

Chương 1: CẢM BIẾN VÀ ỨNG DỤNG

1.1: Giới thiệu chung:

Cảm biến được định nghĩa là một dụng cụ thu năng lượng từ một hệ thống và chuyển thành một dạng năng lượng khác phát đến một hệ thống khác.

Định nghĩa một cách mở rộng cảm biến là một dụng cụ được tác động bởi một năng lượng vào từ một hoặc nhiều môi trường và lần lượt phát ra tín hiệu tương ứng đến một hoặc nhiều hệ thống phát khác. Nó cung cấp 1 tín hiệu hữu dụng đáp ứng với một đại lượng đo lường cụ thể nào đó, ví dụ như đại lượng vật lý, cơ học, hoặc một giá trị thích hợp nào đó.

Năng lượng phát ra từ những hệ thống này có thể là điện, cơ hoặc âm.

Đặc tính điện của ngõ ra cảm biến tuỳ thuộc vào nguyên lý cơ bản thiết kế nó. Tín hiệu ra có thể là tương tự, số hoặc tần số điều chế.

Có thể phân thành hai loại cảm biến điện và cảm biến cơ.

Cảm biến điện là một dụng cụ cảm đại lượng vật lý, cơ hoặc quang đo được chuyển thành tín hiệu điện dưới dạng điện áp / dòng điện tỷ lệ với giá trị đo ngõ vào. Một cảm biến điện phải có các thông số sau:

- 1- Tuyến tính: quan hệ giữa đại lượng vật lý và tín hiệu điện ngõ ra phải tuyến tính.
- 2- Độ nhạy: được định nghĩa là sự biến thiên tín hiệu điện trên biến thiên 1 đơn vị đại lượng vật lý (ví dụ: V/^o C đối với cảm biến nhiệt). Độ nhạy cao luôn là yêu cầu đối với cảm biến.
- 3- Dải động: tầm hoạt động của cảm biến phải rộng để cho phép nó được sử dụng trong các điều kiện đo giá trị tầm rộng.
- 4- Khả năng lập lại: quan hệ ngõ vào/ra của cảm biến phải được xác định cố định trong thời gian dài. Điều này đảm bảo khả năng hoạt động tin cậy của cảm biến.
- 5- Kích thước vật lý: cảm biến phải có trọng lượng và thể tích càng nhỏ càng tốt không gây trở ngại về kích thước trong hệ thống.

Sự tiện lợi của cảm biến điện được tóm tắt như sau:

- 1- Dễ dàng khuếch đại/ suy giảm tín hiệu điện.
- 2- Bỏ qua ảnh hưởng của quán tính khối lượng.
- 3- Bỏ qua ảnh hưởng của ma sát.
- 4- Ngõ ra có thể được hiển thị và ghi lại từ xa so với vị trí đặt cảm biến.
- 5- Ngõ ra có thể được hiệu chỉnh đáp ứng yêu cầu hiển thị hoặc điều khiển. Biên độ tín hiệu có thể chuyển dưới dạng điện áp / dòng điện.
- 6- Tín hiệu có thể được xử lý hoặc trộn để tạo được bất kỳ sự kết hợp tín hiệu ngõ ra của các cảm biến giống nhau hoặc các tín hiệu điều khiển.
- 7- Hệ thống điện/ điện tử được kiểm soát bởi mức năng lượng rất bé.
- 8- Tín hiệu điện ngõ ra có thể dễ dàng sử dụng, phát hoặc truyền đi cho mục đích đo lường điều khiển.

Cảm biến điện có thể phân thành 2 loại chính là cảm biến chủ động và cảm biến thụ động.

❖ Cảm biến chủ động phát ra tín hiệu điện trực tiếp đại lượng vật lý và không cần sử dụng nguồn ngoài khi hoạt động. Cảm biến chủ động là loại tự phát tín hiệu, nghĩa là nó làm việc theo nguyên lý chuyển đổi năng lượng và phát tín hiệu ngõ ra tương ứng.

Ví dụ tiêu biểu về cảm biến chủ động là cảm biến nhiệt cặp nhiệt điện hay cảm biến áp điện, phát ra sức điện động ở ngõ ra khi có tác động thay đổi về nhiệt độ hoặc lực.

❖ Cảm biến thụ động hoạt động theo các nguyên lý kiểm soát năng lượng, cần phải sử dụng nguồn ngoài. Nó phụ thuộc vào sự thay đổi các thông số điện R,L,C.

- Các cảm biến thụ động tiêu biểu như cảm biến sức căng thay đổi điện trở theo áp lực hay thermistor thay đổi điện trở theo nhiệt độ.

Cảm biến điện được sử dụng hầu hết để đo các đại lượng phi điện. Với mục đích này phải sử dụng phần tử phát hiện hay cảm ứng, chuyển đổi đại lượng vật lý sang độ dịch chuyển /biến thiên. Độ dịch chuyển /biến thiên tác động vào một cảm biến điện hoạt động như là cảm biến thứ cấp và cho tín hiệu điện ở ngõ ra. Đại lượng điện ngõ ra có thể là dòng điện, điện áp, tần số dựa trên các thông số thay đổi R, L C.

Một cách tổng quát, cảm biến chuyển 1 tín hiệu phi điện ra thành 1 tín hiệu điện có thể xem như gồm 2 phần, phần cảm và phần biến.

❖ Phần cảm/ phát hiện là phần đáp ứng với một hiện tượng vật lý hoặc tạo một thay đổi một hiện tượng vật lý. Đáp ứng của phần cảm phải càng giống với hiện tượng vật lý.

❖ Phần biến chuyển đổi đáp ứng của phần cảm thành tín hiệu điện ngõ ra, hoạt động như cảm biến thứ cấp.

Cảm biến có thể được phân loại thành nhiều loại khác nhau tuỳ theo nguyên lý sử dụng phần tử cảm biến để chuyển đổi hiện tượng vật lý sang tín hiệu điện, hay theo đặc tính ứng dụng của cảm biến.

* Phân loại theo phần tử cảm biến

- 1- Điện trở
- 2- Điện cảm
- 3- Điện dung
- 4- Điện từ
- 5- Áp điện
- 6- Phát quang
- 7- Cảm quang
- 8- Phân áp
- 9- Nhiệt điện
- 10- Phát tần số

* Phân loại theo đặc tính & ứng dụng:

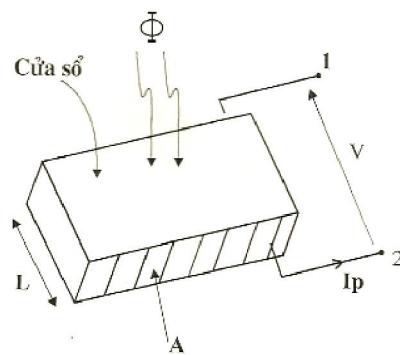
- 1- Cảm biến quang
- 2- Cảm biến nhiệt
- 3- Cảm biến vị trí và dịch chuyển
- 4- Cảm biến biến dạng
- 5- Cảm biến vận tốc
- 6- Cảm biến lực
- 7- Cảm biến áp suất
- 8- Cảm biến mực chất lỏng

1.2: Cảm biến quang:

Trong phần cảm biến quang, ta sẽ khảo sát cấu tạo, hoạt động, đặc tính các loại cảm biến thông dụng như quang trở, photo diode, photo transistor, đèn nhân quang điện và các ứng dụng tiêu biểu. Các cảm biến này hoạt động theo các hiệu ứng quang dẫn và hiệu ứng rào quang thế.

1.2.1 Quang trở:

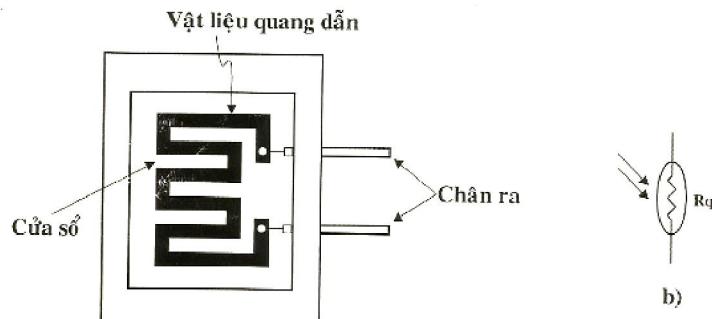
- Cấu tạo, ký hiệu:



Hình 1.1 Nguyên lý của cảm biến quang dẫn

Quang trở làm việc theo hiệu ứng quang dẫn. Trên một thanh bán dẫn nhiều tạp chất n tiết điện A, chiều dày L, có một cửa sổ để ánh sáng có thể chiếu xuyên qua.

Bình thường khi che ánh sáng hay đặt quang trở trong bóng tối, điện trở quang trở ở hai đầu 1-2 rất cao , khi có ánh sáng chiếu vào, sẽ cung cấp năng lượng để tạo điện tử tự do với mật độ tăng tỷ lệ cường độ ánh sáng chiếu vào cửa sổ . Kết quả là nếu cấp một điện thế mạch ngoài ở hai đầu 1-2,sẽ tạo dòng điện qua quang trở và điện trở của quang trở cũng sẽ giảm tỷ lệ theo cường độ ánh sáng chiếu vào cửa sổ.



Hình 1.2: a) – Cấu tạo cơ bản quang trở

b) – Ký hiệu quang trở

- Hình 1.2 a minh họa cấu tạo cơ bản một quang trở
- Hình 1.2 b là ký hiệu của quang trở. Hai mũi tên biểu diễn ánh sáng chiếu vào cửa sổ.
- Các vật liệu sử dụng làm quang trở:
 - + Vật liệu đa tinh thể : CdS, CdSe, CdTe
PbS, PbSe, PbTe
 - + Vật liệu đơn tinh thể: Ge, Si, thêm tạp chất Au, Cu, Sb, Zn
SbIn, AsIn, PIn, CdHgTe.

Mỗi loại vật liệu sẽ đáp ứng tốt nhất với tần bước sóng ánh sáng thích hợp.

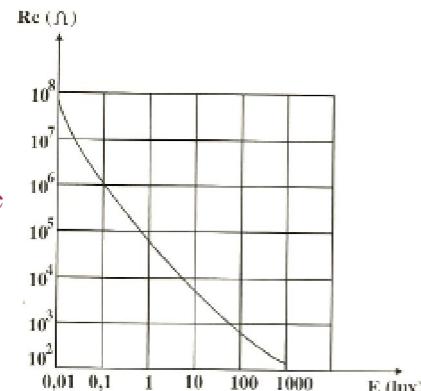
• **Đặc tính quang trở:**

Ta gọi R_{C0} là điện trở tối , nghĩa là điện trở ứng với cửa sổ bị che chắn hoàn toàn không cho ánh sáng chiếu vào

R_{C0} khoảng 10^4 - $10^9 \Omega$ @ 25°C với loại PbS, CdS,CdSe

R_{C0} khoảng $10 - 10^3 \Omega$ @ 25°C với loại SbIn, SbAs,CdHgTe

R_C là điện trở khi có ánh sáng chiếu vào cửa sổ. R_C giảm rất nhanh theo chiều tăng của cường độ ánh sáng như đường biểu diễn trên hình 1.3.



Hình 1.3: Biến thiên điện trở theo cường độ ánh sáng.

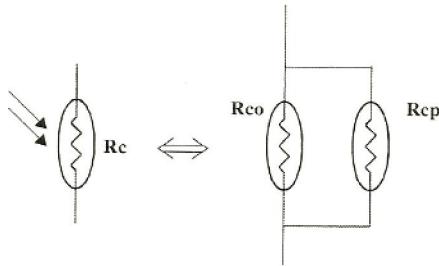
- Có thể biểu diễn mạch tương đương của quang trở gồm $R_{C0} // R_{Cp}$ trong đó R_{Cp} là điện trở bị ảnh hưởng bởi ánh sáng tối theo hiệu ứng quang điện:

$$R_{Cp} = a\Phi^{-\gamma} \quad (1.1)$$

a: phụ thuộc vào vật liệu, nhiệt độ và phổ ánh sáng tới.

Φ : quang năng ánh sáng tới (quang thông)(W)

$\gamma = 0,5 \div 1$: hệ số truyền đạt



Hình 1.4: Mạch tương đương quang trở

$$R_C = \frac{R_{C0} \cdot R_{Cp}}{R_{C0} + R_{Cp}} = \frac{R_{C0} \cdot a\Phi^{-\gamma}}{R_{C0} + a\Phi^{-\gamma}} \quad (1.2)$$

Trong thực tế: thường $R_{Cp} \ll R_{C0}$, ta có:

$$R_C \approx a\Phi^{-\gamma} \quad (1.3)$$

*Nhận xét: Biến thiên điện trở theo cường độ ánh sáng không tuyến tính, có thể tuyến tính hóa từng phần bằng cách mắc thêm một điện trở song song với quang trở (xem phần mạch tạo và xử lý tín hiệu)

Gía trị điện trở quang trở còn phụ thuộc vào nhiệt độ và điện áp áp lên nó.

- Độ nhạy: Theo hình 1.4, điện dẫn của quang trở:

$$G_C = G_{C0} + G_{Cp} \quad (1.4)$$

Với $G_{C0}=1/R_{C0}$ và $G_{Cp}=1/R_{Cp}=(1/a)\cdot\Phi^\gamma$

Gọi V là điện áp trên R_C và I là dòng qua R_C :

$$I = G_C \cdot V = G_{C0} \cdot V + G_{Cp} \cdot V = I_0 + I_p \quad (1.5)$$

Với $G_{C0} \cdot V = I_0$: dòng qua quang trở tối

Và $G_{Cp} = I_p$: dòng tạo ra do hiệu ứng quang điện

Thông thường: $I_0 < I_{Cp}$ nên ;

$$I \approx I_p = \frac{V}{a} \Phi^\gamma \quad (1.6)$$

Trong trường hợp đặc biệt $\gamma = 1$, dòng điện I xem như tỷ lệ tuyến tính với Φ .

Chia (1.6) cho Φ :

$$\frac{I}{\Phi} = \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1} \quad (1.7)$$

Độ nhạy quang trở:

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1} \quad (1.8)$$

Nhận xét:

- Hệ số truyền đạt tĩnh γ tỷ lệ với độ nhạy.
- Quang trở tỷ lệ phi tuyến với quang thông, trường hợp đặc biệt $\gamma = 1$ quan hệ gần tuyến tính, chỉ áp dụng đối với tín hiệu nhỏ, nghĩa là quang thông biến thiên bé.
- Quang trở tỷ lệ với áp V đặt trên nó, tuy nhiên nếu tăng áp dẫn đến mất mát công suất và nhiệt độ tăng gây giảm độ nhạy quang trở.

Đáp ứng thời gian và tần số:

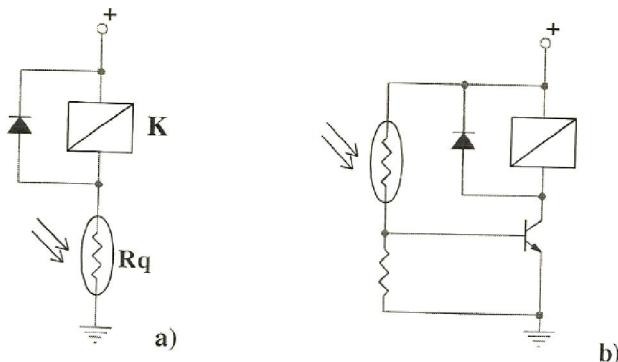
- Thời gian đáp ứng và tần số đáp ứng phụ thuộc vào vật liệu là chủ yếu,
- Thời gian đáp ứng là thời gian thay đổi giá trị điện trở khi cường độ ánh sáng vào biến thiên.
- Thời gian đáp ứng 0,1 μ s đối với loại SbIn, AsIn, CdHgTe, và
 $0,1 \rightarrow 100$ ms đối với loại PbS, PbSe, CdSe.

Tần số đáp ứng là tần số thay đổi độ nhạy quang trở theo tần số biến thiên cường độ ánh sáng. $F_c = 10^2 - 10^5$ Hz.

Ứng dụng tiêu biểu:

- Do đặc tính phi tuyến của quang trở theo cường độ ánh sáng nên người ta thường chỉ sử dụng quang trở trong các ứng dụng về nhận dạng một mức cường độ ánh sáng .
- Ví dụ: Đo mức cường độ ánh sáng, điều khiển theo mức cường độ ánh sáng.

Hình 1.5 minh họa các dạng mạch sử dụng quang trở đóng mở/ rờ le theo mức cường độ ánh sáng.



Hình 1.5: Sử dụng quang trở đóng/ mở rờ le theo cường độ ánh sáng.

Khảo sát quang trở PDV-P9007(xem data sheet ở trang 6).

Các thông số quan trọng:

- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| - Điện áp chịu đựng max: | $V_{pk}=150V$ |
| - Công suất tiêu tán max: | $P_d=125mW$ |
| - Điện trở tối min: | $R_D=1M\Omega$ |
| - Điện trở sáng | $R_l=10-100K\Omega$ |
| - Độ nhạy: | $S=0.8\Omega/Lux$ |
| - Đáp ứng bước sóng ánh sáng: | $\lambda=400-700nm$ |
| - Đáp ứng bước sóng ánh sáng đỉnh: | $\lambda_p=570nm$ |
| - Thời gian lên: | $t_r=60ms$ |
| - Thời gian xuống: | $t_f=25ms$ |

Trong thực tế nhà sản xuất thường cho đặc tuyến của quang trở theo độ rọi E(Lux) dưới dạng $\text{Log}R(K\Omega)$ theo $\text{Log}E(\text{Lux})$ để đáp ứng R theo E tuyến tính.

Độ nhạy S được tính bằng:

$$S = \frac{\text{Log}R100 - \text{Log}R10}{\text{Log}E100 - \text{Log}E10} = \text{Log}\left(\frac{R100}{R10}\right) \quad (1.8a)$$

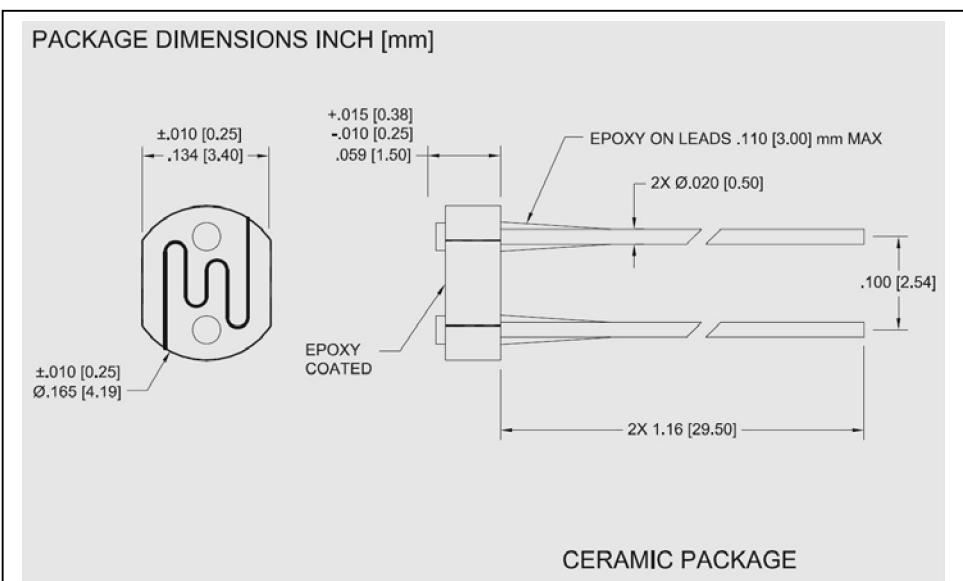
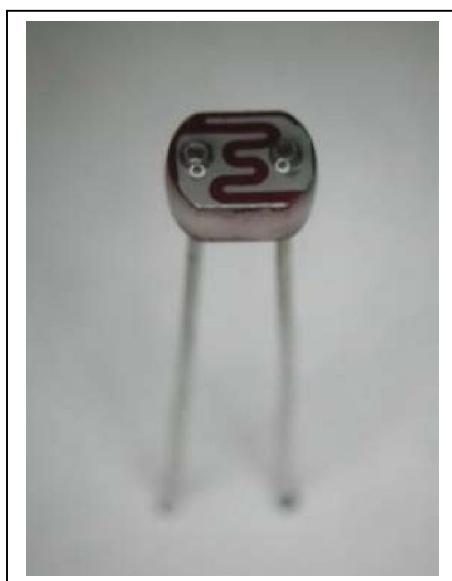
Với R100 và R10 lần lượt là giá trị R ở E=100Lux và E=10Lux

E100 và E10 lần lượt là độ rọi E=100Lux và E=10Lux.

Lưu ý S có giá trị âm!

Ví dụ 1.1: Cho quang trở PDV-P9007 có điện trở sáng@E=10Lux là 10K.

- a) Tìm giá trị R @E=20Lux
- b) Thiết kế mạch tự động điều khiển đóng rờ le sáng đèn khi ánh sáng yếu hơn 20Lux.



FEATURES

- Visible light response
- Sintered construction
- Low cost

DESCRIPTION

The **PDV-P9007** are (CdS), Photoconductive photocells designed to sense light from 400 to 700 nm. These light dependent resistors are available in a wide range of resistance values. They're packaged in a two leaded plastic-coated ceramic header.

APPLICATIONS

- Camera exposure
- Shutter controls
- Night light Controls



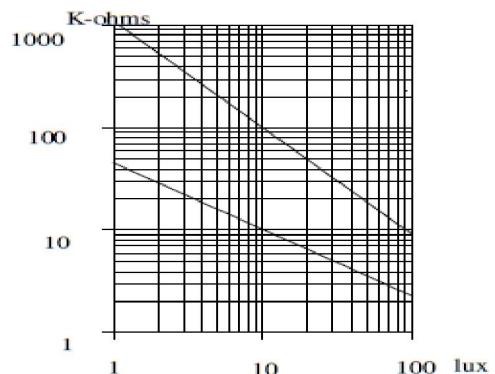
ABSOLUTE MAXIMUM RATING

(TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNITS
V _{pk}	Applied Voltage		150	V
P _{d Δpo/Δt}	Continuous Power Dissipation		125	mW/°C
T _O	Operating and Storage Temperature	-25	+75	°C
T _S	Soldering Temperature*		+260	°C

* 0.200 inch from base for 3 seconds with heat sink.

CELL RESISTANCE VS.



ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS RATING

(TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED

SYMBOL	CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
R _D	Dark Resistance	After 10 sec. @ 10 Lux @ 2856 °K	1			MΩ
R _I	Illuminated Resistance	10 Lux @ 2856 °K	10		100	KΩ
S	Sensitivity	LOG(R100)-LOG(R10)** LOG(E100)-LOG(E10)***		0.8		Ω/Lux
λ _{range}	Spectral Application Range	Flooded	400		700	nm
λ _{peak}	Spectral Application Range	Flooded		570		nm
t _r	Rise Time	10 Lux @ 2856 °K		60		ms
t _f	Fall Time	After 10 Lux @ 2856 °K		25		ms

**R100, R10: cell resistances at 100 Lux and 10 Lux at 2856 °K respectively .

***E100, E10: luminances at 100 Lux and 10 Lux 2856 °K respectively.

Giải:

a) Theo quan hệ tuyến tính theo hàm log như (1.8a), ta có:

$$S = \frac{\log R_{20} - \log R_{10}}{\log E_{20} - \log E_{10}} = \frac{\log(R_{20}/R_{10})}{\log 20 - 1}$$

Suy ra: $R(E = 20\text{lux}) = R_{10} \cdot 10^{S \cdot (\log 20 - 1)} = 10 \cdot 10^{-0.8 \times 0.301} = 5.74K$

b) Mạch điều khiển đóng rờ le theo ánh sáng như hình 1.5a.

Khi có ánh sáng mạnh giá trị R giảm thấp làm $V_{BE} < V_\gamma$ nên Q off, rờ le hở.

Khi ánh sáng yếu R tăng làm V_{BE} tăng đến mức Q dẫn bão hòa, rờ le K có dòng qua làm đóng tiếp điểm.

Tính phân cực Q bão hòa khi $E \leq 20\text{Lux}, R \geq 5.74K$.

Chọn rờ le K OMRON G2R- có $V_K = 12V, R_K = 278\Omega$, $I_{Krate} = 43.2\text{mA}, I$ tiếp điểm = 10A/220VAC (xem data sheet)

Chọn Q=2SC669 có $\beta_{min} = h_{FEmin} = 60, I_{Cmax} = 1.5A$ (xem data sheet).

Khi Q bão hòa:

$$I_K = I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_K} = \frac{12 - 0.2}{278} = 42.4mA \approx I_{Krate} = 43.2mA$$

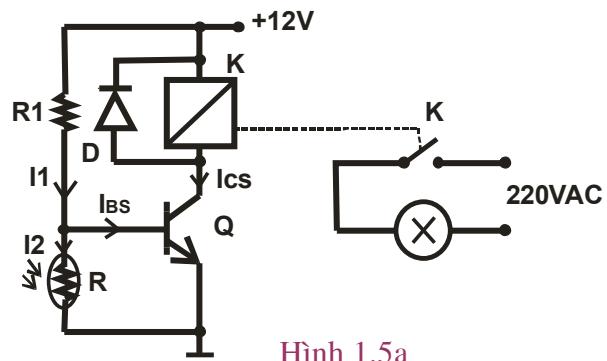
$$I_{BS} \geq I_{CS} / \beta = 42.4 / 60 = 0.71mA$$

Chọn $I_{BS} = 0.8mA$

$$I_2 = V_{BES} / R = 0.7 / 5.74K = 0.12mA$$

$$R_1 = (V_{CC} - V_{BES}) / I_1 = (V_{CC} - V_{BES}) / (I_2 + I_{BS}) = (12 - 0.7) / (0.12 + 0.8) = 12.28K$$

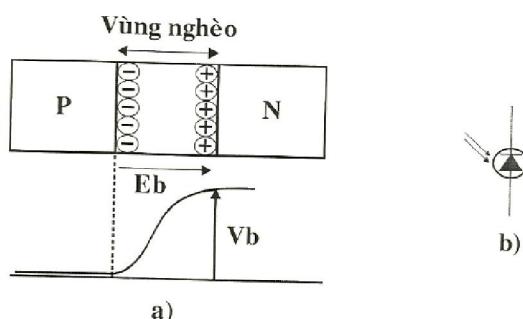
Nên chọn R_1 gồm biến trở 10K nối tiếp với R6K8 để cân chỉnh thích hợp.



Hình 1.5a

1.2.2: Photo diode:

- *Cấu tạo, ký hiệu:*



Hình 1.6 a) Rào thế tiếp xúc PN

b) Ký hiệu photo diode

Khi tiếp xúc PN chưa có phân cực ngoài, xuất hiện miền nghèo tại vùng tiếp xúc và điện trường Eb sinh ra rào thế Vb, dòng điện qua tiếp xúc PN gồm:

- Dòng điện thuận do các hạt tải đa chuyển động từ P → N (điện tử từ bán dẫn N và lỗ trống từ bán dẫn P) xuất hiện khi có nguồn năng lượng ngoài hoặc điện áp ngoài kích thích thẳng được rào thế Vb.
- Dòng điện nghịch do các hạt tải thiểu chuyển động từ N sang P (điện tử từ bán dẫn P và lỗ trống từ bán dẫn N) xuất hiện do điện trường Eb
- Nếu áp vào một điện áp phân cực nghịch càng làm tăng Eb và Vb và dòng nghịch càng tăng nếu hạt tải sinh ra nhiều. Đây là nguyên lý làm việc của photo diode.

- Khi có ánh sáng chiếu vào vùng tiếp xúc photo diode sẽ sinh ra các hạt tải tự do là điện tử và lỗ trống.Nếu phân cực nghịch, các hạt tải này sẽ chuyển động tạo dòng điện nghịch qua diode tăng tỷ lệ theo cường độ ánh sáng chiếu vào cửa sổ .

Gọi V_d và I lần lượt là điện áp và dòng điện trên diode:

$$I = I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{KT}\right] - I_0 \quad (1.9)$$

Do $V_d \ll KT/q = 26mV @ 300^{\circ}K$

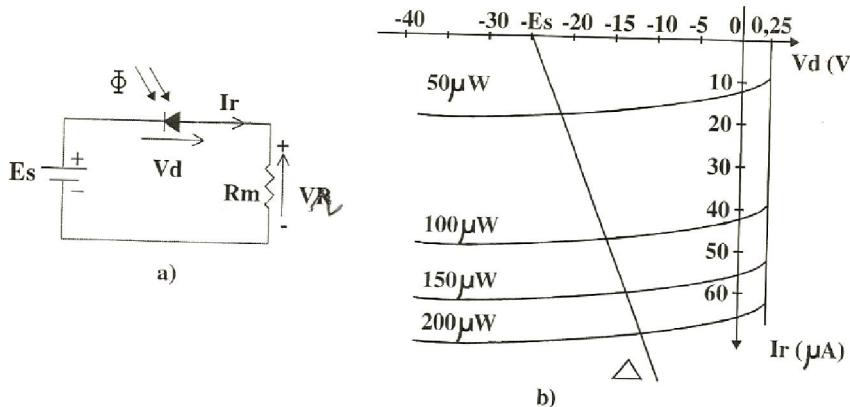
Ta có thể xem dòng nghịch qua diode

$$I_r = I_0 \quad (1.10)$$

- **Đặc tính:**

1- Mode quang dẫn:

- Hình 1.7 a là mạch phân cực photo diode bởi nguồn phân cực Es và trở tải R_m
- Hình 1.7 b là đặc tuyến tiêu biểu của photo diode.



- Do $V_d < 0$ nên dòng nghịch qua diode được viết :

$$I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{KT}\right] + I_0 + I_p \quad (1.11)$$

- I_p là dòng điện hiệu ứng quang điện sinh ra:

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{h.c} \Phi_0 \cdot \exp(-\alpha X) \quad (1.12)$$

q :điện tích = $1,6 \times 10^{-19} C$

η :hệ số giải phóng hạt tải

R : hệ số phản xạ hạt tải

λ :bước sóng ánh sáng tối (m)

h : hằng số plank = $6,6256 \times 10^{-34}$ J.s

c : vận tốc ánh sáng = 3×10^8 m/s

Φ_0 : thông lượng ánh sáng (w)

α : hệ số tiếp thu ánh sáng

X : bề dày phiến bán dẫn ánh sáng chiếu qua

Trường hợp V_d khá lớn, số hạng hàm mũ có thể bỏ qua :

$$I_r = I_0 + I_p \quad (1.13)$$

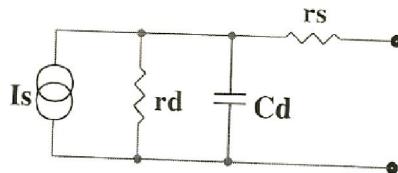
Và trong trường hợp cường độ ánh sáng đủ mạnh:

$$I_r = I_p \quad (1.14)$$

Từ hình 1.7a, ta có phương trình đường tải Δ :

$$I_r = \frac{E_s}{R_m} + \frac{v_d}{R_m} \quad (1.15)$$

- Lưu ý: $V_r = I_r \times R_m$ tỷ lệ tuyến tính với Φ theo I_r .
- Hình 1.8 là mạch tương đương photo diode



Hình 1.8 Mạch tương đương photo diode

$I_s = I_o + I_p$: nguồn dòng

r_d : điện trở động tiếp xúc phân cực nghịch $\approx 10^{10}$

r_s : điện trở Ω tiếp xúc cở vài chục Ω , $r_s \ll R_m$ có thể bỏ qua

C_d : điện dung tiếp xúc, C_d cở hàng pF và giảm khi tăng v_d .

2- Mode rào quang thế:

Trong mode này photo diode không cần cấp nguồn ngoài và nó đóng vai trò mạch phát áp trong trường hợp hở mạch và phát dòng trong trường hợp ngắn mạch.

+ Hở mạch V_{co} : áp trên tiếp xúc là Δv_b

$I_r = 0$

$$-I_0 \exp\left[\frac{q\Delta v_b}{KT}\right] + I_0 + I_p = 0 \quad (1.16)$$

$$\Delta v_b = \frac{KT}{q} \ln\left[1 + \frac{I_p}{I_0}\right] \quad (1.17)$$

Với: $I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{h.c} \Phi_0 \cdot \exp(-\alpha X)$

Do hở mạch nên $\Delta v_b = V_{co}$, do đó:

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln\left[1 + \frac{I_p}{I_0}\right] \quad (1.18)$$

Trường hợp cường độ ánh sáng thật yếu:

$$I_p \ll I_0 \rightarrow V_{co} = \frac{KT}{q} \times \frac{I_p}{I_0} \quad (1.19)$$

- Nhận xét: V_{co} tỷ lệ tuyến tính I_p hay cường độ ánh sáng.

Trường hợp cường độ ánh sáng mạnh:

$$I_p \gg I_0 \rightarrow V_{co} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_p}{I_0} \quad (1.20)$$

V_{co} tỷ lệ với hàm log của cường độ ánh sáng.

$$\text{Trường hợp hở mạch tương đương như } R_m \gg r_d : R_m I_r = V_{co} \quad (1.21)$$

+ Ngắn mạch I_{sc} : trường hợp $R_m \ll r_d$ xem như dòng I_r là dòng ngắn mạch và $I_r = I_p$ tỷ lệ tuyến tính với cường độ ánh sáng.

- Độ nhạy:

Với bức xạ có phổ xác định, dòng quang điện I_p tỉ lệ tuyến tính với thông lượng.

Độ nhạy phổ:

$$s(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q \eta (1-R) \lambda}{h.c} \cdot \exp(-\alpha X) \quad (1.21b)$$

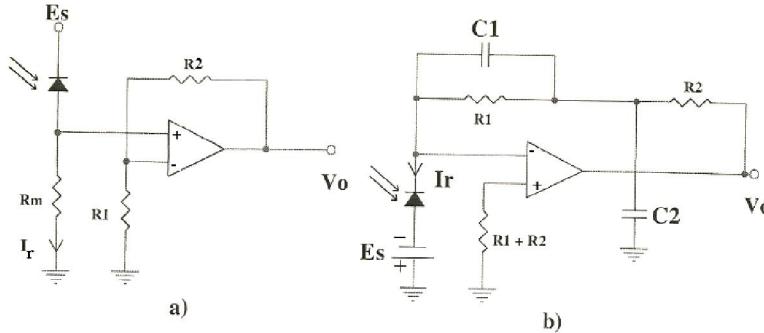
- Ứng dụng tiêu biểu:

Do tính chất tuyến tính của đáp ứng photo diode đối với cường độ ánh sáng nên người ta có thể ứng dụng khuếch đại / truyền đạt tín hiệu cách ly bằng cách chuyển đổi quang điện. Tuỳ vào phương pháp chọn photo diode hoạt động theo hiệu ứng quang dẫn hoặc rào quang thế theo ứng dụng cụ thể.

1- Mode quang dẫn:

Đặc tính photo diode:

- Tuyến tính
- Đáp ứng thời gian chậm, băng thông rộng



Hình 1.9: Ứng dụng photo diode theo mode quang dẫn

- Ở hình 1.9a:

$$V_0 = R_m \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1.22)$$

R_m làm giảm nhiễu ồn nhưng gây giảm tốc độ, tổng trở vào OPAMP cao tránh rẽ dòng diode I_r .

- Ở hình 1.9b:

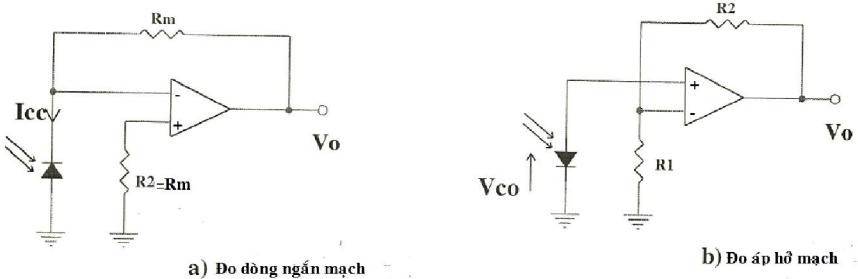
$$V_0 = (R_1 + R_2) I_r \quad (1.23)$$

Điện trở cấp dòng cho diode giảm tương đương bằng $(R_1 + R_2)/A_{v0}$, với A_{v0} là hệ số khuếch đại vòng hở của OPAMP, C_1 và C_2 cải thiện đáp ứng nhanh theo điều kiện: $C_1 R_1 = C_2 R_2$

2. Mode rào quang thế:

Đặc tính photo diode:

- Tuyến tính hoặc loga.
- Giảm nhiễu ồn
- Đáp ứng tốt và băng thông hẹp



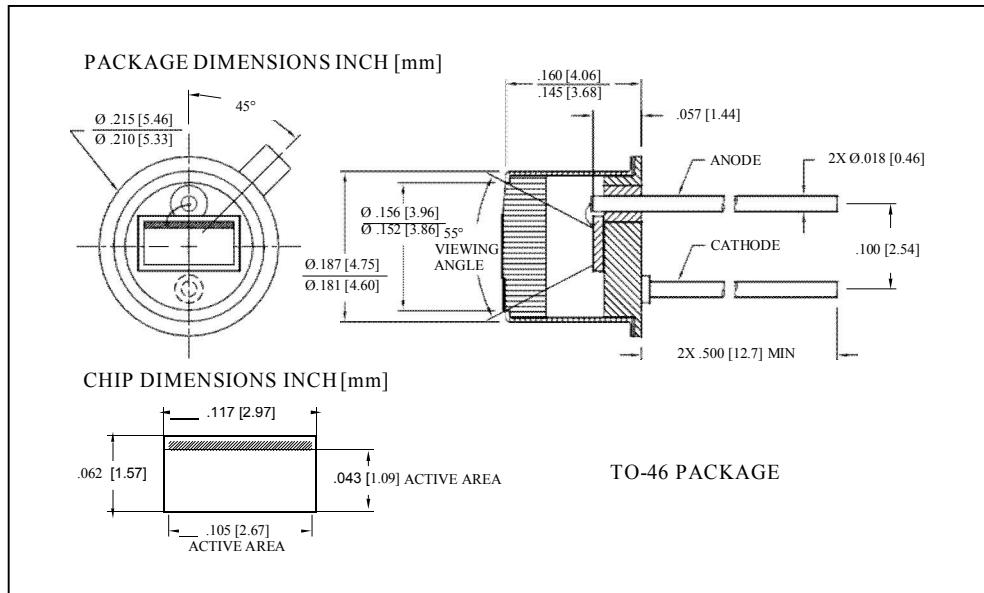
Hình 1.10: Ứng dụng photo diode theo mode rào quang thế

- Ở hình 1.10a, đáp ứng tuyến tính:

$$V_0 = R_m \times I_{cc} \quad (1.24)$$

- Ở hình 1.10b, đáp ứng loga:

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{co} \quad (1.25)$$



FEATURES

- Low noise
- Red enhanced
- High shunt resistance
- High response

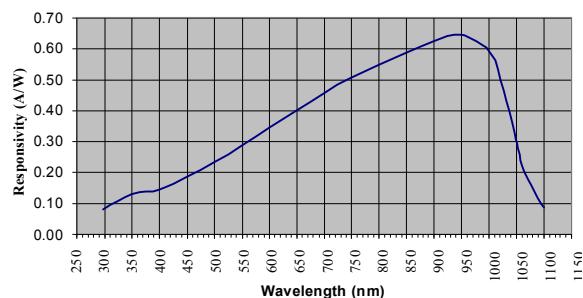
DESCRIPTION

The SD 076-14-21-011 is a high performance silicon PIN photodiode, red enhanced, packaged in a leaded hermetic TO-46 metal package.

APPLICATIONS



SPECTRAL RESPONSE



* 1/16 inch from case for 3 seconds max.

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS RATING

(TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED

SYMBOL	CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
I _D	Dark Current	V _R = 5 V		0.2	0.9	nA
R _{SH}	Shunt Resistance	V _R = 10 mV	450	900		MΩ
C _J	Junction Capacitance	V _R = 0 V, f = 1 MHz		50		pF
		V _R = 5 V, f = 1 MHz		15		
λ range	Spectral Application Range	Spot Scan	350		1100	nm
R	Responsivity	λ = 633 nm, V _R = 0 V	0.32	0.36		A/W
		λ = 900 nm, V _R = 0 V	0.50	0.55		
V _{BR}	Breakdown Voltage	I = 10 μA		50		V
NEP	Noise Equivalent Power	V _R = 5 V @ λ = 950 nm		1.4X10 ⁻¹⁴		W/ √ Hz
t _r	Response Time**	RL = 50 Ω, V _R = 0 V		190		nS
		RL = 50 Ω, V _R = 10 V		13		

**Response time of 10% to 90% is specified at 660nm wavelength light.

Advanced Photonix Inc. 1240 Avenida Acaso, Camarillo CA 93012 • Phone (805) 987-0146 • Fax (805) 484-9935 • www.advancedphotonix.com

Khảo sát photodiode SD 076-14-21-011 có data sheet như trang 11.

Các thông số quan trọng:

- Điện áp ngược max: $V_{BR}=75V$
- Dòng tối max($V_R=5V$) $I_D=0.9nA$ (V_R =điện áp ngược)
- Điện trở song song($V_R=10mV$): $R_{SH}(\text{typ})=900M\Omega$
- Tầm bước sóng làm việc: $\lambda_{range}=350-1100nm$
- Độ nhạy($\lambda=633nm$): $R_\lambda=0.36A/W$
- Thời gian đáp ứng: $t_r=190ns(R_L=50\Omega, V_R=0V), t_r=13ns (R_L=50\Omega, V_R=10V)$

Độ nhạy của photodiode phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng(xem đồ thị S(A/W) theo λ (nm))

Độ nhạy photodiode được tính theo cường độ dòng quang $I_p(A)$ trên công suất bức xạ $P(W)$.

Ví dụ 1.2: Cho photodiode SD076-14-21-011 có data sheet như trang 11.

- Tính độ nhạy trung bình trong vùng $\lambda=400-700nm$ theo độ rọi $E(\text{Lux})$
- Thiết kế mạch chuyển đổi cho điện áp ngõ ra có độ nhạy $10mV/10Lux$ (độ nhạy $10Lux$)

Giải:

- Ta tính độ nhạy trung bình theo $\lambda_{TB}=550nm$.

Tra đặc tuyến có $R_\lambda(\lambda=550nm)=I_p/\Phi=0.28A/W$, ta áp dụng công thức chuyển đổi W sang Lux:

$$1mW/cm^2 = 6830Lux \quad (1.25a)$$

Với bức xạ ánh sáng tới đơn sắc bước sóng $\lambda=555nm$

E_e : mật độ thông lượng bức xạ(mW/cm^2):

E : độ rọi(Lux)

Theo data sheet ta có:

$$S = \pi \times (0.396/2)^2 = 0.1232cm^2$$

$$\frac{I_p}{\Phi/S} = \frac{0.28mA}{1mW/0.1232cm^2} = \frac{3.45\mu A}{1mW/cm^2}$$

$$R_{\lambda E} = \frac{I_p}{E} = \frac{3.45\mu A}{6830Lux} = 5nA/Lux = 50nA/10Lux$$

- Để chuyển đổi từ ánh sáng sang điện áp $E(\text{Lux}) \rightarrow V(V)$ tuyển tính, ta có thể sử dụng sơ đồ hình 1.9a phân cực photodiode ở mode quang dẫn hoặc sơ đồ hình 1.10a phân cực ở mode rào quang thế dòng ngắn mạch.

✓ Trong hình Vd1.2a(quang dẫn):

$$V_i = R_m \times I_p = R_m \times (R_{\lambda E} \cdot E)$$

Chọn $V_i=1mV$ (E.10), suy ra:

$$R_m = 10^{-3}/(5.10^{-9}) = 20K$$

Chọn $R_m=20K$

$$HSK\bar{D} = 1 + R_2/R_1 = 10$$

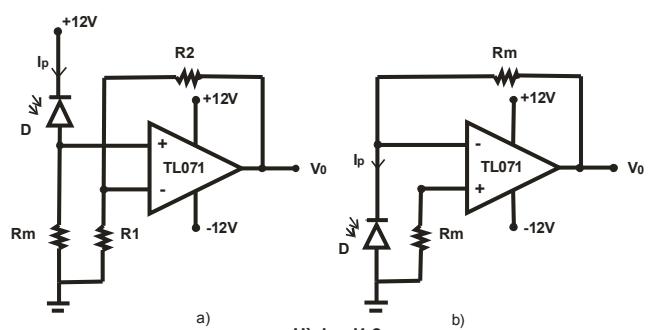
$R_2/R_1=9$ và $R_2//R_1=R_m=20K$ để bù offset do dòng phân cực vào.

Chọn $R_1=22K$ và $R_2=200K$

Chọn OPAMP FET TL071 có $R_i, A_{v0}, CMRR$ cao, V_{i0}, I_{i0} và I_{ib} thấp.

Các thông số cơ bản của TL071 như sau(xem data sheet):

- TỔNG TRỞ VÀO: $R_i=10^{12}\Omega$
- HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI VÒNG HỎI: $A_{vd}=200V/mV=200,000 \# 106dB$
- TỈ SỐ NÉN TIN HIỆU ĐỒNG PHA: $CMRR=86dB$
- ĐIỆN ÁP NGÕ VÀO LỆCH 0: $V_{i0}=13mV(\text{max})$
- DÒNG ĐIỆN NGÕ VÀO LỆCH 0: $I_{i0}=4nA(\text{max})$



Hình vd1.2

- Dòng điện phân cực ngõ vào: $I_{ib}=20nA(max)$
- ✓ Trong hình VD1.2b(rào quang thế nguồn dòng), ta có:
 $V_0=R_m \times I_p = R_m \times 50.10^{-9}$. (E.10)
Suy ra: $10.10^{-3} = R_m \times 50.10^{-9}$
 $R_m = 10.10^{-3} / (50.10^{-9}) = 200K$
Chọn $R_m = 200K$

❖ Nhận xét:

- Trường hợp tối, dòng tối qua photodiode $I_{Dmax}=0.9nA$, áp ngõ ra cả hai mạch trên bằng $180\mu V$ rất bé hơn $10mV \# 10 Lux$, nên sai số không đáng kể!
- Với $I_{io}(max)=4nA$, điện áp lệch ngõ ra cả hai mạch trên bằng $800\mu V \ll 10mV$ không ảnh hưởng đến mạch!
- Với $V_{i0}(max)=13mV$, ta tính mức lệch điện áp ngõ ra
Mạch vd1.2a, HSKĐ=10: $V_0=10 \times 13=130mV$ tương đương lệch $130Lux \# 13 \times 10 Lux$
Mạch vd1.2b, HSKĐ=1: $V_0=1 \times 13mV$ tương đương lệch $13Lux \# 1.3 \times 10 Lux$
Do đó ta phải thêm mạch chỉnh offset cho mạch vd1.2a (xem phần 1.10.2).
Tuy nhiên, trong mạch vd1.2a, nếu ta thay $R_m=200K$ và HSKĐ=1 (mạch theo điện áp), kết quả offset ngõ ra cũng giống như hình vd1.2b!
- Mạch phân cực mode quang dẫn cho độ nhạy cao hơn với R_m bé, sẽ giảm được nhiễu ồn ngõ vào và không cần tổng trở vào mạch khuếch đại cao!

❖ Diode hồng ngoại (IR diode và IR photodiode)

Diode hồng ngoại được ứng dụng trong truyền vô tuyến sóng hồng ngoại bước sóng $\lambda > 800nm$. Tóm tắt các ứng dụng theo vùng bước sóng hồng ngoại như sau:

- Vùng $\lambda=940nm$: ứng dụng trong các thiết bị điều khiển từ xa dân dụng.
 - Vùng $\lambda=808nm$: ứng dụng trong thiết bị y khoa, liên lạc trong không gian, truyền ánh sáng hồng ngoại, laser hồng ngoại.
 - Vùng $\lambda=830nm$: ứng dụng trong hệ thống đọc thẻ ô tô trên cao tốc.
 - Vùng $\lambda=840nm$: ứng dụng trong các camera hình màu hồng ngoại chống nước.
 - Vùng $\lambda=850nm$: ứng dụng trong các camera hình ảnh số, giám sát, chống trộm.
 - Vùng $\lambda=870nm$: ứng dụng trong các camera hình phục vụ siêu thị, giao thông.
- Diode hồng ngoại có thể làm việc theo hai cách: phát-thu trực tiếp hoặc phát-thu phản xạ.

• Led hồng ngoại:

Led hồng ngoại (IR Led) là diode phát sóng hồng ngoại, nguyên lý hoạt động như led phát ánh sáng thông thường, nhưng phát ra ánh sáng hồng ngoại.

Cách phân cực: phân cực thuận điện áp $V_F=1.2 - 1.4V, I_F \leq 20mA$.

Với phân cực dòng DC ($I_F=20mA$):

- Độ nhạy kém, khoảng cách phát sóng thường không xa $< 0.2m$
- Dễ bị nhiễu do nguồn sóng điện từ hoặc ánh sáng ngoài
- Ứng dụng cảm ứng nhận dạng khoảng cách bé $< 0.2m$ như công tắc rìa quang (optical proximity switch)

Với phân cực dòng xung ($I_p < 1A$):

- Độ nhạy và khoảng cách phát sóng tỉ lệ với biên độ dòng xung
- Khoảng cách phát sóng có thể đến $10m$ (1 Led phát)
- Mã hóa bảo mật tín hiệu truyền
- Ứng dụng trong điều khiển nhận dạng từ xa (remote controller), truyền tín hiệu mã hóa trong môi trường nhiễu ồn

Diode hồng ngoại đáp ứng tốt nhất ở tần số xung $38Khz$, ngoài ra ta có thể điều chế sóng mang $38Khz$ bằng tín hiệu tần số thấp để:

- Tăng dòng xung đỉnh I_p nhưng giảm dòng trung bình I_{DC} qua led để tăng độ nhạy và khoảng cách phát sóng
- Mã hóa dữ liệu truyền theo sóng mang

Hình 1.10c minh họa dạng sóng điều chế
Sóng mang $f_c=38\text{Khz}$ băng tín hiệu xung $T=50\text{ms}$.

Với sóng mang đổi xứng dòng $I_{DC}=1/2 I_p$.

Với tín hiệu điều chế chu kỳ nhiệm vụ 1/50,
Dòng trung bình qua led hồng ngoại:

$$I_{TB}=1/2I_p/50=1/100.I_p$$

- Tham khảo data sheet IR led IR333-A:

Cường độ dòng bức xạ $I_e=10\text{mW/sr}@I_F=10\text{mA}$ và
 $I_e=100\text{mW/sr}@I_F=100\text{mA}$.

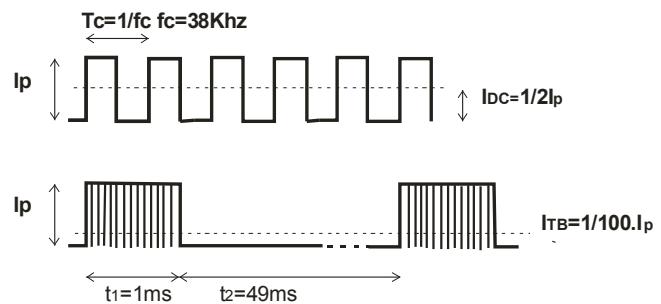
Nếu ta phân cực bằng xung dòng có điều chế
như hình 1.10c $I_p=100\text{mA}, I_{TB}=1\text{mA}$ cho cường độ
dòng bức xạ gấp 10 lần so với phân cực DC 10mA !

Hình 1.10d minh họa cách điều chế mã hóa sóng
mang 38khz với chu kỳ tín hiệu điều chế T .

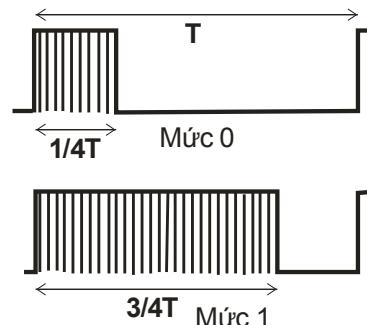
Mã bit 0 độ rộng xung bằng $1/4T$

Mã bit 1 độ rộng xung bằng $3/4T$

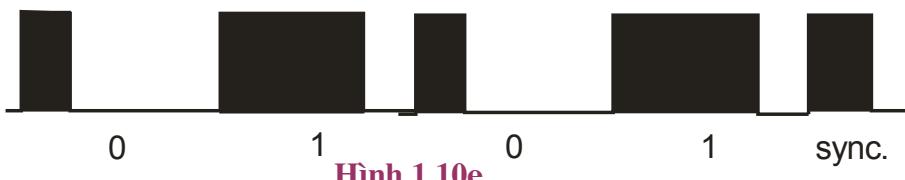
Hình 1.10e ví dụ cách truyền một từ mã 4 bit 0101
theo kiểu mã hóa trên,mỗi từ mã phân cách nhau bởi xung
đồng bộ sync. cũng điều chế độ rộng tương tự như bit 0,1.



Hình 1.10c



Hình 1.10d



Hình 1.10e

- Photo diode hồng ngoại:**

Nguyên lý làm việc photodiode hồng ngoại cũng giống như photodiode thông thường,nhưng chỉ
đáp ứng với ánh sáng hồng ngoại.

Tham khảo data sheet photodiode hồng ngoại PD333-3B-H0-L2

- Vùng bước sóng làm việc(độ nhạy =0.5 giá trị max):	840 – 1100nm
- Vùng bước sóng nhạy nhất:	940nm
- Điện áp hở mạch($E_e=1\text{mW/cm}^2, \lambda p=940\text{nm}$):	0.39V
- Dòng ngược ngắn mạch($E_e=1\text{mW/cm}^2, \lambda p=940\text{nm}$):	35 μA
- Dòng ngược có ánh sáng($E_e=1\text{mW/cm}^2, \lambda p=940\text{nm}, V_R=5\text{V}$):	35 μA
- Dòng ngược tối($E_e=0\text{mW/cm}^2, V_R=10\text{V}$):	30nA(max)
- Điện áp ngược đánh thủng($E_e=0\text{mW/cm}^2, I_R=100\mu\text{A}$):	32V(min)

Ví dụ 1.3: Từ data sheet IR333-A và PD333-3B:

- Tính dòng sáng qua IR photodiode khi phân cực IR led $I_{dc}=10\text{mA}$ với khoảng cách 10cm.
- Suy ra dòng sáng qua photodiode khi phân cực IR led với $I_{dc}=10\text{mA}$ và xung dòng $I_p=100\text{mA}$ với khoảng cách 3m.
- Thiết kế mạch cảm ứng hồng ngoại làm việc phản xạ với khoảng cách max 10cm.
- Thiết kế mạch remote controller làm việc với khoảng cách max 3m.

Giải:

- Từ data sheet IR333-A ta có:

- $I_F=10\text{mA}@I_e=10\text{mW/sr}, I_F=100\text{mA}@I_e=100\text{mW/sr}$
- Bước sóng nhạy nhất $\lambda p=940\text{nm}$
- Góc mở truyền sóng: 20°

Từ data sheet PD333-3B ta có:

- $I_L = 35\mu A @ Ee = 1mW/cm^2, V_R = 5V, \lambda = 940nm$

- Quan hệ I_L theo Ee là tuyến tính khi phân cực mode quang dẫn

Trước tiên ta tìm hiểu về góc khối đặc steradian (thứ nguyên sr) là một thông số trong đo lường ánh sáng.

Hình vd1.3a mô tả steradian(sr) được định nghĩa là số đo góc khối đặc Ω có đỉnh là tâm mặt cầu bán kính r , cắt mặt cầu thành chỏm cầu có diện tích Ac và được tính bằng:

$$\Omega = Ac/r^2 (\text{sr}) \quad (\text{vd1.3.1})$$

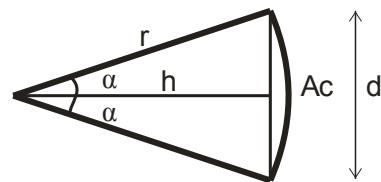
Như vậy một khối cầu có số đo $\Omega = 4\pi$ sr

Diện tích chỏm cầu được tính bằng:

$$Ac = 2\pi r^2 \cdot (1 - \cos\alpha) \quad (\text{vd1.3.2})$$

Suy ra số đo steradian:

$$\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos\alpha) \quad (\text{vd1.3.3})$$



Hình vd1.3a

Trong trường hợp khoảng cách h giữa IR led và IR PD xa hay góc mở 2α bé có thể tính diện tích chỏm cầu gần đúng bằng diện tích hình tròn đường kính d .

Trở lại bài toán trên, ta có $\alpha = 10^\circ$, $h = 10cm$:

$$\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos 10^\circ) = 0.095 \text{ sr}$$

$$r = h / \cos\alpha = 10.15 \text{ cm}$$

$$Ac = \Omega \cdot r^2 = 0.095 \cdot 10.15^2 = 9.8 \text{ cm}^2$$

Suy ra, quang thông bức xạ là:

$$\Phi = I_{ex}\Omega \quad (\text{mW}) \quad (\text{vd1.3.4})$$

Và độ rời tại khoảng cách 10cm là:

$$Ee = \Phi/Ac = (I_{ex}\Omega/Ac) (\text{mW}/\text{cm}^2) \quad (\text{vd1.3.5})$$

$$Ee = 10 \times 0.095 / 9.8 = 0.097 \text{ mW}/\text{cm}^2 \approx 0.1 \text{ mW}/\text{cm}^2$$

Từ thông số $I_L = 35\mu A @ Ee = 1mW/cm^2$, suy ra tại vị trí $h = 10cm$ dòng ngược qua IR PD = $3.5\mu A$.

b) Theo các công thức trên dễ dàng suy ra độ rời Ee tỉ lệ với bình phương khoảng cách h^2 :

$$Ee_1 \cdot h_1^2 = Ee_2 \cdot h_2^2 \quad (\text{vd1.3.6})$$

Như vậy nếu tăng khoảng cách từ 10cm lên 3m tương ứng 30 lần độ rời sẽ giảm 900 lần:

$$Ee_2 = 0.1 / 900 = 1.11 \times 10^{-4} \text{ mW}/\text{cm}^2$$

Tương ứng dòng ngược qua IR PD = $35 \times 1.11 \times 10^{-4} \mu A = 3.9nA$

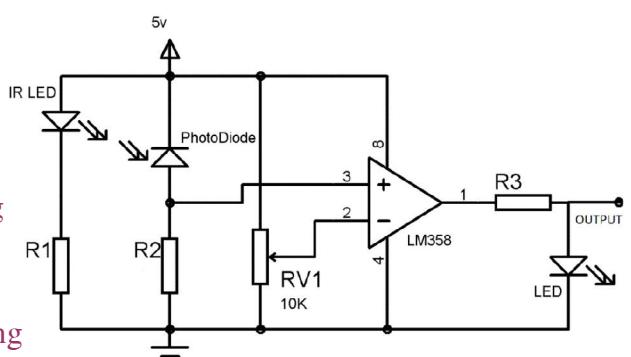
Nếu tăng dòng phân cực IR led lên 100mA, độ rời sẽ tăng thêm 10 lần:

$$Ee_2 = 1.11 \times 10^{-3} \text{ mW}/\text{cm}^2$$

Tương ứng dòng ngược qua IR PD = $35 \times 1.11 \times 10^{-3} \mu A = 39nA$

Nếu phân cực IR led bằng xung dòng $I_p = 100mA$, CKNV = 10%, dòng $I_{TB} = 10mA$, công suất tiêu thụ IR led vẫn bằng như câu a nhưng độ nhạy tăng 10 lần!

c) Hình vd1.3b giới thiệu mạch hồng ngoại làm việc ở khoảng cách gần có thể truyền trực tiếp hay phản xạ, ứng dụng làm công tắc rìa / cảm ứng/hành trình hồng ngoại, phát hiện che chắn... IR led được phân cực DC để chỉ cảm ứng gần, IR PD phân cực mode quang dẫn tăng độ nhạy, biến trớ RV1 tùy chỉnh độ nhạy. Mạch so sánh OPAMP LM358 cấp nguồn đơn và đáp ứng ngõ ra cao.



Hình vd1.3b

Khi không che chắn giữa IR led và IR PD, có dòng ngược qua IR PD tạo áp trên R_2 $V_i^+ > V_i^-$ (đặt bằng $RV1$), ngõ ra OPAMP mức cao bằng 5V kích LED sáng. Khi che chắn lại, IR PD giảm dòng, $V_i^+ < V_i^-$, ngõ ra OPAMP mức thấp $\approx 0V$, LED tối.

Phân cực thuẬt IR led với dòng $I_{DC}=10mA$, $V_{LED}=1.4V$:

$$R1 = (V_{CC} - V_{LED}) / I_{DC} = (5 - 1.4) / 10mA = 360\Omega$$

Chọn: $R1=330\Omega$

Phân cực nghịch IR PD với độ nhạy dòng ở khoảng cách max 10cm $I_L=3.5\mu A$

Chọn $V_i^+=200mV$ cao hơn mức nhiễu hàng trăm mV:

$$R2 = V_i^+ / I_L = 200mV / 3.5\mu A = 57.1K$$

Chọn $R2=56K$

Chọn $RV1=50K$

Phân cực thuẬt LED 10mA:

$$R3 = (5 - 2) / 10mA = 300\Omega$$

Chọn : $R3=330\Omega$

d) Hình 1.3c là mạch tạo xung phân cực

IRled có dạng sóng như hình 1.10c.

U1 là IC NE555 tạo xung vuông đối xứng tần số $f_c=38Khz$. Chu kỳ xung ra

được tính bằng công thức(tham khảo data sheet NE555 và mục 1.10):

$$Tc=0.69(R1+R2)C1+0.69(R2+R3)C1 \quad (\text{vd1.3.7})$$

Để tạo xung vuông đối xứng chọn $R1=R2=R3$:

$$Tc=2.76R1.C1 \quad (\text{vd1.3.8})$$

Chọn $R1=R2=R3=10K$

$$C=1/(38.10^3 \times 2.76 \times 10^4)=0.95nF$$

Chọn $C1=1nF$

U2 là IC NE555 tạo xung điều chế chu kỳ $Td=50ms$, $CKNV=1/10$

$$Td=T1+T2=0.69(R5+R6).C2+0.69R6.C2$$

Chọn $C2=47nF$, $Td=10ms$:

$$R6=10^{-2}/(0.69 \times 47.10^{-9})=3.08K, \text{chọn } R6=3K3$$

$$R5+R6=40.10^{-3}/(0.69 \times 47.10^{-9})=123.3K, \text{chọn } R5=120K$$

Khi chân 3 U2 mức 1 5V trong thời gian 40ms,D on áp 5V vào chân 2 và 6 U1 làm chân 3 U1 mức 0,IR led off.

Khi chân 3 U2 mức 0 trong thời gian 10ms,D off,U1 dao động bình thường tạo xung vuông đối xứng 38Khz phân cực cho IRled.

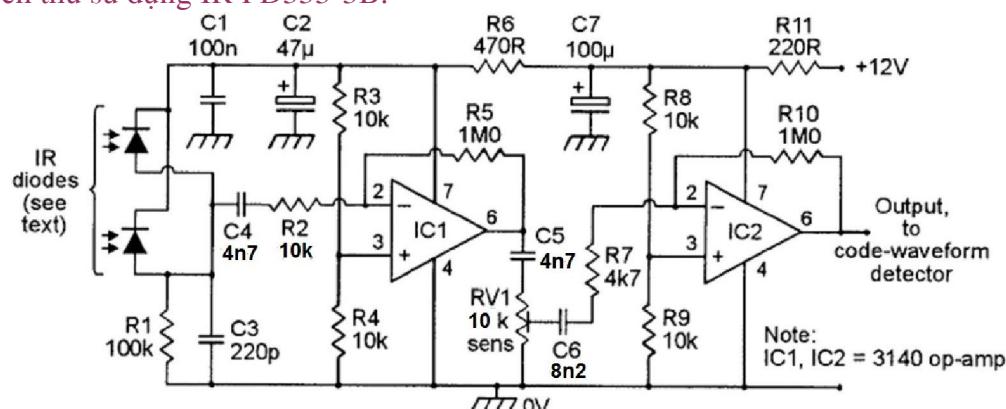
Chọn D=1N4148

Phân cực IRled dòng định $I_p=100mA$, $V_{CC}=5V$, $V_D=1.4V$:

$$R4=(5-1.4)/100mA=36\Omega, \text{chọn } R4=33\Omega/0.5W$$

Thực tế dòng DC trung bình qua IRled chỉ bằng 1/10. $I_p=10mA$!

Hình 1.3d là mạch thu sử dụng IR PD333-3B.



Hình 1.3d

- Để tăng cường độ nhạy gấp đôi, ta mắc 2 IR PD song song
- IC1 khuếch đại tín hiệu vào trên R1, RV1 chỉnh độ nhạy theo yêu cầu
- IC2 khuếch đại tăng thêm biên độ tín hiệu thu trước khi đưa đến mạch giải mã
- Các IC đều khuếch đại AC (ghép AC qua tụ) để loại thành phần DC do nhiễu, trôi nguồn, offset OPAMP..., và có thể làm việc nguồn đơn bằng cách phân cực ngõ vào + (chân 3) bằng $\frac{1}{2}$ Vcc. Có thể chọn các OPAMP lownoise như CA3140, NE5532...

❖ Tính toán thiết kế:

Chọn $R1=100K$ để tăng độ nhạy và vẫn đủ nhỏ hơn tổng trở vào OPAMP.

Theo câu b, với khoảng cách max=3m, $I_L=39nA$:

Suy ra biên độ xung ngõ vào: $V_{RI}=100.10^3 \times 39.10^{-9}.2=7.8mV$

$C3$ lọc nhiễu cao tần $>>38Khz$, chọn $C3 \geq 10/(2\pi \times 2f_{cX}R1)=209pF$

Chọn $C3=220pF$

Tầng KĐ IC1 nên có $HSK\Delta \leq 10$ để chống nhiễu tốt, chọn $A_{v1}=-9$

$A_{v1}=-R5/(R1+R2)=-9$

Chọn $R2=10K, R5=9 \times 110=990$. Chọn $R5=1M$

Chọn $C4 \geq 10/(2\pi f_c R2)=4.18nF$. Chọn $C4=4.7nF$

Ngõ ra tầng 1 có $RV1=10K$ để chỉnh độ nhạy mạch thu.

Giả sử $RV1$ vị trí giữa, cho biên độ xung vào tầng 2 $V_{s2}=-7.8mV \times 9/2=-35.1mV$ và điện trở tương đương ngõ vào $Ri2=RV1A//RV1B$ (hai phần của biến trở $RV1$)=2.5K

Chọn $HSK\Delta$ IC2 khoảng 100 để tăng biên độ ngõ ra.

$A_{v2}=-R10/(R7+R2)=-150$

Chọn $R7=4K7, R10=\underline{100.(4K7+2.5)}=1080K$. Chọn $R10=1M$.

Biên độ xung ngõ ra IC2 $V_{o2}=-35.1mV \times (-150)=5.27V$

Chọn $C5 \geq 10/(2\pi f_c RV1)=4.18nF$. Chọn $C5=4.7nF$

$C6 \geq 10/(2\pi f_c R7)=8.9nF$. Chọn $C4=8.2nF$

$R3, R4, R8, R9$ là các điện trở phân cực $Vcc/2$ cho các ngõ vào + OPAMP.

Chọn $R3=R4=R8=R9=10K$

Mạch cấp nguồn 12V, qua $R11, C7$ lọc nguồn cấp cho IC2 và $R6, C1, C2$ lọc nguồn cấp cho IC1.

Hình vd1.3e minh họa mạch giải mã/tách sóng tạo mức logic 1 bằng 12V ngõ ra khi nhận được chuỗi xung 38Khz.

Tín hiệu xung từ ngõ ra khuếch đại thu đưa vào mạch chỉnh lưu nhân 2/tách sóng định $C1, C2, D1, D2, R4$ lấy mức dc bằng biên độ xung Sau đó qua mạch lọc $R5, C3$ đưa vào ngõ vào V_i^+ OPAMP. Ngõ vào V_i^- OPAMP phân cực mức DC Khoảng 1V qua cầu phân áp $R2, R3$ lấy nguồn từ mạch diode zener ZD1 5V6.

OPAMP làm việc như mạch so sánh.

Khi chưa có xung, ngõ vào $V_i^+=0 < V_i^- = 1V, V_0=0V$.

Khi có xung ngõ vào $V_i^+ > V_i^- = 1V, V_0=12V$.

Chọn thời hằng $\tau_1=R4C2 \geq 10t_c=10/38000=260\mu s$ để lọc phẳng xung f_c .

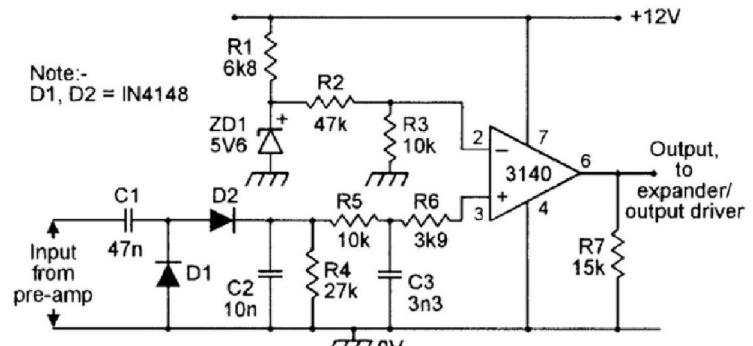
Chọn $R4=27K$, suy ra $C2=260\mu s/27K=9.6nF$. Chọn $C2=10nF$.

Chọn $C1=5C2$ để đảm bảo lọc tốt. Chọn $C1=47nF$

Chọn thời hằng $\tau_2=R5C3 \approx 1/38000=26\mu s$ để lọc thông thấp cắt ở $f_c=38Khz$

Chọn $R5=10K$, suy ra $C3=26\mu s/10K=2.6nF$. Chọn $C3=3.3nF$

$R6$ hạn dòng quá độ từ $C3$ xả vào OPAMP, chọn $R6$ vài K. Chọn $R6=3K9$.



Hình vd1.3e

R1 phân cực ZD1 5V6, chọn dòng $I_Z = 1\text{mA}$:

$$R_1 = (12 - 5.6) / 1\text{mA} = 6.4\text{K}. \text{Chọn } R_1 = 6\text{K8.}$$

R2 và R3 tạo phân áp 1V vào V_{i^-} :

$$R_3 \times 5\text{V6} / (R_2 + R_3) = 1\text{V}$$

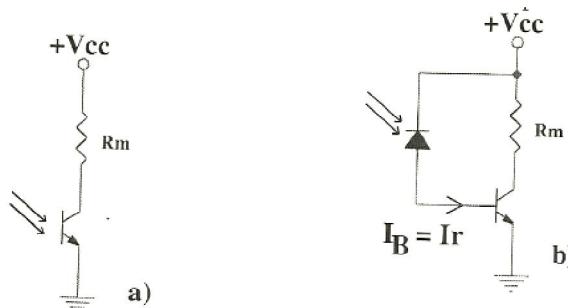
Chọn $R_3 = 10\text{K}$, suy ra $R_2 = 47\text{K}$.

R7 là điện trở tải ngõ ra tùy thuộc vào tầng sau.

1.2.3: Photo transistor:

- Nguyên lý làm việc:**

Về cấu tạo, photo transistor giống như transistor thông thường, chỉ có khác miền B được kích thích bởi ánh sáng ngoài. Khi phân cực photo transistor cũng tương tự như cách phân cực transistor thông thường, ví dụ như hoạt động ở chế độ khuếch đại, tiếp xúc B-C phân cực nghịch, tiếp xúc B-E phân cực thuận. Mạch điện CE của photo transistor cũng như mạch CE transistor thông thường, chỉ có điều lưu ý là không cần phải đảm bảo tiếp xúc BE phân cực thuận ($V_{BE} = 0.6\text{V}$ (Si)) và có thể không cần phân cực BC trong một số trường hợp. Khi có ánh sáng chiếu vào miền B, phát sinh dòng I_B tương tự như photo diode, dòng I_B sinh ra từ tiếp xúc BC của photo transistor.



Hình 1.11: a) Mạch phân cực photo transistor
b) Mạch tiếp xúc BC tương đương như photo diode.

$$\text{Ta có: } I_r = I_o + I_p$$

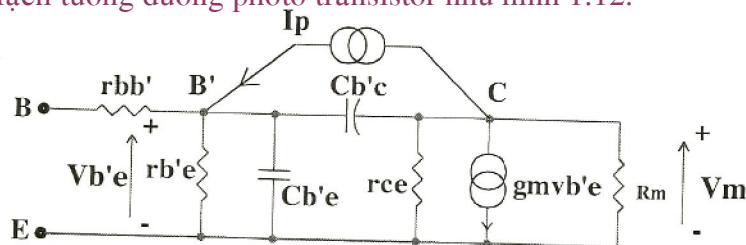
$$I_c = (\beta + 1) I_r = (\beta + 1) I_o + (\beta + 1) I_p \quad (1.26)$$

β : HSKĐ dòng mạch EC

$(\beta + 1) I_o = I_{co}$, dòng tối photo transistor

$(\beta + 1) I_p = I_{cp}$ dòng I_c phụ thuộc vào ánh sáng tối.

Mạch tương đương photo transistor như hình 1.12:



Hình 1.12 Mạch tương đương photo transistor

Ở f thấp, bỏ qua $C_{b'e}$ và $C_{b'c}$ ta có:

$$V_m = -(g_m v_{b'e} + I_p) R_m \quad (1.27)$$

Với: $v_{b'e} = r_{b'e} I_p$ và $g_m = \beta / r_{b'e}$

$$V_m = -(\beta + 1) I_p R_m \quad (1.28)$$

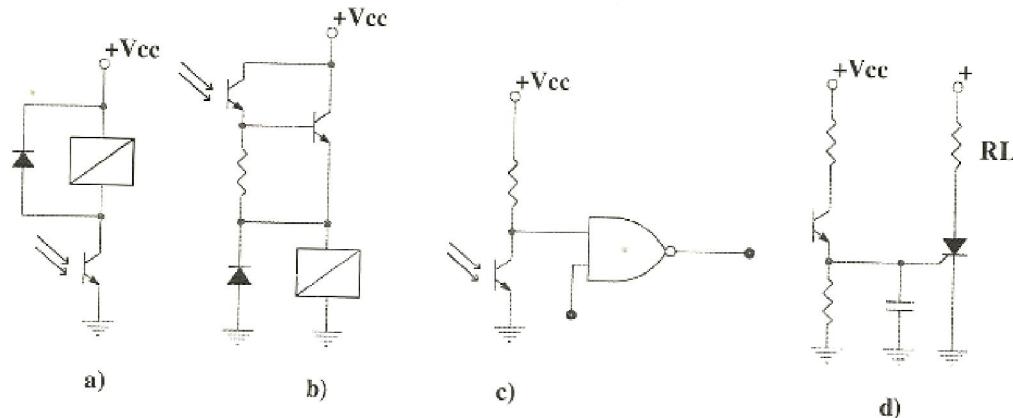
Như vậy ở f thấp photo transistor tương đương như một nguồn dòng $(\beta + 1) I_p$.

- Dòng rò I_{co} hay dòng I_c tối ở 25°C khoảng $10^{-8} \div 10^{-9} \text{ A}$ tuỳ thuộc vào điện áp trên CE và nhiệt độ. Có thể giảm dòng I_{co} bằng cách phân cực cực B bằng một điện trở vừa đủ nhỏ.
- Đáp ứng tần số:

$$f_c = \frac{g_{be}}{2\pi[C_{be} + C_{bc}(1+g_mR_m)]}$$

▪ **Ứng dụng tiêu biểu:**

Có thể ứng dụng photo transistor trong các mạch khuếch đại hoặc giao hoán cách ly tín hiệu và hoạt động như transistor thông thường.



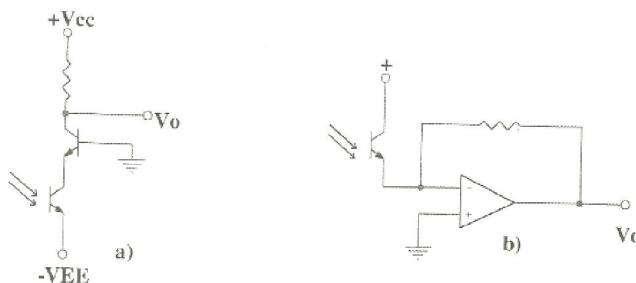
Hình 1.13: Các mạch sử dụng photo transistor giao hoán

Hình 1.13 a) – Photo transistor kích trực tiếp rờ le

Hình 1.13 b) – Photo transistor mắc darlington với 1BJT kéo rờle

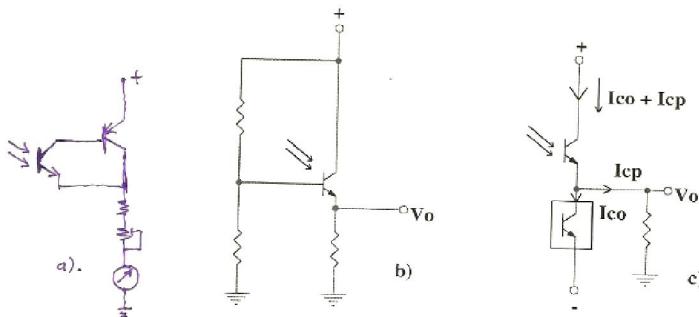
Hình 1.13 c) – Photo transistor lái cổng logoc

Hình 1.13 d) – Photo transistor kích cực G SCR.



Hình 1.14 a) - Photo transistor kích mạch BJT mắc BC.

Hình 1.14 b) - Photo transistor và OPAMP chuyển dòng thành áp



Hình 1.15: Các mạch photo transistor làm việc tuyến tính

Hình 1.15 a) – Mạch đo thông lượng(flux)

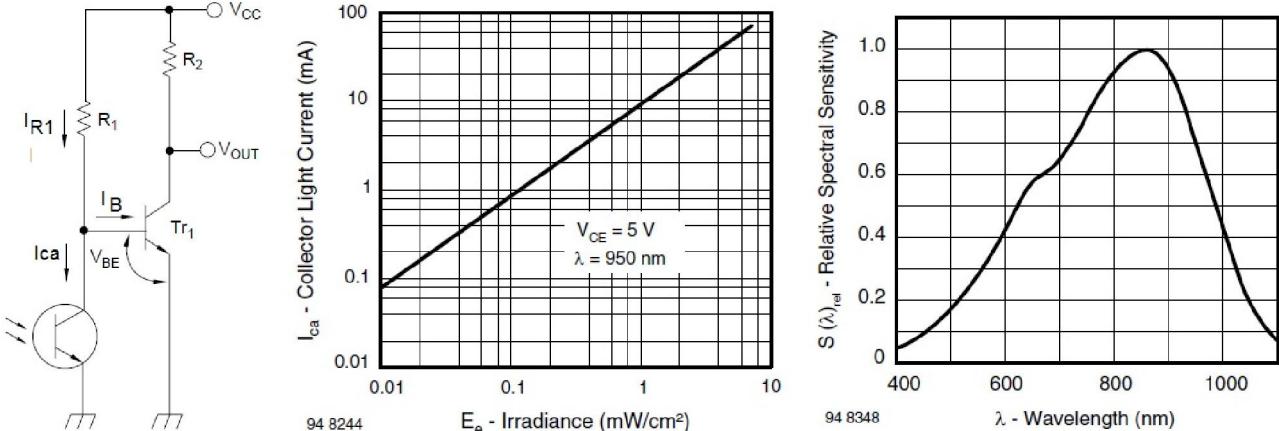
Hình 1.15 b) – Mạch KĐ CC có phân cực B

Hình 1.15 c) – Mạch KĐ CC loại dòng rò I_{co} .

Ví dụ 1.4: Mạch khuếch đại tín hiệu quang $\lambda=400\text{--}700\text{nm}$ dùng cảm biến photo transistor BPV11 như hình 1.15d.

- Tính phân cực DC mạch điện
- Tính HSKĐ v_0/ic , với v_0 là điện áp ac ngõ ra cực C và i_c là biến thiên dòng photo transistor theo cường độ ánh sáng chiếu vào. Cho độ rọi max photo transistor nhận được $E_{max}=0.01\text{mW/cm}^2$.

Giải:



Hình vd1.4

- Tham khảo data sheet PT BPV11(hình vd1.4) ta có:

$$I_{ca}=0.8\text{mA}@Ee=0.01\text{mW/cm}^2, \lambda=950\text{nm}$$

Ta tính trên bước sóng trung bình $\lambda=550\text{nm}$.

Theo hình vd1.4, độ nhạy theo bước sóng $S(\lambda=950\text{nm})=0.7, S(\lambda=550\text{nm})=0.3$

Như vậy tại $\lambda=550\text{nm}$ dòng I_{ca} đạt được:

$$I_{ca}(\lambda=550\text{nm})=0.8 \times 0.3 / 0.7 = 0.343\text{mA}@Ee=0.01\text{mW/cm}^2$$

Theo mạch phân cực hình vd1.4, khi bị che tối $I_{cad}=50\text{nA(max)}$, $I_{Bmax} \approx I_{R1}$. Tr1 dẫn mạnh đến gần vùng bão hòa (để giảm tiêu tán năng lượng trên CE Tr1). Khi có ánh sáng max, $I_{camax}=343\mu\text{A}$, I_B giảm làm Tr1 dẫn yếu, V_{out} tăng. Do đó phải chọn $I_{BQ}=I_{R1}>I_{camax}$ để đảm bảo Tr1 dẫn khi PT nhận ánh sáng mạnh nhất.

Chọn điều kiện phân cực tĩnh như sau:

$$I_{BQ}=I_{R1}=350\mu\text{A}, V_{CEQ}=1\text{V}, V_{BEQ}=0.6\text{V}, V_{CC}=5\text{V}$$

Tr1=2N3904 có $h_{FE}=\beta \approx 100$ ở vùng $I_C=10\text{mA}$, $V_{CE}<10\text{V}$.

$$R_1=(V_{CC}-V_{BEQ})/I_{BQ}=(5-0.6)/350\mu\text{A}=12.57\text{K}. Chọn R_1=12\text{K}$$

$$R_2=(V_{CC}-V_{CEQ})/I_{CQ}=(5-1)/(100 \times 350\mu\text{A})=114\Omega. Chọn R_2=100\Omega/1/2\text{W}$$

- Mạch ac thông số h như hình vd1.4g, PT được thay bằng nguồn dòng i_c tỉ lệ với độ rọi ánh sáng tới $E_e(\text{mW/cm}^2)$.

$$\frac{v_0}{i_c} = \frac{v_0}{i_b} \times \frac{i_b}{i_c} = \left(-h_{fe} R_2 \right) \left(-\frac{R_1}{R_1 + h_{ie}} \right)$$

$$\frac{v_0}{i_c} = \frac{h_{fe} R_1 R_2}{R_1 + h_{ie}} \quad (\text{vd1.4.1})$$

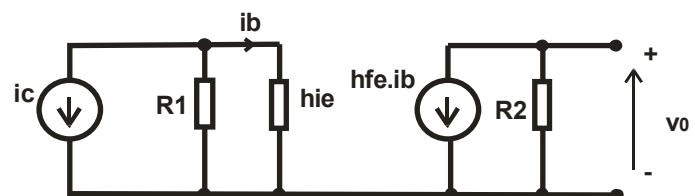
Thay các giá trị vào:

$$h_{ie}=26 \times h_{fe}/I_{CQ}(\text{mA})=26 \times 100/35=74.3\Omega$$

$$\frac{v_0}{i_c} = \frac{100 \times 12000 \times 100}{12000 + 74.3} \approx 10000$$

Biên độ ac ngõ ra với $i_c=I_{camax}=343\mu\text{A}$: $v_{0max}=10000 \times 343 \cdot 10^{-6}=3.43\text{V}$

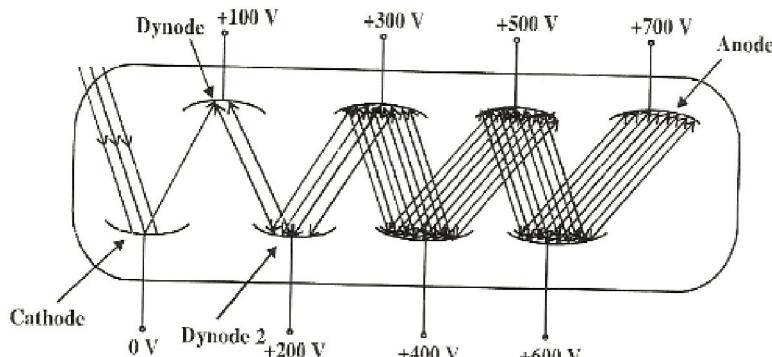
Mức DC ngõ ra tương ứng: $V_{0DCmax}=3.43+1=4.43\text{V}<5\text{V}$ nên không bị méo tín hiệu.



Hình vd1.4g

1.2.4:Đèn nhân quang điện:

Đèn nhân quang điện bao gồm một ống thuỷ tinh chân không chứa cathode phát quang, một anode và nhiều điện cực trung gian gọi là dynode, mỗi dynode sau được phân cực áp cao hơn so với dynode trước.



Hình 1.16: Cấu tạo cơ bản đèn nhân quang điện

Khi ánh sáng chiếu vào cathode, điện tử phát ra từ cathode được hút đến dynode thứ 1. Đây gọi là phát xạ thứ cấp. Khi e^- chuyển động với tốc độ cao đập vào vật liệu thích hợp, vật liệu sẽ phát ra một lượng lớn e^- nhiều hơn lượng e^- đập vào nó. Do phân cực các dynode sau cao hơn dynode trước nên tốc độ và số lượng e^- ngày càng tăng cho đến khi e^- đến anode. Hệ số khuếch đại có thể từ 10^5 đến 10^9 , độ nhạy ánh sáng có thể từ $1A/lumen$ đến $2000A/lumen$, dòng anode có thể từ $100\mu A$ đến $1mA$.

Do độ nhạy ánh sáng rất cao, chẳng hạn với độ nhạy $100A/lumen$ chỉ cần 10^{-5} lumen sẽ tạo ra một dòng anode $1mA$. Đèn này bị ảnh hưởng bởi từ trường nên bên ngoài phải có vỏ bọc chống nhiễm từ.

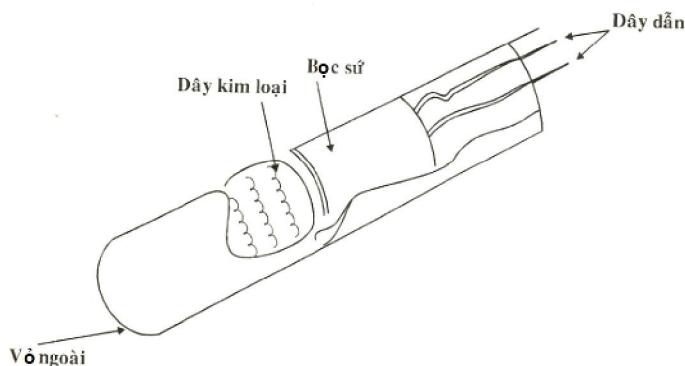
1.3: Cảm biến nhiệt:

Các loại cảm biến nhiệt thông dụng có thể phân loại thành 2 dạng :

- Cảm biến nhiệt điện trở: gồm nhiệt trở kim loại, nhiệt trở bán dẫn (theristor) hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở theo nhiệt độ.
- Cảm biến nhiệt – điện áp: gồm cặp nhiệt điện (thermocouple), tiếp xúc P-N, vi mạch hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện áp theo nhiệt độ.

1.3.1: Nhiệt trở kim loại:

Nhiệt trở kim loại có hệ số nhiệt trở dương, cấu tạo gồm một dây kim loại quấn xung quanh một trục sứ cách điện và có vỏ bọc bằng kim loại dẫn nhiệt tốt bên ngoài. Kim loại thường được sử dụng là dây platin hoặc никel.



Hình 1.17: Cấu tạo nhiệt trở kim loại.

- 1- **Nhiệt trở Platin:** Tâm đo của nhiệt trở platin trong khoảng $-200^\circ C \div 650^\circ C$, độ phân giải có thể đến $0,1^\circ C$ và quan hệ điện trở / nhiệt độ khá tuyến tính
(Xem data sheet file RTD-PT100 hãng Omega)

Biểu thức quan hệ điện trở / nhiệt độ của nhiệt trở platin:

$$R(T) = R_o [1+AT+BT^2+C(T-100)T^3] \quad (T=0^\circ\text{C}) \quad (1.29)$$

Trong đó: $A= 3,90802 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$

$$B = -5,80195 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}^2$$

$$C = -4,27350 \times 10^{-12}/^\circ\text{C}^4 \text{ với } T < 0^\circ\text{C} \text{ và } C= 0 \text{ khi } T > 0^\circ\text{C}$$

$$R_o: \text{điện trở ở } T = 0^\circ\text{C}$$

Trong thực tế người ta gọi các loại điện trở Pt50,Pt75,Pt100 tương ứng $R_o = 50\Omega$, $R_o=75\Omega$,

$R_o = 100\Omega$,đặt tại nhiệt độ $T = 0^\circ\text{C}$.

Trường hợp nhiệt độ thấp $T \leq 100^\circ\text{C}$, $A \gg B$, $C=0$:

$$\text{Ta có: } R(T) = R_o[1+3,9 \times 10^{-3}T] \quad (1.30)$$

2-Nhiệt trở Nikel: Tâm đo nhiệt trở Nikel trong khoảng từ $-60^\circ\text{C} \div 200^\circ\text{C}$, độ nhạy cao hơn so với Pt.

Biểu thức quan hệ điện trở / nhiệt độ của nhiệt trở Nikel:

$$R(T)=R_o [1+AT+BT^2], \quad (T=^\circ\text{C}) \quad (1.31)$$

Trong đó: $A=5,49167 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$

$$B = 6,666667 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}^2$$

❖ **Hệ số nhiệt:** Khi cho nhiệt độ biến thiên 1 lượng ΔT xung quanh T , ta có quan hệ điện trở / nhiệt độ có thể biểu diễn như sau:

$$R(T+\Delta T)=R(T)(1+\alpha_R \times \Delta T) \quad (1.32)$$

Với α_R là hệ số nhiệt ở nhiệt độ T , suy ra:

$$\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT} \quad (1.33)$$

Từ (1.29) và (1.30), hệ số nhiệt điện trở Pt và Ni ở 0°C là:

$$\text{Pt : } \alpha_R = 3,9 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$$

$$\text{Ni: } \alpha_R = 5,49 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$$

❖ **Bù điện trở dây dẫn:**

Trong hầu hết các trường hợp, mạch tạo dòng/ áp ra từ cảm biến nhiệt điện trở kim loại thường là mạch cầu. Khi đặt cảm biến nhiệt điện trở xa mạch, cần phải có dây dẫn đủ dài. Lúc này điện trở của dây dẫn R_f sẽ tham gia vào thành phần của nhánh mạch làm cầu cân bằng, và khi nhiệt độ thay đổi điện trở của dây dẫn R_f cũng thay đổi 1 lượng ΔR_f có thể so sánh với lượng biến thiên ΔR_T của cảm biến, gây ra sai số.

Xét mạch cầu wheatstone như hình 1.18:

$$\text{Cho } R_1=R_3=R_4=R_o$$

$$R_2 = R_3 = R_o + \Delta R_T$$

$$\text{Với } R_o: \text{điện trở tại } 0^\circ\text{C}$$

$$R_T: \text{điện trở tại } T^\circ\text{C}$$

Dễ dàng tìm được:

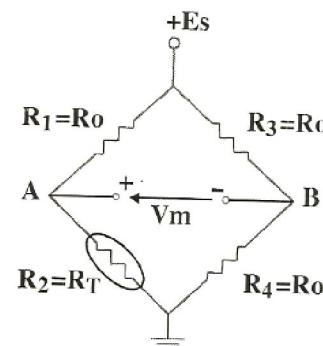
$$V_m = \frac{E_s}{4R_0} \frac{\Delta R_T}{1 + \frac{\Delta R_T}{2R_0}} \quad (1.35)$$

Thông thường: $2R_o \gg \Delta R_T$

Suy ra:

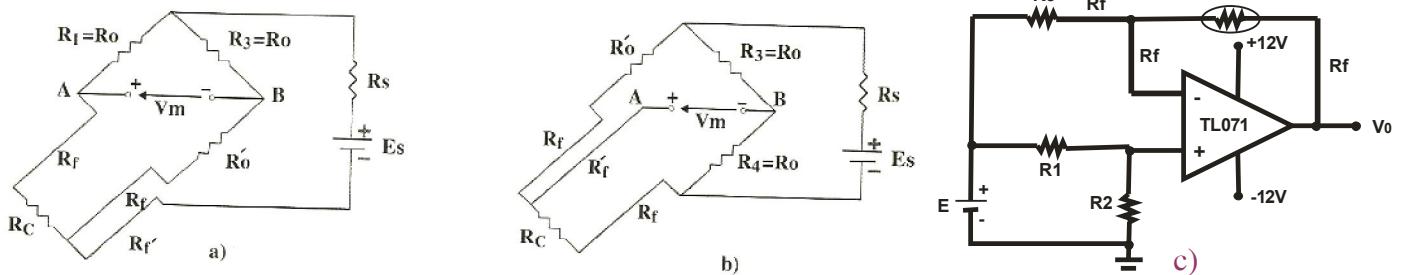
$$V_m \approx \frac{E_s}{4} \frac{\Delta R_T}{R_0} \quad (1.36)$$

Trong mạch bù dây, các dây dẫn có điện trở $R_f = R_{f0} + \Delta R_f$ có chiều dài bằng nhau và được đặt tham gia như một điện trở trong các nhánh của cầu.



Hình 1.18: R_T mắc trên cầu Wheatstone

1- Mạch bù dây 3 dây:



Hình 1.19: a) – Mạch bù 3 dây dây thứ 3 nối nguồn

b) – Mạch bù 3 dây dây thứ 3 nối ngõ ra

c) – Mạch khuếch đại cầu OPAMP sử dụng RTD 3 dây

Trong mạch bù 3 dây hình 1.19a, dây thứ 3 $R_f \ll R_s$ nội trở nguồn nên sẽ không ảnh hưởng.

Ta có: $R_1=R_o$, $R_3=R_o$,

$$R_2 = R_C + R_{fo}, R_4 = R'_o + R_{fo}, \quad (1.37)$$

Chọn R_1, R_2, R_3, R_4 thoả điều kiện cầu cân bằng.

Mạch bù 3 dây có dây thứ 3 nối với ngõ ra hình 1.19b có $R'_f \ll$ tổng trở ngõ vào tầng sau tại 2 điểm AB nên R'_f không ảnh hưởng.

Ta có: $R_1=R'_o + R_{fo}$, $R_3=R_o$

$$R_2 = R_C + R_{fo}, R_4 = R_o \quad (1.38)$$

Chọn R_1, R_2, R_3, R_4 thoả điều kiện cầu cân bằng.

Trong mạch hình 1.19c sử dụng khuếch đại cầu(xem mục 1.10) cho RTD 3dây.

Chọn $R_1=R_2=R_3=R_o, R_C=R_0+\Delta R_T$, đoạn dây thứ 3 R_f nối đến ngõ vào V_i^- OPAMP có tổng trở vào rất lớn nên có thể bỏ qua.

Với $R_0 \gg R_f$, ta có công thức(bài tập):

$$\frac{V_0}{E} \approx \frac{-\Delta R_T}{2R_0} \quad (1.38b)$$

Loại được ảnh hưởng R_f .

2- Mạch bù dây 02 dây :

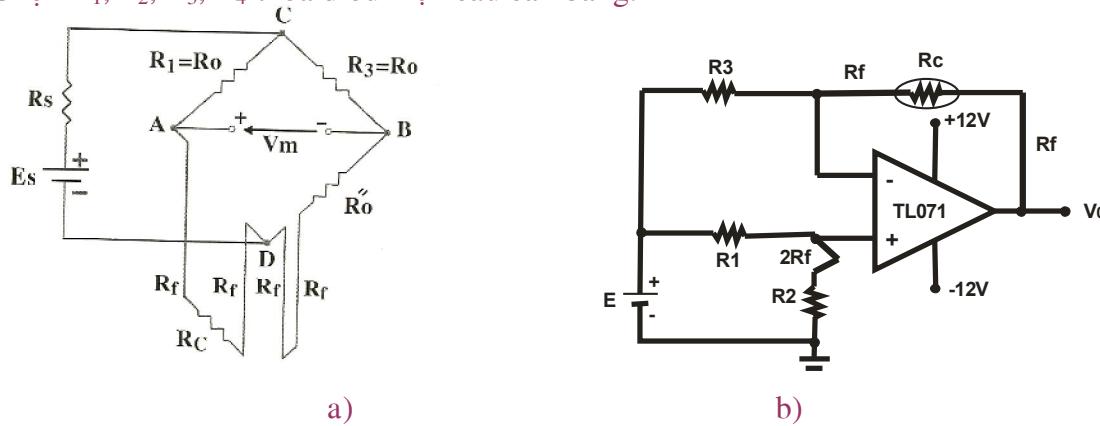
Hình 1.20a minh họa mạch bù dây 02 dây.

Ta có: $R_1=R_o$, $R_3=R_o$

$$(1.39)$$

$$R_2 = R_C + 2R_{fo}, R_4 = R''_o + 2R_{fo}$$

Chọn R_1, R_2, R_3, R_4 thoả điều kiện cầu cân bằng.



Hình 1.20: Mạch bù dây 2 dây

Hình 1.20b là mạch khuếch đại cầu cho RTD 2 dây. Ta nối thêm đoạn dây $2R_f$ nối tiếp với R_2 .

Chọn $R_1=R_2=R_3=R_o, R_C=R_0+\Delta R_T$, ta có công thức(bài tập) như (1.38b).

Mach bù dây 4 dây:

Trong mạch bù dây 4 dây hình 1.21, ta sẽ xác định được giá trị của R_C theo điều kiện cân bằng tuỳ thuộc vào vị trí kết nối các nhánh.

Câu cân bằng lần 1: kết nối A với a, D với f, F với b ,chỉnh $R_1 = R'$ để câu cân bằng ta có:

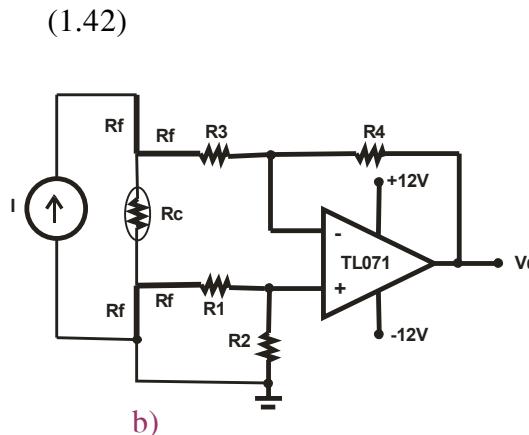
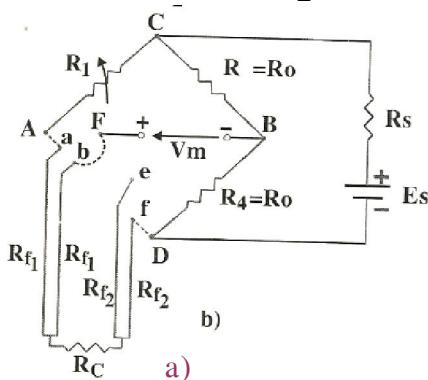
$$(R'_1 + R_{f1}).R_o = (R_C + R_{f2}).R_o \quad (1.40)$$

Câu cân bằng lần 2: kết nối A với f, D với a, F với e, chỉnh $R_1 = R''_1$ để cầu cân bằng ta có:

$$(R''_1 + R_{f2}) \cdot R_o = (R_c + R_{f1}) \cdot R_o \quad (1.41)$$

Từ (1.40) và (1.41) suy ra :

$$R_c = \frac{R'_1 + R''_1}{2} \quad (1.42)$$



Hình 1.21: Mạch bù dây 4 dây

Trong hình 1.21b, nguồn dòng I bơm vào RTD tạo áp IRc trên Rc.

Chọn $R_1=R_2=R_3=R_0$, $R_C=R_0+\Delta R_T$, ta có công thức (bài tập):

$$V_0 = -I \cdot R_0 - I \cdot \Delta R_T \quad (1.42b)$$

Điện áp ngõ ra có lương offset $-I_0 \cdot R_0$ khi $T=0$!

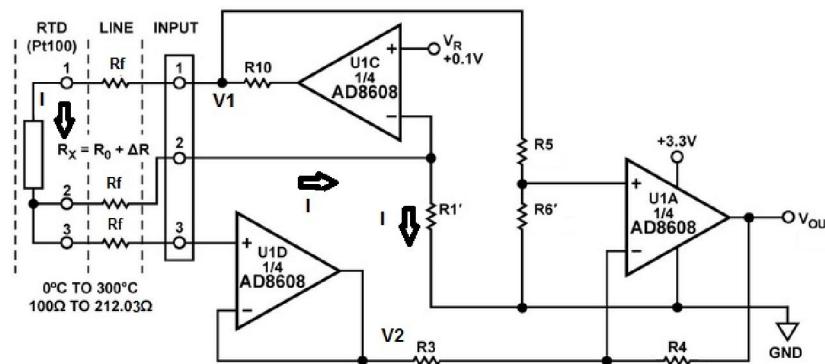
Để tránh ảnh hưởng nhiệt gây ra bởi dòng qua nhiệt trở kim loại, người ta thường phân cực dòng bé, thông thường $<10mA$.

Ví du 1.5:

Mạch khuếch đại xử lý tín hiệu hình vd1.5a với ngõ vào là RTD Pt100 cho ngõ ra V_0 hay đổi tuyến tính với biến thiên điện trở theo nhiệt độ.

- a) Tìm công thức quan hệ giữa V_0 và $R_x=R_0+\Delta R$
 - b) Giả sử RTD có biểu thức gần tuyến tính $R_x=100(1+3.9 \times 10^{-3}T)(\Omega, {}^\circ C)$. Tìm quan hệ V_0 theo nhiệt độ trong tầm từ $0 \div 300 {}^\circ C$.
 - c) So sánh kết quả b) với kết quả tính theo giá trị RTD Pt100 theo PL1.1.

Giải:



Hình vd1.5a

- a) Hoạt động của sơ đồ hình vd1.5a:
 - Sử dụng RTD Pt100 3 dây

- U1C tạo nguồn dòng $I=V_R/R_1$ cố định bơm qua RTD Rx
- V1 lấy áp trên Rx qua cầu phân áp đưa vào ngõ V_i^+ U1A
- U1D mắc theo điện áp lấy áp trên Rf và R1 qua chân 3 Rx tạo thành V2 đưa vào ngõ V_i^- U1A để triệt ảnh hưởng của Rf và giảm offset ngõ ra khi $T=0^\circ C$.
- U1A mắc theo khuếch đại cầu tạo áp ngõ ra V_{out} tỉ lệ tuyến tính với biến thiên Rx theo T.

Ta có: $I=V_R/R_1$

$$V_1 = (2R_f + R_x + R_1) \times \frac{V_R}{R_1}$$

$$V_2 = (R_f + R_1) \times \frac{V_R}{R_1}$$

$$V_{out} = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \times (2R_f + R_x + R_1) \times \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \times \frac{V_R}{R_1} - (R_f + R_1) \times \frac{R_4}{R_3} \times \frac{V_R}{R_1} \quad (\text{vd1.5.1})$$

Để đơn giản chọn $R_5=R_6$, rút gọn (vd1.5.1):

$$V_{out} = \frac{V_R R_x}{2R_1} \times \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) - \frac{R_4}{R_3} \times \frac{V_R}{2} + \frac{V_R}{2} + \frac{V_R R_f}{R_1} \quad (\text{vd1.5.2})$$

Do $R_1 \gg R_f$, nên có thể bỏ qua số hạng cuối. Ta thấy (vd1.5.2) không bị ảnh hưởng bởi Rf.

Đặt $R_x=R_0+\Delta R$ và chọn $R_0=R_1$, đơn giản (vd1.5.2) thành:

$$V_{out} = \frac{V_R}{2R_1} \times \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \times \Delta R + V_R \quad (\text{vd1.5.3})$$

$R_1=R_0=100\Omega$

b) Với $R_x=100(1+3.9 \times 10^{-3}T)(\Omega, {}^\circ C)$, suy ra $\Delta R=0.39T({}^\circ C)$

Chọn $V_R=0.1V$ để $V_{out}(0{}^\circ C)=V_R=0.1V$ tránh lệch offset cao quá do điện áp cấp nguồn $V_{cc}=3.3V$!

Chọn $R_1=100\Omega$

R_5 và R_6 chọn đủ lớn hơn R_x . Chọn $R_5=R_6=2K2$.

R_1 hạn dòng và cách ly ngõ ra U1C với Rx. Chọn $R_1 \gg R_1$, chọn $R_1=1K$.

R_3 và R_4 quyết định HSKĐ ngõ ra. Chọn HSKĐ khoảng 40 lần để $V_{outmax} < V_{cc}=3.3V$.

Chọn $R_3 \approx R_5//R_6$ để bù offset dòng. Chọn $R_3=1K$, suy ra $R_4=39K$.

Từ (vd1.5.3), ta có biểu thức ngõ ra:

$$V_{out} = \frac{0.1}{2.100} \times \left(1 + \frac{39}{1}\right) \times 0.39T + 0.1 = 0.0 = 0.0078T + 0.1(V, {}^\circ C) \quad (\text{vd1.5.4})$$

Với $T=0, V_{out}=0.1V$; $T=300{}^\circ C, V_{out}=2.44V$

c) Theo (vd1.5.2) ta tính $V_{out,tt}$ theo Rx dựa vào bảng PL1.1 với các giá trị tìm được ở trên:

$$V_{out,tt} = 0.02 \cdot R_x - 1.9(V, \Omega) \quad (\text{vd1.5.5})$$

Ta có bảng B1.1 so sánh giá trị V_{out} và $V_{out,tt}$ như sau:

Bảng B1.1:

$T({}^\circ C)$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
$R(\Omega)$	100	107.8	115.54	123.24	130.89	138.5	146.06	153.57	161.05	168.47	175.84	183.17	190.5	197.7	204.9	212
$V_{out}(V)$	0.1	0.256	0.412	0.568	0.724	0.880	1.036	1.192	1.348	1.504	1.660	1.816	1.972	2.128	2.284	2.440
$V_{out,tt}(V)$	0.1	0.256	0.411	0.565	0.718	0.870	1.021	1.171	1.321	1.469	1.617	1.763	1.909	2.054	2.198	2.341
$\epsilon = (V_{out} - V_{out,tt}) / V_{out,tt} * 100$	0	0.08	0.29	0.57	0.86	1.15	1.45	1.76	2.04	2.35	2.67	2.98	3.29	3.6	3.93	4.25

Ta thấy sai số tương đối ϵ khi sử dụng công thức tuyến tính gần đúng (1.30) so với giá trị thực Rx từ bảng PL1.1 tối đa 1.15% ở tầm $T=0 \div 100{}^\circ C$ và lên tới 4.25% ở tầm $300{}^\circ C$!

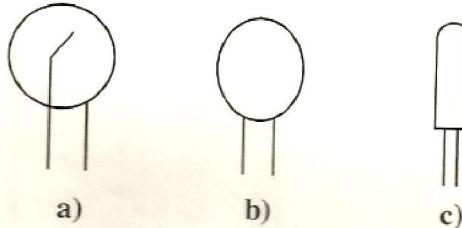
Ta sẽ sử dụng phương án tuyến hóa đặc tuyến RTD Pt100 sẽ phân tích ở mục sau.

1.3.2: Nhiệt trở bán dẫn: (Thermistor)

Nhiệt trở bán dẫn có hệ số nhiệt cao khoảng 10 lần so với nhiệt trở kim loại. Tuy nhiên đặc tính của nhiệt trở bán dẫn phi tuyến nên người ta thường sử dụng nó trong các ứng dụng ổn định phân cực theo nhiệt độ, hoặc chỉ sử dụng đo nhiệt độ trong một tầm hẹp.

Cấu tạo nhiệt trở bán dẫn gồm các hợp kim bán dẫn như MgO, MgAl₂O₄, Mn₂O₃, Fe₃O₄, CO₂O₃, NiO, ZnTiO₄. Nhiệt trở bán dẫn có hệ số nhiệt âm (NTC), hoạt động theo nguyên lý tăng hụt dãn khi nhiệt độ tăng nên điện trở giảm. Tầm làm việc của nhiệt trở bán dẫn từ 1-300°C.

Hình 1.22 minh họa các dạng vỏ ngoài thường gặp của nhiệt trở bán dẫn.



Hình 1.22: a) Dạng đĩa b) Dạng hạt đậu c) Dạng ống trụ

Biểu thức quan hệ điện trở/ nhiệt độ của điện trở bán dẫn:

$$R_T = R_0 \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (1.43)$$

Trong đó: R₀ điện trở ở nhiệt độ T₀(°K), R_T điện trở ở nhiệt độ T

B hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ thường có giá trị từ 3000-5000°K

Hệ số nhiệt:

$$\alpha_R = -B/T^2 \quad (1.44)$$

Ta có thể viết lại (1.43) theo phương trình Steinhart–Hart :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R_T}{R_0} \right) \quad (1.44a)$$

(1.44a) thể hiện quan hệ tuyến tính giữa 1/T và lnR_T thường dùng để biểu diễn đặc tuyến của thermistor theo nhiệt độ.

(Xem data sheet thermistor trong file NTC-TTC3)

❖ Tuyến tính hóa đặc tính phi tuyến của nhiệt trở:

Phần này trình bày các phương pháp đơn giản và thông dụng để tuyến tính hóa các đặc tính phi tuyến của nhiệt trở như nhiệt trở bán dẫn, nhiệt trở Nikel. Tuy nhiên vẫn có thể áp dụng để tuyến tính hóa các đặc tính phi tuyến của các cảm biến điện trở khác.

Nguyên tắc chung để tuyến tính hóa là mắc thêm một điện trở R_l, gọi là điện trở tuyến tính hóa song song hoặc nối tiếp với cảm biến. Chọn Ti là điểm tuyến tính sao cho trong tầm đo đã xác định từ T₁ đến T₂, đặc tính đạt được là tuyến tính nhất. Thông thường điểm chọn Ti là điểm uốn của đặc tuyến ban đầu. Gọi V_m là điện áp ngõ ra mạch chuyển đổi sang điện áp, yêu cầu tuyến tính thoả điều kiện:

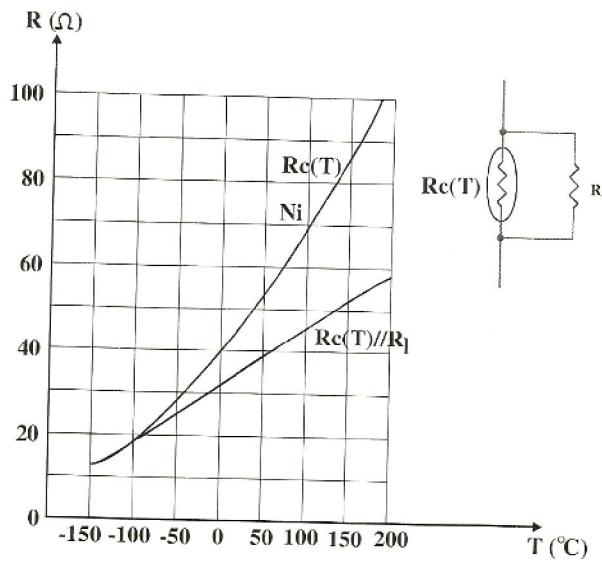
$$\left[\frac{d^2V_m}{dT^2} \right]_{T=T_i} = 0 \quad (1.45)$$

Từ (1.45) ta xác định được giá trị R_l.

1- Điện trở R_l mắc song song:

Do điện áp trên R(T) tỉ lệ với R(T) nên ta thay (1.45) bằng cách tính $\left[\frac{d^2R(T)}{dT^2} \right]_{T=T_i} = 0$

$$\text{Ta có: } R(T) = \frac{R_l R_c(T)}{R_l + R_c(T)}$$



Hình 1.23: Tuyến tính hóa điện trở Ni 50Ω ở 25°C

Cho: $\left[\frac{d^2 R(T)}{dT^2} \right]_{T=T_i} = 0$

Suy ra: $R_l = \frac{2R_c'^2(T_i)}{R_c''(T_i)} - R_c(T_i)$ (1.46)

Với $(dR_c/dT) = R'_c$ và $(d^2R_c/dT^2) = R''_c$

Trường hợp nhiệt trở kim loại:

$$R_c(T) = R_{co} (1 + AT + BT^2)$$

$$R_l = R_{co} \frac{(A + 2BT_i)^2}{B} - R_c(T_i) \quad (1.47)$$

Trường hợp Thermistor:

$$R_c(T) = R_{co} \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

$$R_l = R_c(T_i) \frac{B - 2T_i}{B + 2T_i} \quad (1.48)$$

Xét đặc tuyến như hình 1.24:

Ở T_1 : $R(T_1) = \frac{R_1 R_c(T_1)}{R_1 + R_c(T_1)}$ (1.49)

Ở T_2 : $R(T_2) = \frac{R_1 R_c(T_2)}{R_1 + R_c(T_2)}$ (1.50)

Chọn $T_M = (T_1 + T_2)/2$

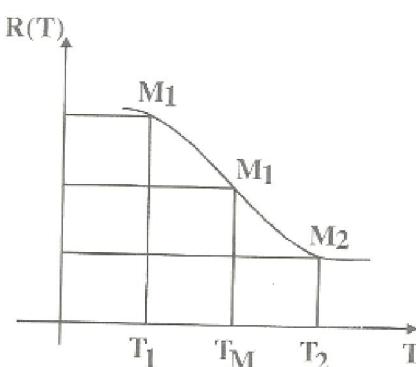
$$R(T_M) = \frac{R_1 R_c(T_M)}{R_1 + R_c(T_M)} = \frac{R(T_1) + R(T_2)}{2} \quad (1.51)$$

Suy ra: $R_l = \frac{R_c(T_M)[R_c(T_1) + R_c(T_2)] - 2R_c(T_1)R_c(T_2)}{R_c(T_1) + R_c(T_2) - 2R_c(T_M)}$ (1.52)

2- Tuyến tính hóa bằng R_l mắc nối tiếp:

Ta có: $V_m = \frac{R_c(T)}{R_1 + R_c(T)} E_s$

Hình 1.24: Nguyên tắc tuyến tính hóa 3 điểm nhiệt độ.



$$\left[\frac{d^2V_m}{dT^2} \right]_{T=T_i} = 0$$

$$R_l = \frac{2R_c'(T_i)}{R_c''(T_i)} - R_c(T_i) \quad (1.53)$$

Một phương pháp tuyến tính hóa bằng cách mắc điện trở nối tiếp có thể áp dụng cho nhiệt trở kim loại như sau:

Cảm biến đo nhiệt có biểu thức:

$$R_c(T) = R_{co}(1+A_c T+B_c T^2)$$

Cảm biến tuyến tính hóa có biểu thức:

$$R_s(T) = R_{so}(1+A_s T+B_s T^2)$$

Điện trở tổng:

$$R(T) = R_{co} + R_{so} + (R_{co}A_c + R_{so}A_s)T + (R_{co}B_c + R_{so}B_s)T^2 \quad (1.54)$$

R(T) tuyến tính thoả điều kiện:

$$R_{co}B_c = -R_{so}B_s$$

Thông thường người ta sử dụng Pt mắc nối tiếp với Ni để tuyến tính hóa.

Ví dụ 1.6: Cho thermistor mã số TTC3A102X39D có các thông số: $R_c(T=25^\circ\text{C})=1\text{K}$, $B(T=25/85)=3935$.

- a) Viết lại phương trình hàm mũ $R_c(T)$
- b) Lập bảng tính các giá trị $R_c(T)$ trong tầm từ $20\text{--}40^\circ\text{C}$ mỗi bước tăng 2°C
- c) Tuyến tính hóa $R_c(T)$ theo phương pháp mắc điện trở song song
- d) Tuyến tính hóa $R_c(T)$ theo phương pháp mắc điện trở nối tiếp.
- e) Tuyến tính hóa $R_c(T)$ theo phương pháp 3 điểm.

Giải:

a) Theo (1.34): $R_c(T) = 1000 \exp\left(3935\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298}\right)\right) (\Omega, ^\circ\text{K})$

b) Bảng giá trị $R_c(T)$ theo T:

Bảng B1.2:

T($^\circ\text{C}$)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T($^\circ\text{K}$)	293	295	297	299	301	303	305	307	309	311	313
$R_c(T)(\Omega)$	1252.7	1144	1045.5	956.8	876.68	804.21	738.56	679.02	624.96	575.82	531.1

c) Chọn $T_i=30^\circ\text{C}$, theo (1.48) giá trị điện trở tuyến tính hóa song song được tính:

$$R_l = 804.21 \frac{3935 - 303}{3935 + 303} = 589.57\Omega \quad (\text{vd1.6.1})$$

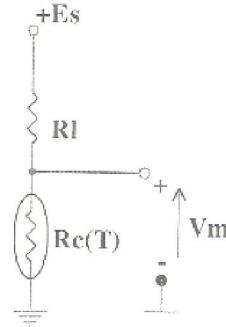
Ta có bảng B1.3 so sánh sai số giữa $R(T)=R_c(T)/R_l$ và $R_{tt}(T)$ được tuyến tính hóa từ hai điểm $T=20^\circ\text{C}$ và $T=40^\circ\text{C}$ qua phương trình tuyến tính hóa:

$$R_{tt}(T) = -6.075T + 522.4 \quad (\Omega, ^\circ\text{C}) \quad (\text{vd1.6.2})$$

Sai số tương đối $\varepsilon=0.11\%$ cao nhất ở vùng 36°C

Bảng B1.3:

T($^\circ\text{C}$)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T($^\circ\text{K}$)	293	295	297	299	301	303	305	307	309	311	313
$R_c(T)(\Omega)$	1252.7	1144	1045.5	956.8	876.68	804.21	738.56	679.02	624.96	575.82	531.1
$R(T)(\Omega)$	400.9	389	376.98	364.79	352.51	340.18	327.85	315.57	303.37	291.31	279.4
$R_{tt}(T)(\Omega)$	400.9	388.8	376.6	364.45	352.3	340.15	328	315.85	303.7	291.55	279.4
$\varepsilon = (R_{tt}-R)*100/R$	0	-0.07	-0.1	-0.09	-0.06	-0.01	0.05	0.09	0.11	0.08	0



Hình 1.25 Rl mắc nối tiếp

- d) Chọn $T_i=30^\circ C$, áp dụng (1.53) tính R_i tuyến tính hóa nối tiếp, ta cũng có công thức tính R_i như (1.48): $R_i=589.57\Omega$

Ta có bảng B1.4 so sánh sai số giữa $V_m(T)/E_s=R_c(T)/(R_i+R_c(T))$ và $V_{mtt}(T)$ được tuyến tính hóa từ hai điểm $T=20^\circ C$ và $T=40^\circ C$ qua phương trình tuyến tính hóa:

$$V_{mtt}(T)/E_s = -0.01T + 0.886 \quad (\Omega, ^\circ C) \quad (vd1.6.3)$$

Sai số tương đối cũng giống như bảng B1.3.

Bảng B1.4:

$T(^{\circ}C)$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$T(^{\circ}K)$	293	295	297	299	301	303	305	307	309	311	313
$R_c(T)(\Omega)$	1252.7	1144	1045.5	956.8	876.68	804.21	738.56	679.02	624.96	575.82	531.1
$V_1=V_m/E_s(V)$	0.68	0.66	0.6394	0.6187	0.5979	0.577	0.5561	0.5353	0.5146	0.4941	0.4739
$V_2=V_{mtt}/E_s(V)$	0.68	0.659	0.6388	0.6182	0.5976	0.577	0.5563	0.5357	0.5151	0.4945	0.4739
$\epsilon=(V_2-V_1)*100/V_1$	0	-0.07	-0.1	-0.09	-0.06	-0.01	0.05	0.09	0.11	0.08	0

- e) Trường hợp tuyến tính hóa 3 điểm mắc R_i song song $R_c(T)$, áp dụng (1.52) tính R_i :

Chọn $T_M=30^\circ C, T_1=20^\circ C, T_2=40^\circ C$, tính được $R_i=592.42\Omega$.

Ta có bảng B1.5 so sánh sai số giữa $R(T)=R_c(T)//R_i$ và $R_{tt}(T)$ được tuyến tính hóa từ hai điểm $T=20^\circ C$ và $T=40^\circ C$ qua phương trình tuyến tính hóa:

$$R_{tt}(T)=-6.109T+524.4 \quad (\Omega, ^\circ C) \quad (vd1.6.4)$$

Sai số tương đối thấp nhất ở vùng $T_M=30^\circ C$

Bảng B1.5:

$T(^{\circ}C)$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$T(^{\circ}K)$	293	295	297	299	301	303	305	307	309	311	313
$R_c(T)(\Omega)$	1252.7	1144	1045.5	956.8	876.68	804.21	738.56	679.02	624.96	575.82	531.1
$R(T)(\Omega)$	402.21	390.3	378.14	365.88	353.52	341.13	328.73	316.38	304.13	292	280.04
$R_{tt}(T)(\Omega)$	402.21	390	377.78	365.56	353.34	341.13	328.91	316.69	304.47	292.26	280.04
$\epsilon=(R_{tt}-R)*100/R$	0	-0.07	-0.1	-0.09	-0.05	0	0.05	0.1	0.11	0.09	0

Trong thực tế, tùy vào yêu cầu thiết kế mạch và xác định cấp chính xác của tầm đo, ta sẽ chọn phương pháp tuyến tính hóa nối tiếp hay song song, điểm uốn và điểm tuyến tính.

❖ Tuyến tính hóa bằng phương pháp lượng tử hóa:

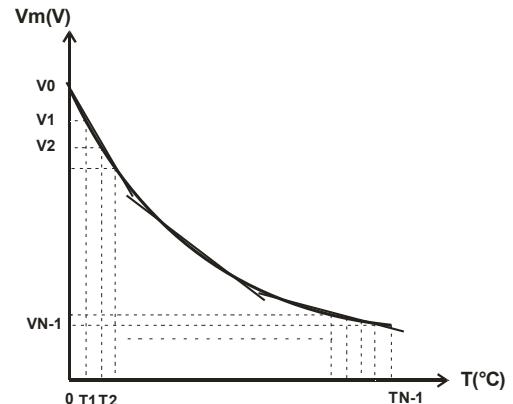
Phương pháp tuyến tính hóa ở trên được áp dụng để tạo ra điện áp hoặc dòng điện có quan hệ tỉ lệ tuyến tính với đại lượng cần đo, thích hợp với xử lý analog, vì ta chỉ cần biết 2 giá trị sẽ dễ dàng suy ra các giá trị còn lại theo quan hệ tuyến tính. Mạch xử lý tín hiệu tiếp sau đó chỉ là mạch khuếch đại.

Tuyến tính hóa bằng phương pháp lượng tử hóa rất thích hợp cho các quan hệ phi tuyến và xử lý số.

Giả sử ta có hàm quan hệ $V_m(T)$ như hình 1.25a là hàm phi tuyến.

Ta chia trục T thành N giá trị rời rạc từ $0 \div T_{N-1}$, tương ứng sẽ có N giá trị rời rạc $V_0 \div V_{N-1}$.

Nếu N đủ lớn và các đoạn rời rạc bằng nhau, lúc đó đặc tuyến V_m xem như chia thành các đoạn thẳng rất bé có V_m tỉ lệ tuyến tính với T . Từ đó ta có thể chuyển giá trị V_m qua ADC thành giá trị số tương ứng. ADC n bit phải thỏa điều kiện $2^n \geq N$. Như vậy N càng lớn phép chuyển đổi càng chính xác. Lưu ý là bản thân phép lượng tử hóa có sai số là $\pm 1/2LSB$. Trong trường hợp đặc tuyến phi tuyến hoặc cho sai số cao trong vùng nào đó, ta có thể chia đặc tuyến thành nhiều vùng tuyến tính có độ dốc



Hình 1.25a: Lượng tử hóa $V_m(T)$

khác nhau,như trong hình 1.25a ta phân thành 3 vùng tuyến tính có độ dốc khác nhau.Độ dốc của từng vùng sẽ thể hiện qua hệ số chuyển đổi AD bằng phần cứng hoặc phần mềm!

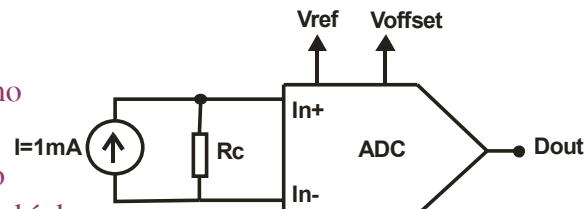
Nếu độ phân giải ADC khá lớn và chấp nhận sai số cho phép,ta có thể thiết lập bảng tra ánh xạ quan hệ giữa giá trị số ngõ ra ADC và giá trị đại lượng đo,ghi giá trị bảng vào bộ nhớ và dùng VXL để truy xuất bảng tương ứng.

Ví dụ 1.7: Từ bảng B1.2 vd1.6,chọn số bit tối thiểu của ADC và xây dựng bảng tra tương ứng giá trị nhiệt độ theo giá trị số ở ngõ ra ADC.

Giải:

Hình vd1.7 là sơ đồ mạch chuyển đổi AD cho ngõ ra Dout tỉ lệ với điện áp vào $I_x R_c$

Để đơn giản ta chọn nguồn dòng $I=1\text{mA}$ bơm vào thermistor R_c .Như vậy giá trị $R_c(T)$ trong bảng B1.2 chính là giá trị điện áp V_{in} ngõ vào ADC(mV)



Hình vd1.7

Bảng B1.2:

T(°C)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
T(K)	293	295	297	299	301	303	305	307	309	311	313
Rc(T)(Ω)	1252.7	1144	1045.5	956.8	876.68	804.21	738.56	679.02	624.96	575.82	531.1

Từ bảng B1.2,Vinmax=1252.7mV ứng với T=20°C.Vinmin=531.1mV ứng với T=40°C.

Độ phân giải bé nhất tại $38 \pm 40^\circ\text{C}$ là : $1\text{LSB}=575.82-531.1=44.72\text{mV}$.

Do đó chọn $V_{ref} \geq Vin_{max}$.Chọn $V_{ref}=1.3\text{V}$,chọn $V_{offset}=531.1\text{mV}$ để chuyển $Dout=0$ ứng với $Vin=531.1\text{mV}$ tại $T=40^\circ\text{C}$.

Số bước chuyển đổi AD tính theo V_{ref} và độ phân giải: $M \geq V_{ref}/1\text{LSB}=1300/44.72\text{mV}=29$

Suy ra phải chọn số bit ADC $n=5$.Ta có $2^5=32 >$ số bước lượng tử hóa $N=11$ nên thỏa yêu cầu.

Ta có công thức chuyển đổi AD:

$$D_{out} = \frac{V_{ref}}{2^n} (V_{in} - V_{offset}) \quad (\text{vd1.7.1})$$

$$D_{out} = 40.63V_{in} (\text{mV})$$

Độ phân giải 1LSB=40.63mV

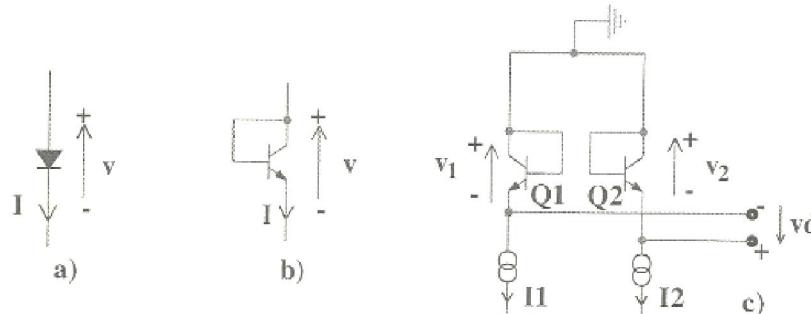
Bảng 1.6:

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vin(V)	531.1	571.7	612.36	652.99	693.62	734.25	774.88	815.51	856.14	896.77	937.4	978.03	1018.7	1059.3	1099.9	1140.6	1181.2	1221.8	1262.4
Dout	00000	00001	00010	00011	00100	00101	00110	00111	01000	01001	01010	01011	01100	01101	01110	01111	10000	10001	10010
T(°C)	40	38	36	34	34	32	30	30	28	28	26	26	24	24	24	22	22	20	20

Bảng B1.6 được thiết lập theo Vin với mỗi bước tăng 1LSB và giá trị Dout tương ứng.Giá trị T được gán dựa vào Bảng B1.2 sao cho sai số bé nhất!Từ bảng B1.6 dễ dàng xây dựng bảng tra T(°C) theo giá trị Dout.

1.3.3: Cảm biến nhiệt diode và transistor:

Diode hoặc BJT nối B và C làm việc như diode, khi phân cực thuận có một dòng điện cố định I, điện áp phân cực thuận v trên diode là hàm thay đổi theo nhiệt độ.



Hình 1.26 : Cảm biến nhiệt tiếp xúc P- N

a) Diode

b) BJT mắc nối tiếp như diode

c) Cặp BJT vi sai mắc như diode

Biểu thức dòng điện thuận qua diode:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qv}{KT}\right) - 1 \right] \quad (1.55)$$

Do $I \gg I_0$ nên:

$$I \approx I_0 \exp\left(\frac{qv}{KT}\right) \quad (1.56)$$

$$\text{Trong đó: } I_0 = CT^m \exp\left(\frac{-qv_\Phi}{KT}\right) \quad (1.57)$$

là dòng điện ngược

$v_\Phi = 1,12$ V đối với Si

$m=3$

C hằng số phụ thuộc vào hình dạng tiếp xúc

$q=1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

k hằng số Boltzman

T: $^\circ\text{K}$

Biểu diễn sang điện áp:

$$v = v_\Phi + \frac{KT}{q} \ln I - \frac{KT}{q} m \ln T - \frac{KT}{q} \ln C \quad (1.58)$$

Hằng số C và I có thể loại trừ nếu ta biết được điện áp v_1 tại nhiệt độ T_1 từ đó:

$$v = v_1 \frac{T}{T_1} + v_\Phi \left(1 - \frac{T}{T_1} \right) - m \frac{KT}{q} \ln \frac{T}{T_1} \quad (1.59)$$

Từ (1.59), ta xác định độ nhạy về nhiệt:

$$\frac{dv}{dT} = (v_1 - v_\Phi) \frac{1}{T_1} - m \frac{KT}{q} \left(1 + \ln \frac{T}{T_1} \right) \quad (1.60)$$

Viết dưới dạng hàm theo v:

$$\frac{dv}{dT} = -m \frac{K}{q} + (v - v_\Phi) \frac{1}{T} \quad (1.61)$$

Trong vùng nhiệt độ làm việc của bán dẫn $-50^\circ\text{C} \div +150^\circ\text{C}$ có thể bỏ qua số hạng thứ 2, tìm được:

$$\frac{dv}{dT} = -2mV / ^\circ\text{C} \quad (1.62)$$

Để loại trừ ảnh hưởng theo nhiệt độ của dòng nghịch I_0 , ta mắc mạch như hình 1.26c ta có:

$$I_1 = I_0 \exp \frac{qv_1}{KT} \rightarrow v_1 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_2 = I_0 \exp \frac{qv_2}{KT} \rightarrow v_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_2}{I_0}$$

Điện áp vi sai ngõ ra:

$$v_d = v_1 - v_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{KT}{q} \ln n \quad (1.63)$$

Với n hệ số nhân các nguồn dòng

Thay các giá trị vào:

$$v_d = 86,56 \times T \ln n; (v_d : \mu\text{V}, T : ^\circ\text{K}) \quad (1.64)$$

Giả sử chọn $n=2 \rightarrow V_d = 59,73$ T.

Điện áp vi sai ra tuyến tính với nhiệt độ

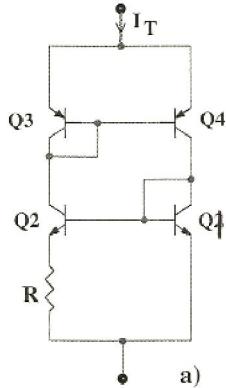
❖ **Các cảm biến nhiệt sử dụng vi mạch:**

1- Vi mạch cảm biến nhiệt nguồn dòng AD590:

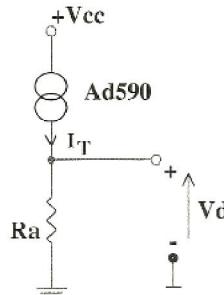
Vi mạch AD590 là nguồn dòng cảm biến nhiệt, tuyến tính. Mạch nguyên lý đơn giản A090 như hình 1.27a.

Dòng qua nhánh Q_3Q_2 và Q_4Q_1 là $I_T/2$, điện áp BE Q_1 :

$$V_{BE1} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_T}{2I_0}\right)$$



a)



b)

Hình 1.27: a) Mạch nguyên lý AD590

b) Ứng dụng cơ bản nguồn dòng AD590

Tương tự dòng $I_T/2$ qua Q_3Q_2 . Trong thực tế Q_2 là 8 transistor mắc song song, các BJT này giống loại Q_1 nên dòng qua mỗi BJT là $I_T/16$. Điện áp BE mỗi BJT:

$$V_{BE2} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_T}{16I_0}\right)$$

Từ đó điện áp vi sai ngõ ra:

$$V_{BE1} - V_{BE2} = \frac{KT}{q} \ln 8$$

$$\text{Và: } V_{BE1} - V_{BE2} = \frac{RI_T}{2}$$

$$\text{Suy ra: } I_T = \frac{2}{R} \frac{KT}{q} \ln 8$$

Nếu chọn: $R = 358 \Omega$:

$$\frac{I_T}{T} = 1 \mu A / ^\circ K \quad (1.65)$$

Ở hình 1.27b, dòng I_T được chuyển thành áp:

$$V_d = I_T \times R_a \quad \text{hay} \quad V_d = T \times R_a \quad (T = {}^\circ K, V = \mu V, R = \Omega)$$

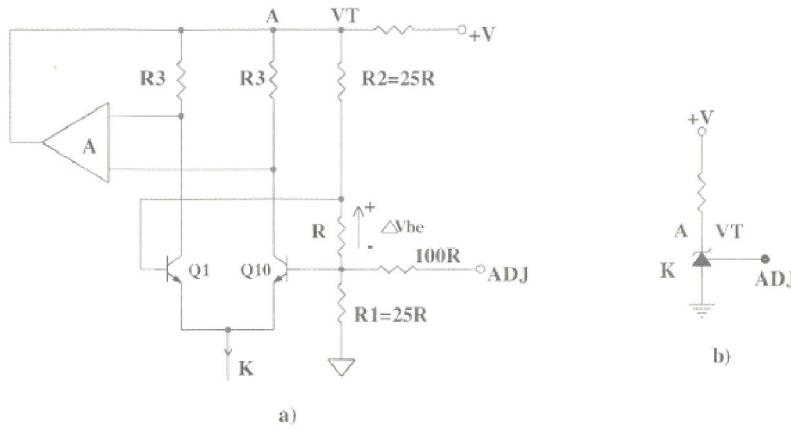
2- Vi mạch cảm biến nhiệt tạo áp LM 335:

Vi mạch LM335 là cảm biến nhiệt tuyến tính làm việc như một diode zener. Mạch nguyên lý cơ bản vi mạch LM335 như hình 1.28a, dòng qua Q_1 và Q_{10} bằng nhau. Thực tế Q_{10} gồm 10 BJT mắc song song, các BJT giống như Q_1 . Từ đó điện áp BE trên Q_1 và mỗi BJT trong Q_{10} là:

$$\Delta V_{be} = \frac{KT}{q} \ln 10$$

$$\Delta V_{be} (\mu V) = 200T$$

Điện ΔV_{be} áp trên R tạo dòng hằng qua nhánh R_2, R, R_1 ; suy ra:



Hình 1.28: a) – Mạch nguyên lý LM335
b) – Ký hiệu và phân cực LM335

$$V_T = (R_1 + R_2 + R) \Delta V_{be} / R$$

Thay các giá trị vào:

$$V_T(\text{mV}) = 10T \quad (\text{T: } ^\circ\text{K}) \quad (1.66)$$

Bộ khuếch đại A ổn định dòng collector qua dòng Q_1 và Q_{10} thông qua hồi tiếp từ áp cực B.

❖ Vi mạch LM335: hoạt động tương tự như vi mạch LM335, nhưng cho điện áp ngõ ra tỉ lệ với $^\circ\text{C}$:

$$V_T(\text{mV}) = 10T \quad (\text{T: } ^\circ\text{C}) \quad (1.66b)$$

❖ **Tham khảo vi mạch DS18B20 cảm biến nhiệt độ ngõ ra tín hiệu số.**

Phần này trình bày tóm tắt cấu hình, hoạt động và giải thuật truy xuất cảm biến nhiệt vi mạch DS18B20 của hãng Dallas. Chi tiết và các hình vẽ tham khảo trong data sheet của vi mạch DS18B20.

DS18B20 là vi mạch cảm biến đo nhiệt độ có dạng vỏ thông dụng 3 chân(TO-92), ngõ ra truyền data nối tiếp 1 dây giá trị nhiệt độ với độ phân giải đến 0.0625°C .

Tóm tắt chức năng của DS18B20 như sau:

- Giao tiếp 1 dây truyền data
- Mỗi vi mạch có mã định danh duy nhất 64 bit onchip
- Có thể kết nối nhiều vi mạch trên cùng 1 đường dây, phân biệt nhờ mã định danh 64 bit của mỗi vi mạch
- Không cần mắc thêm linh kiện ngoài
- Cấp nguồn từ 3 đến 5.5V
- Có thể cấp nguồn ngoài qua điện trở kéo lên nguồn, hoặc cấp nguồn trực tiếp từ đường data(parasite power)
- Tầm đo từ -55 đến $+125^\circ\text{C}$, cấp chính xác đến 0.5°C
- Độ phân giải giá trị nhiệt độ lập trình được từ 9 đến 12 bit
- Cảnh báo quá/dưới nhiệt độ đặt trước lập trình được
- Cấp nguồn:
 - DS18B20 có 2 kiểu cấp nguồn:
 - Cấp nguồn qua đường data, không cần nguồn ngoài(Hình 4 data sheet)
 - Cấp nguồn ngoài qua điện trở kéo lên
 - Mã định danh 64 bit chứa trong ROM(hình 6)
 - Byte thấp 28H chung cho họ vi mạch
 - Sáu byte ứng với 48 bit tiếp theo là mã ROM mỗi vi mạch riêng biệt
 - Byte cao nhất CRC(Cyclic Redundancy Check) chứa kết quả tính toán 56 bit đầu theo một công thức cho trước để đảm bảo chính xác trong quá trình truyền data(tương tự như checksum)

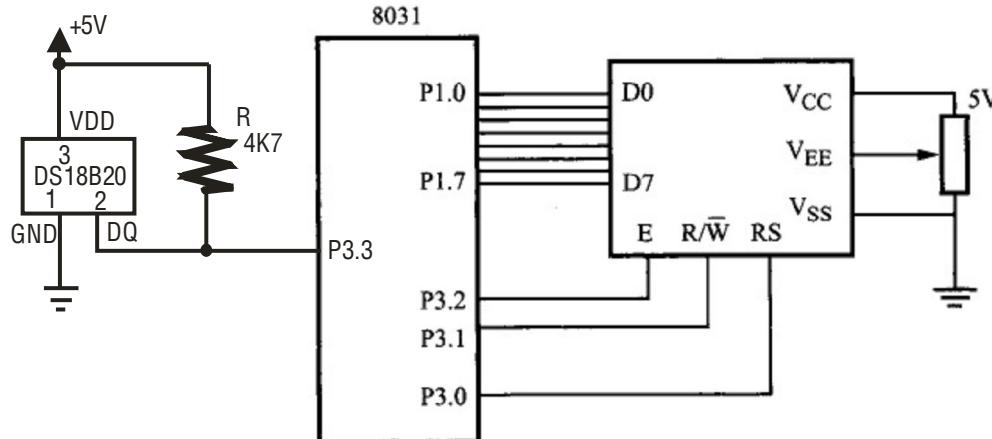
- Bộ nhớ(Hình 7)
 - Thanh ghi nhiệt độ: có 2 byte chỉ giá trị nhiệt độ đo được.Tùy theo khai báo cấu hình,độ phân giải data có thể từ 9 đến 12 bit(xem hình 2 và bảng 1)
 - 9 bit: chỉ từ bit 11 đến bit 3 có nghĩa
 - 10 bit: chỉ từ bit 11 đến bit 2 có nghĩa
 - 11 bit: chỉ từ bit 11 đến bit 1 có nghĩa
 - 12 bit: từ bit 11 đến bit 0 có nghĩa
 - Thanh ghi cấu hình: có 1 byte để cài đặt độ phân giải(số bit) cho thanh ghi nhiệt độ(xem hình 8 và bảng 2)
 - Thanh ghi cảnh báo nhiệt: có 02 byte TL và TH,TL đặt giá trị nhiệt độ thấp,TH đặt giá trị nhiệt độ cao
 - Thanh ghi CRC: chứa kết quả tính toán các bit trong bộ nhớ scratchpad(tương tự như byte CRG trong bộ nhớ ROM code)
- Các lệnh ROM:
 - Search ROM[F0H]: dò tìm xác định các vi mạch cảm biến kết nối trên bus
 - Read ROM[33H]: đọc nội dung ROM
 - Match ROM[55H]: chọn vi mạch cảm biến cần giao tiếp trên bus
 - Skip ROM[CCH]: bỏ qua truy xuất ROM(sử dụng khi chỉ có 1 cảm biến kết nối)
 - Alarm Search[ECH]: dò tìm vi mạch cảm biến nào phát cảnh báo nhiệt
Xem giải thích các lệnh này trong data sheet
- Các lệnh chức năng:
 - Convert T[44H]: yêu cầu cảm biến chuyển đổi để cập nhật giá trị nhiệt độ trong thanh ghi nhiệt độ.Thời gian chuyển đổi tùy vào độ phân giải(xem bảng 2),tối đa là 750ms với 12 bit.Để theo dõi thời gian chuyển đổi,sau khi phát lệnh này,MCU phát lệnh đọc và chờ đáp ứng từ cảm biến,mức 0 là cảm biến còn đang chuyển đổi,mức 1 là cảm biến đã chuyển đổi xong.
 - Write scratchpad[4EH]:cho phép master ghi vào bộ nhớ scratchpad 03 byte tiếp theo,byte đầu tiên là TH cảnh báo quá nhiệt,tiếp đến là byte TL cảnh báo dưới nhiệt,sau cùng là byte cấu hình cài đặt độ phân giải.Các byte được ghi LSB truyền trước.Master phải ghi hết 03 byte trước khi phát lệnh reset.
 - Read scratchpad[BEH]: cho phép master đọc bộ nhớ scratchpad,cảm biến xuất LSB của byte 0 trước và truyền tối đa 9 byte đến byte 8(CRC).Master có thể kết thúc lệnh đọc bất kỳ thời điểm nào bằng cách xuất lệnh reset.
 - Copy scratchpad[48H]: copy 03 byte TH,TL,cấu hình vào bộ nhớ EEPROM(khi mới cấp nguồn EEPROM sẽ ghi ra bộ nhớ scratchpad 03 byte này)
 - Recall E²[B8H]: gọi lại 03 byte TH,TL,cấu hình từ EEPROM nạp vào scratchpad.
 - Read Power supply[B4H]:master phát lệnh này và sau đó là lệnh đọc để xác định kết nối cung cấp cảm biến là nguồn ngoài hay nguồn từ đường data.
Xem chi tiết các lệnh chức năng trong data sheet.
- Truy xuất DS18B20:
Để truy xuất DS18B20,ta cần thực hiện 3 chuỗi lệnh:
 - Khởi động hay reset
 - Lệnh ROM
 - Lệnh chức năng

Xem hình 11 và 12 mô tả chi tiết lưu đồ giải thuật truy xuất DS18B20 và data sheet AN162 hướng dẫn chi tiết giải thuật search ROM.

- Giản đồ định thì:

- Định thì lệnh reset(hình 13): từ giản đồ định thì lệnh reset ta đưa ra giải thuật lệnh reset như sau:
Chọn một đơn vị delay=15μs
 - MCU xuất DQ=0
 - Delay $15 \times 33 = 495 \mu s > t_{min\ reset} = 480 \mu s$
 - Trả lại bus DQ=1
 - Delay $15 \times 5 = 75 \mu s > t_{wait\ presence} = 60 \mu s$
 - Đọc DQ
 - Delay $15 \times 28 = 420 \mu s: 420 + 75 > t_{presence\ min} = 480 \mu s$
 - Return DQ=0: CB yes, DQ=1: CB no
- Định thì khe thời gian ghi(hình 14): khe thời gian ghi mô tả lệnh ghi từng bit cho DS18B20,từ giản đồ định thì ta đưa ra giải thuật lệnh ghi bit như sau:
 - MCU xuất DQ=0
 - NOP delay start slot $> 1 \mu s$
 - MCU xuất write bit ra DQ
 - Delay $15 \times 5 = 75 \mu s > time\ slot\ min = 60 \mu s$
 - DQ=1
 - Return
 - ❖ Lưu ý: MCU ghi LSB trước
- Định thì khe thời gian đọc(hình 14)khe thời gian đọc mô tả lệnh đọc từng bit cho DS18B20,từ giản đồ định thì ta đưa ra giải thuật đọc bit như sau:
 - MCU xuất DQ=0
 - NOP delay start slot $> 1 \mu s$
 - Trả lại bus DQ=1
 - Delay $15 \times 1 = 15 \mu s$ thời gian chờ đọc data
 - Đọc DQ
 - Delay $15 \times 4 = 60 \mu s: 60 + 15 > time\ slot\ min = 60 \mu s$
 - Return
 - ❖ Lưu ý: MCU đọc LSB trước

Ví dụ 1.8: Từ sơ đồ giao tiếp hình vd1.8, viết chương trình đọc giá trị nhiệt độ từ cảm biến DS18B20 hiển thị ra LCD ký tự 16X2 dòng.



Hình vd1.8: Sơ đồ giao tiếp DS18B20 với MCU8031

Giải:

- Khởi động chương trình phát thông điệp MESG1 (kiểm tra cảm biến) ra LCD
- Gọi chương trình con RESET_P tạo xung reset cảm biến và kiểm tra kết nối,nếu không có kết nối trả về cờ C=1 và phát thông điệp MESG2(không có kết nối) ra LCD,quay về khởi động kiểm tra lại kết nối cảm biến
- Nếu C=0,phát thông điệp MESG3(có kết nối),gọi chương trình con RESET_P xuất xung reset và xuất các lệnh SKIP ROM(#0CCH),GHI SRCATCHPAD(#4EH) 03 byte: cảnh báo nhiệt độ cao(TEMP_H=#100),cảnh báo nhiệt độ thấp(TEMP_L=#20),cấu hình ADC 9 bit(CONFIG=#1FH).
- Gọi RESET_P và xuất lệnh CONVERT(#44H) chuyển đổi AD
- Gọi chương trình con READ_BIT chờ đáp ứng trả về C=1
- Gọi RESET_P và xuất lệnh ĐỌC SCRATCHPAD(#0BEH)
- Gọi READ_BYTEx lần lượt đọc byte thấp và byte cao nhiệt độ đo được và gọi RESET_P kết thúc đọc scratchpad
 - Lưu ý: bắt đầu một lệnh mới truy xuất cảm biến là phải xuất xung reset cảm biến qua chương trình con RESET_P.
- Chuyển giá trị nhiệt độ đọc được sang mã ASCII xuất ra LCD qua chương trình con DISP_CHAR cùng với thông điệp MESG4(Nhiệt độ đo được:).
- Trong ví dụ này có sử dụng chương trình giao tiếp LCD 16X2 ký tự,sinh viên tự tìm hiểu thêm.

-----;

```

RS    BIT   P3.0
RW    BIT   P3.1
E     BIT   P3.2
DQ    BIT   P3.3
DBUS EQU  P1
COUNT EQU 32
CONVERT EQU 44H
SKIP_ROM EQU 0CCH
WRITE_SCR EQU 4EH
READ_SCR EQU 0BEH
TEMP_H   EQU 100
TEMP_L   EQU 20
CONFIG    EQU 1FH
ORG 0
JMP MAIN
ORG 0030H
MAIN:  MOV SP,#5FH
        CALL INIT
BATDAU: MOV DPTR,#MESG1
        CLR A
        PUSH ACC
DISP_MSG1: MOVC A,@A+DPTR
            JZ  WAIT_CB
            CALL WAIT
            SETB RS
            CALL OUT
            POP ACC
            INC A
            JMP DISP_MSG

```

```

WAIT_CB: MOV A,#0C0H      ;mã xuống đầu dòng 2
          CALL WAIT       ;chờ cờ BF=0
          CLR RS          ;truy xuất lệnh
          CALL OUT         ;ghi ra LCD
;
          CALL RESET_P    ;tạo xung reset CB
          JNC CONNECT     ;C=0 có kết nối CB
;
          MOV DPTR,#MESG2 ;CB=1 phát thông điệp không kết nối
          CLR A
          PUSH ACC
DISP_MSG2: MOVC A,@A+DPTR
          JZ AGAIN1
          CALL WAIT
          SETB RS
          CALL OUT
          POP ACC
          INC A
          JMP DISP_MSG2
;
AGAIN1:  CALL DELAY_1S
          CALL DELAY_1S
          MOV A,#01H        ;mã xóa LCD
          CALL WAIT       ;chờ cờ BF=0
          CLR RS          ;truy xuất lệnh
          CALL OUT         ;ghi ra LCD
          MOV A,#80H        ;mã chuyển con trỏ về đầu dòng 1
          CALL WAIT       ;chờ cờ BF=0
          CLR RS          ;truy xuất lệnh
          CALL OUT         ;ghi ra LCD
          JMP BATDAU      ;trở về xuất ký tự đầu tiên
;
CONNECT: MOV DPTR,#MESG3 ;CB=0 phát thông điệp có kết nối
          CLR A
          PUSH ACC
DISP_MSG3: MOVC A,@A+DPTR
          JZ AGAIN2
          CALL WAIT
          SETB RS
          CALL OUT
          POP ACC
          INC A
          JMP DISP_MSG3
;
AGAIN2:  CALL DELAY_1S
          CALL RESET_P
          MOV A,#SKIP_ROM   ;xuất lệnh skip rom
          CALL WRITE_BYT
          MOV A,#WRITE_SCR  ;xuất lệnh ghi scratchpad
          CALL WRITE_BYT
          MOV A,#TEMP_H      ;ghi byte TH
          CALL WRITE_BYT
          MOV A,#TEMP_L      ;ghi byte TL

```

	CALL WRITE_BYTE	
	MOV A,#CONFIG	;ghi byte cấu hình 9 bit
	CALL WRITE_BYTE	
REPEAT:	CALL RESET_P	;xuất lệnh reset
	MOV A,#CONVERT	;xuất lệnh convert T
	CALL WRITE_BYTE	
WAIT_CONV:	CALL READ_BIT	;chờ chuyển đổi xong
	JNC WAIT_CONV	
	CALL RESET_P	;xuất lệnh reset
	MOV A,#READ_SCR	;xuất lệnh đọc scratchpad
	CALL WRITE_BYTE	
	CALL READ_BYTE	;đọc byte thấp nhiệt độ
	MOV R2,A	;cất byte thấp nhiệt độ vào R2
	CALL READ_BYTE	;đọc byte cao nhiệt độ
	MOV R3,A	;cất byte cao nhiệt độ vào R3
	CALL RESET_P	;kết thúc đọc
	CALL DISP_CHAR ;chuyển đổi data nhiệt độ sang mã ký tự xuất ra LCD	
;	-----	
	MOV A,#01H	;mã xóa LCD
	CALL WAIT	;chờ cờ BF=0
	CLR RS	;truy xuất lệnh
	CALL OUT	;ghi ra LCD
	MOV A,#80H	;mã chuyển con trỏ về đầu dòng 1
	CALL WAIT	;chờ cờ BF=0
	CLR RS	;truy xuất lệnh
	CALL OUT	;ghi ra LCD
;	-----	
	MOV DPTR,#MESG4	;phát thông điệp nhiệt độ hiện tại
	CLR A	
	PUSH ACC	
DISP_MSG4:	MOVC A,@A+DPTR	;xuất thông điệp ra LCD
	JZ AGAIN3	;kết thúc nếu là mã Null
	CALL WAIT	
	SETB RS	
	CALL OUT	
	POP ACC	
	INC A	
	JMP DISP_MSG4	
AGAIN3:	MOV A,#0C0H	;mã xuống đầu dòng 2
	CALL WAIT	;chờ cờ BF=0
	CLR RS	;truy xuất lệnh
	CALL OUT	;ghi ra LCD
	MOV R0,#30H	;R0 trỏ địa chỉ đầu vùng nhớ mã ký tự chỉ nhiệt độ
	MOV R1,#6	;có 6 byte
XUAT:	MOV A,@R0	
	CALL WAIT	
	SETB RS	;truy xuất data
	CALL OUT	;xuất ký tự
	INC R0	;tăng con trỏ bộ nhớ
	DJNZ R1,XUAT	;xuất cho đủ 6 ký tự
	MOV A,#0DFH	;xuất ký hiệu độ
	CALL WAIT	
	SETB RS	;truy xuất data

```

        CALL OUT          ;xuất ký tự
        MOV A,#'C'        ;xuất ký tự C
        CALL WAIT         ;truy xuất data
        SETB RS           ;xuất ký tự
        CALL OUT          ;quay lại đọc nhiệt độ
;

INIT:   MOV A,#38H      ;function set LCD kết nối 8 bit,2 dòng,5X8 dots
        CALL WAIT         ;chờ cờ BF=0
        CLR RS            ;truy xuất lệnh
        CALL OUT          ;ghi ra LCD
        MOV A,#01H        ;mã xóa LCD
        CALL WAIT         ;chờ cờ BF=0
        CLR RS            ;truy xuất lệnh
        CALL OUT          ;ghi ra LCD
        MOV A,#0EH        ;mã display on,con trỏ on không chớp
        CALL WAIT         ;chờ cờ BF=0
        CLR RS            ;truy xuất lệnh
        CALL OUT          ;ghi ra LCD
        MOV A,#06H        ;Entry mode set con trỏ dịch phải,địa chỉ DDRAM
                           ;tăng,display không dịch khi ghi ký tự
        CALL WAIT         ;chờ cờ BF=0
        CLR RS            ;truy xuất lệnh
        CALL OUT          ;ghi ra LCD
        RET

;

OUT:    MOV DBUS,A      ;chuyển lệnh/data ra ngõ dataLCD
        CLR RW            ; truy xuất ghi
        SETB E             ; cho phép truy xuất
        CLR E
        RET

;

WAIT:   CLR RS          ;truy xuất lệnh
        SETB RW            ;đọc lệnh
        SETB DBUS.7        ;DBUS.7 là input
        SETB E             ;cho phép truy xuất LCD
        CLR E
        JB    DBUS.7,WAIT;chờ cờ BF=DB7=0
        RET

;

;RESET_P tạo xung reset cho DS18B20 và chờ đáp ứng từ DS18B20
;Input: R6 đếm số lần delay 15μs qua sub. DELAY15
;Trả về C=0 có CB,C=1 không có CB
;

RESET_P: CLR DQ          ;start reset
LAP1:   MOV R6,#33        ;Treset 15X33=495μs
        CALL DELAY15
        DJNZ R6,LAP1
        SETB DQ            ;trả DQ=1
LAP2:   MOV R6,#5          ;Twait 15X5=75μs
        CALL DELAY15
        DJNZ R6,LAP2
        MOV C,DQ            ;đọc trạng thái CB

```

```

LAP3:    MOV R6,#28           ; Twait 15X28=420µs kết thúc reset
          CALL DELAY15
          DJNZ R6,LAP3
          RET
;
;READ_BIT đọc bit từ DS18B20
;Input: R6 đếm số lần delay 15µs qua sub. DELAY15
;Output: C=bit đọc
;
READ_BIT: CLR DQ             ;start time slot
          NOP               ;Twait >1µs
          SETB DQ            ;trả DQ=1
          CALL DELAY15        ;chờ 15µs
          MOV C,DQ            ;đọc bit vào C
          MOV R6,#4             ;delay 15X4=60µs kết thúc time slot
;
LAP4:    CALL DELAY15
          DJNZ R6,LAP4
          RET
;
;READ_BYTE đọc byte data từ DS18B20
;Sử dụng sub. READ_BIT
;Input: R5 đếm số lần dịch bit
;Output: A chứa byte data đọc được
;
READ_BYTE: MOV R5,#8           ;R5 đếm số lần dịch bit
LOOP_RD:  CALL READ_BIT        ;đọc bit qua C
          RRC A              ;quay phải nạp C vào Acc.7 LSB trước
          DJNZ R5,LOOP_RD      ;đếm dịch đủ 8 lần
          RET
;
;WRITE_BIT ghi bit ra DS18B20
;Input: R6 đếm số lần delay 15µs qua sub. DELAY15,C=bit ghi
;
WRITE_BIT: CLR DQ             ;start time slot
          NOP               ;Twait >1µs
          MOV DQ,C            ;ghi bit ra DQ
          MOV R6,#4             ; delay 15X4=60µs kết thúc time slot
;
LAP4:    CALL DELAY15
          DJNZ R6,LAP4
          SETB DQ            ;trả DQ=1
          RET
;
;WRITE_BYTE ghi byte data ra DS18B20
;Sử dụng sub. WRITE_BIT
;Input: R5 đếm số lần dịch bit, A chứa byte data cần ghi
;
WRITE_BYTE: MOV R5,#8           ;R5 đếm số lần dịch bit
LOOP_WR:  RRC A              ;xuất bit ghi ra C LSB trước
          CALL WRITE_BIT        ;ghi bit qua C
          DJNZ R5,LOOP_RD      ;đếm dịch đủ 8 lần
          RET
;
;DELAY15 tạo thời gian delay 15µs tính cả thời gian thực thi lệnh CALL DELAY15 và RET

```

;Input: R7 đếm số lần tạo delay

DELAY15: MOV R7,#5
DJNZ R7,\$
RET

;DISP_CHAR chuyển mã nhị phân giá trị đo nhiệt độ từ R3 và R2 sang mã ký tự ghi ra LCD

;Inputs: R3,R2 chứa mã nhị phân nhiệt độ

;Outputs: các ô nhớ 30H đến 35H chứa mã ký tự hiển thị nhiệt độ ra LCD

DISP_CHAR: MOV 31H,R2 ;chuyển byte thấp nhiệt độ ra 31H
MOV 32H,R3 ;chuyển byte cao nhiệt độ ra 32H
MOV A,R3 ;chuyển byte cao nhiệt độ qua A
JNB ACC.7,POS ;xét dấu nhiệt độ
MOV A,R2 ;nhiệt độ âm lấy lại giá trị bù 2,nạp byte thấp vào A
CPL A ;bù 1 A
MOV 31H,A ;cắt byte thấp bù 1 vào 31H
MOV A,R3 ;nạp byte cao vào A
CPL A ;bù 1 A
MOV 32H,A ;cắt byte cao bù 1 vào 32H
MOV A,31H ;nạp byte thấp bù 1 vào A
ADD A,#40H ;cộng 1 cho bit 3 do chọn độ phân giải 9 bit
MOV 31H,A ;cắt byte thấp bù 2 vào 31H
MOV A,32H ;nạp byte cao bù 1 vào A
ADDC A,#0 ;cộng bit tràn từ kết quả cộng 1 byte thấp bù 1
MOV 32H,A ;cắt byte cao bù 2 vào 32H
MOV 30H,#'-' ;30H chứa ký tự dấu -
JMP COMB

POS: MOV 30H,#'+';dấu nhiệt độ dương,30H chứa ký tự dấu +
COMB: MOV A,31H ;nạp byte thấp nhiệt độ vào A
MOV R0,#32H ;R0 trả địa chỉ byte cao nhiệt độ
XCHDA,@R0 ;hoán vị 4 bit thấp
SWAP A ;đảo bit A bit dấu=0 và 6bit thấp phần nguyên nhiệt độ
MOV 31H,A ;cắt phần nguyên nhiệt độ vào 31H
MOV A,@R0 ;lấy lại phần thập phân nhiệt độ
JB ACC.3,FRACT ;bit 3=1 nhiệt độ phần thập phân =0.5
MOV 35H,#'0' ;bit 3=0 gán 35H ký tự chỉ phần thập phân=0
JMP GET_CHR

FRACT: MOV 35H,#'5' ;bit 3=1 gán 35H ký tự chỉ phần thập phân=5
GET_CHR: MOV A,31H ;lấy phần nguyên nhiệt độ
MOV B,#10 ;chuyển BCD
DIV AB ;B chứa số dư đầu tiên hàng đơn vị
XCH A,B ;hoán vị số dư sang A
ADD A,#30H ;chuyển số bcd đơn vị sang mã ký tự
MOV 33H,A ;cắt vào 33H
MOV B,#10 ;tìm BCD hàng chục
XCH A,B ;B chứa số BCD hàng chục
DIV AB ;B chứa số BCD hàng chục
XCH A,B ;chuyển số bcd hàng chục sang mã ký tự
ADD A,#30H ;cắt vào ô nhớ 32H
MOV 32H,A ;tìm số bcd hàng trăm
MOV B,#10
XCH A,B

```

        DIV AB ;B chứa số bcd hàng trăm
        XCH A,B
        ADD A,#30H ;chuyển số bcd hàng trăm sang mã ký tự
        MOV 31H,A ;cắt vào ô nhớ 31H
        MOV 34H,#'. ;34H cắt mã ký tự dấu thập phân
        RET
;
;DELAY_1S tạo thời gian trễ 1s
;Sử dụng 3 ô nhớ RAM nội 2DH,2EH,2FH
;
DELAY_1S:    MOV 2DH,#20
              VONG1:   MOV 2EH,#200
              VONG2:   MOV 2FH,#250
              DJNZ 2FH,$
              DJNZ 2EH,VONG2
              DJNZ 2DH,VONG1
              RET
;
MESG1      DB    ' Kiem tra CB',00H
MESG2      DB    ' Khong ket noi',00H
MESG3      DB    ' Co ket noi',00H
MESG4      DB    ' Nhiet do do duoc:',00H
END

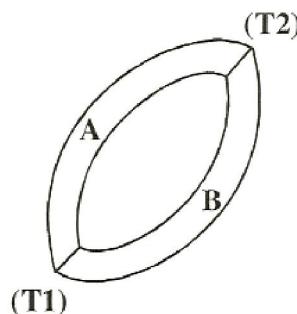
```

1.3.4: Cặp nhiệt điện(Thermocouple):

Cặp nhiệt điện gồm 2 kim loại dẫn điện A và B tiếp xúc ở hai đầu, mỗi đầu tiếp xúc đặt ở 2 nhiệt độ khác nhau T_1 và T_2 sẽ sinh ra một sức điện động $E_{AB} = \frac{d}{T_2 - T_1}$ phụ thuộc vào tính chất 2 vật dẫn AB và nhiệt độ hai đầu tiếp xúc. Thông thường 1 đầu tiếp xúc được giữ ở nhiệt độ cố định $T_1 = T_{ref}$ gọi là đầu nguội; một đầu tiếp xúc đặt trong môi trường cần xác định nhiệt độ $T_2 = T_C$. Sức điện động sinh ra sẽ tỷ lệ với nhiệt độ T_C .

Cặp nhiệt điện thường được ứng dụng trong các trường hợp:

- Đo tầm nhiệt độ cao (đến 1800°C).
- Môi trường đo công nghiệp, nhiều chấn động bụi bặm, nói chung cần loại cảm biến có cấu tạo bền chắc.
- Không bị ảnh hưởng dòng nhiệt do dòng phân cực.



Hình 1.29: Cấu tạo cơ bản cặp nhiệt điện

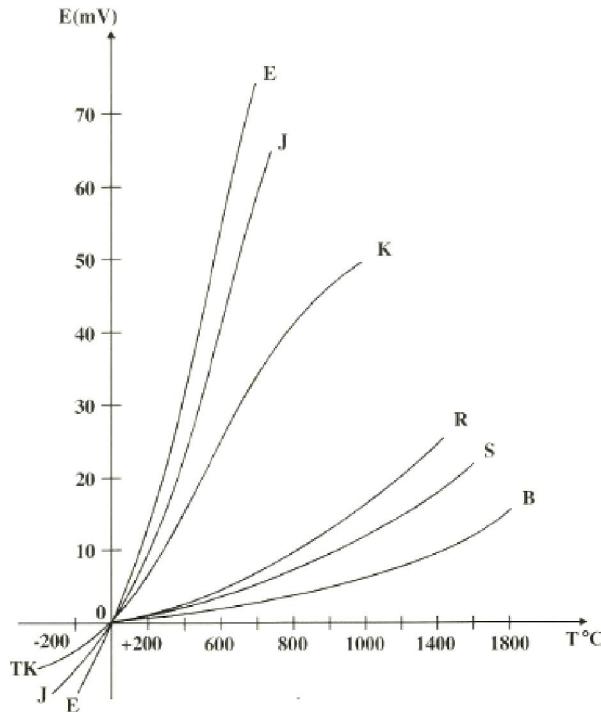
Các loại cặp nhiệt điện:

- Loại E: Chromel/ Constantan
- Loại J: Fer/Constantan

- Loại T: Đồng /Constantan
- Loại K: Chromel/Al
- Loại R: Platin – Rhodium (13%)/ Platin
- Loại S: Platin – Rhodium (10%)/ Platin
- Loại B: Platin – Rhodium (30%)/Platin – Rhodium (6%)

Nói chung đặc tính sức điện động theo nhiệt độ của các loại cặp nhiệt điện đều phi tuyến.

Hình 1.30 minh họa đặc tuyến các loại cặp nhiệt điện.



Hình 1.30: Biểu đồ đặc tuyến các loại cặp nhiệt điện.

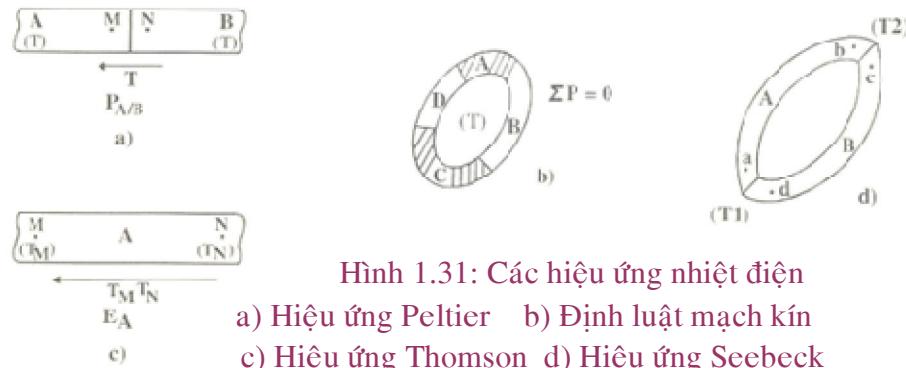
Để xác định quan hệ sức điện động/ nhiệt độ ta có 2 cách:

- + Cách 1: tra bảng số liệu sức điện động/t°
- + Cách 2: biểu diễn quan hệ sức điện động/ t° theo đa thức dạng:

$$E = \sum_{i=0}^{i=8} a_i T^i \quad (E:\mu\text{V}, T:^\circ\text{C}) \quad (1.67)$$

Gia trị a_i được xác định thông qua bảng tra ở Phụ lục chương 1 theo từng loại thermocouple.

• Các hiệu ứng nhiệt điện:



Hình 1.31: Các hiệu ứng nhiệt điện

- a) Hiệu ứng Peltier
- b) Định luật mạch kín
- c) Hiệu ứng Thomson
- d) Hiệu ứng Seebeck

1. Hiệu ứng Peltier:

Xem hình 1.31a, tại vị trí tiếp xúc của hai kim loại khác nhau A và B đặt trong vùng nhiệt độ T, sẽ phát ra một hiệu điện thế gọi là **sức điện động Peltier**

$$V_M - V_N = P^T_{A/B} \quad (1.68)$$

- **Định luật mạch kín:** Trong một mạch kín gồm các kim loại khác nhau tiếp xúc tạo ra, tổng các sức điện động Peltier bằng 0.
- Trên hình 1.31b ta có:

$$P^T_{A/B} + P^T_{B/C} + P^T_{C/D} + P^T_{D/A} = 0 \quad (1.69)$$

Phương trình trên có thể viết lại:

$$P^T_{A/B} + P^T_{B/C} + P^T_{C/D} = - P^T_{D/A}$$

Hay $P^T_{A/B} + P^T_{B/C} + P^T_{C/D} = P^T_{A/D}$

$$P^T_{A/D} = - P^T_{D/A} \quad (1.69a)$$

2. Hiệu ứng Thomson:

Giữa 2 điểm M và N có nhiệt độ khác nhau trong 1 vật dẫn đồng chất A, sẽ phát ra một sức điện động phụ thuộc vào tính chất vật dẫn và nhiệt độ T_M, T_N .

$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_N}^{T_M} h_A dT \quad (1.70)$$

(1.70) gọi là **sức điện động Thomson**, h_A là **hệ số Thomson** của vật dẫn và là hàm theo t° .

- Nếu trên toàn bộ vật dẫn đồng chất có cùng nhiệt độ thì sức điện động Thomson bằng 0.

3. Hiệu ứng Seebeck:

Trong mạch kín gồm hai vật dẫn khác loại AB có 2 tiếp xúc đặt ở 2 nhiệt độ khác nhau T_1 và T_2 , sẽ tạo thành một cặp nhiệt điện.

Cặp nhiệt điện này tạo ra 1 sức điện động Seebeck $E_{AB}^{T_2 T_1}$ bao gồm cả sức điện động Peltier và Thomson.

Sức điện động giữa a và b:

$$e_{ab} = \int_{T_1}^{T_2} h_A dT$$

Sức điện động giữa b và c:

$$e_{bc} = P_{A/B}^{T_2}$$

Sức điện động giữa c và d:

$$e_{cd} = \int_{T_2}^{T_1} h_B dT$$

Sức điện động giữa d và a:

$$e_{da} = P_{B/A}^{T_1}$$

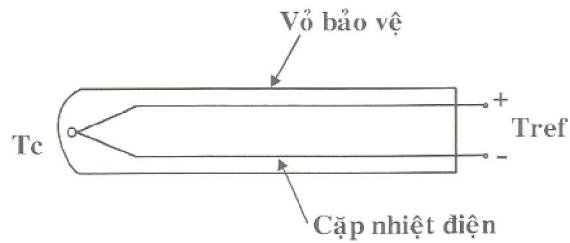
Sức điện động Seebeck được tính như sau:

$$E_{A/B}^{T_2 T_1} = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} (h_A - h_B) dT \quad (1.71)$$

- **Mạch đo điện áp sinh ra từ therocouple:**

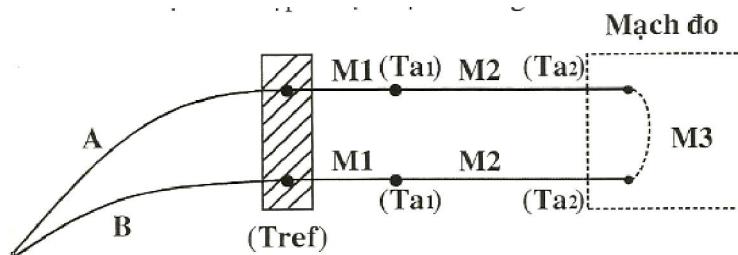
Trong thực tế, cặp nhiệt điện gồm 2 dây kim loại khác nhau, một đầu hàn nối lại gọi là đầu nóng và 1 đầu để hở gọi là đầu nguội.

Tại đầu nguội phải giữ nhiệt độ T_{ref} cố định. Ký hiệu +/- biểu diễn cực tính sức điện động sinh ra khi đầu nóng được đặt vào môi trường nhiệt độ T_C .



Hình 1.32: Cấu tạo thực tế cặp nhiệt điện

Sơ đồ mạch đo cặp nhiệt điện thường mắc như hình 1.33:



Hình 1.33 : Mạch đo cặp nhiệt điện

Cặp nhiệt điện AB có đầu nóng đặt trong vùng nhiệt độ T_c , đầu nguội tại vùng nhiệt độ T_{ref} . M_1 và M_2 là các đoạn dây dẫn nối vùng nhiệt độ T_{ref} đến T_{a1} và từ T_{a1} đến T_{a2} tại vị trí mạch đo. M_3 là mạch vào của mạch đo.

Biểu thức sức điện động e sinh ra như sau:

$$e = P_{A/B}^{T_c} + \int_{T_c}^{T_{ref}} h_B dT + P_{B/M_1}^{T_{ref}} + \int_{T_{ref}}^{T_{a1}} h_{M_1} dT + P_{M_1/M_2}^{T_{a1}} + \int_{T_{a1}}^{T_{a2}} h_{M_2} dT + P_{M_2/M_3}^{T_{a2}} + \int_{T_{a2}}^{T_{a3}} h_{M_3} dT + P_{M_3/M_2}^{T_{a2}}$$

$$+ \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_{M_2} dT + P_{M_2/M_1}^{T_{a1}} + \int_{T_{a1}}^{T_{ref}} h_{M_1} dT + P_{M_1/A}^{T_{ref}} + \int_{T_{ref}}^{T_c} h_A dT$$

Đơn giản các số hạng ta được:

$$e = P_{A/B}^{T_c} - P_{A/B}^{T_{ref}} + \int_{T_c}^{T_{ref}} (h_B - h_A) dT = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \quad (1.72)$$

Hay nói cách khác, sức điện động Seebeck sinh ra trên 2 điểm của đầu nguội nhiệt độ T_{ref} với đầu nóng đặt trong vùng nhiệt độ cần đo T_c .

Để tuyến tính hoá đặc tuyến cặp nhiệt điện trong từng vùng nhiệt độ, quan hệ sức điện động hay điện áp theo nhiệt độ được đơn giản thành biểu thức sau:

$$E_c = \alpha_s (T_c - T_{ref}) \quad (\text{T}:^{\circ}\text{C}) \quad (1.73)$$

α_s : hệ số Seebeck phụ thuộc vào từng vùng nhiệt độ.

Ở tầm nhiệt độ thấp (300°C) hệ số Seebeck của các loại Thermocouple được cho theo bảng (1.1):

Bảng 1.1: Hệ số Seebeck các loại cặp nhiệt điện($T < 300^{\circ}\text{C}$)

Loại	α_s ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
J	52,3
K	51,2(40,2)
E	61,4
T	40,2(47,5)
S,R	5,76

- Bảng 1.2 tóm tắt tầm nhiệt độ sử dụng của các loại cặp nhiệt điện.

- Các bảng tra sức điện động theo nhiệt độ của các loại thermocouple trong Phụ lục chương 1.
- Đường dẫn tham khảo chi tiết bảng tra NIST (National Institute of Standards and Technology):
<https://srdata.nist.gov/its90/main/>

Bảng 1.2: Tâm nhiệt độ sử dụng của các loại cặp nhiệt điện:

Loại	Tâm t°(°C)	E(mV)	Cấp chính xác
Cu/ Contantan- T (đ/kính d= 1,63mm)	-270÷370	-6,258÷19,027	±2% từ -100°C ÷-40°C ±0,8% - 40°C ÷100°C ±0,75% 100°C ÷300°C
Fe/ Contantan - J (d=3,25mm)	-210÷800	-8,096÷45,498	±3% từ 0°C÷400°C ±0,75% 400°C ÷800°C
Cr/Al- K (d= 3,25mm)	-270÷1250	-5,345÷50,633	±3% từ 0°C ÷400°C ±0,75% 400°C ÷1250°C
Cr/ Contantan- E (d=3,25mm)	-270÷870	-9,835÷66,473	±3% từ 0°C ÷400°C ±0,75% 400°C ÷870°C
Pt-Rh (10%)/Pt- S (d=0,51mm)	-50÷1500	-0,236÷15,576	±2,5 từ 0°C ÷600°C ±0,4% 600°C ÷1500°C
Pt-Rh(13%)/Pt- R (d=0,51mm)	-50÷1500	-0,226÷17,445	±1,4% từ 0°C ÷538°C ±0,25% 538°C ÷1500°C
Pt-Rh (30%)/ Pt-Rh(6%) (d=0,51 mm) B	0÷1700	0÷12,426	±0,5% từ 870°C ÷1700°C

Đường kính dây dẫn cặp nhiệt điện càng to nhiệt độ cực đại đo được càng cao.

- Nhiệt độ chuẩn T_{ref} ở đầu nguội:

1- $T_{ref} = 0$: đây là nhiệt độ chuẩn để đo các giá trị sức điện động tương ứng với nhiệt độ cho trong các bảng tra.

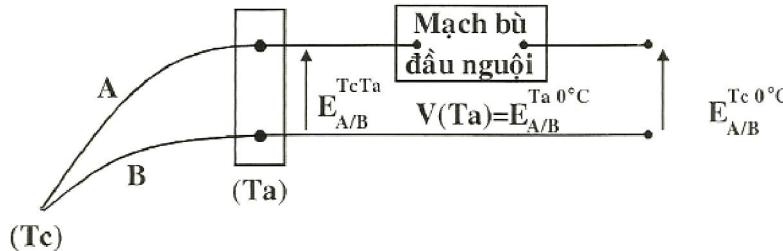
2- T_{ref} cố định $\neq 0$: áp dụng nguyên lý xếp chồng nhiệt độ:

$$E = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} + E_{A/B}^{T_{ref} 0} \quad (1.74)$$

Ví dụ: Cặp nhiệt điện Pt- Rh (10%)/Pt có sức điện động phát ra 2,80 mV ứng với đầu nguội đặt tại nhiệt độ $T_{ref} = 26^\circ\text{C}$, từ bảng tra $E^{26^\circ\text{C} 0} = 0,15 \text{ mV}$.

Do đó $E^{T_c 0} = 2,95 \text{ mV}$ ứng với $T_c = 368^\circ\text{C}$.

3- T_{ref} thay đổi nhiệt độ theo môi trường chung quanh:



Hình 1.34: Mạch bù đầu nguội tạo ra $V(T_a) = E_{A/B}^{T_a 0^\circ\text{C}}$

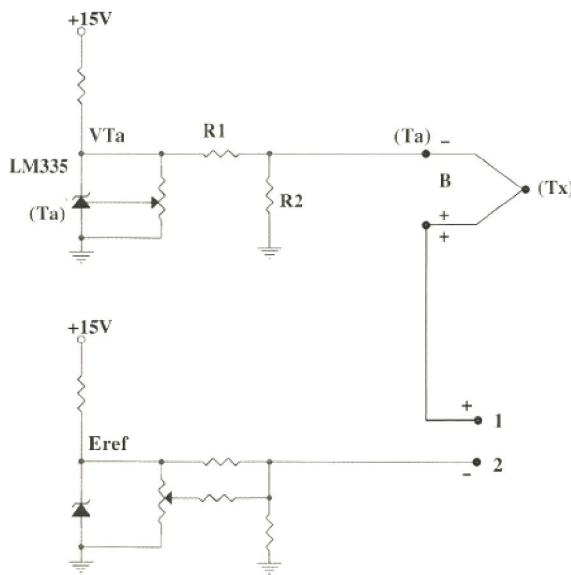
Khi nhiệt độ đầu nguội $T_a = T_{ref}$ thay đổi ta phải có mạch bù đầu nguội để đảm bảo ổn định nhiệt độ đầu nguội, cụ thể là tạo một nhiệt độ chuẩn T_{ref} tại đầu nguội xenm như bằng 0°C

Ta có: $E_{A/B}^{T_c 0} = E_{A/B}^{T_c T_a} + E_{A/B}^{T_a 0}$

Trong đó cặp nhiệt điện tạo $E_{A/B}^{T_a T_x}$, còn mạch bù nhiệt đầu nguội tạo ra điện áp $V(T_a) = E_{A/B}^{T_a 0^\circ C}$.

Mạch bù nhiệt đầu nguội có thể sử dụng dây bù nhiệt hoặc mạch cảm biến nhiệt có hệ số nhiệt gần bằng hệ số nhiệt của cặp nhiệt điện.

Hình 1.35 minh họa mạch bù nhiệt đầu nguội sử dụng cảm biến LM335.



Hình 1.35: Mạch bù t° đầu nguội sử dụng LM335

$$\text{Ta có: } V_1 - V_2 = E_{A/B}^{T_x 0} = E_{A/B}^{T_a T_x} + E_{A/B}^{T_a 0}$$

$$V_1 = E_{A/B}^{T_a T_x} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T_a}$$

Với $V_{T_a} = (273+T_a) \times 10^{-2}$ V là điện áp sinh ra trên cảm biến LM335 đặt ở nhiệt độ T_a .

$V_2 = K E_{\text{ref}}$ điện áp chính 0 tạo 0V ở ngõ ra khi $T_x=0^\circ C$

$$\text{Ta được: } E_{A/B}^{T_a 0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (273 + T_a) \cdot 10^{-2} - K E_{\text{ref}}$$

Khi $T_a=0^\circ C$: $E_{A/B}^{T_a 0} = 0$

$$\text{Suy ra: } \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 273 \cdot 10^{-2} - K E_{\text{ref}} = 0 \quad (1.75)$$

$$\text{Từ đó: } E_{A/B}^{T_a 0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times T_a \cdot 10^{-2} \quad (V) \quad (1.76)$$

$$\text{Chọn: } \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 10^{-2} = \alpha_s$$

Hệ số Seebeck của cặp nhiệt điện sẽ bù được nhiệt độ đầu nguội, biểu thức cuối cùng có dạng:

$$V_1 - V_2 = \alpha_s (T_x - T_a) + \alpha_s T_a = \alpha_s T_x \quad (1.77)$$

Các ví dụ sau được tham khảo từ tài liệu Thermocouple Application của hãng TI(xem data sheet file thermocouple-app-ti).

Ví dụ 1.9: Phân tích và tính đáp ứng điện áp ngõ ra theo T mạch điện hình vd1.9

Giải:

- Thermocouple loại K hệ số seebeck=40.7 μ V
- Mạch bù nhiệt đầu nguội Tref gồm D1,R1,R2,R3.R1 phân cực D1 từ nguồn Vref=4.096V. R2,R3 tạo phân áp bằng $\alpha_s=40.7\mu V^\circ C$.

Ta có hệ số nhiệt của Diode $\alpha_D=-2mV^\circ C$. Nhiệt độ đầu nguội Tref sẽ cho điện áp trên R3 :

$$V_{R3}=R3.(V_{D0}+\alpha_D Tref)/(R2+R3) \quad (\text{vd1.9.1})$$

$$\approx 0.0201V_{D0}+40.3Tref(\mu V, ^\circ C). \quad (\text{vd1.9.2})$$

V_{D0} : điện áp thuận trên D1 tại 0°C .

Suy ra điện áp tổng trên R6:

$$V_{R6} = -as(Tx - Tref) + V_{R3} = -asTx + 0.0201V_{D0} \quad (\text{vd1.9.3})$$

Do $R3 \ll R2$ và $R3 \ll R6$ nên ngõ vào mạch khuếch

đại đảo U1 xem như tương đương $V_i = V_{R6}$ và $R_i = R3$.

Hệ số khuếch đại mạch $A_v = -RG/(R3 + R5) = -246$

Mạch chỉnh zero gồm phân áp R4 và VR P từ Vref để loại trừ điện áp offset $0.0201V_{D0}$ cho $V_0 = 0$ khi $T = 0^\circ\text{C}$.

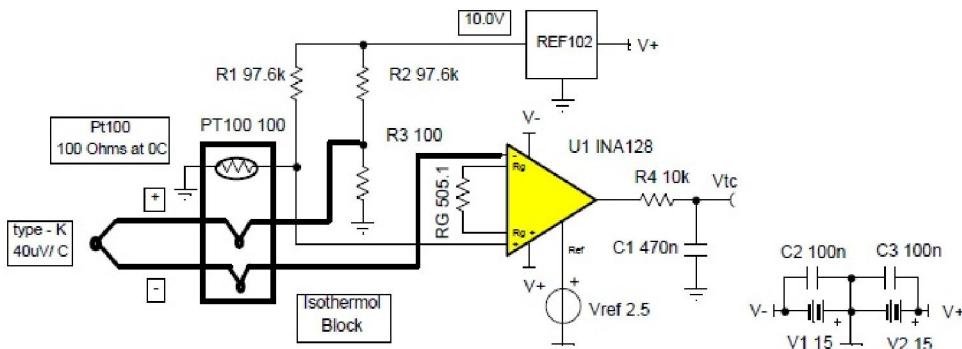
Cuối cùng ta có biểu thức điện áp ngõ ra:

$$V_0 = -asTx \cdot A_v = 10 \cdot Tx \text{ (mV, } ^\circ\text{C)} \quad (\text{vd1.9.4})$$

Ví dụ 1.10: Phân tích và tìm $V_0(T)$ trong hình vd1.10.

Hình vd1.9

Giải:



ISA Type	Material	Seebeck	
		Coeff uV/°C	R1, R2
E	+ Chromel - Constantan	58.5	66.5kΩ
J	+ Iron - Constantan	50.2	76.8kΩ
K	+ Chromel - Alumel	39.4	97.6kΩ
T	+ Copper - Constantan	38.0	102kΩ

Hình vd1.10

Trong hình vd1.10:

- Sử dụng thermocouple loại K có $\alpha_s = 40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ nối đến V_i^- U1:

$$V_i^- = -as(Tx - Tref) + R3 \cdot Vref / (R2 + R3) \quad (\text{vd1.10.1})$$

- RTD Pt100 làm cảm biến bù nhiệt đầu nguội Tref nối đến V_i^+ U1:

$$V_i^+ = R_c \cdot Vref / (R_c + R1) = (R_0 + \Delta R) \cdot Vref / (R_c + R1) \quad (\text{vd1.10.2})$$

Do $R_c(T=0)=R2=100$, $R3=R1=97.6\text{K}$, $R_c \ll R1$, $\Delta R=0.39Tref$, suy ra:

$$\Delta V_i = V_i^+ - V_i^- = \frac{0.39 \times 10 T_{ref}}{97600} + \alpha_s (T_x - T_{ref}) = \alpha_s T_x \text{ (} \mu\text{V, } ^\circ\text{C)} \quad (\text{vd1.10.2})$$

- INA128 là mạch khuếch đại dụng cụ (IA: xem mục 1.10) có HSKĐ:

$$A_v = 1 + 50000 / RG(\Omega) = 100 \quad (\text{vd1.10.3})$$

Suy ra điện áp ngõ ra:

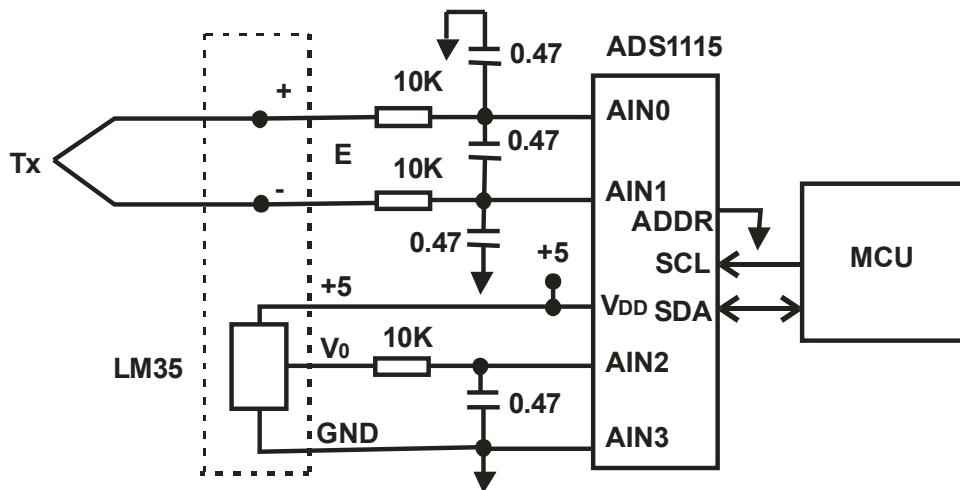
$$V_0 = 100 \times 40 T_x = 4 T_x \text{ (mV, } ^\circ\text{C)} \quad (\text{vd1.10.4})$$

- $R4, C1$ lọc nhiễu ngõ ra

Trong 2 ví dụ trên, ta xem hệ số seebeck α_s là hằng số trong tầm nhiệt độ can đo. Thực tế hệ số seebeck sẽ thay đổi tùy thuộc vào tầm nhiệt độ, cần lưu ý đặc tuyến sức điện động ngõ ra theo nhiệt độ là phi tuyến! Do đó, muốn đo nhiệt độ trên tầm rộng phải tuyến tính hóa từng đoạn đặc tuyến như đã trình bày ở phần trên. Ví dụ sau đây trình bày cách đo nhiệt độ trên tầm rộng sử dụng ADC độ phân giải cao và phần mềm tính toán nhiệt độ và bù nhiệt đầu nguội.

Ví dụ 1.11: Thiết kế mạch đo nhiệt độ từ 0÷1200°C sử dụng thermocouple.

Giải: Với tầm nhiệt độ trên thermocouple loại K thích hợp.Ta sử dụng cảm biến LM35 bù nhiệt đầu người.Hình vđ1.11 minh họa sơ đồ phần cứng.



Hình vd1.11

Tóm tắt cấu hình ADC ADS1115(xem data sheet ADS1115):

- Độ phân giải 16 bit
 - Chọn kênh AIN: 4 kêt single end hay 2 kênh vi sai
 - Giao tiếp I2C với MCU: SCL,SDA

Theo bảng tra NIST cho thermocouple, ta có công thức $E(T)$ trong tầm $T=0\div1270^{\circ}\text{C}$:

$$E = \sum_{i=0}^{i=9} a_i T^i + b_0 \times \exp[b_1 \times (T - b_2)^2] \quad (\text{mV}, \text{°C}) \quad (\text{vd1.11.1})$$

$$\begin{aligned}
a_0 &= -0.176004136860E-01 & a_4 &= 0.318409457190E-09 & a_8 &= 0.971511471520E-22 & b_0 &= 0.118597600000E+00 \\
a_1 &= 0.389212049750E-01 & a_5 &= -0.560728448890E-12 & a_9 &= -0.121047212750E-25 & b_1 &= -0.118343200000E-03 \\
a_2 &= 0.185587700320E-04 & a_6 &= 0.560750590590E-15 & & & b_2 &= 0.126968600000E+03 \\
a_3 &= -0.994575928740E-07 & a_7 &= -0.320207200030E-18 & & &
\end{aligned}$$

Từ bảng tra ở phụ lục chương 1, ta có thể biểu diễn quan hệ hàm T theo sức điện động E trên 2 đầu thermocouple với đầu nguội $T_{ref}=0^\circ C$.

$$T = \sum_{i=0}^{i=8} a_i E^i \quad (\text{°C}, \text{V}) \quad (\text{vd1.11.2})$$

Tìm được bảng các hệ số a_i theo bảng vd1.11(sai số max $\pm 0.7^\circ\text{C}$):

Bảng vd1.11:

Poly order	Type T, Copper - Constantan -160 to 400C, +/-0.5C	Type K, NiCr - NiAl 0 to 1370C, +/-0.7C
0	"a"	"a"
1	0.10086091	0.226584602
2	25727.94369	24152.109
3	-767345.8295	67233.4248
4	78025595.81	2210340.682
5	-9247486589	-860963914.9
6	6.97688E+11	48350600000
7	-2.66192E+13	-1.18452E+12
8	3.94078E+14	-1.3869E+13

Ý tưởng giải thuật tính toán như sau:

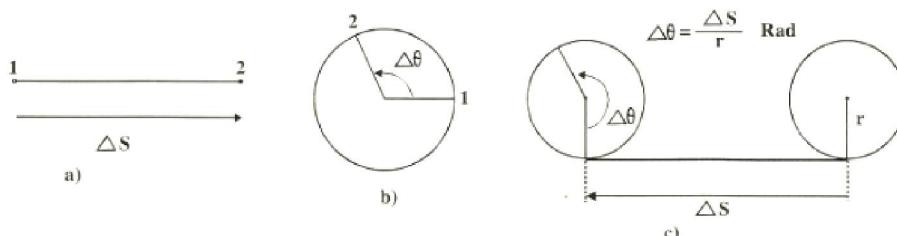
- ADC đọc điện áp $E = E_{Tref}^{Tx}$ trên thermocouple từ ngõ AIN1-AIN0

- ADC đọc điện áp V_0 trên LM35 từ ngõ AIN2-AIN3
- Từ V_0 (mV) suy ra Tref nhiệt độ đầu nguội theo quan hệ: $T_{ref}=V_0(mV)/10(^{\circ}C)$
- Từ $T_{ref}(^{\circ}C)$, sử dụng (vd1.11.1) tính được $E_0^{T_{ref}}$ (mV)
- Suy ra: $E_0^{T_x} = E_0^{T_{ref}} + E_{T_{ref}}^{T_x}$ (V)
- Thay $E_0^{T_x}$ (V) vào công thức (vd1.11.2) tìm được $T(^{\circ}C)$

Tham khảo vi mạch AD594/595 đo nhiệt độ dùng thermocouple có mạch bù đầu nguội bên trong.

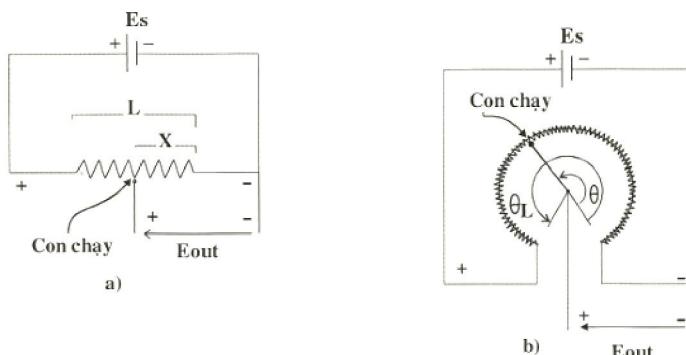
1.4: Cảm biến vị trí và độ dịch chuyển:

Các cảm biến vị trí và độ dịch chuyển có thể được phân thành 2 loại: đường thẳng và góc quay. Cảm biến vị trí và độ dịch chuyển đường thẳng có đơn vị đo là chiều dài (m hoặc mm), cảm biến vị trí và độ dịch chuyển góc quay có đơn vị đo là rad hoặc độ, một rad bằng $180/\pi$ độ ($\approx 57,3^{\circ}$). Hình 1.36 minh họa các phương thức đo đường thẳng và góc quay.



Hình 1.36 : a)- Đo đường thẳng b) Đo góc quay
c) - Chuyển từ góc quay sang đường thẳng

1.4.1: Cảm biến điện trở / phân áp:



Hình 1.37: Cảm biến điện trở a)- Loại tuyến tính b)- Loại góc quay

$$\text{Với biến trở tuyến tính: } E_{out} = (x/L).E_s \quad (1.78)$$

$$\text{Với biến trở quay: } E_{out} = (\theta/\theta_L).E_s \quad (1.79)$$

Biến trở có dạng dây quấn với bước quấn là N. Độ phân giải cảm biến được tính là sự thay đổi điện áp khi con chạy biến trở dịch chuyển được một bước quấn.

$$\text{Điện áp moat bước quấn: } E_T = E_s / N$$

$$\text{Độ phân giải: } S(\%) = (100/E_s).E_T = 100/N \quad (1.80)$$

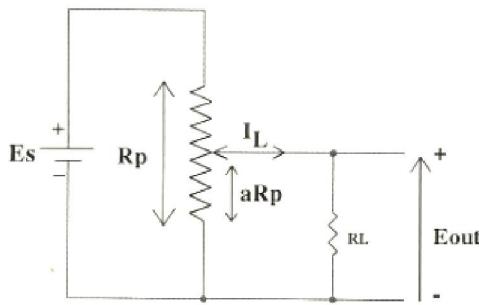
- Sai số gây ra khi mắc tải R_L :

Khi mắc tải R_L vào như hình 1.38, ta có R_L mắc song song với phần điện trở aR_p vào tạo nên một điện trở song song $(a.R_p.R_L)/(a.R_p + R_L)$

Phần điện trở còn lại của R_p là $(1-a)R_p$

Điện trở tương đương toàn mạch bây giờ là:

$$R_{eq} = (1-a)R_p + \frac{aR_p R_L}{aR_p + R_L} \quad (1.81)$$



Hình 1.38: Sai số gây ra khi mắc tải R_L

Điện áp ngõ ra tương ứng:

$$E_{out} = [(aR_p R_L) / (aR_p + R_L)] / [(1-a)R_p + (aR_p R_L) / (aR_p + R_L)]$$

$$\text{Hay: } E_{out} = \frac{a}{1+ar-ar^2} E_s \quad (1.82)$$

$$\text{Với } r = R_p / R_L$$

Trường hợp hở mạch tải: $E_{out} = aE_s$

Sai số sinh ra: $e_s = aE_s - E_{out}$

$$e_s = \frac{a^2r(1-a)}{1+ar-ar^2} E_s \quad (1.83)$$

Sai số sinh ra tính theo % theo E_s :

$$e_s (\%) = 100 \frac{a^2r(1-a)}{1+ar-ar^2} \quad (1.84)$$

❖ Tham khảo data sheet cảm biến TR-0010 họ TR/TRS hãng Novotechnik(Đức)

- Nguyên lý: thay đổi điện trở, tiếp xúc đối tượng đo bằng thanh đẩy
- Tầm đo max: 10mm
- Điện trở danh định(trạng thái tĩnh): 1KΩ
- Độ tuyến tính: ±0.25%
- Dòng cực đại(gây hỏng): 10mA
- Điện áp cấp nguồn max: 24V

1.4.2: Cảm biến điện cảm:

Biểu thức điện cảm cuộn dây:

$$L = \mu_0 N^2 S \frac{1}{l_0 + \frac{l_f}{\mu_f}} \quad (1.85)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

N: số vòng dây

S: tiết diện lõi từ

l_f : chiều dài trung bình đường sức trong mạch từ

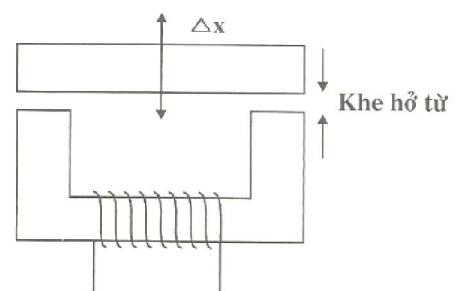
l_0 : chiều dài trung bình đường sức trong không khí

μ_f : độ từ thẩm của lõi vật liệu từ ($10^3 \div 10^4$)

Điện cảm của cuộn dây sẽ thay đổi theo độ dịch chuyển khe hở từ.

Thực tế: $l_0 \gg l_f/\mu_f$ nên (1.85) có thể đơn giản thành:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l_0} \quad (1.86)$$



Hình 1.39: Nguyên lý cảm biến điện cảm thay đổi khe hở từ.

Một sự biến thiên Δx của lõi dẫn đến khe hở từ thay đổi $\Delta l_0 = 2\Delta x$ và điểm cảm mới sẽ hình thành:

$$L + \Delta L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l_0} \frac{1}{1 + \frac{2\Delta x}{l_0}} \quad (1.87)$$

Với: $\Delta L = \frac{-2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \frac{\Delta x}{1 + \frac{2\Delta x}{l_0}}$ và $\frac{\Delta L}{L} = \frac{-2\Delta x}{l_0} \frac{1}{1 + \frac{2\Delta x}{l_0}}$

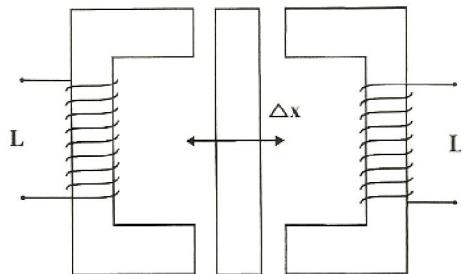
Nếu $\Delta x \ll l_0$ có thể biến đổi thành:

$$\Delta L = \frac{-2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \Delta x \left[1 - \frac{2\Delta x}{l_0} + \left(\frac{2\Delta x}{l_0} \right)^2 + \dots \right] \quad (1.88)$$

Độ nhạy:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta x} = \frac{-2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \Delta x \left[1 - \frac{2\Delta x}{l_0} + \left(\frac{2\Delta x}{l_0} \right)^2 + \dots \right] \quad (1.89)$$

Để tăng độ nhạy và loại bỏ thành phần bậc 2 ảnh hưởng đến độ phi tuyến, ta sử dụng mạch từ kép gồm 2 cuộn dây giống nhau L và L' nhưng độ lệch chuyển lõi ngược nhau như hình 1.40



Hình 1.40: Mạch từ kép có độ dịch chuyển ngược nhau.

Điện cảm biến thiên của cuộn L' khi dịch chuyển lõi 1 đoạn Δx về phía L'

$$\Delta L' = \frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \frac{\Delta x}{1 - \frac{2\Delta x}{l_0}} \quad (1.90)$$

Với $\Delta x \ll l_0$: $\Delta L' = \frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \Delta x \left[1 + \frac{2\Delta x}{l_0} + \left(\frac{2\Delta x}{l_0} \right)^2 + \dots \right]$ (1.91)

Điện cảm biến thiên tổng cộng của mạch:

$$\Delta L' - \Delta L = \frac{4\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \Delta x \left[1 + \left(\frac{2\Delta x}{l_0} \right)^2 + \dots \right] \quad (1.92)$$

Độ nhạy tăng gấp đôi và loại được thành phần bậc 2.

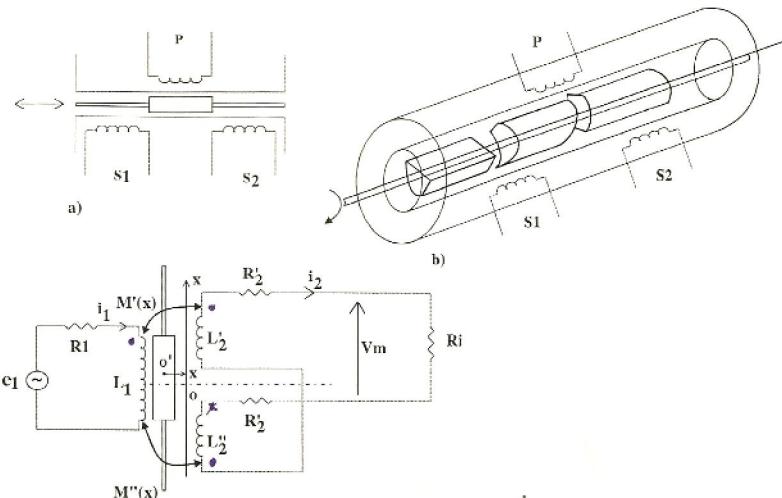
❖ Cảm biến điện cảm không tiếp xúc(xem data sheet EddyNCDT-ME)

1.4.3: Biến áp vi sai:

Cấu tạo biến áp vi sai gồm một cuộn sơ cấp và 2 cuộn thứ cấp giống nhau quấn đối xứng quanh cuộn sơ cấp. Lõi biến áp là một trục vật liệu từ có thể dịch chuyển thẳng hay quay như hình 1.41 a,b. Ở thứ cấp ta kết nối ngược đầu 2 cuộn thứ cấp để hổ cảm sinh ra từ 2 cuộn thứ tác động lên cuộn sơ cấp $M'(x)$ và $M''(x)$ ngược chiều nhau.

Khi dịch chuyển trực, 2 hổ cảm $M'(x)$ và $M''(x)$ sẽ thay đổi theo độ dịch chuyển x .

Xem mạch tương đương hình 1.41c , cho $e_1 = E_1 \cos \omega t$:



Hình 1.41: a) – Nguyên lý biến áp vi sai dịch chuyển thẳng

b) – Nguyên lý biến áp vi sai dịch chuyển quay

c) - Mạch tương đương

$$e_1 = (R_1 + j\omega L_1)i_1 + j[M'(x) - M''(x)]i_2 \\ [R'_2 + R''_2 + R_i + j\omega(L'_2 + L''_2)]i_2 + j\omega[M'(x) - M''(x)]i_1 = 0 \quad (1.93)$$

$$V_m = \frac{j\omega R_i[M''(x) - M'(x)]e_1}{R_1(R_2 + R_i) + j\omega[L_2 R_1 + L_1(R_2 + R_i)] - \omega^2[L_1 L_2 + (M'(x) - M''(x))^2]} \quad (1.94)$$

Với $L_2 = L'_2 + L''_2$, $R_2 = R'_2 + R''_2$

Mạch tương đương trên bỏ qua ảnh hưởng của các tụ kỵ sinh.

Tại gốc toạ độ O, $x=0 \rightarrow M'(0) = M''(0)$.

Cho R_i rất lớn ($R_i > 50K\Omega$) có thể tính gần đúng V_m :

$$V_m = \frac{j\omega[M''(x) - M'(x)]e_1}{R_1 + j\omega L_1} \quad (1.95)$$

Lưu ý: $M'(x)$ và $M''(x)$ biến thiên ngược nhau xung quanh $x=0$, nếu ta có:

$$M'(x) = M'(0) + ax + bx^2 \dots$$

$$M''(x) = M''(0) - ax + bx^2 \dots$$

Suy ra: $M''(x) - M'(x) = -2ax$

$$\text{Và } V_m = \frac{-2j\omega a e_1}{R_1 + j\omega L_1} x \quad (1.96)$$

V_m tỷ lệ tuyến tính với độ dịch chuyển x .

1.4.4: Cảm biến điện dung:

1- Điện dung thay đổi bề mặt:

- Trường hợp điện dung đơn:

$$C(x) = k(x) \quad (1.97)$$

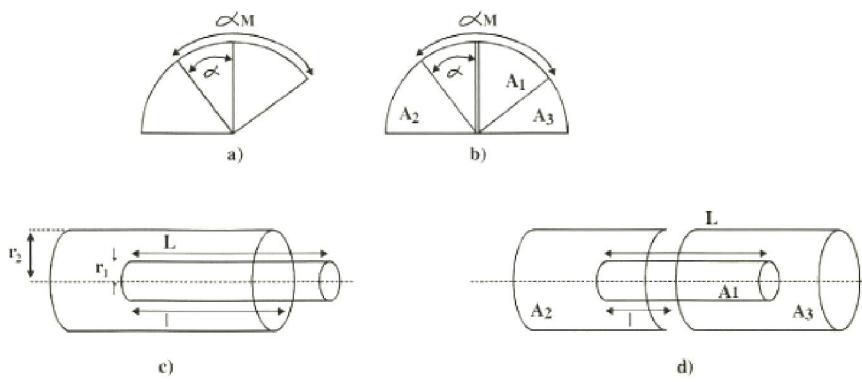
$$\text{Dạng xoay: } K = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{360 D} \quad (x=a^0) \quad (1.98)$$

r: bán kính bán cực.

D: khoảng cách giữa 2 bán cực.

$$\text{Dạng trụ: } K = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log(r_2/r_1)} \quad (x=l(m)) \quad (1.99)$$

Độ nhạy tính theo C:



- Hình 1.42: a) - Điện dung xoay đơn
 b) - Điện dung xoay đôi
 c) - Điện dung dịch chuyển ống trụ đơn
 d) - Điện dung dịch chuyển ống trụ đôi

Độ nhạy tính theo tổng trổ:

$$S_z = \frac{dz}{dx} = -\frac{1}{K\alpha x^2} \quad (1.101)$$

bị phi tuyến

Để tránh phi tuyến khi xét theo tổng trổ, ta dùng phương án tụ kép như hình 1.42 b,d.

- Trường hợp điện dung đôi:

Gọi x là độ dịch chuyển cực đại; C_{21} và C_{31} lần lượt là điện dung của các tụ thành phần. Khi bắn cực dịch chuyển một khoảng x :

$$\begin{aligned} C_{21} &= K(X+x) = KX(1+x/X) = C_0(1+x/X) \\ C_{31} &= K(X-x) = KX(1-x/X) = C_0(1-x/X) \end{aligned} \quad (1.102)$$

Với: $Co = KX$

$X=L/2$, L khoảng dịch chuyển cực đại với tụ hình trụ hình (1.42d)

$X=\alpha_M/2$, α_M khoảng góc quay cực đại với tụ hình quạt hình (1.42b)

Tính theo tổng trổ:

$$\begin{aligned} \frac{Z_{31}}{Z_{21}+Z_{31}} &= \frac{C_{21}}{C_{21}+C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{X} \right) \\ \frac{Z_{21}}{Z_{21}+Z_{31}} &= \frac{C_{31}}{C_{21}+C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{X} \right) \end{aligned} \quad (1.103)$$

Phân áp tổng trổ thay đổi tuyến tính theo độ dịch chuyển.

2- Điện dung thay đổi theo khoảng cách 2 bản cực:

Theo hình 1.43a, điện dung tính được:

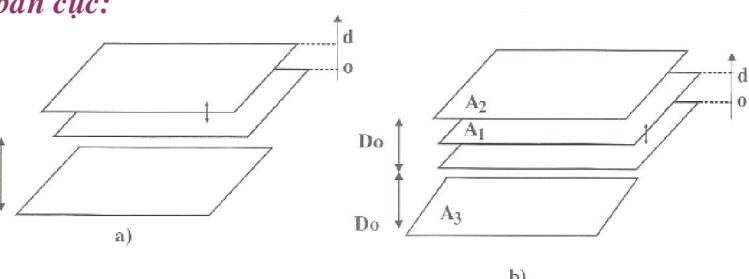
$$C(d) = \epsilon_0 A / (D_0 + d) \quad (1.104)$$

A: tiết diện bản cực

$$S_C = dC/dd = -\epsilon_0 A / (D_0 + d)^2 \quad (1.105)$$

$$S_z = 1/\epsilon_0 A \omega \quad (1.106)$$

Độ nhạy theo tổng trổ là hằng số.



- Hình 1.43: a) - Điện dung đơn thay đổi khoảng cách giữa 2 bản cực
 b)- Điện dung kép vi sai thay đổi khoảng cách hai bản cực

Xét hình 1.43b với tụ kép vi sai:

$$C_{21} = \frac{\varepsilon A}{D_0 - d} = \frac{\varepsilon A}{D_0} \frac{1}{1-d/D_0} = C_0 \frac{1}{1-d/D_0}$$

$$C_{31} = \frac{\varepsilon A}{D_0 + d} = \frac{\varepsilon A}{D_0} \frac{1}{1+d/D_0} = C_0 \frac{1}{1+d/D_0}$$
(1.107)

Với $C_0 = \varepsilon_0 A / D_0$

$$\frac{Z_{31}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{21}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{d}{D_0} \right)$$

$$\frac{Z_{21}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{31}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{D_0} \right)$$
(1.108)

Phân áp tổng trở tỷ lệ tuyến tính với độ dịch chuyển d

- ❖ Cảm biến điện dung không tiếp xúc(xem data sheet CapaNCDT-ME)
- ❖ Thông thường ta hay sử dụng mạch phân áp,cầu W và khuếch đại cầu OPAMP để chuyển thay đổi trở kháng có dạng $Z_c = Z_0 + \Delta Z$ (ΔZ tỉ lệ với độ dịch chuyển/vị trí) ra điện áp như trong các ví dụ trên.Trường hợp cảm biến L hay C,ta phải cấp nguồn AC tần số ,biên độ ổn định(tần số tùy thuộc giá trị L,C,thường chọn 1Khz).
- ❖ Sử dụng các mạch dao động RC,LC,đa hài để chuyển thay đổi Z_c thành thay đổi tần số/chu kỳ,đo tần số/chu kỳ(xem mục 1.10)

1.4.5: Bộ mã hoá quang học (optical encoder):

Cấu tạo bộ mã hoá quang học gồm 4 phần chính :

1 nguồn phát quang, một đĩa mã hoá , một bộ thu quang và mạch tạo tín hiệu. Bộ phát/thu quang thường sử dụng hồng ngoại. Bộ mã hoá vị trí có 2 loại: loại gia số và loại tuyệt đối.

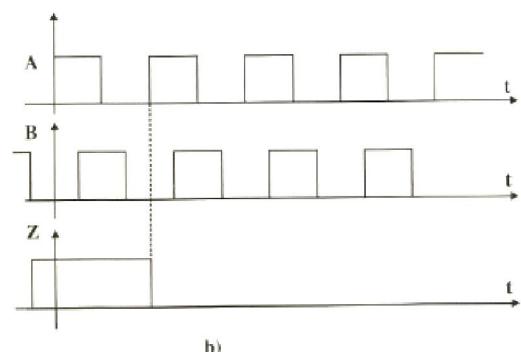
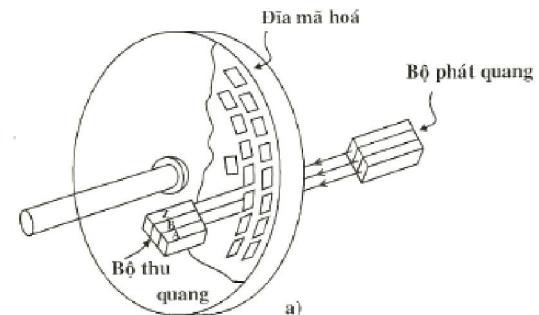
Bộ mã hoá gia số tạo các dạng chuỗi xung ở các ngõ ra theo số dây rãnh trên đĩa mã hoá. Hình 1.44a minh họa đĩa mã hoá tạo 3 ngõ ra xung A,B,Z.

Hai dây rãnh ngoài lệch kẽ nhau để tạo chuỗi xung A,B vuông pha nhau.Rãnh trong cùng chỉ có 01 lõi/vòng tạo xung Z. Như vậy khi đĩa quay 1 vòng sẽ có N_R số xung ra A,B và 1 xung ra Z. Hai ngõ ra A,B nhằm phân biệt chiều quay.

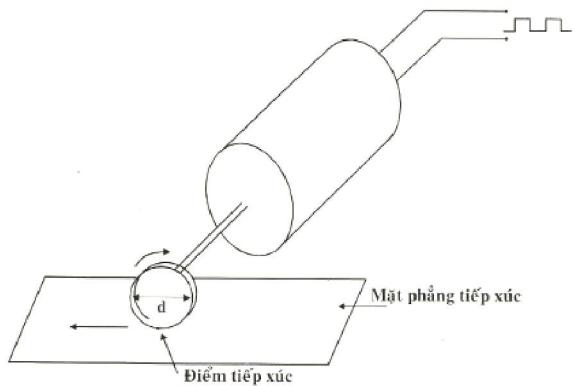
• **Đo độ dịch chuyển góc:** gọi N_R là tổng số xung ngõ ra A,B khi đã quay được 1 vòng . N_T là số xung đếm được ở ngõ ra khi đĩa quay một góc α :

$$\alpha = \frac{N_T}{N_R} 360^\circ \quad (1.109)$$

Hình 1.44: a) – Đĩa mã hoá 3 dây rãnh tạo 3 ngõ ra xung A,B,Z



b) – Giản đồ xung 3 ngõ ra A,B,Z



Hình 1.45: Bộ mã hoá quang học đo độ dịch chuyển thẳng.

- Đo độ dịch chuyển thẳng:** gọi d là đường kính bánh xe tiếp xúc mặt phẳng, chu vi của bánh xe là πd . Khi vật dịch chuyển 1 đoạn x , bộ mã hoá quay được 1 góc α , tương ứng điểm tiếp xúc dịch chuyển 1 đoạn x được tính:

$$x = \frac{\pi d N_T}{N_R} \quad (1.110)$$

Bộ mã hoá tuyệt đối có đĩa mã hoá được khắc vạch theo mã Gray hoặc mã nhị phân 8421.



Hình 1.46: Đĩa mã hoá theo mã nhị phân 8421

Ví dụ 1.12: Thiết kế bộ thước đo độ dịch chuyển thẳng và chiều dịch chuyển một mâm truyền động có độ phân giải 0.1mm.

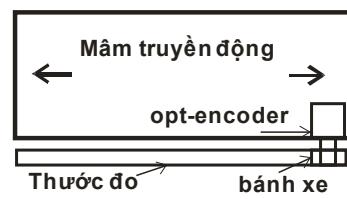
Giải:

Ta sử dụng optical rotary encoder làm cảm biến đo độ dịch chuyển thẳng như hình 1.45
Hình vd1.12a là sơ đồ lắp đặt thước đo:

- Optical encoder gắn chặt trên mâm tại vị trí chọn làm gốc tọa độ
 - Bánh xe gắn trên trục encoder tiếp xúc với thanh thước đo, sao cho không bị trượt khi mâm chuyển động
- Chọn đường kính bánh xe $d=10\text{mm}$
(đủ lớn hơn trục encoder để dễ gia công).

Theo (1.114) từ độ phân giải $\alpha_d=0.1\text{mm}$, có thể suy ra số xung/vòng của encoder phải chọn:

$$N_R = \frac{\pi d \times 1}{\alpha_d} = \frac{\pi \times 10}{0.1} = 314 \quad (\text{vd1.12.1})$$

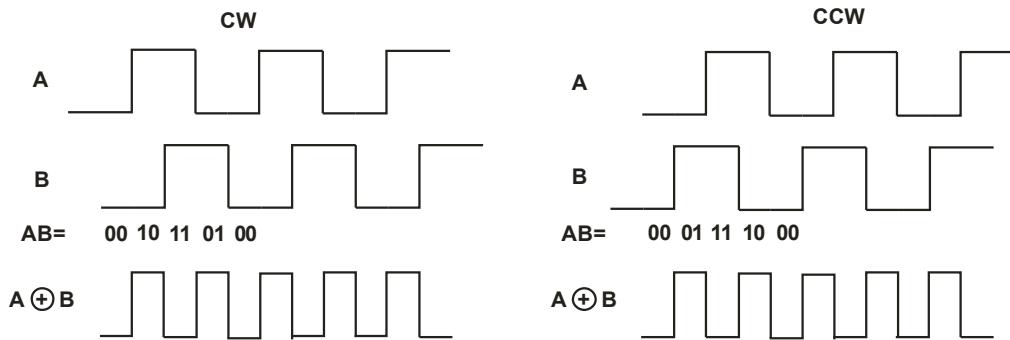


Hình vd1.12a

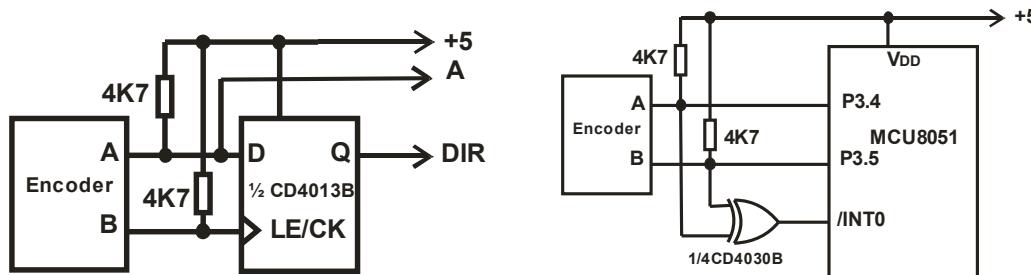
Tham khảo data sheet file OP-ROTCODER-OMRON, ta chọn encoder hãng OMRON mã E6A2-CWZ360P/R 0.5M có các thông số chính như sau:

- Độ phân giải(số xung/vòng): 360P/R
- Điện áp cấp nguồn: 5÷24V
- Điện áp ngõ ra: open-collector(NPN)
- Pha ngõ ra(output phases): A,B,Z

- Khả năng tải ngõ ra max(output capacity): current sink $20mA/V_0=0.4V, R_L=2K$
- Lệch pha giữa các ngõ ra: Lệch pha A và B $90^\circ \pm 45^\circ$
- Đáp ứng tần số max: 30Khz



Hình vd1.12b) Giản đồ xung ngõ ra A,B encoder



Hình vd1.12c) Mạch nhận dạng chiều quay

Xem giản đồ xung hình vđ1.12b, ta có nhận xét:

- Chiều quay CW: cạnh lên tại A xuất hiện trước cạnh lên tại B
- Chiều quay CCW: cạnh lên tại A xuất hiện sau cạnh lên tại B

Hình vd1.12c sử dụng D FF kích cạnh lên nhận dạng chiều quay: DIR=1 chiều quay CW, DIR=0 chiều quay CCW, xung A đưa vào bộ đếm lên hay xuống tùy theo chiều quay.

Ta có thể sử dụng state machine để thiết kế mạch nhận dạng chiều quay trình tự chuỗi input:

- CW: AB=00,10,11,01,00...
- CCW: AB=00,01,11,10,00...

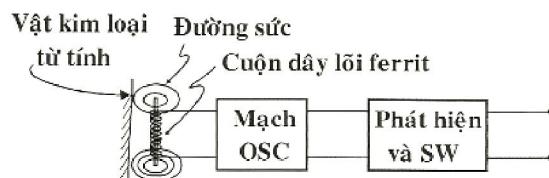
- Để tăng độ phân giải mạch đo nhưng giảm được độ phân giải encoder, xung ngõ ra sẽ ổn định tránh bị nhiễu do rung lắc encoder, ta sử dụng mạch XOR hai tín hiệu A và B. Từ hình vđ 1.12b, ngõ ra mạch XOR sẽ xuất hiện 2 xung ứng với mỗi lần xuất hiện xung A và xung B. Như vậy mạch XOR sẽ nhận đôi xung ngõ vào và độ phân giải tăng gấp đôi.

Hình vd 1.12d sử dụng cổng XOR nhân đôi xung input, nếu vẫn dùng encoder E6A2-CWZ360P/R 0.5M, độ phân giải $\alpha_d < 0.05mm$. Trong sơ đồ hình vđ1.12d sử dụng phần mềm nhận dạng chiều quay. Tóm tắt ý tưởng giải thuật như sau:

- Xung output cổng XOR tạo ngắn /INT0 cạnh xuống.
- Trong ISR_EX0 đọc trạng thái A,B
- Đổi chiều với A_0B_0 đã đọc và lưu trước đó suy ra chiều quay CW hay CCW
- Nếu CW tăng bộ đếm 1 đơn vị, nếu CCW giảm bộ đếm 1 đơn vị
- Sử dụng ngắn Timer0 có chu kỳ ngắn đủ nhỏ hơn chu kỳ xung input A,B
- Trong ISR_T0 đọc và lưu trạng thái A,B

1.4.6 :Công tắc rìa (proximity switch):

Công tắc rìa là cảm biến nhận dạng sự có mặt của đối tượng mà không phải chạm vào đối tượng. Công tắc rìa thường được sử dụng làm cảm biến mạch đếm, mạch nhận dạng phát hiện. Có 3 loại công tắc rìa: công tắc rìa điện cảm, công tắc rìa điện dung, công tắc rìa quang.



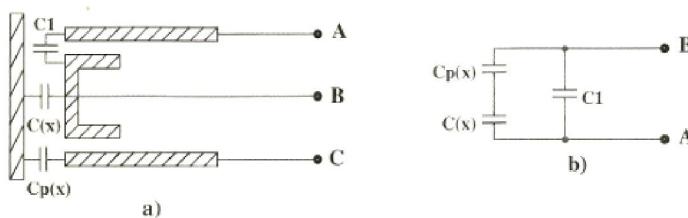
Hình 1.47: Cấu tạo cơ bản rìa điện cảm

- **Công tắc rìa điện cảm:** cấu tạo căn bản gồm mạch dao động f cao kích vào cuộn dây lõi ferrit , mạch phát hiện và on/off sw. Khi có dao động đưa vào, xuất hiện một từ trường xung quanh cuộn dây (phía trước mặt cảm biến). Khi cảm biến gần vật liệu từ tính sẽ làm từ trường cuộn dây thay đổi dẫn đến giảm biên độ dao động, mạch phát hiện nhận dạng sự thay đổi biên độ dao động và tạo tín hiệu kích mạch công tắc on/off làm việc.

Độ nhạy cảm biến được đánh giá qua thông số khoảng cách xa nhất từ bề mặt cảm biến mà vật thể còn được phát hiện.

- Công tắc rìa điện dung: cấu tạo cơ bản công tắc rìa điện dung như hình 1.48a, bề mặt có một ống dẫn điện hình trụ bọc bên ngoài bằng vỏ kim loại tạo thành 02 bản cực của tụ C_1 cố định. Khi đặt cảm biến gần bề mặt vật kim loại, giữa bề mặt cảm biến và vật kim loại hình thành 1 tụ điện $C(x)$. Ngoài ra còn tụ kỵ sinh sinh ra bởi vỏ ngoài và vật kim loại $C_{p(x)}$, giá trị (C_x) phụ thuộc vào lớp điện môi giữa bề mặt vật kim loại và bề mặt của cảm biến là chủ yếu.

Mạch phát hiện có thể sử dụng dao động thay đổi f hoặc mạch cầu whinston,



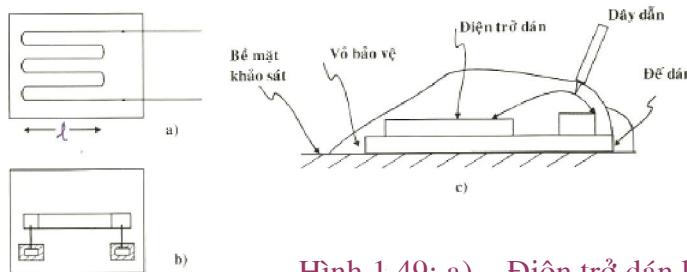
Hình 1.48: a) – Cấu tạo cơ bản công tắc rìa điện dung
b) – Mạch tương đương

- **Công tắc rìa quang:** sử dụng cảm biến quang như ở phần trên.

1.3 Cảm biến biến dạng:

Cảm biến biến dạng hiện nay thường được sử dụng là loại cảm biến điện trở sức căng (strain gage) hay điện trở dán.Có 2 loại điện trở dán : điện trở dán kim loại và điện trở dán bán dẫn .

Điện trở dán kim loại làm việc theo nguyên lý khi có áp lực tác động hoặc bề mặt điện trở bị biến dạng (theo bề mặt khảo sát mà điện trở được dán lên) làm cho chiều dài và đường kính dây dẫn thay đổi , dẫn đến giá trị điện trở thay đổi theo. Còn điện trở dán bán dẫn hoạt động theo dạng điện trở áp điện (piezoresistive), độ linh động của hạt dẫn thay đổi theo áp lực tác động, từ đó thay đổi điện trở suất của điện trở dán bán dẫn.



Hình 1.49: a) – Điện trở dán kim loại
b) – Điện trở dán bán dẫn
c) – Dán điện trở lên bề mặt khảo sát

Vật liệu làm điện trở được gắn trên một đế cách điện bằng giấy hay nhựa, dán lên bề mặt cần khảo sát biến dạng (hình 1.49c). Độ biến dạng của vật liệu sẽ theo độ biến dạng của bề mặt khảo sát. Ta có giá trị điện trở được tính:

$$R = \rho \frac{nl}{s} \quad (1.111)$$

ρ : điện trở suất vật liệu

n : số bước quấn dây , n=1 với điện trở dán bán dẫn

l: chiều dài thanh/ dây điện trở trên một bước quấn

s : tiết diện thanh/ dây

Độ biến dạng gây ra thay đổi điện trở:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (1.112)$$

Độ biến dạng theo chiều dài làm biến dạng theo chiều ngang, cạnh a và b trong trường hợp tiết diện hình chữ nhật và đường kính d với tiết diện hình tròn, độ biến dạng theo chiều ngang tỷ lệ với độ biến dạng theo chiều dài:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta d}{d} = -\gamma \frac{\Delta l}{l} \quad (1.113)$$

Với γ là hệ số Poisson, chọn bằng 0,3 trong trường hợp biến dạng đàn hồi.

Từ (1.113) dẫn đến biến dạng theo tiết diện:

$$\frac{\Delta s}{s} = -2\gamma \frac{\Delta l}{l} \quad (1.114)$$

Điện trở dán kim loại và bán dẫn khác nhau ở giá trị điện trở suất $\Delta \rho / \rho$.

- Với điện trở dán kim loại, biến thiên điện trở suất theo thể tích và hằng số Bridgman:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = C \frac{\Delta V}{V} \quad (1.115)$$

C: hằng số Bridgman

$$\text{Thay } V=snl, \frac{\Delta V}{V} = (1-2\nu) \frac{\Delta l}{l} \text{ và } \frac{\Delta \rho}{\rho} = C(1-2\nu) \frac{\Delta l}{l}$$

Ta được:

$$\frac{\Delta R}{R} = [(1+2\nu) + C(1-2\nu)] \frac{\Delta l}{l} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (1.116)$$

$$K = (1+2\nu) + C(1-2\nu)$$

K: gọi là hệ số dán (căng). Thay các giá trị $\nu \approx 0,3$ và $C \approx 1$, hằng số K tính ra xấp xỉ bằng 2

- Với điện trở dán bán dẫn, biến thiên điện trở suất phụ thuộc vào áp lực và hệ số điện trở áp điện Π :

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \Pi \sigma = \Pi Y \frac{\Delta l}{l} \quad (1.117)$$

Y: module Young

$$\frac{\Delta R}{R} = [(1+2\nu) + \Pi Y] \frac{\Delta l}{l} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (1.118)$$

$$K = (1+2\nu) + \Pi Y$$

Hay $K \approx \Pi Y$ do $\Pi Y \gg 1+2\nu$

Hệ số K thay đổi từ 100÷200 đối với điện trở dán bán dẫn.

Điện trở dán bán dẫn có độ nhạy cao hơn điện trở dán kim loại rất nhiều, nhưng độ tuyến tính kém hơn điện trở dán kim loại.

- Các loại điện trở dán kim loại và bán dán đều bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ, nên thông thường trong mạch điện cảm biến phải có phần tử bù nhiệt.

1- Điện trở dán kim loại:

Điện trở dán kim loại có thành phần cấu tạo chính là hợp kim của Nickel. Bảng (1.3) mô tả các loại điện trở dán kim loại:

Bảng 1.3: Các điện trở dán kim loại

Hợp kim	Thành phần	Hệ số dán
Constantan	45%Ni, 55% Cu	2,1
Isoelastic	50%Fe, 36%Ni, 8%Cr, 4%(Mn, Mo)	3,5
Karma	74%Ni, 20% Cr, 3% Cu, 3% Fe	2,1
Nichrome V	8% Ni, 20% Cr	2,5
Platin- Tungstene	92% Pt, 8%W	4,1

Điện trở dán kim loại có 2 loại: dây và bản mỏng.

Loại dây có đường kính khoảng 20 μm và đế dán bằng giấy 0,1 mm hoặc bằng nhựa 0,03mm.

Loại bản mỏng tuy chế tạo phức tạp hơn nhưng có ưu điểm là tiếp xúc bề mặt tốt hơn và giải nhiệt tốt hơn so với loại dây.

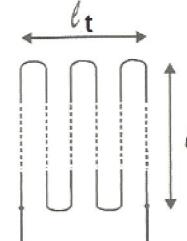
• Độ nhạy điện trở dán kim loại:

Độ nhạy điện trở dán kim loại bao gồm cả độ nhạy theo chiều dọc l, và độ nhạy theo chiều ngang l_t .

Điện trở cảm biến: $R = R_l + R_t$

$$\text{hay } \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_l}{R} + \frac{\Delta R_t}{R}$$

$$\text{với } \frac{\Delta R_l}{R_l} = K \frac{\Delta l}{l} \text{ và } \frac{\Delta R_t}{R_t} = K \frac{\Delta l_t}{l_t}$$



Hình 1.50: Biến dạng theo chiều dọc và ngang

Độ biến thiên tương đối của điện trở có thể viết thành:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{R_l}{R_l + R_t} \frac{\Delta l}{l} + K \frac{R_t}{R_l + R_t} \frac{\Delta l_t}{l_t}$$

$$\text{Hay: } \frac{\Delta R}{R} = K_l \frac{\Delta l}{l} + K_t \frac{\Delta l_t}{l_t} \quad (1.119)$$

$$K_l = \frac{R_l}{R_l + R_t} : \text{hệ số dán chiều dọc}$$

$$K_t = \frac{R_t}{R_l + R_t} : \text{hệ số dán chiều ngang}$$

Thông thường với dây kim loại $K_t \approx 2 \times 10^{-2} \text{K}$ và $R_t \ll R_l$ nên có thể bỏ qua biến dạng theo chiều ngang.

2- Điện trở bán dán:

Điện trở bán dán có 2 loại: Loại đoạn và loại khuếch tán:

Loại đoạn gồm 1 đoạn hoặc nhiều đoạn ghép với nhau. Các đoạn này là các thanh bán dán N hoặc P.

Loại khuếch tán: hoạt động bằng cách khuếch tán hạt dán từ lớp đế qua tiếp xúc PN (hình 1.52).

Điện trở suất của điện trở bán dán được tính:

$$\rho = \frac{1}{q(\mu_n n + \mu_p p)} \quad (1.120)$$

q : điện tích đơn vị



Hình 1.51: Điện trở bán dán loại đoạn

n và p lần lượt là nồng độ điện tử và lỗ trống tự do μ_n , μ_p độ linh động hạt dẫn n,p.

Trong bán dẫn loại N, nồng độ nguyên tử cho là N_d :

$$n = N_d, p \ll n \rightarrow \rho = \frac{1}{q\mu_n N_d} \quad (1.121a)$$

Trong bán dẫn loại P, nồng độ nguyên tử nhận là N_a :

$$p = N_a, n \ll p \rightarrow \rho = \frac{1}{q\mu_p N_a} \quad (1.121b)$$

❖ Do giá trị điện trở dán:

Phương pháp thông dụng để xác định giá trị điện trở dán là sử dụng cầu wheastone.

1- Cảm biến trên một nhánh cầu:

Ta có: $R_C = R_{C0} + \Delta R_{C1}$

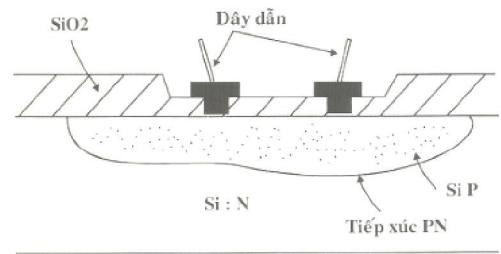
$$R_f = R_{f0} + \Delta R_f \approx R_{f0}$$

$$R_0 = R_{C0} + R_{f0}$$

$$V_m = \frac{e_s}{4} K \frac{\Delta l}{l} \frac{1}{1 + R_{f0}/R_{C0}} \quad (1.122)$$

Với $R_{f0} \ll R_{C0}$

$$V_m = \frac{e_s}{4} K \frac{\Delta l}{l} \quad (1.123)$$



Hình 1.52: Điện trở dán loại khuếch tán

2) – Cảm biến trên 2 nhánh cầu bù nhiệt:

Một nhánh có điện trở dán chủ động đo biến dạng $R_{C1} = \Delta R_{C0} + R_{C1}$, một nhánh có một điện trở dán thụ động chỉ dùng bù nhiệt, có giá trị điện trở thay đổi theo t° : $R_{C2} = R_{C0} + \Delta R_{C2}$

$$V_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R_{C1)m}}{R_{C0}} \quad (1.124)$$

Với $R_{f0}, \Delta R_{C1)m} \ll R_{C0}$

3) – Cầu wheastone có 4 nhánh là cảm biến:

Hai nhánh cầu có biến thiên điện trở dương:

$$R_{C1} = R_{C0} + \Delta R_{C1)m} \text{ và } R_{C4} = R_{C0} + \Delta R_{C4)m}$$

và hai nhánh cầu có biến thiên điện trở âm :

$$R_{C2} = R_{C0} - \Delta R_{C2)m} \text{ và } R_{C3} = R_{C0} - \Delta R_{C3)m}$$

$$V_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R_{C1)m} - \Delta R_{C2)m} + \Delta R_{C4)m} - \Delta R_{C3)m}{R_{C0}}$$

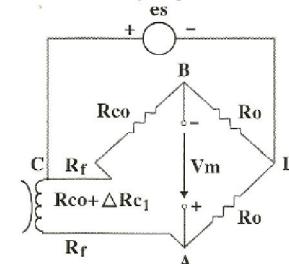
Chọn: $\Delta R_{C1)m} = \Delta R_{C4)m} = \Delta R_{C)m}$

$$\Delta R_{C2)m} = \Delta R_{C3)m} = -\Delta R_{C)m}$$

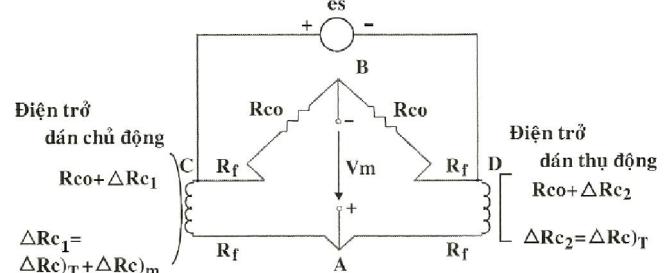
$$V_m = e_s \frac{\Delta R_{C)m}}{R_{C0}} \quad (1.126)$$

Độ nhạy tăng gấp 4 lần, hơn nữa còn tuyến tính hoá được đặc tuyến.

❖ Cảm biến strain gage được ứng dụng rất nhiều trong các cảm biến đo độ lệch, dịch chuyển, lực, ứng suất, áp suất, mực chất lỏng...

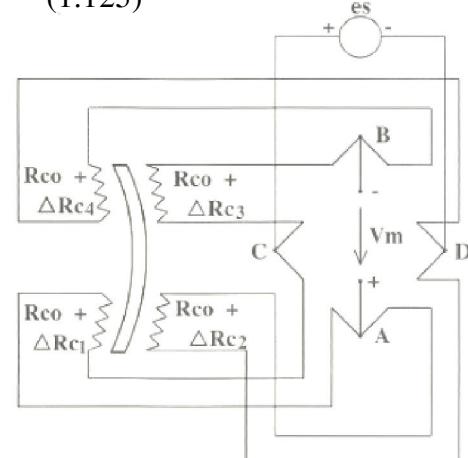


Hình 1.53: Cầu wheastone 1 cảm biến 3 dây



Hình 1.54: 2 nhánh cầu wheastone là cảm biến

(1.125)



Hình 1.55: Cầu wheastone có 4 nhánh cầu là cảm biến

- ❖ Tham khảo data sheet Measuring Strain with strain gage-National Instrument để biết cách dán strain gage đo biến dạng thẳng và cong.

- ❖ Tham khảo data sheet M series-Strain gage xem các loại và thông số strain gage thực tế.

Ví dụ 1.13: Cho một thanh thép Ø14 có modul đàn hồi $E=2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$. Thiết kế mạch đo ứng suất kéo và suy ra lực kéo của thanh thép trên.

Giải:

Ta có quan hệ giữa ứng suất và modul đàn hồi:

$$\sigma = \epsilon E = \frac{\Delta l}{l} E \quad (\text{vd1.13.1})$$

σ : ứng suất (N/m^2)

ϵ : sức căng phụ thuộc vật liệu

Δl : biến dạng theo chiều dài (m)

l : chiều dài vật liệu

Quan hệ giữa lực và ứng suất:

$$F = \sigma A \quad (\text{vd1.13.2})$$

F : lực tác động (N)

σ : ứng suất (N/m^2)

A : tiết diện vuông góc lực tác động (m^2)

Sử dụng điện trở dán kim loại, ta có:

$$\frac{\Delta R_C}{R_{C0}} = G \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{vd1.13.3})$$

Suy ra : $\sigma = \epsilon E = \frac{\Delta R_C}{R_{C0}} \times \frac{E}{G}$ (vd1.13.4)

Thay các giá trị vào:

$$\sigma = \frac{\Delta R_C}{R_{C0}} \times \frac{2.1 \times 10^5}{2.2} \approx \frac{\Delta R_C}{R_{C0}} \times 10^5 (\text{N/mm}^2) \quad (\text{vd1.13.5})$$

Ta chọn strain gage mã 1-LM11-1.5/350GE có các thông số:

- Kích thước điện trở: $a=1.5\text{mm}, b=2.5\text{mm}$
- Kích thước miếng dán đế: $c=9\text{mm}, d=4\text{mm}$
- Điện trở tĩnh: $R_{C0}=350\Omega$
- Hệ số sức căng (Gage factor): $G=K=2.2$
- Hệ số nhiệt (loại aluminum): $\alpha=23\text{ppm}/^\circ\text{K}$
- Điện áp cấp max: $V_{cc}=7\text{V}$

Sử dụng lại mạch khuếch đại cầu như hình 1.38b, R_c chính là strain gage, chọn $R_1=R_2=R_3=R_{C0}=350\Omega$. Từ mạch hình vd1.13b, ta có (xem lại hình 1.38b):

$$V_0 = -\frac{\Delta R}{R_{C0}} \times \frac{E}{2} \quad (\text{vd1.13.6})$$

Chọn $E_c=-0.2\text{V}$ và biểu diễn V_0 theo μV , đổi chiều với (vd1.13.5), ta được:

$$V_0 = \sigma \quad (\mu\text{V}, \text{N/mm}^2) \quad (\text{vd1.12.7})$$

Lực kéo F được tính theo (vd1.13.2):

$$F = \sigma \cdot A = V_0 \cdot \pi \cdot 14^2 / 4 = 153.94 \sigma \text{ (N)} \quad (\text{vd1.13.8})$$

- Ảnh hưởng của nhiệt độ:

Nếu kể đến ảnh hưởng nhiệt độ, ta có hệ số nhiệt (loại aluminum) $\alpha=23\text{ppm}/^\circ\text{K}$

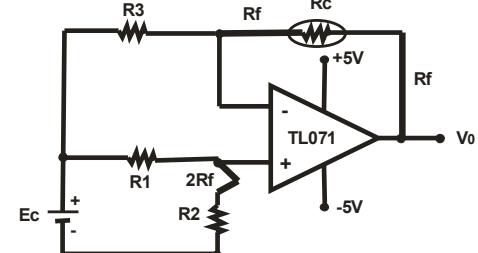
Suy ra nếu nhiệt độ biến thiên 1°C , $\Delta R/R_{C0}=23\text{ppm}=23 \times 10^{-6}=23\mu\text{cron}$

Hay nói cách khác $\Delta \sigma/\Delta T=23 \text{ N/mm}^2/^\circ\text{C}$ khá lớn!

Để loại trừ ảnh hưởng nhiệt độ, ta thay R_2 trong hình VD 1.12b bằng strain gage R_c nhưng không dán lên thanh sắt, chỉ để bù nhiệt đối với R_c (bài tập)



Hình vd1.13a



Hình vd1.13b

1.6: Cảm biến vận tốc:

Các loại cảm biến vận tốc thường sử dụng loại đo vận tốc góc tính bằng rad/s hoặc vòng/phút. Trong trường hợp đo vận tốc dài, người ta sẽ chuyển sang đo vận tốc góc. Có 3 loại cảm biến đo vận tốc: máy phát tốc dc, máy phát tốc ac, máy phát tốc quang học.

1- **Máy phát tốc dc (dc tachometer):** cấu tạo tương tự như máy phát điện dc có chổi than. Khi trực rotor quay sẽ phát sinh sức điện động ở ngõ ra:

$$E = K_E S = \frac{30K_E \omega}{\pi} \quad (1.127)$$

$$K_E = \frac{2\pi RBN_L}{60}$$

Trong đó:

E: Sức điện động ngõ ra (V) ω : vận tốc góc rad/s N: số thanh dẫn hiệu dụng

K_E : hằng số EMF, V/rpm R: bán kính trung bình (m) L: chiều dài thanh dẫn (m)

S: vận tốc góc vòng /phút B: cảm ứng từ Wb/m²

2) – **Máy phát tốc ac (ac tachometer):** cấu tạo tương tự như máy phát ac 3 pha, cần phải có mạch chỉnh lưu 3 pha ở ngõ ra. Máy phát tốc ac có thể làm việc với tốc độ cao, nhưng ngõ ra bị phi tuyến khi tốc độ thấp (do điện áp mở Vy trên diode chỉnh lưu). Một ưu điểm nữa là máy phát tốc ac không sử dụng chổi than.

3) – **Máy phát tốc quang học:** sử dụng bộ mã hoá quang học (xem phần cảm biến quang). Độ nhạy rất cao nên đo tốc độ rất chính xác.

Quan hệ giữa tốc độ trực quay và số xung đếm:

$$S = \frac{60C}{NT_c} \quad (1.127)$$

S: tốc độ trực quay vòng/ phút

N: số xung phát ra/1 vòng quay

C: tổng số xung đếm được trong thời gian T_c

T_c: Thời gian đếm(s)

1.7: Cảm biến lực:

Nguyên lý đo cảm biến lực theo định luật II Newton:

$$f = Ma \quad (1.128)$$

M : Khối lượng vật (Kg)

a: gia tốc (m/s²)

Trong thực tế xác định gia tốc vật rất khó, nên người ta sử dụng điều kiện cân bằng để loại trừ gia tốc. Hai lực cùng độ lớn nhưng trái chiều tác động lên một vật sẽ làm vật cân bằng và gia tốc bằng 0. Tất cả các phương pháp đo lực hầu như áp dụng phương pháp đo lực cân bằng. Hai phương pháp tạo ra lực cân bằng là:cân bằng 0 và dịch chuyển.

Phương pháp cân bằng 0 tương tự như cân bằng đòn tay , còn phương pháp dịch chuyển tương tự như cân lò xo.

1.7.1: Sử dụng cảm biến lực điện trở dán (strain gage):

Ta đã biết ở phần trên, khi tác động một lực lên điện trở dán , sẽ gây nên sự thay đổi chiều dài/ đường kính đối với điện trở dán kim loại và hiệu ứng điện trở áp điện đối với điện trở dán bán dẫn , giá trị điện trở sẽ thay đổi.

Gọi G là hệ số căng (khi có tác động lực điện trở sẽ nén / giãn).

$$G = K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \quad (1.130a)$$

Ứng suất σ được định nghĩa là lực tác động trên một đơn vị diện tích (N/m²):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.130b)$$

F: Lực tác động(N); A: tiết diện(m²)

Trong các vật liệu đàn hồi, tỷ số ứng suất trên sức căng gọi là module đàn hồi:

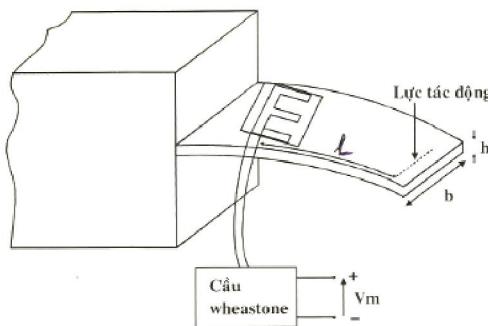
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta l/l} = \frac{Fl}{A\Delta l} \quad (1.131)$$

E: module đàn hồi (N/m²)

σ : ứng suất (N/m²)

ϵ : sức căng phụ thuộc vật liệu

Hình 1.56 minh họa ứng dụng điện trở sức căng đo lực tác động lên đầm.



Hình 1.56: Đo lực tác động lên đầm

Ta có: $\sigma = \frac{6FL}{bh^2}$ (1.132)

σ : ứng suất (N/m²)

F : lực tác động (N)

L: khoảng cách từ điểm đo đến điểm tác động (m)

b: chiều rộng đầm(m)

h: bề dày đầm (m)

Thay các biểu thức trên: $\frac{\Delta R}{R} = \frac{6GL}{bh^2 E} F$ (1.133)

Trong thực tế các điện trở sức căng đo lực được kết nối thành mạch cầu Wheatstone đã có bù nhiệt, bù phi tuyến và có độ nhạy cao. Các cảm biến này gọi là **loadcell** thường sử dụng để đo lực hoặc trọng lượng.

❖ Tham khảo data sheet loadcell file LOADCELL-CZL635, LOADCELL-HBM-Z6

Ví dụ 1.14: Thiết kế một bàn cân điện tử trọng lượng max Mmax=100Kg, độ phân giải 1/20000.

Giải:

Chọn loadcell CZL-635 có tải trọng max=20Kg.

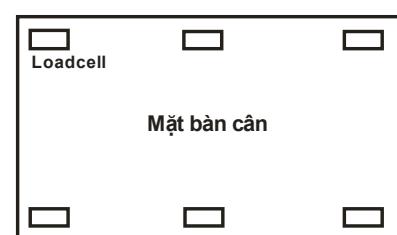
Ta bố trí 06 loadcell dưới mặt bàn cân như hình vd1.14.a, Để đảm bảo cân bằng và chịu tải trọng đều trên loadcell.

Sử dụng 6 loadcell 20Kg để đạt tải trọng Mmax=120Kg đạt yêu cầu >100Kg.

Để đáp ứng đều ở ngõ ra gay cả khi đặt tải trọng cân lệch góc, chéo góc, không nằm tại tâm mặt bàn cân, ta nối chung 6 ngõ ra +V₀ và 6 ngõ ra -V₀ của 6 loadcell. Tất nhiên các ngõ cấp nguồn +E và -E đều đấu chung một nguồn cấp điện.

Xem data sheet loadcell CZL-635, có các thông số chính như sau:

- Tải trọng max: 20Kg



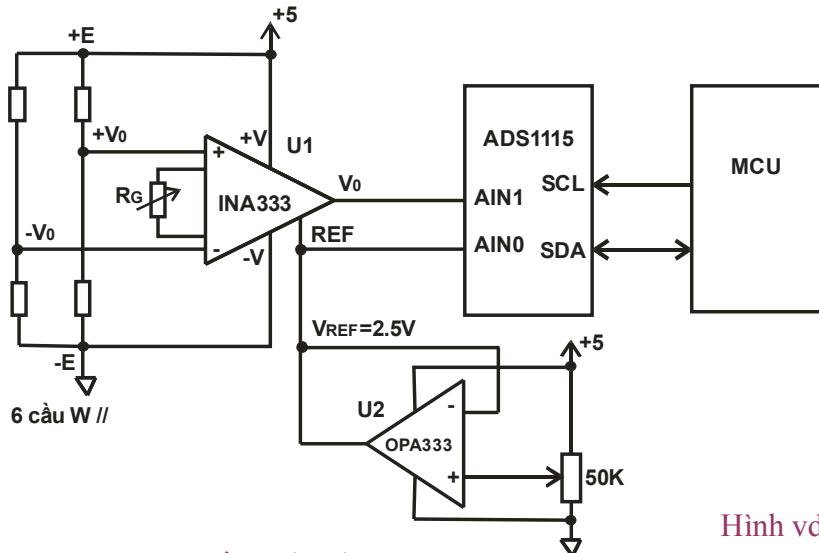
Hình vd1.14a

- Cấp chính xác: 0.05%
- Đáp ứng ngõ ra max(F.S: Full scale): $1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$
- Độ phi tuyến: 0.05%FS
- Cân bằng 0: $\pm 1.5\%$ FS
- Tổng trở vào: $1130 \pm 10\Omega$
- Tổng trở ra: $1000 \pm 10\Omega$
- Điện áp cấp nguồn: 5V
- Khả năng quá tải max: 150% tải trọng max
 - Ta lưu ý các thông số:
 - Đáp ứng ngõ ra max(FS) 1.0mV/V: nếu đặt tải trọng max=20Kg và cấp nguồn 1V,ngõ ra load cell sẽ đo được 1mV.Như vậy,nếu cấp nguồn 5V,đặt tải trọng max 20Kg,ngõ ra sẽ cho 5mV.
 - Độ phi tuyến 0.05%FS: Nếu đặt tải trọng max 20Kg và cấp nguồn 1V,sai số phi tuyến max= $0.05 \times 1\text{mV}/100 = 0.5\mu\text{V}$ # $0.05 \times 20\text{Kg}/100 = 10\text{g}$.
 - Mắc song song các ngõ ra loadcell với nhau đáp ứng ngõ ra max vẫn bằng 1mV/V,nhưng độ phi tuyến,tổng trở vào ,tổng trở ra giảm 6 lần!
 - Cấp nguồn loadcell $+E=+5\text{V}$,đáp ứng ngõ ra max bằng 5mV(F.S= $5 \times 20 = 120\text{Kg}$).Với tải trọng max=100Kg,đáp ứng ngõ ra tương ứng bằng :

$$\alpha_t = 5\text{mV} \times 100 / 120 = 4.1667\text{mV}$$
 (vd1.14.1)
 - Dòng điện cấp nguồn cho 6 loadcell:

$$I_{cc} = +V_{cc}/R_i = +5/(1130/6) = 26.55\text{mA}$$
 (vd1.14.2)
 - Tổng trở ra cả hệ thống loadcell:

$$R_{ot} = 1000/6 = 166.67\Omega$$
 (vd1.14.3)



Hình vd1.14b

Hình vd 1.14b là sơ đồ thiết kế cân điện tử:

- Ngõ vào sử dụng khuếch đại dụng cụ IA(xem mục 1.10)U1 INA333 có các thông số $V_{i0}, \Delta V_{i0}, I_{ib}, \Delta I_{ib}$ rất thấp; $R_i, CMRR$ cao(xem data sheet IA-INA333-TI)
- HSKĐ được tính $Av = (1 + 100K\Omega/R_G)$ (vd1.14.4)
- U2 OPA333 là OPAMP cũng có các thông số offset và trôi nhiệt rất tốt(xem data sheet OPA333) kết hợp với VR50K tạo áp $V_{ref}=2.5\text{V}$.Do đó ở trạng thái tĩnh,khi áp vi sai ngõ vào bằng 0,điện áp ngõ ra U1 $V_0=2.5\text{V}$
- ADC ADS1115 16 bit,lập trình chọn FS= $\pm 0.256\text{V}$ tương ứng 1LSB= $7.8125\mu\text{V}$ (xem data sheet ADS1115).Ngõ ra giao tiếp I2C với MCU qua 2 ngõ SCL và SDA.
 - Yêu cầu: tải trọng max=100Kg,độ phân giải 1/20000 ứng với 5g

Do đó độ phân giải tính theo điện áp ngõ ra cầu W:

$$\alpha p = 5 \times 4.1667(\text{mV}) / (100 \times 10^3) = 0.208 \mu\text{V} \quad (\text{vd1.14.5})$$

- Cho 5g tương ứng 1LSB, như vậy input $U_1 = 0.208 \mu\text{V}$ phải cho output $= 7.8125 \mu\text{V}$.
Suy ra HSKĐ của U_1 :

$$A_{v1} = 7.8125 / 0.208 = 37.56 \quad (\text{vd1.14.6})$$

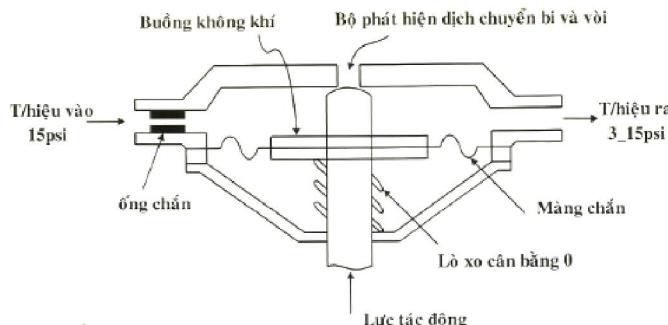
Từ (vd1.14.4) suy ra giá trị R_G :

$$R_G = 100 \text{K}\Omega / (A_{v1} - 1) = 2.74 \text{K} \quad (\text{vd1.14.7})$$

Chọn $R_G = VR$ 5K chỉnh nhiễu vòng để dễ tinh chỉnh.

Để mạch ổn định, chống nhiễu tốt và chính xác, nên cấp nguồn +5 cho Loadcell U1, U2 riêng và ổn áp thật tốt!

1.7.2: Sử dụng bộ phát lực khí nén:



Hình 1.59: Bộ phát lực khí nén

Hình 1.59 minh họa cấu trúc của bộ phát lực khí nén. Lực phát động được cân bằng với lực tạo ra bởi áp suất không khí tác động lên diện tích hiệu dụng của màng chắn. Viên bi và vòi được sắp xếp sao cho việc cân bằng của hai lực là tự động. Giả sử lực tác động vào tăng, thanh dẫn lực chuyển động lên trên giảm khe hở mở tiếp xúc không khí bên ngoài tạo bởi viên bi và vòi. Áp suất trong buồng tăng lên và tái lập điều kiện cân bằng. Áp suất trong buồng được xác định như sau:

$$f = (p - 3)A \quad (1.134)$$

f : lực tác động (pound)

p: áp suất (pound/in.²)

A: diện tích hiệu dụng của màng (in.²)

Chỉ cần đo áp suất ngõ ra sẽ xác định được lực tác động.

1.8: Cảm biến áp suất:

Áp suất được định nghĩa là lực tác động lên một đơn vị diện tích bề mặt chất lỏng hoặc khí. Tầm đo và điều khiển áp suất trong công nghiệp rất rộng từ 0,1 Pa(0,001mmHg) đến trên 100 MPa (10,000 psi). Các phần tử sơ cấp của cảm biến áp suất thường chuyển đổi áp suất sang độ dịch chuyển hoặc lực, sau đó các phần tử thứ cấp(mạch điện) chuyển đổi dịch chuyển hoặc lực sang dòng điện, điện áp hoặc điện tín hiệu khí nén tương ứng.

Việc đo áp suất luôn luôn theo áp suất tham chiếu nào đó. Thông thường người ta thường chọn áp suất tham chiếu là áp suất không khí. Áp suất đo được chênh lệch với áp suất không khí gọi là áp suất điểm tựa. Thời tiết và độ cao sẽ làm thay đổi áp suất không khí. Giá trị chuẩn áp suất không khí là 101,3KPa hay 14.7 psi (760mmHg). Áp suất bé hơn áp suất không khí là áp suất chân không. Áp suất bằng 0 gọi là chân không tuyệt đối. Chênh lệch áp suất đo so với chân không tuyệt đối gọi là áp suất tuyệt đối. Có thể sử dụng một áp suất bất kỳ làm áp suất tham chiếu. Chênh lệch giữa áp suất đo với áp suất bất kỳ làm tham chiếu gọi là áp suất vi sai.

Ta có bảng B1.3 chuyển đổi giữa các đơn vị đo áp suất.

Bảng B1.3: Chuyển đổi các đơn vị đo áp suất

Đơn vị áp suất						
x·T·S	Pascal (Pa)	Bar (bar)	Átmôtphe kỹ thuật (at)	Átmôtphe (atm)	Torr (Torr)	Pound lực trên inch vuông (psi)
1 Pa	$\equiv 1 \text{ N/m}^2$	10^{-5}	$1,0197 \times 10^{-5}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	$7,5006 \times 10^{-3}$	$145,04 \times 10^{-6}$
1 bar	100000	$\equiv 10^6 \text{ dyne/cm}^2$	1,0197	0,98692	750,06	14,504
1 at	98.066,5	0,980665	$\equiv 1 \text{ kgf/cm}^2$	0,96784	735,56	14,223
1 atm	101.325	1,01325	1,0332	$\equiv 1 \text{ atm}$	760	14,696
1 torr	133,322	$1,3332 \times 10^{-3}$	$1,3595 \times 10^{-3}$	$1,3158 \times 10^{-3}$	$\equiv 1 \text{ Torr}; \approx 1 \text{ mmHg}$	$19,337 \times 10^{-3}$
1 psi	6.894,76	$68,948 \times 10^{-3}$	$70,307 \times 10^{-3}$	$68,046 \times 10^{-3}$	51,715	$\equiv 1 \text{ lbf/in}^2$

Ví dụ: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 10,197 \times 10^{-6} \text{ at} = 9,8692 \times 10^{-6} \text{ atm}$, vân vân.

Ghi chú: mmHg là viết tắt của milimét thủy ngân.

1.8.1: Cảm biến áp suất điện trở sức căng(strain gage) :

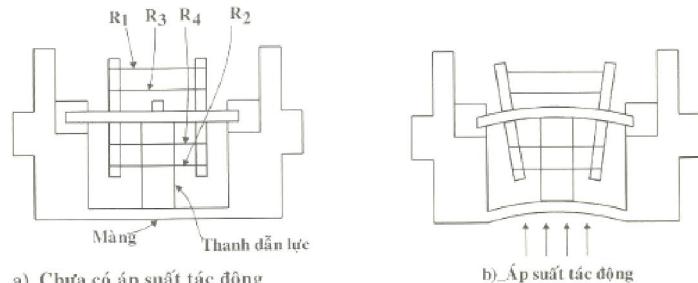
Dưới tác động của áp suất, qua hệ truyền cơ gồm màng và thanh dẫn lực, làm nén/căng các điện trở dây sức căng, dẫn đến thay đổi các giá trị điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 mắc thành cầu wheatstone nên tạo điện áp ra tỷ lệ tuyến tính với áp suất.

Cảm biến áp suất điện trở sức căng(strain gage) được sử dụng đo tầm áp suất từ 10÷10.000 psi.

Tham khảo data sheet Pressure Sensor List 30402 và STS-030-4F.

Các thông số chính của STS-030-4F:

- Dạng strain gage cầu W
 - Tầm đo: 30Psi
 - Khả năng chịu quá tải: 3X(=90Psi)
 - Điện áp cấp nguồn: 5V
 - Tổng trở vào: 4÷6KΩ
 - Tổng trở ra: 4÷6KΩ
 - Đáp ứng ngõ ra(Span): $150 \pm 40 \text{mV} (\text{Vcc}=5\text{V})$
 - Tuyến tính hóa: $\pm 0.3\% \text{ Span}$
 - Lệch 0(zero offset): $\pm 25\text{mV/V}$
 - Nếu cấp nguồn 5V lệch 0 của cảm biến t



Hình 1.58: Cảm biến áp suất strain gage

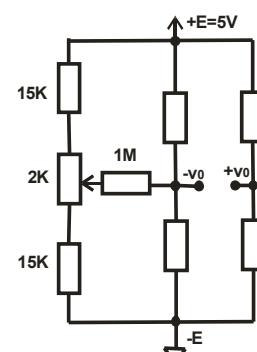
Ví dụ 1.15: Thiết kế mạch chỉnh lệch 0 cho cảm biến STS-030-4F với nguồn cấp Vcc=5V.

Giải:

Với $V_{cc} = 5V$ lệch 0 trên ngõ ra cảm biến đạt max $\Delta V_{imax} = \pm 125mV$

Có nhiều phương pháp chỉnh lệch \bar{Q} như:

- Đặt Vref vào input mạch khuếch đại/ Ain ADC, chỉnh output=0 ở trạng thái tĩnh
 - Bù bằng phần mềm
 - Với mạch cầu W cách bù đơn giản và hiệu quả nhất như hình vd 1.15.R1M >> tổng trở cầu W nên không ảnh hưởng đến cầu và mạch phân áp VR2K. Điện áp chỉnh trong tầm $\pm 150\text{mV}$ so với điện áp $V_{cc}/2 = 2.5\text{V}$.



Hình vd1.15

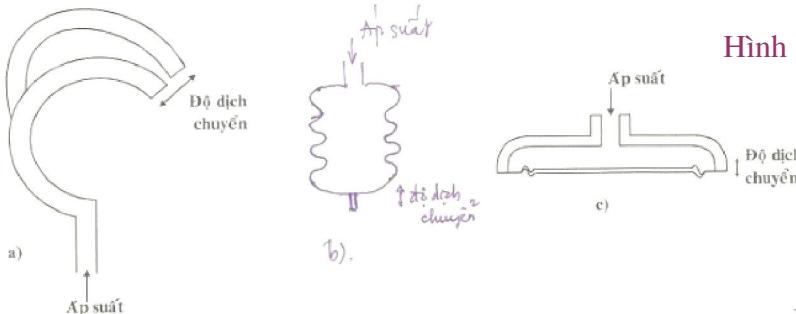
1.8.2: Cảm biến áp suất loại lệch hướng:

Gồm 2 phần: phần sơ cấp chuyển đổi áp suất đo thành độ dịch chuyển , phần thứ cấp chuyển độ dịch chuyển thành biến thiên các phân tử điện.

Hình 1.59a minh họa phần tử sơ cấp là một ống phẳng dạng vòng gọi là ống Bourdon. Ống có khuynh hướng thẳng ra khi có áp suất tác động vào, tạo ra độ dịch chuyển tỉ lệ với áp suất. Loại ống Bourdon có khả năng đo từ 0÷10.000 psi.

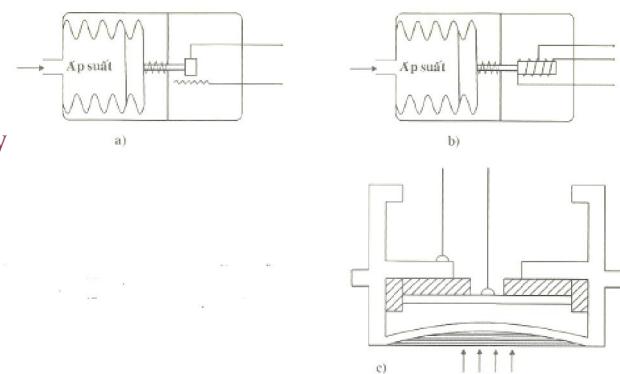
Phần tử ống nhún là một hình trụ bằng kim loại mỏng, thân xung quanh có dạng nhún. Hình dạng này cho phép nó kéo giãn ra khi áp suất bên trong tăng để cân bằng với lò xo làm chuẩn. Độ dịch chuyển của ống nhún tỷ lệ với áp suất đo được. Phần tử ống nhún được sử dụng đo áp suất đến 100 psi, và có thể dùng đo áp suất chân không và áp suất tuyệt đối.

Phần tử màng có thể phẳng hoặc nhún. Khi áp suất tác động lên màng, màng sẽ dịch chuyển một đoạn cân bằng với lò xo làm chuẩn hoặc cảm biến lực.



Hình 1.59: a) Phần tử sơ cấp dạng ống Bourdon
b) Phần tử sơ cấp dạng ống nhún
c) Phần tử sơ cấp dạng màng

Hình 1.60 minh họa các dạng phản ứng thứ cấp.
Trong hình 1.60a, độ dịch chuyển làm di chuyển con chay của biến trở tuyến tính, dẫn đến thay đổi giá trị điện trở.
Trong hình 1.60b, độ dịch chuyển làm di chuyển lõi sắt của cuộn dây, dẫn đến điện cảm cuộn dây thay đổi.
Trong hình 1.60c, độ dịch chuyển làm di chuyển màng hay một bản cực tụ điện làm thay đổi điện dung.



Hình 1.60: a) – Phần tử thứ cấp điện trở
b) – Phần tử thứ cấp điện cảm
c) – Phần tử thứ cấp điện dung

1.9: Đo mức chất lỏng:

Việc đo mức chất lỏng có thể thực hiện trực tiếp bằng cách theo dõi bề mặt chất lỏng, hoặc gián tiếp bằng cách đo các thông số liên quan đến mức chất lỏng. Phương pháp trực tiếp phải có gương và phao và bộ chỉ thị ngoài, mặc dù đơn giản và tin cậy, nhưng khó tạo tín hiệu điều khiển. Ngược lại phương pháp gián tiếp dễ dàng tạo tín hiệu điều khiển.

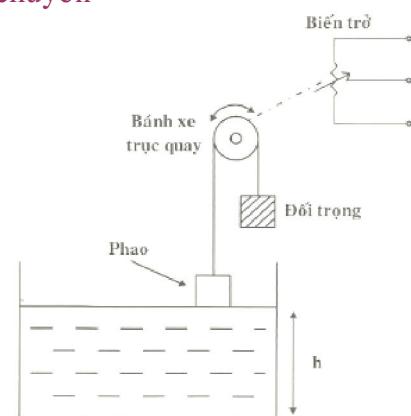
Các phương pháp gián tiếp đo mức chất lỏng có thể kể ra như sau:

- Phương pháp dùng phao nổi chuyển đổi mức thành độ dịch chuyển
- Phương pháp cảm biến áp suất
- Phương pháp đầu dò điện dung

1.9.1: Cảm biến mức chất lỏng dùng phao:

Hình 1.61 mô tả nguyên lý cảm biến mức chất lỏng dùng phao. Khi mức chất lỏng thay đổi tạo độ dịch chuyển phao, thông qua cơ hệ bánh xe và trực quay sẽ quay biến trở tuyến tính (hoặc bộ mã hoá quang học). Giá trị điện trở sẽ tỉ lệ tuyến tính với mức chất lỏng.

Phương pháp này có thể đo mức chất lỏng với độ sâu thoải mái, nhưng sẽ bị sai số do ma sát trượt giữa dây và bánh xe trực quay.



Hình 1.61: Cảm biến mức chất lỏng dùng phao tạo độ dịch chuyển

Hình 1.62 minh họa cảm biến mực chất lỏng dùng phao chuyển thành độ dịch chuyển, thông qua đòn tay và gối tựa chuyển thành lực tác động lên cảm biến loadcell. Lực tác động lên loadcell sẽ bằng hiệu giữa trọng lực của phao và lực nổi(lực đẩy Archimede) của chất lỏng xung quanh phao.

$$f = Mg - \rho g Ah \quad (1.135)$$

f: lực tác động lên load cell

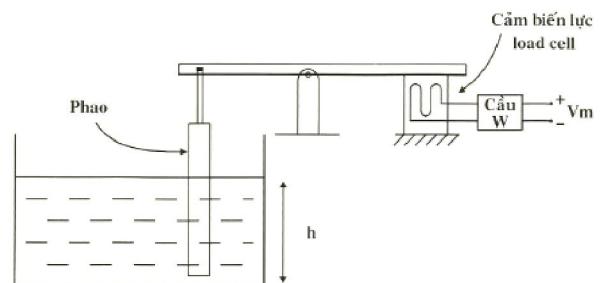
M: Trọng lượng phao

$$g = 9,81 \text{m/s}^2$$

$$\rho : \text{khối lượng riêng chất lỏng (Kg/m}^3\text{)}$$

$$A: \text{tiết diện ngang của phao (m}^2\text{)}$$

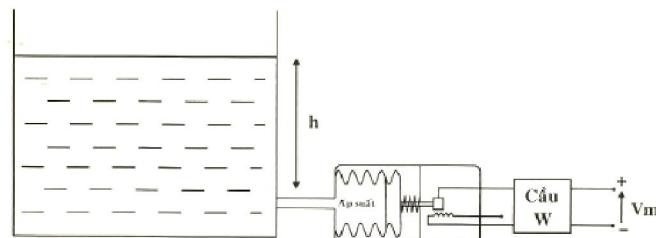
$$h: \text{chiều dài của phần phao bị ngập nước(m)}$$



Hình 1.62: Cảm biến mực chất lỏng dùng phao/ độ dịch chuyển đến lực

1.9.2: Cảm biến mực đo áp suất tĩnh:

Hình 1.63 minh họa phương pháp cảm biến mực bằng cách đo áp suất tại một điểm nào đó trong chất lỏng thông qua đó xác định được mực chất lỏng.



Hình 1.63: Cảm biến áp suất đặt gần đáy của bồn chứa để đo mực

Ta có:

$$P = \rho gh \quad (1.136)$$

P: áp suất tĩnh

$$\rho : \text{khối lượng riêng Kg/m}^3$$

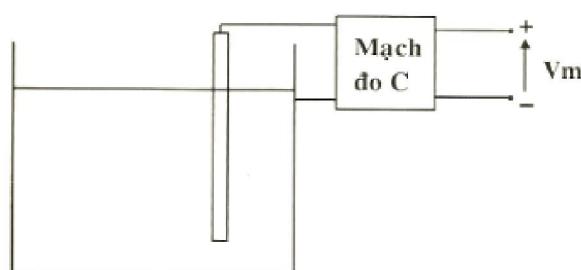
$$H : \text{chiều cao mực chất lỏng trên điểm đo(m)}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- Lưu ý: Phương pháp cảm biến áp suất chỉ áp dụng khi mặt thoáng trên hở, nếu mặt thoáng trên đóng kín phải sử dụng phương pháp đo áp suất vi sai.

1.9.3: Cảm biến mực dùng đầu đo điện dung:

Đầu đo điện dung có lớp cách điện ngoài là một bản cực và bồn chứa là bản cực còn lại. Mực chất lỏng thay đổi sẽ thay đổi tần số biến thiên điện dung.



Hình 1.64 : Cảm biến mực dùng đầu đo điện dung

1.9A: Cảm biến đo độ ẩm:

Độ ẩm không khí được định nghĩa là lượng hơi nước có trong không khí. Độ ẩm của vật liệu rắn, hỗn hợp khí ga nói chung được định nghĩa là lượng hơi nước có trong khối lượng tổng cộng của vật liệu hoặc hỗn hợp khí đó. Việc đo độ ẩm được ứng dụng rộng rãi trong các quá trình đo và điều khiển trong công nghiệp như đo độ ẩm giấy, gỗ, hỗn hợp khí ga, trong nông nghiệp như đo độ ẩm đất, lúa, gạo..., trong phục vụ sinh hoạt, bảo quản như đo độ ẩm không khí...

Ta tìm hiểu những thông số sau liên quan đến độ ẩm:

- Độ ẩm tuyệt đối AH: là khối lượng hơi nước $m_v(g)$ trên một thể tích $V(m^3)$ khối khí ở nhiệt độ T:

$$AH = \frac{m_v}{V} (g/m^3) \quad (1.9a.1)$$

- Tỉ số trộn r: là tỉ số giữa khối lượng hơi nước $m_v(kg, g)$ với khối lượng khí khô $m_d(g, kg)$ mà khối lượng hơi nước trộn trong đó:

$$r = \frac{m_v}{m_d} \quad (1.9a.2)$$

- Áp suất hơi bão hòa $P_s(T)$: là áp suất hơi nước ở trạng thái cân bằng với nước(lỏng) ở nhiệt độ T. Đây là giá trị lớn nhất mà áp suất riêng phần có thể đạt tới ở nhiệt độ T. Nếu vượt quá áp suất này sẽ xảy ra ngưng tụ.
- Độ ẩm tương đối RH: là tỉ số giữa áp suất riêng phần P_v của hơi nước và áp suất hơi bão hòa $P_s(T)$ ở nhiệt độ T; hoặc là tỉ số giữa khối lượng hơi nước m_v với khối lượng hơi nước bão hòa m_s trên cùng một thể tích V. Khi hơi nước bão hòa, hỗn hợp khí và hơi nước đạt đến điểm sương.

$$RH = \frac{P_v}{P_s(T)} \times 100 = \frac{m_v}{m_s} \times 100(%) \quad (1.9a.3)$$

- Độ ẩm tương đối riêng(của vật liệu rắn, khí): là tỉ số giữa khối lượng hơi nước m_v trên khối lượng tổng cộng của vật liệu m_t chứa lượng hơi nước đó:

$$RH = \frac{m_v}{m_t} \times 100(%) \quad (1.9a.4)$$

- Điểm sương: là nhiệt độ $T_d(^{\circ}C)$ cần phải làm lạnh không khí ẩm xuống đến đó để đạt trạng thái bão hòa hơi nước, tỉ số trộn r không thay đổi. Như vậy điểm sương chính là nhiệt độ đạt được $Pv=Ps(T_d)$ hay $RH=100\%$.

Các loại cảm biến đo độ ẩm điện tử hiện nay thường được sử dụng là cảm biến độ ẩm điện trở và cảm biến độ ẩm điện dung và thường đo độ ẩm tương đối.

Bảng B1.4 thống kê các loại cảm biến và thông số :

Bảng B1.4:

Active Material	Thermo-set Polymer	Thermoplastic Polymer	Thermoplastic Polymer	Bulk Thermoplastic	Bulk AlO3	Lithium Chloride Film
Substrate	Ceramic or Silicon	Ceramic or silicon	Polyester or mylar film	N/A	N/A	Ceramic
Sensed Parameter	Capacitance	Capacitance	Capacitance	Resistance	Resistance	Conductivity
Measured Parameter	%RH	%RH	%RH	%RH	%RH	%RH
RH Change	0% to 100%	0% to 100%	0% to 100%	20% to 100%	2% to 90%	15% to <100%
RH Accuracy	±1% to ±5%	±3% to ±5%	±3% to ±5%	±3% to ±10%	±1% to ±5%	±5%
Interchangability	±2% to ±10% RH	±3% to ±20% RH	±3% to ±20% RH	±5% to ±25% RH	poor	±3% to ±10% RH
Hysteresis	<1% to 3% RH	2% to 5% RH	2% to 5% RH	3% to 6% RH	<2% RH	very poor
Linearity	±1% RH	±1% RH	±2% RH	poor	poor	Very poor
Risetime	15 s to 60 s	15 s to 90 s	15 s to 90 s	2 min to 5 min	3 min to 5 min	3 min to 5 min
Temperature Range	-40 °C to 185 °C	-30 °C to 190 °C	-25°C to 100 °C	10 °C to 40 °C	-10 °C to 75 °C	-
Long Term Stability	±1%RH/5 yr	±1%RH/yr	±1%RH/yr	±3%RH/yr	±3% RH/yr	>1% RH/°C

1.10.1: Cảm biến độ ẩm điện trở:

Cảm biến độ ẩm điện trở có điện trở thay đổi theo độ ẩm.

Cấu trúc cơ bản cảm biến độ ẩm điện trở như hình 1.9a.1. Màng dãn điện bằng vàng hay oxide ruthenium được in trên đế nhôm có dạng hình răng lược và cho ra hai điện cực.Sau đó phủ màng mỏng vật liệu polime có khả năng hút ẩm lên trên.

Cơ chế hút ẩm của màng mỏng polime tạo ra các ion chuyển động tự do theo hơi nước được hút vào,từ đó làm thay đổi điện trở của cảm biến.

Cảm biến độ ẩm điện trở rẽ tiền nhưng có một số nhược điểm như sau:

- Tầm điện trở thay đổi rộng trên tầm đo độ ẩm,có thể tới vài chục $M\Omega$.
- Ở tầm đo thấp khoảng 5% RH kém nhạy,không chính xác.
- Ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường rất lớn,phải có mạch bù nhiệt!
- ❖ Tham khảo data sheet cảm biến độ ẩm điện trở HR202(file HR202 humidity sensor-R).

Các thông số chính:

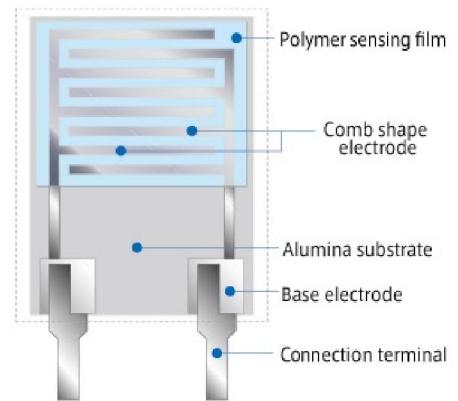
- | | |
|----------------------|--|
| - Tầm đo: | 20÷95%RH, T=0÷60°C |
| - Cấp nguồn : | 1.5VAC(Max sine) |
| - Tần số làm việc: | 500Hz÷2Khz |
| - Công suất max: | 0.2mW(Max sine) |
| - Giá trị giữa: | 31K Ω (25°C,1Khz,1VAC,60%RH) |
| - Tầm điện trở: | 19.8÷50.2K Ω (25°C,1Khz,1VAC,60%RH) |
| - Cấp chính xác: | $\pm 5\%$ RH |
| - Thời gian đáp ứng: | <10s |

Bảng vd1.16 cho giá trị RH(%) theo R và nhiệt độ tương ứng.

Bảng vd1.16:

	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
20%RH				10M	6.7M	5.0M	3.9M	3.0M	2.4M	1.75M	1.45M	1.15M	970K
25%RH		10M	7.0M	5.0M	3.4M	2.6M	1.9M	1.5M	1.1M	880K	700K	560K	450K
30%RH	6.4M	4.6M	3.2M	2.3M	1.75M	1.3M	970K	740K	570K	420K	340K	270K	215K
35%RH	2.9M	2.1M	1.5M	1.1M	850K	630K	460K	380K	280K	210K	170K	130K	150K
40%RH	1.4M	1.0M	750K	540K	420K	310K	235K	190K	140K	110K	88K	70K	57K
45%RH	700K	500K	380K	280K	210K	160K	125K	100K	78K	64K	50K	41K	34K
50%RH	370K	260K	200K	150K	115K	87K	69K	56K	45K	38K	31K	25K	21K
55%RH	190K	140K	110K	84K	64K	49K	39K	33K	27K	24K	19.5K	17K	14K
60%RH	105K	80K	62K	50K	39K	31K	25K	20K	17.5K	15K	13K	11K	9.4K
65%RH	62K	48K	37K	30K	24K	19.5K	16K	13K	11.5K	10K	8.6K	7.6K	6.8K
70%RH	38K	30K	24K	19K	15.5K	13K	10.5K	9.0K	8.0K	7.0K	6.0K	5.4K	4.8K
75%RH	23K	18K	15K	12K	10K	8.4K	7.2K	6.2K	5.6K	4.9K	4.2K	3.8K	3.4K
80%RH	15.5K	12.0K	10.0K	8.0K	7.0K	5.7K	5.0K	4.3K	3.9K	3.4K	3.0K	2.7K	2.5K
85%RH	10.5K	8.2K	6.8K	5.5K	4.8K	4.0K	3.5K	3.1K	2.8K	2.4K	2.1K	1.9K	1.8K
90%RH	7.1K	5.3K	4.7K	4.0K	3.3K	2.8K	2.5K	2.2K	2.0K	1.8K	1.55K	1.4K	1.3K

- ❖ Ví dụ 1.16 hướng dẫn phương pháp tổng quát thiết lập biểu thức quan hệ hàm từ bảng các cặp giá trị cho trước hoặc từ thực nghiệm.



Hình 1.9a.1: Cảm biến độ ẩm điện trở

Ví dụ 1.16: Từ bảng vd1.16 của cảm biến độ ẩm HR202, thiết lập phương trình tổng quát biểu diễn quan hệ độ ẩm theo điện trở và nhiệt độ.

Giải:

Có nhiều phương án xây dựng phương trình tổng quát từ các cặp giá trị thực nghiệm cho trước. Sau đây ta áp dụng phương pháp thông dụng nhất là phương pháp bình phương tối thiểu trong tạo hàm xấp xỉ gần đúng.

- Sinh viên tham khảo phương pháp bình phương tối thiểu trong các giáo trình toán cao cấp.
- Dùng công cụ excel để tìm hàm theo phương pháp bình phương tối thiểu:
 - Tạo bảng các cặp giá trị tương ứng
 - Nhấp chuột chọn bảng, nhấp Insert → Scatter, chọn mẫu Scatter with only markers sẽ hiện ra hình đồ thị các điểm rời rạc tương ứng với bảng đã chọn.
 - Nhấp chuột trái vào điểm trên đồ thị, sau đó nhấp chuột phải hiện ra popup menu.
 - Chọn Add trendline sẽ hiện ra danh sách chọn các hàm mục tiêu; chọn hàm muốn biểu diễn và nhấp chọn vào ô Display Equation on chart để hiện ra đồ thị và phương trình.

Từ bảng vd1.16 ta thấy giá trị R trải rộng từ hàng KΩ đến chục MΩ, nên để dễ biểu diễn đồ thị và hy vọng tuyến tính hóa, ta nên đưa R biểu diễn theo LogR(KΩ).

Bảng vd1.16.1 và hình vd1.16.1 có được từ kết quả excel:

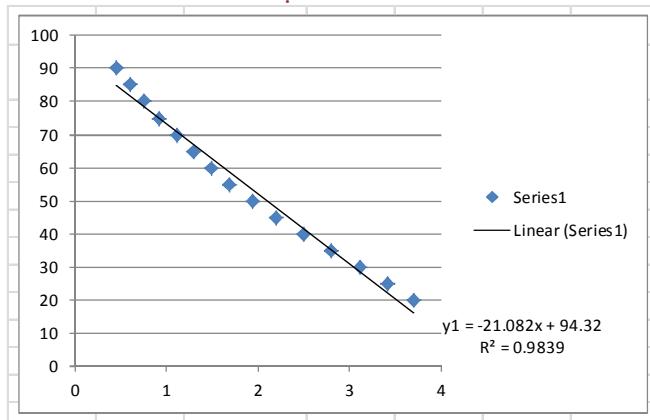
Bảng vd1.16.1: Đánh giá quan hệ hàm y1 và y2 tại T=25°C

STT	R(KΩ)	X=LOGR	Y=RH(%)	Y1(%)	$\varepsilon_1 = (Y - Y1) * 100 / Y(%)$	Y2(%)	$\varepsilon_2 = (Y - Y2) * 100 / Y(%)$
1	5000	3.69897	20	16.33831437	18.30842816	20.22406	-1.1203095
2	2600	3.414973	25	22.32553188	10.69787249	24.88821	0.44717158
3	1300	3.113943	30	28.67184625	4.427179178	29.72941	0.90197295
4	630	2.799341	35	35.30430254	-0.869435818	34.8268	0.49486524
5	310	2.491362	40	41.79711277	-4.492781926	40.0077	-0.0192535
6	160	2.20412	45	47.85274253	-6.339427835	45.14459	-0.3213146
7	87	1.939519	50	53.43105512	-6.862110233	50.24561	-0.4912193
8	49	1.690196	55	58.68728624	-6.704156802	55.4648	-0.8450941
9	31	1.491362	60	62.87911277	-4.798521284	59.96908	0.05153277
10	19.5	1.290035	65	67.12349032	-3.26690819	64.88432	0.17797359
11	13	1.113943	70	70.83584625	-1.194066067	69.50903	0.70138559
12	8.4	0.924279	75	74.83434409	0.220874545	74.86411	0.18118591
13	5.7	0.755875	80	78.38464629	2.019192134	79.97183	0.03520842
14	4	0.60206	85	81.62737126	3.967798514	84.94907	0.05991684
15	2.8	0.447158	90	84.89301438	5.674428463	90.28229	-0.3136585

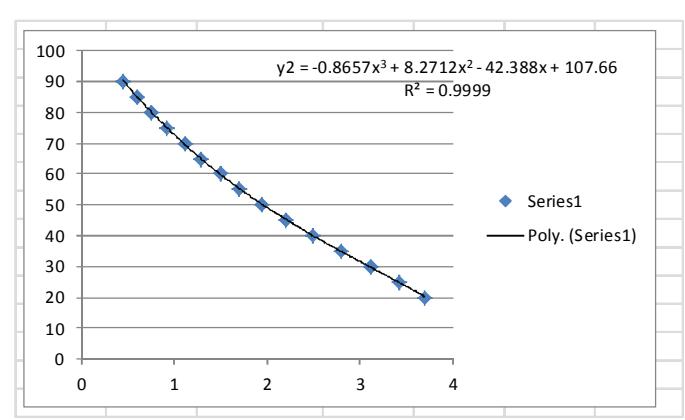
Tìm được: $y_1 = -21.082x + 94.32$, $x = \text{LogR}$ (vd1.16.1), chọn hàm tuyến tính

$y_2 = -0.8657x^3 + 8.2713x^2 - 42.388x + 107.66$ (vd1.16.2), chọn đa thức bậc 3.

Các hàm trên tại T=25°C.



Hình vd1.16.1: a) Hàm tuyến tính



b) Hàm đa thức bậc ba

Từ bảng vd1.16.1, ta thấy hàm y_2 cho sai số thấp $\epsilon_{max}=1.1\%$. Nếu làm tròn đến 1 đơn vị sai số tuyệt đối bằng 0!

Bây giờ ta thiết lập hàm quan hệ độ ẩm theo T. Để đơn giản và với sai số chấp nhận được, ta cho hàm quan hệ độ ẩm theo hai biến R và T độc lập. Chọn tầm RH=60%, thay các giá trị R theo nhiệt độ vào phương trình y_2 , ta được bảng vd1.16.2:

Bảng vd1.16.2: Quan hệ RH theo T tính trên hàm y_2 và bù bằng hàm y_T :

$T(^{\circ}C)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$Y_2(X)(\%)$	48.62732	50.9812	53.27171	55.273413	57.66955	59.96908	62.202988	64.60596	66.08757	67.84021	69.50903	71.509841	73.44593
$\Delta RH(\%)$	-11.3727	-9.0188	-6.72829	-4.726587	-2.33045	-0.03092	2.2029877	4.60596	6.087569	7.840205	9.50903	11.509841	13.44593
$Y_T(\%)$	-10.77	-8.706	-6.642	-4.578	-2.514	-0.45	1.614	3.678	5.742	7.806	9.87	11.934	13.998
$\epsilon = Y_2 - \Delta RH$	-0.60268	-0.3128	-0.08629	-0.148587	0.183555	0.41908	0.5889877	0.92796	0.345569	0.034205	-0.36097	-0.424159	-0.55207

Áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu tìm hàm tuyến tính, ta có y_T là hàm bù nhiệt cho độ ẩm:

$$y_T = 0.4128x - 10.77 \quad (\text{vd1.16.3})$$

với $y_T = RH(\%)$ và $x = T(^{\circ}C)$.

Hình vd1.16.2 là đồ thị y_T .

Cuối cùng ta có hàm quan hệ tổng quát độ ẩm theo điện trở và nhiệt độ:

$$RH(R, T)(\%) = y_2 - y_T$$

$$RH(R, T)(\%) = -0.8657(\log R)^3 + 8.2713(\log R)^2$$

$$- 42.388(\log R) + 107.66 - 0.4128T + 10.77 \quad (\text{vd1.16.4})$$

Với $R(K\Omega), T(^{\circ}C)$

Bảng vd1.16.3 cho kết quả hàm $RH(R, T)(\%)$.

Ta thấy sai số tuyệt đối max là 2 đơn vị tại $T=0$ và 3 đơn vị tại $T=60^{\circ}C$

Bảng vd1.16.3:

$T(^{\circ}C)=0$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$RH(\%)=20$			20	21	21	20	20	20	20	19	19	18
25	24	24	25	26	25	25	25	25	25	24	24	23
30	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	32
40	40	40	40	41	40	40	41	40	40	40	40	40
45	45	45	45	45	46	46	46	45	45	45	45	45
50	49	50	50	50	50	51	51	51	51	50	50	50
55	55	55	55	55	55	56	56	56	56	55	55	55
60	59	60	60	60	60	61	61	60	60	60	60	59
65	64	64	65	65	65	65	66	65	65	65	64	64
70	69	69	69	70	70	70	70	70	69	69	69	68
75	74	74	74	75	75	75	75	74	74	74	74	73
80	78	79	79	80	80	80	80	80	80	79	79	78
85	83	84	84	85	85	85	85	85	85	85	85	83
90	88	90	89	90	90	91	90	90	90	90	90	89

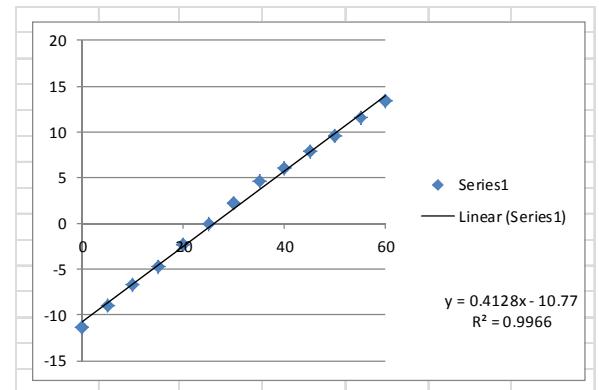
❖ Giải quyết thiết kế mạch điện:

- Xử lý analog:

- Tuyến tính hóa hàm y_2 bằng điện trở mắc nối tiếp hoặc song song
- Cấp nguồn áp hoặc nguồn dòng cho mạch cảm biến
- Tạo nguồn áp bù nhiệt theo hàm y_T từ cảm biến nhiệt
- Sử dụng khuếch đại cầu hoặc IA điều chỉnh HSKĐ thích hợp tạo hàm $V_0 = K \cdot RH(R, T)(mV, \%)$

- Xử lý số:

- Cấp nguồn dòng cho mạch cảm biến (có thể thêm mạch khuếch đại nếu cần)
- Tạo nguồn áp bù nhiệt theo hàm y_T từ cảm biến nhiệt
- Cho 2 nguồn áp trên vào ADC



Hình vd1.16.2

- Từ công thức RH(vd1.16.4) tạo bảng tra bảng phương pháp lượng tử hóa hay tính toán bằng phần mềm suy ra RH

❖ Lưu ý: Về nguyên tắc có thể cấp nguồn cảm biến độ ẩm điện trở bằng DC hoặc AC,tuy nhiên để tránh hiệu ứng phân cực do điện phân khi cấp nguồn DC,người ta thường sử dụng nguồn AC.

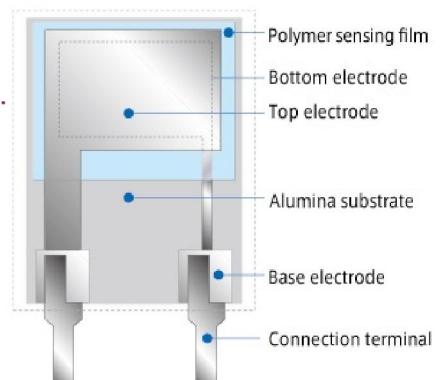
1.9a.2: Cảm biến độ ẩm điện dung:

Cảm biến độ ẩm điện dung có điện dung thay đổi theo độ ẩm.Cấu trúc cơ bản của cảm biến độ ẩm điện dung như hình 1.9a.2. Bản cực dưới bằng Au-Pt được gắn trên đế oxide nhôm,một màng Mỏng bằng polymer nhạy ẩm làm bằng cellulose hoặc PVA dày cỡ Vài micron là lớp điện môi.Bản cực trên làm bằng Au và hai điện cực được nối chân ra ngoài.Như vậy cảm biến xem như một tụ điện có điện môi là polymer.

Ưu điểm của cảm biến độ ẩm điện môi là khá tuyến tính,ít bị ảnh hưởng theo nhiệt độ,có thể đo tầm rộng từ 0 đến 100%.

Tuy nhiên nó có điện dung hàng trăm pF ở RH=0%, chỉ thay đổi vài chục pF khi RH=100%,offset khá cao.

❖ Tham khảo data sheet cảm biến P14-W-HUMIDITYSENSOR-C.



Hình 1.9a.2: Cảm biến độ ẩm điện dung

	Wired	SMD
Dimensions (L x W x H / H2 in mm):	5 x 3.81 x 0.4 / 0.8	6.35 x 2.54 x 0.4
Capacitance at 30 % RH and +23 °C (C_{30}):*	150 pF \pm 50 pF	180 pF \pm 50 pF
Sensitivity at $C_{30} = 150$ pF/ 180 pF (15 % RH to 90 % RH):	0.25 pF/% RH	0.3 pF/% RH
Operating humidity range:	0 % RH to 100 % RH (maximal dew point +85 °C)	
Operating temperature range:	-50 °C to +150 °C	
Loss factor:	< 0.01 (at +23 °C, at 10 kHz, at 90 % RH)	
Linearity error:	< 1.5 % RH (15 % RH to 90 % RH at +23 °C after one point calibration)	
Hysteresis:	< 1.5 % RH	
Response time t_{63} :	< 5 s (50 % RH to 0 % RH at +23 °C)	
Temperature dependence (nominal):	Δ % RH = (B1 x % RH + B2) x T [°C] + (B3 x % RH + B4) B1 = 0.0014 [1/ °C] B2 = 0.1325 [% RH/ °C] B3 = -0.0317 B4 = -3.0876 [% RH]	
Measurement frequency:	1 kHz to 100 kHz (recommended 10 kHz)	
Maximal supply voltage:	< 12 V _{pp} AC	
Signal form:	alternating signal without DC bias	

❖ Gợi ý thiết kế mạch đo cảm biến độ ẩm điện dung:

- Do độ tuyến tính khá cao và ít bị ảnh hưởng theo nhiệt độ nên chỉ quan tâm đến độ nhạy của cảm biến trên tầm đo rộng từ 0 đến 100% RH.
- Sử dụng cầu W đo dung kháng với nguồn cấp AC tần số từ 1 đến 10khz(xem mục 1.10)
- Sử dụng mạch dao động chuyển sang chu kỳ hay tần số tỉ lệ với C(xem mục 1.10)

PHỤ LỤC CHƯƠNG 1:Bảng tra các giá trị điện trở theo nhiệt độ của Pt100 và thermocouple

Bảng PL1-1: Pt100

${}^{\circ}\text{C}$	Ω	${}^{\circ}\text{C}$	Ω	${}^{\circ}\text{C}$	Ω	${}^{\circ}\text{C}$	Ω
-220	10,41	+50	119,40	-320	219,13	+590	310,43
210	14,36	60	123,24	330	222,66	+600	313,65
-200	18,53	70	127,07	340	226,18	610	316,86
190	22,78	80	130,89	+350	229,61	620	320,05
180	27,05	90	134,70	360	233,19	630	323,24
170	31,28	+100	138,50	370	236,67	640	326,41
160	35,48	110	142,28	380	240,15	+650	329,57
150	39,65	120	146,06	390	243,61	660	332,72
140	43,80	130	149,82	+400	247,06	670	335,86
130	47,93	140	153,57	410	250,50	680	338,99
120	52,04	+150	157,32	420	253,93	690	342,10
110	56,13	160	161,05	430	257,34	+700	345,21
-100	60,20	170	164,76	440	260,75	710	348,30
90	64,25	180	168,47	+450	264,14	720	351,38
80	68,28	190	172,16	460	267,52	730	354,45
70	72,29	+200	175,84	470	270,89	740	357,51
60	76,28	210	179,51	480	274,25	+750	360,55
-50	80,25	220	183,17	490	277,60	760	363,59
40	84,21	230	186,82	+500	280,93	770	366,61
30	88,17	240	190,46	510	284,25	780	369,62
20	92,13	+250	194,08	520	287,57	790	372,62
-10	96,07	260	197,70	530	290,87	+800	375,61
+0	100,00	270	201,30	540	294,16	810	378,59
+10	103,90	280	204,88	+550	297,43	820	381,55
20	107,79	290	208,46	560	300,70	830	384,50
30	111,67	+300	212,03	570	303,95	840	387,45
40	115,54	310	215,58	580	307,20	850	390,38

Bảng PL1-2: Thermocouple loại R

${}^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-0	0	-51	-100	-145	-188	-226					
+0	0	54	111	171	232	296	363	431	510	573	647
100	647	723	800	879	959	1041	1124	1208	1294	1380	1468
200	1468	1557	1647	1738	1830	1923	2017	2111	2207	2303	2400
300	2400	2498	2596	2695	2795	2896	2997	3099	3201	3304	3407
400	3407	3511	3616	3721	3826	3933	4039	4146	4254	4362	4471

500	4471	4580	4689	4799	4910	5021	5132	5244	5356	5469	5582
600	5582	5696	5810	5925	6040	6155	6272	6388	6505	6623	6741
700	6741	6860	6979	7098	7218	7339	7460	7582	7703	7826	7949
800	7949	8072	8196	8320	8445	8570	8696	8822	8949	9076	9203
900	9203	9331	9460	9589	9718	9848	9978	10109	10240	10371	10503
1000	10503	10636	10768	10902	11035	11170	11304	11439	11574	11710	11846
1100	11846	11983	12119	12257	12394	12532	12669	12808	12946	13085	13224
1200	13224	13363	13502	13642	13782	13922	14062	14202	14343	14483	14624
1300	14624	14765	14906	15047	15188	15329	15470	15611	15752	15893	16035
1400	16035	16176	16317	16458	16599	16741	16882	17022	17163	17304	17445
1500	17445	17585	17726	17866	18006	18146	18286	18425	18564	18703	18842
1600	18842	18981	19119	19257	19395	19533	19670	19807	19944	20080	20215
1700	20215	20350	20483	20616	20748	20878	21006				

Bảng PL1-3: Thermocouple loại S

⁰ C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-0	0	-53	-103	-150	-194	-236					
+0	0	55	113	173	235	299	365	432	502	573	645
100	645	719	795	872	950	1029	1109	1190	1273	1356	1440
200	1440	1525	1611	1698	1785	1873	1962	2051	2141	2232	2323
300	2323	2414	2506	2599	2692	2786	2880	2974	3069	3164	3260
400	3260	3356	3452	3549	3645	3743	3840	3938	4036	4135	4234
500	4234	4333	4432	4532	4632	4732	4832	4933	5034	5136	5237
600	5237	5339	5442	5544	5648	5751	5855	5960	6064	6169	6274
700	6274	6380	6486	6592	6699	6805	6913	7020	7128	7236	7345
800	7345	7454	7563	7672	7782	7892	8003	8114	8225	8336	8448
900	8448	8560	8673	8786	8899	9012	9126	9240	9355	9470	9585
1000	9585	9700	9816	9932	10048	10165	10282	10400	10517	10635	10754
1100	10754	10872	10991	11110	11229	11348	11467	11587	11707	11827	11947
1200	11947	12067	12188	12308	12429	12550	12671	12792	12913	13034	13155
1300	13155	13276	13397	13519	13640	13761	13883	14004	14125	14247	14368
1400	14368	14489	14610	14731	14852	14973	15094	15215	15336	15456	15576
1500	15576	15697	15817	15937	16057	16176	16296	16415	16534	16653	16771
1600	16771	16890	17008	17125	17243	17360	17477	17594	17711	17826	17942
1700	17942	18056	18170	18282	18394	18504	18612				

Bảng PL1-4: Thermocouple loại B

⁰ C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-0	0	-2	-3	-2	0	2	6	11	17	25	33
100	33	43	53	65	78	92	107	123	140	159	178
200	178	199	220	243	266	291	317	344	372	401	431
300	431	462	494	527	561	596	632	669	707	746	786
400	786	827	870	913	957	1002	1048	1095	1143	1192	1241
500	1241	1292	1344	1397	1450	1505	1560	1617	1674	1732	1791

600	1791	1851	1912	1974	2036	2100	2164	2230	2296	2363	2430
700	2430	2499	2569	2639	2710	2782	2855	2928	3003	3078	3154
800	3154	3231	3308	3387	3466	3546	3626	3708	3790	3873	3957
900	3957	4041	4126	4212	4298	4386	4474	4562	4652	4742	4833
1000	4833	4924	5016	5109	5202	5297	5391	5487	5583	5680	5777
1100	5777	5875	5973	6073	6172	6273	6374	6475	6577	6680	6783
1200	6783	6887	6991	7096	7202	7308	7414	7521	7628	7736	7845
1300	7845	7953	8063	8172	8283	8393	8504	8616	8727	8839	8952
1400	8952	9065	9178	9291	9405	9519	9634	9748	9863	9979	10094
1500	10094	10210	10325	10441	10558	10674	10790	10907	11024	11141	11257
1600	11257	11374	11491	11608	11725	11842	11959	12076	12193	12310	12426
1700	12426	12543	12659	12776	12892	13003	13124	13239	13354	13470	13585
1800	13585	13699	13814								

Bảng PL1-5: Thermocouple loại J

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-7890	-8096									
-100	-4632	-5036	-5426	-5801	-6159	-6499	-6821	-7122	-7402	-7659	-7890
- 0	0	-501	-995	-1481	-1960	-2431	-2892	-3344	-3785	-4215	-4632
+ 0	0	507	1019	1536	2058	2585	3115	3649	4186	4725	5268
100	5268	5812	6359	6907	7457	8008	8560	9113	9667	10222	10777
200	10777	11332	11887	12442	12998	13553	14108	14663	15217	15771	16325
300	16325	16879	17432	17984	18537	19089	19640	20192	20743	21295	21846
400	21846	22397	22949	23501	24054	24607	25161	25716	26272	26829	27388
500	27388	27949	28511	29075	29642	30210	30782	31356	31933	32513	33096
600	33096	33683	34273	34867	35464	36066	36671	37280	37893	38510	39130
700	39130	39754	40382	41013	41647	42283	42922	43563	44207	44852	45498
800	45498	46144	46790	47434	48076	48716	49354	49989	50621	51249	51875
900	51875	52496	53115	53729	54341	54948	55553	56155	56753	57349	57942
1000	57942	58533	59121	59708	60293	60876	61459	62039	62619	63199	63777
1100	63777	64355	64933	65510	66087	66664	67240	67815	68390	68964	69536
1200	69536										

Bảng PL1-6: Thermocouple loại T

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-5603	-5753	-5889	-6007	-6105	-6181	-6232	-6258			
-100	-3378	-3656	-3923	-4177	-4419	-4648	-4865	-5069	-5261	-5439	-5603
- 0	0	-383	-757	-1121	-1475	-1819	-2152	-2475	-2788	-3089	-3378
+ 0	0	391	789	1196	1611	2035	2467	2908	3357	3813	4277
100	4277	4749	5227	5712	6204	6702	7207	7718	8235	8757	9286
200	9286	9820	10360	10905	11456	12011	12572	13137	13707	14281	14860
300	14860	15443	16030	16621	17217	17816	18420	19027	19638	20252	20869
400	20869										

Bảng PLI-7: Thermocouple loại E

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-8824	-9063	-9274	-9455	-9604	-9719	-9797	-9835			
-100	-5237	-5680	-6107	-6516	-6907	-7279	-7631	-7963	-8273	-8561	-8824
-0	0	-581	-1151	-1709	-2254	-2787	-3306	-3811	-4301	-4777	-5237
+0	0	591	1192	1801	2419	3047	3683	4329	4983	5646	6317
100	6317	6996	7683	8377	9078	9787	10501	11222	11949	12681	13419
200	13419	14161	14909	15661	16417	17178	17942	18710	19481	20256	21033
300	21033	21814	22597	23383	24171	24961	25754	26549	27345	28143	28943
400	28943	29744	30546	31350	32155	32960	33767	34574	35382	36290	36999
500	36999	37808	38617	39426	40236	41045	41853	42662	43470	44278	45085
600	45085	45891	46697	47502	48306	49109	49911	50713	51513	52312	53110
700	53110	53907	54703	55498	56291	57083	57873	58663	59451	60237	61022
800	61022	61806	62588	63368	64147	64924	65700	66473	67245	68015	68783
900	68783	69549	70313	71075	72835	72593	73350	74104	74857	75608	76358
1000	76358										

Bảng PLI-8: Thermocouple loại K

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-5891	-6035	-6158	-6262	-6344	-6404	-6441	-6458			
-100	-3553	-3852	-4138	-4410	-4669	-4912	-5141	-5354	-5550	-5730	-5891
-0	0	-392	-777	-1156	-1527	-1889	-2243	-2586	-2920	-3242	-3553
+0	0	397	798	1203	1611	2022	2436	2850	3266	3681	4095
100	4095	4508	4919	5327	5733	6137	6539	6939	7338	7737	8137
200	8137	8537	8938	9341	9745	10151	10560	10969	11381	11793	12207
300	12207	12623	13039	13456	13874	14292	14712	15132	15552	15974	16395
400	16395	16818	17241	17664	18088	18513	18938	19363	19788	20214	20640
500	20640	21066	21493	21919	22346	22772	23198	23624	24050	24476	24902
600	24902	25327	25751	26176	26599	27022	27445	27867	28288	28709	29128
700	29128	29547	29965	30383	30799	31214	31629	32042	32455	32866	33277
800	33277	33686	34095	34502	34909	35314	35718	36121	36524	36925	37325
900	37325	37724	38122	38519	38915	39310	39703	40096	40488	40879	41269
1000	41269	41657	42045	42432	42817	43202	43585	43968	44349	44729	45108
1100	45108	45486	45863	46238	46612	46985	47356	47726	48095	48462	48828
1200	48828	49192	49555	49916	50276	50633	50990	51344	51697	52049	52398
1300	52398	52747	53093	53439	53782	54125	54466	54807			

1.10: Chuyển đổi tín hiệu cảm biến (signal conditioning)

1.10.1: Giới thiệu:

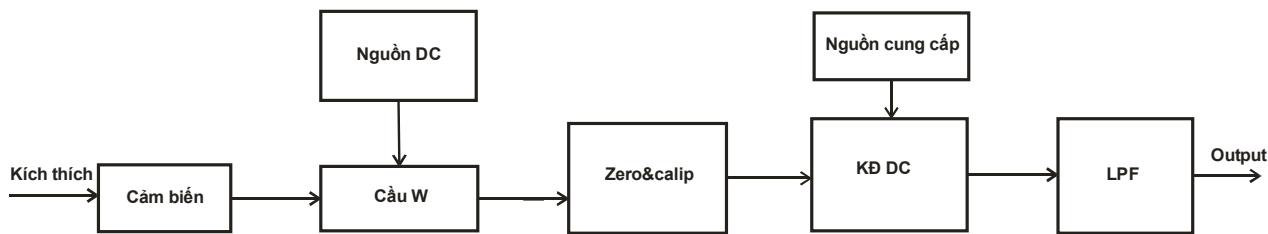
Mạch chuyển đổi tín hiệu cảm biến có chức năng chuyển đổi đáp ứng ngõ ra của cảm biến thành đại lượng điện dưới dạng điện áp, dòng điện, độ rộng xung, tần số, tín hiệu số... để phù hợp với điều kiện ngõ vào của phần xử lý tiếp theo.

Ví dụ: ngõ ra của thermocouple CA(K) có đáp ứng $41 \mu V/^{\circ}C$. Độ nhạy điện áp này quá bé, ta cần phải có mạch khuếch đại DC để nâng độ nhạy điện áp thermocouple lên đủ lớn tới hàng mV chẵng hạn mới có thể đưa vào bộ ADC chuyển sang tín hiệu số.

Hoặc ta sử dụng cầu wheatstone chuyển sự biến đổi điện trở của cảm biến loại điện trở như Pt, straininggage thành điện áp ngõ ra cầu và dùng khuếch đại vi sai hay khuếch đại dụng cụ khuếch đại tín hiệu áp lên nhiều lần.

Các loại cảm biến thụ động cần cấp nguồn kích thích mới tạo tín hiệu ra. Nguồn kích thích có thể là DC hoặc AC.

Hình 1.65 minh họa hệ thống chuyển đổi tín hiệu cảm biến DC cơ bản



Hình 1.65: Hệ thống chuyển đổi tín hiệu cảm biến DC

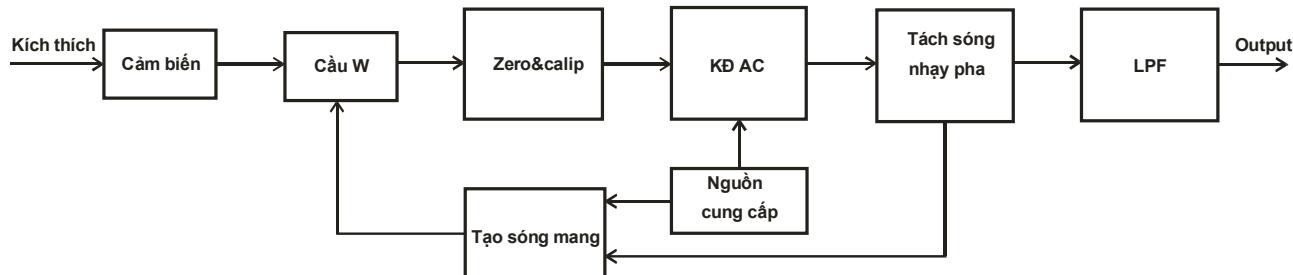
Cảm biến là một phần nhánh của cầu W. Nguồn cấp cầu W là nguồn DC. Tín hiệu ngõ ra cầu W được chuẩn hóa zero và calip trước khi đưa vào khuếch đại DC tăng biến độ điện áp và bộ lọc thông thấp LPF loại bỏ nhiễu cao tần.

Những điểm thuận lợi của hệ thống chuyển đổi tín hiệu cảm biến DC:

- 1- Ngõ vào có thể sử dụng khuếch đại vi sai có CMRR cao
- 2- Độ tin cậy và ổn định nhiệt cao
- 3- Dễ chuẩn hóa và tuyển tính hóa ở f thấp
- 4- Khả năng chịu điều kiện quá tải cao

Nhược điểm chính của hệ thống DC là trôi điện áp (theo nhiệt độ hoặc độ bất ổn của nguồn cung cấp). Để khắc phục nhược điểm này, người ta thường sử dụng các bộ khuếch đại DC có độ trôi thấp (low drift).

Để giải quyết vấn đề trôi trong hệ thống DC, người ta sử dụng hệ thống AC như hình 1.66.



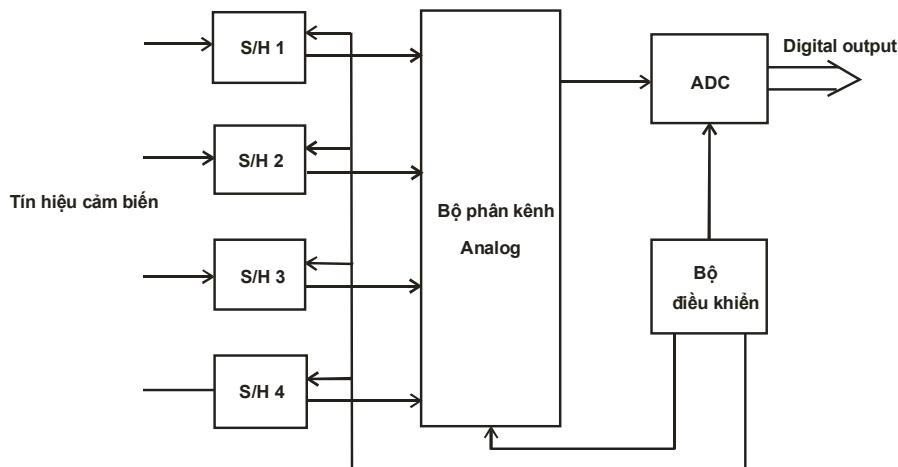
Hình 1.66: Hệ thống chuyển đổi tín hiệu cảm biến AC

Nguồn kích thích cấp cho cầu W là tín hiệu AC gọi là sóng mang tần số cao từ 50kHz→200kHz. Sóng mang phải có tần số lớn hơn tần số tín hiệu ngõ ra cảm biến ít nhất 5 đến 10 lần. Tín hiệu chuyển đổi từ cảm biến sẽ điều chế sóng mang và cho tín hiệu điều chế ở ngõ ra của cầu W, sau đó được khuếch đại AC và qua bộ tách sóng nhạy pha. Ngõ ra tách sóng nhạy pha là tín hiệu DC đưa về ổn định lại bộ dao động tạo sóng mang.

Trong hệ thống AC, vấn đề trôi tần số và tín hiệu sai không quan trọng. Vấn đề quan trọng nhất là ổn định tần số và biên độ dao động tạo sóng mang. Chức năng của bộ tách sóng nhạy pha dùng để giải quyết vấn đề này và loại bỏ sóng mang phục hồi lại tín hiệu ngõ ra cảm biến đã được khuếch đại. Bộ lọc hạ thông LPF thường là bộ lọc tích cực để loại bỏ các thành phần sóng mang và hài của nó cũng như các nhiễu cao tần.

Trong các ứng dụng, hệ thống DC thường được sử dụng cho các cảm biến dạng điện trở, trong khi hệ thống AC có thể ứng dụng cho các cảm biến dạng trở kháng (L,C) và truyền đi xa qua dây nối đến bộ xử lý.

Tín hiệu cảm biến sau khi được xử lý analog có thể được gửi đến bộ thu thập và chuyển đổi sang tín hiệu số (Data Acquisition and Conversion System) như hình 1.67.



Hình 1.67: Bộ DACS (Data Acquisition and Conversion System)

Tín hiệu cảm biến qua các bộ lấy mẫu và giữ Sample & Hold (S/H) để lấy mẫu biến thiên tín hiệu vào, qua bộ phân kênh analog và đưa vào ADC cho ngõ ra tín hiệu số tương ứng. Hoạt động của khối được điều khiển bởi bộ điều khiển có thể là mạch số, vi xử lý, PC...

Các mạch chuyển đổi tín hiệu cảm biến nói chung có thể là khuếch đại DC, khuếch đại AC, khuếch đại dụng cụ (IA) chuyển đổi dòng/áp, khuếch đại phi tuyến, tạo hàm, lọc, tạo xung & tần số, ADC, DAC, chopper/modulator... Ở phần sau, ta sẽ khảo sát chi tiết một số dạng mạch chuyển đổi tín hiệu cảm biến tiêu biểu.

1.10.2: OPAMP và các mạch khuếch đại(KĐ)thông dụng:

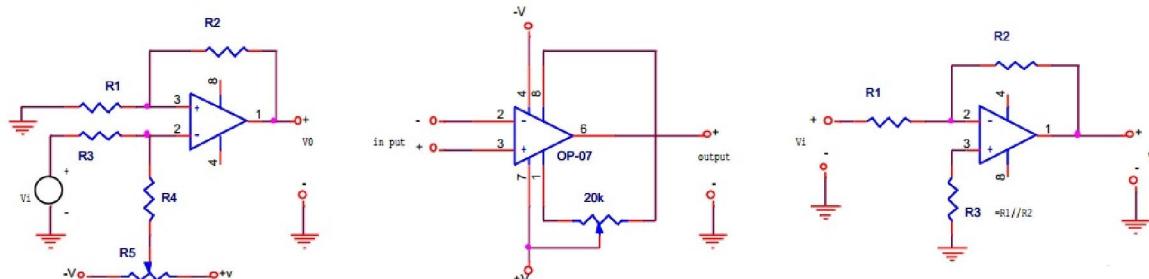
Phần này chỉ tóm tắt ngắn gọn về các thông số & các đặc tính của OPAMP và các dạng mạch khuếch đại thông dụng. Để khảo sát thêm chi tiết hơn, có thể tham khảo thêm các tài liệu về OPAMP.

Khi sử dụng OPAMP trong KĐ DC đặc biệt cần lưu ý các thông số sau;

- Lệch điện áp ngõ vào (Input offset voltage): V_{io} (mV)
- Lệch dòng ngõ vào (Input offset current): I_{io} (nA)
- Dòng phân cực ngõ vào (Input bias current) I_{ib} (nA)
- Trôi điện áp (Voltage Drift): $TC\ V_{io}$ (μ V/ $^{\circ}C$)
- Tỉ số néo tín hiệu đồng pha (CMRR): dB

Ba thông số đầu chỉ có ý nghĩa ở một nhiệt độ nhất định (nhà sản xuất thường cho ở 25°C). Thông thường khi thiết kế mạch phải có mạch bù offset và phân cực dòng ngõ vào như hình 1.68. Thông số trôi điện áp rất quan trọng nhất là áp dụng trong các hệ thống đo nhiệt độ hay mạch điện nằm trong môi trường nhiệt độ thay đổi trên tầm rộng. Nói chung phải có mạch bù nhiệt hoặc chọn OPAMP có TC V_{io} bé như ở OPO7C chẳng hạn ($\text{TC } V_{\text{io}} = 0.5 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$).

Thông số tỉ số nén tín hiệu đồng pha CMRR thể hiện khả năng triệt nhiễu tín hiệu đồng pha của OPAMP.



Hình 1.68: Mạch bù offset và dòng phân cực vào

OPAMP OPO7C là loại OPAMP có độ lệch điện áp và trôi điện áp cực thấp rất thích hợp trong các ứng dụng KĐDC cần offset và trôi áp thấp ở ngõ vào . OPO7C có các thông số tiêu biểu như sau (tham khảo thêm tài liệu về OPO7):

- $V_{io} = 85 \mu V$ (typ.)
 - $I_{io} = 1.6nA$ (typ.)
 - $I_{ib} = (\pm 2.2nA$ (typ.)
 - $TC\ V_{io} = 0.5 \mu V/^\circ C$ (typ.)
 - $CMRR = 120$ dB (typ.)

Tham khảo data sheet OPA333,opamp có thông số offset và trôi nhiệt cực thấp,cấp nguồn thấp,tiêu thụ nguồn thấp,thích hợp cho nguồn 3V3 và nguồn pin:

- $V_{io}=10\mu V(max)$
 - $I_{io}=400pA(max)$
 - $I_{ib}=\pm 200pA(max)$
 - TC $V_{io}=0.05\mu V/\text{ }^{\circ}\text{C}(max)$
 - CMRR=130dB(typ.)
 - $V_{cc}= 1.8 \div 5.5V$ or $\pm 0.9 \div \pm 2.75V$ (có thể cấp nguồn đơn)
 - $I_{ccQ}=28\mu A(max)(I_0=0)$ (dòng cấp nguồn tĩnh)

Khi sử dụng OPAMP trong KĐ AC, ngoài các thông số trên, ta phải quan tâm thêm những thông số liên quan đến tốc độ làm việc và đáp ứng tần số của OPAMP:

- Tốc độ đáp ứng ngõ ra (slew rate): SR ($V/\mu S$)
 - Tích số độ lợi băng thông (Gain. Bandwidth product) : GBW (MHz)

Tham khảo data sheet OPAMP OP37 có:

- SR=11.9V/ μ s ($V_0=\pm 10$ V, $R_L=2K\Omega$)
 - GBW=63MHz

rất thích hợp cho KĐAC trôi lệch áp thấp, nhiễu thấp, tốc độ cao.

❖ Tham khảo data sheet OPA2614 có:

- SR=145 μ V/s(typ.)
- GBW=290Mhz(typ.)
- I₀= \pm 350mA(typ.)
- V_{cc}=5÷ 12V or \pm 2.5÷ \pm 6V(có thể cấp nguồn đơn)

1) Khuéch đại đảo:

- Tín hiệu ngõ ra đảo pha ngõ vào

$$- \text{Hệ số KĐ } A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad (1.137)$$

$$- \text{Tổng trở vào: } R_i = R_1 \quad (1.138)$$

2) Khuéch đại không đảo:

- Tín hiệu ngõ ra đồng pha ngõ vào

$$- \text{Hệ số KĐ: } A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1.139)$$

$$- \text{Tổng trở vào: } R_i \approx r_d (1 + \frac{A_{vo}}{A_v}) \quad (1.140)$$

r_d: tổng trở vào vi sai của OPAMP

A_{vo}: Hệ số khuéch đại vòng hở OPAMP

3) Khuéch đại theo điện áp

- Tín hiệu ngõ ra đồng pha ngõ vào

$$- \text{Hệ số KĐ: } A_v = 1 \quad (1.141)$$

$$- \text{Tổng trở vào: } R_i = \infty$$

$$- \text{Tổng trở ra: } R_o \approx 0$$

4) Mạch cộng:

$$V_0 = -(\frac{R_F}{R_a} V_a + \frac{R_F}{R_b} V_b + \frac{R_F}{R_c} V_c) \quad (1.142)$$

Chọn R_F = R_a = R_b = R_c

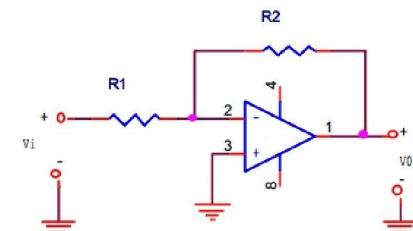
$$V_0 = -(V_a + V_b + V_c) \quad (1.143)$$

5) Mạch trừ: (KĐ vi sai)

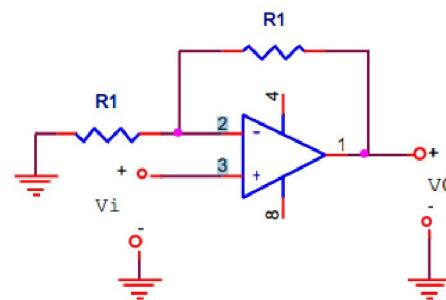
$$V_0 = (1 + \frac{R_2}{R_1})(\frac{R_4}{R_3 + R_4})V_a - \frac{R_2}{R_1}V_b \quad (1.144)$$

Chọn R₁ = R₂ = R₃ = R₄

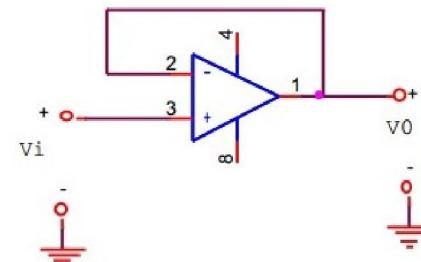
$$V_0 = V_a - V_b \quad (1.145)$$



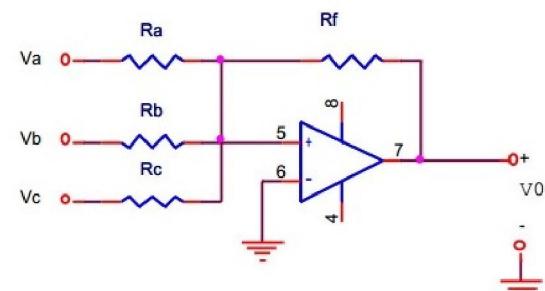
Hình 1.69: Khuéch đại đảo



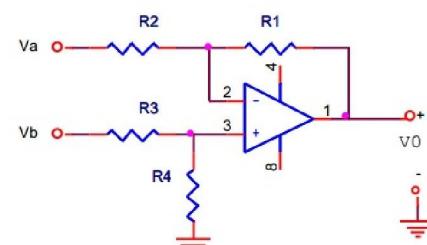
Hình 1.70: Khuéch đại không đảo



Hình 1.71: Mạch theo điện áp



Hình 1.72: Mạch cộng



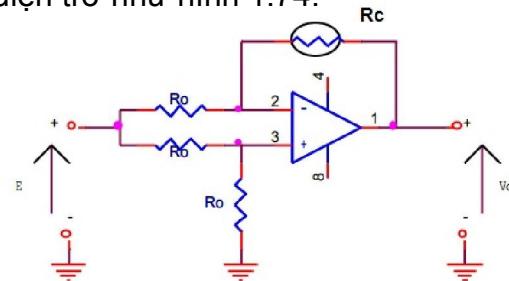
Hình 1.73: Mạch trừ

Ví dụ: Sử dụng mạch trù làm KĐ cầu W với cảm biến điện trở như hình 1.74.

Cảm biến có biểu thức: $R_c = R_0 + \Delta R$

Ta có:

$$V_0 = -\Delta R \times \frac{E}{2R_0} \quad (1.146)$$



Hình 1.74: Mạch KĐ cầu

1.10.3: Khuếch đại dụng cụ: (Instrumentation Amplifier: IA)

* Các ưu điểm của KĐ dụng cụ (IA):

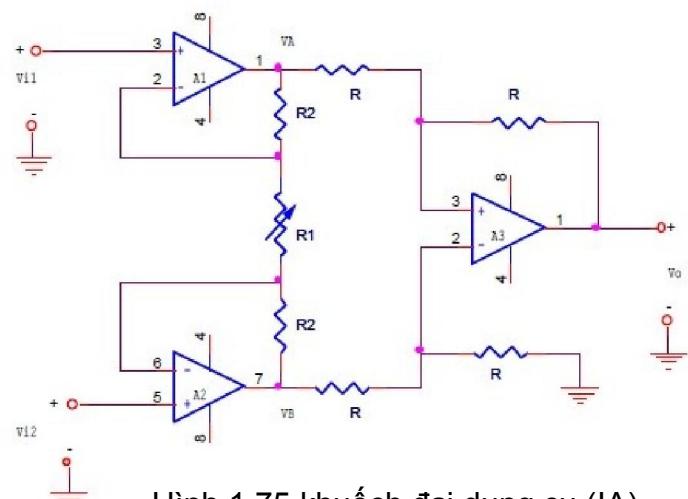
- o Điều chỉnh được hệ số KĐ và hệ số KĐ chính xác tuyển tính
- o Ngõ vào vi sai với CMRR cao
- o Hệ số KĐ và hệ số nhiệt ổn định
- o Trôi và lệch ngõ vào thấp
- o Tổng trở vào rất lớn, tổng trở ra rất bé

Hình 1.75 mô tả mạch IA cơ bản.

$$V_A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_{i1} - \frac{R_2}{R_1}v_{i2}$$

$$V_B = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_{i2} - \frac{R_2}{R_1}v_{i1}$$

$$V_0 = V_B - V_A = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)(v_{i2} - v_{i1}) \quad (1.147)$$

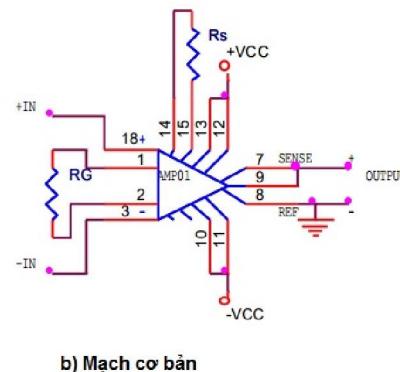
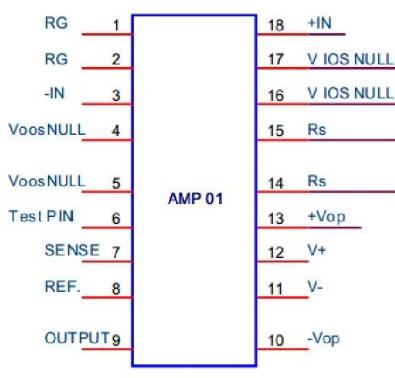


Hình 1.77 giới thiệu mạch IA AMP01 của hãng ANALOG DEVICE

Đặc tính của AMP01:

- Lệch điện áp $15 \mu V$
- Trôi điện áp $0,1 \mu V/^{\circ}C$
- Nhiễu ồn $0,2 \mu V_{pp}(0,1Hz - 10Hz)$
- Lái ngõ ra $\pm 10V @ \pm 50mA$
- Ồn định tải dung đến $1 \mu F$
- HSKĐ $0,1-10.000$
- Tuyến tính $16bit @ A_v=1000$
- CMRR $140dB @ A_v=1000$
- Dòng phân cực vào $1nA$
- Bảo vệ quá nhiệt ngõ ra

Xem thêm chi tiết trong tài liệu AMP01.



Hình 1.77: Mạch IA AMP01

❖ Tham khảo thêm data sheet IA INA128 và INA333

1.10.4: Khuếch đại cách ly (Isolation amplifiers)

Bộ khuếch đại cách ly được sử dụng trong các trường hợp:

- Cách ly cảm biến và mạch xử lý. Ví dụ: cảm biến đặt trong môi trường nhiệt độ cao, độc hại...
- Đường truyền cảm biến về mạch điện xa
- Chống những ảnh hưởng nhiễu về điện áp làm hỏng mạch xử lý.
- Giảm ảnh hưởng nhiễu do đường masse nối vòng (ground loops).

❖ Xem thêm chi tiết KĐ cách ly AD202/AD204 (Analog device)

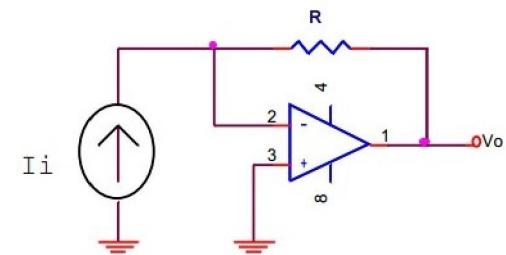
1.10.5: Chuyển đổi dòng-áp, áp-dòng:

1) - Chuyển đổi dòng-áp (I-V Converter):

Áp dụng cho ngõ ra cảm biến dưới dạng dòng điện cần chuyển sang điện áp.

$$\text{Ta có: } V_0 = -RI \quad (1.149)$$

Các thông số liên quan [1]



Hình 1.78: Mạch chuyển đổi dòng/áp cơ bản

$$T = \frac{ar_d}{r_d + R + r_o} \quad (1.150)$$

$$Av = -R \frac{1}{1+1/T}, \quad R_i = \frac{r_d // (R + r_o)}{1+T}, \quad R_o = \frac{r_o}{1+T} \quad (1.151)$$

[1]: tham khảo các tài liệu OPAMP

T : độ lợi vòng

r_d : tổng trở vào vi sai

r_o : tổng trở ra

• Mạch I-V độ nhạy cao

Áp dụng định luật nút mạch tại v_1 :

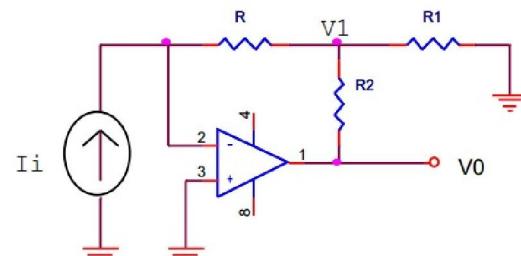
$$\frac{-v_1}{R} - \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_o - v_1}{R_2} = 0$$

Theo (1.149): $v_1 = -R \cdot I_i$

Thay vào ta được:

$$v_o = -KRI_i \quad (1.152a)$$

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R} \quad (1.152b)$$

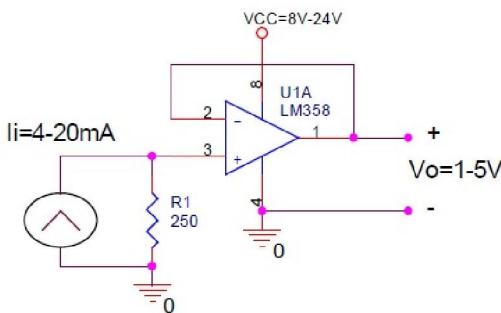


Hình 1.79: Mạch I-V độ nhạy cao

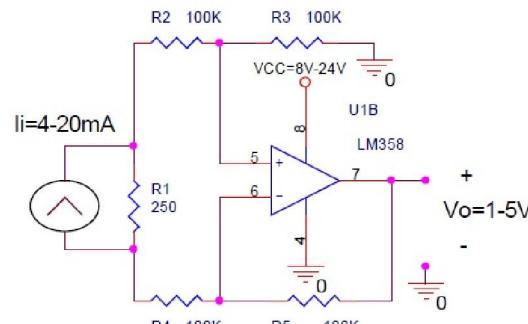
Ví dụ 1.17: Các cảm biến trong công nghiệp thường có ngõ ra dòng điện từ 4÷20mA, ví dụ như cảm biến áp suất tầm từ 0÷10 bar cho output từ 4÷20mA tỉ lệ tuyến tính áp suất. Dạng output nguồn dòng dễ truyền đi xa không sợ bị ngắn mạch đường truyền. Tại ngõ vào mạch xử lý trung tâm phải có mạch chuyển đổi dòng thành áp thường theo chuẩn từ 1÷5V.

Thiết kế mạch chuyển đổi nguồn dòng từ 4÷20mA sang nguồn áp từ 1÷5V.

Giải:



a) Ngõ vào bất đối xứng



b) Ngõ vào vi sai

Hình vd1.17

Hình vd1.17a sử dụng mạch theo điện áp có tổng trở vào rất lớn không rẽ dòng qua R_1 và tổng trở ra rất bé cho output. Nguồn dòng ghép vào R_1 tạo áp $V_i=1\text{--}5V$ và $V_0=V_i=1\text{--}5V$.

Hình vd1.17b sử dụng mạch khuếch đại cầu nhận áp vào $V_i=I_i R_1$ dạng vi sai, chống nhiễu đồng pha rất tốt. Chọn $R_2=R_3=R_4=R_5$ để có tổng trở vào vi sai nhìn từ R_1 là $2R_2 >> R_1$:

$$V_0 = V_{id} = I_i \cdot R_1 \quad (\text{vd1.17.2})$$

Các điện trở nhất là R_1 phải có sai số $\leq 1\%$. OPAMP LM358 có offset và trôi nhiệt phù hợp với thiết kế này và sử dụng nguồn đơn. $V_{OL}=50\text{mV} < 1\text{V}$ và $V_{OH}=V_{cc}-1.5\text{V}$ nên chọn $V_{cc\min}=8\text{V}$ để thỏa yêu cầu mức cao không bão hòa Khi $V_0=5\text{V}$.

2)- Chuyển đổi áp dòng (V-I converter):

Bộ V-I được áp dụng trong các trường hợp cần chuyển tín hiệu áp thành dòng điện hoặc tạo nguồn dòng cấp cho các cảm biến cần kết nối qua đường dây dài theo dạng dòng vòng (current loop) để đảm bảo không làm hỏng nguồn cấp khi có ngắn mạch xảy ra.

- V-I tải thả nổi:

Ở hình 1.80a: $V_o = i_o R$

Suy ra: $i_o = \frac{V_i}{R}$ (1.153)

- Lưu ý: dòng i_o chỉ phụ thuộc áp ngõ vào V_i và trở R , bất chấp điện áp tải V_L .

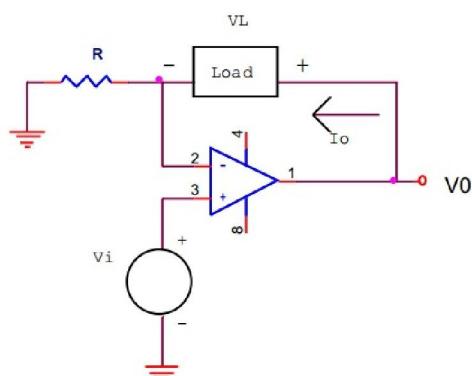
Ta có: $v_o = V_i + V_L$

$V_{oL} < V_o < V_{oH}$

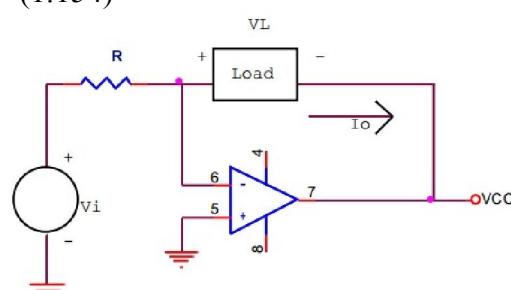
Trong đó: V_{oL} là điện áp bão hòa mức thấp

V_{oH} là điện áp bão hòa mức cao

Nên: $V_{oL} - V_i < V_L < V_{oH} - V_i$ (1.154)



a) Áp vào không đảo



b) Áp vào đảo

Hình 1.80: V-I tải thả nổi

- V-I tải nối masse:

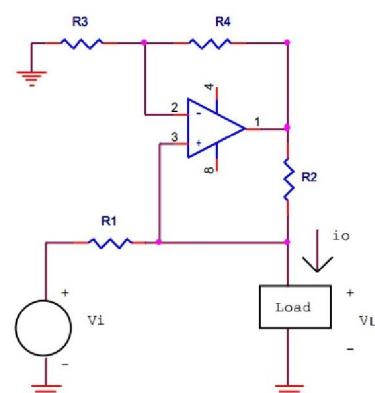
Đây là mạch nguồn dòng Howland:

$$i_o = \frac{V_i}{R_1} \quad (1.155a)$$

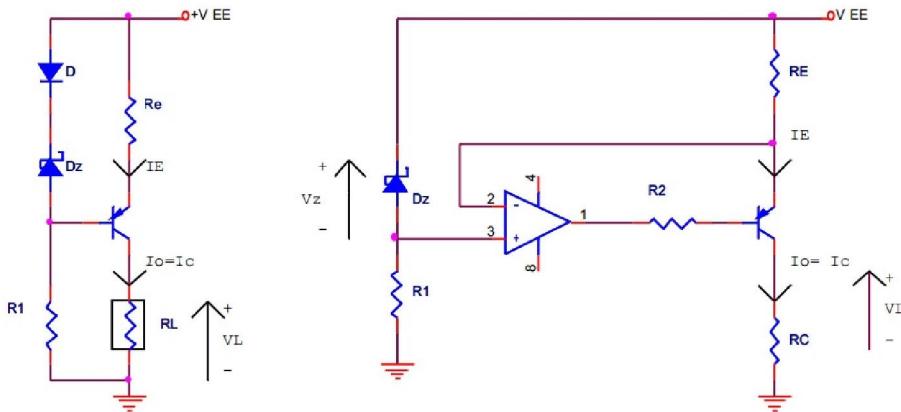
Với $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$ (1.155b)

$$|V_L| \leq \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{sat} \quad (1.155c)$$

- Một số mạch tạo nguồn dòng :



Hình 1.81: V-I tải nối masse



$$a) I_E = \frac{V_z}{R_E}$$

$$I_0 = I_C = \alpha I_E \approx \frac{V_z}{R_E} \quad (1.156)$$

$$V_L = I_0 R_L < V_{EE} - V_D - V_z \quad (1.156b)$$

$$b) I_E = \frac{V_z}{R_E}$$

$$I_0 = I_C = \alpha I_E \approx \frac{V_z}{R_E} \quad (1.157)$$

$$V_L = I_0 R_L < V_{EE} - V_z - V_{CEsat} \quad (1.157b)$$

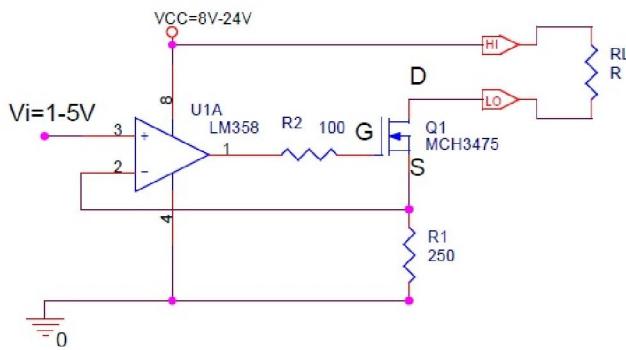
Hình 1.82: Một số mạch tạo nguồn dòng đơn giản

*Tham khảo thêm về nguồn dòng trên các trang web :

- http://www.aldinc.com/sc_current_source.htm
- <http://www.4qdtec.com/csm.html>

Ví dụ 1.18: Trong các mạch xử lý tín hiệu đặt cùng cảm biến, thông thường ngõ ra được chuyển thành dòng điện từ 4÷20mA để truyền đi xa dưới dạng dòng vòng(current loop). Thiết kế mạch chuyển đổi từ 1÷5V sang 4÷20mA.

Giải:



a) Tải R_L thả nổi

Hình vd1.18

Hình vd1.18a với tải R_L thả nổi:

$$I_L = I_{R1} = V_i / R_1$$

Với $V_i = 1 \text{ ÷ } 5V$, $R_1 = 250\Omega$ suy ra $I_L = 4 \text{ ÷ } 20mA$

Chọn Q1 là MOSFET để có $I_L = I_D = I_S$, nếu chọn BJT $I_L = I_C = I_E - I_B$ nên sẽ có sai số!

Điều kiện chọn tải R_{Lmax} :

$$I_{Lmax} R_{Lmax} = V_{cc} - V_{DSmin} - V_{imax} \quad (\text{vd1.18.2})$$

Chọn $V_{cc} = 24V$, $V_{DSmin} = 1V$, $R_{Lmax} = (24 - 1 - 5) / 0.02 = 900\Omega$

Hình vd1.18.2 với tải R_L nối GND. Ta có:

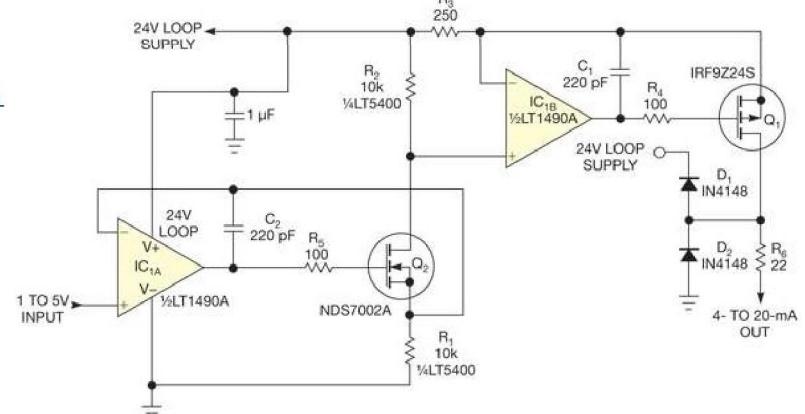
$$V_{R1} = V_i$$

Do Q2 có $I_D = I_S$ và $R1 = R2$ nên: $V_{R2} = V_{R1} = V_i$.

Xét ngõ vào IC1B, do $v_i^+ = v_i^-$ nên $V_{R2} = V_{R3} = V_i$

$$\text{Suy ra: } I_L = I_{DQ1} = I_{SQ1} = V_i / R_3 \quad (\text{vd1.18.2})$$

D1, D2 ghim áp $V_D = 0 \text{ ÷ } 24V$, R6 cách ly tải R_L .



b) Tải R_L nối GND

(vd1.18.1)

1.10.6: Các mạch phi tuyến:

Một số mạch phi tuyến được sử dụng trong chuyển đổi tín hiệu cảm biến như mạch so sánh, chỉnh lưu chính xác, Analog switch, lấy mẫu & giữ (S/H)

1. Mạch so sánh :

Sử dụng OPAMP KĐ vòng hở làm mạch so sánh .

Vùng KĐ: ΔV_i trong khoảng $\pm V_s$ rất bé

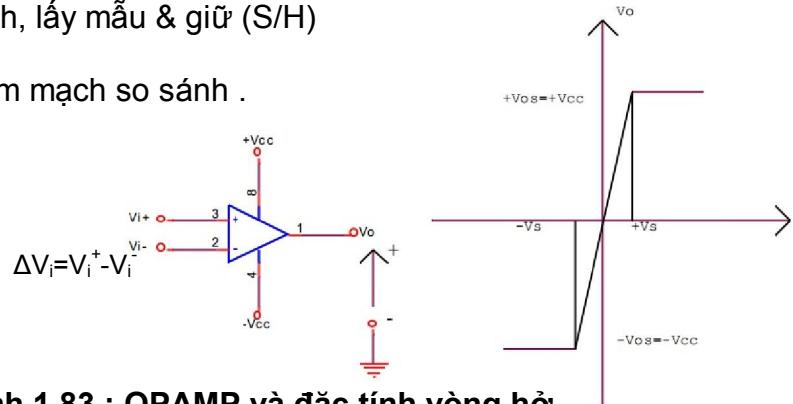
(hàng $\mu\text{V}-\text{mV}$) xem như = 0)

Do đó : $\Delta V_i \geq 0 : V_0 = +V_{os} \approx +V_{CC}$

$\Delta V_i < 0 : V_0 = -V_{os} \approx -V_{CC}$

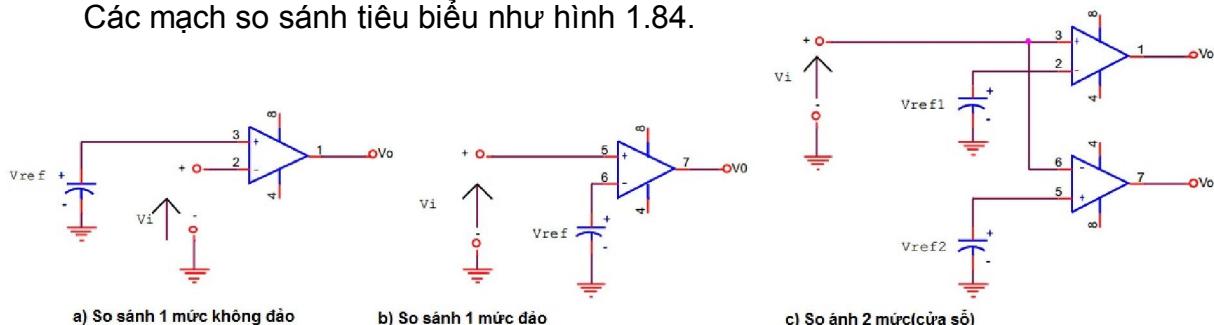
$+V_{os}$: điện áp bão hòa dương

$-V_{os}$: điện áp bão hòa âm



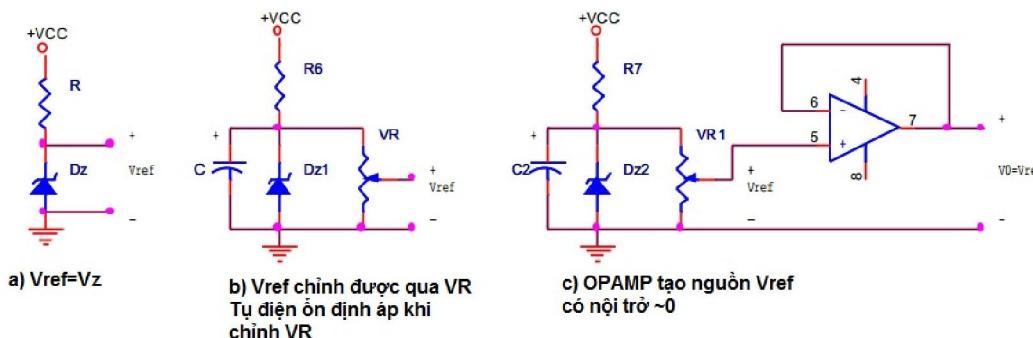
Hình 1.83 : OPAMP và đặc tính vòng hở

Các mạch so sánh tiêu biểu như hình 1.84.



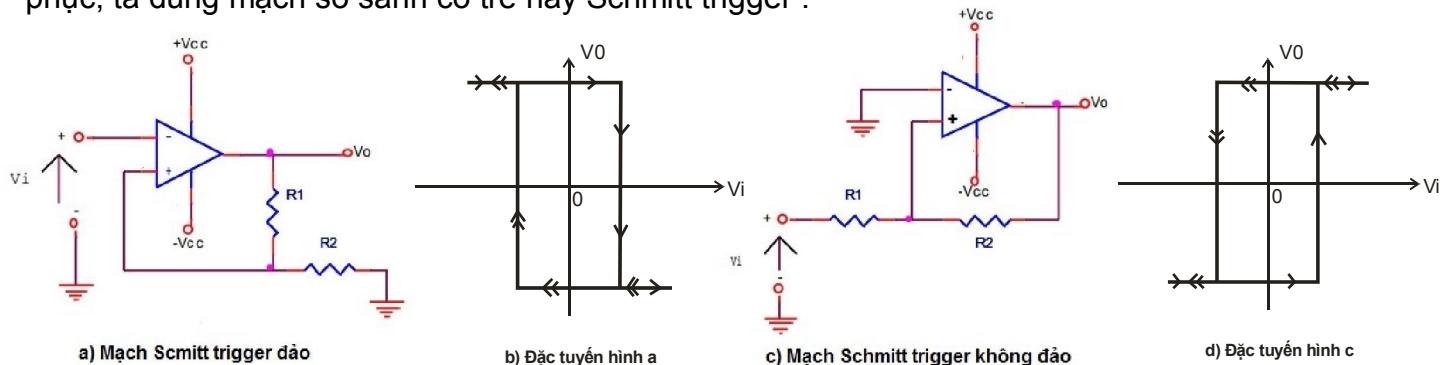
Hình 1.84 : Các dạng mạch so sánh cơ bản .

Nguồn chuẩn V_{ref} thường sử dụng diode Zener, có thể kết hợp biến trở để điều chỉnh hoặc thêm OPAMP mắc theo điện áp để có tổng trở ra ≈ 0 và ổn định .



Hình 1.85 : Tạo nguồn V_{ref} đơn giản

Một nhược điểm cơ bản nhất của mạch so sánh là rất dễ nhạy nhiễu và trôi theo nguồn, nhiệt độ,... Chỉ cần ngõ vào biến thiên rất bé vài đến vài chục μV ngõ ra đã tác động . Để khắc phục, ta dùng mạch so sánh có trễ hay Schmitt trigger .



Hình 1.86 : Các dạng mạch Schmitt trigger cơ bản

Trong hình 1.86a : $V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OS}$, $V_{TL} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OS}$ (1.158)

Trong hình 1.86b : $V_{TH} = +\frac{R_1}{R_2} V_{OS}$, $V_{TL} = -\frac{R_1}{R_2} V_{OS}$ (1.159)

* Tham khảo chi tiết IC LM311 : OPAMP so sánh tiêu biều .

2. Mạch chỉnh lưu chính xác :

- Mạch chỉnh lưu bán sóng (half wave rectifier : HWR)

+ Khi V_i dương, V_{OA} tăng vọt dương lên làm D on tạo hồi tiếp như mạch theo điện áp làm : $V_o = V_i$ (1.160a)

+ Khi V_i âm, V_{OA} âm theo làm D off hở mạch D làm:

$$V_o = 0, V_{OA} = -V_{OS} \quad (1.160b)$$

Nhược điểm của mạch là khi V_i chuyển từ âm sang dương,

V_{OA} sẽ tăng từ $-V_{OS}$ đến $V_i + V_{Don}$. Điều này có thể làm

méo tín hiệu ra nếu V_i biến thiên nhanh . Để cải thiện, ta

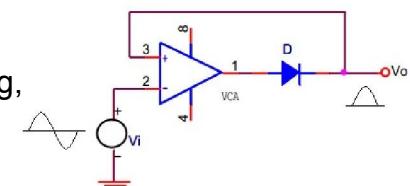
thêm diode kẹp D_2 như hình 1.88 .

+ Khi V_i dương, D_1 on, D_2 off, mạch trở thành KĐ không đảo có:

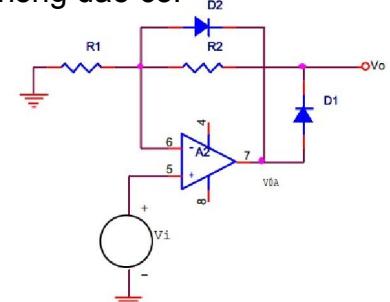
$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \quad (1.161a)$$

+ Khi V_i âm, D_1 off, D_2 on:

$$V_{OA} = -V_{D2on} \quad (1.161b)$$



Hình 1.87: Mạch HWR



Hình 1.88 : Mạch HWR cải thiện

• Mạch chỉnh lưu toàn sóng (Full wave Rectifier : FWR)

Với cách chọn điện trở như hình 1.89, ta có :

$V_i > 0 : D_1$ off, D_2 on :

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

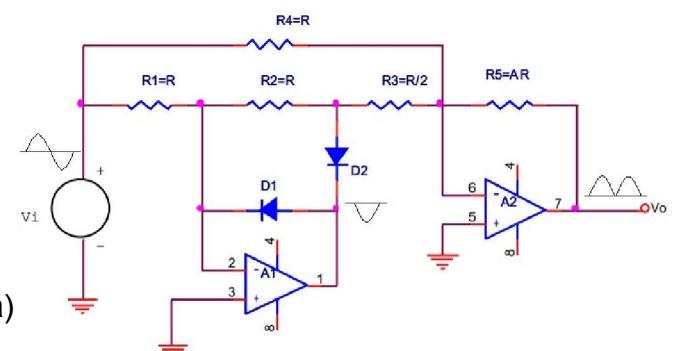
$$V_o = -\frac{R_5}{R_4} V_i - \frac{R_5}{R_3} V_{o1}$$

$$= \left(-\frac{R_5}{R_4} + \frac{R_2 R_5}{R_1 R_3} \right) V_i \quad (1.162a)$$

$$= A V_i \quad (1.162b)$$

$V_i < 0 : D_1$ on, D_2 off :

$$V_o = -\frac{R_5}{R_4} V_i = -A V_i \quad (1.162c)$$



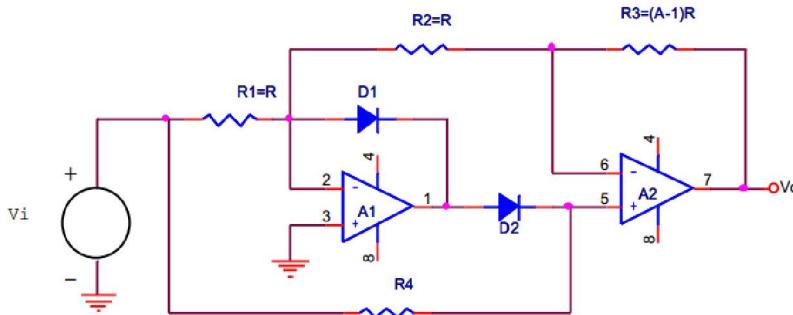
Hình 1.89 : Mạch FWR

Trong cả 2 bán kỳ : $V_o = A |V_i|$ (1.162d)

* Nhược điểm của mạch FWR hình 1.89 là phải chọn tỉ lệ điện trở thật chính xác !

Hình 1.90 là mạch FWR chỉ cần sử dụng 2 loại trở đúng tỉ lệ và cho $V_o = A |V_i|$

(Phản này chứng minh qua bài tập)



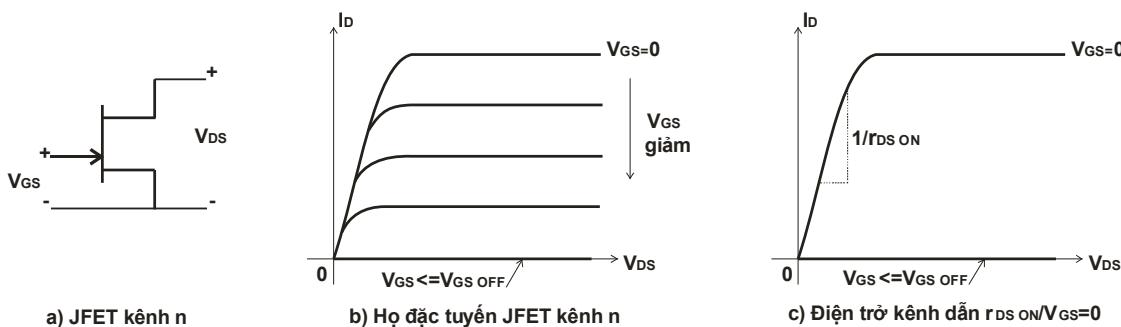
Hình 1.90 : Mạch FWR dùng 2 loại trở tỉ lệ

3. Công tắc tương tự(Analog Switch):

Analog SW hoạt động như 1 công tắc điện tử đáp ứng được việc truyền tín hiệu tương tự (và đương nhiên là tín hiệu số). Điều khiển analog SW ON/OFF nhờ vào tín hiệu logic thường theo chuẩn TTL .

Analog SW được sử dụng trong những mạch dồn kênh, lấy mẫu/ giữ, KĐ có lập trình ...

- **Analog SW JFET:**



Hình 1.91 : J FET Kênh n và đặc tuyến

JFET làm việc trong tầm $V_{GSOFF} < V_{GS} \leq V_{GS} = 0$ và tắt khi $V_{GS} \leq V_{GSOFF}$.

Khi cho JFET làm việc như analog SW, ta phân cực JFET chỉ hoạt động ở 2 trạng thái :

Trạng thái ON : phân cực $V_{GS} = 0, V_{DS}$ đủ bé ≈ 0 , JFET làm việc ở đoạn thẳng đặc tuyến, điện trở kênh dẫn biến đổi theo V_{DS} . Thường ta phân cực $V_{GS} = 0$ để điện trở kênh dẫn ON r_{dsON} là bé nhất .

Trạng thái OFF : phân cực $V_{GS} \leq V_{GSOFF}$, JFET tắt $r_{dsOFF} \rightarrow \infty$.

Độ dốc của đặc tuyến $I_{DS}(V_{DS}) / V_{GS} = 0$ thể hiện giá trị r_{dsON} :

r_{dsON} gọi là điện trở động khi kênh dẫn mở :

$$\frac{di_D}{dv_{DS}} = \frac{1}{r_{dsON}} \quad (1.163)$$

Trong thực tế r_{dsON} khoảng vài chục đến trăm Ω tùy theo loại .

Khi JFET OFF, điện trở tắt r_{dsOFF} rất lớn . Lúc này chỉ còn dòng rẽ I_{DOFF} và dòng ngược I_{GSS} qua kênh dẫn . Lưu ý là các dòng này phụ thuộc vào nhiệt độ và tăng gấp đôi khi nhiệt độ tăng $10^{\circ}C$!

Tham khảo JFET tiêu biểu kênh n : 2N4391 có các thông số ở $T = 25^{\circ}C$:

- V_{GSOFF} : (-4 ÷ -10V)

- r_{dsON} : $\leq 30\Omega$

- $I_{DSOFF} \leq 100 \mu A$
- $I_{GSS} \leq 100 \mu A$
- $T_{on} \leq 15 \text{ ns}$
- $T_{off} \leq 20 \text{ ns}$

Hình 1.92 minh họa mạch analog SW tiêu biểu.

+ Khi $V_C = 0V$: Q_1 off dẫn đến Q_2 off. Cathode D_1 được phân cực nguồn $V_{cc} = 15V$ nên off làm thả nỗi cực G. R_1 dẫn phân cực G từ S làm $V_{GS} = 0$, do đó J_1 on cho tín hiệu V_i ra tải R_L

+ Khi $V_C = 5V$: Q_1 on làm Q_2 sat, D_1 được phân cực

nguồn $-V_{EE} = -15V$ nên dẫn làm $V_{GS} < V_{GSOFF}$ làm J_1 off. Hình 1.92: Mạch analog SW JFET kênh n

* Điều kiện giá trị $V_{i\min}$ để duy trì J_1 off:

$$V_{i\min} = -V_{EE} + V_{Q2sat} + V_{D1ON} - V_{GSOFF} \quad (1.164)$$

- Analog SW MOSFET :

Hoạt động của MOSFET tương tự JFET ở chế độ analog SW

Tham khảo các IC Analog SW CMOS như CD4051,4052,4053

* Chọn analog SW : lưu ý các thông số

- $R_{ON} \rightarrow 0$
- $R_{OFF} \rightarrow \infty$
- Tốc độ đáp ứng (ns)
- Dòng điện max qua SW khi SW on
- Mức điện áp điều khiển

4. Lấy mẫu & giữ (Sample & Hold : S/H):

Mạch lấy mẫu và giữ(S/H) lấy mẫu tín hiệu vào trong 1 thời đoạn ngắn và giữ lại tín hiệu đã lấy mẫu ở ngõ ra để đưa vào xử lý ở tầng kế tiếp .

Mạch S/H thường được áp dụng trong các hệ thống thu thập và biến đổi data , các mạch phân kênh/ dồn kênh tín hiệu analog .

Hình 1.94 là mạch lấy mẫu & giữ cơ bản .

A_1, D_1, D_2 làm việc như mạch theo điện áp tùy theo bán kỲ tín hiệu vào V_i . Khi SW đóng, D_1/D_2 on và áp rơi trên SW rất bé nên áp rơ trên trở ≈ 0 , A_1 sẽ nạp nhanh áp trên C_H và $V_o = V_i$. Khi SW mở, áp trên C được giữ theo V_i ở cuối thời điểm lấy mẫu và $V_o = V_i$. R dùng để nạp xă C_H qua V_o để đảm bảo áp trên C_H theo giá trị tức thời tín hiệu vào V_i .

* Yêu cầu :

A_1 : - Sai lệch dòng phân cực vào bé

- Khả năng dòng out put cao để nạp C_H nhanh
- Hệ số khuếch đại vòng hở A_{vo} cao để giảm sai số do áp rơ trên SW và off set áp ngõ

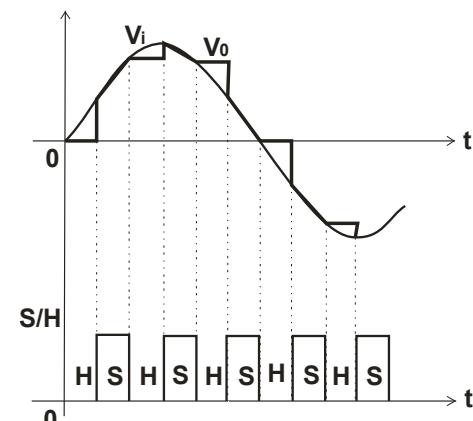
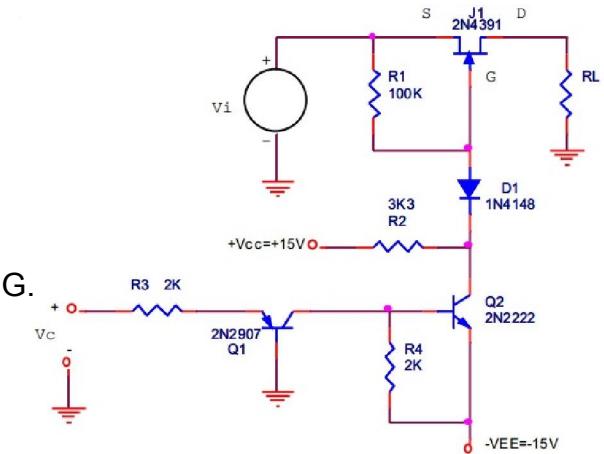
vào A_2

- Có mạch bù tần số để đáp ứng nhanh

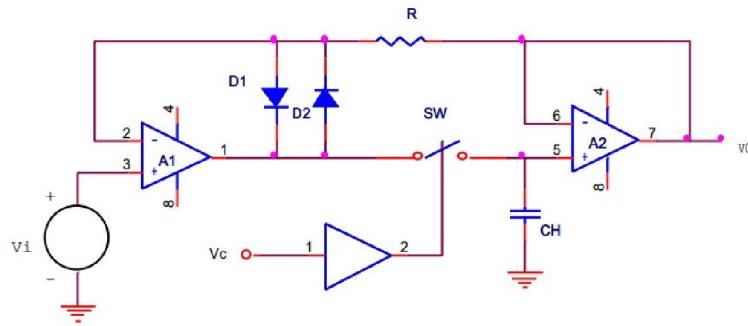
A_2 : - Dòng phân cực vào thấp để tránh sai áp trên C_H

- Đáp ứng ngõ ra nhanh

C_H phải là tụ có măt măt điện môi thấp như mylar



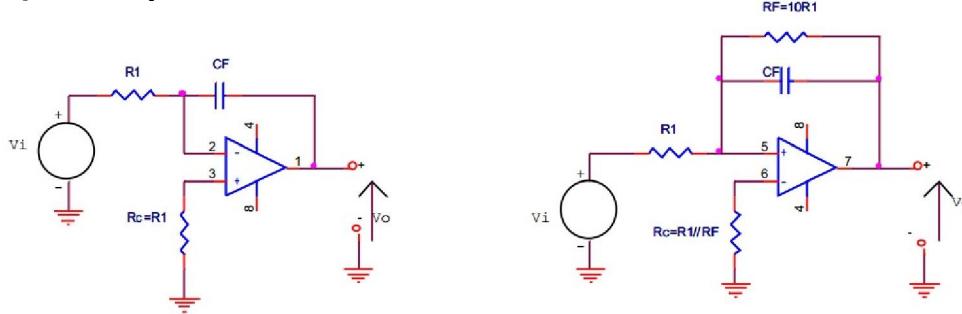
Hình 1.93 : Nguyên lý S/H



Hình 1.94 : Mạch S/H cơ bản

1.10.7: Các mạch tạo hàm :

1. Mạch tích phân :



a)- Mạch tích phân

b)- Mạch tích phân thực tế

Hình 1.95 : Mạch tích phân

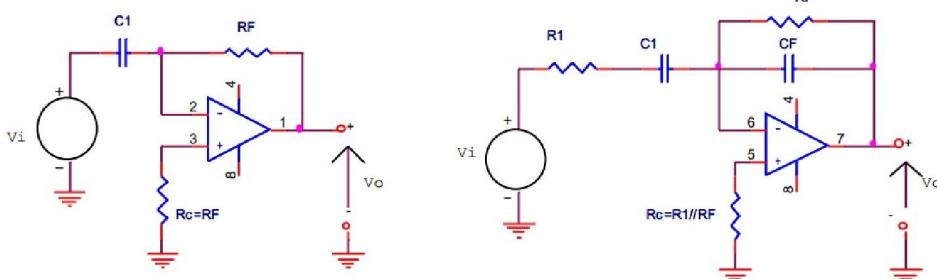
Theo hình 1.95a, ta có :

$$V_o = -\frac{1}{R_1 C_F} \int_{0}^{t} V_i dt \quad (1.165)$$

Chọn $R_c = R_1$ để bù dòng phân cực vào.

Ở tần số rất thấp hoặc DC, C_F xem như hở mạch dẫn đến hệ số KĐ của mạch gần bằng hệ số KĐ vòng hở của OPAMP. Để không chế hệ số KĐ trong trường hợp này, ta thêm $R_F = 10R_1$ như hình 1.95b. Như vậy, hệ số KĐ tại f thấp hoặc DC còn khoảng 10 lần.

2. Mạch vi phân :



a)- Mạch vi phân

b) -Mạch vi phân thực tế

Hình 1.96 : Mạch vi phân

Theo hình 1.96a, ta có :

$$V_o = -R_F C_1 \frac{dV_i}{dt} \quad (1.166)$$

Ở f cao trở kháng X_{C1} giảm sẽ làm tăng kệ số KĐ gây mất ổn định mạch. Mạch vi phân thực tế như hình 1.96b.

- Chọn $R_1 = 0.1 - 0.001 R_F$ để giới hạn hệ số KĐ của mạch ở f cao
- Tần số cắt trên của mạch : $f_b = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ (cắt trên -3dB) với $R_1 C_1 = R_F C_F$ (1.167)

- Tần số cắt dưới của mạch : $f_a = \frac{1}{2\pi R_F C_1}$, với $f_b = 20f_a$ (1.168)

3. Khuếch đại hàm mũ :

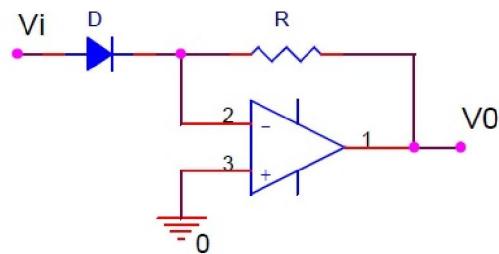
Hình 1.96c là dạng mạch khuếch đại hàm mũ .

Ta có dòng qua diode D :

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{KT}\right) - 1 \right] \approx I_0 \exp\left(\frac{qV_D}{KT}\right)$$

Với $V_D = V_i$

$$V_o = -IR = -I_0 \exp\left(\frac{qV_i}{KT}\right) \quad (1.168b)$$



Hình 1.96c: Mạch tạo hàm mũ

V_o phụ thuộc vào nhiệt độ nên phải có mạch bù nhiệt.

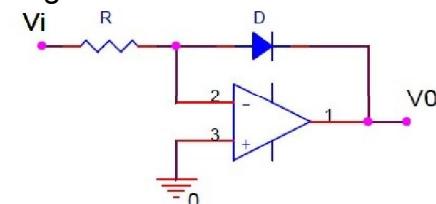
4. Khuếch đại loga:

Hình 1.96d là dạng mạch khuếch đại loga.

$$V_D = \frac{KT}{q} \ln \frac{I}{I_0}$$

Với $I = V_i/R$ và $V_o = -V_D$:

$$V_o = -\frac{KT}{q} \ln \frac{V_i}{I_0 R} \quad (1.168c)$$



Hình 1.96d: Mạch tạo hàm log

V_o phụ thuộc vào nhiệt độ nên phải có mạch bù nhiệt.

❖ Tham khảo IC LOG101 tạo hàm LOG10 ngõ ra theo nguồn dòng ngõ vào.

5. Vi mạch tạo hàm ICL 8038 :

* Tóm tắt 1 số đặc tính ICL8038 :

- Tạo tín hiệu ngõ ra đồng thời sin, vuông, tam giác
- Tầm tần số rộng : 0,001 Hz - 300 KHz
- Độ méo thấp 1% (ngõ ra sin)
- Tuyến tính cao 0,1% (ngõ ra tam giác)
- Thay đổi chu kỳ nhiệm vụ 2%-98%

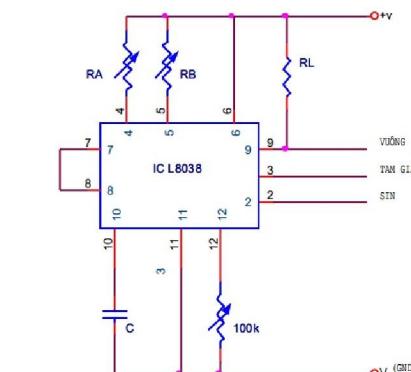
Biểu thức xác định tần số ngõ ra :

$$f_o = \frac{0.33}{RC} \quad (1.169)$$

với $R_A = R_B = R$

VR 100K dùng để điều chỉnh méo hài (THD%)
ngõ ra sin đạt thấp nhất .

* Xem chi tiết tài liệu ICL8038



Hình 1.97: Mạch tạo hàm ICL8038

1.10.8: Bô lọc :

Phần này xin tham khảo ở các tài liệu về mạch lọc sử dụng OPAMP- Lọc số .

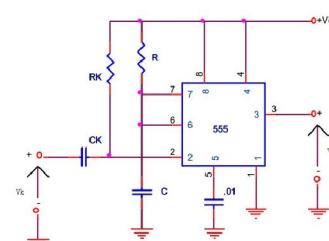
1.10.9 : Mạch tạo xung, V/F & F/V:

1. Mạch tạo xung :

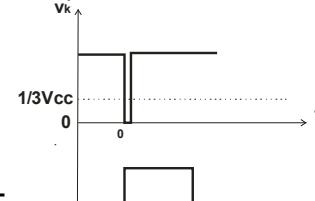
Mạch monostable :

$$\text{Ta có : } T = 1.1RC \quad (1.170)$$

Đo độ rộng xung T, biết R hoặc C sẽ suy ra giá trị còn lại.



a)-Monostable



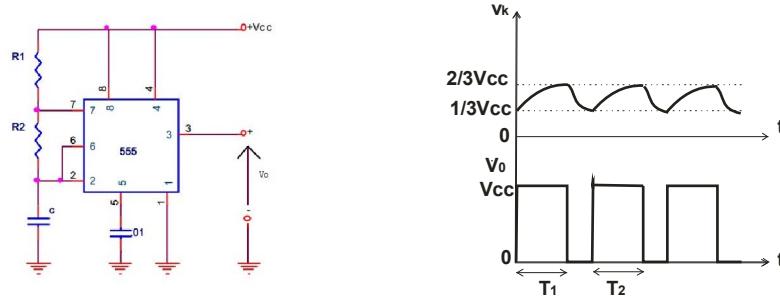
b)- Giản đồ xung

Hình1.98 :Monostable sử dụng vi mạch 555

Mạch Astable

$$\begin{aligned} \text{Ta có : } T &= T_1 + T_2 \\ &= 0.69(R_1 + R_2)C + 0.69R_2C \quad (1.171) \end{aligned}$$

Đo chu kỳ T , biết R_2 hoặc C sẽ suy ra giá trị còn lại.



a)- Mạch Astable

b)- Giản đồ xung

Hình 1.99: Mạch Astable sử dụng IC 555

2. Mạch V/F & F/V:

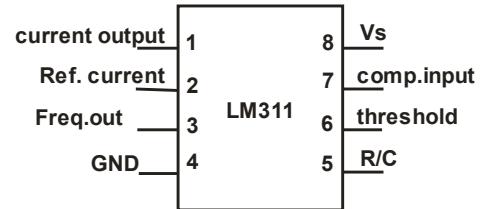
Khảo sát vi mạch LM331 chuyển đổi V/F và F/V tiêu biểu :

* Tóm tắt 1 số thông số LM331 :

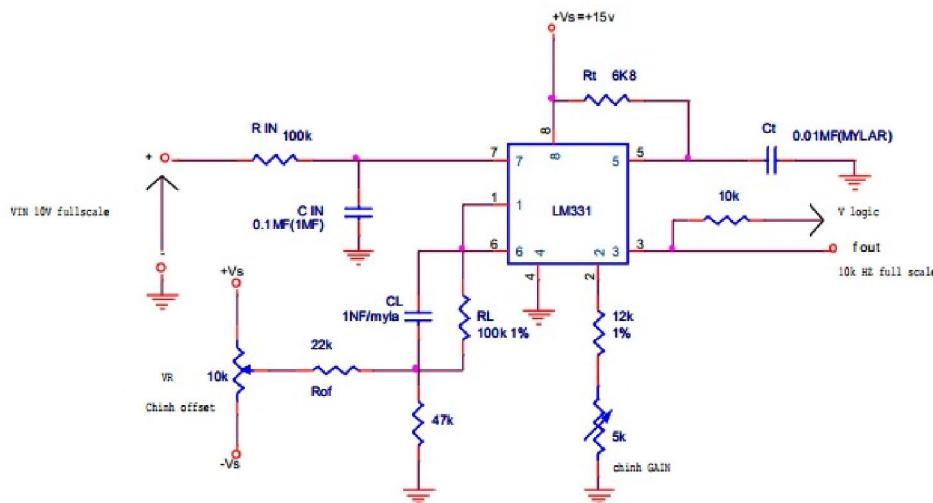
- Tần số rộng : 1Hz-100KHz
- Tuyệt đối cao : 0,01%
- Hoạt động với nguồn đơn 5V

- Ngõ ra tương hợp theo mức logic yêu cầu (cực thu hở)

LM331 là vi mạch chuyển đổi V/F & F/V thông dụng
có sơ đồ chân DIP8 như hình 1.100.



Hình 1.100: IC LM331



Hình 1.101 : Mạch V/F LM331

Hình 1.101 minh họa mạch chuyển đổi V/F tiêu biểu sử dụng IC LM331:

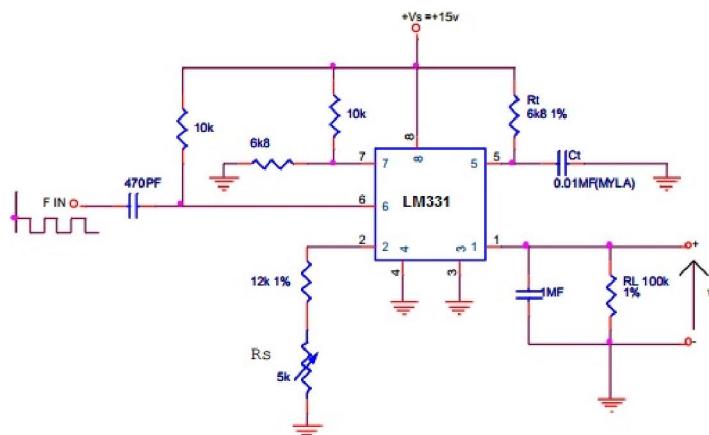
$$f_0 = \frac{V_{IN}(V)}{2,09} \times \frac{R_S}{R_L} \times \frac{1}{R_t C_t} \quad (1.172)$$

Chỉnh VR 5K để đạt tỉ lệ f_0 theo V_{IN} như yêu cầu.

Khi cần chỉnh offset, thêm R_{of} và VR_{of} .

Hình 1.102 là mạch chuyển đổi F/V sử dụng IC LM331:

$$V_o = f_{in} \times 2,09 \times \frac{R_L}{R_S} \times R_t C_t \quad (1.173)$$



Hình 1.102 : Mạch F/V LM331

1.10.10 : Bộ biến đổi ADC :

1. ADC 16 BIT GIAO TIẾP SONG SONG :

Tham khảo data sheet IC ADS8342(file ADS8342-P16BIT)

❖ Tóm tắt cấu hình :

- Ngõ vào hai cực tính
- Tầm điện áp ngõ vào $\pm 2.5V$
- Bộ dòn kênh 4 ngõ vào analog
- Tốc độ lấy mẫu tới 250KSPS(samples per second)
- Giao tiếp song song chọn được 8 bit hay 16 bit
- Offset 1mV max
- Công suất thấp 200mW
- Dạng vỏ ngoài TQFP-48
- Nhiệt độ làm việc $-40 \div 85^{\circ}C$

Cấu hình chính ADS8342(xem hình trong data sheet) gồm bộ dòn kênh chọn 4 ngõ vào analog,bộ lấy mẫu và giữ(sample and hold),bộ DAC có thanh ghi xấp xỉ liên tiếp(SAR) 16 bit,bộ giao tiếp với MCU.Sơ đồ kết nối và sơ đồ chân xem Figure 1.

Figure 2 là giản đồ định thì hoạt động của ADC>

1.1 Điện áp cấp nguồn :

- +AVDD=+5V(danh định) : nguồn dương analog
- -AVDD=-5V(danh định) : nguồn âm analog
- +DVDD=+5V(danh định) : nguồn dương digital
- -DVDD=-5V(danh định) : nguồn âm digital
- BVDD=3.3V/5V : nguồn giao tiếp bus 3V3 hoặc 5V

1.2 Ngõ vào analog(A inputs) :

- Có 4 kênh AIN0,AIN1,AIN2,AIN3(+) so với COMMON(-)
- Ngõ vào 2 cực tính có dạng cách chung(common mode) hoặc vi sai(differential)
- Tầm điện áp ngõ vào max : $\pm V_{ref}$ (danh định $\pm 2.5V$)
- Bộ chọn kênh ngõ vào xác định bởi 2 ngõ địa chỉ A0,A1

1.3 Bộ chọn kênh(D inputs) :

- Chọn kênh ngõ vào analog đưa vào mạch lấy mẫu và giữ
- Hai ngõ input A0,A1 chọn địa chỉ chọn kênh :

A1A0	Input
00	AIN0 - COM
01	AIN1 - COM
10	AIN2 - COM
11	AIN3 - COM

1.4 Điện áp tham chiếu Vref (A inputs):

- Điện áp tham chiếu cấp từ nguồn ngoài vào 2 chân REFIN – REFGND
- Giá trị danh định 2.5V
- $1\text{LSB} = 2.5V / 32,768 = 76.294\mu\text{V}$

1.5 Mức điện áp giao tiếp bus(A input) :

- Cấp nguồn chân +BVDD xác định mức áp giao tiếp bus
- +BVDD=5V giao tiếp bus 5V,+BVDD=3V3 giao tiếp bus 3V3

1.6 Định thi và điều khiển :

ADS8342 giao tiếp song song gồm các chân điều khiển ngõ vào số như /CS,/RD,/CONV, CLK,BYTE,A0,A1,CLKDIV0,CLKDIV1.Các chân ngõ ra số điều khiển BUSY,data DB0 đến DB159(xem figure 2 giản đồ định thi).

/CS cho phép giao tiếp bus ADC,/CS và /CONV bắt đầu chuyển đổi,/CS và /RD đọc data từ ADC.BYTE chọn giao tiếp bus 8 bit hay 16 bit,A0,A1 chọn địa chỉ ngõ vào analog, CLKDIV0,CLKDIV1 chọn tỉ số chia xung clock bên trong.

ADC nhận xung clock ngoài đưa vào chân CLK.Một chu kỳ ADC tiêu biểu gồm 20 xung CK,17 xung CK cho thời gian chuyển đổi,3 xung CK cho thời gian đọc data.ADC có thể lấy mẫu tối đa đến 250Khz(4μs)với fck=5Mhz,tỉ lệ chia bằng 1

- CLK(D input) : nhận xung CK ngoài.Fck ngoài có tần số max sao cho tần số fck max trong sau khi qua bộ chia trong IC bằng 5Mhz.Hệ số chia max=8 ne7n Fckmax ngoài=40Mhz.CKNV danh định 50/50(cho phép từ 40/60 đến 60/40)
- CLKDIV0 và CLKDIV1(D inputs) : xác định hệ số chia tạo xung CK trong cho ADC

CLKDIV1	CLKDIV0	Tỉ số 1 : n	Fck ngoài(Mhz)	Fck trong(Mhz)
0	0	1	5	5
0	0	2	5	2.5
1	0	4	20	5
1	1	8	20	2.5

- BUSY(D output) : BUSY=1 sau khi bắt đầu chuyển đổi 70ns cho đến khi kết thúc chuyển đổi BUSY=0,data được chốt vào thanh ghi output,và vẫn giữ mức 0 cho đến khi bắt đầu chu kỳ chuyển đổi kế tiếp.
- A0 và A1(D inputs) : là 2 địa chỉ chọn kênh analog ngõ vào chuyển đổi.Khi bắt đầu chuyển đổi,A0 và A1 được chốt ở cạnh lên xung /CS hoặc /CONV chính là địa chỉ của kênh ngõ vào ở lần chuyển đổi kế tiếp(xem figure 2).Cuối chu kỳ chuyển đổi mạch lấy mẫu và giữ chuyển sang mode lấy mẫu tín hiệu địa chỉ này để chuẩn bị cho lần chuyển đổi kế tiếp.Như vậy lần chuyển đổi đầu tiên khi mới cấp nguồn sẽ phụ thuộc vào trạng thái reset của A0 và A1.
- BYTE(D input) : BYTE cùng với /RD xác định đọc data trên bus data 16 bit hay 8 bit.Nếu BYTE=0 khi có xung/RD,data sẽ xuất hiện trên bus 16 bit từ DB0 đến DB15. Trường hợp giao tiếp bus data 8 bit,BYTE=0 khi có xung /RD data D0÷D7 sẽ xuất hiện trên DB0÷DB7,BYTE=1 khi có xung/RD data D8÷D15 sẽ xuất hiện trên DB0÷DB79 (xem figure 2)

1.7 Bắt đầu chuyển đổi(/CS và /CONV) :

- /CS và /CONV tích cực mức 0 tối thiểu 40ns bắt đầu chuyển đổi
- Trường hợp chỉ giao tiếp một chip ADC có thể kết nối /CS=0

1.8 Đọc data(/CS và /RD) :

- Trong thời gian chuyển đổi(/CS và /RD =1) ngõ ra data DB0÷DB15 3 trạng thái, BUSY=1.Khi BUSY chuyển từ 1 xuống 0 báo kết thúc chuyển đổi
- /CS và /RD tích cực mức 0 tối thiểu 40ns để đọc data trên bus
- Trường hợp giao tiếp bus data 8bit phải có 2 lần xuất xung /CS và /RD,thời gian tối thiểu /RD lên mức cao là 40ns trước khi xuống mức thấp lần 2.
- Trường hợp chỉ giao tiếp một chip ADC có thể kết nối /CS=0

1.9 Định dạng data :

- Định dạng data dưới dạng số nhị phân bù 2 16 bit (xem figure 27)

Ví dụ 1.19 : Thiết kế mạch giao tiếp I/O trực tiếp ADC ADS8342 với MCU8051.

Giải :

Hình vd1.19 là sơ đồ kết nối phần cứng giao tiếp I/O trực tiếp ADC ADS8342 với MCU8051.

- Giao tiếp bus data P2 byte cao,P0 byte thấp
- Chọn địa chỉ kênh P1P0=A1A0 :

P1P0	KÊNH
00	AIN0
01	AIN1
10	AIN2
11	AIN3

- Điều khiển : /CS=P1.4,/CONV=P1.3,/RD=P1.2
BUSY=P3.2
- Đao động nội MCU Fck=24Mhz qua 2 cổng NOT sửa dạng tạo Fck ngoài cho ADC.CLKDIV1=CLKDIV0=1 chia 8 tạo fck trong=3Mhz.
- Sử dụng giao tiếp bus 5V nên BVDD=5V
- Lưu ý về cách truy xuất địa chỉ chọn kênh analog in :
 - Chu kỳ chuyển đổi hiện tại : bắt đầu chuyển đổi /CS và /CONV xuống 0,sau đó địa chỉ A1A0 được chốt ở cạnh lên của /CS hoặc /CONV là địa chỉ kênh cho chu kỳ chuyển đổi kế tiếp,nên có thể truy xuất kênh chuyển đổi bằng 2 cách :
 - ✓ Đặt địa chỉ kênh kế tiếp trong chu kỳ chuyển đổi hiện tại(địa chỉ kênh hiện tại đã được đặt trong chu kỳ chuyển đổi ngay trước đó)
 - ✓ Đặt lệnh chọn địa chỉ kênh qua xuất xung /CS,sau đó là lệnh chuyển đổi nhưng không quan tâm địa chỉ hiện hành.

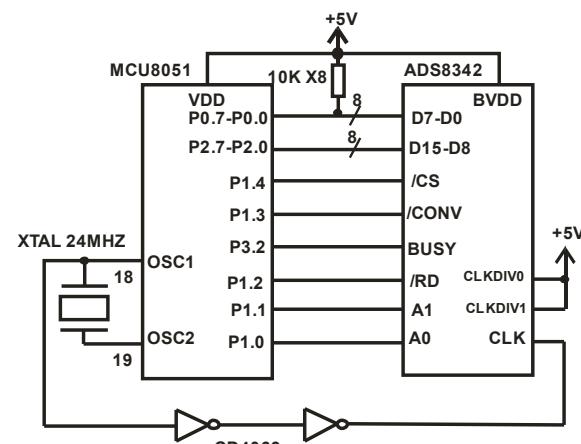
Đoạn chương trình giao tiếp ADC :

ORG 0

```

ADDR0    BIT    P1.0
ADDR1    BIT    P1.1
/AD_RD    BIT    P1.2
/AD_CONV  BIT    P1.3
/AD_CS    BIT    P1.4
BUSY     BIT    P3.2
BUF0_L   EQU   30H
BUF0_H   EQU   31H
BUF1_L   EQU   32H
BUF1_H   EQU   33H
BUF2_L   EQU   34H
BUF2_H   EQU   35H
BUF3_L   EQU   36H
BUF4_H   EQU   37H
ADDR_CH  EQU   38H
....
```

MAIN :



Hình vd1.19

;Đọc ADC bằng 2 lệnh đặt địa chỉ và đọc

CLR ADDR0 ;chọn đ/c kênh 0

CLR /AD_CS

;tạo xung /CS chốt đ/c kênh

SETB /AD_CS

CLR /AD_CS	;bắt đầu chuyển đổi
CLR /AD_CONV	
SETB /AD_CS	
SETB /AD_CONV	
JB BUSY,\$;chờ kết thúc chuyển đổi
CLR AD/_RD	;đọc ADC
MOV A,P0	;đọc byte thấp
MOV BUF0_L,A	
MOV A,P2	;đọc byte cao
MOV BUF0_H,A	
.....	
;Đặt địa chỉ chọn kênh và đọc ADC liên tiếp cho 4 kênh	
MOV ADDR_CH,#0	;chọn đ/c kênh 0
MOV A,ADDR_CH	
ANL A,#0FFH	
MOV P1,A	;xuất đ/c chọn kênh
CLR /AD_CS	;tạo xung /CS chốt đ/c kênh
SETB /AD_CS	
MOV R7,#4	;lặp vòng 4 lần
MOV R0,#30H	;trỏ đ/c đầu RAM nội chứa data
LOOP : INC ADDR_CH	;trỏ đ/c chọn kênh kế tiếp
MOV A,ADDR_CH	
ANL A,#0FFH	
MOV P1,A	;xuất đ/c kế tiếp trong chu kỳ c/đổi hiện hành
CLR /AD_CS	;bắt đầu chuyển đổi
CLR /AD_CONV	
SETB /AD_CS	
SETB /AD_CONV	
JB BUSY,\$;chờ kết thúc c/đổi
CLR AD/_RD	;tạo xung đọc ADC
MOV A,P0	;đọc byte thấp ADC
MOV @R0,A	
INC R0	
MOV A,P2	;đọc byte cao ADC
MOV @R0,A	
SETB AD/_RD	
INC R0	
DJNZ R7,LOOP	
.....	

2. ADC 16 BIT GIAO TIẾP NỘI TIẾP

Tham khảo data sheet IC ADS1115(file ADS1115)

❖ Tóm tắt cấu hình :

- Dạng vỏ X2QFN cực nhỏ 2x1.5x0.4mm 10 chân
- Tầm áp cấp nguồn rộng : 2 ÷ 5.5V
- Tiêu thụ dòng thấp 150µA(mode chuyển đổi liên tục)
- Tốc độ lấy mẫu data lập trình được từ 8÷860SPS
- Xử lý trong 1 chu kỳ
- Điện áp tham chiếu bên trong trôi thấp
- Dao động nội
- Giao tiếp I2C có 4 chân chọn địa chỉ
- 4 ngõ vào đơn,2 ngõ vào vi sai(ADS1115)
- Bộ so sánh lập trình được(ADS1114.ADS1115)
- Tầm nhiệt độ làm việc -40÷125°C

- ❖ Mô tả :
- ADS111X là IC ADC 16 bit Δ-Σ chính xác, công suất thấp, chỉ có trong vỏ 10 chân dạng X2QFN và VSSOP.
 - Có sẵn mạch dao động và nguồn áp chuẩn Vref trôi thấp bên trong
 - ADS1114/1115 có mạch khuếch đại lập trình được(PGA) bên trong có thể thay đổi từ $\pm 256mV$ đến $\pm 6.1044V$
 - ADS1114/1115 có mạch so sánh số bên trong để bảo vệ dưới áp hay quá áp
 - Tầm cung cấp nguồn khá rộng phù hợp với những cảm biến và mạch khuếch đại áp thấp
 - Bộ MUX chọn kênh analog ngõ vào chọn 4 ngõ đơn hay 2 ngõ vi sai
 - Chọn mode chuyển đổi liên tục hay một lần ; tự động vào mode hạ nguồn tiết kiệm năng lượng sau khi chuyển đổi một lần.
(xem hình vẽ sơ đồ khối và sơ đồ chân)

2.1 Bộ dồn kênh(Multiplexer) :

ADS1115 có bộ dồn kênh chọn 4 ngõ vào đơn hoặc 2 ngõ vào vi sai(Fig. 25).AIN0, AIN1 có thể đo vi sai với AIN3. Đặt cấu hình chọn kênh ngõ vào bằng các bit MUX[2 :0] trong thanh ghi Config. Trường hợp ngõ vào đơn, chân GND được kết nối bằng các SW trong.

2.2 Ngõ vào analog :

Bộ MUX sẽ kết nối ngõ vào ngoài qua mạch SW vào ngõ AINP và AINN(Fig.27). Tùy theo ngõ vào đơn hay vi sai và tầm đo, sẽ có tổng trở vào đơn Zcom và Zdiff thay đổi tương ứng(xem bảng thông số kỹ thuật).

2.3 Giá trị LSB và toàn tầm FSR :

ADS1114/1115 có bộ PGA lập trình HSKĐ bằng các bit PGA[2 :0] trong thanh ghi Config có thể đặt FSR 6 tầm theo bảng table 3. Giá trị LSB = $FSR/2^{16}$

Table 3

FSR(V)	LSB(μV)
± 6.144	187.5
± 4.096	125
± 2.048	62.5
± 1.024	31.25
± 0.512	15.625
± 0.256	7.8125

Lưu ý là điện áp cấp nguồn +VDD phải lớn hơn FSR ngõ ra mới đạt đến FSR !

2.4 Điện áp tham chiếu Vref :

Nguồn áp Vref có sẵn trong IC ổn định và trôi thấp.

2.5 Mạch dao động :

Mạch dao động có sẵn trong IC tần số 1Mhz.

2.6 Tốc độ lấy mẫu data(DR : data rate) và thời gian chuyển đổi :

Các bit DR[2 :0] trong thanh ghi Config đặt tốc độ lấy mẫu data DR từ 8, 16, 32, 64, 128, 250, 475, 860 SPS.

Thời gian chuyển đổi trong 1 chu kỳ = 1/DR

2.7 Bộ so sánh số(ADS1114/1115)

Bộ so sánh số lập trình được tạo tín hiệu ra chân ALERT/READY. Bit COMP_MODE trong thanh ghi Config cấu hình bộ so sánh làm việc theo mode truyền thống hay mode cửa sổ. Ở mode truyền thống chân ALERT/READY tích cực(mặc định mức 0) khi giá trị data chuyển đổi vượt qua giá trị đặt trong thanh ghi Hi-thresh, và trở về không tích cực khi giá trị data bé hơn giá trị đặt trong thanh ghi Lo-thresh. Ở mode cửa sổ bit ALERT/READY tích cực khi giá trị data chuyển đổi lớn hơn giá trị thanh ghi Hi-thresh hoặc nhỏ hơn giá trị thanh ghi Lo-thresh.

Trạng thái ALERT/READY có thể được chốt lại sau khi tích cực bằng bit COMP_LAT trong thanh ghi Config. Chốt ALERT/READY chỉ có thể xóa được bằng cách xuất ra đáp ứng SMBus hay đọc thanh ghi chuyển đổi(conversion reg.). Bit COMP_POL trong thanh ghi Config đặt ALERT/READY tích cực mức 1 hay 0(xem fig. 28).

Bộ so sánh có thể được cấu hình kích ALERT/READY sau vài lần đọc data ngoài giá trị trong các thanh ghi Hi-thresh,Lo-thresh.Các bit COMP_QUE[1 :0] trong thanh ghi Config đặt 1,2,4 lần đọc vượt quá trước khi ALERT/READY tích cực.COM_QUE[1 :0] cũng có thể cấm chức năng so sánh,đặt ALERT/DREADY=1.

2.8 Chân săn sàng chuyển đổi :

Chân ALERT/READY có thể cấu hình làm việc như chân báo tín hiệu săn sàng chuyển đổi,bằng cách đặt MSB của thanh ghi Hi-thresh=1 và MSB của thanh ghi Lo-thresh=0. Bit COMP_POL vẫn đặt mức tích cực cho ALERT/READY.Đặt các bit COMP_QUE[1 :0] bằng 2 bit bất kỳ khác 11 cho phép ALERT/READY làm việc.Bit COMP_MODE và COMP_LAT không ảnh hưởng.Phải có điện trở kéo lên cho chân ALERT/READY.Ở mode chuyển đổi liên tục,khi kết thúc chuyển đổi,sẽ xuất hiện một xung dài 8μs trên ALERT/READY.Ở mode chuyển đổi một lần,ALERT/READY tích cực khi kết thúc chuyển đổi(fig.29)

2.9 Đáp ứng cảnh báo SMBus :

Đặt COMP_LAT=1 chốt ALERT/READY khi tích cực.Chốt chỉ bị xóa khi đọc data chuyển đổi,hoặc xuất đáp ứng cảnh báo SMBus và đọc địa chỉ chip báo.Nếu data chuyển đổi vượt quá ngưỡng,sẽ không tích cực ALERT/READY nữa.Chân ALERT/READY cực máng hở(open-drain) nên các chip có thể kết nối chung chân này.Chip nào chân ALERT/READY không tích cực sẽ có mức cao nên không ảnh hưởng.

Khi master nhận được ALERT/READY chốt tích cực,sẽ xuất ra bus I2C lệnh 00011001. Bất kỳ chip nào kết nối bus I2C có chốt ALERT/READY tích cực sẽ gửi ra bus địa chỉ slaver của chip byte 10010A1A0status(fig.32).Nếu có nhiều hơn 1 chip có ALERT/READY tích cực,thường chip có địa chỉ nhỏ hơn sẽ giành quyền đáp ứng. A1A0 là địa chỉ của chip.Ở mode so sánh cửa sổ status=1 chỉ data vượt ngưỡng Hi-thresh,status=0 chỉ data dưới ngưỡng Lo-thresh.

2.10 Các mode chức năng :

- Reset và mới cấp nguồn(power up) :

- ADS111X reset khi mới cấp nguồn đặt thanh ghi Config về giá trị mặc định (xem bản đồ thanh ghi trong data sheet),sau đó ADC về trạng thái power down Các mạch số và giao tiếp I2C vẫn làm việc nhưng không chuyển đổi.
- ADC cũng reset khi nhận lệnh general-call reset(06H)

- Các mode làm việc :

Bit MODE trong thanh ghi Config đặt mode làm việc :

- Mode đơn(Single shot) : bit MODE=1 đặt ADC về trạng thái power down nhưng vẫn nhận lệnh.Đặt bit OS=1 trong thanh ghi Config,ADC sẽ về trạng thái power up trong 25μs,xóa bit OS và thực hiện chuyển đổi một lần.Kết thúc chuyển đổi data đã sẵn sàng,ADC về power down.Ghi bit OS=1 trong thời gian chuyển đổi sẽ không tác dụng.
- Mode liên tục : bit MODE=0 đặt ADC vào mode chuyển đổi liên tục.Kết thúc chuyển đổi,data được trả về thanh ghi Conversion,ADC tiếp tục chu kỳ chuyển đổi mới.Nếu đặt bit MODE=0 trong thời gian chuyển đổi,ADC vẫn chuyển đổi hết chu kỳ hiện hành và bắt đầu mode chuyển đổi mới ở lần kế tiếp.

2.11 Lập trình :

- Giao tiếp I2C :

- ADC giao tiếp bus I2C gồm 2 ngõ xung CK SCL và data SDA cực máng hở, nên phải có điện trở kéo lên nguồn,có thể kết nối nhiều chip ADC chung bus.
- ADC đóng vai trò slaver nên cần master phát xung CK trên ngõ SCL.
- Từng bit data được đặt trên ngõ SDA khi SCL=0,sau đó đặt SCL=1 và trở về 0 tạo 1 xung CK để truy xuất bit data này.
- Tạo bit START : đặt SCL=1,xóa SDA=0,bit START báo bắt đầu truy xuất địa chỉ chip,truyền lệnh
- Tạo bit STOP : đặt SCL=1,đặt SDA=1,bit STOP báo kết thúc truy xuất.
 - ❖ Như vậy bit START,STOP khác bit data ở chỗ đặt SCL=1 !

- Bit ACK : khi master truyền xong 8 bit data sẽ trao quyền kiểm soát SDA cho slaver, slaver xuất SDA=0 báo acknowledge và master xuất xung CK thứ 9 nhận bit ACK=0 báo slaver đã nhận xong. Khi master đọc xong 8bit data, master xuất bit ACK=0 trên SDA và xuất xung CK thứ 9 báo slaver đã nhận xong.
- Địa chỉ chọn chip :
- ADC có chân ADDR cho phép kết nối đến GND, VDD, SCL, SDA để tạo một trong 4 địa chỉ chọn chip như bảng Table 4. Nếu chọn địa chỉ SDA, phải giữ SDA=0 ít nhất 100ns sau khi SCL xuống mức 0 để chờ giải mã xong.

Table 4

Kết nối chân ADDR	Mã địa chỉ slaver
GND	1001000
VDD	1001001
SDA	1001010
SCL	1001011

- Gọi địa chỉ tổng quát(General call address) :
 - ADC đáp ứng gọi địa chỉ tổng quát bằng lệnh 00000000(8 bit 0), và đáp ứng byte lệnh kế tiếp. Nếu byte lệnh kế tiếp 06H, ADC sẽ reset và về power down.
- Các mode tốc độ fck :
 - ADC làm việc với 3 tốc độ CK : chuẩn fckmax=100Khz, nhanh fckmax=400Khz, tốc độ cao(High speed : Hs) fckmax=3.4Mhz
 - Tốc độ chuẩn hoặc nhanh không cần kích hoạt. Nếu muốn chuyển mode tốc độ Hs cần phải kích hoạt ADC trước bằng cách gửi byte 00001XXX sau bit START, với XXX định nghĩa duy nhất mã của master muốn làm việc tốc độ Hs. ADC sẽ không báo ACK và sẽ chuyển mode tốc độ Hs và thoát khỏi mode này khi nhận bit STOP sau đó.

2.12 Truy xuất các thanh ghi :

Bất kỳ yêu cầu truy xuất thanh ghi nào cũng phải ghi giá trị 2 bit P[1 :0] chọn địa chỉ thanh ghi trong thanh ghi Adress Pointer bằng 2 byte lệnh như sau :

- Byte đầu : Master xuất bit START và xuất địa chỉ chọn chip 10010A1A0 R / \overline{W} = 0
A1A0 là địa chỉ chọn chip theo kết nối chân ADDR table 4
- Master xuất xung CK thứ 9 nhận ACK=0 từ slaver.
- Byte 2 : master xuất 000000P1P0
P1P0=P[1 :0] chọn thanh ghi trong Adress Pointer reg.
- Master xuất xung CK thứ 9 nhận ACK=0 từ slaver
- Master xuất bit STOP hay bit START tiếp tục lệnh kế tiếp(xem fig.30)

2.13 Truy xuất đọc(xem fig.30) :

- Xuất 2 byte đầu chọn thanh ghi như phần truy xuất thanh ghi
- Xuất byte 3 bit START và địa chỉ chọn chip 10010A1A0 R / \overline{W} = 1
- Xuất xung thứ 9 chờ nhận ACK=0 từ slaver
- Nhận 8 bit cao D15÷D8 từ slaver
- Xuất xung thứ 9 với ACK=0 báo cho slaver, nếu muốn dừng đọc đặt SDA=1
- Nhận 8 bit thấp D7÷D0 từ slaver
- Xuất xung thứ 9 với ACK=0 báo cho slaver và xuất bit STOP, nếu muốn kết thúc đặt SDA=0
- Nếu muốn đọc lại thanh ghi đã chọn không cần xuất lệnh truy xuất thanh ghi như ban đầu nữa, tiếp tục từ bước thứ 2 như trên.

2.14 Truy xuất ghi(xem fig.31):

- Xuất 2 byte đầu chọn thanh ghi như phần truy xuất thanh ghi
- Xuất 8 bit cao D15÷D8 và chờ ACK=0 từ slaver ở xung thứ 9
- Xuất 8 bit thấp D7÷D0 và chờ ACK=0 từ slaver ở xung thứ 9, sau đó xuất bit STOP

2.15 Đáp ứng cảnh báo SMBus(xem fig.32) :

- Xuất bit START và 8 bit 00011001
- Xuất xung thứ 9 nhận ACK=0 từ slaver
- Đọc 8 bit từ slaver định dạng 1001XA1A0Status,với A1A0 là địa chỉ chip, Status là bit trạng thái báo từ comparator(xem phần 2.9)

2.16 Định dạng data :

- ADC xuất ra 16 bit data dưới dạng bù 2.Giá trị cao nhất là 7FFFH và thấp nhất là 8000H.Table 5 biểu diễn các giá trị đặc biệt ngõ ra theo ngõ vào

Table 5

Input ($V_{IN} = V_{AINP} - V_{AINN}$)	Output data
$\geq +FS(2^{15}-1)/2^{15}$	7FFFH
$+FS/2^{15}$	0001H
0	0000H
$-FS/2^{15}$	FFFFH
$\leq -FS(2^{15}-1)/2^{15}$	8000H

2.17 Bản đồ thanh ghi :

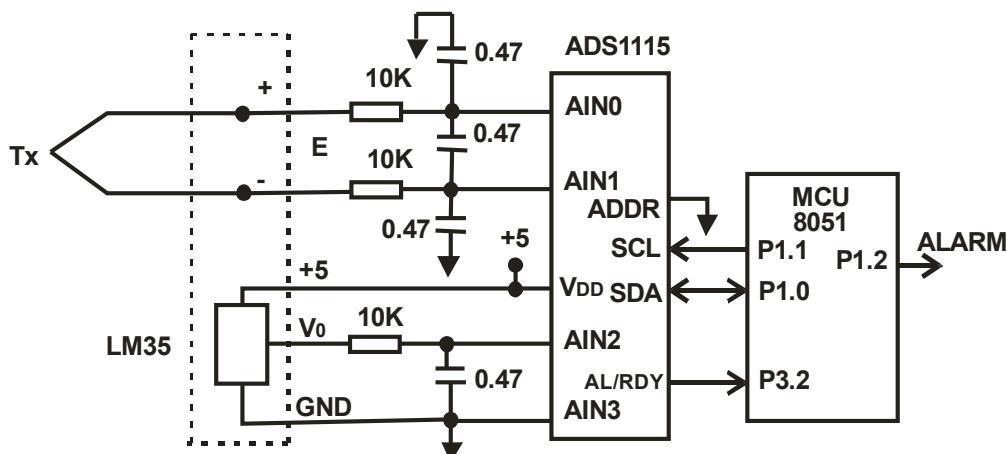
- Adress Pointer Reg.(reset=N/A): 8 bit chọn địa chỉ các thanh ghi còn lại P1P0
- Conversion Reg.[P1P0=00](reset=0000H) : 16 bit chứa data đã chuyển đổi
- Config Reg.[P1P0=01](reset=8583H):16 bit cài đặt các mode, chức năng làm việc
- Lo-thresh Reg.[P1P0=10](reset=8000H) :16 bit chứa giá trị ngưỡng dưới so sánh
- Hi-thresh Reg.[P1P0=11](reset=7FFFH) :16 bit chứa giá trị ngưỡng trên so sánh
- Mô tả chi tiết :xem data sheet

Ví dụ 1.20 : Xem lại ví dụ 1.11 và hình vd1.11, thiết kế mạch giao tiếp ADC ADS1115 với MCU8051.Cho các thông số cảm biến và cấu hình làm việc của ADC như sau :

- Themocouple loại K tầm đo từ 0÷1200°C, độ phân giải 1°C.
 - LM35 bù nhiệt đầu nguội đo Tref,tầm đo từ 0÷60°C, độ phân giải 1°C
 - ADC chuyển đổi liên tục
 - Tầm đo analog phụ thuộc vào độ phân giải cảm biến
 - Tích cực mức 0 báo quá nhiệt độ và dưới nhiệt độ +1210°C và -10°C
- Viết chương trình con MCU đọc data 16 bit từ 2 cảm biến cất vào các ô nhớ RAM nội và phát cảnh báo khi quá tầm hoặc dưới tầm nhiệt độ đã cho.

Giải :

Hình vd1.20 là sơ đồ kết nối phần cứng mạch điện.



Hình vd1.20

- Chọn kênh vào analog :
 - Kênh vào thermocouple : AIN1-AIN0 MUX[2 :0]=000 (bit 14-12 Confif Reg.)
 - Kênh vào LM35 : AIN2-AIN3 MUX[2 :0]=011
- Chọn tầm đo ngõ vào analog :
 - Kênh vào thermocouple : 0÷1200°C# 0÷48.828mV(xem bảng PL1.8)

- Kênh vào LM35 : $0\text{--}60^\circ\text{C} \#0\text{--}600\text{mV}$
 - Chọn FS= $\pm 1.024\text{V}$ sẽ thỏa tầm đo cả 2 ngõ vào và độ phân giải $1\text{LSB} = 1.024/2^{15} = 31.25\mu\text{V} < 40\mu\text{V}$ là độ nhạy trung bình 1°C của thermocouple
 - Chọn PGA[2 :0]=011(bit 11-9 Config Reg.)
 - Chọn mode làm việc :
 - Mode chuyển đổi liên tục : MODE=0(bit 8 Config Reg.)
 - Chọn tốc độ lấy mẫu :
 - Tốc độ lấy mẫu DR=32SPS : DR[2 :0]=010(bit 7-5 Config Reg.)
 - Chức năng so sánh :
 - So sánh cửa sổ ($<-10^\circ\text{C}$ hoặc $>+1210^\circ\text{C}$) : COM_MODE=1(bit 4 Config Reg.)
 - Mức tích cực ALERT/READY : COM_POL=0(bit 3 Config Reg.)
 - Chốt ALERT/READY : không chốt COM_LAT=0(bit 2 Config Reg.)
 - Số lần báo quá ngưỡng : 2 lần COM_QUE[1 :0]=01(bit 1-0 Config Reg.)
- Tóm tắt data ghi vào Config Reg. :

OS	MUX2	MUX1	MUX0	PGA2	PGA1	PGA0	MODE	DR2	DR1	DRO	COM_MODE	COM_POL	COM_LAT	COM_QUE1	COM_QUE2
0	A2	A1	A0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	B1	B0

A2A1A0=000 chọn kênh thermocouple,B1B0=01 ALERT/READY báo quá tầm
A2A1A0=011 chọn kênh LM35,B1B0=11 cấm ALERT/READY tích cực

- Mã địa chỉ chọn chip :
 - Chân ADDR=GND nên mã địa chỉ chọn chip là 1001000
- Giá trị ngưỡng ghi vào Hi-thresh và Lo-thresh Reg. :
 - Tmax= $+1210^\circ\text{C}$ #Vi= $49,192\mu\text{V}$ (PL1.8) : Doutmax= $49,192/31.25=(1574)_{10}$
Nạp data ngưỡng trên Hi-thresh= $(1574)_{10}=0626\text{H}$
 - Tmin= -10°C #Vi= $-392\mu\text{V}$ (PL1.8) : Doutmin= $-392/31.25 \approx -13$
Nạp data ngưỡng dưới Lo-thresh= $(-13)_{10}=FFF3\text{H}$
 - Khi data chuyển đổi ngoài ngưỡng cửa sổ Tmax Tmin, chân ALERT/READY từ 1 xuống 0 tạo ngắt ngoài ngõ 0 /INT0=P3.2
 - Do đặt COM_QUE[1 :0]=11 cấm ALERT/READY tích cực khi chọn kênh LM35 nên data chuyển đổi dù quá ngưỡng cài đặt không bị ảnh hưởng !
- Địa chỉ các thanh ghi :
 - Conversion Reg. : 00000000=00H
 - Config Reg. : 00000001=01H
 - Lo-thresh Reg. : 00000010=02H
 - Hi-thresh Reg. : 00000011=03H
- Lưu ý về định nghĩa bus I2C :
 - Trước khi xuất bit data trên chân SDA, đặt chân SCL=0
 - Xung CK tác động cạnh lẻ fck $\leq 400\text{Khz}$ (fast speed mode)
 - Đặt SCL=1,bit START=0 ở byte đầu truy xuất lệnh
 - Đặt SCL=1 bit STOP=1 cuối byte sau cùng kết thúc truy xuất lệnh
 - Nhận ACK=0 ở xung CK thứ 9 khi ghi ADC,đặt ACK=0 ở xung CK thứ 9 khi đọc ADC
 - Byte cao/MSB trước,byte thấp/LSB sau

❖ Đoạn chương trình giao tiếp :

AD_ADDR_RD	EQU 10010001B	
AD_ADDR_WR	EQU 10010000B	
CONV_ADDR	EQU 00H	
CONFIG_ADDR	EQU 01H	
LO_THRES_ADDR	EQU 02H	
HI_THRES_ADDR	EQU 03H	
HI_CONF_CH1	EQU 06H	;đ/c kênh 1
LO_CONF_CH1	EQU 50H	;có báo quá tầm T
HI_CONF_CH2	EQU 36H	;đ/c kênh 2

```

LO_CONF_CH2    EQU 51H      ;cảm báo quá tầm T
TMAX          EQU 0626H
TMIN          EQU FFF3H
BUF1_L         EQU 30H
BUF1_H         EQU 31H
BUF2_L         EQU 32H
BUF2_H         EQU 33H
BUF_ADDR       EQU 34H
BUF_DAT0       EQU 35H
BUF_DAT1       EQU 36H
SDA            BIT P1.0
SCL            BIT P1.1
ALARM          BIT P1.2
AL_RDY          BIT P3.2
ACK_FLAG        BIT 00H

...
ORG 0
JMP MAIN
ORG 0003H
JMP EX0_ISR
ORG 0030H
MAIN :      SETB SDA
             CLR SCL
             SETB ALARM      ;ALARM t/cực 0
             MOV IE,#81H      ;cho phép ngắt /INT0
             CLR IT0          ;t/động ngắt mức 0
             .....
;-----;
;Ghi data Lo-thres Reg.
;-----;
MOV A,#AD_ADDR_WR      ;ghi đ/c chip
MOV BUF_ADDR,#LO_THRES_ADDR ;ghi đ/c Lo-thres Reg.
MOV BUF_DAT0,#LO(TMIN)
MOV BUF_DAT1,#HIGH(TMIN)
CALL WR_COM
JB ACK_FLAG,ERR_MESS   ;ACK=1 báo lỗi
;-----;
;Ghi data Hi_thres Reg.
;-----;
MOV A,#AD_ADDR_WR      ;ghi đ/c chip
MOV BUF_ADDR,#HI_THRES_ADDR ;ghi đ/c Hi-thres Reg.
MOV BUF_DAT0,#LO(TMAX)
MOV BUF_DAT1,#HIGH(TMAX)
CALL WR_COM
JB ACK_FLAG,ERR_MESS   ;ACK=1 báo lỗi
;-----;
;Ghi data config kênh 1
;-----;
MOV A,#AD_ADDR_WR      ;ghi đ/c chip
MOV BUF_ADDR,#CONFIG_ADDR ;ghi đ/c Config Reg.
MOV BUF_DAT0,#LO_CONF_CH1
MOV BUF_DAT1,#HI_CONF_CH1
CALL WR_COM

```

JB	ACK_FLAG,ERR_MESS	;ACK=1 báo lỗi
----	-------------------	----------------

;-----
;Đọc data kênh 1
;
MOV A,#AD_ADDR_WR ;ghi đ/c chip
MOV BUF_ADDR,#CONV_ADDR ;ghi đ/c Conv Reg.
MOV BUF_DAT0,#AD_ADDR_RD ;đọc data
MOV R0,#BUF1_H ;R0 trả đ/c cao BUF CH1
CALL RD_COM
JB ACK_FLAG,ERR_MESS ;ACK=1 báo lỗi

;-----
;Ghi data config kênh 2
;
MOV A,#AD_ADDR_WR ;ghi đ/c chip
MOV BUF_ADDR,#CONFIG_ADDR ;ghi đ/c Config Reg.
MOV BUF_DAT0,#LO_CONF_CH2
MOV BUF_DAT1,#HI_CONF_CH2
CALL WR_COM
JB ACK_FLAG,ERR_MESS ;ACK=1 báo lỗi

;-----
;Đọc data kênh 2
;
MOV A,#AD_ADDR_WR ;ghi đ/c chip
MOV BUF_ADDR,#CONV_ADDR ;ghi đ/c Conv Reg.
MOV BUF_DAT0,#AD_ADDR_RD ;đọc data
MOV R0,#BUF2_H ;R0 trả đ/c cao BUF CH2
CALL RD_COM
JB ACK_FLAG,ERR_MESS ;ACK=1 báo lỗi

ERR_MESS :
(xử lý không ACK.....)
.....

;-----
;RD_COM truy xuất địa chỉ chip, thanh ghi, đặt cấu hình Config Reg., đọc data từ Conv Reg.
;Sử dụng WR_I2C, RD_I2C
;Input : A,R0
;Cờ ACK_FLAG, data trong các BUF địa chỉ trả bởi R0

SETB	SCL	;xuất bit START
------	-----	-----------------

CLR SDA
CLR SCL
CALL WR_I2C
JB ACK_FLAG,EXIT_RD ;ACK=1 thoát
MOV A,BUF_ADDR ;ghi đ/c Reg.
CALL WR_I2C
JB ACK_FLAG,EXIT_RD ;ACK=1 thoát
MOV A,BUF_DAT0 ;đọc đ/c chip
SETB SCL ;xuất bit START
CLR SDA
CLR SCL
CALL WR_I2C
JB ACK_FLAG,EXIT_RD ;ACK=1 thoát
CALL RD_I2C
MOV @R0,A ;đọc byte cao
DEC @R0

```

        CALL      RD_I2C
        MOV       @R0,A          ;đọc byte thấp
        SETB     SCL             ;xuất STOP bit
        SETB     SDA
        CLR      SCL
EXIT_RD :   RET

;-----  

;WR_COM ghi lệnh truy xuất địa chỉ chip, thanh ghi, data  

;Sử dụng WR_I2C  

;Input : A  

;Output : cờ ACK_FLAG
;-----  

        SETB     SCL             ;xuất bit START
        CLR      SDA
        CLR      SCL
        CALL     WR_I2C
        JB      ACK_FLAG, EXIT_WR ;ACK=1 thoát
        MOV     A,BUF_ADDR        ;ghi đ/c Reg.
        CALL     WR_I2C
        JB      ACK_FLAG, EXIT_WR ;ACK=1 thoát
        MOV     A,BUF_DAT1        ;ghi byte cao Reg.
        CALL     WR_I2C
        JB      ACK_FLAG, EXIT_WR ;ACK=1 thoát
        MOV     A,BUF_DAT0        ;ghi byte thấp Reg.
        CALL     WR_I2C
        JB      ACK_FLAG, EXIT_WR ;ACK=1 thoát
        SETB    SCL
        SETB    SDA
        CLR     SCL
EXIT_WR :   RET

;-----  

;RD_I2C đọc data trên bus I2C  

;Sử dụng RD_BYTE  

;Output : A chứa byte data đọc được
;-----  

RD_I2C :   CALL     RD_BYTE    ;đọc data
            CLR      SDA          ;tạo ACK=0
            SETB     SCL          ;xung CK thứ 9
            CLR      SCL
            RET

;-----  

;WR_I2C ghi địa chỉ chip, địa chỉ reg., data  

;Sử dụng WR_BYTE  

;Input : A chứa data cần ghi  

;Output : cờ ACK_FLAG báo ACK
;-----  

WR_I2C :   CALL     WR_BYTE    ;ghi đ/c chip
            SETB     SCL          ;xung CK thứ 9
            MOV      C,SDA         ;đọc ACK
            CLR      SCL
            MOV      ACK_FLAG,C    ;lấy bit ACK
            RET
;
```

```

;RD_BYTĐ đọc 8 bit data cất trong A,sử dụng R7 làm con trỏ bộ đếm quay trái 8 bit
;Input : R7
;Output : A chứa byte data đọc về,SCL=0
;-----
RD_BYTĐ :      MOV      R7,#8
SHIFT_RD :      SETB     SCL
                  MOV      C,SDA
                  RLC      A
                  CLR      SCL
                  DJNZ    R7,SHIFT_RD
                  RET

;-----
;WR_BYTĐ ghi 8 bit data cất trong A,sử dụng R7 làm con trỏ bộ đếm quay trái 8 bit
;Input : A,R7
;Output :SCL=0
;-----
WR_BYTĐ :      MOV      R7,#8
SHIFT_WR :      CLR      SCL
                  RLC      A
                  MOV      SDA,C
                  SETB    SCL
                  DJNZ    R7,SHIFT_RD
                  CLR      SCL
                  RET

;-----
;EX0_ISR xử lý quá/dưới nhiệt độ đo được
;chỉ kết thúc khi ALERT/READY=1(do khai báo ngắt mức 0)
;-----
EX0_ISR :      PUSH    ACC
                  PUSH    PSW
OVE_UND_T :      CLR      ALARM          ;báo quá/dưới nhiệt
                  (xử lý quá/dưới nhiệt)
                  JNB      AL_RDY,OVE_UND_T;lập vòng khi còn quá/dưới nhiệt
                  SETB    ALARM
                  POP      PSW
                  POP      ACC
                  RETI

.....
END

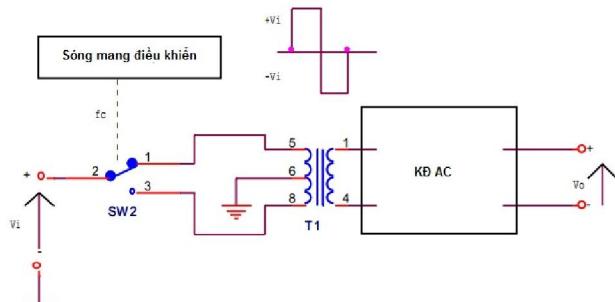
```

1.10.11 : Bộ chopper/ Modulator :

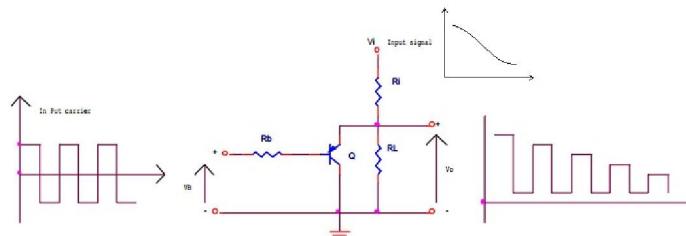
Trong các trường hợp ngõ ra cảm biến là tín hiệu điện áp bé và biến thiên chậm, đường truyền tín hiệu từ cảm biến đến mạch xử lý xa, nếu dùng các bộ KĐ DC hệ số KĐ cao sẽ rất dễ bị gây sai số do nhiễu và trôi. Một phương pháp khuếch đại tín hiệu DC bé là dùng bộ chopper (chớp) hoặc modulator (điều chế) chuyển tín hiệu DC thành tín hiệu AC và sử dụng bộ KĐ AC để khuếch đại sẽ loại được hiện tượng trôi .

1. Bộ chopper :

Hình 1.103 minh họa nguyên lý làm việc bộ chopper . Ngõ vào V_i là tín hiệu DC. Một bộ điều khiển SW làm SW chuyển vị trí 1,2 ở tần số f_c , do đó ở thứ cấp biến áp T sẽ là tín hiệu AC biên độ $\pm V_i$ (xung vuông). Bộ KĐ AC khuếch đại tín hiệu AC này và tạo tín hiệu ngõ ra V_o . Bộ điều khiển SW thường là mạch tạo dao động sóng mang tần số f_c có thể từ 50-400Hz.



Hình 1.103 : Nguyên lý chopper



Hình 1.104 : Mạch chopper BJT

Trong hình 1.104, khi sóng mang ngõ vào cực B âm làm BJT bão hòa $V_o = V_{CES} \approx 0V$. Khi sóng mang ngõ vào cực B dương , BJT off, điện áp ngõ ra :

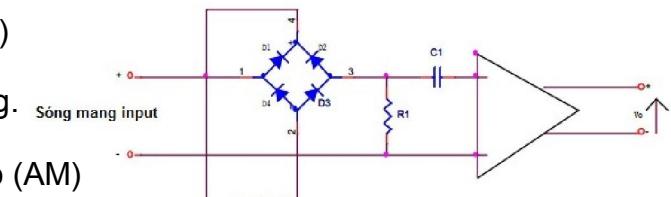
$$V_o = \frac{R_C}{R_i + R_L} V_i \approx V_i (R_L \gg R_i) \quad (1.177)$$

Tần số sóng ngõ ra bằng tần số sóng mang.

2. Bộ Modulator:

Modulator dùng nguyên lý điều chế biên độ (AM) Tín hiệu DC là tín hiệu điều chế, tín hiệu dao động sin cao tần là sóng mang .

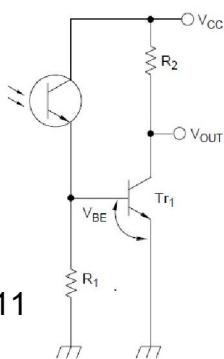
Hình 1.105 minh họa bộ modulator sử dụng cầu diode.Trong bán kí đầu sóng mang, điểm 1 dương, dòng điện chảy từ điểm 1 qua D_1 , nguồn tín hiệu DC, D_3 và R_1 về điểm 2 .Trong bán kí sau, điểm 2 dương, dòng điện chảy từ điểm 2 qua R_1 , D_2 , nguồn tin hiệu DC, D_4 về điểm 1.Biên độ tức thời sóng mang sẽ được điều chế bởi biên độ tín hiệu DC .



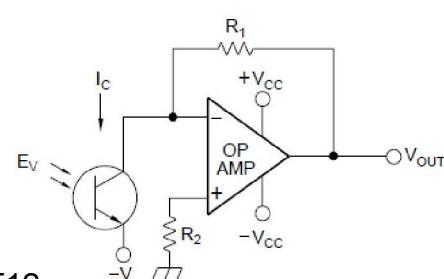
Hình 1.105: Modulator cầu diode

Bài tập chương 1

1. Liệt kê các cảm biến dùng nguyên lý thay đổi điện trở, biểu thức quan hệ, độ nhạy
2. Liệt kê các cảm biến dùng nguyên lý thay đổi điện dung, biểu thức quan hệ, độ nhạy
3. Liệt kê các cảm biến dùng nguyên lý thay đổi điện cảm, biểu thức quan hệ, độ nhạy
4. Liệt kê các cảm biến cho điện áp/dòng điện ngõ ra, biểu thức quan hệ, độ nhạy .
5. Cho quang trở PDV-9007(xem datasheet).
 - a) Từ đặc tuyến quang trở, viết lại biểu thức quan hệ: $R=f(E)$; $R: K\Omega$, $E:\text{lux}$.
 - b) Viết biểu thức tính độ nhạy quang trở.Tính độ nhạy ở $E=10 \text{ lux}$, $E=100 \text{ lux}$.
 - c) Sử dụng phương pháp tuyến tính hóa măc R_i song song quang trở trong vùng từ $E=10-50 \text{ lux}$.Tìm R_i .
6. Sử dụng các kết quả bài 5:
 - a) Thiết kế một mạch điều khiển rờ le bằng ánh sáng dùng quang trở PDV-9007:
 - Khi $E=10 \text{ lux}$, rờ le off.
 - Khi $E=50 \text{ lux}$, rờ le on.
 - b) Thiết kế một mạch đo cường độ ánh sáng bằng quang trở PDV-9007 tầm $E=10-50 \text{ lux}$. Mạch cho điện áp ngõ ra tỉ lệ tuyến tính với E .Viết biểu thức điện áp ngõ ra.
7. Cho photo diode SD-076-14-21-011(xem data sheet).
 - a) Từ đặc tuyến photo diode xác định độ nhạy photo diode trong vùng ánh sáng $\lambda=600\text{nm}$.Từ đó suy ra quan hệ $I_p=f(\Phi)$, $\Phi=10\mu\text{W}-1\text{mW}$ trong vùng ánh sáng $\lambda=600\text{nm}$.
 - b) Vẽ mạch đo thông lượng ánh sáng : mạch điện cho ngõ ra điện áp theo thông lượng ánh sáng .Viết biểu thức điện áp ngõ ra.
8. Thiết kế mạch đo cường độ ánh sáng($E:\text{lux}$)sử dụng IC SD-100-42-22-231(xem data sheet) trong vùng ánh sáng $\lambda=600\text{nm}$,tầm đo $E=10 \text{ lux}-100 \text{ lux}$.Viết biểu thức điện áp ngõ ra.
9. Từ hình 1.10d,e,sử dụng MCU8051 thiết kế mạch phát hồng ngoại với led IR333A:
 - Xung lái $f=38\text{Khz}$
 - Điều chế xung 38Khz bằng xung chu kỳ $T=50\text{ms}$
 - Bit 0 độ rộng xung $1/4T$
 - Bit 1 độ rộng xung $3/4T$
 - Bit sync. Độ rộng xung $1/2T$
 - Input 4 bit mã truyền vào P1
 - Output frame truyền ra IR led 4 bit MSB trước và bit sync. như hình 1.10e
 - Dòng đỉnh qua IR led $I_p=1^a$
10. Từ mạch phát hồng ngoại bài 9,thiết kế mạch thu hồng ngoại dùng MCU8051 và IR PD-333-3B:
 - Khoảng cách thu max 10m cách mạch phát
 - Xuất ra port 4 bit mã tín hiệu thu đã điều chế ở mạch phát.
11. Sử dụng PT BPV11 trong mạch điện hình BT1.11.



Hình BT11

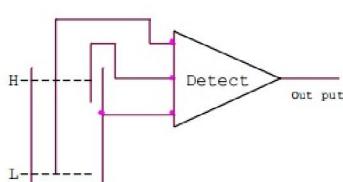


Hình BT12

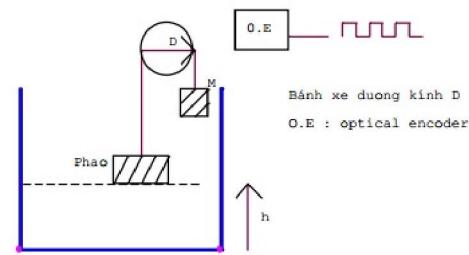
- a) Thiết lập biểu thức quan hệ giữa dòng quang $I_p(\mu\text{A})$ và độ chói $E(\text{Lux})$ tầm $\lambda=555\text{nm}$
- b) Thiết kế mạch tầm đo $E=0\div1000\text{Lux}$ với tỉ lệ $\Delta V_{\text{out}}/\Delta E=10\text{mV/Lux}$

12. Sử dụng PT PT333-3C trong hình BT12.Tự chọn OPAMP và nguồn cấp điện.

- a) Thiết lập biểu thức quan hệ giữa dòng quang I_p (mA) và thông lượng bức xạ Φ (mW) tầm $\lambda=840\text{nm}$.
- b) Thiết kế mạch đo Φ cho $\Delta V_{out}/\Delta \Phi = 1\text{mV}/1\text{mW}$, tầm đo $0\div 1\text{W}$. V_{out} tương ứng với dòng tối I_d là bao nhiêu?
- c) Tính các sai số do offset($V_{io}, l_{io}, l_{ib}, \Delta V_{io}/\Delta T$) với OPAMP cụ thể đã chọn ảnh hưởng đến kết quả thiết kế tính lý tưởng?
13. Chứng minh các công thức (1.38b) hình 1.19c mạch KĐ cầu RTD 3 dây, hình 1.20b mạch KĐ cầu RTD 2 dây và công thức (1.42b) hình 1.21b mạch KĐ RTD 4 dây.
14. Cho Thermistor NTC KS102J2 có $R(T_0) = 1000\Omega @ T^0 = 25^\circ C$ và $R(T_1) = 360,2\Omega @ T_1 = 50^\circ C$
- Tìm hệ số B
 - Vẽ đặc tuyến của thermistor $R(T)$ với $T = 20^\circ C - 40^\circ C$.
 - Tuyến tính hóa đặc tuyến trong tầm $T = 20^\circ C - 40^\circ C$ dùng phương pháp măc R_i song song $R(T)$, đánh giá sai số .
 - Lập lại câu c với R_i nối tiếp $R(T)$.
 - Lập lại câu b với tuyến tính hóa 3 điểm.
15. Sử dụng thermistor ở câu 14 sau khi tuyến tính hóa ở $T = 20^\circ C - 40^\circ C$ kết hợp với mạch chuyển đổi tín hiệu cảm biến cho ngõ ra điện áp dc có độ nhạy $10\text{mV}/^\circ C$.
16. Xem lại ví dụ 1.6 sử dụng thermistor TTC3A102X39D.
Chọn ADC bao nhiêu bit để tuyến tính hóa bằng phương pháp lượng tử, tầm đo từ $20\div 40^\circ C$, độ phân giải $1^\circ C$, sai số $\pm 0.5^\circ C$.
17. Sử dụng nguồn dòng cấp cho RTD Pt100 đo ở tầm $0\div 100^\circ C$. Vẽ sơ đồ mạch điện chuyển đổi thành áp ngõ ra $V_0 = 10(mV).T$ ($T : ^\circ C$)
18. Thiết kế mạch đo nhiệt độ sử dụng Pt100 ở tầm đo $0\div 100^\circ C$. Đáp ứng ngõ ra là điện áp tỉ lệ tuyến tính tương ứng từ 1-5VDC.
19. Thiết kế mạch đo nhiệt độ sử dụng Pt100 ở tầm đo $0\div 100^\circ C$. Đáp ứng ngõ ra là nguồn dòng tỉ lệ tuyến tính tương ứng từ 4-20mAADC.
20. Vẽ mạch bù nhiệt đầu nguội Thermocouple loại K(CA) sử dụng vi mạch nguồn dòng AD 590/AD592 làm phần tử bù nhiệt đầu nguội . Viết biểu thức ngõ ra .
21. Tham khảo data sheet cảm biến áp suất STS-030A-4F. Thiết kế mạch đo áp suất cho điện áp ngõ ra V_0 biến thiên từ 0-5VDC khi áp suất tác động biến thiên từ 0-30psi.
22. Một cảm biến áp suất đo tầm từ 0-10 bar cho ngõ ra là dòng điện tỉ lệ tuyến tính tương ứng từ 4-20mAADC. Thiết kế mạch chuyển đổi tín hiệu đo áp suất sang tần số ngõ ra tỉ lệ 1 Khz/bar.
23. Một mạch dò/ nhận dạng mực chất lỏng ở hai mức cao thấp như hình BT23. Vẽ sơ đồ mạch nhận dạng có ngõ ra là mức logic trạng thái theo mực chất lỏng.
24. Mạch đo mực chất lỏng liên tục như hình BT 24. Khi mực chất lỏng thay đổi, phao sẽ nâng/ hạ làm quay bánh xe nối trực với optical encoder . Viết biểu thức biểu diễn số xung ngõ ra optical encoder tỉ lệ với mực chất lỏng .



Hình BT23



Hình BT24

25. Cho một cảm biến load cell có các thông số sau :

- Cảm biến được kết nối thành cầu Wheatstone
- Nguồn cung cấp max : 12VDC
- Tổng trở nhìn từ ngõ ra : 350Ω

- Tầm đo max : 100Kg
- Độ nhạy toàn tầm(F.S) ngõ ra : 2mV/V

- Chọn mạch khuếch đại thích hợp và có HSKĐ đảm bảo ngõ ra có độ nhạy $10\mu\text{V}/1\text{g}$.
26. Thiết kế mạch đo nhiệt độ sử dụng IC LM35. Chuyển giá trị đo sang số sử dụng ADC ADS8342, đảm bảo độ phân giải $0,1^{\circ}\text{C}$.
27. Thiết kế một cân điện tử sử dụng loadcell như BT25. Chuyển tín hiệu sang số sử dụng ADC ADS1115, đảm bảo độ phân giải 1/50.000.
28. Xem data sheet cảm biến độ ẩm điện trở EMD-4000B(file RHS-EMD-4000B)
a) Lập bảng giá trị RH(%) theo điện trở $R(\text{K}\Omega)$ và nhiệt độ $T(^{\circ}\text{C})$.
b) Dùng phương pháp bình phương tối thiểu xây dựng hàm quan hệ RH theo R tại $T=25^{\circ}\text{C}$ với sai số $<\pm 2\%$
c) Từ a và b xây dựng quan hệ hàm bù nhiệt và suy ra hàm tổng quát RH theo R và T với sai số $<\pm 5\%$.
d) Tuyến tính hóa bằng phương pháp thích hợp
29. Từ kết quả BT28, thiết kế mạch đo độ ẩm $\text{RH}=20\div 90\%$ cho ngõ ra nguồn dòng tuyến tính tỉ lệ từ $4\div 20\text{mA}$.
30. Xem data sheet cảm biến độ ẩm điện dung file P14-W-HUMIDITYSENSOR-C.
Thiết kế mạch đo độ ẩm $\text{RH}=0\div 100\%$, tự chọn thiết kế phù hợp.
Đánh giá sai số mạch thiết kế trong tầm $T=0\div 45^{\circ}\text{C}$.