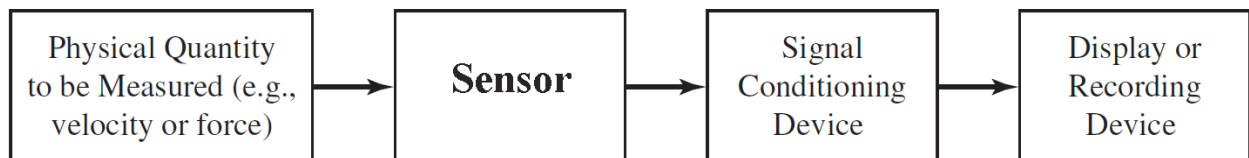


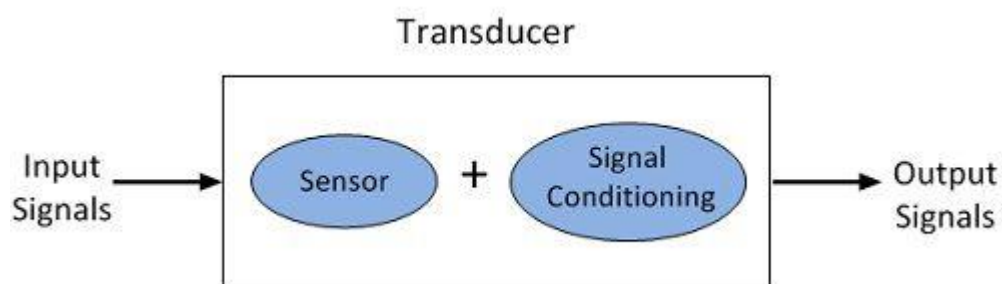
Chương 2: Cảm biến

2.1) Các khái niệm và định nghĩa

- **Cảm biến** (sensor) là phần tử cảm nhận sự thay đổi của đại lượng vật lý cần đo sang một tín hiệu tương quan với đại lượng đó.



- Một thuật ngữ hay được dùng lẫn lộn với sensor là **transducer** (dịch là cảm biến hay bộ chuyển đổi). Transducer thường được hiểu là cảm biến bao gồm bộ xử lý tín hiệu cảm biến, cho tín hiệu ngõ ra là tín hiệu điện (điện áp, dòng điện).



- Những đại lượng vật lý cần đo thường gặp trong các hệ thống cơ điện tử: vị trí (khoảng cách), tốc độ, gia tốc, lực, momen xoắn, biến dạng, áp suất, nhiệt độ, lưu lượng, ...
- **Hàm truyền (transfer function):** hàm biểu diễn mối quan hệ giữa ngõ vào với ngõ ra của cảm biến.

$$y = f(x)$$

trong đó: x là ngõ vào (kích thích), y là ngõ ra.

- **Độ nhạy (sensitivity):** độ nhạy tại x_a .

$$S(x_a) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_a}$$

Trong trường hợp, hàm truyền là tuyến tính, thì:

$$S = \frac{dy}{dx} = \text{const}$$

VD: Cảm biến nhiệt độ có độ nhạy $20\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ nghĩa là khi ngõ vào thay đổi 1°C , ngõ ra sẽ thay đổi $20\mu\text{V}$.

- **Phạm vi đo (range):** phạm vi của giá trị đầu vào mà cảm biến có thể chuyển thành các giá trị đầu ra tương ứng, được thể hiện bởi 2 trị số: giới hạn dưới và giới hạn trên.
- **Độ rộng dải đo (span):** hiệu số của giới hạn trên và giới hạn dưới của dải đo.

VD: Một cảm biến nhiệt độ có phạm vi đo (range) là -30°C đến $+80^\circ\text{C}$ thì độ rộng dải đo (span) là 110°C .

Một thuật ngữ khác tương đương với span là **IFS** (input full scale) hay **dải vào toàn thang**. Ngoài ra, người ta cũng định nghĩa **dải ra toàn thang OFS** (output full scale) là hiệu số của giới hạn trên và giới hạn dưới của ngõ ra cảm biến.

VD: Cảm biến nhiệt độ phạm vi đo -30°C đến $+80^\circ\text{C}$ tương ứng điện áp ngõ ra thay đổi từ $2,5\text{V}$ đến $1,2\text{V}$, thì:

$$\text{IFS} = +80^\circ - (-30^\circ) = 110^\circ\text{C}$$

$$\text{OFS} = 2,5\text{V} - 1,2\text{V} = 1,3\text{V}.$$

- **Độ phân giải (resolution):** Độ phân giải của cảm biến là sự thay đổi nhỏ nhất ở ngõ vào mà cảm biến có thể phát hiện được ở ngõ ra (làm ngõ ra thay đổi).

VD: Cảm biến nhiệt độ có độ phân giải $0,1^\circ\text{C}$ có nghĩa là khi ngõ vào tăng/giảm $0,1^\circ\text{C}$ thì ngõ ra cảm biến mới thay đổi một khoảng tương ứng có thể đo được.

Với thiết bị tương tự (analog), độ phân giải có thể là vô cùng bé (vô cấp). Độ phân giải còn được định nghĩa dựa trên mức nhiễu tác động, bởi một tín hiệu để có thể cảm nhận được sự thay đổi cần phải lớn hơn mức nhiễu.

Với thiết bị số (digital), độ phân giải được định nghĩa theo số bit.

VD: Độ phân giải 12 bit có nghĩa là mức tín hiệu được chia thành $2^{12} = 4096$ khoảng chia. Với dải điện áp 5V, mỗi khoảng chia là $\frac{5V}{4096} = 1,22 \times 10^{-3}V = 1,22mV$. Như vậy, với độ phân giải digital 12 bit ở dải điện áp 5V, thì độ phân giải analog tương ứng là 1,22mV.

- **Sai số (error):** sai lệch giữa giá trị đo so với giá trị thực.

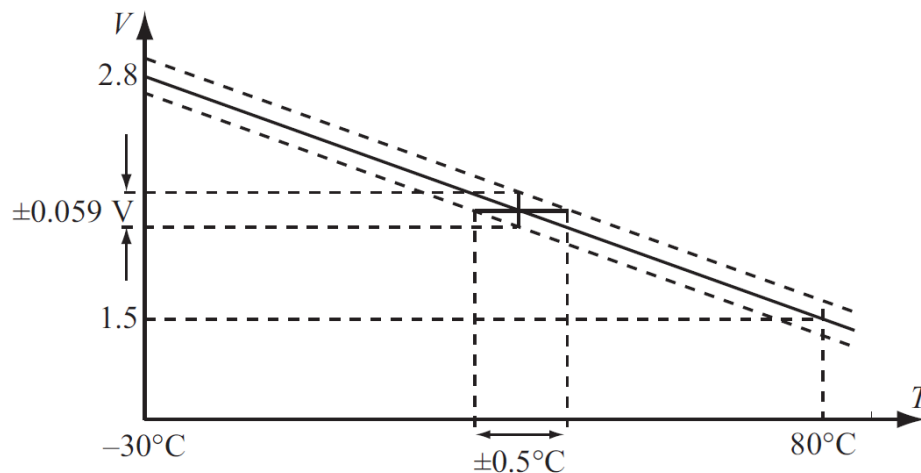
$$Error = measured\ value - true\ value$$

VD: Thiết bị đo nhiệt độ cho kết quả đo được là 25°C, trong khi nhiệt độ đúng là 24°C, thì sai số là +1°C. Nếu nhiệt độ đúng là 26°C, thì sai số là -1°C.

Sai số còn được biểu diễn theo phần trăm của IFS.

$$Error(\%) = \frac{measured\ value - true\ value}{IFS} \times 100$$

VD: Cảm biến nhiệt độ được dùng để đo nhiệt độ trong khoảng -30°C đến +80°C; ngõ ra tương ứng là 2,8V và 1,5V. Độ chính xác $\pm 0,5^\circ C$.

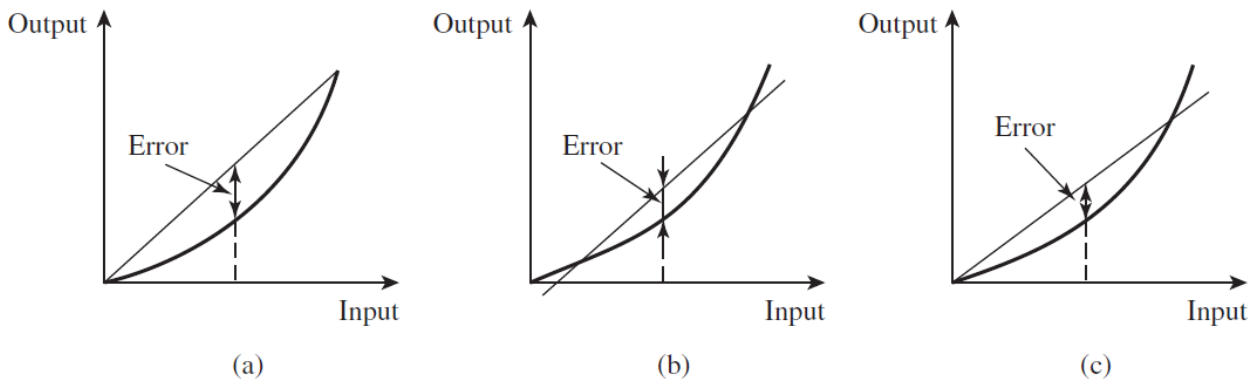


Phần trăm sai số ở ngõ vào:

$$e(\%) = \frac{\pm 0,5}{80 - (-30)} = \pm 0,454\%$$

- **Sai số tuyến tính (Độ phi tuyến - nonlinearity):** Sai lệch (tính theo phần trăm của dải đo) giữa ngõ ra cảm biến so với đặc tuyến tuyến tính xấp xỉ (có được sau khi cân chỉnh hay calib).

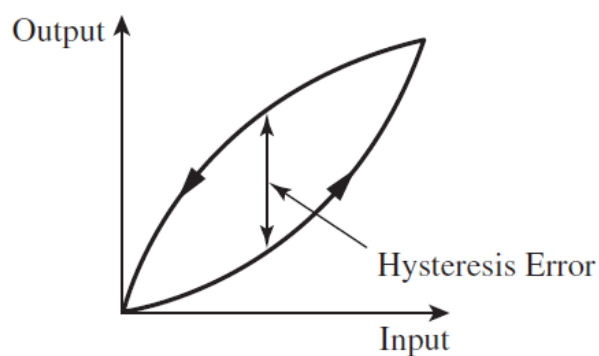
Người ta thường dùng các đường thẳng xấp xỉ bình phương tối thiểu để giảm sai số.



VD: Một cảm biến nhiệt độ được dùng để đo nhiệt độ trong phạm vi 0° đến 200°C . Ngõ ra cảm biến tại 0°C là 0 mV , tại 100°C là $4,277\text{ mV}$, và tại 200°C là $9,286\text{ mV}$. Hãy xác định sai số tuyến tính tại 100°C

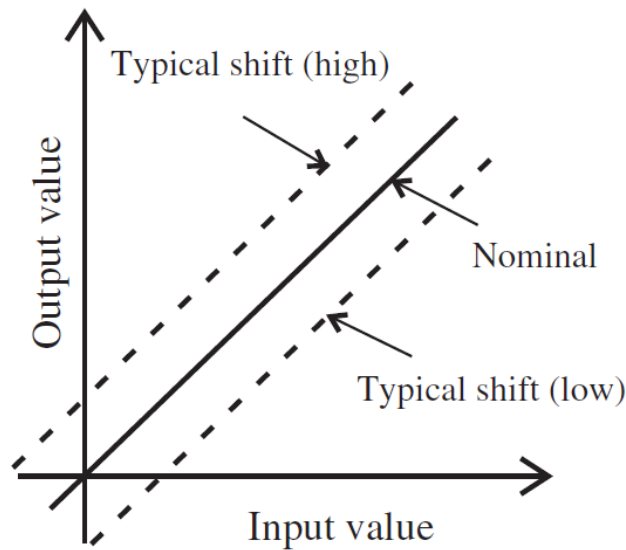
Giải: ...

- **Sai số trễ (hysteresis error):** Sai số này không chỉ phụ thuộc vào giá trị của đại lượng đầu vào, mà còn phụ thuộc vào hướng thay đổi của nó.

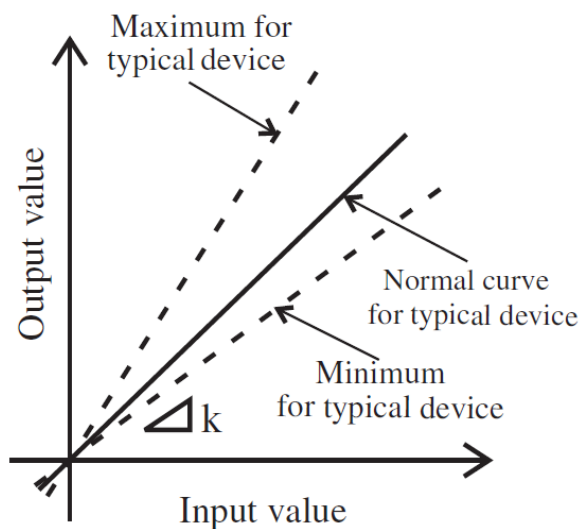


Sai số trễ của cảm biến thường được định nghĩa là sai lệch lớn nhất của ngõ ra cảm biến đối với cùng một trị số ngõ vào khi ngõ vào tăng từ 0 đến giới hạn trên của thang đo và từ đó giảm về 0.

- **Sai số điểm 0:** Sai số này xuất hiện khi đường đặc tính bị trượt song song (trôi điểm 0).



- **Sai số độ nhạy:** Sai số này gây nên do sự thay đổi độ dốc của đường đặc tính (chẳng hạn, do nhiệt độ hay sự lão hóa của vật liệu).

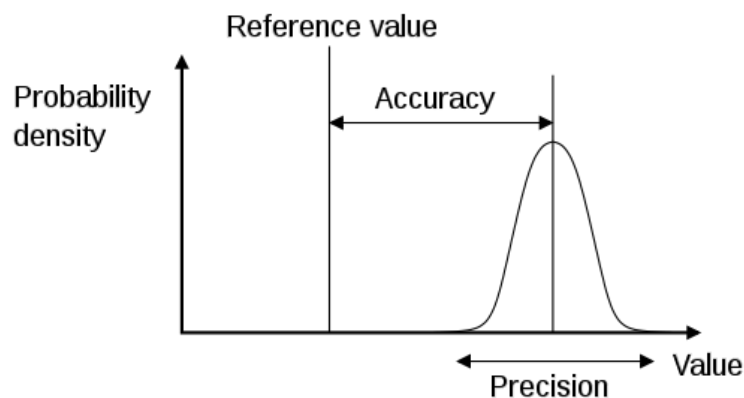
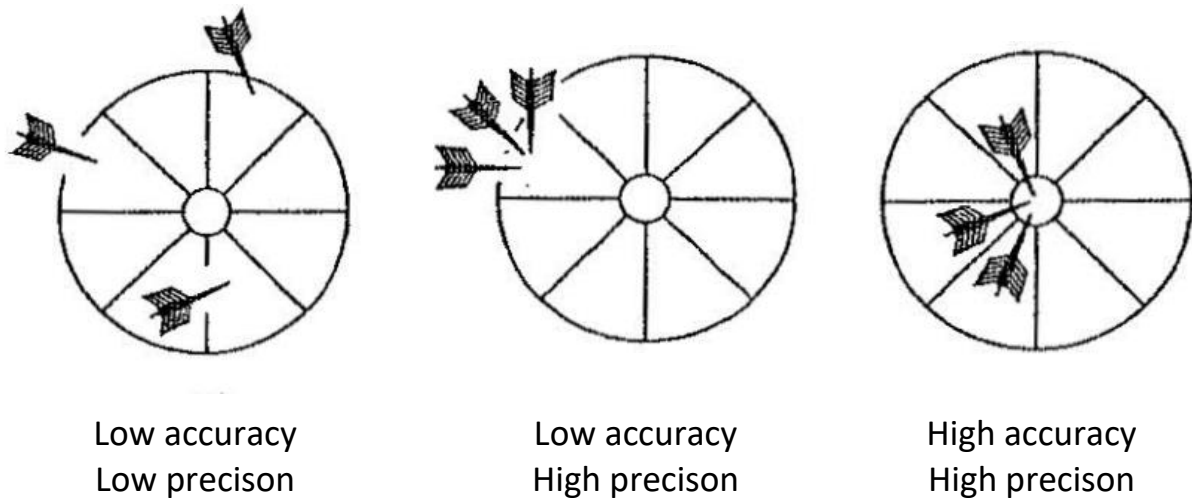


- **Độ chính xác (accuracy):** độ lệch của ngõ ra so với trị đúng tính theo phần trăm trên toàn thang đo.

VD: Một cảm biến nhiệt độ có độ chính xác $\pm 5\%$ trên thang đo $0^\circ \sim 200^\circ\text{C}$ có nghĩa là trị số đo được nằm trong khoảng $\pm 10^\circ\text{C}$ so với trị đúng.

- Phân biệt “**precision**” và “**accuracy**” (đều dịch là *độ chính xác*): accuracy thể hiện mức độ gần với giá trị đúng; còn precision

thể hiện mức độ gần nhau của các kết quả đo của cùng một kích thích ở ngõ vào cảm biến.

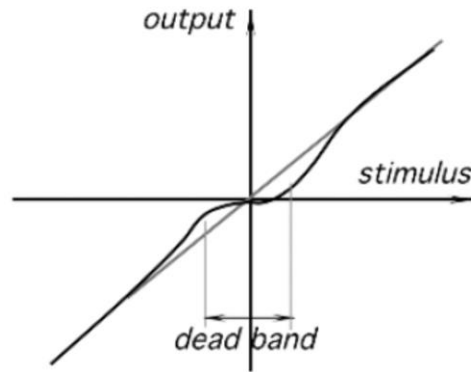


Hình ảnh mô tả sự khác nhau giữa accuracy và precision

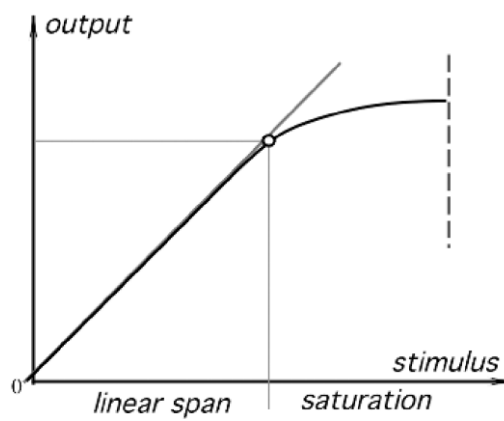
- **Repeatability (khả năng lặp lại kết quả đo):** thuật ngữ chỉ khả năng cho cùng kết quả đo của những lần đo khác nhau đối với cùng một trị số ngõ vào trong cùng một điều kiện thực hiện phép đo.

Reproducibility (khả năng thực hiện lại phép đo): thuật ngữ chỉ khả năng cho cùng kết quả đo trong điều kiện phép đo được thực hiện bởi những người khác nhau, tại những nơi khác nhau, với những thiết bị đo khác nhau.

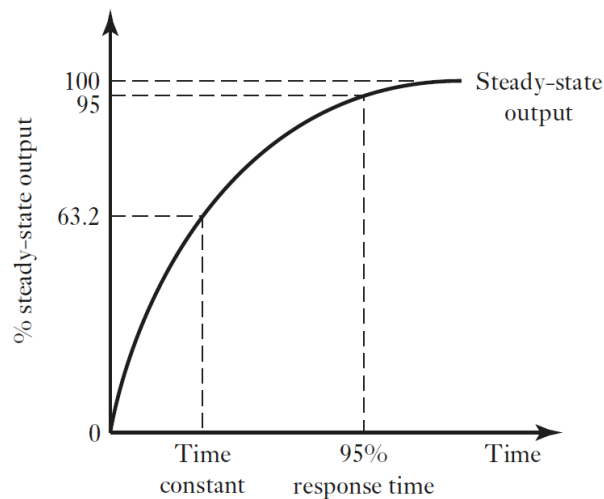
- **Dead band (vùng chết, vùng không hoạt động):** dải trị số ngõ vào của cảm biến thay đổi mà ngõ ra bằng không.



- **Saturation (bão hòa):** giới hạn đáp ứng của cảm biến khi ngõ vào tăng mà ngõ ra không tăng nữa.



- **Đặc tính tĩnh/động:**
 - Đặc tính tĩnh: đặc tính ở trạng thái xác lập.
 - Đặc tính động: đặc tính ở giai đoạn quá độ.



Response time: Thời gian đáp ứng (= settling time),

Time constant: Thời hằng, thời gian ngõ ra đạt 63,2% giá trị xác lập (đối với cảm biến có đáp ứng như hệ bậc 1).

Rise time: Thời gian lên, thời gian ngõ ra rã từ 10% đến 90% giá trị xác lập.

- **Hiệu chuẩn** (calibration): là quá trình làm thực nghiệm để xác định mối quan hệ vào-ra (còn gọi là hàm truyền) của cảm biến hoặc thiết bị đo lường. Việc hiệu chuẩn cần được thực hiện sau khi lắp đặt cảm biến hoặc sau một khoảng thời gian sử dụng nhằm giảm thiểu sai số, bảo đảm phép đo được chính xác.

VD: Một cảm biến nhiệt độ được dùng để đo nhiệt độ trong phạm vi 25°C đến 100°C. Ngõ ra cảm biến tại 25°C là 2,7411 mV, tại 100°C là 4,277 mV. Hãy tìm hàm truyền cảm biến.

Giải: ... $V_1 = a T_1 + b$
 $V_2 = a T_2 + b$
 $\Rightarrow a, b$

VD: Một cảm biến nhiệt độ được dùng để đo nhiệt độ trong phạm vi 0° đến 100°C. Người ta làm thí nghiệm có được kết quả như sau.

T (°C)	25	50	75	100
V (mV)	2,74	3,21	3,81	4,28

- a) Xác định đường đặc tuyến tuyến tính ($V = aT + b$) có tổng sai lệch bình phương các điểm dữ liệu nhỏ nhất (Phương pháp bình phương tối thiểu).
- b) Xác định đường đặc tuyến qua gốc tọa độ ($V = aT$) có tổng sai lệch bình phương nhỏ nhất.

Phương pháp bình phương tối thiểu (least square)

Best-fit line: $y = ax + b$

Các điểm dữ liệu: (x_i, y_i)

$$y_i = ax_i + b$$

Tổng bình phương sai lệch:

$$e = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2$$

Để tìm a, b sao cho e cực tiểu, ta giải phương trình:

$$\frac{\partial e}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - ax_i - b) = 0$$

$$\frac{\partial e}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0$$

Khai triển và viết lại dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & n \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{bmatrix}$$

Giải: ...

Phân loại cảm biến

- Cảm biến được phân loại theo nhiều cách: năng lượng (active/passive), đại lượng đo (cơ, nhiệt, quang, hóa, điện, từ, phát xạ, sóng âm, ...), ngõ ra (analog/digital), ...
- Phân loại theo năng lượng:
 - Active: cảm biến hoạt động cho tín hiệu ngõ ra mà không cần nguồn điện ngoài; tín hiệu ngõ ra thay đổi dựa trên năng lượng từ nguồn kích thích ngõ vào. VD: thermocouple, piezoelectric, ...
 - Passive: cảm biến hoạt động để có tín hiệu ra cần có nguồn điện cấp; nguồn kích thích ngõ vào chỉ làm thay đổi thuộc tính vật lý của nó. VD: RTD, strain gauge, LVDT, ...
- Phân loại theo ngõ ra:

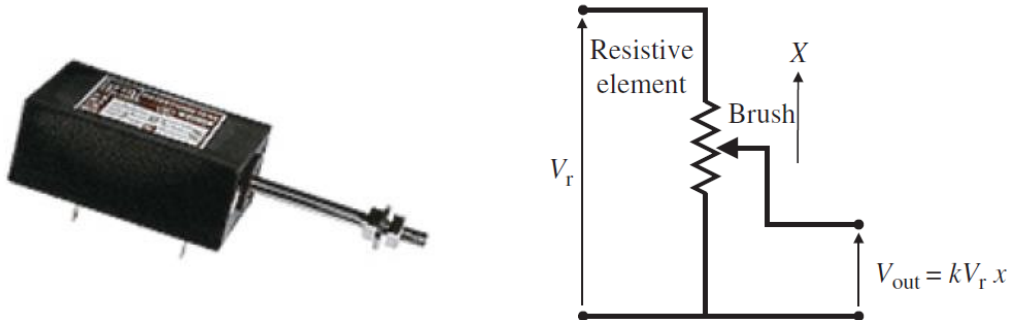
- Analog: cảm biến có ngõ ra thay đổi liên tục theo đại lượng cần đo.
- Digital: Cảm biến có ngõ ra có thể đưa trực tiếp vào bộ điều khiển số.

2.2) Cảm biến vị trí – chuyển vị

- Cảm biến vị trí = cảm biến độ dịch chuyển, bao gồm:
 - cảm biến dịch chuyển tịnh tiến,
 - cảm biến góc quay.
- Chuyển động tịnh tiến có thể dễ dàng chuyển thành chuyển động quay → có thể sử dụng cảm biến góc quay để đo chuyển động thẳng.
- Các loại cảm biến vị trí: chiết áp (pot – potentiometer), biến áp vi sai (LVDT – linear variable differential transformer), encoder, ...

2.2.1) Chiết áp (pot - potentiometer)

- Chiết áp tuyến tính:



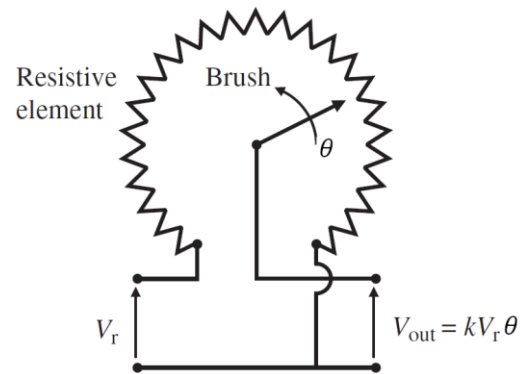
$$\frac{R_x}{R_c} = \frac{x}{x_{max}}$$

Khi chiết áp được cấp điện áp V_r , điện áp ngõ ra được tính theo công thức:

$$V_{out} = \frac{R_x}{R_c} V_r = \frac{1}{x_{max}} V_r x = k V_r x$$

(trong đó, $k = \frac{1}{x_{max}}$)

- Chiết áp xoay:



$$\frac{R_{\theta}}{R_c} = \frac{\theta}{\theta_{max}}$$

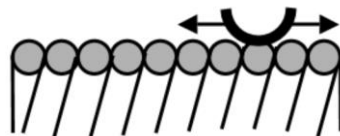
$$V_{out} = \frac{R_{\theta}}{R_c} V_r = \frac{1}{\theta_{max}} V_r \theta = k V_r \theta$$

- Trong các công thức trên, kV_r được xem như là độ nhạy của chiết áp.

VD: Một chiết áp được cấp điện áp 10V. Góc quay cực đại là 350° . Xác định điện áp ra tại vị trí góc quay 82° .

....

- Độ phân giải của cảm biến chiết áp:



$$\% \text{resolution} = \frac{\text{smallest change in resistance}}{\text{total resistance}} \times 100\%$$

VD: Cảm biến chiết áp 100Ω có cấu tạo gồm 100 vòng dây \rightarrow Mỗi vòng dây 1Ω . Như vậy, độ phân giải của cảm biến là 1%.

- Ưu nhược điểm của pot:

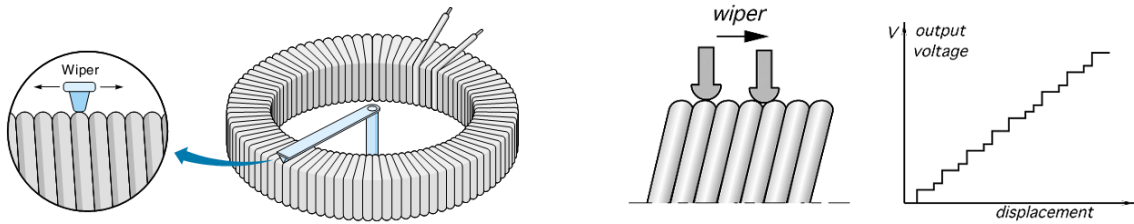
Ưu:

- Đơn giản, rẻ tiền.

Nhược:

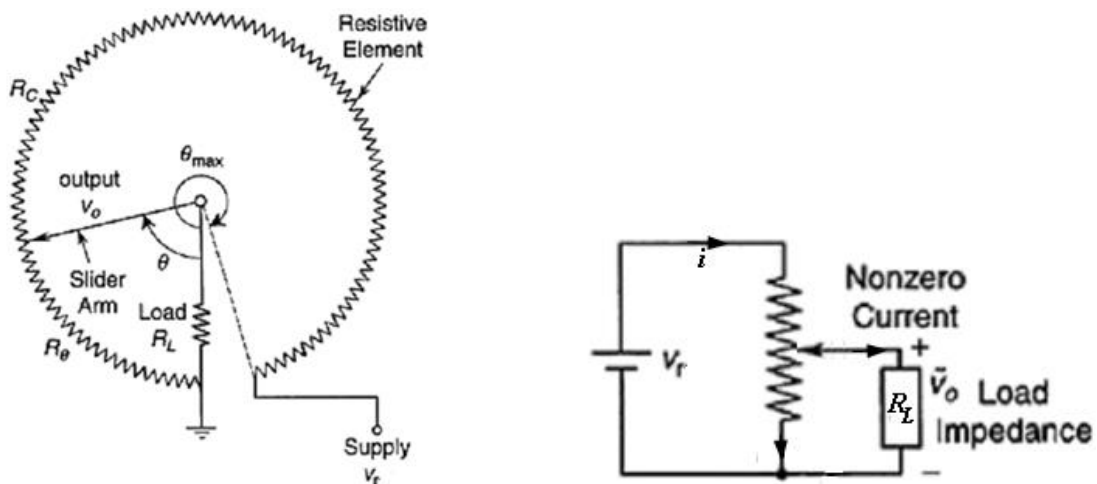
- Có ma sát ở con chạy \rightarrow kém bền.

- Độ phân giải giới hạn tùy vào cấu tạo.



Cấu tạo và đặc tuyến của cảm biến chiết áp

- **Ảnh hưởng của trở kháng tải:** Các công thức tính điện áp ra V_{out} ở trên chỉ đúng khi ngõ ra của chiết áp để hở (không có tải). Thực tế, ngõ ra này được nối với mạch đo tăng tiếp theo có trở kháng vào R_L (tải) $< \infty$. Dưới đây phân tích ảnh hưởng R_L đến độ tuyến tính của phép đo.



Với chiết áp có điện trở thay đổi đều, ta có:

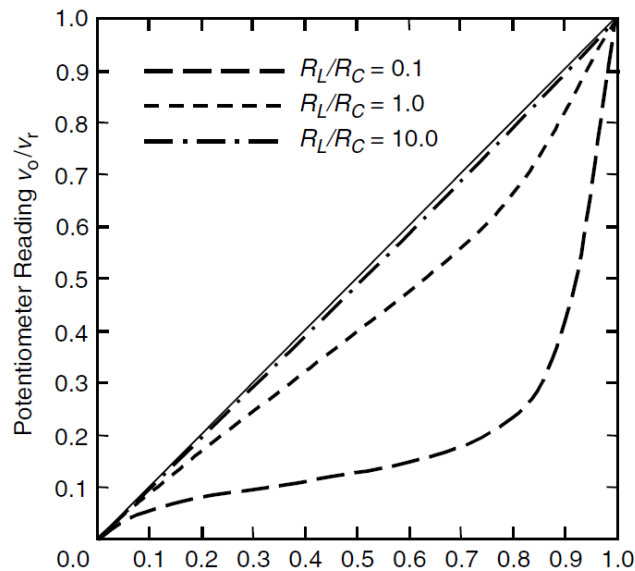
$$\frac{R_\theta}{R_c} = \frac{\theta}{\theta_{max}}$$

trong đó: R_c là điện trở của cảm biến, R_θ là điện trở thành phần tại vị trí θ của con chạy.

$$\frac{V_r - V_0}{R_c - R_\theta} = \frac{V_0}{R_\theta} + \frac{V_0}{R_L}$$

$$\frac{V_r - V_0}{1 - \theta/\theta_{max}} = \frac{V_0}{\theta/\theta_{max}} + \frac{V_0}{R_L/R_c}$$

$$\frac{V_0}{V_r} = \frac{\left(\frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \left(\frac{R_L}{R_c}\right)}{\frac{R_L}{R_c} + \frac{\theta}{\theta_{max}} - \left(\frac{\theta}{\theta_{max}}\right)^2}$$



- Từ kết quả trên, ta thấy rằng sai số nhỏ khi R_L/R_c lớn.
- Thực tế, để có quan hệ vào-ra xấp xỉ tuyến tính khi sử dụng cảm biến chiết áp, R_L cần phải rất lớn so với R_c (thường $\frac{R_L}{R_c} > 10$).
- Trong trường hợp trở kháng vào của tải (R_L) nhỏ, ta cần phải tăng trở kháng vào của mạch bằng cách dùng mạch đệm op-amp (sẽ trình bày trong chương tiếp theo).
- Tham khảo thông số kỹ thuật các loại cảm biến chiết áp tại <https://p3america.com>

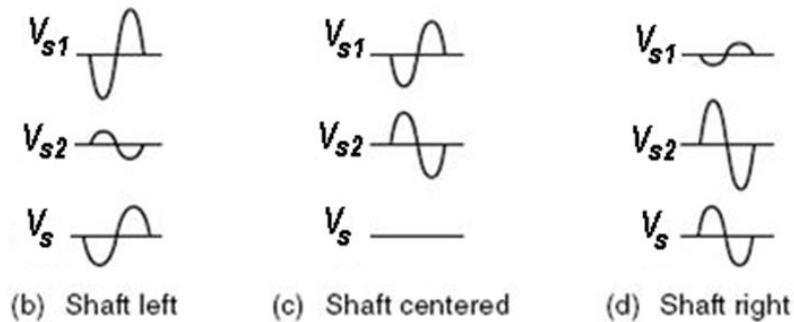
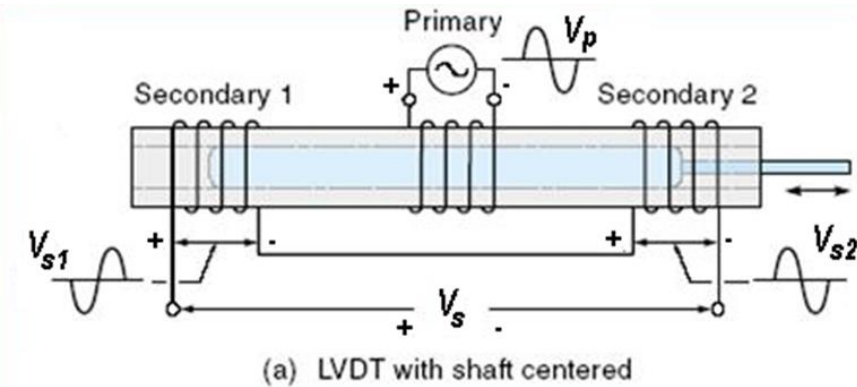
2.2.2) Biến áp vi sai (LVDT)

- LVDT (linear variable differential transformer) là cảm biến đo độ dịch chuyển dựa vào nguyên lý của máy biến áp; trong đó độ dịch chuyển tịnh tiến được chuyển thành tín hiệu điện dựa vào sự thay đổi từ thông móc

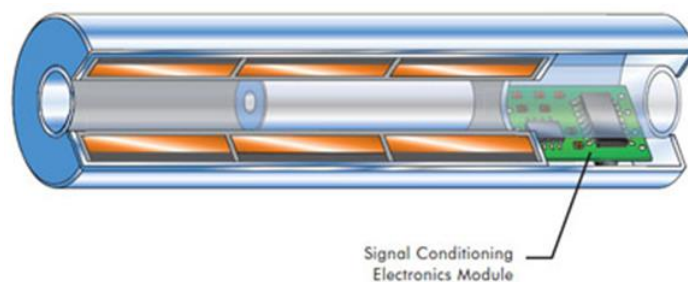


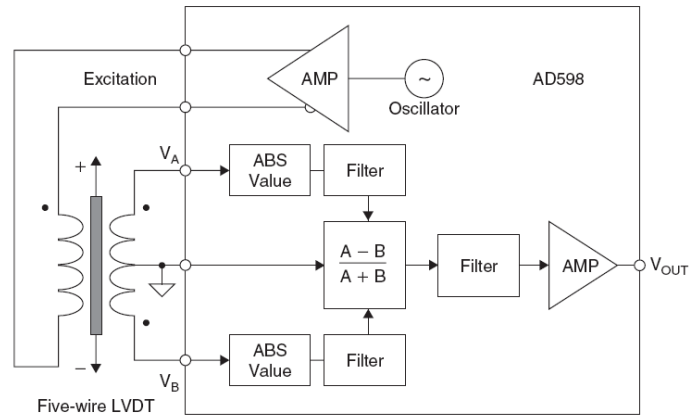
vòng khi lõi biến áp dịch chuyển.

- Biến áp vi sai cấu tạo gồm 1 cuộn sơ cấp, 2 cuộn thứ cấp cùng số vòng dây mắc nối tiếp sao cho chiều quấn dây ngược nhau (hình), lõi di chuyển được.

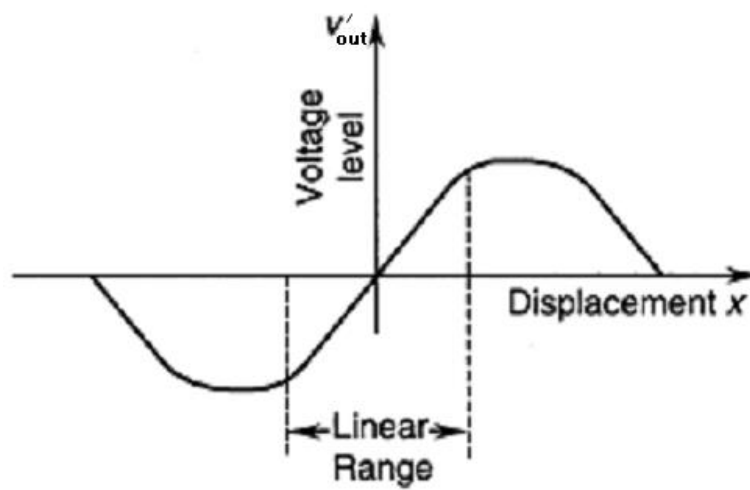


- Khi lõi ở vị trí chính giữa như hình, thì $V_0 = 0$ (vị trí 0).
- Lõi dịch chuyển về phía trái hay phía phải sẽ gây nên sự thay đổi ở biên độ điện áp ra thứ cấp V_S . Chiều dịch chuyển được xác định dựa vào pha của V_S so với V_P .
- Trong thực tế LVDT được chế tạo bao gồm cả **mạch biến đổi tín hiệu** (chẳng hạn, vi mạch AD598 - LVDT signal conditioner) bên trong.





Sơ đồ khối vi mạch AD598



Đặc tuyến vào-ra của LVDT

- Ưu/nhược điểm của LVDT:

Ưu:

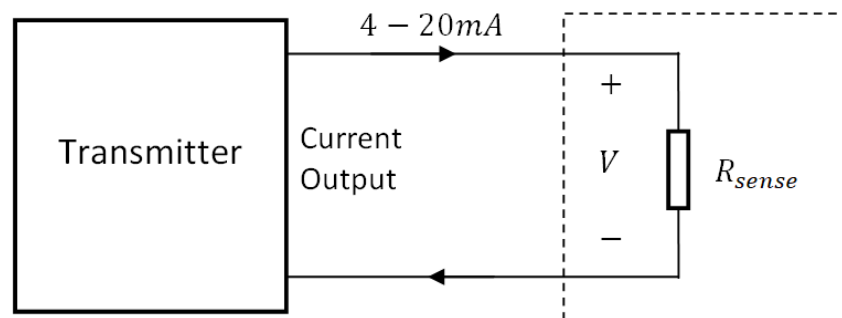
- Không ma sát,
- Độ phân giải cao,
- Điểm 0 ổn định, không bị trôi,
- Đo vị trí tuyệt đối,
- Bền với môi trường,
- Kết quả đo ít bị ảnh hưởng bởi môi trường.

Nhược:

- Khối lượng của lõi có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo.

- Ngõ ra LVDT: điện áp ($\pm 5\text{Vdc}$, 0-10Vdc), dòng điện (4-20mA)
- **Ngõ ra dòng điện chuẩn 4-20mA**: được nối với điện trở để chuyển thành điện áp. Giá trị của điện trở tùy thuộc vào độ lớn điện áp, được tính theo công thức:

$$R_{sense} = \frac{V_{max}}{20mA}$$



VD: Nếu muốn có điện áp lớn nhất tương ứng dòng 20mA là 5Vdc, chọn:

$$R_{sense} = \frac{5}{20mA} = 250\Omega$$

Như vậy, khi dòng điện thay đổi từ 4-20mA thì điện áp tương ứng sẽ là 1-5Vdc.

Ưu điểm của ngõ ra dòng điện 4-20mA:

- Truyền tín hiệu dòng sẽ cho phép thực hiện với khoảng cách xa hơn truyền bằng điện áp.
- Vì 4mA tương ứng ngõ ra nhỏ nhất, nên cho phép phát hiện lỗi hở mạch cảm biến.

2.2.3) Bộ mã hóa quang (Optical encoder)

- Encoder: bộ chuyển đổi độ dịch chuyển thành chuỗi xung (linear encoder), hoặc góc quay thành chuỗi xung (rotary encoder).



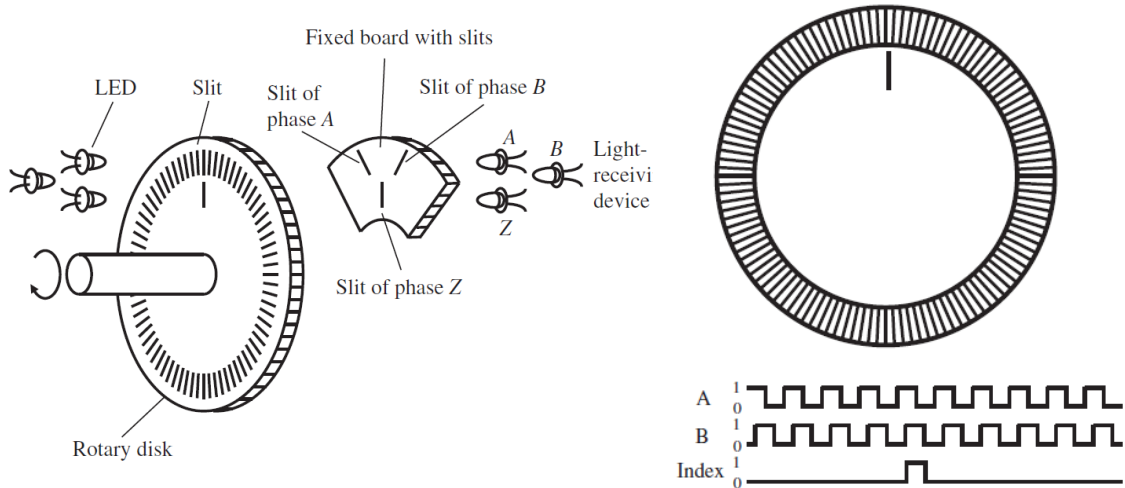
Rotary encoder



Linear encoder

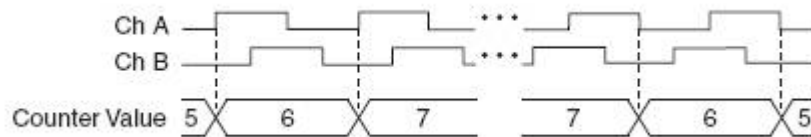
- Phân loại theo tín hiệu ngõ ra: encoder tuyệt đối (absolute encoder), encoder gia tăng (incremental encoder)

a) Incremental encoder:

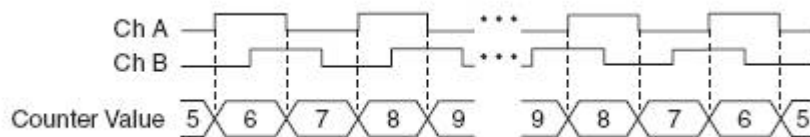


- Mỗi encoder có số xung/vòng nhất định (bằng số rãnh trên đĩa mã); từ đó, có thể tính được độ phân giải của encoder. Bằng cách bố trí cặp LED thu phát hồng ngoại A/B ở vị trí thích hợp, ta có chuỗi xung A/B lệch nhau 90° ; nhờ đó ta có thể xác định được chiều quay của encoder.
- Ngoài ra, bằng các cách đọc khác nhau ta có thể tăng độ phân giải lên 2 lần hay 4 lần. Có 3 cách đọc như nhau:

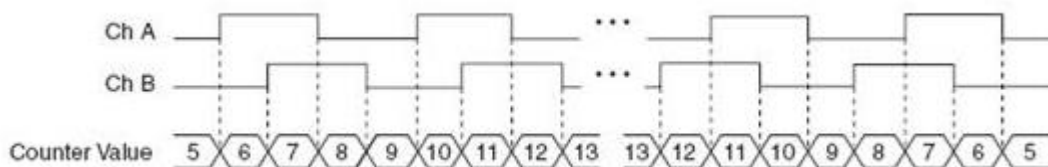
1X decoding: trị đếm trên vòng bằng số xung/vòng của encoder. Khi kênh A sớm pha so với B, trị đếm sẽ tăng 1 mỗi khi có cạnh lên ở kênh A. Khi kênh B sớm pha so với B, trị đếm sẽ giảm 1 mỗi khi có cạnh xuống ở kênh A.



2X decoding: trị đếm trên vòng bằng 2 lần số xung/vòng của encoder. Tương tự như trên, ngoại trừ trị đếm sẽ tăng hay giảm 1 mỗi khi có cạnh lên hay cạnh xuống ở kênh A, tùy vào kênh nào sớm pha so với kênh nào.



4X decoding: trị đếm trên vòng bằng 4 lần số xung/vòng của encoder. Tương tự như trên, ngoại trừ trị đếm sẽ tăng hay giảm 1 mỗi khi có cạnh lên hay cạnh xuống ở kênh A hay kênh B, tùy vào kênh nào sớm pha so với kênh nào.

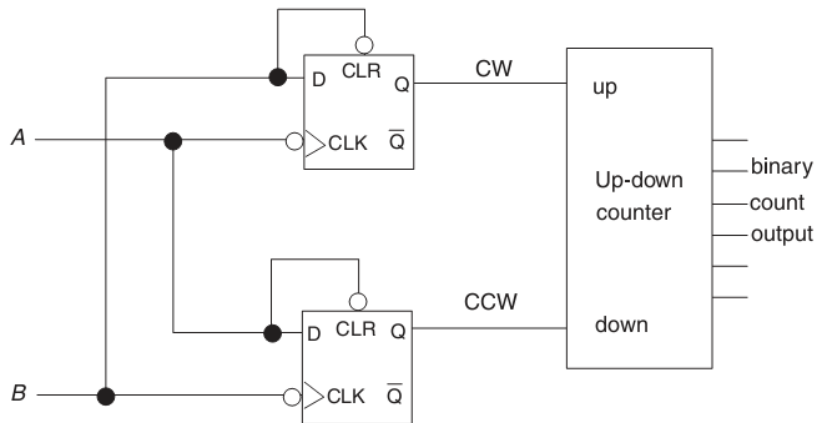


- Góc quay hay độ dịch chuyển của encoder được tính theo công thức:

$$\text{Góc_quay } (^{\circ}) = \frac{\text{trị_đếm}}{xN} \times 360^{\circ}$$

Trong đó, N là số xung/vòng của encoder; $x = 1, 2$, hay 4 tùy vào cách đọc trị đếm 1X, 2X, hay 4X tương ứng.

- Mạch số chuyển tín hiệu xung A/B sang mã nhị phân:



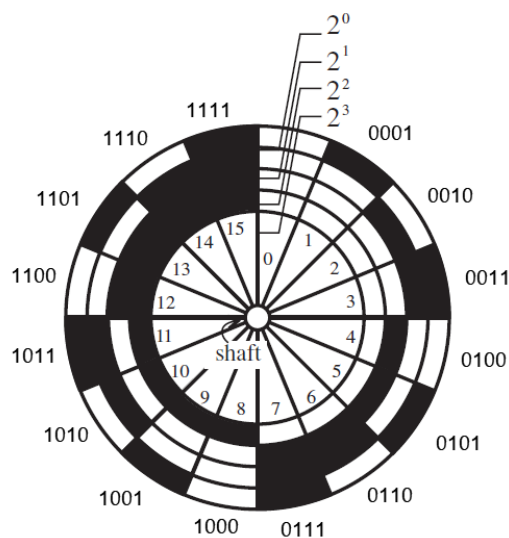
Sơ đồ mạch chuyển tín hiệu A/B sang mã nhị phân

VD: Dùng encoder 200 xung/vòng. Đọc trị đếm theo kiểu 2X, từ vị trí 0° . Giá trị bộ đếm hiện tại là 00100110. Xác định góc quay của encoder.

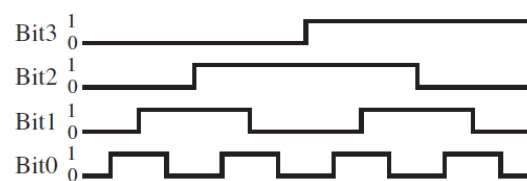
Giải: ...

b) Absolute encoder:

- Đĩa mã nhị phân:



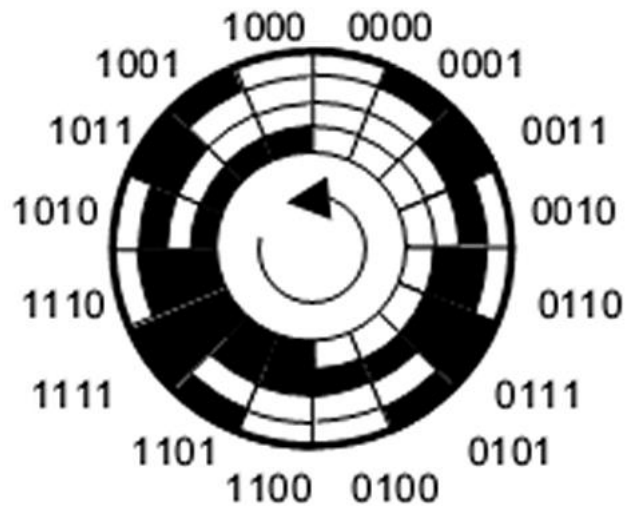
Đĩa mã nhị phân 4 bit



Tín hiệu số ở ngõ ra

Nhận xét: 2 vị trí kề nhau có khác nhau nhiều hơn 1 bit \rightarrow chuyển mức không đồng thời sẽ sinh nhiều giá trị trung gian.

- Đĩa mã gray:



Đĩa mã gray 4 bit

Nhận xét: 2 vị trí kề nhau chỉ khác nhau 1 bit → khi chuyển vị trí, chỉ có một bit chuyển mức → không xuất hiện những giá trị trung gian.

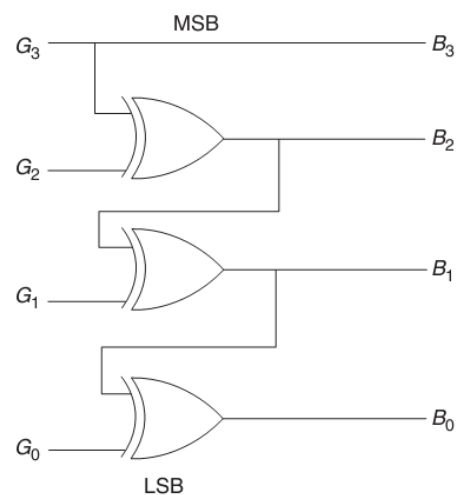
- **Chuyển mã gray sang mã nhị phân:**

$$B_3 = G_3$$

$$B_2 = B_3 \oplus G_2$$

$$B_1 = B_2 \oplus G_1$$

$$B_0 = B_1 \oplus G_0$$

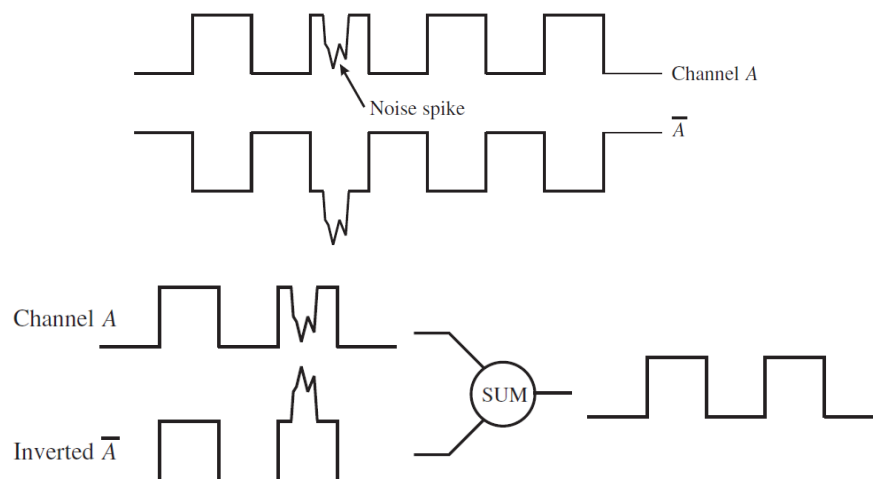


Mạch chuyển mã gray sang nhị phân

Decimal Code	Rotation Range (°)	Natural binary code ($B_3B_2B_1B_0$)	Gray code ($G_3G_2G_1G_0$)
0	0–22.5	0000	0000
1	22.5–45	0001	0001
2	45–67.5	0010	0011
3	67.5–90	0011	0010
4	90–112.5	0100	0110
5	112.5–135	0101	0111
6	135–157.5	0110	0101
7	157.5–180	0111	0100
8	180–202.5	1000	1100
9	202.5–225	1001	1101
10	225–247.5	1010	1111
11	247.5–270	1011	1110
12	270–292.5	1100	1010
13	292.5–315	1101	1011
14	315–337.5	1110	1001
15	337.5–360	1111	1000

Bảng mã gray và mã nhị phân tương ứng

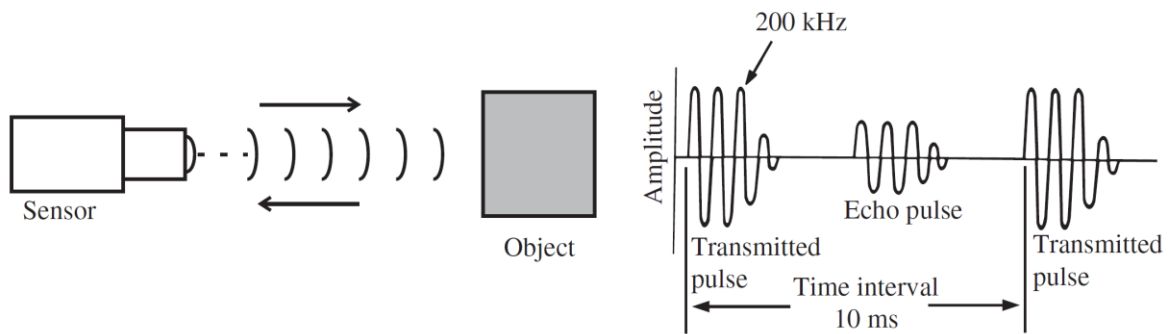
- Encoder có ngõ ra tín hiệu vi sai → chống nhiễu.



2.2.4) Cảm biến siêu âm



- Siêu âm: sóng âm tần số > 20kHz.



- Khoảng cách x từ cảm biến đến vật thể được xác định bởi:

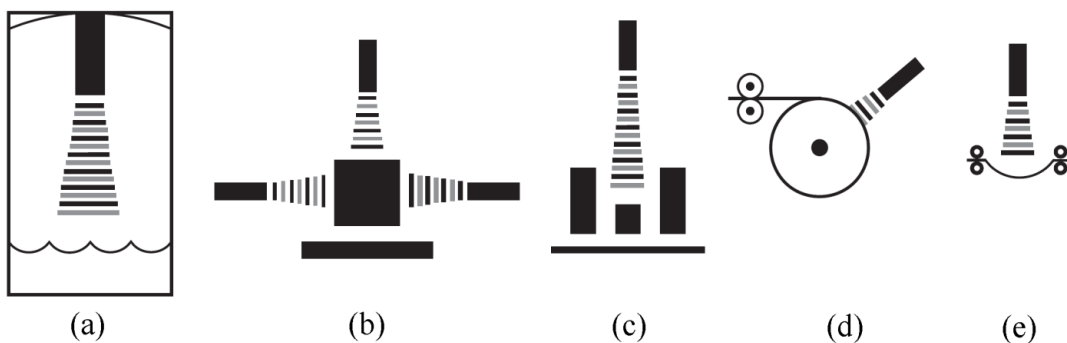
$$x = \frac{v_{sound}}{2} \Delta t$$

trong đó v_{sound} là vận tốc lan truyền sóng siêu âm, t khoảng thời gian từ lúc transmitter phát sóng siêu âm đến lúc receiver thu được sóng siêu âm.

- Vận tốc sóng âm truyền trong không khí:

Nhiệt độ (°C)	Vận tốc (m/s)
+35	351,88
+30	349,02
+25	346,13
+20	343,21
+15	340,27
0	332,30

- Một số ứng dụng của cảm biến siêu âm:



- (a) Liquid level sensing,
- (b) Two-dimension sensing (box height and width),
- (c) One-dimension sensing (box height),
- (d) Roll diameter sensing,
- (e) Web slack sensing.

2.3) Cảm biến phát hiện vật thể

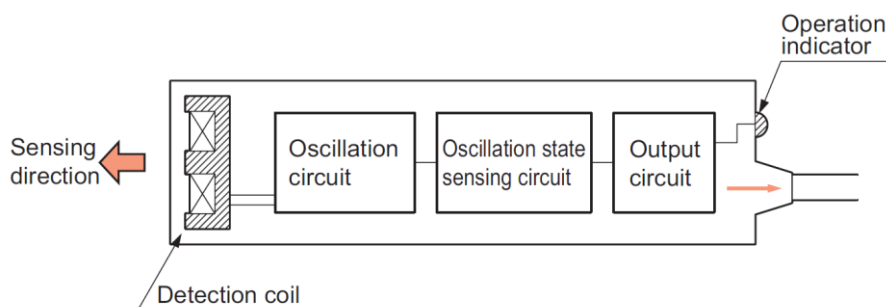
2.3.1) Cảm biến tiệm cận (proximity sensors)

- Cảm biến proximity dùng để phát hiện vật thể đến gần (không tiếp xúc). Ngõ ra chỉ có 2 trạng thái hoặc ON (1), OFF (0). Ngoài ra, còn có loại cảm biến proximity cho ngõ ra là tín hiệu tương tự tỉ lệ với khoảng cách từ vật thể đến cảm biến (1 ~ 20mm).

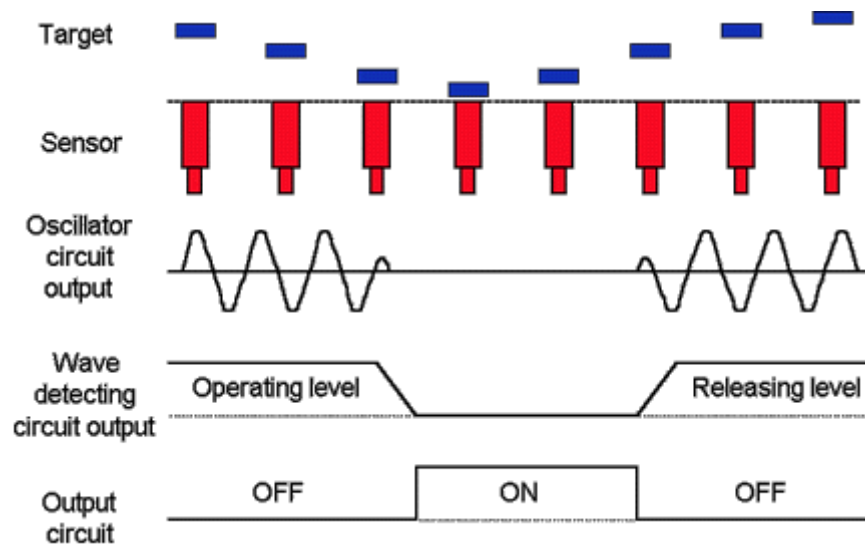
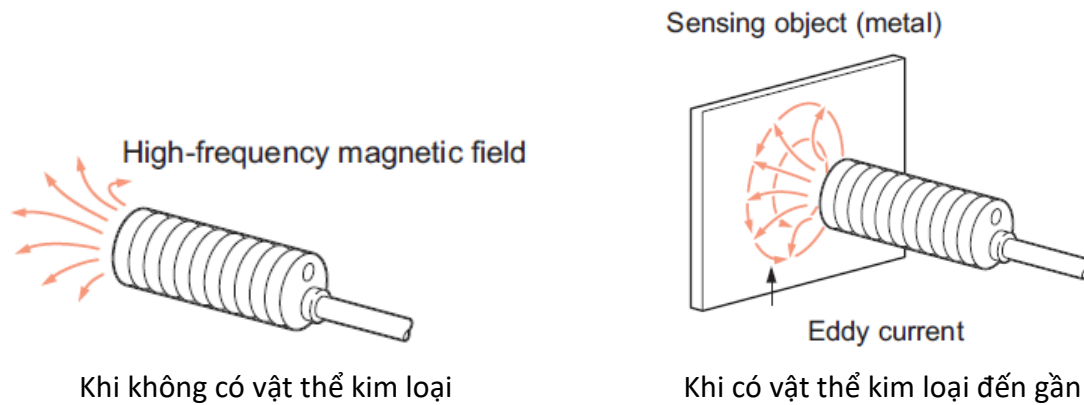


- Xét về nguyên lý, cảm biến proximity chia thành 2 loại: proximity điện cảm và proximity điện dung.
- **Proximity điện cảm**: phát hiện vật thể kim loại, tốc độ cao (lên đến 1kHz), khoảng cách lên đến 20mm.

Cuộn dây bên trong proximity được kích bởi một mạch giao động, sinh ra từ trường biến thiên. Khi có vật thể kim loại đến gần, từ trường sinh ra bởi cuộn dây bên trong cảm sẽ gây nên dòng điện xoáy (eddy current) chảy trong vật thể, năng lượng tiêu tán do dòng điện xoáy làm giảm biên độ dao động trong cuộn dây. Mạch điện phát hiện sự sụt giảm dòng, điều khiển đóng ngắt transistor ở ngõ ra, và do đó làm thay đổi trạng thái ngõ ra.

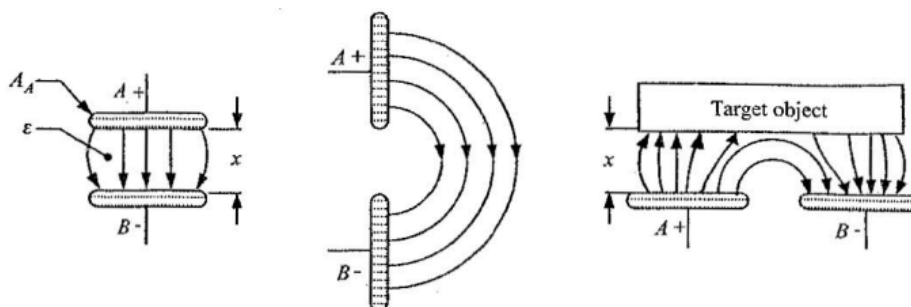


Proximity điện cảm

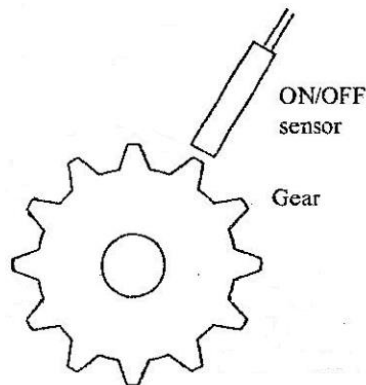


- **Proximity điện dung:** phát hiện vật thể không kim loại, tốc độ thấp hơn loại điện cảm (100Hz), chỉnh được độ nhạy, phát hiện vật thể ở khoảng cách 1cm đến 10cm, xa hơn cảm biến tiệm cận loại điện cảm. Khi có vật thể đến gần, điện dung tăng, làm biên độ giao động bên trong cảm biến tăng. Từ sự thay đổi này, mạch điện bên trong cảm biến sẽ điều khiển mạch ngõ ra, thay đổi trạng thái ngõ ra của cảm biến.

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



- Đo góc quay và tốc độ sử dụng cảm biến tiệm cận:

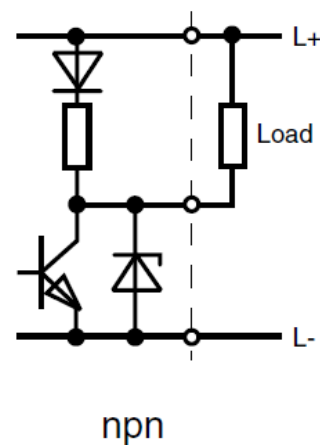
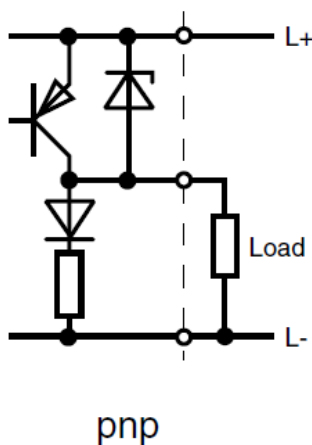


(Loại cảm biến proximity nào phù hợp với ứng dụng trên đây?)

- **Các loại ngõ ra cảm biến tiệm cận:**

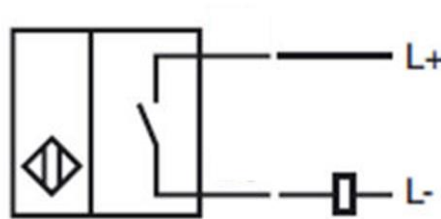
- **Ngõ ra 3 dây DC:** 2 dây nối nguồn, 1 dây tín hiệu.

Có hai loại ngõ ra 3 dây: ngõ ra PNP và ngõ ra NPN, sơ đồ như hình.

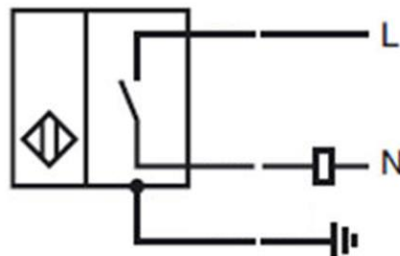


- Ngõ ra PNP: mạch ngõ ra là transistor loại PNP, có chức năng nhưng một khóa đóng/ngắt đầu dương (+) của nguồn vào tải (còn gọi là kiểu *source*).
- Ngõ ra NPN: mạch ngõ ra là transistor loại NPN, có chức năng nhưng một khóa đóng/ngắt tải xuống đầu âm (-) của nguồn (còn gọi là kiểu *sink*).
- **2 dây DC:** Ngõ ra cảm biến nối tiếp với tải và nối vào nguồn (hình). Như vậy, cảm biến đóng vai trò như một khóa đóng/ngắt dòng điện qua tải. Khóa này có thể nối tải

lên đầu dương của nguồn hoặc nối tải xuống đầu âm của nguồn đều được.

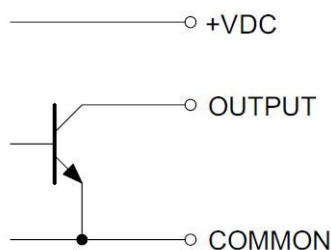


- **2 dây AC:** Cách nối tương tự như loại ngõ ra 2 dây DC. Lưu ý rằng hầu hết cảm biến ngõ ra 2 dây AC không có mạch bảo vệ ngắn mạch bên trong, và luôn phải nối với tải. Nối dây cảm biến mà thiếu tải sẽ làm hỏng cảm biến.

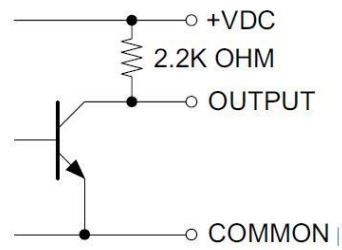


Các cảm biến loại này mà có vỏ kim loại thì thường sẽ có thêm một dây nối đất (như hình) để bảo vệ rò điện.

- **Ngõ ra 'open-collector':** Ngõ ra open-collector là loại ngõ ra dùng transistor NPN với cực thu để hở (như hình a). Loại ngõ ra này cho phép tùy nghi nối đến các loại ngõ vào của thiết bị khác (PLC, vi điều khiển). Trong trường hợp ngõ vào của thiết bị mà nó nối đến không có điện trở kéo lên thì cần nối thêm một điện trở vài k Ω lên nguồn (hình b).



(a)

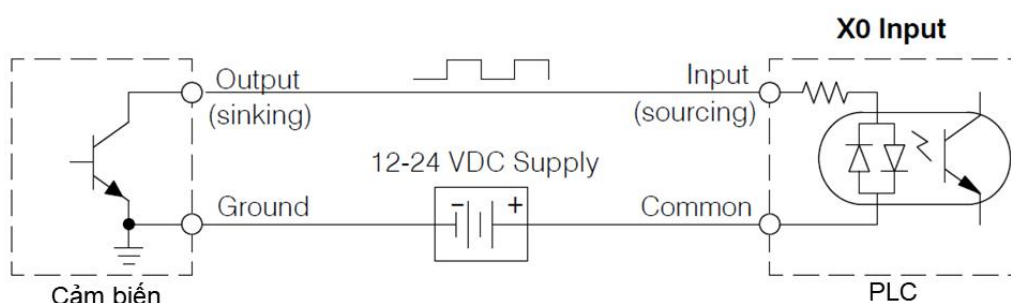


(b)

Ngõ ra ra open-collector cho phép encoder xuất xung ở mức điện áp khác với điện áp nguồn cấp cho nó; chẳng hạn, encoder được cấp nguồn 5V nhưng muốn xung ngõ ra 0-24V, thì ta có thể nối OUTPUT với một điện trở kéo lên nguồn 24V (COMMON nối GND của nguồn). Điện trở kéo lên cần được chọn sao cho dòng điện qua transistor khi dẫn nằm trong giới hạn cho phép (cần tham khảo datasheet để biết trị số dòng áp cực đại ngõ ra).

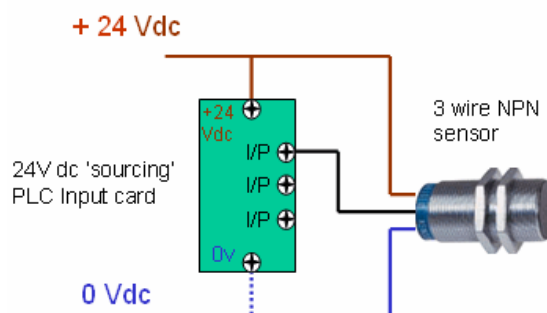
Trong trường hợp ngõ vào của thiết bị mà cảm biến nối đến đã có điện trở bên trong thì không cần thêm điện trở kéo lên.

VD: Cảm biến có ngõ ra open-collector với ngõ vào PLC.

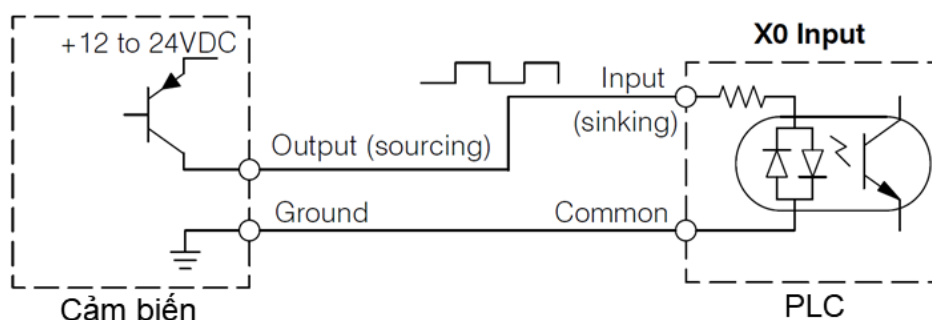


Nối dây cảm biến có ngõ ra open-collector vào PLC

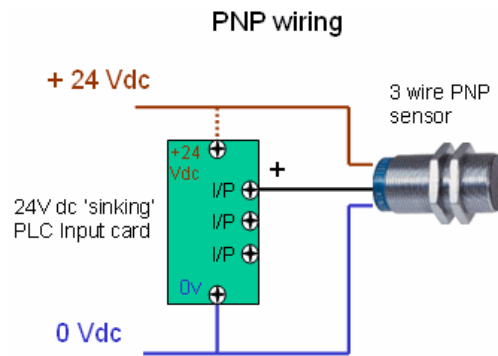
NPN wiring



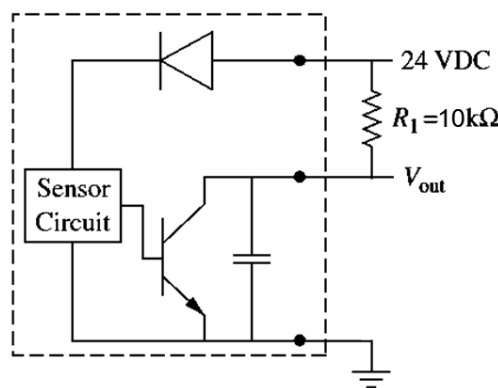
- **Ngõ ra 'open-emitter':** với transistor PNP...



Nối dây cảm biến có ngõ ra open-emitter vào PLC

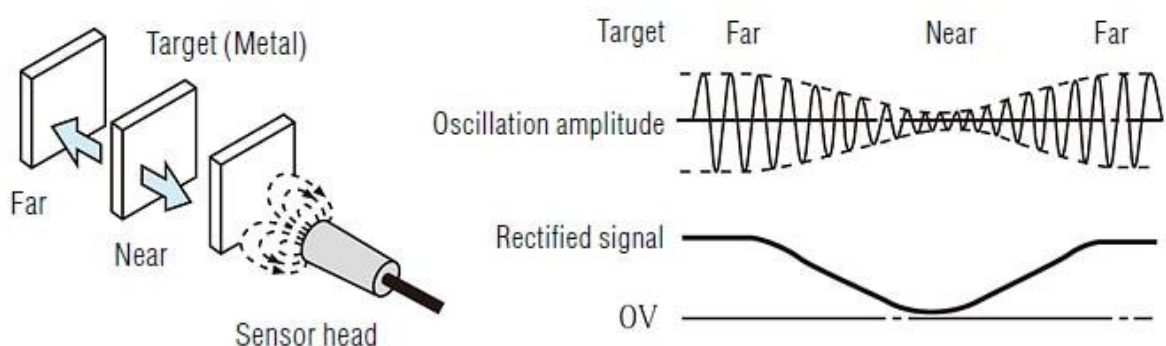


VD: Tính V_{out} và dòng điện qua transistor khi transistor dẫn và khi không dẫn.



Giải: ...

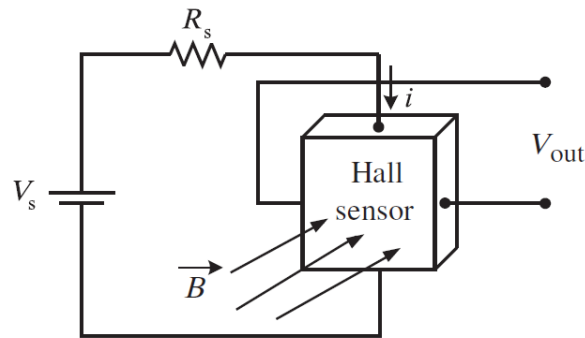
- Cảm biến proximity còn được sản xuất có ngõ ra analog (VD: Keyence EX-XV, EX-200, EX). Sử dụng loại cảm biến này cần có bộ điều khiển tương thích cho ngõ ra analog áp 0~5V hoặc dòng 4~20mA.



2.3.2) Cảm biến Hall

- Hiệu ứng Hall: Chất bán dẫn (phần tử Hall) được cấp điện áp DC, sinh ra dòng điện I . Nếu xuất hiện từ trường B vuông góc với

dòng điện này, thì trên phương vuông góc với I và B sẽ sinh ra điện áp Hall V_H .



$$V_{out} = H \frac{Bi}{t}$$

H : hệ số Hall, [$\text{Vm/A} \cdot \text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$]

i : dòng điện, [A]

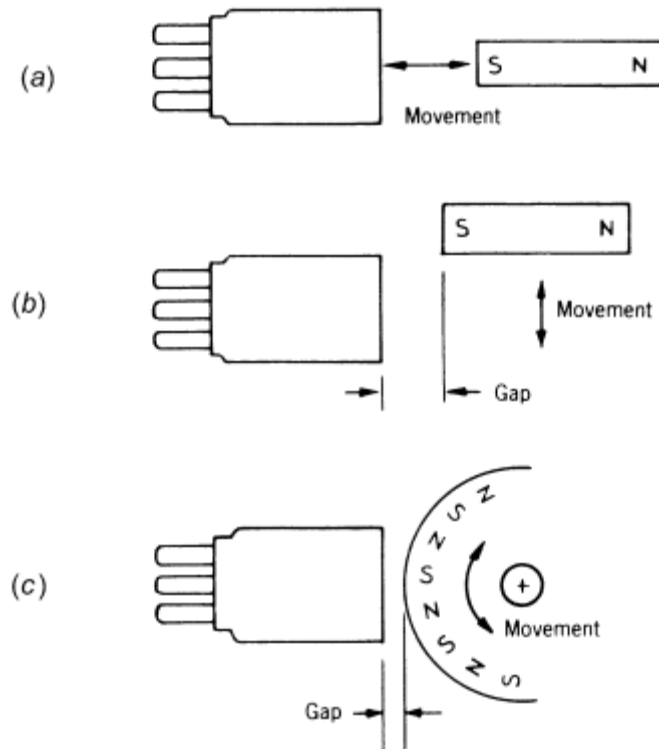
B : mật độ từ thông, [Wb/m^2]

t : độ dày của phần tử Hall, [m]

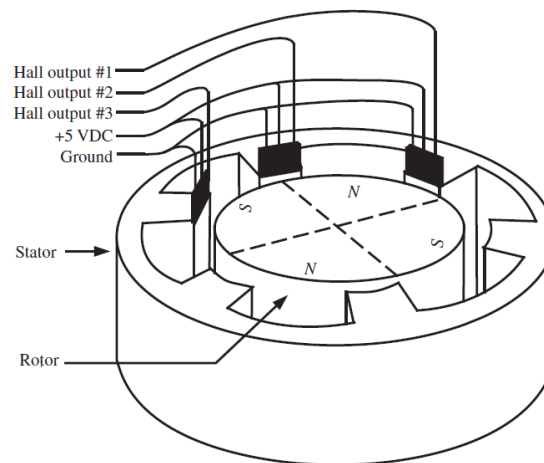
- Cảm biến Hall được dùng để phát hiện từ trường dựa trên hiệu ứng Hall.



- Nam châm vĩnh cửu + cảm biến Hall = cảm biến vị trí
- Các cách bố trí dùng cảm biến Hall làm cảm biến vị trí



- Cảm biến Hall dùng để xác định vị trí cực từ trên trục rotor của động cơ BLDC.



- Ưu-nhược của cảm biến Hall:

Ưu:

- Cảm biến không tiếp xúc → bền

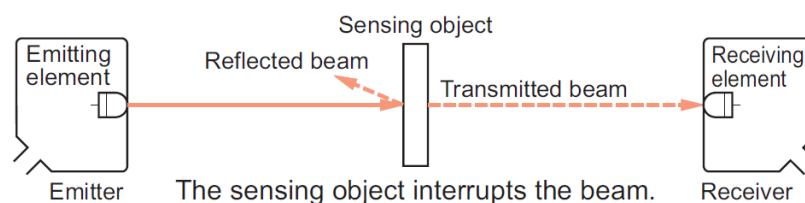
Nhược:

- Cần có nam châm vĩnh cửu → có thể sinh ra những lực từ không mong muốn.

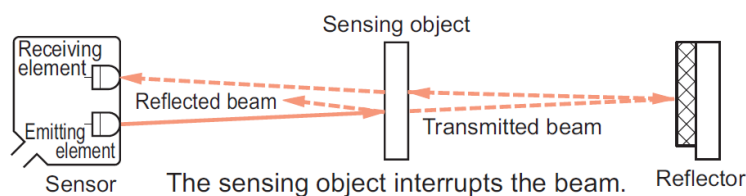
2.3.3) Cảm biến quang

- Cảm biến quang dựa trên sự thu phát ánh sáng để phát hiện vật thể. Có 3 loại cảm biến quang phát hiện vật thể:

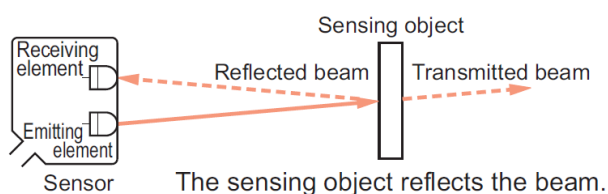
Thru-beam type



Retroreflective type



Reflective type



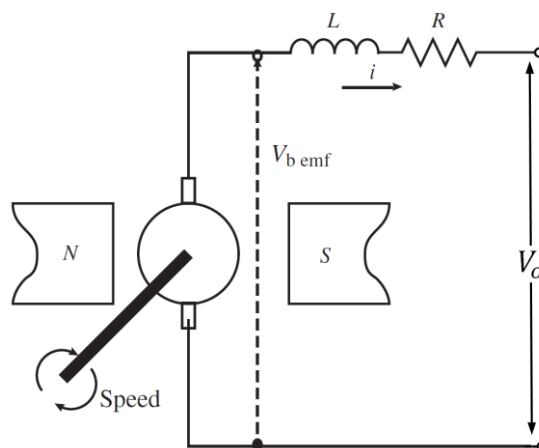
	Thru-beam type (Thu phát độc lập)	Retroreflective (Phản xạ gương)	Reflective (Phản xạ khuếch tán)
Ưu	<ul style="list-style-type: none"> - Phát hiện vật thể chính xác, - Khoảng phát hiện dài, - Không phụ thuộc, màu sắc, bề mặt vật thể cần phát hiện. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiết kiệm không gian (do thu-phát cùng một module), - Lắp đặt nhanh, dễ đi dây, - Giá thành thấp. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiết kiệm không gian (do thu-phát cùng một module), - Lắp đặt nhanh, dễ đi dây, - Giá thành thấp.
Nhược	<ul style="list-style-type: none"> - Phải lắp đặt bộ thu và bộ phát độc lập, 	<ul style="list-style-type: none"> - Khoảng phát hiện ngắn hơn loại Thu- 	<ul style="list-style-type: none"> - Khoảng phát hiện ngắn nhất trong 3

	- Giá thành cao.	beam, - Có thể hoạt động sai nếu bề mặt vật thể phản xạ tốt.	loại.
--	------------------	---	-------

VD: Hãy tìm datasheet của loại cảm biến quang (photoelectric sensor) Omron E3JM. Tìm hiểu các thông số kỹ thuật cảm biến và cách nối dây cảm biến.

2.4) Cảm biến tốc độ

- Đo tốc độ có thể được thực hiện bằng cách liên tục đo vị trí trong một khoảng thời gian định trước, hay tính đạo hàm vị trí theo thời gian.
- Tachogenerator (phát tốc): nguyên lý và cấu tạo như động cơ DC kích từ nam châm vĩnh cửu. Tuy nhiên nó có kích thước nhỏ do được thiết kế cho mục đích đo lường.



Thường L , R , và i nhỏ. Do đó điện áp ra tỉ lệ với tốc độ quay.

$$V_o(t) = K_t \omega(t)$$

trong đó, K_t (V/rpm) là hệ số chuyển tốc độ sang điện áp của cảm biến.

Do số cổ góp giới hạn nên điện áp ra sẽ có mấp mô, gây nên sai số đo lường.

Thông số cơ bản của phát tốc:

- Hệ số tốc độ-điện áp, K_t (V/rpm)
- Tốc độ tối đa, ω_{max} (rpm)

- Moment quán tính của rotor (kg. m²)
- Độ mấp mô cực đại (%)

VD: Một phát tốc có hệ số $K_t = 2V/krpm$. Ngõ ra là $\pm 10V$. Độ mấp mô tín hiệu ngõ ra bằng 0,25% điện áp ngõ ra lớn nhất.

- Hãy tính tốc độ lớn nhất đo được.
- Tính sai số do độ mấp mô ngõ ra gây ra.

Giải:.... a) 5000rpm b) 12,5rpm

2.5) Đo biến dạng – đo lực

2.5.1) Cảm biến biến dạng (strain gage)

- Biến dạng ε dọc trục là tỉ số giữa độ biến thiên chiều dài Δl và chiều dài ban đầu.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

($\varepsilon < 0$: nén, $\varepsilon > 0$: kéo)

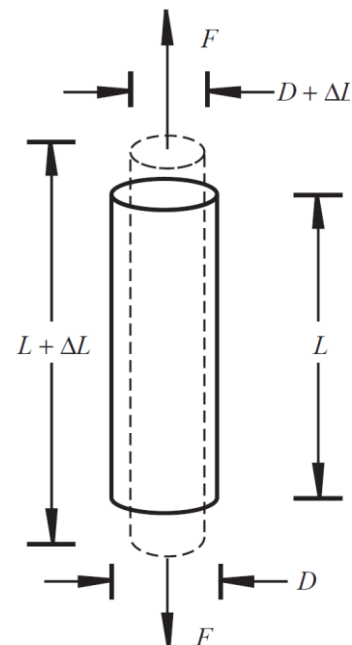
- Định luật Hooke:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

σ : ứng suất, lực tác dụng trên một đơn vị diện tích

$$\sigma = F/A \quad [N/m^2]$$

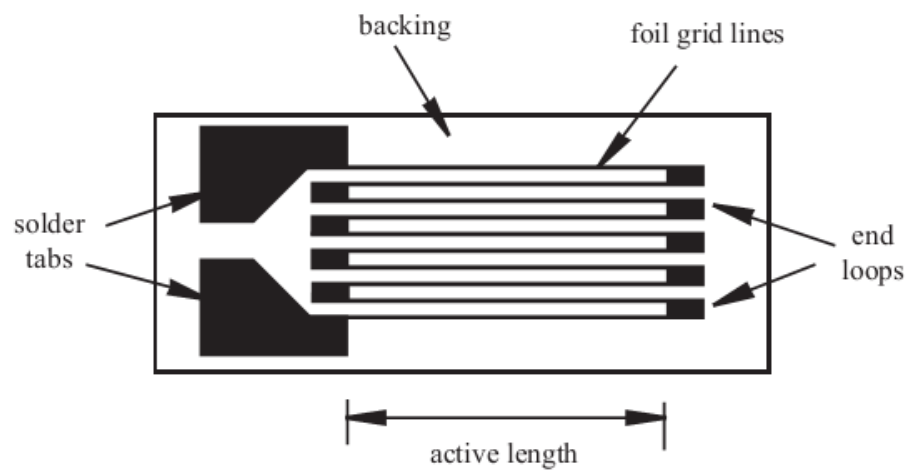
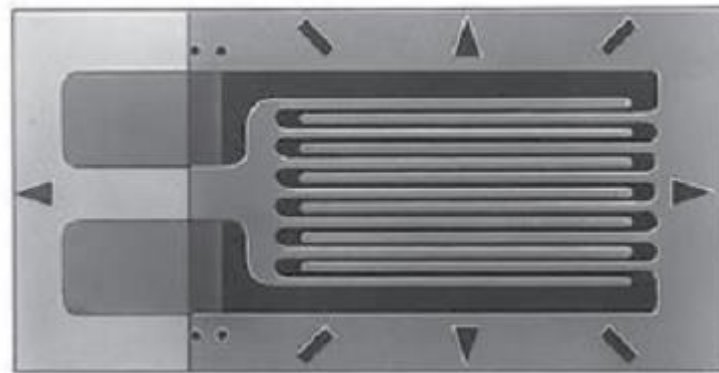
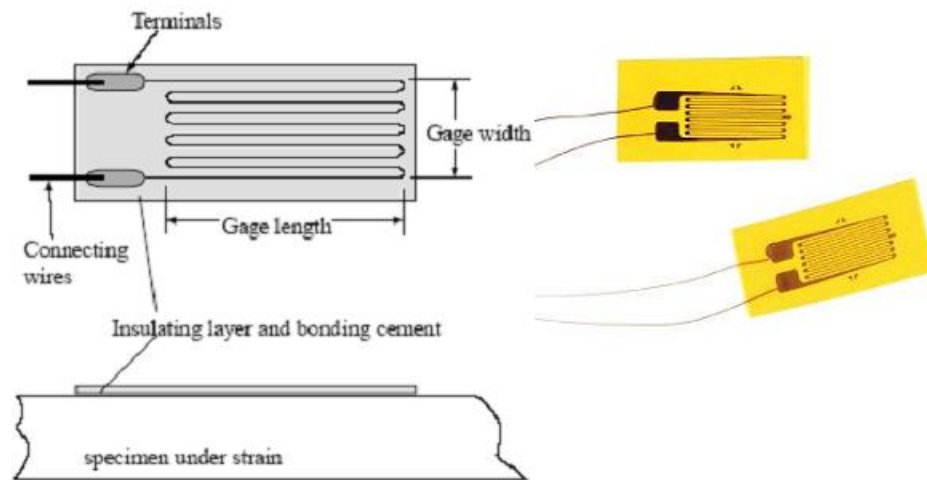
E : môđun đàn hồi khi kéo (nén), đơn vị $[N/m^2]$. Trị số phụ thuộc vào vật liệu.



Modulus of elasticity

Material	Modulus (N/m ²)
Aluminum	6.89×10^{10}
Copper	11.73×10^{10}
Steel	20.70×10^{10}
Polyethylene (plastic)	3.45×10^8

- Strain gage: cảm biến đo biến dạng dựa trên sự thay đổi điện trở.



- Điện trở dây dẫn:

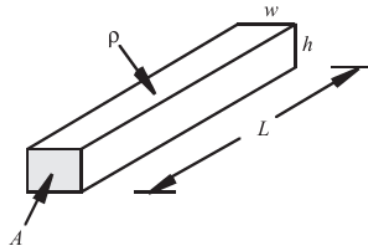
$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (*)$$

ρ : điện trở suất (Ωm),

L: chiều dài (m),

A: tiết diện (m²).

- Xét dây dẫn có tiết diện chữ nhật:



Lấy logarit tự nhiên 2 vế pt (*)

$$\ln R = \ln \rho + \ln L - \ln A$$

Vì phân 2 vế:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A}$$

Vì

$$A = wh$$

nên:

$$\frac{dA}{A} = \frac{w dh + h dw}{wh} = \frac{dh}{h} + \frac{dw}{w}$$

Biến dạng ngang:

$$\frac{dh}{h} = -\nu \frac{dL}{L}, \quad \frac{dw}{w} = -\nu \frac{dL}{L}$$

(ν : hệ số Poisson, hằng số phụ thuộc vật liệu)

Do đó:

$$\frac{dA}{A} = -2\nu \frac{dL}{L} = -2\nu \varepsilon_{axial}$$

Suy ra:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{R} &= \varepsilon_{axial}(1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho} \\ \frac{dR/R}{\varepsilon_{axial}} &= 1 + 2\nu + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon_{axial}} \end{aligned}$$

Về phía phương trình trên có thể xem xấp xỉ là hằng số.

Đặt $G_f = 1 + 2\nu + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon_{axial}}$, suy ra biểu thức quan hệ giữa biến dạng với sự thay đổi điện trở của strain gage

$$\frac{\Delta R}{R} = G_f \varepsilon_{axial}$$

G_f : Hệ số gage (gage factor) đặc trưng cho sự thay đổi điện trở khi biến dạng.

- Thành phần $\frac{d\rho/\rho}{\varepsilon_{axial}}$ thể hiện sự thay đổi của trở suất vật liệu khi biến dạng, thực tế thành phần này nhỏ có thể bỏ qua, do đó:

$$G_f \approx 1 + 2\nu$$

Đối với vật liệu kim loại, ν trong khoảng 0,3~0,5; do đó, G_f của strain gage kim loại thường có trị số trong khoảng 1,6~2,0.

- Với một strain gage dán trên một bề mặt cần đo biến dạng, biết gage factor và điện trở, biến dạng được xác định dựa vào sự thay đổi điện trở ΔR theo công thức:

$$\varepsilon_{axial} = \frac{\Delta R/R}{G_f}$$

- Trong thực tế, strain gage dây kim loại thường có G_f xấp xỉ 2, điện trở 120Ω. Đơn vị biến dạng thường dùng là $\mu\varepsilon$ (đọc là “microstrain”), $1\mu\varepsilon = 10^{-6}$.

Material	Gauge Factor
Nickel	-12.6
Manganese	+0.07
Nicrome	+2.0
Constantan	+2.1
Soft Iron	+4.2
Carbon	+20
Platinum	+4.8

- G_f âm \rightarrow khi biến dạng, điện trở giảm.

VD: Một strain gage 120Ω có hệ số gage là 2,0 được dùng để đo biến dạng $100\mu\epsilon$. Xác định sự thay đổi điện trở của strain gage.

ĐS: $0,024\Omega$

VD: Một strain gage có $G_f = 2$ dán lên 1 thanh thép chịu ứng suất 100MN/m^2 . Tính % thay đổi điện trở của strain gage. Biết mô đun đàn hồi của thép là 200GN/m^2 .

Giải:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{100 \times 10^6}{200 \times 10^9} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m/m}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = G_f \epsilon = 2 \times 0,5 \times 10^{-3} = 0,001 = 0,1\%$$

2.5.2) Cảm biến lực - Cảm biến momen

- Cảm biến lực/momen gồm 3 loại thông dụng:
 - o cảm biến lực/momen dựa trên biến dạng lò xo,
 - o cảm biến lực/momen dùng strain gage,
 - o cảm biến lực/momen dùng piezoelectric.

a) Cảm biến lực/momen dựa trên biến dạng lò xo:

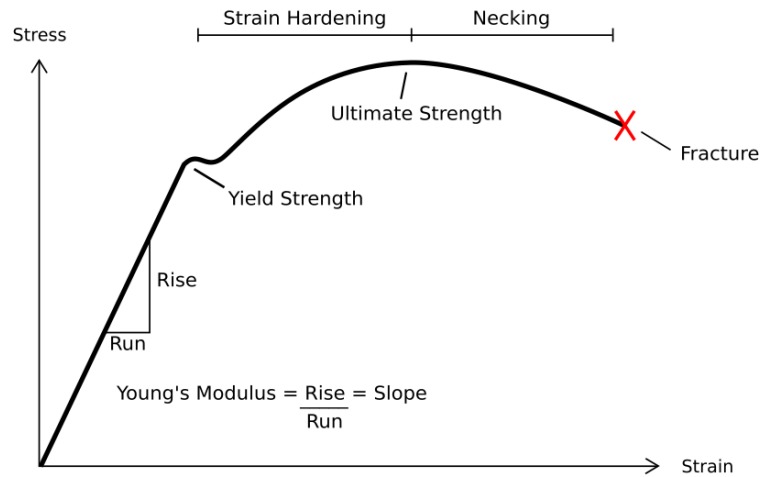
- Sử dụng lò xo độ cứng K_{spring} . Đo chuyển vị (hay biến dạng lò xo) $x \rightarrow$ lực/moment.

$$F = K_{spring}x$$

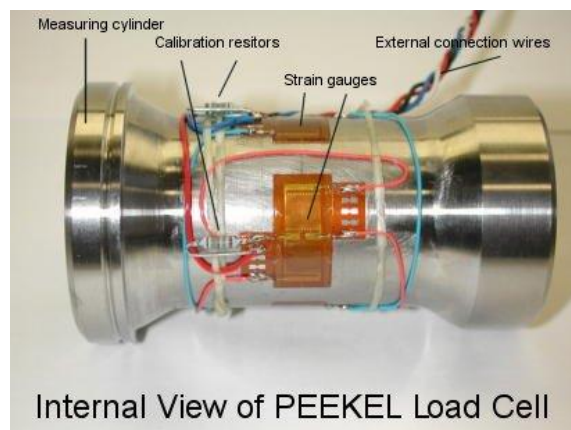
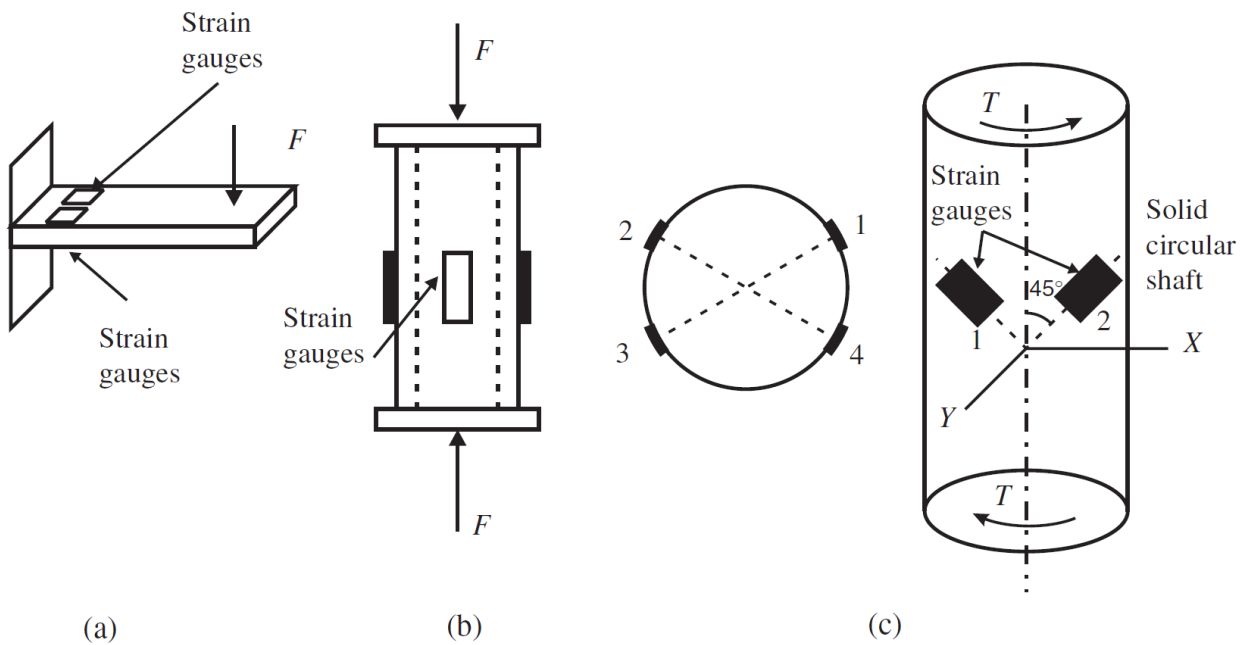
(Dùng lò xo xoắn trong trường hợp đo momen.)

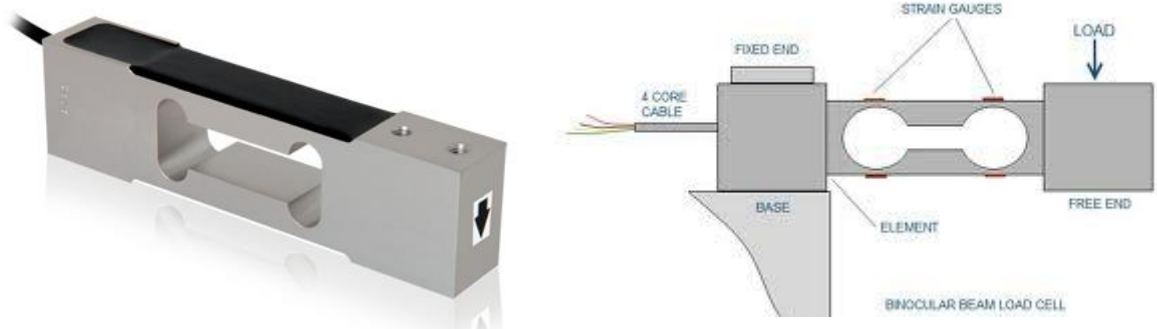
b) Cảm biến lực/momen dùng strain gage

- Sử dụng strain gage. Đo biến dạng (strain) \rightarrow lực/moment.
- Giả thiết: Biến dạng đủ nhỏ, nằm trong vùng đàn hồi.

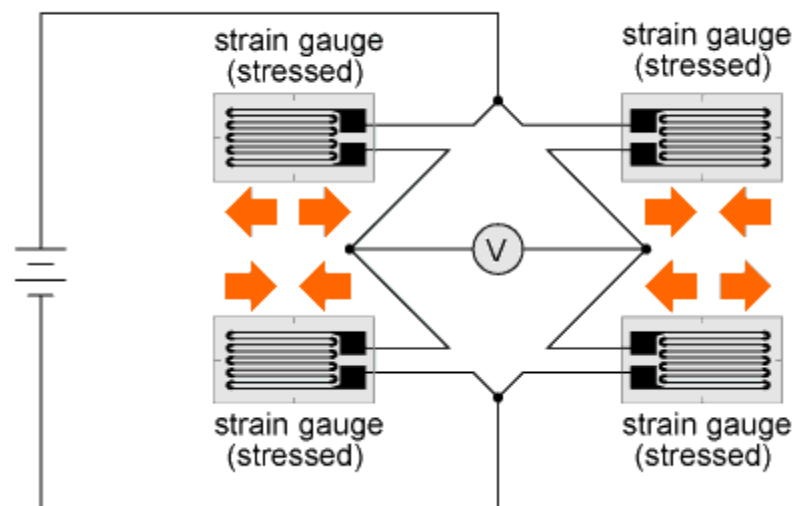


$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{EA} \Rightarrow F = \varepsilon EA$$



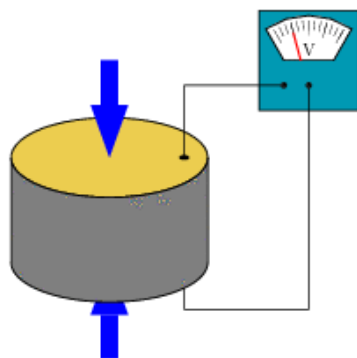


Full-bridge strain gauge circuit



c) Cảm biến lực dùng piezoelectric

- Cảm biến piezoelectric: Lực (nén) thay đổi \rightarrow điện tích thay đổi.



Piezoelectric Effect

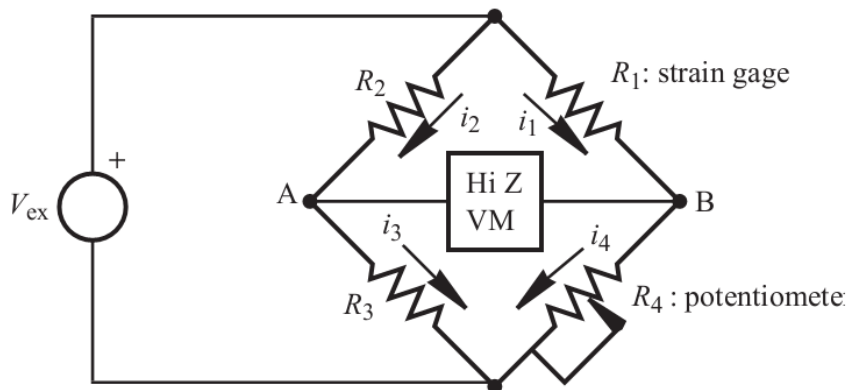


Force Sensor

- Tín hiệu đo sinh bởi cảm biến piezoelectric sẽ suy giảm dần theo thời gian. Do đó, loại cảm biến này chỉ dùng để đo lực động (dynamic force), không thể đo lực tĩnh hay lực biến thiên chậm.

2.5.3) Cầu Wheatstone

- Cầu Wheatstone có thể được sử dụng để đo sự thay đổi nhỏ điện trở.



$$V_A = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{ex}$$

$$V_B = \frac{R_4}{R_1 + R_4} V_{ex}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_A - V_B = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right) V_{ex} \\ &= \frac{R_3 R_1 - R_4 R_2}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} V_{ex} \end{aligned}$$

- Khi $R_3 R_1 = R_4 R_2$ (hay $\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$) thì $V_{out} = 0 \rightarrow$ cầu cân bằng.
- Thường chọn $R_2 = R_3 = R_4 = R$, trong đó R là điện trở của strain gage khi chưa biến dạng. Khi strain gage biến dạng, thay R_1 bằng $R + \Delta R$, ta có:

$$V_{out} = \left[\frac{R(R + \Delta R) - R^2}{(R + R)(R + \Delta R + R)} \right] V_{ex}$$

$$\Rightarrow V_{out} = \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} V_{ex} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{2\left(2 + \frac{\Delta R}{R}\right)} V_{ex}$$

- Với $\frac{\Delta R}{R} \ll 2$, ta có công thức gần đúng:

$$V_{out} = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} V_{ex}$$

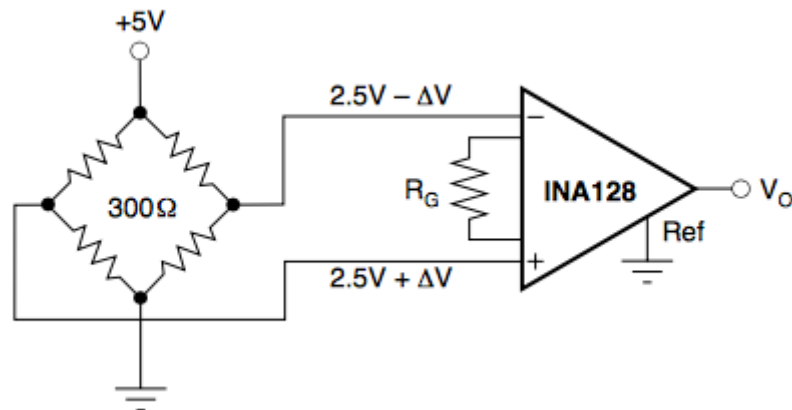
hay

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{4V_{out}}{V_{ex}}$$

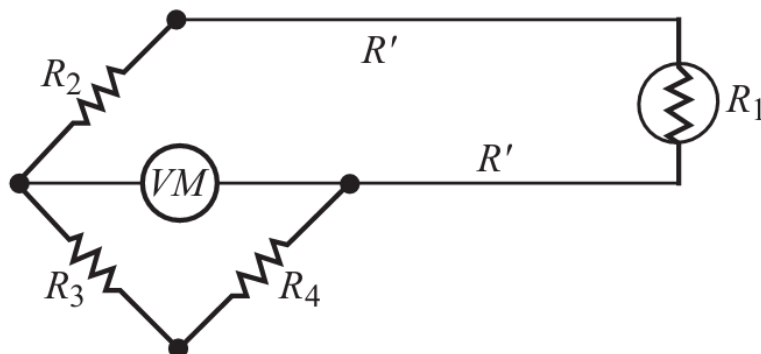
Đo biến dạng: Đo $V_{out} \Rightarrow$ Tính $\frac{\Delta R}{R} \Rightarrow \varepsilon_{axial} = \frac{\Delta R/R}{G_f}$

- Sai số:
 - Sai số do điện trở của thiết bị đo không đủ lớn.

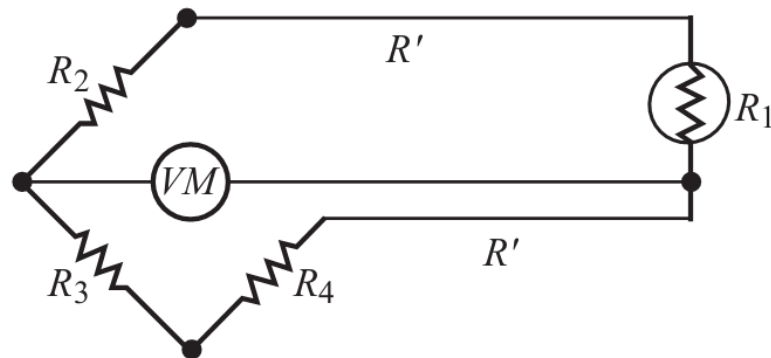
Giải pháp: sử dụng mạch đo có trở kháng vào lớn (chẳng hạn, mạch khuếch đại dụng cụ INA128).



- Sai số do điện trở dây dẫn nối strain gage:



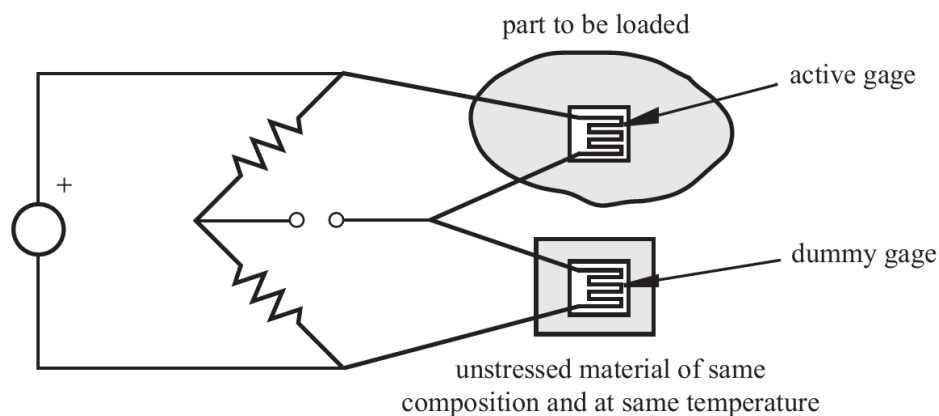
Giải pháp:



- Sai số do nhiệt độ: Nhiệt độ thay đổi → điện trở strain gage thay đổi.

Giải pháp: Bù ảnh hưởng của nhiệt độ

- Sử dụng “dummy gage” (hình dưới đây)
- Sử dụng cầu strainage trong đó gồm những cặp strainage giống nhau với sự sắp đặt vị trí thích hợp.



VD: Một thanh thép đường kính 10mm, có môđun đàn hồi là 200GPa, chịu lực kéo 50kN. Để đo biến dạng dọc trục, người ta dùng một strain gage $R = 120\Omega$, $G_f = 2,115$ dán lên thanh thép theo phương dọc trục.

- Xác định sự thay đổi điện trở của strain gage khi biến dạng.
- Strain gage này được nối vào một nhánh cầu Wheatstone, điện trở 3 nhánh còn lại đều là 120Ω . Điện áp kích thích là 10V. Xác định điện áp ngõ ra.

2.6) Đo nhiệt độ

- Đơn vị:

- Celsius ($^{\circ}\text{C}$): đơn vị nhiệt độ tương đối thường dùng (hệ SI)
- Kelvin (K): đơn vị nhiệt độ tuyệt đối chuẩn (hệ SI)
- Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$): đơn vị nhiệt độ tương đối (hệ Anh)
- Rankine ($^{\circ}\text{R}$): đơn vị nhiệt độ tuyệt đối (hệ Anh)

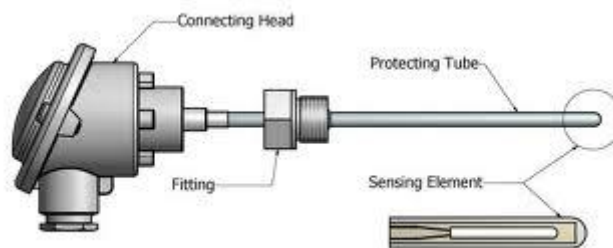
$$T_C = T_K - 273.15$$

$$T_F = (9/5)T_C + 32$$

$$T_R = T_F + 459.67$$

- Các thiết bị thường dùng để đo nhiệt độ: nhiệt kế chất lỏng, nhiệt kế điện trở, thermistor, thermocouple.

2.6.1) Nhiệt kế điện trở



- RTD (Resistance Temperature Device): đo nhiệt độ dựa vào sự thay đổi điện trở của dây kim loại theo nhiệt độ.

$$R = R_0 + R_0\alpha(T - T_0)$$

T_0 : nhiệt độ tham chiếu, thường là 0°C .

R_0 : điện trở tại nhiệt độ tham chiếu.

α : hằng số cân chỉnh.

- Độ nhạy của RTD (dR/dT) là $R_0\alpha$.
- Phạm vi đo: -220°C đến 750°C .
- Kim loại thường dùng trong RTD là platinum do nhiệt nóng chảy cao, không bị oxy hóa, các giá trị cân chỉnh ổn định.

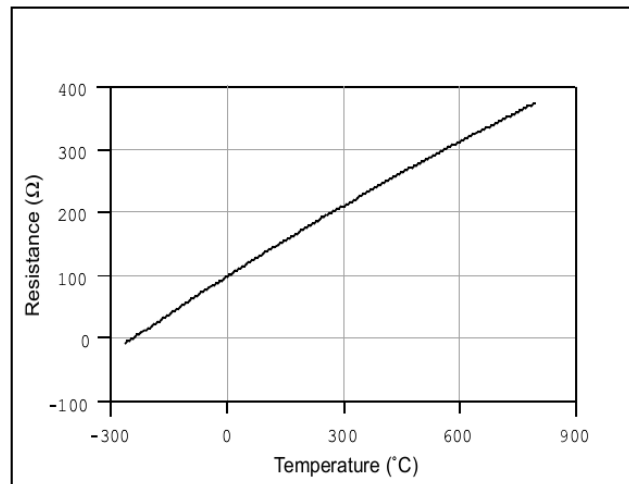


Figure 1. Resistance-Temperature Curve for a 100 Ω Platinum RTD, $\alpha = 0.00385$

- Thực tế, đặc tuyến điện trở - nhiệt độ của RTD không hoàn toàn tuyến tính.
- Hằng số α được định nghĩa bởi biểu thức:

$$\alpha(\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}) = (R_{100} - R_0)/(R_0 * 100^{\circ}\text{C})$$

Trong đó R_0 và R_{100} là điện trở của RTD tương ứng tại 0 và 100°C.

VD: PT100 là RTD platinum có điện trở 100Ω tại 0°C. Xác định điện trở của PT100 có $\alpha = 0.003911$ tại 100°C và 500°C.

Giải:

- Để tăng độ chính xác, người ta xấp xỉ đặc tuyến này bởi phương trình Callendar – Van Dusen:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)^3]$$

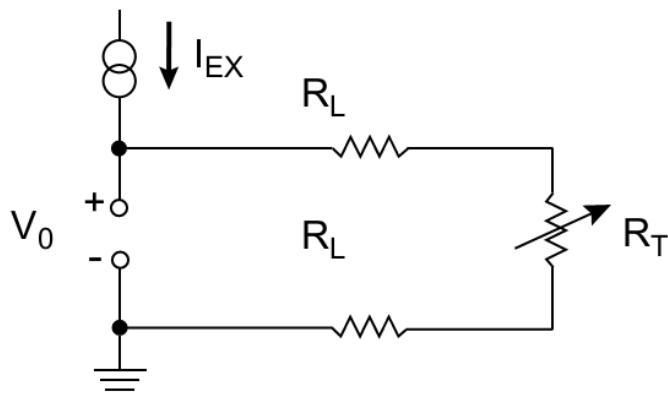
trong đó R_t là điện trở RDT tại nhiệt độ t . R_0 là điện trở tại 0°C. A, B, C là các hệ số Callendar – Van Dusen.

Table 1. Callendar-Van Dusen Coefficients Corresponding to Common RTDs

Standard	Temperature Coefficient (α)	A	B	C*
DIN 43760	0.003850	3.9080×10^{-3}	-5.8019×10^{-7}	-4.2735×10^{-12}
American	0.003911	3.9692×10^{-3}	-5.8495×10^{-7}	-4.2325×10^{-12}
ITS-90	0.003926	3.9848×10^{-3}	-5.870×10^{-7}	-4.0000×10^{-12}

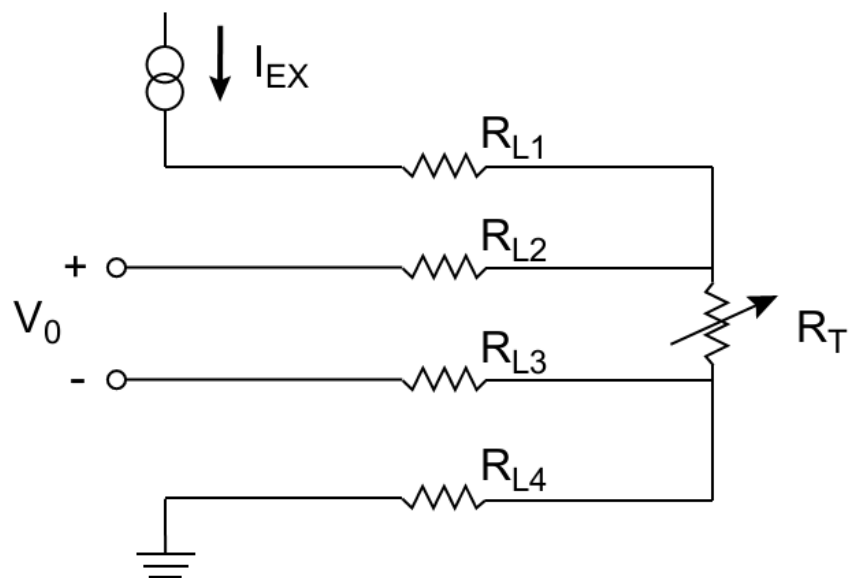
- Mạch đo nhiệt độ sử dụng RTD:

○ RTD 2 dây

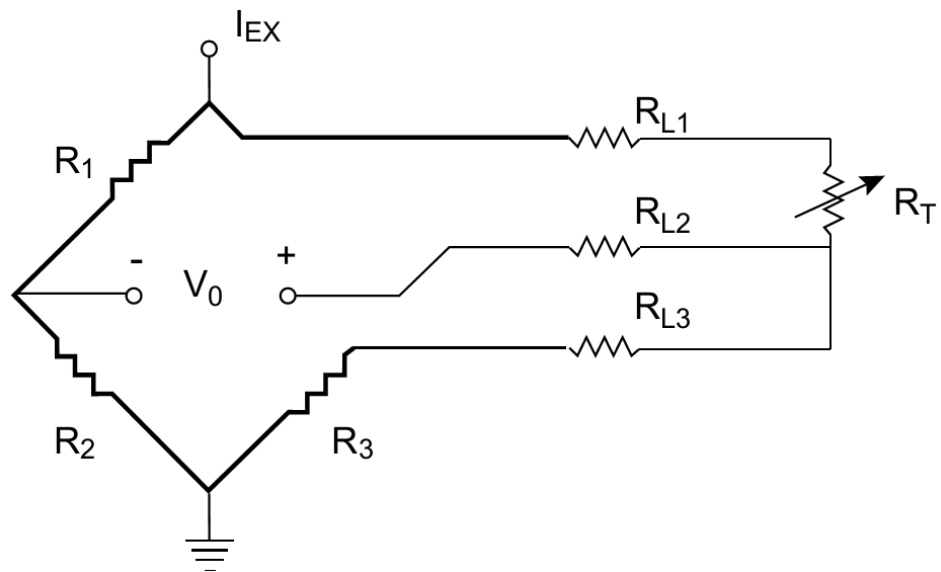


Điện trở dây dẫn (R_L) gây sai số đo!!!

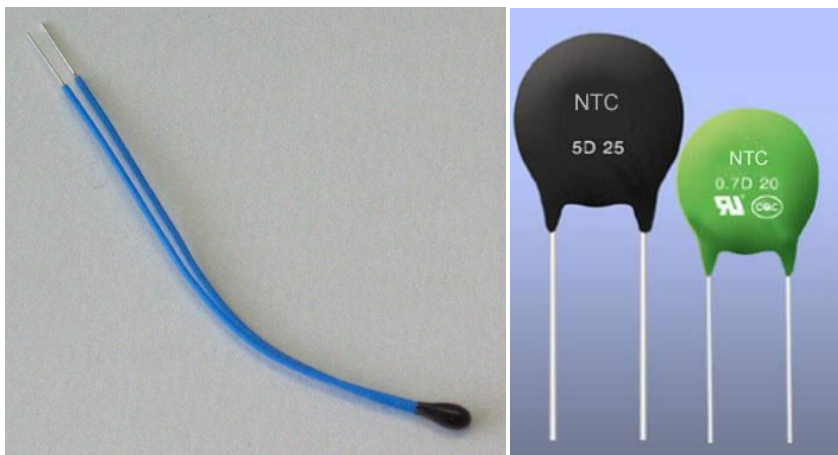
○ RTD 4 dây:



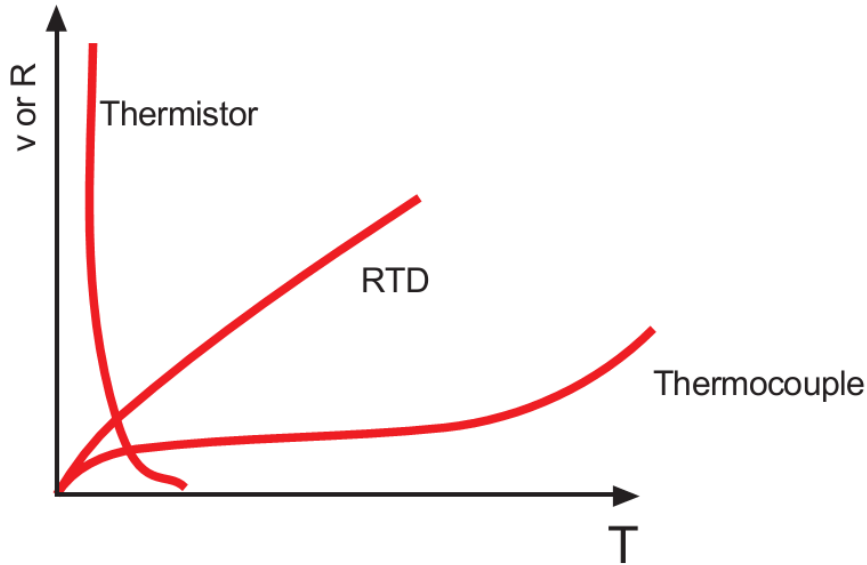
○ Cầu Wheatstone với RTD 3 dây:



2.6.2) Thermistor



- Thermistor là một loại cảm biến nhiệt độ sử dụng bán dẫn.
- 2 loại:
 - PTC (Positive Temperature Coefficient): T tăng $\rightarrow R$ tăng.
 - NTC (Negative TC): T tăng $\rightarrow R$ giảm (thông dụng)



- Phương trình xấp xỉ Steinhart–Hart:

$$\frac{1}{T} = a + b \ln(R) + c \ln^3(R)$$

- Thermistor NTC có thể xấp xỉ bởi phương trình Steinhart–Hart với:

$$a = (1/T_0) - (1/\beta) \ln R_0$$

$$b = 1/\beta$$

$$c = 0$$

Thay vào phương trình Steinhart–Hart, suy ra:

$$R = R_0 e^{\left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]}$$

trong đó: T: nhiệt độ (đơn vị K)

T_0 là nhiệt độ tham chiếu (298.15 K),

R_0 là điện trở tại nhiệt độ tham chiếu,

β là hằng số cân chỉnh.

- Phạm vi đo hẹp: -90°C đến 130°C.

VD: Làm thí nghiệm trên một thermistor, ta có số liệu sau:

T (°C)	R (Ω)
0	16330

25	5000
50	1801

- a) Tìm đặc tuyến nhiệt độ - điện trở của thermistor. Thermistor thuộc loại PTC hay NTC?
- b) Dùng thermistor trên để đo nhiệt độ. Xác định nhiệt độ cần đo nếu điện trở đo được là 950Ω .

Giải:

- a) Thay vào phương trình Steinhart–Hart:

$$\frac{1}{273} = a + b \ln(16330) + c \ln^3(16330)$$

$$\frac{1}{298} = a + b \ln(5000) + c \ln^3(5000)$$

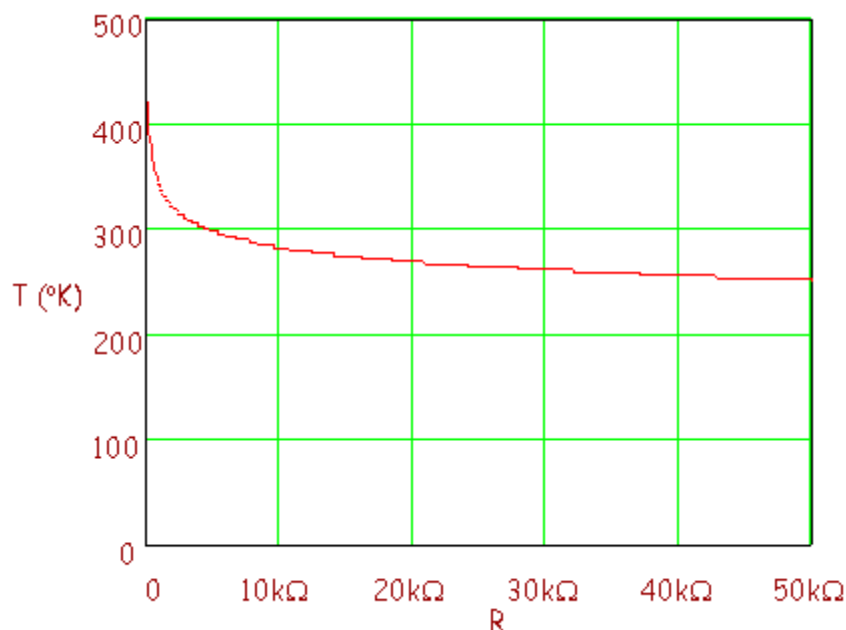
$$\frac{1}{323} = a + b \ln(1801) + c \ln^3(1801)$$

Giải hệ 3 phương trình, ta có kết quả:

$$a = 0,001284$$

$$b = 2,364 \times 10^{-4}$$

$$c = 9,304 \times 10^{-8}$$



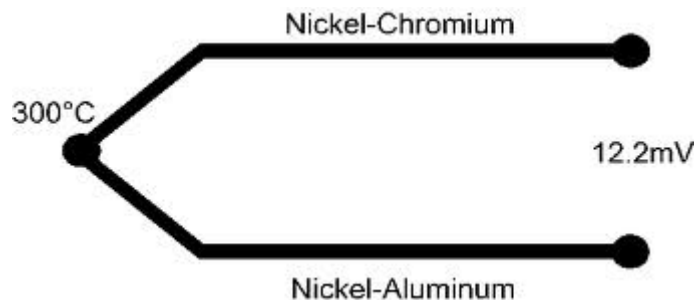
- b) Nhiệt độ cần đo:

$$\begin{aligned}\frac{1}{T} &= 0,001284 + 2,364 \times 10^{-4} \ln(950) \\ &\quad + 9,304 \times 10^{-8} \ln^3(950) \\ \Rightarrow T &= 340.73K = 71,02^\circ\text{C}\end{aligned}$$

2.6.4) Cặp nhiệt điện (thermocouple)



- Cặp nhiệt điện cấu tạo bởi 2 dây kim loại khác nhau được hàn với nhau ở một đầu gọi là đầu nóng (hay đầu đo), hai đầu dây còn lại gọi là đầu lạnh (hay đầu chuẩn).



- Hiệu ứng Seebeck: khi có chênh lệch nhiệt độ giữa đầu nóng và đầu lạnh thì phát sinh sức điện động V giữa 2 đầu lạnh:

$$V = a + b(T - T_0) + c(T - T_0)^2$$

trong đó: T là nhiệt độ đầu nóng (nhiệt độ đo), T_0 là nhiệt độ đầu lạnh.

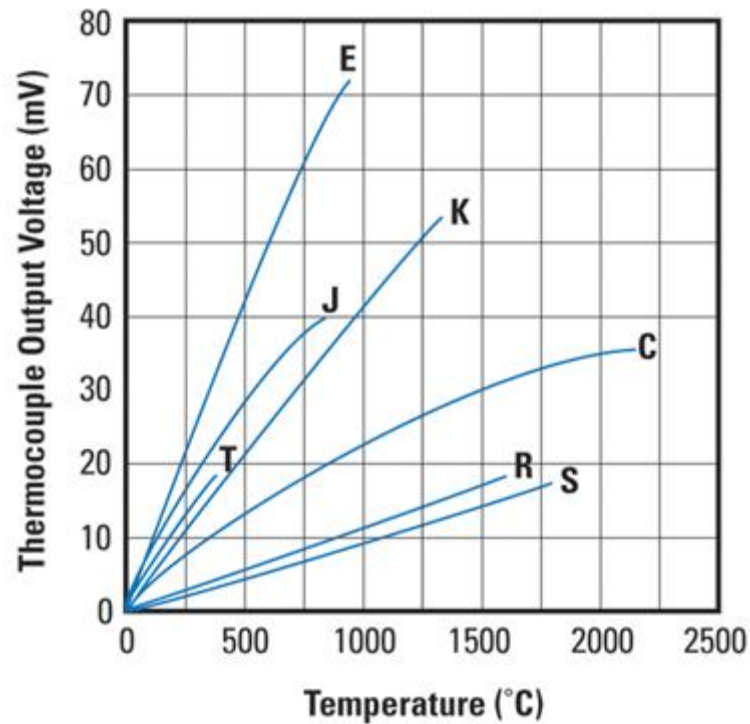
Quan hệ giữa sức điện động V và độ chênh lệch nhiệt độ là phi tuyến. Nếu sử dụng dải đo hẹp, ta có thể tuyến tính hóa đặc tính cặp nhiệt điện theo biểu thức:

$$V = \alpha(T - T_0)$$

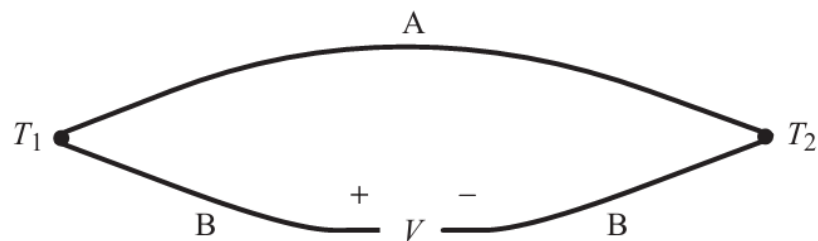
trong đó: α là hệ số nhiệt có đơn vị $\mu V/^{\circ}C$.

- Các loại cặp nhiệt điện: B, C, E, J, K, M, N, R, S, T

Loại	Vật liệu	Dải nhiệt độ đo
B	Platinum 30% Rhodium (+) Platinum 6% Rhodium (-)	1370 ÷ 1700 °C
C	W5Re Tungsten 5% Rhenium (+) W26Re Tungsten 26% Rhenium (-)	1650 ÷ 2315 °C
E	Chromel (+) Constantan (-)	95 ÷ 900 °C
J	Iron (+) Constantan (-)	95 ÷ 760 °C
K	Chromel (+) Alumel (-)	95 ÷ 1260 °C
M	Nickel (+) Nickel (-)	0 ÷ 1287 °C
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	650 ÷ 1260 °C
R	Platinum 13% Rhodium (+) Platinum (-)	870÷1450 °C
S	Platinum 10% Rhodium (+) Platinum (-)	980 ÷ 1450 °C
T	Copper (+) Constantan (-)	- 200 ÷ 350 °C

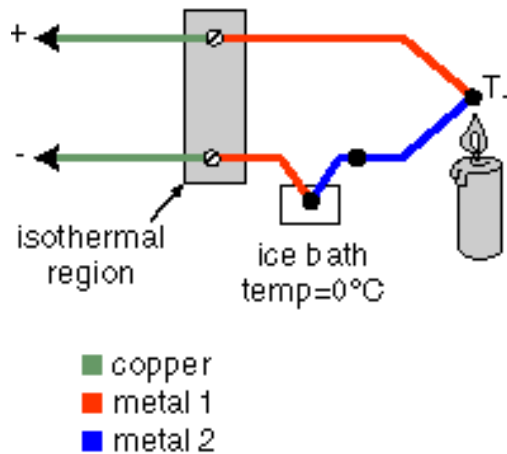


- Trong thực tế, mạch đo phải là mạch vòng kín nên mạch đo các mối nối đi theo cặp:



$$V = \alpha(T_1 - T_2)$$

- Khi nối với dây đo, 2 mối nối cặp nhiệt điện với dây đo cũng sinh ra 2 sức điện động. Nhưng nếu 2 mối nối này có cùng nhiệt độ thì 2 sức điện động này triệt tiêu nhau



- Nếu ta nhúng đầu lạnh vào nước đá đang tan (0°C) thì nhiệt độ đầu nóng sẽ được xác định qua điện áp đo được bởi:

$$V = \alpha T_1$$

- Để kết quả đo chính xác hơn, ta có thể tra bảng:

ITS-90 Table for Type J Thermocouple (Ref Junction 0°C)

<http://iseinc.com>

$^{\circ}\text{C}$	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360

J

- Trong thực tế, đầu lạnh được đặt ở nhiệt độ môi trường; trong khi chỉ có bảng tra chuẩn 0°C (nhiệt độ đầu lạnh = 0°C). Khi đó, điện áp được xác định bằng quy tắc nhiệt độ trung gian như sau:

$$V_{1/3} = V_{1/2} + V_{2/3}$$

VD: Xác định điện áp ra của cặp nhiệt điện loại J biết đầu nóng ở 100°C , đầu lạnh đặt ở nhiệt độ môi trường 25°C .

Giải

Ta có: $V_{100/25} = V_{100/0} + V_{0/25} = V_{100/0} - V_{25/0}$
 $= 5,269 - 1,277 = 3,992 \text{ mV}$

VD: Cặp nhiệt điện loại J dùng để đo nhiệt độ. Biết điện áp ra cảm biến là 3,032mV, đầu lạnh đặt ở nhiệt độ 25°C. Xác định nhiệt độ cần đo.

$$V_{25/0} = 1,277 \text{ mV}$$

$$V_{T/0} = V_{T/25} + V_{25/0} = 3,032 + 1,277 = 4,309 \text{ mV}$$

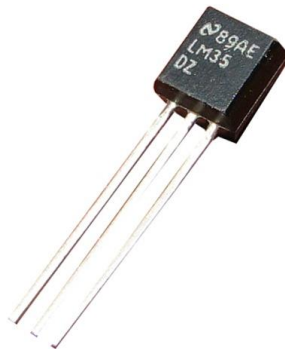
Tra bảng: $V_{82/0} = 4,294 \text{ mV},$

$$V_{83/0} = 4,348 \text{ mV}$$

Nội suy:

$$\frac{T-82}{83-82} = \frac{4,309-4,294}{4,348-4,294} \Rightarrow T = \frac{4,309-4,294}{4,348-4,294} + 82 = 82,278^\circ\text{C}$$

2.6.5) Cảm biến nhiệt vi mạch



- Cảm biến nhiệt vi mạch chế tạo từ chất bán dẫn, đo nhiệt độ dựa trên sự phụ thuộc điện áp mối nối pn theo nhiệt độ:

$$V = \frac{KT}{q} \ln(J_{E1}/J_{E2})$$

K : hằng số Boltzman,

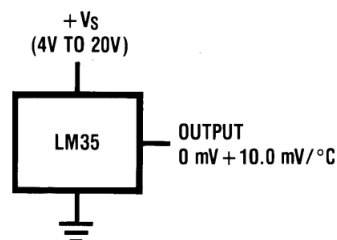
q : điện tích 1 electron (hằng số),

J_{E1}, J_{E2} : mật độ dòng điện emitter bên trong vi mạch.

Bên trong vi mạch, J_{E1}/J_{E2} được duy trì không đổi. Do đó, điện áp V tỉ lệ với nhiệt độ T .

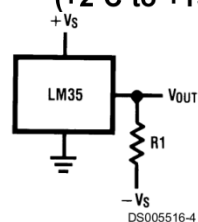
- Các IC cảm nhiệt được chế tạo theo 3 thang nhiệt độ C, F, K tùy loại.

Mã	Tầm đo	Độ chính xác	Độ nhạy
LM34	$-50 \div 300^{\circ}\text{F}$	$\pm 3.0^{\circ}\text{F}$	$10\text{mV}/^{\circ}\text{F}$
LM35A	$-55 \div 150^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$	$10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
LM45B/50B	$-40 \div 125^{\circ}\text{C}$	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$	$10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
LM135A	$-55 \div 150^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.3^{\circ}\text{C}$	$10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$
LM235A	$-40 \div 120^{\circ}\text{C}$	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$	$10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$
LM335A	$-40 \div 100^{\circ}\text{C}$	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$	$10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



DS005516-4

Choose $R_1 = -V_S/50 \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = +1,500 \text{ mV at } +150^{\circ}\text{C}$
 $= +250 \text{ mV at } +25^{\circ}\text{C}$
 $= -550 \text{ mV at } -55^{\circ}\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

- Ứng dụng: thường dùng để đo nhiệt độ môi trường, dùng trong các mạch bù nhiệt cho cặp nhiệt điện,...