

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN ĐIỆN



KĨ THUẬT ĐO LƯỜNG

Nguyễn Thị Huế
BM: Kĩ thuật đo và Tin học công nghiệp

Nội dung môn học

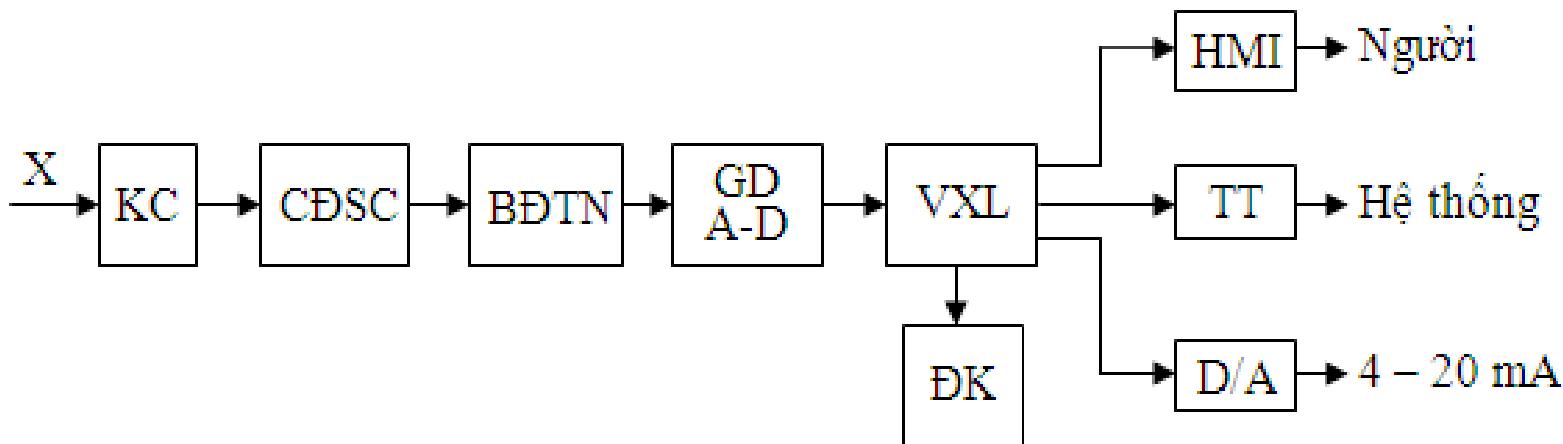
- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Đơn vị đo, chuẩn và mẫu
 - ❖ Chương 3: Đặc tính cơ bản của dụng cụ đo
- Phần 2: Các phần tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: Cơ cấu chỉ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

Tài liệu tham khảo

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

Các thiết bị đo các đại lượng không điện

- Qua các thời kỳ phát triển, thiết bị đo các đại lượng không điện hiện đại được xây dựng trên cơ sở vi xử lý (micro processor based) và bắt đầu chuyển sang giai đoạn xây dựng trên cơ sở vi hệ thống (micro system based).



Chương 14: Đo nhiệt độ

- **Nhiệt độ** là một trong những thông số quan trọng nhất ảnh hưởng đến đặc tính của vật chất nên trong các quá trình kỹ thuật cũng như trong đời sống hằng ngày rất hay gặp yêu cầu đo nhiệt độ.
- Ngày nay hầu hết các quá trình sản xuất công nghiệp, các nhà máy đều có yêu cầu đo nhiệt độ.
- Tùy theo nhiệt độ đo có thể dùng các phương pháp khác nhau, thường phân loại các phương pháp dựa vào dải nhiệt độ cần đo. Thông thường nhiệt độ đo được chia thành ba dải: nhiệt độ thấp, nhiệt độ trung bình và cao.

Chương 14: Đo nhiệt độ

■ Đơn vị

Nhiệt độ	Kelvin (K)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)
Điểm 0 tuyệt đối	0	-273,15	-459,67
Hỗn hợp nước - nước đá	273,15	0	32
Cân bằng nước - nước đá - hơi	273,16	0,01	32,018
Nước sôi	373,15	100	212

$$^{\circ}C = \frac{5}{9} \cdot (^{\circ}F - 32)$$



Nhiệt kế dạng kẹp



Nhiệt kế đo tai



Nhiệt kế đo trán
b6b.vn



TEMPERATURE/HUMIDITY
WELINK HL-100

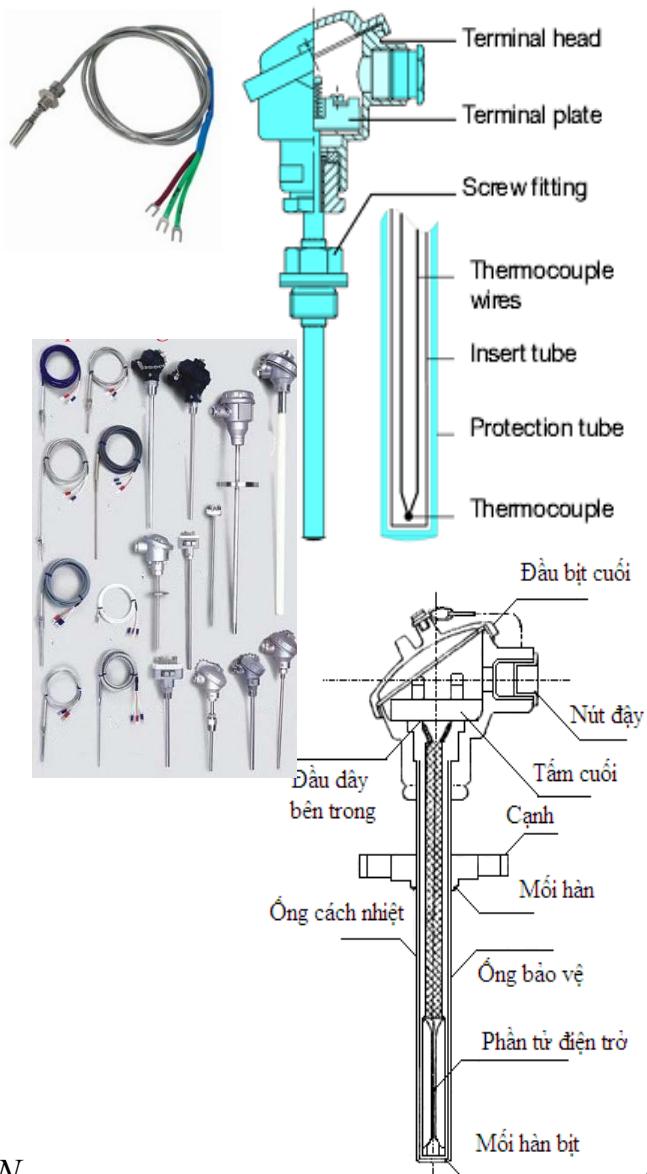
Chương 14: Đo nhiệt độ

➤ Đo tiếp xúc

- ❖ *Nhiệt kế giãn nở vì nhiệt*
- ❖ *Nhiệt điện trở*
- ❖ *Cặp nhiệt ngẫu (K, E, J,...)*

➤ Đo không tiếp xúc

- ❖ *Đo bằng phương pháp hỏa quang kế*
- ❖ *Đo bằng hồng ngoại*
- ❖



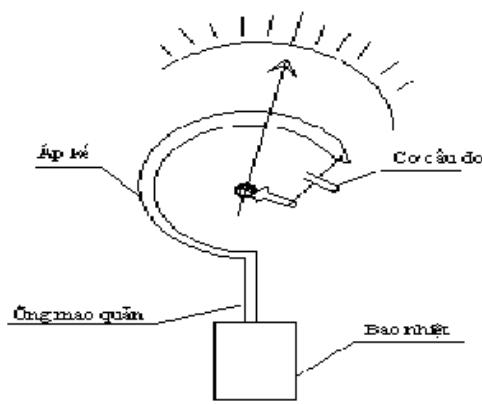
Chương 14: Đo nhiệt độ

Dải
đo
của
một
số
phươ
ng
pháp

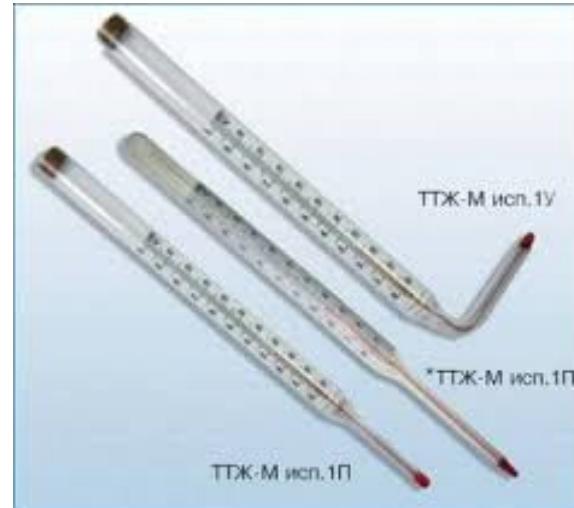
Dụng cụ và phương pháp đo	Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$						Sai số %
	-273	0	1000	2000	3000	100.000	
Nhiệt điện trở: bằng vật liệu quý vật liệu không quý bán dẫn			—				0,001 0,5 ÷ 2 1 ÷ 2
Nhiệt kế nhiệt điện bằng vật liệu quý vật liệu không quý vật liệu khó cháy			—	—			0,1 1 ÷ 2 1 ÷ 3
Điện âm	—						0,05
Nhiệt nhiễu	—						0,1
Phương pháp cộng hưởng hạt nhân	—						0,01
Hoà quang kế: bức xạ màu sắc cường độ sáng quang phổ kế		—	—	—	—	—	5 1 ÷ 5 1 ÷ 2 5 ÷ 10

14.1 Nhiệt kế giản nở

- Thể tích và chiều dài của một vật thay đổi tùy theo nhiệt độ và hệ số giãn nở của vật đó. Nhiệt kế đo nhiệt độ theo nguyên tắc đó gọi là nhiệt kế kiểu giãn nở.
- Ta có thể phân nhiệt kế này thành 2 loại chính đó là :
 - Nhiệt kế giãn nở chất rắn (còn gọi là nhiệt kế cơ khí)
 - Nhiệt kế giãn nở chất lỏng.



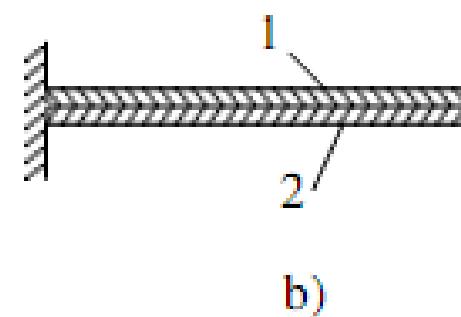
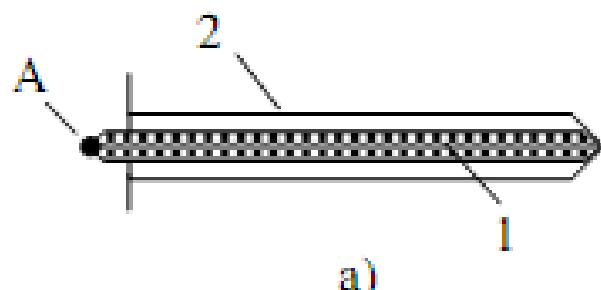
Hình 1.3 Nhiệt kế áp kế



Nhiệt kế giãn nở chất rắn

Thường có hai loại: gỗm và kim loại, kim loại và kim loại

- Nhiệt kế gỗm - kim loại (a) (Dilatomet): gồm một thanh gỗm (1) đặt trong ống kim loại (2),
- Nhiệt kế kim loại - kim loại (b): gồm hai thanh kim loại (1) và (2) có hệ số giãn nở nhiệt khác nhau liên kết với nhau theo chiều dọc

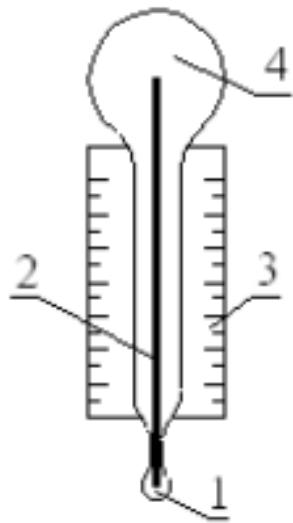


Nhiệt kế giãn nở chất rắn

- Một đầu thanh gốm liên kết với ống kim loại, con đầu A nối với hệ thống truyền động tới bộ phận chỉ thị. Hệ số giãn nở nhiệt của kim loại và của gốm là α_k và α_g . Do $\alpha_k > \alpha_g$, khi nhiệt độ tăng một lượng dt , thanh kim loại giãn thêm một lượng dl_k , thanh gốm giãn thêm dl_g với $dl_k > dl_g$, làm cho thanh gốm dịch sang phải
- Dịch chuyển của thanh gốm phụ thuộc $dl_k - dl_g$ do đo phụ thuộc nhiệt độ.

Nhiệt kế giãn nở chất lỏng

- *Nguyên lý:* tương tự như các loại khác nhưng sử dụng chất lỏng làm môi chất (như Hg , rượu)
- *Cấu tạo:* Gồm ống thủy tinh hoặc thạch anh trong đựng chất lỏng như thủy ngân hay chất hữu cơ.



1 - Phần tiếp xúc môi trường cần đo gọi là
bao nhiệt.

2 - ống mao dẫn có đường kính rất nhỏ.

3 - thang đo.

4 - đoạn dự phòng.

Nếu dùng Hg thì $\alpha = 0,18 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ còn thủy
tinh thì $\alpha = 0,02 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (nên có thể bỏ qua)

14.2 Nhiệt điện trở

- Nguyên lý: Điện trở của kim loại thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ.

- ❖ Nhiệt điện trở kim loại

$$R = R_o \left(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots \right)$$

- ❖ Nhiệt điện trở bán dẫn

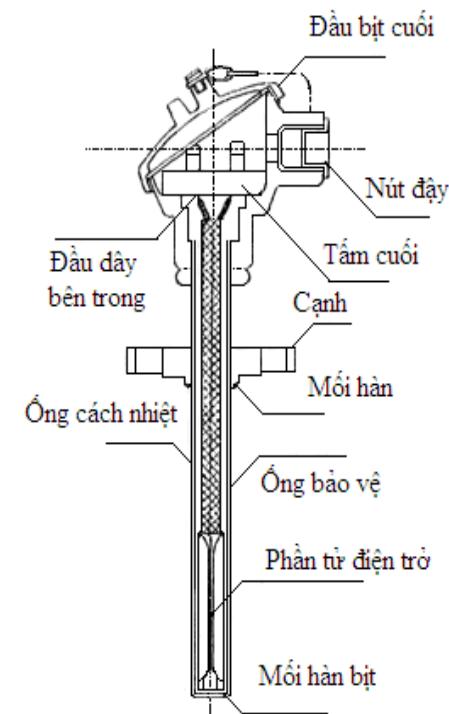
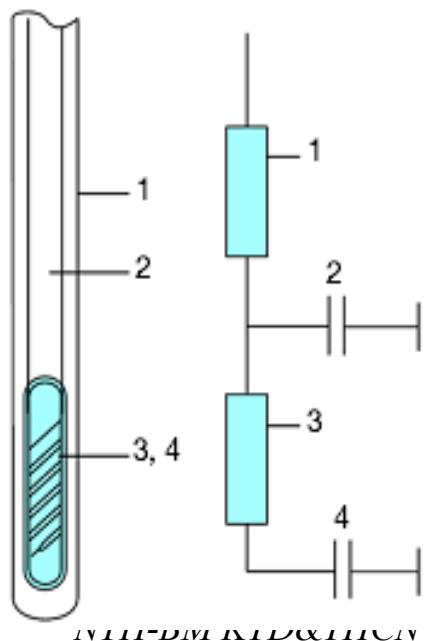
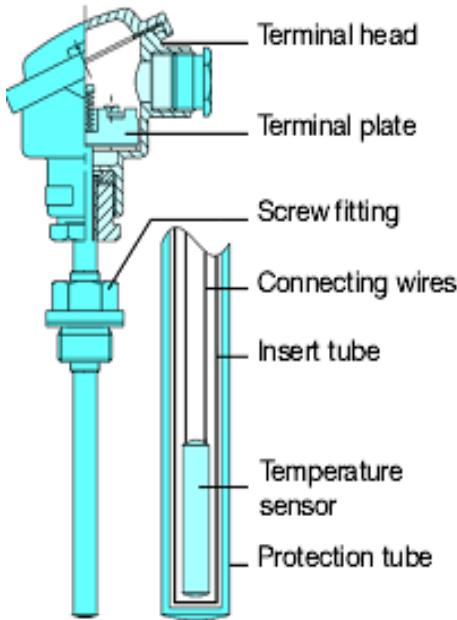
$$R = R_o \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right]$$

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

Nhiệt điện trở kim loại

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

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



Nhiệt điện trở kim loại

■ Yêu cầu chung

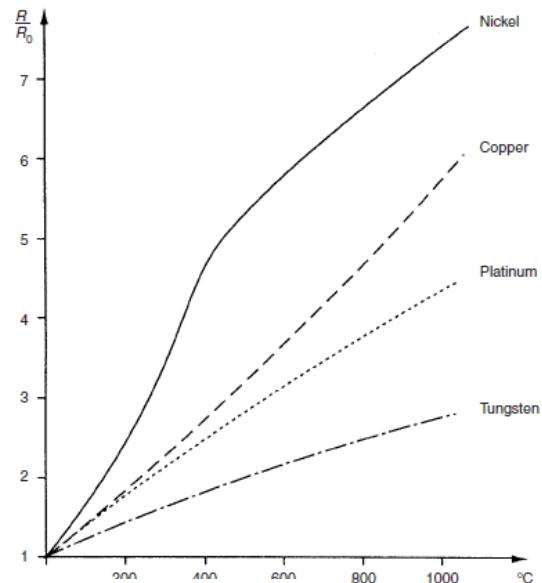
- ❖ Có điện trở suất đủ lớn để điện trở ban đầu R lớn mà kích thước nhiệt kế vẫn nhỏ
- ❖ Hệ số nhiệt điện trở của nó không đổi dấu
- ❖ Có đủ độ bền cơ hóa ở nhiệt độ làm việc
- ❖ Dễ gia công



Nhiệt điện trở kim loại

Dải đo

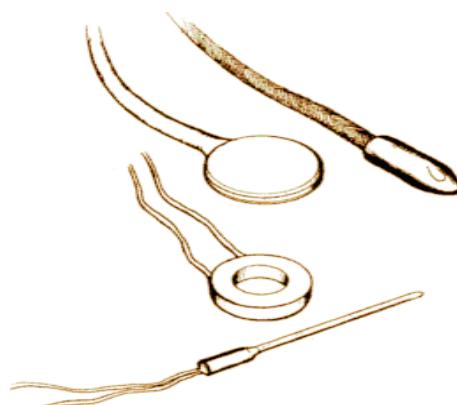
- Platinum: -270°C to C1000°C
- Copper: -200°C to C260°C
- Nickel: -200°C to C430°C
- Tungsten: -270°C to C2700°C



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

Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

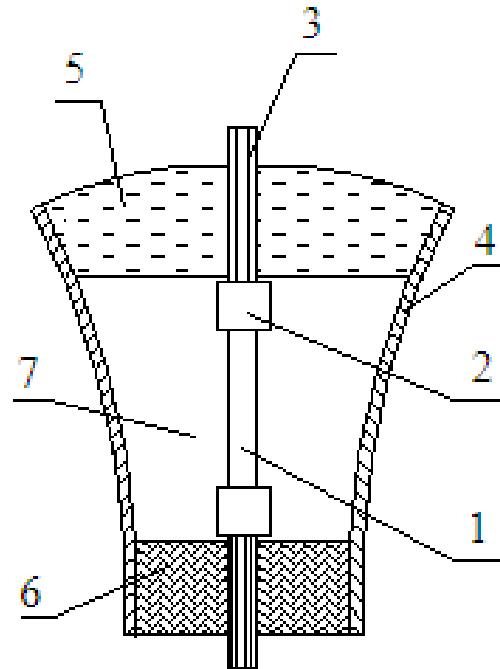
- Cấu tạo: Làm từ hỗn hợp các oxid kim loại: mangan (MnO), nickel (NiO), cobalt (Co_2O_3),...
- Nguyên lý: Thay đổi điện trở khi nhiệt độ thay đổi.
- Ưu điểm: Bền, rẻ tiền, dễ chế tạo.
- Khuyết điểm: Dãy tuyến tính hẹp.
- Thường dùng: Làm các chức năng đo nhiệt độ để bảo vệ, ép vào cuộn dây động cơ,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



Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

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

- 1- Vật bán dẫn
- 2- Nắp tiếp mạch
- 3- Dây nối (thường = Cu)
- 4- Vỏ kim loại bảo vệ
- 5- Chất cách điện (thủy tinh)
- 6- Thiếc
- 7- Sơn êmay cách điện.



- A hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn, kích thước và hình dáng của điện trở
- β : hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của bán dẫn

Nhiệt điện trở bán dẫn (NTD)

- Thermistor được cấu tạo từ hỗn hợp các bột ocid. Các bột này được hòa trộn theo tỉ lệ và khối lượng nhất định sau đó được nén chặt và nung ở nhiệt độ cao. Và mức độ dẫn điện của hỗn hợp này sẽ thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.



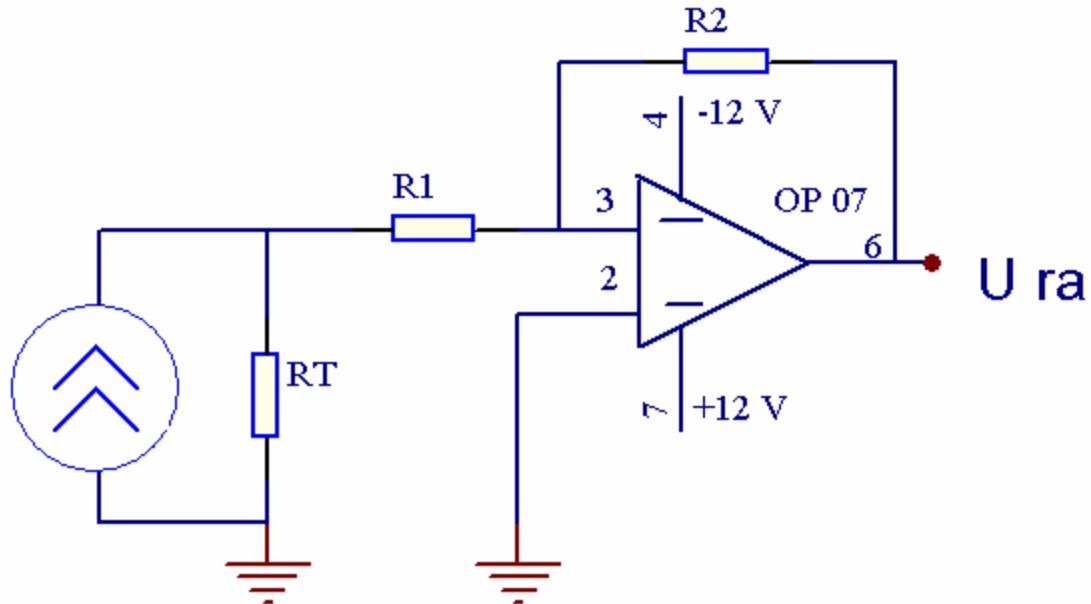
- Có hai loại thermistor:

- ❖ Hệ số nhiệt dương PTC- điện trở tăng theo nhiệt độ;
- ❖ Hệ số nhiệt âm NTC – điện trở giảm theo nhiệt độ.
- ❖ Thường dùng nhất là loại NTC.

- Thermistor chỉ tuyển tính trong khoảng nhiệt độ nhất định 50-150°C do vậy người ta ít dùng để dùng làm cảm biến đo nhiệt

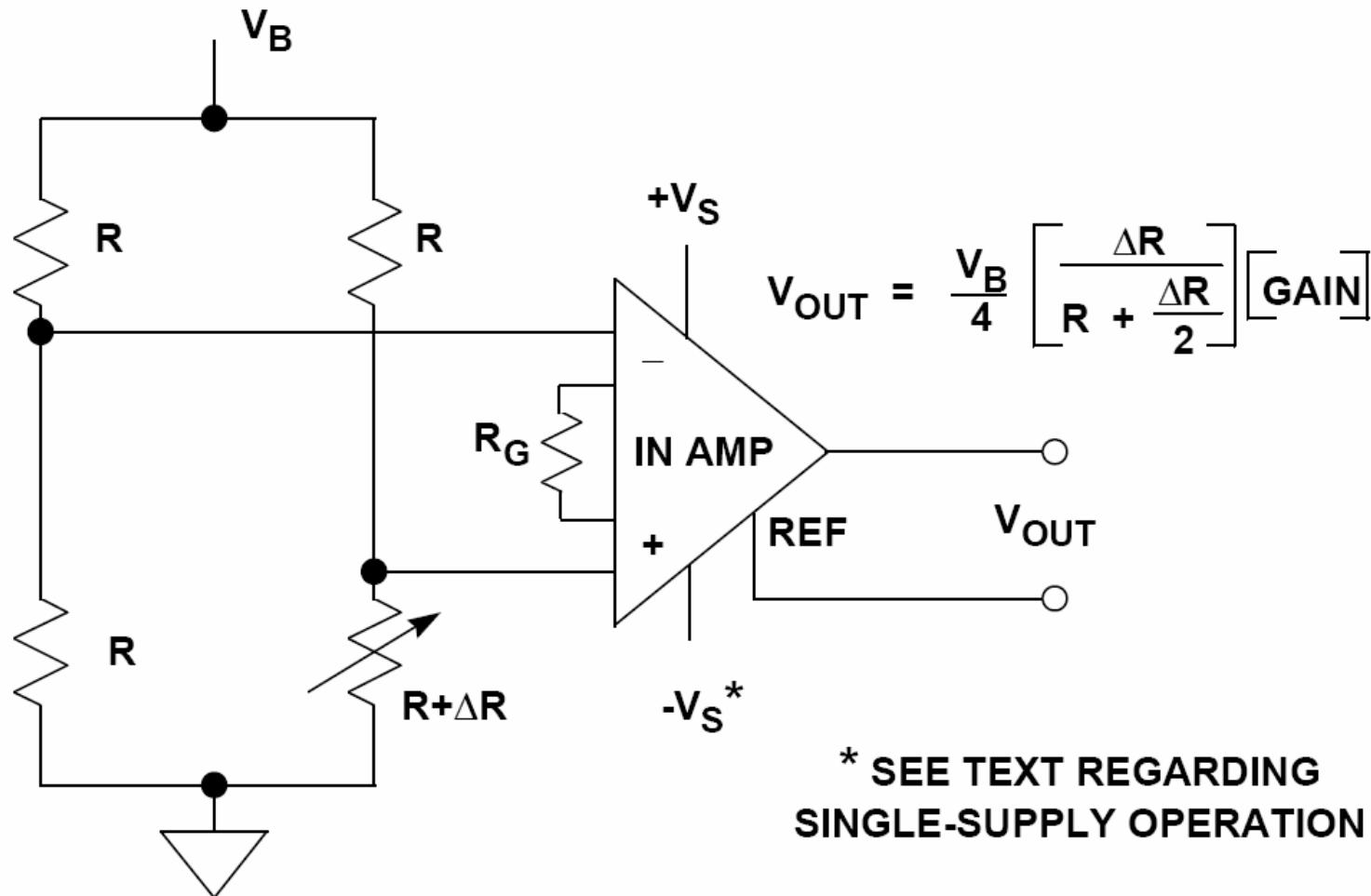
Mạch đo

- Mạch dùng nguồn dòng
- IC tạo nguồn dòng

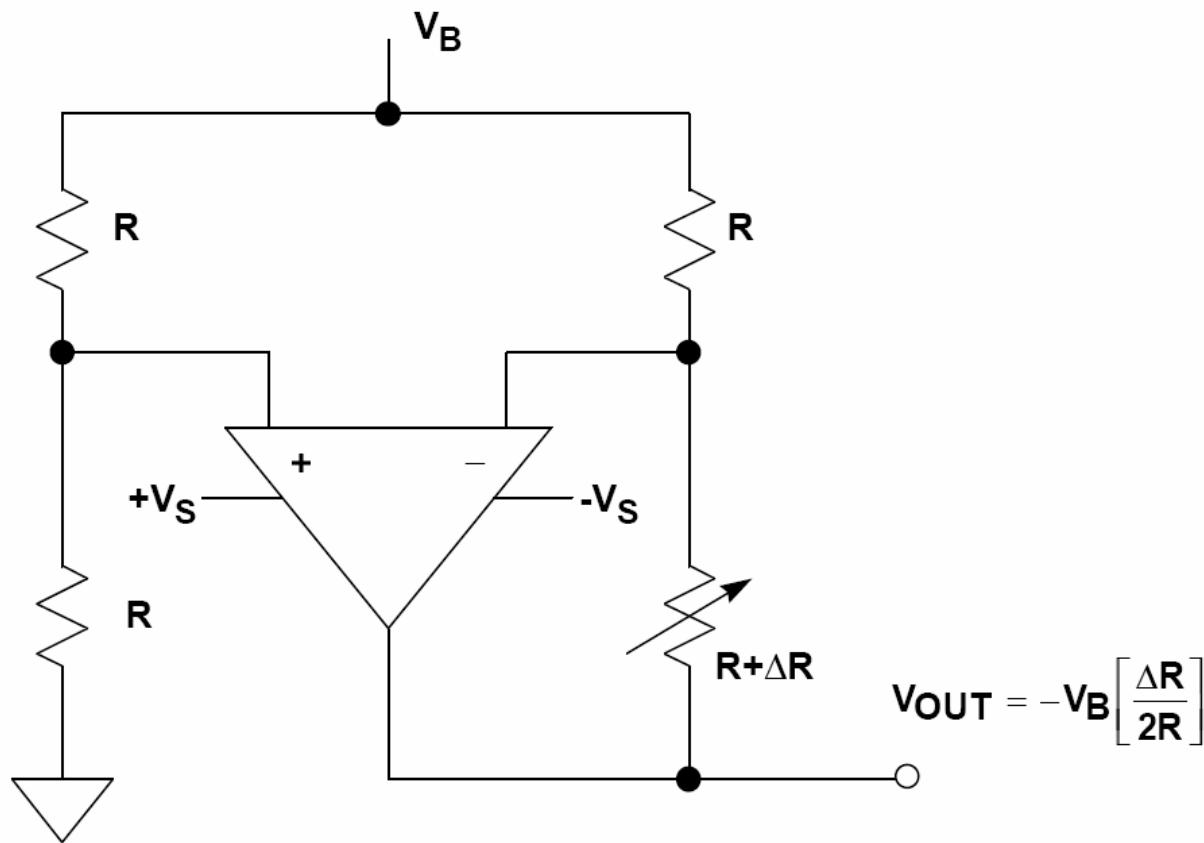


$$U_R = U_{RT} \frac{R_2}{R_1} = I \cdot R_{RT} \frac{R_2}{R_1}$$

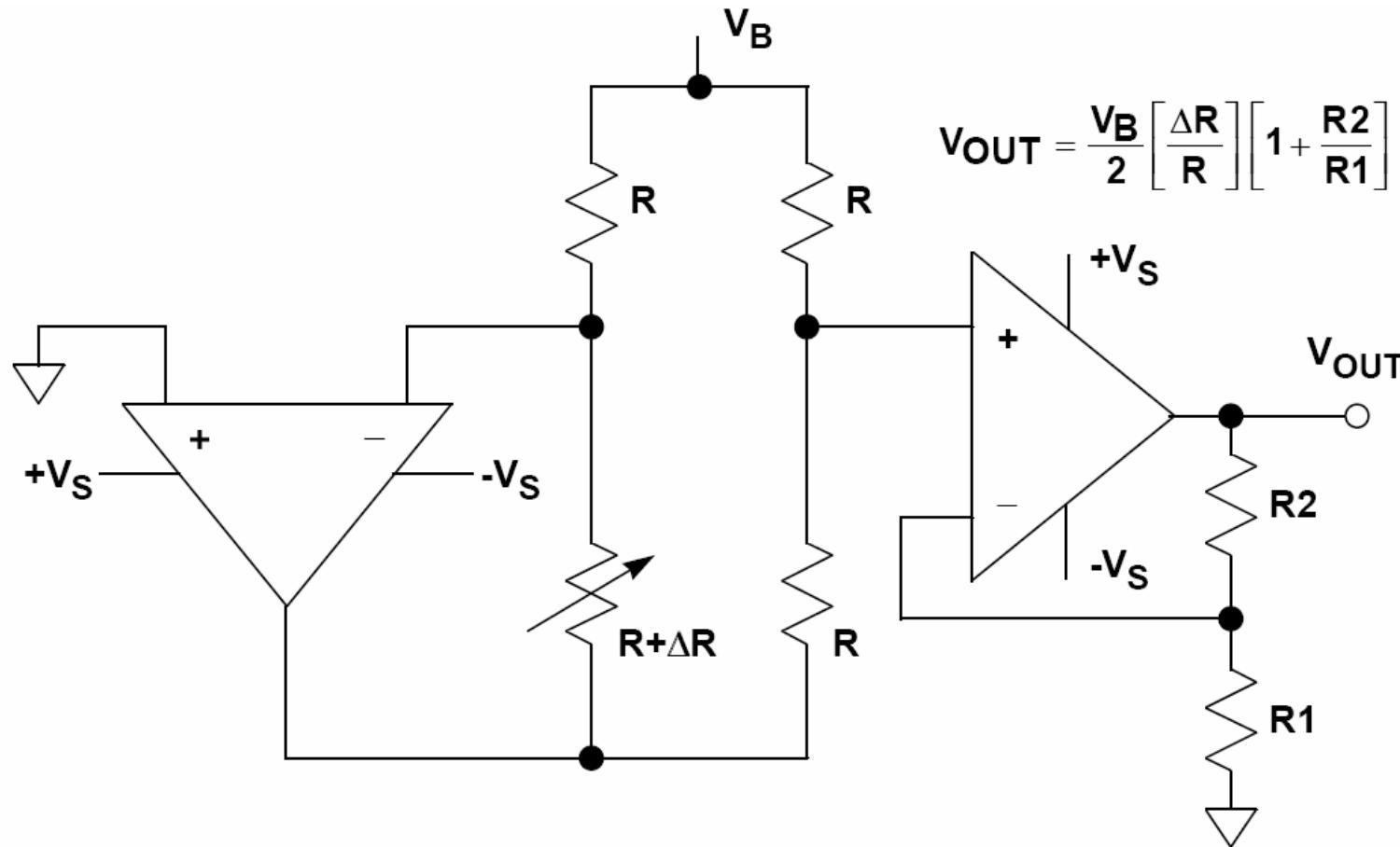
Một số mạch đo dùng nguồn áp



Một số mạch đo

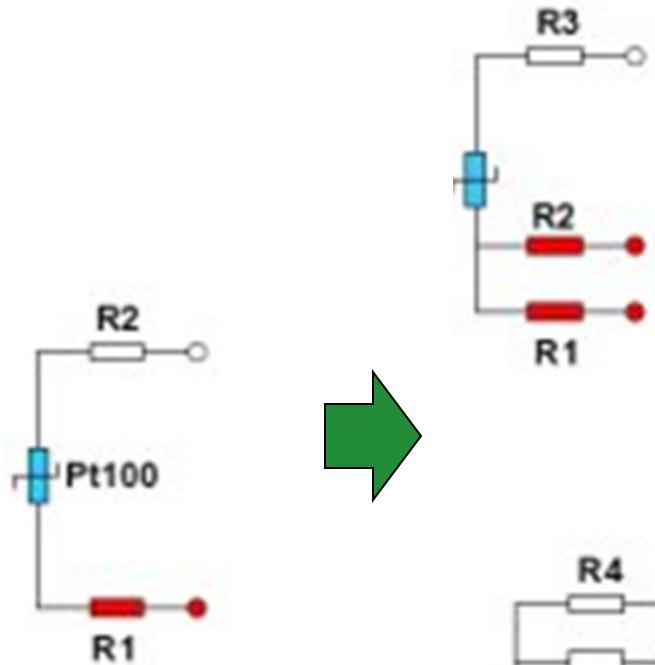


Một số mạch đo

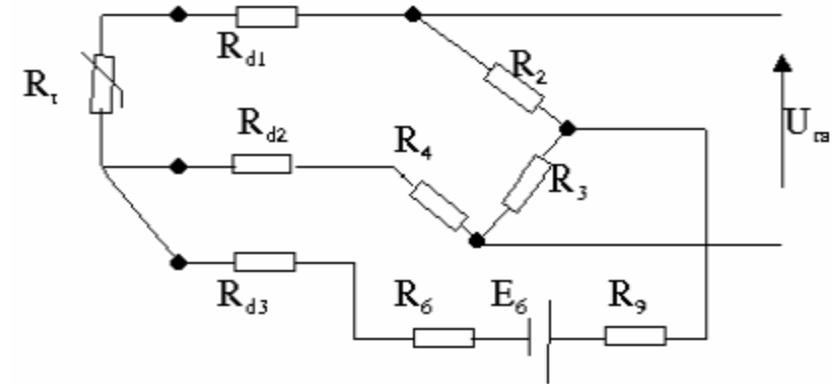


Ảnh hưởng của điện trở dây

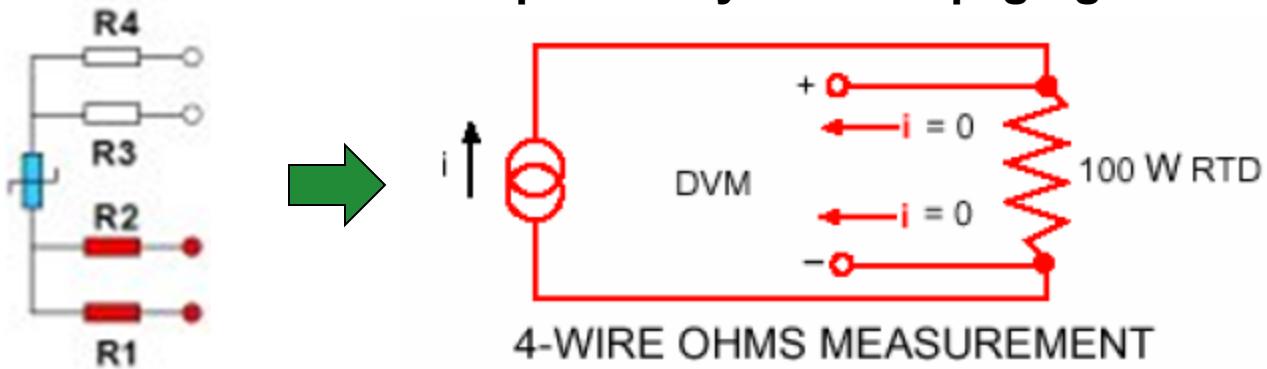
- Tại sao là nhiệt điện trở 2, 3 và 4 dây ?



Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn áp



Bù điện trở dây khi sử dụng nguồn dòng



Nhiệt điện trở

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

Transmitter nhiệt điện trở trong công nghiệp

1- Nhiệt điện trở

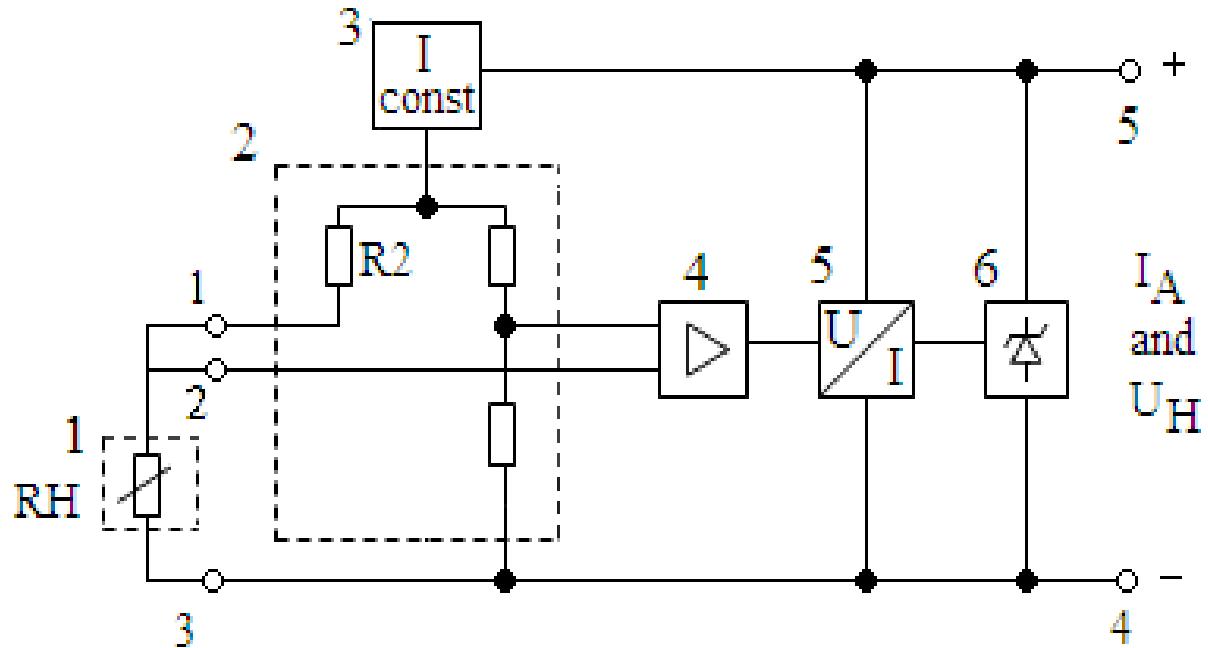
3- Dòng cung cấp (hằng)

5- Modul ra

2- Modul vào

4- Khuếch đại điện áp một chiều

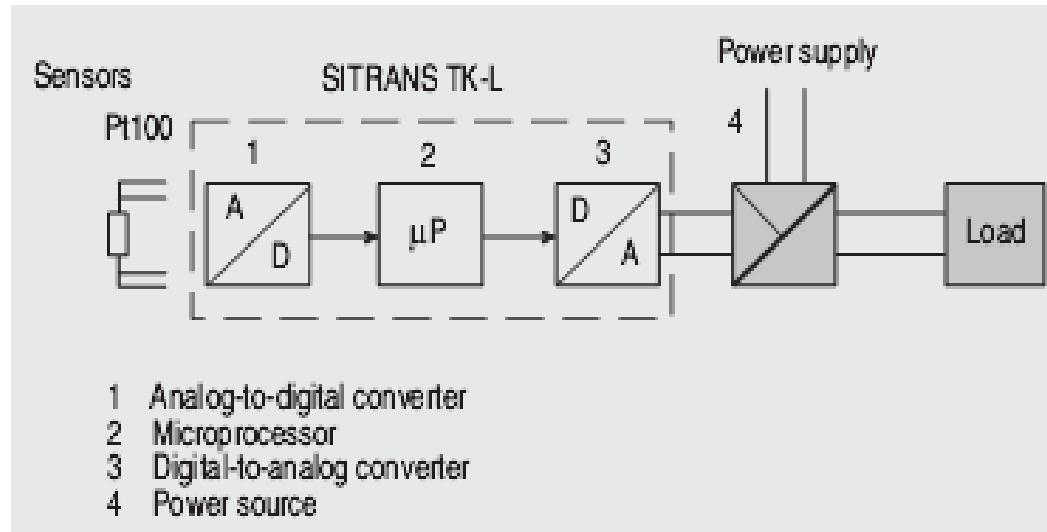
6- Điều chỉnh điện áp



Sơ đồ nguyên lý của transmitter nhiệt điện trở; (b) Transmitter nhiệt điện trở 7MC2932 của Siemens

Transmitter nhiệt điện trở

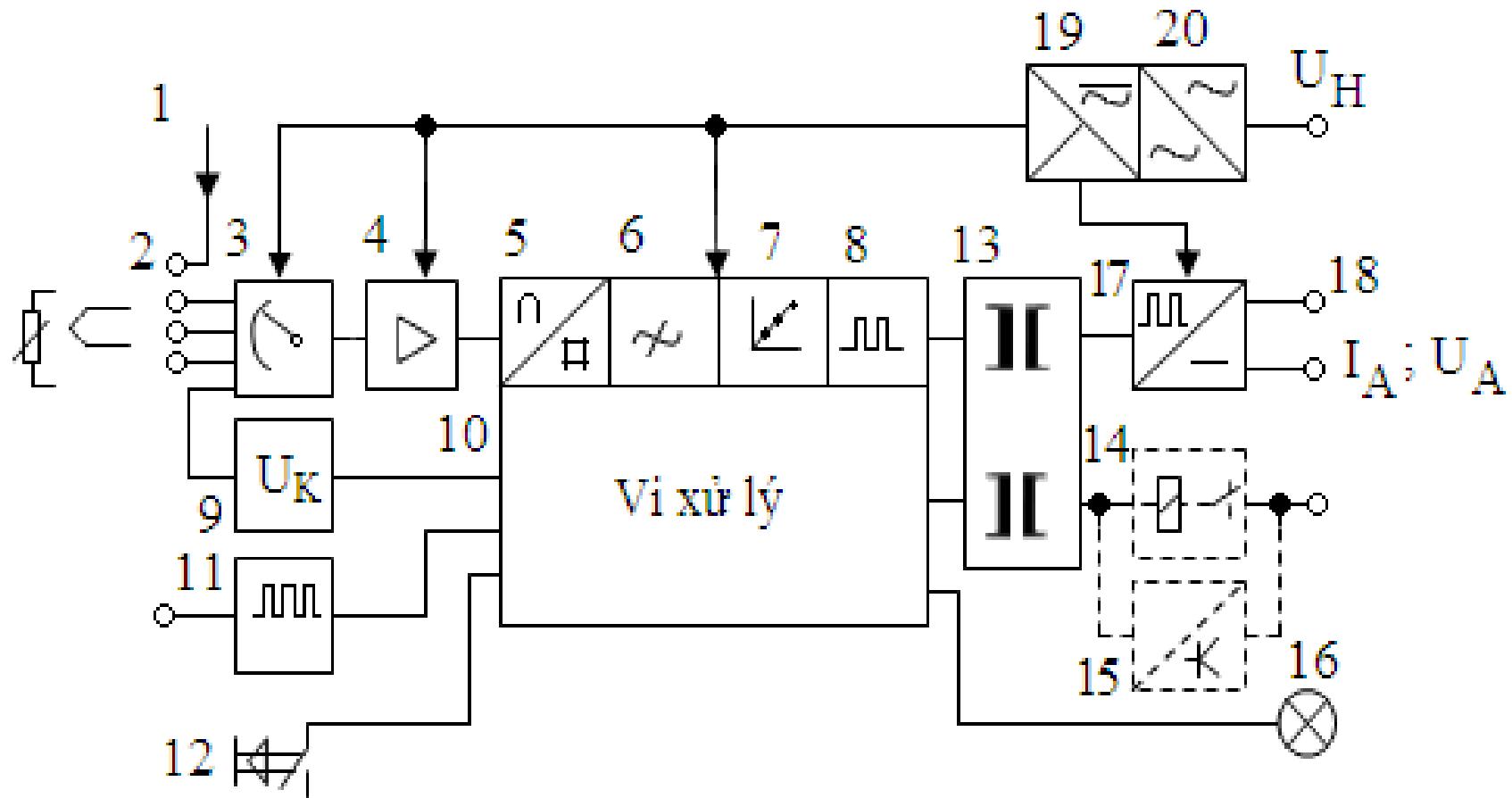
- Để tránh ảnh hưởng của điện trở đường dây ta phải bố trí để có thể lắp sơ đồ 2 dây, 3 dây, 4 dây.



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

Đo nhiệt độ

- Sơ đồ của bộ biến đổi thông minh đo nhiệt độ SITRANS – T của Siemens



Bài tập

Để đo nhiệt độ của một lò nhiệt thay đổi: $0^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$. Người ta dùng nhiệt điện trở. Nguồn cung cấp tự chọn.

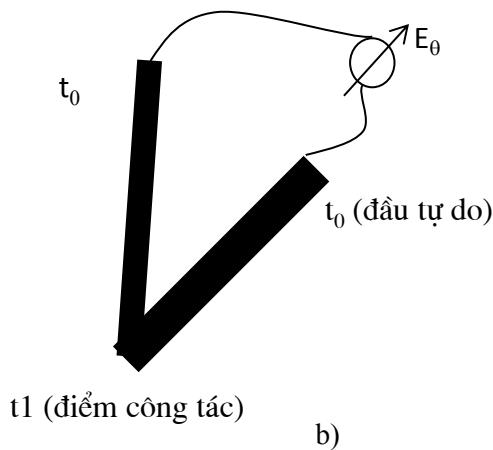
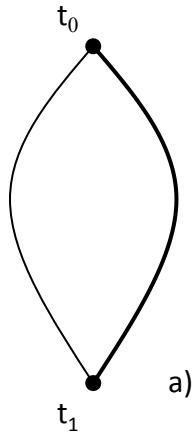
- Lựa chọn cảm biến thích hợp, thiết mạch đo, tính toán giá trị các linh kiện cho mạch?
- Hãy chọn mạch chuẩn hóa tín hiệu và tính toán các giá trị điện trở để đưa tín hiệu đo vào ADC có dải điện áp 0-5V?
- Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy $< 0.5^{\circ}\text{C}$, lựa chọn ADC. Biểu diễn giá trị 700°C dưới dạng nhị phân theo số bit ADC đã chọn.

14.3 Cặp nhiệt điện

Cặp nhiệt điện

+ Cấu tạo:

- Gồm hai hay thanh kim loại khác nhau được hàn với nhau tại một đầu, điểm hàn ấy gọi là điểm công tác hai đầu còn lại gọi là đầu tự do.



Cặp nhiệt điện

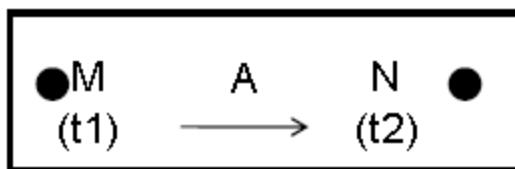
Cặp nhiệt điện

■ Nguyên lý:

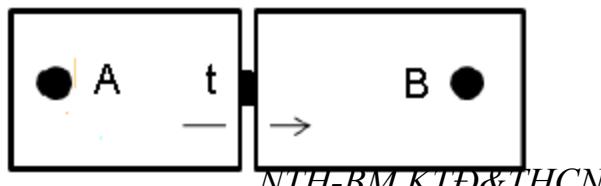
Hiệu ứng Thom son: với vật liệu đồng nhất A, trên nó có hai điểm phân biệt khác nhau là M và N có nhiệt độ tương ứng là t_1 và t_2 , thì giữa chúng sẽ xuất hiện một suất điện động :

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

Trong đó δ là hệ số vật liệu thomson cho trước



Hiệu ứng Peltier: hai vật liệu A và B khác nhau tiếp xúc với nhau tại một điểm nào đó thì xuất hiện một suất điện động $e_{AB}(t)$



Căp nhiệt điện

- Hiệu ứng seebeck: kết hợp hai hiệu ứng nói trên -> xuất hiện suất điện động nhiệt điện

$$E_{MN} = \int_{t_1}^{t_2} (\delta_A - \delta_B) dt + e_{KM}(t_2) - e_{JN}(t_1)$$

Trong đó :

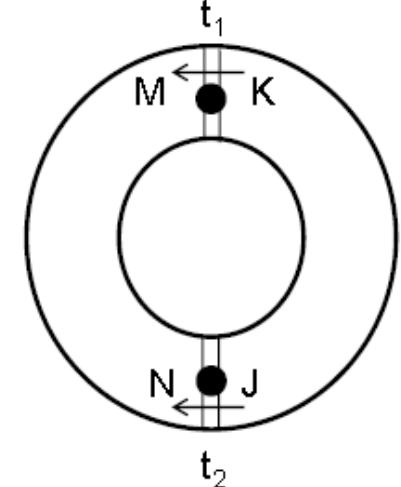
δ_A, δ_B là hệ số vật liệu thomson của hai vật

liệu A, B tương ứng

$t_1 < t_2$ là nhiệt độ tương ứng tại hai điểm khác nhau.

- Vì $E = \int_{t_1}^{t_2} (\delta_A - \delta_B) dt$ rất nhỏ nên ta sấp sỉ coi xuất điện động trên cáp nhiệt ngẫu là

$$E_{MN} = +e_{KM}(t_2) - e_{JN}(t_1)$$



Cặp nhiệt điện

- Nếu giữ nhiệt độ một đầu không đổi bằng không đổi (nhiệt độ đầu tự do) thì xuất hiện suất điện động ra một chiều ở đầu còn lại (đầu làm việc, nhiệt độ t) tỉ lệ với nhiệt độ:

$$E_{MN} = +e_{KM}(t_2) + C = f(t)$$

- Phương trình biến đổi cặp nhiệt trong trường hợp chung có thể biểu diễn dưới dạng

$$E_{MN} = At + Bt^2 + Ct^3$$

E_{MN} là sức điện động đầu ra

t là hiệu nhiệt độ đầu đo và đầu tự đo ($t=t_2-t_1$)

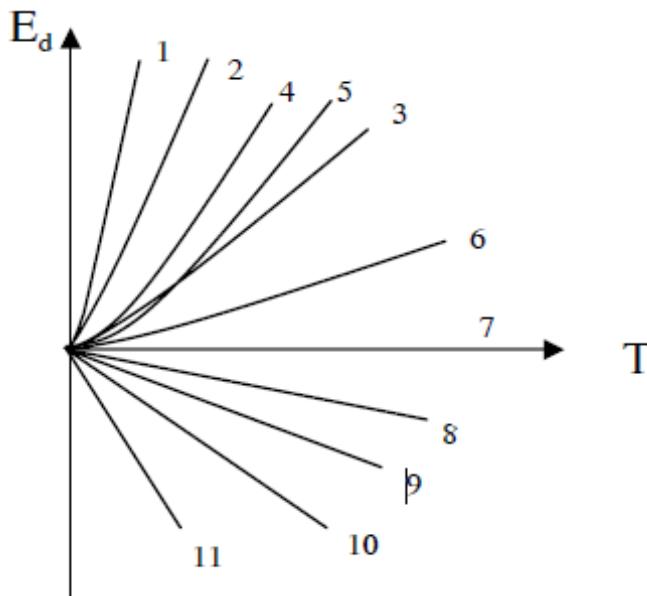
A, B, C là các hằng số phụ thuộc cặp nhiệt

Vật liệu chế tạo

- Tuy nhiên chúng phải đảm bảo các yêu cầu sau:
 - ❖ Sức điện động đủ lớn (để dễ dàng chế tạo dụng cụ đo thứ cấp).
 - ❖ Có đủ độ bền cơ học vụ hoá học ở nhiệt độ lùm việc.
 - ❖ Dễ kéo sợi.
 - ❖ Có khả năng thay lẫn.
 - ❖ Giá thành rẻ.

Vật liệu chế tạo

- Hình dưới biểu diễn quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của các vật liệu dùng để chế tạo điện cực so với điện cực chuẩn platin.



Hình 3.10 Sức điện động của một số vật liệu chế tạo điện cực

- 1) Telua
- 2) Chromel
- 3) Sắt
- 4) Đồng
- 5) Graphit
- 6) Hợp kim platin-rođi
- 7) Platin
- 8) Alumel
- 9) Niken
- 10) Constantan
- 11) Coben

Các kiểu nhiệt kế nhiệt ngẫu

KH	KH HT	Vật liệu cấu thành	Đặc điểm lưu tâm
B	-	Platin Rhodium 30 Platin.Rhodium 6	Dây dương như là hợp kim 70%Pt, 30%Rh. Dây âm là hợp kim 94%Pt, 6%Rh. Loại B bền hơn loại R, giải đo nhiệt độ đến 1800 C, còn các đặc tính khác thì như loại R.
R	-	PtRh 13-Pt	Dây dương là loại hợp kim 87%Pt, 13%Rh. Dây âm là Pt nguyên chất. Cặp này rất chính xác, bền với nhiệt và ổn định. Không nên dùng ở những môi trường có hơi kim loại.
S	-	PtRh 10-Pt	Dây dương là hợp kim 90%Pt, 10%Rh. Dây âm là Pt nguyên chất. Các đặc tính khác như loại R.
K	CA	Cromel-Alumel	Dây dương là hợp kim gồm chủ yếu là Ni và Cr. Dây âm là hợp kim chủ yếu là Ni. Dùng rộng rãi cho Công nghiệp, bền với môi trường oxy hóa. Không được dùng trong môi trường có CO, SO hay khí S có H

Các kiểu nhiệt kế nhiệt ngẫu

KH	KHHT	Vật liệu cấu thành	Đặc điểm lưu tâm
E	CRC	Cromel-Constantan	Dây dương như loại K, dây âm như loại J. Có sức điện động nhiệt điện cao và thường dùng ở môi trường acid
J	IC	Sắt-Constantan	Dây dương là đồng. Dây âm là hợp kim chủ yếu là hợp Ni và Cu. Nhiệt ngẫu này bền ở trong môi trường ăn mòn Fe và dùng ở nhiệt độ trung bình.
T	CC	Đồng-Constantan	Dây dương là Cu. Dây âm cũng là Cu và Ni. Độ chính xác cao khi làm việc ở dưới 300 C (-200 C - 1000 C) dùng và với môi trường khí và oxy hóa.
W/ W- 26E		Tungsten- Tungsten-Rhenium 26	Dây dương bằng Tungsten và dây âm 74% tungsten và 26% rhenium. Phù hợp đo nhiệt độ cao, tính bền giảm với các khí tro trong không khí, không chống được oxy hóa, không sử dụng được trong không khí.

Vật liệu chế tạo

Cặp nhiệt ngẫu	Dải nhiệt độ làm việc (°C)	Sức điện động (mV)
Đồng/ Constantan Φ = 1,63 mm	-270-370	-6,258-19,027
Sắt/ Constantan Φ = 3,25 mm	-210-800	-8,095-45,498
Chromel/Alumen Φ = 3,25 mm	-270-1250	-5,354-50,633
Chromel/Constantan Φ = 3,25 mm	-270-870	-9,835-66,473
Platin-Rođi (10%) /Platin Φ = 0,51 mm	-50-1500	-0,236-15,576
Platin-Rođi (13%) /Platin Φ = 0,51 mm	-50-1500	-0,226-17,445
Platin-Rođi (30%) /Platin-Rođi (6%) Φ = 0,51 mm	0-1700	0-12,426
Vonfram-Reni (5%)/Vonfram-Reni (26%)	0-2700	0-38,45

Căp nhiệt điện

Nhiệt ngẫu (can nhiệt) người ta dùng công thức sấp xỉ

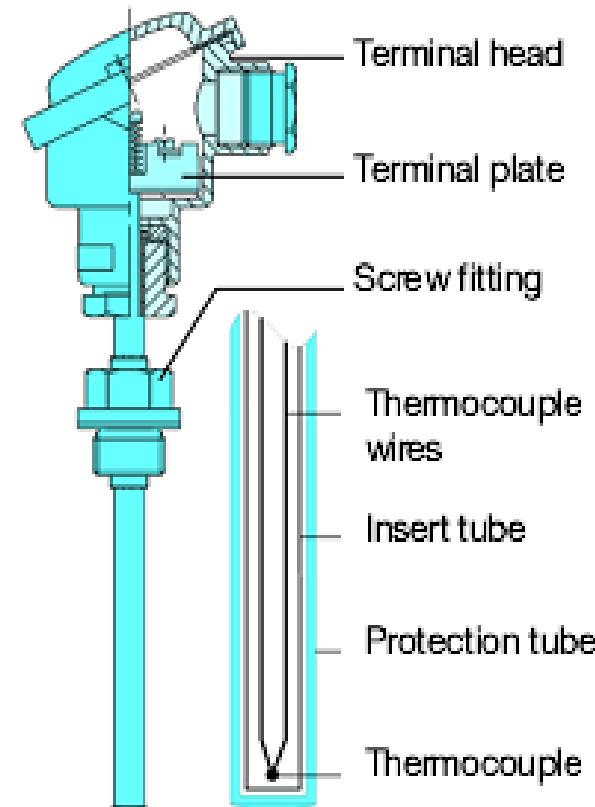
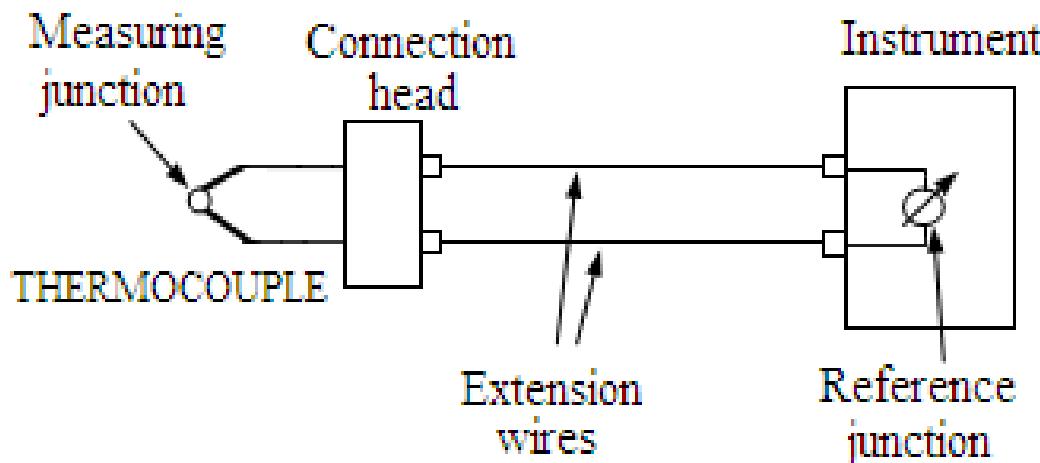
$$E_T = K_T (t_{\text{nóng}} - t_{\text{tự do}}) = K_T t_{\text{nóng}} - K_T t_{\text{tự do}}$$

E_T : sức điện động nhiệt ngẫu

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

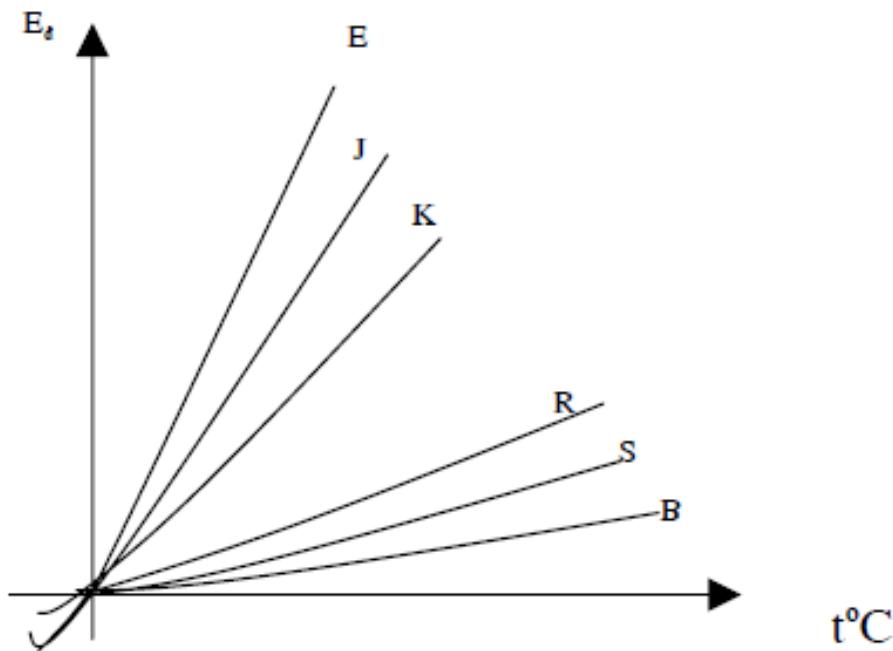
$t_{\text{nóng}}$: nhiệt độ đầu nóng (nhiệt độ cần đo)

$t_{\text{tự do}}$: nhiệt độ đầu tự do



Cặp nhiệt điện

- Quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của một số cặp nhiệt



Hình 3.11 Sức điện động của một số cặp nhiệt ngẫu
E-Chromel/Constantan R- Platin-Rodi (13%)/Platin
J- Sắt/Constantan S- Platin-Rodi (10%)/Platin
K- Chromel/Alumel B-Platin-rodi (30%)/ Platin-rodi (6%)

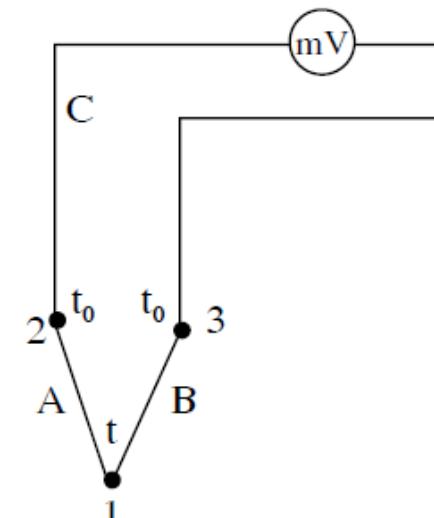
Đo nhiệt độ - hệ số K của một số cặp nhiệt

Table A.10. Characteristics of Thermocouple Types

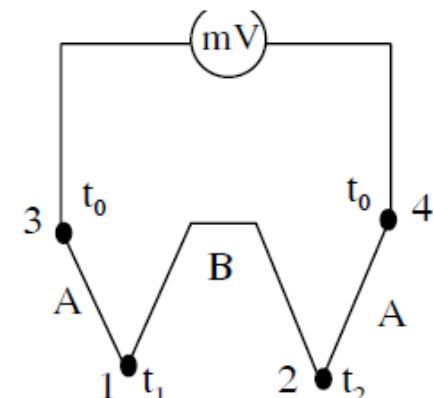
Junction Materials	Sensitivity (at 25°C) ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Temperature Range ($^\circ\text{C}$)	Applications	Designation
Copper/constantan	40.9	–270 to 600	Oxidation, reducing, inert, vacuum; preferred below 0°C ; moisture resistant	T
Iron/constantan	51.7	–270 to 1000	Reducing and inert atmosphere; avoid oxidation and moisture	J
Chromel/alumel	40.6	–270 to 1300	Oxidation and inert atmospheres	K
Chromel/constantan	60.9	–200 to 1000		E
Pt (10%)/Rh–Pt	6.0	0 to 1550	Oxidation and inert atmospheres; avoid reducing atmosphere and metallic vapors	S
Pt (13%)/Rh–Pt	6.0	0 to 1600	Oxidation and inert atmospheres; avoid reducing atmosphere and metallic vapors	R
Silver–Paladium	10.0	200 to 600		
Constantan–tungsten	42.1	0 to 800		
Silicon–aluminum	446	–40 to 150	Used in thermopiles and micromachined sensors	

Mạch đo

- Mạch đo sử dụng mili vôn kế
- Nếu hai đầu 2 và 3 bằng nhau thì sức điện động chính là sức điện động của cắp nhiệt
- Để đi trực tiếp nhiệt độ giữa hai điểm đo người ta dùng sơ đồ vi sai như hình bên



Sơ đồ mạch đo

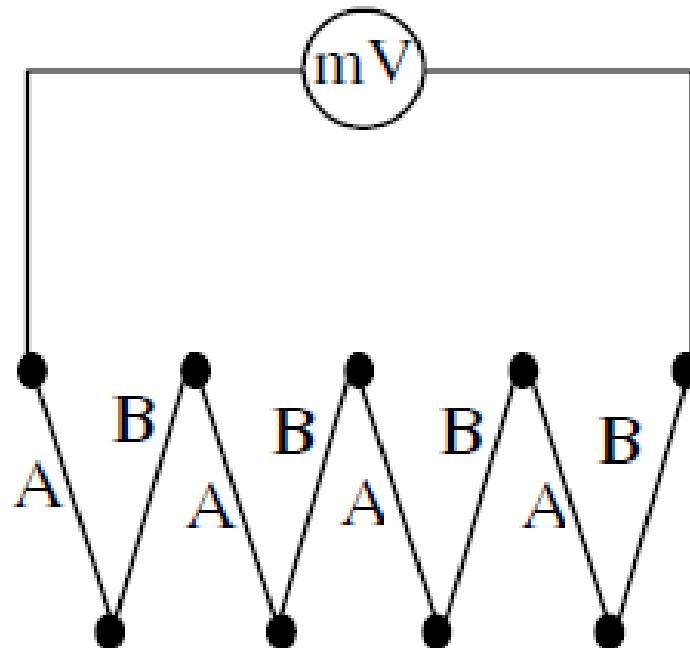


Sơ đồ đo vi sai

Mạch đo

- Để tăng độ nhạy phép đo người ta có thể mắc n cấp nhiệt nối tiếp

$$E = n \cdot E_{ab}$$



Mạch đo

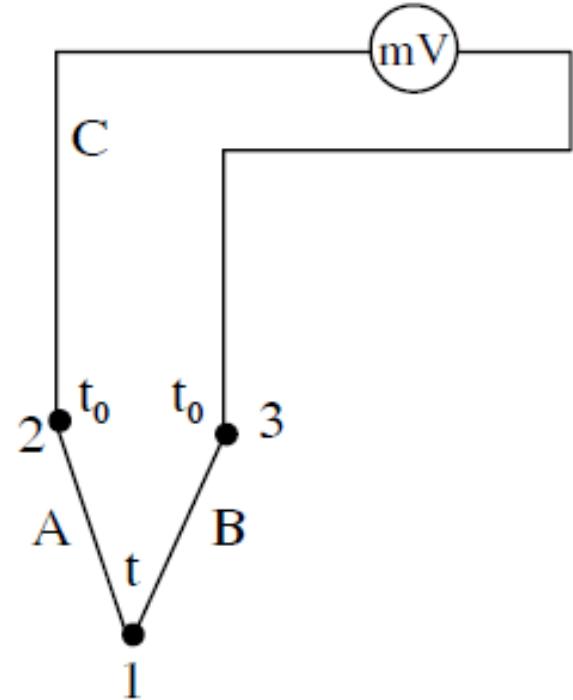
■ Ảnh hưởng của vôn kẽ

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

với:
E_T - sức điện động nhiệt điện
R_{CT} - điện trở của milivônmét
R_{ND} - điện trở cặp nhiệt điện
R_d - điện trở đường dây.

Điện áp rơi trên milivônmét:

$$U_{CT} = E - I(R_{ND} + R_d) = \frac{E \cdot R_{CT}}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$



Mạch đo

Ảnh của dây nối

Sử dụng dây bù

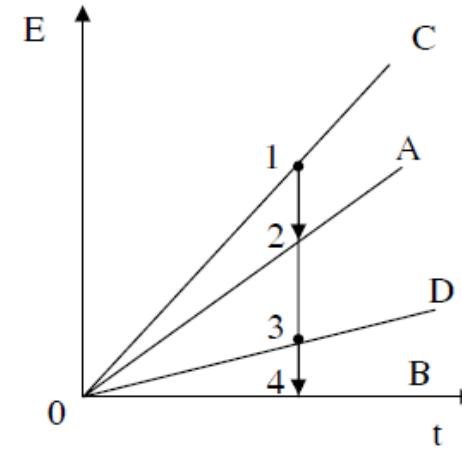
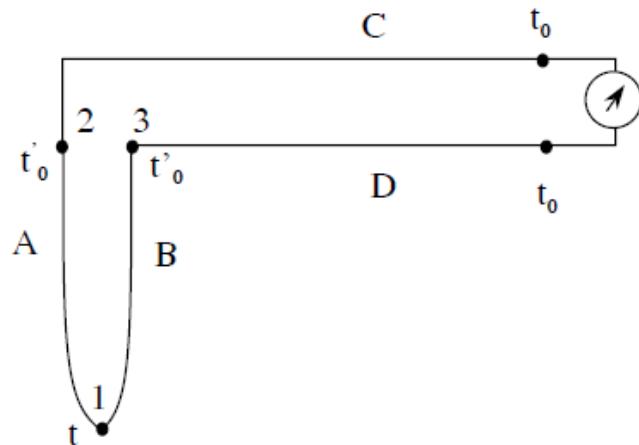
$$E = e_{AB}(t) - e_{CA}(t_0) + e_{BD}(t_0) - e_{CD}(t_0)$$

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

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

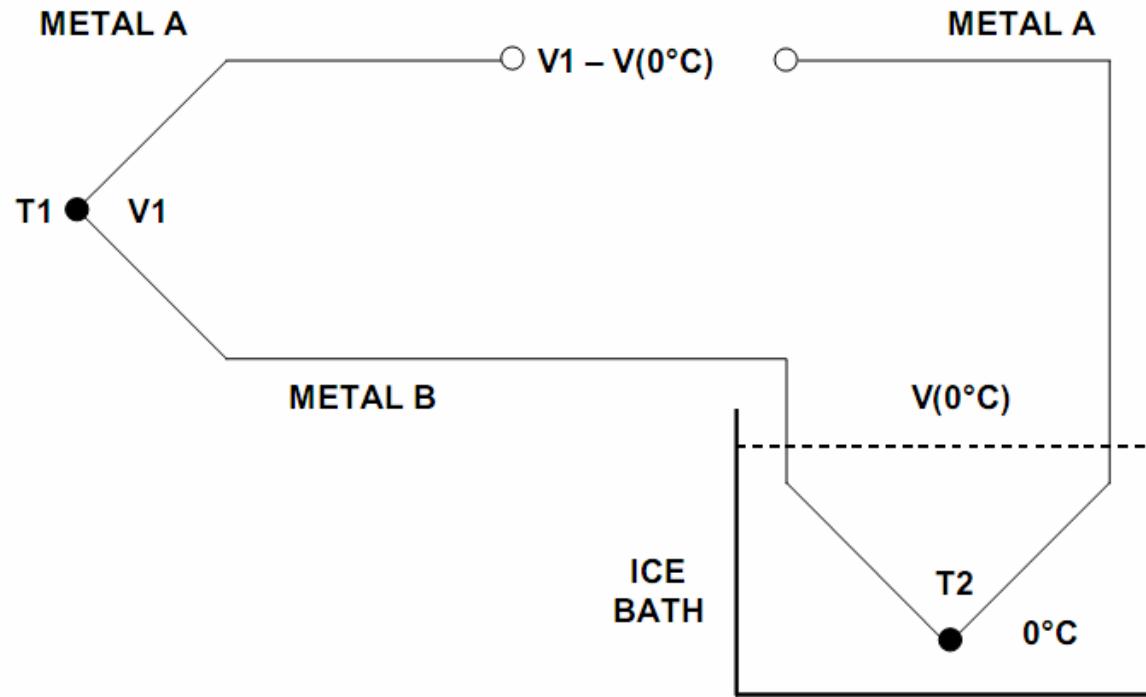
Vì $e(t_0) = 0$, nên:

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



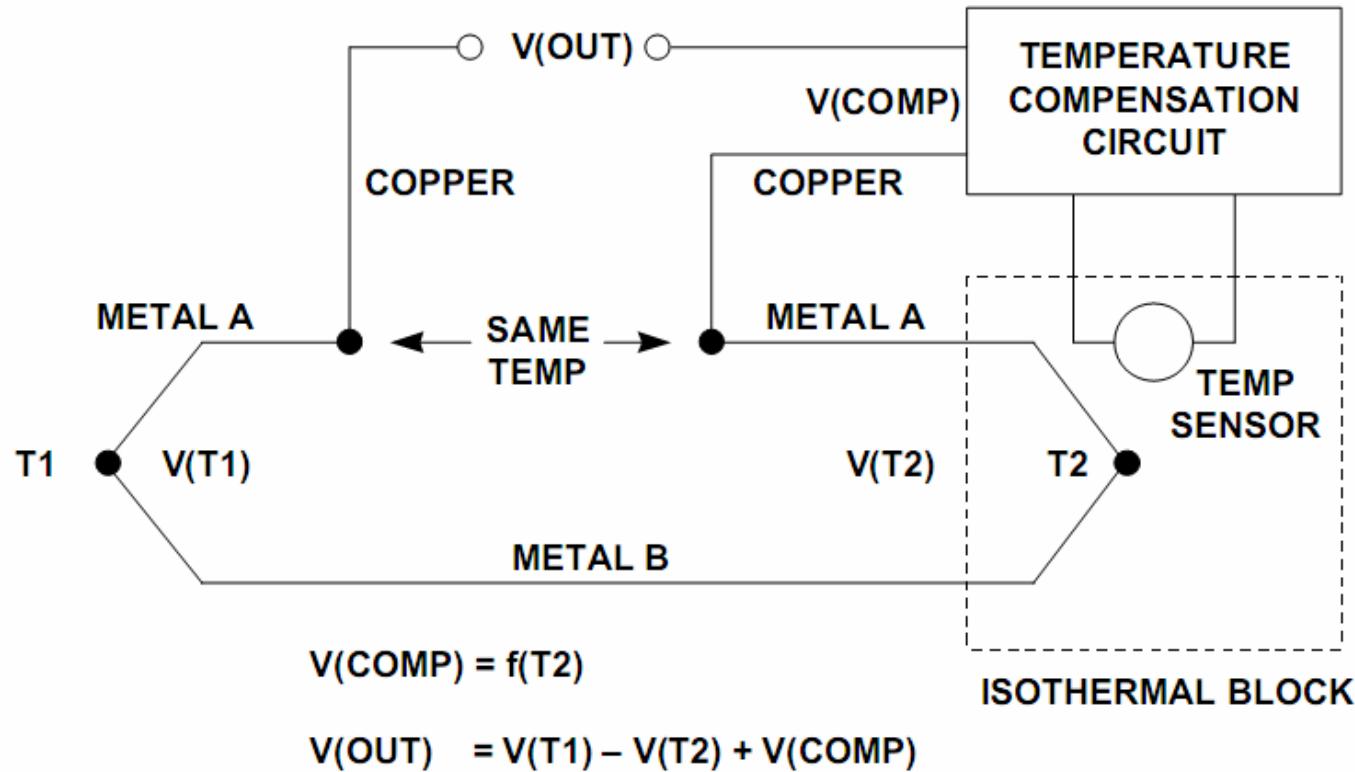
Mạch đo

■ Bù nhiệt độ đầu tự do



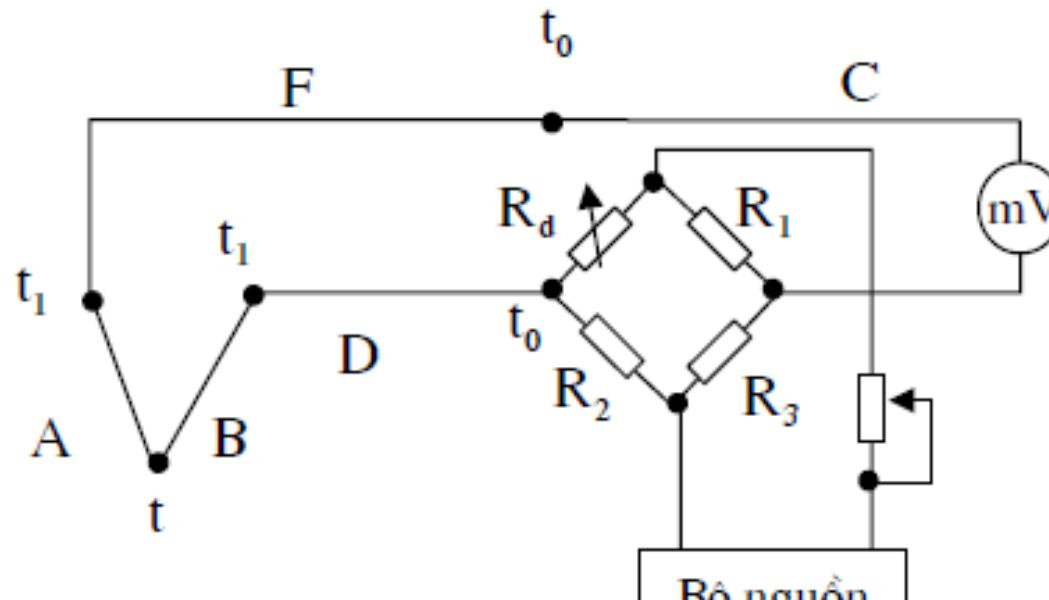
Mạch đo

Dùng mạch điện tử



Mạch đo

Dùng cầu bù



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

Ta lại có

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

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

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

Transmitter nhiệt ngẫu

- Transmitter nhiệt ngẫu làm các nhiệm vụ sau:
 - ❖ Biến điện áp thành dòng thông nhất 4-20 mA.
 - ❖ Bù nhiệt độ đầu tự do của các nhiệt ngẫu khác nhau

Đầu vào của Transmitter là điện áp.

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

$$t_{\text{đo}} = \frac{E_T - K_T \cdot t_{\text{tự do}}}{K_T}$$

E_T – sức điện động nhiệt ngẫu

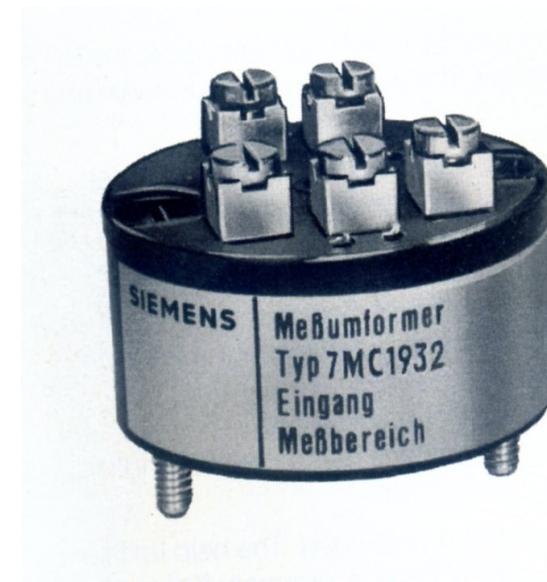
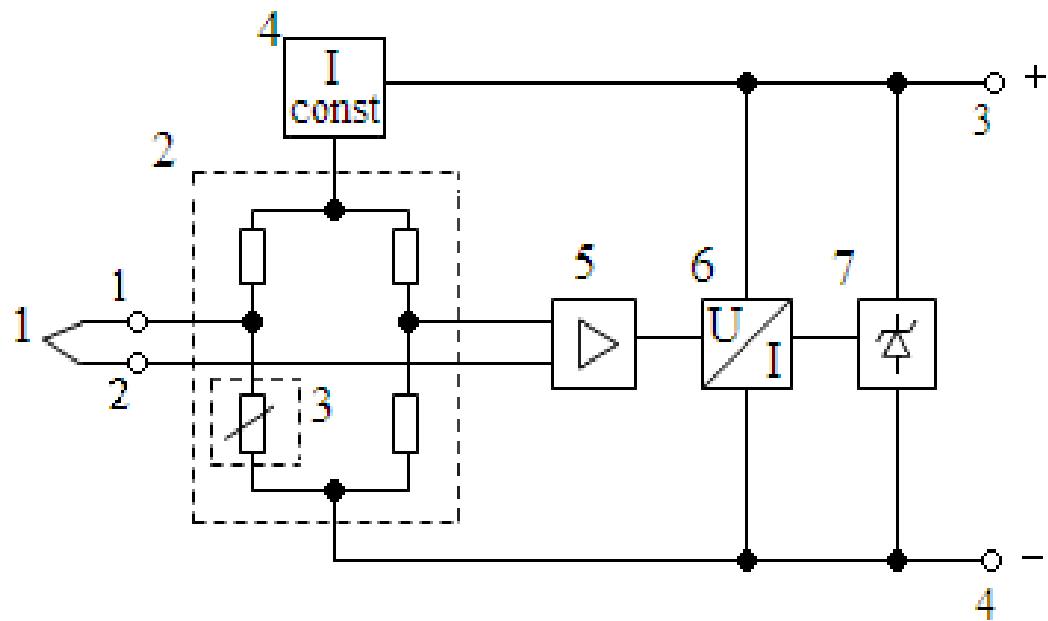
K_T – độ nhạy của cặp nhiệt

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

$t_{\text{tự do}}$ – nhiệt độ đầu tự do

Transmitter nhiệt ngẫu

- Ta phải chỉnh K_T thế nào để cho 0 C ứng với 4 mA và nhiệt độ định mức ứng với 20 mA. Muốn thế ta phải khuếch đại và phải bố trí để có thể định hệ số khuếch đại ứng với các K_T mong muốn.

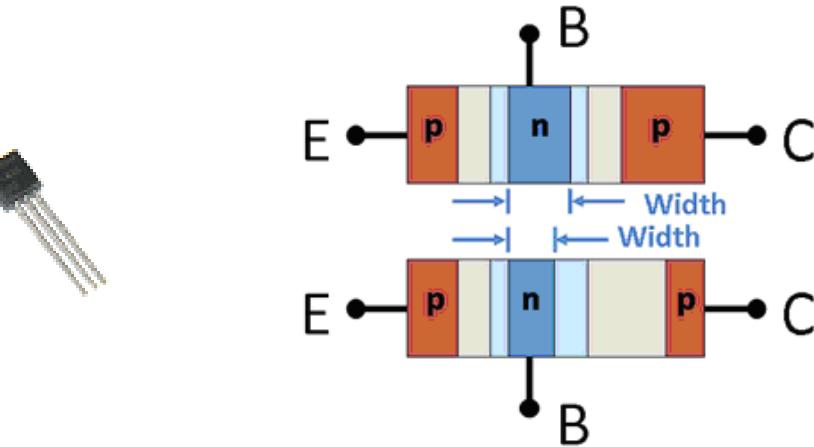
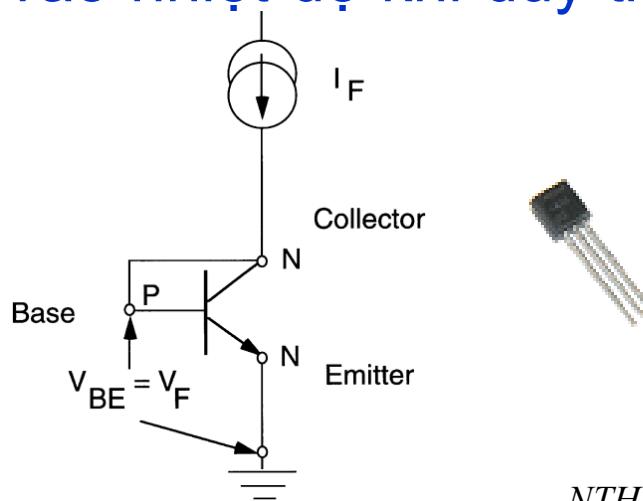


Sơ đồ nguyên lý của transmitter nhiệt ngẫu 7MC1932 của

14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- Cấu tạo: Làm từ các loại chất bán dẫn.
- Nguyên lý:

Đặc tính của điốt phụ thuộc vào nhiệt độ. Dựa trên đặc tính đó người ta đo nhiệt độ hoặc sự thay đổi nhiệt độ của một đối tượng nào đó. Tuy nhiên sự phụ thuộc này không tuyến tính và không đủ tin cậy, do vậy người ta sử dụng tính chất phụ thuộc điện áp giữa bazo-emito của một tranzito vào nhiệt độ khi duy trì dòng điện colecto (I_c) không đổi



14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

Theo mẫu Ebers-Moll, dòng điện collecto (I_C) đối với một tranzito lí tưởng là:

$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left(\exp \left\{ \frac{qU_{BE}}{KT} \right\} - 1 \right) - I_{CS} \left(\exp \left\{ \frac{-qU_{CB}}{KT} \right\} - 1 \right) \quad (7-31)$$

α_F – hệ số tỉ lệ;

I_{ES} – dòng emitơ bão hòa;

q – điện tích; $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C;

U_{BE} – điện áp bazơ - emitơ;

T – nhiệt độ tuyệt đối;

I_{CS} – dòng collecto bão hòa;

U_{CB} – điện áp collecto - bazơ;

$\alpha_F I_{ES}$ được kí hiệu là I_S ($\alpha_F I_{ES} = I_S$).

Trong vùng hoạt động thường $I_C \gg I_S$.

Với điều kiện $U_{CB} = 0$ từ công thức (7-31) ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_C}{I_S} \quad (7-32)$$

14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

$$\text{Một cách gần đúng ta có } I_S = BT^3 \exp\left\{\frac{-qU_{go}}{KT}\right\} \quad (7-33)$$

B – hằng số;

U_{go} – điện áp tiếp giáp.

Từ công thức (7-32) và (7-33) ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_C}{I_{CO}} \left(\frac{T_0}{T} \right)^3 + (U_{BEo} - U_{go}) \frac{T}{T_0} + U_{go}$$

U_{BEo} – điện áp bazơ-emitter với dòng I_{CO} ở nhiệt độ T_0 ;

I_C – dòng collectơ.

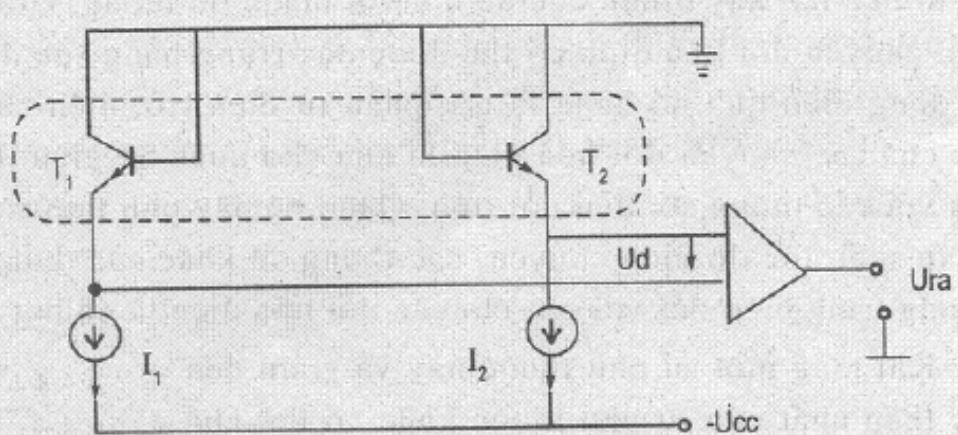
Từ công thức trên ta thấy quan hệ giữa U_{BE} và T là phi tuyến và phụ thuộc vào dòng I_C .

Độ nhạy của U_{BE} theo T :

$$S = \left. \frac{dU_{BE}}{dt} \right|_{I_C=I_{CO}} = \frac{U_{BEo} - U_{go}}{T_0} - \frac{3K}{q} \left(1 + \ln \frac{T}{T_0} \right)$$

14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

Thông thường người ta sử dụng hai tranzito có dòng emitor giống nhau và được cung cấp bởi dòng điện collectơ khác nhau như hình vẽ 7-27d.



Nếu cả hai tranzito ở cùng nhiệt độ thì sự khác nhau giữa dòng bazơ-emitor là:

$$U_d = U_{BE1} - U_{BE2} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}}$$

Nếu cả hai tranzito được coi là giống nhau ta có:

$$I_{S1} = I_{S2} \text{ và } U_d = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}$$

Với $\frac{I_{C1}}{I_{C2}}$ là hằng số; U_d sẽ tỉ lệ với T mà không cần đến một nguồn ổn định.

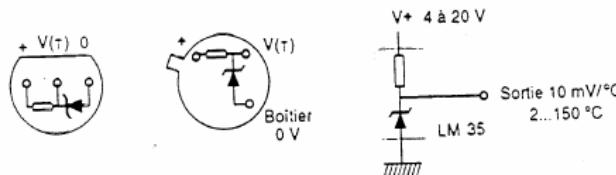
14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- Ưu điểm: Rẽ tiền, dễ chế tạo, độ nhạy cao, chống nhiễu tốt, mạch xử lý đơn giản.
- Khuyết điểm:
 - ❖ Không chịu nhiệt độ cao, kém bền.
 - ❖ Chế tạo từ các thành phần bán dẫn nên cảm biến nhiệt Bán Dẫn kém bền, không chịu nhiệt độ cao, độ ẩm, va đập, hóa chất có tính ăn mòn
 - ❖ Cảm biến bán dẫn mỗi loại chỉ tuyến tính trong một giới hạn nào đó, ngoài ra cảm biến sẽ mất tác dụng
- Thường dùng: Đo nhiệt độ không khí, dùng trong các thiết bị đo, bảo vệ các mạch điện tử.
- Dải đo: -50 < 150 D.C.

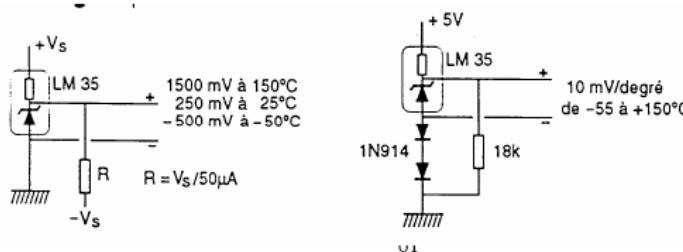
14.4 Dựa trên tính bán dẫn của transistor diode

- Cảm biến nhiệt Bán Dẫn là những loại cảm biến được chế tạo từ những chất bán dẫn. Có các loại như Diode, Transistor, IC.
- Ta dễ dàng bắt gặp các cảm biến loại này dưới dạng diode, các loại IC như: LM35, LM335, LM45.

Nguồn áp : LM35

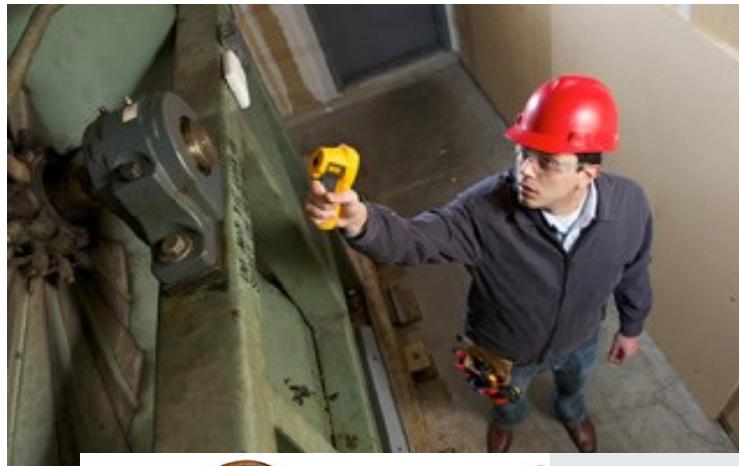


Mạch đo với nhiệt điện trở bán dẫn



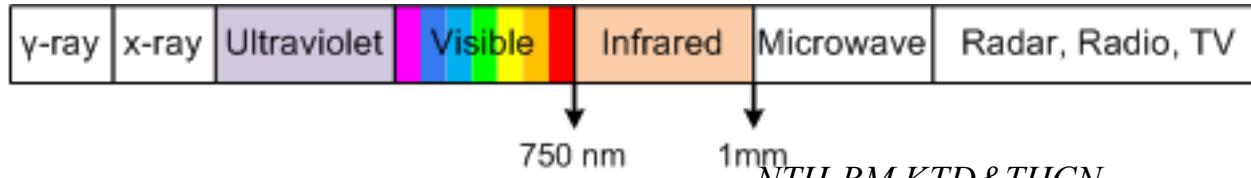
Đo không tiếp xúc

- Phương pháp này sử dụng khi đo nhiệt độ bề mặt của vật ở xa, cao, khó tiếp cận, trong môi trường khắc nghiệt (đường ống trên cao, nhiệt độ khu vực quá nóng và nguy hiểm đến tính mạng).
 - ❖ Đo bằng hồng ngoại
 - ❖ Hỏa quang kế

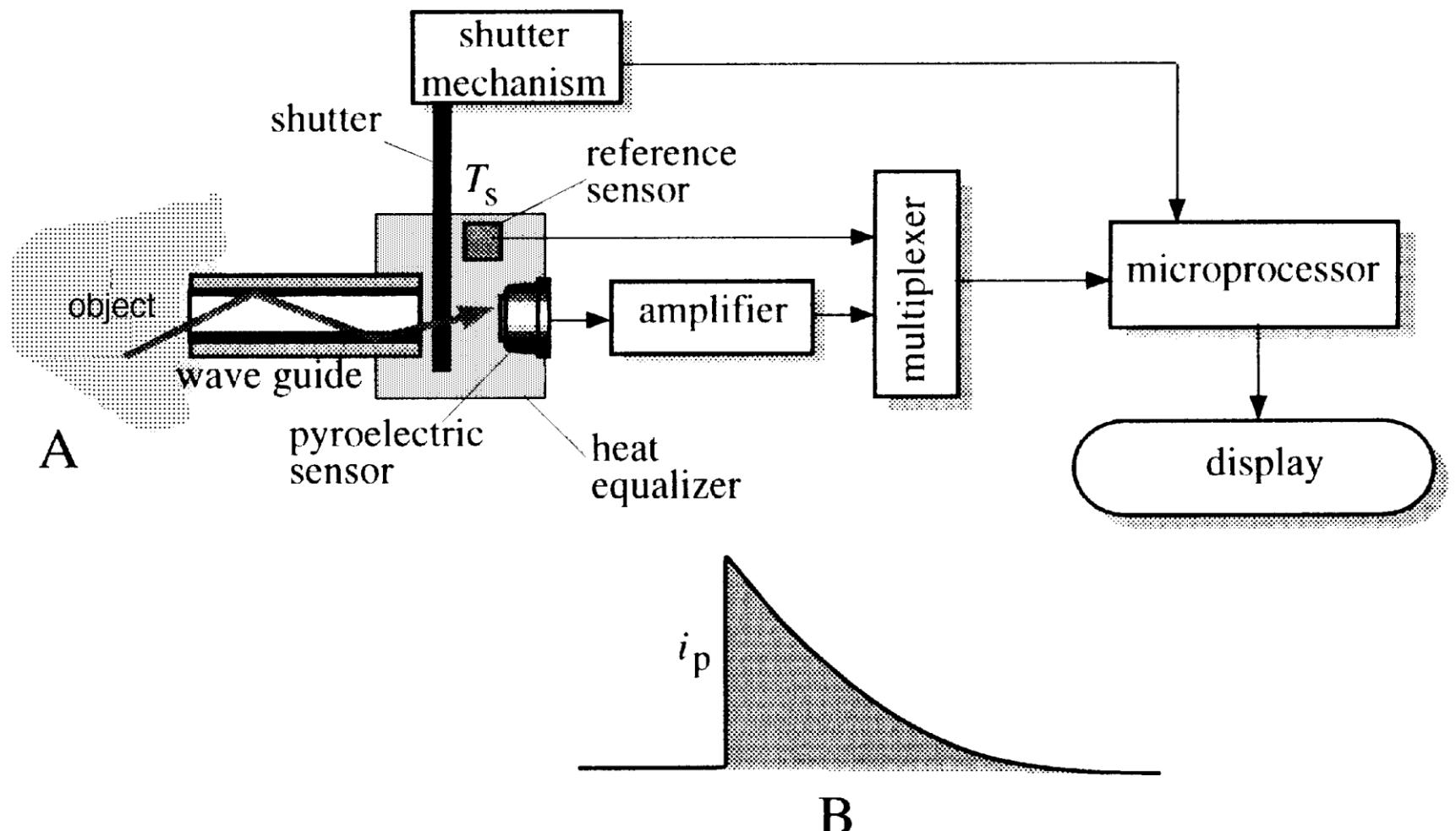


14.5 Đo bằng hồng ngoại

- Nhiệt kế hồng ngoại (IRT) cơ bản gồm có 4 thành phần:
 - Ông dẫn sóng (waveguide) để thu gom năng lượng phát ra từ bia (target)
 - Cảm biến hỏa nhiệt kế (Pyroelectric sensor) có tác dụng chuyển đổi năng lượng sang tín hiệu điện
 - Bộ điều chỉnh độ nhạy (reference sensor) để phối hợp phép đo của thiết bị hồng ngoại với chỉ số bức xạ của vật thể được đo.
 - Một mạch cảm biến bù nhiệt (heater equalizer) để đảm bảo sự thay đổi nhiệt độ phía bên trong thiết bị



14.5 Đo bằng hồng ngoại



- Cảm biến hồng ngoại là một cảm biến hỏa điện (pyroelectric sensor) theo sau là bộ chuyển đổi dòng sang áp

14.5 Đo bằng hồng ngoại

- Công nghệ hồng ngoại dùng các bước sóng từ $0.7\text{ }\mu\text{m}$ - $14\text{ }\mu\text{m}$, các bước sóng lớn hơn thì năng lượng quá thấp, cảm biến hồng ngoại không thể nhận ra được

- Bất kể một vật nào có nhiệt độ trên -273°C đều phát ra bức xạ điện tử, theo định luật Flanck

$$\varepsilon = h \cdot f = h \cdot 1/T = h \cdot 1/(c \cdot \lambda)$$

- Với: ε = Mức năng lượng, h = hằng số Flanck, f = tần số, c = vận tốc ánh sáng, λ = bước

- Cảm biến hồng ngoại sẽ đo mức năng lượng của vật, từ đó sẽ tính toán ra nhiệt độ.

- Mỗi cảm biến hồng ngoại chỉ nhạy với một khoảng bước sóng nhất định. Khi chọn đúng loại cảm biến phù hợp vừa cho kết quả đo chính xác hơn cũng như tiết kiệm chi phí.

14.6 Hỏa quang kế

Nguyên lý

- Quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật có thể diễn ra dưới hình thức bức xạ nhiệt, không cần các vật đó trực tiếp tiếp xúc với nhau. Bức xạ nhiệt chính là sự truyền nội năng của vật bức xạ đi bằng sóng điện từ
- *Bất kỳ một vật nào sau khi nhận nhiệt thì cũng có một phần nhiệt năng chuyển đổi thành năng lượng bức xạ, số lượng được chuyển đổi đó có quan hệ với nhiệt độ*
- Vậy từ năng lượng bức xạ người ta sẽ biết được nhiệt độ của vật
- Dụng cụ dựa vào tác dụng bức xạ nhiệt để đo nhiệt độ của vật gọi là hỏa kế bức xạ, chúng thường được dùng để đo nhiệt độ trên 600 °C .

14.6 Hỏa quang kế

Nguyên lý

- Một vật bức xạ một lượng nhiệt là Q (W) \Rightarrow mật độ bức xạ toàn phần E (là năng lượng bức xạ qua một đơn vị diện tích)

$$E = \frac{dQ}{dF} (\text{W} / m^2)$$

- Cường độ bức xạ đơn sắc :

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} (\text{W} / m^3)$$

- Dựa vào năng lượng do một vật hấp thụ người ta có thể biết được nhiệt độ của vật bức xạ nếu biết được các quan hệ giữa chúng.

14.6 Hỏa quang kế

Những định luật cơ sở về bức xạ nhiệt

■ Định luật Planck:

Đối với vật đen tuyệt đối thì quan hệ $E_{0\lambda}$ và T bằng công thức :

$$E_{0\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{C_2/\lambda T} - 1 \right)}; C_1 = 0.370^{-15} \text{ W.m}^2$$
$$C_2 = 1.438^{-2} \text{ m.K}$$

■ Định luật Stefan-Boltzman:

Cường độ bức xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối liên hệ với nhiệt độ của nó bằng biểu thức

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

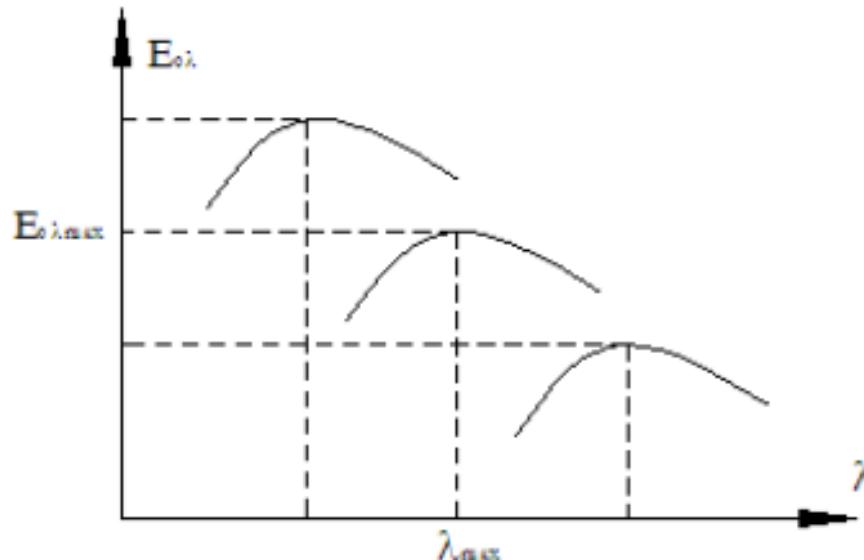
14.6 Hỏa quang kế

Những định luật cơ sở về bức xạ nhiệt

■ Định luật chuyển định của Wiên

Khi vật nhiệt độ T có cường độ bức xạ lớn nhất thì sóng λ_{\max} sẽ quan hệ với nhiệt độ theo biểu thức :

$$\lambda_m \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \left(m \cdot {}^0K \right)$$



14.6 Hỏa quang kế

- Trong công nghiệp khi nhiệt độ đo cao (trên 1600 C) ta dùng hỏa quang kế. Hỏa quang kế chia làm 3 loại là:
 - ❖ Hỏa quang kế bức xạ. $T = f(E)$ (Stefan-Boltzman)
 - ❖ Hỏa quang kế quang học. $T = f(E_{0\lambda})$ (Planck)
 - ❖ Hỏa quang kế màu sắc. (Wiên)

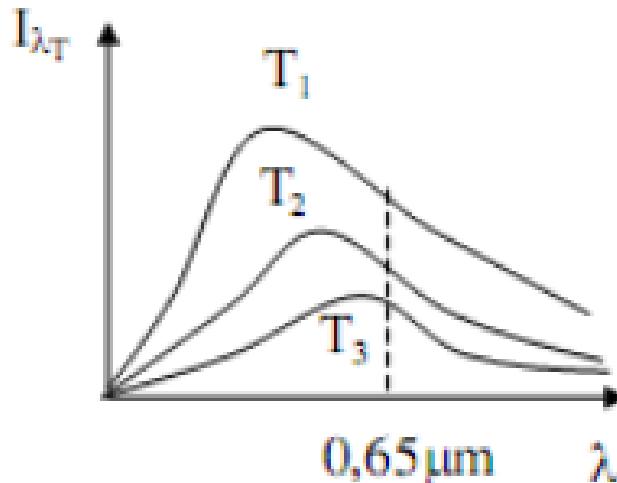
$$T = f \left(\frac{E_{0\lambda_1}}{E_{0\lambda_2}} \right)$$



Hỏa kế quang học

- Hoả kế quang điện chế tạo dựa trên định luật Plăng
- Nguyên tắc đo nhiệt độ bằng hỏa kế quang học là so sánh cường độ sáng của vật cần đo và độ sáng của một đèn mẫu ở trong cùng một bước sóng nhất định và theo cùng một hướng. Khi độ sáng của chúng bằng nhau thì nhiệt độ của chúng bằng nhau

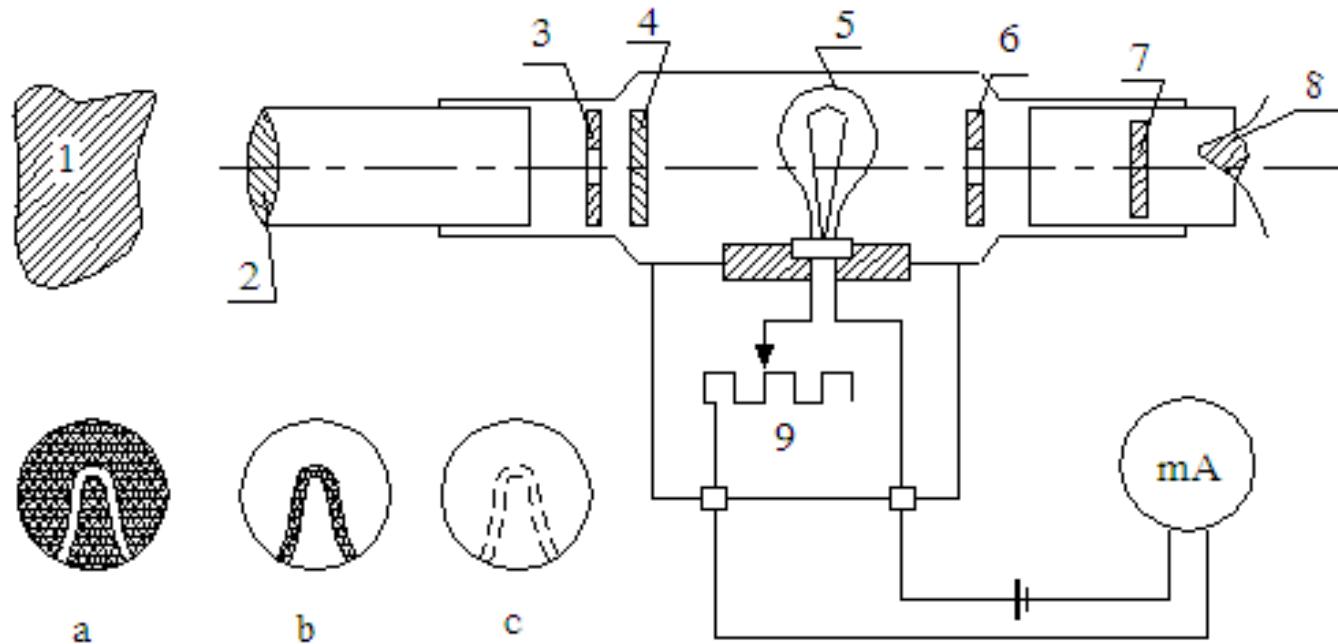
Sự phụ thuộc giữa I và λ không đơn trị, do đó người ta thường cố định bước sóng ở $0,65\mu\text{m}$.



Sự phụ thuộc của cường độ ánh sáng vào bước sóng và nhiệt độ

Hỏa kế quang học

Sơ đồ cấu tạo



1- vật cản đo nhiệt độ

2- thấu kính (kinh vật)

3- vòng đ/chỉnh

4- kính mờ

5- bóng đèn

7- kính đố (bộ lọc)

6-vòng đ/chỉnh

8- kính mắt (ống nhòm) 9- biến trở

Hỏa kế quang học

- Khi đo, hướng hỏa kế vào vật cần đo, ánh sáng từ vật bức xạ cần đo nhiệt độ (1) qua vật kính (2), kính lọc (3), và các vách ngăn (4), (6), kính lọc ánh sánh đỏ (7) tới thị kính (8) và mắt. Bật công tắc K để cấp điện nung nóng dây tóc bóng đèn mẫu (5), điều chỉnh biến trở R_b để độ sáng của dây tóc bóng đèn trùng với độ sáng của vật cần đo.

$$\frac{1}{T_{do}} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon\lambda}$$

- Công thức hiệu chỉnh: $T_{đo} = T_{đọc} + \Delta T$

Giá trị của ΔT cho theo đồ thị.

Hỏa kế quang học

Nguyên lý làm việc của hỏa kế quang học

- Bóng đèn sợi đốt vonfram sau khi đã được già hóa trong khoảng 100 giờ với nhiệt độ 2000°C , sự phát sáng của đèn ổn định nếu sử dụng ở nhiệt độ $400 \div 1500^{\circ}\text{C}$.
- Cường độ sáng có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi dòng đốt bằng điều chỉnh biến trở

Hỏa quang kế bức xạ

Nguyên lý của hỏa quang kế bức xạ

- Một vật tuyệt đối đen khi đốt nóng lên bức xạ, năng lượng bức xạ là

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

E_{BX} - năng lượng bức xạ

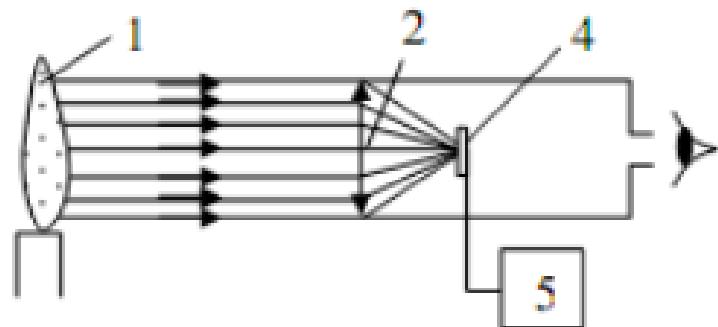
σ_T - hệ số phát xạ tuyệt đối

- Hỏa quang kế bức xạ gồm một bộ cặc nhiệt kích thước nhỏ gồm 10 cặc nhiệt bố trí nối tiếp nhau thành hình rẻ quạt. Ánh sáng hồng ngoại bức xạ, được thấu kính hoặc gương lõm tập trung vào đúng đầu này của bộ biến đổi. Năng lượng ấy làm nóng cặc nhiệt và phát ra sức điện động nhiệt điện

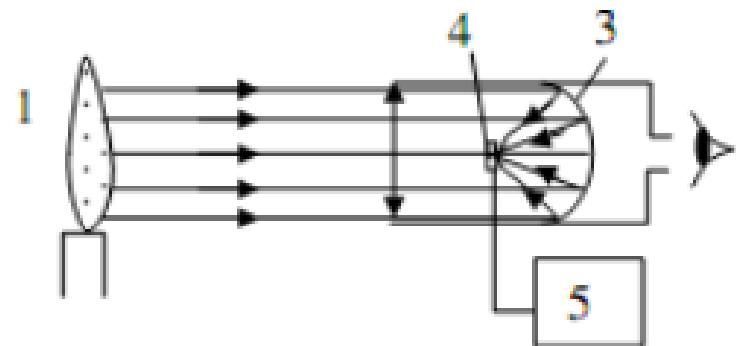
$$E_T = K_T \cdot E_{BX} = K_T \cdot \sigma_T \cdot T^4$$

Hỏa quang kế bức xạ

- Cấu tạo của bộ thu hỏa quang kế bức xạ
- Thông thường có hai loại: hỏa kế bức xạ có ống kính hội tụ, hỏa kế bức xạ có kính phản xạ.



a)



b)

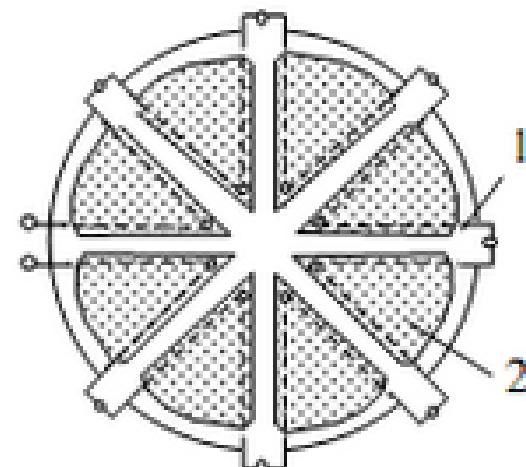
- 1) Nguồn bức xạ
- 2) Thấu kính hội tụ
- 3) Gương phản xạ
- 4) Bộ phân thu năng lượng
- 5) Dụng cụ đo thứ cấp

Hỏa quang kế bức xạ

- Bộ phận thu năng lượng có thể là một vi nhiệt kế điện trở hoặc là một tổ hợp cặp nhiệt, chúng phải thoả mãn các yêu cầu:
 - + Có thể làm việc bình thường trong khoảng nhiệt độ 100 - 150°C.
 - + Phải có quán tính nhiệt đủ nhỏ và ổn định sau 3 - 5 giây.
 - + Kích thước đủ nhỏ để tập trung năng lượng bức xạ vào đo.

Các cặp nhiệt (1) thường dùng cặp crômen/côben mắc nối tiếp với nhau.

Các vết đen (2) phủ bằng bột platin

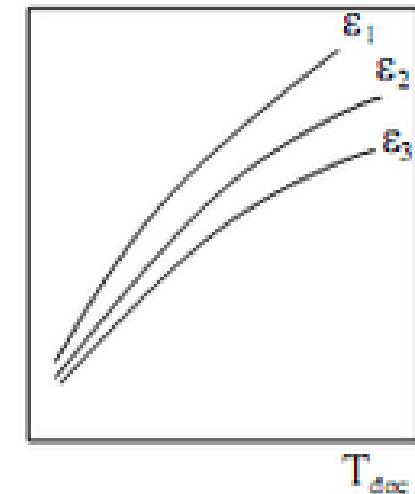


Hỏa quang kế bức xạ

- Khi đo nhiệt độ bằng hỏa kế bức xạ sai số thường không vượt quá 27°C, trong điều kiện:
 - ❖ Vật đo phải có độ đen xấp xỉ bằng 1.
 - ❖ Tỉ lệ giữa đường kính vật bức xạ và khoảng cách đo (D/L) không nhỏ hơn 1/16.
- Trong thực tế độ đen của vật đo $e < 1$, khi đó

$$T_{do} = \sqrt[4]{\frac{1}{e}} \cdot T_{doc}$$

ΔT



- Thông thường xác định theo công thức sau:

$$T_{do} = T_{doc} + \Delta T$$

Hỏa quang kế bức xạ

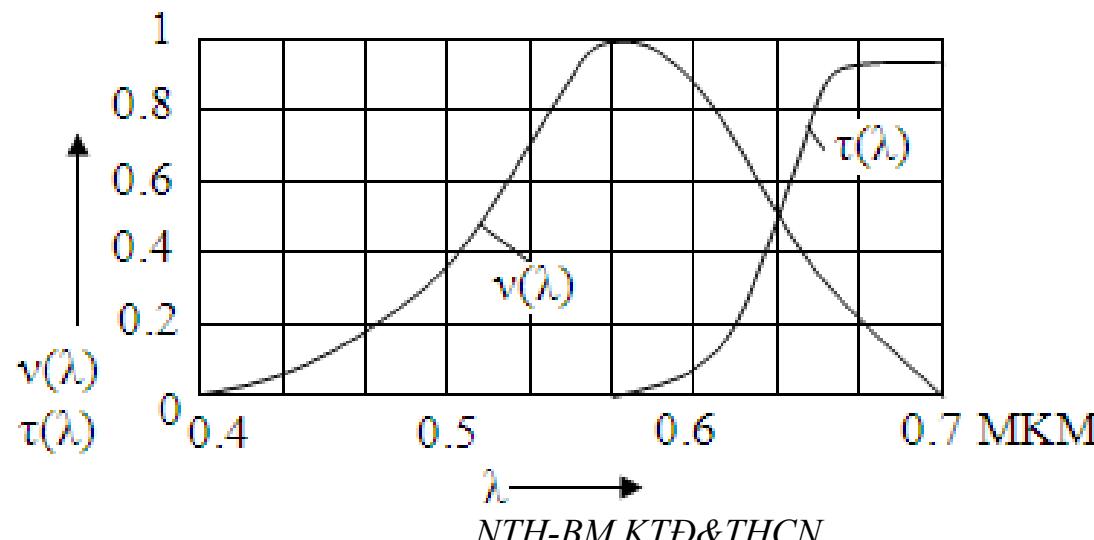
- Trong các hỏa quang kế, trước kia người ta phải bố trí hệ thống máy ngắm để cho ảnh thật của đối tượng trùng với tiêu điểm của bộ thu
- Hiện nay cũng có những photo điốt hồng ngoại thay thế cho bộ thu của hỏa quang nói trên.. Ngày nay người ta đặt một điốt lazer phát ra một chùm tia hẹp song song với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

*Hỏa quang kế bức xạ 566,
568 của Fluke*



Hỏa quang kế màu sắc

- Bước sóng của ánh sáng phát ra càng giảm khi nhiệt độ càng tăng (ở nhiệt độ thấp đối tượng phát ra ánh sáng đỏ, nhiệt độ cao phát ra ánh xanh đến tím). So sánh cường độ ánh sáng xanh và đỏ ta có thể suy ra nhiệt độ của đối tượng. Ta lần lượt cho ánh sáng xanh và đỏ của chùm sáng phát ra bởi đối tượng (thông qua hai bộ lọc xanh và đỏ). Cường độ ánh sáng xanh và đỏ được chia cho nhau và tỷ số giữa hai cường độ ấy cho phép suy ra nhiệt độ



Hỏa quang kế màu sắc

A Đổi tượng đo nhiệt độ

1 Vật kính

2 Đĩa lọc xanh đỏ

3 Mô tơ đồng bộ

4 Tế bào quang điện

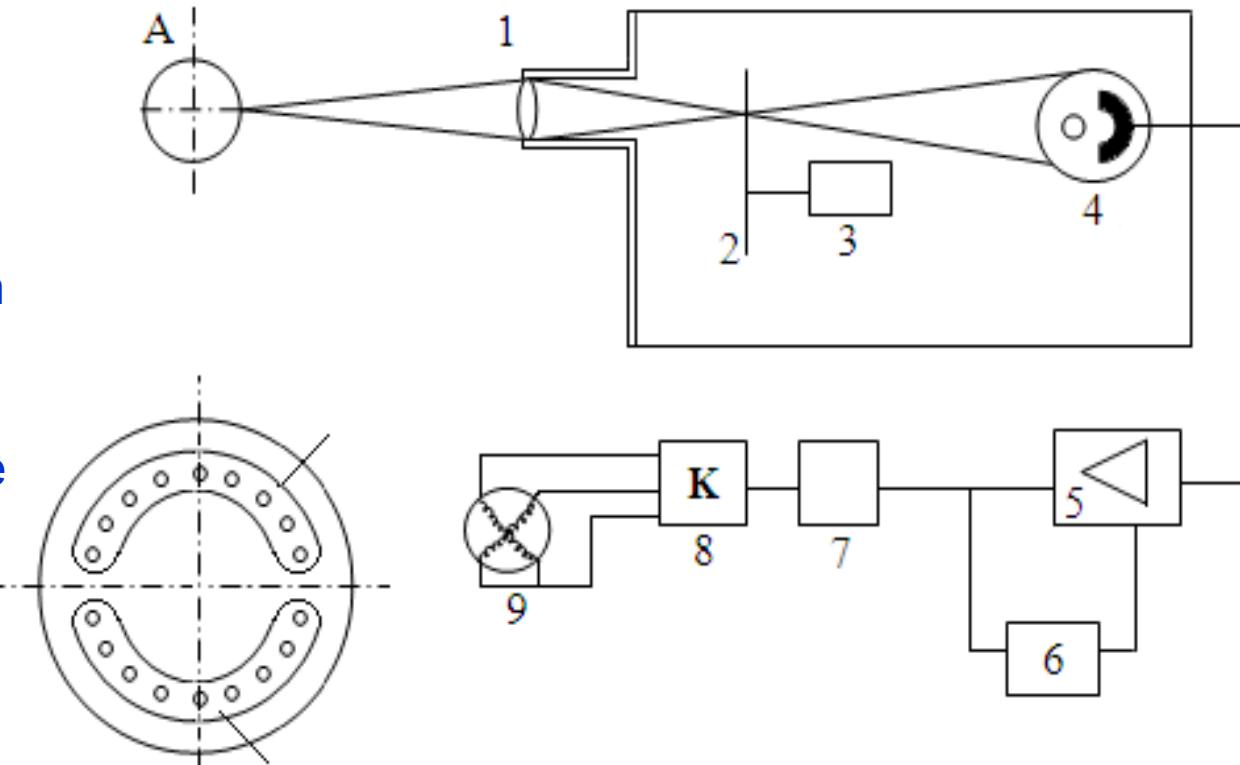
5 Khuếch đại

6 Tự động chỉnh hệ số khuếch đại

7 Lọc

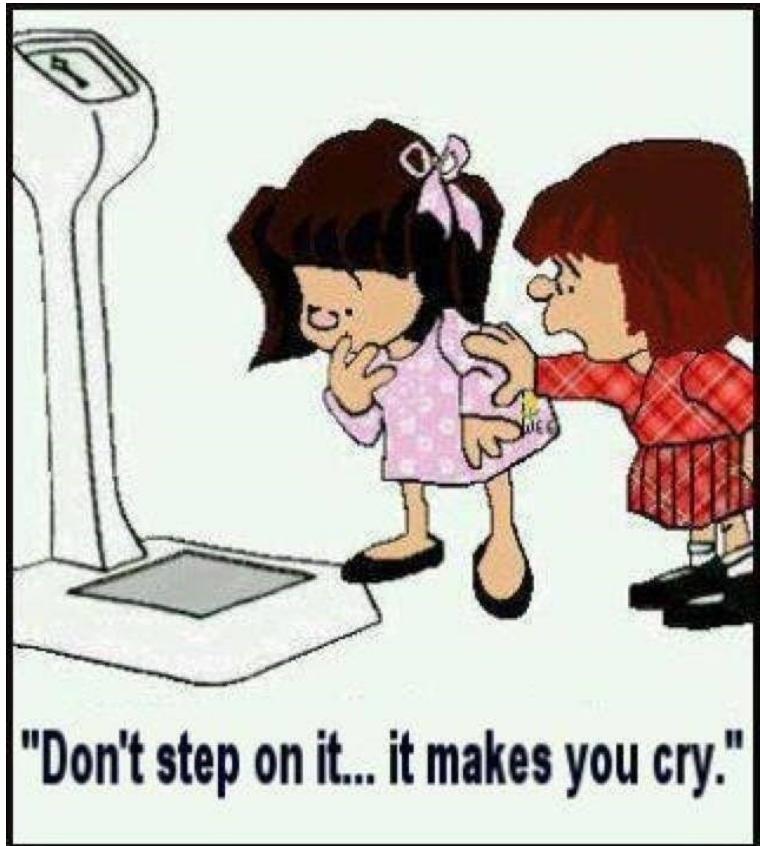
8 Khóa đổi nối

9 Logomet chia dòng quang học đỏ, xanh



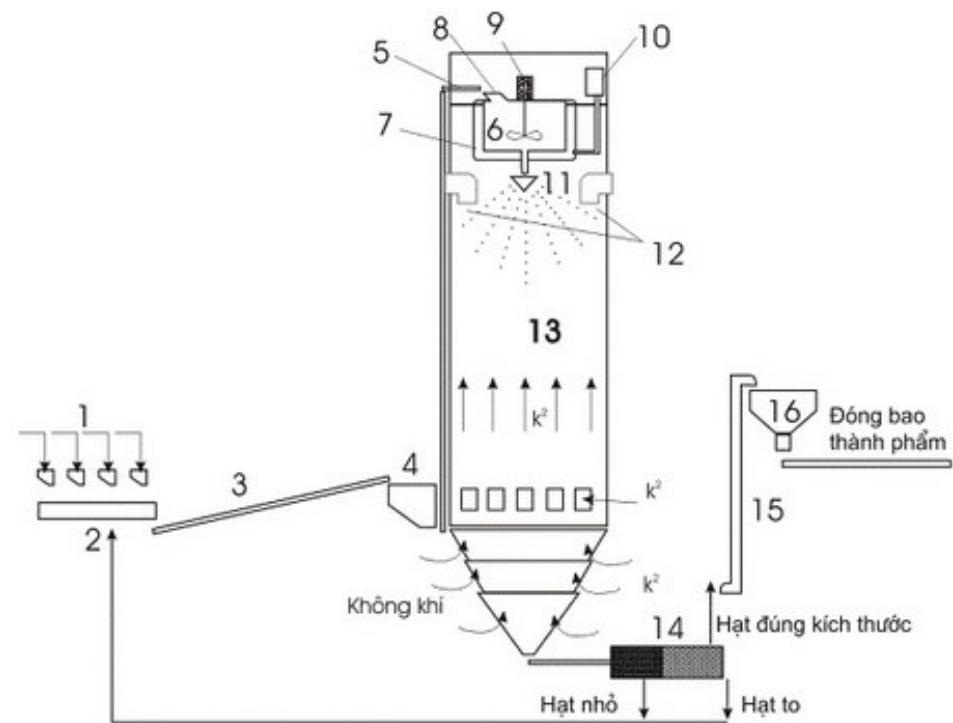
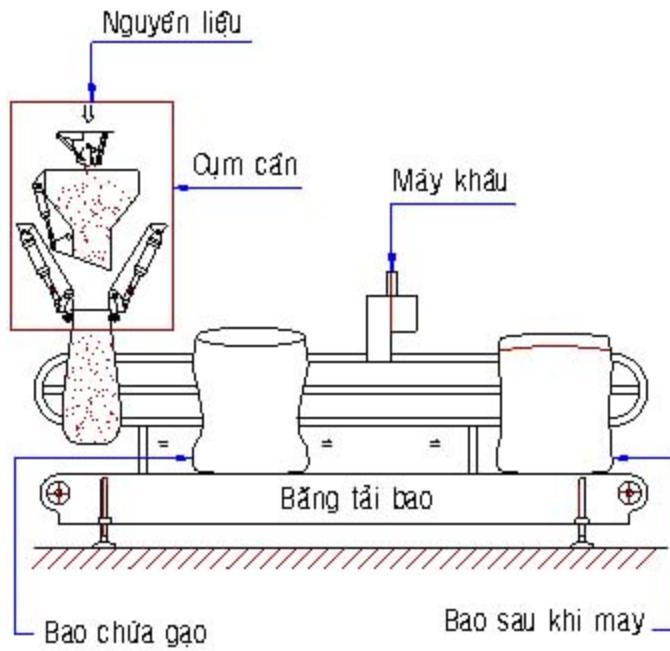
Chương 15: Đo Lực

■ Trong đời sống



Chương 15: Đo Lực

Vai trò đo lực



Chương 15: Đo Lực

- Lực là một đại lượng vật lý quan trọng
- Lực được xác định từ định luật cơ bản của động học

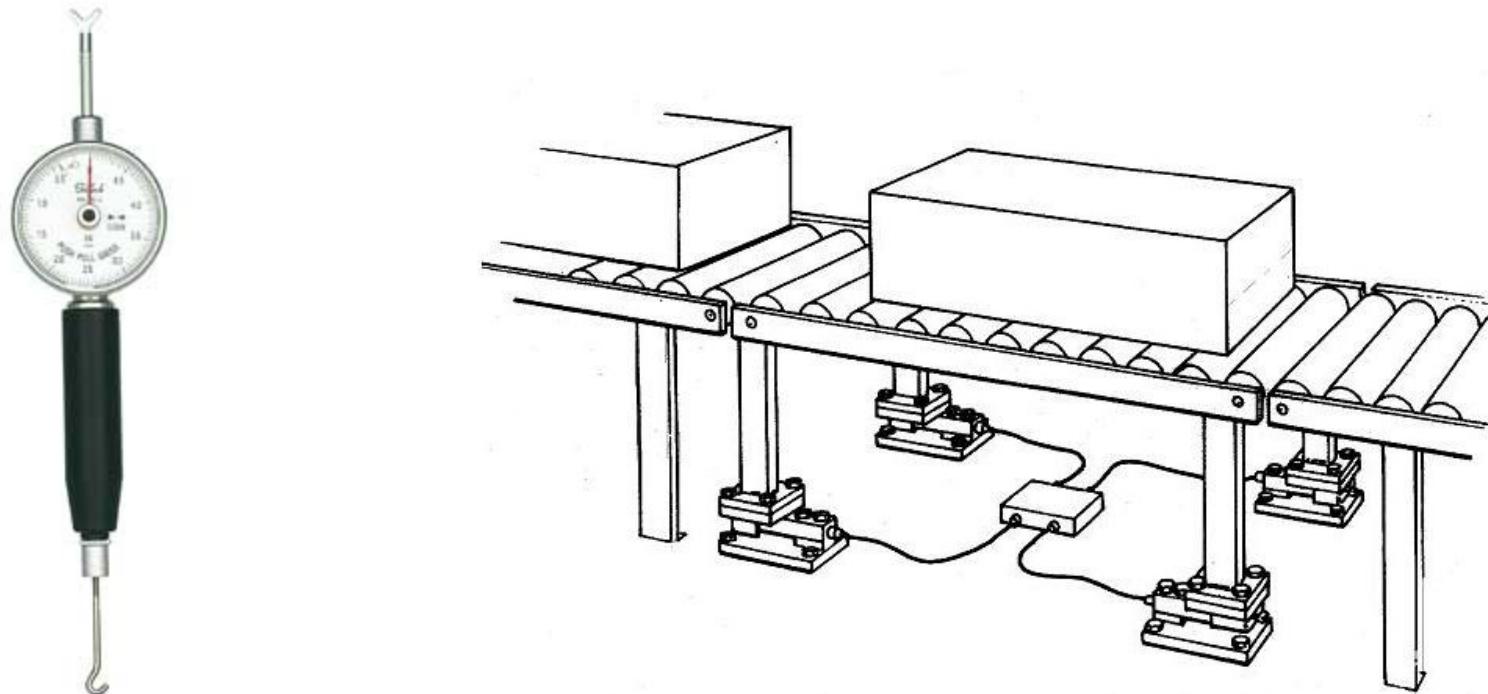
$$F=m.a.$$

Trong đó m là khối lượng (kg) chịu tác động của lực F gây nên bởi gia tốc a (ms^{-1}).

- Trọng lực P chính của vật chính là lực tác dụng lên vật đó trong trọng trường trái đất: $P=m.g$. Trong đó g chính là gia tốc trọng trường ($g=9.8$) phụ thuộc vào độ cao.
- Khi đo trọng lượng của một vật thực chất là ta xác định khối lượng của vật đó.
- Ngược lại, sử dụng khối lượng đã biết trước trong môi trường có gia tốc g thì ta sẽ thu được một lực xác định

Chương 15: Đo Lực

- Trong cảm biến đo lực thường có một vật trung gian chịu tác động của lực cần đo và bị biến dạng, biến dạng này là nguyên nhân của lực đối kháng: trong giới hạn đàn hồi biến dạng tỉ lệ với lực đối kháng (định luật hooke).



Chương 15: Đo Lực

- Biến dạng và lực cần gây nên biến dạng có thể đo trực tiếp bằng đầu đo biến dạng hoặc đo gián tiếp nếu một trong các tính chất điện của vật liệu làm vật trung gian phụ thuộc vào biến dạng (ví dụ như vật liệu áp điện và vật liệu từ giảo).
- Để đo lực, người ta có thể dùng các phương pháp chuyển đổi khác nhau nên mỗi loại sẽ có cấu tạo khác nhau và mạch đo khác nhau.

Chương 15: Đo Lực

- Để đo lực, người ta có thể dùng các phương pháp chuyển đổi khác nhau nên mỗi loại sẽ có cấu tạo khác nhau và mạch đo khác nhau. Sau đây là một số loại cảm biến lực mà ta thường gặp.
 - ❖ Cảm biến lực loại áp điện.
 - ❖ Cảm biến từ giảo.
 - ❖ Cảm biến từ đòn hồi.
 - ❖ Cảm biến chuyển đổi Tenzo.

Chương 15: Đo Lực

- Trong công nghiệp, để đo trọng lượng người ta sử dụng rất nhiều loại cân như cân trọng tải, cân băng tải.
- Cân được chia làm 3 bộ phận:
 - ❖ Bộ phận cơ khí tạo thành cân như kết cấu dầm, sàn, công son, kết cấu bộ phận đòn hồi trên băng tải v.v...
 - ❖ Tế bào cân hay tế bào mang tải (loadcell).
 - ❖ Hệ thống đo lường và gia công số liệu.
- Ở đây, chúng ta không xét đến phần kết cấu cơ khí của cân mà chỉ xét tới loadcell và hệ thống đo lường và gia công số liệu

Chương 15: Đo Lực

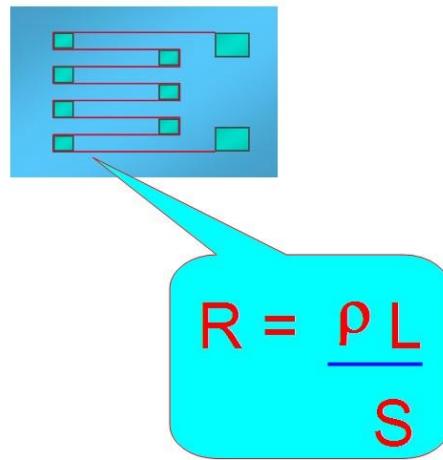
■ **Loadcell được cấu tạo từ 3 bộ phận chính:**

- ❖ 4 điện trở Tenzo: Được chế tạo từ các vật liệu đặc biệt chúng được cắt chính xác theo hình lưới. Tất cả các điện trở Tenzo đều có các thông số giống nhau
- ❖ Một lõi thép đặc biệt: Lõi thép có cấu tạo hình ống được chế tạo đặc biệt đảm bảo đặc tính co giãn, đàn hồi tuyến tính và độ mồi rất nhỏ.
- ❖ Vỏ bao bên ngoài: ở hai đầu ống thép gắn các vỏ phần tĩnh và phần động, vỏ có thể được chế tạo bằng hợp kim có độ chịu nhiệt và chịu mài mòn cao.

Chương 15: Đo Lực

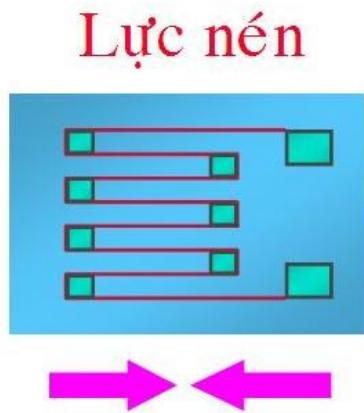
Điện trở lực căng (Strain gauge - tenzo)

- Strain gauge là thành phần cấu tạo chính của loadcell, nó bao gồm một sợi dây kim loại mảnh đặt trên một tấm cách điện đàn hồi.
- Để tăng chiều dài của dây điện trở strain gauge, người ta đặt chúng theo hình ziczac, mục đích là để tăng độ biến dạng khi bị lực tác dụng qua đó tăng độ chính xác của thiết bị cảm biến sử dụng strain gauge.



Chương 15: Đo Lực

■ Điện trở thay đổi tỷ lệ với lực tác động



Điện trở giảm

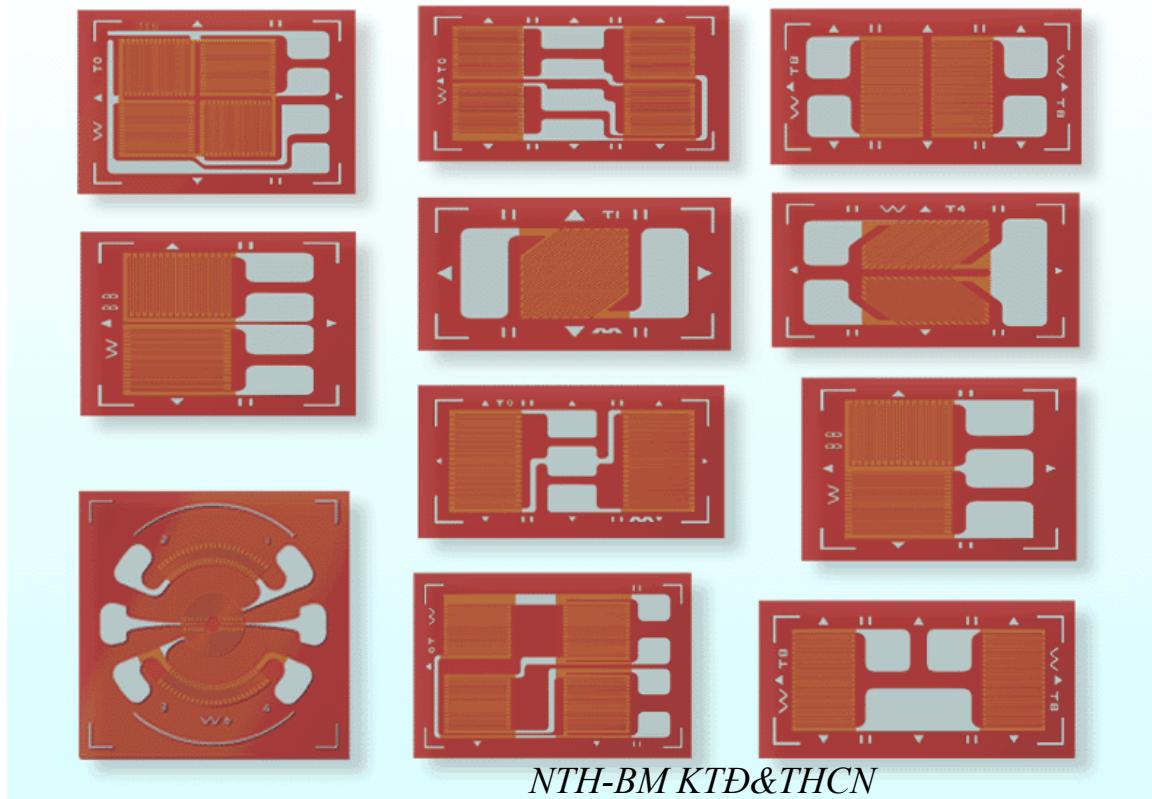


Điện trở
tăng

- Yêu cầu của vật liệu chế tạo tenzo là hệ số nhạy cảm lớn. Các vật liệu thường dùng làm tenzo là constantan (60%Cu+40%Ni), nikен...

Chương 15: Đo Lực

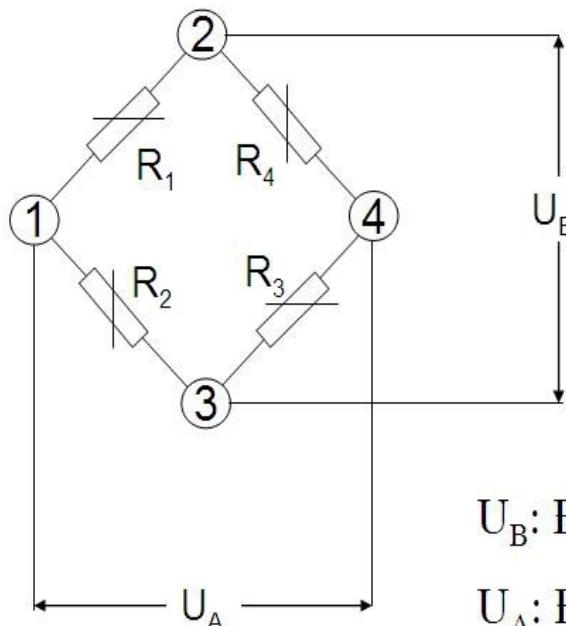
- Hầu hết các nhà sản xuất strain gauge cung cấp nhiều loại strain gauge khác nhau để phù hợp với các sản phẩm Loadcell khác nhau, các ứng dụng trong nghiên cứu và công nghiệp dự án khác nhau



Chương 15: Đo Lực

Cấu tạo tế bào tải (loadcell)

- Về nguyên tắc 1 Loadcell sẽ bao gồm 4 phần tử tenzo mắc thành 1 mạch cầu 4 nhánh.
- Mỗi phần tử tenzo là 1 điện trở lực căng ($R_x = R_0 + \Delta R$), trong đó R_0 là điện trở ban đầu của tenzo khi chưa có tác động của vật nặng, ΔR là lượng điện trở thay đổi khi có vật nặng làm loadcell biến đổi.



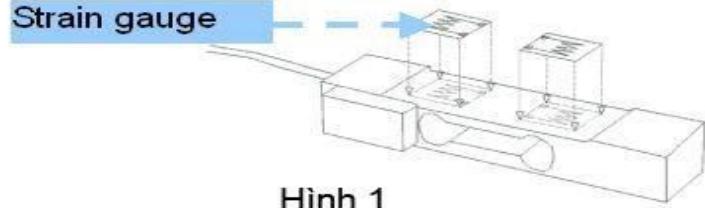
U_B : Điện áp cung cấp
 U_A : Điện áp tín hiệu ra

Chương 15: Đo Lực

Tế bào tải (loadcell)

Nhìn vào Hình 1: các điện trở strain gauges được dán vào bề mặt của thân loadcell. Khi bị kéo - nén, điện trở của strain gauge sẽ thay đổi tỉ lệ thuận với biến độ kéo - nén

Strain gauge



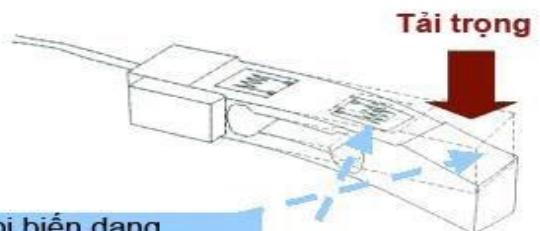
Hình 1



1) Loadcell bị biến dạng

2) Strain gauge bị biến dạng theo

3) Điện trở của các strain gauge bị thay đổi



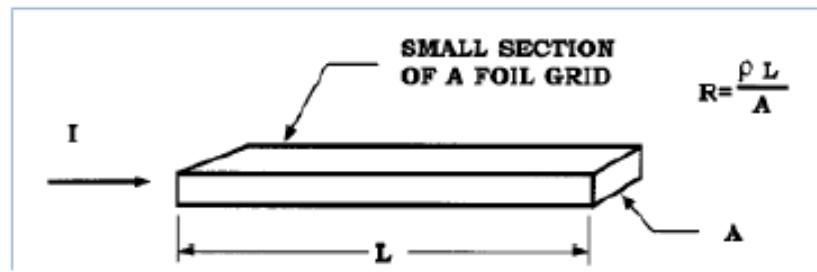
Hình 2

Nhìn vào Hình 2: Khi có tải trọng hoặc lực tác động lên loadcell làm cho loadcell bị biến dạng, điều đó dẫn tới sự biến dạng các điện trở strain gauges dán trên thân loadcell dẫn đến một sự thay đổi giá trị của các điện trở strain gauges. Sự thay đổi này dẫn tới sự thay đổi trong điện áp đầu ra nếu một điện áp kích thích được cung cấp cho ngõ vào loadcell. Nói cách khác, loadcell đã chuyển đổi lực tác dụng thành tín hiệu điện.

Chương 15: Đo Lực

Điện trở lực căng (tenzo)

- Đặc trưng cơ bản của chuyển đổi tenzo là hệ số nhạy cảm tương đối K.



where R = Resistance
 ρ = Resistivity
 L = Length
 A = Area of the cross-section

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

$$\text{và } \varepsilon_R = \varepsilon_l$$

Mặt khác ta có
$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}$$



$$\varepsilon_R = \varepsilon_\rho + \varepsilon_l - \varepsilon_S$$

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

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

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

Chương 15: Đo Lực

Tế bào tải (loadcell)

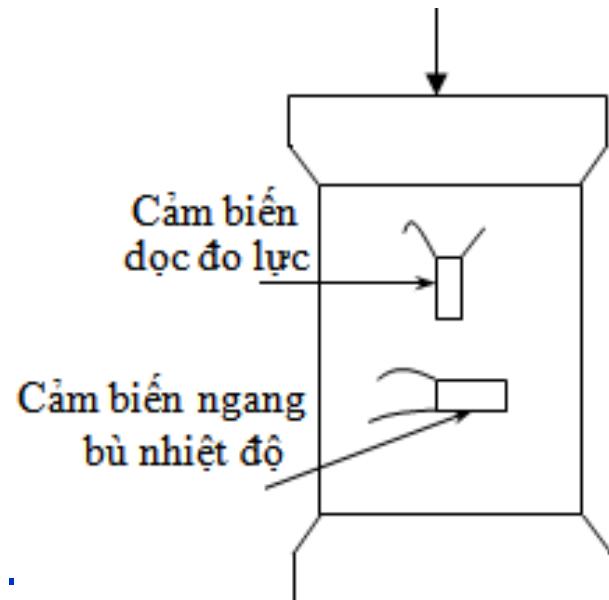
- Tế bào tải là một kết cấu đòn hồi bằng thép chất lượng cao, đảm bảo giải biến dạng đòn hồi rộng
- Biến dạng được tính:

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

F: lực tác động lên loadcell;

S: tiết diện phần tử đòn hồi;

E: modul đòn hồi thép làm loadcell.



Chương 15: Đo Lực

- Cảm biến điện trở lực căng được nuôi cấy trên phần tử đòn hồi. Nó gồm 4 điện trở, 2 điện trở dọc là điện trở tác dụng, 2 điện trở ngang là điện trở bù nhiệt độ, 4 điện trở này được nối thành cầu hai nhánh hoạt động

$$\Delta U = \frac{U_{CC}}{2} \frac{\Delta R}{R} = \frac{U_{CC}}{2} k \varepsilon_1$$

U_{CC} : điện áp cung cấp cho cầu;

$\Delta R/R$: biến thiên điện trở do biến dạng của phần tử đòn hồi;

ε_1 : biến dạng tính theo công thức trên;

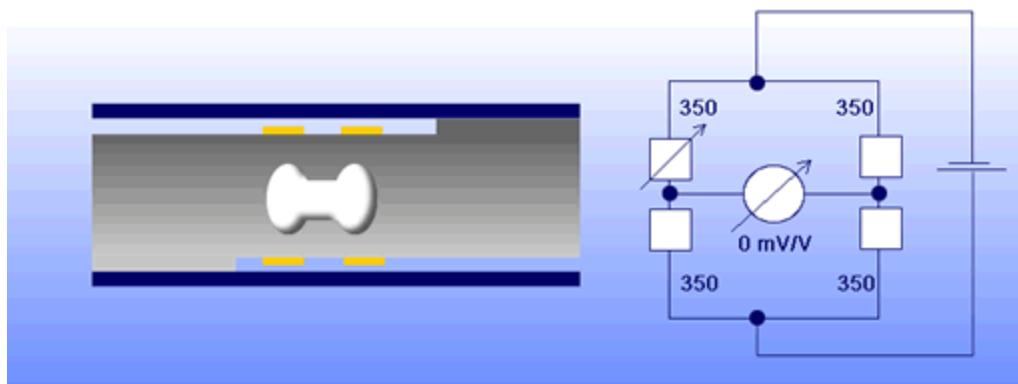
k: độ nhạy của cảm biến điện trở lực căng.

Chương 15: Đo Lực

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

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

- Như vậy, nếu độ nhạy loadcell là 2mV/V thì khi cung cấp điện áp 12V, điện áp định mức ở đường chéo cầu là: $12 \times 2 = 24mV$.



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

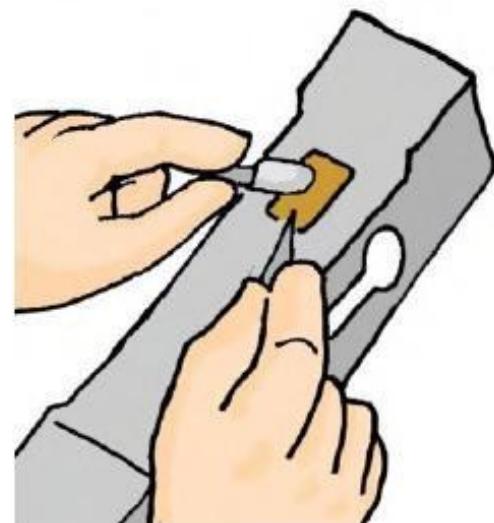
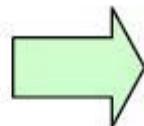
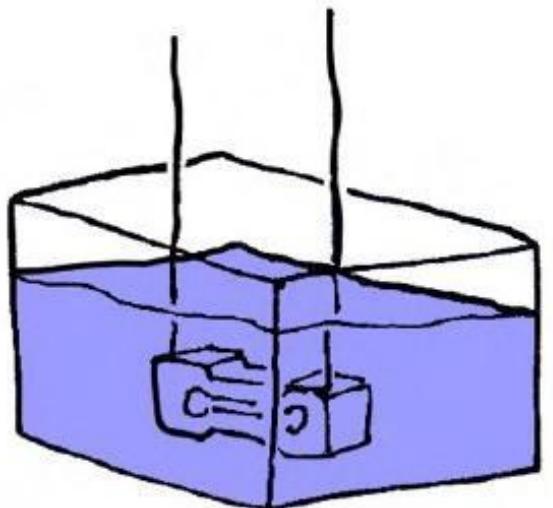
- Gia công thân Loadcell với một hình dạng phức tạp để tối ưu các vị trí biến dạng để dán các điện trở strain gauge
 - ❖ Kiểm soát độ nhám bề mặt các vị trí dán strain gauge trên thân loadcell thông qua đánh bóng bề mặt
 - ❖ Mục đích là tăng cường độ kết dính của strain gauge với thân loadcell.



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

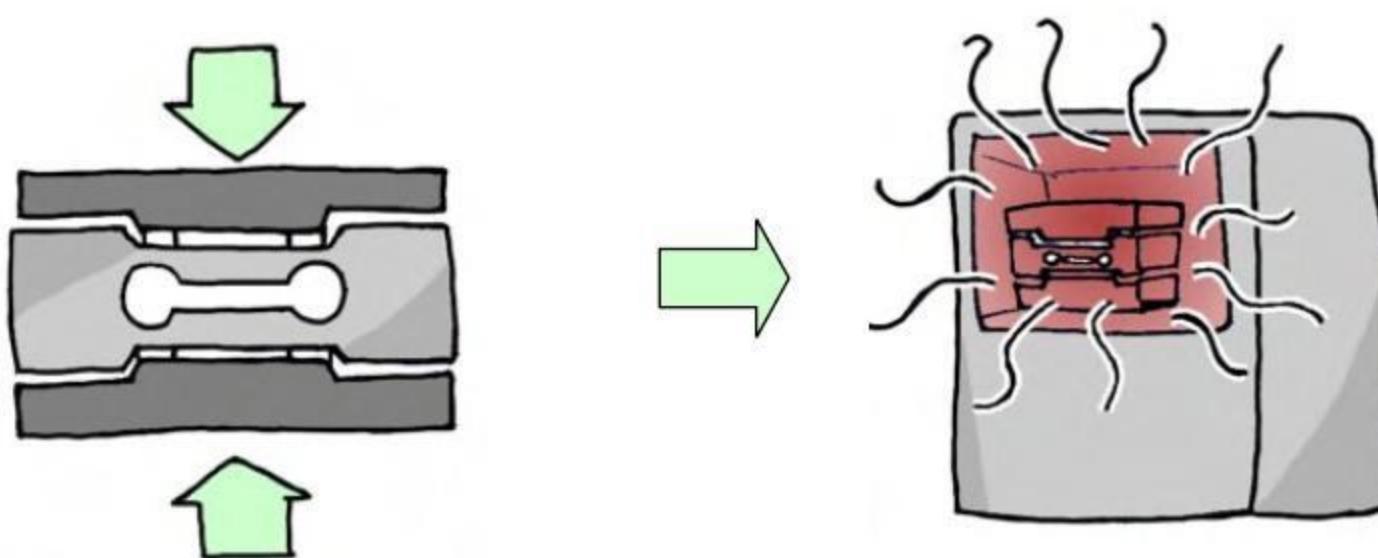
- Nhúng keo và dán các tấm strain gauge lên thân loadcell



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

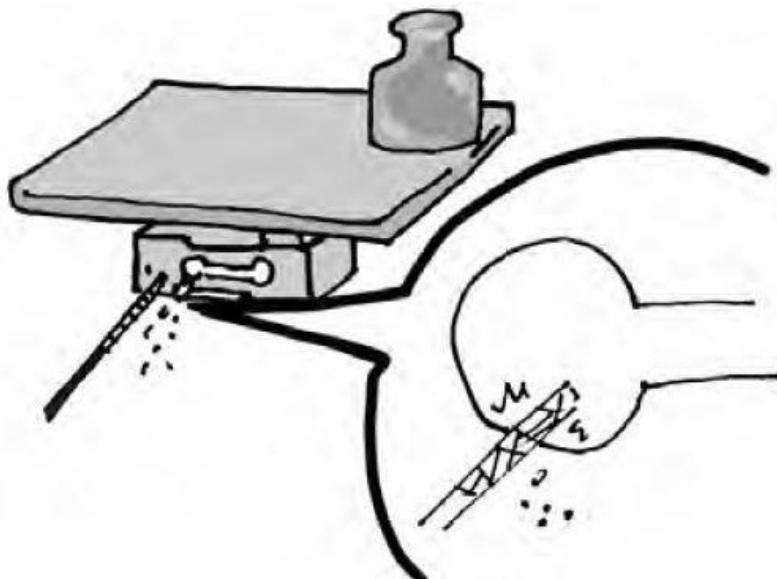
- **Tăng cường sự kết dính giữa tâm strain gauge và thân loadcell:** Một khuôn ép được sử dụng để tạo áp lực giữa các strain gauge với thân Loadcell. Khuôn được đặt trong một nhiệt độ cao để tăng cường tác dụng kết dính của lõi keo dính



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

- **Hiệu chỉnh tải trọng các vị trí khác nhau của loadcell:** Loadcell được gắn vào một khung bàn cân. Thân Loadcell mài giữa, điều chỉnh cho đến khi số hiển thị là giống nhau khi có cùng 1 tải trọng đặt lên bất kì góc bàn cân nào.

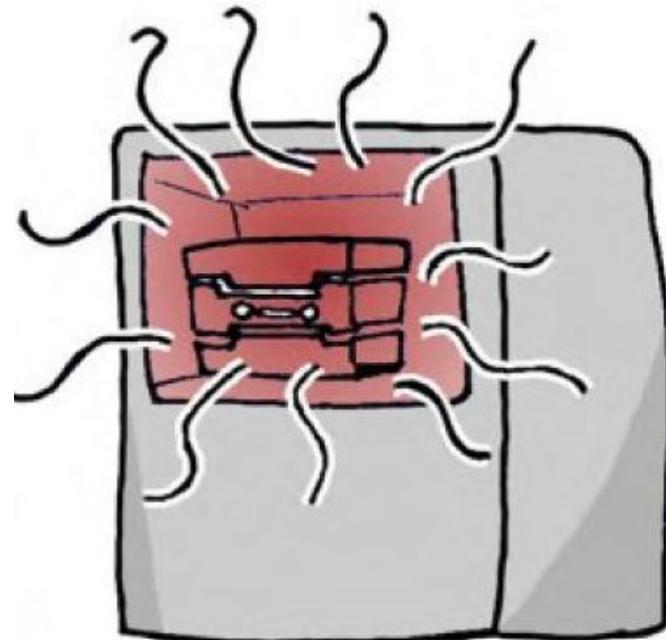


Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

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

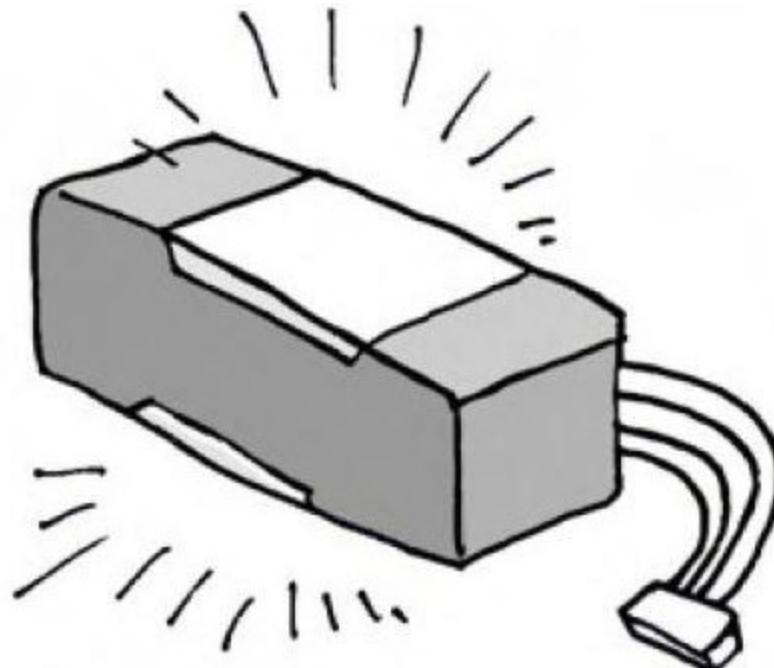
- ❖ Loadcell được đặt trong một buồng kín và nhiệt độ xung quanh được điều chỉnh trong 1 phạm vi nhất định, điện áp tín hiệu ngõ ra của loadcell được đo ở nhiệt độ thấp và nhiệt độ cao
- ❖ Nếu kết quả tín hiệu ngõ ra của loadcell không đạt yêu cầu kỹ thuật, một điện trở bù trừ nhiệt độ sẽ được tích hợp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



Chương 15: Đo Lực

LOADCELL ĐƯỢC SẢN XUẤT NHƯ THẾ NÀO ?

- **Phủ silicon bảo vệ:** Bề mặt dán các strangauge và mạch điện trở của loadcell sẽ được phủ một lớp silicon đặc biệt bảo vệ straingauge, mạch điện trở và hệ thống dây điện từ khỏi tác động của độ ẩm môi trường.



Chương 15: Đo Lực

- Tùy theo cấu tạo loadcell và vị trí cần khảo sát ta có thể đặt tenzo cho hợp lí theo đúng nguyên tắc và có thể bù được nhiệt độ và đạt sai số nhỏ.

Figure 1 Compressive load transducer

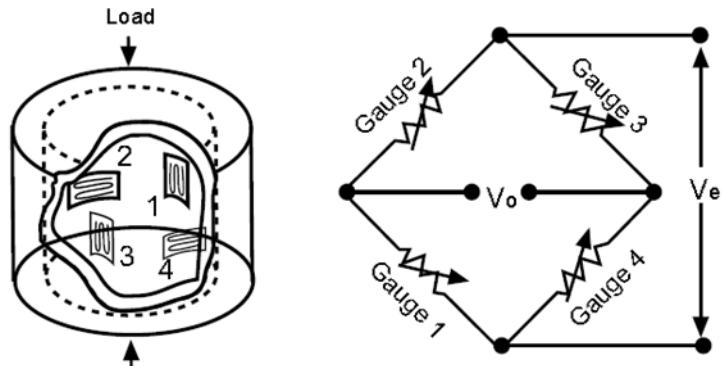
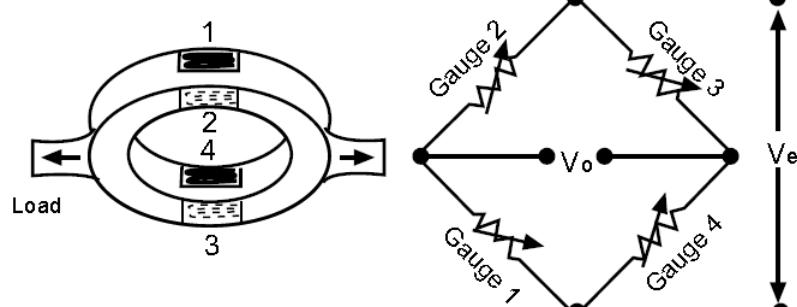


Figure 2 Tensile load transducer



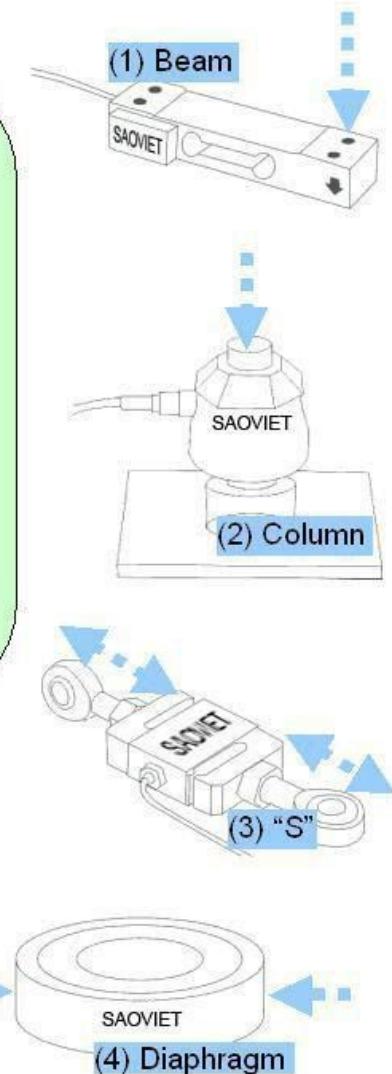
Chương 15: Đo Lực

■ Loadcell bao gồm các loại cơ bản

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

- (1) Loadcell dạng thanh (beam type loadcell)
- (2) Loadcell dạng trụ (Column type loadcell)
- (3) Loadcell dạng chữ "S" ("S" type loadcell)
- (4) Loadcell dạng mỏng (Diaphragm type loadcell)

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



Chương 15: Đo Lực

■ Các hình dạng loadcell

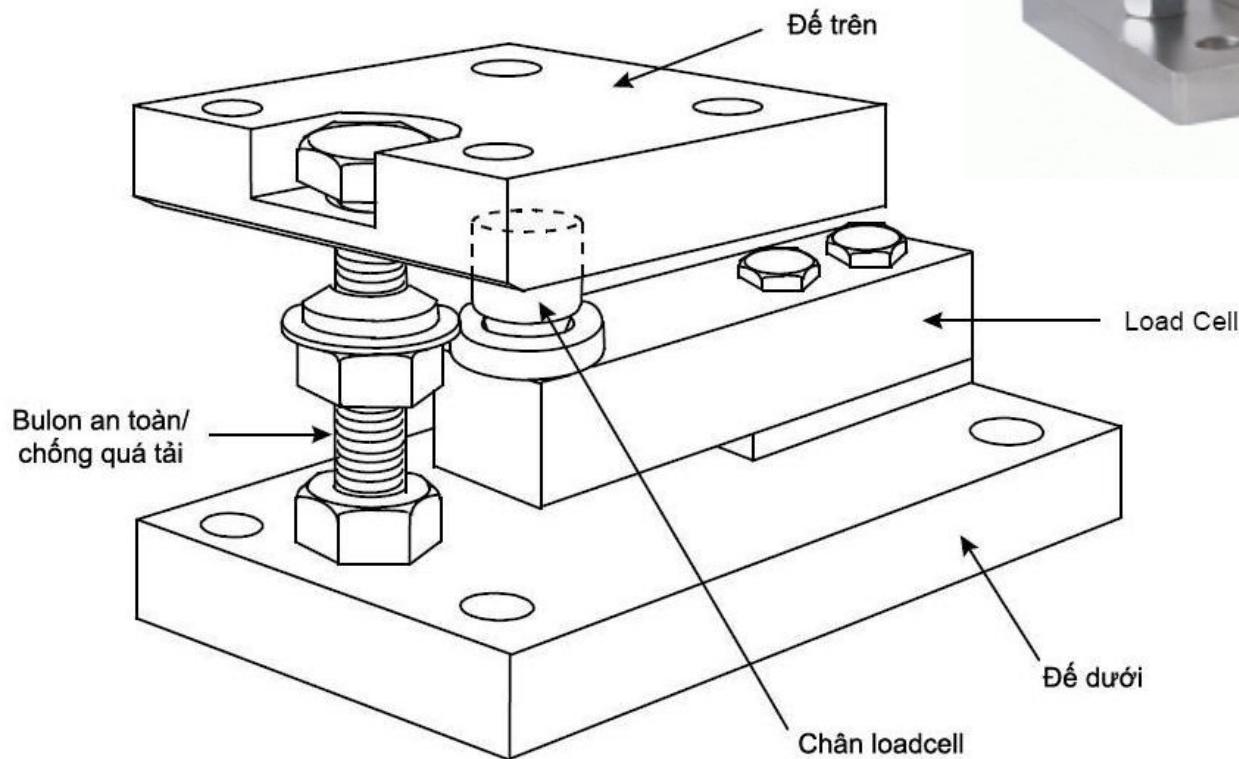


Product Compression Load Cells



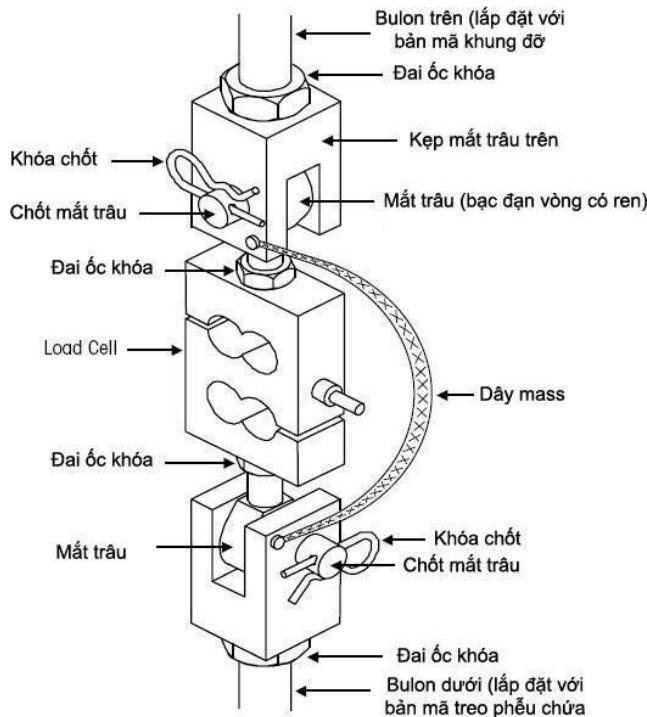
Chương 15: Đo Lực

■ Cách lắp đặt loadcell cân



Chương 15: Đo Lực

■ Cách lắp đặt loadcell cân



Chương 15: Đo Lực

Mạch đo

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

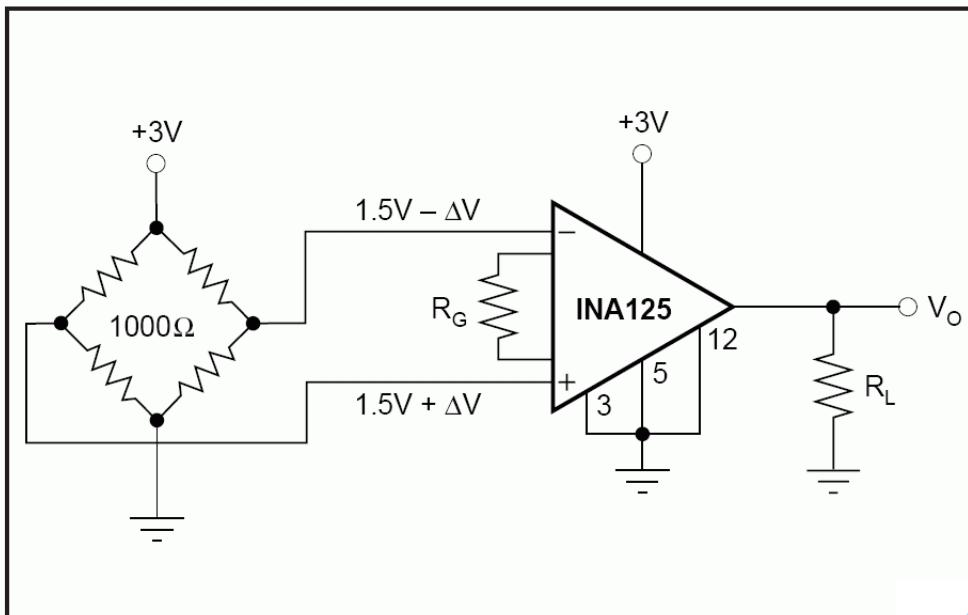
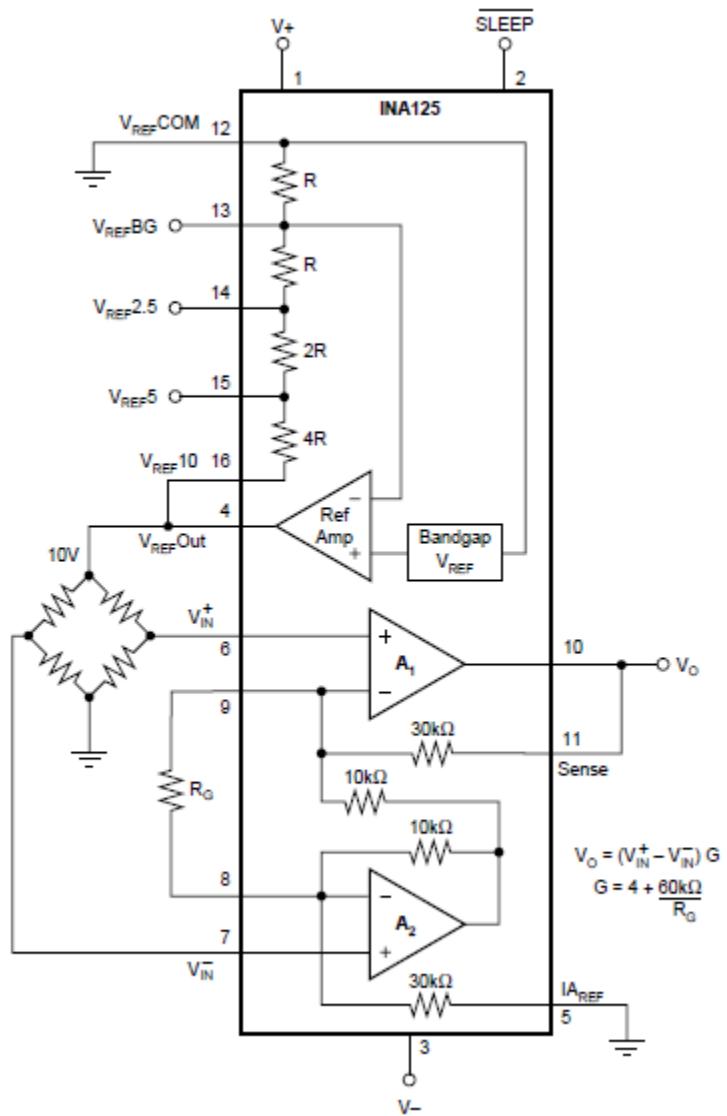
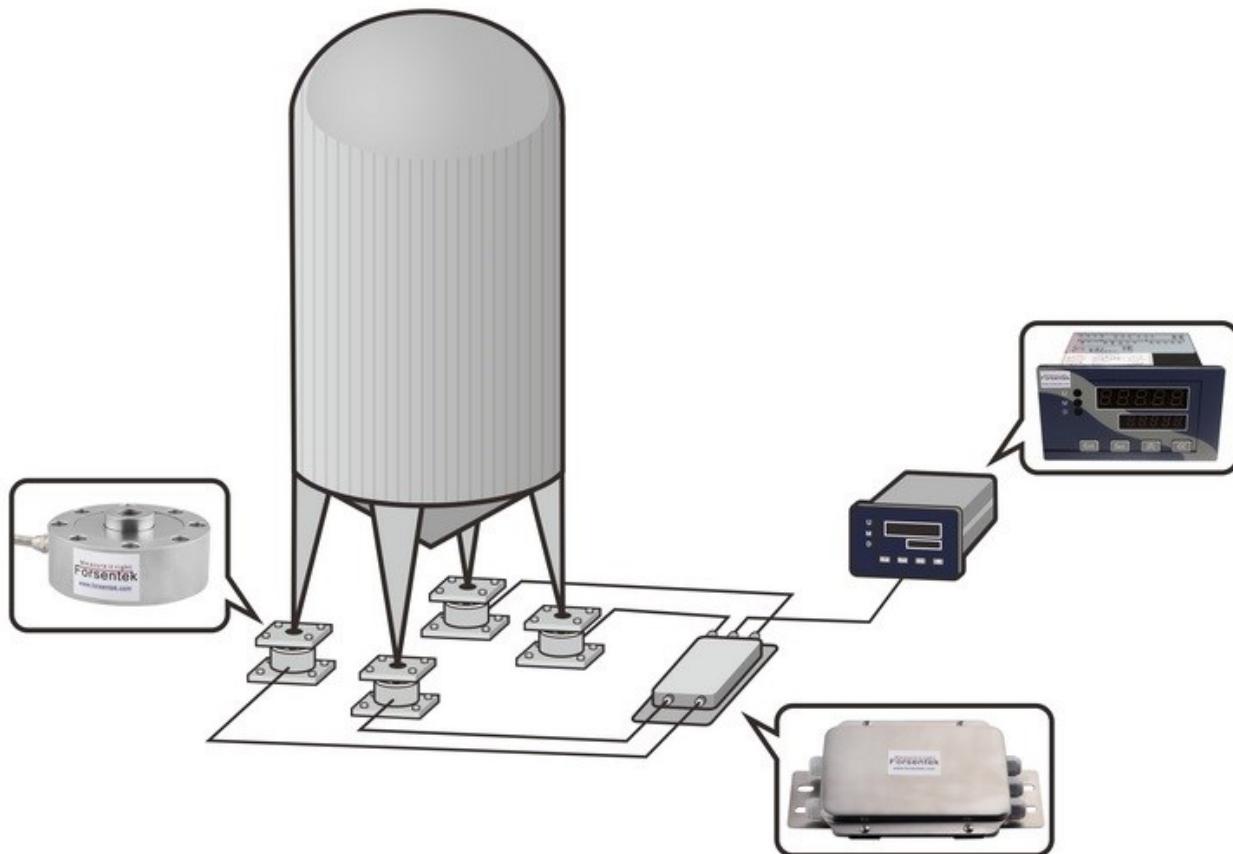


FIGURE 5. Single Supply Bridge Amplifier.



Chương 15: Đo Lực

- Với 1 cân điện tử bạn có thể sử dụng 4 loadcell đặt ở 4 góc của bàn cân, 4 tín hiệu này được đưa vào một bộ cộng điện áp trước khi đưa vào ADC



Chương 15: Đo Lực

- Để đo 0-2kg người ta sử dụng một loadcell có độ nhạy cầu là 1.6mV/V . Biết điện áp cung cấp là 10V . Chọn loại loadcell và vẽ sơ đồ mạch mắc cảm biến
 - ❖ Tính điện áp ra khi có một khối lượng 0.8kg
 - ❖ Hãy chọn mạch chuẩn hóa tín hiệu và tính toán các giá trị điện trở để đưa tín hiệu đo vào ADC có dải điện áp $0-3.3\text{V}$?
 - ❖ Với yêu cầu đo được điện trở có ngưỡng nhạy $< 0.0015\text{kg}$, lựa chọn ADC. Tính khối lượng của vật khi đầu ra $101\ 1010\ 1111$.

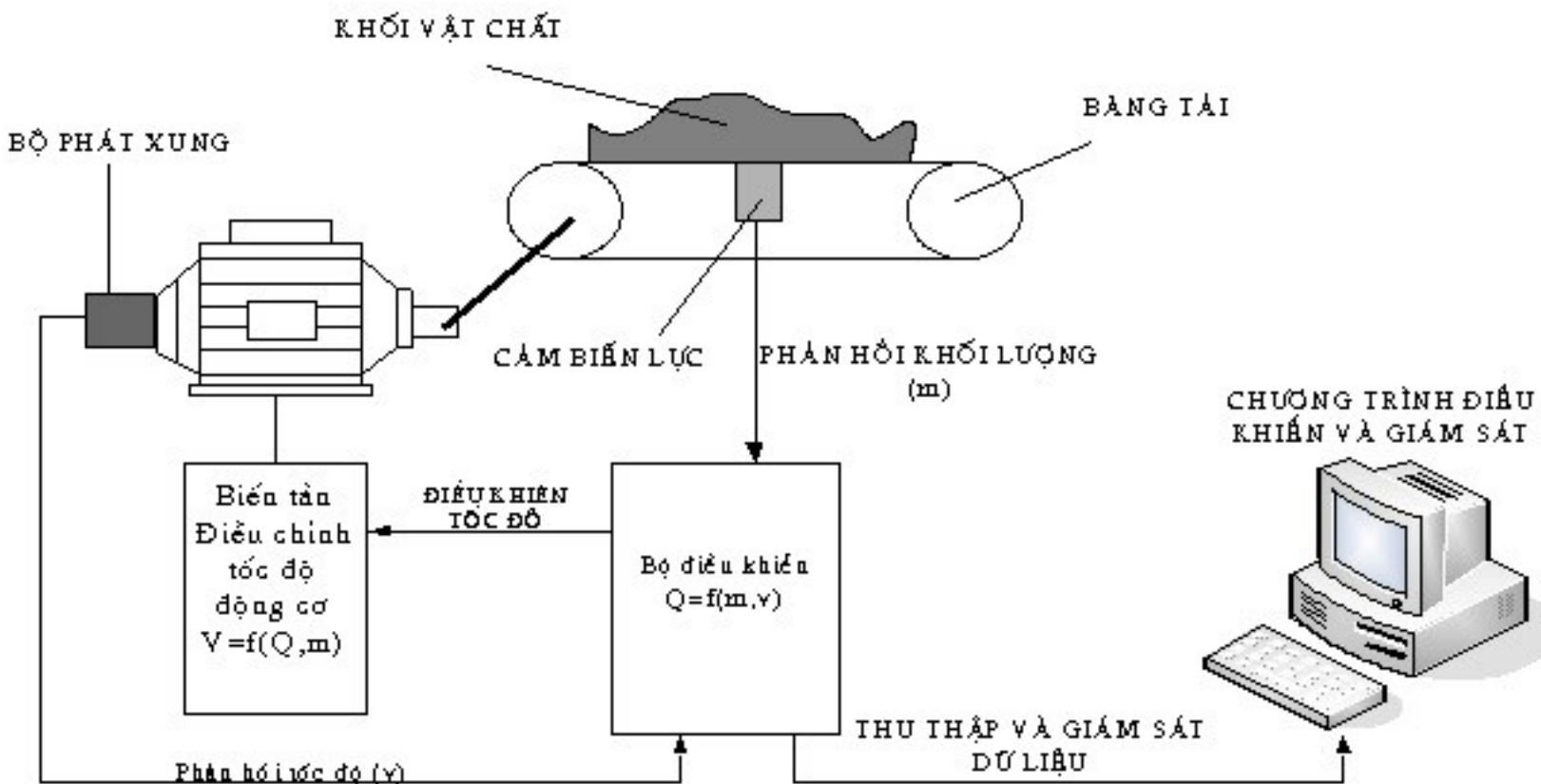
Chương 15: Đo Lực

■ Cân tải động



Chương 15: Đo Lực

Cân băng tải



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

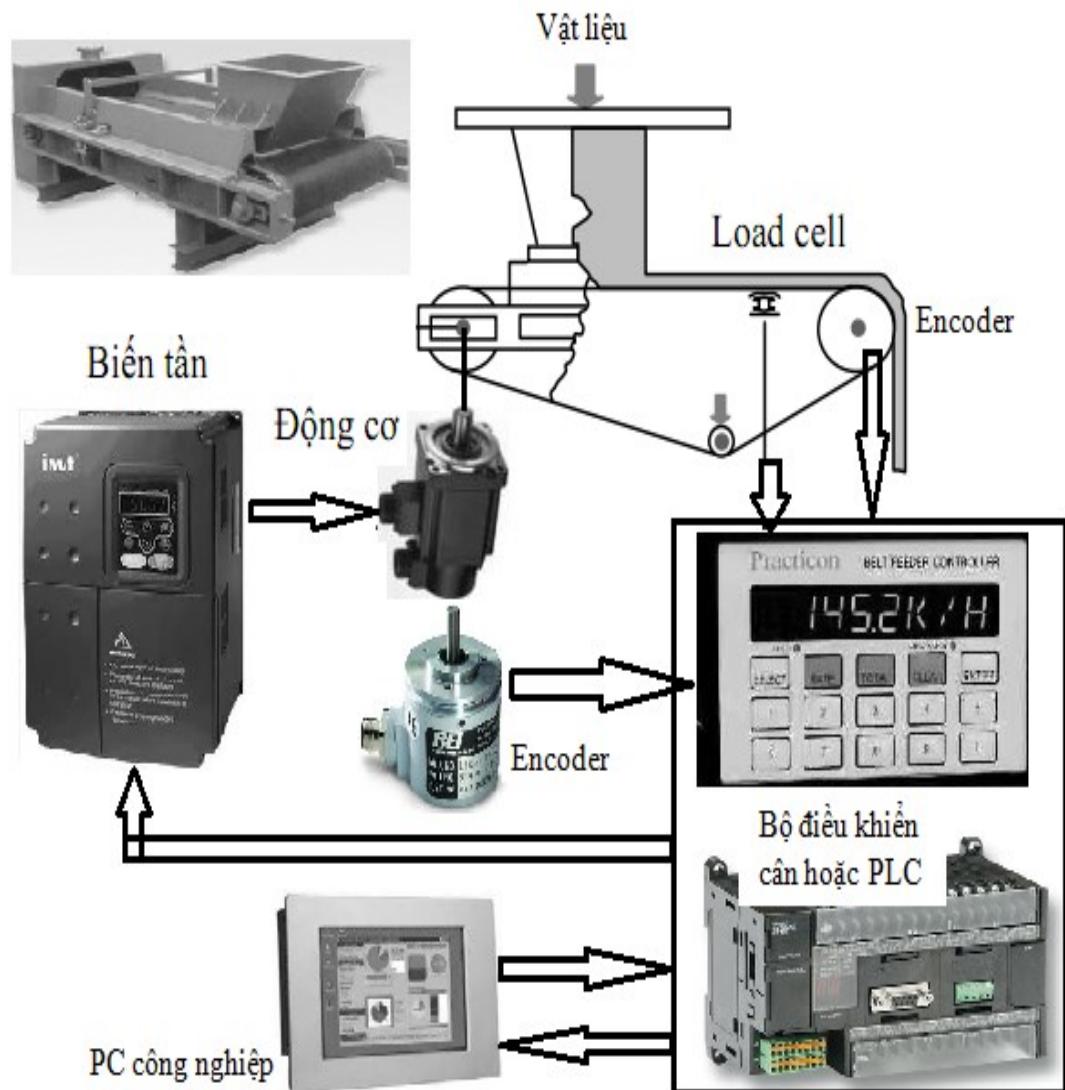
Chương 15: Đo Lực

- Hình bên là một hệ thống cân bằng định lượng, trong đó tổng tích luỹ vật liệu của băng cân sau thời gian t là:

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

Trong đó

- k là một hệ số tỷ lệ,
- v là vận tốc băng cân được xác định từ cảm biến đo tốc độ encoder,
- m khối lượng tức thời từ cảm biến đo khối lượng loadcell,
- t là thời gian hoạt động.



Chương 15: Đo Lực

■ Cân tải động

