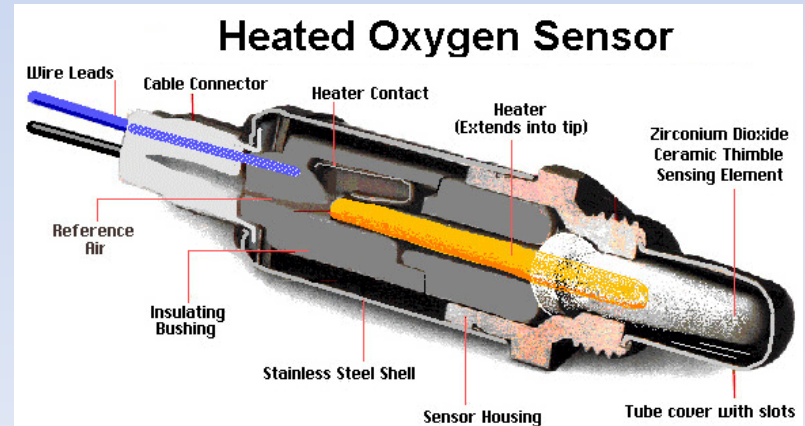


Kỹ thuật đo lường (3)

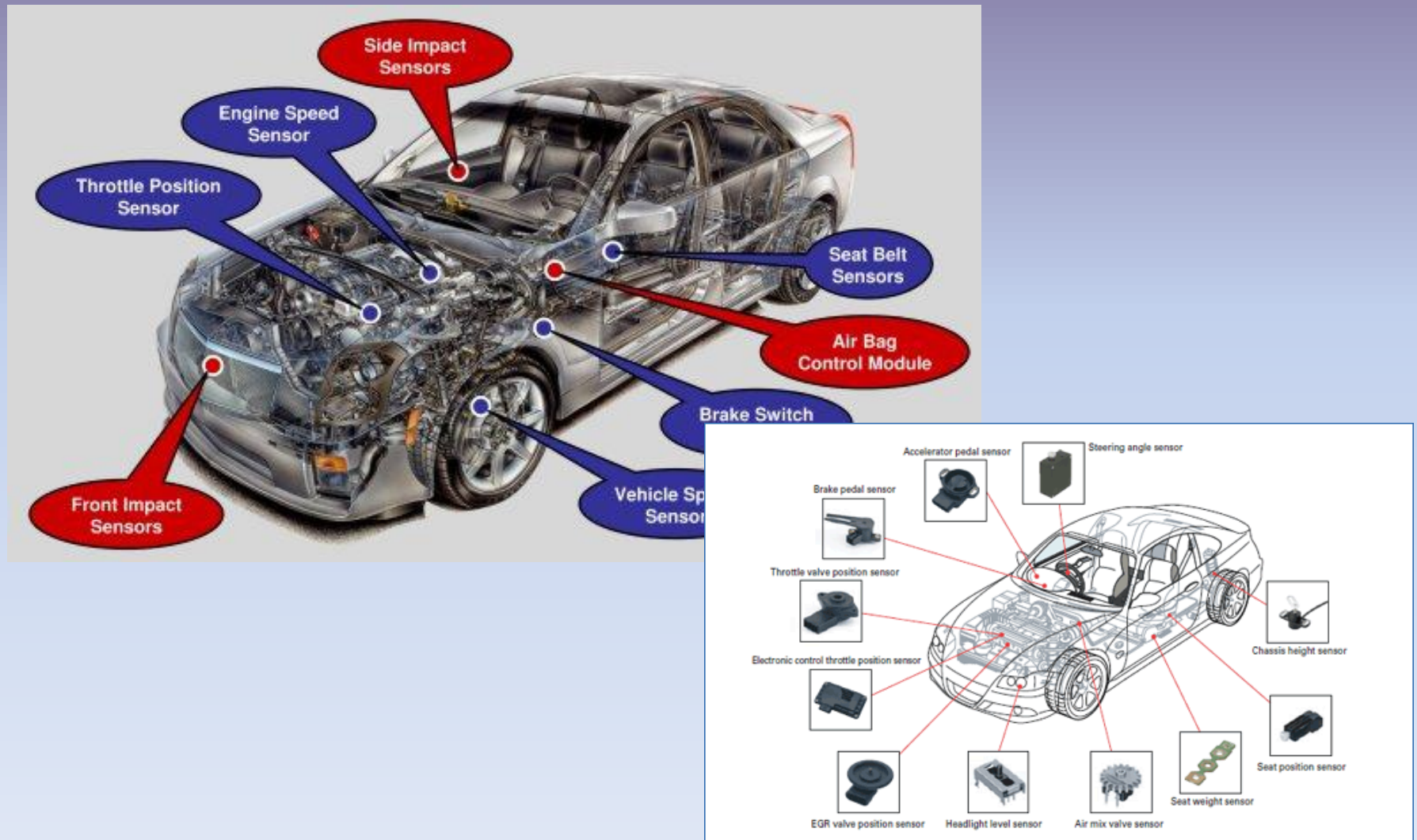
GV: Hoàng Sĩ Hồng

What is a sensor ?

A sensor is a device which receives and responds to a signal or stimulus. Here, the term "stimulus" means a property or a quantity that needs to be converted into electrical form. Hence, sensor can be defined as a device which receives a signal and converts it into electrical form which can be further used for electronic devices. A sensor differs from a transducer in the way that a transducer converts one form of energy into other form whereas a sensor converts the received signal into electrical form only.

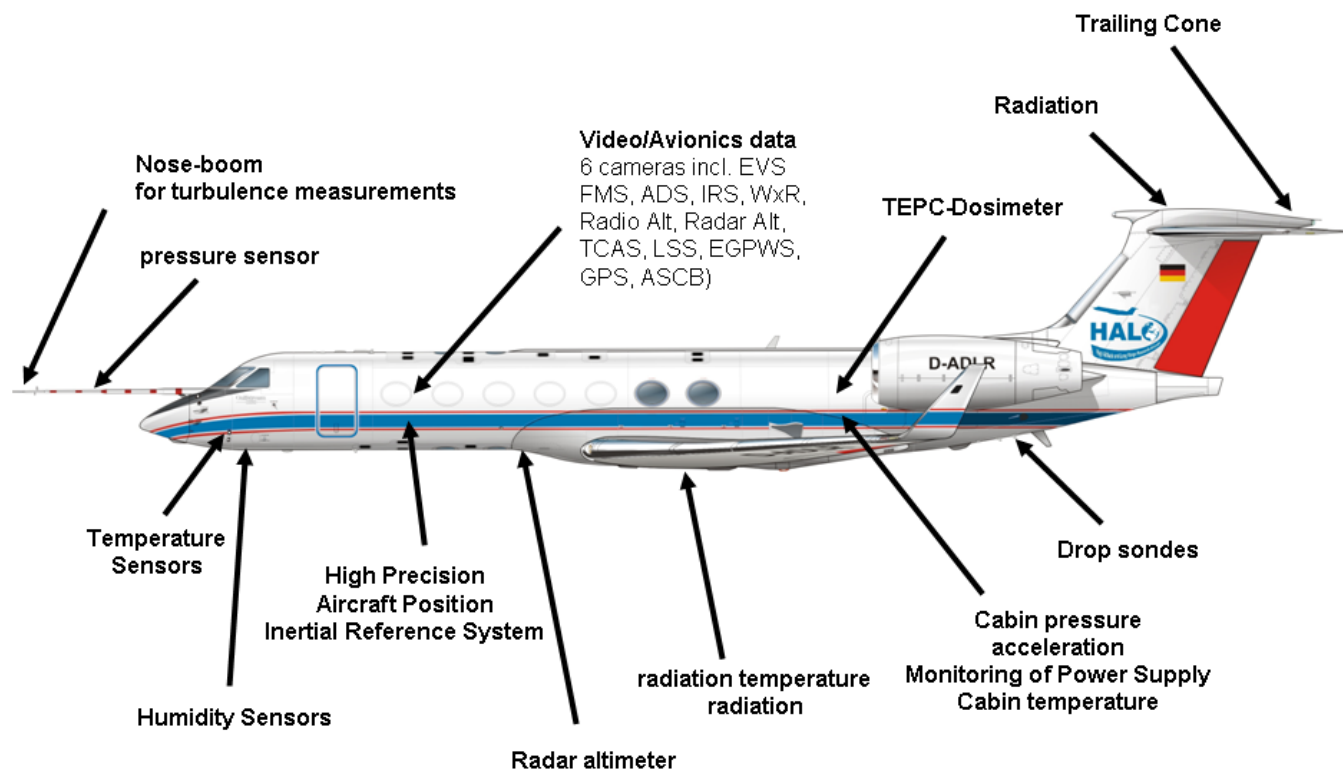


Application

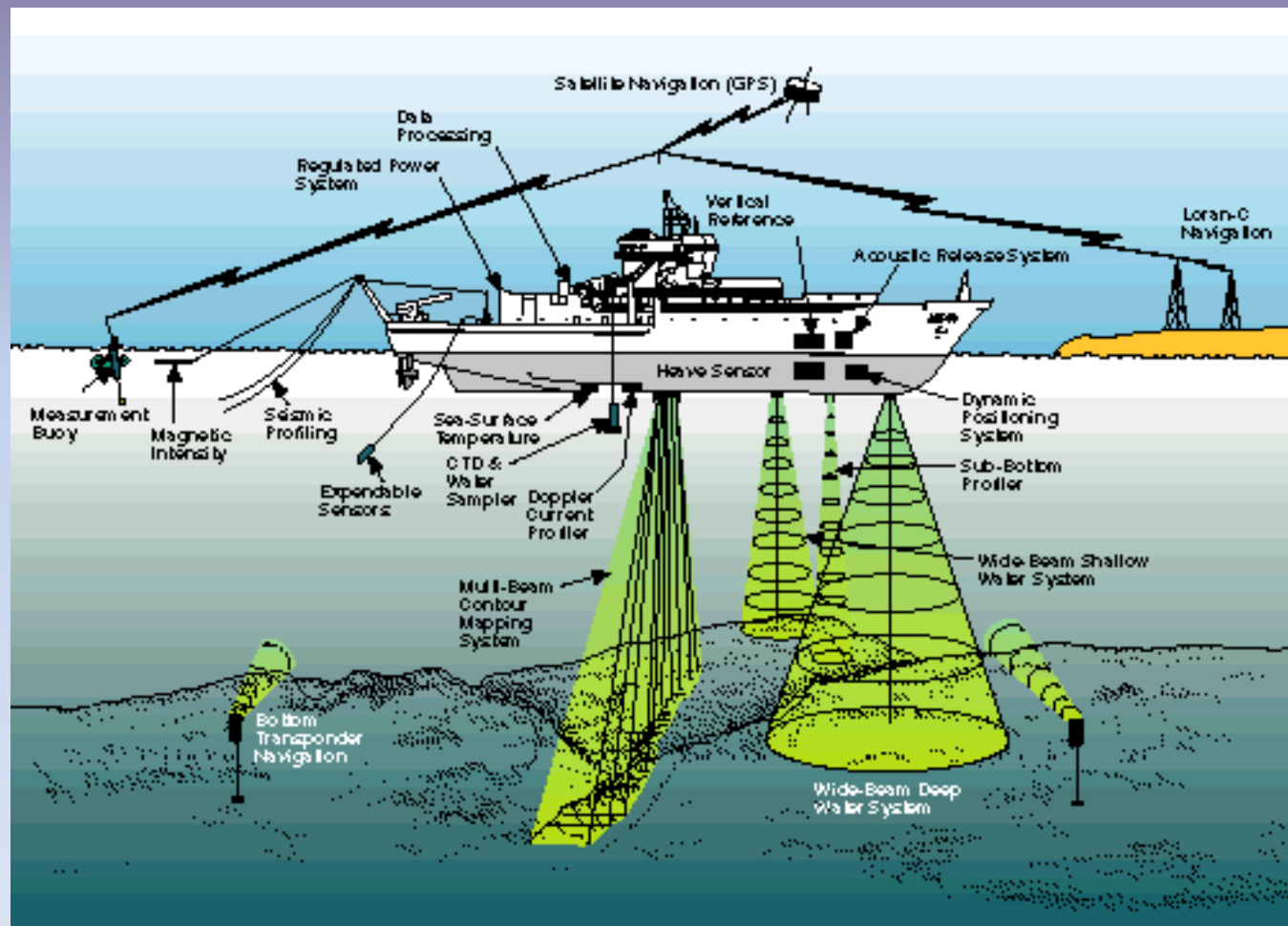


Application

Basic sensors and data Acquisition Integration and Operation: DLR-FB



Application



Application

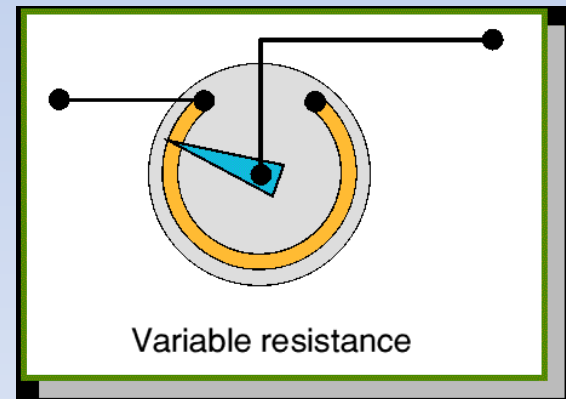
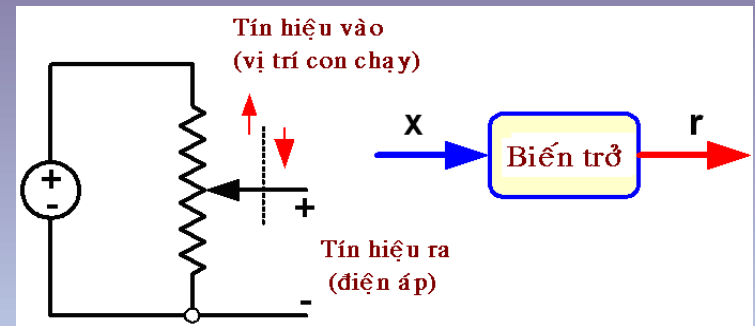


Các chuyển đổi đo lường sơ cấp

- Chuyển đổi biến trở (điện trở)
- Chuyển đổi điện trở lực căng (điện trở)
- Chuyển đổi điện cảm và hồ cảm (điện từ)
- Chuyển đổi áp từ (điện từ)
- Chuyển đổi áp điện (tĩnh điện)
- Chuyển đổi điện dung (tĩnh điện)
- Chuyển đổi cặp nhiệt điện (nhiệt điện)
- Chuyển đổi nhiệt điện trở (nhiệt điện)
- Chuyển đổi hoá điện
- Chuyển đổi điện tử và ion

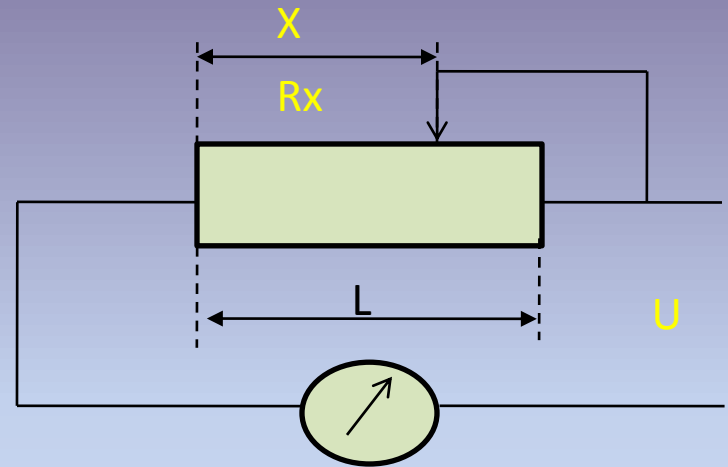
Chuyển đổi biến trở

- Cấu tạo: gồm một lõi bằng vật liệu cách điện: gốm, sứ có hình dạng khác nhau
- Trên lõi quấn dây điện trở bằng maganin, niken, crom.. Đường kính từ 0.02 – 0.1 mm
- Trên lõi và dây quấn có con trượt chế tạo bằng hợp kim platin-iridi, lực tì khoảng 0.01-0.1N



Chuyển đổi biến trở

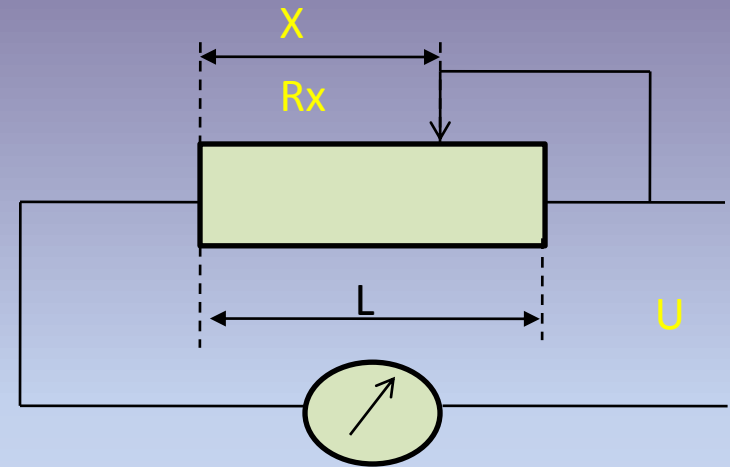
- Nếu điện trở toàn phần của chuyển đổi là R với số vòng dây W . Thì điện trở có thể phát hiện bé nhất là $R_0 = R/W \rightarrow$ ngưỡng nhạy.



- Nếu chiều dài biến trở là l , thì độ di chuyển bé nhất có thể phát hiện được là $X_0 = l/W$.
- Sai số rời rạc của chuyển đổi với cuộn dây quấn như là: $\gamma = \Delta R_{\min}/2R = l/(2W)$
- ΔR_{\min} là điện trở toàn phần của một vòng dây
- Sai số phi tuyến từ 0.1 đến 0.03%, ss nhiệt độ 0.1%/10 độ C

Mạch đo

- mạch biến trở
- $I = U / (R_x + R_{ct}) = U / (R_{ct} + R \cdot (x/l))$
- dòng điện trong mạch tỷ lệ nghịch với điện trở cần đo, không tuyến tính, dòng điện ko biến thiên từ 0 trở đi



Mạch phân áp

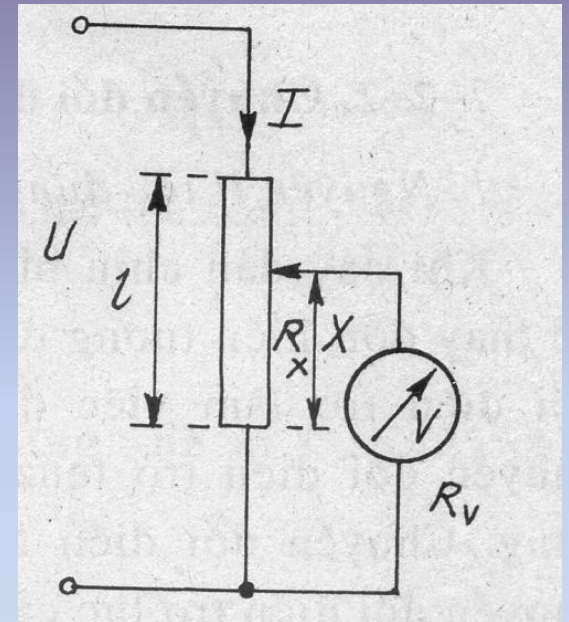
Ta có:

$$I = \frac{U}{R - R_x + \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}}$$

$$U_x = I \cdot \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} = \frac{U}{R - R_x + \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}} \cdot \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v}$$

nếu $R_v \gg R$ thì $\frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} \approx \frac{R_x \cdot R_v}{R_v} = R_x$

$$\text{và } U_x = \frac{U \cdot R_x}{R - R_x + R_x} = U \cdot \frac{R_x}{R} = \frac{U}{R} \cdot R \frac{x}{l} = U \cdot \frac{x}{l}$$



- Quan hệ giữa U_x và x là tuyến tính. U_x biến thiên từ 0 đến U khi R_x biến thiên từ 0 đến R

Mạch cầu

Nếu $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ và $R_g \gg R$.

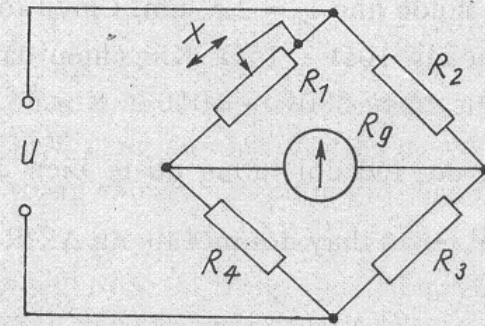
Ta có $U_g \approx \frac{U}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$

$\frac{\Delta R}{R}$ lượng biến thiên điện trở tương đối khi biến trở di chuyển.

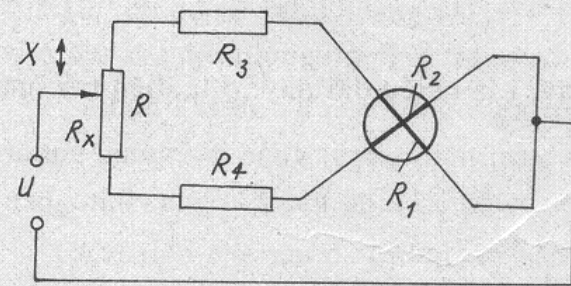
* Ngoài ra còn dùng *mạch lôgômet* (h.7-6)

R – biến trở;

R_1, R_2 – điện trở cuộn dây lôgômet;



Hình 7-5



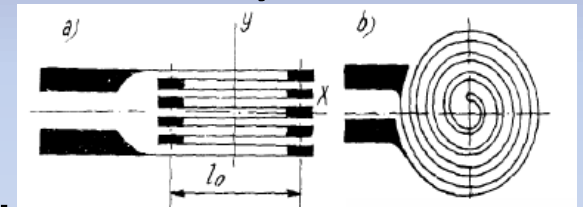
Hình 7-6

R_3, R_4 – điện trở phụ, xác định theo thông số của chuyển đổi và lôgômet. Khi R_x thay đổi làm dòng điện I_1 và I_2 thay đổi và góc quay $\alpha = f(I_1/I_2) = f(R_2/R_1) = f(x)$.

4. *Ứng dụng*: Chuyển đổi biến trở thường dùng để đo các di chuyển thẳng ($2 \div 3$ mm) hoặc di chuyển góc của các đối tượng đo.

Chuyển đổi điện trở lực căng

- Nguyên lý và cấu tạo
- Khi dây dẫn chịu biến dạng cơ khí thì điện trở của nó thay đổi, hiện tượng đó gọi là hiệu ứng tenzo. Chuyển đổi làm việc dựa trên hiệu ứng đó gọi là chuyển đổi điện trở lực căng
- Dây mảnh, lá mỏng và màng mỏng
- Trên giấy mỏng cách điện, dán dây điện trở (constantan, nicrom..) hình răng lược đường kính 0.02 – 0.03 mm. Chiều dài lo thường từ 8-15 mm, chiều rộng 3-10 mm. Điện trở ban đầu 800 – 1000 Ω , lượng thay đổi điện trở khoảng 10-15 Ω



Nguyên lý

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

ư hay $\varepsilon_R = \varepsilon_l$

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

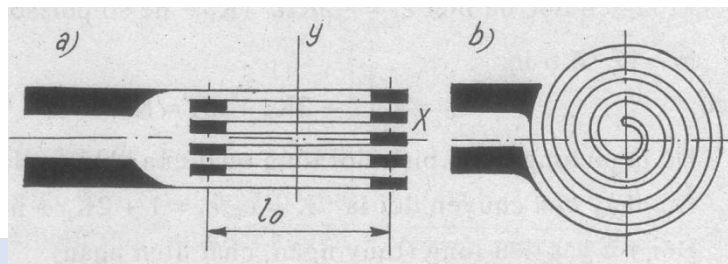


$$\varepsilon_R = \varepsilon_l (1 + 2K_p + m) = K \varepsilon_l$$

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

Tính chất

- Hệ số nhiệt độ của vật liệu cần phải bé hoặc cần có bù nhiệt trong mạch đo
- Vật liệu chế tạo dây điện trở cần có điện trở suất lớn để giảm kích thước chuyển đổi
- Tăng độ dài tác dụng lo để tăng độ nhạy

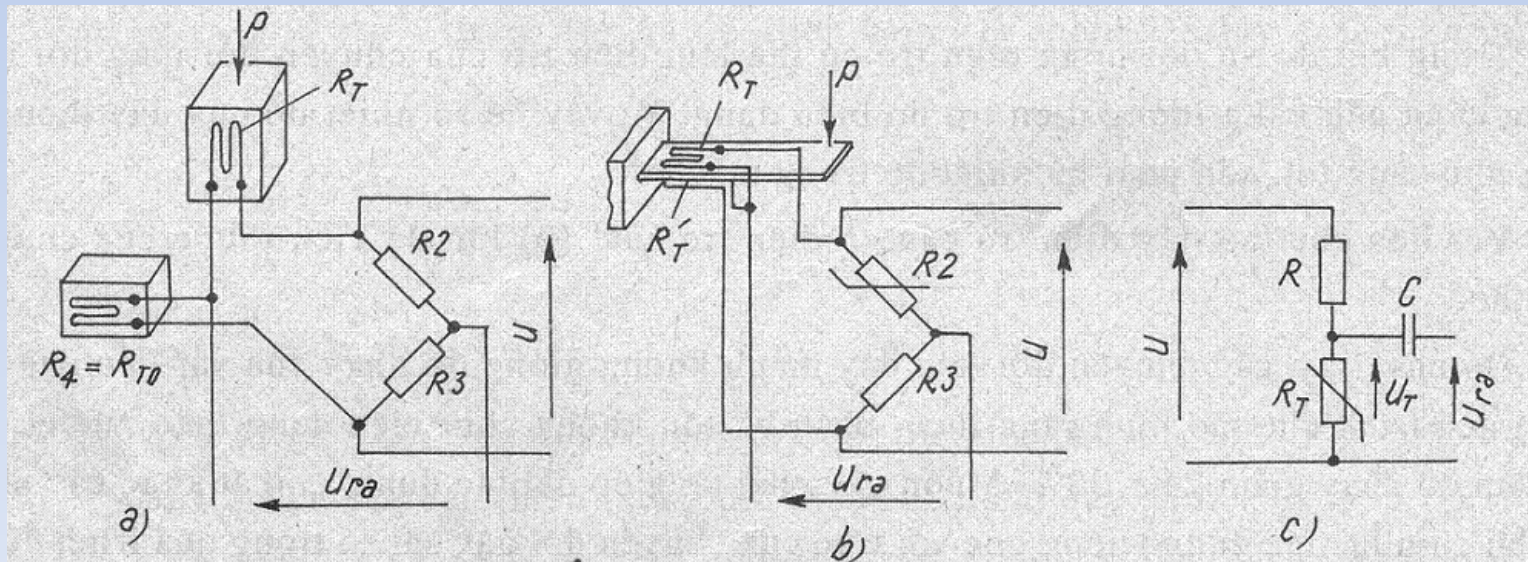


Mạch đo

3. *Mạch đo.* Thông thường chuyển đổi điện trở lực căng được dùng với mạch cầu một chiều hoặc xoay chiều và mạch phân áp.

Khi mạch cầu chỉ có một nhánh hoạt động (tức là chỉ một chuyển đổi hoạt động) vấn đề bù nhiệt độ phải được thực hiện do vậy người ta dùng một chuyển đổi cùng loại dán lên chi tiết không làm việc cùng vật liệu với đối tượng đo và đặt trong cùng một nhiệt độ (h.7–9a).

Khi cầu không làm việc ở trạng thái cân bằng $\frac{R_T}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = K$,



Mạch đo

Khi đối tượng đo làm việc R_T thay đổi thành $\varepsilon_R R_T$.
Câu mất cân bằng và điện áp ra:

$$U_{ra} = U \frac{(1 + \varepsilon_R) R_T R_3 - R_2 R_4}{[(1 + \varepsilon_R) R_T + R_4](R_2 + R_3)}$$

Thuận tiện hơn là sơ đồ hình 7–9b. Trong đó hai nhánh cầu được dán chuyển đổi tenzô và cùng hoạt động. Điện áp ra của mạch cầu tăng gấp hai lần và bù nhiệt độ tốt hơn; sai số nhiệt độ bị loại trừ.

Với cầu 4 nhánh hoạt động, điện áp ra của mạch cầu là lớn nhất tăng gấp bốn lần, sai số nhiệt độ cũng bị loại trừ.

Mạch đo

Ngoài mạch cầu người ta còn dùng mạch phân áp như hình 7-9c.

Mạch trên dùng để đo biến dạng động với tần số lớn hơn 1000Hz ví dụ biến dạng do va đập. Điện áp ra được đo trên R_T mắc nối tiếp với điện trở R . Để loại trừ thành phần một chiều người ta mắc thêm tụ C .

Điện áp rơi trên tenzô:
$$U_T = U \cdot \frac{R_T}{R + R_T}$$

Khi có biến dạng với tần số ω :

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

với $\varepsilon_R \ll 1$.

Ta có:

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

Điện áp ra chỉ lấy với thành phần xoay chiều :

$$U_{ra} \approx U \frac{R_T}{R + R_T} \varepsilon_R \sin \omega t .$$

ứng dụng và sai số

4. *Sai số và phạm vi ứng dụng* : Sai số của thiết bị đo dùng chuyển đổi tenzô chủ yếu do độ chính xác khác độ các chuyển đổi. Không thể khắc độ trực tiếp đơn chiếc, chúng được chế tạo hàng loạt và được chuẩn sơ bộ.

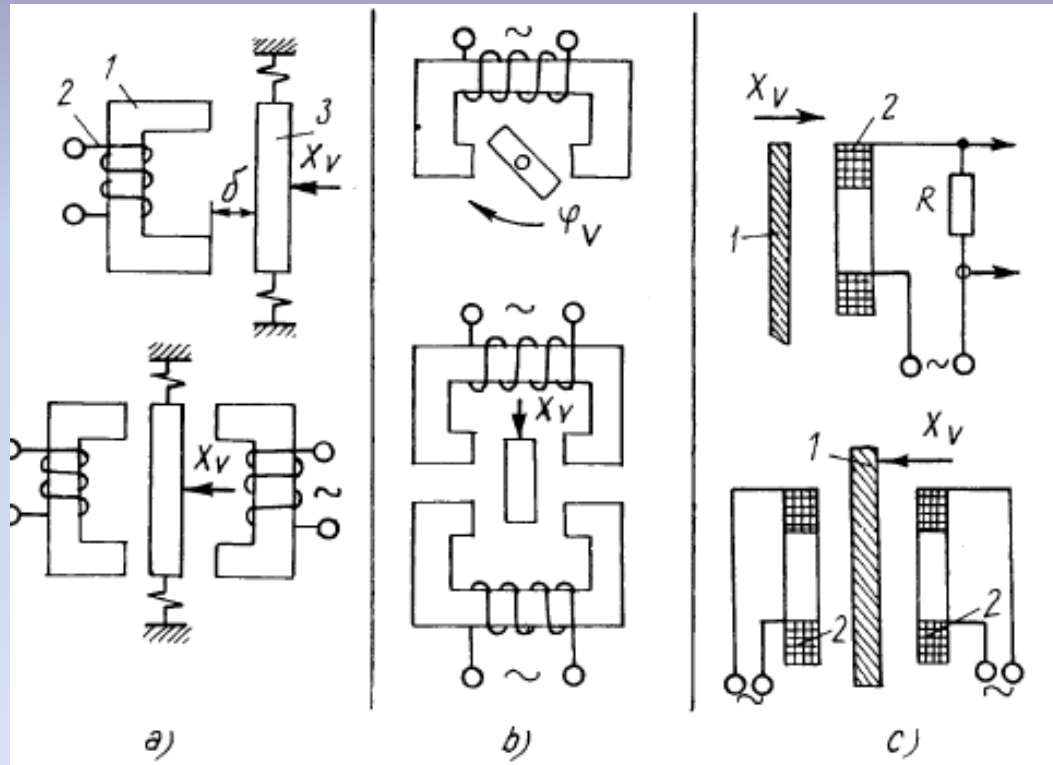
Khi sử dụng cần phải có công nghệ dán chuẩn và chọn vị trí chính xác. Sai số có thể đạt tới $1 \div 5\%$.

Khi chuẩn trực tiếp chuyển đổi với mạch đo sai số có thể giảm đến $0,2 \div 0,5\%$ khi đo biến dạng tĩnh và $1 \div 1,5\%$ khi đo biến dạng động. Ngoài ra còn có sai số biến dạng dư của keo dán khi sấy khô, do sự giãn nở khác nhau giữa chuyển đổi và chi tiết dán. Các chuyển đổi lực căng được dùng để đo lực áp suất, mô men quay, gia tốc và các đại lượng khác nếu có thể biến đổi thành biến dạng đàn hồi với ứng suất không bé hơn $(1 \div 2) 10^7 \text{ N/m}^2$.

Chuyển đổi điện trở lực căng có thể đo các đại lượng biến thiên tới vài chục kHz.

Chuyển đổi điện cảm

1. Chuyển đổi điện cảm là một cuộn dây quấn trên lõi thép có khe hở không khí (mạch từ h.7-10). Thông số của nó thay đổi dưới tác động của đại lượng vào X_V .



Nguyên lý

Dưới tác động của đại lượng đo X_V làm cho phân ứng 3 di chuyển, khe hở không khí δ thay đổi làm thay đổi từ trở của lõi thép do đó điện cảm và tổng trở của chuyển đổi cũng thay đổi theo (h.7-10a). Điện cảm có thể thay đổi do tiết diện khe hở không khí thay đổi (h.7-10b) hoặc thay đổi do tổn hao dòng điện xoáy dưới tác động của đại lượng đo X_V (h.7-10c) v.v.

Nếu bỏ qua điện trở thuần của cuộn dây và trở từ của lõi thép ta có :

$$L = \frac{W^2}{R_\delta} = \frac{W^2 \mu_0 s}{\delta} \quad (7-4b)$$

trong đó : W – số vòng cuộn dây ;

$$R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 s} \text{ – từ trở của khe hở không khí ;}$$

δ – chiều dài khe hở không khí ;

μ_0 – độ từ thẩm của không khí;

s – tiết diện thực của khe hở không khí.

Với $W = \text{const}$ ta có:

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

Với lượng thay đổi hữu hạn $\Delta\delta$ và Δs ta có:

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

s_0 và δ_0 – giá trị ban đầu của s và δ (khi đại lượng vào $X_V = 0$).

Nguyên lý

Độ nhạy của chuyển đổi điện cảm với khe hở không khí thay đổi ($s = \text{const}$):

$$S_{\delta} = \frac{\Delta L}{\Delta \delta} = - \frac{L_0}{\delta_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right) \right]^2} \quad (7-5)$$

và độ nhạy S_s khi thay đổi tiết diện ($\delta = \text{const}$):

$$S_s = \frac{\Delta L}{\Delta s} = \frac{L_0}{s_0} \quad (7-6)$$

$$L_0 = \frac{W^2 \mu_0 s_0}{\delta_0} - \text{giá trị điện cảm ban đầu của chuyển đổi;}$$

khi $\delta = \delta_0$; $s = s_0$ và tổng trở Z của chuyển đổi :

$$Z = \omega L = \frac{\omega W^2 \mu_0 s}{\delta} \quad (7-7)$$

Độ nhạy tương đối của chuyển đổi khi tính tổng trở Z với khe hở không khí thay đổi;

$$S'_{\delta} = \frac{\Delta Z / Z_0}{\Delta \delta / \delta_0} = - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right) \right]^2} \quad (7-8)$$

Z_0 – giá trị tổng trở ban đầu khi $X_v = 0$.

Nguyên lý

Từ biểu thức (7-7) thấy rằng tổng trở của chuyển đổi là một hàm tuyến tính với tiết diện khe hở không khí s và phi tuyến (*hyperbol*) với chiều dài khe hở khí δ .

Nói cách khác, độ nhạy của chuyển đổi khi độ dài của khe hở không khí thay đổi không phải là hằng số mà phụ thuộc vào tỉ số $\frac{\Delta\delta}{\delta_0}$; (7-8).

Độ nhạy của chuyển đổi khi tiết diện của khe hở không khí thay đổi là hằng số và không phụ thuộc vào lượng thay đổi Δs ; (7-6).

Trong các chuyển đổi điện cảm với khe hở không khí thay đổi giá trị $\frac{\Delta\delta}{\delta_0}$ không vượt quá 0,2 đối với chuyển đổi đơn và 0,4 đối với chuyển đổi mắc kiểu vi sai, với giá trị

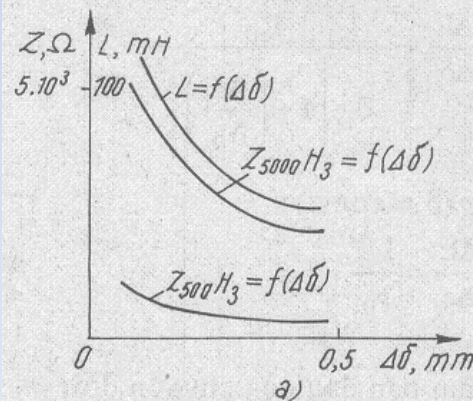
Nguyên lý

trên độ phi tuyến của chuyển đổi không vượt quá 1%.

Tuy nhiên nếu đo tổng dẫn $Y = \frac{1}{Z}$. Độ nhạy của chuyển đổi sẽ tuyến tính với độ dài khe hở không khí thay đổi (khi đó dòng điện I chạy cuộn dây với điện áp U cho trước tuyến tính) do:

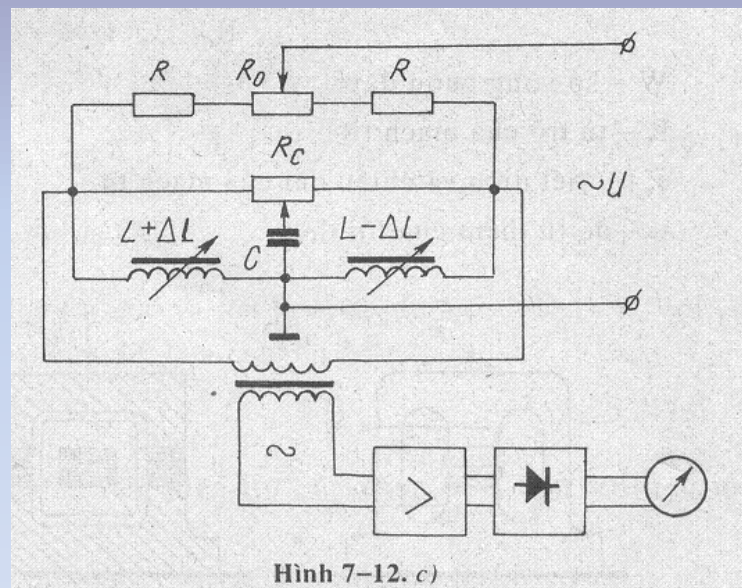
$$I = \frac{U}{\omega W^2 \mu_0 s} (\delta_0 \pm \Delta\delta).$$

Đặc tính của chuyển đổi điện cảm khi độ dài khe hở khí δ thay đổi $Z = f(\Delta\delta)$ thường phi tuyến (h.7-11b) và đặc tính $Z = f(\Delta\delta)$ phụ thuộc tần số của nguồn kích thích. Tần số dòng kích thích càng lớn độ nhạy càng cao (h.7-11a).



Mạch đo

3. *Mạch đo.* Thường người ta dùng mạch cầu không cân bằng với nguồn cung cấp xoay chiều có một nhánh hoạt động (chuyển đổi đơn) hoặc hai nhánh hoạt động (chuyển đổi mắc kiểu vi sai).



Ví dụ mạch cầu hình 7-12c. Đó là mạch cầu với chuyển đổi mắc kiểu vi sai (cầu 6 nhánh).

Điện trở R_c và C dùng để cân bằng thành phần ảo (góc pha).

Sai số và ứng dụng

4. Sai số và ứng dụng. Các chuyển đổi điện cảm làm việc với mạch cầu không cân bằng, nguồn cung cấp cho mạch cầu cần phải ổn định. Nếu điện áp nguồn cung cấp thay đổi 1% có thể gây sai số tới 1%.

Tần số của nguồn cung cấp thay đổi 1% gây sai số 2%. Với mạch cầu cân bằng sai số có thể giảm tới 0,5 ÷ 1%. Khi nhiệt độ môi trường thay đổi làm cho độ từ thẩm của mạch từ và điện trở thực của cuộn dây thay đổi cũng có thể gây sai số. Sai số trên được khắc phục khi sử dụng chuyển đổi mắc kiểu vi sai.

Chuyển đổi điện cảm và hồ cảm có thể đo đại lượng không điện khác nhau tùy theo cấu trúc của từng loại chuyển đổi. Chúng có thể đo di chuyển từ vài chục micrô mét đến hàng chục centimet, đo chiều dày lớp phủ, đo độ bóng của chi tiết gia công v.v.

Ngoài ra còn có thể đo lực từ một phần mười Niuton đến hàng chục, hàng trăm Niuton. Đo áp suất với dải đo từ 10^{-3} N/m² ÷ chục nghìn N/m² đo gia tốc từ 10^{-2} g đến hàng trăm đơn vị gia tốc trọng trường.

Chuyển đổi cặp nhiệt điện

Nguyên lý : Hiệu ứng Seebeck

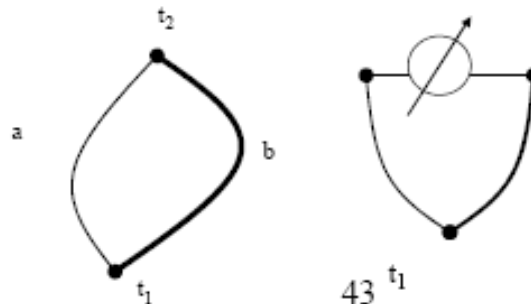
Dựa trên hiện tượng nhiệt điện. Nếu hai dây dẫn khác nhau (hình vẽ) nối với nhau tại hai điểm và một trong hai điểm đó được đốt nóng thì trong mạch sẽ xuất hiện một dòng điện gây bởi sức điện động gọi là sức điện động nhiệt điện, được cho bởi công thức

$$E_T = K_T (t_n - t_{td})$$

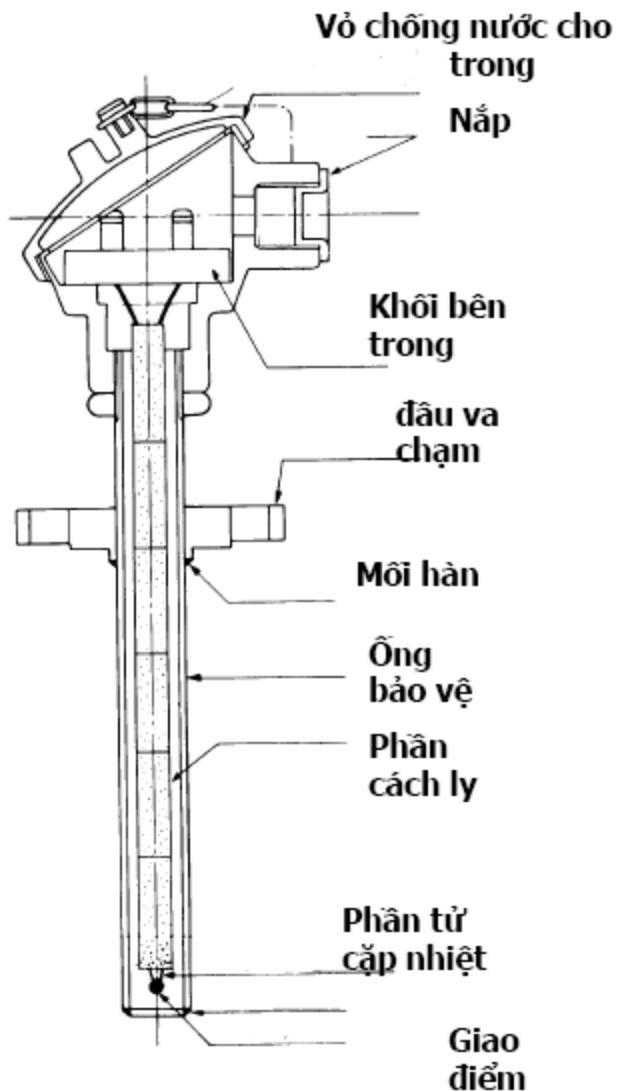
Trong đó: K_T - hệ số hiệu ứng nhiệt điện

t_n - nhiệt độ đầu nóng

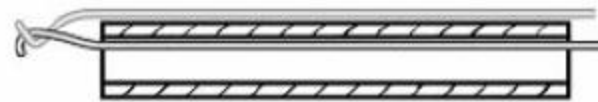
t_{td} - nhiệt độ đầu tự do



Cấu tạo



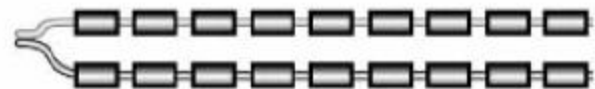
A. Bare thermocouple twisted and welded



B. Thermocouple wires on a plastic tubular carrier



C. Insulated thermocouple twisted and welded



D. Butt-welded thermocouple with fish-spine insulator

(hàn điểm và cách ly hình vây cá)

Chủng loại

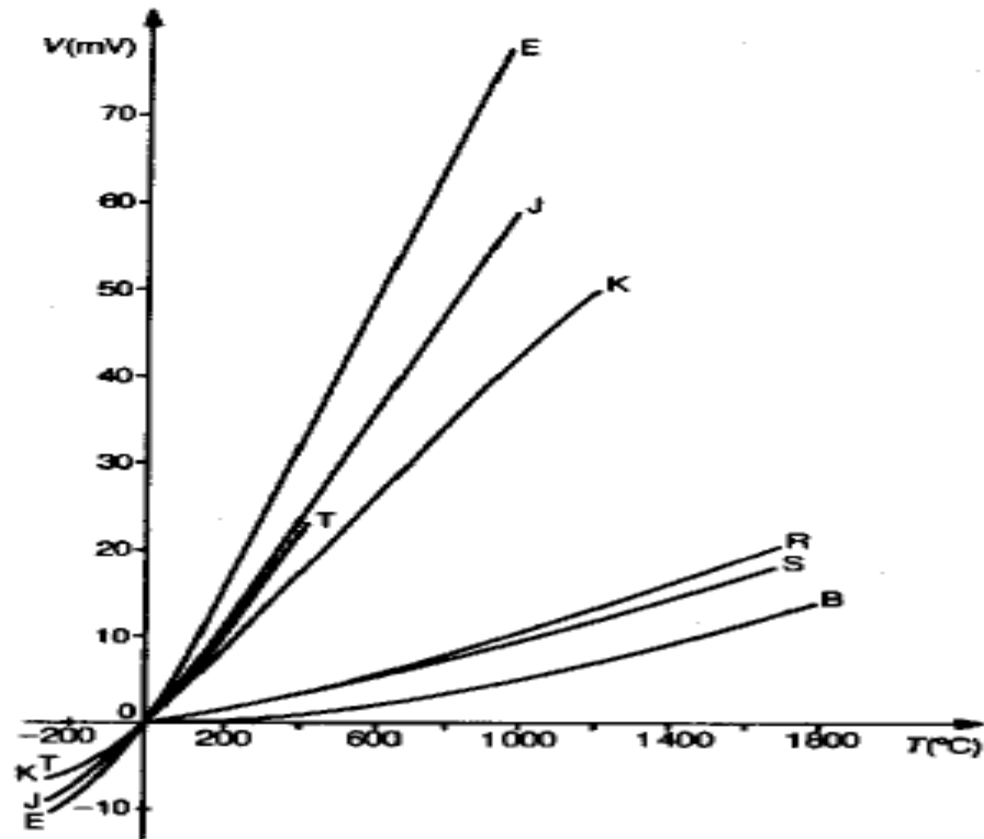
Table A.10. Characteristics of Thermocouple Types

| 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 | |

Chủng loại

| Ký hiệu | Ký hiệu hình thức | Vật liệu cấu thành | Đặc điểm cần lưu tâm |
|---------|-------------------|--|---|
| B | - | Patin Rhodium 30- Platin.Rhomdium 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, giai đo nhiệt độ đến 1800°C, con các đặc tính khác th× 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 nh+ng môi trường có hơi kim loại |
| S | - | PtRh10-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 Nivà Cr. Dây âm là hợp kim chủ yếu là Ni. Dùng rộng rãi trong Công nghiệp, bền với môi trường oxy hoá. Không được dùng ở môi trường có CO, SO ₂ hay khí S có H |
| E | CRC | Cromel- Constantan | Dây dương nư đốivớil loại K. Dây âm như loại J. Có sức điện động nhiệt điện cao và thường dùng ở môi trường acid |

Đặc tính



- E nickel-chrome/cuivre-nickel (appelé aussi, communément, chromel/constantan)
- J fer/cuivre-nickel (ou fer/constantan)
- T cuivre/cuivre-nickel (ou cuivre/constantan)
- K nickel-chrome (nickel-aluminium/ou Chromel/Alumel)
- R platine-rhodium 13 %/platine
- S platine-rhodium 10 %/platine
- B platine-rhodium 30 %/platine-rhodium 6 %

Các nguyên nhân gây sai số



- Sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi
- Khi khắc độ, đầu tự do được đặt ở môi trường không độ C, nhưng trong thực tế nhiệt độ đầu tự do khác không độ C
- Sai số do sự thay đổi điện trở đường dây, cặp nhiệt hoặc chỉ thị
- Sai số do đặt không đúng vị trí, hướng
- ứng dụng: đo nhiệt độ, đo dòng ở tần số cao, hướng chuyển động, lưu tốc, áp suất nhỏ..

Bù sai số do đầu nhiệt độ tự do khác 0

Mạch bù nhiệt độ đầu tự do được thực hiện bằng 1 mạch cầu 4 nhánh trên ấy có một nhiệt điện trở, hoạt động của nó như sau: 0°C 4 nhánh của cầu cân bằng điện áp ở đường chéo cầu $\Delta U=0$, khi nhiệt độ ở trên đầu hộp nối dây tức là nhiệt độ đầu tự do thay đổi:

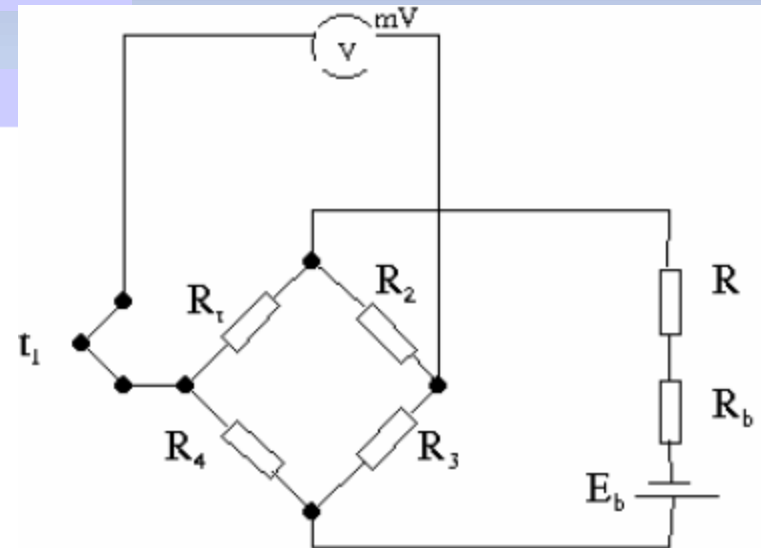
$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{4} \frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{U_{CC}}{4} \alpha t_{td}$$

Ta lại có

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

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

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



Nhiệt điện trở ?