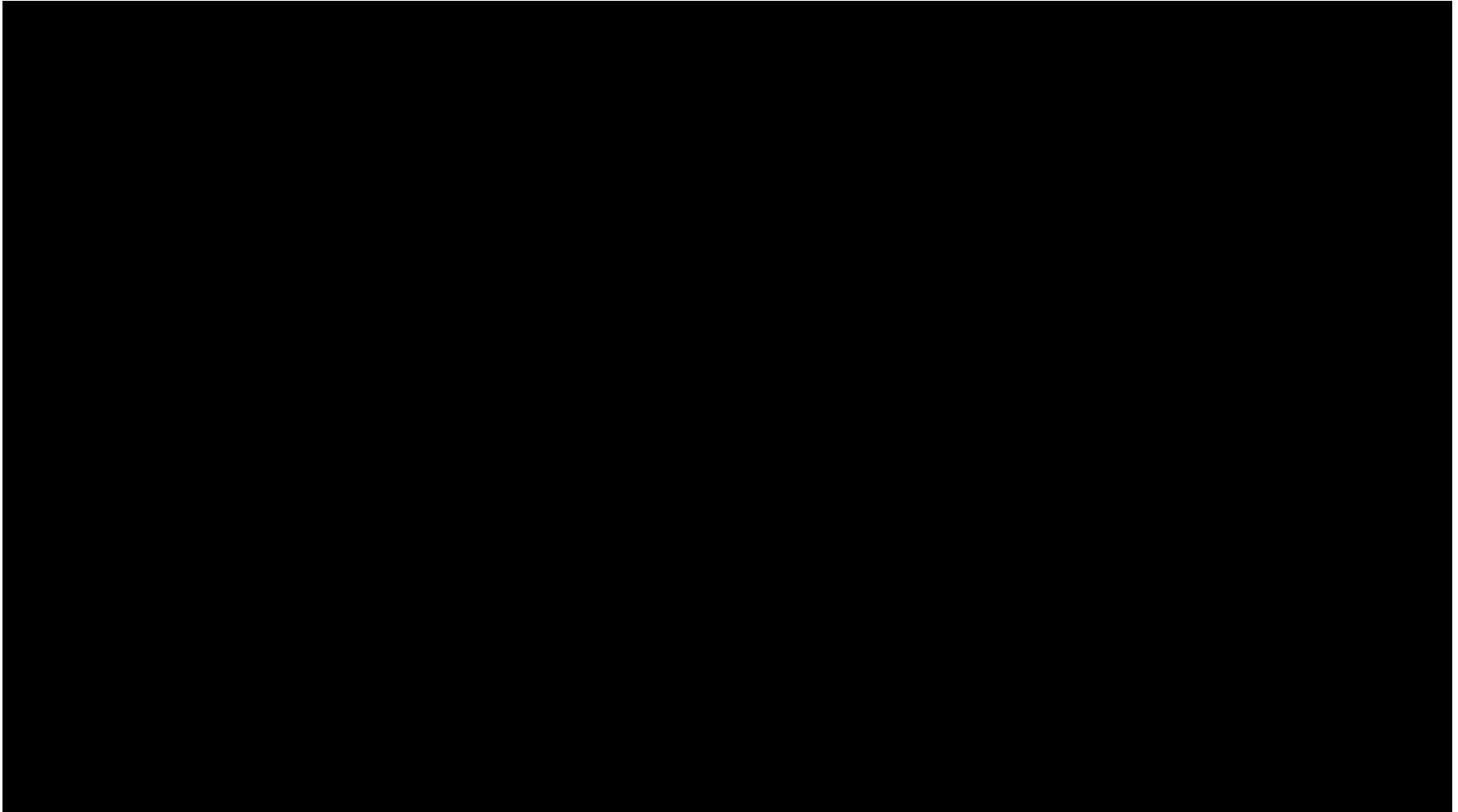
Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

- Đo mức chất lỏng hoặc hạt mịn



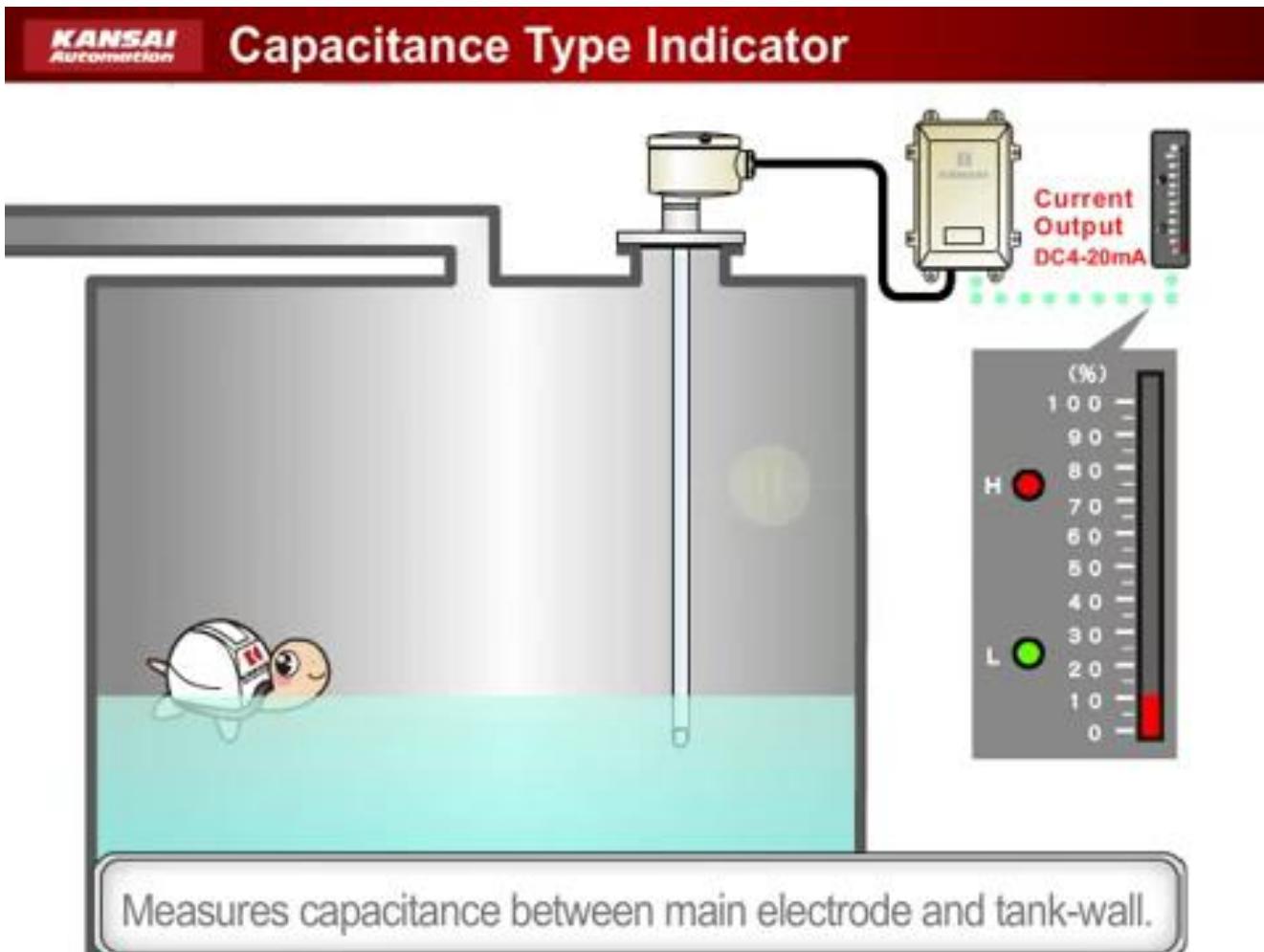
Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

- Đo mức chất lỏng hoặc hạt mịn



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

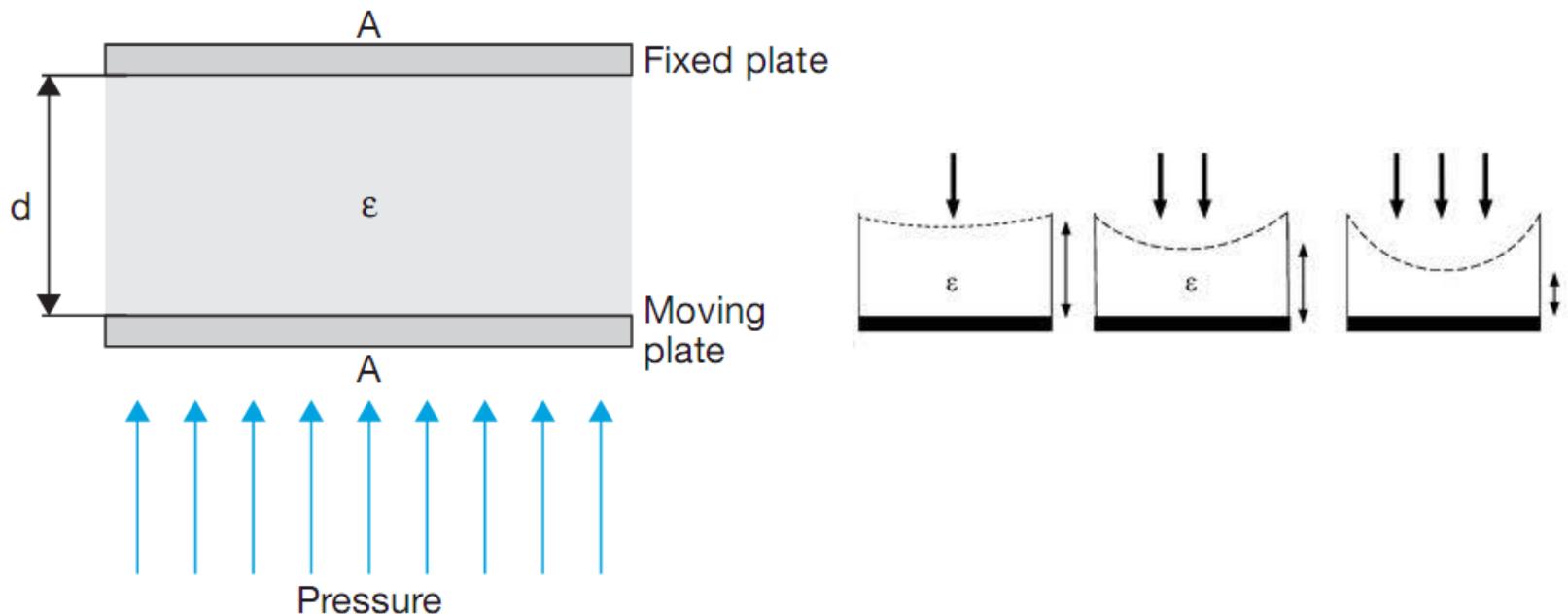
■ Đo mức



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

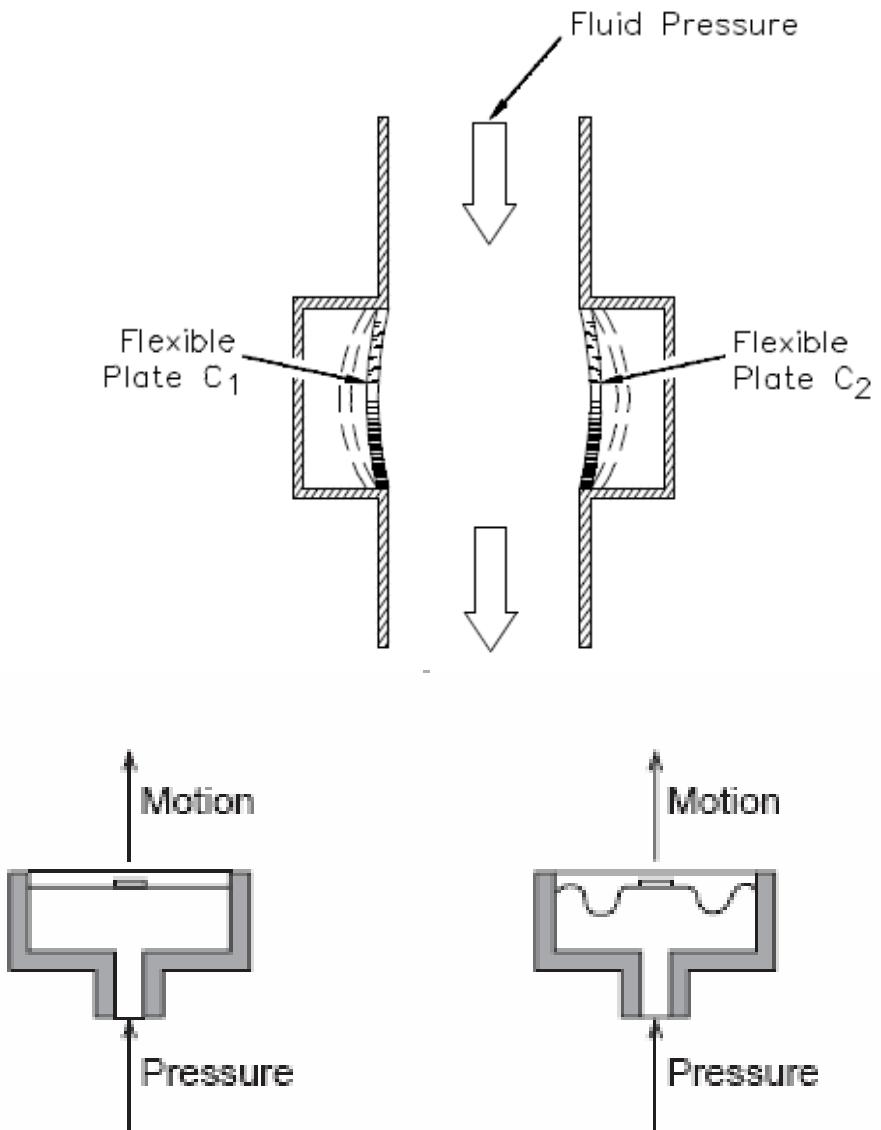
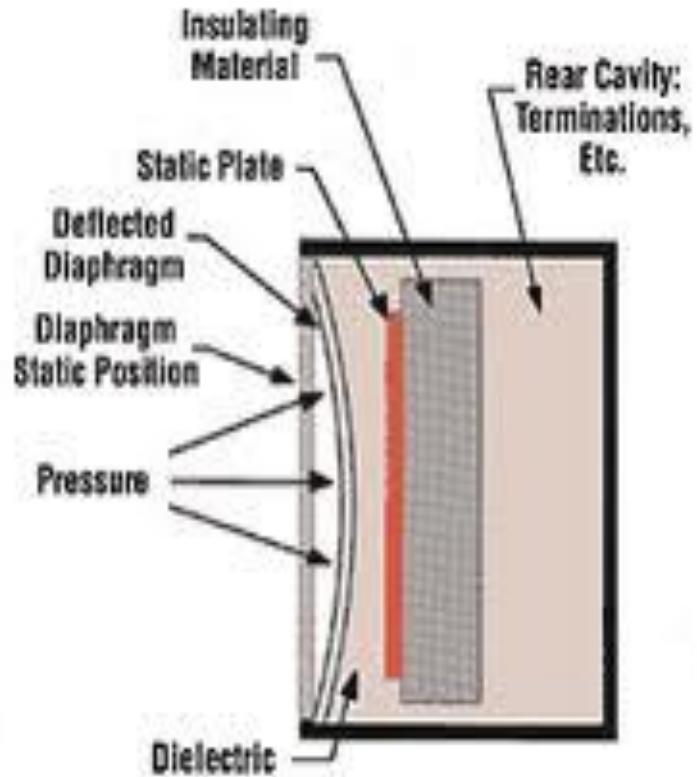
► Áp suất điện dung

- ◆ Gồm 2 bản cực, 1 bản cực cố định, 1 bản cực là màn chắn chịu tác động của áp suất
- ◆ Đo áp suất dựa vào điện dung của tụ điện



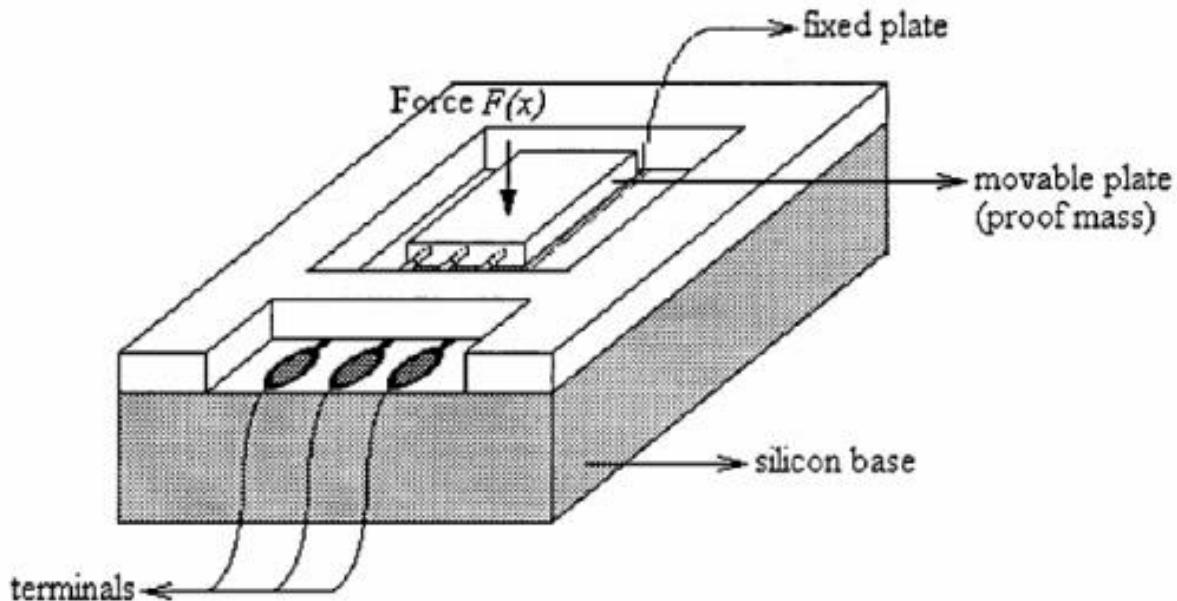
Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

► Loại điện dung



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

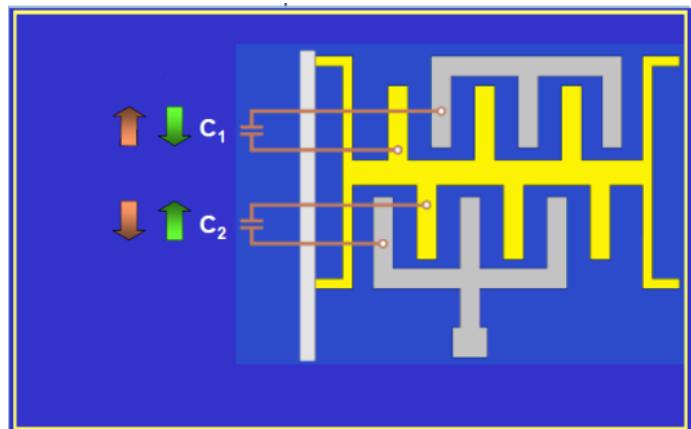
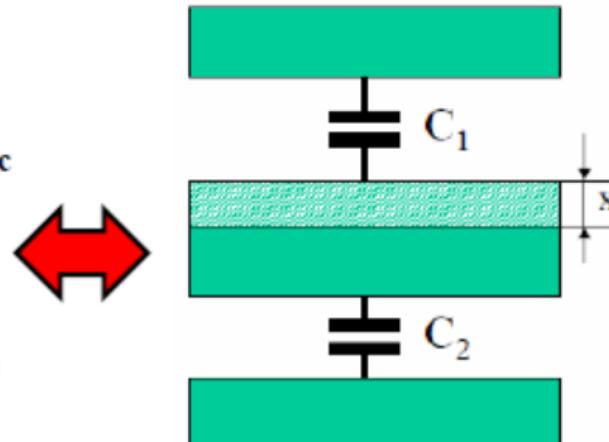
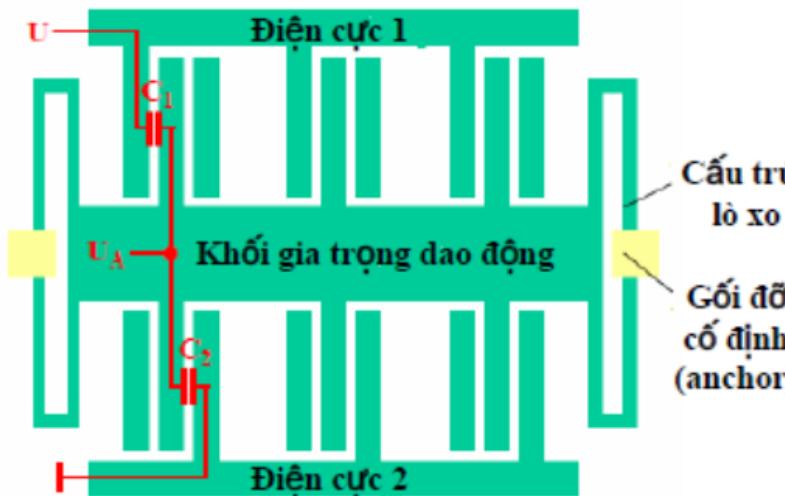
■ Đo gia tốc



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

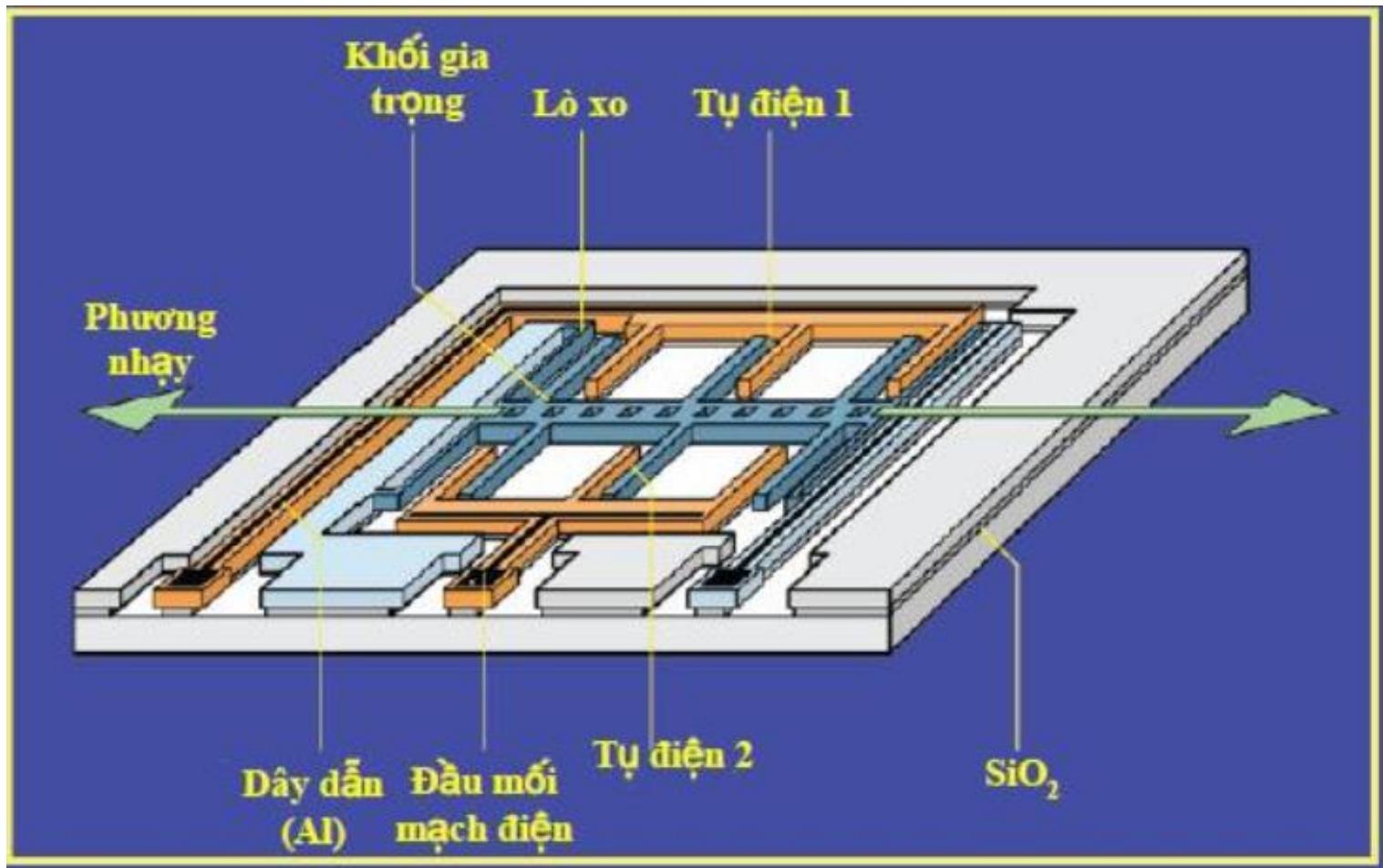
■ Đo gia tốc

- ☞ Cấu trúc kiểu điện cực răng lược



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

■ Đo gia tốc



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

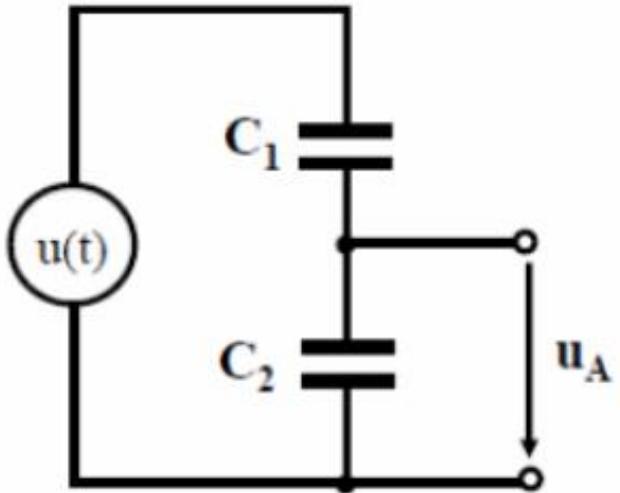
■ Đo gia tốc

Nguyên lý đo

☞ Thế lối ra: $u_A = u(t) \cdot \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = u(t) \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1}}$

Vì: $\frac{C_2}{C_1} = \frac{d+x}{d-x} = \frac{d+a \frac{m}{k}}{d-a \frac{m}{k}}$

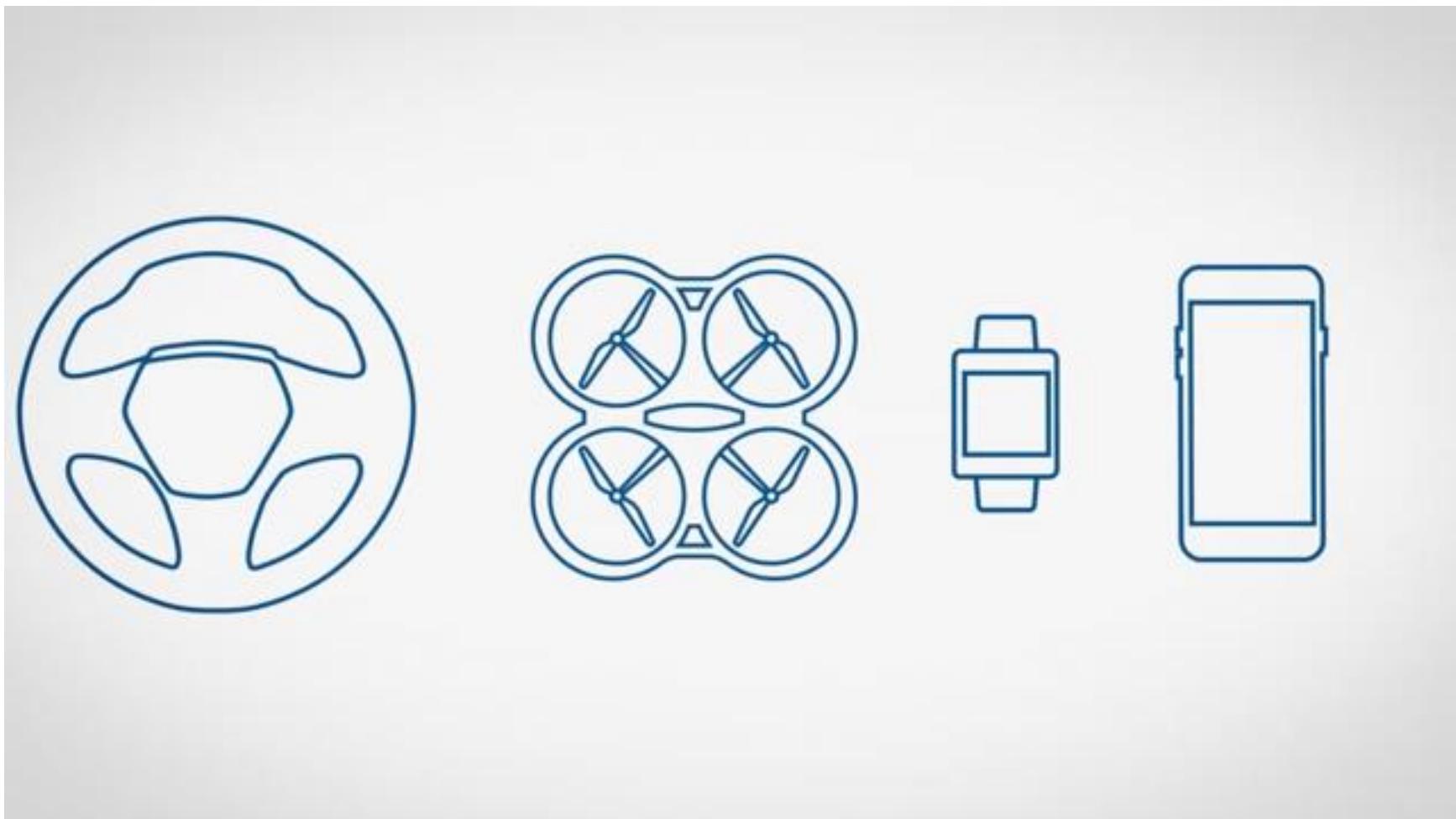
$$\Rightarrow u_A = \frac{1}{2} u(t) \left(1 - \frac{m}{k \cdot d} a \right) \quad a = \frac{k}{m} \cdot x$$



$u(t)$: thế lối vào

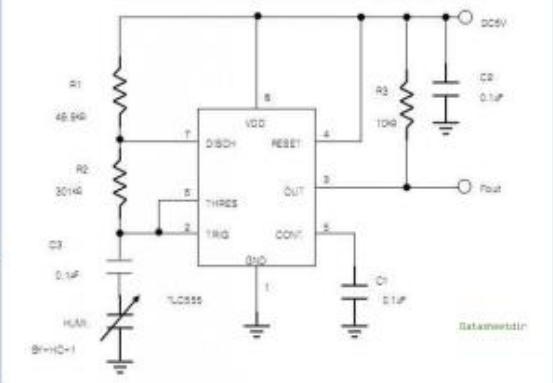
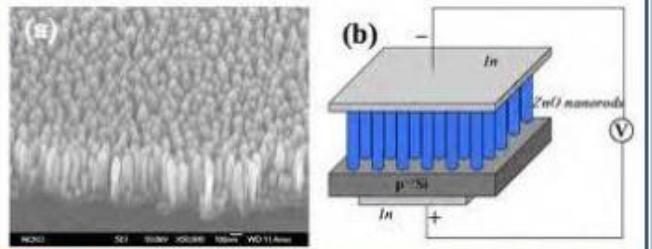
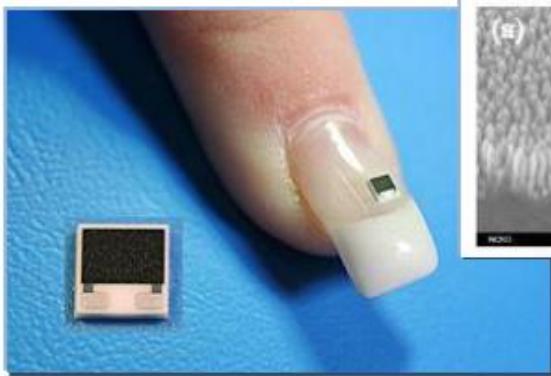
Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

■ Đo gia tốc

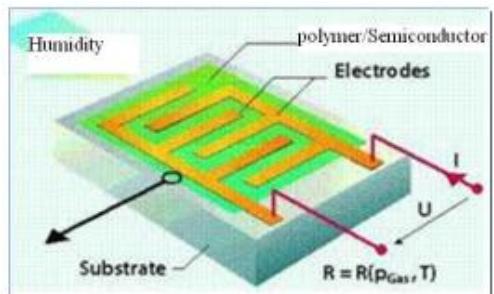
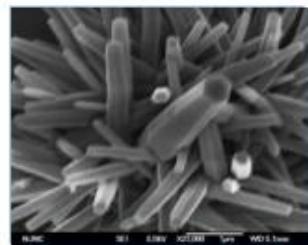


Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

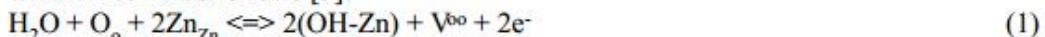
■ Đo độ ẩm



Relative humidity (RH) is the ratio of the partial pressure of water vapor present in a gas to the saturation vapor pressure of the gas at a given temperature.



The water vapor is adsorbed on the grain surface and in the pores and reacts reversibly with lattice Zn as follows [3]:



Where O_o is the lattice oxygen at the oxygen site and V^{oo} is the vacancy created at the oxygen site. Thus, the surface conductivity of the sensing film was increased by the increasing of free electrons number according to the increase in relative humidity.

Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

Màn hình cảm ứng

Basic Principle

The simplest form of a capacitor consists of two conductors, e.g. two metal plates, separated by an insulator. The following formula shows the parameters which influence capacitance:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$$

Where C is the capacitance

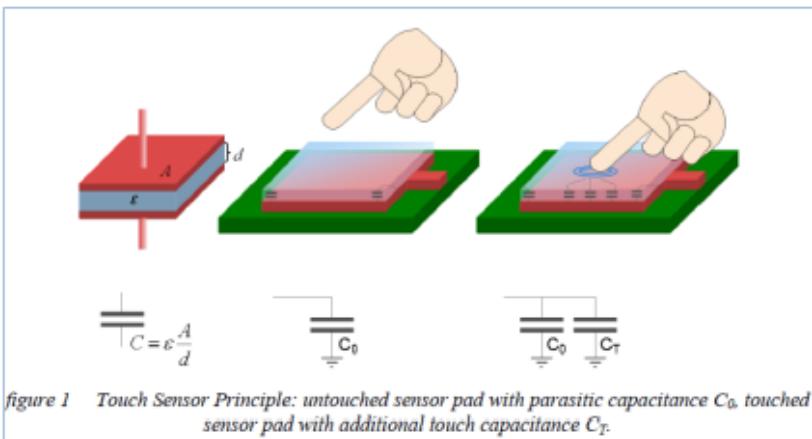
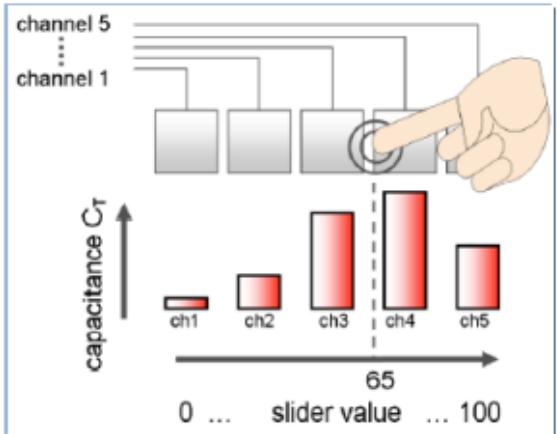
ϵ_r is the relative permittivity, also called dielectric constant, of the insulating material between the plates

ϵ_0 is the permittivity of free space ($8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)

A is the area of the plates

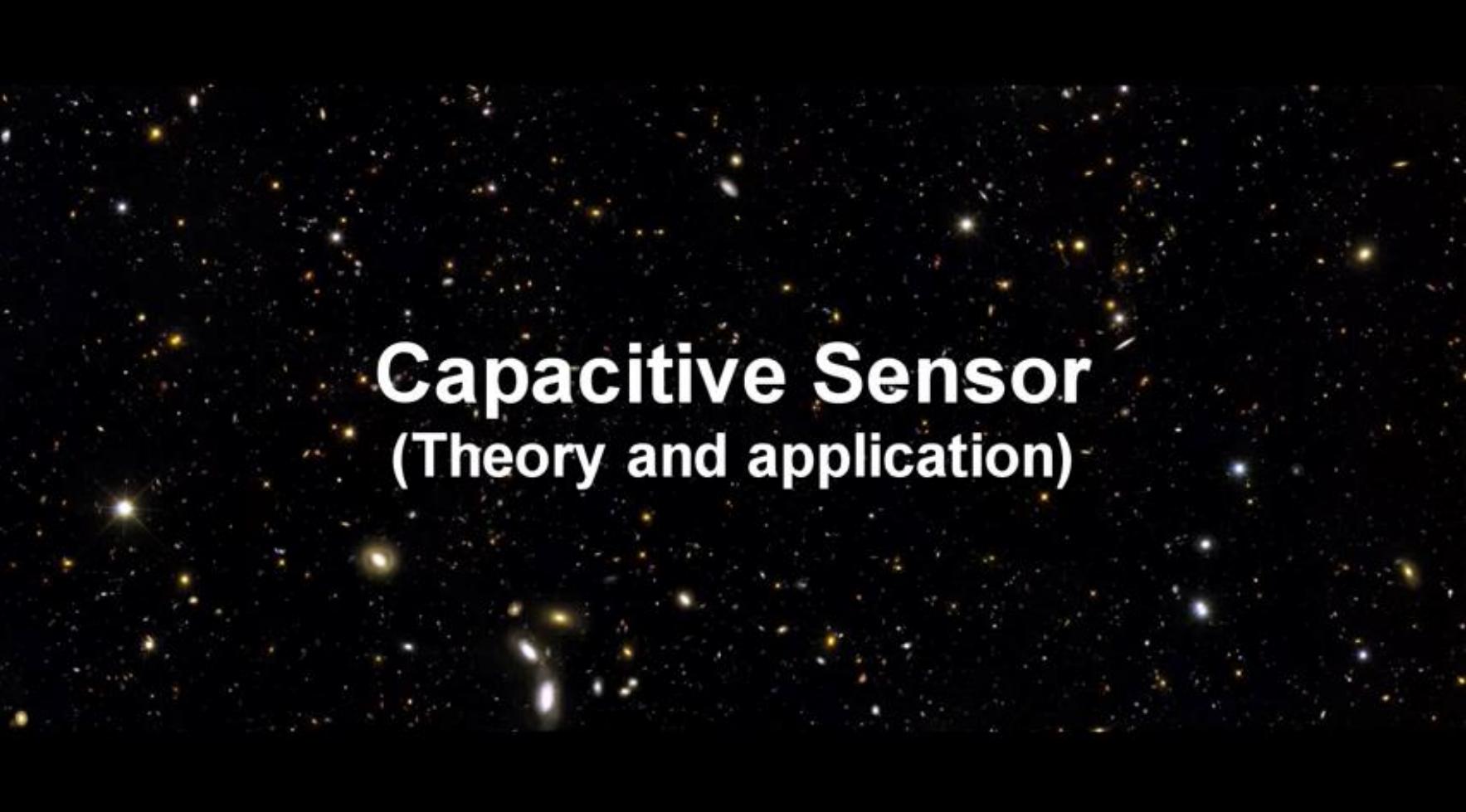
d is the distance between the plates

relative permittivity ϵ_r	
air/vacuum:	$\epsilon=1$
PE:	$\epsilon=2$
wood:	$\epsilon=3$
ABS:	$\epsilon=4$
glass:	$\epsilon=7$
water:	$\epsilon=80$



Cảm biến tĩnh điện- Ứng dụng

■ Màn hình cảm ứng



Capacitive Sensor
(Theory and application)

Cảm biến tiệm cận điện dung

- Cảm biến tiệm cận điện dung khi có mặt của đối tượng làm thay đổi điện dung C của bản cực.
- Cảm biến tiệm dung gồm 4 bộ phận chính: Cảm biến (các bản cực cách điện); mạch dao động; bộ phát hiện; mạch đầu ra. Tuy nhiên cảm biến dung không đòi hỏi đối tượng làm bằng kim loại. Đối tượng phát hiện là chất lỏng, vật liệu phi kim, thuỷ tinh, nhựa. Tốc độ chuyển mạch tương đối nhanh, có thể phát hiện đối tượng có kích thước nhỏ, phạm vi cảm nhận lớn.
- Cảm biến điện dung chịu ảnh hưởng bởi bụi và độ ẩm. Cảm biến điện dung có vùng cảm nhận lớn hơn vùng cảm nhận của cảm biến điện cảm

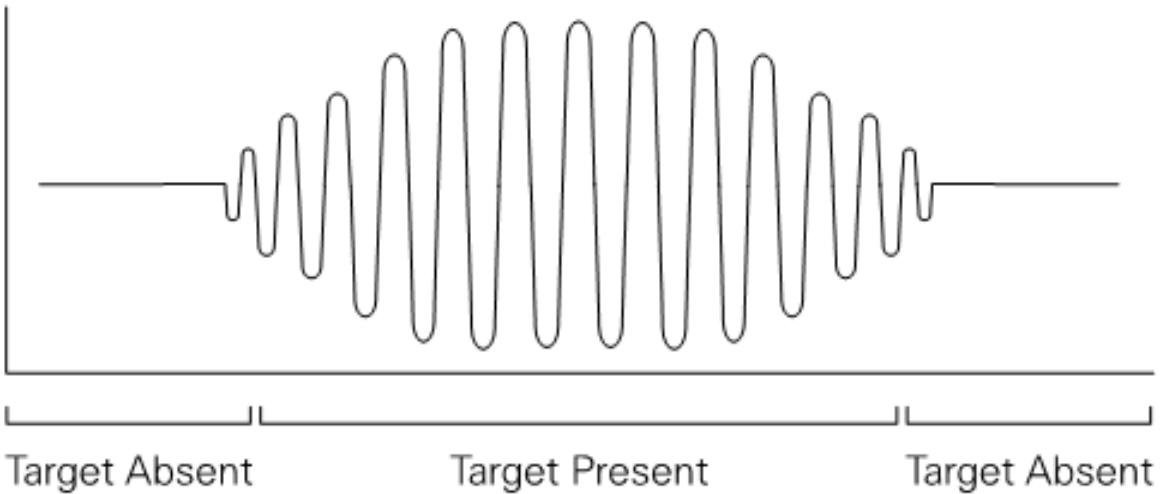
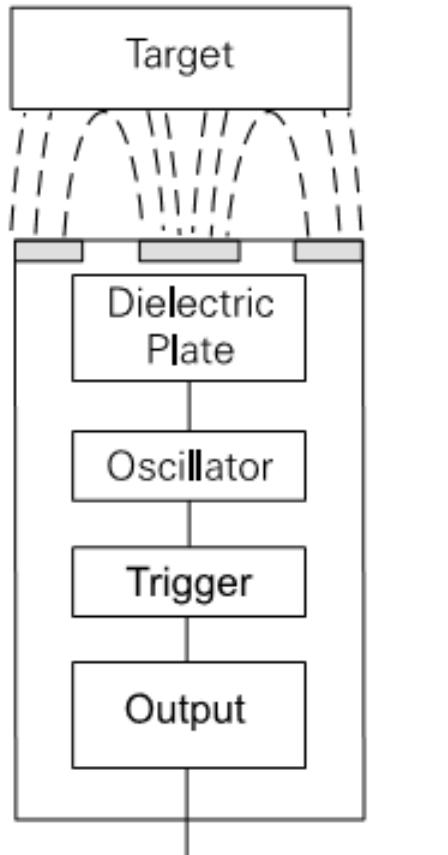


Cảm biến tiệm cận loại điện dung

■ Cấu tạo và hoạt động

- ❖ Bề mặt của cảm biến điện dung có 2 bản cực kim loại có dạng đồng tâm.
- ❖ Khi đối tượng đến gần cảm biến, làm thay đổi điện dung trong mạch dao động và mạch dao động bắt đầu hoạt động.
- ❖ Mạch kích đo biến độ dao động và kích ngõ ra cảm biến thay đổi trạng thái khi biến độ đến mức chỉ định.

Cảm biến tiệm cận loại điện dung





Cảm biến tiệm cận loại điện dung

Cảm biến tiệm cận loại điện dung

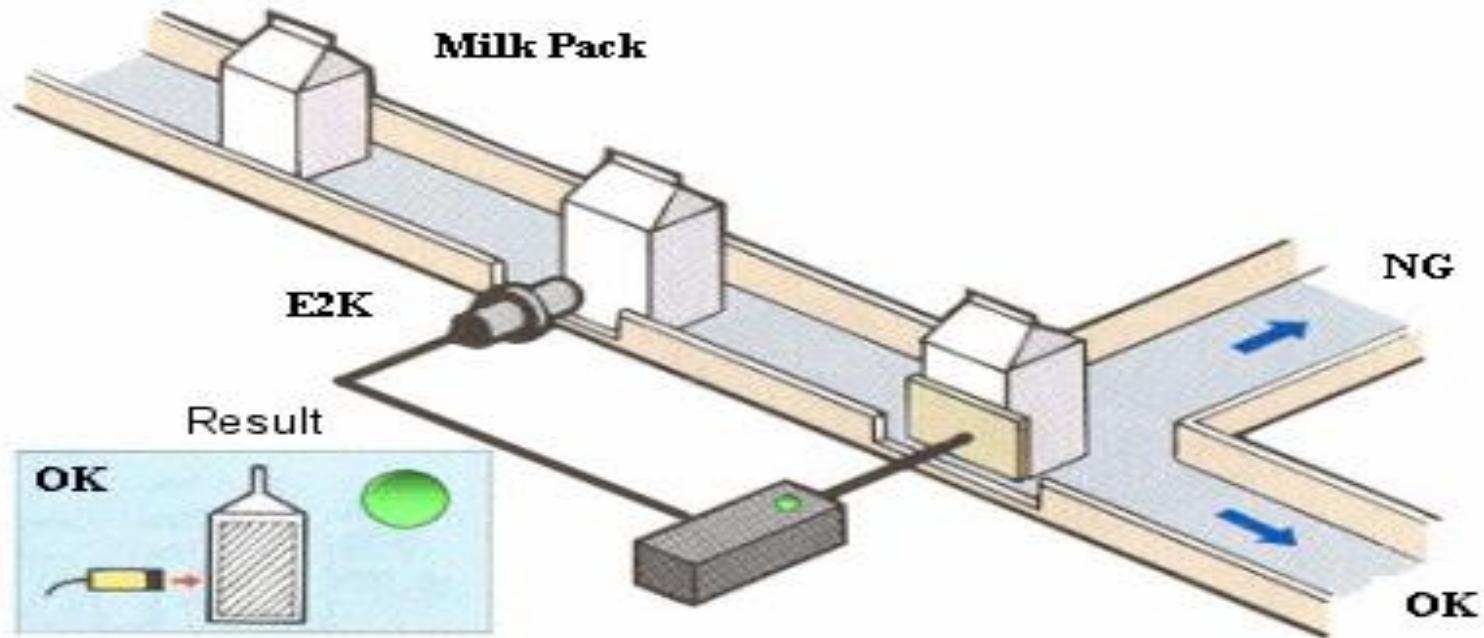
■ Ưu điểm

- ❖ Phát hiện được mọi vật liệu
- ❖ Ổn 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



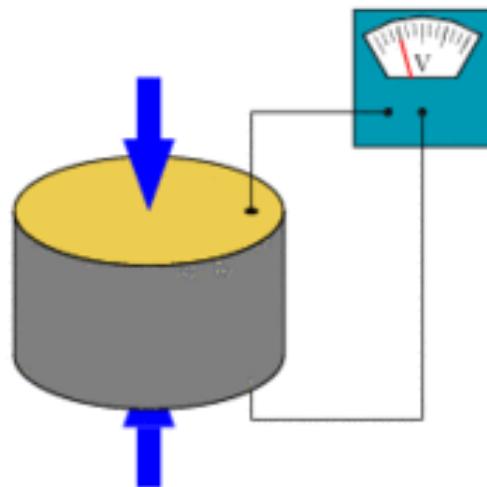
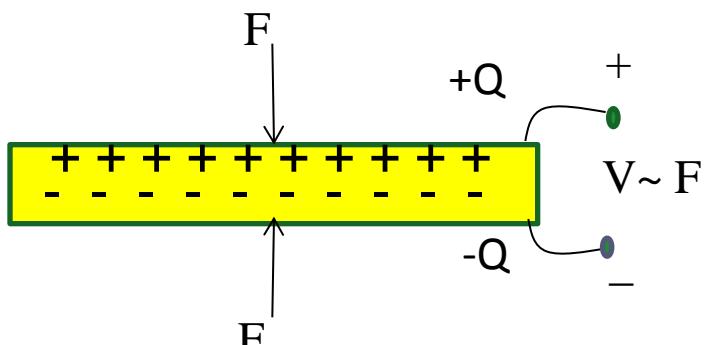
E2K-C là sensor tiệm cận công suất lớn có thể phát hiện được chất lỏng bên trong hộp hay không (phát hiện độ rỗng của Hộp).

Cảm biến áp điện

■ Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

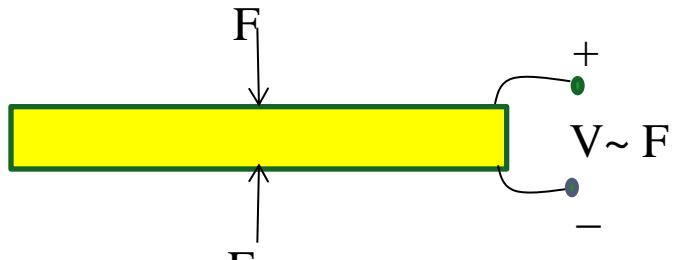
❖ Nguyên lý hoạt động:

- ✓ Dưới tác dụng của lực cơ học, tấm áp điện bị biến dạng, làm xuất hiện trên hai bản cực các điện tích trái dấu. Hiệu điện thế xuất hiện giữa hai bản cực (V) tỉ lệ với lực tác dụng (F).

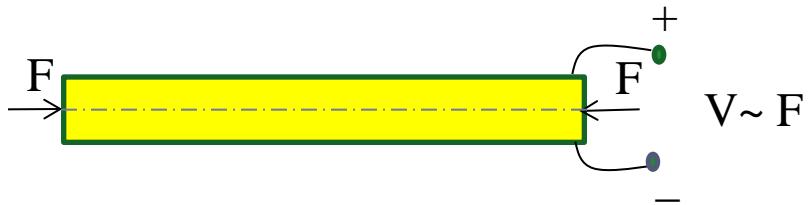


Cảm biến áp điện

- Các dạng biến dạng cơ bản:



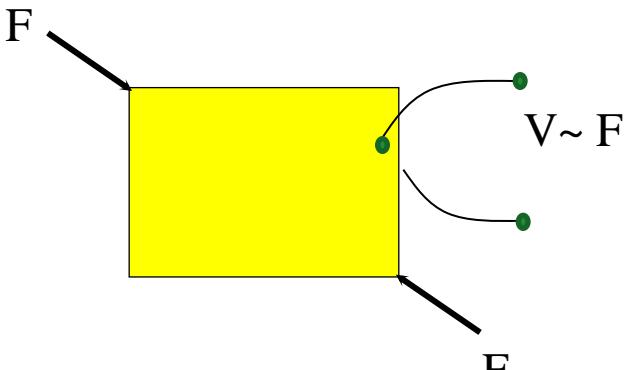
a) Theo chiều dọc



b) Theo chiều ngang



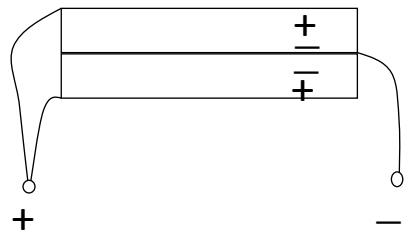
c) Cắt theo bề dày



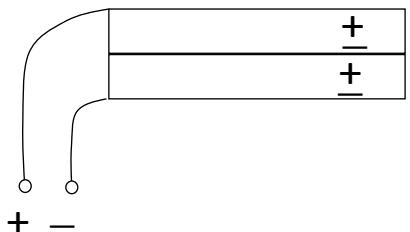
d) Cắt theo bề mặt

Cảm biến áp điện

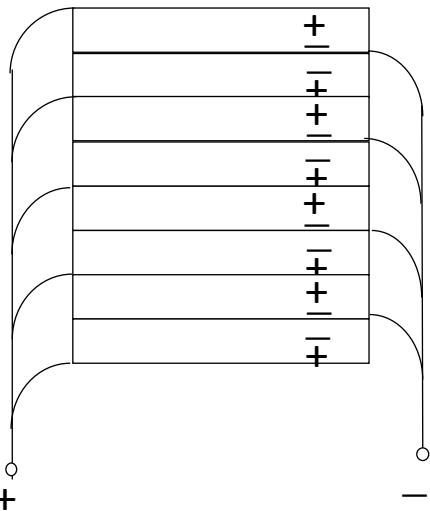
- Cách ghép các phần tử áp điện thành bộ:



a) Hai phần tử song song
 $C_b = 2C$



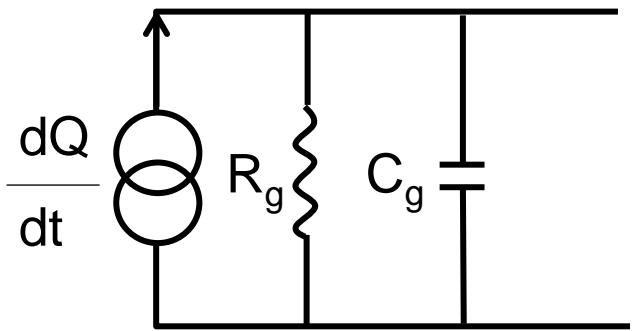
b) Hai phần tử nối tiếp
 $C_b = 1/2C$, $R_b = 2R$, $V_b = 2V$



c) Nhiều phần tử song song

Cảm biến áp điện

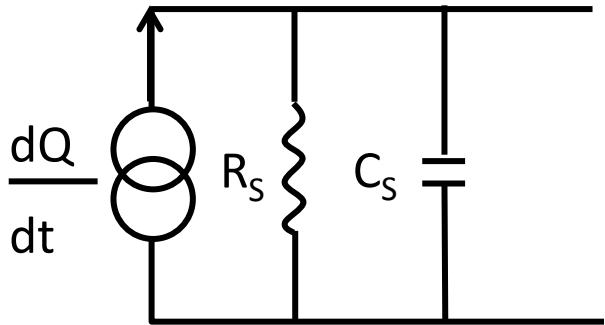
Sơ đồ tương đương của cảm biến:



a) Trong dải thông có ích

R_g - Điện trở trong của cảm biến

C_g – Điện dung của cảm biến



b) Nối với mạch ngoài

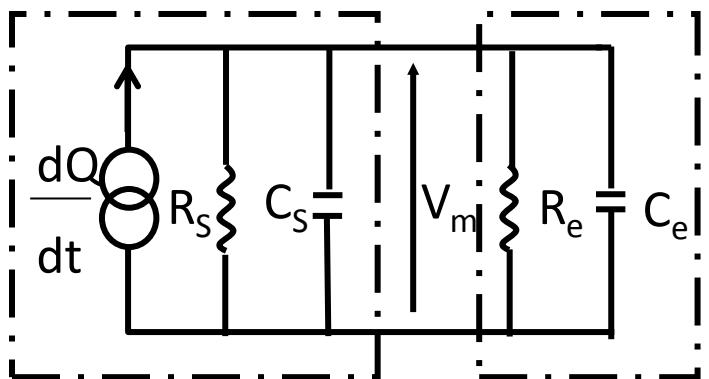
$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_1}$$

$$C_s = C_g + C_1$$

R_1 và C_1 : điện trở và tụ tương đương với trở kháng cáp dẫn

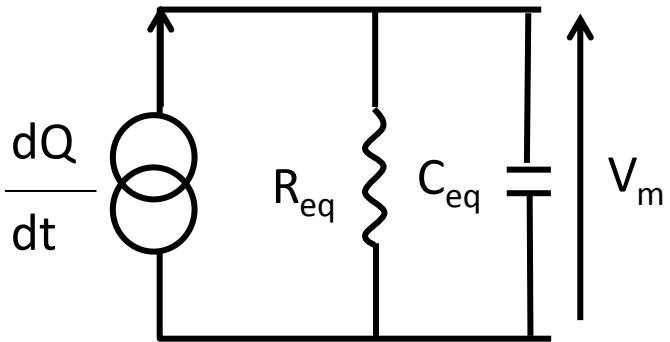
Cảm biến áp điện

Sơ đồ khuếch đại điện áp



Cảm biến
và cáp nối

Z_v của khuếch
đại điện áp



Sơ đồ tương đương

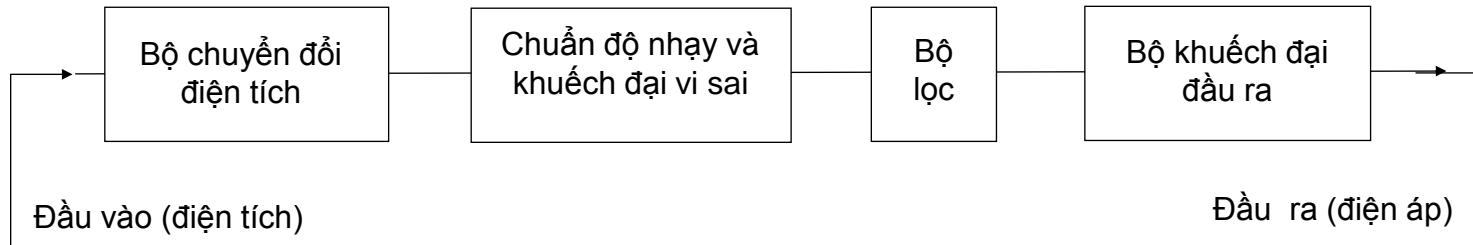
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_e}$$

$$C_{eq} = C_s + C_e$$

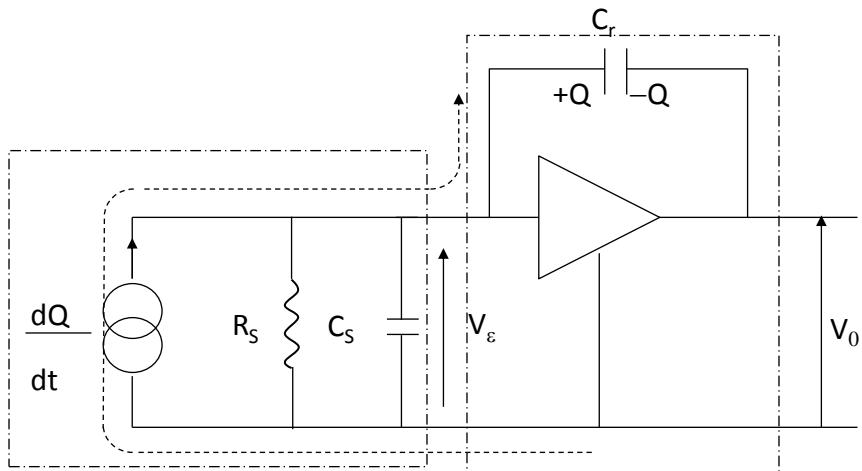
Điện áp ở cửa vào của bộ khuếch đại: $V_m = \frac{Q}{C_q} \cdot \frac{R_{eq} C_{eq} P}{1 + R_{eq} C_{eq} P}$

Cảm biến áp điện

Sơ đồ khuếch đại điện tích



a) Sơ đồ khối bộ chuyển đổi điện tích – điện áp



b) Sơ đồ ghép nối cảm biến và bộ chuyển đổi điện tích - điện áp

Cảm biến áp điện

- Trong mạch khuếch đại điện tích, sự di chuyển của điện tích ở lối vào sẽ gây nên ở lối ra một điện áp tỉ lệ với điện tích đầu vào. Bộ khuếch đại điện tích gồm một bộ biến đổi điện tích - điện áp đầu vào, một tầng chuẩn độ nhạy, một bộ lọc trung gian và một số tầng khuếch đại ở đầu ra để cung cấp tín hiệu ra .

Cảm biến áp điện

■ Ứng dụng của áp điện

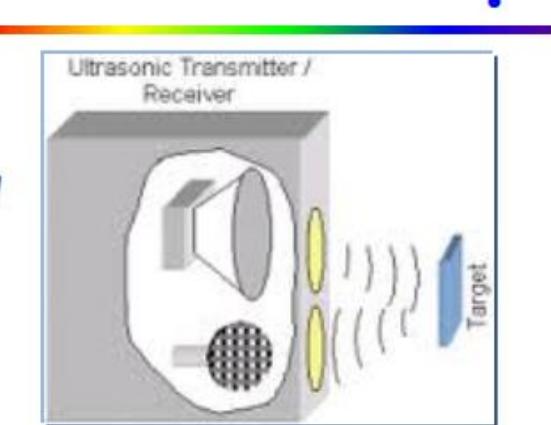
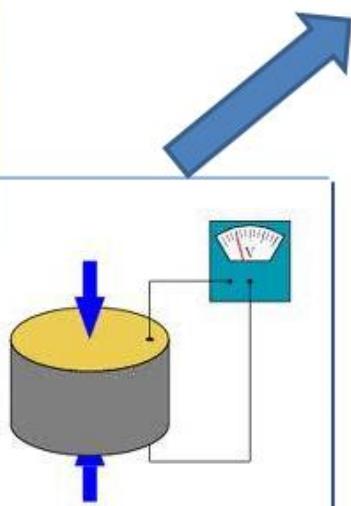
PIEZOELECTRIC SENSORS FOR DYNAMIC PRESSURE



Piezoelectric Force Sensors



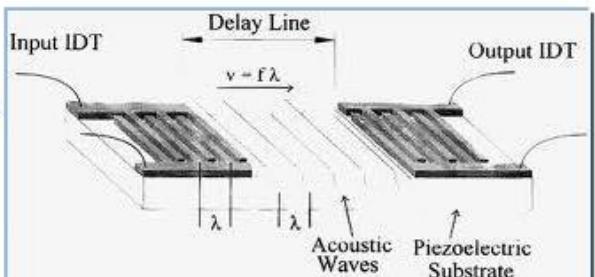
Piezoelectric Accelerometers



Ultrasonic Sensors

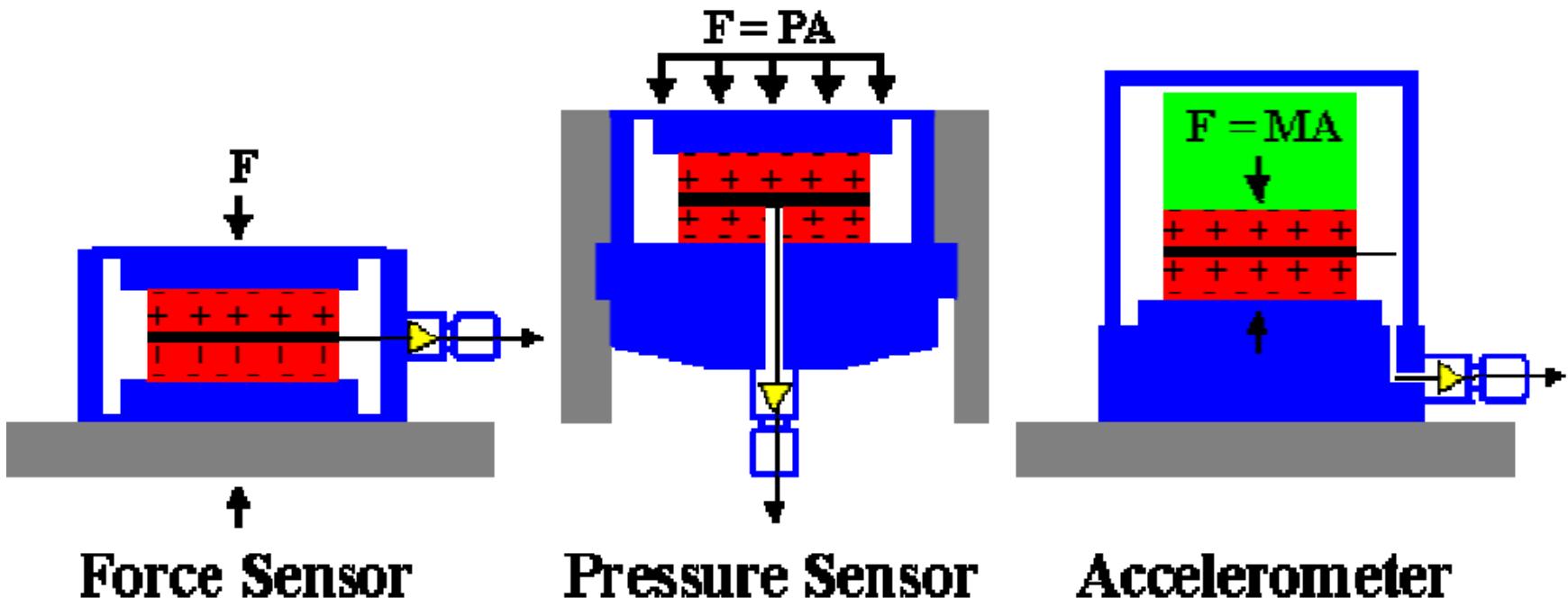
(Piezoelectric microphone)

SAW Sensors



Cảm biến áp điện

■ Ứng dụng của cảm biến áp điện



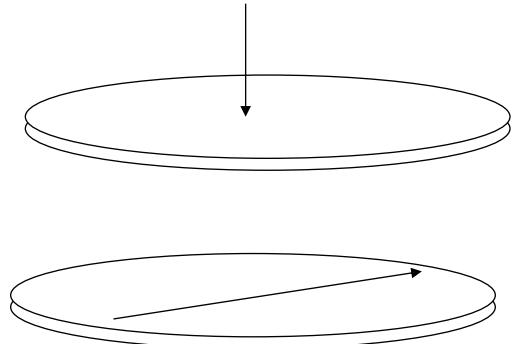
Cảm biến áp điện

- Cảm biến thạch anh kiểu vòng đệm đo lực
 - Các vòng đệm:
 - Phiến cắt từ đơn tinh thể thạch anh nhau với lực nén dọc theo
 - Đặc điểm:
 - Chỉ nhạy thế đo lực
 - Giới hạn 1 cm) đến 10^3 kN (với đường kính ~ 10 cm).
- Piezoelectric force sensor**
-
- The diagram illustrates the internal structure of a piezoelectric force sensor. It shows a cross-section of the device. At the top, an orange impact cap is shown with a downward-pointing arrow labeled "Force". Below it is a preload stud. The main body of the sensor is a housing containing a quartz element. This element is supported by a charge-collection plate. The assembly is mounted through a mounting hole. An amplifier is connected to the housing to process the signal from the quartz element.

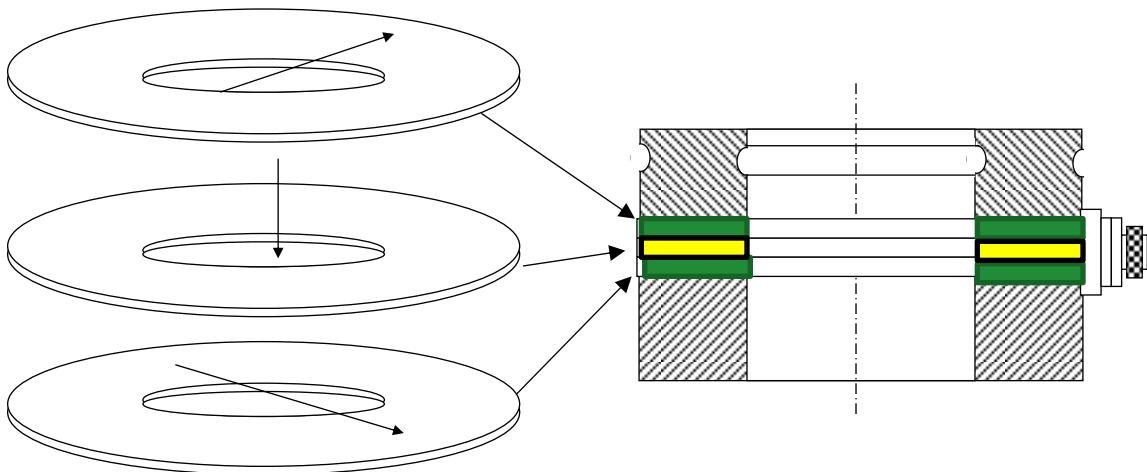
Cảm biến áp điện

► CB thạch anh kiểu vòng đệm

◆ Nhiều vòng đệm:

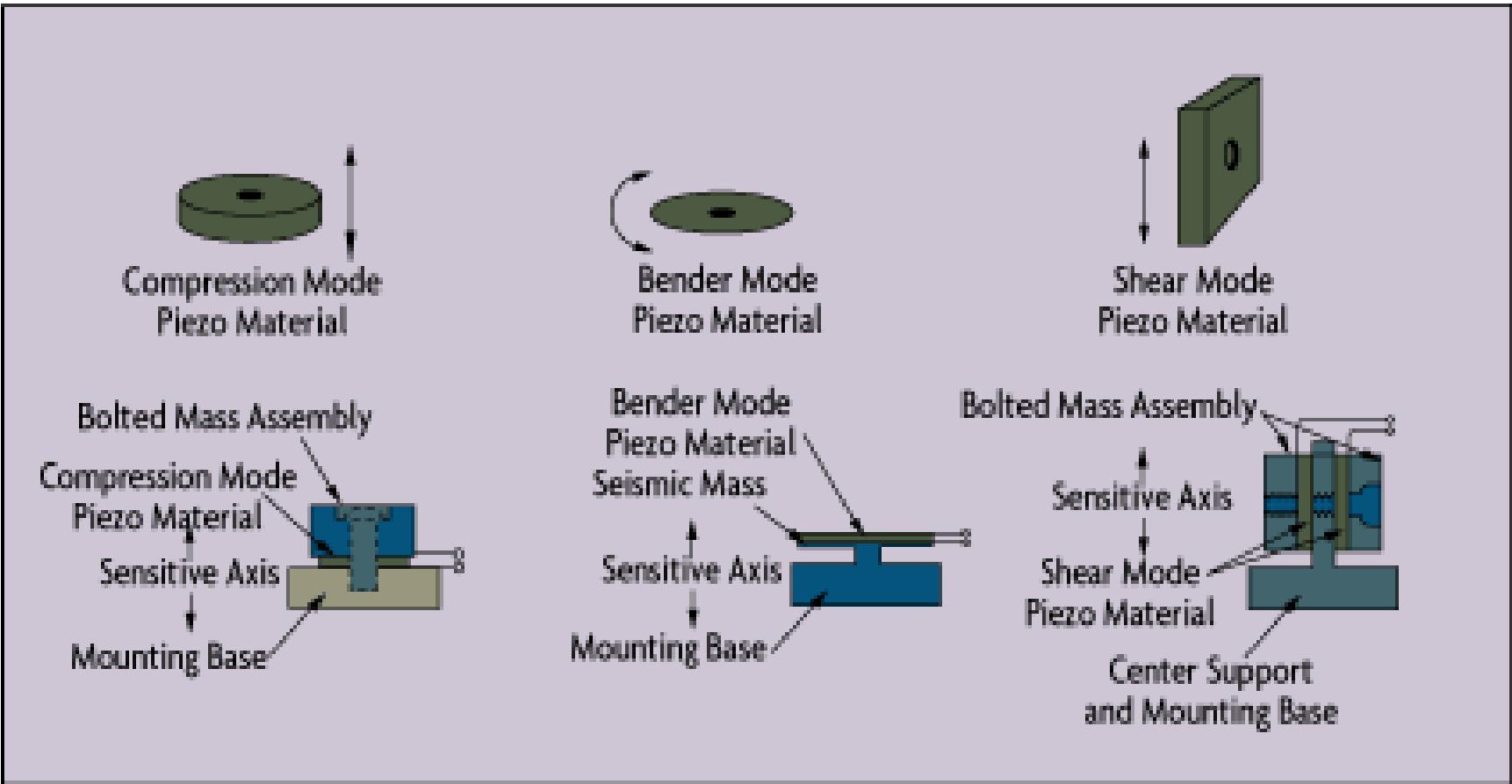


a) Các phiên bản



b) Cảm biến ba
thành phần vuông góc

Cảm biến áp điện



Piezoelectric Sensor Element Designs

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 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

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 từ

- Là nhóm chuyển đổi dựa trên các qui luật điện từ.
- Đại lượng vật lý cần đo làm thay đổi các đại lượng từ như: điện cảm, hõi cảm, từ thông, từ thẩm....
- Phân loại: có 4 loại chính
 - ❖ Chuyển đổi điện cảm
 - ❖ Chuyển đổi hõi cảm.
 - ❖ Chuyển đổi cảm ứng.
 - ❖ Chuyển đổi áp từ

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

Hệ số tự cảm

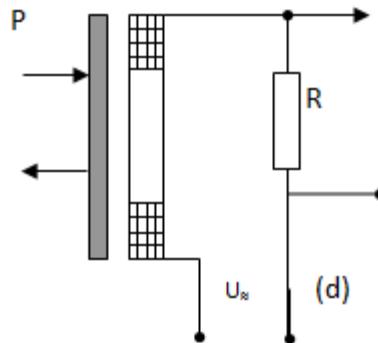
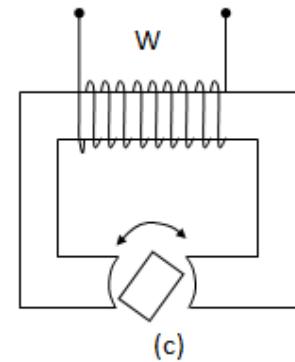
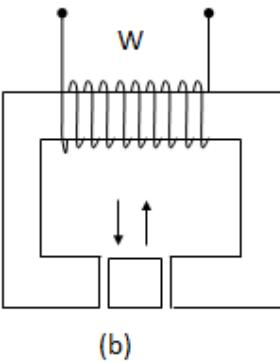
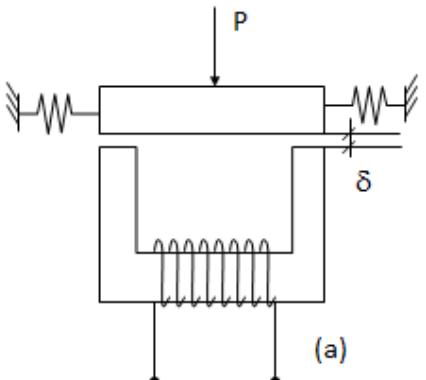
$$L = \frac{W^2}{R_s} = W^2 \cdot \frac{\mu_o S}{\delta}$$

W - số vòng dây.

R_s - từ trở của khe hở không khí.

δ - chiều dài khe hở không khí.

S - tiết diện thực của khe hở không khí.

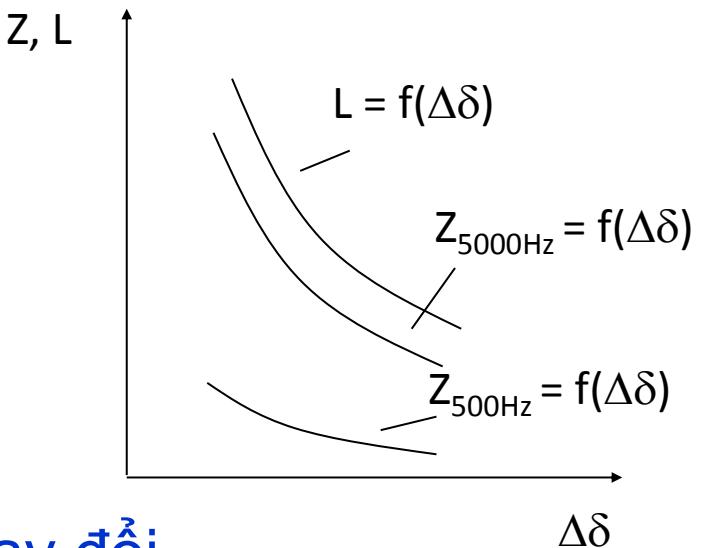


5.1 Cảm biến điện cảm

- a) Cảm biến tự cảm đơn có khe từ biến thiên

❖ Tổng trở của cảm biến:

$$Z = \omega L = \frac{\omega W^2 \mu_0 s}{\delta}$$

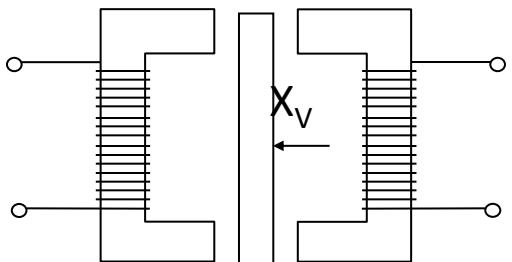


❖ Khi δ , s thay đổi $\rightarrow L$ và Z thay đổi.

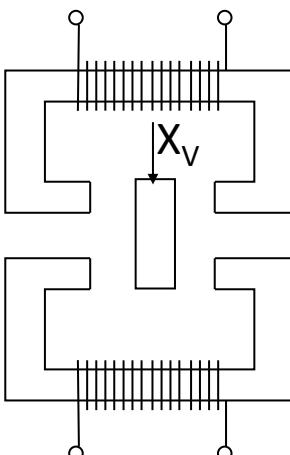
$$dL = \frac{\partial L}{\partial s} ds + \frac{\partial L}{\partial \delta} d\delta = w^2 \cdot \frac{\mu_o}{\delta} \Delta s + w^2 \cdot \frac{\mu_o s}{(\delta + \Delta\delta)^2} \Delta\delta$$

5.1 Cảm biến điện cảm

- b) Cảm biến tự cảm kép có khe từ biến thiên
 - ❖ Cấu tạo và nguyên lý làm việc



Đo dịch
chuyển thẳng

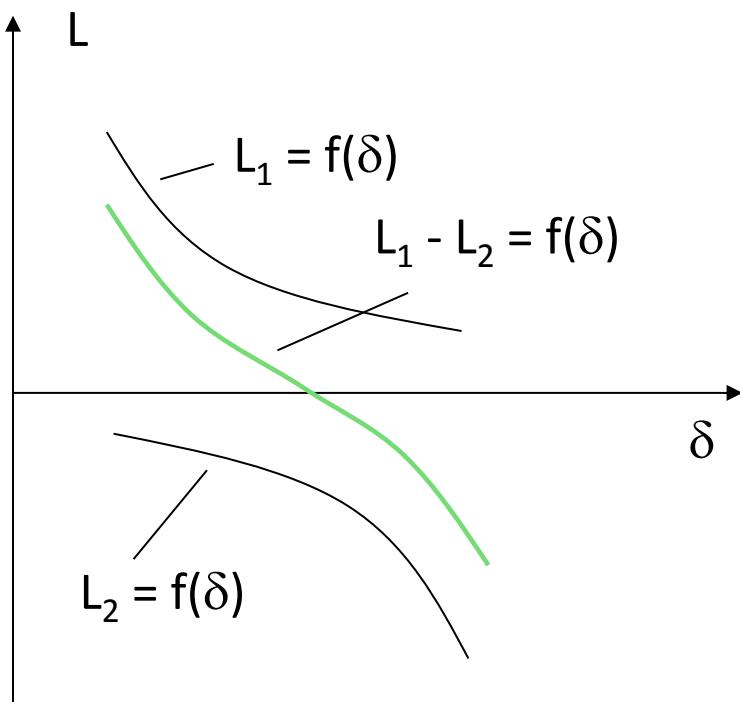
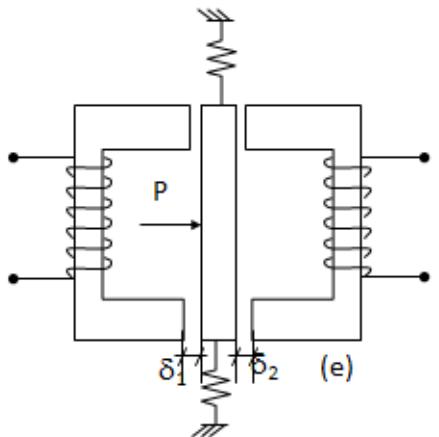


Đo dịch
chuyển quay

5.1 Cảm biến tự cảm

- b) Cảm biến tự cảm kép có khe từ biến thiên

 - ❖ Hệ số tự cảm

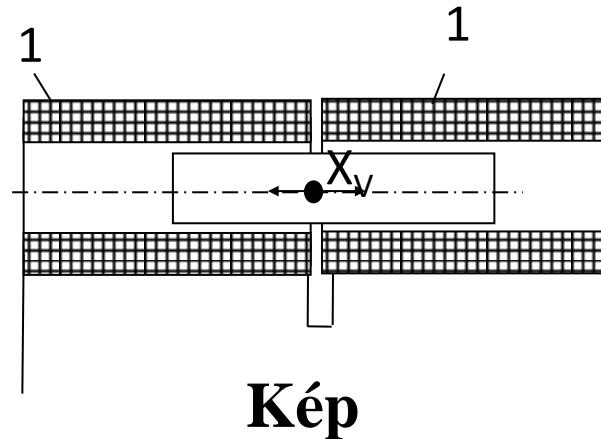
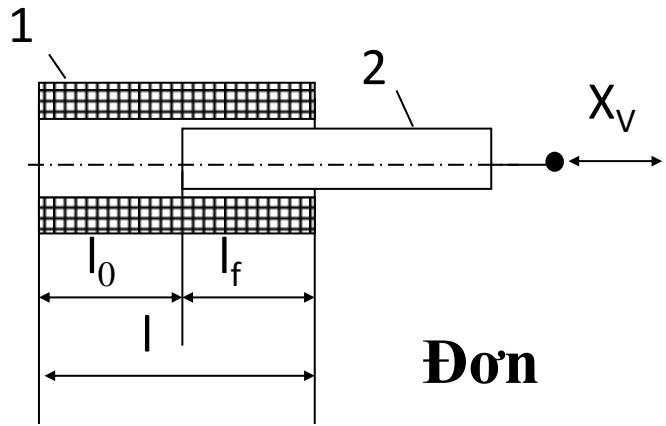


 - ❖ Đặc điểm:

 - ✓ Độ nhạy lớn.
 - ✓ Độ tuyến tính cao hơn.

5.1 Cảm biến điện cảm

- c) Cảm biến tự cảm có lõi từ di động
 - ❖ Cấu tạo và nguyên lý làm việc



- ❖ Đặc điểm:

- ✓ $L = f(l_f)$ → phi tuyến, độ nhạy và độ tuyến tính của CB kép cao hơn CB đơn.
- ✓ Đo được dịch chuyển lớn hơn so với CBTC có khe từ biến thiên

5.1 Cảm biến điện cảm

■ Ứng dụng

- ❖ Đo khoảng cách
- ❖ Đo góc

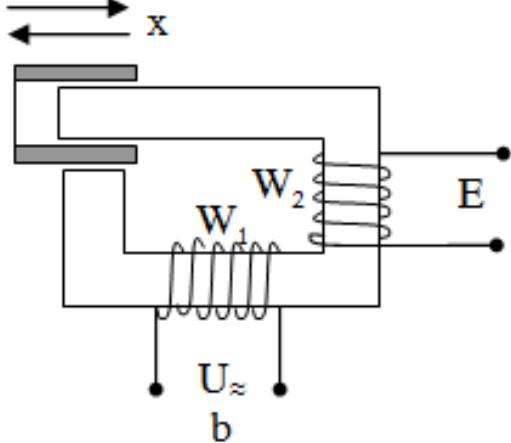
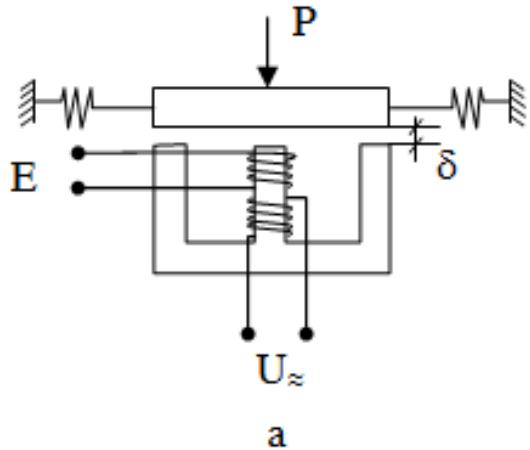


5.1 Cảm biến điện cảm

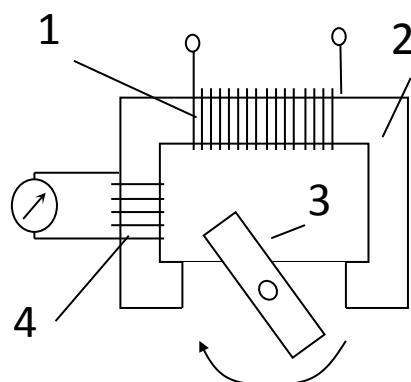
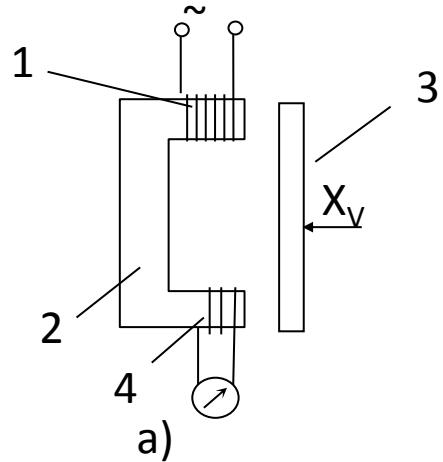


5.2 Chuyển đổi hổ cảm

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



- Cuộn sơ cấp
- Gông từ
- Tấm sắt từ di động
- Cuộn thứ cấp (cuộn đo)



5.2 Cảm biến hõ cảm

■ Cấu tạo và nguyên lý làm việc

- ❖ Khi cấp dòng xoay chiều ($i = I_m \sin \omega t$) vào cuộn sơ cấp, sinh ra Φ biến thiên → trong cuộn thứ cấp sinh ra sức điện động cảm ứng:

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

- ❖ Giá trị hiệu dụng của suất điện động

$$E = -\frac{W_2 W_1 \mu_0 s}{\delta} \omega I = k \frac{s}{\delta}$$

$$\Rightarrow E = f(s, \delta)$$

5.2 Cảm biến hổ cảm

■ Đặc điểm

- ❖ $E = f(s, \delta) \rightarrow$ tuyến tính theo (s) và phi tuyến tính theo (δ)

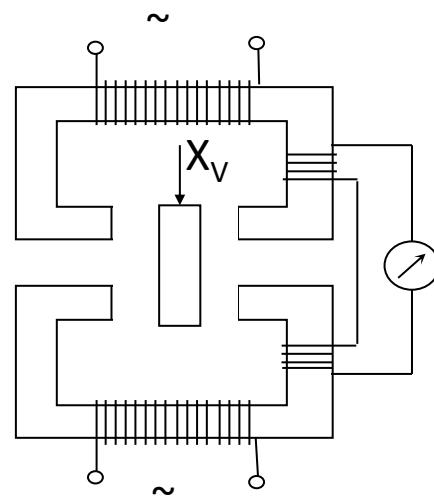
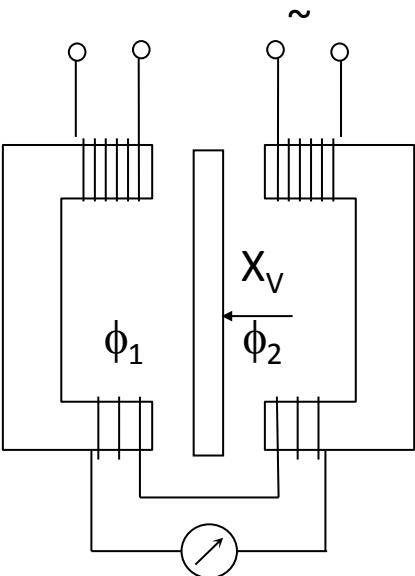
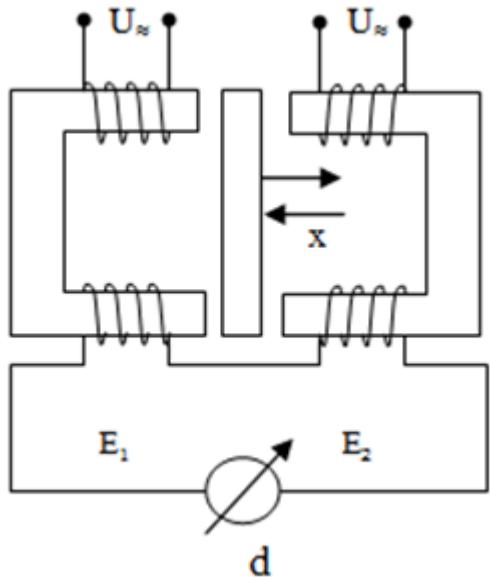
$$S_\delta = \frac{\Delta E}{\Delta \delta} = - \frac{ks}{\delta_0^2 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2} = \frac{E_0}{\delta_0 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2}$$

$$S_s = \frac{\Delta E}{\Delta s} = \frac{k}{\delta_0} = \frac{E_0}{s_0} \quad \text{Với } E_0 = \frac{ks_0}{\delta_0} \text{ (khi } X_V = 0)$$

- ❖ Để tăng độ nhạy và độ tuyến tính \rightarrow CBHC kép lắp vi sai.

5.2 Cảm biến hõ cảm

Cảm biến hõ cảm kép lắp vi sai



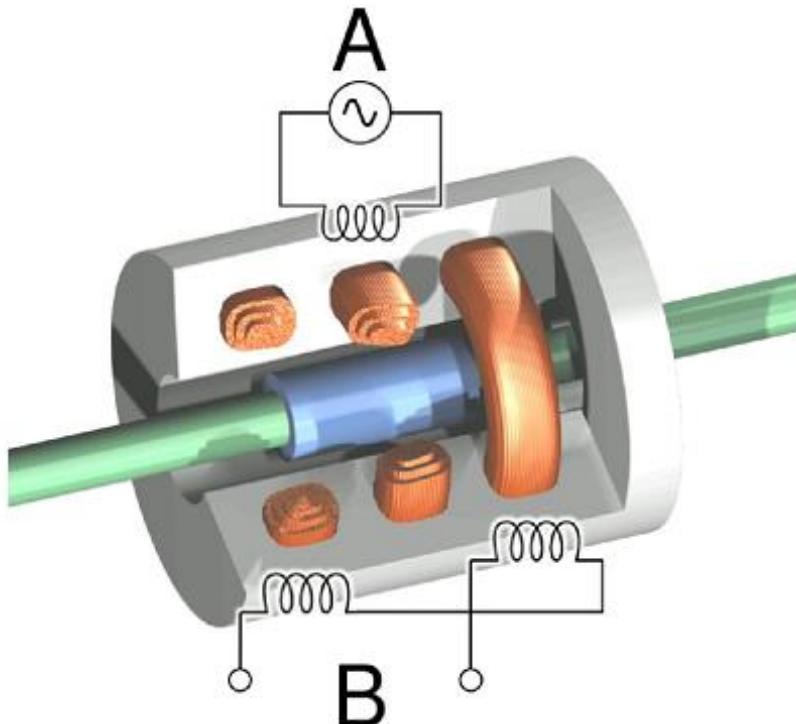
Chuyển đổi vi sai kiểu thay đổi khe hở không khí δ , khi P tác dụng lên chuyển đổi sẽ làm cho δ_1 và δ_2 biến thiên ngược nhau, do vậy từ trở của hai mạch từ thay đổi ngược nhau, dẫn đến làm cho E_1 và E_2 biến thiên ngược nhau

5.2 Cảm biến hõ cảm - ứng dụng

■ Biến áp vi sai biến đổi tuyến tính (LVDT)

➤ Cấu tạo

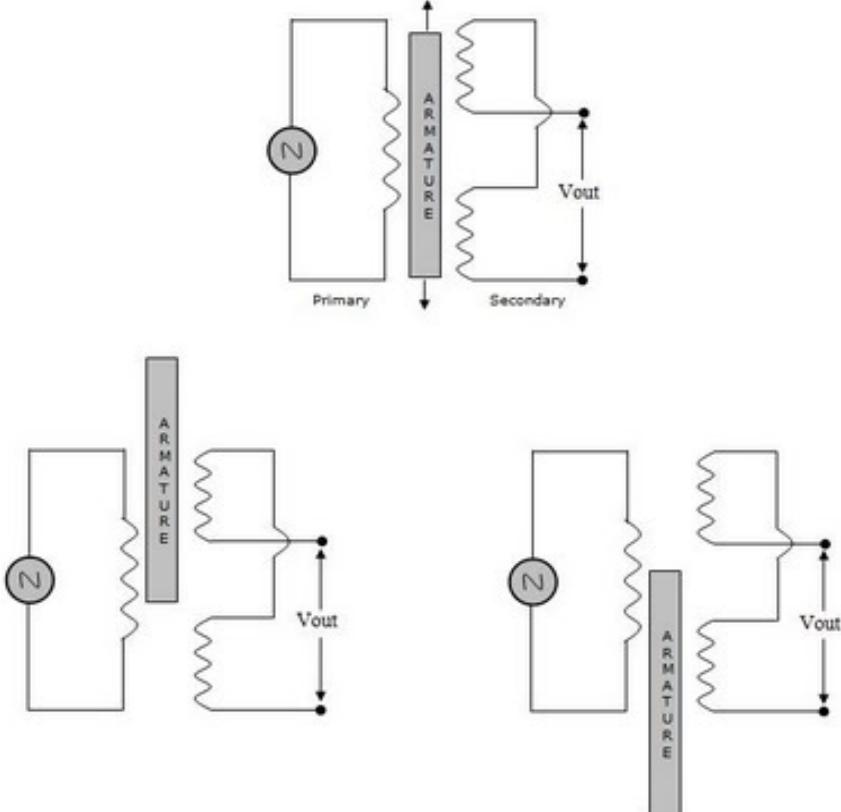
- ❖ Gồm 1 cuộn sơ cấp, 2 cuộn thứ cấp và phần lõi sắt từ
- ❖ Cuộn sơ cấp được cấp nguồn AC, 2 cuộn thứ cấp được mắc ngược nhau



Biến áp vi sai biến đổi tuyến tính (LVDT)

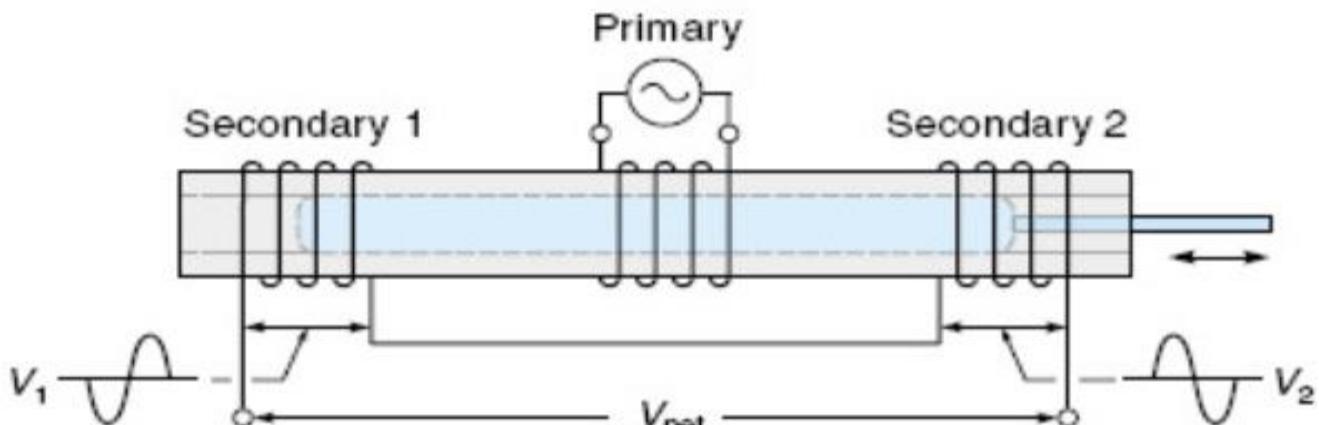
■ Hoạt động

- ❖ Ngõ ra là điện áp giữa 2 đầu cuộn thứ cấp phụ thuộc vào vị trí của lõi sắt từ.
- ❖ Khi lõi sắt ở giữa 2 cuộn thứ cấp, sẽ sinh ra điện áp bằng nhau và ngược dấu nhau \rightarrow điện áp ra bằng 0.
- ❖ Khi vật di chuyển lên hay xuống thì làm cho điện áp của các cuộn thứ cấp tăng hoặc giảm.
- ❖ Đo điện áp ngõ ra để xác định độ dịch chuyển

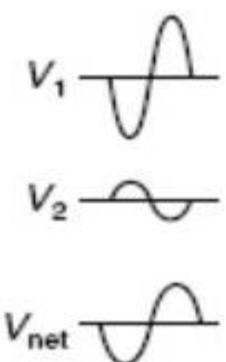


Biến áp vi sai biến đổi tuyến tính (LVDT)

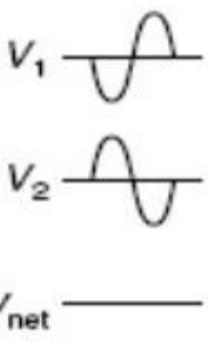
$$V_{net} = V_1 + V_2$$



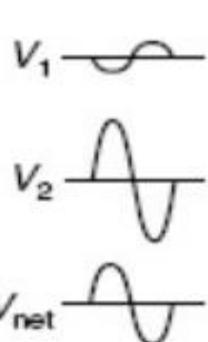
(a) LVDT with shaft centered



(b) Shaft left

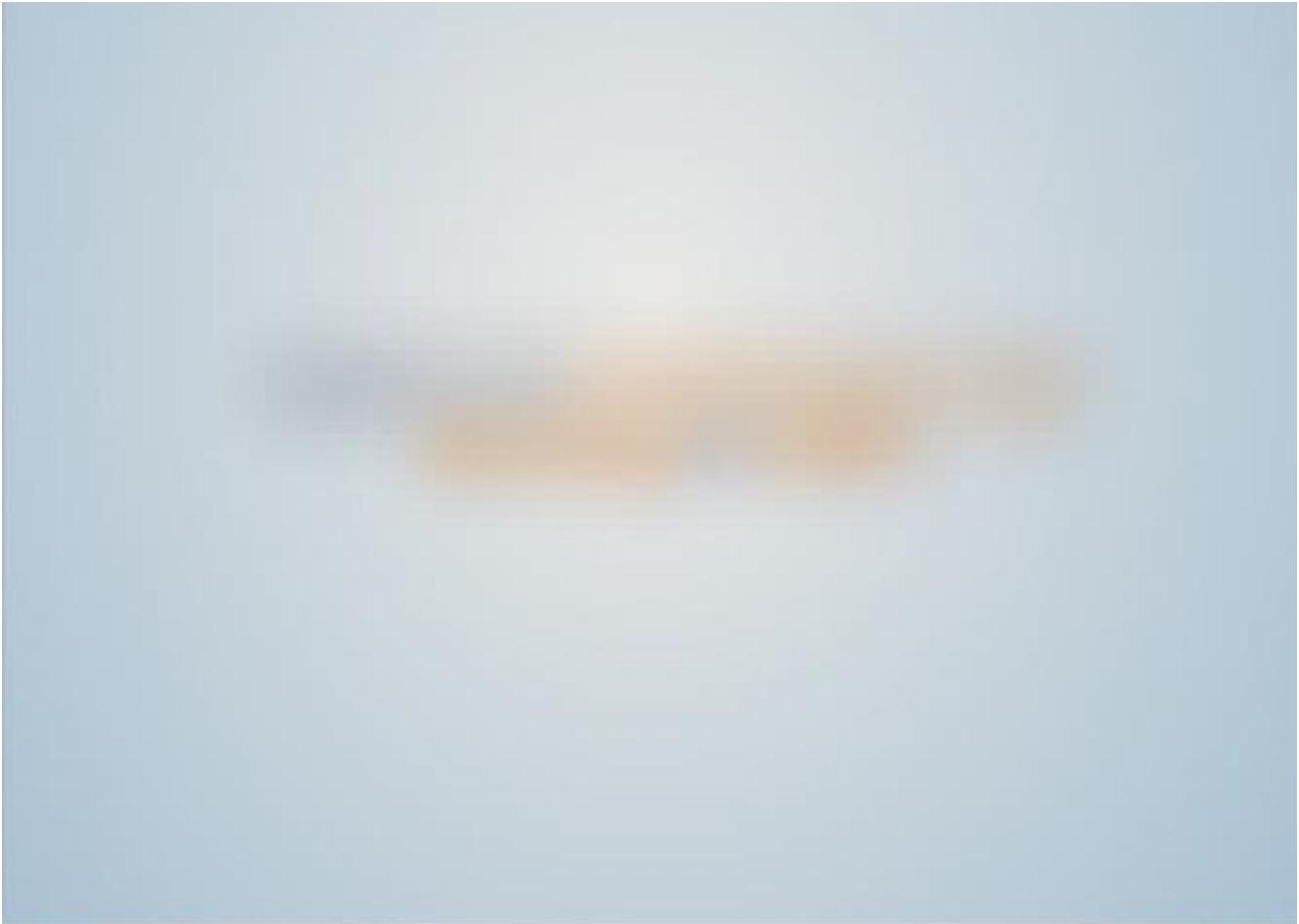


(c) Shaft centered



(d) Shaft right

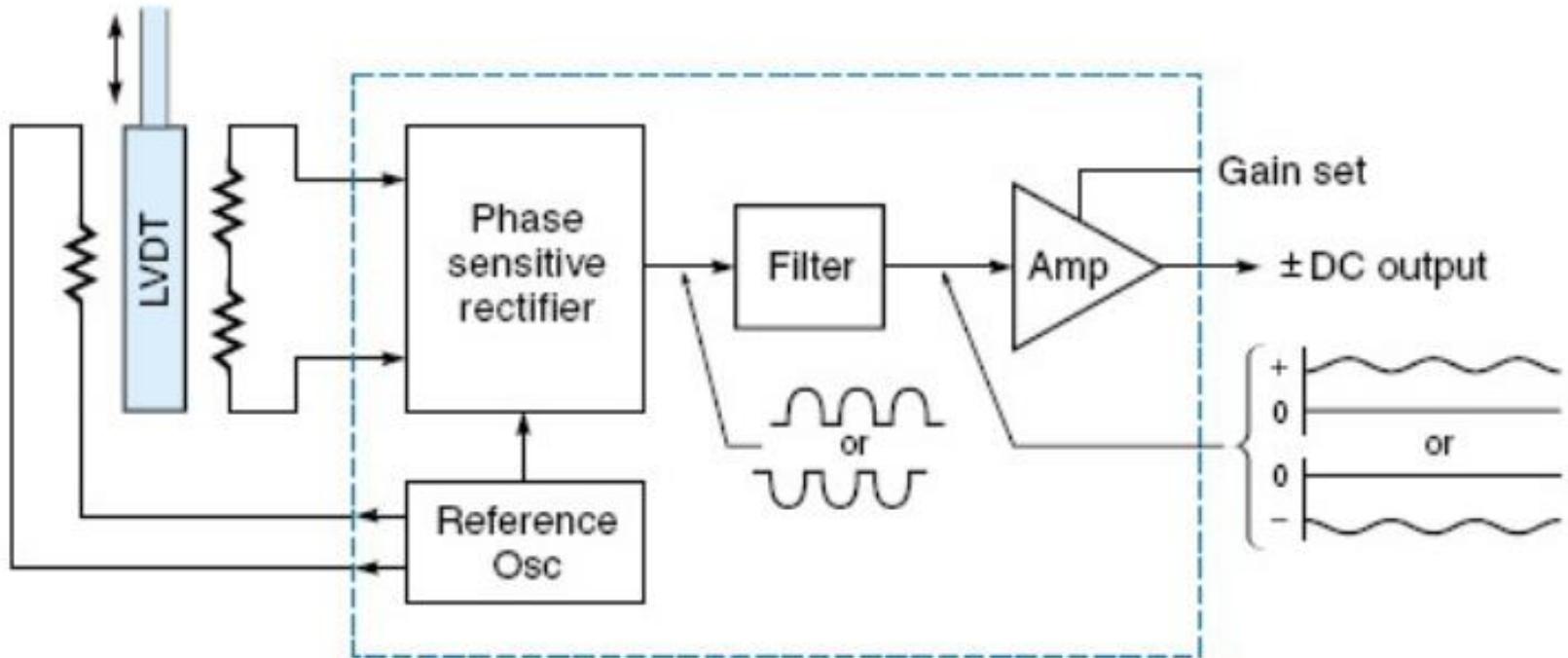
Biến áp vi sai biến đổi tuyến tính (LVDT)



Biến áp vi sai biến đổi tuyến tính (LVDT)

■ Mạch xử lý

Tín hiệu \rightarrow chỉnh lưu \rightarrow lọc \rightarrow khuếch đại.



Biến áp vi sai biến đổi tuyến tính (LVDT)

■ Ưu điểm

- ❖ Phát hiện được cả khoảng cách và chiều di chuyển
- ❖ Chính xác
- ❖ Làm việc được trong môi trường khắc nghiệt
- ❖ Ít ảnh hưởng bởi rung động

■ Nhược điểm

- ❖ Không phù hợp cho việc đo khoảng cách lớn

■ Ứng dụng

- ❖ Đo dịch chuyển tuyến tính
- ❖ Đo vị trí

5.3 Chuyển đổi cảm ứng

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

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

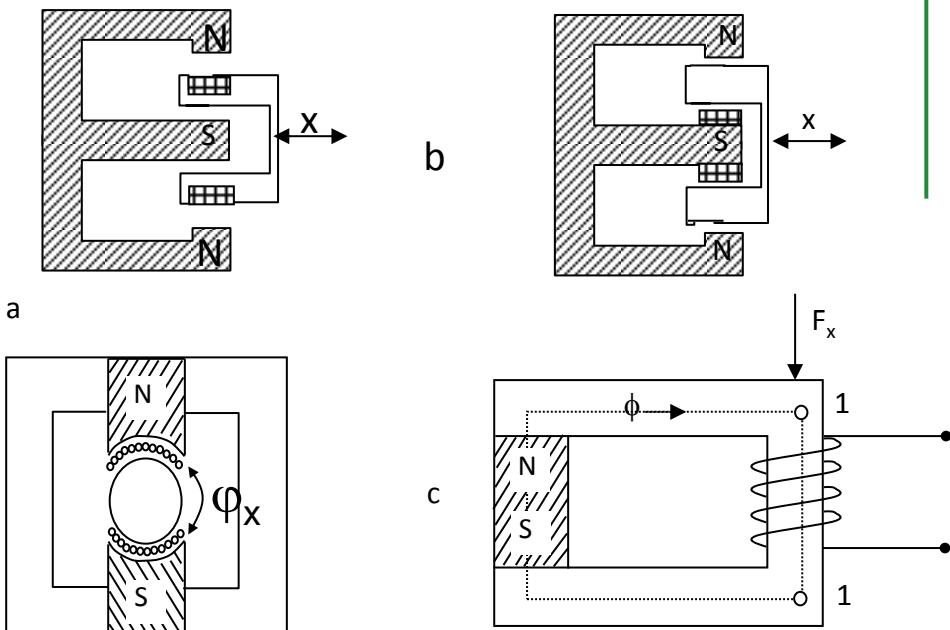
X: độ di chuyển thẳng của cuộn dây

$S = -B \cdot \pi \cdot D \cdot W$ 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



5.3. Ứng dụng chuyển đổi cảm ứng

- Đo vận tốc tuyến tính
- Cảm biến vận tốc điện từ

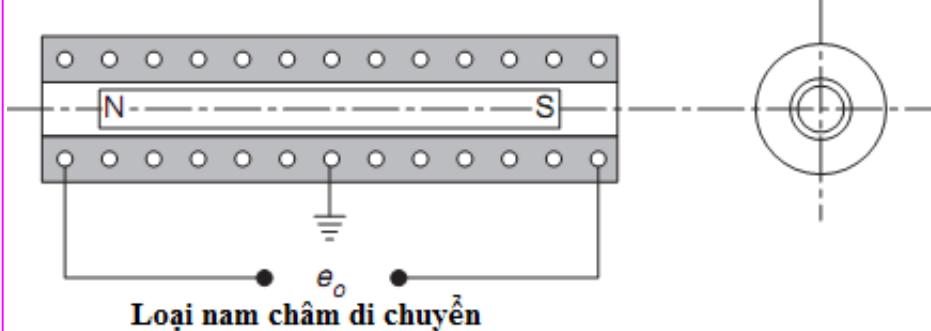
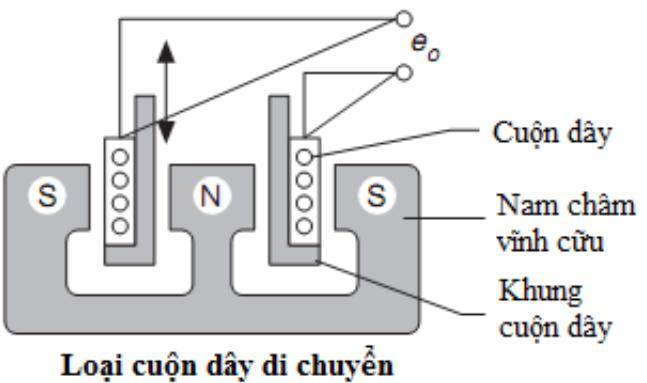
Khi cuộn dây di chuyển hoặc nam châm di chuyển thì từ trường biến thiên trong cuộn dây và sinh ra một hiệu điện thế cảm ứng

$$e_0 = BLV$$

B: Cường độ từ trường

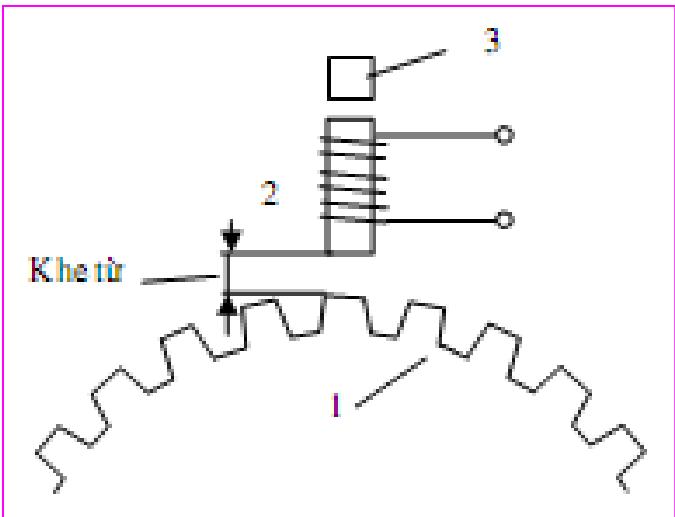
L: Chiều dài cuộn dây

V: vận tốc di chuyển



Ứng dụng chuyển đổi cảm ứng

1. Đo vận tốc gốc ■ Tốc độ kế xung



- 1) Đĩa quay (bánh răng)
- 2) Cuộn dây 3) Nam châm vĩnh cửu

Cấu tạo:

- Đĩa quay
- Cuộn dây có lõi sắt từ
- Nam châm vĩnh cửu
- Đĩa quay

Hoạt động:

Khi đĩa quay → khe hở δ biến thiên → từ trở mạch từ biến thiên → Φ qua cuộn dây biến thiên → trong cuộn dây xuất hiện s.d.đ cảm ứng (e) có tần số (f) tỉ lệ với tốc độ quay (n): $f=n.p$ (p : số răng trên đĩa)

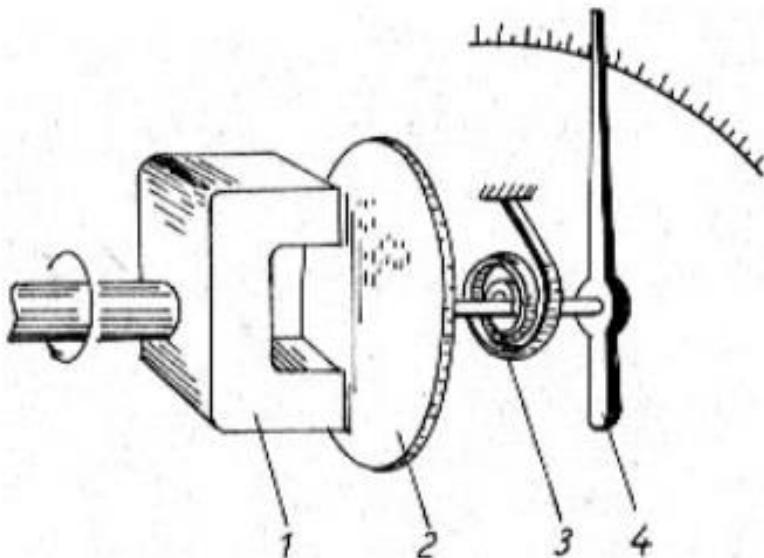
Biên độ E phụ thuộc hai yếu tố:

- Khoảng cách giữa cuộn dây và đĩa quay: khoảng cách càng lớn E càng nhỏ.
- Tốc độ quay: Tốc độ quay càng lớn, E càng lớn.

Chuyển đổi cảm ứng

■ Đo tốc độ quay

Khi nam châm quay tạo ra từ trường quay, từ trường này cảm ứng lên đĩa nhôm dòng cảm ứng đồng thời tác dụng lên dòng điện ấy một lực tạo ra mômen quay lên đĩa nhôm. Tuỳ theo tốc độ quay của động cơ, đĩa nhôm bị quay theo, kim chỉ cho ta biết được tốc độ đó.



Sơ đồ thiết bị đo tốc độ quay dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ

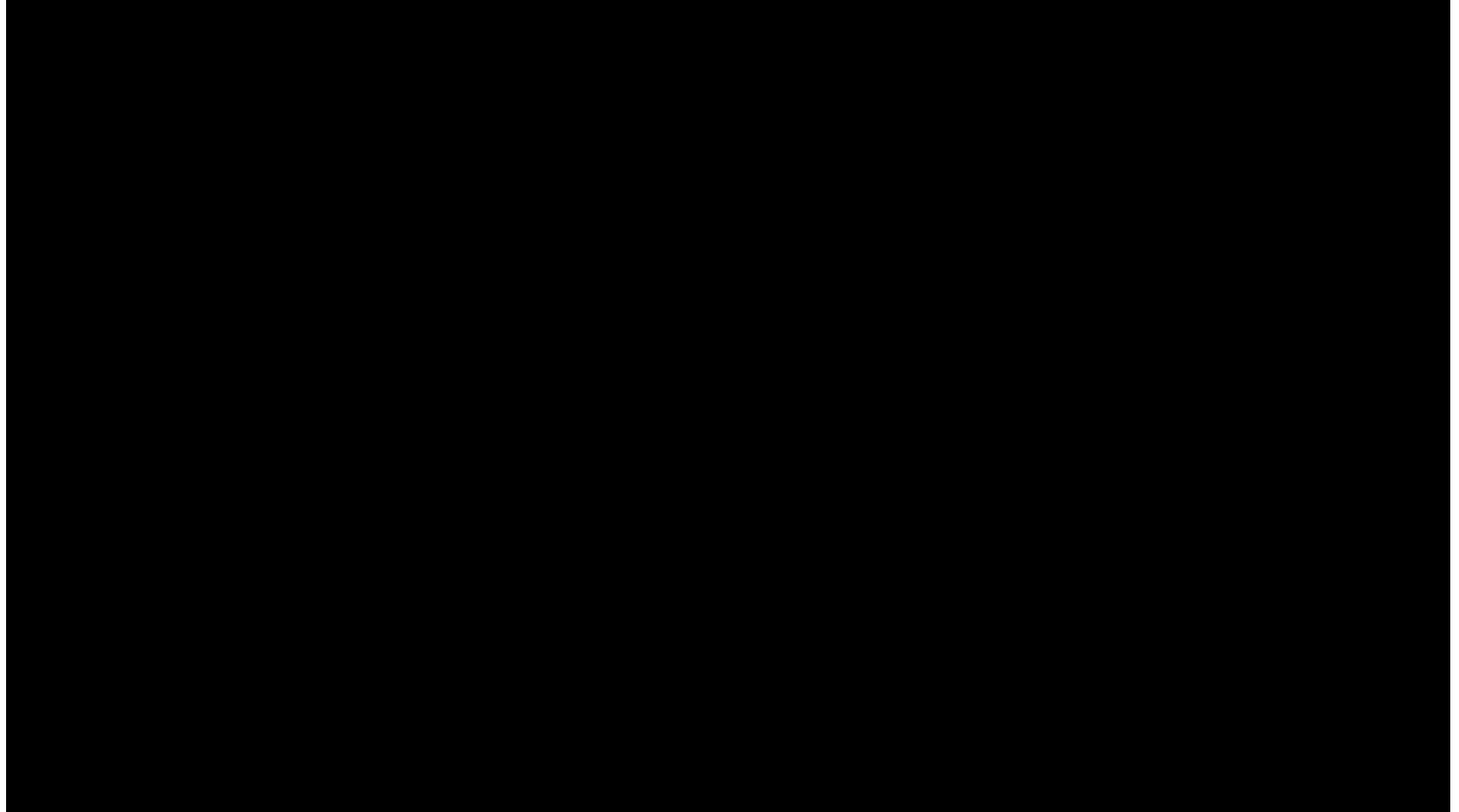
Ứng dụng chuyển đổi cảm ứng

2. Tốc độ kế xung



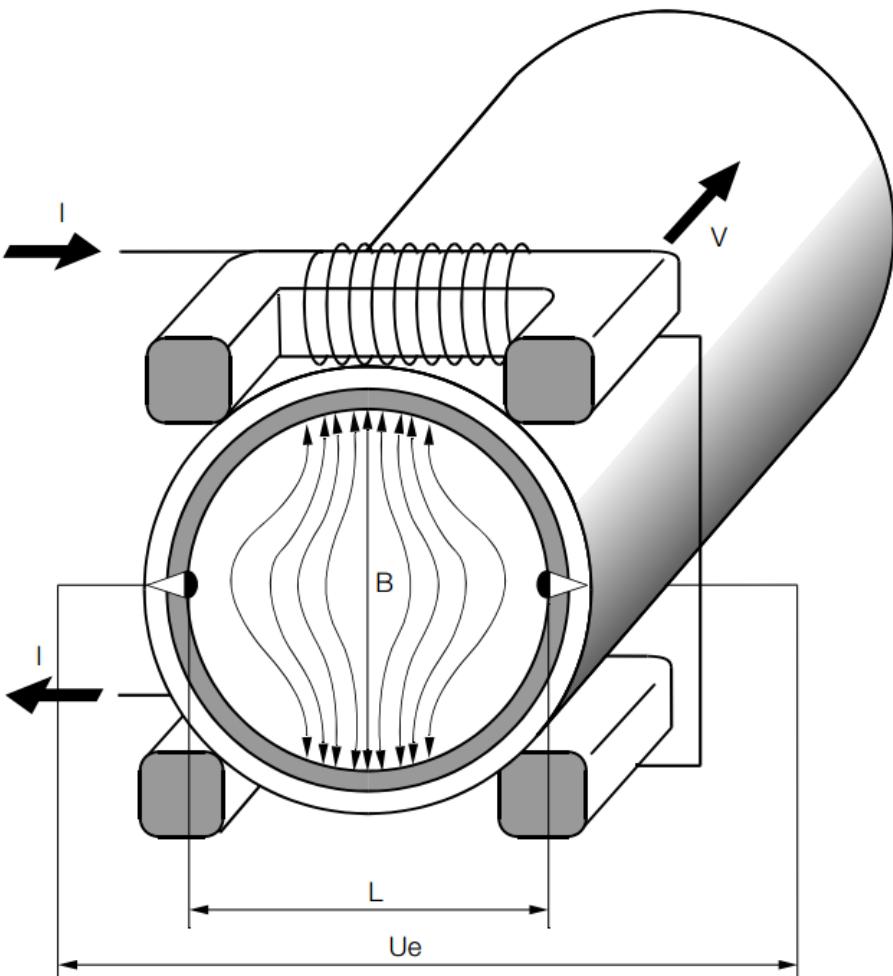
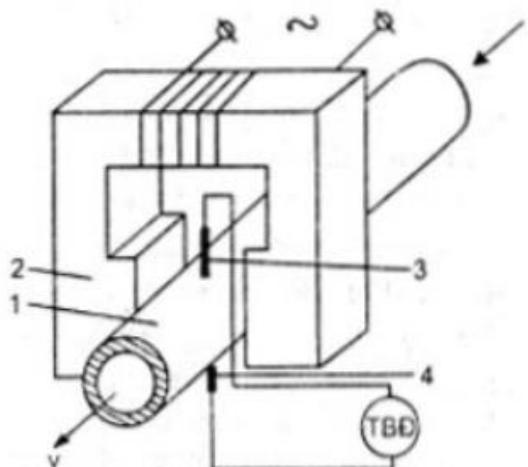
5.4. Ứng dụng

- Cảm biến đo tốc độ trong ô tô



Nguyên lý đo lưu lượng bằng cảm ứng từ

- ❖ Ống 1 được chế tạo bằng vật liệu không dẫn từ cho chất lỏng chảy qua.
- ❖ Từ trường biến thiên do nam châm 2 tạo nên xuyên qua dòng chất lỏng cảm ứng một sức điện động.
- ❖ Sức điện động này được lấy ra trên hai điện cực 3 và 4 và đưa vào thiết bị đo.



Nguyên lý đo lưu lượng bằng cảm ứng từ

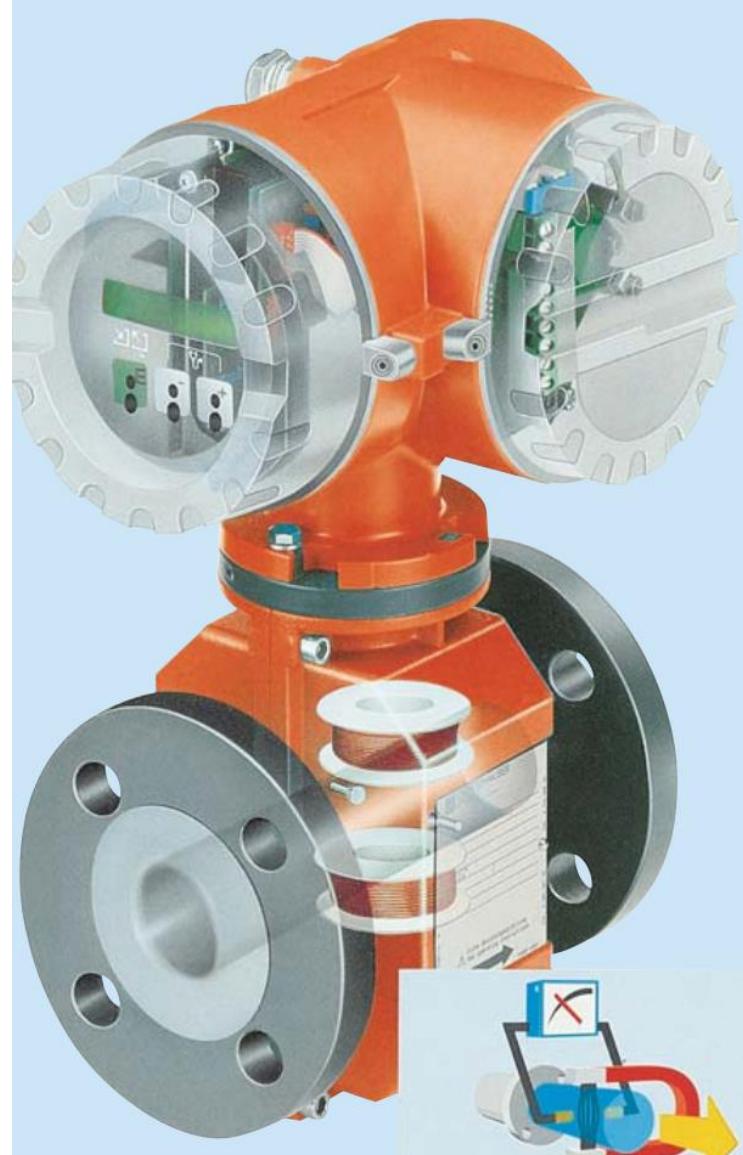
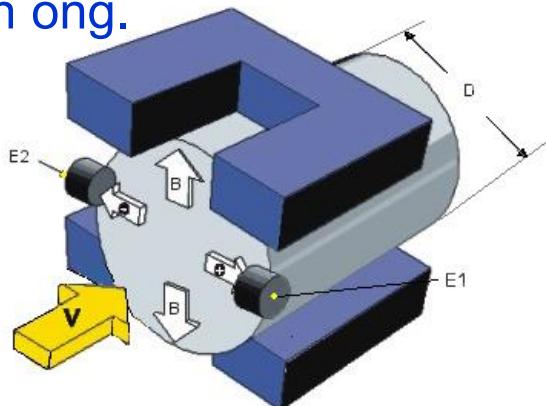
- ❖ Độ lớn của sức điện động được tính:

$$E = k \cdot \omega \cdot B \cdot d \cdot v$$

- ✓ k - hệ số
- ✓ ω - tần số góc của từ thông do nam châm tạo ra.
- ✓ B - độ cảm ứng từ
- ✓ d - đường kính trong ống dẫn
- ✓ v - tốc độ trung bình của chất lỏng theo tiết diện ống.

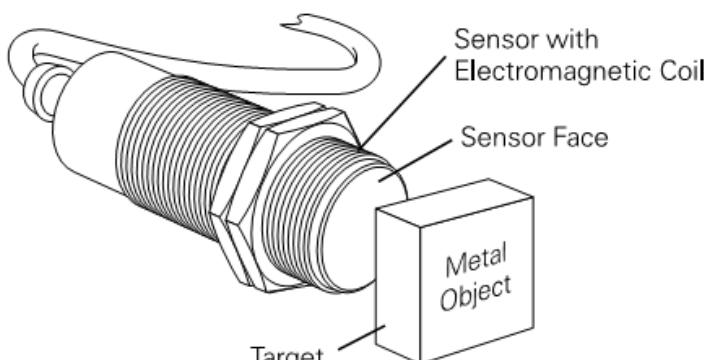
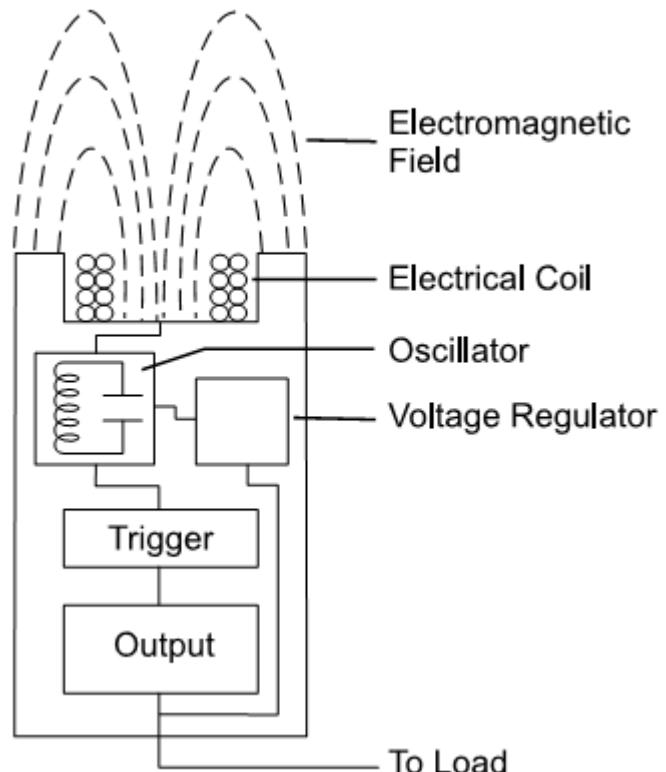
$$E = \frac{4k\omega}{\pi d} BQ$$

$$Q = \frac{v\pi d^2}{4}$$



Cảm biến tiệm cận loại cảm ứng

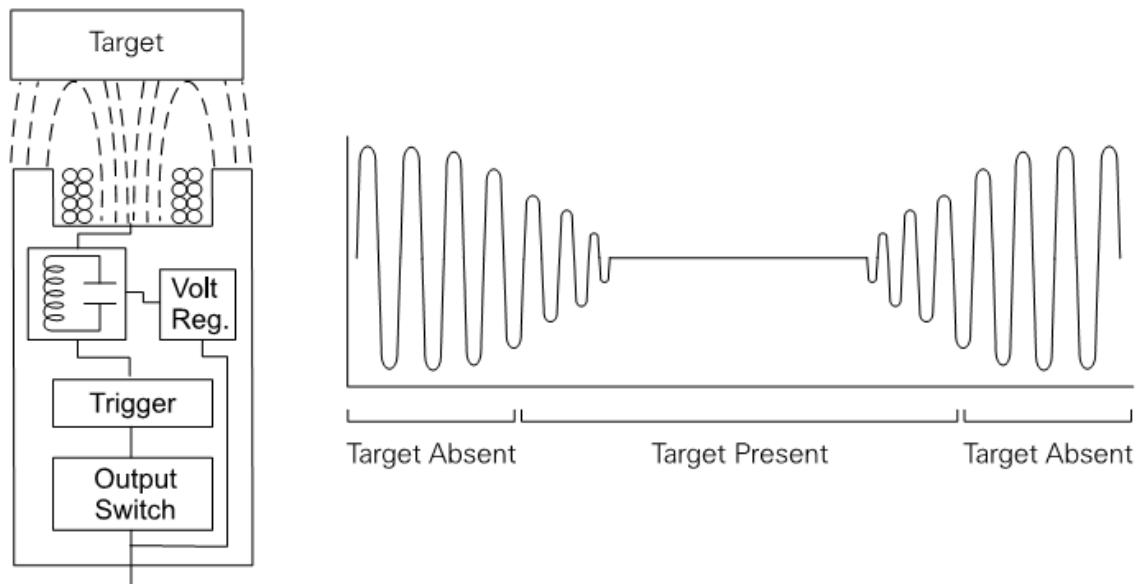
- Cấu tạo:
- Gồm có 4 thành phần:
 - ❖ **Cuộn dây:** tạo ra từ trường
 - ❖ **Bộ dao động:** tạo dao động tần số cao
 - ❖ **Mạch kích:** Giám sát biên độ của bộ dao động
 - ❖ **Ngõ ra:** Mở / tắt



Cảm biến tiệm cận loại cảm ứng

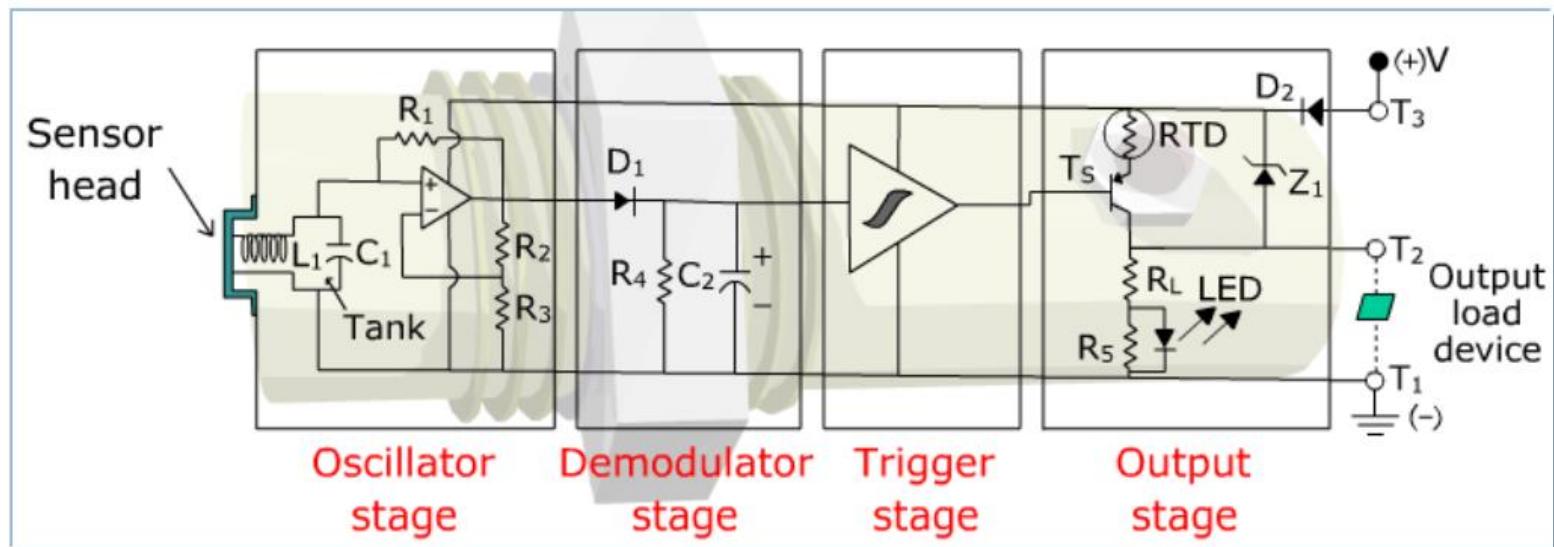
■ Hoạt động:

- ❖ Khi đối tượng vi chuyển đến gần cảm biến - đi vào vùng từ trường, xuất hiện dòng điện xoáy trên bề mặt đối tượng, làm giảm biên độ của bộ dao động.
- ❖ Mạch kích giám sát biên độ của bộ giao động và kích thích cho ngõ ra của cảm biến mở (tắt)



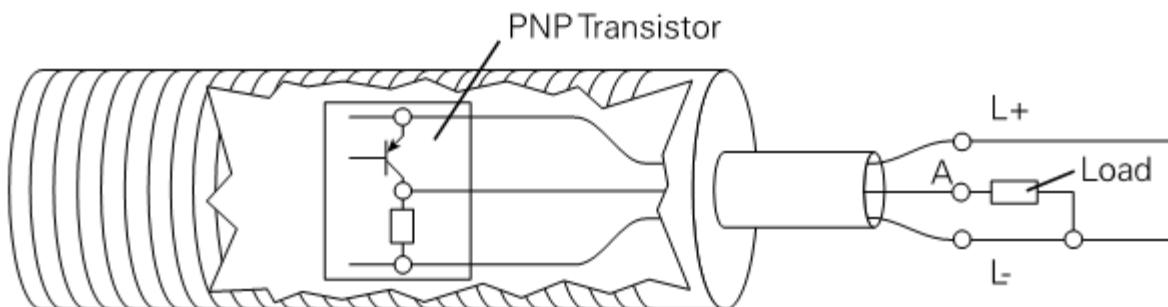
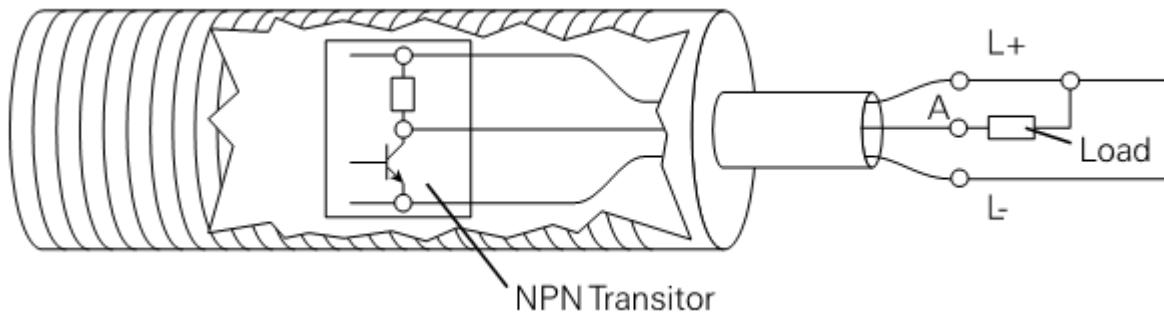
Cảm biến tiệm cận loại cảm ứng

- Bộ phận cảm nhận là một cuộn dây được cung cấp dòng có tần số cao, nó sẽ tạo ra một từ trường thay đổi xung quanh cuộn dây. Một vật kim loại nằm trong vùng từ trường này sẽ xảy ra hiệu ứng dòng Fuco. Theo định luật Lenz, dòng điện này có chiều chống lại nguyên nhân tạo nên nó, và kết quả tạo nên một từ thông ngược lại từ thông của cuộn dây, điều này dẫn đến hệ số tự cảm L thay đổi và trở kháng $Z=2\pi fL$. Trong đó $L = F(n, \eta, A, I)$ với n số vòng dây, η độ từ thẩm, A khoảng cách và I là kiểu vật liệu



Cảm biến tiệm cận loại cảm ứng

■ Đầu dây:



Cảm biến tiệm cận cảm ứng

■ Đặc điểm:

- ❖ Phát hiện vật không cần tiếp xúc
- ❖ Đầu cảm biến nhỏ có thể lắp đặt nhiều nơi
- ❖ Tốc độ đáp ứng nhanh
- ❖ Làm việc trong môi trường khắc nghiệt
- ❖ Làm việc theo nguyên lý cảm ứng từ, do đó dễ bị ảnh hưởng của nguồn nhiễu hay ảnh hưởng của nguồn kỵ sinh

Cảm biến tiệm cận loại cảm ứng

■ Ưu điểm

- ❖ Chính xác hơn so với các cảm biến khác
- ❖ Có tỉ lệ chuyển đổi cao
- ❖ Có thể làm việc trong môi trường khắc nghiệt

■ Nhược điểm

- ❖ Chỉ phát hiện đối tượng kim loại
- ❖ Tầm hoạt động bị giới hạn

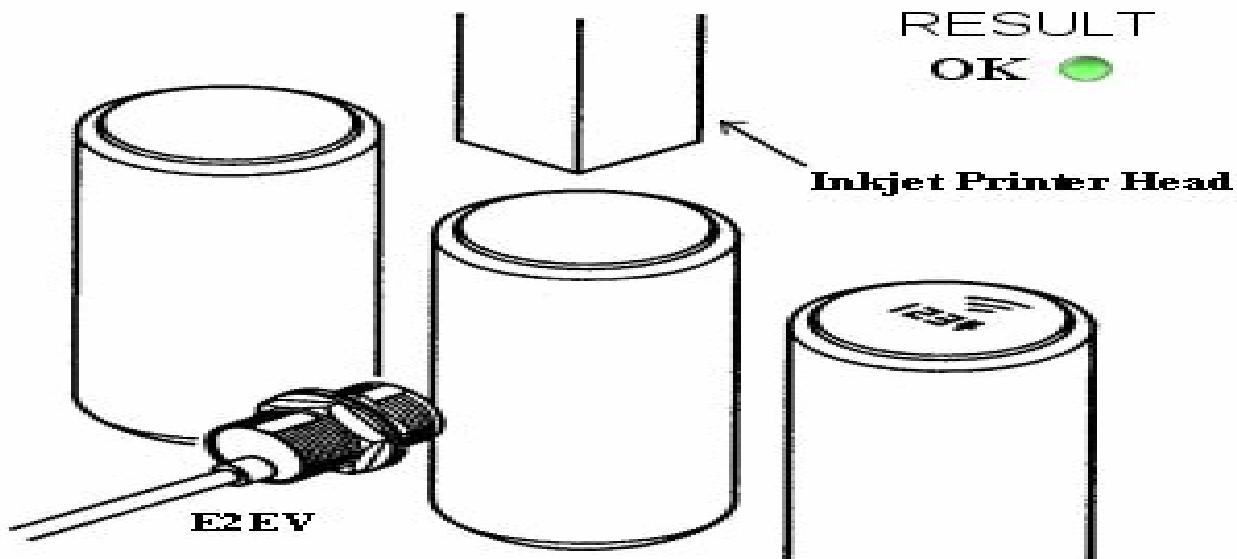
Cảm biến tiệm cận cảm ứng

- Cảm biến sử dụng điện áp một chiều khoảng 10-30VDC, đầu ra cảm biến chịu dòng điện nhỏ (tối đa khoảng 200mA), đo đó thường đấu nối ra thiết bị trung gian (rơle trung gian, bộ điều khiển cảm biến)



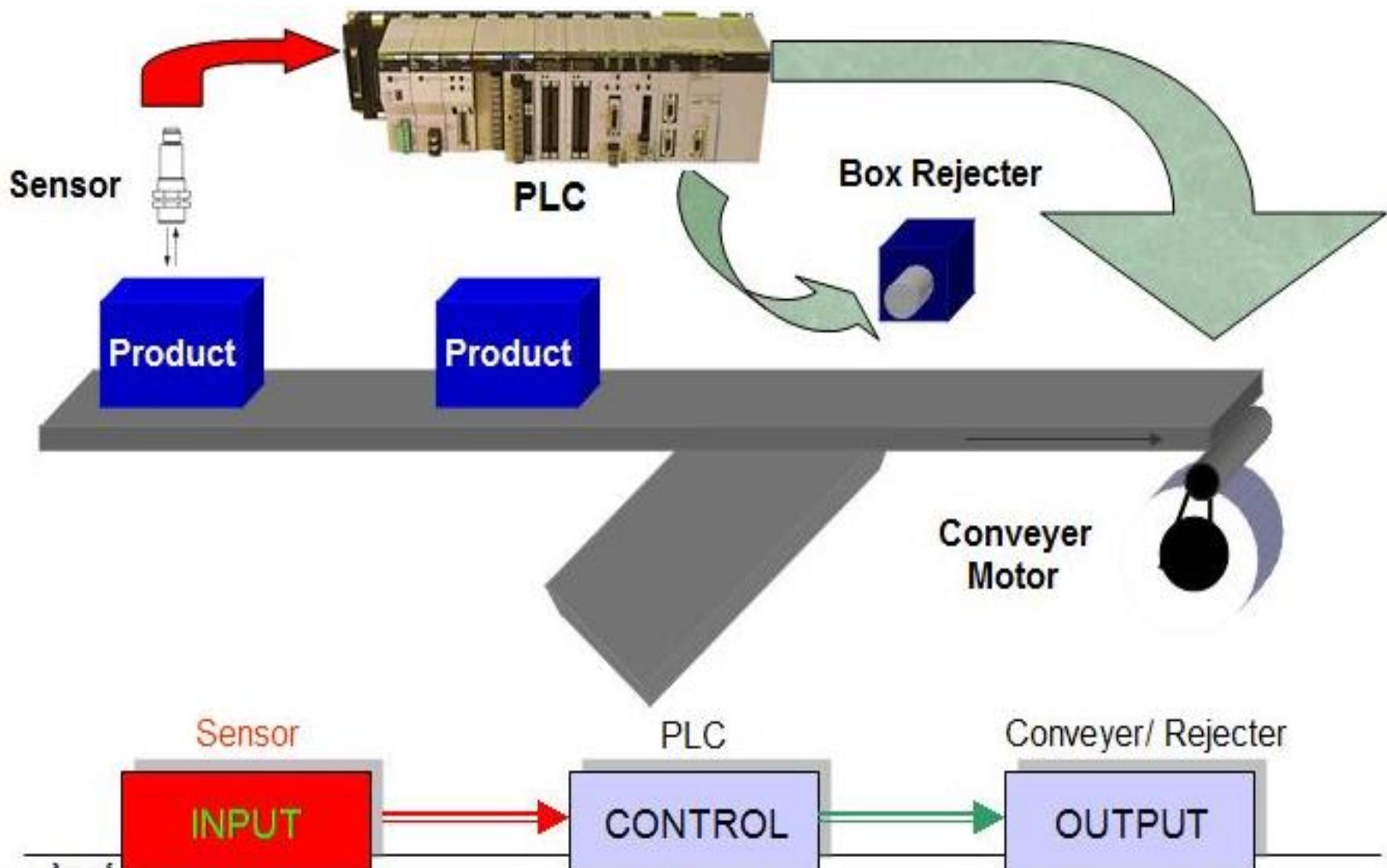
Cảm biến tiệm cận cảm ứng

- ❖ Ứng dụng phát hiện chai và đóng hạn sử dụng

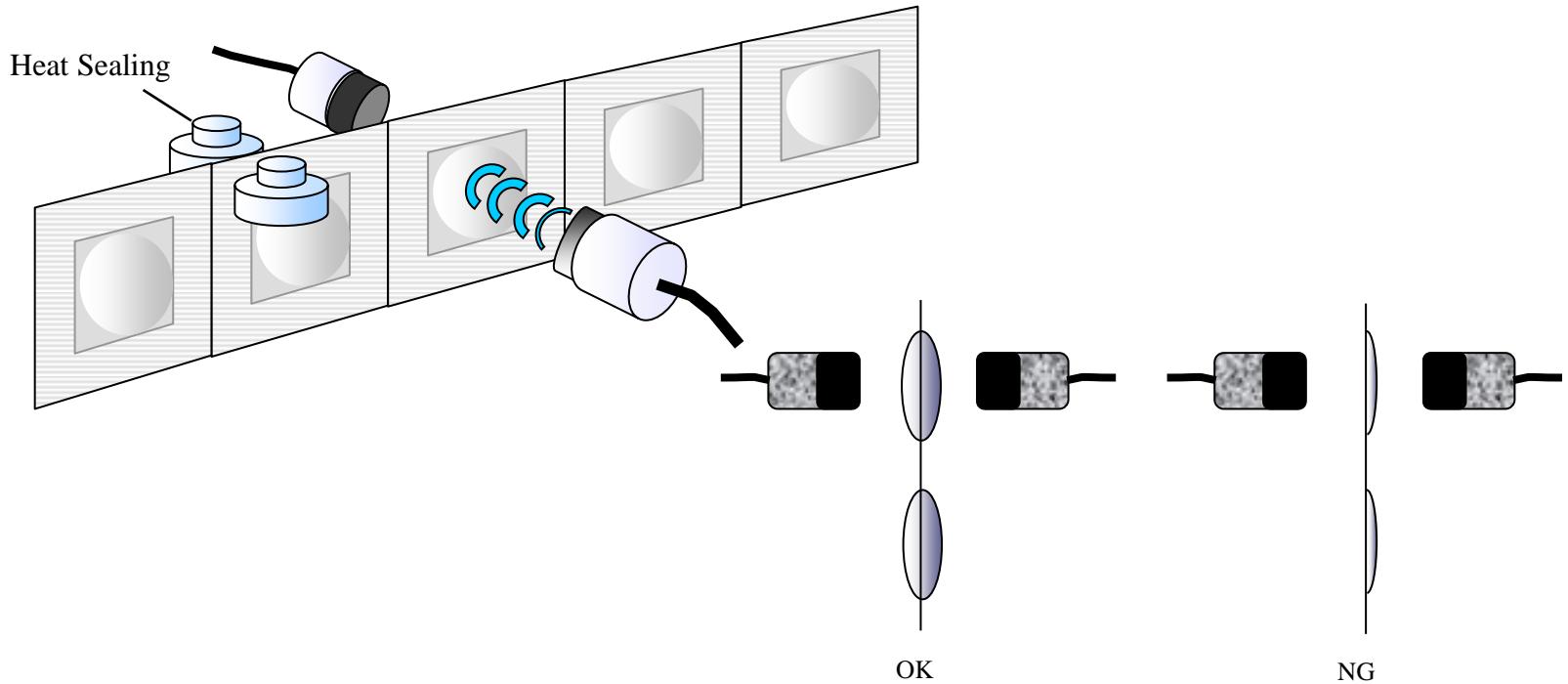


E2EV: Là sensor phát hiện tất cả các vật bằng kim loại đều có thể phát hiện được sự có mặt của các ion một cách chính xác. Khoảng cách đo của sensor có thể được đặt tới 10 mm.

Cảm biến tiệm cận cảm ứng



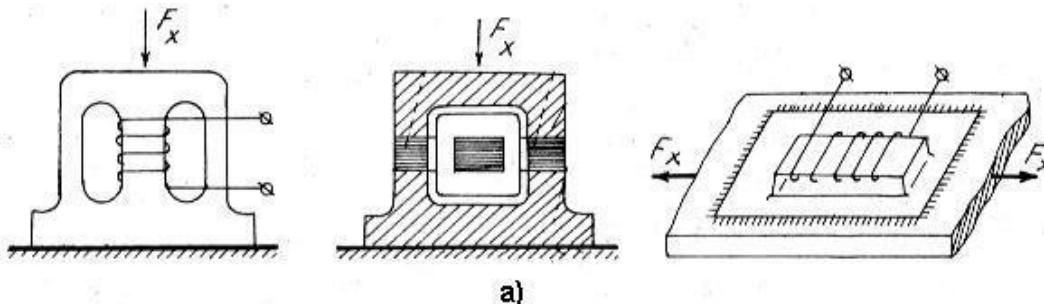
Cảm biến tiệm cận cảm ứng



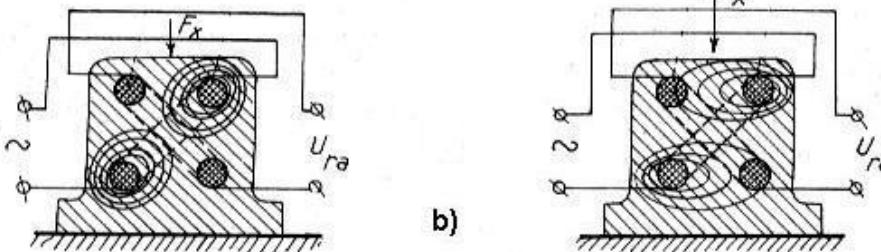
Sử dụng sensor tiệm cận có đầu ra analog ($4 \rightarrow 20mA$) và bộ xử lý tín hiệu thông minh K3- để tính độ rộng. Từ đó có thể biết được là đã có gia vị trong gói nhôm lá chưa.

Chuyển đổi áp từ

- 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



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



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



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 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

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

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} mmHg.
- 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

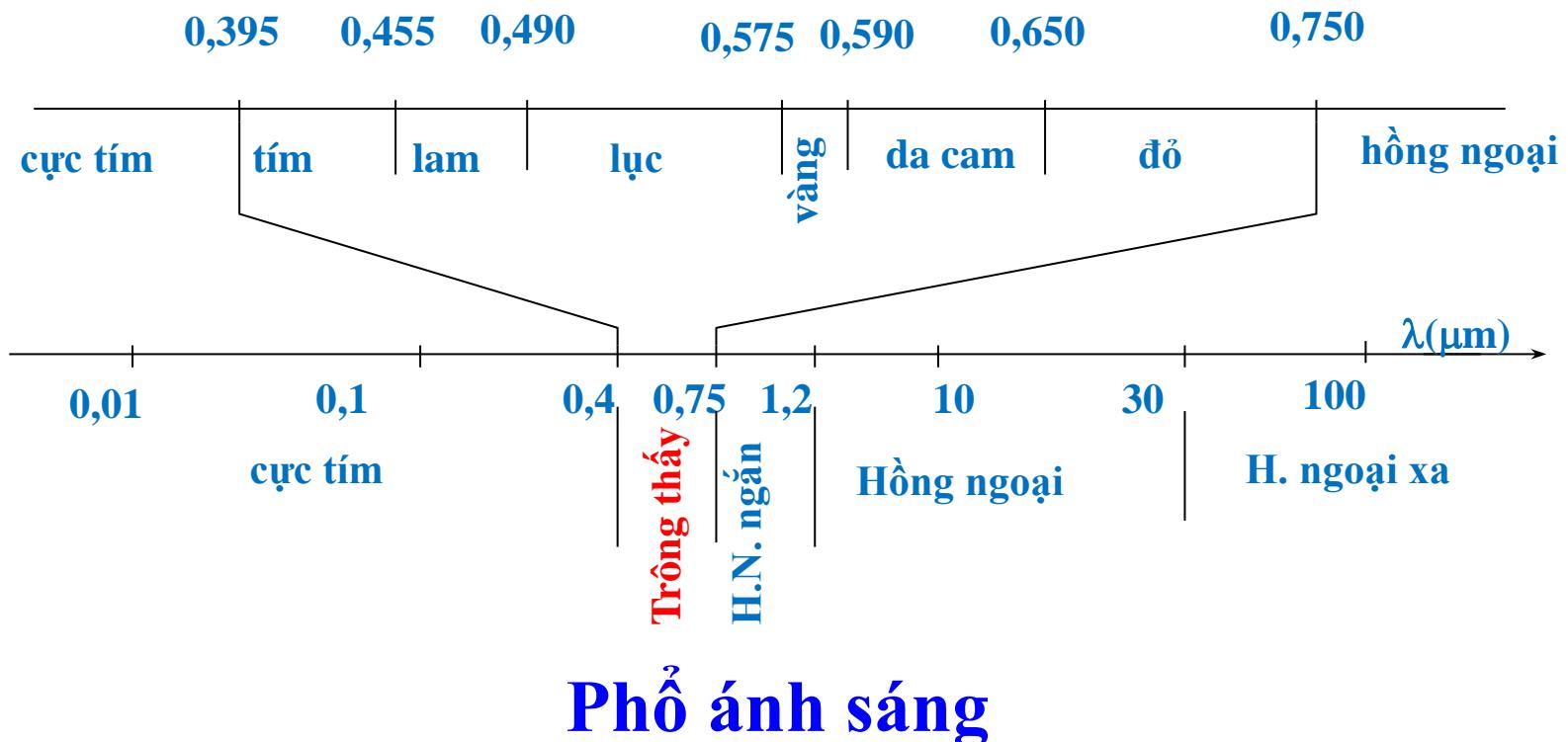
Cảm biến quang

- 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

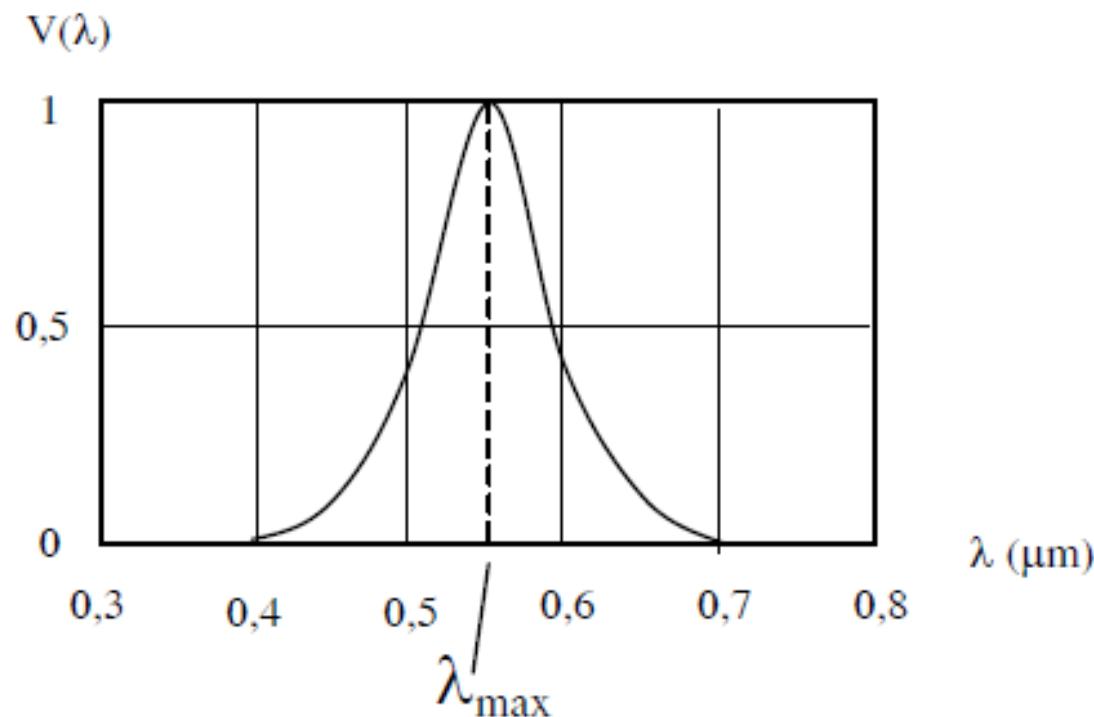
Đơn vị: oat/m² hoặc lux

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

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)

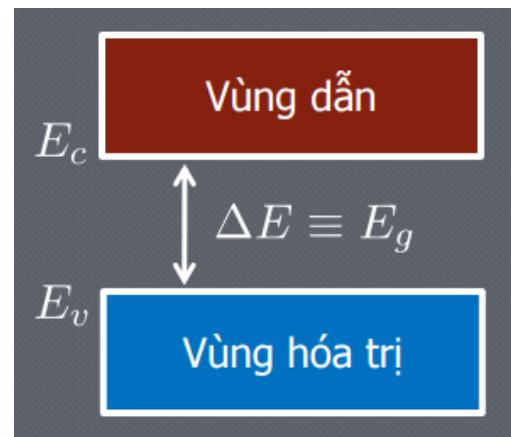
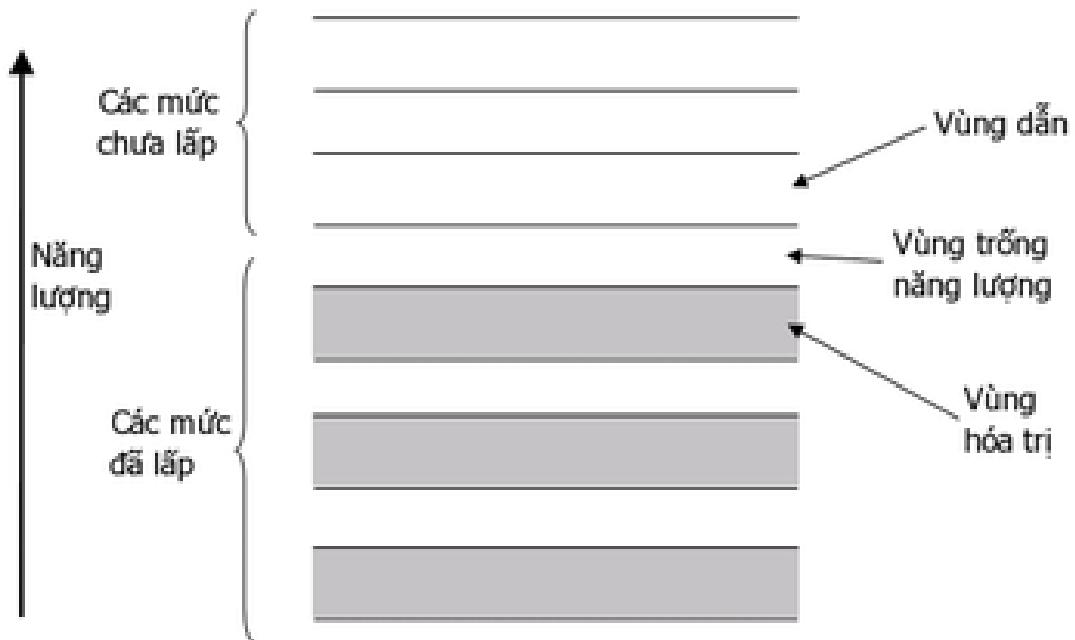
Hiệu ứng quang điện trong

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.

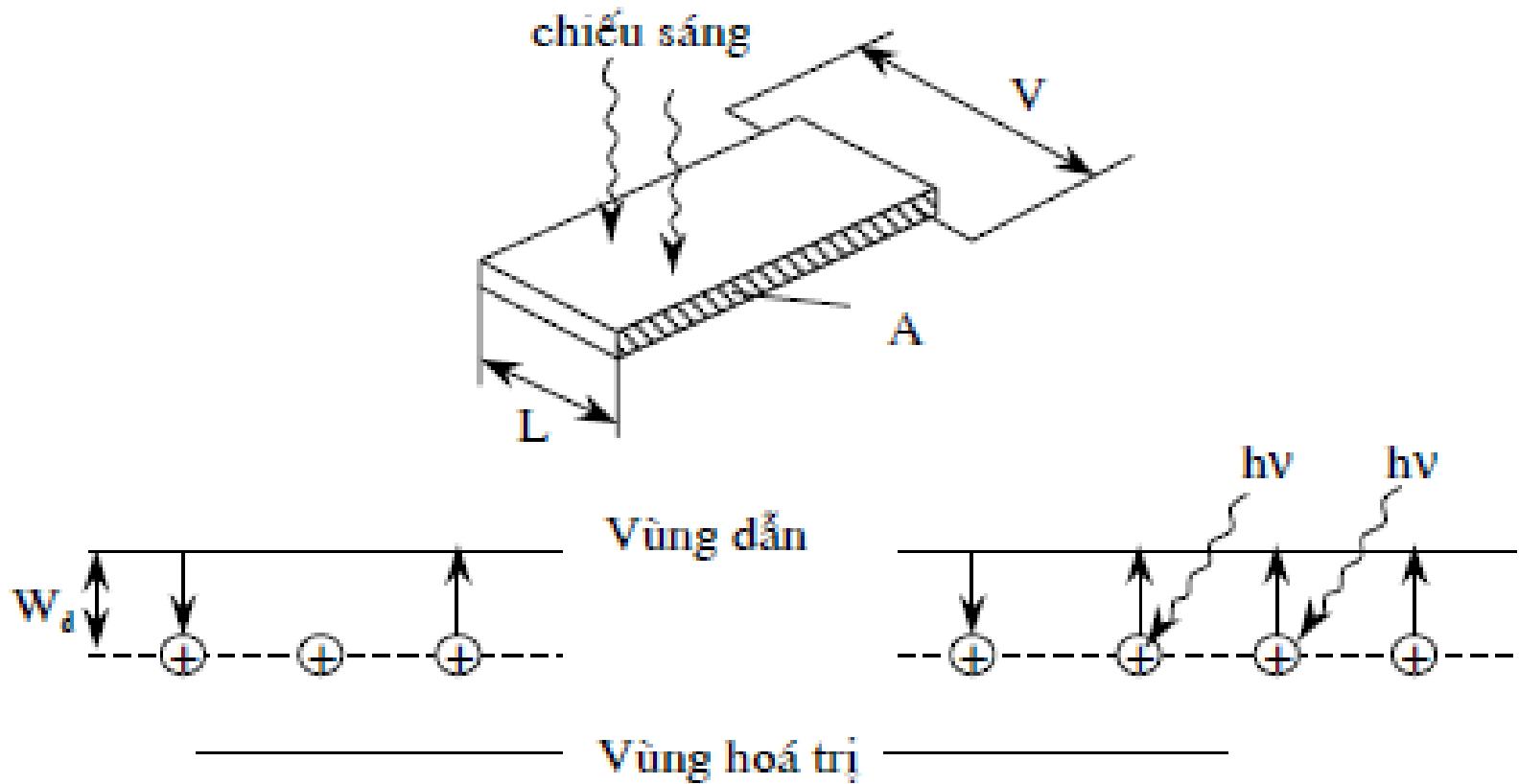
Hiệu ứng quang điện trong

- 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 tấm 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

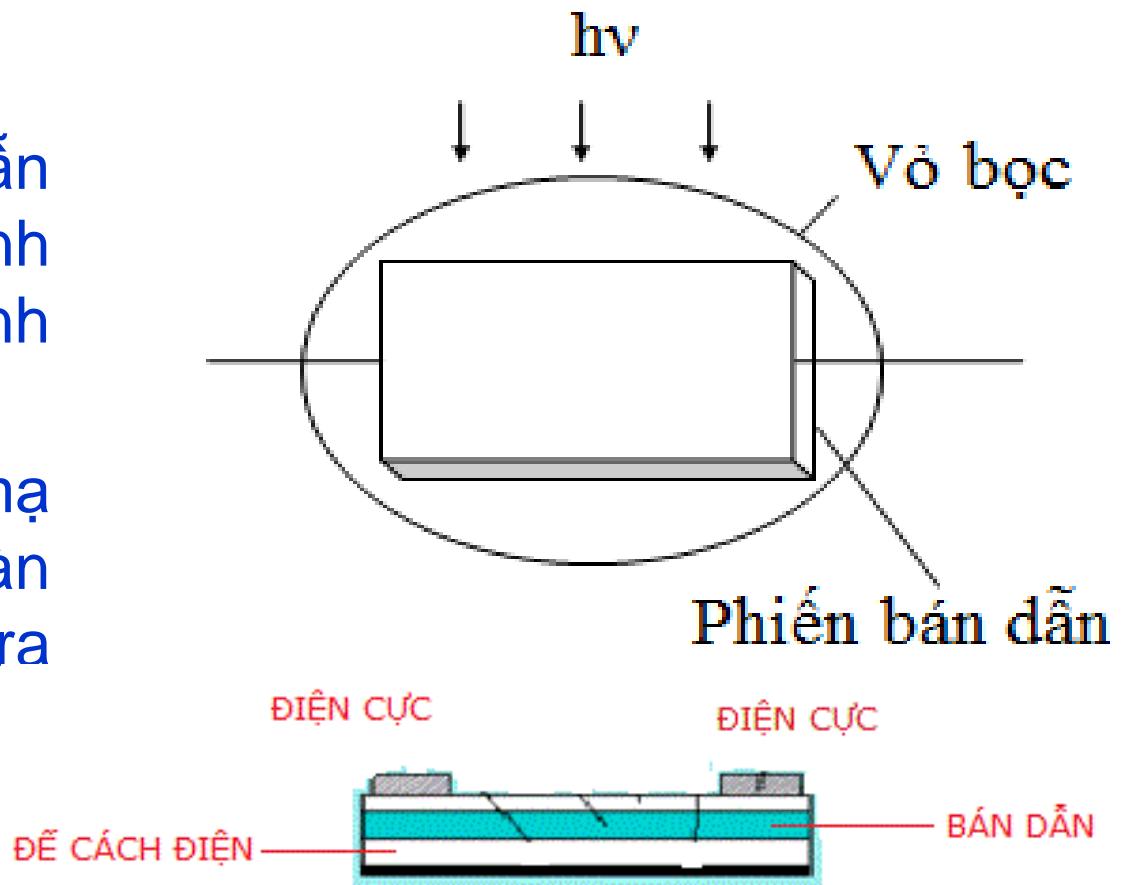
- Quang trở là:
 - ❖ Một linh kiện bán dẫn hai cực,
 - ❖ Có điện trở thay đổi theo năng lượng ánh sáng chiếu vào,
 - ❖ Hoạt động dựa trên hiệu ứng quang điện nội (quang dẫn).
- Khi chiếu ánh sáng vào quang trở, các hạt mang điện trong bán dẫn nhận thêm được năng lượng từ photon trở thành điện tử tự do làm thay đổi điện trở suất (hay độ dẫn) trong bán dẫn.



Cảm biến quang trở

Cấu tạo

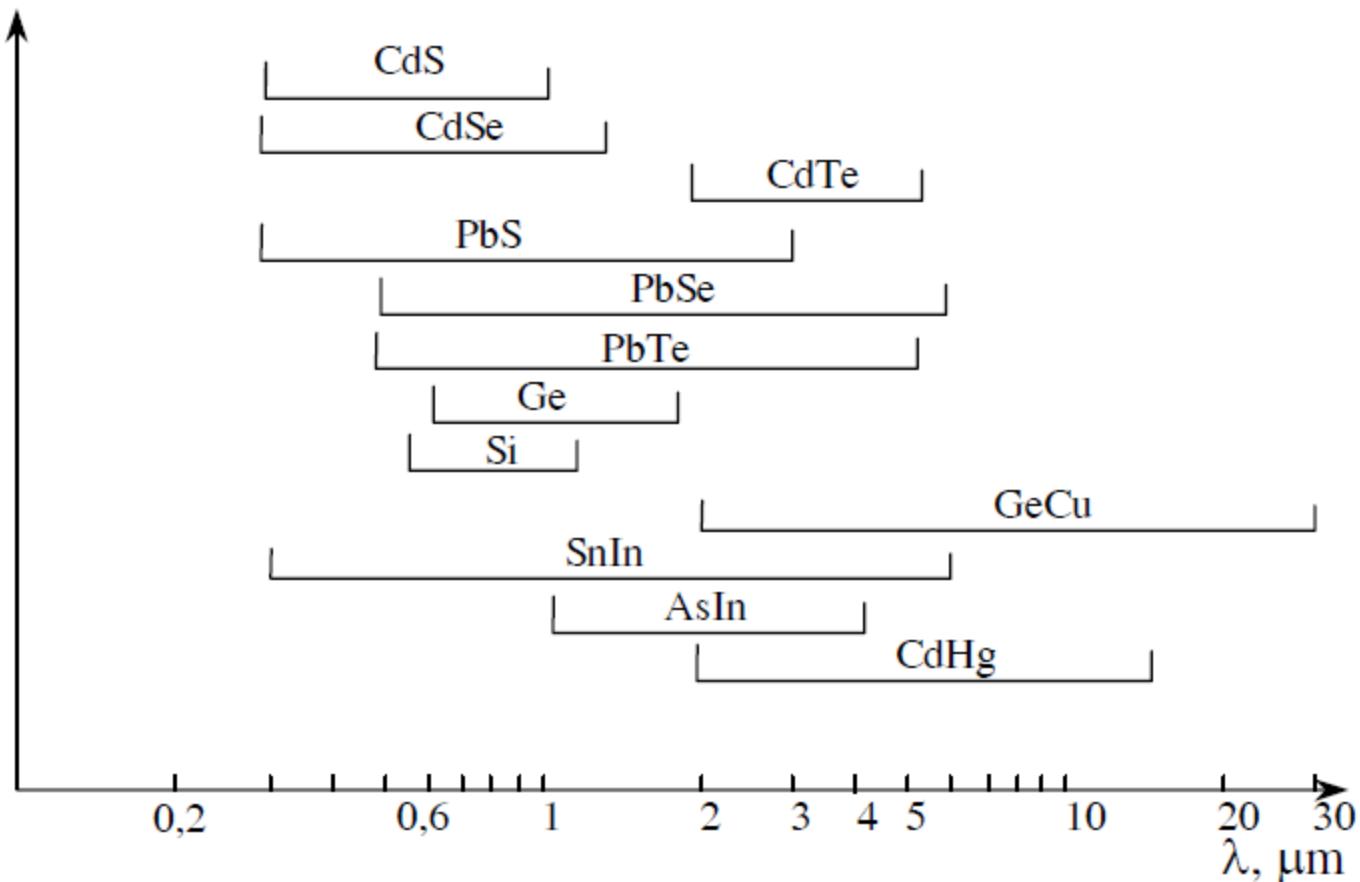
- ❖ Một phiến bán dẫn nhạy sáng đa tinh thể hay đơn tinh thể.
- ❖ Hai đầu được mạ kim loại để hàn điện cực dẫn ra ngoài



- ❖ 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.

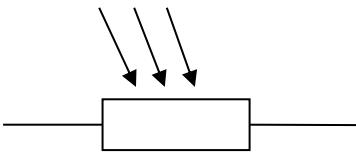
Cảm biến quang trở

- Vật liệu và vùng làm việc của một số vật liệu quang dẫn

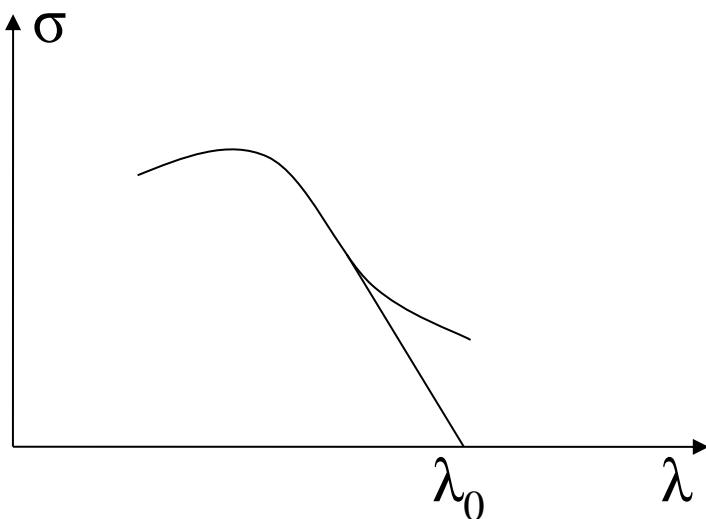


Cảm biến quang trở

- 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.



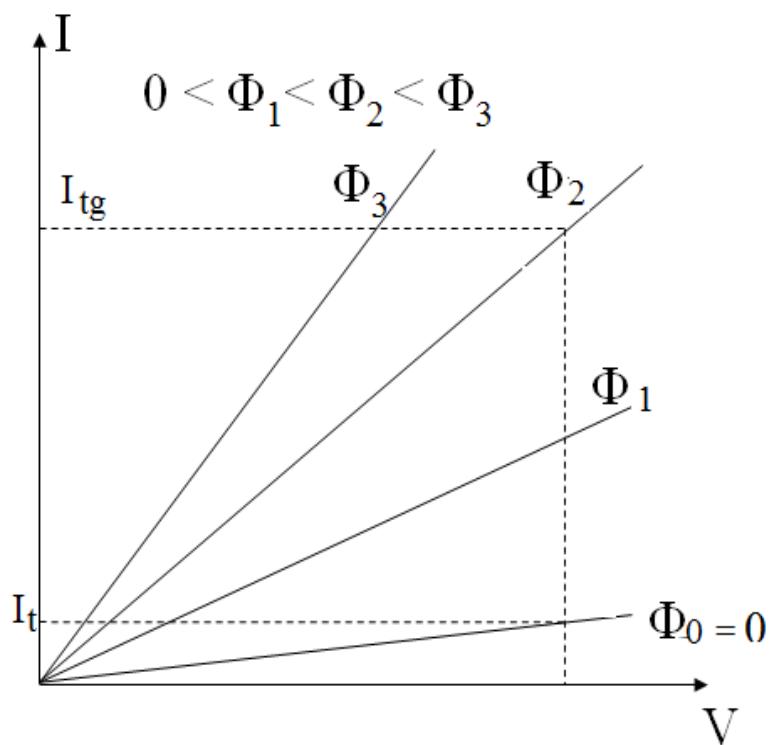
Đặc tuyến quang phổ riêng $\sigma = f(\lambda)$

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: $I_\phi = I_{tg} - I_t$.

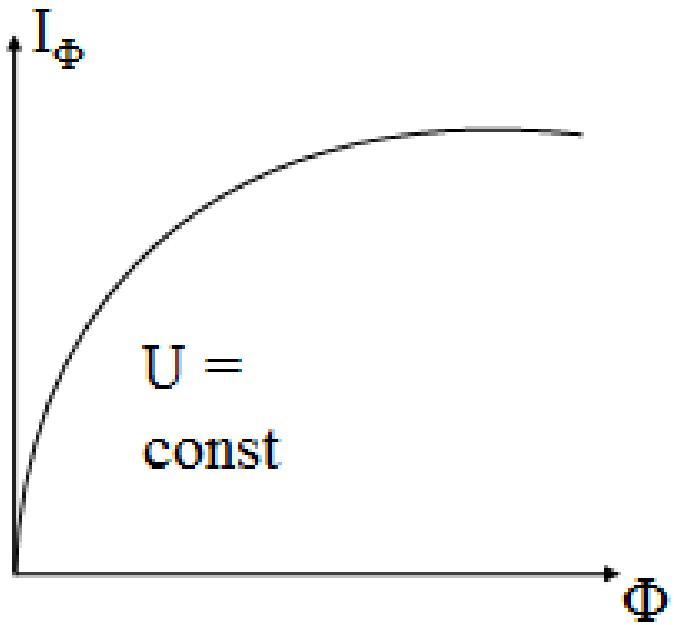
$$\bullet \quad I_\phi = f(\Phi)|_{U=\text{const}}$$

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

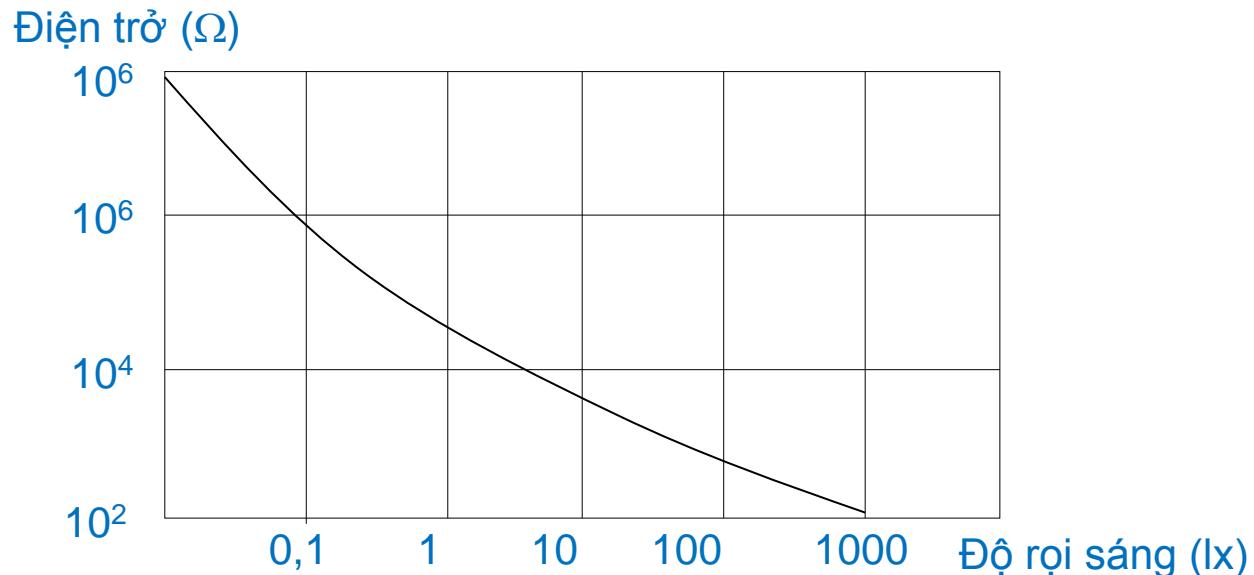
■ Đặc tuyến phô tương đối

- ❖ 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:

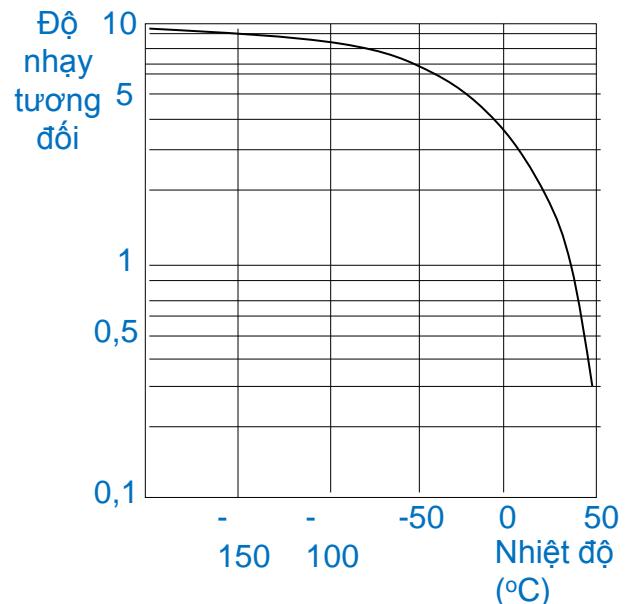
- + Độ nhạy giảm khi Φ tăng (trừ $\gamma = 1$)
- + Độ nhạy giảm khi tăng nhiệt độ, khi điện áp đặt vào lớn.
- + Độ nhạy phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng.

Cảm biến quang trở

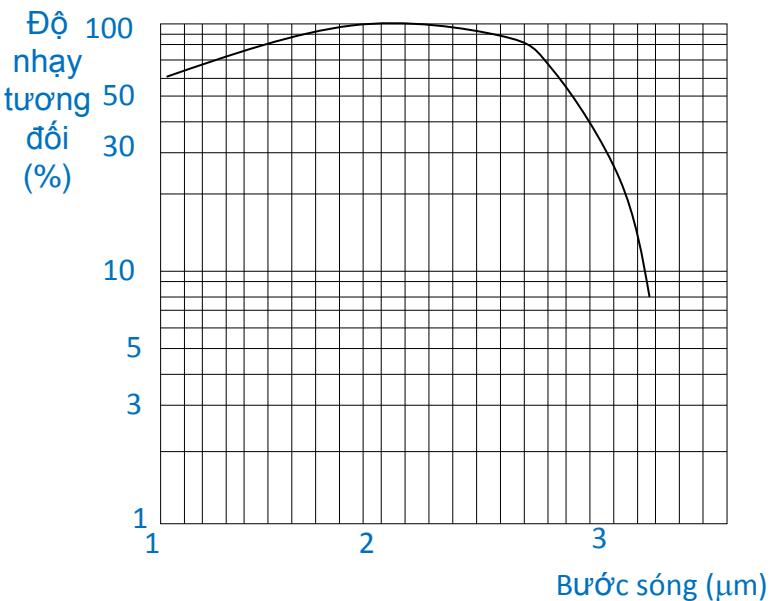
❖ Đặc điểm

- 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



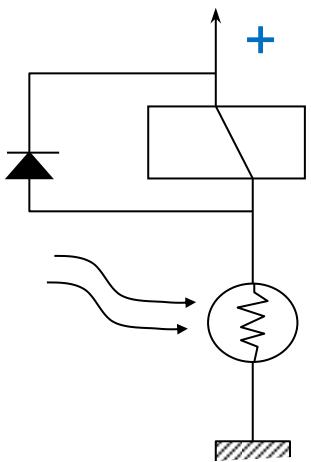
Ảnh hưởng bước sóng đến độ nhạy của tế bào quang dẫn

Cảm biến quang trở

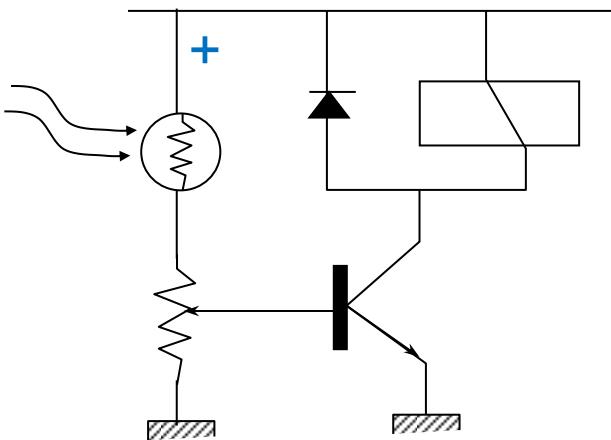
Ứng dụng:

- 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



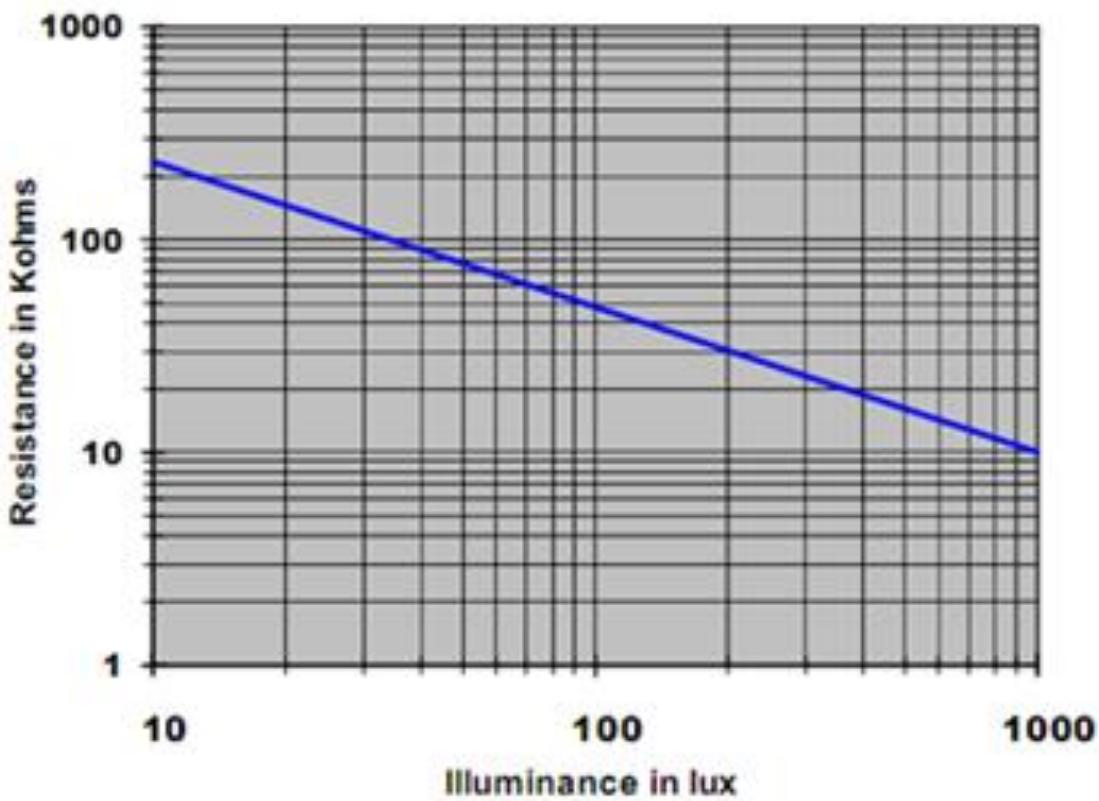
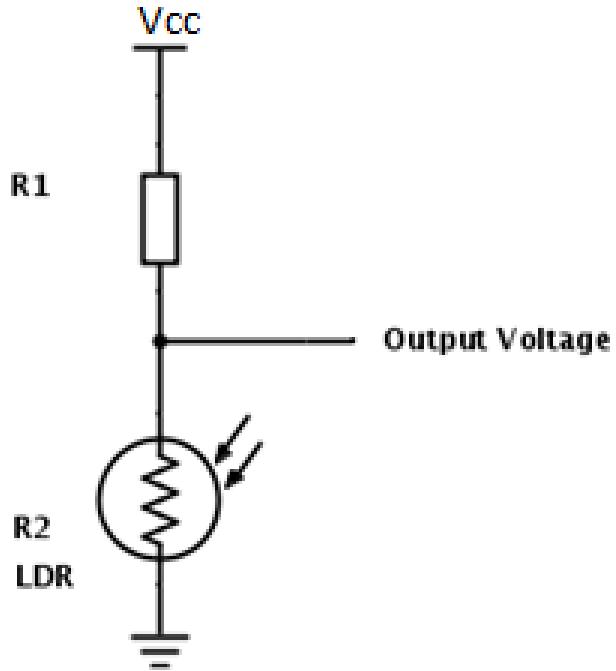
Điều khiển trực tiếp



Điều khiển thông qua
tranzito khuếch đại

Cảm biến quang trở

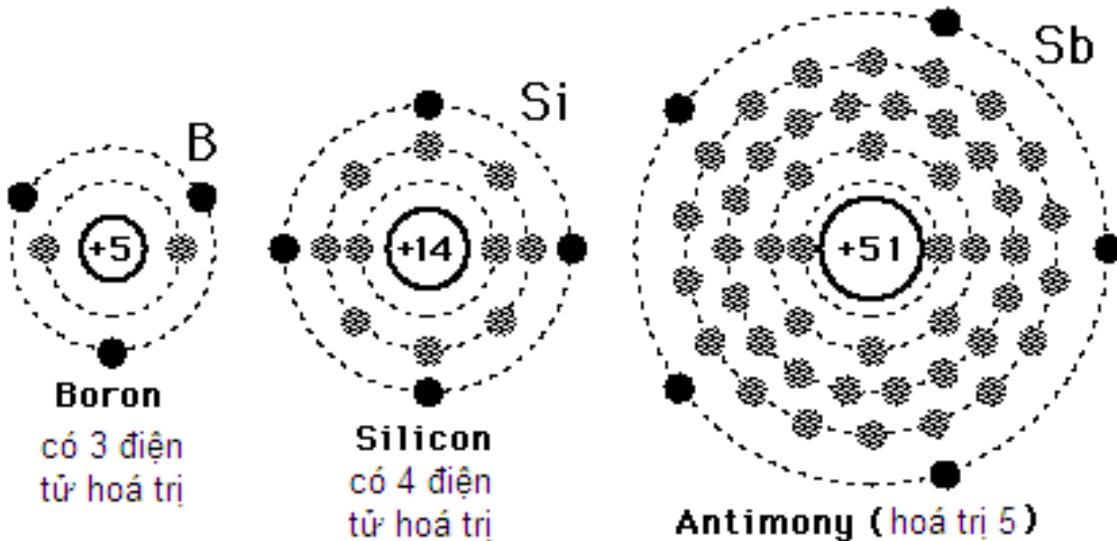
Câu 3: Cho quang trở có đặc tính như sau, biết $V_{cc} = 9V$, $R_1 = 10k\Omega$, tính độ rọi của ánh sáng khi điện áp ra là 6V; 7.87V



Photodiode

■ Nguyên lý của photodiode

Điện tử hoá trị

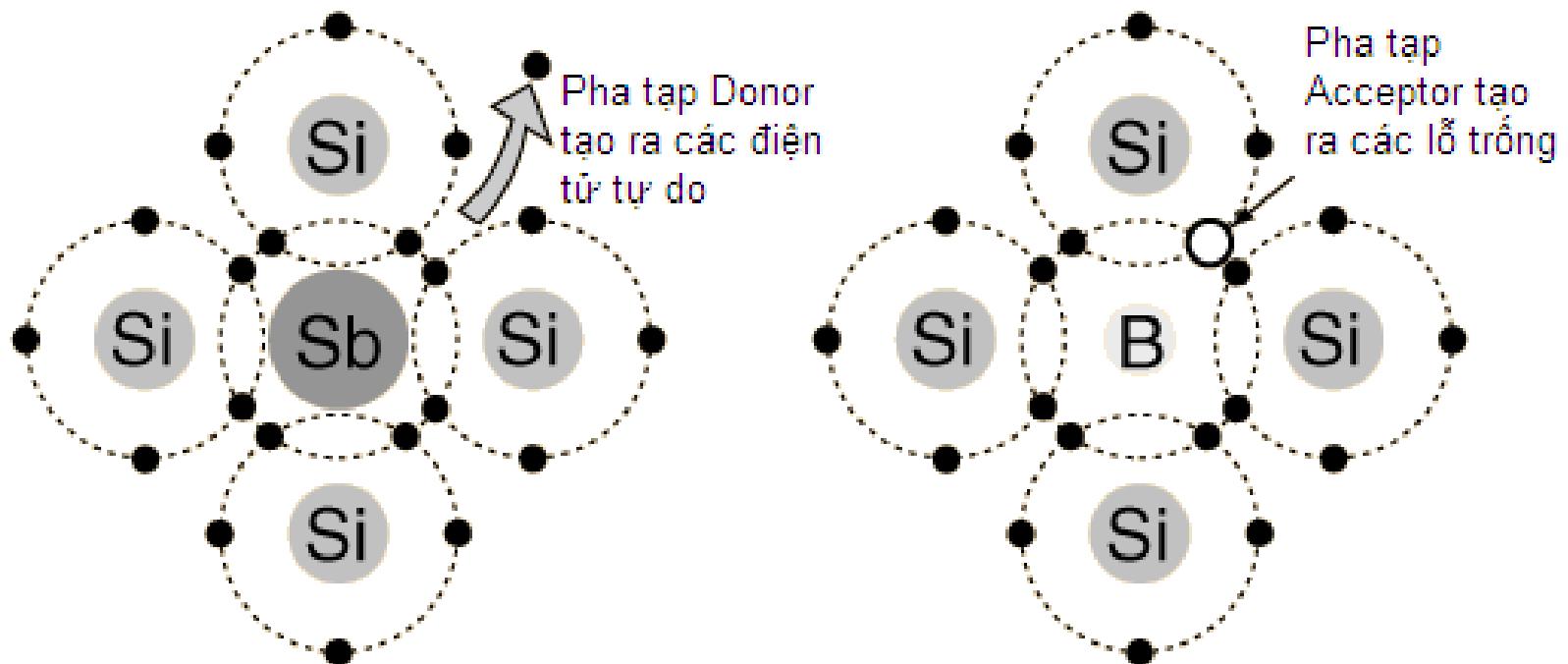


- Các điện tử ở vòng ngoài cùng của mỗi nguyên tử được gọi là các điện tử hoá trị; chúng quyết định tính chất hóa học và cũng quyết định cả tính dẫn điện của vật liệu.
- Tính dẫn điện của vật liệu được giải thích bằng lý thuyết về các giải năng lượng (mức năng lượng cần để giải phóng một điện tử hoá trị thành điện tử tự do).

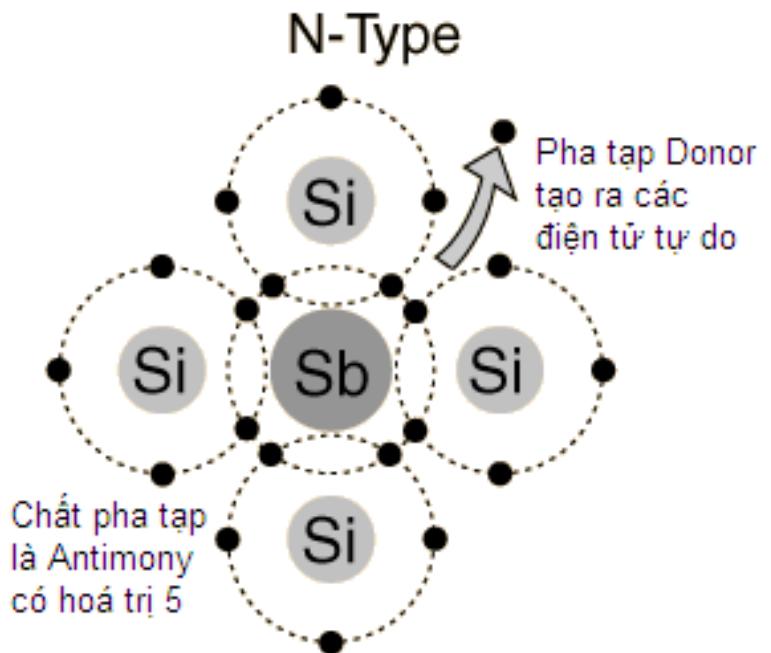
Pha tạp (doping) chất bán dẫn

- 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



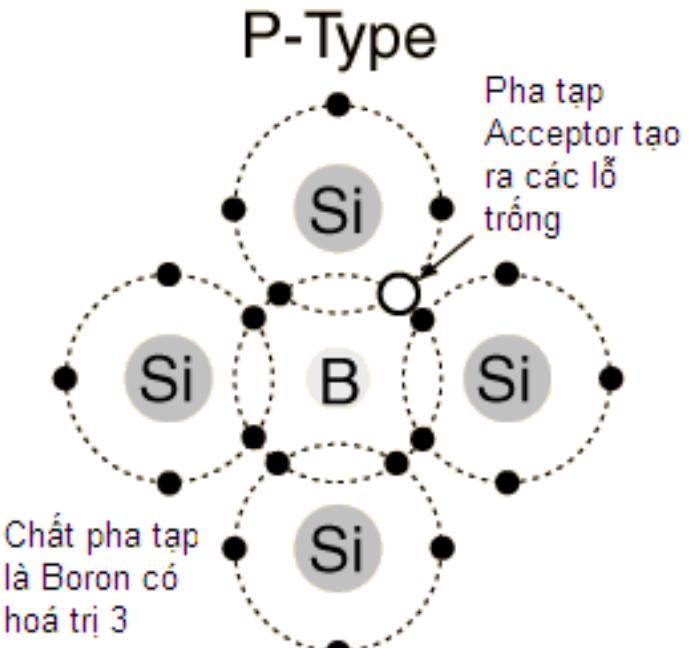
Bán dẫn pha tạp loại N



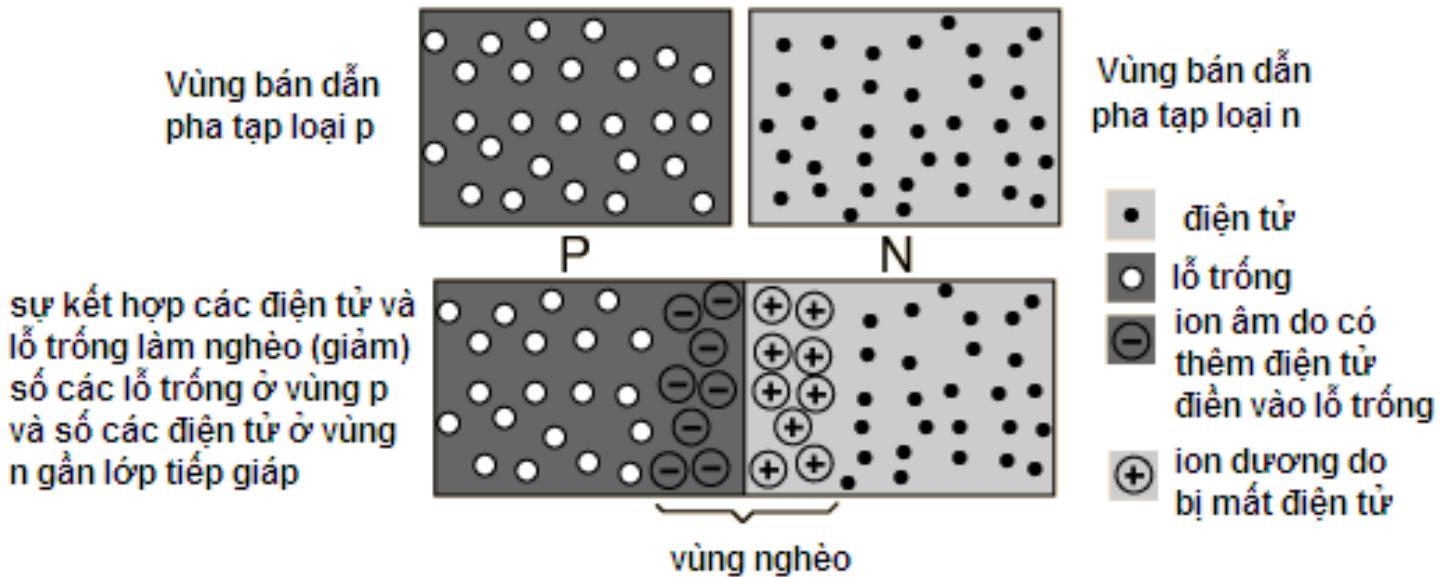
- Pha tạp thêm các nguyên tử của các nguyên tố có hoá trị năm như là antimony, arsenic hoặc phosphorous sẽ tạo ra thêm các điện tử tự do làm tăng đáng kể tính dẫn điện của chất bán dẫn.
- Có thể pha tạp phosphorous bằng cách cho khuếch tán khí phosphine (PH_3).

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.



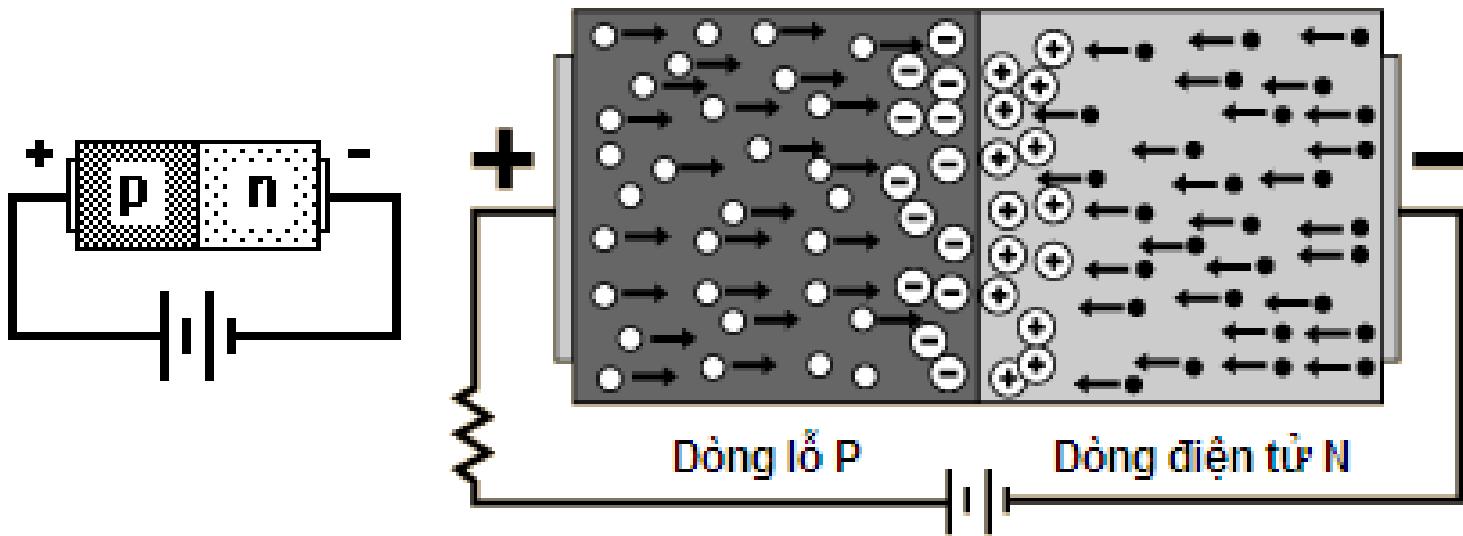
Vùng nghèo



- 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**.

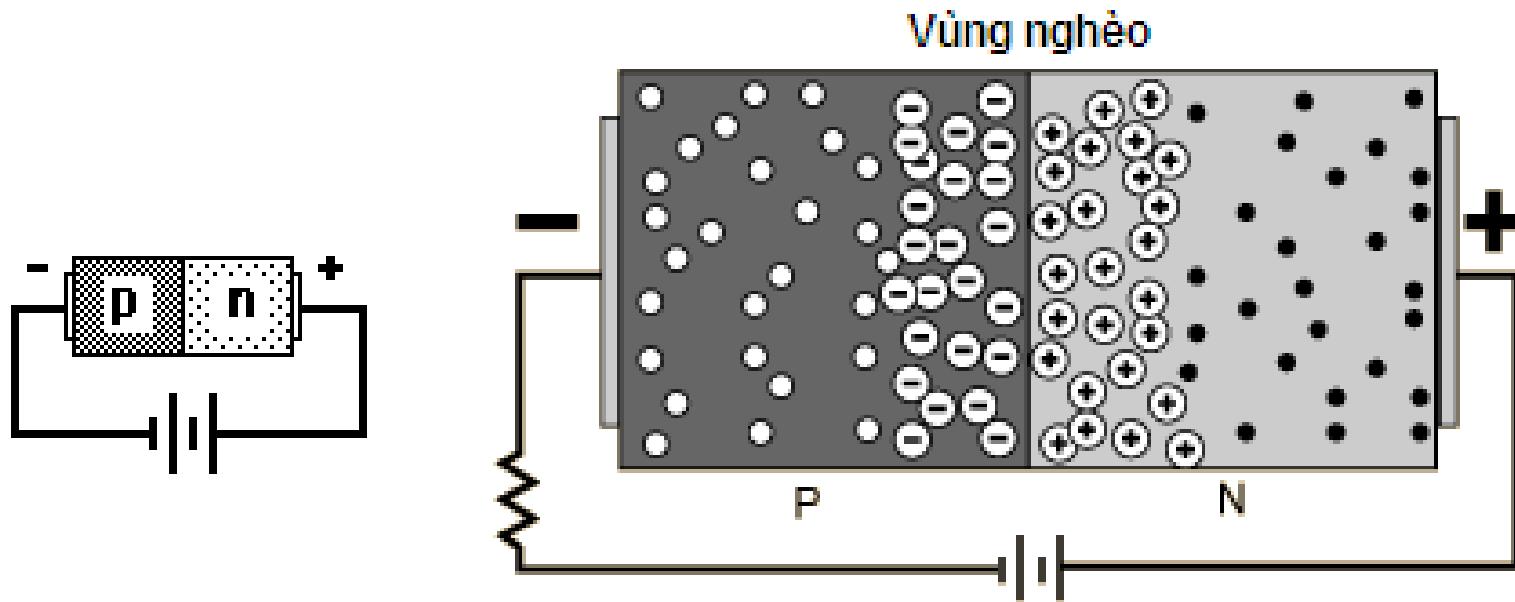
Tiếp giáp P-N phân cực thuận

- 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

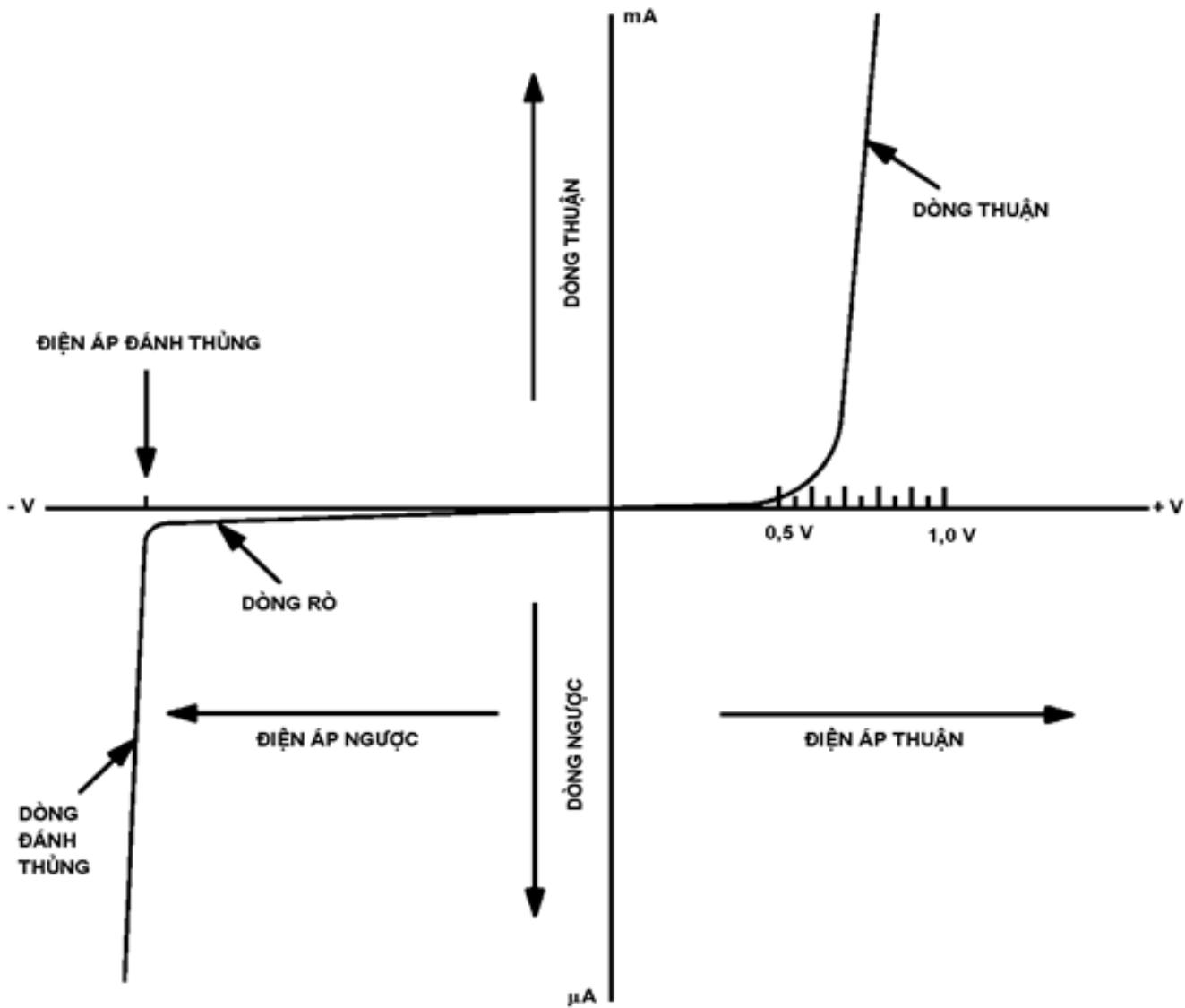
$$I_D = I_S \left(e^{qV_D/kT} - 1 \right)$$

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

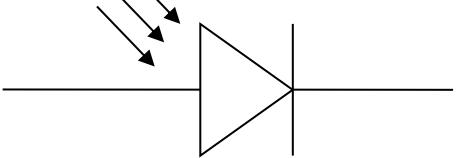
Ở điều kiện nhiệt độ phòng ($T=300K$):
thế nhiệt $\varphi_T = kT/q = 26mV$

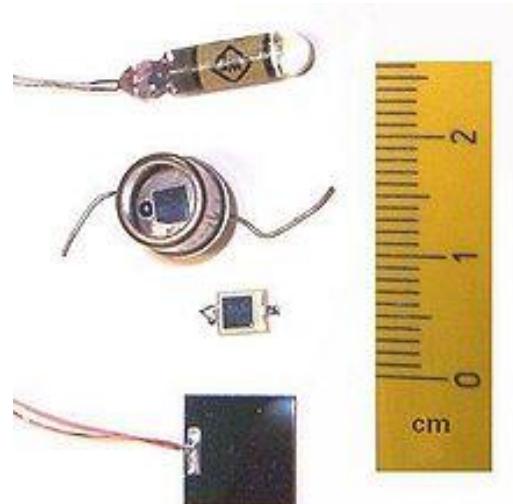
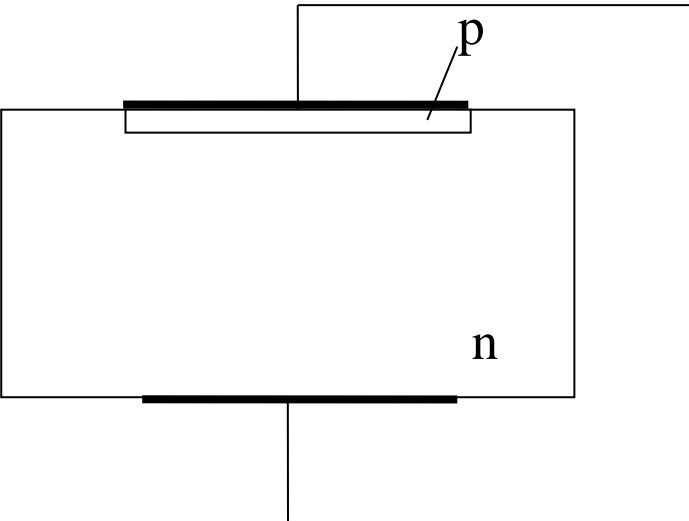
Đặc tính Volt-Amp của diode



Photodiode P-N

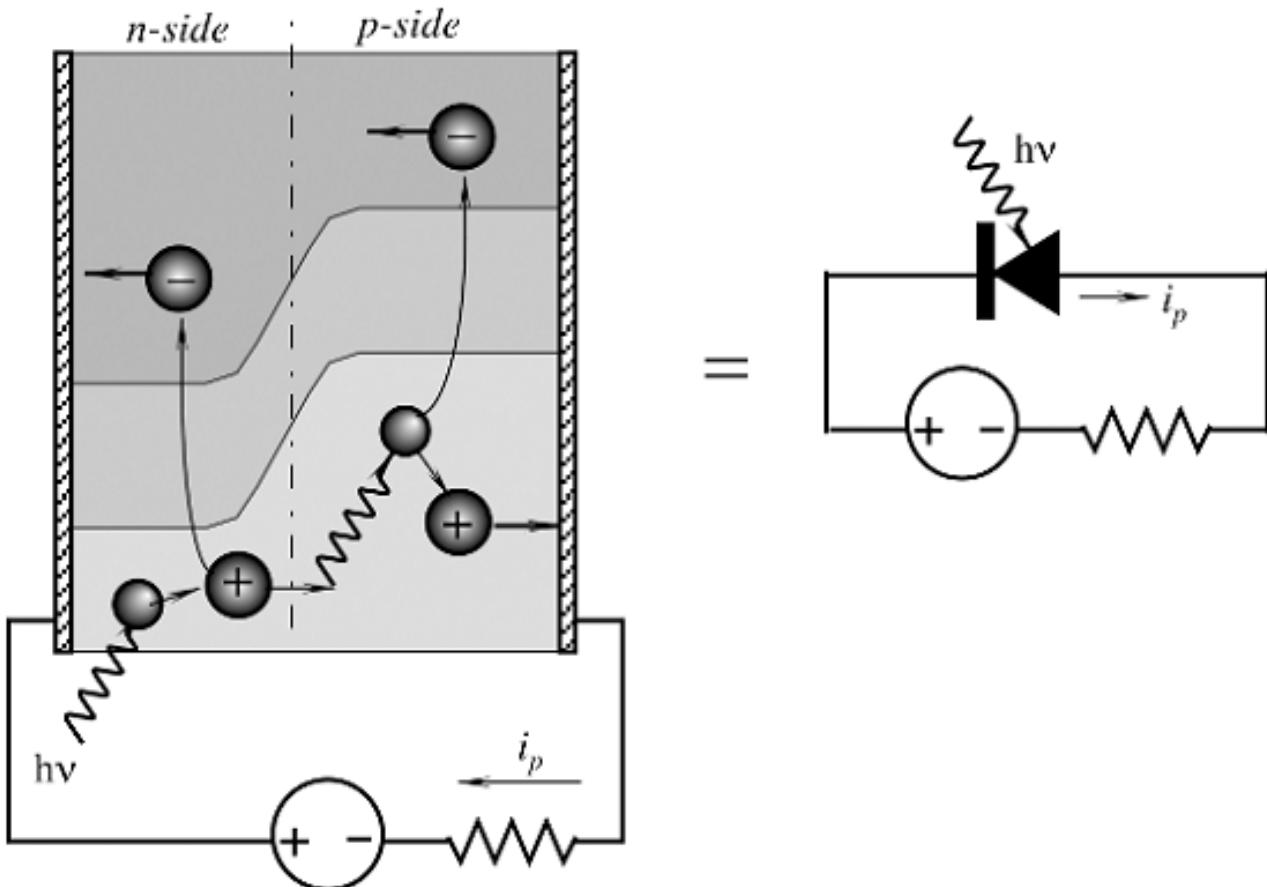
Cấu tạo:

- 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 $\Phi_0 \rightarrow I_p$.

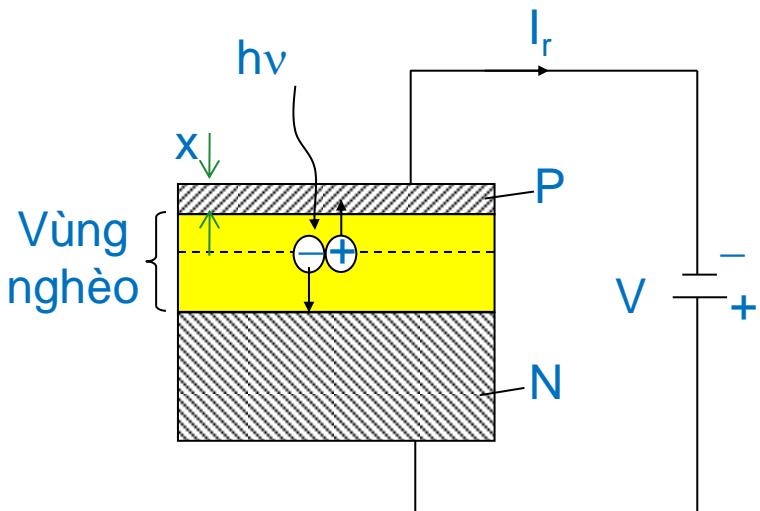
$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{hc} \Phi_0 \exp(-\alpha X)$$

$$I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 + I_p$$

- 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:

$$E = V_R - V_D$$

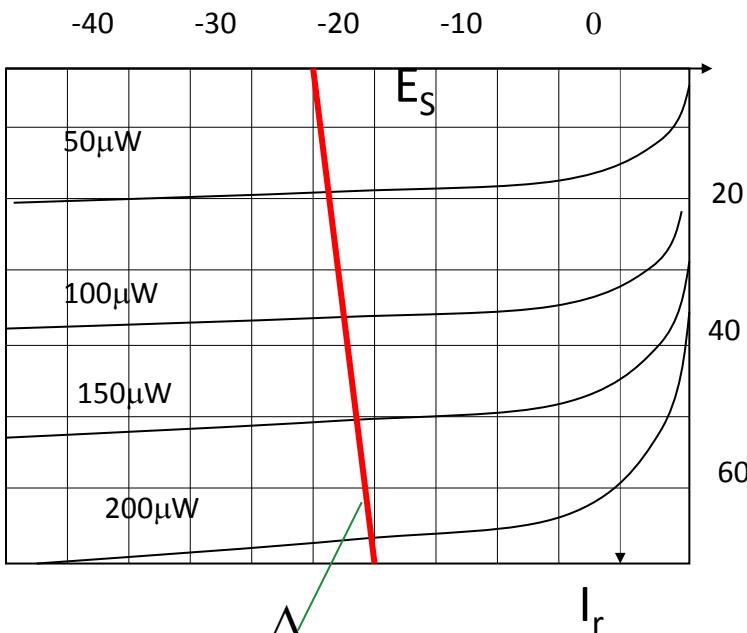
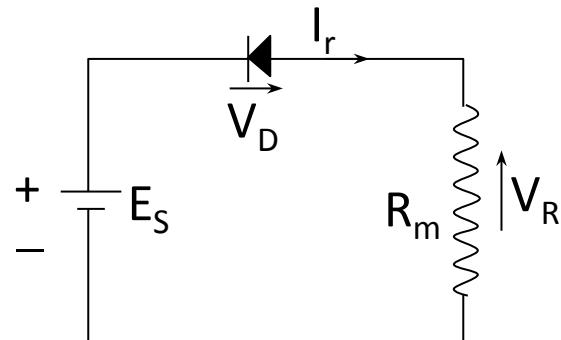
Tín hiệu ra: $V_R = R_m \cdot I_r$

⇒ 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

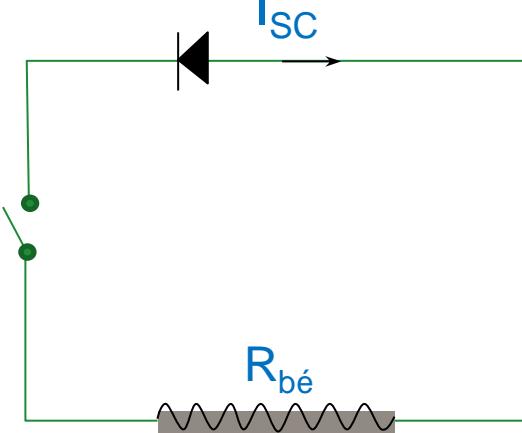
$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \log \left[1 + \frac{I_p}{I_0} \right]$$

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:

$$I_{SC} \approx I_p$$

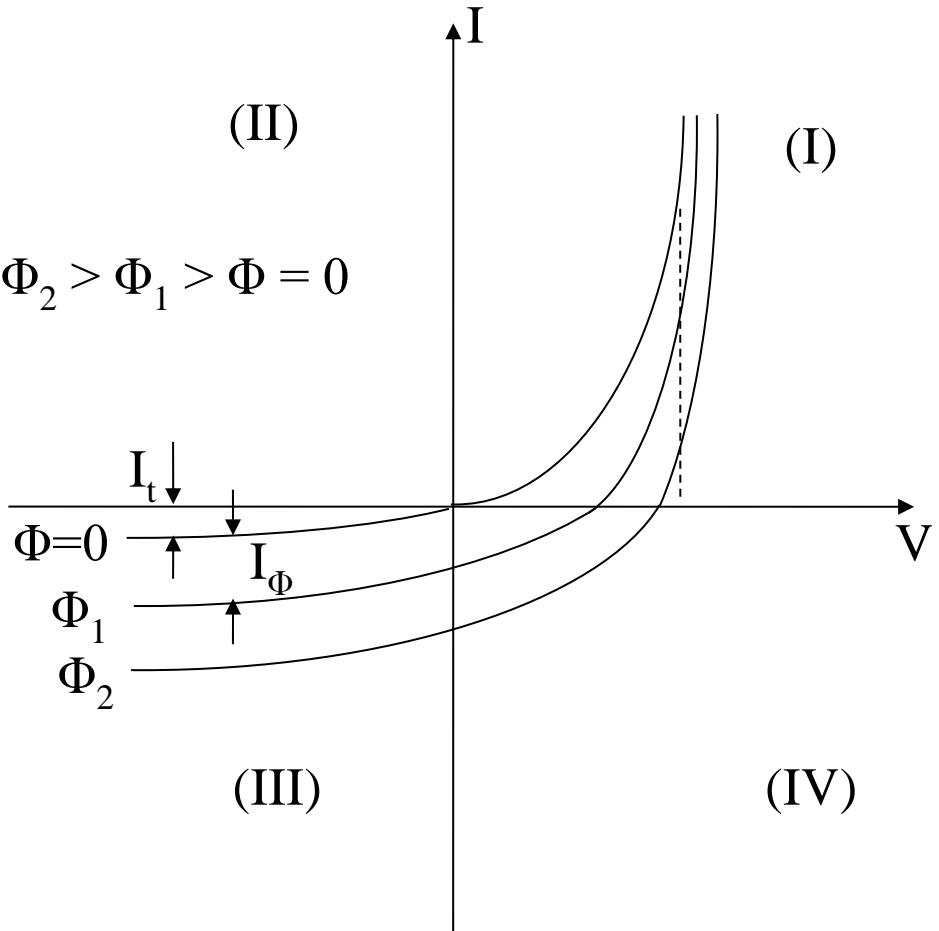
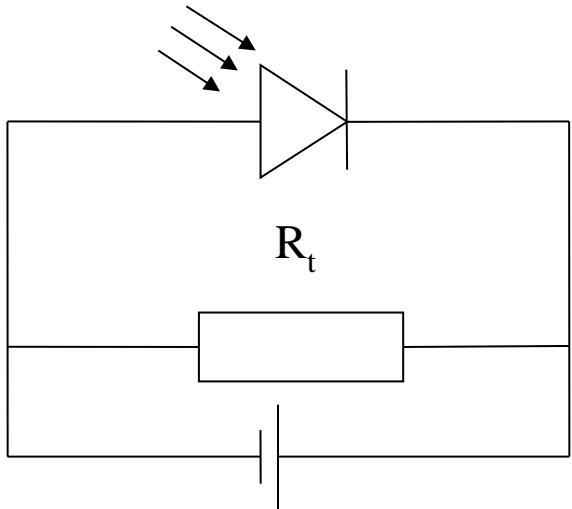


Photodiode P-N

■ Các đặc tuyến và tham số

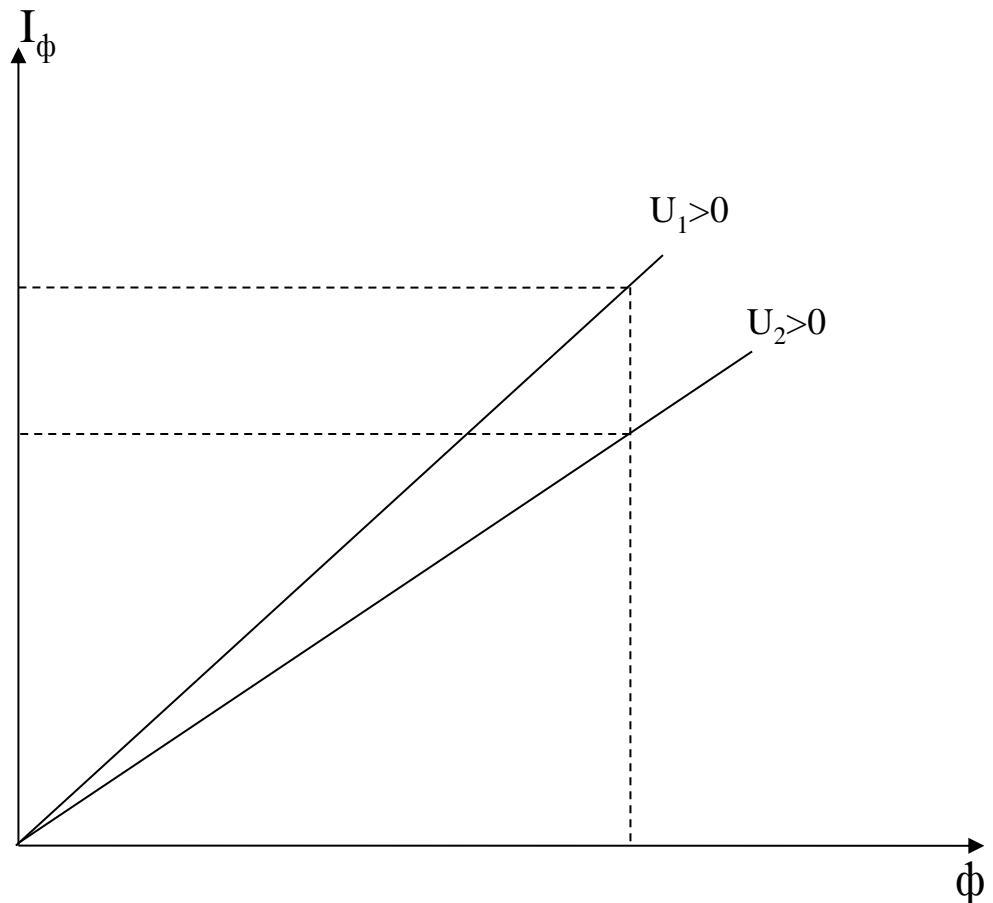
❖ Đặc tuyến V-A:

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

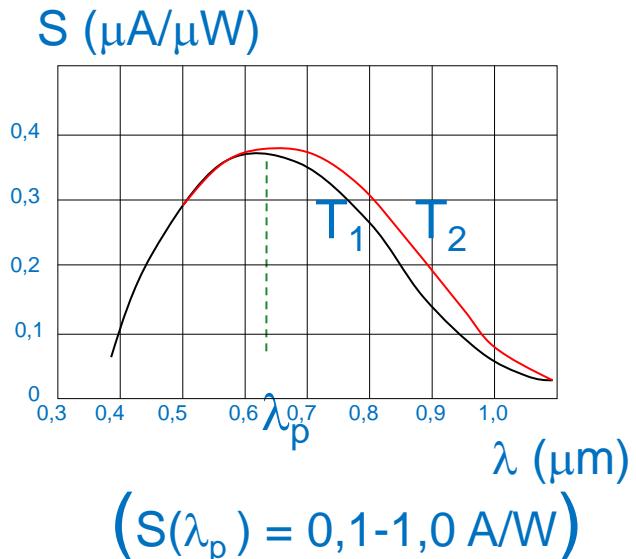
Độ nhạy:

- 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 .

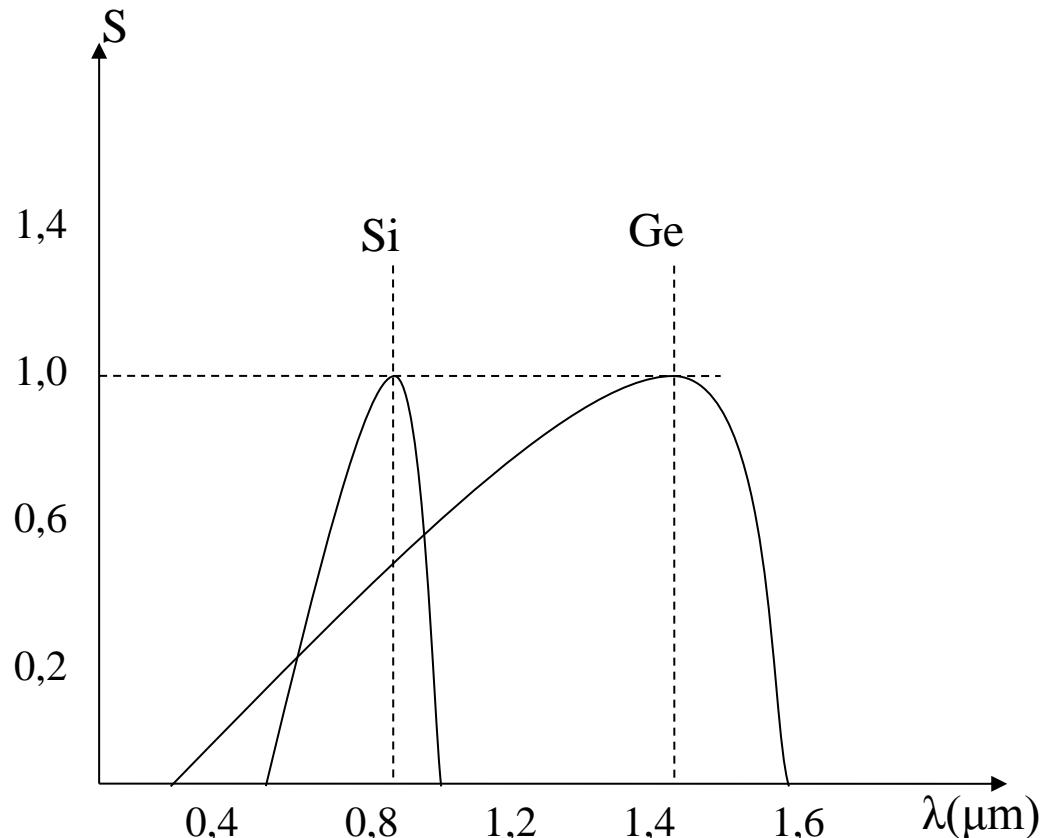


$$(S(\lambda_p) = 0,1-1,0 \text{ A/W})$$

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 $\Delta E_g = 0,7\text{eV}$.

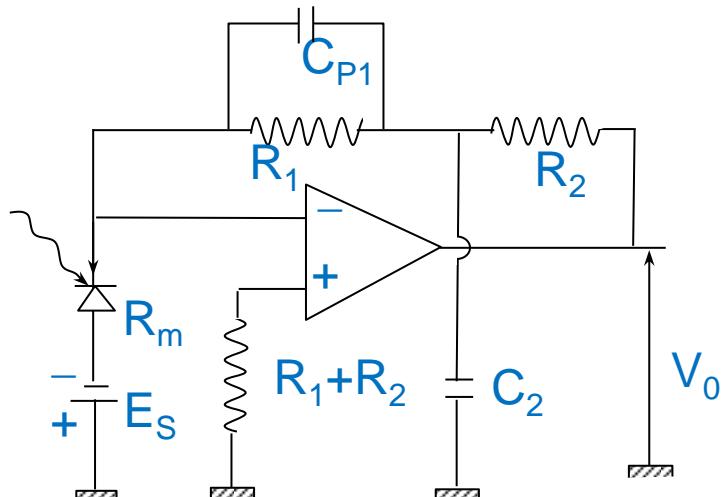
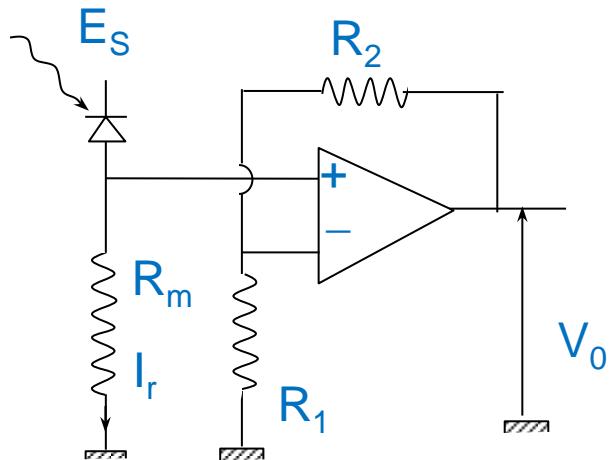
Photodiode P-N

- 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

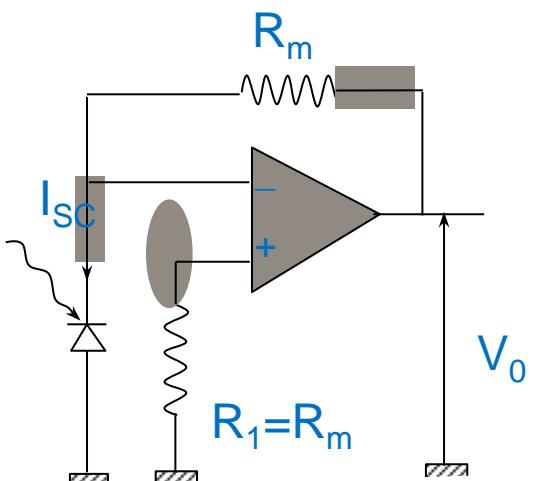
$$V_0 = R_m \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] I_r$$

Sơ đồ tác động nhanh

$$V_0 = R_1 + R_2 \cdot I_r$$

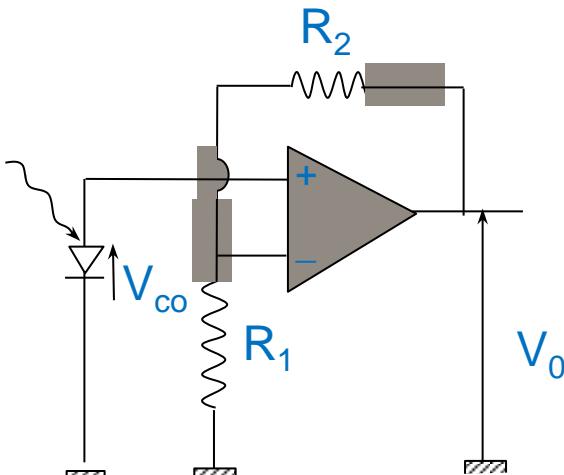
Photodiode

- 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.

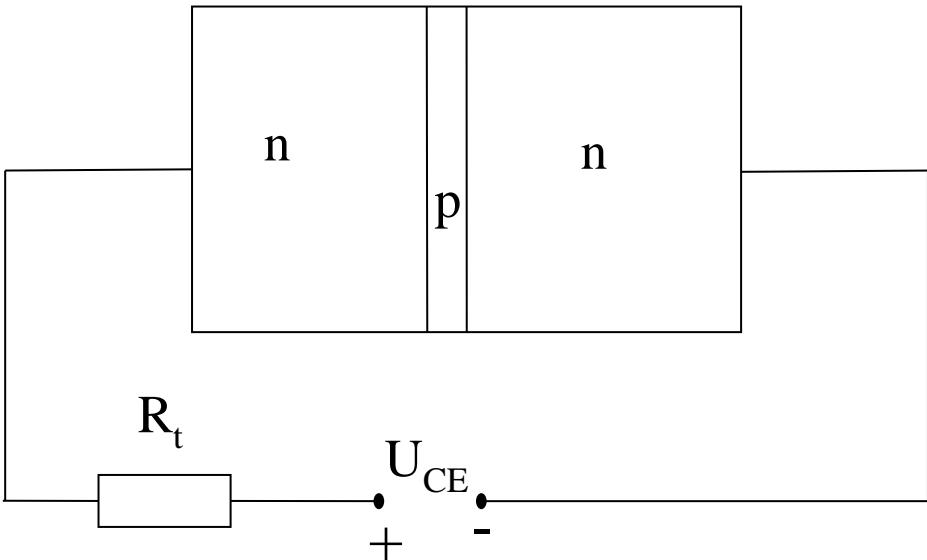
2.3. Photodiode

c) Ứng dụng:

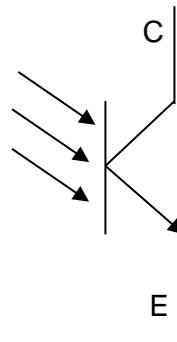
- Chuyển mạch: điều khiển rơ le, công logic,
- Đo ánh sáng không đổi (Chế độ tuyến tính)

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:

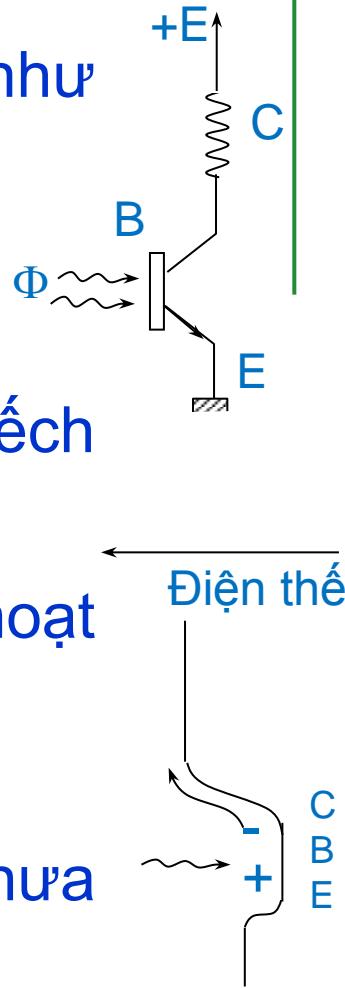


Phototransistor

- **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

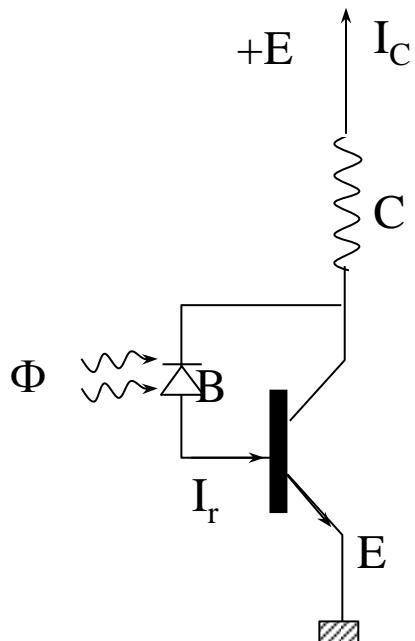
- I_r đóng vai trò của dòng I_B ⇔ I_r gây nên dòng I_C:

$$\begin{aligned} I_C &= (\beta + 1)I_r \\ &= (\beta + 1)I_0 + (\beta + 1)I_p \end{aligned}$$

- ❖ 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

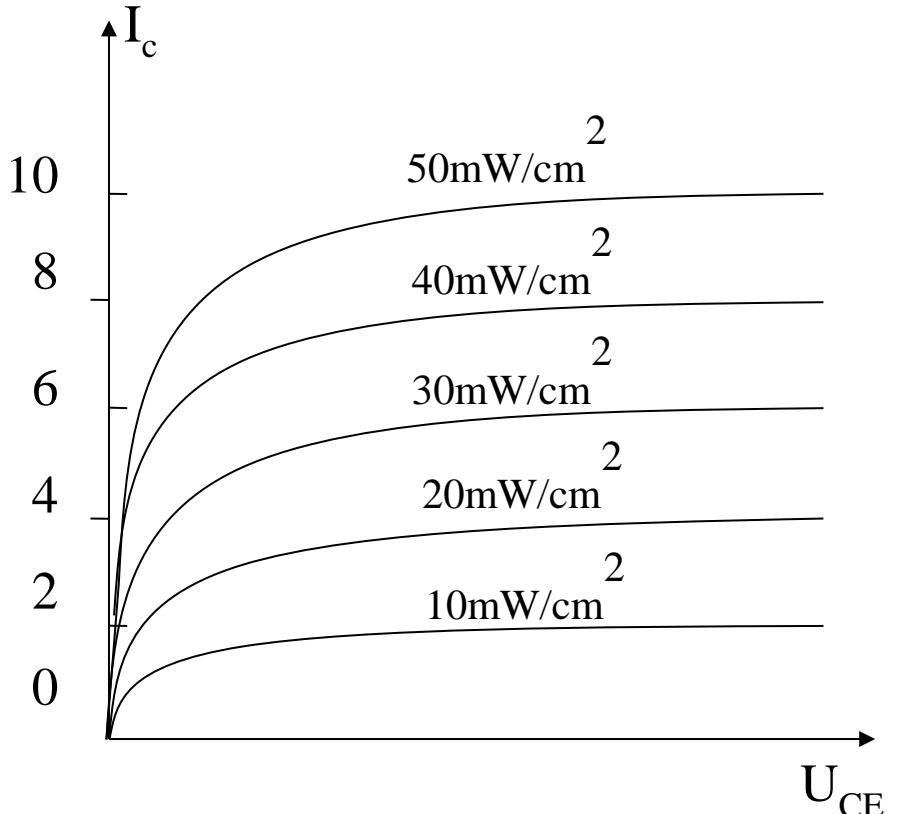


Phototransistor

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: $S(\lambda) = \frac{\Delta I_c}{\Delta \Phi_0}$

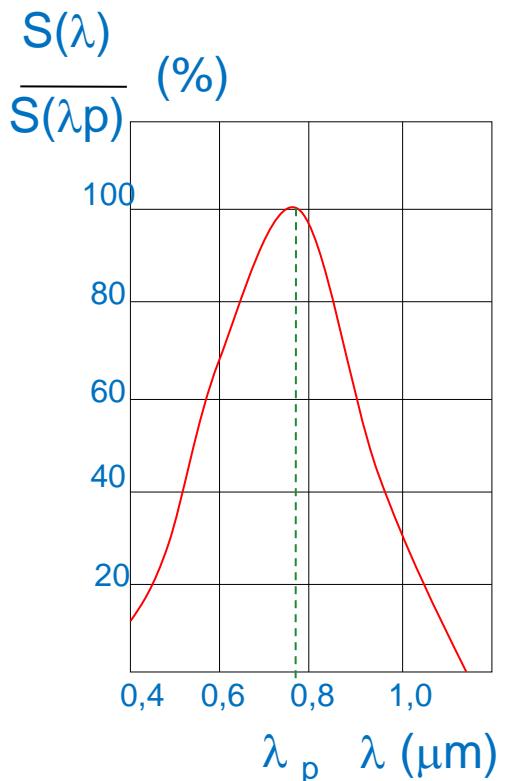
$$I_c = \beta + 1 \cdot I_r = \beta + 1 \cdot I_0 + \beta + 1 \cdot I_p$$

$I_c \in I_p \in \Phi$ 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)

$$S(\lambda p) = 1 \div 100 A/W$$

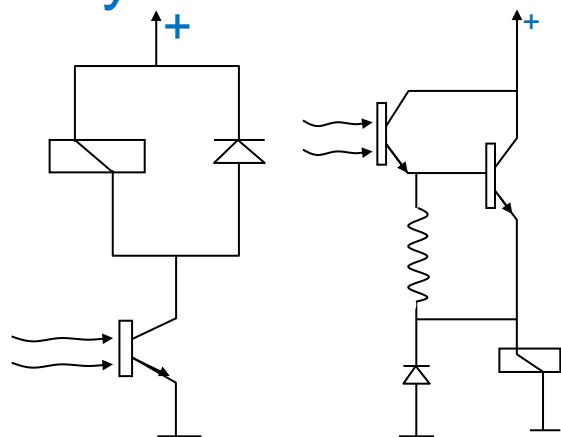


Đường cong phổ hồi đáp

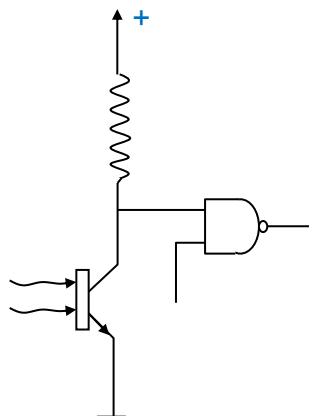
2.4. Phototranzito

d) Ứng dụng phototranzito:

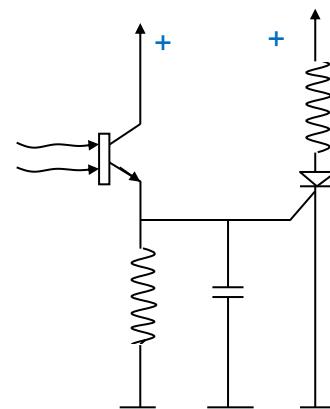
- **Chuyển mạch:** thông tin dạng nhị phân (có hay không có bức xạ, bức xạ nhỏ hơn hoặc lớn hơn ngưỡng) → điều khiển role, cổng logic hoặc thyristo.



Điều khiển role



Điều khiển cổng logic



Điều khiển thyristo

⇒ Cho độ khuếch đại lớn có thể dùng ĐK trực tiếp.

Cảm biến tiệm 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:

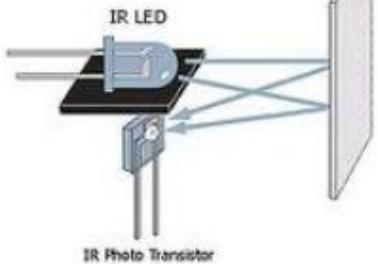
- ✓ Thường dùng Phototransistor
- ✓ Cảm nhận ánh sáng và chuyển đổi thành tín hiệu điện tỉ lệ

❖ Mạch tín hiệu ra:

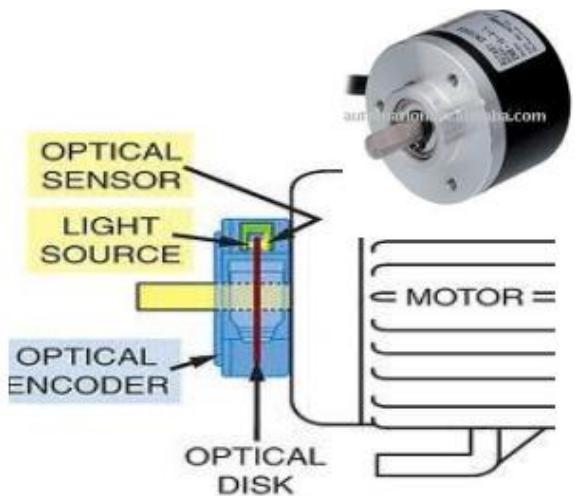
- ✓ Chuyển tín hiệu tỉ lệ từ bộ thu sáng thành tín hiệu ON/OFF được khuếch đại

Ứng dụng

Phát hiện đối tượng



CCD-Camera



Đo tốc độ quay của động cơ

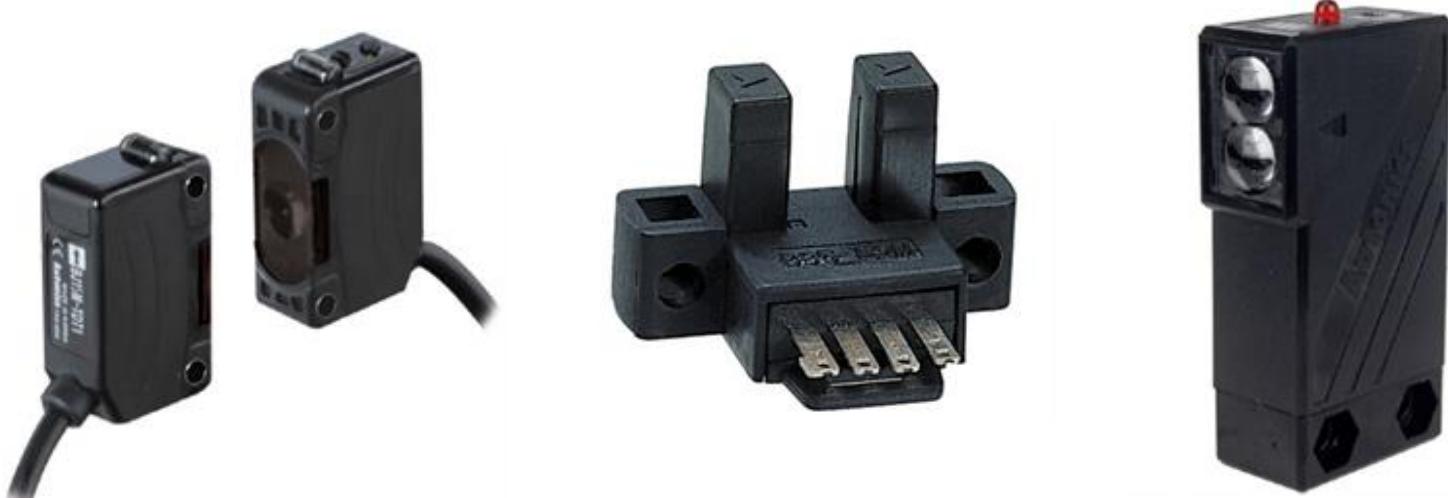


Scanner & Printer



Cảm biến tiện cận quang

■ Một số hình ảnh ảnh thực tế

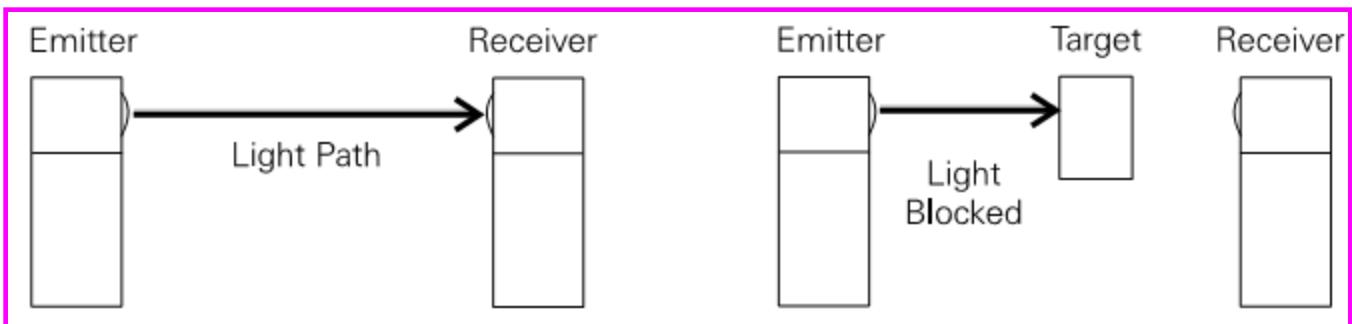


Cảm biến tiện cận quang

■ Hoạt động

❖ Thu phát:

- ✓ Bộ thu và phát tách biệt riêng nhau
- ✓ Nếu có vật chắn ngang nguồn sáng sẽ có tín hiệu ra



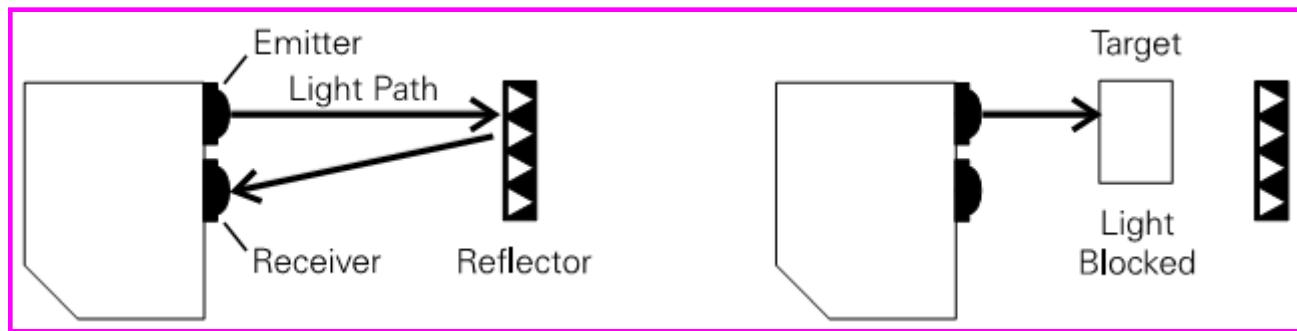
- ✓ **Ưu điểm:** khoảng cách phát hiện xa (có thể đến 30 m), độ tin cậy và độ chính xác vị trí cao, phát hiện được mọi vật thể (trừ trong suốt).
- ✓ **Nhược điểm:** mất nhiều thời gian cho việc lắp đặt, giá thành cao.

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



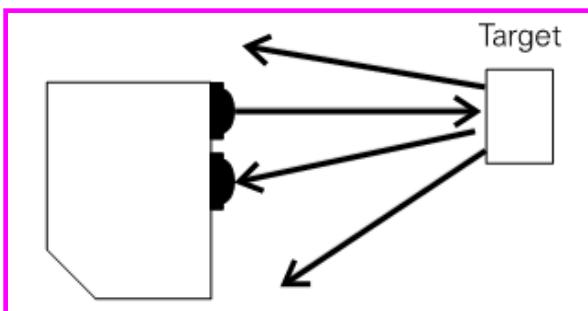
- ✓ **Ưu điểm:** giá thành thấp hơn loại thu phát, dễ lắp đặt và hiệu chỉnh, tin cậy.
- ✓ **Nhược điểm:** khoảng cách phát hiện ngắn, vẫn cần 2 điểm lắp đặt cảm biến và gương

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

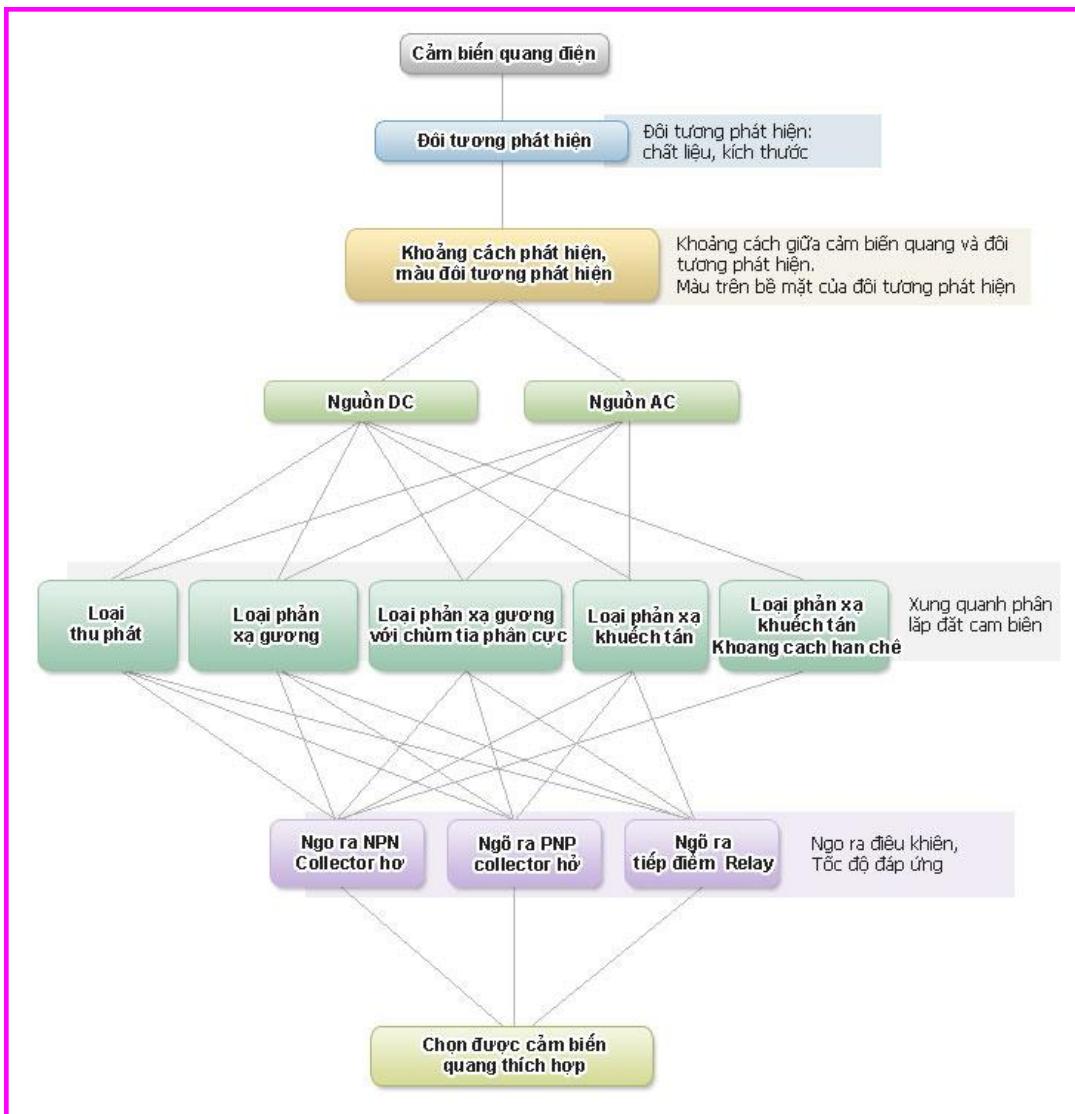
■ Ưu điểm

- ❖ Phát hiện được mọi vật liệu
- ❖ Ồn định và tốc độ cao
- ❖ Độ phân giải tốt
- ❖ Giá thấp

■ Nhược điểm

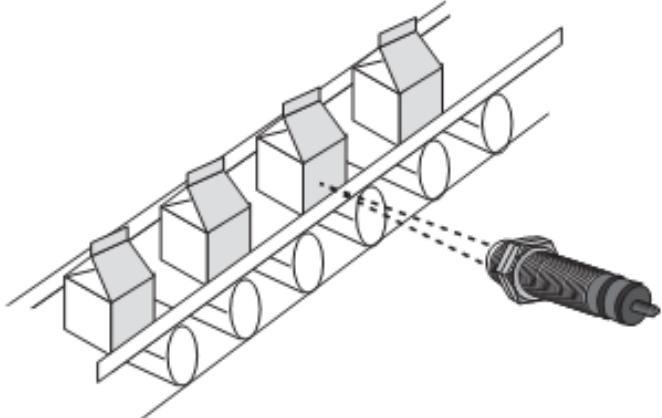
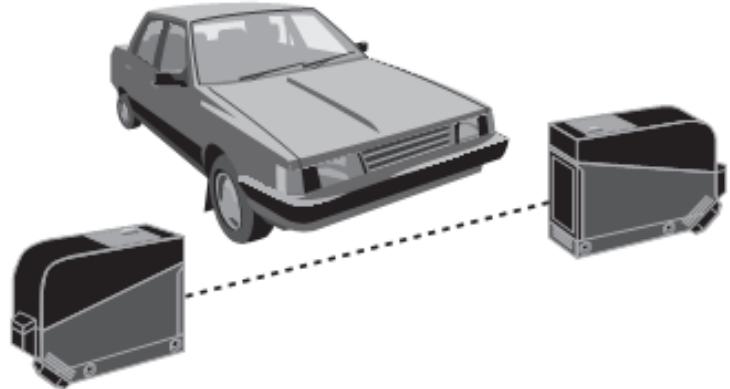
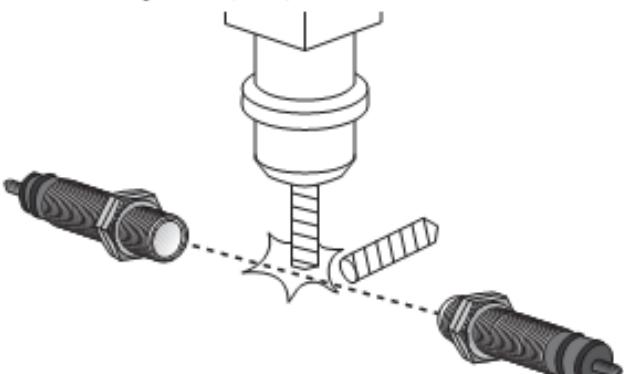
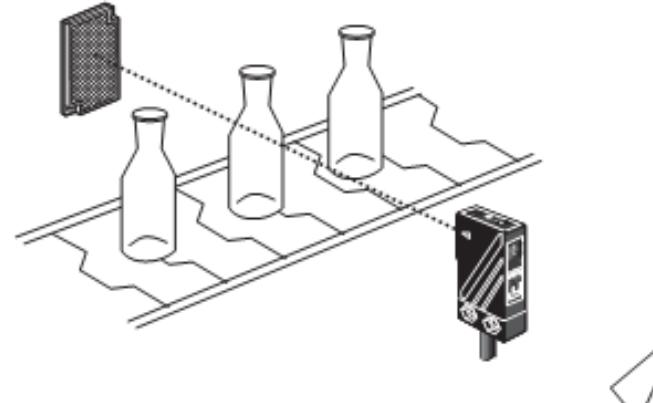
- ❖ Ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm
- ❖ Khó thiết kế
- ❖ Độ tuyến tính không cao
- ❖ Không chính xác bằng cảm biến loại cảm ứng

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> 

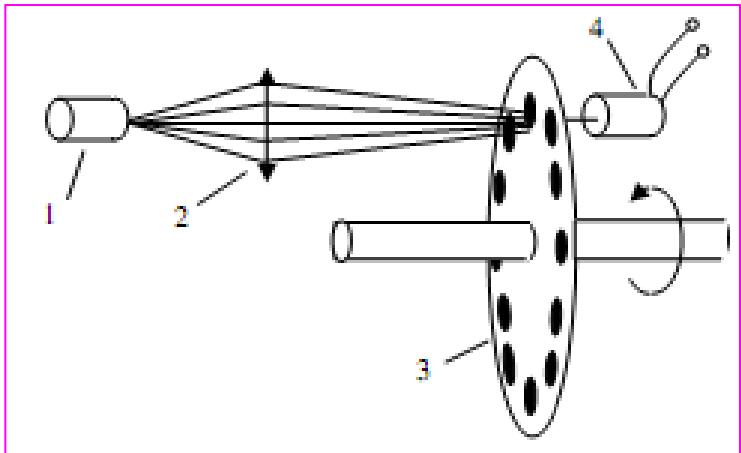
Ứng dụng - Cảm biến tiệm cận quang

■ 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



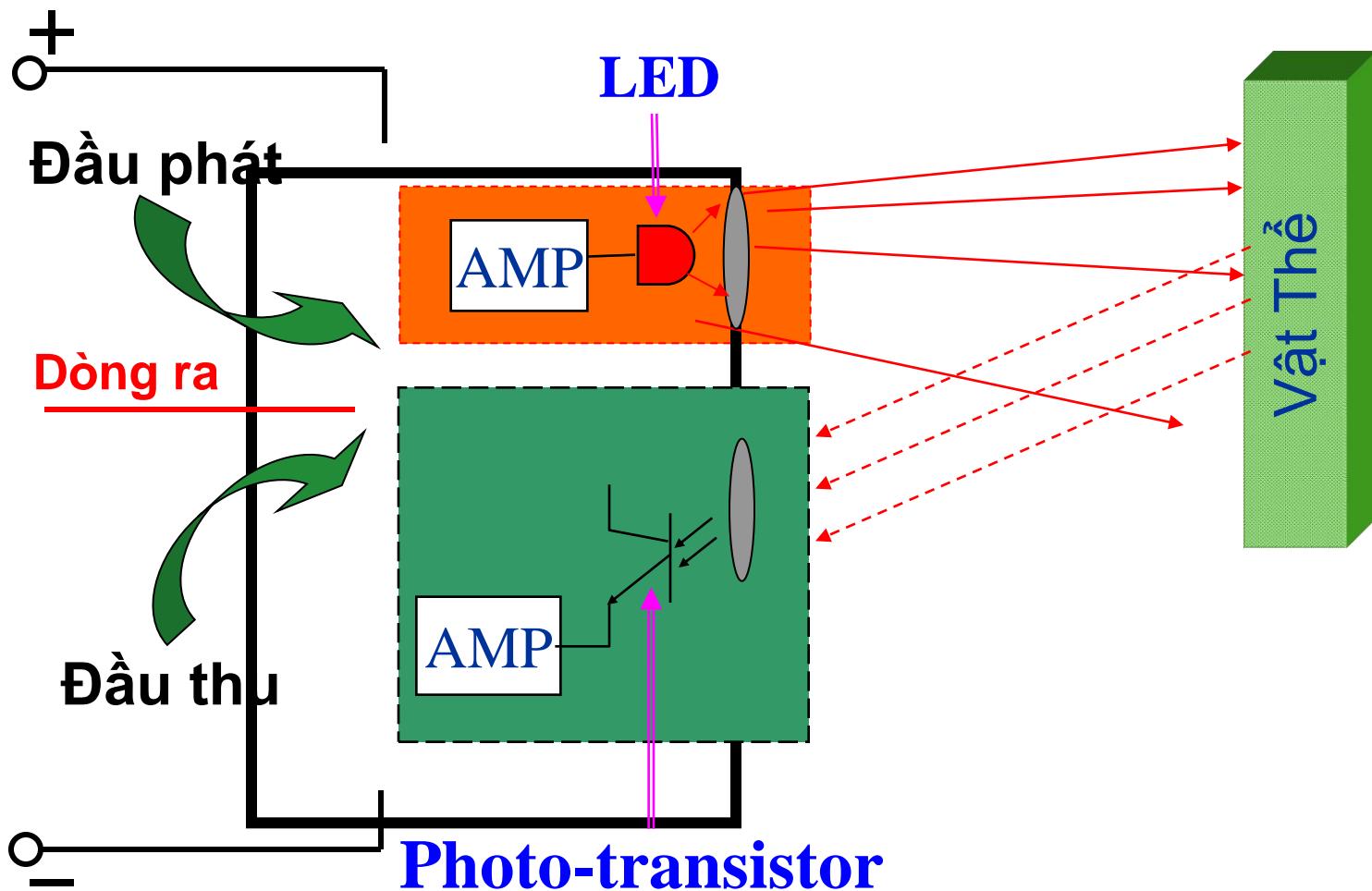
- 1) Nguồn sáng
- 2) Thấu kính hội tụ
- 3) Đĩa quay
- 4) Đầu thu quang

- 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

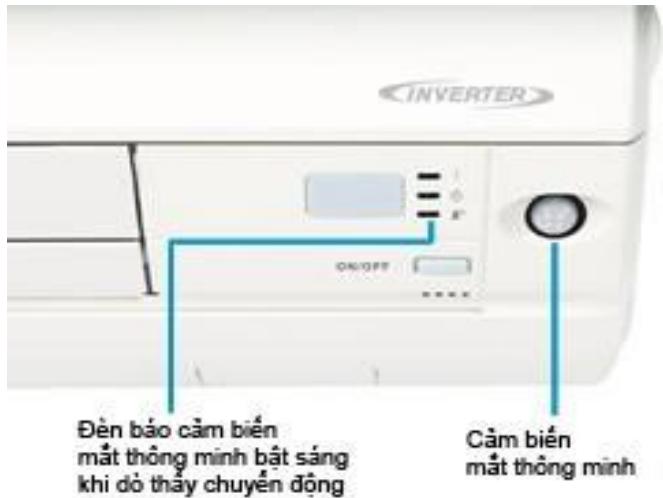
- Khi đĩa quay, đầu thu chỉ chuyển mạch khi nguồn sáng, lỗ, nguồn phát sáng thẳng hàng.
- Đầu thu quang nhận được một thông lượng ánh sáng thay đổi và phát tín hiệu có tần số tỉ lệ với tốc độ quay nhưng biên độ không phụ thuộc tốc độ quay.

Ứng dụng phát hiện đối tượng



Cấu Tạo Và Nguyên Tắc Hoạt Động

Cảm biến hồng ngoại

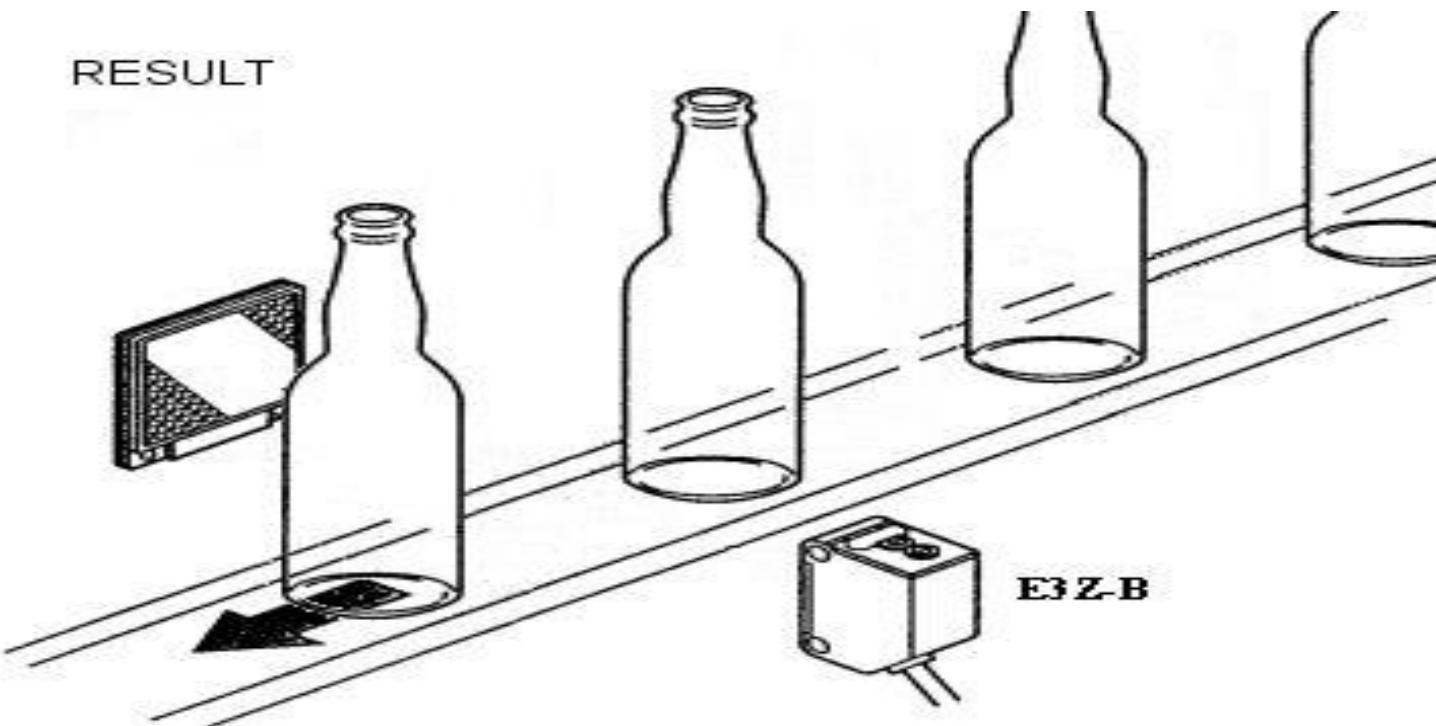


Cảm biến hồng ngoại ở cửa tự động



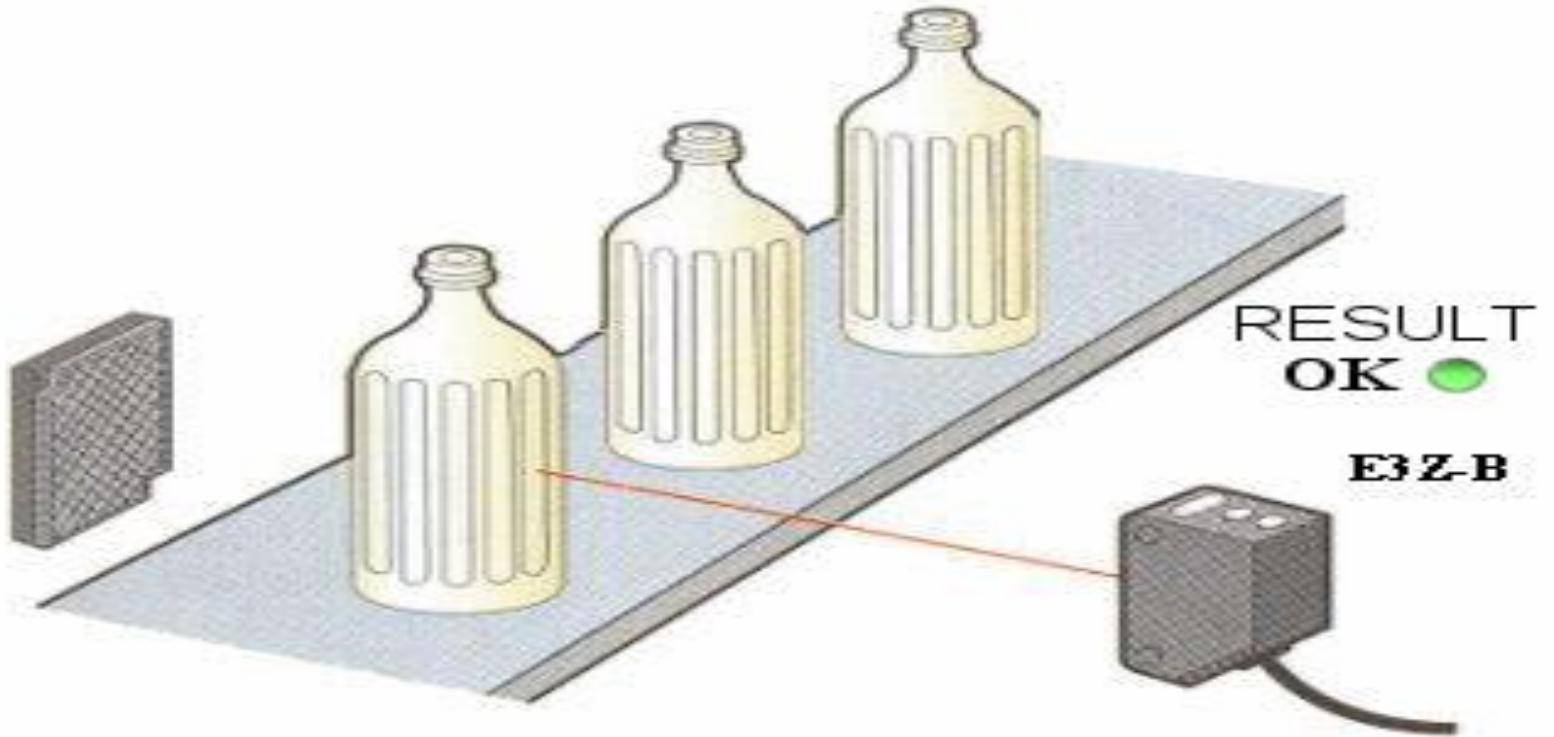
-Trong chế tạo các thiết bị cảm ứng hồng ngoại : cửa tự động,,,,,,

Một số Ứng dụng



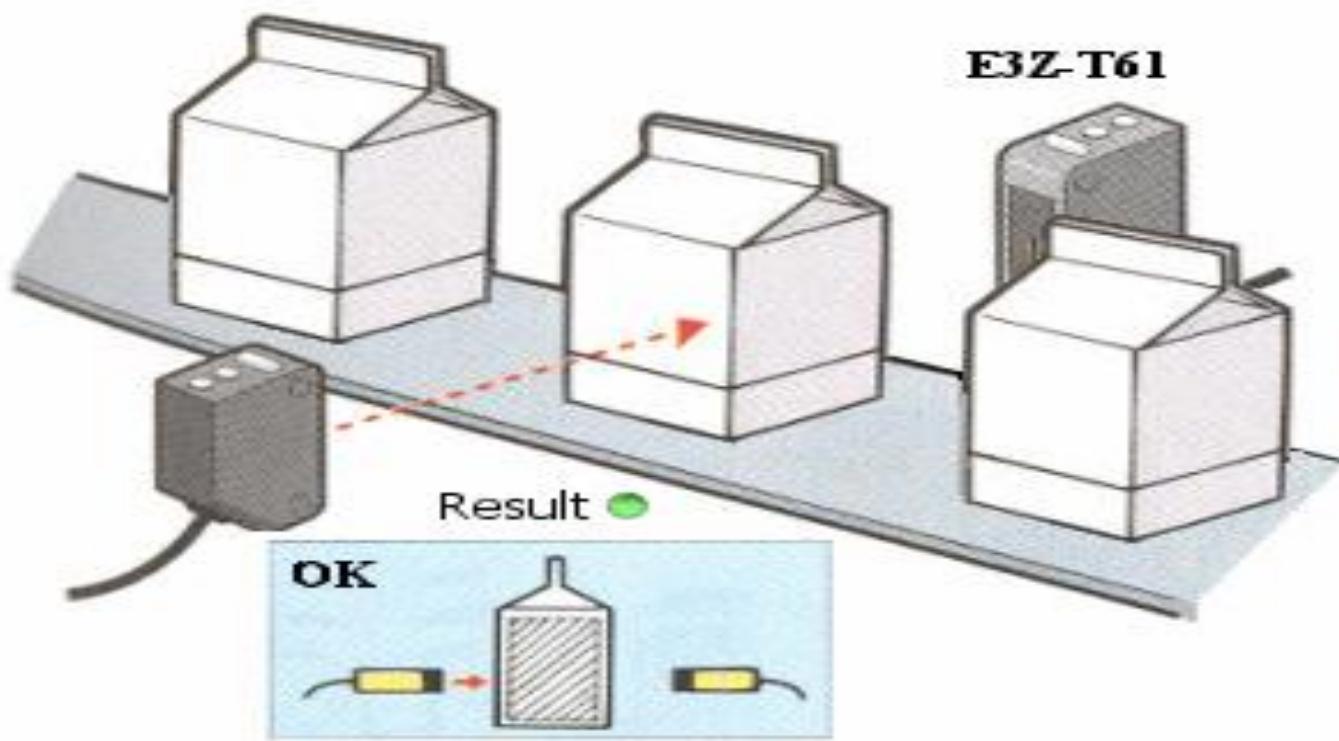
E3Z-B là loại sensor mới của Omron chuyên dùng để nhận biết các chai PET và chai trong suốt. Bạn cũng có thể dùng model cũ là E3S-CR67 .

Ứng dụng thu phát



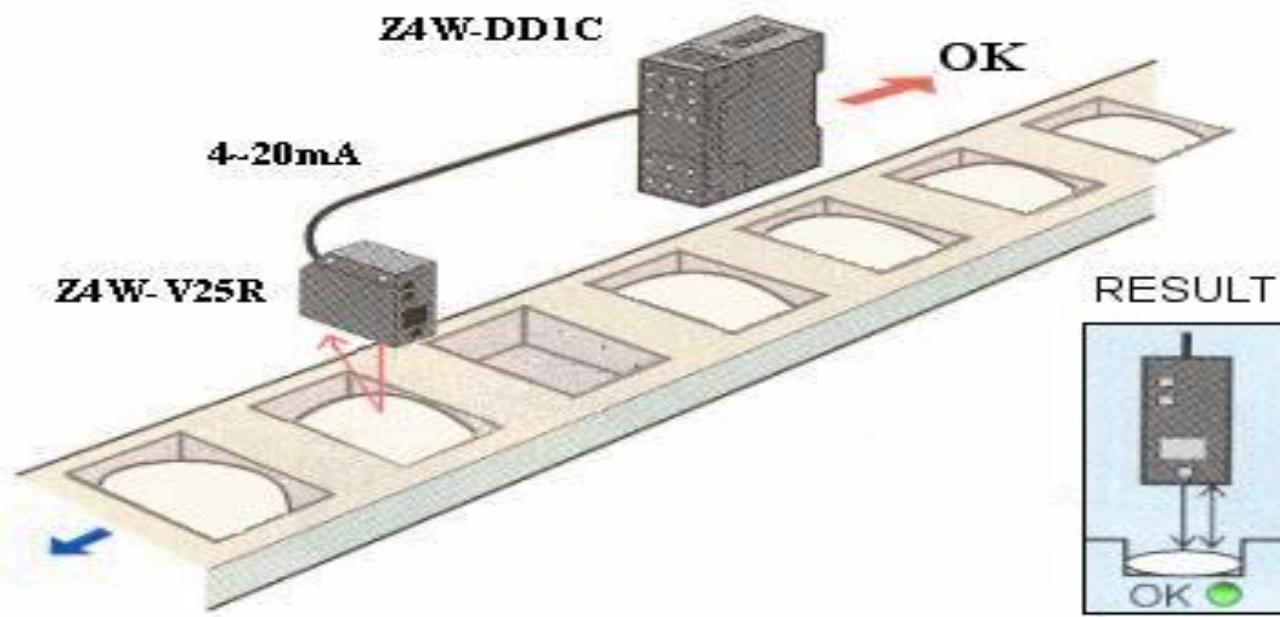
Nếu sử dụng các sensor thường để phát hiện chai PET trong thi
đôi lúc không ổn định. Sensor E3Z-B có khả năng phát hiện tốt
với độ tin cậy rất cao.

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



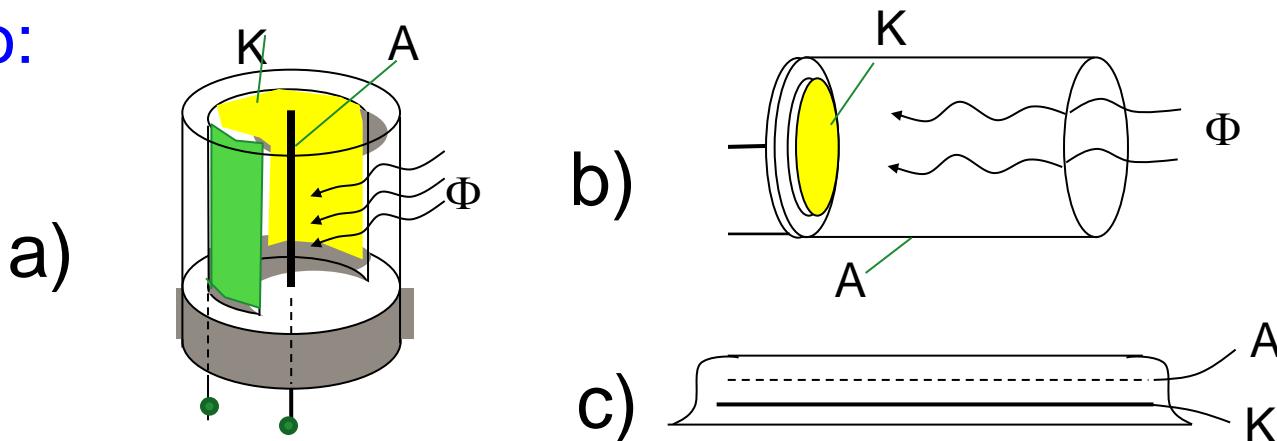
Z4W-V là loại Laser sensor và nó có thể phát hiện được chiều cao của bánh được làm ra với độ chính xác tới vài micromet.

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%.

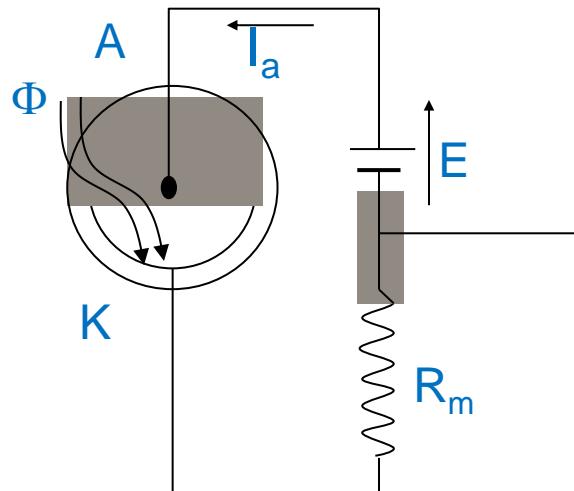
3.2. Tế bào quang điện chân không

a) Cấu tạo:

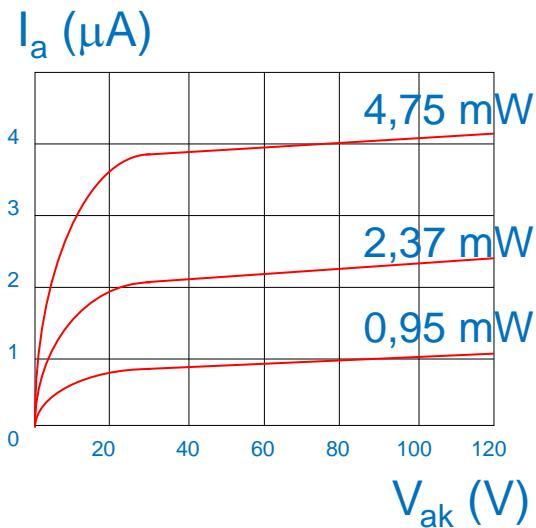


- **Catot:** có phủ lớp vật liệu nhạy với ánh sáng (Cs_3Sb , K_2CsSb , Cs_2Te , Rb_2Te , $CsTe$...) đặt trong vỏ hình trụ trong suốt (b) hoặc vỏ kim loại có một đầu trong suốt (b) hoặc hộp bên trong được hút chân không (áp suất $\sim 10^{-6}$ - 10^{-8} mmHg).
- **Anot:** bằng kim loại.

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:

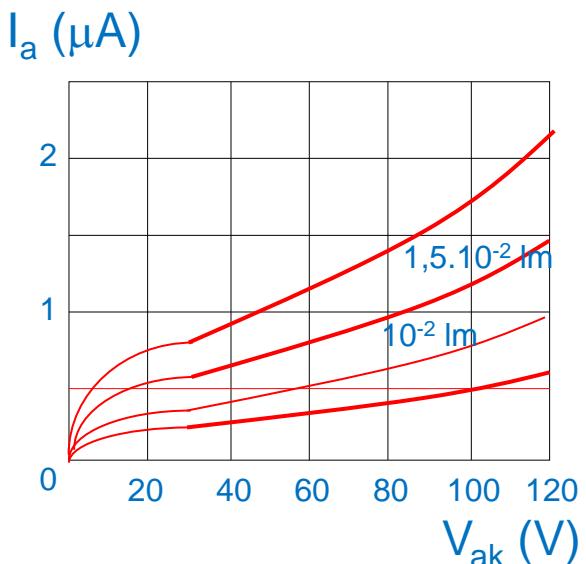
- Độ nhạy lớn ít phụ thuộc V_{ak} .
- Tính ổn định cao

⇒ 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.

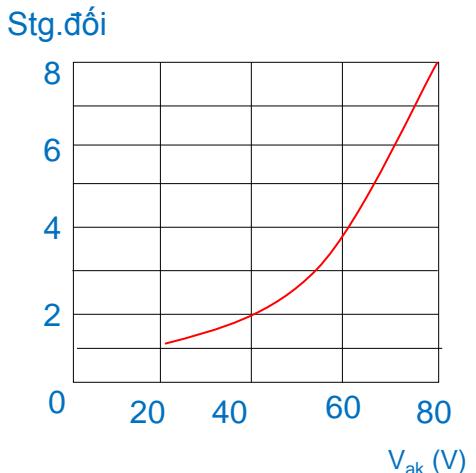
Khi $V_{ak} < 20V$, đặc tuyến I - V có dạng giống TBQĐ.
 Khi điện áp cao, điện tử chuyển động với tốc độ lớn
 → ion hóa các nguyên tử khí → I_a tăng 5 ÷ 10 lần.



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



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

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

Chuyển đổi hóa điện.

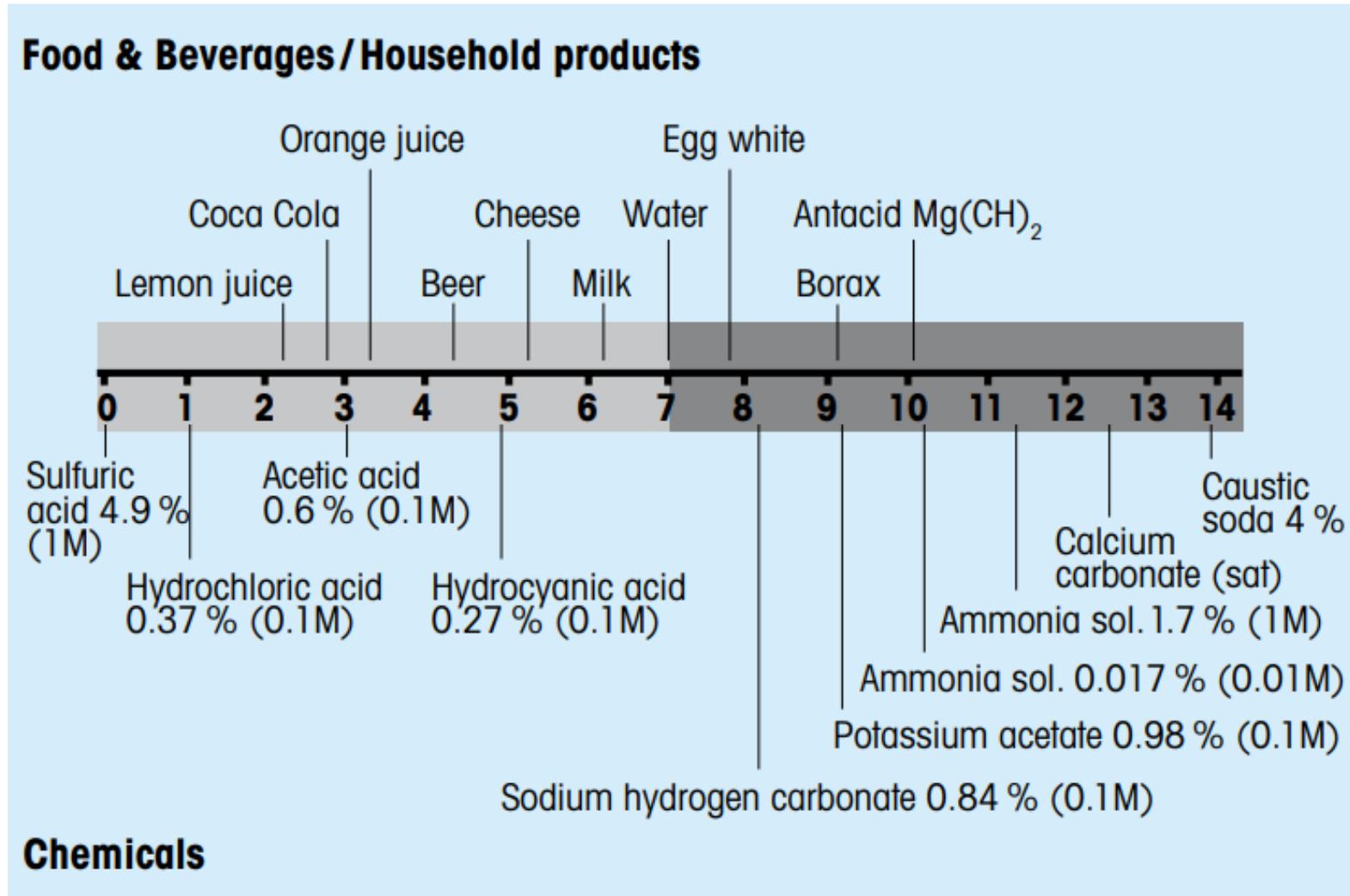
- Chuyển đổi hóa điện là những chuyển đổi dựa trên các hiện tượng hóa điện xảy ra khi cho dòng điện đi qua bình điện phân hoặc do quá trình ôxi hóa khử các điện cực.
- Các hiện tượng này phụ thuộc vào tính chất của các điện cực, bản chất và nồng độ của các dung dịch.
- Chuyển đổi hóa điện thường là một 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.

Cảm biến điện thế cực (pH)

- Hiện tượng điện thế cực: khi nhúng một kim loại vào dung dịch thì giữa điện cực và dung dịch sẽ xuất hiện một hiệu điện thế.
- Khi nồng độ dung dịch nhỏ các ion kim loại đi vào dung dịch và kim loại có điện thế âm hơn dung dịch.
- Khi nồng độ dung dịch cao thì ngược lại

Cảm biến điện thế cực (pH)

pH của một số thực phẩm và hóa chất



Cảm biến điện thế cực (pH)

- Một điện cực nhúng vào một dung dịch điện phân, sẽ xuất hiện ở điện cực ấy một sức điện động theo luật Nernst.

$$E = -\frac{RT}{nF} \ln[C]$$

- Trong đó

- ❖ E: sức điện động Galvanic.
- ❖ R: hằng số Boltzmann, $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.
- ❖ T: nhiệt độ Kelvin, $T ({}^0\text{K}) = 273 + t({}^\circ\text{C})$; thông thường $t = 25{}^\circ\text{C}$
- ❖ n: hóa trị của ion H.
- ❖ F: hằng số Faraday, $F = 96\ 485.339\ 9(24) \text{ C/mol}$.
- ❖ C: nồng độ ion có trong dung dịch.

Cảm biến điện thế cực (pH)

- Đối với tế bào, C có thể là $[Na^+]$, $[K^+]$.
- Đối với dung dịch axit hoặc bazơ, C là $[H^+]$.

$$E_{pH} = -\frac{RT}{F} \ln [H^+]$$

- Chuyển sang loga thập phân ta có: ; ($1/\lg e = 2.303$)

$$E_{pH} = -\frac{2,303RT}{F} \lg [H^+]$$

Hay: $E_{pH} = \frac{2,303RT}{F} pH$; $pH = -\lg [H^+]$.

- Như vậy E_{pH} phụ thuộc vào nồng độ của ion H^+ và nhiệt độ T.

Cảm biến điện thế cực (pH)

- Như vậy E_{pH} phụ thuộc vào nồng độ của ion H^+ và nhiệt độ T .
- Bảng sau là quan hệ giữa độ pH, điện thế điện cực và nồng độ chất hòa tan (ở $T = 298^{\circ}\text{K}$,).

Tên chất	Nồng độ phân tử gam (mol/l)	Điện thế điện cực (V)	pH
Axit benzoic	0.1	0.165	2.8
Axit citric	0.01	0.313	5.3
Axit citric	0.1	0.124	2.1
Axit hydrochloric	0.1	0.065	1.1
Ammonia	0.05	0.668	11.3
Ammonium alum	0.1	0.272	4.6

Cảm biến điện thế cực (pH)

- Bảng quan hệ giữa độ pH, điện thế điện cực và nồng độ chất hoà tan (ở $T= 298^{\circ}\text{K}$,).

Tên chất	Nồng độ phân tử gam (mol/l)	Điện thế điện cực (V)	pH
Ammonium chloride	0.1	0.272	4.6
Ammonium sulphate	Bão hoà	0.325	5.5
Calcium hydroxide	0.1	0.733	12.4
Kali acetate	0.1	0.573	9.7
Kali carbonate	0.1	0.485	8.2
Kali dihydrogen citrate	0.1	0.680	11.5
Natri acetate	0.1	0.526	8.9
Natri carbonate	0.1	0.680	11.5
NaOH	0.1	0.762	12.9
Natri Phosphare	0.1	0.266	4.5

Cảm biến điện thế cực (pH)

Ta có các khái niệm về độ pH như sau

- pH là đại lượng không thu nguyên dùng để chỉ hoạt độ của ion H⁺ trong dung dịch được tính bằng công thức sau:

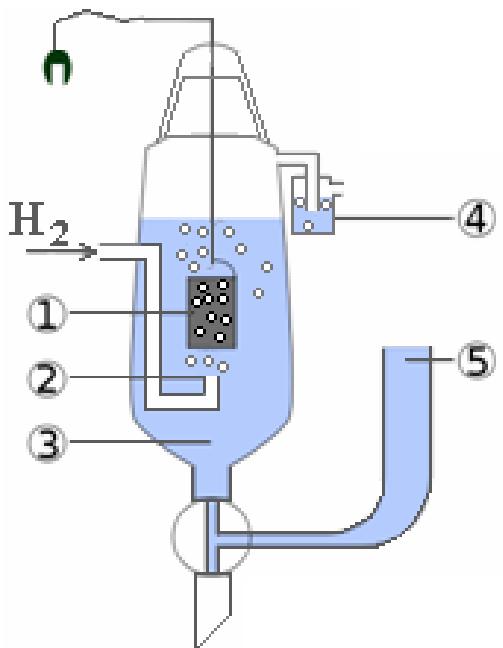
$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Trong đó [H⁺] là hoạt độ của ion H⁺, hay nồng độ mol/lit của ion H⁺ trong dung dịch.

- Độ pH nói lên tính axit hay bazơ của dung dịch. pH nhỏ hơn 7 là dung dịch axit, pH lớn hơn 7 là dung dịch bazơ, pH bằng 7 là dung dịch trung tính.
- Phần lớn các chất có pH nằm trong khoảng từ 0 đến 14, mặc dù các chất cực axít hay cực kiềm có thể có pH < 0 hay pH > 14.

Cảm biến điện thế cực (pH)– Điện cực Hydro

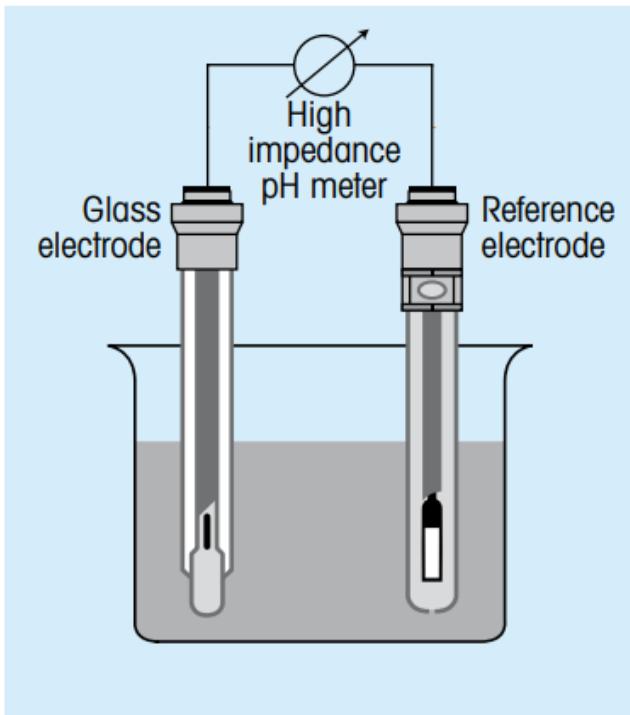
- Công thức Nernst chỉ thật đúng với điện cực H. Điện cực H là một điện cực Pt xốp xung quanh có các phân tử H hấp phụ
- Điện cực H được thực hiện bằng cách cho sục khí H vào dung dịch đo ở phía dưới điện cực Pt xốp ấy.



1. Điện cực được mạ bạch kim
2. Khí hydro
3. Dung dịch axit với hoạt tính $H^+ = 1 \text{ mol/l}$
4. Cách ly khí hydro ngăn cản sự xâm nhập của khí O_2
5. Cầu điện phân

Cảm biến điện thế cực (pH)– Điện cực thủy tinh

- Trong công nghiệp người ta sử dụng điện cực thủy tinh.
- Phần tử đo độ pH thường được sử dụng gồm 2 điện cực là điện cực thủy tinh và điện cực calomel nhúng trong dung dịch cần đo

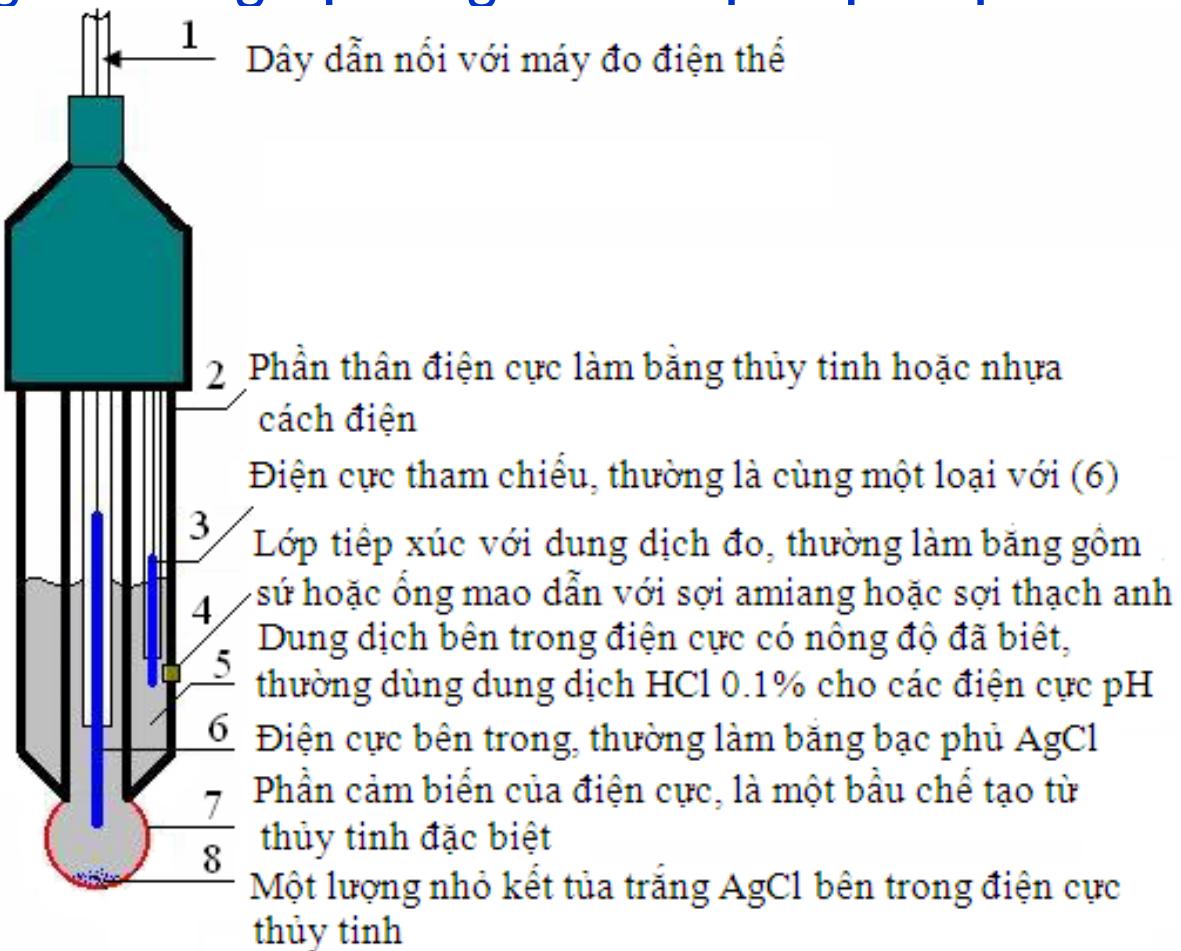


The measurement assembly of pH and reference electrode.

Cảm biến điện thế cực (pH) – Điện cực thủy tinh

- Điện cực thủy tinh gồm 1 bâu thủy tinh có thành rất mỏng (0,02mm) trong có dung dịch AgCl và điện cực bạc.

Cấu tạo
của điện
cực thủy
tinh



Cảm biến điện thế cực (pH) – Điện cực thủy tinh

- Điện cực thủy tinh có tính chất giống như điện cực H có hệ số $e = 0,058V/pH$ ở nhiệt độ $18^{\circ}C$, hệ số nhiệt độ $\alpha_1 = 0,0035/{}^{\circ}C$
- Điện cực thủy tinh tuy mỏng mảnh nhưng hoạt động tốt, ổn định; nhược điểm lớn nhất là điện trở của điện cực rất lớn ($10^8 - 10^9\Omega$). Vì vậy đòi hỏi thiết bị đo phải có điện trở vào $R_v > 10^{11} - 10^{12}\Omega$.

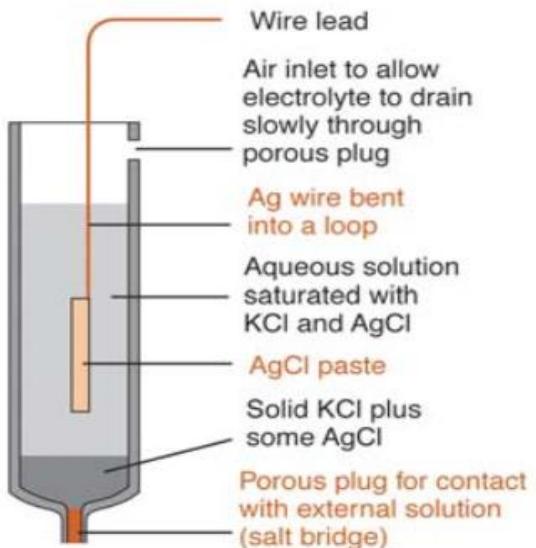
Cảm biến điện thế cực (pH) – Điện cực nền

- Điện cực thứ 2 của đầu đo pH là một điện cực nền. Điện cực nền là một điện cực mà điện áp ở điện cực so với dung dịch không phụ thuộc vào nồng độ ion H^+ có trong dung dịch.

Điện cực so sánh (Reference Electrode)

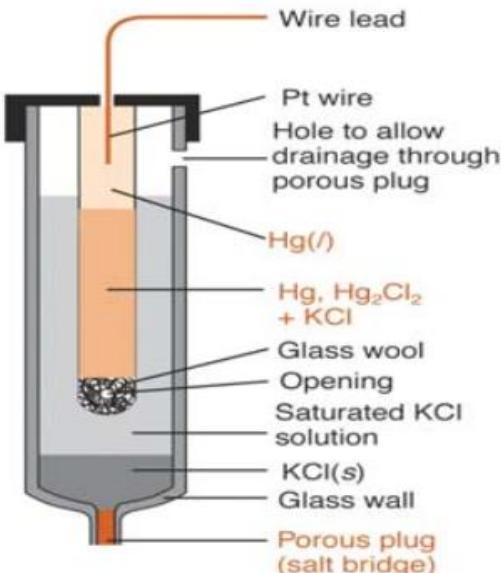
❖ Điện cực bạc ($Ag/AgCl$)

- bão hòa bằng dd KCl
- $AgCl(s) + e^- \leftrightarrow Ag(s) + Cl^-$
- $E = +0.197 V$



❖ Điện cực calomel (SCE)

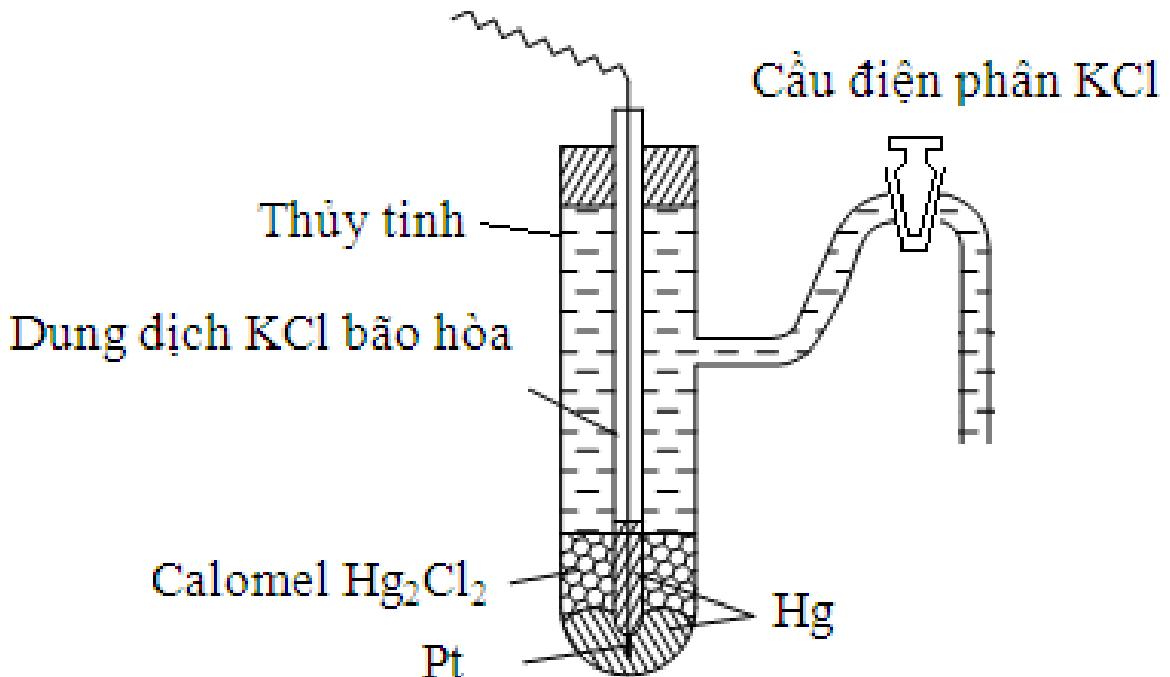
- bão hòa bằng dd KCl
- $\frac{1}{2}Hg_2Cl_2 + e^- \leftrightarrow Hg + Cl^-$
- $E = +0.241 V$



Cảm biến điện thế cực (pH) – Điện cực nền

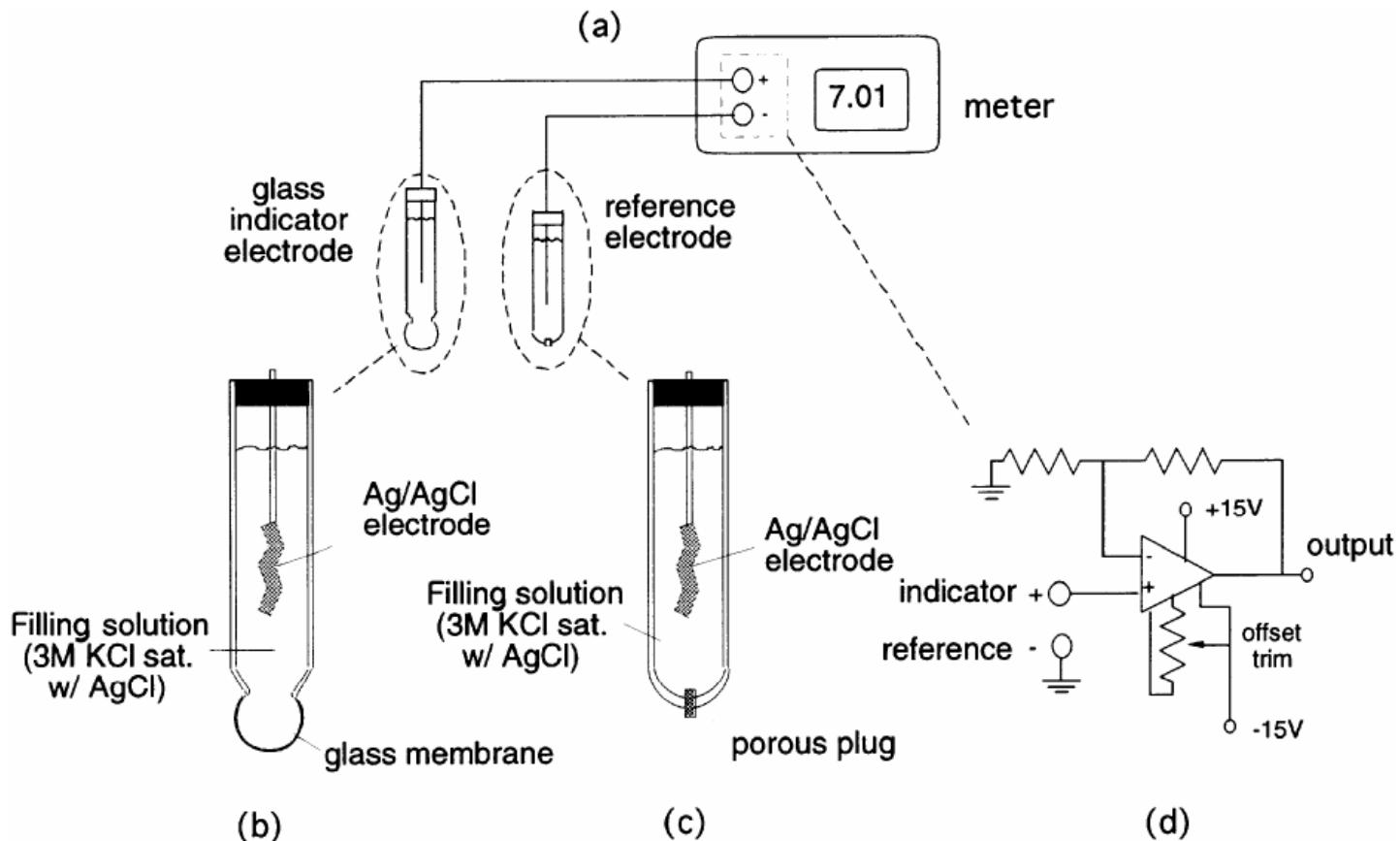
Cấu tạo điện cực đo và điện cực chuẩn từ Calomel (Hg_2Cl_2)

- Điện cực calomet được chế tạo như sau:
- Dưới cùng là thuỷ ngân (Hg), trên là một lớp tinh thể Hg_2Cl_2 , sau đó là dung dịch KCl bão hòa.
- Điện cực calomel được nối với dung dịch do thông qua một cầu điện phân KCl.



Cảm biến điện thế cực (pH)

- Để đảm bảo điện trở vào rất lớn, ta thường dùng một khuếch đại đo lường



Cảm biến điện thế cực (pH)

- Các điện cực thường phẩm được chế tạo phối hợp tức điện cực đo (điện cực thuỷ tinh) và điện cực nền (calomel) được chế tạo trong một đầu đo. Để đảm bảo tính chống nhiễu cao, dây dẫn được bọc kim với các đầu cắm đặc biệt.
- Điện cực nền Ag/AgCl/Cl được nhúng hoàn toàn trong một Gel - polymer – electrolyte thể rắn.
- Khi tính chất dung dịch đo thay đổi, nồng độ của Gel – electrolyte biến đổi rất chậm nên đặc tính điện hoá của đầu đo không thay đổi theo thời gian.

Cảm biến điện thế cực (pH)

- Ảnh hưởng của nhiệt độ
- Giá trị pH chính xác nhất nhận được khi nhiệt độ của dung dịch hiệu chuẩn và dung dịch đo được giống hệt nhau.

- Trong đó E0 cũng phụ thuộc vào nhiệt độ và ta có thể viết lại công thức như sau:

T [0C]	Saturated K [V]	T [0C]	Saturated K [V]
0	0.2598	50	0.2268
5	0.2569	55	0.2230
10	0.2542	60	0.2191
15	0.2510	65	0.2151
20	0.2478	70	0.2110
25	0.2444	75	0.2069
30	0.2411	80	0.2026
35	0.2376	85	0.1982
40	0.2341	90	0.1938
45	0.2304	95	0.1892
		100	0.1846

Transmitter pH

■ Hệ thống đo pH gồm

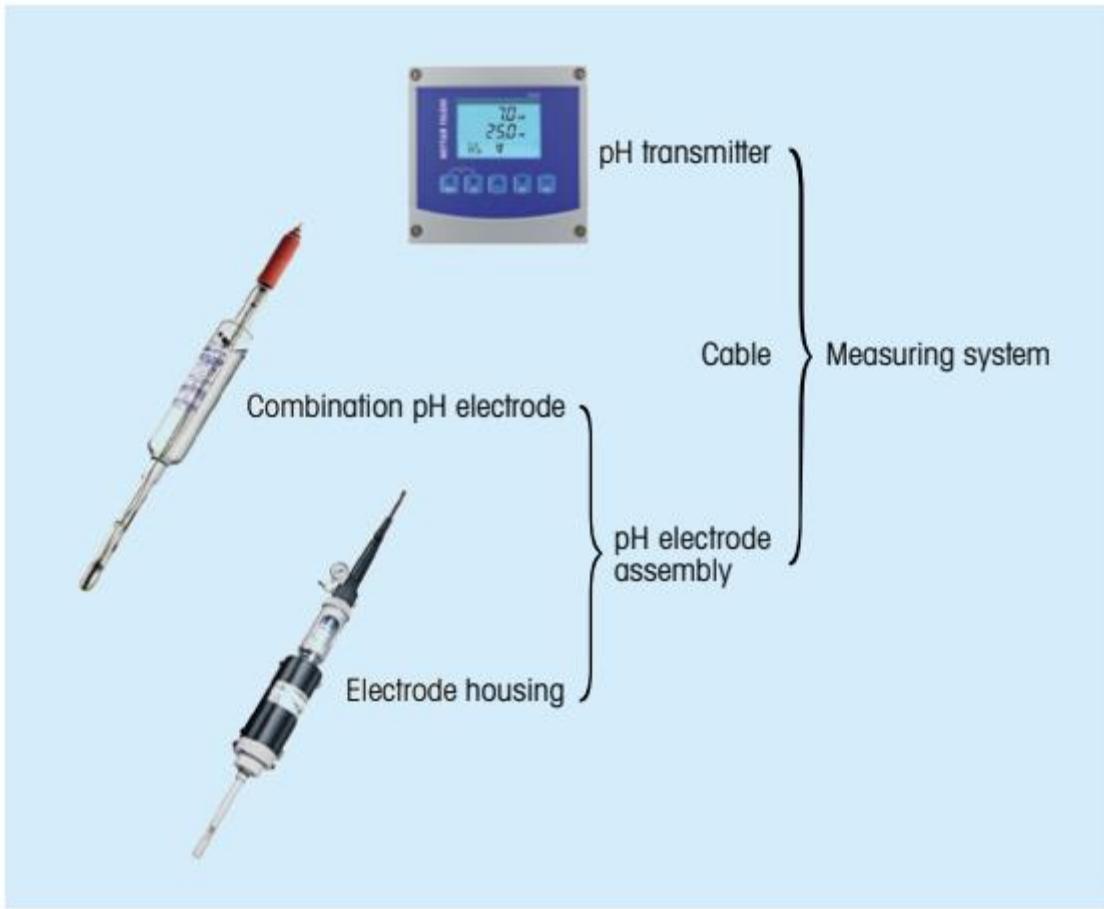


Figure 12 pH measurement system.

Transmitter pH

Sơ đồ khối của transmitter pH

- Sức điện động galvanic (điện áp điện cực) còn phụ thuộc vào nhiệt độ của dung dịch theo quan hệ sau:

$$E_{\text{pH}} = e(\text{pH} - \text{pH}_i)[1 + \alpha_t(t - t_0)]$$

Với $e = 58,1 \text{ mV}$

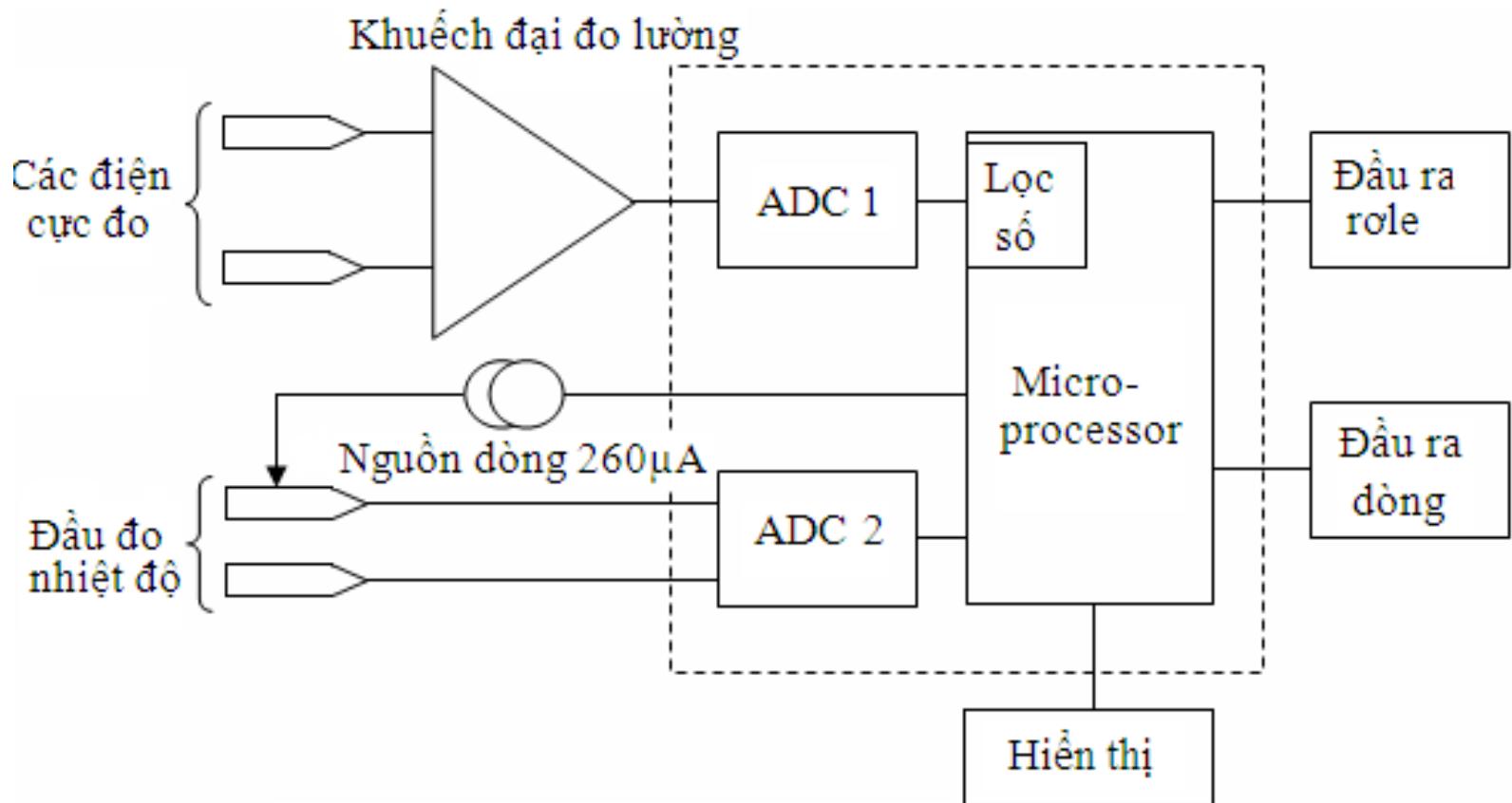
- Nếu pH_i ở ngay trên trục toạ độ ($\text{pH}_i = 0$, $t_0 = 0^\circ\text{C}$) ta có:

$$E_{\text{pH}} = e \cdot \text{pH}_0 [1 + \alpha_t (t - t_0)]; \alpha_t = 0.0035/^\circ\text{C}$$

- Trong thiết bị đo, ta phải bố trí tự động bù nhiệt độ của dung dịch. Vì thế, trong các điện cực pH người ta bố trí thêm một nhiệt điện trở Pt – 1000 (1000Ω) để đo nhiệt độ dung dịch và tự động bù.

Transmitter pH

- Sơ đồ transmitter pH được bố trí như hình vẽ sau (thiết kế được chế tạo bởi liên hiệp khoa học SEEN – VN, dùng với đầu đo PH20 của Yokogawa).



- Sự bù nhiệt độ của tranmister sẽ khắc phục hiệu ứng này. Một điện cực sẽ có trạng thái nhiệt độ lý tưởng nếu các đường chuẩn của nó (đường đẳng nhiệt) cắt nhau tại điểm không của điện cực ($\text{pH } 7 = 0 \text{ mV}$) ở các nhiệt độ khác nhau (xem hình bên dưới).

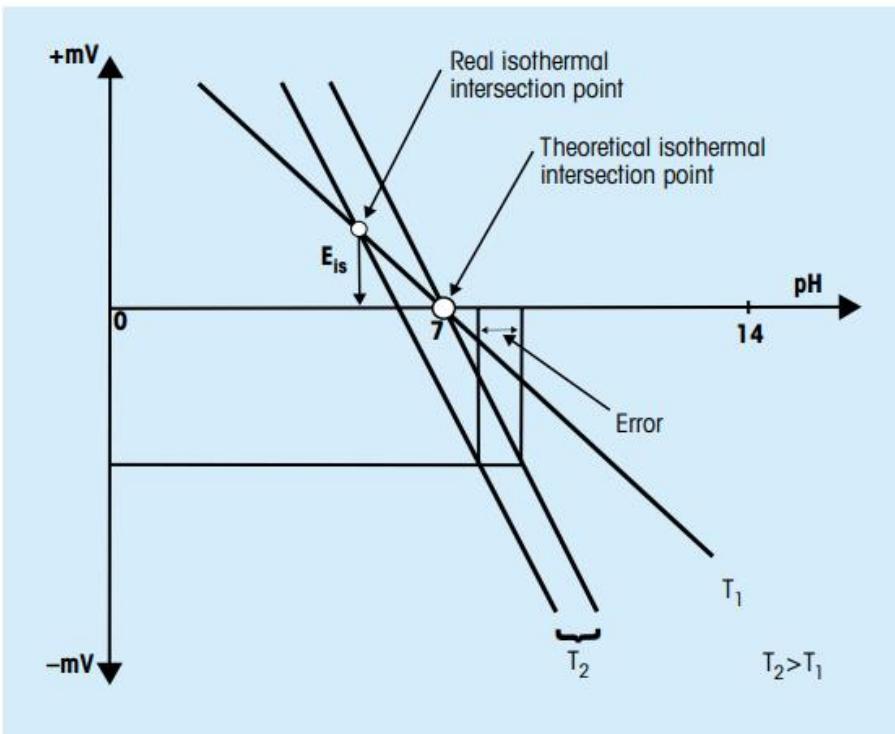


Figure 18 Calibration line and isothermal intersection points.

Đo điện dẫn suất (Conductormeter)

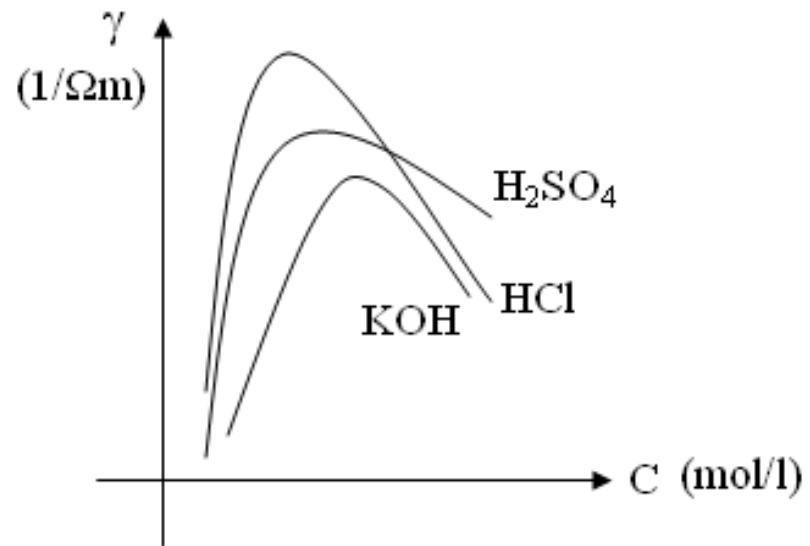
Điện dẫn suất của dung dịch điện phân

- Điện dẫn suất của dung dịch điện phân phụ thuộc vào nồng độ của dung dịch ấy.

$$\gamma = \lambda f(c)$$

γ được gọi là suất điện dẫn riêng của dung dịch.

- Ta thấy quan hệ giữa điện dẫn suất của dung dịch và nồng độ chất hòa tan là tương đối tuyến tính ở vùng nồng độ thấp, còn ở nồng độ cao nó không còn tuyến tính nữa.



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 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

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



Một số loại cảm biến khác

- Cảm biến siêu âm
- Cảm biến Rada

1. Cảm biến siêu âm

■ Nguyên lý và cấu tạo

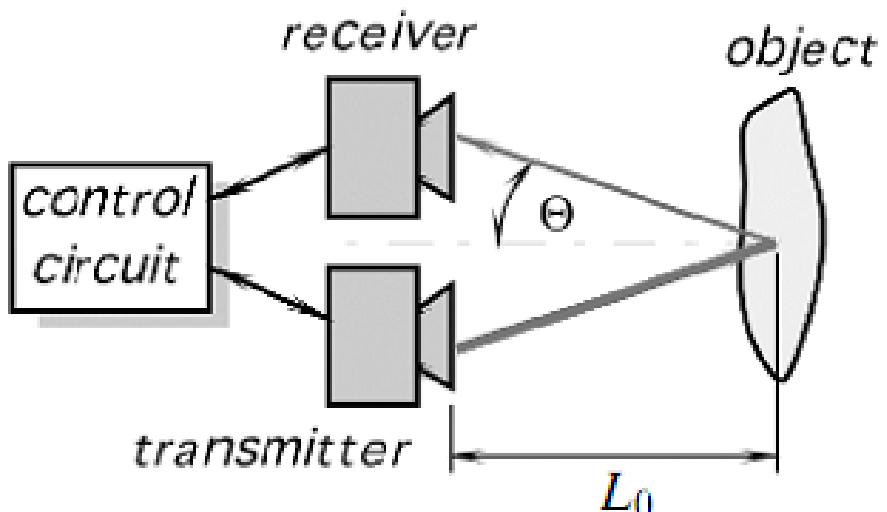
- ❖ Siêu âm là sóng cơ học có tần số lớn hơn tần số âm thanh nghe thấy (trên 20kHz). Thính giác của con người rất nhạy cảm với dải tần số từ âm trầm (vài chục Hz) đến các âm thanh rất cao (gần 20kHz).
- ❖ Cảm biến siêu âm sử dụng nguyên lý phản xạ sóng siêu âm.
- ❖ Cảm biến gồm 2 phần: phần phát ra sóng siêu âm và phần thu sóng siêu âm phản xạ về



Cảm biến siêu âm

■ Nguyên lý và cấu tạo

- ❖ Cảm biến sẽ phát ra 1 sóng siêu âm. Nếu có chướng ngại vật trên đường đi, sóng siêu âm sẽ phản xạ lại và tác động lên module nhận sóng.
- ❖ Đo thời gian từ lúc phát và nhận sóng ta sẽ tính được khoảng cách từ cảm biến đến chướng ngại vật



$$L_0 = \frac{vt \cos \Theta}{2},$$

V: vận tốc sóng siêu âm (343 m/s trong không khí)

t: thời gian từ lúc phát đến lúc thu

Cảm biến siêu âm

■ Ưu điểm

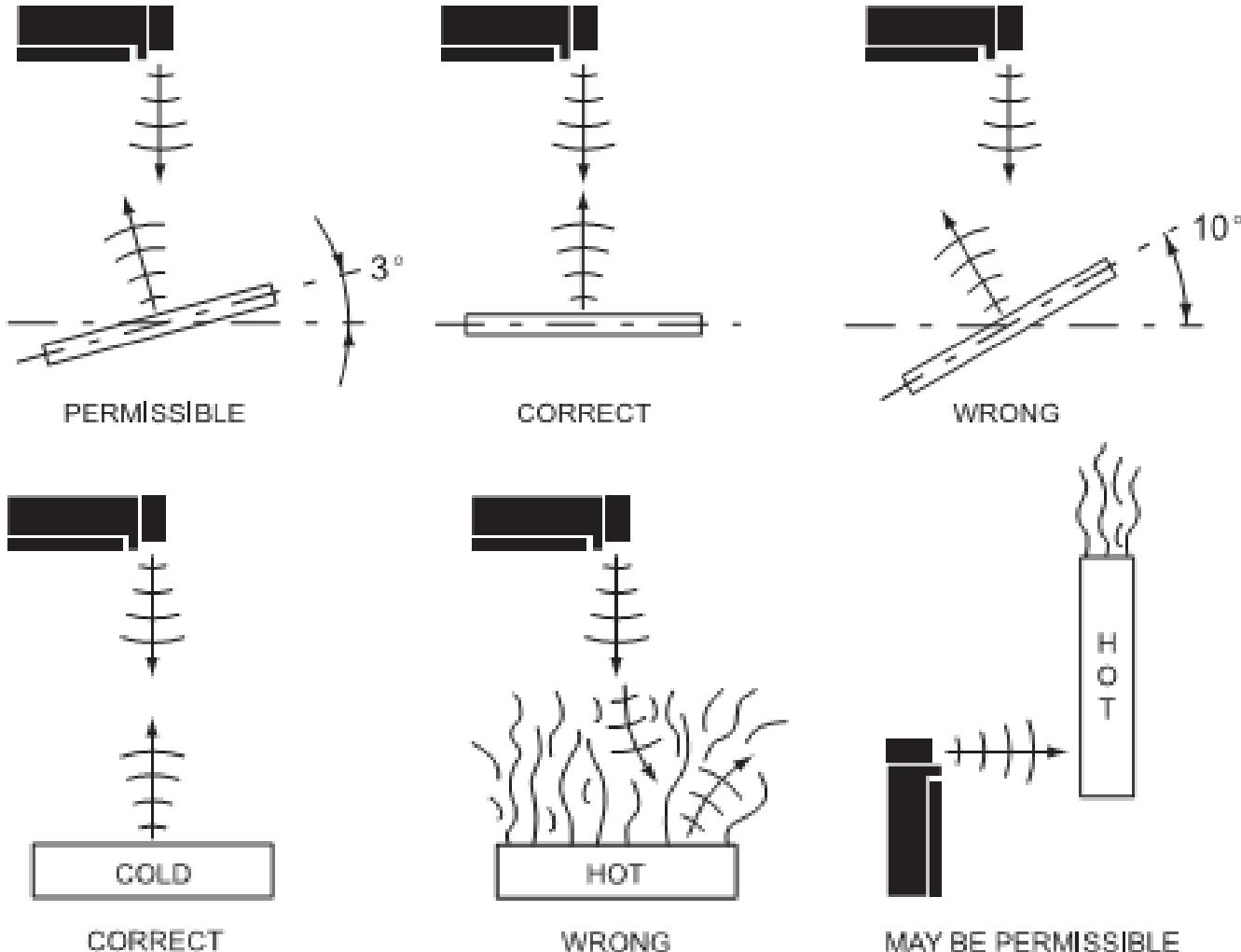
- ❖ Đo được khoảng cách rời rạc của vật di chuyển
- ❖ Ít ảnh hưởng bởi vật liệu và bề mặt
- ❖ Không ảnh hưởng bởi màu sắc
- ❖ Tín hiệu đáp ứng tuyến tính với khoảng cách
- ❖ Có thể phát hiện vật nhỏ ở khoảng cách xa

■ Nhược điểm

- ❖ Sóng phản hồi bị ảnh hưởng của sóng âm thanh tạp âm
- ❖ Cần 1 khoảng thời gian sau mỗi lần sóng phát đi để sẵn sàng nhận sóng phản hồi → chậm hơn CB khác
- ❖ Khó phát hiện vật có mật độ vật chất thấp ở khoảng cách xa

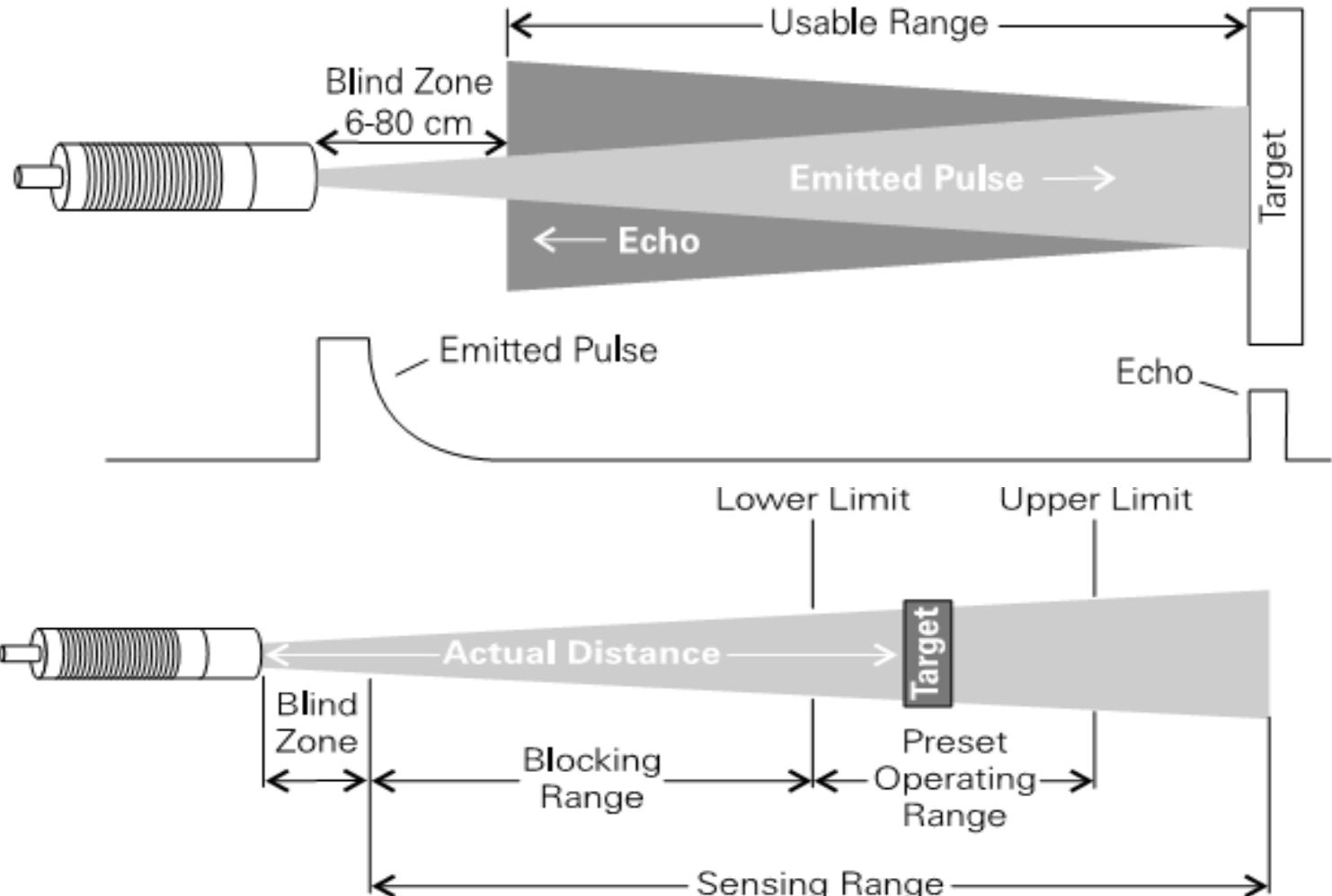
Cảm biến siêu âm

Bố trí cảm biến



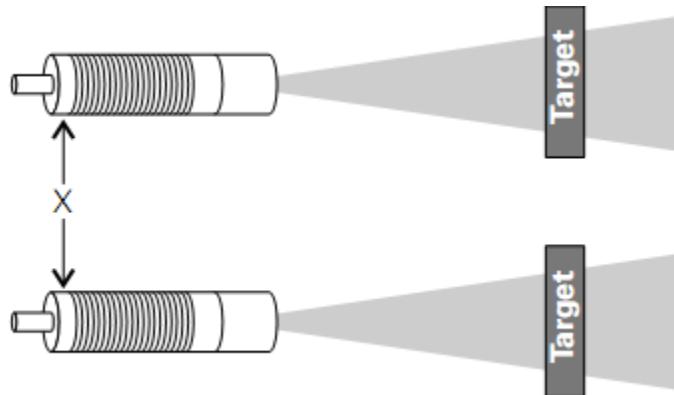
Cảm biến siêu âm

Bố trí cảm biến

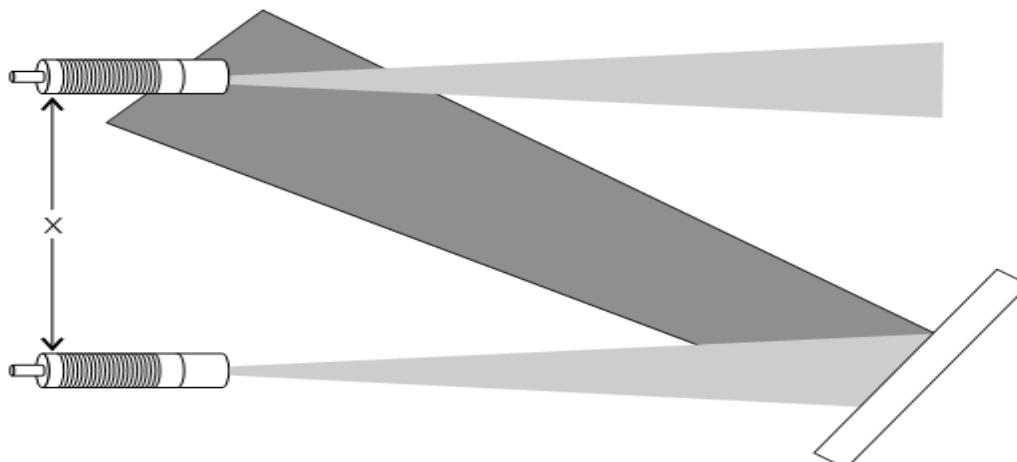


Cảm biến siêu âm

■ Bố trí cảm biến

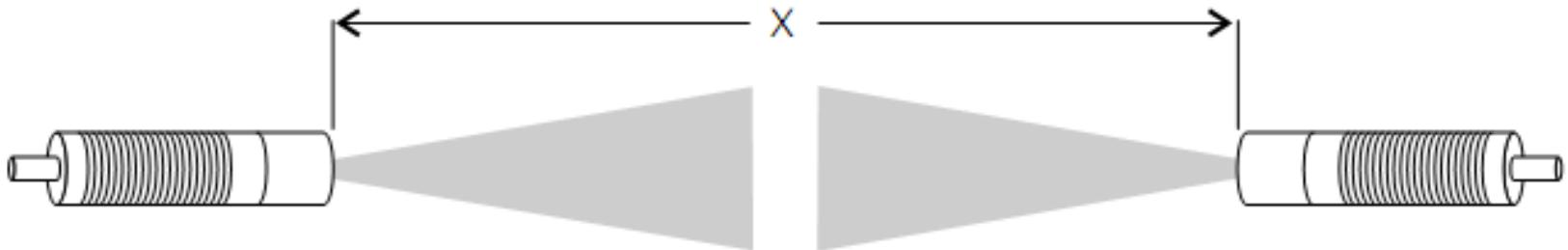


Sensing Range (CM)	X (CM)
6-30	>15
20-130	>60
40-300	>150
60-600	>250
80-1000	>350



Cảm biến siêu âm

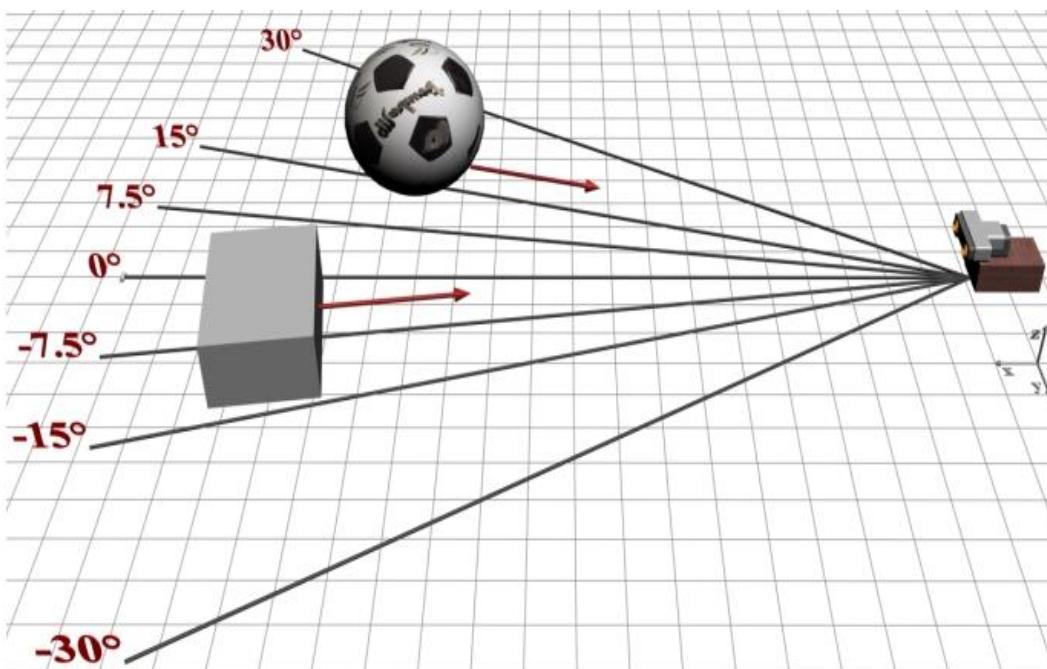
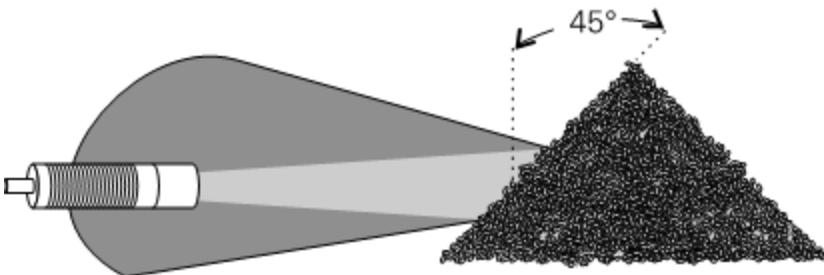
■ Bố trí cảm biến



Sensing Range (CM)	X (CM)
6-30	>120
20-130	>400
40-300	>1200
60-600	>2500
80-1000	>4000

Cảm biến siêu âm

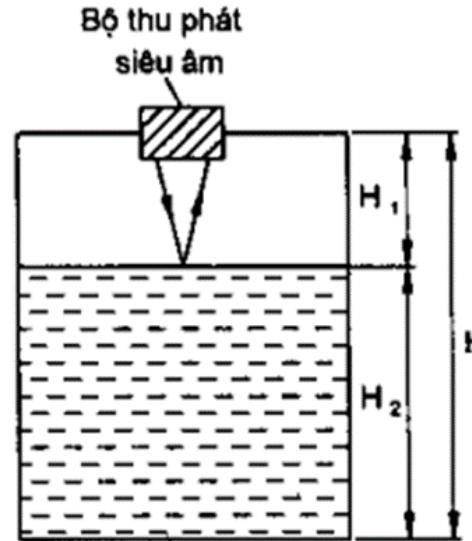
■ Bố trí cảm biến



Cảm biến siêu âm - ứng dụng

❖ Nguyên lý đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Sóng siêu âm phát dưới dạng xung đến mặt phân cách giữa 2 môi trường không khí và chất lỏng, sóng một phần được phản xạ trở lại, một phần lan truyền trong chất lỏng và bị suy giảm dần.
- Nếu gọi H là chiều cao của bồn chứa, H_1 là khoảng không khí, H_2 là chiều cao của mức chất lỏng, ta có:



$$H_1 = \frac{\Delta t \cdot v}{2}$$

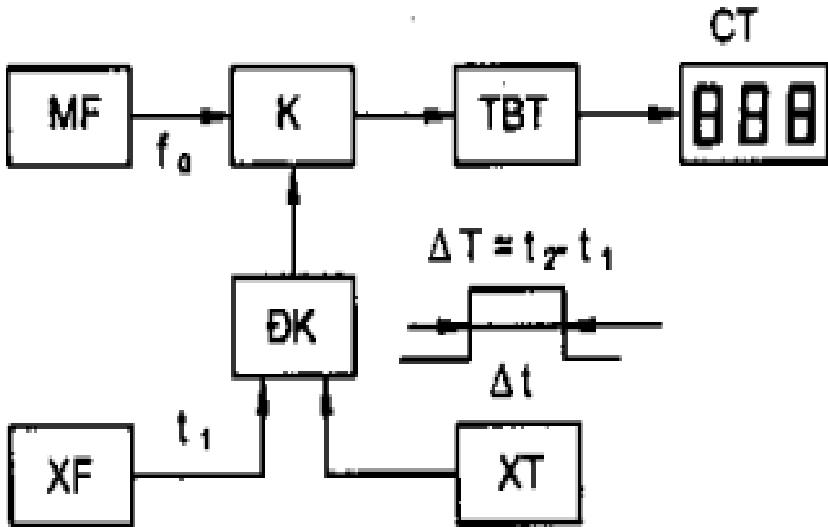
Với : $\Delta t = t_2 - t_1$: là khoảng thời gian phát và thu sóng siêu âm
 v: tốc độ sóng siêu âm

$$H_2 = H - H_1$$

Cảm biến siêu âm

❖ Nguyên lý đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Sơ đồ khái quát của thiết bị đo mức bằng sóng siêu âm:



Xung phát và thu lệch nhau khoảng thời gian $\Delta T = t_2 - t_1$. Các xung trên tác động lên bộ điều khiển để đóng, mở khóa K. Thời gian K mở (ΔT) máy phát xung chuẩn dựa các xung có tần số f_0 và chu kỳ T_0 vào thiết bị tính (đếm và giải mã) chỉ thị thể hiện mức của chất lỏng cần đo.



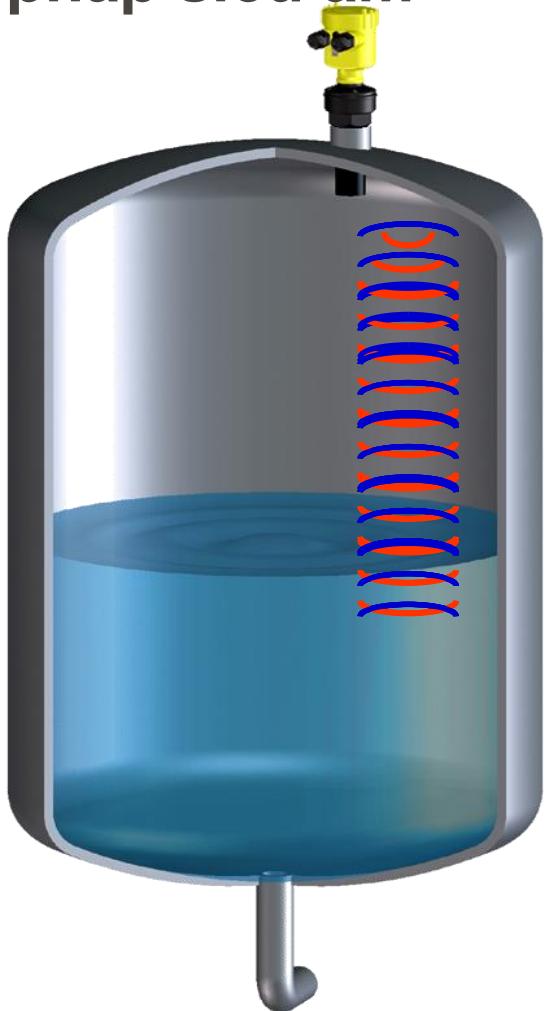
Cảm biến siêu âm

❖ Nguyên lý đo mức bằng phương pháp siêu âm

Cảm biến siêu âm

❖ Các đặc tính khi đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Ứng dụng: Đo mức của chất lỏng và chất rắn mà không tiếp xúc. Cho phép giám sát mức liên tục.



Cảm biến siêu âm

❖ Ưu điểm, nhược điểm đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Ưu điểm:

- Do là phương pháp đo không tiếp xúc nên sẽ ít bị ảnh hưởng bởi tác động của chất lỏng chứa trong bể, bồn.
- Thường được đặt ở trên đỉnh bồn do đó ít có khả năng gặp phải các vấn đề về rò điện so với các thiết bị phải tiếp xúc với chất lỏng.

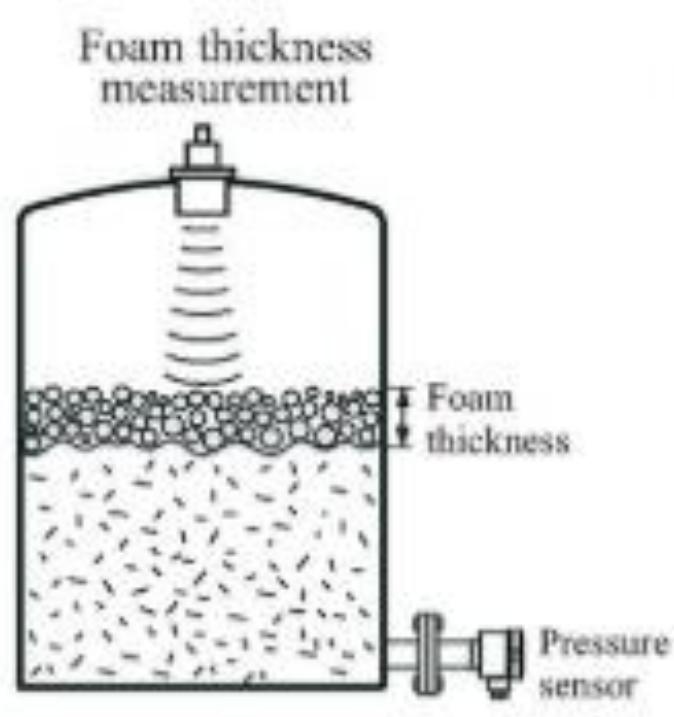


Cảm biến siêu âm

❖ Ưu điểm, nhược điểm đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Nhược điểm:

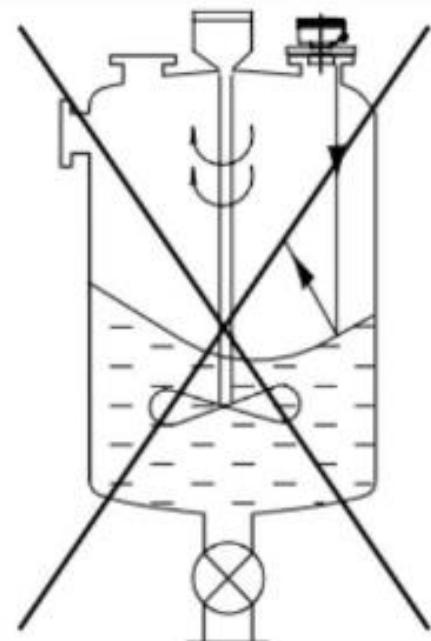
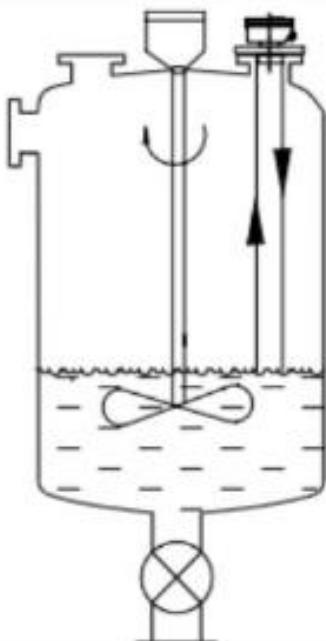
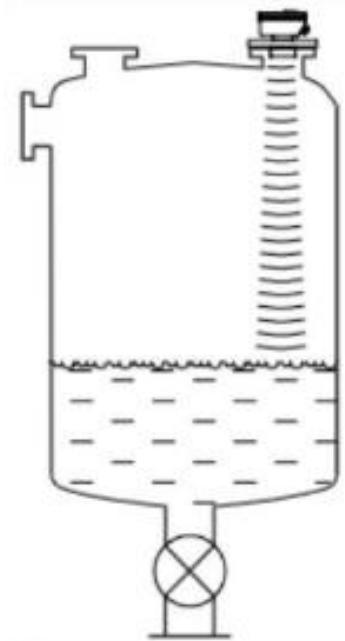
- Thiết bị làm việc không tốt trong môi trường chân không hoặc áp suất cao.
- Khi sử dụng phương pháp này có thể gặp một số trở ngại ảnh hưởng tới kết quả phép đo như:
 - ✓ Bề mặt chất lỏng sủi bọt, không ổn định
 - ✓ Nhiệt độ môi trường
 - ✓ Bụi, hơi nước có trong bình chứa



Cảm biến siêu âm

❖ Một số lưu ý sử dụng đo mức bằng phương pháp siêu âm

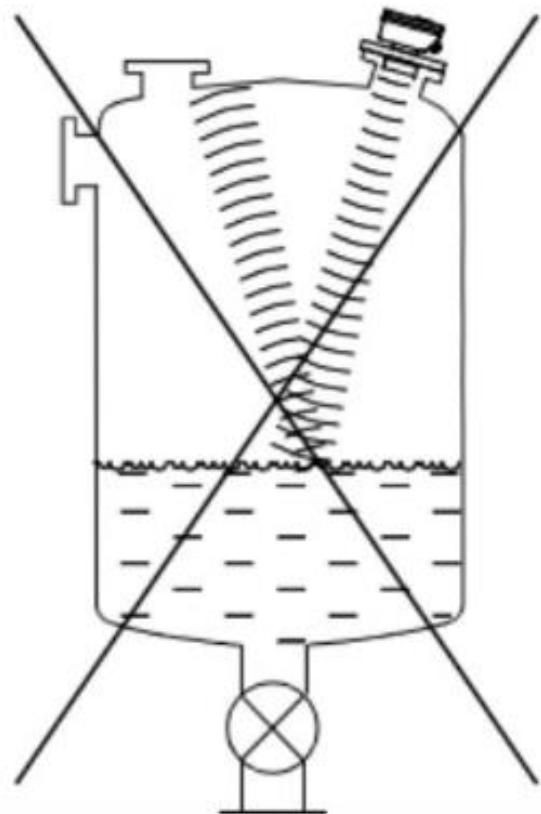
- Khi đo mức đối với chất lỏng, lưu ý:
 - o Bề mặt của chất lỏng: Cần tránh những rung động mạnh, vị trí lắp đặt thiết bị nên tránh xa nguồn nhiễu.



Cảm biến siêu âm

❖ Một số lưu ý sử dụng đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Khi đo mức đối với chất lỏng, lưu ý:
 - Góc nghiêng của cảm biến: Cảm biến nên được lắp song song với bề mặt chất lỏng, góc nghiêng cho phép từ 2 – 3°.
 - Các cảm biến siêu âm thường không tiếp xúc với áp xuất quá cao

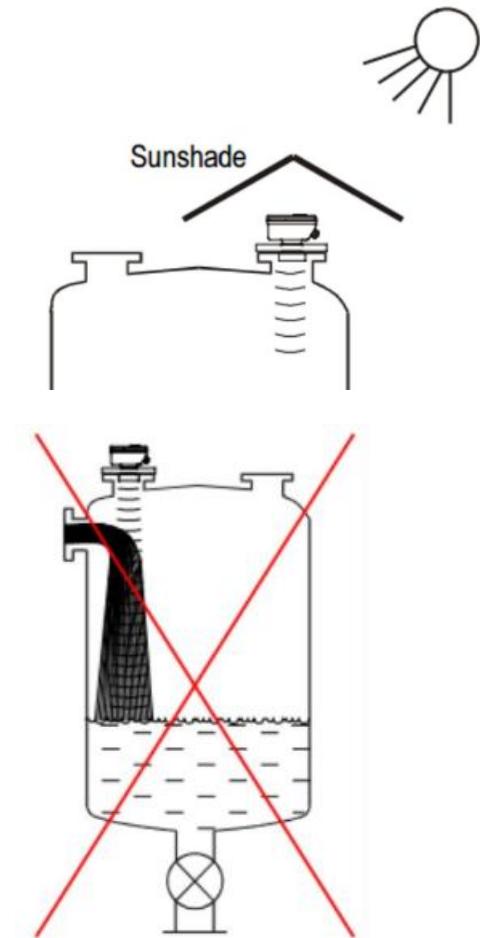


Cảm biến siêu âm

❖ Một số lưu ý sử dụng đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Khi đo mức đối với chất lỏng, lưu ý:

- Nhiệt độ: Tránh thiết bị tiếp xúc trực tiếp với ánh nắng mặt trời.
- Vật cản: Trước khi lắp đặt, đảm bảo không vật cản nào xuất hiện trong vùng sóng của thiết bị.
- Ngoài ra còn các yếu tố như: Hơi nước, gió, tạp chất có thể làm thay đổi tốc độ của sóng siêu âm.

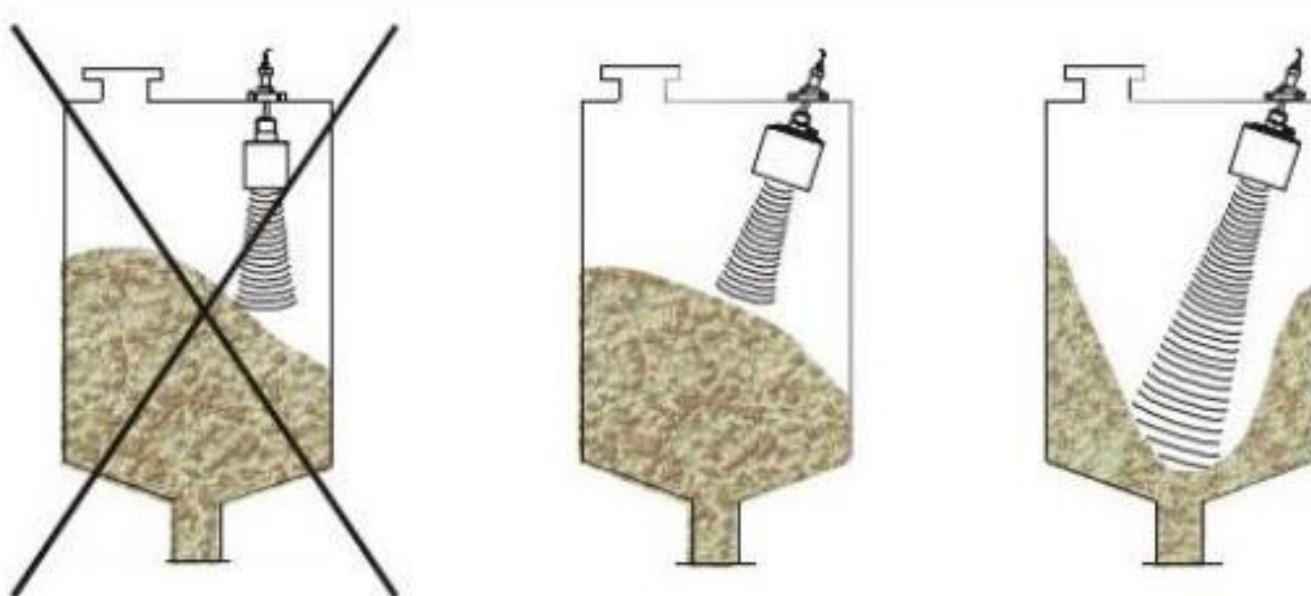


Cảm biến siêu âm

❖ Một số lưu ý sử dụng đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Khi đo mức đối với chất rắn, lưu ý:

- Vị trí lắp đặt: Thiết bị cần lắp nghiêm để tránh phản xạ góc tới theo hướng không mong muốn do góc vật liệu cần đo tạo ra khi bơm nguyên liệu ra và vào bình chứa.

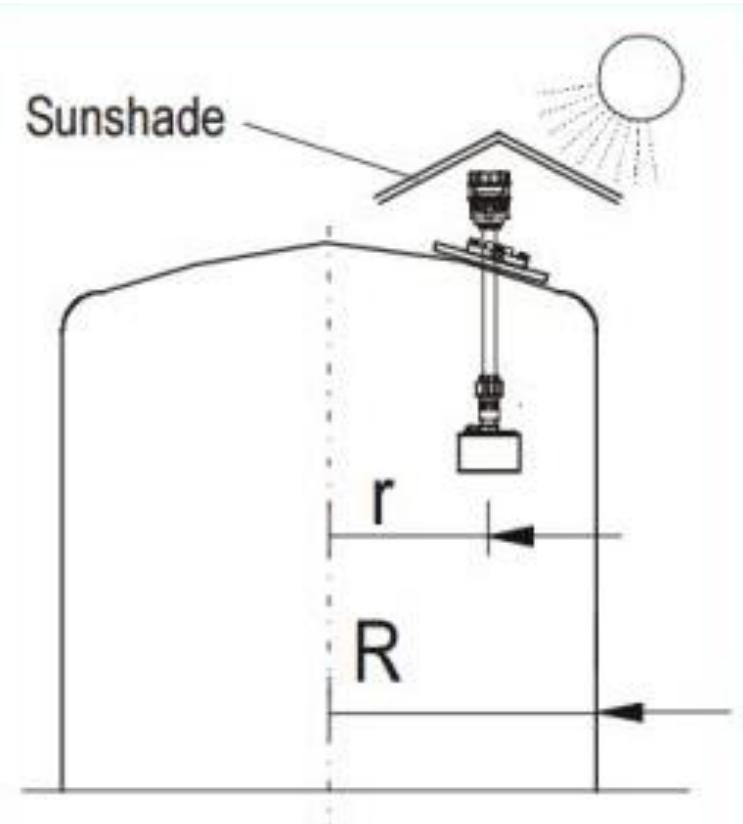


Cảm biến siêu âm

❖ Một số lưu ý sử dụng đo mức bằng phương pháp siêu âm

- Khi đo mức đối với chất rắn, lưu ý:

- o Nhiệt độ: Tương tự như đối với khi đo mức chất lỏng, cũng cần che chắn cho thiết bị.

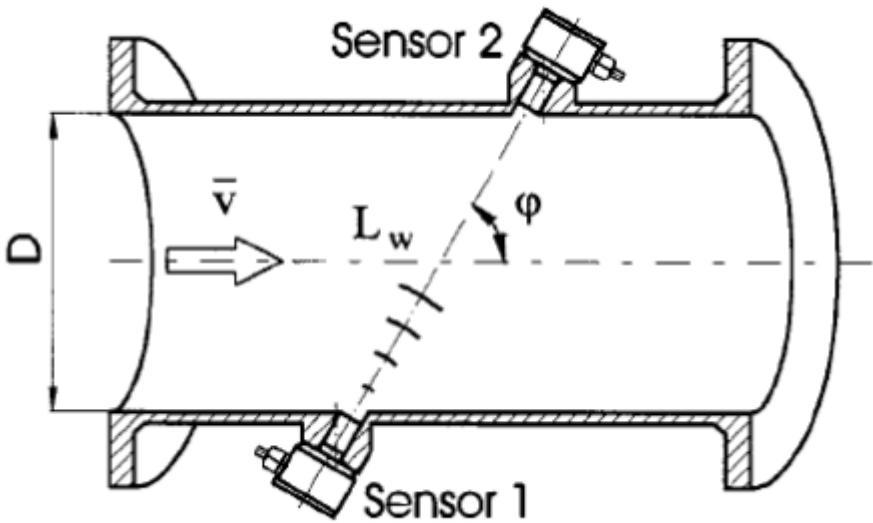


Cảm biến siêu âm – Đo lưu lượng

1. Prosonic Flow 91W Ultrasonic flowmeter

$$t_{12} = \frac{L_w}{c + v_a \cos \varphi}$$

$$t_{21} = \frac{L_w}{c - v_a \cos \varphi}$$



$$\bar{v}_a = \frac{L_w}{2 \cos \varphi} \left(\frac{1}{t_{21}} - \frac{1}{t_{12}} \right) = \frac{D}{2 \cos \varphi \sin \varphi} \left(\frac{1}{t_{21}} - \frac{1}{t_{12}} \right)$$

Cảm biến siêu âm

■ Đo lưu lượng

Basic Principle = Transit Time Difference Type

- Clamp-on sensors
- Transit Time Difference Method
- Principle Expression

**Cross-sectional area Average velocity
on cross section**

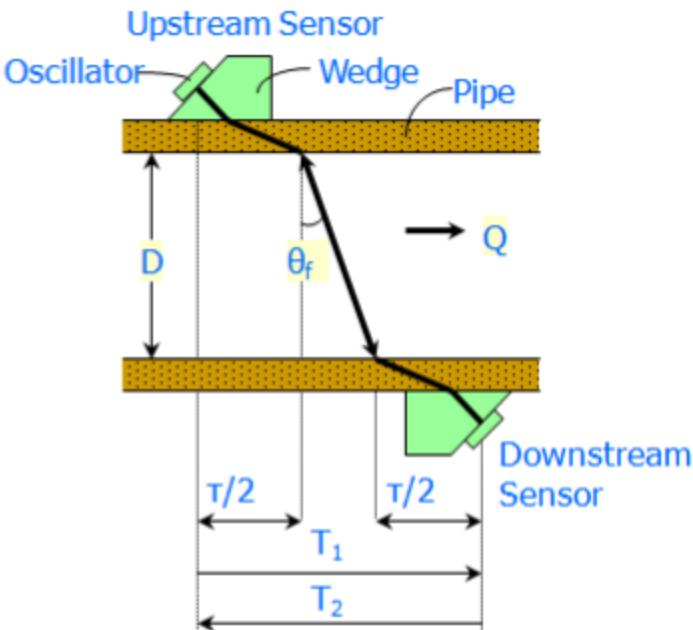
$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{1}{K} \times \frac{D}{\sin 2\theta_f} \times \frac{\Delta T}{(T_0 - \tau)^2}$$

**Average velocity on
propagation path**

- Q : Flowrate
- D : Inner pipe diameter
- K : Conversion factor
of average velocity
- θ_f : Incident angle into liquid

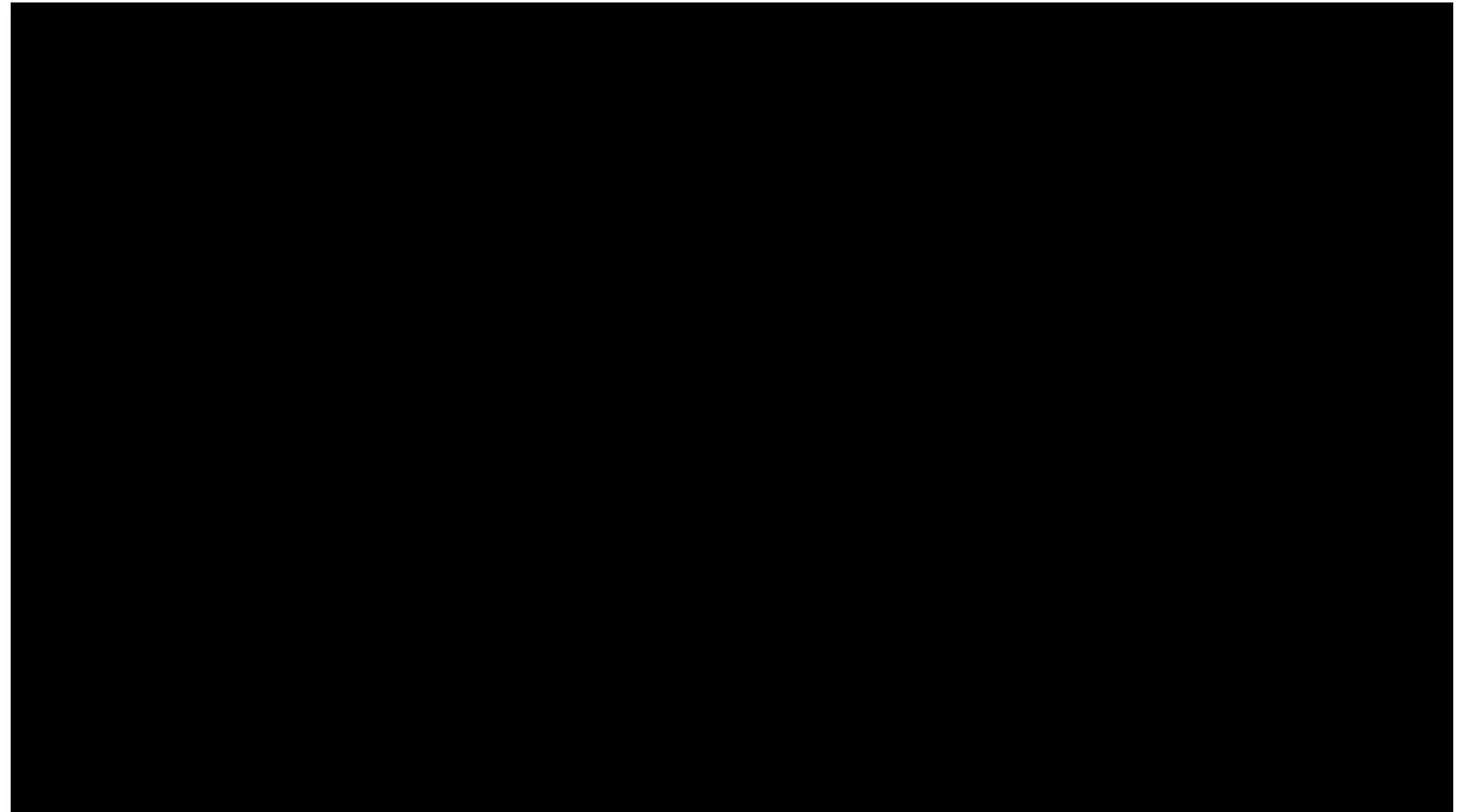
- T_1, T_2 : Transit time
- T_0 : Transit time between sensors
when flow is at rest
 $(\approx (T_1 + T_2)/2)$
- τ : Transit time in pipe walls & sensors

$\Delta T = T_2 - T_1$
 (Note)
 Ultrasonic waves are carried
with the motion of fluid.



Cảm biến siêu âm

■ Đo lưu lượng

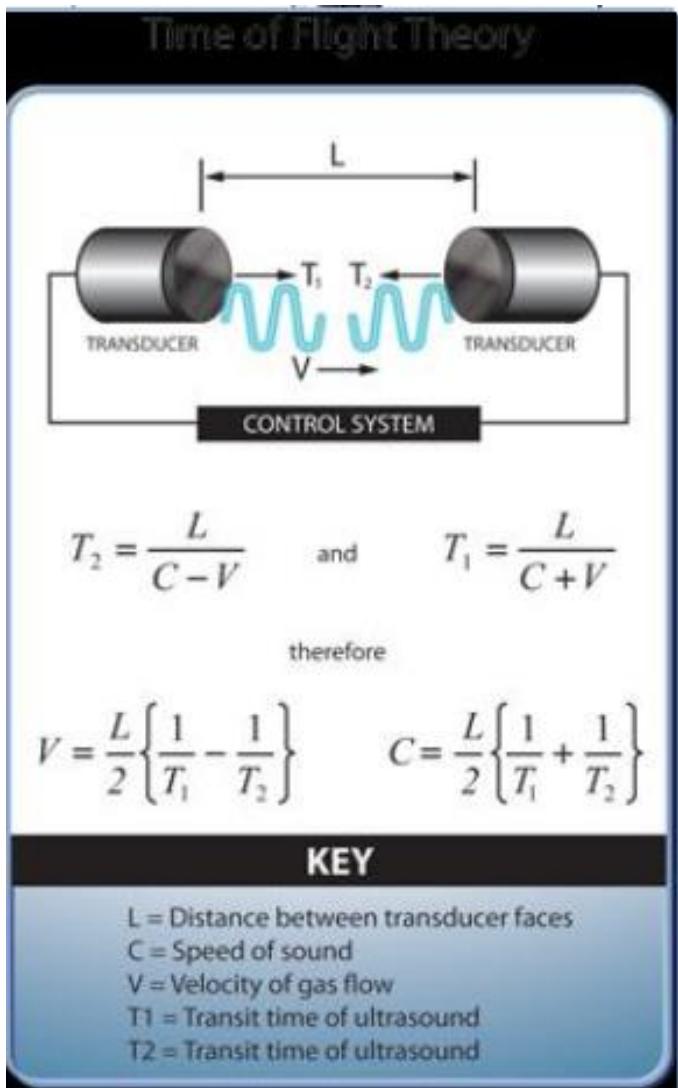


Cảm biến siêu âm – đo tốc độ gió

■ Đo tốc độ gió

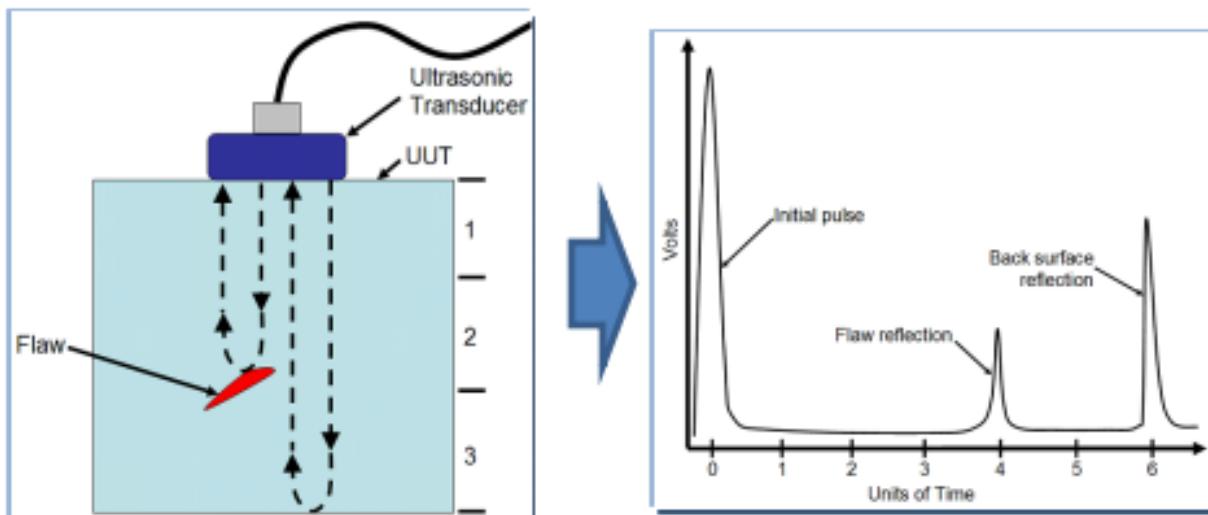
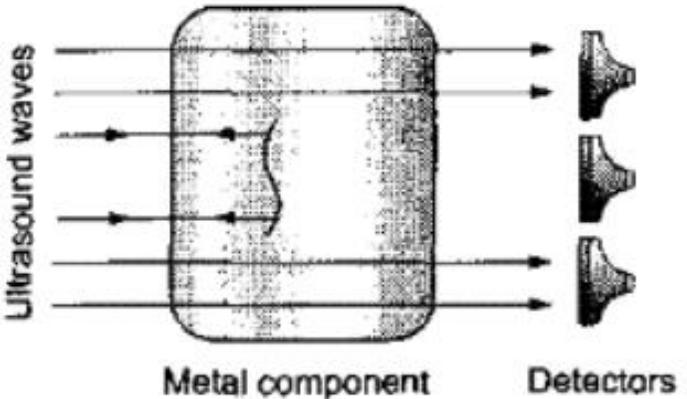
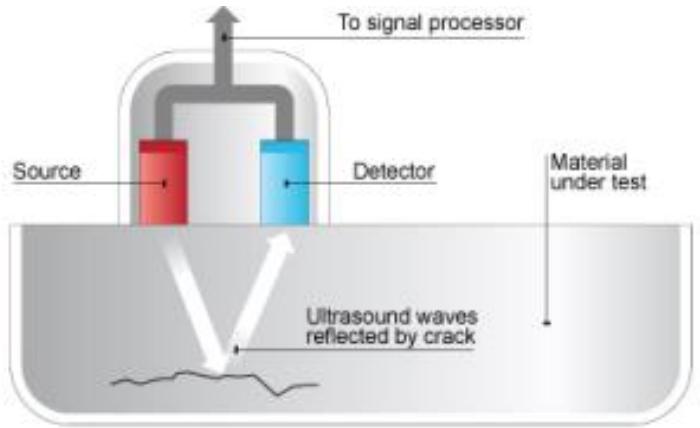


- Thiết bị gồm có 4 cảm biến siêu âm đặt thẳng góc với nhau theo từng cặp đông-tây và nam-bắc. Mỗi bộ cảm biến gồm một cặp thu-phát có chức năng phát 2 chiều theo chu kì nhất định. Thời gian truyền của xung âm thanh sẽ tăng hoặc giảm tùy theo cùng chiều hoặc ngược chiều với hướng gió. Tổng hợp thời gian thu và phát giữa các cặp tương ứng sẽ tính ra được hướng gió và vận tốc gió.



Cảm biến siêu âm

■ Phát hiện dị tật



Cảm biến siêu âm

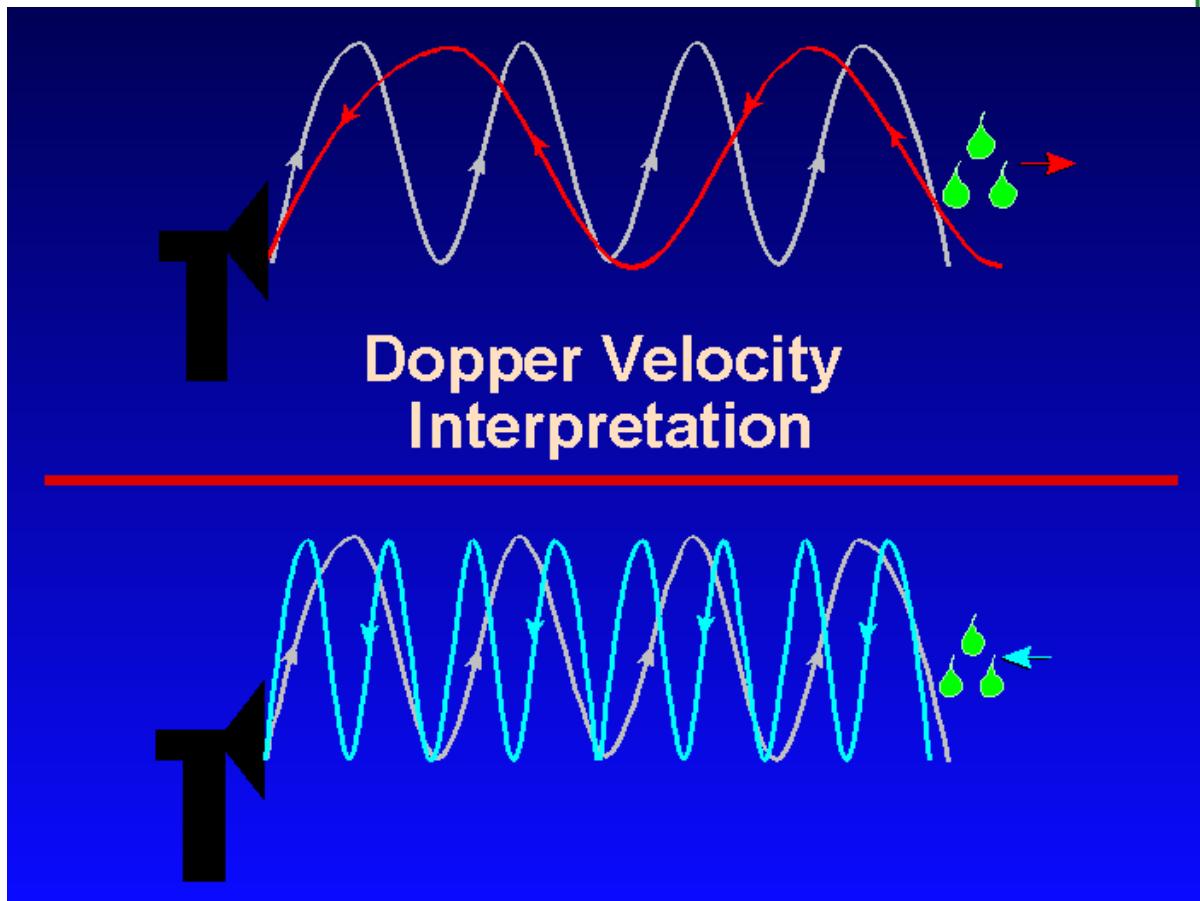
- Kiểm tra không phá hủy bằng phương pháp siêu âm có các đặc điểm sau:
 - ❖ Phát hiện các khuyết tật nằm sâu bên trong vật kiểm tra
 - ❖ Dùng kiểm tra các khuyết tật mối hàn (ngậm xỉ, nứt đường hàn, không ngấu, không thấu...)
 - ❖ Xác định các khuyết tật bên trong của vật liệu, mối hàn cơ bản như: rỗ khí, tách lớp, nứt...
 - ❖ Siêu âm kiểm tra chiều dày vật liệu, kiểm tra ăn mòn kim loại
 - ❖ Phương pháp này áp dụng được cho tất cả các vật liệu dạng rắn
 - ❖ Kết quả kiểm tra phụ thuộc khá nhiều vào thiết bị và kinh nghiệm của kiểm định viên siêu âm

Cảm biến siêu âm

b) Đo vận tốc tuyến tính

- Dựa vào dịch chuyển

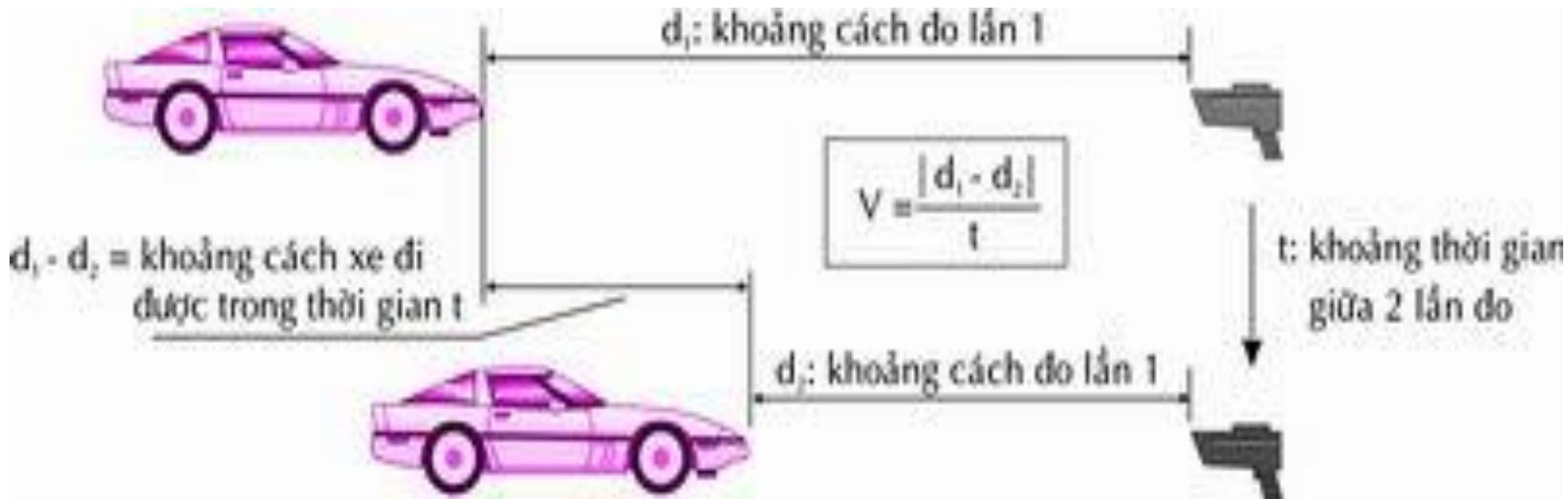
Phát sóng tới vật, sau đó nhận sóng phản hồi. Đo bước sóng phản hồi → tính ra vận tốc



Cảm biến siêu âm

b) Đo vận tốc tuyến tính

- Dựa vào sai lệch dịch chuyển



Cảm biến siêu âm

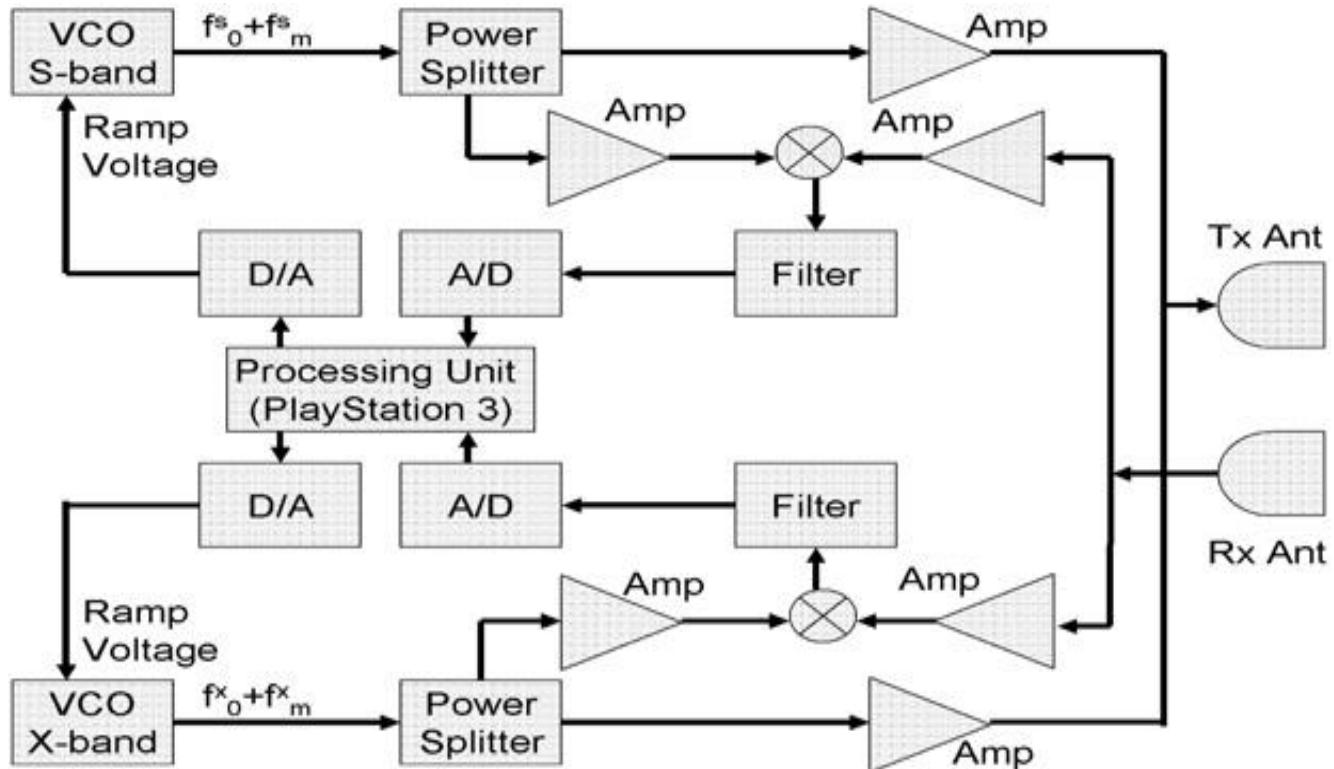
■ Siêu âm trong y tế



2. Cảm biến Rada

Hai anten truyền và nhận

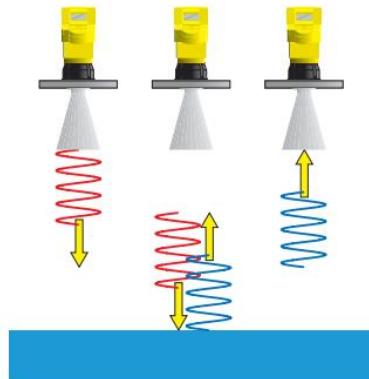
- The proposed radar will generate two FMCW signals in the S- and Xfrequency bands (near 2.8 and 10 GHz) with both signals being transmitted and received on the same set of antennas



Đo mức bằng phương pháp radar

- Giống như nguyên lý đo của sóng siêu âm, tuy nhiên radar dùng sóng điện từ có tần số lớn (cỡ khoảng vài MHz hoặc vài GHz).
- Nếu gọi khoảng thời gian giữa phát và thu sóng siêu âm là Δt và H_1 là chiều cao phần không khí thì H_1 được xác định theo công thức:

$$H_1 = \frac{\Delta t \cdot c}{2}$$



- C: vận tốc sóng ánh sáng $c = 3.10^8$
- Xác định H_1 thì ta có mức chất lỏng H_2 trong thùng được tính

theo công thức:

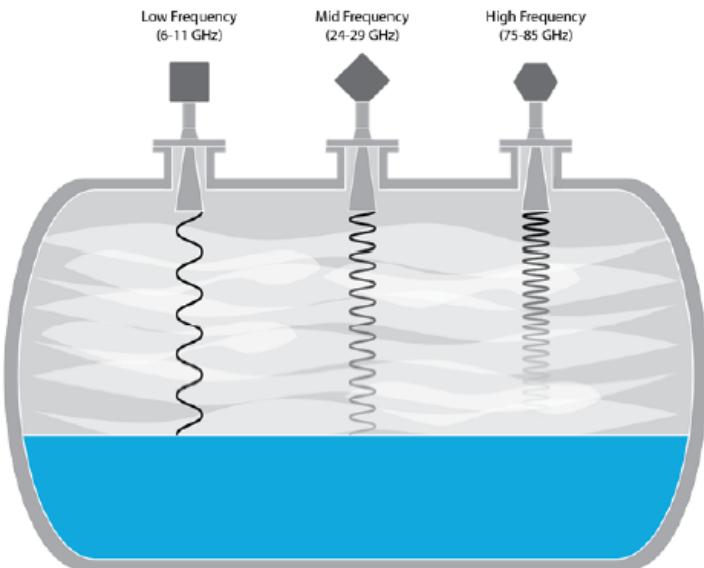
$$H_2 = H - H_1$$

Với H là chiều cao thùng chứa chất lỏng

Đo mức bằng phương pháp radar

❖ Các đặc tính khi đo mức bằng phương pháp radar

- Ứng dụng phát hiện mức liên tục
- Sóng truyền có thể sử dụng ở các dải tần số khác nhau:
 - Tần số thấp: 6-11 Ghz.
 - Tần số trung bình: 24-29 Ghz.
 - Tần số cao: 75-85 Ghz

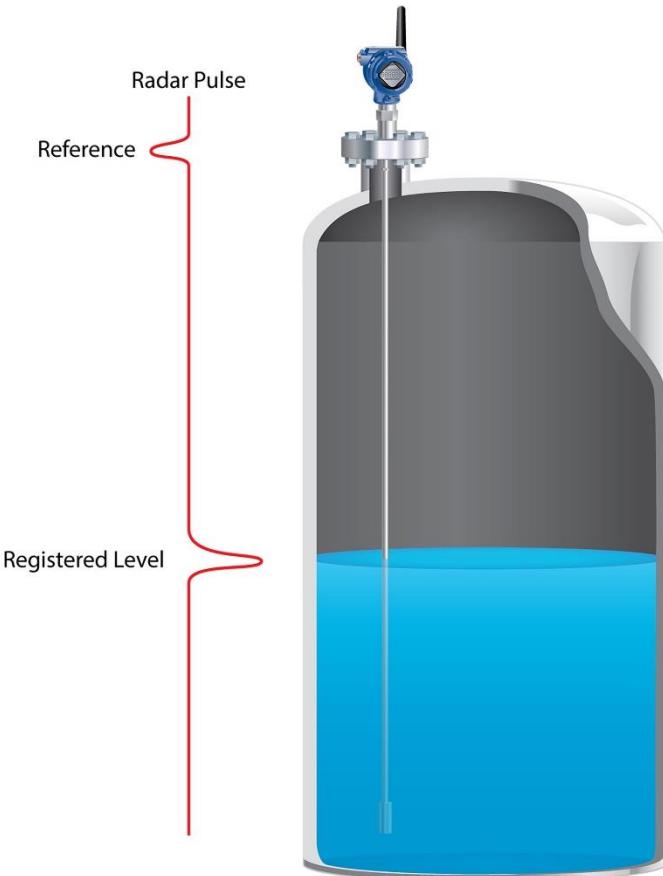


Đo mức bằng phương pháp radar

❖ Các đặc tính khi đo mức bằng phương pháp radar

- Trong phương pháp này, sử dụng hai hệ thống: Hệ thống xâm lấn và Hệ thống không xâm lấn

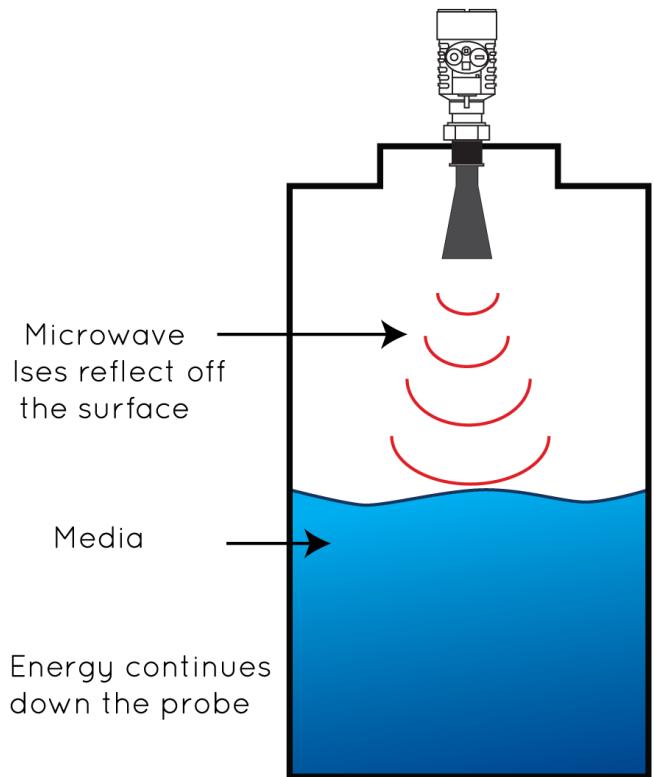
➤ Hệ thống xâm lấn được sử dụng để đo mức chất lỏng: gọi là “Guided-wave radar” dùng cáp hoặc ống dẫn để hướng, dẫn sóng trực tiếp từ cảm biến tới bề mặt vật liệu xuống thẳng đáy bình.



Đo mức bằng phương pháp radar

❖ Các đặc tính khi đo mức bằng phương pháp radar

- Hệ thống không xâm lấn được sử dụng để đo mức chất lỏng: gọi là “Through-air radar” dùng ăng-ten để gửi sóng radar tới bề mặt chất lỏng cần đo.



NON-CONTACT (PULSE)
RADAR LEVEL TRANSMITTER

Đo mức bằng phương pháp radar

❖ Ưu điểm, nhược điểm đo mức bằng phương pháp radar

- Ưu điểm:
 - Là phương pháp cực kì chính xác và tin cậy.
 - Hiệu suất thiết bị không bị ảnh hưởng bởi hơi nước, chất tạo bọt, nhiệt độ sôi, bụi.
 - Hoạt động tốt trong khoảng nhiệt độ và áp suất cao

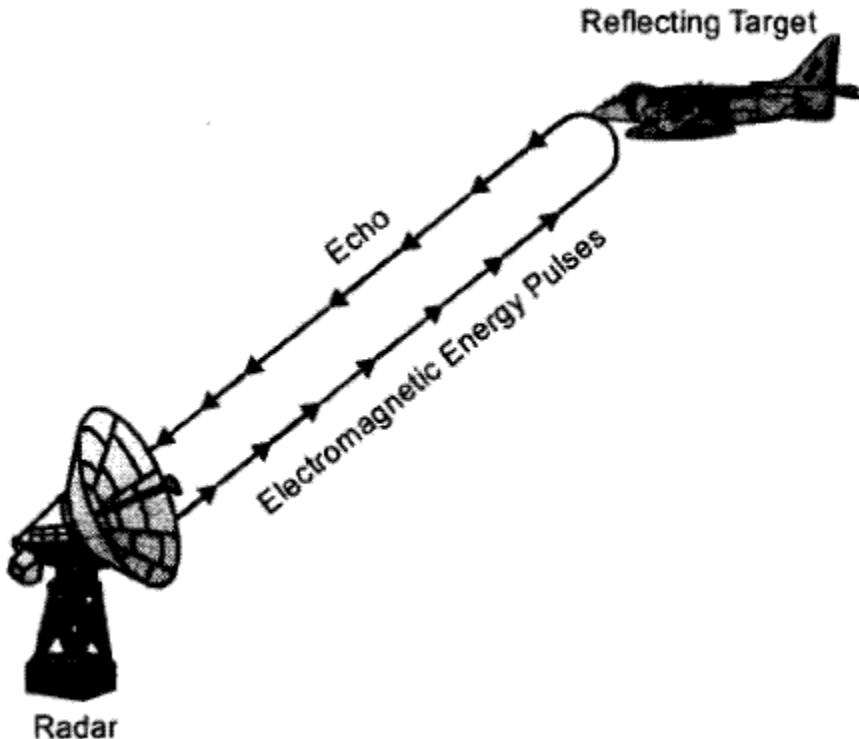
Đo mức bằng phương pháp radar

❖ Ưu điểm, nhược điểm đo mức bằng phương pháp radar

- Nhược điểm:
 - Giá thành cao.
 - Chỉ làm việc tốt với chất cần đo có bề mặt bụi bẩn nhẹ.
 - Khi lớp bụi và bọt quá nhiều, sẽ gây dừng quá trình đo mức

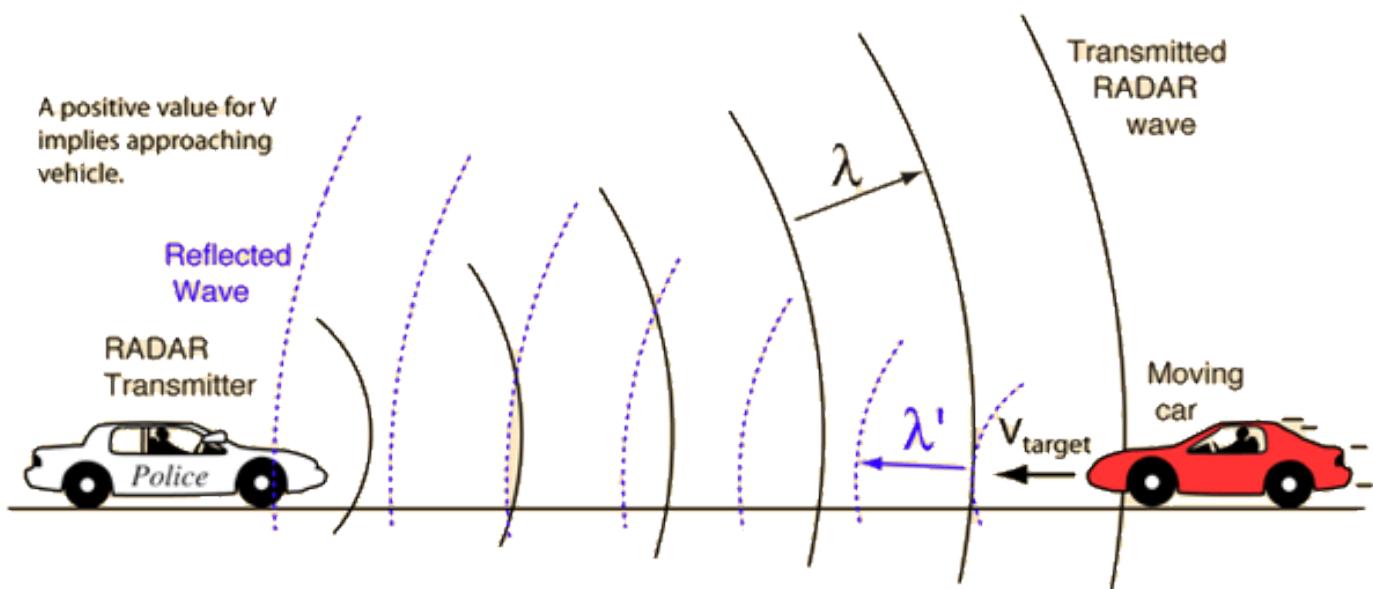
Cảm biến Rada

- Ứng dụng trong rada dẫn hướng và phát hiện mục tiêu
 - ❖ Trong quân sự



Cảm biến Rada

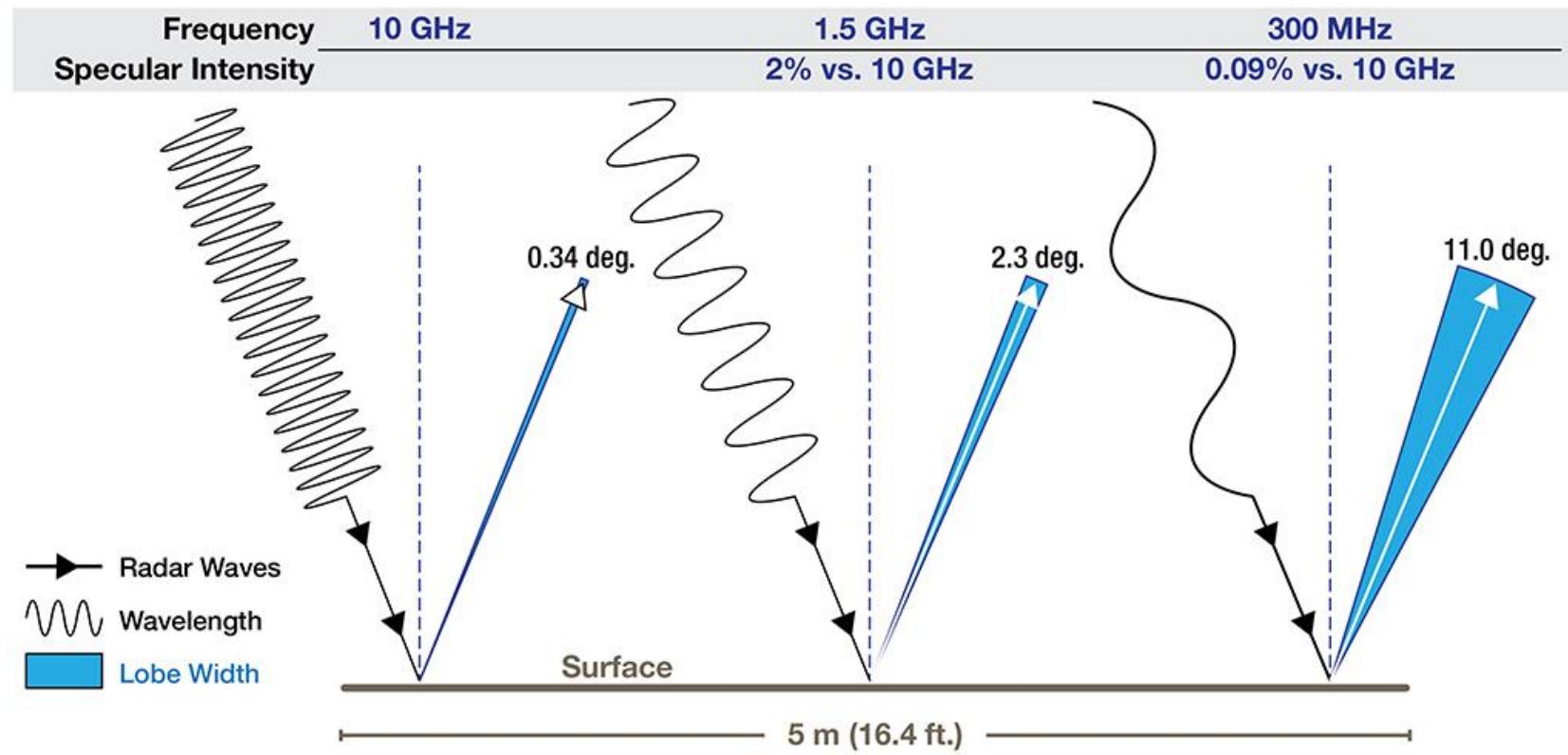
■ Trong oto



Cảm biến Rada

■ Ảnh hưởng của tần số sóng rada đến sóng phản xạ

Specular Reflections Intensity and Lobe Width Changes with Frequency





Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt



Đo lưu lượng bằng phương pháp nhiệt

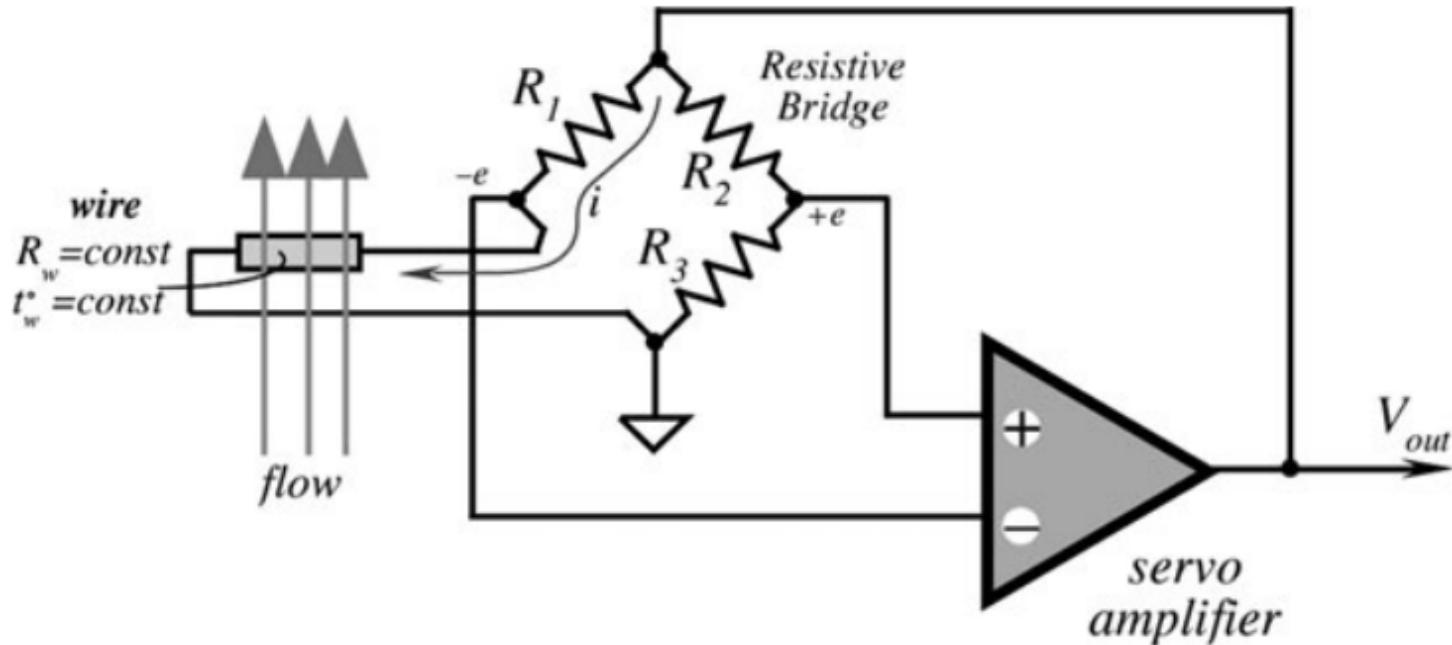
- A hot-wire thermoanemometer is a single-part sensor as opposed to two- and three-part sensors as described below. The key element of this sensor is a heated wire having typical dimensions 0.00015–0.0002 in. (0.0038–0.005 mm) in diameter and 0.040–0.080 in. (1.0–2.0 mm) in length.
- The wire resistance 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

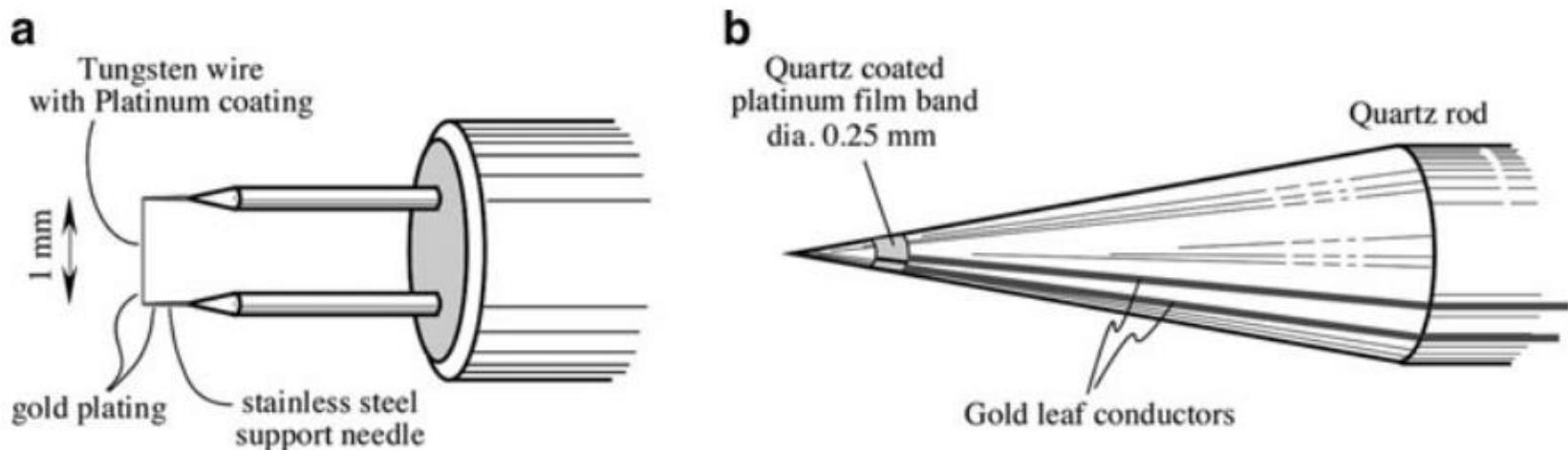


Fig. 11.6 Hot-wire probe (**a**) and a conical hot-film probe (**b**)

**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:

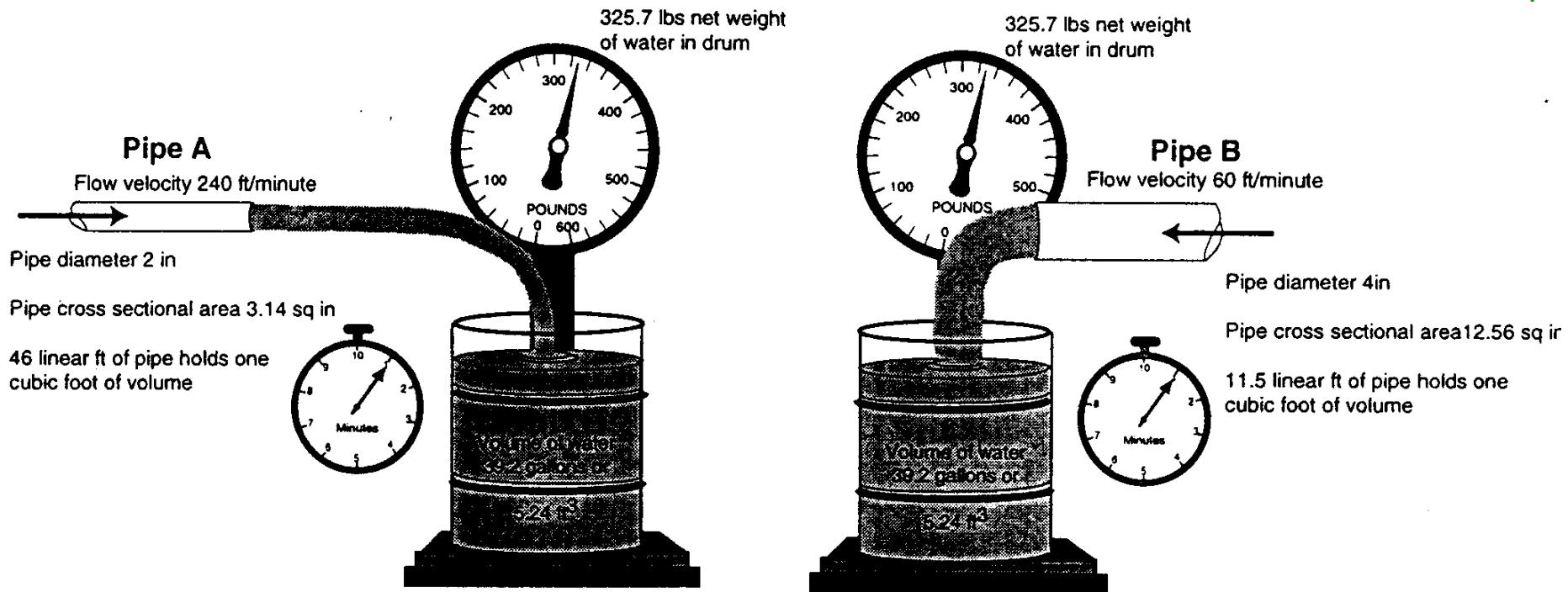
Lưu lượng thể tích x khối lượng riêng = Lưu lượng khối lượng

- ❖ 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:

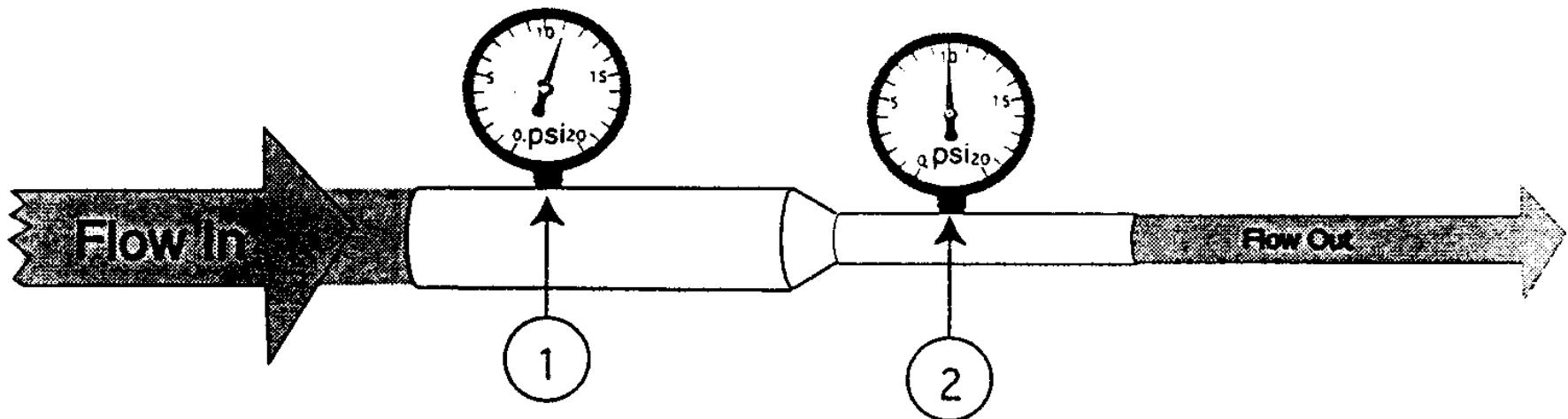


Lưu lượng

■ 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.

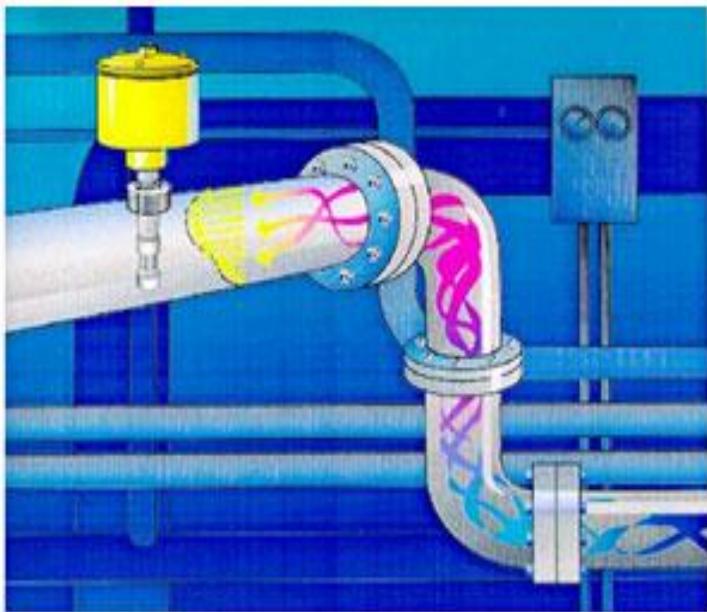
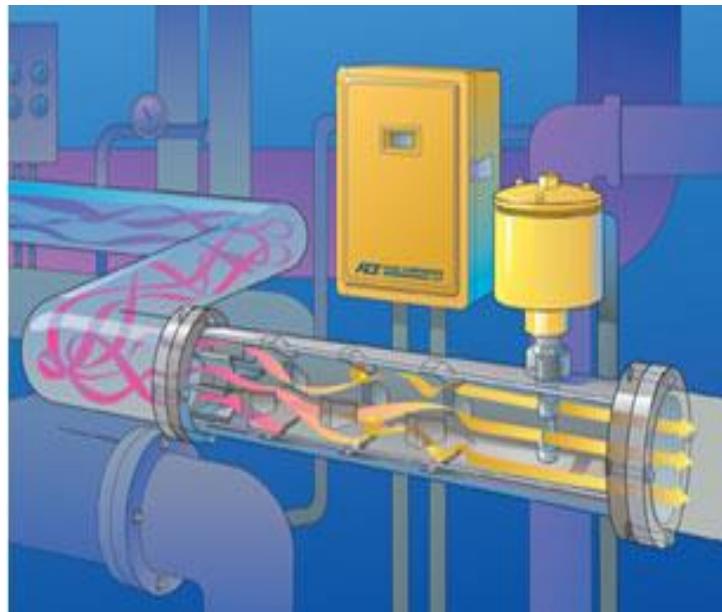


Lưu lượng

- 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 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

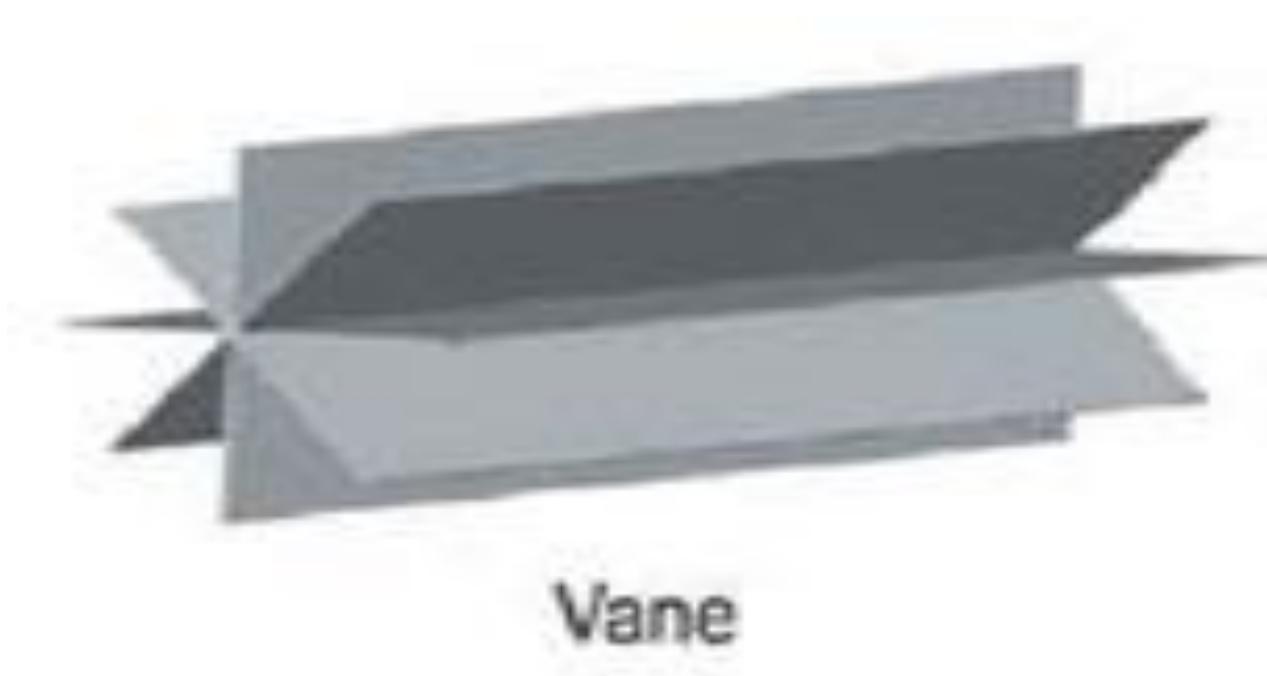
Lưu lượng

- 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 đo 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

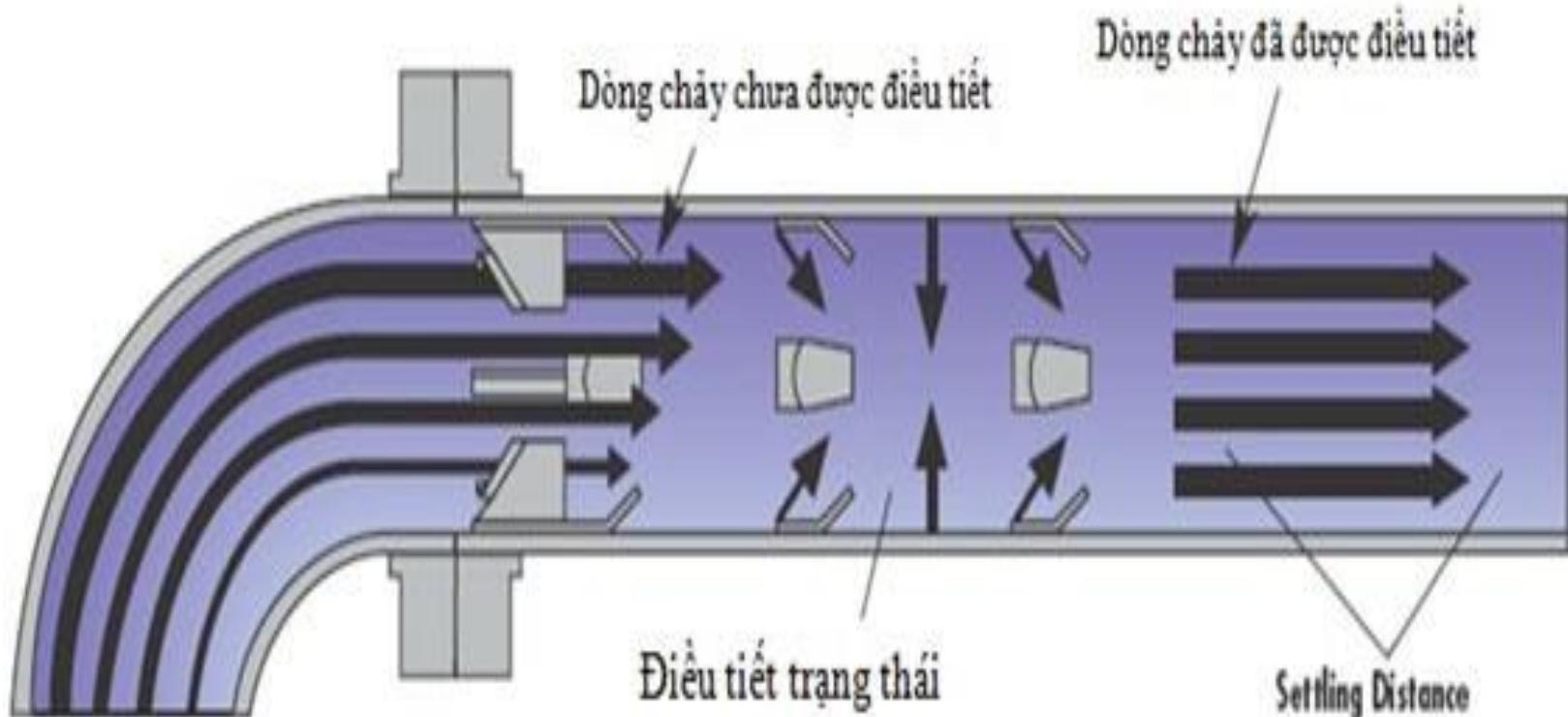


Lưu lượng

- Bộ điều tiết kiểu **Tab** là một lựa chọn tốt dùng cho khí sạch hoặc bắn 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.



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 rọi, ống chỉ, cầu.

Dụng cụ đo lưu lượng đọc trực tiếp

■ Rotameter

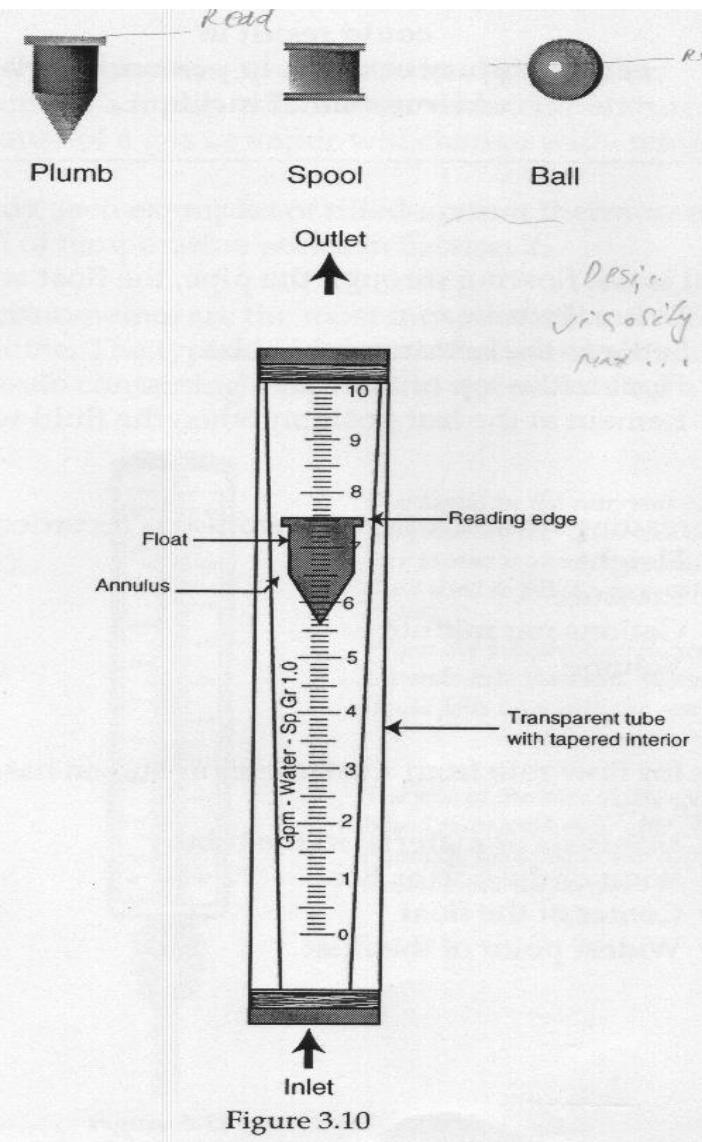
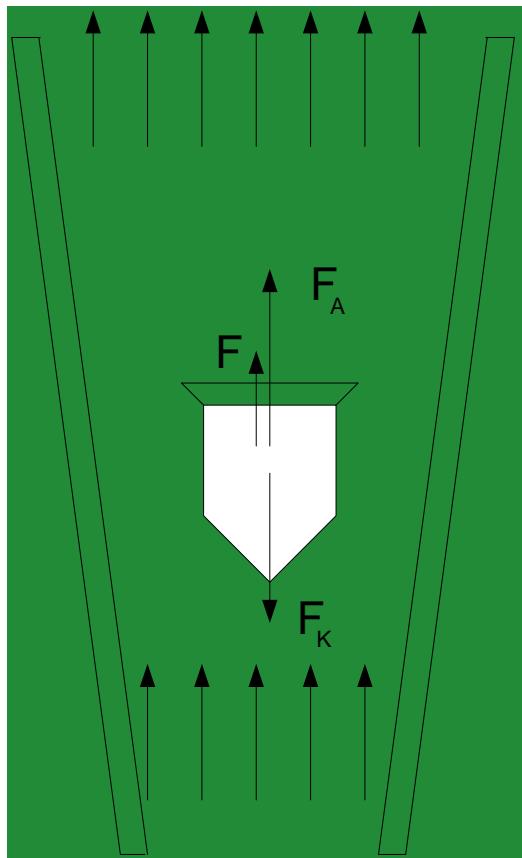


Figure 3.10

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:

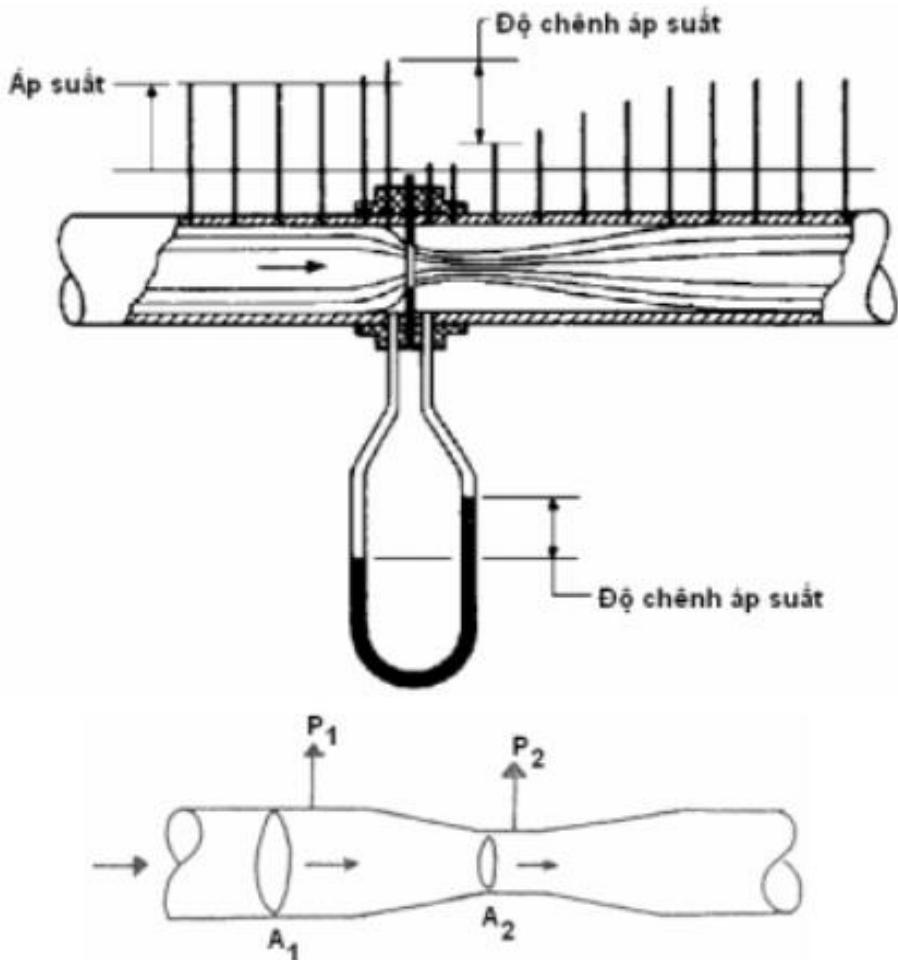
- A_r là tiết diện của khe hở tròn
- ρ_s Tỉ trọng của phao.
- ρ_1 Tỷ trọng chất lỏng.
- C Hệ số kể đến lực ma sát.

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 lệch 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

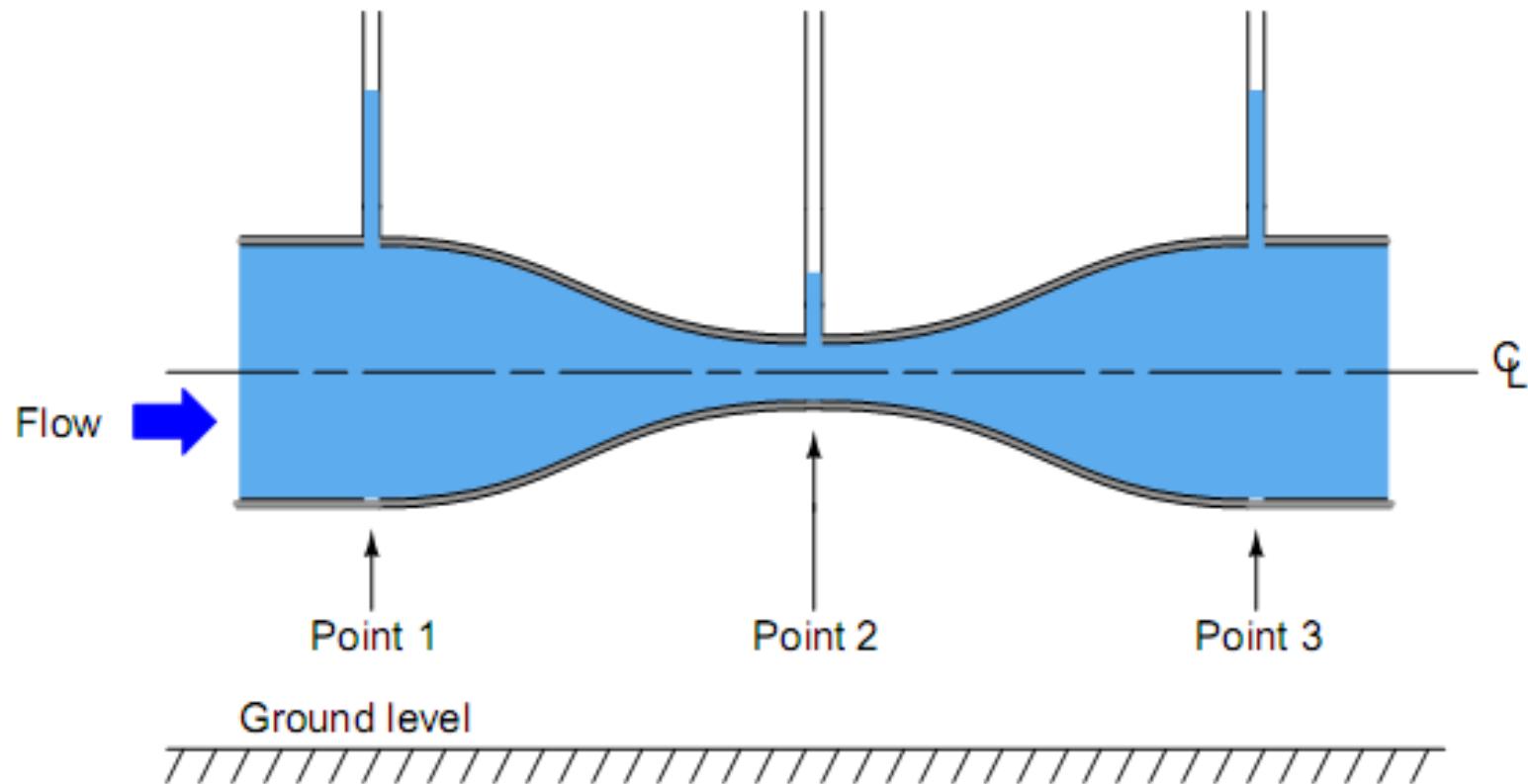
❖ Nguyên lý:

- 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:

$$Q = A \cdot v$$

$$A_2 v_2 = \sqrt{2} A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - (\frac{A_1}{A_2})^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

$$Q = \sqrt{2} A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - (\frac{A_1}{A_2})^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

ĐỊNH LUẬT BERNOULLI

- Lưu lượng chất lỏng chảy qua một đường ống:

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = \sqrt{2} A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - (\frac{A_1}{A_2})^2}} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

$$Q = k \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Đo lưu tốc- hiệu áp suất

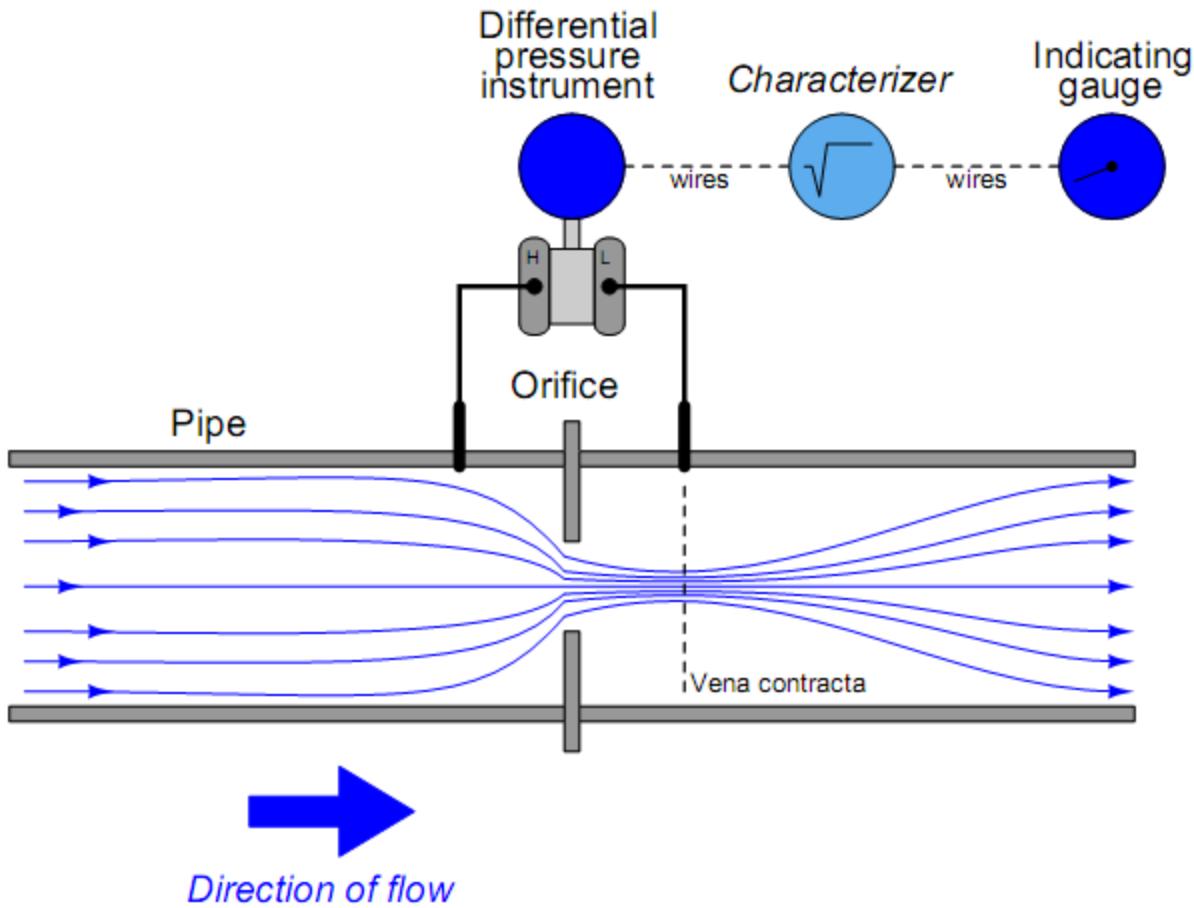
- Một trong những phương pháp được dùng rất nhiều trong Công nghiệp là cảm biến hiệu áp suất.
- Trong một ống dẫn chất lỏng hoặc khí, khi có một vật chắn đặt trên ống dẫn thì dòng chảy bị rối và tạo ra một hiệu áp suất trước và sau vật chắn. Theo công thức

• 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,...)

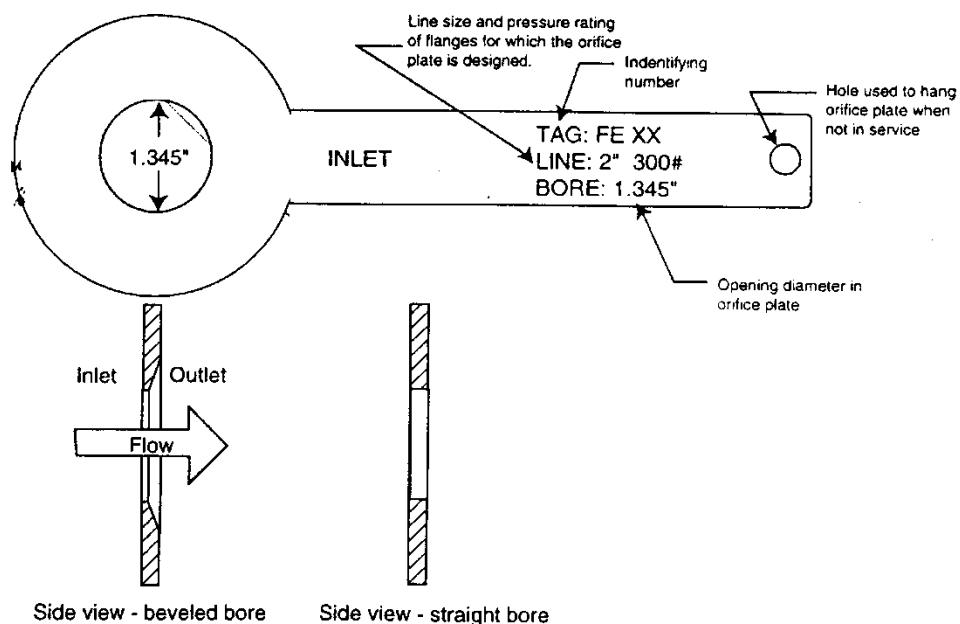
● Nhược điểm:

- Chỉ dùng với vật liệu sạch.

Cảm biến lưu lượng kiểu chênh áp suất

Tấm Orifice:

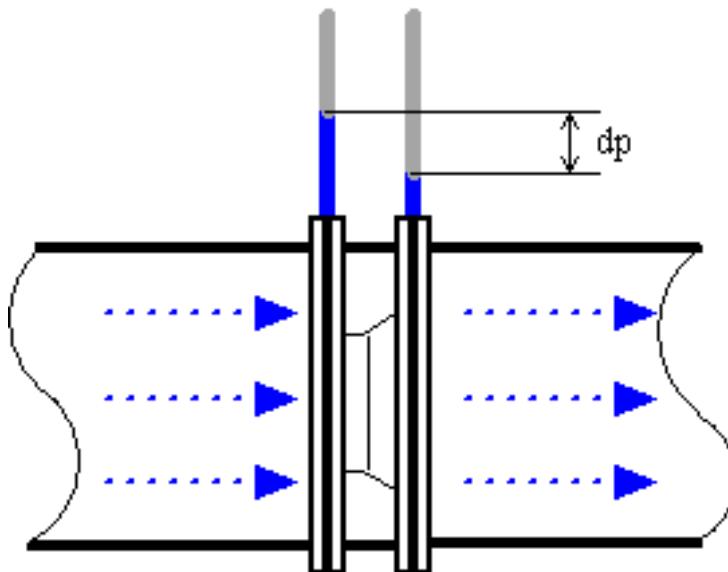
- ❖ Tấm orifice là dạng thiết bị giới hạn phồng biến nhất dùng cho cảm biến lưu lượng kiểu chênh áp. Một tấm orifice về cơ bản là một tấm kim loại mỏng với lỗ khoan ở giữa. Lỗ khoan phải nhẵn, một vết khía hoặc gờ có thể làm cho kết quả đọc bị sai lệch, tạo ra xoáy cho dòng chảy.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tấm Orifice:

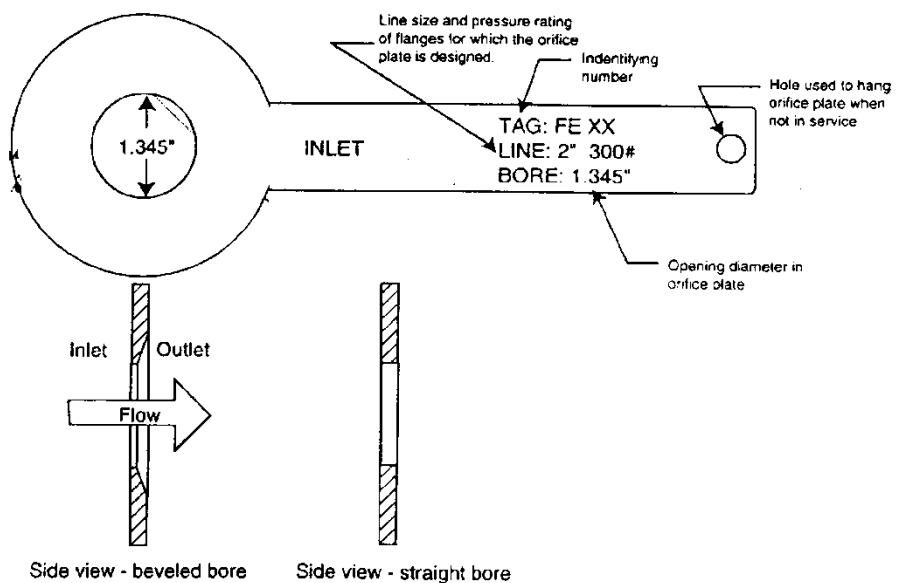
- ❖ Tấm “orifice” được đặt trong dòng chảy qua tròn giữa hai mặt bích nằm trên các ống nằm ngang hay thẳng đứng.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

Tấm Orifice:

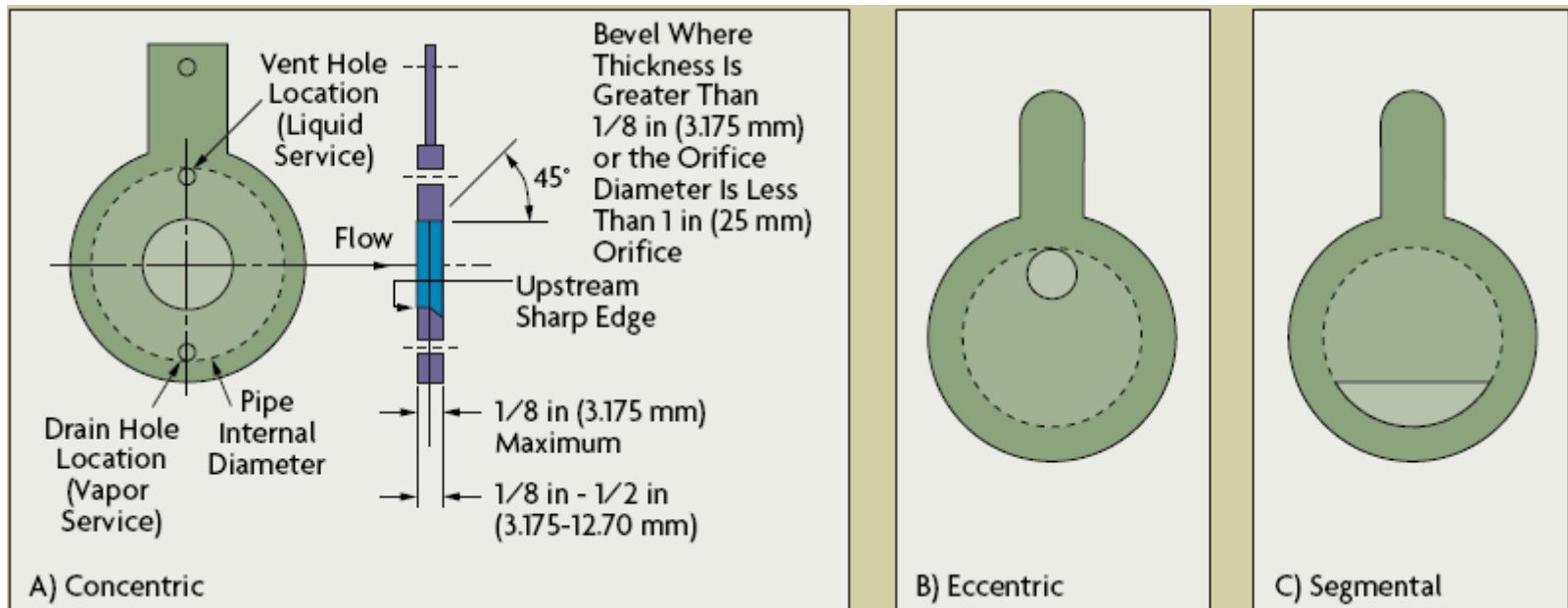
- ❖ Phía vào của tấm “orifice” thường được đánh dấu trên tay cầm của nó. Nó có thể được nhận dạng bằng cách kiểm tra lỗ khoan.
- ❖ Thông thường, các tấm “orifice” được đánh dấu các thông tin nhận dạng bên phía vào.



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tâm Orifice:

❖ Hình dáng lỗ khoan:



Đồng tâm

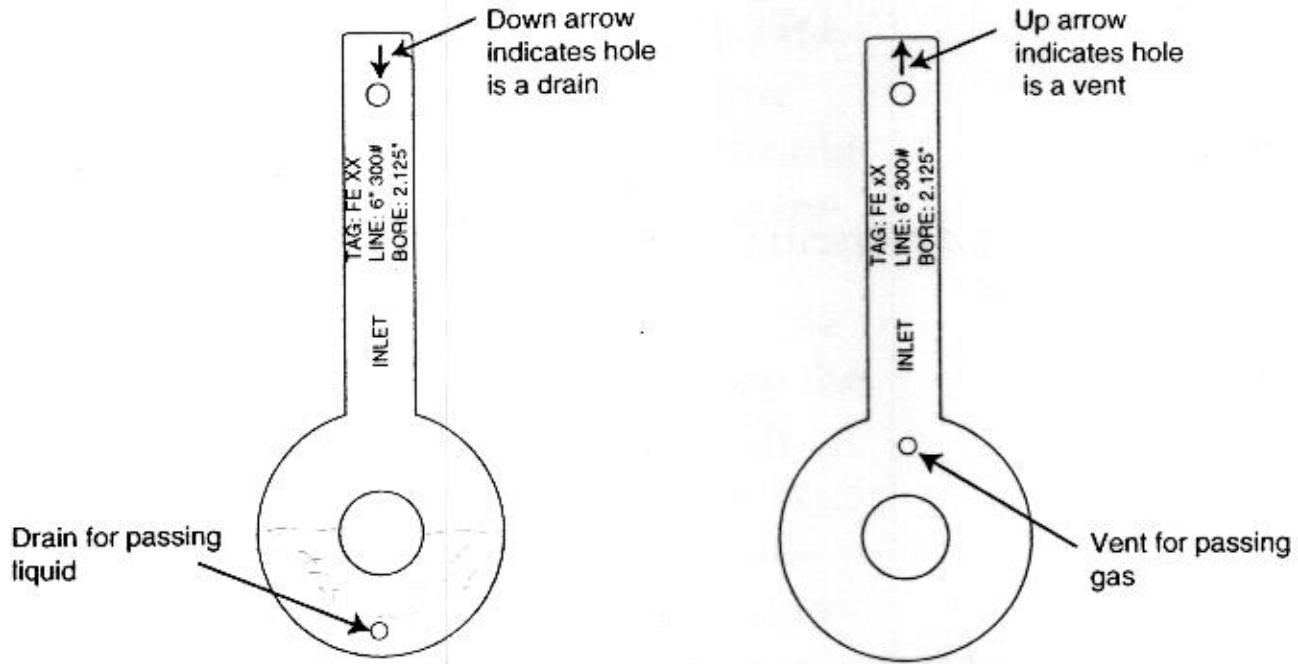
Lệch tâm

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.



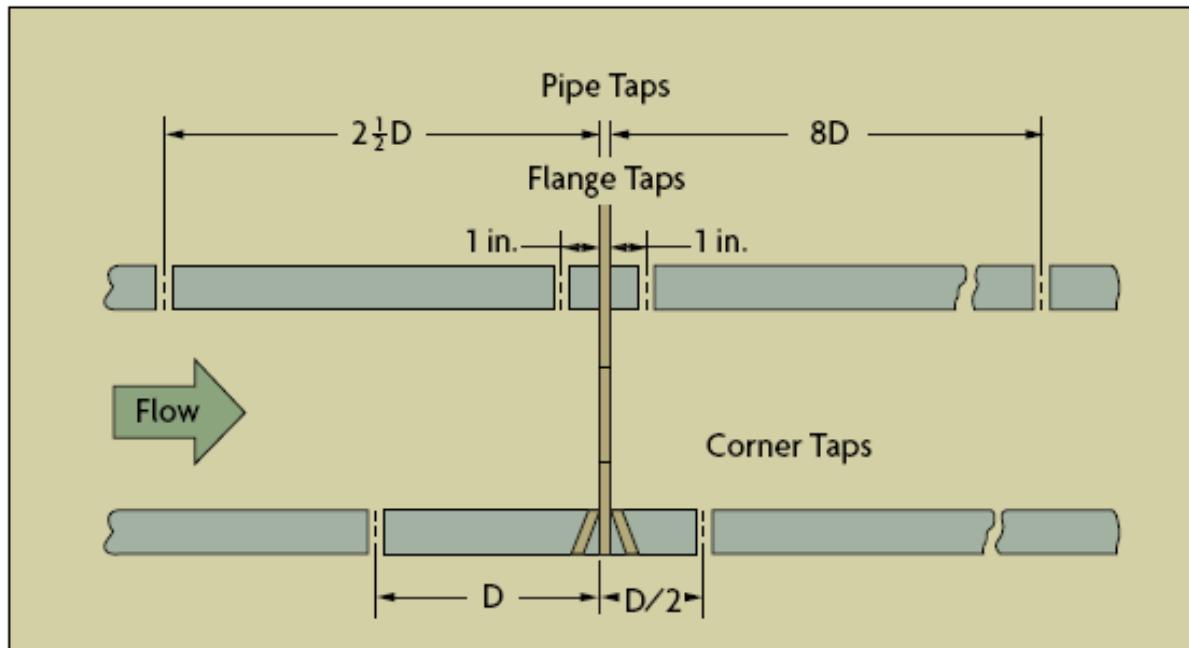
Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Tấm Orifice:

Cách xác định vị trí đo áp suất:

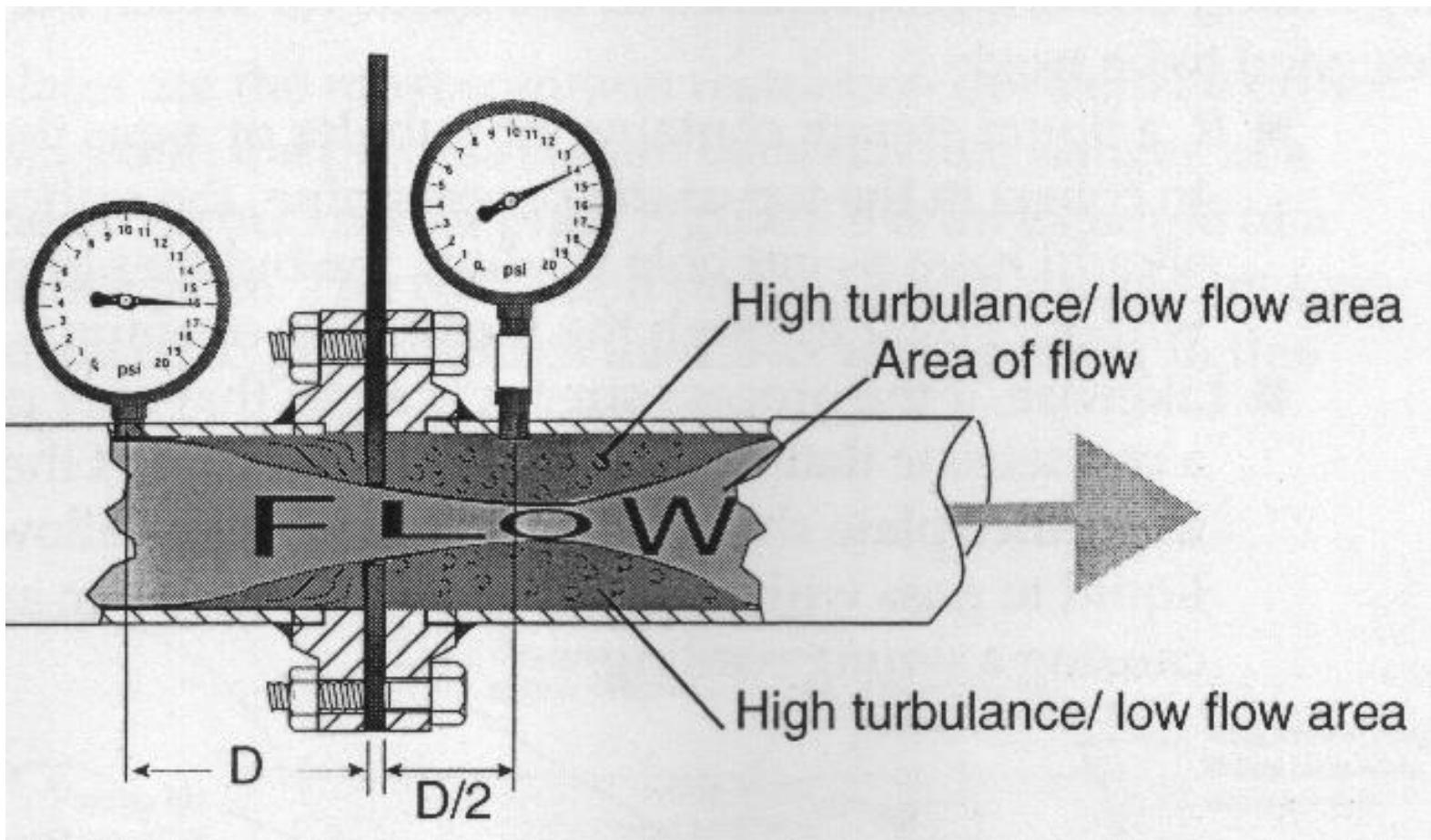
Phía áp suất cao đủ xa để không bị ảnh hưởng thay đổi áp suất do lỗ khoan gây ra, phía áp suất thấp ở vị trí tốc độ dòng chảy là cao nhất.

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

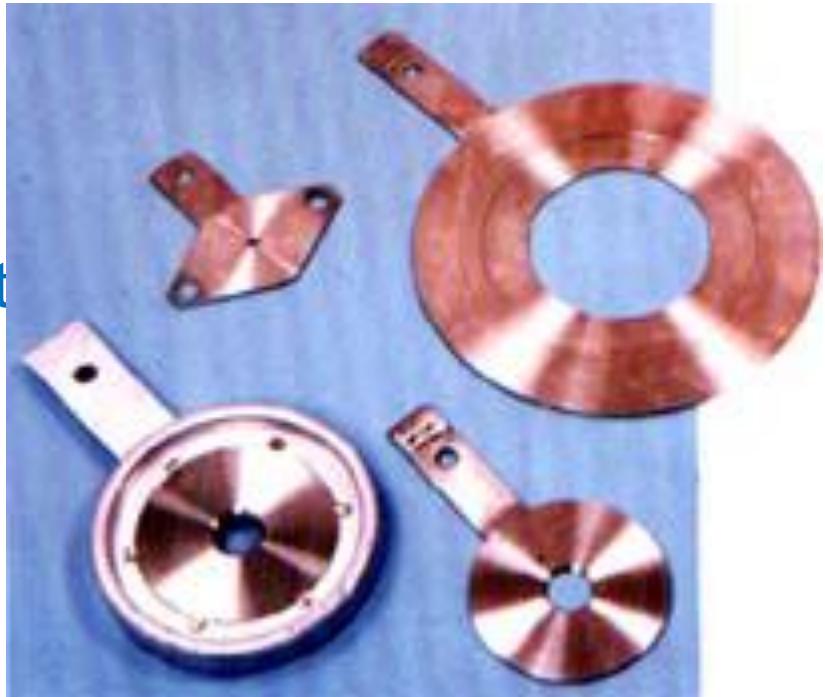
■ Tâm Orifice:

❖ Ưu điểm:

- ✓ Tạo ra chênh áp cao
- ✓ Giá thành thấp
- ✓ Dễ dàng lắp đặt và thay t

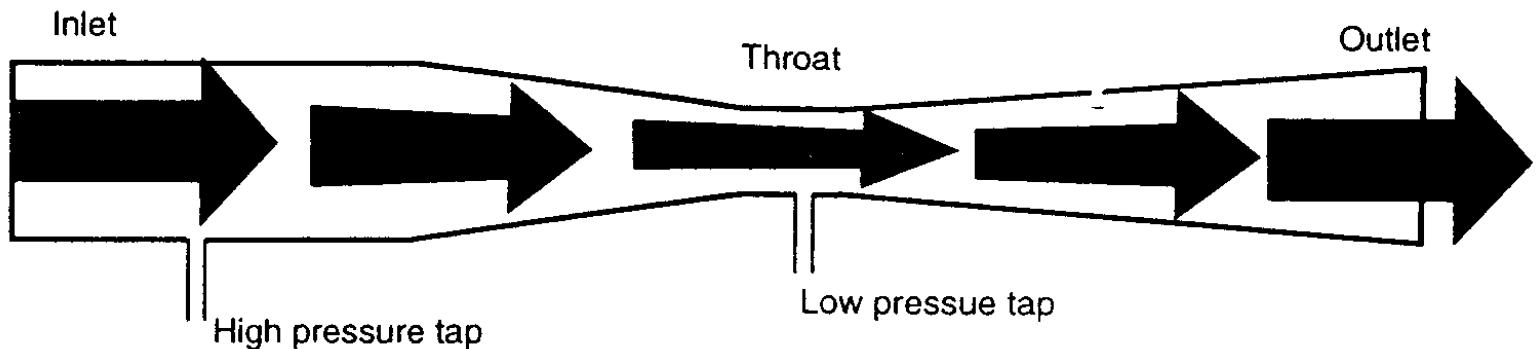
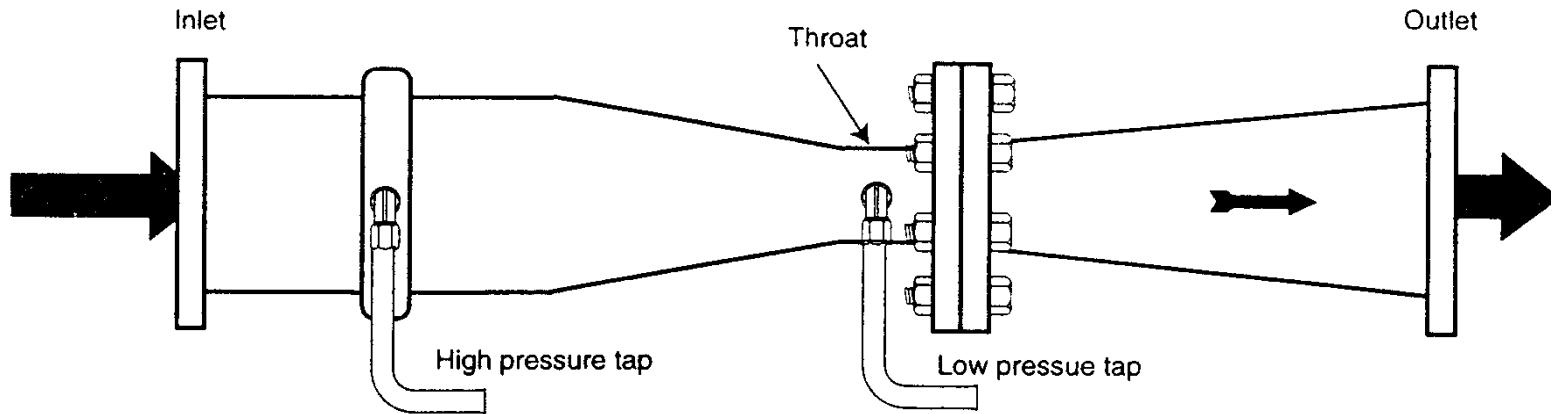
❖ Nhược điểm:

- ✓ Tăng chi phí về bơm



Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Ống Venturi:



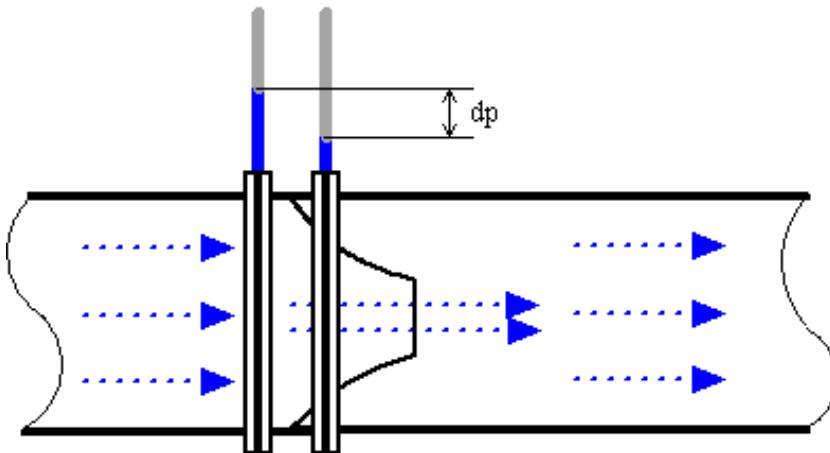
Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất

■ Ông Venturi:

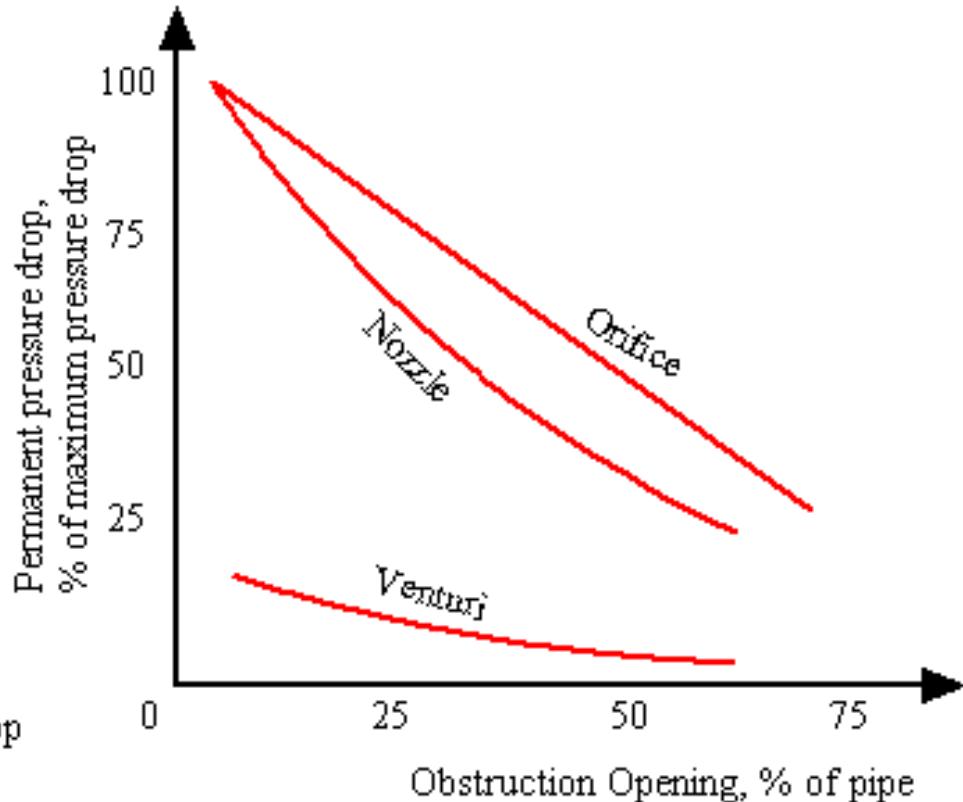
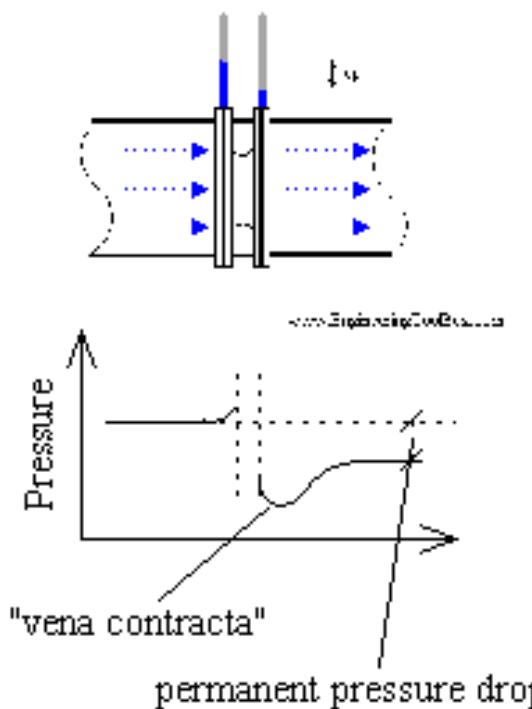
- ❖ Kém chính xác hơn so với tâm Orifice
- ❖ Chênh áp tạo ra cũng nhỏ hơn với tâm Orifice
- ❖ Công kềnh và đắt tiền
- ❖ Có thể sử dụng với vật liệu bẩn

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



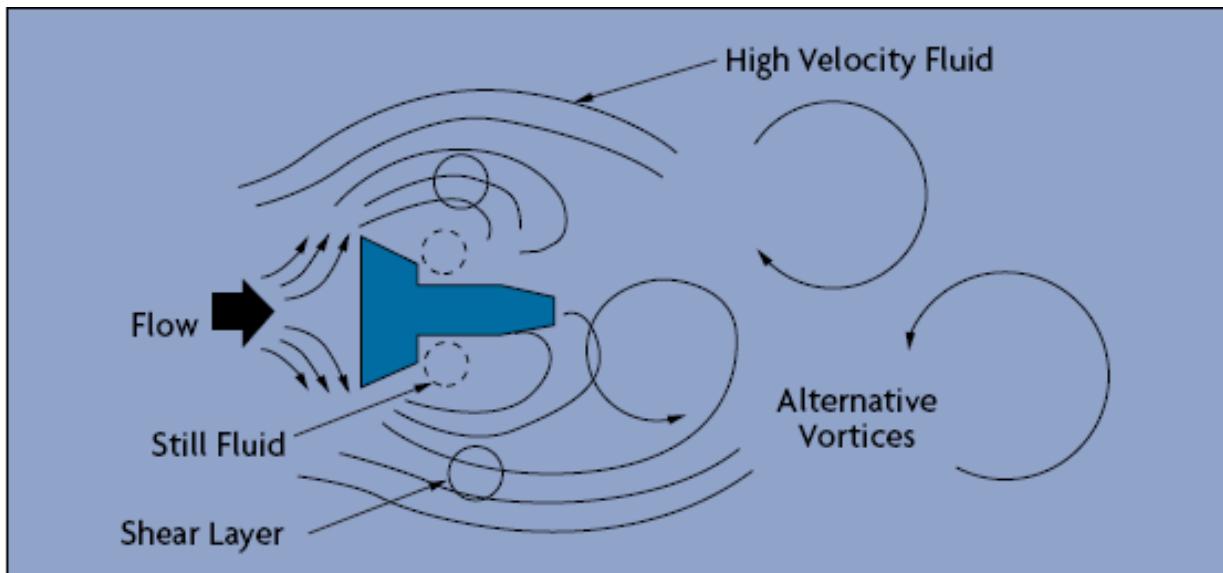
Cảm biến lưu lượng kiểu chênh lệch áp suất



Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

■ Nguyên lý hoạt động:

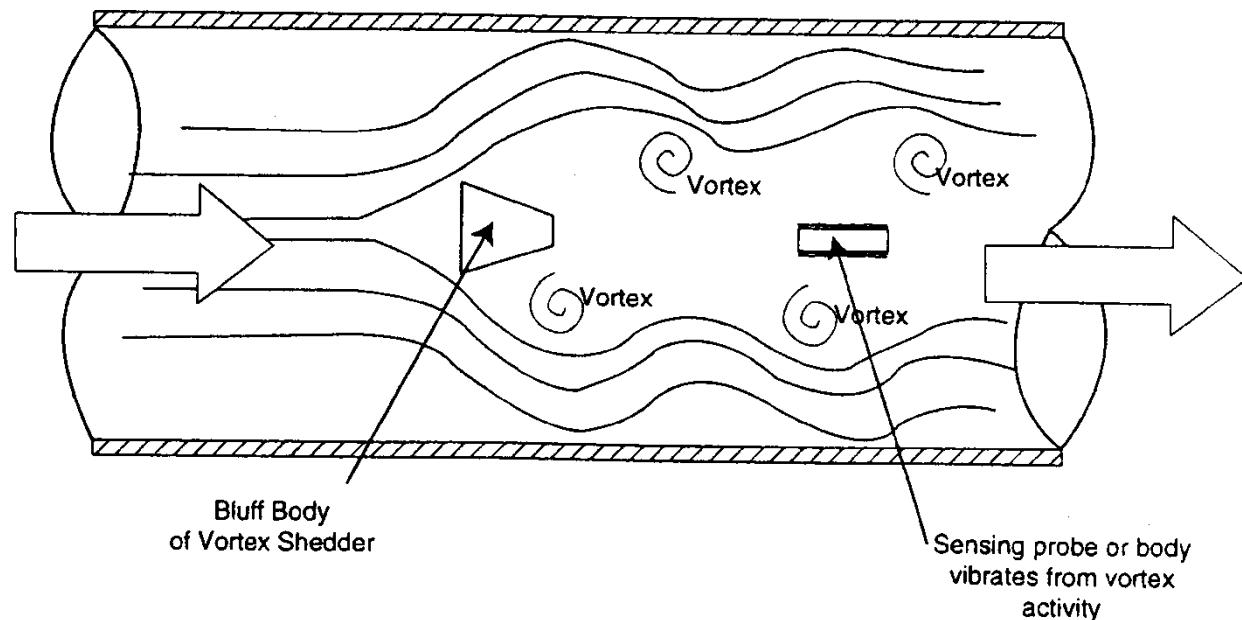
- ❖ Khi một dòng chất chảy chảy nhanh tác động vào một vật cản dốc đứng đặc vuông góc với dòng chảy sẽ tạo ra các vùng xoáy.
- ❖ Tốc độ tạo xoáy trong dòng chất chảy tăng lên khi lưu lượng tăng.



Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

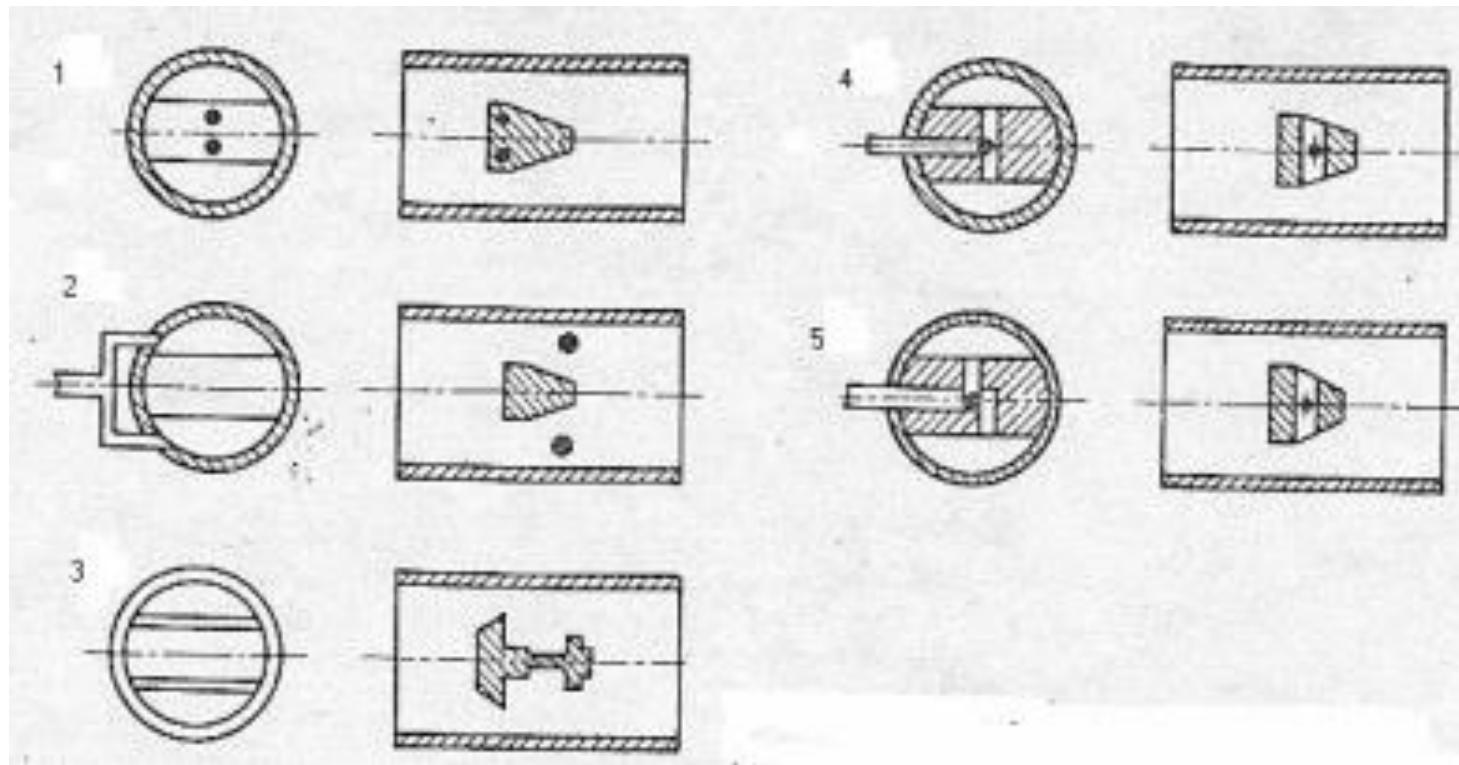
■ Cấu tạo:

- ❖ 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.

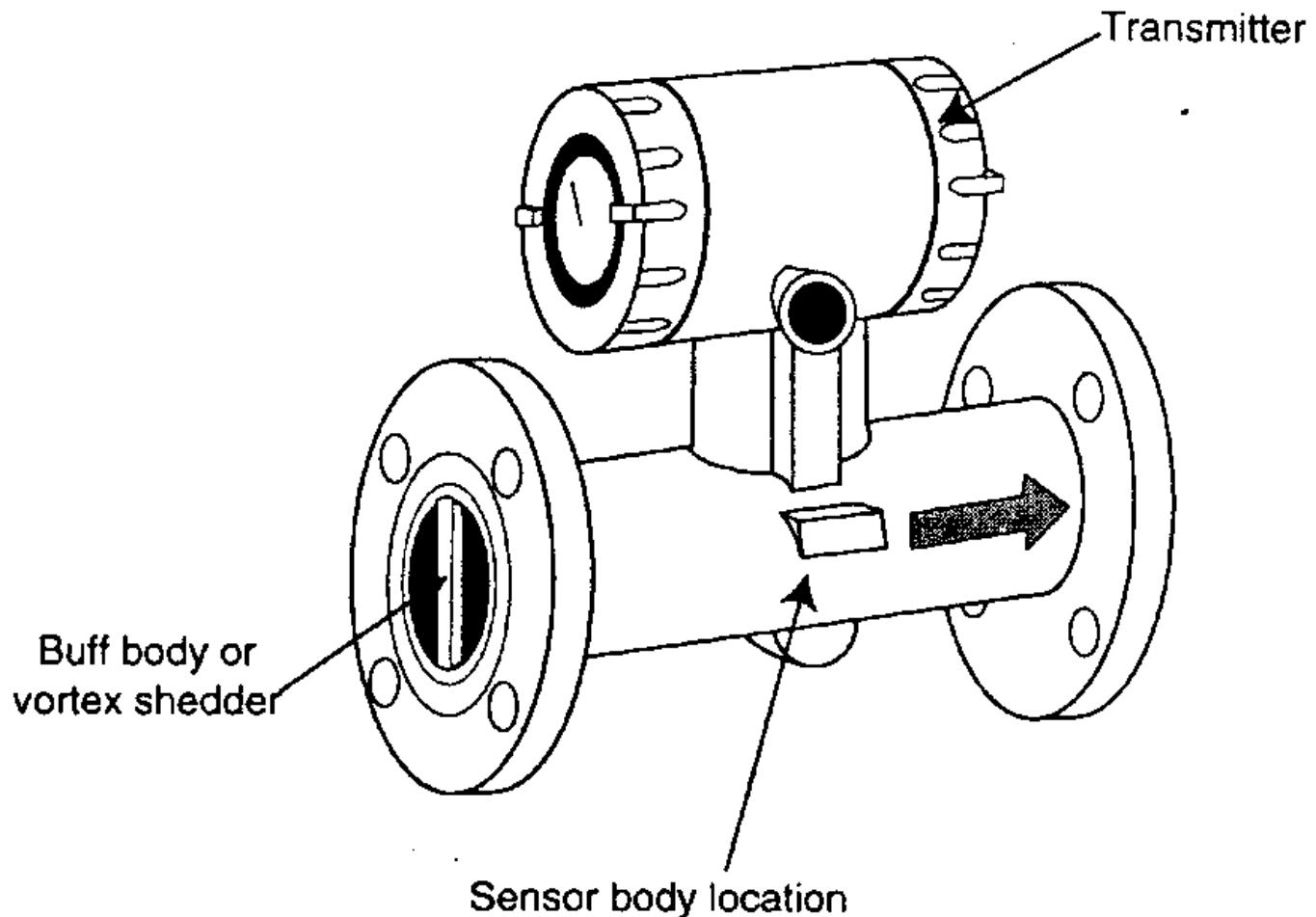


Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

Một số hình dạng vật chắn

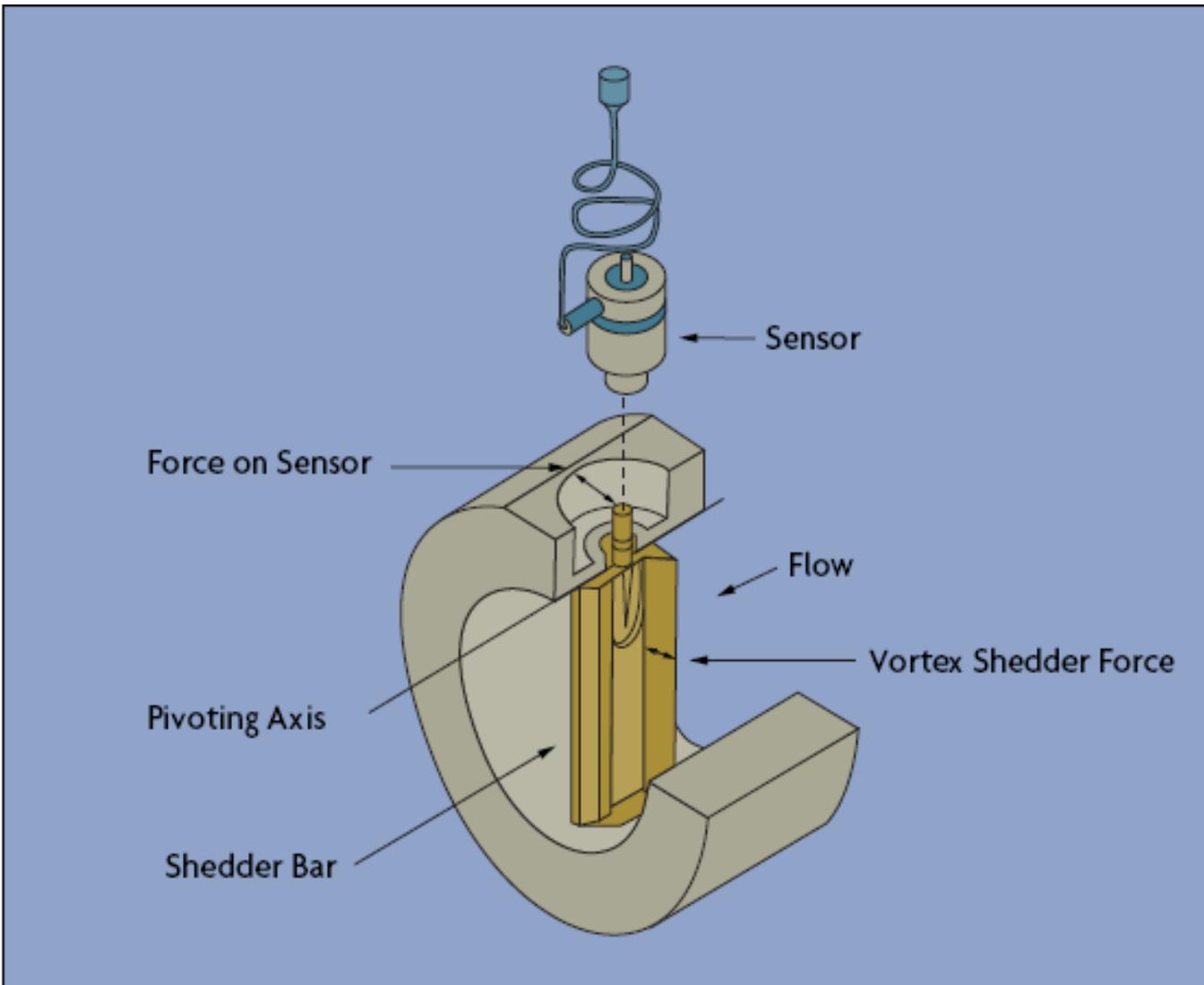


Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex



Profile of typical vortex flow sensor

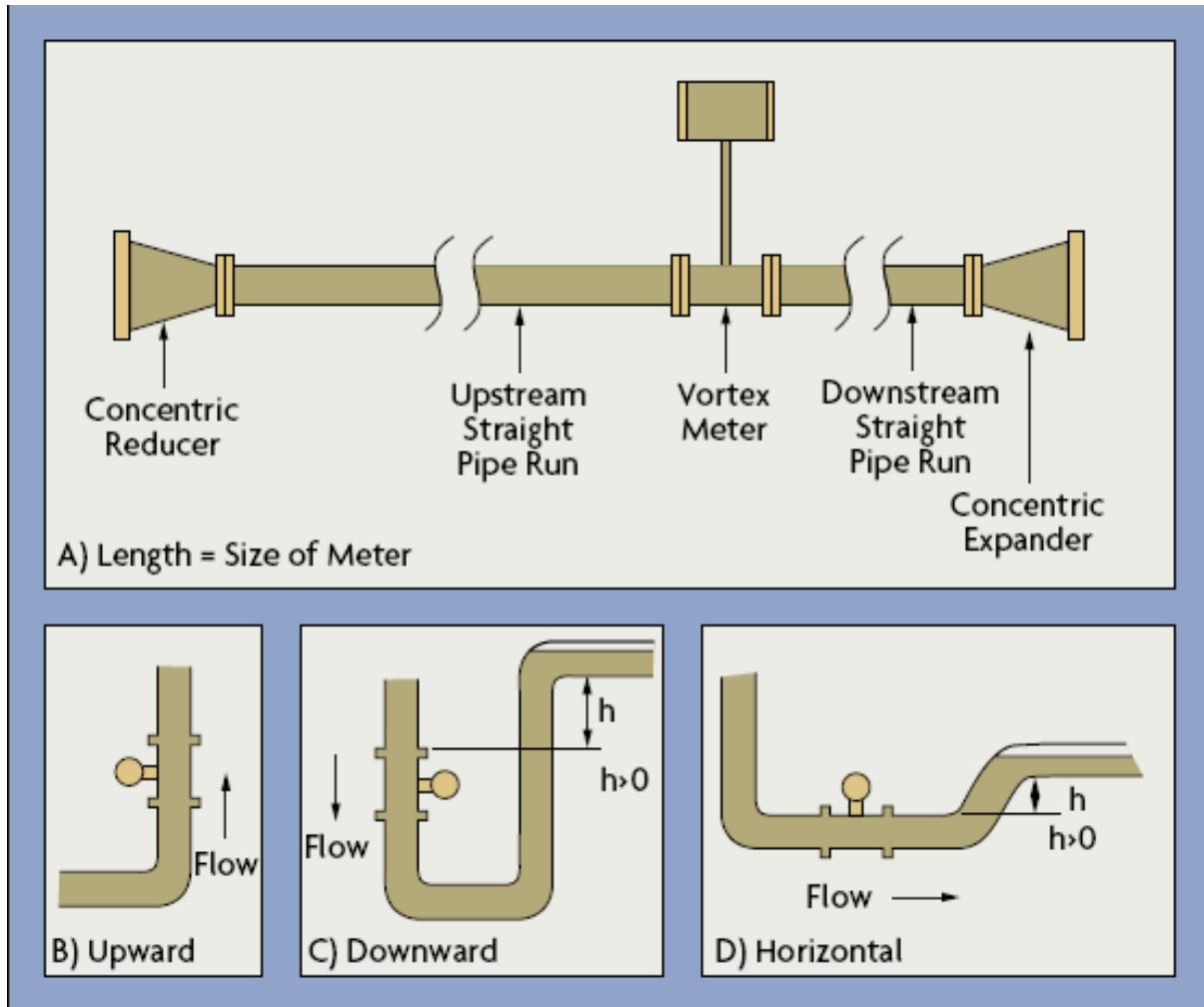
Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex



Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex



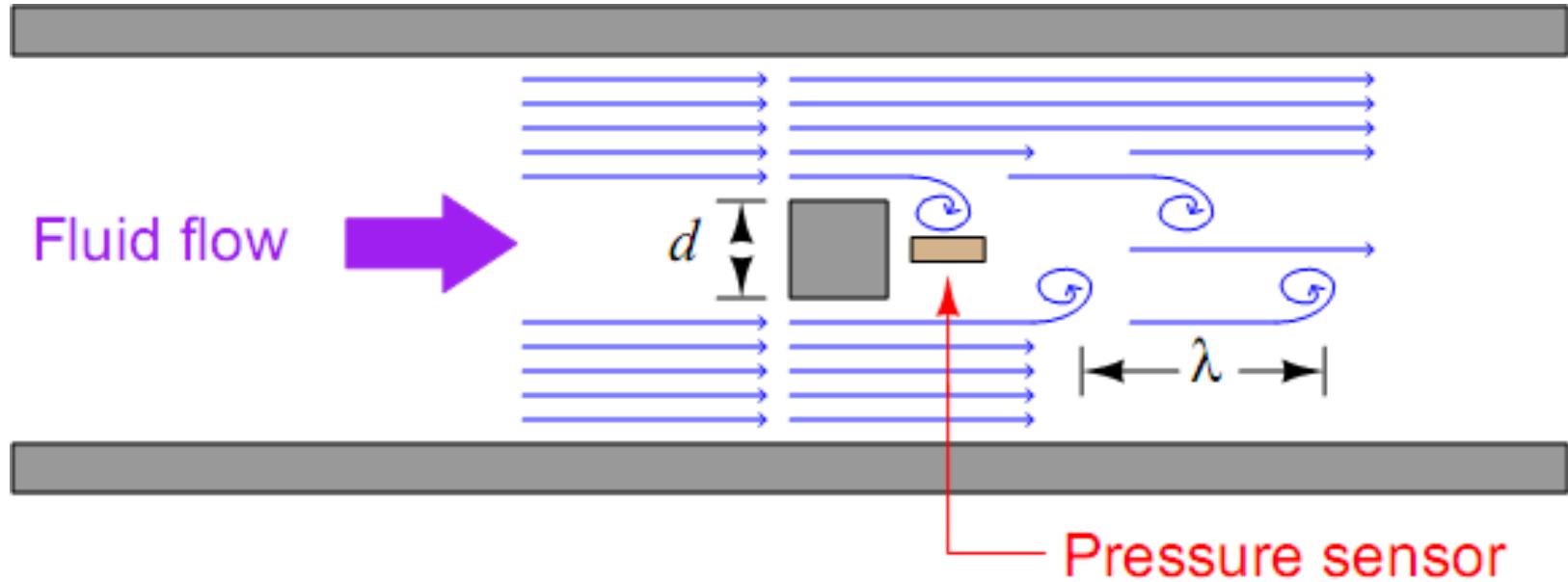
Figure 6
This photo shows a typical vortex meter. It may be installed horizontally or vertically in the pipe.



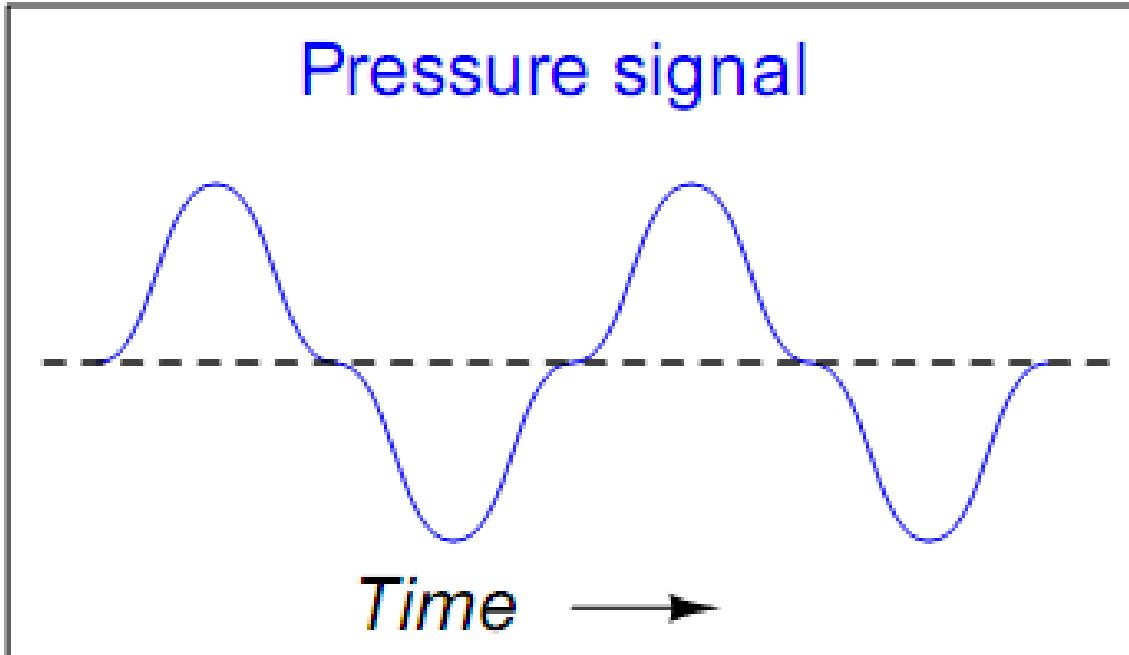
CẢM BIẾN VORTEX

- Người ta sử dụng một vật cản hình cô con (Bluff Body or Vortex Shredder) 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

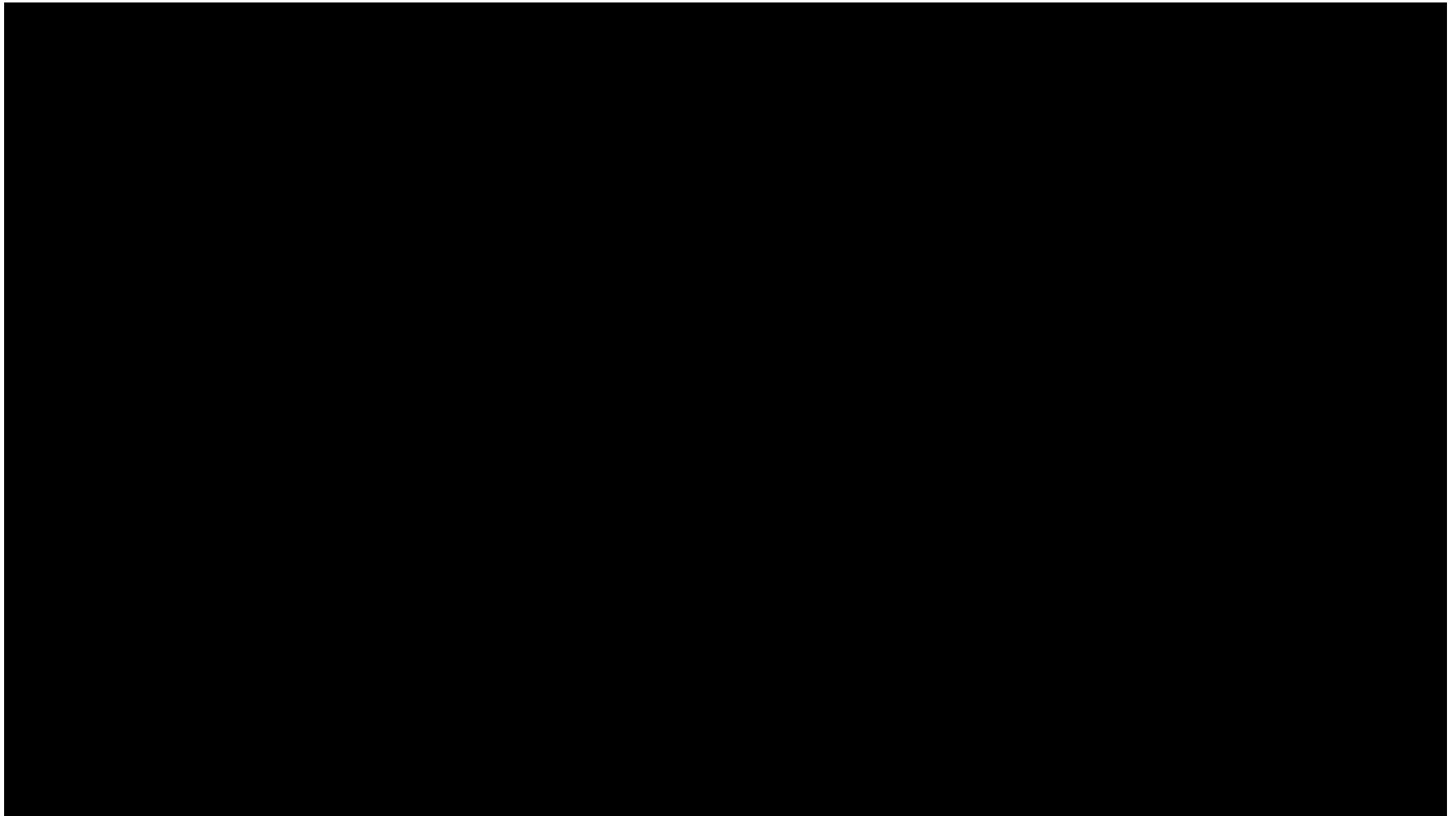
Cảm biến lưu lượng kiểu Vortex

■ 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:

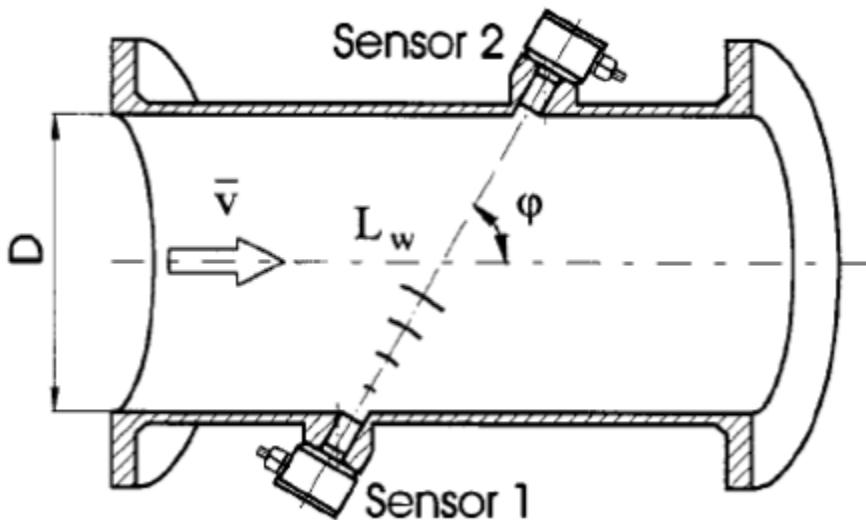
- Không thích hợp với tốc độ dòng thấp ($<3\text{ft/s}$).
- Bị ảnh hưởng bởi rung động bên ngoài.



Cảm biến kiểu siêu âm

■ Ultrasonic flowmeter

Cấu tạo:



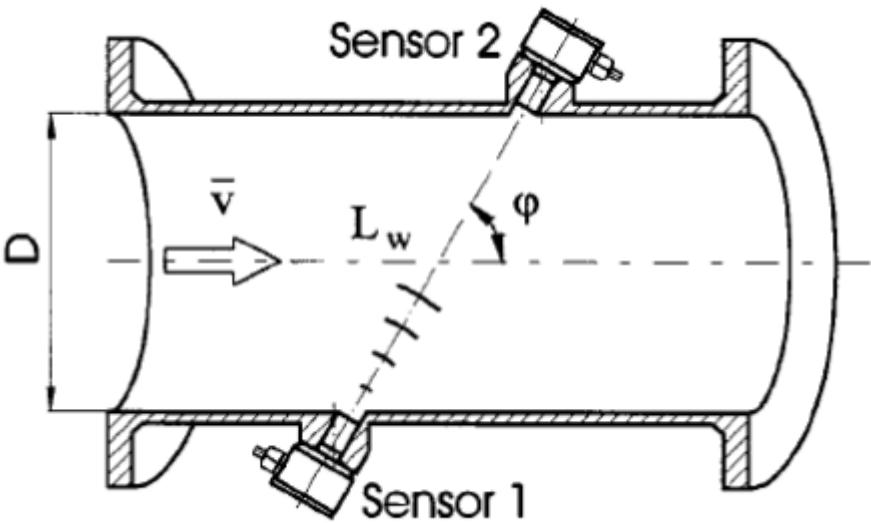
Có nhiều phương pháp để đo lưu lượng dựa vào cảm biến siêu âm, cách đơn giản và sử dụng rộng rãi trong công nghiệp là tính toán dựa vào khoảng thời gian của sóng truyền ngược dòng và xuôi dòng (transit time).

Cảm biến kiểu siêu âm

Ultrasonic flowmeter

$$t_{12} = \frac{L_w}{c + v_a \cos \varphi}$$

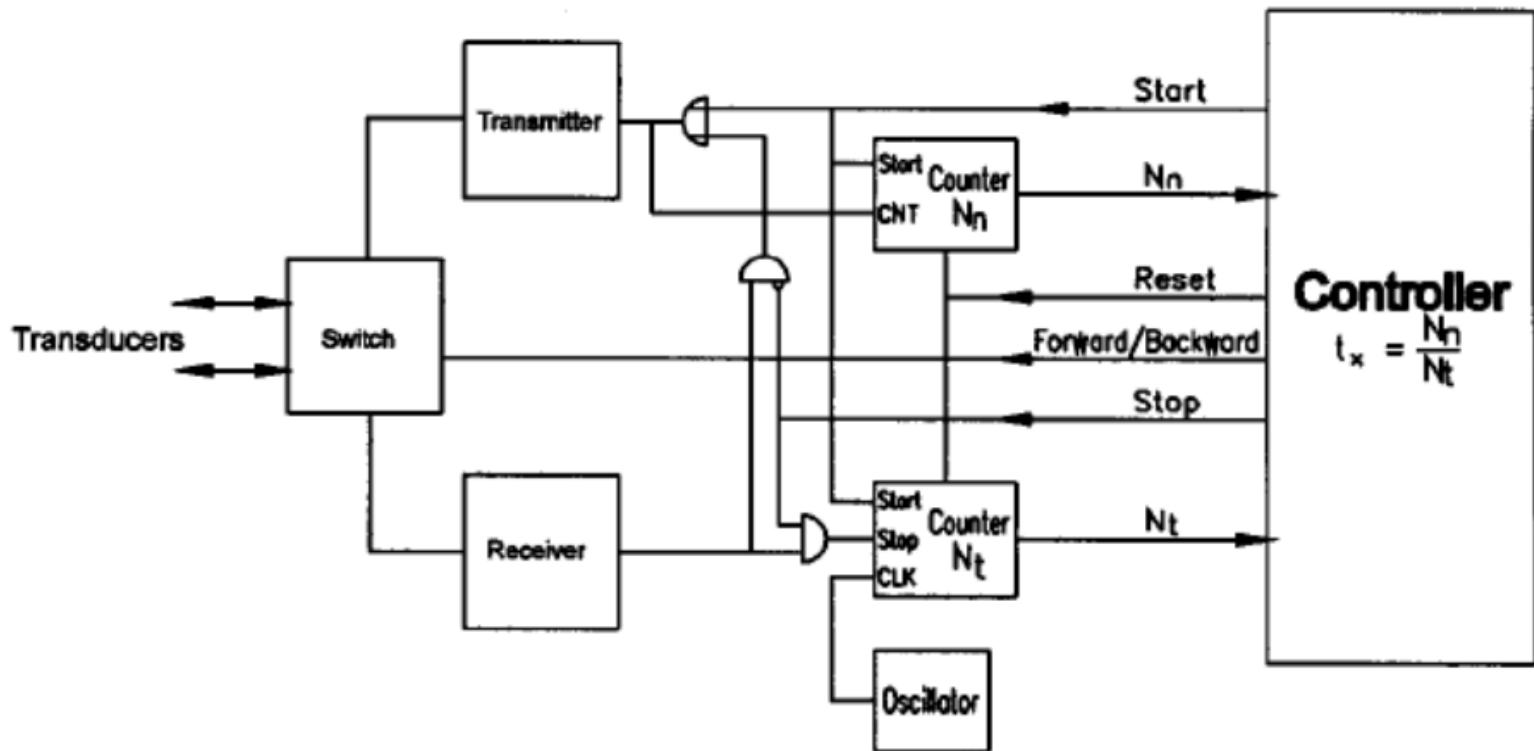
$$t_{21} = \frac{L_w}{c - v_a \cos \varphi}$$



$$\bar{v}_a = \frac{L_w}{2 \cos \varphi} \left(\frac{1}{t_{21}} - \frac{1}{t_{12}} \right) = \frac{D}{2 \cos \varphi \sin \varphi} \left(\frac{1}{t_{21}} - \frac{1}{t_{12}} \right)$$

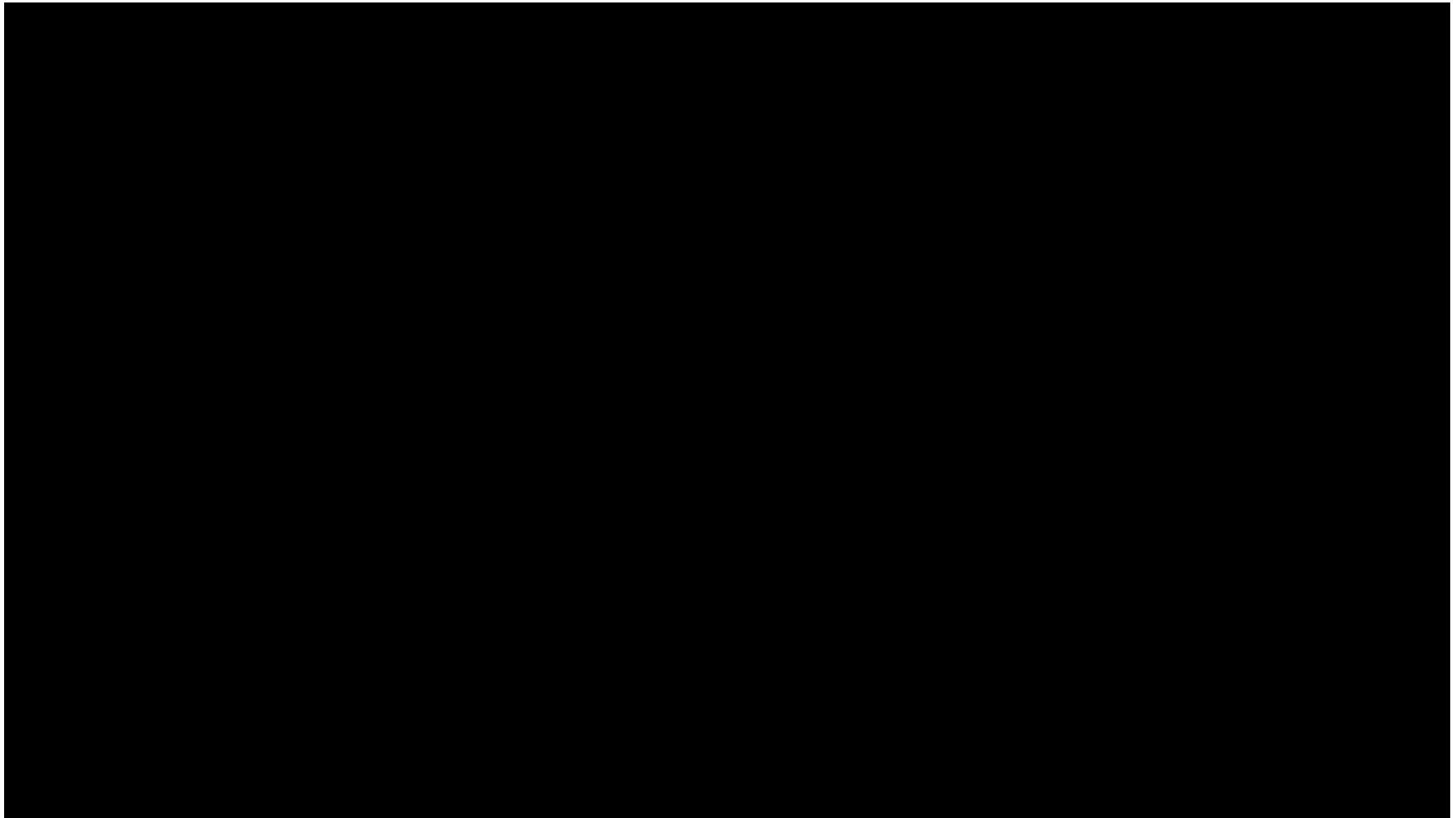
Cảm biến kiểu siêu âm

Ultrasonic flowmeter





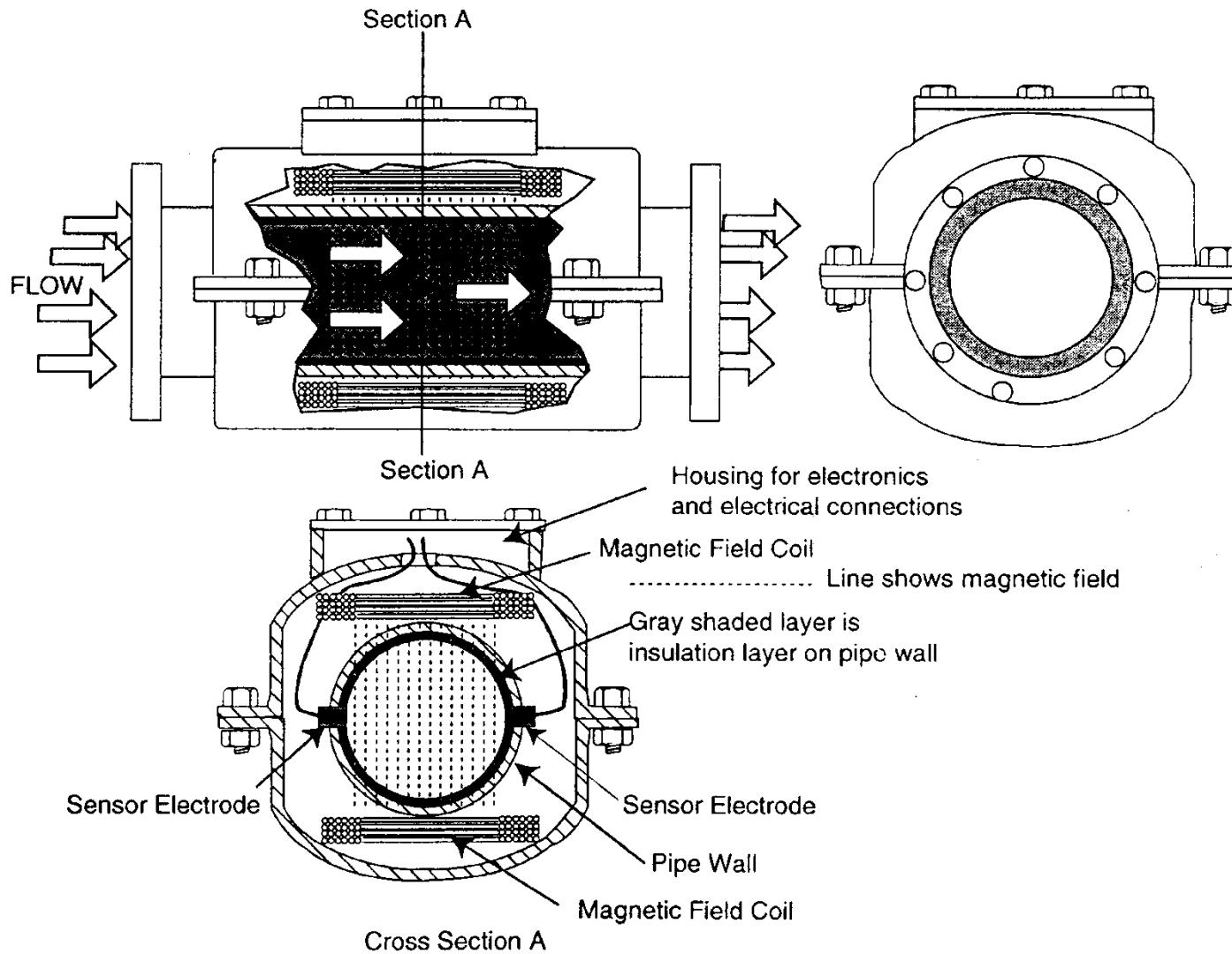
Cảm biến kiểu siêu âm



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

$$E = Bd \frac{Q}{A}$$

- Trong đó: $A = 4\pi d^2$:

$$E = Bd \frac{Q}{4\pi d^2}$$

- Từ đó ta tìm được lưu lượng

$$Q = \frac{\pi d E}{4B}$$

Cảm biến lưu lượng kiểu từ 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

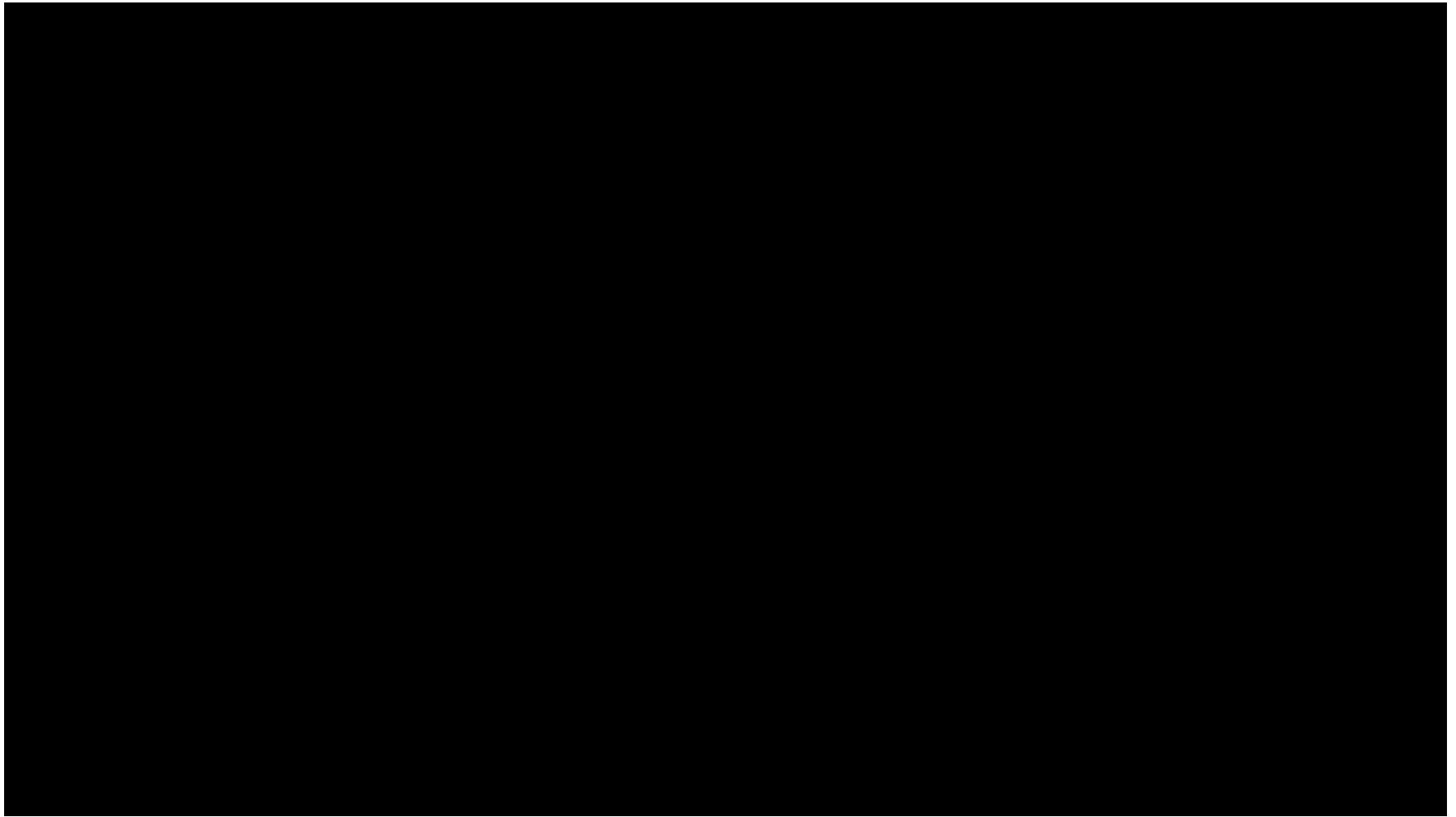
Cảm biến lưu lượng kiểu từ tính

■ 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 chổ

■ 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

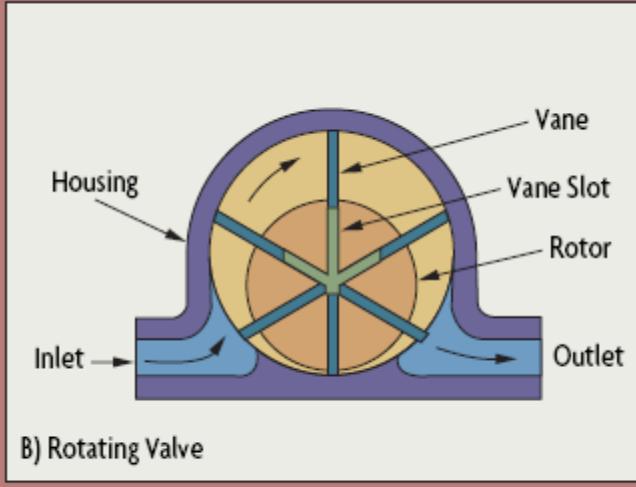
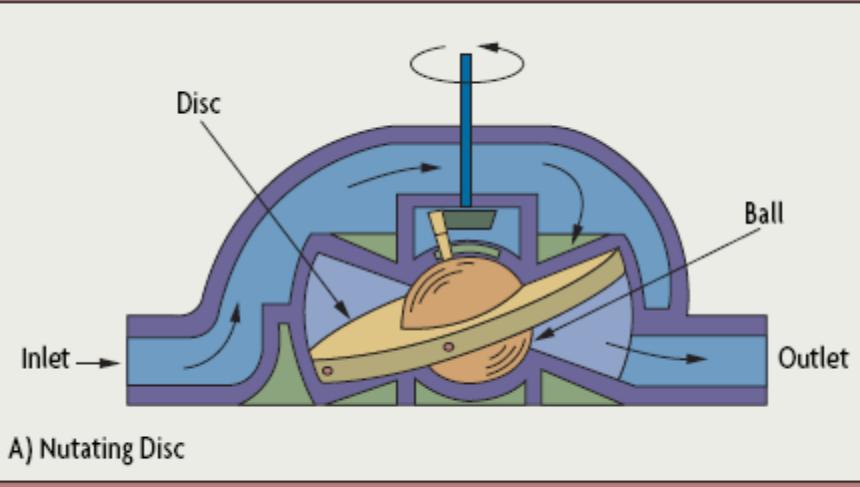


Figure 3-1: Positive Displacement Flowmeter Designs

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

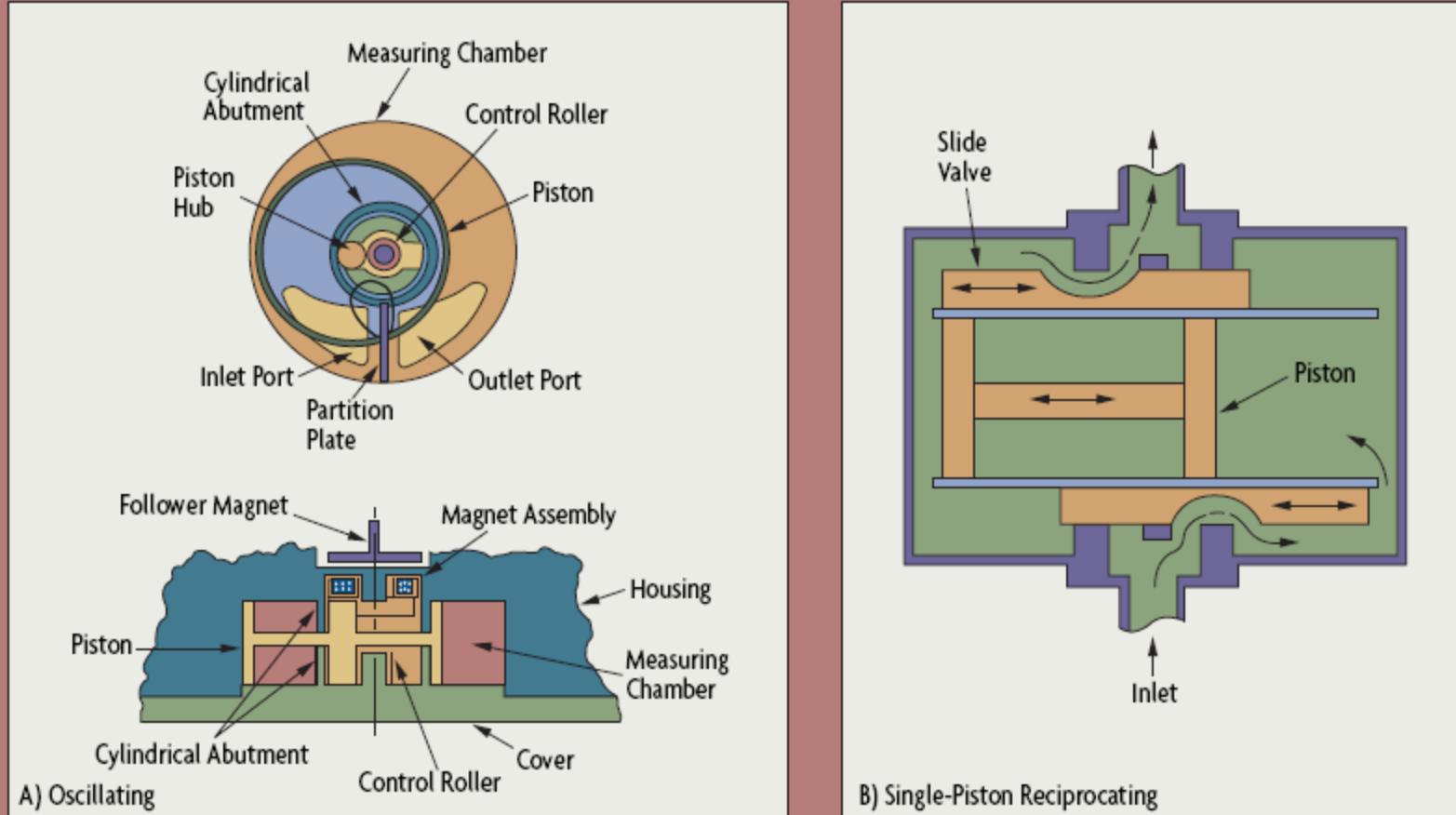


Figure 3-2: Piston Meter Designs

Cảm biến lưu lượng kiểu thế chõ

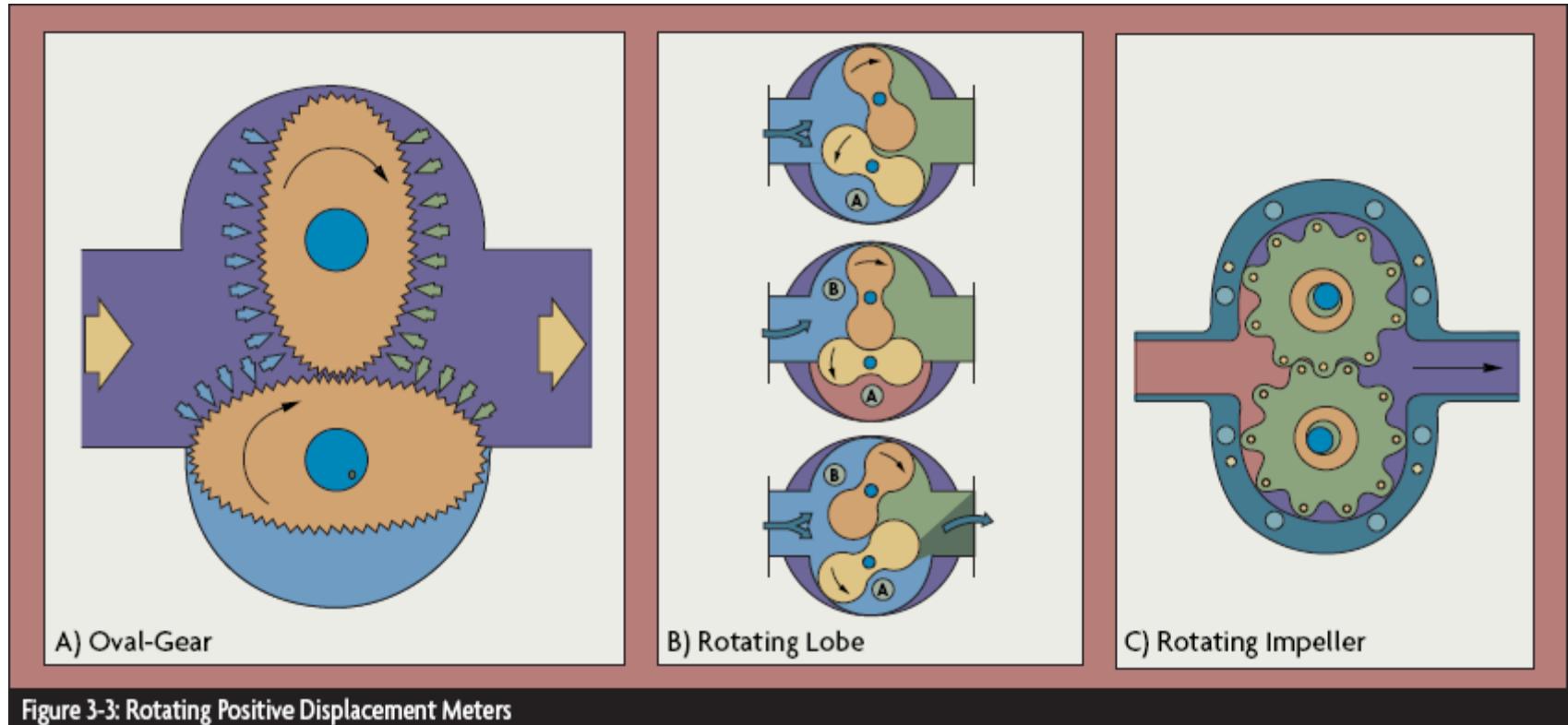


Figure 3-3: Rotating Positive Displacement Meters

Cảm biến lưu lượng kiểu thẻ 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:

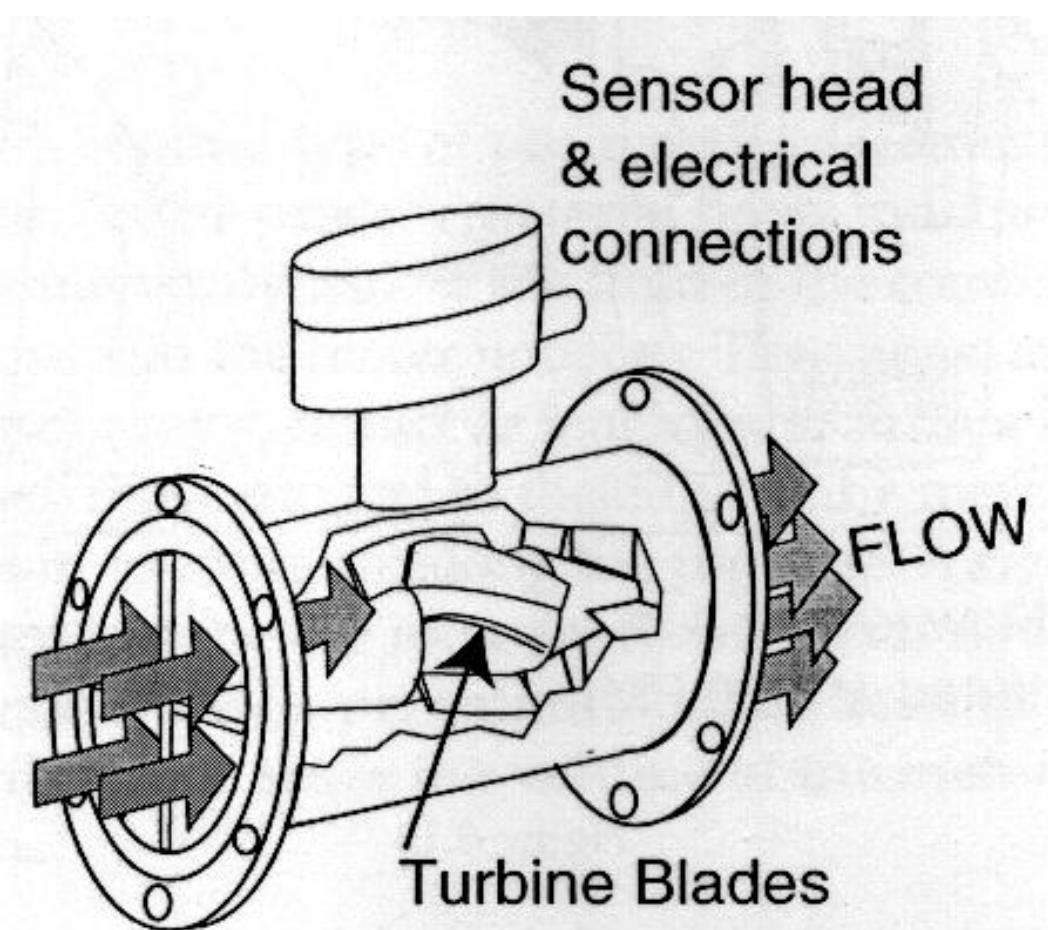
- ❖ Khi một chất lỏng chảy qua sẽ làm tuabin xoay với tốc độ tỷ lệ với lưu lượng chất lỏng.
- ❖ Khi chất lỏng đi qua khắp cánh rotor, chúng quay.
- ❖ Một đầu cảm biến được gắn trên thành của tuabin, máy đo sẽ phát hiện được sự hiện diện của từ trường nam châm vĩnh cửu (được gắn trên rotor hoặc trên một 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 rói là nhỏ nhất khi tiếp xúc với cánh tuabin
- ❖ Phải sử dụng bộ lọc và thiết bị nắn dòng chảy

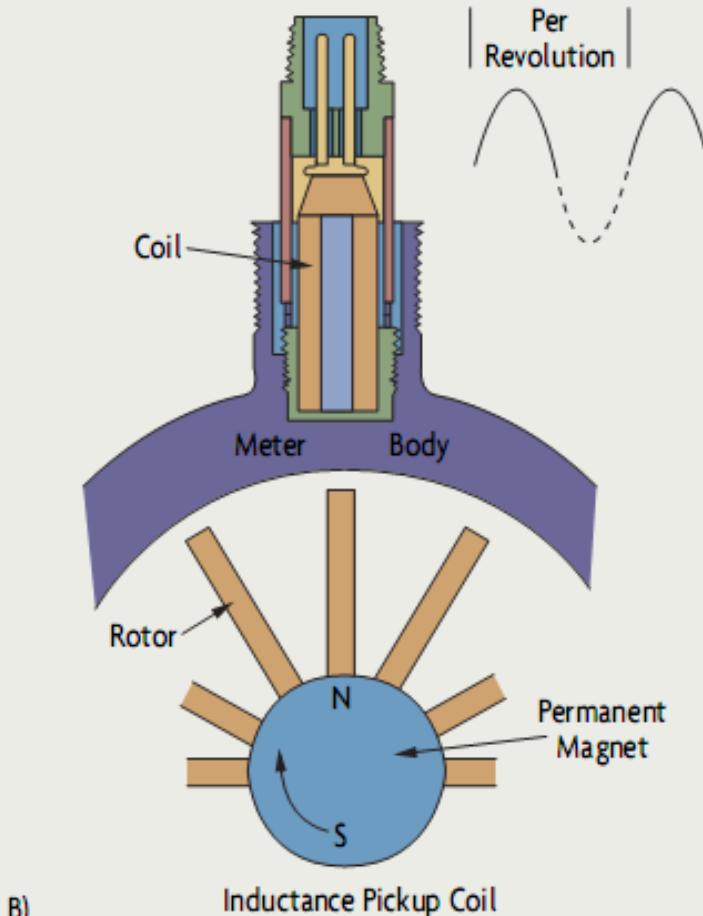
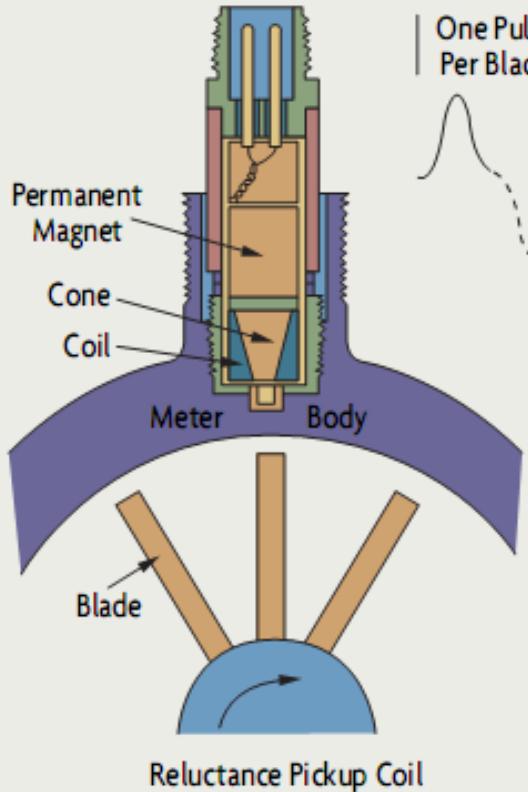
Cảm biến lưu lượng kiểu tuabin



Nguyên Lý

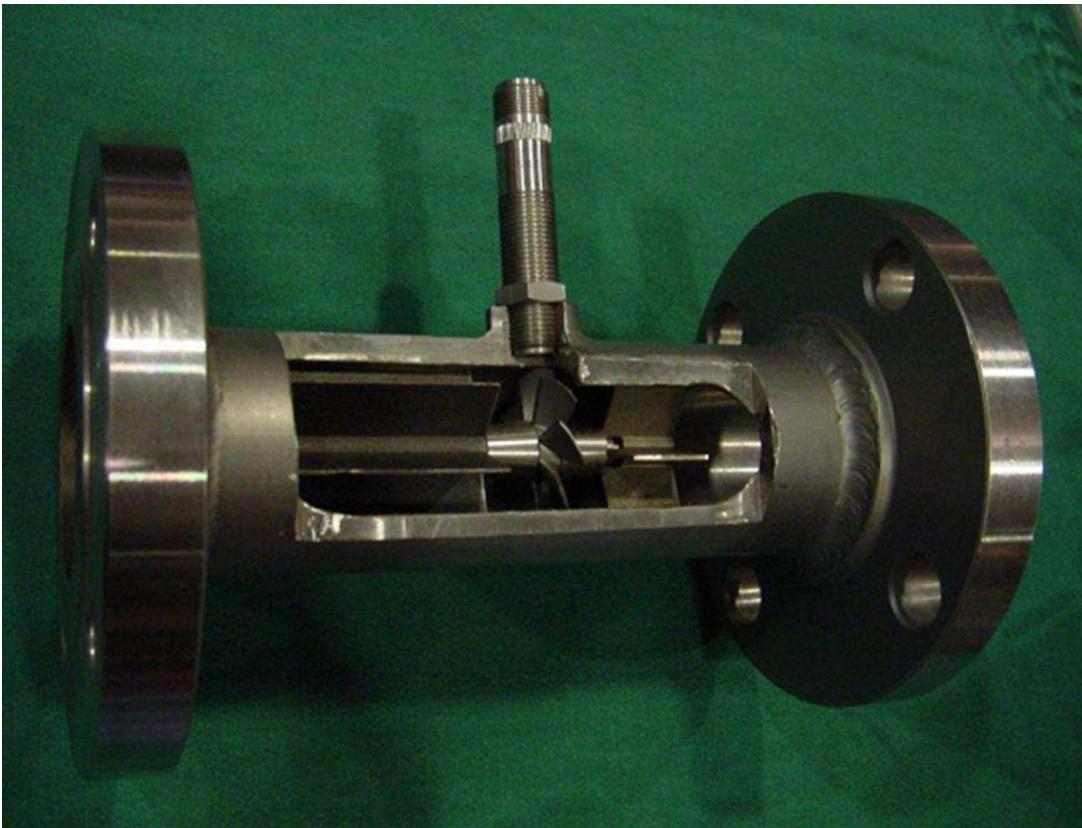
- Cảm biến này được phát minh bởi Reinhard Woltman trong thế kỉ 18.
- Tuabin gồm nhiều cánh quạt sẽ quay khi có dòng lưu chất chảy qua.
- Tuabin quay có thể được phát hiện bởi một từ trở trên các cánh tuabin.
- Nguyên lý hoạt động dựa vào nguyên lý Hall

Nguyên Lý



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.

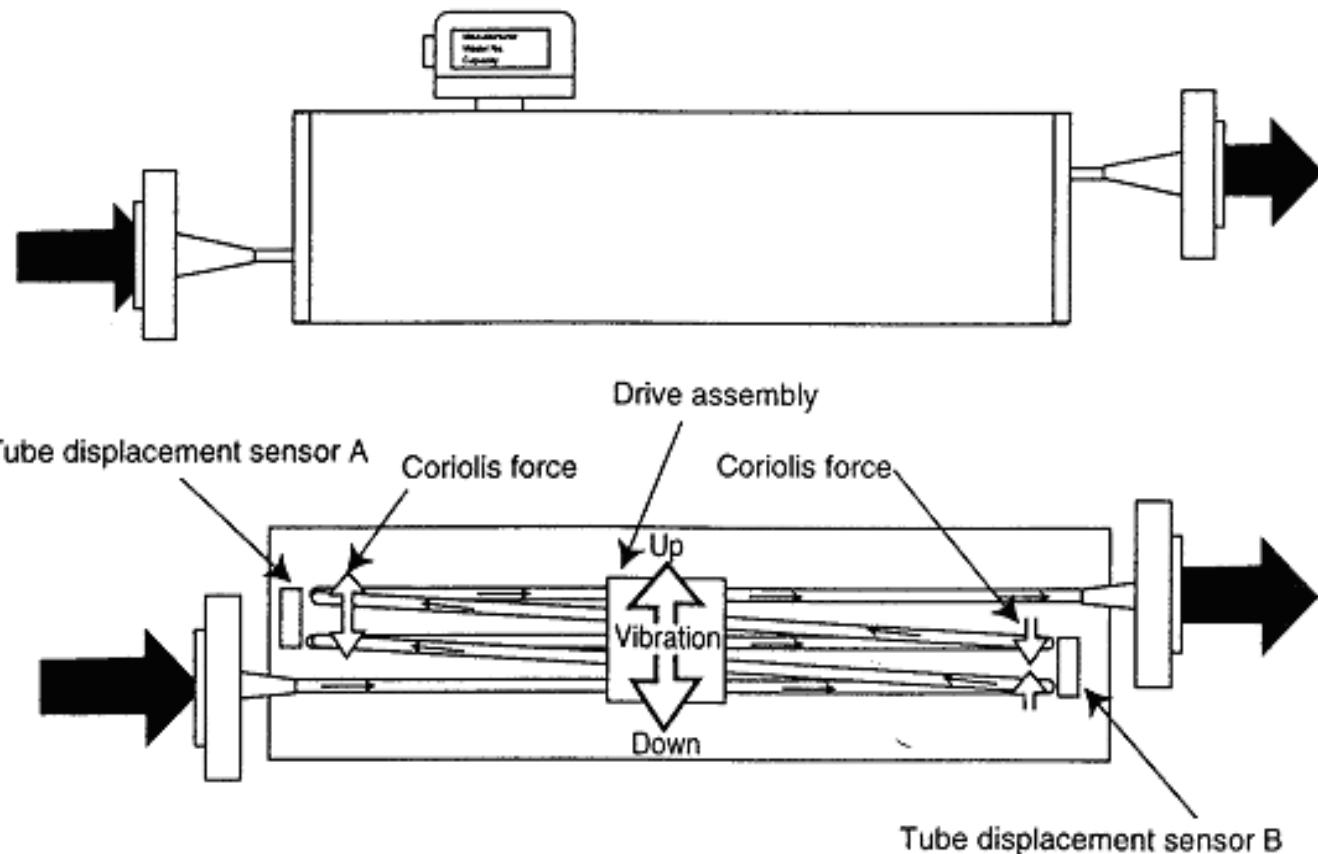
Khi ống được điền đầy chất lỏng, tần số và biên độ dao động giảm xuống. Chất lỏng càng nặng, tần số và biên độ càng giảm.

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

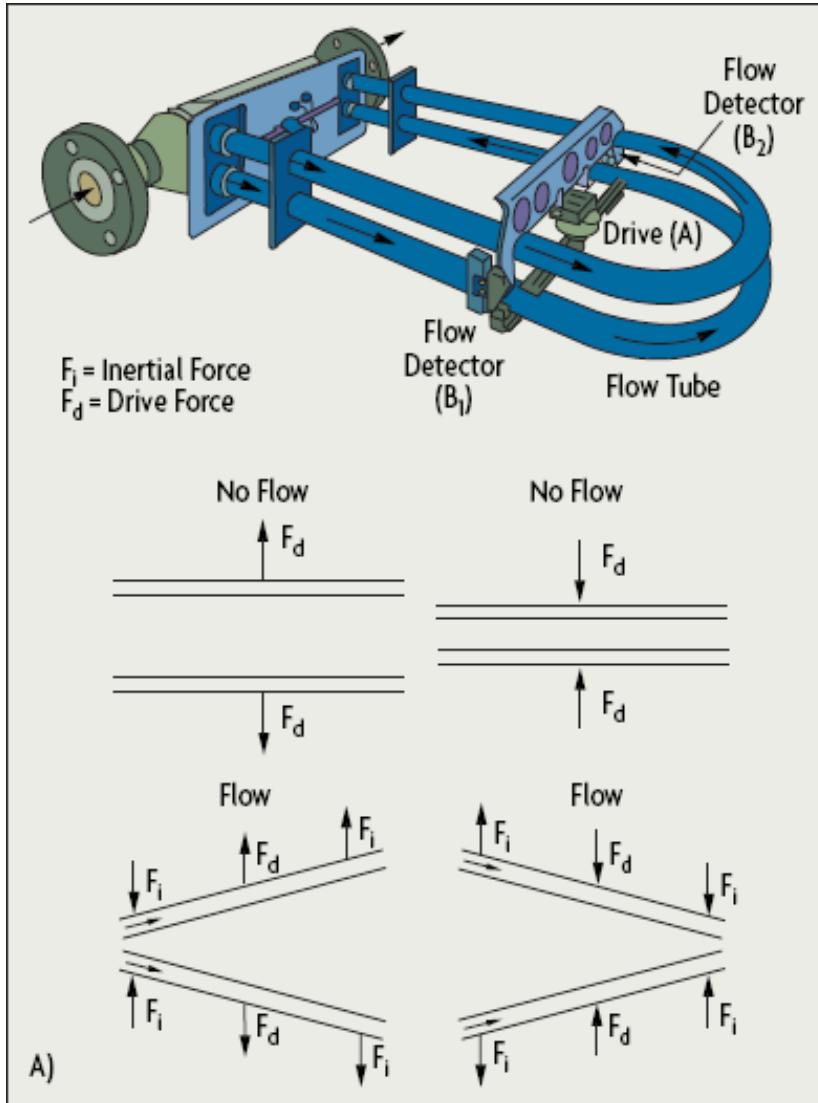
Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng

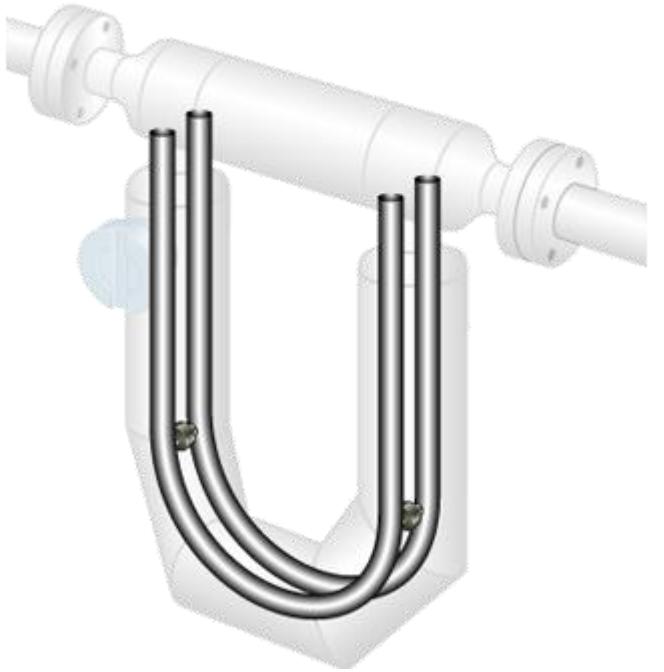
- Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng dựa vào động lực:

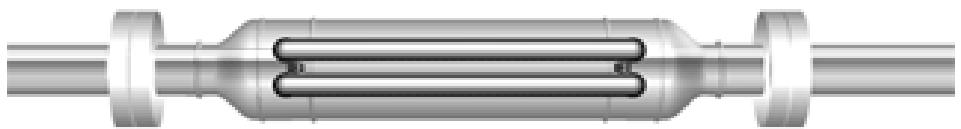


Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng

- Cảm biến lưu lượng kiểu khối lượng dựa vào động lực:



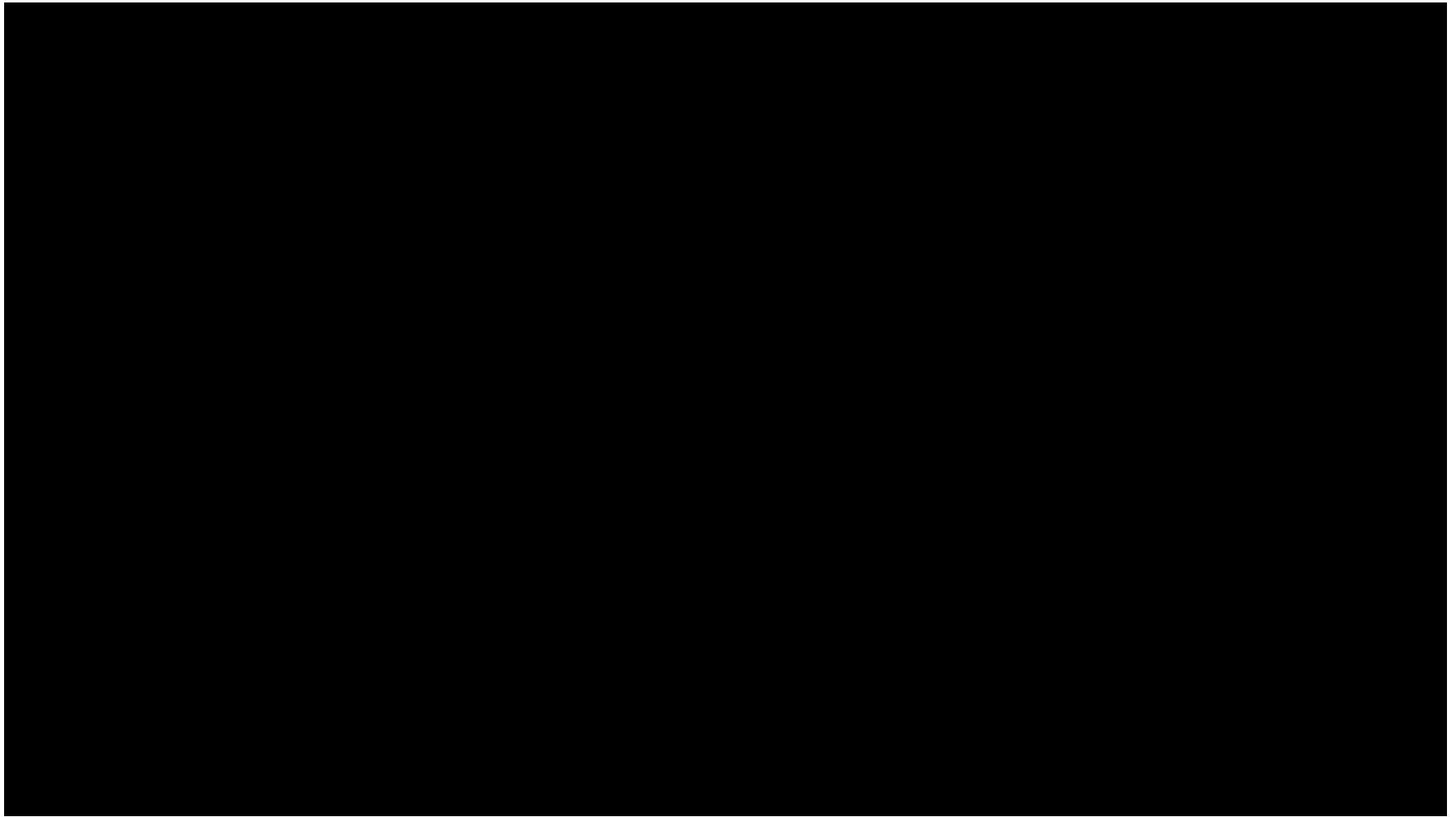




Cảm biến lưu lượng

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

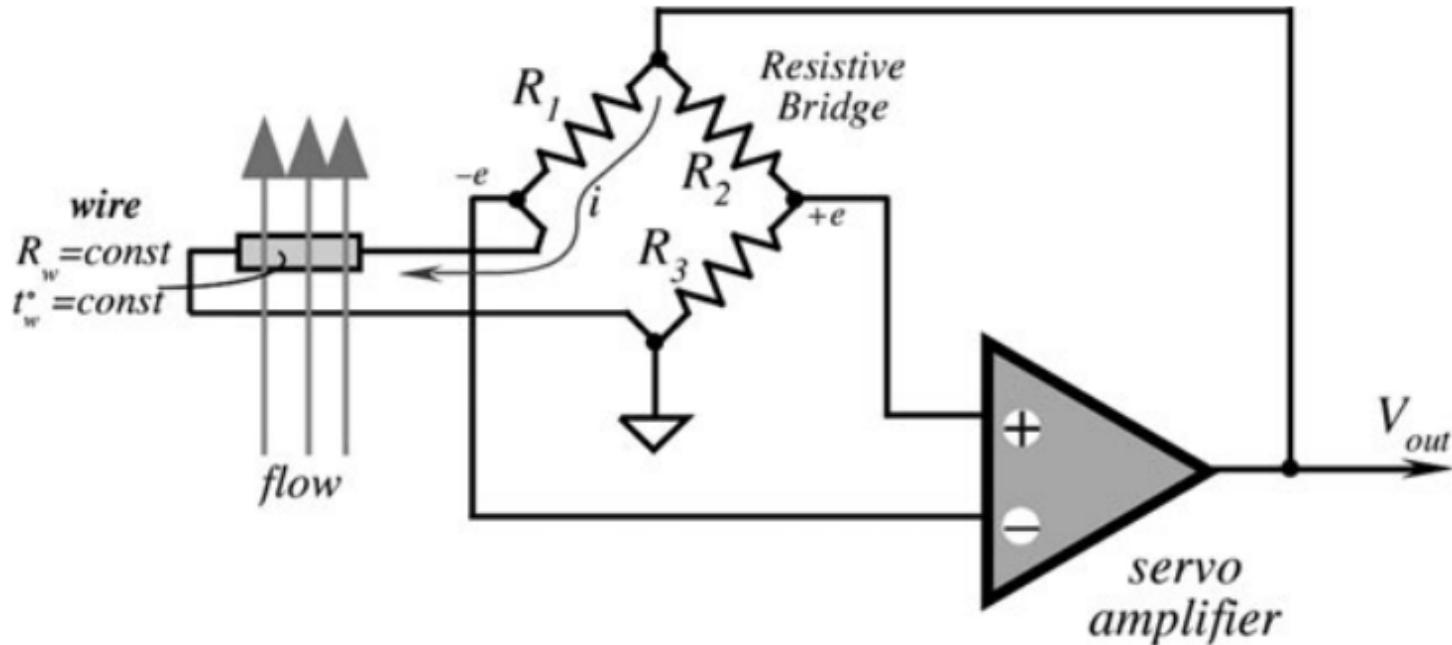
- A hot-wire thermoanemometer is a single-part sensor as opposed to two- and three-part sensors as described below. The key element of this sensor is a heated wire having typical dimensions 0.00015–0.0002 in. (0.0038–0.005 mm) in diameter and 0.040–0.080 in. (1.0–2.0 mm) in length.
- The wire resistance 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

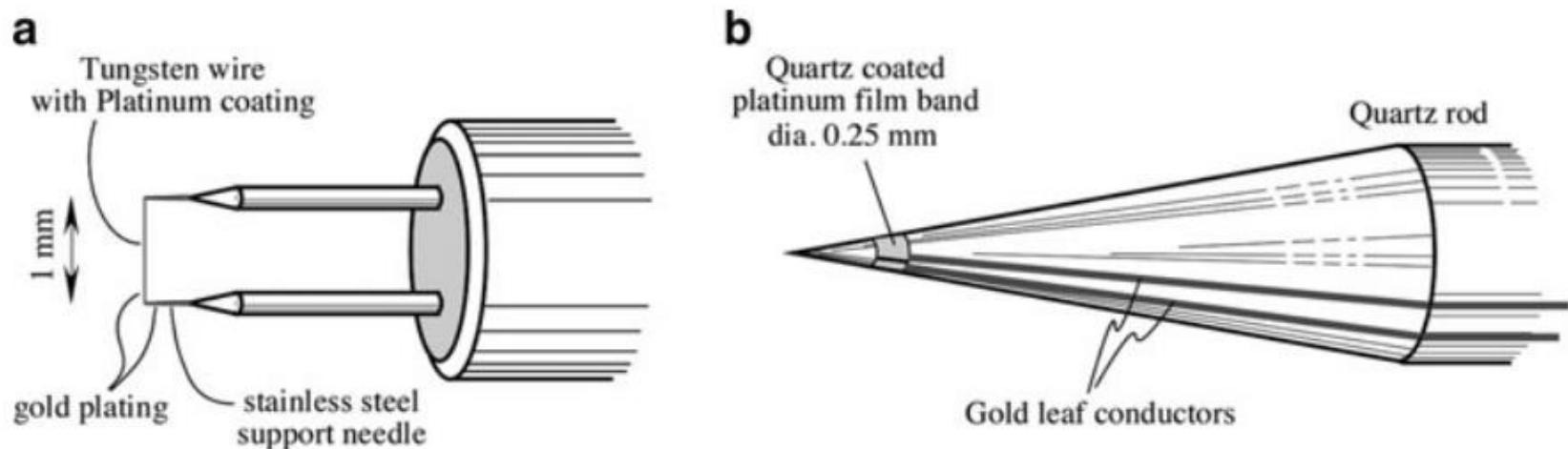


Fig. 11.6 Hot-wire probe (**a**) and a conical hot-film probe (**b**)