

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CẦN THƠ
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG



Giáo Trình
CẢM BIẾN

Chủ biên:
Ks. Nguyễn Hữu Cường

Cần Thơ, 2007

MỤC LỤC

Chương 1: Định nghĩa và các đặc trưng của cảm biến

1.1	Định nghĩa cảm biến	1
1.2	Phân loại cảm biến	2
1.2.1	Cảm biến tích cực	2
1.2.2	Cảm biến thụ động	2
1.2.3	Các phân loại khác	3
1.3	Các đặc trưng cơ bản của cảm biến.....	3
1.3.1	Sai số của phép đo.....	3
1.3.2	Độ nhạy	4
1.3.3	Độ tuyến tính.....	5
1.3.4	Độ nhanh	6
1.3.5	Một số đặc trưng khác.....	6
1.4	Giới hạn sử dụng	7
1.5	Nhiều và biện pháp khắc phục.....	7
1.5.1	Các đại lượng ảnh hưởng đến kết quả đo	7
1.5.2	Nhiều	8
1.5.3	Biện pháp khắc phục	8

Chương 2: Các hiệu ứng vật lý ứng dụng trong cảm biến

2.1	Hiệu ứng cảm ứng điện từ.....	10
2.1.1	Thí nghiệm Faraday	10
2.1.2	Định luật Lenz.....	11
2.1.3	Định luật cảm ứng điện từ.....	12
2.2	Hiệu ứng nhiệt điện.....	12
2.2.1	Hiệu ứng Peltier	12
2.2.2	Hiệu ứng Thomson.....	13
2.2.3	Hiệu ứng Seebeck	13
2.3	Hiệu ứng quang điện	14

2.3.1	Hiệu ứng quang điện	15
2.3.2	Hiện tượng quang dẫn	16
2.3.3	Hiện tượng quang phát xạ điện tử	17
2.4	Hiệu ứng quang điện từ	18
2.5	Hiệu ứng Hall	18
2.5.1	Hiệu ứng Hall	18
2.5.2	Ứng dụng	19
2.6	Hiệu ứng áp điện	20
2.7	Hiệu ứng hỏa điện	21
2.8	Hiệu ứng Doppler	21
2.8.1	Hiệu ứng Doppler	21
2.8.2	Ứng dụng	22

Chương 3: Cảm biến nhiệt độ

3.1	Các đặc trưng của nhiệt độ	24
3.1.1	Thang nhiệt độ	24
3.2	Phương pháp đo nhiệt độ	25
3.3	Cảm biến nhiệt điện trở	25
3.3.1	Hệ số nhiệt độ của điện trở	25
3.3.2	Điện trở kim loại	26
3.3.3	Nhiệt điện trở	28
3.3.4	Điện trở silic	29
3.4	Cặp nhiệt điện	30
3.4.1	Đặc trưng	30
3.4.2	Phương pháp chế tạo và sơ đồ đo	31
3.5	Đo nhiệt độ bằng diode và transistor	34
3.6	Cảm biến nhiệt độ LM35D	36
3.6.1	Đặc điểm	36
3.6.2	Các mạch ứng dụng	37

Chương 4: Cảm biến quang

4.1	Ánh sáng và các đại lượng quang học	40
4.1.1	Tính chất của ánh sáng.....	40
4.1.2	Các đơn vị đo quang	41
4.2	Nguồn sáng	41
4.2.1	Đèn sợi đốt wonfram.....	41
4.2.2	Diode phát sáng.....	42
4.2.3	Laser	42
4.3	Cảm biến quang bán dẫn.....	44
4.3.1	Tế bào quang dẫn	44
4.3.2	Photodiode	47
4.3.3	Phototransistor	54
4.3.4	Phototransistor trường ứng (photoFET)	56
4.4	Cảm biến quang phát xạ.....	57
4.4.1	Vật liệu chế tạo	57
4.4.2	Tế bào quang điện chân không	57
4.4.3	Tế bào quang điện dạng khí.....	59
4.4.4	Thiết bị nhân quang	59

Chương 5: Một số ứng dụng và các dạng cảm biến khác

5.1	Cảm biến biến dạng.....	62
5.1.1	Nguyên lý chung.....	62
5.1.2	Đầu đo điện trở kim loại	63
5.1.3	Đầu đo điện trở bán dẫn.....	64
5.2	Cảm biến siêu âm.....	65
5.3	Cảm biến khí.....	66
5.3.1	Cảm biến áp điện thạch anh.....	67
5.3.2	Cảm biến xúc tác.....	68
5.4	Cảm biến từ	68
5.4.1	Cảm biến đo vị trí và dịch chuyển	69

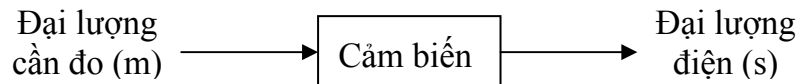
5.4.2	Cảm biến đo vận tốc	71
5.5	Cảm biến công tắc.....	72
5.5.1	Công tắc lưỡi gà.....	72
5.5.2	Công tắc thủy ngân	73
5.5.3	Công tắc giới hạn	73
5.6	Encoder quang	74
5.6.1	Encoder dạng tăng.....	75
5.6.2	Encoder chính xác.....	76
5.7	Cáp quang	77
5.7.1	Cấu tạo và tính năng	77
5.7.2	Ứng dụng.....	77
5.8	Một số ứng dụng của cảm biến	78
5.8.1	Tachometer quang hiển thị tốc độ quay bằng LED	78
5.8.2	Ứng dụng cảm biến khí phát hiện khí metan.....	80
5.8.3	Bộ đọc mã vạch.....	80
5.8.4	Đo mức chất lưu.....	81

Chương 1

ĐỊNH NGHĨA VÀ CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA CẢM BIẾN

1.1 Định nghĩa cảm biến

Các đại lượng cần đo m là các đại lượng vật lý như nhiệt độ, áp suất... Khi tiến hành đo đại lượng m này ta nhận được đại lượng điện s tương ứng ở đầu ra. Việc đo đạc m được thực hiện bằng các cảm biến.



Hình 1-1: Chức năng của cảm biến

Cảm biến được định nghĩa theo nghĩa rộng là thiết bị cảm nhận và đáp ứng với các tín hiệu và kích thích.

Cảm biến là thiết bị chịu tác động của đại lượng cần đo m không có tính chất điện và tạo ở đầu ra một đại lượng điện s có thể đo được (điện tích, điện áp, dòng điện hoặc trở kháng). Đại lượng điện s là hàm của đại lượng cần đo m :

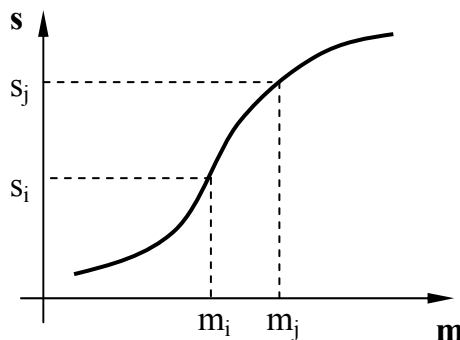
$$s = F(m) \quad (1.1)$$

trong đó: s – đại lượng đầu ra hoặc đáp ứng của cảm biến

m – đại lượng đầu vào hay kích thích (đại lượng cần đo)

Biểu thức $s = F(m)$ biểu diễn hoạt động của cảm biến, đồng thời biểu diễn sự phụ thuộc vào cấu tạo, vật liệu làm cảm biến, vào môi trường và chế độ sử dụng.

Để sử dụng biểu thức này đòi hỏi phải chuẩn hóa cảm biến: từ những giá trị đã biết chính xác của m , đo giá trị tương ứng của s và dựng đường cong chuẩn. Đường cong này cho phép xác định mọi giá trị của m từ s .



Hình 1-2: Đường cong chuẩn

Thông thường để dễ sử dụng người ta chế tạo cảm biến sao cho biến thiên đầu ra Δs tuyến tính với biến thiên đầu vào Δm :

$$\Delta s = S \cdot \Delta m \quad (1.2)$$

trong đó: S – độ nhạy của cảm biến

Một cảm biến tốt phải có độ nhạy S không đổi, ít phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Giá trị của đại lượng cần đo m (độ tuyến tính) và tần số biến đổi của nó (dải thông).
- Thời gian sử dụng (độ lão hóa).
- Ảnh hưởng của các đại lượng vật lý khác (nhiều) của môi trường xung quanh.

Trong mô hình mạch điện, ta có thể coi cảm biến như một mạch hai cửa. Trong đó cửa vào là biến trạng thái cần đo x và cửa ra là đáp ứng y của bộ cảm biến với kích thích đầu vào x . Phương trình quan hệ: $y = f(x)$ thường rất phức tạp.

1.2 Phân loại cảm biến

Cảm biến là một phần tử của mạch điện, do đó ta có thể coi cảm biến:

- Là một máy phát, trong đó đáp ứng ngõ ra của cảm biến là điện tích, điện áp hay dòng điện, ta gọi là cảm biến tích cực.
- Là một trở kháng, trong đó đáp ứng ngõ ra của cảm biến là điện trở, độ tự cảm hoặc điện dung, ta gọi là cảm biến thụ động.

1.2.1 Cảm biến tích cực

Về mặt nguyên lý, cảm biến tích cực thường dựa trên hiệu ứng vật lý biến đổi một dạng năng lượng nào đó (nhiệt, cơ, bức xạ,...) thành năng lượng điện. Những hiệu ứng được ứng dụng trong cảm biến tích cực được trình bày trong Chương 2.

1.2.2 Cảm biến thụ động

Cảm biến thụ động thường được chế tạo từ những trở kháng có các thông số nhạy với đại lượng cần đo. Giá trị của trở kháng phụ thuộc vào kích thước hình học, tính chất điện của vật liệu như điện trở suất ρ , độ từ thẩm μ , hằng số điện môi ϵ . Do đó, giá trị trở kháng bị thay đổi khi đại lượng cần đo tác động ảnh hưởng đến kích thước hình học và tính chất điện của vật liệu.

Kích thước hình học của trở kháng thay đổi nếu cảm biến có phần tử chuyển động hoặc phần tử biến dạng:

- Cảm biến chứa phần tử chuyển động, mỗi vị trí của phần tử tương ứng với một giá trị trở kháng. Cho nên, đo trở kháng sẽ xác định được vị trí đối tượng. Đây là nguyên lý của các loại cảm biến vị trí hoặc dịch chuyển.
- Cảm biến chứa phần tử biến dạng. Sự thay đổi trở kháng do biến dạng gây nên bởi lực hoặc các đại lượng cần đo tác động trực tiếp hoặc gián tiếp lên cấu trúc cảm biến.

Tính chất điện phụ thuộc vào bản chất các vật liệu, có thể nhạy với một hoặc nhiều đại lượng vật lý như nhiệt độ, độ chiếu sáng, áp suất, độ ẩm.

Sự thay đổi của trở kháng dưới tác dụng của đại lượng cần đo chỉ có thể xác định được khi cảm biến là một thành phần trong mạch điện. Tùy trường hợp cụ thể mà ta chọn mạch đo thích hợp với cảm biến.

Đại lượng cần đo	Đặc trưng nhạy cảm	Loại vật liệu sử dụng
Nhiệt độ	Điện trở suất, ρ	Kim loại: Pt, Ni, Cu Bán dẫn
Bức xạ ánh sáng	Điện trở suất, ρ	Thủy tinh Bán dẫn
Biến dạng	Điện trở suất, ρ Độ từ thẩm, μ	Hợp kim Ni, Si pha tạp Hợp kim sắt từ
Vị trí	Điện trở suất, ρ	Vật liệu từ điện trở: Bi, InSb
Độ ẩm	Điện trở suất, ρ Hằng số điện môi, ϵ	LiCl Al ₂ O ₃ , polyme
Mức chất lưu	Hằng số điện môi, ϵ	Chất lưu cách điện

Bảng 1.1 -

1.2.3 Các phân loại khác

- a. *Phân loại theo nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích*
 - Vật lý: nhiệt điện, quang điện, điện từ, từ điện...
 - Hóa học: hóa điện, phở...
 - Sinh học: sinh điện...
- b. *Phân loại theo dạng kích thích*: âm thanh, điện, từ, quang, nhiệt, lực...
- c. *Phân loại theo đặc trưng*: độ nhạy, độ chính xác, độ phân giải, độ tuyến tính...
- d. *Phân loại theo phạm vi sử dụng*: công nghiệp, nghiên cứu khoa học, môi trường, thông tin, nông nghiệp...

1.3 Các đặc trưng cơ bản của cảm biến**1.3.1 Sai số của phép đo**

Kết quả của mọi phép đo đều chứa đựng sai số. Giá trị thực của đại lượng đo cho biết sự kích thích tác động lên cảm biến, nhưng ta chỉ có được đáp ứng của hệ đo, gọi là giá trị đo. Hiệu số giữa giá trị thực và giá trị đo được là sai số của phép đo.

Nếu gọi Δx là sai số tuyệt đối, thì sai số tương đối của cảm biến là:

$$\delta\% = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

Sai số của phép đo chỉ có thể đánh giá một cách ước lượng bởi vì không thể biết được giá trị thực của đại lượng đo. Người ta thường phân sai số làm hai loại, sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

a. Sai số hệ thống:

Giả sử ta đo một đại lượng đã biết trước giá trị thực. Nếu như giá trị trung bình của các giá trị đo luôn lệch giá trị thực không phụ thuộc vào số lần đo thì ta nói có sai số hệ thống.

Sai số hệ thống có thể không đổi hoặc thay đổi chậm theo thời gian đo, xuất hiện độ lệch không đổi giữa giá trị thực và giá trị đo.

Sai số hệ thống thường do hiểu biết sai hoặc không đầy đủ về hệ đo hay điều kiện sử dụng không tốt. Một số nguyên nhân thường gặp:

- Sai số do giá trị đại lượng chuẩn không đúng.
- Sai số do đặc tính của cảm biến (độ nhạy hoặc đường cong chuẩn).
- Sai số do điều kiện sử dụng và chế độ sử dụng.
- Sai số do xử lý kết quả đo.

b. Sai số ngẫu nhiên

Sai số ngẫu nhiên có biên độ và dấu không xác định. Có thể dự đoán được nguyên nhân sai số ngẫu nhiên nhưng không thể biết trước độ lớn của chúng. Một số nguyên nhân dẫn đến sai số ngẫu nhiên:

- Sai số do tính không xác định của đặc trưng thiết bị: tính linh động của thiết bị, đọc sai số liệu, sai số trễ do mạch đo chứa phần tử có độ trễ.
- Sai số do tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên: gây kích thích nhiệt các hạt dẫn trong linh kiện, cảm ứng ký sinh do bức xạ điện từ, điện áp nguồn tăng giảm.
- Sai số do các đại lượng ảnh hưởng.

Có thể giảm độ lớn của sai số ngẫu nhiên bằng một số biện pháp thực nghiệm: bảo vệ mạch đo bằng cách ổn định nhiệt độ và độ ẩm môi trường đo, dùng giá đỡ chống rung, sử dụng các bộ điều chỉnh điện áp nguồn tự động, các bộ ADC có độ phân giải thích hợp, che chắn, nối đất các thiết bị điện, sử dụng các bộ lọc tín hiệu...

1.3.2 Độ nhạy

a. Định nghĩa

Độ nhạy S xung quanh một giá trị đại lượng đo không đổi m_i được xác định bởi tỷ số giữa biến thiên Δs của đại lượng đầu ra và biến thiên tương ứng Δm của đại lượng đầu vào:

$$S = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_{m=m_i} \quad (1.4)$$

Đơn vị đo độ nhạy phụ thuộc vào nguyên lý của cảm biến và các đại lượng liên quan. Thí dụ: $\Omega/^\circ\text{C}$, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Trị số độ nhạy có thể phụ thuộc vào vật liệu, kích thước hay kiểu lắp ráp.

Giá trị của độ nhạy S tương ứng với những điều kiện làm việc của cảm biến thường do nhà sản xuất cung cấp. Dựa vào đó có thể đánh giá được độ lớn của đại lượng đầu ra và độ lớn của biến thiên của đại lượng đo. Cho phép lựa chọn các cảm biến phù hợp thỏa mãn các điều kiện đặt ra.

Độ nhạy có thể là hàm của các thông số bổ sung có ảnh hưởng đến đáp ứng của cảm biến (điện áp, tần số nguồn nuôi, nhiệt độ môi trường, tần số biến thiên của đại lượng đo. Thí dụ, độ nhạy của biến thể vi sai có đáp ứng tỷ lệ với biên độ điện áp nguồn E :

$$S(E) = S_1 \cdot E = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_{m=m_i} \quad (1.5)$$

có nghĩa là:

$$S_1 = \frac{1}{E} \cdot \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_{m=m_i} \quad (1.6)$$

b. Độ nhạy tĩnh

Đặc trưng tĩnh của cảm biến là đồ thị biểu diễn các giá trị s_i của đại lượng điện tương ứng với các giá trị không đổi m_i của đại lượng đo khi đại lượng này đạt chế độ làm việc danh định. Điểm làm việc Q_i là đặc trưng tĩnh tương ứng với các giá trị m_i, s_i .

Độ nhạy tĩnh ở điểm làm việc Q_i là tỷ số giữa Δs và Δm tương ứng. Như vậy, độ nhạy tĩnh là độ dốc của đặc trưng tĩnh ở điểm làm việc. Nếu đặc trưng tĩnh không tuyến tính thì độ nhạy tĩnh phụ thuộc vào điểm làm việc.

c. Độ nhạy động

Khi đại lượng đo là hàm tuần hoàn theo thời gian thì đại lượng đầu ra ở chế độ làm việc danh định cũng là hàm tuần hoàn theo thời gian.

$$\text{Giả sử đại lượng đo } m \text{ có dạng: } m(t) = m_0 + m_1 \cos \omega t \quad (1.7)$$

trong đó: m_0 – giá trị không đổi

m_1 – biên độ đại lượng đo

$$f = \frac{\omega}{2\pi} - \text{tần số biến thiên của đại lượng đo}$$

$$\text{Đáp ứng } s \text{ có dạng: } s(t) = s_0 + m_1 \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.8)$$

trong đó: s_0 – giá trị không đổi ứng với m_0 tại điểm Q_0 trên đường cong chuẩn ở chế độ tĩnh

s_1 – biên độ đầu ra

φ - độ lệch pha giữa đầu vào và đầu ra

Lúc này, độ nhạy động được xác định bằng tỷ số giữa biến thiên của s và m :

$$S = \left(\frac{s_1}{m_1} \right)_{Q_0} \quad (1.9)$$

Dựa vào độ nhạy động cho phép xác định đặc tính tần số của cảm biến.

1.3.3 Độ tuyến tính

a. Tuyến tính

Một cảm biến được gọi là tuyến tính nếu trong một dải đo xác định độ nhạy không phụ thuộc vào giá trị của đại lượng đo. Nếu cảm biến không tuyến tính, ta có thể bổ sung vào mạch đo các thiết bị hiệu chỉnh (tuyến tính hóa), làm cho tín hiệu điện tỷ lệ với sự thay đổi của đại lượng đo.

b. Đường thẳng tốt nhất

Bằng thực nghiệm, người ta nhận được một loạt các điểm tương ứng s_i, m_i . Trong các trường hợp cảm biến là tuyến tính về mặt lý thuyết nhưng các điểm này cũng không nằm trên một đường thẳng. Nguyên nhân là do có sự không chính xác trong khi đo và những sai lệch trong quá trình chế tạo cảm biến. Tuy nhiên, từ các điểm thực nghiệm có thể xây dựng được đường thẳng biểu diễn sự tuyến tính của cảm biến. Đường thẳng này gọi là đường thẳng tốt nhất, có biểu thức:

trong đó:

$$a = \frac{N \cdot \sum s_i \cdot m_i - \sum s_i \cdot \sum m_i}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum s_i \cdot \sum m_i^2 - \sum s_i \cdot m_i \sum m_i}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2}$$

với N là số điểm thực nghiệm

c. Độ lệch tuyến tính

Độ lệch tuyến tính là độ lệch cực đại giữa đường cong chuẩn và đường thẳng tốt nhất (tính bằng %) trong dải đo. Độ lệch tuyến tính cho phép đánh giá độ tuyến tính của đường cong chuẩn.

1.3.4 Độ nhanh

a. Độ nhanh

Độ nhanh t_r là khoảng thời gian từ khi đại lượng đo thay đổi đột ngột đến khi biến thiên của đại lượng đầu ra s của cảm biến khác giá trị cuối cùng của nó một lượng $\varepsilon\%$.

Độ nhanh cho phép đánh giá đại lượng đầu ra có đáp ứng kịp về thời gian với sự biến thiên đại lượng đo hay không.

b. Thời gian đáp ứng

Thời gian đáp ứng dùng để xác định giá trị của độ nhanh. Cảm biến càng nhanh thì thời gian đáp ứng càng nhỏ. Thời gian đáp ứng tương ứng khoảng thời gian đợi chờ sau khi có biến thiên của đại lượng đo để có giá trị s ở ngõ ra với độ chính xác $\varepsilon\%$.

- Trong trường hợp sự thay đổi của đại lượng đo có dạng bậc thang dẫn đến sự tăng lên của đại lượng đầu ra, khoảng thời gian trễ khi tăng lên, t_{dm} , là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra s tăng từ giá trị ban đầu của nó đến 10% của biến thiên tổng cộng của đại lượng này và khoảng thời gian tăng t_m là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra s tăng từ 10% đến 90% của biến thiên tổng cộng của nó.

- Trong trường hợp sự thay đổi của đại lượng đo có dạng bậc thang dẫn đến sự giảm xuống của đại lượng đầu ra, khoảng thời gian trễ khi giảm xuống, t_{dc} , là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra s giảm từ giá trị ban đầu của nó đến 10% của biến thiên tổng cộng của đại lượng này và khoảng thời gian giảm xuống t_c là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra s giảm từ 10% đến 90% của biến thiên tổng cộng của nó.

Thông qua các thông số t_r , t_{dm} , t_m , t_{dc} , t_c có thể đánh giá về thời gian đáp ứng của một cảm biến.

1.3.5 Một số đặc trưng khác

a. Dãy động

Dãy động là khoảng giá trị của đại lượng đo mà cảm biến có thể đáp ứng. Những giá trị vượt ngoài dãy này sẽ tạo ra những đáp ứng không chính xác.

b. Độ phân giải

Độ phân giải cảm biến được hiểu là khả năng phát hiện sự thay đổi giá trị của đại lượng đo nhỏ nhất theo thời gian.

c. Bảng thông

Tất cả cảm biến đều có giới hạn thời gian đáp ứng đối với sự biến thiên của đại lượng đo. Một số loại cảm biến có thời gian đáp ứng tắt dần, tức là khoảng thời gian đáp ứng giảm dần thay đổi theo đại lượng đo.

1.4 Giới hạn sử dụng

Trong quá trình sử dụng, cảm biến luôn chịu tác động của ứng lực cơ khí hoặc nhiệt. Nếu các ứng lực này vượt quá ngưỡng cho phép sẽ làm thay đổi các đặc trưng của cảm biến.

a. Vùng làm việc danh định

Vùng này tương ứng với các điều kiện bình thường của cảm biến. Biên của vùng là các giá trị ngưỡng mà các đại lượng đo, các đại lượng vật lý có liên quan đến đại lượng đo hoặc các đại lượng ảnh hưởng có thể đạt tới mà không làm thay đổi các đặc trưng của cảm biến.

b. Vùng không gây nên hư hỏng

Khi các giá trị của đại lượng đo hoặc các đại lượng có liên quan và các đại lượng ảnh hưởng vượt quá ngưỡng của vùng làm việc danh định nhưng vẫn còn trong phạm vi của vùng không gây nên hư hỏng, các đặc trưng của cảm biến có nguy cơ bị thay đổi nhưng những thay đổi này có tính chất thuận nghịch, tức là khi trở về vùng danh định thì các đặc trưng của cảm biến cũng sẽ tìm lại được giá trị ban đầu của chúng.

c. Vùng không phá hủy

Khi các giá trị của đại lượng đo hoặc các đại lượng có liên quan và các đại lượng ảnh hưởng vượt quá ngưỡng của vùng không gây nên hư hỏng nhưng vẫn còn trong phạm vi của vùng không phá hủy, các đặc trưng của cảm biến bị thay đổi, và sự thay đổi này không thuận nghịch, tức là khi trở về vùng danh định các đặc trưng của cảm biến cũng sẽ không tìm lại được giá trị ban đầu của chúng. Trong trường hợp như vậy, muốn tiếp tục sử dụng cảm biến cần phải tiến hành chuẩn lại.

d. Dải đo

Dải đo của cảm biến được xác định bằng các giá trị giới hạn của vùng đại lượng đo mà trong vùng đó hoạt động của cảm biến đáp ứng các yêu cầu đề ra. Thông thường dải đo trùng với vùng làm việc danh định. Tuy nhiên, tùy theo các chỉ tiêu mà trong một số trường hợp dải đo có thể rộng hoặc hẹp hơn vùng làm việc danh định.

1.5 Nhiều và biện pháp khắc phục

1.5.1 Các đại lượng ảnh hưởng đến tín hiệu đo

Trên thực tế, ngoài đại lượng cần đo còn có nhiều đại lượng vật lý khác có thể tác động đến cảm biến ảnh hưởng đến tín hiệu đo. Những đại lượng này gọi là đại lượng ảnh hưởng hoặc đại lượng gây nhiễu. Chẳng hạn:

- Nhiệt độ làm thay đổi các đặc trưng điện, cơ và kích thước của cảm biến
- Áp suất, gia tốc, dao động (rung) có thể gây biến dạng và ứng suất trong một số phần tử của cảm biến

- Độ ẩm làm thay đổi tính chất điện của vật liệu
- Từ trường gây nên suất điện động cảm ứng chồng lên tín hiệu cần đo, làm thay đổi tính chất điện vật liệu cấu thành cảm biến.

Nếu gọi các đại lượng ảnh hưởng là $g_1, g_2, \dots$ thì biểu thức quan hệ giữa đại lượng điện đầu ra s và đại lượng cần đo m được viết lại:

$$s = F(m, g_1, g_2, \dots) \quad (1.11)$$

1.5.2 Nhiễu

Nhiễu xuất hiện ở ngõ ra cảm biến, bao gồm nhiễu do cảm biến sinh ra và nhiễu do sự dao động của tín hiệu kích thích. Nhiễu làm giới hạn khả năng hoạt động của cảm biến. Nhiễu được phân bố qua phổ tần số.

Ta có thể phân nhiễu thành 2 loại:

- Nhiễu nội tại do sự không hoàn thiện trong việc thiết kế, công nghệ chế tạo, vật liệu cảm biến, ... đáp ứng có thể bị méo so với dạng lý tưởng.
- Nhiễu do truyền dẫn.

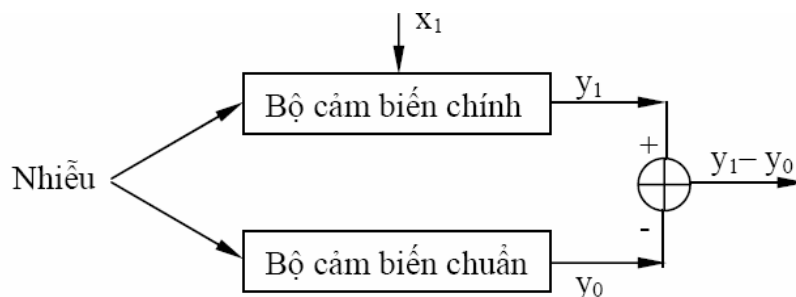
1.5.3 Biện pháp khắc phục

Để có được giá trị cần đo m chính xác cần phải áp dụng một trong những biện pháp sau đây:

- Giảm ảnh hưởng của các đại lượng gây nhiễu đến mức thấp nhất bằng các biện pháp như cách điện, chống rung, chống từ trường...
- Ổn định các đại lượng ảnh hưởng ở những giá trị biết trước và chuẩn cảm biến trong những điều kiện đó (ổn nhiệt, ổn áp).
- Sử dụng các sơ đồ ghép nối bù trừ ảnh hưởng của các đại lượng gây nhiễu.

Nhiễu không thể loại trừ mà chỉ có thể phòng ngừa. Để làm giảm ảnh hưởng và khắc phục nhiễu đòi hỏi nhiều biện pháp tổng hợp.

Để chống nhiễu ta thường dùng kỹ thuật vi sai phối hợp cảm biến đôi, trong đó tín hiệu ra là hiệu của hai tín hiệu ra của từng bộ cảm biến. Một bộ được gọi là cảm biến chính, bộ kia là cảm biến chuẩn được đặt trong màn chắn.



Hình 1-3: Sơ đồ kỹ thuật vi sai

Để giảm nhiễu đường truyền ta có thể sử dụng các biện pháp sau:

- Cách ly nguồn nuôi, dùng màn chắn, nối đất, lọc nguồn.
- Bố trí các linh kiện hợp lý, không để dây cao áp gần đầu vào cảm biến.
- Sử dụng cáp ít nhiễu.

Câu hỏi ôn tập

1. Phát biểu nào dưới đây là sai

- a. Cảm biến là thiết bị cảm nhận và đáp ứng với tín hiệu và kích thích.
- b. Cảm biến là một mạch hai cửa trong mô hình mạch điện.
- c. Cảm biến đóng vai trò cảm nhận, đo đạc các thông số hệ thống điều khiển tự động.
- d. Đáp ứng cảm biến chỉ phụ thuộc vào tín hiệu kích thích.

2. Cảm biến quang là cảm biến được phân loại theo:

- a. Nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích.
- b. Phạm vi sử dụng.
- c. Thông số mô hình thay thế.
- d. Dạng kích thích.

3. Thế nào là sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên? Nêu một số nguyên nhân dẫn đến sai số cảm biến.

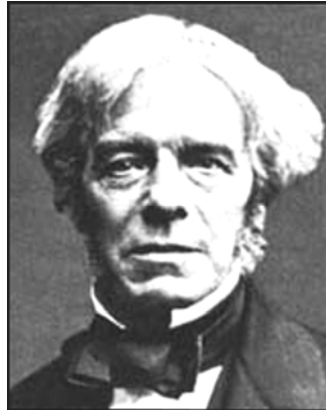
4. Độ nhạy của cảm biến được xác định như thế nào?

Chương 2

CÁC HIỆU ỨNG VẬT LÝ ỨNG DỤNG TRONG CẢM BIẾN

2.1 Hiện tượng cảm ứng điện từ

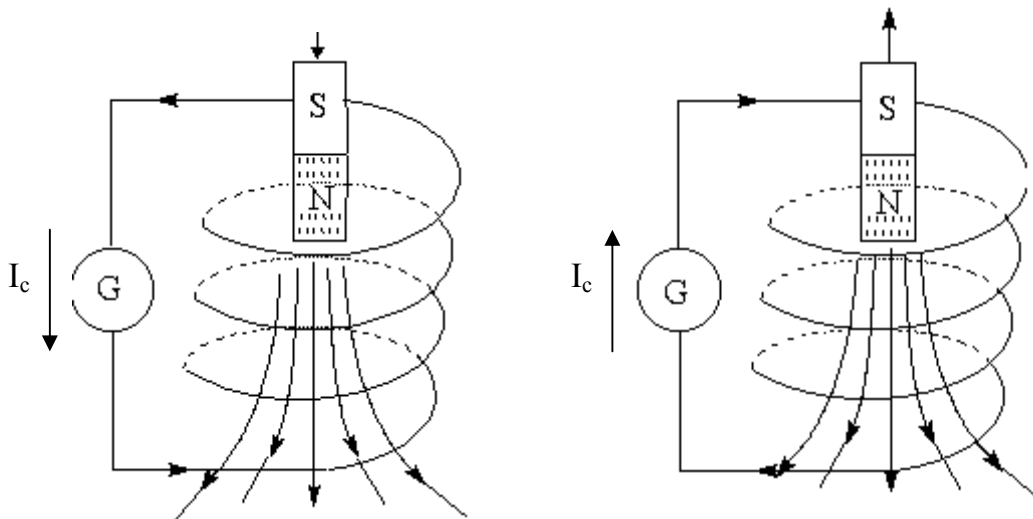
Năm 1831, Faraday thực hiện thí nghiệm chứng minh rằng từ trường có thể sinh ra dòng điện. Khi cho từ thông qua một mạch kín thay đổi thì trong mạch xuất hiện một dòng điện. Dòng điện đó được gọi là dòng điện cảm ứng. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng cảm ứng điện từ.



Hình 2-1 : Michael Faraday (1791 – 1867)

2.1.1 Thí nghiệm Faraday

Lấy một ống dây điện (gồm nhiều vòng dây) mắc nối tiếp nó với một điện kế G thành một mạch kín. Phía trên ống dây ta đặt một thanh nam châm có hai cực bắc (N) và nam (S). Khi di chuyển thanh nam châm vào trong ống dây, kim của điện kế bị lệch đi, điều đó chứng tỏ trong ống dây xuất hiện một dòng điện, đó là dòng điện cảm ứng I_c .



Hình 2-2 : Thí nghiệm Faraday

- Nếu rút thanh nam châm ra, dòng điện cảm ứng có chiều ngược lại.
- Di chuyển thanh nam châm càng nhanh, cường độ dòng điện cảm ứng I_c càng lớn.

Giáo trình Cảm biến

- Giữ thanh nam châm đứng yên so với ống dây, dòng điện cảm ứng sẽ bằng không.
- Nếu thay nam châm bằng một ống dây có dòng điện chạy qua, rồi tiến hành các thí nghiệm như trên, ta cũng có những kết quả tương tự.

Từ thí nghiệm, Faraday rút ra kết luận như sau:

- Từ thông gửi qua mạch kín biến đổi theo thời gian là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch đó.
- Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ thông gửi qua mạch kín biến đổi.
- Cường độ dòng điện cảm ứng tỉ lệ thuận với tốc độ biến đổi của từ thông.
- Chiều của dòng điện cảm ứng phụ thuộc vào sự tăng hay giảm của từ thông gửi qua mạch.

2.1.2 Định luật Lenz

Đồng thời với Faraday, nhà vật lý người Đức, Lenz cũng nghiên cứu hiện tượng cảm ứng điện từ và đã đưa định luật tổng quát vào năm 1833 giúp ta xác định chiều của dòng điện cảm ứng, gọi là định luật Lenz.



Hình 2-3 : *Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 – 1865)*

Định luật phát biểu như sau: Dòng điện cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân sinh ra nó

Có nghĩa là khi từ thông qua mạch tăng lên, từ trường cảm ứng sinh ra có tác dụng chống lại sự tăng của từ thông: từ trường cảm ứng sẽ ngược chiều với từ trường ngoài. Nếu từ thông qua mạch giảm, từ trường cảm ứng (do dòng điện cảm ứng sinh ra nó) có tác dụng chống lại sự giảm của từ thông, lúc đó từ trường cảm ứng sẽ cùng chiều với từ trường ngoài.

Dựa vào định luật Lenz để xác định chiều của dòng điện cảm ứng trong thí nghiệm Faraday. Khi cực Bắc của thanh nam châm di chuyển vào trong lòng ống dây làm cho từ thông gửi qua ống dây tăng lên. Theo định luật Lenz, dòng điện cảm ứng phải sinh ra từ trường ngược chiều với từ trường của thanh nam châm để từ thông Φ_B sinh ra có tác dụng làm giảm sự tăng của là nguyên nhân sinh ra nó. Muốn vậy dòng điện cảm ứng phải có chiều như trên hình 2-2.

Bằng lập luận ta nhận thấy nếu dịch chuyển cực Bắc của thanh nam châm ra xa ống dây, dòng điện cảm ứng xuất hiện trong mạch sẽ có chiều ngược lại.

Như vậy, theo định luật Lenz, dòng điện cảm ứng bao giờ cũng có tác dụng chống lại sự dịch chuyển của thanh nam châm. Do đó, để dịch chuyển thanh nam châm, ta phải tốn công. Chính công mà ta tốn được biến thành điện năng của dòng điện cảm ứng.

2.1.3 Định luật cảm ứng điện từ

Khi có sự biến thiên từ thông qua diện tích giới hạn bởi một mạch điện kín thì trong mạch xuất hiện dòng điện cảm ứng. Chiều dòng điện cảm ứng tuân theo định luật Lenz, tức là có chiều sao cho sinh ra từ trường chống lại sự biến thiên của từ thông qua mạch.

Sự xuất hiện dòng điện cảm ứng chứng tỏ trong mạch có một suất điện động, gọi là suất điện động cảm ứng. Suất điện động cảm ứng có độ lớn bằng với tốc độ biến thiên của từ thông gọi qua diện tích mạch điện nhưng trái dấu:

$$e = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.1)$$

Trong đó:

$d\Phi_B$ – biến thiên từ thông qua mạch kín

Hiệu ứng cảm ứng điện từ được ứng dụng để xác định tốc độ chuyển động của vật thông qua việc đo sức điện động cảm ứng.

2.2 Hiệu ứng nhiệt điện

2.2.1 Hiệu ứng Peltier

Lớp tiếp xúc giữa hai dây dẫn A và B khác nhau về bản chất nhưng cùng một nhiệt độ tồn tại một hiệu điện thế tiếp xúc. Hiệu điện thế này chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn và nhiệt độ, gọi là suất điện động Peltier.

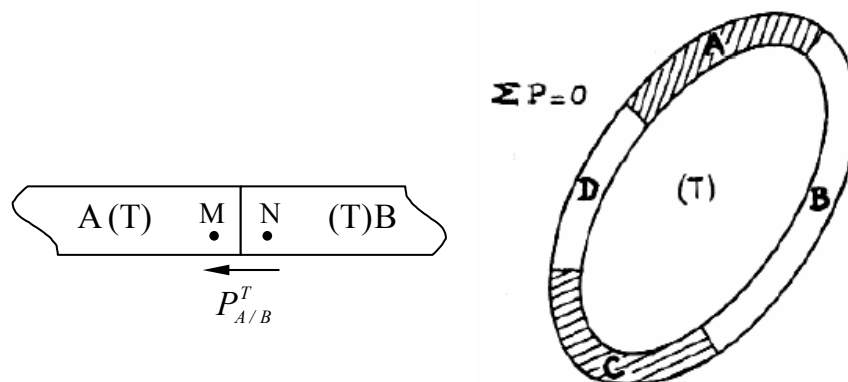
$$P_{A/B}^T = V_M - V_N \quad (2.2)$$

Trong đó:

V_M, V_N – điện áp tại các điểm M và N trên các dây dẫn A và B tương ứng.

Định luật Volta:

Phát biểu: Trong một chuỗi cách nhiệt được cấu thành từ những vật dẫn khác nhau, tổng suất điện động Peltier bằng 0.



Hình 2-4 : Hiệu ứng Peltier – Định luật Volta

Thí dụ, trong một chuỗi bốn vật dẫn A B C D mắc nối tiếp, tổng suất điện động sẽ bằng không.

$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T + P_{D/A}^T = 0$$

Biểu thức có thể được viết lại: $P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T = -P_{D/A}^T$

$$\text{Vì: } P_{A/D}^T = -P_{D/A}^T \Rightarrow P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T = P_{A/D}^T$$

Kết luận, khi hai vật dẫn A và D được phân cách bởi các vật dẫn trung gian và toàn hệ đẳng nhiệt thì hiệu điện thế giữa hai vật dẫn A và D ở đầu mút bằng hiệu điện thế nếu chúng xúc trực tiếp với nhau.

2.2.2 Hiệu ứng Thomson

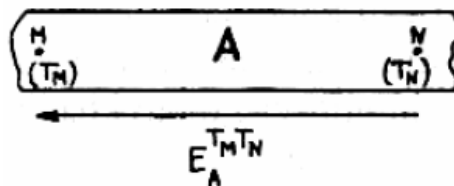
Trong một vật dẫn đồng chất A, giữa hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau sẽ sinh ra một suất điện động phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn và nhiệt độ T_M , T_N của hai điểm đó. Suất điện động Thomson là hàm của nhiệt độ.

$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_N}^{T_M} h_A dT \quad (2.3)$$

Trong đó: h_A – hệ số Thomson phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn A.

Định luật Magnus:

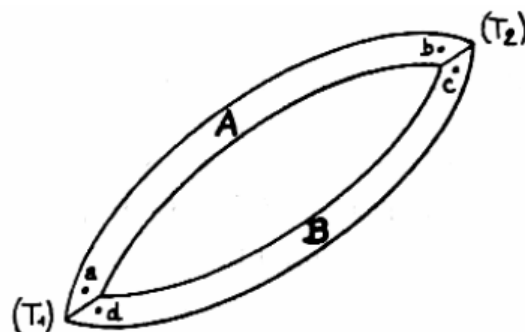
Phát biểu: Nếu hai đầu ngoài của một mạch chỉ gồm một vật dẫn duy nhất và đồng chất được duy trì ở cùng một nhiệt độ thì suất điện động Thomson bằng không.



Hình 2-5 : Hiệu ứng Thomson

2.2.3 Hiệu ứng Seebeck

Xét một mạch kín được tạo thành từ hai vật dẫn A B và hai điểm nối được giữ ở nhiệt độ T_1 và T_2 , khi đó mạch tạo thành một cặp nhiệt điện. Cặp nhiệt điện này gây nên một suất điện động là tổng hợp tác động của hai hiệu ứng Peltier và Thomson. Suất điện động đó gọi là suất điện động Seebeck.



Hình 2-6 : Thomas Johann Seebeck (1770 – 1831) và Hiệu ứng Seebeck

Suất điện động các thành phần là:

$$e_{ab} = \int_{T_1}^{T_2} h_A dT; \quad e_{bc} = P_{A/B}^{T_2}; \quad e_{cd} = \int_{T_2}^{T_1} h_B dT; \quad e_{da} = P_{B/A}^{T_1}$$

Suất điện động Seebeck bằng tổng các suất điện động thành phần:

$$E_{A/B}^{T_2 T_1} = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} (h_A - h_B) dT \quad (2.4)$$

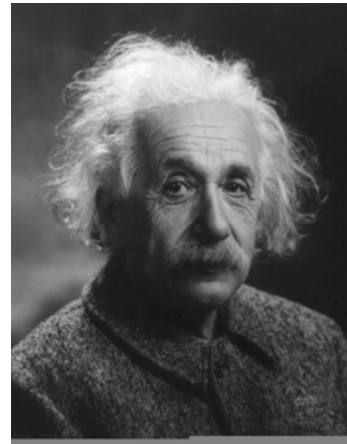
Các hiệu ứng nhiệt điện thường được ứng dụng để chế tạo cặp nhiệt điện để đo nhiệt độ của một vật.

2.3 Hiệu ứng quang điện

Hiệu ứng quang điện là hiện tượng giải phóng các hạt dẫn điện tự do trong vật liệu dưới tác dụng của bức xạ ánh sáng. Do Antoine Henri Becquerel phát hiện năm 1839. Năm 1905 Albert Einstein chứng minh được hiện tượng quang điện xảy ra do sự hấp thụ photon của ánh sáng.



a)



b)

Hình 2-7 : a) - Antoine Henri Becquerel (1850 – 1908)

b) - Albert Einstein (1879 – 1955)

Định luật quang điện:

- Đối với một vật liệu kim loại và tần số bức xạ tới biết trước, thì tốc độ giải phóng quang điện tử tỷ lệ thuận với cường độ ánh sáng tới.
- Đối với một vật liệu kim loại biết trước, sẽ tồn tại một tần số tối thiểu của bức xạ tới mà nếu nhỏ hơn nó thì không có quang điện tử nào có thể được giải phóng. Tần số này được gọi là tần số ngưỡng.
- Khi tần số bức xạ tới lớn hơn tần số ngưỡng, thì động năng cực đại của các quang điện tử được giải phóng không phụ thuộc vào cường độ mà phụ thuộc vào tần số của ánh sáng tới.
- Thời gian để bức xạ chiếu tới và giải phóng một quang điện tử rất nhỏ, nhỏ hơn 10^{-9} s.

Khi bề mặt của một tấm kim loại được chiếu bởi bức xạ điện từ có tần số lớn hơn một tần số ngưỡng (tần số ngưỡng này là giá trị đặc trưng cho vật chất làm nên

tấm kim loại này), các điện tử sẽ hấp thụ năng lượng từ các photon và sinh ra dòng điện (gọi là dòng quang điện).

Khi các điện tử bị bật ra khỏi bề mặt của tấm kim loại, ta có hiệu ứng quang điện ngoài (external photoelectric effect). Các điện tử không thể phát ra nếu tần số của bức xạ nhỏ hơn tần số ngưỡng bởi điện tử không được cung cấp đủ năng lượng cần thiết để vượt ra khỏi rào thế (gọi là công thoát).

Điện tử phát xạ ra dưới tác dụng của bức xạ điện từ được gọi là quang điện tử.

Ở một số chất khác, khi được chiếu sáng với tần số vượt trên tần số ngưỡng, các điện tử không bật ra khỏi bề mặt, mà thoát ra khỏi liên kết với nguyên tử, trở thành điện tử tự do (điện tử dẫn) chuyển động trong lòng của khối vật dẫn, và ta có hiệu ứng quang điện trong (internal photoelectric effect). Hiệu ứng này dẫn đến sự thay đổi về tính chất dẫn điện của vật dẫn, do đó, người ta còn gọi hiệu ứng này là hiệu ứng quang dẫn.

2.3.1 Hiệu ứng quang điện

Trong vật chất, các điện tử trong nguyên tử có xu hướng được giải phóng khỏi nguyên tử để trở thành điện tử tự do. Để giải phóng điện tử khỏi nguyên tử cần phải cung cấp cho nó một năng lượng lớn hơn năng lượng liên kết W_l .

Như vậy, một điện tử được giải phóng nếu nó hấp thụ một photon có $W_\phi \geq W_l$.

Bước sóng lớn nhất của ánh sáng có thể gây nên hiện tượng giải phóng điện tử gọi là bước sóng ngưỡng:

$$\lambda_s = \frac{hc}{W_l} \quad (2.5)$$

$$\text{hay } \lambda_{s(\mu m)} = \frac{1,237}{W_l} \quad (2.6)$$

Hiện tượng giải phóng hạt dẫn dưới tác dụng của ánh sáng gây nên sự thay đổi tính chất điện của vật liệu gọi là hiệu ứng quang điện. Đây là nguyên lý cơ bản của các cảm biến quang.

Loại điện tích được giải phóng do chiếu sáng phụ thuộc vào bản chất của vật liệu được chiếu sáng:

- Khi chiếu sáng vào chất điện môi hoặc bán dẫn tinh khiết, các điện tích được giải phóng là cặp điện tử - lỗ trống.
- Khi chiếu sáng vào chất bán dẫn pha tạp sẽ giải phóng điện tử (chất bán dẫn loại N) hoặc lỗ trống (chất bán dẫn loại P).

Khi chiếu sáng vào vật liệu bằng ánh sáng có bước sóng $\lambda \leq \lambda_s$ thì không phải tất cả các photon chiếu xuống bề mặt đều tham gia giải phóng hạt dẫn, một số bị phản xạ từ bề mặt, một số sẽ chuyển năng lượng của chúng thành nhiệt năng.

Đối với vật liệu có hệ số phản xạ R , bị chiếu sáng bởi ánh sáng đơn sắc có công suất Φ :

- Số photon chiếu tới trong một giây:

$$n_s = \frac{\Phi}{h\nu} = \frac{\lambda\Phi}{hc} \quad (2.7)$$

- Số photon bị hấp thụ trong một giây:

$$n_a = (1 - R)n_s = (1 - R)\frac{\lambda\Phi}{hc} \quad (2.8)$$

- Số hạt dẫn điện được giải phóng trong một giây:

$$G = \eta.n_a = \eta(1 - R)\frac{\lambda\Phi}{hc} \quad (2.9)$$

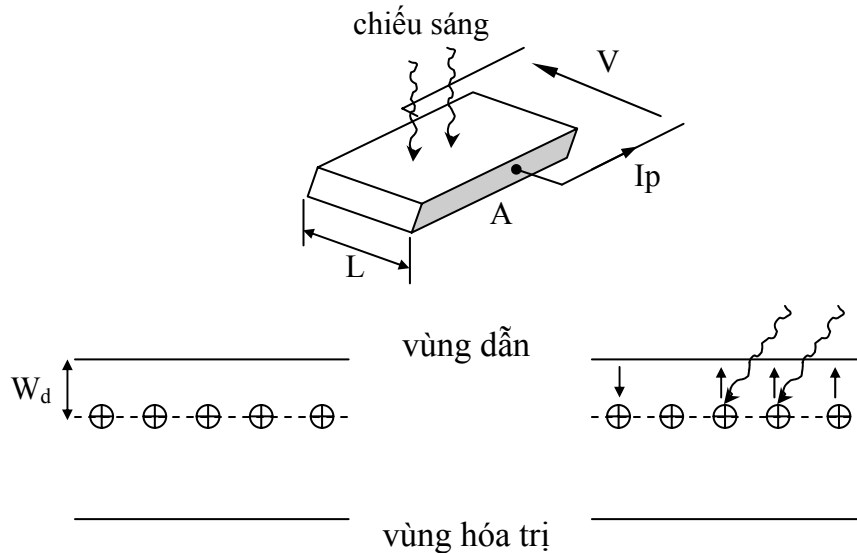
Trong đó:

η - hiệu suất lượng tử: số hạt dẫn được giải phóng khi hấp thụ một photon

2.3.2 Hiện tượng quang dẫn

Hiện tượng quang dẫn là hiện tượng giải phóng hạt dẫn điện bên trong vật liệu dưới tác dụng của ánh sáng (hiệu ứng quang điện nội), làm tăng độ dẫn điện của vật liệu. Đây là cơ sở vật lý của tế bào quang dẫn.

Xét một bản bán dẫn phẳng thể tích $V = A.L$ pha tạp loại n với nồng độ chất pha N_d có mức năng lượng dưới vùng dẫn một khoảng W_d .



Hình 2-8 : Sự chuyển mức năng lượng của điện tử dưới tác dụng của ánh sáng

a. Điều kiện trong tối, nhiệt độ phòng

Giả sử ở nhiệt độ phòng và tối nồng độ nguyên tử chất pha bị ion hóa n_0 là rất nhỏ.

- Số điện tử được giải phóng do nhiệt trong một đơn vị thời gian tỷ lệ thuận với nồng độ nguyên tử chưa bị ion hóa là $a(N_d - n_0)$, trong đó: $a \approx e^{\frac{qW_d}{kT}}$.
- Số điện tử tái hợp với các nguyên tử đã bị ion hóa trong một đơn vị thời gian tỷ lệ thuận với nồng độ các nguyên tử đã bị ion hóa là $r.n_0^2$, trong đó: r – hệ số tái hợp.

Phương trình biểu diễn sự thay đổi của mật độ điện tử tự do có dạng:

$$\frac{dn_0}{dt} = a(N_d - n_0) - rn_0^2 \quad (2.10)$$

Ở trạng thái cân bằng: $\frac{dn_0}{dt} = 0$

$$\Rightarrow n_0 = -\frac{a}{2r} + \sqrt{\frac{a^2}{4r^2} + \frac{aN_d}{r}} \quad (2.11)$$

Độ dẫn trong tối:

$$\sigma_0 = q\mu n_0 \quad (2.12)$$

trong đó:

q – trị tuyệt đối của điện tích, μ - độ linh động của điện tử

Khi nhiệt độ tăng, mật độ n_0 tăng làm ảnh hưởng rất lớn đối với độ dẫn.

b. Khi chiếu sáng

Các photon có năng lượng lớn hơn W_d sẽ ion hóa các nguyên tử chất pha, giải phóng g điện tử trong một đơn vị thời gian trên một đơn vị thể tích.

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{AL} \cdot \frac{\eta(1-R)}{h\nu} \cdot \Phi \quad (2.13)$$

Mật độ điện tử tự do bao gồm số điện tử được giải phóng do chiếu sáng, số điện tử được giải phóng do nhiệt và số điện tử tái hợp được biểu diễn bằng phương trình:

$$\frac{dn}{dt} = a(N_d - n) + g - rn^2 \quad (2.14)$$

Thông thường số điện tử do các photon giải phóng lớn hơn rất nhiều so với số điện tử được giải phóng do nhiệt: $g \gg a(N_d - n)$

Nên ở điều kiện cân bằng khi chiếu sáng, mật độ điện tử:

$$n = \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (2.15)$$

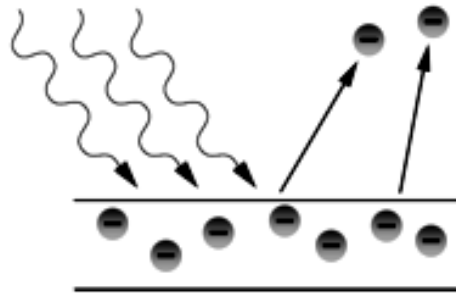
Độ dẫn khi chiếu sáng:

$$\sigma = q\mu n \quad (2.16)$$

ta thấy độ dẫn là một hàm không tuyến tính theo thông lượng ánh sáng.

2.3.3 Hiện tượng quang phát xạ điện tử

Hiệu ứng quang phát xạ điện tử là hiện tượng các điện tử được giải phóng khỏi vật liệu dưới tác dụng của bức xạ ánh sáng.



Hình 2-9 : Hiện tượng quang phát xạ điện tử

Cơ chế phát xạ xảy ra theo ba giai đoạn:

- Hấp thụ photon và giải phóng điện tử bên trong vật liệu
- Điện tử vừa được giải phóng di chuyển đến bề mặt vật liệu
- Điện tử thoát ra khỏi bề mặt vật liệu

Đối với trường hợp bán dẫn riêng, việc giải phóng điện tử đòi hỏi năng lượng photon tới bằng hoặc lớn hơn bề rộng vùng cấm E_g .

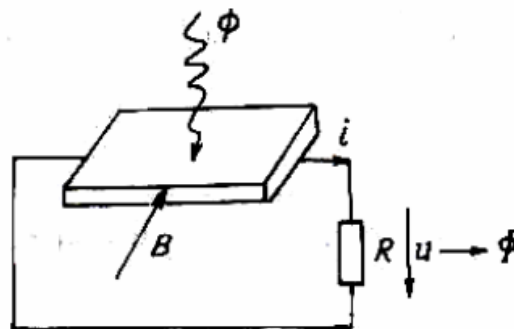
Sự di chuyển của điện tử sau khi được giải phóng mang tính ngẫu nhiên theo mọi hướng, đó chỉ có một lượng rất nhỏ trong tổng số điện tử được giải phóng đến được bề mặt vật liệu. Trong quá trình di chuyển các điện tử này va chạm với các điện tử khác hoặc với các photon tới làm tiêu hao một phần năng lượng của nó.

Sự phát xạ của điện tử sau khi đến được bề mặt chỉ có thể xảy ra nếu nó có đủ năng lượng thắng được năng lượng liên kết bề mặt vật liệu.

Hiệu ứng quang điện được ứng dụng để chế tạo các cảm biến quang (như công tắc tự động đóng ngắt đèn chiếu sáng).

2.4 Hiệu ứng quang điện tử

Khi tác dụng một từ trường vuông góc với bức xạ ánh sáng, trong vật liệu bán dẫn được chiếu sáng sẽ xuất hiện hiệu điện thế vuông góc với phương từ trường và phương bức xạ ánh sáng. Cho phép nhận được dòng điện hoặc điện áp phụ thuộc vào độ chiếu sáng.



Hình 2-10 : Hiệu ứng quang-điện-tử

Ứng dụng trong các bộ cảm biến đo các đại lượng quang hoặc chuyển đổi thông tin dạng ánh sáng thành tín hiệu điện.

2.5 Hiệu ứng Hall

2.5.1 Hiệu ứng Hall

Hiệu ứng Hall là hiệu ứng vật lý được phát hiện bởi Edwin Herbert Hall vào năm 1879.



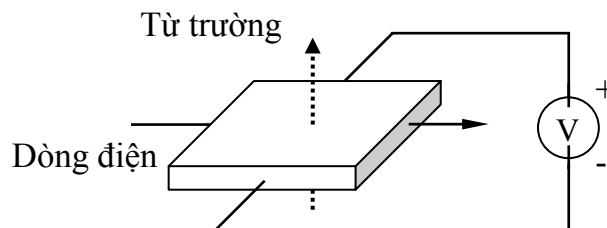
Hình 2-11 : Edwin Herbert Hall (1855 – 1938)

Khi cho tác dụng một từ trường vuông góc lên một bản làm bằng chất bán dẫn hay chất dẫn điện (thanh Hall) đang có dòng điện chạy qua. Lúc đó, xuất hiện hiệu điện thế (hiệu điện thế Hall) tại hai mặt đối diện của thanh Hall.

$$V_H = \frac{IB}{d.en} \quad (2.17)$$

Trong đó:

- I – cường độ dòng điện
- B – cường độ từ trường
- d – độ dày thanh Hall
- e – điện tích hạt dẫn điện trong thanh Hall
- n – mật độ các hạt dẫn điện trong thanh Hall



Hình 2-12 : Hiệu ứng Hall

Trường hợp từ trường có phương hợp với dòng điện góc θ , khi đó hiệu điện thế Hall được xác định:

$$V_H = \frac{IB}{d.en} \sin \theta \quad (2.18)$$

2.5.2 Ứng dụng

- Đo cường độ dòng điện thông qua từ trường do dòng điện này sinh ra. Phương pháp đo này không cần sự tiếp xúc cơ học trực tiếp với mạch điện, không tạo ra điện trở phụ trong mạch điện, không bị ảnh hưởng bởi điện áp nguồn điện, tăng tính an toàn (điện cao áp).
- Xác định vị trí và chuyển động. Hiệu quả của ứng dụng này là không bị ảnh hưởng bởi môi trường: khói, bụi, chất bẩn, độ ẩm... hay cần phải che chắn như các thiết bị quang học, quang điện, cơ điện...



Hình 2-13 : Cảm biến xác định vị trí ứng dụng hiệu ứng Hall

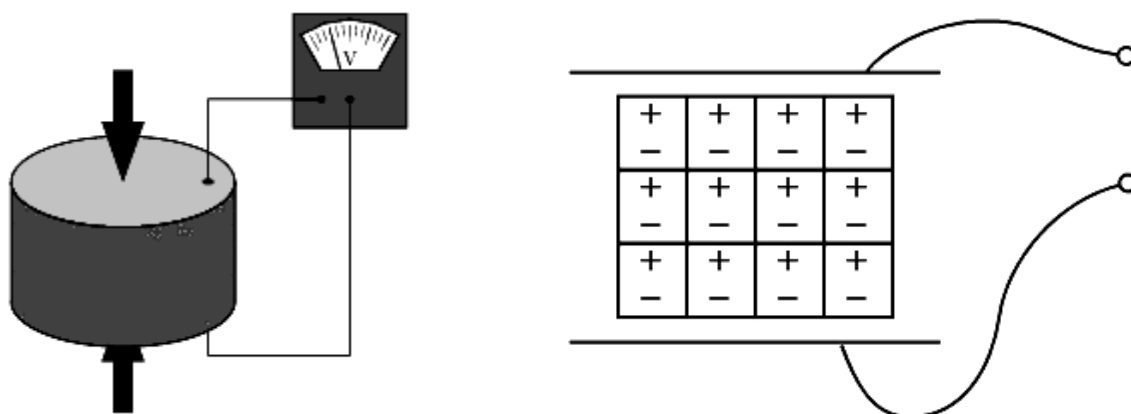
2.6 Hiệu ứng áp điện

Hiện tượng áp được được anh em nhà Curie nghiên cứu vào năm 1880.



Hình 2-14 : Pierre Curie (1859 – 1906)

Hiện tượng xảy ra như sau: người ta tìm được một loại chất có tính chất hóa học gần giống gốm (ceramic) và nó có hai hiệu ứng thuận và nghịch nhưng khi áp vào nó một trường điện thì nó biến đổi hình dạng và ngược lại khi dùng lực cơ học tác động vào nó thì nó tạo ra dòng điện. Nó như một máy biến đổi trực tiếp từ năng lượng điện sang năng lượng cơ học và ngược lại.



Hình 2-15: Hiện tượng áp điện

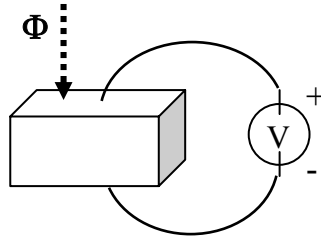
Vật liệu áp điện là chất mà cấu trúc tinh thể không có tâm đối xứng. Các vật liệu áp điện thường dùng: tinh thể thạch anh, gốm BaTiO_3 , gốm PZT $[\text{Pb}(\text{TiZn})\text{O}_3]$, ... Vật liệu áp điện được dùng trong các bộ cảm biến, các thiết bị đo địa chấn, các máy phát tần số chuẩn (máy phát vô tuyến điện), dụng cụ đo huyết áp, phát siêu âm,..

Ứng dụng để đo các đại lượng cơ như áp suất, ứng suất... thông qua việc đo điện áp trên hai cực tụ điện.

2.7 Hiệu ứng hỏa điện

Một số tinh thể hỏa điện có tính chất phân cực điện tự phát phụ thuộc vào nhiệt độ. Trên các mặt đối diện của chúng xuất hiện các điện tích trái dấu có độ lớn tỷ lệ thuận với độ phân cực điện phụ thuộc vào quang thông Φ chiếu vào.

Được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi tinh thể hỏa điện hấp thụ ánh sáng, nhiệt độ của chúng tăng lên làm thay đổi phân cực điện, xuất hiện điện áp trên hai cực của tụ điện.



Hình 1-16: Hiệu ứng hỏa điện

2.8 Hiệu ứng Doppler

2.8.1 Hiệu ứng Doppler

Hiệu ứng Doppler là hiệu ứng vật lý, trong đó tần số và bước sóng của các sóng điện từ hay sóng âm bị thay đổi khi đối tượng quan sát chuyển động tương đối so với nguồn phát.



Hình 2-17 : Christian Andreas Doppler (1803 – 1853)

Trong một môi trường cố định, nguồn sóng và đối tượng quan sát đều chuyển động tương đối so với môi trường. Khi đó, hiệu ứng Doppler là sự tổng hợp của các hiệu ứng gây ra bởi sự chuyển động này.

Tần số Doppler được xác định bởi biểu thức:

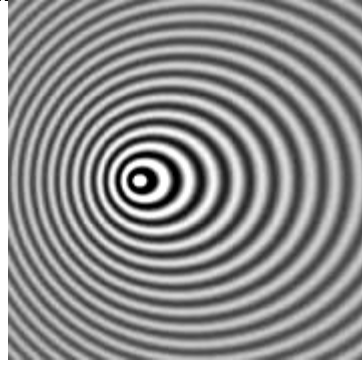
$$F_d = 2V \frac{F_t}{c} \quad (2.19)$$

Trong đó:

F_t – tần số sóng được phát ra

c – tốc độ lan truyền của sóng trong môi trường

v – vận tốc chuyển động của đối tượng



Hình 2-18 : Sóng phát ra từ một nguồn phát đang chuyển động từ phải sang trái

Nếu nguồn phát sóng và hướng chuyển động của đối tượng tạo với nhau một góc θ , khi đó tần số Doppler có dạng:

$$F_d = 2V \frac{F_t}{c} \cos \theta \quad (2.20)$$

Như vậy, khi đối tượng chuyển động ngang qua mặt của nguồn phát, tần số Doppler bằng 0.

2.8.2 Ứng dụng

Kết hợp cơ chế siêu âm và hiệu ứng Doppler, người ta chế tạo súng bắn tốc độ trong giao thông. Súng phát ra một sóng radio có tần số xác định f_0 , sau đó thu lại sóng phản xạ có tần số f_1 từ phương tiện giao thông đang chuyển động với vận tốc v . Từ f_0 và f_1 ta tính ra được vận tốc chuyển động của phương tiện giao thông đó.

Hiệu ứng Doppler còn được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực: y học, thám hiểm đáy biển, đo khoảng cách...



Hình 2-19 : Thiết bị siêu âm y học và súng bắn tốc độ

Câu hỏi ôn tập

1. Hiện tượng các hạt dẫn tự do trong vật liệu được giải phóng dưới tác dụng của ánh sáng là hiện tượng của:

- a. Hiệu ứng quang điện.
- b. Hiệu ứng quang phát xạ điện tử.
- c. Hiệu ứng quang – điện – tử.
- d. Tất cả đều sai.

2. Khi cho dòng điện chạy qua vật liệu bán dẫn đặt trong từ trường B có phương tạo thành góc θ với dòng điện sẽ xuất hiện điện áp V_H :

- a. Vuông góc với B , có độ lớn $V_H = KB\sin\theta$.
- b. Vuông góc với I , có độ lớn $V_H = KI\sin\theta$.
- c. Vuông góc với B và I , có độ lớn $V_H = KIB\sin\theta$.
- d. Vuông góc với B và I , có độ lớn $V_H = KIB\cos\theta$

3. Điều kiện để một điện tử có năng lượng liên kết W_b , giải phóng khỏi nguyên tử khi:

- a. Điện tử đó nhận được một năng lượng nhỏ hơn năng lượng liên kết W_l .
- b. Điện tử đó hấp thụ một photon có năng lượng W_φ nhỏ hơn năng lượng liên kết.
- c. Điện tử đó hấp thụ một photon có bước sóng $\lambda \leq \frac{hc}{W_l}$
- d. Tất cả đều sai.

Chương 3

CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ

3.1 Các đặc trưng của nhiệt độ

Nhiệt độ là tính chất vật lý của vật chất (nóng và lạnh). Vật chất có nhiệt độ cao hơn thì nóng hơn. Nhiệt độ được định nghĩa chính xác dựa vào các định luật nhiệt động lực học.

Thang nhiệt độ:

a. Thang Kelvin

Trong hệ thống đo lường quốc tế, Kelvin là đơn vị đo cơ bản cho nhiệt độ, ký hiệu: K. Thang nhiệt độ này được lấy theo tên nhà vật lý William Thomson, nam tước Kelvin I.

Nhiệt độ 0K trong thang Kelvin gọi là nhiệt độ tuyệt đối, đây là nhiệt độ nhỏ nhất mà vật chất có thể đạt được.

Nhiệt độ của điểm cân bằng nước – nước đá – hơi nước là 273,15K (tương ứng 0°C).

Mỗi độ K trong thang Kelvin bằng một độ trong thang Celcius (1°C).

b. Thang Celsius

Độ Celsius (°C hay độ C) là đơn vị đo nhiệt độ được đặt tên theo nhà thiên văn học người Thụy Điển Anders Celsius (1701–1744), ông đầu tiên đề nghị hệ thống đo nhiệt độ giống nó vào năm 1742. Vào khoảng 1750, độ C được gọi độ bách phân, tuy đã được đổi tên theo ông Celsius vào năm 1948 nhưng tên cũ vẫn còn được sử dụng phổ biến.

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (3.1)$$

c. Thang Fahrenheit

Fahrenheit (°F hay độ F) là một thang nhiệt độ được đặt theo tên nhà vật lý người Đức, Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736).

Thang nhiệt độ này xác định theo hai điểm nhiệt độ chuẩn là nhiệt độ đóng băng và nhiệt độ sôi của nước, tức là 32°F (0°C) và 212°F (100°C)

Thang nhiệt độ Fahrenheit đã được sử dụng khá lâu ở Châu Âu, cho tới khi bị thay thế bởi thang nhiệt độ Celsius. Thang nhiệt độ Fahrenheit ngày nay vẫn được sử dụng rộng rãi ở Mỹ và một số quốc gia nói tiếng Anh khác.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \{T(^{\circ}\text{F}) - 32\} \cdot \frac{5}{9} \quad (3.2)$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (3.3)$$

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

Bảng 3-1: Bảng giá trị một số nhiệt độ quang trọng ở các thang đo

3.2 Phương pháp đo nhiệt độ

Có nhiều phương pháp đo nhiệt độ:

- Phương pháp quang học: dựa trên sự phân bố phổ bức xạ nhiệt do dao động nhiệt.
- Phương pháp cơ học: dựa trên sự giãn nở của vật rắn, lỏng, khí, dựa trên vận tốc sóng âm.
- Phương pháp điện: dựa trên sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ, hoặc dựa trên sự thay đổi tần số dao động của thạch anh.

Nhiệt độ đo được chính là bằng nhiệt độ của cảm biến, ký hiệu T_c , phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường T_x (nhiệt độ cần đo) và sự trao đổi nhiệt trong đó. Có hai biện pháp để giảm sự khác biệt giữa T_x và T_c :

- Tăng sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường đo.
- Giảm sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường bên ngoài.

Để đo nhiệt độ của một vật rắn bằng cảm biến nhiệt độ, từ bề mặt của vật người ta khoan một lỗ nhỏ với đường kính d và độ sâu L . Lỗ này dùng để đưa cảm biến vào sâu trong vật rắn. Để tăng độ chính xác của kết quả, phải đảm bảo hai điều kiện:

- Chiều sâu lỗ khoan phải bằng hoặc lớn hơn gấp mười lần đường kính ($L \geq 10r$).
- Giảm trở kháng nhiệt giữa vật rắn và cảm biến bằng cách giảm khoảng cách giữa vỏ cảm biến và thành lỗ khoan. Khoảng trống giữa vỏ cảm biến và thành lỗ khoan phải được lấp đầy bằng một vật liệu dẫn nhiệt tốt.

3.3 Cảm biến nhiệt điện trở

3.3.1 Hệ số nhiệt độ của điện trở

Giá trị điện trở là một hàm phụ thuộc vào nhiệt độ

$$R(T) = R_0 F(T - T_0) \quad (3.4)$$

Trong đó:

R_0 – điện trở ở nhiệt độ T_0

F – hàm đặc trưng cho vật liệu ($F = 1$ khi $T = T_0$)

Khi biến thiên nhiệt độ ΔT quanh giá trị T nhỏ, điện trở có thể xem như thay đổi theo hàm tuyến tính:

$$R(T + \Delta T) = R(T) \cdot (1 + \alpha_R \Delta T) \quad (3.5)$$

Khi đó:
$$\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT} \quad (3.6)$$

α_R – hệ số nhiệt độ của điện trở hay độ nhạy nhiệt ở nhiệt độ T .

Hệ số nhiệt độ α_R phụ thuộc vào vật liệu và nhiệt độ.

Thí dụ, ở 0°C , platin có hệ số $\alpha_R = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Sự thay đổi điện trở theo nhiệt độ phụ thuộc đồng thời vào điện trở ρ và kích thước hình học của điện trở. Đối với một dây điện trở chiều dài l , tiết diện s , hệ số nhiệt độ được tính bằng biểu thức:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} + \frac{1}{l} \frac{dl}{dT} - \frac{1}{s} \frac{ds}{dT} \quad (3.7)$$

Trong đó:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = \alpha_\rho - \text{hệ số nhiệt độ của điện trở suất}$$

$$\frac{1}{l} \frac{dl}{dT} = \alpha_l - \text{hệ số co giãn của vật liệu}$$

$$\frac{1}{s} \frac{ds}{dT} = 2\alpha_l$$

Do đó:
$$\alpha_R = \alpha_\rho - \alpha_l$$

Thực tế, các nhiệt điện trở có các hệ số $\alpha_\rho \sim 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ và $\alpha_l \sim 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, nên $\alpha_R \approx \alpha_\rho$.

3.3.2 Điện trở kim loại

Dựa vào dải nhiệt độ cần đo và các tính chất đặc biệt người ta thường dùng Platin (Pt), Niken (Ni), Đồng (Cu), hoặc Wonfram (W) làm điện trở.

- Platin được chế tạo với độ tinh khiết cao (99,99%) cho phép tăng độ chính xác của các tính chất điện. Platin trơ về hóa học và cấu trúc tinh thể ổn định bảo đảm sự ổn định các đặc tính điện của điện trở. Các điện trở làm bằng platin hoạt động tốt trong dải nhiệt độ khá rộng từ -200°C đến 1000°C . Giá trị điện trở ở 100°C gấp 1,385 lần ở 0°C .
- Niken có độ nhạy nhiệt cao hơn nhiều so với platin. Niken dễ bị oxy hóa khi nhiệt độ làm việc tăng, làm giảm tính ổn định và hạn chế dải nhiệt độ làm việc của điện trở. Thông thường các điện trở làm bằng niken làm việc ở nhiệt độ thấp hơn 250°C . Giá trị điện trở ở 100°C gấp 1,617 lần ở 0°C .
- Đồng có sự thay đổi điện trở nhiệt có độ tuyến tính cao. Tuy nhiên, hoạt tính hóa học của đồng quá lớn nên các điện trở chỉ được sử dụng ở nhiệt độ thấp hơn 180°C . Bên cạnh đó, điện trở suất của đồng nhỏ nên muốn có giá trị điện trở cao phải tăng chiều dài, làm tăng kích thước của điện trở.

Giáo trình Cảm biến

- Wonfram có độ nhạy nhiệt cao hơn platin, có thể sử dụng ở nhiệt độ cao và độ tuyến tính tốt hơn. Có thể kéo thành các sợi rất mảnh để chế tạo các điện trở có trị số cao, hoặc giảm kích thước của điện trở. Tuy nhiên các điện trở wonfram có độ ổn định thấp hơn so với các điện trở platin.

	Cu	Ni	Pt	W
Nhiệt độ nóng chảy	1083	1453	1769	3380
Nhiệt lượng riêng	400	450	135	125
Độ dẫn nhiệt	400	90	73	120
Hệ số giãn nở	$16,7 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
Điện trở suất	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$5,25 \cdot 10^{-8}$
Hệ số nhiệt độ của điện trở suất	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$

Bảng 3-2: Bảng liệt kê đặc tính các vật liệu chế tạo điện trở ở nhiệt độ 20 °C

Sự thay đổi nhiệt độ của điện trở làm xuất hiện $\Delta R = R\alpha\Delta T$ sẽ tạo ra điện áp đo $V_m = \Delta R \cdot i$, trong đó i là dòng điện chạy qua điện trở (thường có giá trị vài mA để không làm nóng đầu đo).

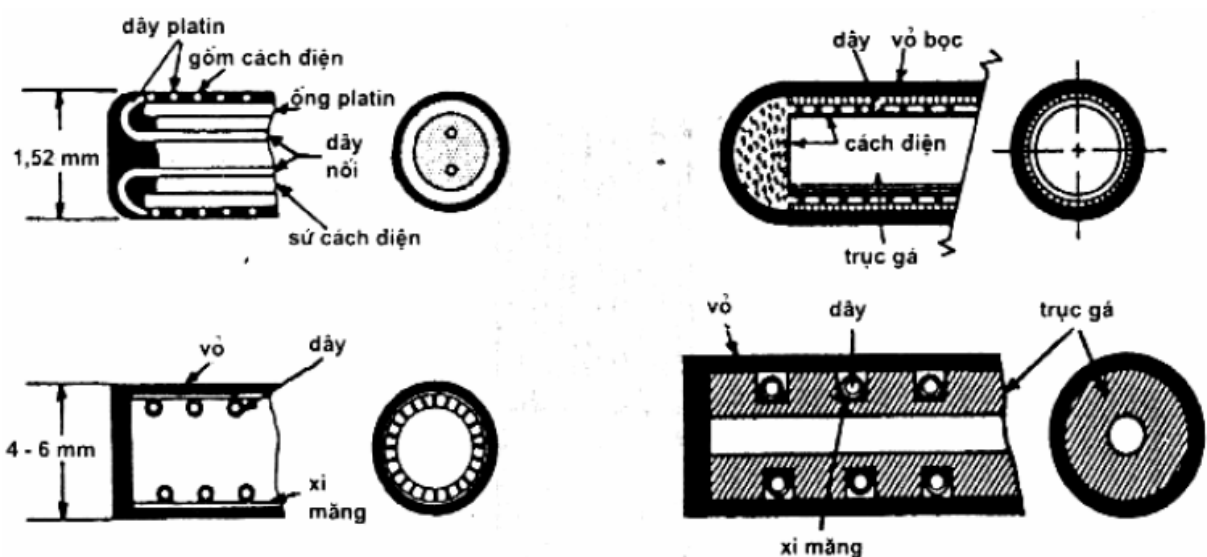
Mặt khác, để có độ nhạy cao cần sử dụng điện trở có giá trị tương đối lớn. Muốn vậy cần phải:

- Giảm tiết diện dây, bị hạn chế vì tiết diện càng nhỏ dây càng dễ bị đứt.
- Tăng chiều dài dây, cũng bị giới hạn vì làm tăng kích thước của điện trở.

Nếu dùng Platin có đường kính cỡ vài chục μm , chiều dài khoảng 10cm, giá trị điện trở $R \sim 100\Omega$ ở 0°C, sau khi cuộn lại có được chiều dài nhiệt kế cỡ 1cm.

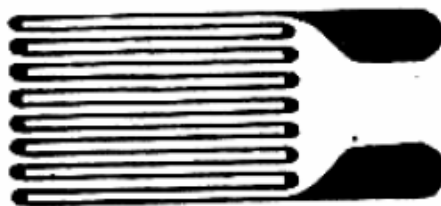
Trên thực tế các sản phẩm thương mại có điện trở ở 0°C là 50 Ω , 500 Ω và 1000 Ω . Các điện trở lớn thường được sử dụng đo ở dải nhiệt độ thấp cho phép có độ nhạy tương đối tốt.

Đối với môi trường công nghiệp, các nhiệt kế có vỏ bọc tốt chống được va chạm mạnh và rung động. Điện trở được bao bọc trong thủy tinh hoặc gốm đặt trong vỏ thép. Vật liệu vỏ bọc phải có độ cách điện tốt để tránh hiện tượng điện phân làm hỏng kim loại. Mỗi loại vỏ bọc chỉ được dùng trong một khoảng nhiệt độ nhất định để tránh ứng suất giãn nở (thủy tinh – dưới 500°C và gốm – dưới 1000°C).



Hình 3-1 : Nhiệt kế công nghiệp dùng điện trở Pt

Đề đo nhiệt độ trên bề mặt của vật rắn, điện trở thường được chế tạo bằng phương pháp quang khắc và sử dụng các vật liệu là Ni, Fe-Ni hoặc Pt. Chiều dày lớp kim loại cỡ vài μm , kích thước khoảng 1cm^2 . Khi sử dụng, nhiệt kế được dán trên bề mặt cần đo nhiệt độ.



Hình 3-2 : Nhiệt kế bề mặt

3.3.3 Nhiệt điện trở

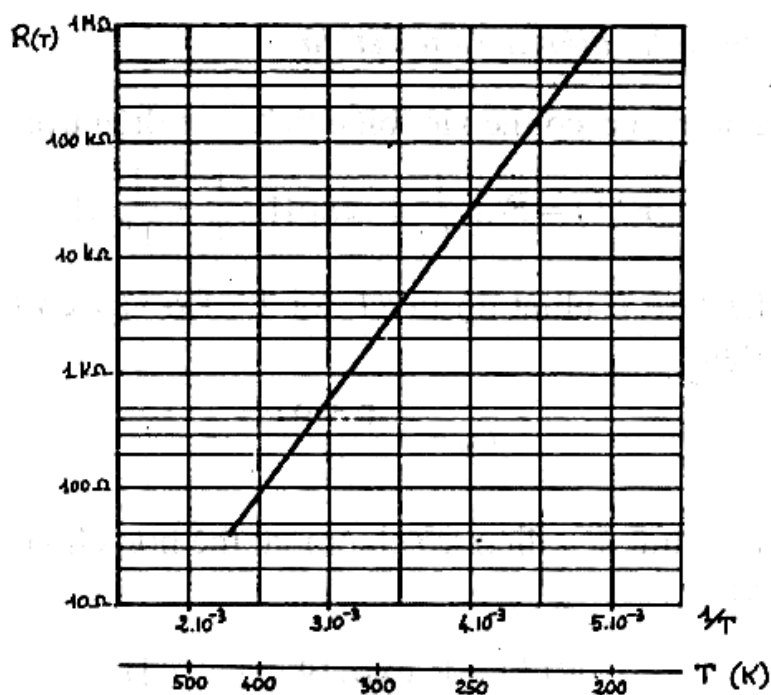
Nhiệt điện trở có độ nhạy nhiệt rất cao, lớn hơn khoảng 10 lần so với điện trở kim loại. Ngoài ra hệ số nhiệt có giá trị âm và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ.

Độ nhạy nhiệt cao của nhiệt điện trở cho phép ứng dụng để phát hiện những biến thiên nhiệt độ rất nhỏ ($10^{-4} \div 10^{-3}\text{K}$)

Nhiệt điện trở được làm từ hỗn hợp các oxit bán dẫn đa tinh thể: MgO , MgAl_2O_4 , Mn_2O_3 , Fe_3O_4 , Co_2O_3 , NiO , ZnTiO_4 .

Các bột oxit được trộn với nhau theo một tỷ lệ thích hợp, sau đó được nén định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ 1000°C . Nhiệt điện trở được chế tạo với nhiều hình dạng khác nhau (đĩa, vòng, hình trụ...), các phần tử nhạy nhiệt có thể được bọc kín hoặc để trần.

Vật liệu thường sử dụng có điện trở suất cao cho phép chế tạo điện trở có giá trị thích hợp với lượng vật liệu và kích thước tối thiểu. Kích thước nhỏ cho phép đo nhiệt độ tại từng điểm và tốc độ đáp ứng cao do nhiệt dung nhỏ.

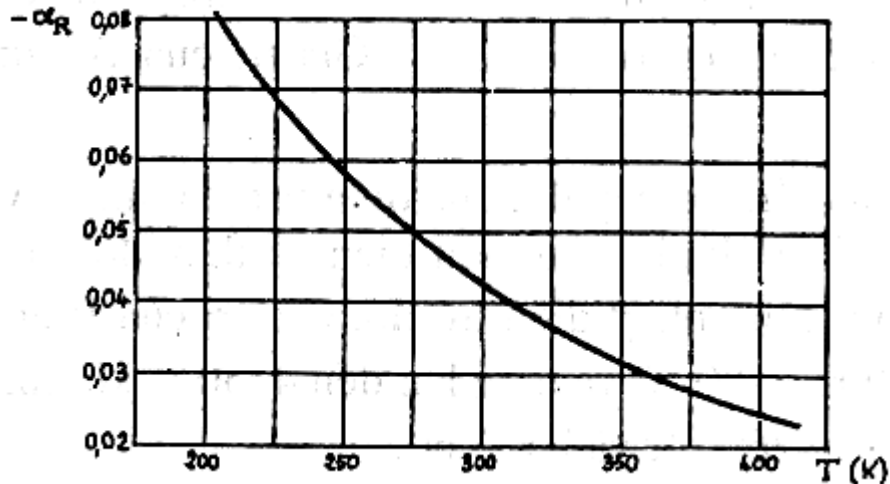


Hình 3-3: Điện trở của nhiệt điện trở

Độ ổn định phụ thuộc vào việc chế tạo nhiệt điện trở và điều kiện sử dụng. Để tăng tính ổn định và bảo vệ nhiệt điện trở không bị phá hủy hóa học người ta thường dùng vỏ bọc. Cần tránh sự thay đổi nhiệt độ đột ngột có thể làm rạn nứt vật liệu.

Dải nhiệt độ làm việc từ vài độ tuyệt đối đến khoảng 300°C tùy thuộc vào loại nhiệt điện trở. Ta có thể mở rộng dải nhiệt độ này nhưng trị số điện trở sẽ tăng đáng kể khi làm việc ở nhiệt độ cao, cần phải chọn các vật liệu đặc biệt (cacbua silic) và có biện pháp đặc biệt để chống phá hủy hóa học.

Để đo nhiệt độ thấp, người ta sử dụng các nhiệt điện trở có trị số nhỏ ở 25°C (từ 50Ω đến 100Ω). Để đo nhiệt độ cao cần sử dụng những nhiệt điện trở có trị số lớn ở 25°C (100Ω đến 500Ω).



Hình 3-4: Độ nhạy nhiệt của nhiệt điện trở

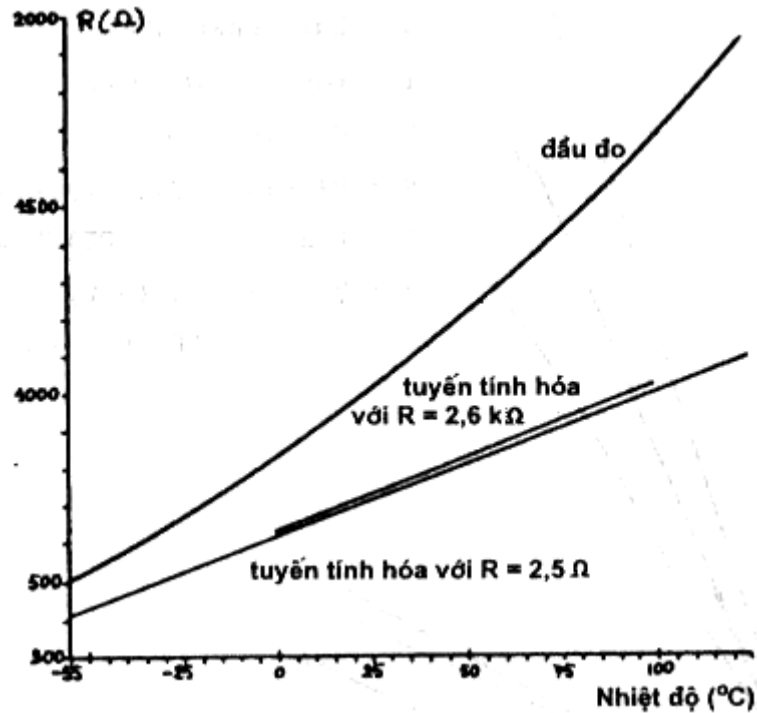
3.3.4 Điện trở silic

Đây là điện trở bán dẫn có những đặc điểm sau:

- Hệ số nhiệt của điện trở suất có giá trị dương (0,7%/°C ở 25°C). Độ thay đổi nhiệt tương đối nhỏ có thể tuyến tính hóa đặc tuyến của cảm biến trong dải nhiệt độ làm việc bằng cách mắc thêm điện trở phụ.
- Dải nhiệt độ làm việc bị hạn chế từ -50°C đến 120°C.

Điện trở silic được chế tạo bằng công nghệ khuếch tán tạp chất vào đơn tinh thể silic. Độ thay đổi nhiệt của điện trở suất phụ thuộc vào nồng độ pha tạp và nhiệt độ.

- Khi nhiệt độ nhỏ hơn 120°C, điện trở suất tăng khi nhiệt độ tăng. Bởi vì nồng độ các hạt dẫn điện tạo ra do pha tạp lớn hơn rất nhiều so với nồng độ các hạt dẫn điện được tạo ra bởi sự ion hóa do nhiệt. Hệ số nhiệt của điện trở càng nhỏ khi pha tạp càng mạnh.
- Khi nhiệt độ lớn hơn 120°C, điện trở suất giảm khi nhiệt độ tăng. Vì quá trình ion hóa do nhiệt chiếm ưu thế làm nồng độ các hạt dẫn điện tăng lên lớn hơn nhiều so với nồng độ pha tạp. Hệ số nhiệt của điện trở suất không phụ thuộc vào pha tạp (trường hợp bán dẫn riêng).



Hình 3-5: Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở silic



Hình 3-6 : Ứng dụng nhiệt điện trở để chế tạo nhiệt kế điện tử

3.4 Cặp nhiệt điện

3.4.1 Đặc trưng

Cặp nhiệt được chế tạo dựa trên nguyên lý của các hiệu ứng nhiệt điện. Cấu tạo gồm hai dây dẫn A và B có bản chất khác nhau, được nối với nhau bằng hai mối hàn có nhiệt độ T_1 và T_2 . Suất điện động E phụ thuộc vào bản chất vật liệu làm các dây dẫn A, B và nhiệt độ T_1, T_2 .

Thông thường nhiệt độ của một mối hàn được giữ ổn định ở giá trị biết trước, gọi là nhiệt độ chuẩn ($T_1 = T_{ref}$). Khi đặt mối hàn thứ hai trong môi trường đo nó sẽ đạt tới nhiệt độ $T_2 = T_c$ chưa biết. Nhiệt độ T_c là hàm của nhiệt độ T_x và các quá trình trao đổi nhiệt.

Kích thước cặp nhiệt nhỏ nên có thể đo nhiệt độ ở từng điểm và tăng tốc độ đáp ứng do nhiệt dung nhỏ. Suất điện động do cặp nhiệt tạo ra trong khi đo không cần có dòng điện chạy qua do đó không có hiệu ứng đốt nóng.

Giáo trình Cảm biến

Tuy nhiên, cần phải biết trước nhiệt độ chuẩn T_{ref} , vì vậy sai số T_{ref} cũng chính là sai số T_c .

Suất điện động của cặp nhiệt là hàm không tuyến tính của T_c . Mỗi loại cặp nhiệt có một bảng chuẩn ghi giá trị của suất điện động phụ thuộc vào nhiệt độ và biểu thức mô tả sự phụ thuộc đó.

Thí dụ, đối với cặp nhiệt platin – 30% rodi/platin – 6% rodi, trong khoảng nhiệt độ từ 0°C đến 1820°C theo chuẩn NF C 42-321 biểu thức mô tả sự phụ thuộc có dạng:

$$E = \sum_{i=0}^{i=8} a_i T^i \quad (3.8)$$

trong đó, E (μV) và T ($^\circ\text{C}$)

Giá trị cụ thể của các hệ số a_i , như sau:

$$\begin{aligned} a_0 &= 0 \\ a_1 &= -2,4674601620 \cdot 10^{-1} \\ a_2 &= 5,9102111169 \cdot 10^{-3} \\ a_3 &= -1,4307123430 \cdot 10^{-6} \\ a_4 &= 2,1509149750 \cdot 10^{-9} \\ a_5 &= -3,1757800720 \cdot 10^{-12} \\ a_6 &= 2,4010367459 \cdot 10^{-15} \\ a_7 &= -9,0928148159 \cdot 10^{-19} \\ a_8 &= 1,3299505137 \cdot 10^{-22} \end{aligned}$$

Một số cặp nhiệt có dải nhiệt độ làm việc được chia ra những vùng nhỏ. Trong mỗi vùng, mỗi quan hệ giữa suất điện động và nhiệt độ được mô tả bằng biểu thức đặc trưng riêng.

Cặp nhiệt có dải nhiệt độ làm việc rộng hơn nhiều so với nhiệt kế điện trở. Mỗi loại cặp nhiệt có một giới hạn của dải nhiệt độ làm việc. Thí dụ, từ -270°C đối với cặp nhiệt đồng/vàng-coban đến 2700°C đối với cặp nhiệt wofram-reni 5%/wonfram-reni 26%.

Độ nhạy nhiệt của cặp nhiệt điện là hàm của nhiệt độ, được xác định bằng biểu thức:

$$s(T_c) = \frac{dE_{A/B}}{dT_c} \quad (\mu\text{V}/^\circ\text{C}) \quad (3.9)$$

Thí dụ:

- Cặp nhiệt Fe/constantan: $s(0^\circ\text{C}) = 52,9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$; $s(700^\circ\text{C}) = 63,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Cặp nhiệt Pt – Rh 10%/Pt: $s(0^\circ\text{C}) = 6,4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$; $s(1400^\circ\text{C}) = 11,93 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

3.4.2 Phương pháp chế tạo và sơ đồ đo

a. Chế tạo

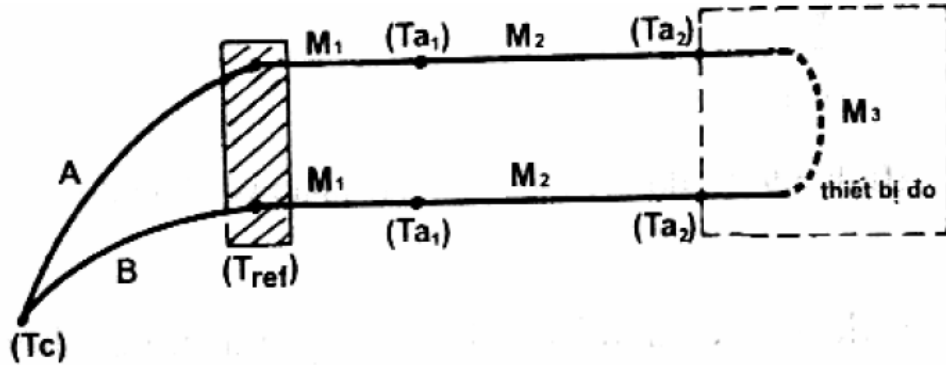
Trong quá trình chế tạo cặp nhiệt cần phải tránh tạo ra những cặp nhiệt ký sinh do gập khúc dây, nhiễm bẩn hóa học, bức xạ hạt nhân. Mỗi hàn cũng phải nhỏ, bởi vì nếu vùng hàn có kích thước lớn sẽ tạo ra suất điện động ký sinh do chênh lệch nhiệt độ giữa các điểm khác nhau trên mỗi hàn.

Để tránh tiếp xúc với bên ngoài, mỗi hàn và dây được đặt trong sứ cách điện trở về hóa học và có điện trở lớn. Để bảo vệ cấu trúc cặp nhiệt – sứ cách điện, người ta

Giáo trình Cảm biến

trang bị thêm lớp vỏ bọc bên ngoài làm bằng sứ hoặc thép. Vỏ bọc này kín không để không khí lọt vào và chống được sự thay đổi nhiệt đột ngột. Nếu vỏ bọc làm bằng thép thì mối hàn có thể tiếp xúc với vỏ thép để giảm thời gian đáp ứng.

b. Sơ đồ đo



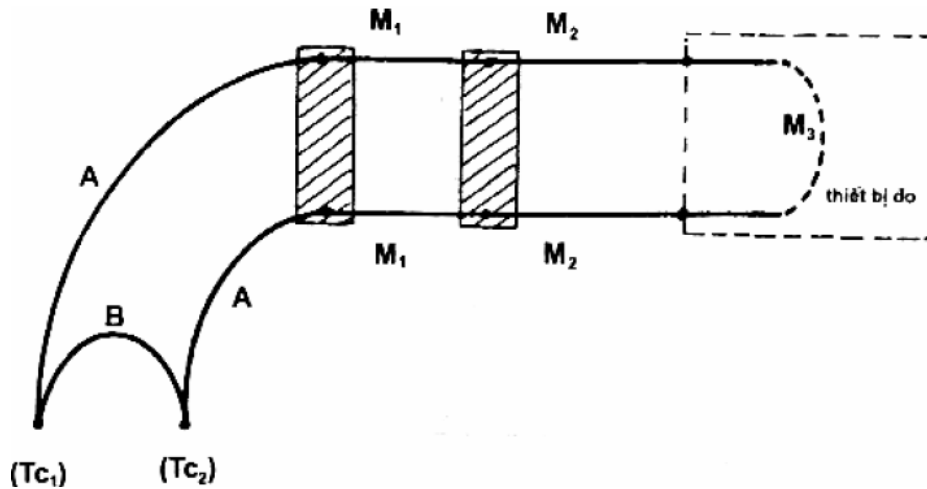
Hình 3-7 : Sơ đồ lắp ráp cặp nhiệt với thiết bị đo

Lắp ráp từng đôi cùng nhiệt độ: các mối hàn của cặp nhiệt A/M₁ và B/M₁; các mối hàn của dây dẫn trung gian M₁/M₂ và M₂/M₃.

Khi đó trong mạch chỉ có suất điện động Seebeck của cặp nhiệt:

$$e = P_{A/B}^{T_c} - P_{A/B}^{T_{ref}} + \int_{T_c}^{T_{ref}} (h_B - h_A) dT = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \quad (3.10)$$

Sơ đồ vi sai: đo nhiệt độ giữa hai điểm ở hai mối hàn A/B của cặp nhiệt. Các mối hàn giống nhau đặt ở cùng nhiệt độ A/M₁, M₁/M₂, M₂/M₃.



Hình 3-8 : Sơ đồ vi sai

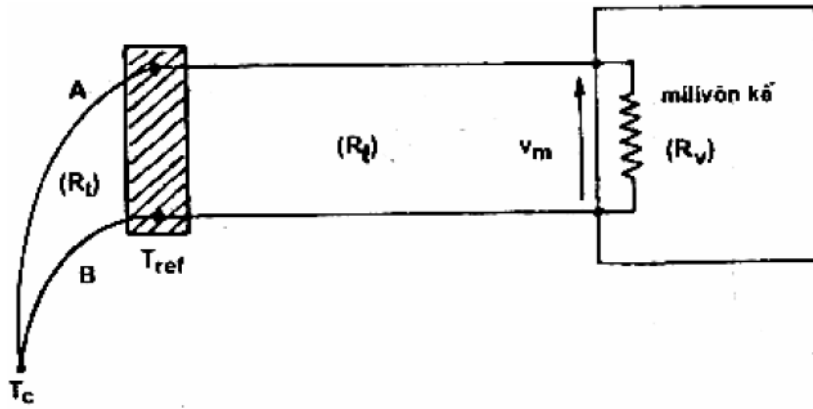
Nếu khoảng nhiệt độ từ Tc₁ đến Tc₂ nhỏ, ta có:

$$E_{A/B}^{T_{c1} T_{c2}} = s(T_{c1} - T_{c2}) \quad (3.11)$$

c. Phương pháp đo

Để xác định chính xác suất điện động cặp nhiệt ta phải giảm sự sụt áp trong các phần tử cặp nhiệt và dây dẫn do có dòng điện chạy qua, thông thường rất khó xác định điện trở của các phần tử này vì điện trở là hàm của nhiệt độ môi trường và nhiệt độ cần đo.

☞ Sử dụng milivon kế có điện trở nội rất lớn để giảm sụt áp trên dây dẫn.



R_t : điện trở cặp nhiệt
 R_l : điện trở dây nối
 R_v : điện trở milivon kế

Hình 3-9 : Đo suất điện động bằng milivonkế

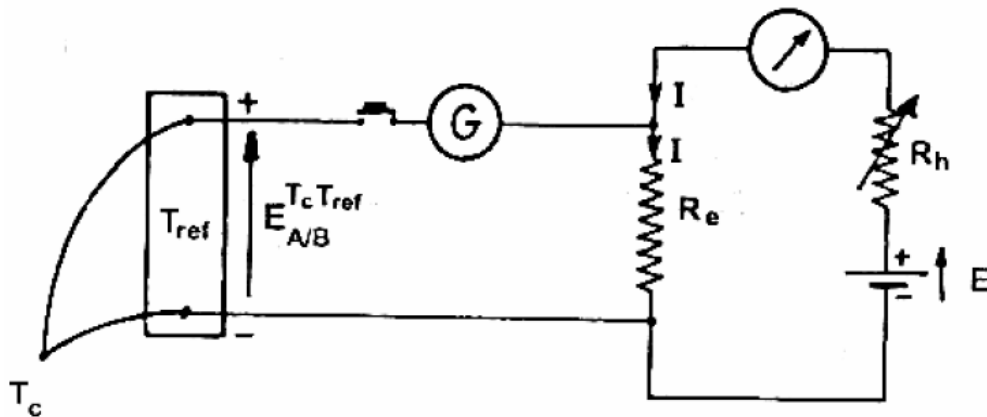
Điện áp giữa hai đầu milivon kế:

$$V_m = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v} \quad (3.12)$$

Do không thể xác định được điện trở của cặp nhiệt và dây nối, để giảm sai số ta chọn sao cho: $R_v \gg R_t + R_l$

Khi đó: $E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = V_m$

☞ Dùng phương pháp xung đối để dòng điện qua cặp nhiệt bằng không.



Hình 3-10 : Đo suất điện động bằng phương pháp xung đối

Điều chỉnh dòng điện qua R_e (bằng R_h) sao cho kim điện kế G chỉ số 0 (không có dòng điện qua cặp nhiệt).

Ta có:

$$E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = R_e I \quad (3.13)$$

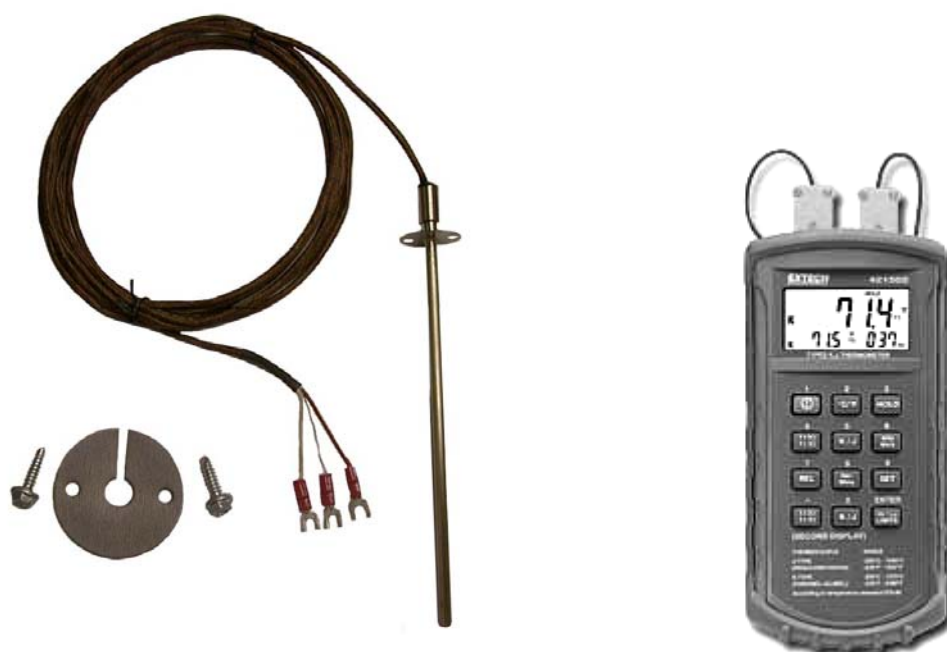
3.4.3 Các cặp nhiệt điện thường dùng trong thực tế

Dải nhiệt độ làm việc đối với một cặp nhiệt điện thường bị hạn chế. Ở nhiệt độ thấp năng suất nhiệt điện của nó giảm đi. Ở nhiệt độ cao cặp nhiệt có thể bị nhiễm bẩn do môi trường đo hoặc xảy ra hiện tượng bay hơi một trong các chất thành phần của hợp kim làm cặp nhiệt, hoặc bị tăng kích thước hạt tinh thể dẫn đến làm tăng độ dòn cơ học, thậm chí có thể bị nóng chảy.

Giáo trình Cảm biến

Cặp nhiệt điện	Nhiệt độ làm việc (°C)	E (mV)	Độ chính xác
Đồng/Constantan $\Phi = 1,63\text{mm}$	$-270 \div 370$	$-6,258 \div 19,027$	$(-100^{\circ}\text{C} \div -40^{\circ}\text{C}): \pm 2\%$ $(-40^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}): \pm 0,8\%$ $(100^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}): \pm 0,75\%$
Sắt/Constantan $\Phi = 3,25\text{mm}$	$-210 \div 800$	$-8,096 \div 45,498$	$(0^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}): \pm 3\%$ $(400^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}): \pm 0,75\%$
Chromel/Alumel $\Phi = 3,25\text{mm}$	$-270 \div 1250$	$-5,354 \div 50,633$	$(0^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}): \pm 3\%$ $(400^{\circ}\text{C} \div 1250^{\circ}\text{C}): \pm 0,75\%$
Chromel/Constantan $\Phi = 3,25\text{mm}$	$-270 \div 870$	$-9,853 \div 66,473$	$(0^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}): \pm 3\%$ $(400^{\circ}\text{C} \div 1250^{\circ}\text{C}): \pm 0,75\%$
Platin-Rodi(10%)/Platin $\Phi = 0,51\text{mm}$	$-50 \div 1500$	$-0,236 \div 15,576$	$(0^{\circ}\text{C} \div 600^{\circ}\text{C}): \pm 2,5\%$ $(600^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}): \pm 0,4\%$
Platin-Rodi(13%)/Platin $\Phi = 0,51\text{mm}$	$-50 \div 1500$	$-0,226 \div 17,445$	$(0^{\circ}\text{C} \div 538^{\circ}\text{C}): \pm 1,4\%$ $(538^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}): \pm 0,25\%$
Platin-Rodi(30%)/Platin-Rodi(6%) $\Phi = 0,51\text{mm}$	$0 \div 1700$	$0 \div 12,426$	$(870^{\circ}\text{C} \div 1750^{\circ}\text{C}): \pm 0,5\%$
Wonfram-Reni(5%)/ Wonfram-Reni(26%)	$0 \div 2700$	$0 \div 38,45$	

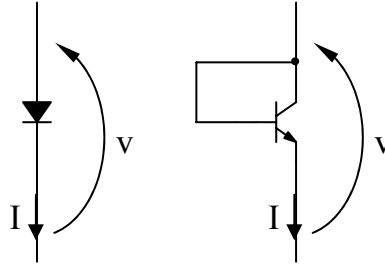
Bảng 3-3: Một số loại cặp nhiệt điện thường gặp trong thực tế



Hình 3-11 : Một dạng cặp nhiệt điện và thiết bị đo nhiệt độ

3.5 Đo nhiệt độ bằng diode và transistor

Có thể sử dụng các linh kiện bán dẫn là diode hay transistor mắc theo kiểu diode (nối B với C) phân cực thuận với dòng I không đổi để đo nhiệt độ. Khi đó, điện áp giữa hai cực là hàm của nhiệt độ.



Hình 3-12 : Sử dụng diode, transistor làm cảm biến nhiệt độ

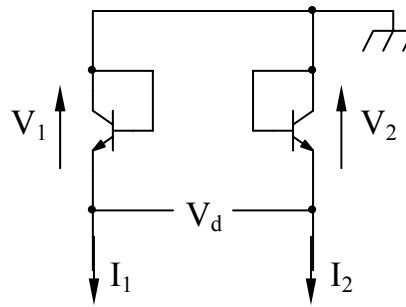
Độ nhạy nhiệt:

$$S = \frac{dV}{dT} \quad (3.14)$$

Độ nhạy nhiệt có giá trị khoảng $-2,5\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Độ nhạy nhiệt phụ thuộc vào dòng ngược I_0 , dòng điện này thay đổi rất khác đối với linh kiện khác nhau, vì vậy nên chọn các linh kiện có đặc trưng tương tự nhau.

Để loại trừ ảnh hưởng của dòng ngược I_0 và tăng độ tuyến tính, người ta thường dùng một cặp transistor mắc đối nhau.



Hình 3-13 : Cặp transistor mắc theo kiểu diode đối

Giả sử dòng I_0 của hai transistor là như nhau, dòng điện chạy qua các transistor và điện áp B-E tương ứng là I_1, I_2 và V_1, V_2 .

Khi đó:

$$I_1 = I_0 \exp \frac{qV_1}{KT} \Rightarrow V_1 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_2 = I_0 \exp \frac{qV_2}{KT} \Rightarrow V_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_2}{I_0}$$

$$V_d = V_1 - V_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{KT}{q} \ln n \quad \text{với } n = \frac{I_1}{I_2}$$

Ta có độ nhạy nhiệt:

$$S = \frac{dV_d}{dT} = \frac{K}{q} \ln n = 8,56 \cdot \ln n \text{ (}\mu\text{V.K}^{-1}\text{)} \quad (3.15)$$

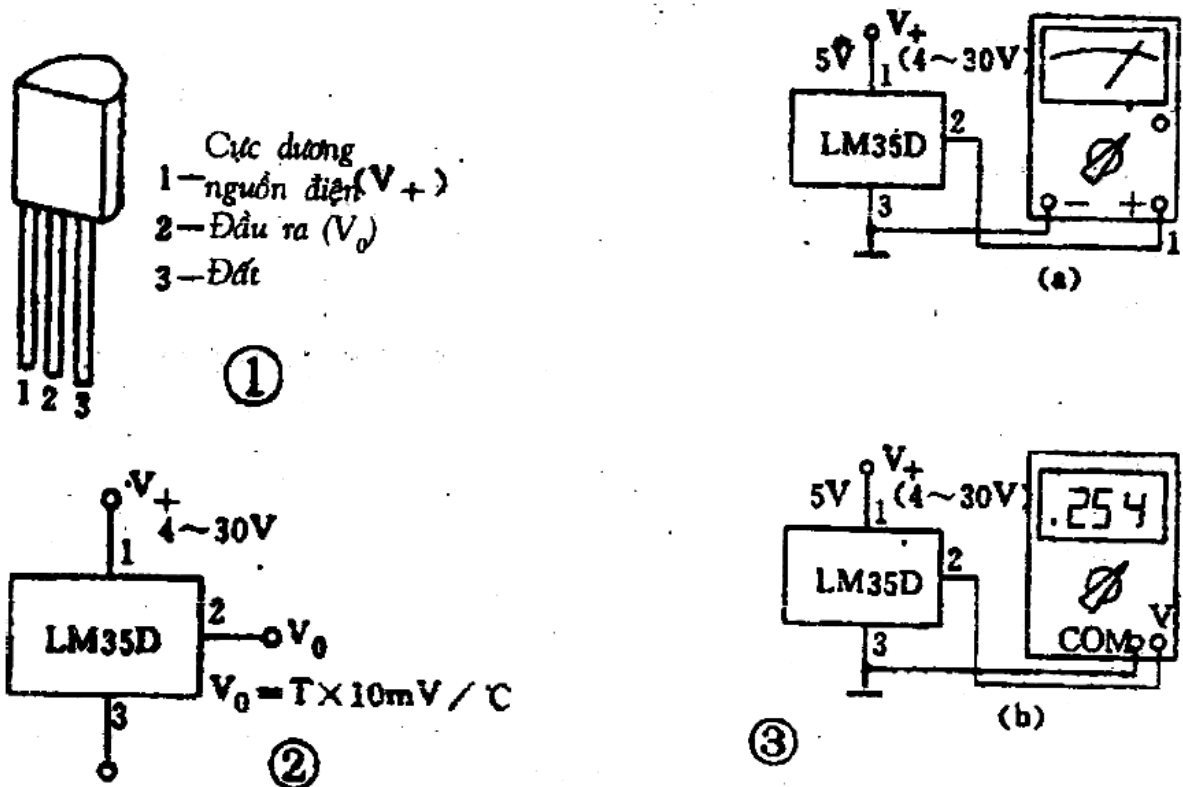
Độ nhạy nhiệt này nhỏ hơn so với trường hợp chỉ sử dụng một diode hoặc một transistor, nhưng không phụ thuộc vào nhiệt độ T do đó độ tuyến tính được cải thiện đáng kể.

Đặc điểm:

- Độ nhạy nhiệt lớn hơn nhiều so với cặp nhiệt nhưng nhỏ hơn so với nhiệt điện trở. Đặc biệt là không cần nhiệt độ chuẩn.
- Dải nhiệt độ làm việc bị hạn chế do sự thay đổi tính chất điện của cảm biến ở các nhiệt độ giới hạn. Cảm biến có độ ổn định cao trong khoảng từ -50°C đến 150°C .

3.6 Cảm biến nhiệt LM35D

3.6.1 Đặc điểm



Hình 3-14 : Sơ đồ chân LM35D và sử dụng

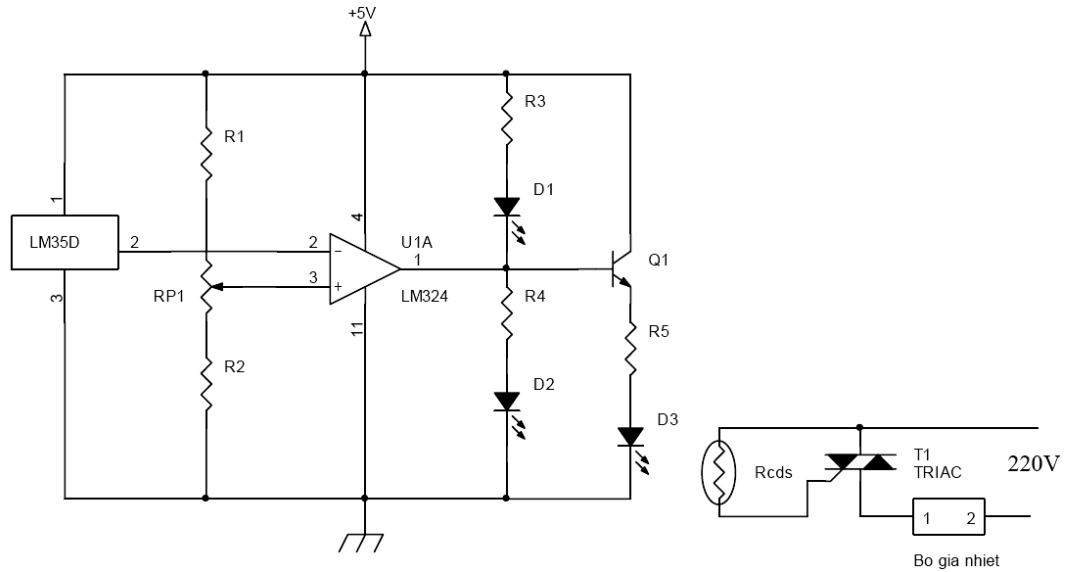
LM35D là loại cảm biến nhiệt độ có điện áp ngõ ra phụ thuộc vào nhiệt độ.

- Độ nhạy $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
- Dải nhiệt độ làm việc từ 0°C đến 100°C
- Phạm vi điện áp sử dụng từ 4V đến 30V
- Độ chính xác $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Độ tuyến tính tốt (sai số phi tuyến tối đa $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
- Dòng điện trạng thái tĩnh nhỏ ($80\mu\text{A}$)
- Vỏ ngoài giống như các transistor (kiểu TO-92)

Khi sử dụng không cần linh kiện ngoài, cũng như không cần tinh chỉnh, chỉ cần nối với vôn kế 1V hoặc VOM số có thể dùng làm máy đo nhiệt độ.

3.6.2 Các mạch ứng dụng

a. Mạch điều chỉnh nhiệt độ nước



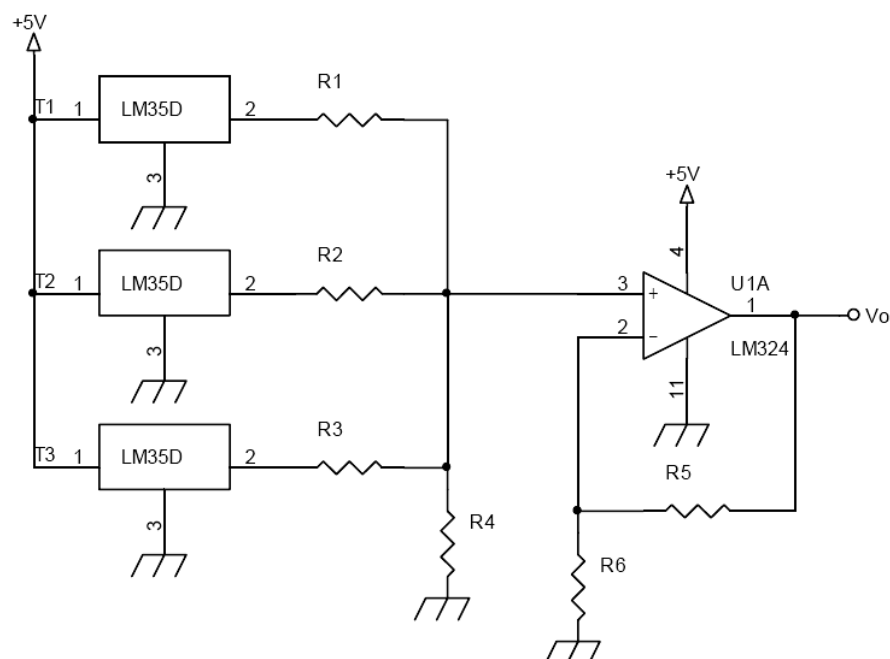
Hình 3-15 : Mạch điều chỉnh nhiệt độ nước dùng LM35D

Mạch so sánh có ngõ vào không đảo chiết áp từ RP1 (dùng đặt nhiệt độ cần thiết). Ngõ vào không đảo lấy điện áp ngõ ra của bộ cảm biến nhiệt độ LM35D.

Khi nhiệt độ nước thấp hơn nhiệt độ đặt trước, ngõ vào không đảo có điện áp cao hơn ngõ vào đảo, điện áp ngõ ra bộ so sánh ở mức cao, đèn D2 sáng (biểu hiện đang gia nhiệt). Q1 dẫn, đèn D3 sáng, điện trở Rclds nhận ánh sáng từ D3 chiếu vào, điện trở sụt xuống khoảng $1k\Omega$, triac dẫn, bộ gia nhiệt được cấp điện, nhiệt độ nước tăng lên.

Khi nhiệt độ nước bằng hoặc cao hơn nhiệt độ đặt trước, điện áp ngõ vào đảo cao hơn điện áp ngõ vào không đảo. Điện áp ngõ ra bộ so sánh xuống mức thấp, đèn D1 sáng (báo ngưng gia nhiệt). Q1 ngưng, đèn D3 tắt, Rclds không được chiếu sáng có giá trị lớn khoảng $1M\Omega$, triac ngưng dẫn, bộ gia nhiệt bị ngắt điện ngưng gia nhiệt.

b. Mạch đo nhiệt độ trung bình



Hình 3-16 : Mạch đo nhiệt độ trung bình

Giáo trình Cảm biến

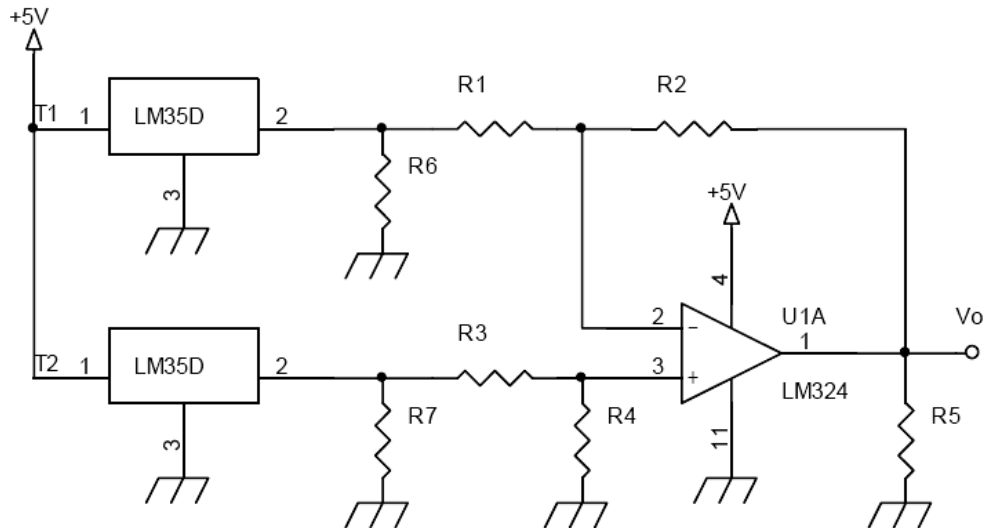
Ba cảm biến T1, T2, T3 được đặt ở ba vị trí khác nhau, điện áp V_o cho phép xác định nhiệt độ trung bình của môi trường đo.

Chọn: $R_1 = R_2 = R_3 = 3R_5$; $R_4 = R_6$

$$V_o = \frac{1}{3}(V_{o_1} + V_{o_2} + V_{o_3})$$

c. Mạch đo sai lệch nhiệt độ

Hai cảm biến T1 và T2 đo nhiệt độ ở hai nơi.



Hình 3-17 : Mạch đo sai lệch nhiệt độ

Câu hỏi ôn tập

1. Biểu thức nào dưới đây biểu diễn mối quan hệ giữa thang Kelvin và thang Celsius:

- a. $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$
- b. $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) - 273,15$
- c. $T(^{\circ}\text{C}) = 273,15 - T(\text{K})$
- d. $T(\text{K}) = 273,15 - T(^{\circ}\text{C})$

2. Biểu thức nào dưới đây biểu diễn mối quan hệ giữa thang Celsius và thang Fahrenheit.

- a. $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{F}) + 32$
- b. $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32]$
- c. $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) + 32]$
- d. $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{F}) - 32$

3. Để đo nhiệt độ chính xác cần giảm hiệu số $T_x - T_c$ (T_x : nhiệt độ môi trường đo, T_c : nhiệt độ cảm biến). Biện pháp nào dưới đây có thể giảm được hiệu số này:

- a. Tăng sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường đo; tăng sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường bên ngoài.
- b. Tăng sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường đo; giảm sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường bên ngoài.
- c. Giảm sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường đo; tăng sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường bên ngoài.
- d. Giảm sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường đo; giảm sự trao đổi nhiệt giữa cảm biến và môi trường bên ngoài.

4. Đối với nhiệt điện trở kim loại, để đo với độ nhạy tốt, ta cần:

- a. Dùng các điện trở có trị số lớn để đo ở dải nhiệt độ thấp.
- b. Dùng các điện trở có trị số nhỏ để đo ở dải nhiệt độ thấp.
- c. Dùng các điện trở có trị số lớn để đo ở dải nhiệt độ cao.
- d. Sử dụng các điện trở có giá trị tùy ý.

5. Trình bày nguyên lý hoạt động của mạch điện điều chỉnh nhiệt độ nước. Trong đó, L35D là cảm biến nhiệt độ.

Chương 4

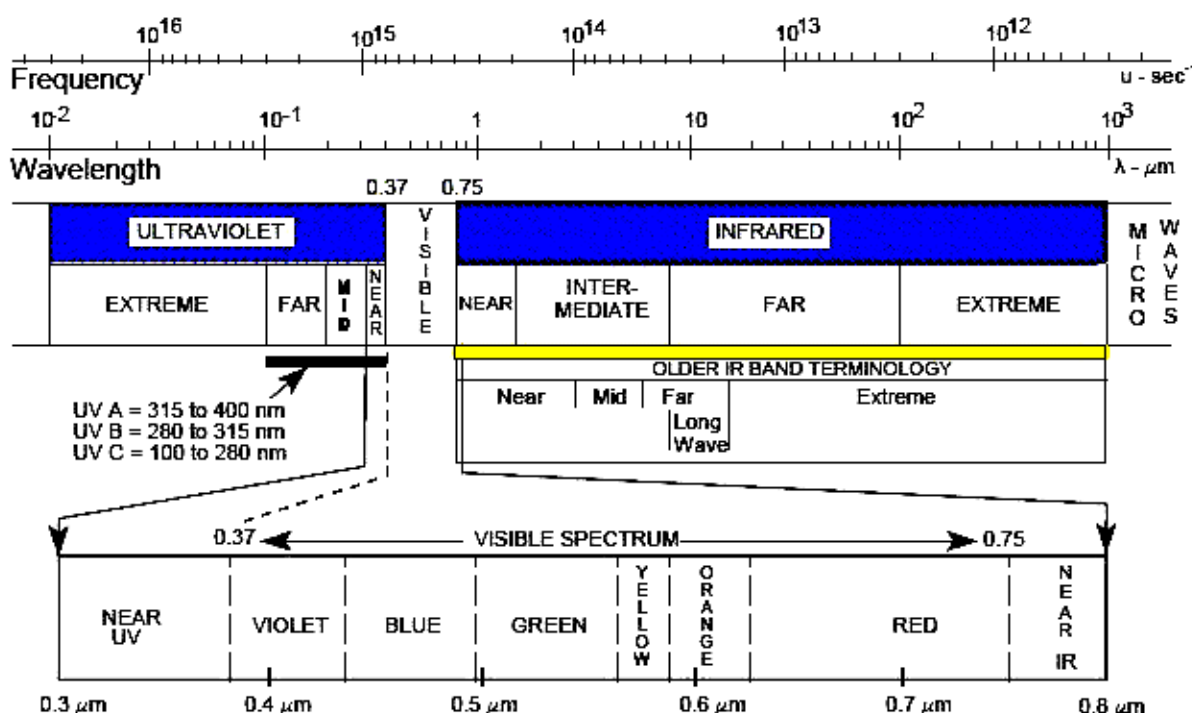
CẢM BIẾN QUANG

4.1 Ánh sáng và các đại lượng quang học

Ánh sáng là các bức xạ điện từ có bước sóng nằm trong vùng quang phổ nhìn thấy được bằng mắt thường (tức là từ khoảng 400 nm đến 700 nm). Giống như mọi bức xạ điện từ, ánh sáng có thể được mô tả như những đợt sóng hạt chuyển động gọi là photon.

Ánh sáng do Mặt Trời tạo ra còn được gọi là ánh nắng (hay còn gọi là ánh sáng trắng bao gồm nhiều ánh sáng đơn sắc biến thiên liên tục từ đỏ đến tím); do đèn tạo ra còn được gọi là ánh đèn (ánh sáng nhân tạo); do các loài vật phát ra gọi là ánh sáng sinh học.

"Ánh sáng lạnh" là ánh sáng có bước sóng tập trung gần vùng quang phổ tím. "Ánh sáng nóng" là ánh sáng có bước sóng nằm gần vùng đỏ. Ánh sáng có quang phổ trải đều từ đỏ đến tím là ánh sáng trắng; còn ánh sáng có bước sóng tập trung tại vùng quang phổ rất hẹp gọi là "ánh sáng đơn sắc".



Hình 4-1 : Phân bố tần số và bước sóng của ánh sáng

4.1.1 Tính chất của ánh sáng

Ánh sáng có hai tính chất cơ bản là sóng và hạt.

a. Tính chất sóng

Sóng ánh sáng là sóng điện từ phát ra khi có sự chuyển mức năng lượng của các điện tử của nguyên tử nguồn sáng.

Tốc độ của sóng ánh sáng truyền đi trong không gian là $c = 299792 \text{ km/s}$. Trong môi trường có chiết suất n , ánh sáng có vận tốc:

$$v = \frac{c}{n} \quad (4.1)$$

Tần số ánh sáng γ và bước sóng λ có biểu thức liên hệ:

$$\lambda = \frac{v}{\gamma} \quad (4.2)$$

b. Tính chất hạt

Ánh sáng bao gồm các hạt photon mang năng lượng, phụ thuộc vào tần số:

$$W_{\phi} = h\gamma$$

trong đó: h – hằng số Planck ($h = 6,6256.10^{-34} \text{ Js}$) (4.3)

4.1.2 Các đơn vị đo quang

- Năng lượng bức xạ (Q) là năng lượng phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ dưới dạng bức xạ, đơn vị đo là J.

- Thông lượng ánh sáng (Φ) là công suất phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ: $\Phi = \frac{dQ}{dt}$, đơn vị đo là W.

- Cường độ ánh sáng (I) là dòng năng lượng phát ra theo một hướng dưới một đơn vị góc khối: $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$, đơn vị đo là W/steradian.

- Độ chói (L) là tỷ số giữa cường độ ánh sáng từ một phần tử bề mặt dA theo hướng xác định và diện tích hình chiếu của phần tử này lên mặt phẳng P vuông góc với hướng đó: $L = \frac{dI}{dA}$, đơn vị đo là W/steradian.m²; trong đó $dA_n = dA \cdot \cos\theta$ (θ - góc hợp bởi mặt phẳng P và mặt phẳng chứa dA)

- Độ rọi (E) là tỷ số giữa dòng năng lượng thu được bởi một phần tử bề mặt và diện tích của phần tử đó: $E = \frac{d\Phi}{dA}$, đơn vị đo là W/m² (lux).

4.2 Nguồn sáng

4.2.1 Đèn sợi đốt wonfram

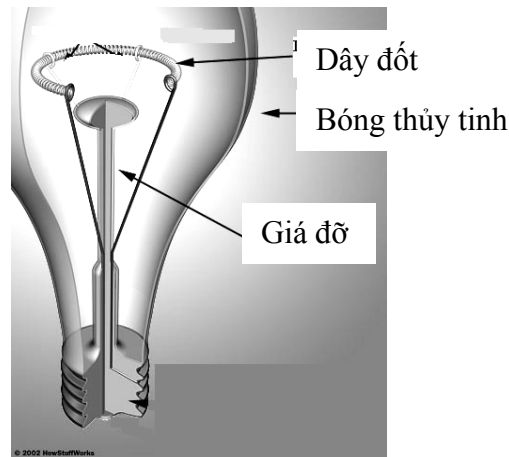
Cấu tạo:

Gồm một sợi dây wonfram đặt trong một bóng thủy tinh hoặc thanh anh có chứa khí hiếm hoặc halogen (I_2) để giảm bay hơi sợi đốt.

Đặc điểm:

- Nhiệt độ sợi wonfram giống nhiệt độ của một vật đen tuyệt đối.
- Phổ phát xạ nằm trong vùng phổ nhìn thấy.
- Quán tính nhiệt lớn nên không thể thay đổi bức xạ nhanh chóng, thời gian sống nhỏ, dễ vỡ.

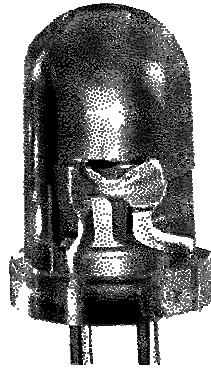
- Thông lượng lớn, dải phổ rộng.



Hình 4-2 : Cấu tạo đèn Wofram

4.2.2 Diode phát sáng

Năng lượng giải phóng trong quá trình tái hợp điện tử - lỗ trống ở gần chuyển tiếp P-N của diode làm phát sinh các photon.



Hình 4-3 : Diode phát quang (LED)

Đặc điểm:

- Thời gian đáp ứng nhỏ khoảng ns, có khả năng điều biến ở tần số cao, phổ ánh sáng hoàn toàn xác định, độ tin cậy cao và độ bền tốt.
- Thông lượng tương đối nhỏ, nhạy với nhiệt độ, phạm vi sử dụng hẹp.

4.2.3 Laser

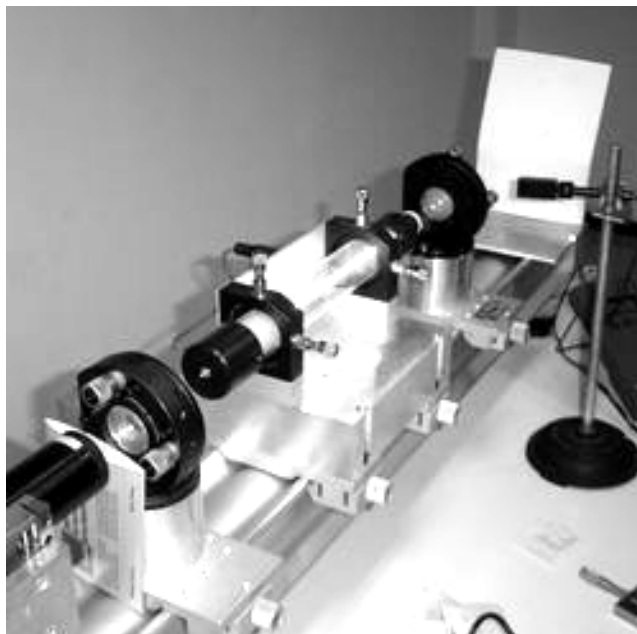
Laser (Light Amplification by Stimulated Emission Radiation) là hiện tượng khuếch đại ánh sáng bằng bước xạ kích thích.

Nguồn sáng laser rất đơn sắc, độ chói lớn, độ định hướng cao và liên kết mạnh. Tất cả bức xạ đều cùng phân cực, cùng pha do đó khi chồng chéo lên nhau sẽ tạo thành một sóng duy nhất.

Cấu tạo gồm 4 bộ phận chính:

- Cơ cấu kích thích
- Môi trường tác động.
- Cơ cấu phản xạ
- Bộ phối ghép đầu ra

Cơ cấu kích thích dùng để đưa năng lượng vào môi trường tác động. Có 2 loại kích thích: quang, điện và hóa năng.

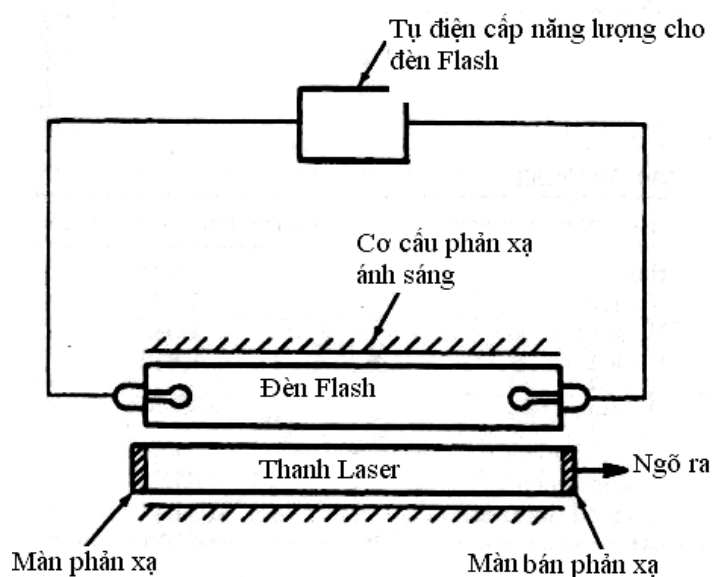


Hình 4-4: Mô hình hệ thống laser

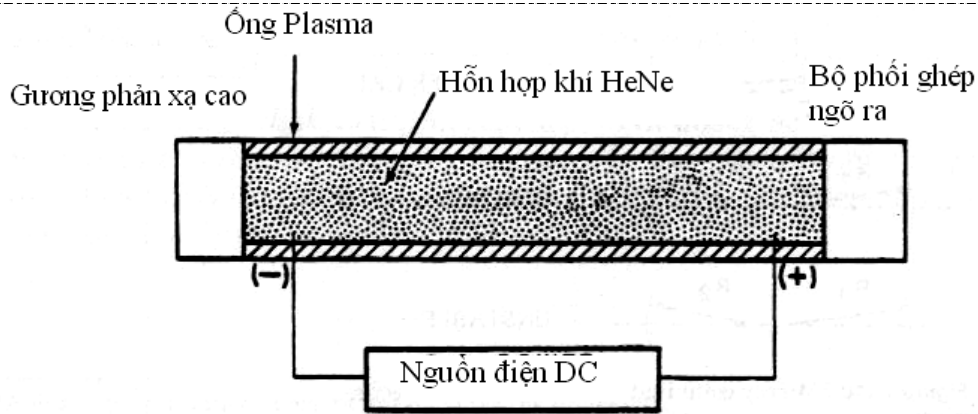
Môi trường tác động là tập hợp các nguyên tử, ion hoặc phân tử có khả năng bức xạ, trong đó xảy ra hiện tượng bức xạ kích thích. Đó là môi trường phát sáng trong laser, có thể là chất rắn, lỏng, khí hay bán dẫn. Tên laser thường lấy theo môi trường tác động (hồng ngọc, CO₂). Bước sóng phát xạ của laser phụ thuộc vào môi trường tác động, vì mỗi nguyên tử có mức năng lượng xác định.

Cơ cấu phản xạ gồm các gương ở đầu cuối môi trường tác động. Gương phản xạ ánh sáng trong môi trường tác động trở vào theo trục ống, tạo nên các hốc cộng hưởng ánh sáng. Gương cầu lõm thường được dùng để đổi hướng tia phản xạ.

Bộ phối ghép đầu ra được thiết kế để truyền một phần trăm ánh sáng trong hốc cộng hưởng ra ngoài.



Hình 4-5: Laser chất rắn với nguồn kích thích quang học



Hình 4-6 : Laser chất khí kích thích bằng điện

Đặc điểm:

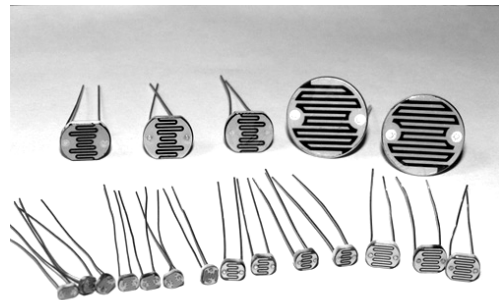
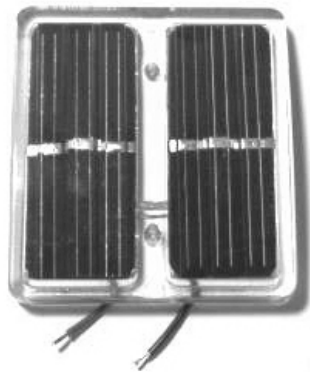
- Bước sóng đơn sắc hoàn toàn xác định.
- Thông lượng lớn, có khả năng nhận được chùm tia rất mạnh với độ định hướng cao.
- Truyền đi trên khoảng cách rất lớn (đo đến vệ tinh).

4.3 Cảm biến quang bán dẫn

4.3.1 Tế bào quang dẫn

Cơ sở vật lý của tế bào quang dẫn dựa trên hiện tượng quang dẫn: hiện tượng giải phóng hạt tải điện bên trong vật liệu dưới tác dụng của ánh sáng (hiệu ứng quang điện nội), làm tăng độ dẫn điện của vật liệu.

Tế bào quang dẫn là một trong các cảm biến quang có độ nhạy cao.

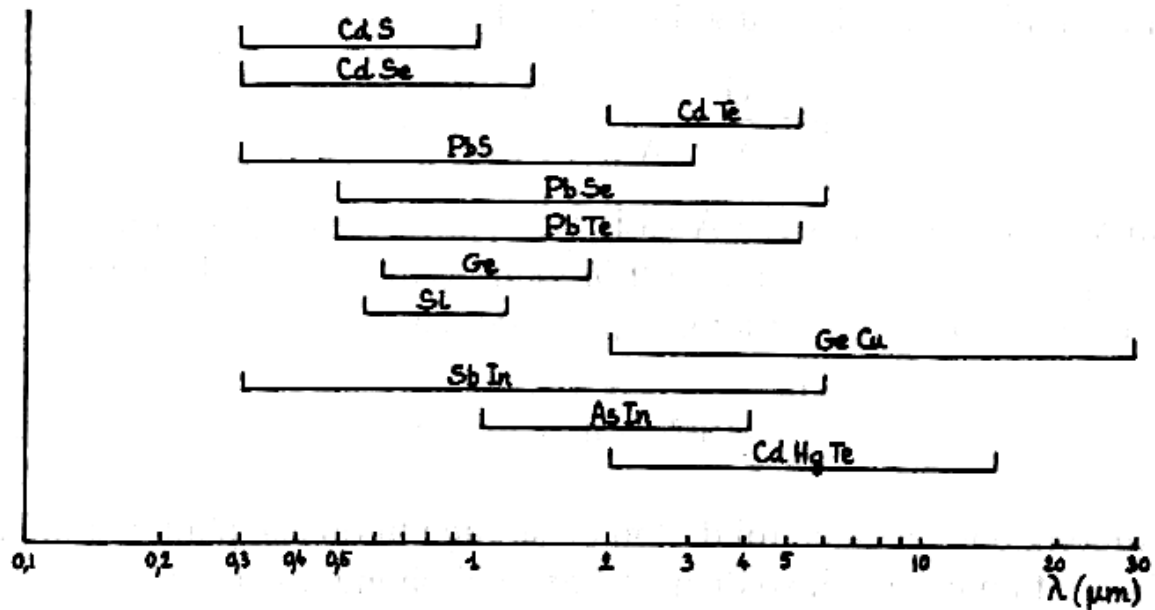


Hình 4-7: Tế bào quang dẫn

a. Vật liệu chế tạo

Tế bào quang dẫn thường được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn đa tinh thể hoặc đơn tinh thể, bán dẫn riêng hoặc pha tạp.

- Đa tinh thể: CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe
- Đơn tinh thể: Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp Au, Cu, Sb, In; SbIn, AsIn, Pin, CdHgTe.

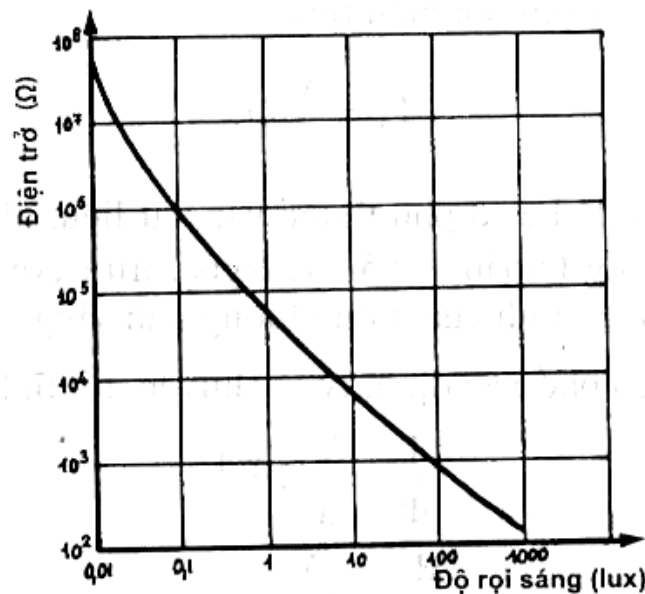


Hình 4-8: Dải phổ làm việc của các vật liệu quang dẫn

b. Các đặc trưng

- Điện trở:

Điện trở R_c của tế bào quang dẫn giảm rất nhanh khi độ rọi tăng lên. Sự thay đổi này là một hàm không tuyến tính của độ rọi sáng.



Hình 4-9 : Sự phụ thuộc của điện trở và độ rọi sáng

Điện trở của tế bào quang dẫn có thể xem tương đương điện trở tối R_{co} mắc song song với một điện trở R_{cp} :

$$R_c = \frac{R_{co} R_{cp}}{R_{co} + R_{cp}} \quad (4.4)$$

Giá trị điện trở tối R_{co} phụ thuộc vào hình dạng, kích thước, nhiệt độ và bản chất của vật liệu quang dẫn.

- PbS, CdS, CdSe có điện trở tối rất lớn: từ $10^4 \Omega$ đến $10^9 \Omega$ ở $25^\circ C$
- SbIn, SbAs, CdHgTe có điện trở tối tương đối nhỏ: từ 10Ω đến $10^3 \Omega$ ở $25^\circ C$

Điện trở R_{cp} xác định bởi hiệu ứng quang điện, có dạng:

$$R_{cp} = a\Phi^{-\gamma} \quad (4.5)$$

Trong đó:

- a – hệ số phụ thuộc mạnh vào vật liệu, nhiệt độ và phổ bức xạ ánh sáng
- γ có giá trị từ 0,5 đến 1

Thông thường, $R_{cp} \ll R_{co}$ nên $R_c = a\Phi^{-\gamma}$.

Điện trở R_c khi bị chiếu sáng phụ thuộc vào nhiệt độ, độ nhạy nhiệt của tế bào quang dẫn càng nhỏ khi độ rọi sáng càng lớn. Giá trị của điện trở sẽ giảm (chậm) khi độ rọi sáng và điện áp đặt vào quá lớn.

- **Độ nhạy:**

Trong điều kiện sử dụng thông thường, dòng quang điện của tế bào quang dẫn được xác định bằng biểu thức:

$$I_p = \frac{V}{a} \Phi^\gamma \quad (4.6)$$

Đối với luồng bức xạ có phổ xác định, độ nhạy của tế bào quang dẫn có dạng:

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1} \quad (4.7)$$

Từ đó, có thể thấy:

- Tế bào quang dẫn là một cảm biến không tuyến tính, độ nhạy giảm khi bức xạ tăng (trừ trường hợp đặc biệt $\gamma = 1$)
- Độ nhạy tỷ lệ thuận với điện áp đặt vào tế bào quang dẫn. Điều này chỉ đúng khi điện áp đặt vào đủ nhỏ để không làm thay đổi nhiệt độ (nhiệt độ cao sẽ làm giảm độ nhạy)

Trường hợp bức xạ ánh sáng đơn sắc, đối với một thông lượng cho trước, I_p phụ thuộc và bước sóng λ của bức xạ đó. Do đó, độ nhạy của tế bào quang dẫn là một hàm phụ thuộc vào bước sóng.

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)} \quad (4.8)$$

Khi bức xạ không phải là đơn sắc, dòng I_p , độ nhạy toàn phần phụ thuộc vào phổ bức xạ.

Độ nhạy làm hàm của nhiệt độ của nguồn sáng: khi nhiệt độ tăng, độ nhạy tăng lên.

Khi đặt điện áp 10V vào tế bào quang dẫn có diện tích bề mặt 1cm^2 , độ nhạy có giá trị nằm trong khoảng $10^{-1} \div 10\text{ A/W}$.

☞ Những nhược điểm chính của tế bào quang dẫn:

- Đáp ứng phụ thuộc không tuyến tính vào thông lượng.
- Thời gian đáp ứng lớn.
- Các đặc trưng không ổn định (lão hóa)

- Độ nhạy phụ thuộc vào nhiệt độ
- Một số loại đòi hỏi phải làm nguội

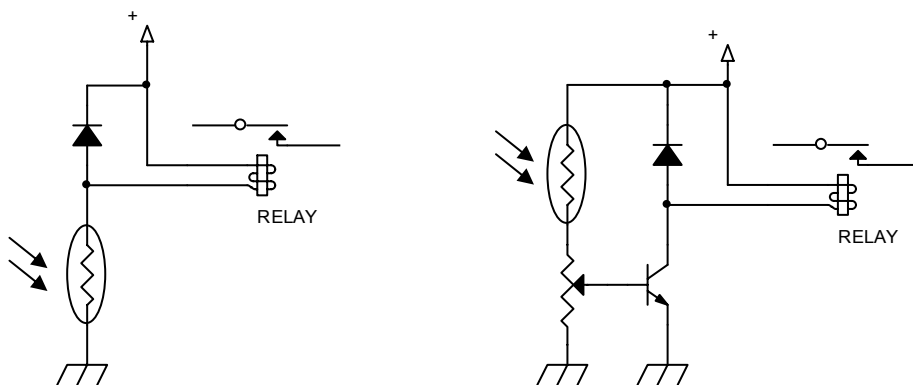
c. Ứng dụng của tế bào quang dẫn

Nhìn chung, tế bào quang dẫn có độ nhạy cao cho phép sử dụng trong một số ứng dụng đơn giản (điều khiển relay).

Tuy nhiên, vì những nhược điểm mà người ta không dùng tế bào quang dẫn để xác định chính xác thông lượng. Thông thường, chỉ sử dụng để phân biệt mức sáng: trạng thái tối – sáng (xung ánh sáng).

- Điều khiển relay:

Khi có thông lượng ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn, điện trở của nó giảm xuống đáng kể đủ để cho dòng điện chạy qua. Dòng điện này được sử dụng trực tiếp hoặc thông qua khuếch đại để đóng mở relay.



Hình 4-10 : Ứng dụng điều khiển relay

- Thu tín hiệu quang:

Tế bào quang dẫn có thể được sử dụng để biến đổi xung quang thành xung điện. Sự ngắt quãng của xung ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn sẽ được phản ánh qua xung điện của mạch đo. Do đó, các thông tin của xung ánh sáng sẽ được thể hiện trên xung điện. Mạch đo này được ứng dụng để đếm vật, đo tốc độ quay của đĩa.

4.3.2 Photodiode

a. Nguyên lý hoạt động

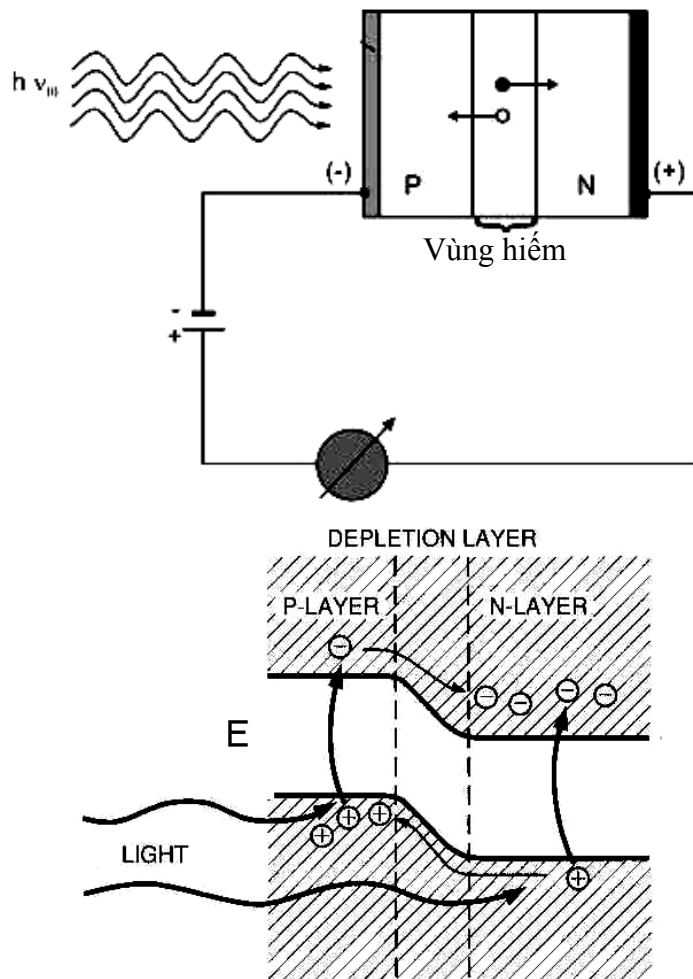
Sự tiếp xúc của hai lớp bán dẫn loại n và p (chuyển tiếp P-N) tạo nên vùng hiếm hạt dẫn vì tồn tại một điện trường và rào thế V_b .

Khi không có điện thế bên ngoài đặt vào chuyển tiếp ($V_d = 0$), dòng điện qua chuyển tiếp $I = 0$. I chính là dòng tổng của hai dòng điện của các hạt dẫn bằng nhau và ngược chiều:

- Dòng do khuếch tán hạt dẫn cơ bản sinh ra khi ion hóa tạp chất (lỗ trống trong bán dẫn loại p và điện tử trong bán dẫn loại n). Năng lượng nhiệt của các hạt dẫn cơ bản đủ lớn có thể vượt qua rào thế,
- Dòng hạt dẫn không cơ bản (do hình thành các cặp điện tử-lỗ trống khi có kích thích nhiệt: điện tử trong bán dẫn loại p và lỗ trống trong bán dẫn loại n), chuyển động dưới tác dụng của điện trường trong vùng hiếm.

Khi đặt điện áp ngược đủ lớn ($V_d \ll -\frac{kT}{d} = -26mV$ ở 300K), chiều cao của rào thế dòng hạt dẫn cơ bản trở nên rất nhỏ có thể bỏ qua chỉ còn lại dòng hạt dẫn không cơ bản, đây chính là dòng ngược của diode, $I_r = I_0$.

Khi chiếu sáng diode bằng bức xạ có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng ($\lambda < \lambda_s$), do hiệu ứng quang điện làm xuất hiện thêm các cặp điện tử-lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường ngược chúng nhanh chóng được tách ra. Điều này chỉ có thể xảy ra trong vùng hiếm và các hạt dẫn sau khi được tách ra chuyển động cùng hướng với các hạt dẫn không cơ bản, làm gia tăng dòng ngược I_r .



Hình 4-11 : Nguyên lý hoạt động của photodiode

b. Chế tạo

Như vậy, hiện tượng xuất hiện các hạt dẫn chỉ xảy ra khi ánh sáng đến được vùng hiếm sau khi đã đi qua một bề dày đáng kể của chất bán dẫn và tiêu hao năng lượng không ít. Càng đi sâu vào chất bán dẫn, thông lượng Φ càng giảm:

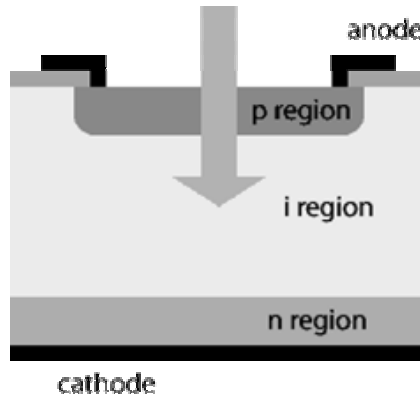
$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\alpha x} \quad (4.9)$$

Thí dụ, khi thông lượng đi qua bề dày 10^3 Å , tương ứng với $\alpha \sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$, thông lượng giảm 63%.

Do đó, phiên bán dẫn phải được làm rất mỏng để sử dụng năng lượng ánh sáng một cách hữu hiệu nhất, đồng thời vùng hiếm cũng phải đủ rộng để hấp thụ ánh sáng nhiều nhất.

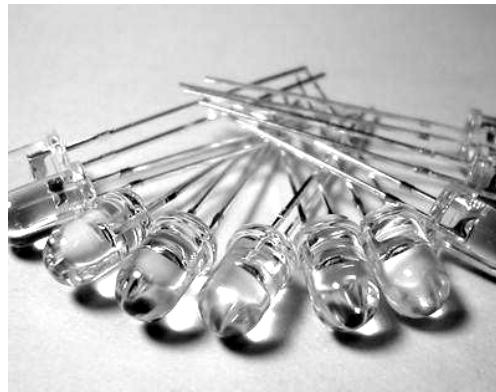
Giáo trình Cảm biến

Người ta chế tạo các diode PIN có lớp bán dẫn riêng I được kẹp giữa hai lớp bán dẫn loại P và N. Độ rộng vùng nghèo tỷ lệ với điện trở suất của vật liệu, đặc biệt trong vùng chuyển tiếp P-I và I-N. Chỉ cần một điện áp ngược cỡ vài vôn cũng đủ để mở rộng vùng nghèo ra toàn bộ lớp bán dẫn I.



Hình 4-12 : Cấu tạo diode PIN

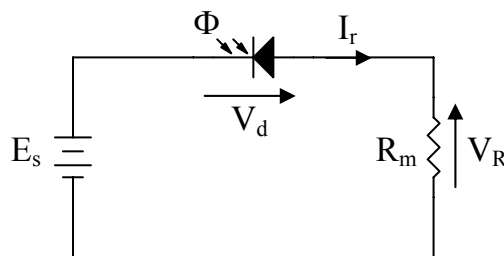
Các vật liệu thường dùng để chế tạo photodiode là Si, Ge (vùng ánh sáng nhìn thấy và hồng ngoại gần) và GaAs, InAs, InSb, HgCdTe (vùng hồng ngoại).



Hình 4-13 : Một loại photodiode

c. Chế độ hoạt động

- Chế độ quang dẫn:



Hình 4-14 : Sơ đồ chế độ quang dẫn

Sơ đồ gồm một nguồn E_s phân cực ngược diode và điện trở R_m để đo tín hiệu. Gọi V_d là điện áp đặt lên diode ($V_d < 0$, diode phân cực ngược), dòng ngược I_r chạy qua diode:

$$I_r = -I_0 \exp\left(\frac{dV_d}{kT}\right) + I_0 + I_p \quad (4.10)$$

Giáo trình Cảm biến

Với I_p là dòng quang điện xuất hiện khi ánh sáng đi đến vùng nghèo sau khi đi qua bề dày x :

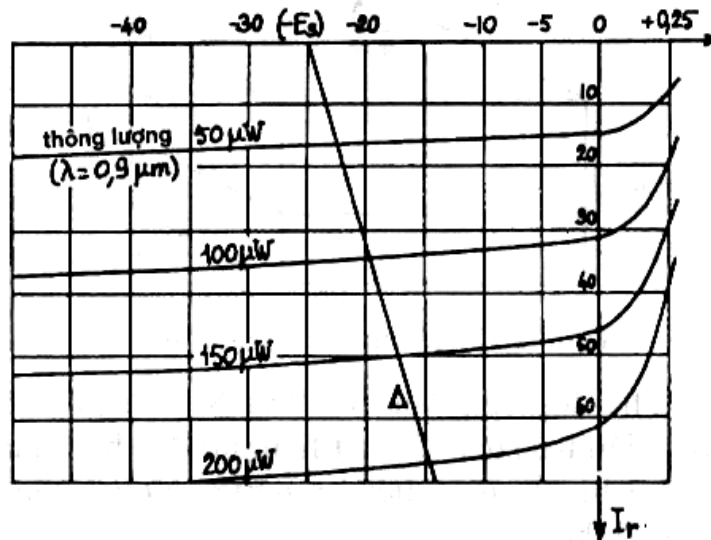
$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{hc} \Phi_0 e^{-\alpha x} \quad (4.11)$$

Khi điện áp ngược đủ lớn, ta có $I_r \approx I_p$.

Phương trình mạch điện: $E_s = V_R - V_d$

Trong đó: $V_R = R_m I_r \Rightarrow I_r = \frac{E_s}{R_m} + \frac{V_d}{R_m}$

Điểm làm việc Q của diode là giao giữa đường tải Δ và đặc tuyến I - V với các thông lượng tương ứng. Chế độ làm việc này là tuyến tính, V_R tỷ lệ với thông lượng.



Hình 4-15: Đặc tuyến I - V với những thông lượng khác nhau

- Chế độ quang thế:

Trong chế độ này không có điện áp ngoài đặt vào diode. Diode hoạt động như bộ chuyển đổi năng lượng. Người ta đo được điện thế hở mạch V_{oc} và dòng ngắn mạch I_{sc} .

Điện thế hở mạch V_{oc} :

Sự tăng I_p của dòng hạt dẫn không cơ bản khi chiếu sáng sẽ làm chiều cao rào thế giảm một lượng ΔV_b . Sự giảm chiều cao rào thế làm cho dòng hạt dẫn cơ bản tăng lên để đảm bảo cân bằng $I_r = 0$:

$$-I_0 \exp\left(\frac{q\Delta V_b}{kT}\right) + I_0 + I_p = 0 \quad (4.12)$$

$$\Rightarrow \Delta V_b = \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{I_p}{I_0}\right) \quad (4.13)$$

với I_p – dòng quang điện

Giáo trình Cảm biến

Sự giảm chiều cao ΔV_b của rào thế được biểu hiện thông qua điện áp giữa hai đầu diode trong chế độ hở mạch:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_p}{I_0} \right) \quad (4.14)$$

- Khi chiếu sáng yếu $I_p \ll I_0$:

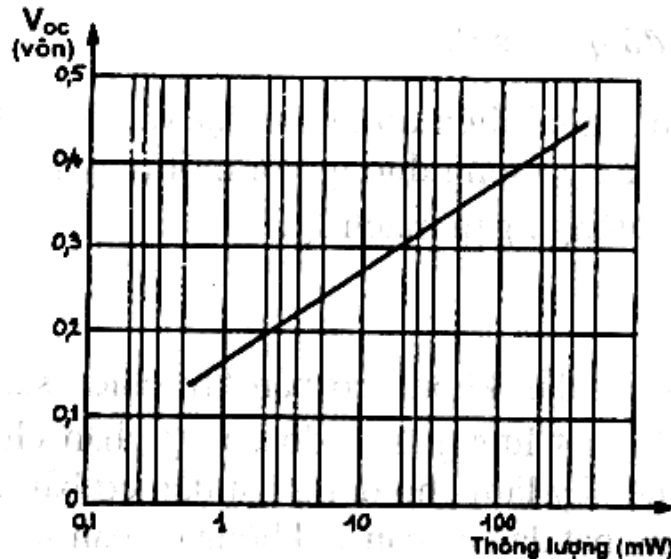
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \frac{I_p}{I_0} \quad (4.15)$$

V_{oc} nhỏ nhưng phụ thuộc tuyến tính vào thông lượng.

- Khi chiếu sáng mạnh $I_p \gg I_0$:

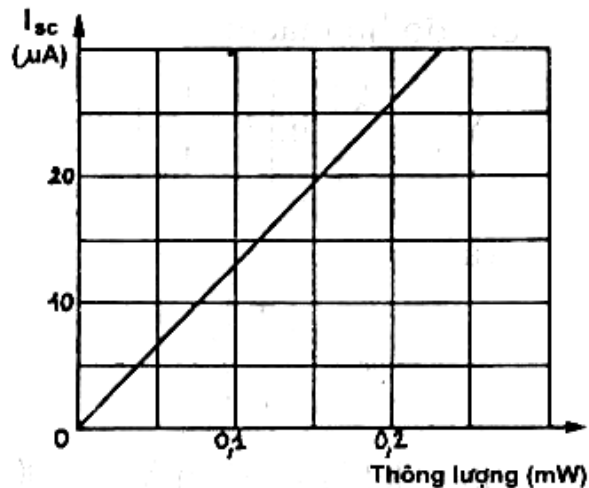
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_p}{I_0} \quad (4.16)$$

V_{oc} có giá trị tương đối lớn (0,1V ÷ 0,6V) nhưng phụ thuộc vào thông lượng cá dạng hàm logarit.



Hình 4-16 : Sự phụ thuộc điện thế hở mạch vào thông lượng

Dòng ngắn mạch I_{sc} :



Hình 4-17 : Sự phụ thuộc dòng ngắn mạch vào thông lượng

Giáo trình Cảm biến

Nối ngắn mạch hai đầu diode bằng điện trở R_m nhỏ hơn điện trở động r_d của chuyển tiếp, dòng ngắn mạch chính bằng dòng I_p và tỷ lệ với thông lượng.

Trong chế này, không có điện áp ngoài sẽ không có dòng tối chạy qua diode. Như vậy có thể giảm nhiễu và có khả năng đo thông lượng rất nhỏ.

d. Độ nhạy

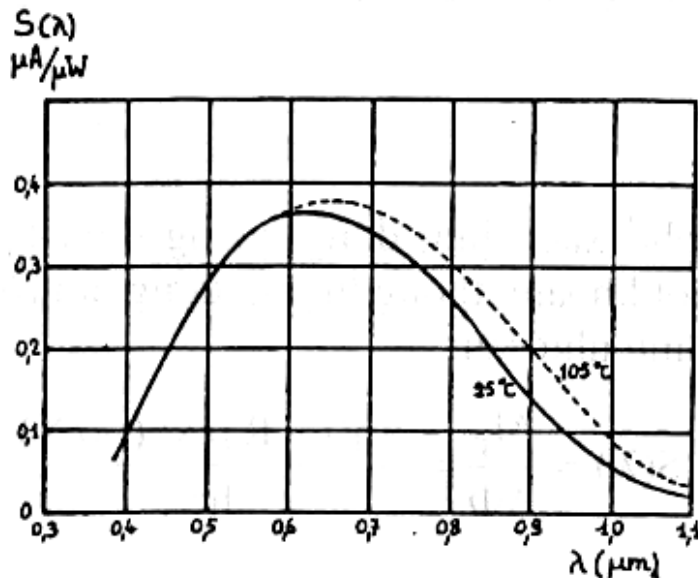
Đối với bức xạ có phổ xác định, dòng quang điện I_p tỷ lệ tuyến tính với thông lượng. Độ nhạy phổ được xác định:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q\eta(1-R)e^{-\alpha x}}{hc} \lambda \quad \text{với } \lambda \leq \lambda_s \quad (4.17)$$

Độ nhạy phổ phụ thuộc vào λ , hiệu suất lượng tử η , hệ số phản xạ R và hệ số hấp thụ α .

Đối với mỗi loại diode, người dùng cần phải biết độ nhạy phổ dựa trên đường cong phổ đáp ứng $S(\lambda)/S(\lambda_p)$, với λ_p – độ dài bước sóng ứng với độ nhạy phổ cực đại, đồng thời phải biết giá trị λ_p . Thông thường $S(\lambda_p)$ khoảng từ 0,1 đến 1 A/W.

Do ảnh hưởng của nhiệt độ, λ_p bị dịch chuyển. Khi nhiệt độ tăng λ_p dịch chuyển về phía trước (sóng dài). Hệ số nhiệt độ của dòng quang dẫn $\frac{1}{I_p} \frac{dI_p}{dT}$ khoảng 0,1 %/°C.

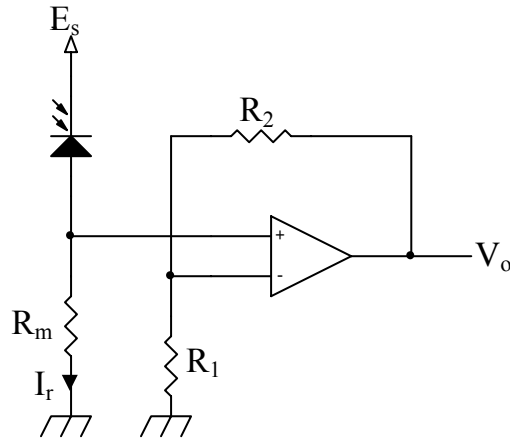


Hình 4-18 : Sự phụ thuộc của độ nhạy vào nhiệt độ

e. Sơ đồ sử dụng

- Chế độ quang dẫn:

Đặc điểm: độ tuyến tính cao, thời gian đáp ứng ngắn, dải thông rộng.

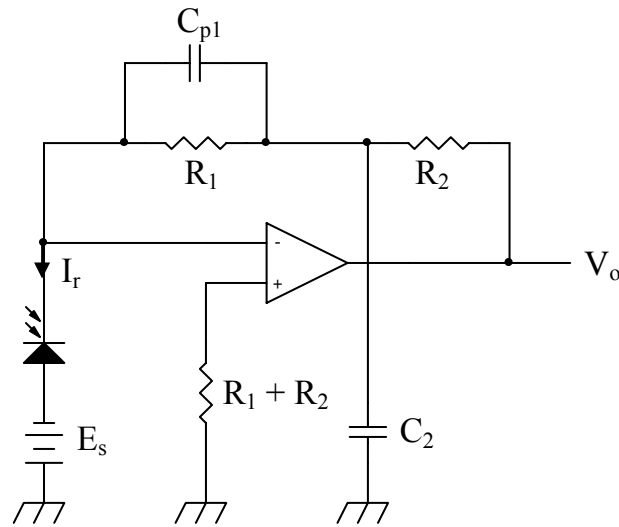


Hình 4-19 : Sơ đồ cơ sở

$$V_o = R_m \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) I_r \quad (4.18)$$

Khi tăng R_m sẽ làm giảm nhiều. Tổng trở vào của bộ khuếch đại phải lớn để tránh làm giảm điện trở tải hiệu dụng của diode.

Sơ đồ tác động nhanh:



Hình 4-20 : Sơ đồ tác động nhanh

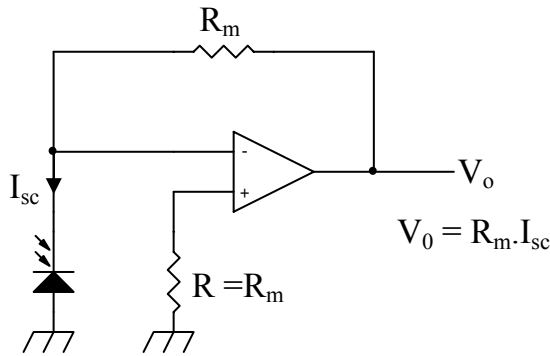
$$V_o = (R_1 + R_2) \cdot I_r \quad (4.19)$$

Điện trở tải của diode nhỏ và bằng $\frac{R_1 + R_2}{K}$, trong đó: K – hệ số khuếch đại ở tần số làm việc.

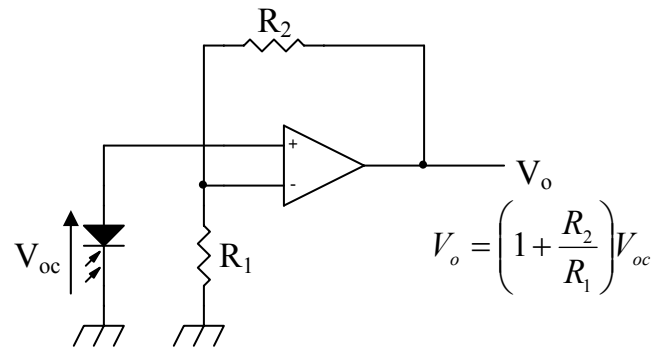
C_2 có tác dụng bù ảnh hưởng của tụ ký sinh C_{p1} với điều kiện $R_1 C_{p1} = R_2 C_2$.

Bộ khuếch đại phải có dòng vào rất nhỏ và sự suy giảm do nhiệt không đáng kể.

- Chế độ quang thể:



Hình 4-21 : Sơ đồ tuyến tính



Hình 4-22 : Sơ đồ logarit

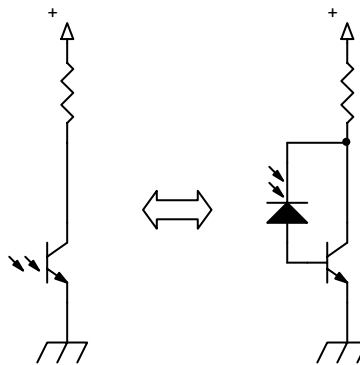
Đặc điểm:

- Có thể làm việc ở chế độ tuyến tính hoặc logarit tùy thuộc vào tải.
- Ít nhiễu.
- Thời gian đáp ứng lớn và dải thông nhỏ.
- Nhạy cảm với nhiệt độ ở chế độ logarit.

4.3.3 Phototransistor

a. Cấu tạo – nguyên lý hoạt động

Phototransistor là các transistor bán dẫn loại NPN có vùng nền được chiếu sáng. Không có điện áp đặt vào vùng nền, chỉ có điện áp trên vùng thu, chuyển tiếp B-C phân cực ngược.



Hình 4-23 : Sơ đồ phototransistor

Khi chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, nó hoạt động giống như photodiode ở chế độ quang dẫn với dòng ngược: $I_r = I_0 + I_p$.

Dòng I_r là dòng cực nền, tạo ra dòng cực thu:

$$I_c = (\beta + 1)I_r = (\beta + 1)I_0 + (\beta + 1)I_p \quad (4.20)$$

β - hệ số khuếch đại dòng của transistor trong cách mắc cực phát chung

Có thể coi phototransistor là tổ hợp của một photodiode và một transistor. Photodiode cung cấp dòng điện cực nền, còn transistor cho hiệu ứng khuếch đại β . Các điện tử-lỗ trống phát sinh trong vùng nền dưới tác dụng của ánh sáng sẽ bị phân chia dưới tác dụng của điện trường trên chuyển tiếp B-C.



Hình 4-24 : Các loại phototransistor

b. Độ nhạy

Khi nhận được thông lượng Φ_0 , diode B-C tạo ra dòng điện I_p , làm xuất hiện dòng qua transistor $I_{cp} = (\beta + 1)I_p$:

$$I_{cp} = \frac{(\beta + 1)q\eta(1 - R)e^{-\alpha x}}{hc} \lambda \Phi_0 \quad (4.21)$$

Đối với Φ_0 cho trước, đường cong phổ đáp ứng phụ thuộc vào bản chất vật liệu diode B-C.

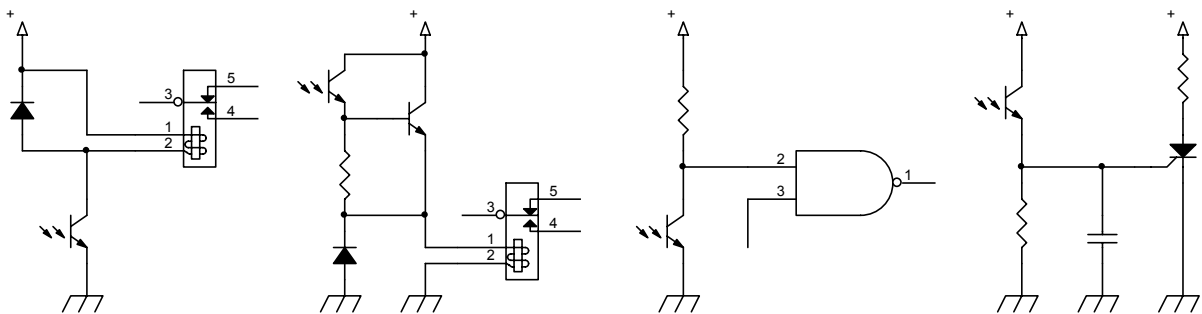
Đối với một bước sóng cho trước, dòng I_{cp} không tuyến tính với thông lượng hoặc độ chiếu sáng vì hệ số khuếch đại β phụ thuộc vào dòng I_c , nghĩa là $\frac{\Delta I_c}{\Delta \Phi_0}$ phụ thuộc vào Φ_0 . Thí dụ, phototransistor BPW22, độ nhạy tăng lên 1,6 lần khi độ rọi tăng lên 8 lần.

Độ nhạy phổ $S(\lambda_p)$ nằm trong khoảng $1 \div 100 \text{ A/W}$.

c. Sơ đồ sử dụng

Phototransistor có thể dùng làm bộ chuyển mạch hoặc làm phần tử tuyến tính.

- Ở chế độ chuyển mạch, nó có ưu điểm hơn photodiode vì cho phép dòng điện chạy qua tương đối lớn.
- Ở chế độ tuyến tính, thì photodiode có độ tuyến tính tốt hơn mặc dù phototransistor cho độ khuếch đại.



Hình 4-25 : Sơ đồ sử dụng phototransistor trong chế độ chuyển mạch

Tốc độ chuyển mạch bị giới hạn bởi điện trở transistor. Có thể cải thiện tốc độ này bằng cách mắc nối tiếp với một bộ chuyển đổi dòng-thể hoặc một mạch mắc theo kiểu cực nền chung.

4.3.4 Phototransistor trường ứng (PhotoFET)

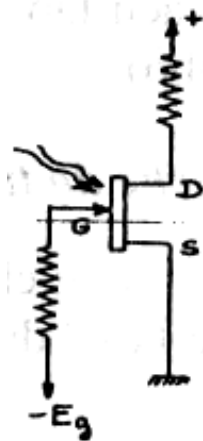
Trong photoFET, việc điều khiển dòng cực thoát I_D được thực hiện thông qua sự thay đổi điện áp V_{GS} giữa cực cổng và nguồn. Ánh sáng được dùng để làm thay đổi điện trở kênh. Dòng cực thoát có dạng:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad (4.22)$$

Trong đó:

I_{DSS} – dòng cực thoát khi $V_{GS} = 0$

V_P – điện áp nghẽn



Hình 4-26 : Sơ đồ tương đương photoFET

Khi được chiếu sáng, chuyển tiếp PN (giữa cực cổng và kênh) giống như một photodiode tạo dòng ngược:

$$I_r = I_0 + I_p \quad (4.23)$$

Trong đó:

I_0 – dòng quang điện trong tối (ở 25°C I_0 có giá trị cỡ nA và tăng gấp đôi khi nhiệt độ tăng thêm 10°C)

I_p – dòng quang điện với $I_p = S_g \cdot \Phi$

S_g – độ nhạy của diode cổng-kênh

Φ - thông lượng ánh sáng.

Dòng I_r chạy qua điện trở R_g của mạch cổng tạo điện thế V_{GS} và dòng cực thoát:

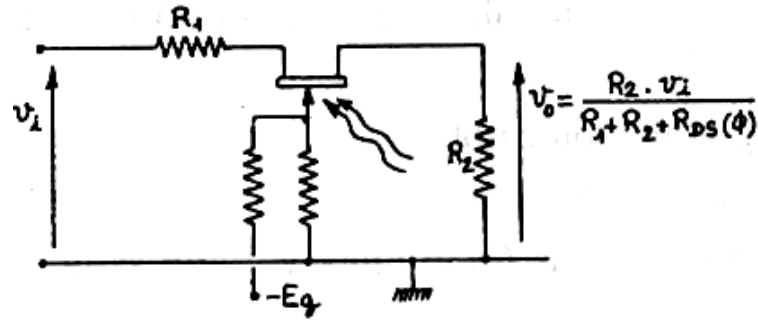
$$V_{GS} = R_g(I_0 + I_p) - E_g \quad (4.24)$$

Trong đó:

E_g – điện thế phân cực cực cổng

Khi điện áp nguồn-thoát nhỏ, FET giống như một điện trở R_{DS} giữa cực nguồn và cực thoát. Giá trị R_{DS} được xác định bởi điện thế V_{GS} . Đối với photoFET, điện trở R_{DS} có thể điều chỉnh được bằng cách thay đổi thông lượng ánh sáng chiếu tới.

Dựa vào tính chất này người ta sử dụng photoFET để điều biến điện áp bằng ánh sáng. Thí dụ, dùng photoFET để chế tạo bộ giảm điện áp điều khiển bằng ánh sáng.



Hình 4-27 :Bộ giảm điện áp điều khiển bằng ánh sáng

4.4 Cảm biến quang phát xạ

Sự biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện trong loại cảm biến này dựa trên hiện tượng quang phát xạ điện tử ra khỏi vật liệu photocatode. Số lượng các điện tử phát xạ tỷ lệ với số photon chiếu vào photocatode. Các điện tử sơ cấp tạo dòng catode sau đó có thể:

- Thu gom trực tiếp bằng anode (tế bào quang điện chân không)
- Ion hóa chất khí (đèn ion khí)
- Phát xạ thứ cấp kèm theo sự khuếch đại dòng thứ cấp (nhân quang)

4.4.1 Vật liệu chế tạo

Các vật liệu sử dụng làm photocatode:

- AgOCs nhạy từ vùng hồng ngoại
- Cs_3Sb , $(\text{Cs})\text{Na}_2\text{KSb}$ và K_2CsSb nhạy với ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại.
- Cs_2Te , Br_2Te và CsT chỉ nhạy trong vùng tử ngoại.

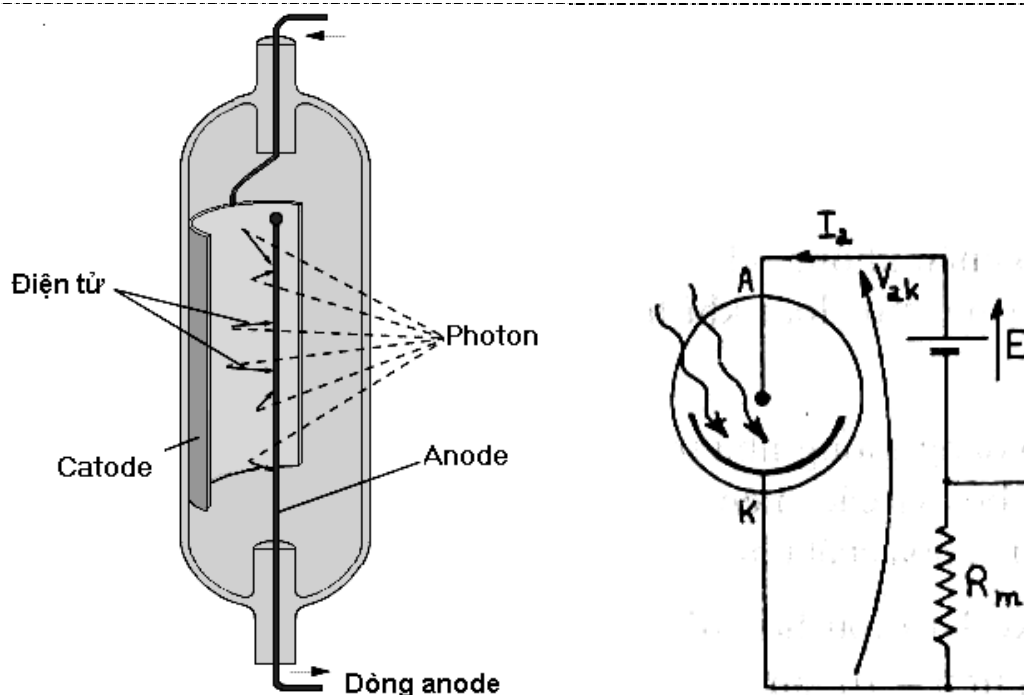
Hiệu suất lượng tử của các vật liệu trên thay đổi từ 1% đến 20%.

Ngoài những vật liệu này, các hợp chất nhóm III-V cũng được sử dụng nhiều. Đó là các hợp chất $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$, $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$, $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$. Ngưỡng nhạy sáng của chúng nằm trong vùng hồng ngoại ($\lambda \approx 1\mu\text{m}$). Hiệu suất lượng tử có thể đạt tới 30%.

4.4.2 Tế bào quang điện chân không

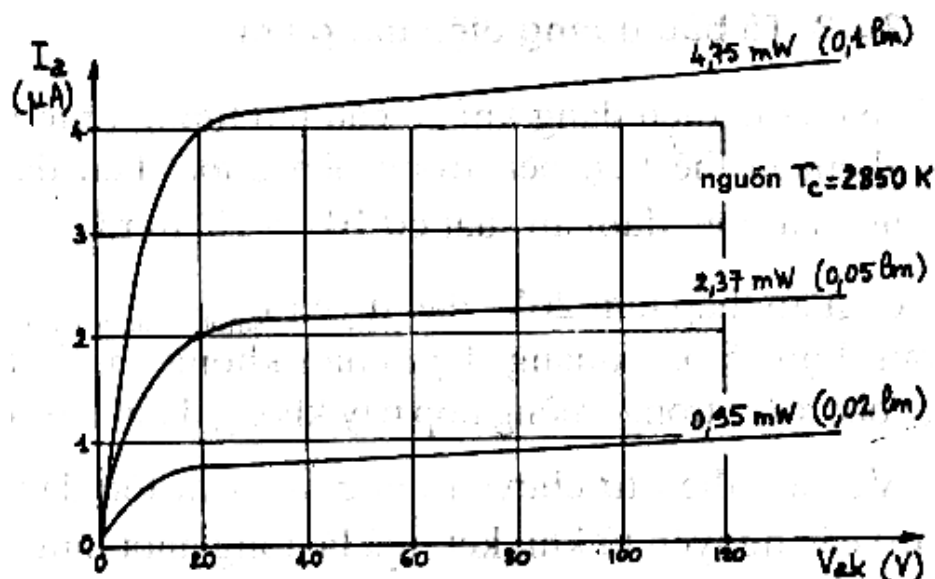
Tế bào quang điện chân không là một ống hình trụ có một cửa sổ trong suốt được hút chân không tới áp suất $10^{-6} \div 10^{-8}$ mmHg. Trong ống đặt một catode có khả năng phát xạ khi được chiếu sáng và một anode.

Hình dáng và vị trí của các điện cực này được thiết kế một mặt để catode có thể hấp thụ tối đa thông lượng ánh sáng chiếu tới mà không bị anode che và anode thu được tối đa lượng điện tử phát xạ từ catode.



Hình 4-28 : Tế bào quang điện chân không

Sự thay đổi dòng điện anode I_a phụ thuộc vào điện thế anode-catode V_{ak} .



Hình 4-29 : Đặc tuyến dòng-thế của tế bào quang điện chân không

Đặc tuyến I_a - V_{ak} có hai vùng rõ rệt.

- Vùng điện tích không gian đặc trưng bởi sự tăng mạnh của dòng điện khi điện áp tăng. Trong vùng này, một phần nhỏ các điện tử phát xạ từ catode sẽ tạo nên vùng điện tích không gian có xu hướng đẩy các điện tích mới phát xạ bật trở lại dẫn đến hạn chế dòng anode. Hiệu ứng vùng điện tích không gian sẽ giảm nếu tăng điện thế V_{ak} .
- Vùng bão hòa đặc trưng bởi sự phụ thuộc không đáng kể của dòng điện vào điện áp. Trong vùng này dòng I_a chỉ phụ thuộc vào thông lượng của ánh sáng chiếu tới. Sự tăng dòng (không đáng kể) là do công thoát và do dòng ion hóa gây nên bởi sự va chạm của các điện tử phát xạ được tăng tốc (do V_{ak}) với các phân tử của chất khí dư.

Tế bào quang điện được sử dụng trong vùng bão hòa, khi đó nó giống như một nguồn dòng, giá trị dòng chỉ phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng mà nó nhận được.

Điện trở trong ρ của tế bào quang điện rất lớn và được tính từ độ dốc của đặc tuyến trong vùng bão hòa:

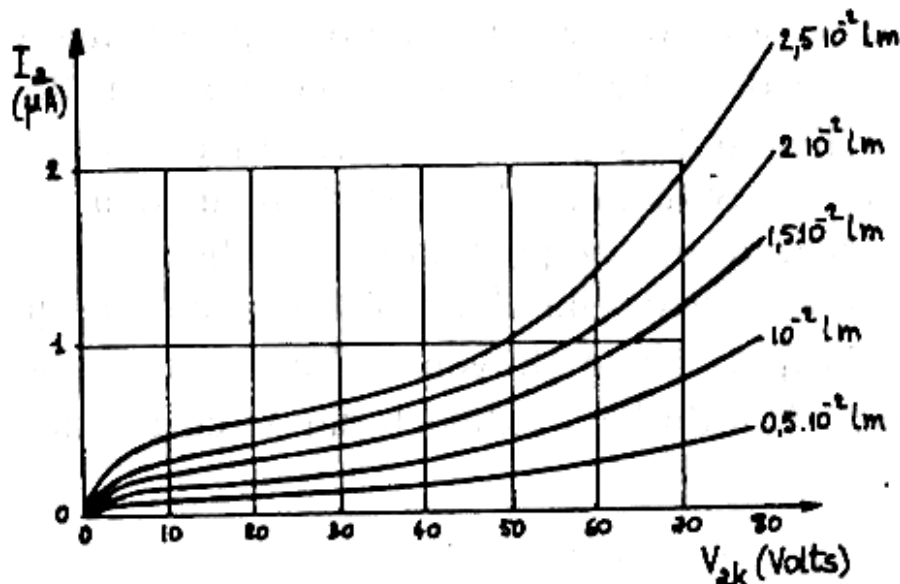
$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{dI_a}{dV_{ak}} \right)_{\Phi} \quad (4.25)$$

Giá trị của ρ cỡ $10^{10} \Omega$.

Trong vùng bão hòa, dòng anode bằng vùng catode. Do đó, độ nhạy phổ của tế bào quang điện được biểu diễn như giá trị của dòng anode trong vùng bão hòa. Giá trị của độ nhạy nằm trong khoảng $10 \div 100 \text{ mA/W}$.

4.4.3 Tế bào quang điện dạng khí

Tế bào quang điện dạng khí có cấu tạo tương tự tế bào chân không, chỉ khác là bên trong đèn được bơm đầy bằng một loại khí trơ, thường là argon, dưới áp suất cỡ $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ mmHg}$.



Hình 4-30 : Đặc tuyến dòng-thế của tế bào quang điện dạng khí

Khi điện áp thấp hơn 20V, đặc tuyến $I_a - V_{ak}$ có dạng giống như trong trường hợp tế bào quang điện chân không, bởi vì các điện tử do catode bức xạ trong trường hợp này không đủ gia tốc để ion hóa chất khí.

Khi V_{ak} cao, điện tử chuyển động với vận tốc đáng kể làm ion hóa các nguyên tử khí, dòng anode tăng lên từ 5 đến 10 lần.

4.4.4 Thiết bị nhân quang

Khi bề mặt vật rắn bị bắn phá bởi các điện tử có năng lượng đủ lớn, nó có thể phát xạ các điện tử thứ cấp. Nếu số điện tử phát xạ thứ cấp lớn hơn số điện tử tới (điện tử sơ cấp) thì sẽ có khả năng khuếch đại tín hiệu. Sự khuếch đại này được ứng dụng trong thiết bị nhân quang.

Các điện tử sơ cấp được phát xạ từ một photocatode đặt trong chân không khi bị chiếu sáng. Sau đó chúng được tiêu thụ trên điện cực thứ nhất của dãy các điện cực (dynode). Bề mặt của những điện cực này được phủ bằng vật liệu có khả năng phát xạ điện tử thứ cấp. Các điện cực mắc nối tiếp nhau và được cung cấp điện thế thông qua

Giáo trình Cảm biến

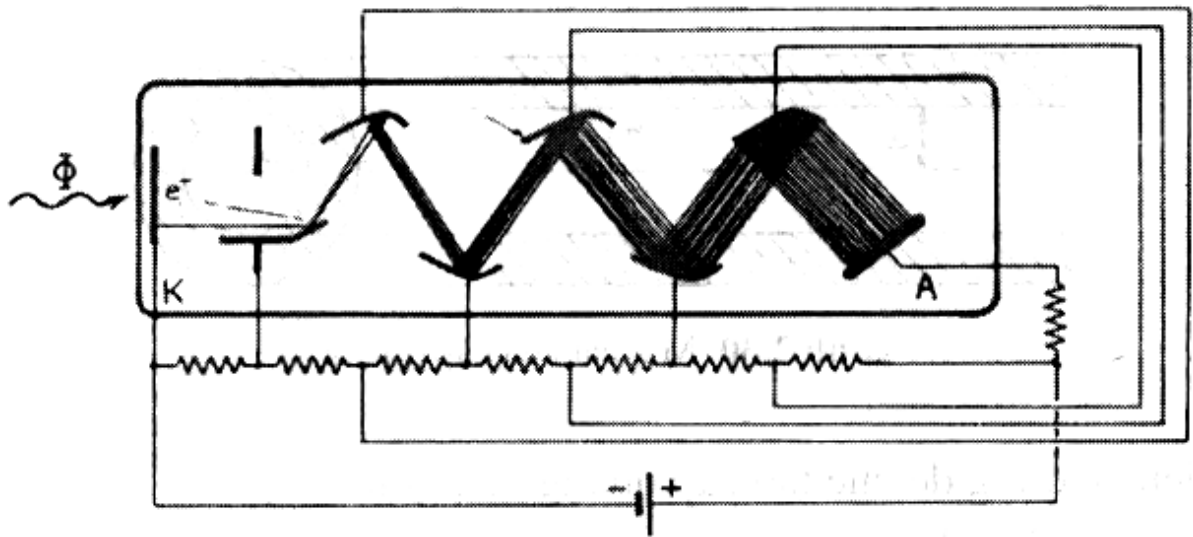
các cầu điện trở. Theo chiều đi từ điện cực thứ nhất đến các điện cực tiếp theo, điện thế của chúng tăng dần sao cho điện tử thứ cấp phát ra từ điện cực thứ k sẽ bị hút về điện cực thứ $k + 1$, đồng thời số điện tử thứ cấp phát ra ở những điện cực này cũng tăng lên.

Nếu mỗi điện tử sơ cấp khi va chạm với một điện cực giải phóng ra δ điện tử thứ cấp thì n điện cực với điện thế khác nhau mắc nối tiếp theo nguyên tắc trên sẽ phát ra số điện tử thứ cấp $M = \delta^n$.

Thực tế không phải tất cả các điện tử phát xạ từ catode đều đến tới được điện cực đầu tiên. Mặt khác không phải tất cả các điện tử thứ cấp phát xạ từ một điện cực nào đó đều đi tới được điện cực tiếp theo.

Giả sử hệ số hữu hiệu của quá trình thu điện tử ở các điện cực là η_c và hệ số chuyển tải hữu hiệu là η_t . Khi đó hệ số khuếch đại $M = \eta_c(\eta_t \cdot \delta)^n$

Với số điện cực $n = 5 \div 15$, hệ số phát xạ thứ cấp $\delta = 5 \div 10$, η_c và η_t lớn hơn 90%, hệ số khuếch đại của thiết bị nhân quang $M \sim 10^6 \div 10^8$.



Hình 4-31 : Sơ đồ nguyên lý của thiết bị nhân quang

Câu hỏi ôn tập

1. Vận tốc ánh sáng truyền đi trong môi trường có chiết suất $n = 1,5$ có giá trị:

- a. 299792km/s
- b. 1079251200km/h
- c. 719500800km/h
- d. 200000km/s

2. Nhận định nào dưới đây là sai:

- a. Đặc trưng của tế bào quang dẫn là sự phụ thuộc điện trở vào thông lượng và phổ của bức xạ.
- b. Cơ sở vật lý của tế bào quang dẫn là hiện tượng giải phóng hạt dẫn điện trong vật liệu dưới tác dụng của ánh sáng làm tăng độ dẫn điện của vật liệu.
- c. Điện trở tối R_{CO} của tế bào quang dẫn phụ thuộc vào hình dạng, kích thước, nhiệt độ và bản chất lý hóa của vật liệu.
- d. Tế bào quang dẫn thường được sử dụng để định lượng quang thông.

3. Điện tử phát xạ thứ cấp là:

- a. Điện tử được phát xạ khi bị bắn phá bởi các photon có năng lượng đủ lớn.
- b. Điện tử được phát xạ khi bị bắn phá bởi các điện tử có năng lượng đủ lớn.
- c. Điện tử được giải phóng khi hấp thụ ánh sáng.
- d. Điện tử được giải phóng khi vật liệu photocatode bị chiếu sáng.

Chương 5

MỘT SỐ ỨNG DỤNG VÀ CÁC DẠNG CẢM BIẾN KHÁC

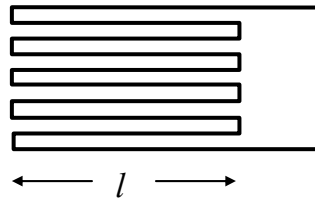
5.1 Cảm biến biến dạng

Xác định ứng lực cơ học tác động lên cấu trúc là vấn đề hàng đầu trong việc đánh giá độ an toàn cho hoạt động của thiết bị. Kết quả của sự tác động này là sự biến dạng môi trường chịu lực, dựa vào mối quan hệ đó người ta tính được ứng lực khi đo biến dạng do nó gây nên. Các cảm biến dùng để đo biến dạng cũng chính là các đầu đo biến dạng.

Ứng dụng của cảm biến biến dạng không chỉ giới hạn trong việc đo ứng lực cơ học. Tất cả các đại lượng cơ học đều có thể đo được bằng đầu đo biến dạng nếu tác động chúng lên một vật trung gian làm cho vật này biến dạng (áp suất, lực, gia tốc...)

5.1.1 Nguyên lý chung

Trong quá trình đo, các đầu đo biến dạng loại điện trở thường được dán trực tiếp lên bề mặt của cấu trúc cần khảo sát. Sự biến dạng của cấu trúc làm cho cảm biến bị biến dạng theo, dẫn đến sự thay đổi điện trở của nó.



Hình 5-1 : Sự biến dạng làm thay đổi điện trở cảm biến

Điện trở của cảm biến được biểu diễn bởi biểu thức $R = \rho l / S$. Do ảnh hưởng của biến dạng, điện trở cảm biến thay đổi một lượng ΔR :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (5.1)$$

- Đối với đầu đo kim loại: $K = 1 + 2\nu + C(1 - 2\nu)$.

Trong điều kiện bình thường $K \cong 2$.

- Đối với đầu đo bán dẫn: $K = 1 + 2\nu + \pi Y$.

Thông thường $K \approx 100 \div 200$.

Trong đó:

ν - hệ số Poisson, xác định biến dạng theo phương vuông góc với ứng lực.

Y – Modul Young, xác định biến dạng theo phương của ứng lực.

Đầu đo bán dẫn thích hợp đo những biến dạng nhỏ. Chúng có độ tuyến tính thấp hơn và độ nhạy nhiệt cao hơn so với đầu đo kim loại. Đầu đo bán dẫn thường được sử dụng trong các thiết bị đo lực, áp suất, gia tốc.

Điện trở của đầu đo có giá trị chuẩn nằm trong khoảng 100Ω đến $5000k\Omega$ với độ chính xác $\pm 0,2 \div 10\%$.

5.1.2 Đầu đo điện trở kim loại

a. Đặc trưng

- Điện trở suất:

Dưới tác dụng của áp suất, thể tích của kim loại giảm, khoảng cách giữa các nguyên tử cũng giảm, lực liên kết tăng lên. Khi lực liên kết tăng, dao động của các nguyên tử giảm làm cho xác suất tán xạ giảm theo. Kết quả làm cho điện trở suất của kim loại giảm xuống.

Điện trở suất ρ của vật liệu làm dây dẫn phải đủ lớn để giảm kích thước cảm biến nhưng tiết diện dây không quá nhỏ để không làm giảm dòng đo và độ nhạy.

- Hệ số đầu đo:

Thông thường K có giá trị khoảng $2 \pm 0,1$ (ngoại trừ isoelastic $K = 3,5$ và hợp kim platin-wonfram $K = 4,1$).

Trong khoảng nhiệt độ từ -100°C đến 300°C , K ít chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ:

$$K(T) = K_0[1 + \alpha_K(T - T_0)] \quad (5.2)$$

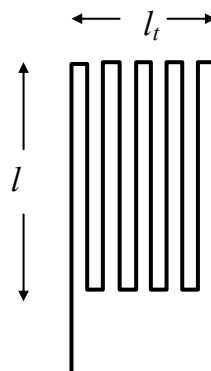
Trong đó:

K_0 – hệ số đầu đo ở nhiệt độ chuẩn T_0 ($T_0 = 25^\circ$)

Nichrome V: $\alpha_K = -0,04\%/^\circ\text{C}$; Constantan: $\alpha_K = +0,01\%/^\circ\text{C}$

- Độ nhạy ngang:

Ngoài các đoạn dọc có điện trở R_L còn có các đoạn vuông góc có tổng độ dài l_t và điện trở R_t , các đoạn này nhạy với biến dạng ngang. Điện trở của cảm biến $R = R_L + R_t$.



Hình 5-2 : Các nhánh ngang nhạy với biến dạng ngang

Ta có:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_L}{R} + \frac{\Delta R_t}{R} \quad (5.3)$$

$$\text{với: } \frac{\Delta R_L}{R_L} = K \cdot \frac{\Delta l}{l} \text{ và } \frac{\Delta R_t}{R_t} = K \cdot \frac{\Delta l_t}{l_t}$$

Để giảm kích thước phần dây ngang, người ta chế tạo sao cho $R_t \ll R_L$.

b. Chế tạo

Các kim loại sử dụng làm điện trở phần lớn thuộc họ hợp kim Ni. Các vật liệu khác nhau ở tính chất nhiệt (hệ số giãn nở, hệ số nhiệt) và độ ổn định.

Các đầu đo dùng dây dẫn có các thông số:

- Đường kính dây dẫn: $d \approx 20\mu\text{m}$
- Bề dày giá đỡ: 0,1mm (giấy), 0,03mm (nhựa).

Các đầu đo dùng lưới màng thường chế tạo bằng phương pháp mạch in để giảm kích thước và cho phép đo theo điểm.

Hợp kim	Thành phần	K
Constantan	45% Ni, 55% Cu	2,1
Isoelastic	52% Fe, 36% Ni, 8% Cr, MnMo	3,5
Karma	74% Ni, 20% Cr, 3% Cu, 3% Fe	2,1
Nichrome V	80% Ni, 20% Cr	2,5
Bạch kim – Wonfram	92% Pt, 8% W	4,1

Bảng 5-1: Thành phần các hợp kim thường sử dụng

5.1.3 Đầu đo điện trở bán dẫn

a. Đặc trưng

Độ pha tạp là yếu tố quyết định các đặc trưng của đầu đo bán dẫn. Khi độ pha tạp tăng, hệ số đầu đo K giảm, độ nhạy nhiệt giảm, độ nhạy với bức xạ giảm, nhưng độ tuyến tính tăng lên. Độ nhạy nhiệt giảm cho phép mở rộng dải nhiệt độ làm việc.

- Điện trở:

Nếu nồng độ pha tạp tăng, mật độ hạt dẫn trong vật liệu tăng lên, do đó điện trở suất ρ giảm xuống:

$$\rho = \frac{1}{q(\mu_n n + \mu_p p)} \quad (5.4)$$

Trong đó:

q – điện tích điện tử hoặc lỗ trống

n và p – mật độ điện tử và lỗ trống; μ_n và μ_p – độ linh động

Khi nhiệt độ nhỏ hơn 120°C điện trở suất tăng theo nhiệt độ, hệ số nhiệt độ có giá trị dương giảm dần khi độ pha tạp tăng. Ở nhiệt độ cao, điện trở suất giảm khi nhiệt độ tăng, hệ số nhiệt độ có giá trị âm không phụ thuộc vào độ pha tạp.

Điện trở đầu đo phụ thuộc không tuyến tính vào biến dạng ε :

$$\frac{\Delta R}{R} = K_1 \varepsilon + K_2 \varepsilon^2 + K_3 \varepsilon^3 \quad (5.5)$$

Đầu đo loại P tuyến tính hơn khi chịu tác động của lực kéo và đầu đo loại N tuyến tính hơn khi bị nén.

- Hệ số đầu đo:

Hệ số đầu đo giảm khi độ pha tạp tăng lên và giảm khi nhiệt độ tăng. Tuy nhiên, khi pha tạp mạnh, hệ số đầu đo ít phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi nồng độ pha tạp $N_d = 10^{20} \text{cm}^{-3}$ thì K hầu như không phụ thuộc vào nhiệt độ.

$$K = K_1 + K_2 \varepsilon + K_3 \varepsilon^2 \quad (5.6)$$

Hệ số đầu đo K phụ thuộc vào biến dạng, nhưng có thể xác định giá trị biến dạng ϵ cực đại khi nhỏ hơn giá trị này có thể xem K là hằng số.

b. Chế tạo

Đầu đo loại cắt gồm một mẫu cắt từ tấm đơn tinh thể silic pha tạp. Mẫu cắt song song với đường chéo của tinh thể lập phương đối với silic loại P và song song với cạnh lập phương nếu là silic loại N. Các mẫu cắt được dán lên một giá đỡ bằng nhựa, chiều dài từ 0,1mm đến vài mm, dày $\sim 10^{-2}$ mm. Đầu đo có độ nhạy ngang gần như bằng không.

Điện trở đầu đo khuếch tán được tạo nên bằng cách khuếch tán tạp chất vào một phần của đế đơn tinh thể silic đã pha tạp.

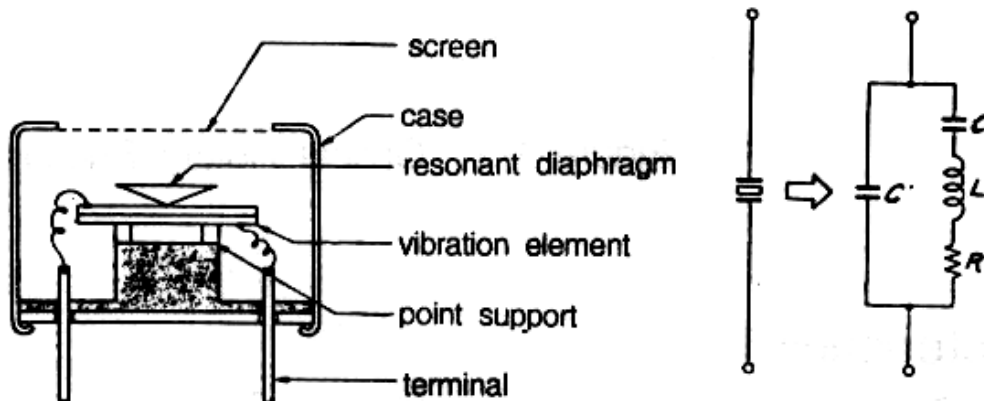
- Điện trở loại N: khuếch tán vào silic loại P tạp chất thuộc nhóm V (P, Sb).
- Điện trở loại P: khuếch tán vào silic loại N tạp chất thuộc nhóm III (Ga, In).

Chuyển tiếp giữa đế và vùng khuếch tán tạo nên một diode, phải ở trạng thái phân cực ngược để điện trở của cảm biến cách biệt với đế silic. Cấu trúc được phủ một lớp SiO_2 có mở hai cửa sổ để hàn dây dẫn ra ngoài.

5.2 Cảm biến siêu âm

Cấu trúc cảm biến siêu âm bao gồm các phần tử rung động được cấu tạo từ hai đĩa mỏng được chế tạo từ các vật liệu áp điện. Các đĩa này bắt đầu dao động khi đặt vào điện áp dao động có tần số bằng với tần số cộng hưởng của các vật liệu áp điện. Năng lượng dao động này sẽ được truyền đến bộ phận phát của cảm biến.

Quá trình thu tín hiệu theo nguyên lý ngược lại với quá trình phát. Khi có tín hiệu siêu âm tác động vào các đĩa áp điện, làm phát ra tín hiệu điện có tần số giống như tần số tín hiệu siêu âm nhận được.



Hình 5-3 : Cấu tạo cảm biến siêu âm và sơ đồ tương đương

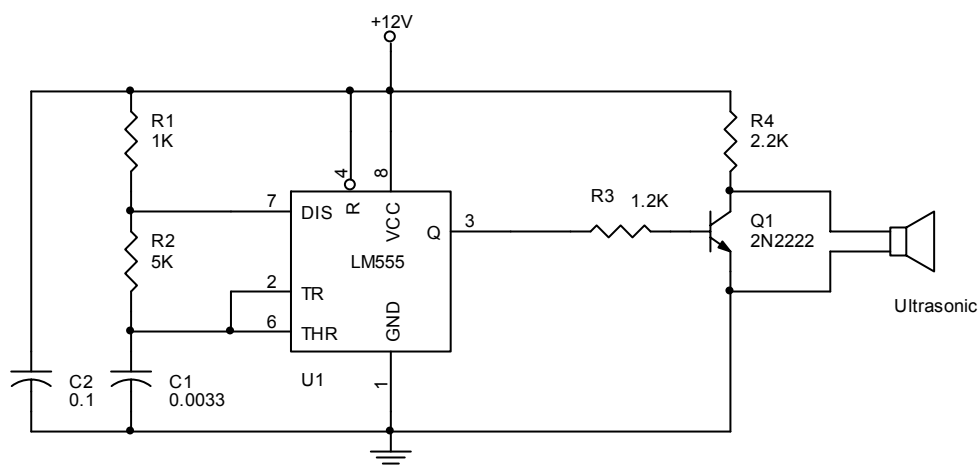
Đặc điểm:

- Dãy tần số hoạt động siêu âm cơ bản từ 38kHz đến 45 kHz.
- Tín hiệu siêu âm ít bị ảnh hưởng bởi các tín hiệu có tần số dưới 20kHz.
- Tín hiệu siêu âm không tương tác với những tín hiệu âm thanh khác trong dải âm tần từ 50Hz đến 15kHz.
- Tín hiệu siêu âm phản xạ tốt nhưng nhạy cảm với bụi bẩn.

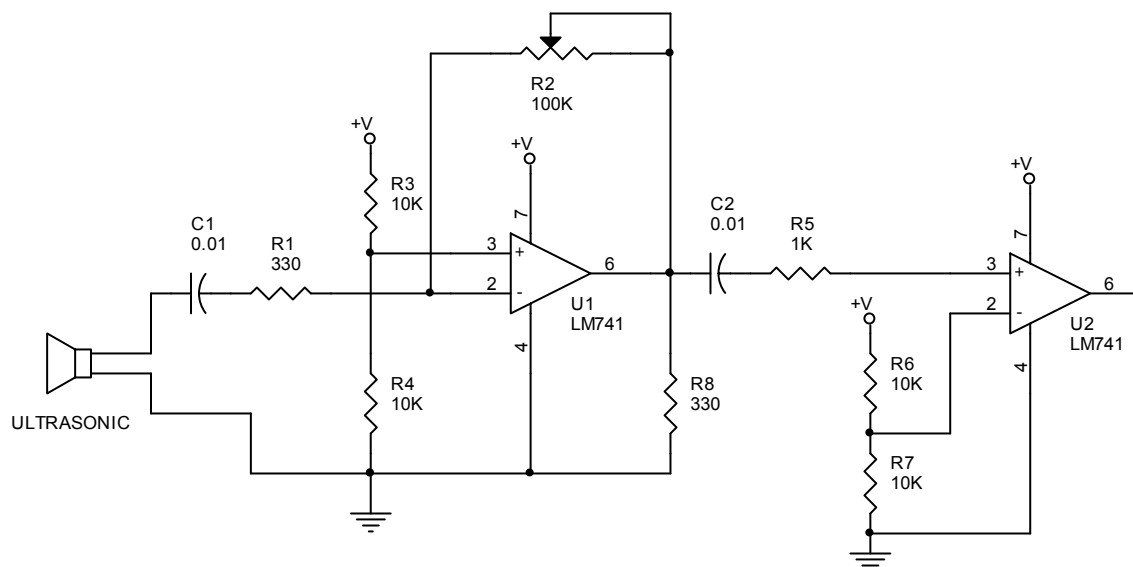


Hình 5-4 : Một dạng cảm biến thu-phát siêu âm

Thường được ứng dụng để chế tạo các dạng cảm biến lặn cận, đo khoảng cách, vận tốc...



Hình 5-5 : Sơ đồ mạch phát tín hiệu siêu âm



Hình 5-6 : Sơ đồ mạch thu tín hiệu siêu âm

5.3 Cảm biến khí

Các cảm biến đo nồng độ một thành phần trong hỗn hợp khí được sử dụng rất nhiều đặc biệt trong việc kiểm tra nhiên liệu nhằm tiết kiệm năng lượng và giảm ô nhiễm môi trường. Có nhiều cảm biến khí được chế tạo để phát hiện các phân tử khí

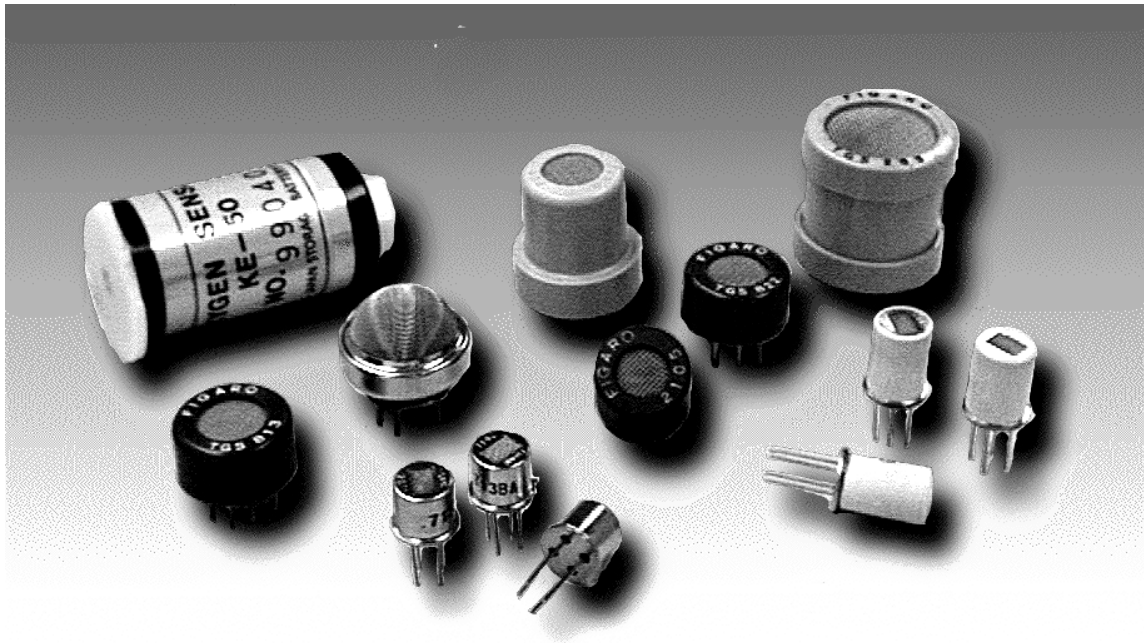
Giáo trình Cảm biến

sinh ra trong các quá trình oxy hóa nhiên liệu như O_2 , CO , CO_2 , H_2O , SO_2 , SO_3 , NO_x , CH_x ...

Cảm biến oxy được triển khai ứng dụng khá rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau như công nghiệp hóa chất, công nghiệp chế biến thực phẩm, lĩnh vực hóa sinh, kiểm tra môi trường làm việc trong các phòng thí nghiệm...

Các yêu cầu đối với các cảm biến đo thành phần khí:

- Sử dụng để đo liên tục trực tiếp trong môi trường khí cần phân tích hoặc đo gián tiếp trên một nhánh luồng khí với mục đích thay đổi một số thông số vật lý (nhiệt độ, áp suất, tốc độ lưu thông, tránh bụi bẩn...)
- Không có các chất gây phản ứng hóa học.
- Không có sự can thiệp của con người ở mỗi lần đo.



Hình 5-7 : Các dạng cảm biến khí

5.3.1 Cảm biến áp điện thạch anh

Nguyên lý đo thành phần khí của cảm biến này rất đơn giản. Tần số dao động của tinh thể thạch anh giảm khi nó hấp thụ các phân tử khí trên bề mặt. Độ biến thiên tần số dao động của thạch anh ΔF là hàm của nồng độ khí hấp thụ:

$$\Delta F = KC \quad (5.7)$$

Trong đó:

K – hằng số đặc trưng của tinh thể thạch anh

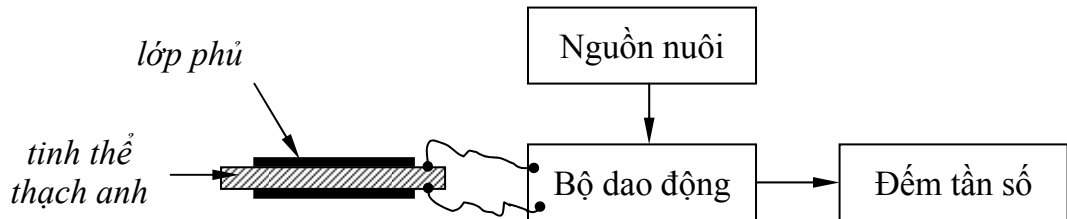
C – nồng độ khí phân tích

Bộ phận chính của thiết bị là một cảm biến áp được chế tạo từ một bản tinh thể thạch anh có tần số 9MHz kích thước từ 10mm đến 16mm, dày 0,19mm. Các điện cực hình tròn có đường kính khoảng $3 \div 8$ mm và dày $0,3 \div 1\mu m$. Hai mặt của bản thạch anh được phủ hai lớp hấp thụ chọn lọc đối với chất khí cần phân tích và có độ ổn định theo thời gian. Cảm biến được nối với bộ dao động tần số thấp và thiết bị đếm tần.

Các cảm biến này được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực:

Giáo trình Cảm biến

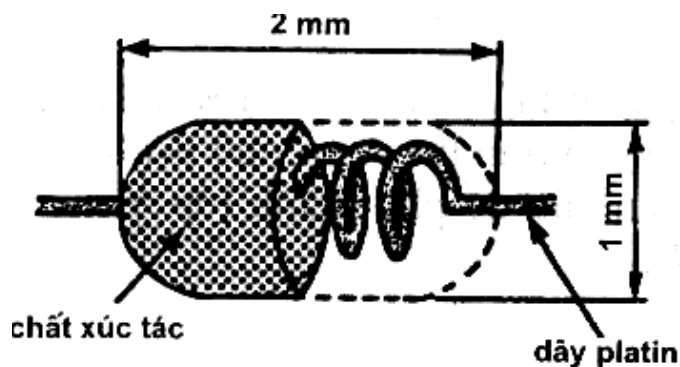
- Xác định độ ẩm (lớp phủ bản thạch anh làm từ vật liệu polyme có khả năng hút ẩm tốt, cảm biến có độ nhạy cao: 1ppm trong 30s, tính chọn lọc tốt và thời gian làm việc liên tục trên 6 tháng).
- Phân tích cacbua hydro.
- Phát hiện thuốc trừ sâu và các chất khí: SO_2 , NO_2 , NH_3 , HCl , H_2S .



Hình 5-8 : Thiết bị đo thành phần khí bằng dao động thạch

5.3.2 Cảm biến xúc tác

Cảm biến xúc tác được sử dụng chủ yếu trong công nghiệp để phát hiện các chất khí dễ cháy nổ. Cảm biến được chế tạo từ một dây platin đường kính 50 μm cuốn hình lò xo đặt chìm bên trong oxit chịu lửa có độ xốp nhỏ, thường là alumin.



Hình 5-9 : Cấu tạo của cảm biến xúc tác

Alumin được tẩm một trong các chất xúc tác như Pt, Pd, Ir hoặc hỗn hợp Pd-ThO₂ có tác dụng làm tăng độ nhạy của cảm biến.

Trong sử dụng cảm biến thường được mắc trong mạch cầu Wheastone với một phần tử không nhạy với chất khí cần phân tích. Hai phần tử này được nung nóng bằng hiệu ứng Joule đến nhiệt độ làm việc (450°C). Khi xuất hiện chất khí dễ cháy, nhiệt lượng cháy làm tăng nhiệt độ của cảm biến làm tăng điện trở của nó. Cầu mất thăng bằng cung cấp tín hiệu về hàm lượng chất khí dễ cháy trong hỗn hợp khí.

Cảm biến này không có tính chọn lọc và phản ứng với nhiều khí khác nhau như CH₄, butan, H₂, CO... với nồng độ thấp hơn 5%.

5.4 Cảm biến từ

Cảm biến từ được chế tạo dựa trên các nguyên tắc của hiện tượng cảm ứng điện từ. Thường được ứng dụng trong các thiết bị đo vận tốc, xác định vị trí và dịch chuyển, lực tác động...

5.4.1 Cảm biến đo vị trí và dịch chuyển

a. Nguyên lý

Vật cần đo vị trí được gắn với một phần tử của mạch từ gây nên sự biến thiên trong cuộn đo.

Nếu phần tử động là một lõi sắt từ và dịch chuyển tịnh tiến hoặc quay thì sự dịch chuyển này có thể nhận biết thông qua sự thay đổi hệ số tự cảm của cuộn dây hoặc thông qua mối quan hệ giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp của một biến thế (thay đổi điện áp giữa hai đầu cuộn thứ cấp).

Nếu phần tử động là một cuộn dây quay tương đối với một cuộn khác cố định (cuộn cảm và cuộn ứng) thì sự dịch chuyển quay có thể nhận biết thông qua sự thay đổi điện áp của cuộn ứng theo góc quay.

Sự thay đổi hệ số tự cảm L và hệ số cảm ứng M phụ thuộc vào sự dịch chuyển của lõi sắt từ. Sự phụ thuộc này là không tuyến tính. Để khắc phục người ta kết hợp hai cuộn dây đối nhau sao cho cùng một dịch chuyển thì hệ số L hoặc M biến thiên theo chiều ngược nhau. Sự không tuyến tính của hai cuộn dây sẽ triệt tiêu nhau.

Các cảm biến cảm ứng được mắc trong mạch điện có điện áp nguồn dạng sin ($E_s \cos \omega_s t$). Điện áp đo V_m do biến điệu biên độ điện áp nuôi gây nên do sự dịch chuyển $x(t)$, có dạng:

$$V_m = k \cdot x(t) \cdot E_s \cos(\omega_s t + \phi) \quad (5.8)$$

Cảm biến cảm ứng nhạy với từ trường ký sinh do đó phải đặt chúng trong vỏ bọc chắn từ trường.

b. Mạch từ có khe từ biến thiên

Hệ số tự cảm L được cho bởi biểu thức:

$$L = \mu_0 N^2 S \frac{1}{l_0 + \frac{l_f}{\mu_f}} \quad (5.9)$$

Trong đó:

N – số vòng dây

S – tiết diện mạch từ

μ_f – độ từ thẩm tương đối của vật liệu sắt từ; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

l_f và l_0 – chiều dài trung bình đường sức từ trong vật liệu sắt từ và trong không khí

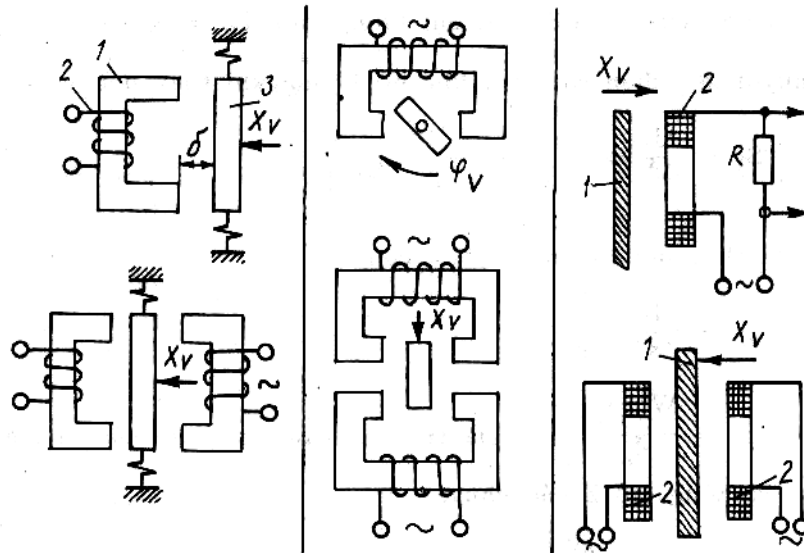
Để cảm ứng nhạy với sự thay đổi khoảng cách giữa các lõi sắt cần chọn $l_0 \gg \frac{l_f}{\mu_f}$, biểu thức trên có dạng:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l_0} \quad (5.10)$$

Sự dịch chuyển Δx làm thay đổi $\Delta l_0 = 2\Delta x$, khi đó hệ số tự cảm có giá trị:

$$L + \Delta L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2\Delta x}{l_0}} \quad (5.11)$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta L}{L} = -\frac{2\Delta x}{l_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2\Delta x}{l_0}} \quad (5.12)$$



Hình 5-10 : Mạch từ có khe từ biến thiên
1 – lõi sắt từ; 2 – cuộn dây; 3 – đối tượng di động

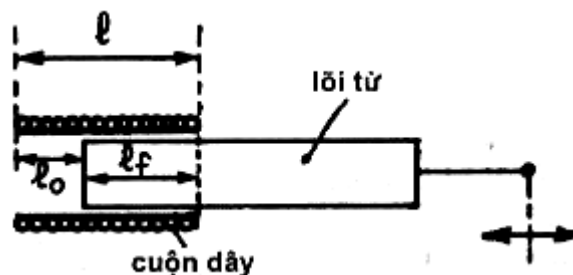
Để tăng độ nhạy và độ tuyến tính của cảm biến, người ta kết hợp hai mạch từ với nhau.

Độ biến thiên hệ số tự cảm của cuộn L' được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\Delta L' = \frac{2\mu_0 N^2 S}{l_0^2} \cdot \frac{\Delta x}{1 - \frac{2\Delta x}{l_0}} \quad (5.13)$$

c. Cuộn dây có lõi từ

Cảm biến gồm một cuộn dây độ dài l gồm N vòng dây, bên trong có lõi sắt từ. Phần của lõi sắt nằm trong cuộn dây có độ dài l_f thay đổi.



Hình 5-11 : Cuộn dây có lõi từ

Hệ số tự cảm L của cuộn dây phụ thuộc vào chiều dài l_f của lõi từ:

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{l^2} \left\{ s_0 l + (\mu_f - 1) s_f l_f + 2k \sqrt{s_0 [s_0 + (\mu_f - 1) s_f]} \cdot \sqrt{(l - l_f) l_f} \right\} \quad (5.14)$$

Trong đó:

k – hệ số ghép nối, có giá trị từ 0 đến 1

s_0 và s_f – tiết diện ngang của mạch từ và của khoảng giữa các lõi từ

Độ dịch chuyển Δl_f của lõi từ làm thay đổi độ từ cảm. Độ tự cảm là hàm không tuyến tính của Δl_f . Để cải thiện sự không tuyến tính bằng cách ghép hai cuộn dây đồng dạng vào thành hai nhánh kề sát nhau của một cầu điện trở có cùng chung một lõi sắt.

5.4.2 Cảm biến đo vận tốc

a. Tốc kế điện từ đo vận tốc dài

Trong trường hợp dịch chuyển thẳng có biên độ nhỏ, có thể chế tạo cảm biến bằng cách kết hợp một nam châm và một cuộn dây, một cố định, phần còn lại gắn với vật chuyển động. Khi chuyển động tương đối giữa cuộn dây và nam châm sẽ gây nên một suất điện động giữa hai đầu cuộn dây tỷ lệ với vận tốc chuyển động.

Nếu cuộn dây là động, nó sẽ được đặt trong từ trường xuyên tâm của nam châm. Suất điện động xuất hiện trong cuộn dây có dạng:

$$e = 2\pi r n B v = l B v \quad (5.15)$$

Trong đó:

r – bán kính vòng dây, n – số vòng dây; $l = 2\pi r n$ – tổng chiều dài dây quấn

B – giá trị cảm ứng từ

v – vận tốc dịch chuyển của cuộn dây

Tốc kế loại này đo được độ dịch chuyển đến vài mm với độ nhạy khoảng

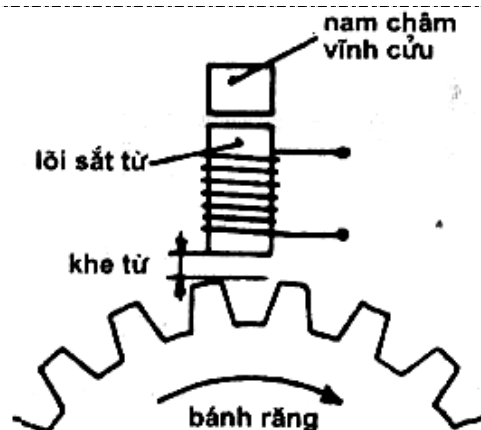
$$1 \frac{V}{(m/s)}.$$

Trong trường hợp dịch chuyển lớn hơn (0,5m), người ta cho nam châm dịch chuyển theo trục của hai cuộn dây.

Khi nam châm chuyển động, suất điện động cảm ứng trong từng cuộn dây tỷ lệ với tốc độ của nam châm nhưng có dấu ngược nhau, vì các cực ngược nhau chuyển động trong hai cuộn dây. Hai cuộn dây được đấu nối tiếp và ngược chiều để có suất điện động khác không.

b. Tốc kế đo tốc độ quay

Cảm biến từ trở biến thiên cuộn đo có lõi từ chịu tác động bởi từ trường của nam châm vĩnh cửu. Cuộn đo đặt đối diện với một đĩa quay làm bằng sắt từ có răng (bánh răng). Khi đĩa quay, từ trở của mạch từ biến thiên một cách tuần hoàn làm xuất hiện trong cuộn dây suất điện động có tần số tỷ lệ với tốc độ quay.



Hình 5-12 : Nguyên lý và cấu tạo của cảm biến từ trở biến thiên

Biên độ E của suất điện động trong cuộn dây phụ thuộc vào hai yếu tố:

- Khoảng cách giữa cuộn dây và đĩa quay (khe từ): khoảng cách càng lớn thì suất điện động càng nhỏ. Thông thường sự thay đổi khoảng cách này không vượt quá vài mm.
- Tốc độ quay: biên độ của suất điện động tỷ lệ thuận với tốc độ quay. Do đó, sẽ có vùng tốc độ quá bé (tốc độ “chết”) không thể đo được suất điện động. Khe từ càng lớn thì vùng này càng rộng.

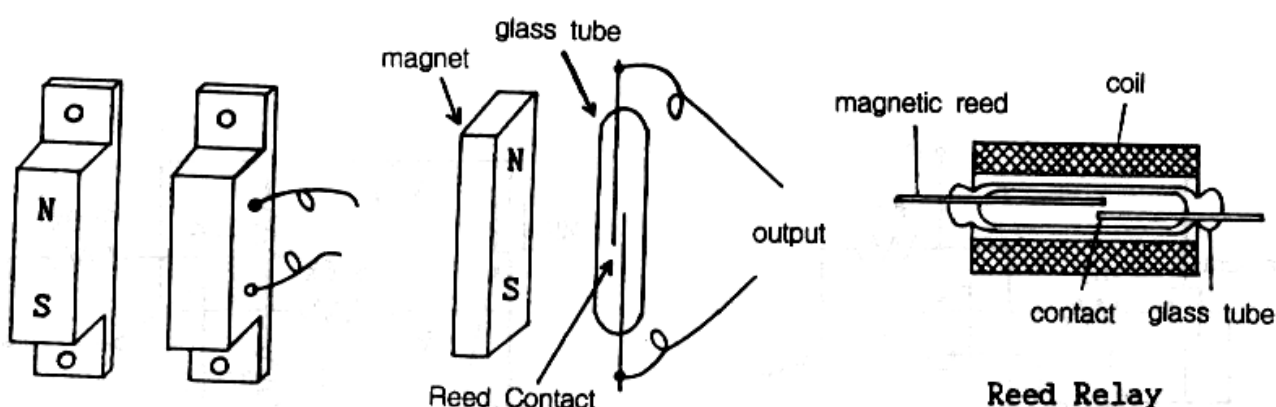
Dải đo của cảm biến từ trở biến thiên phụ thuộc vào số răng p của đĩa. Tốc độ đo được tối thiểu $V_{\min}$ càng nhỏ khi p càng lớn. Tốc độ đo được tối đa $V_{\max}$ càng lớn khi p càng nhỏ.

Thí dụ: đĩa quay có 60 răng tốc độ đo được từ 50 đến 500 vòng/phút; đĩa quay có 15 răng, dải tốc độ đo được từ 500 đến 10000 vòng/phút.

5.5 Cảm biến công tắc

5.5.1 Công tắc lưỡi gà

Cấu tạo gồm hai tiếp điểm từ đặt trong một bóng thủy tinh chứa khí trơ hoặc được hút chân không.



Hình 5-13 : Công tắc lưỡi gà

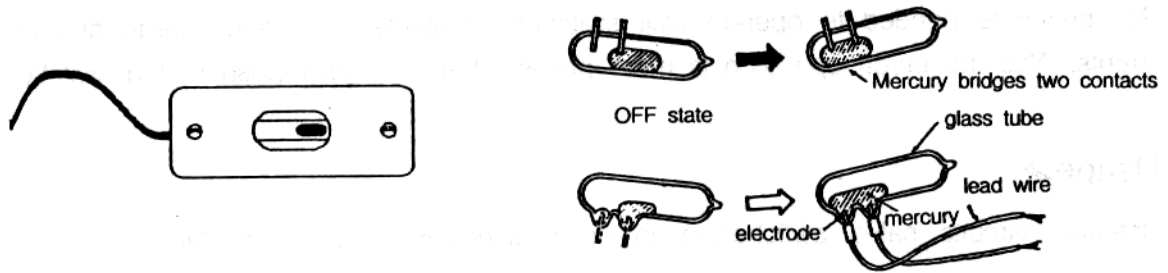
Khi một nam châm đi qua công tắc, các tiếp điểm từ được chế tạo từ các vật liệu từ sẽ tương tác với nhau.

Một số trường hợp, công tắc lưỡi gà được đặt trong một cuộn dây, khi đó điện áp DC là tác nhân làm đóng công tắc. Thiết bị này còn được gọi là relay lưỡi gà.

Đặc điểm:

- Hiệu suất cảm biến không chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm.
- Độ chính xác cao.
- Giá thành thấp
- Cần tránh xa nam châm vĩnh cửu có thể gây hỏng công tắc.

5.5.2 Công tắc thủy ngân



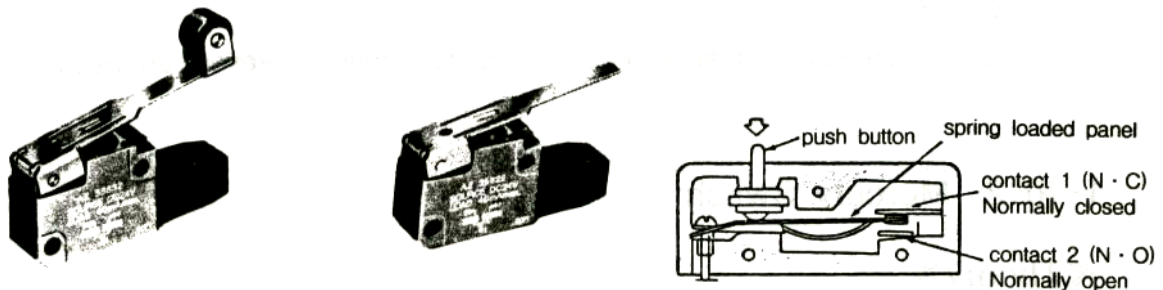
Hình 5-14 : Công tắc thủy ngân

Công tắc thủy ngân được chế tạo từ thủy ngân dẫn điện dạng lỏng chứa trong bóng thủy tinh kín và một số tiếp điểm điện. Tùy thuộc vào góc nghiêng của bóng thủy tinh, công tắc tạo ra sự kết nối giữa hai tiếp điểm.

Công tắc thủy ngân có tuổi thọ tiếp điểm cao, do không có sự tương tác cơ học.

5.5.3 Công tắc giới hạn

Công tắc giới hạn là một dạng công tắc nhỏ. Khi cần cảm ứng bị nén bởi một sự chuyển động, tiếp điểm bên trong sẽ đóng lại.



Hình 5-15 : Công tắc giới hạn

Cảm biến công tắc được dùng nhiều trong các ứng dụng robot. Cảm biến công tắc được sử dụng với nhiều mục đích, chẳng hạn:

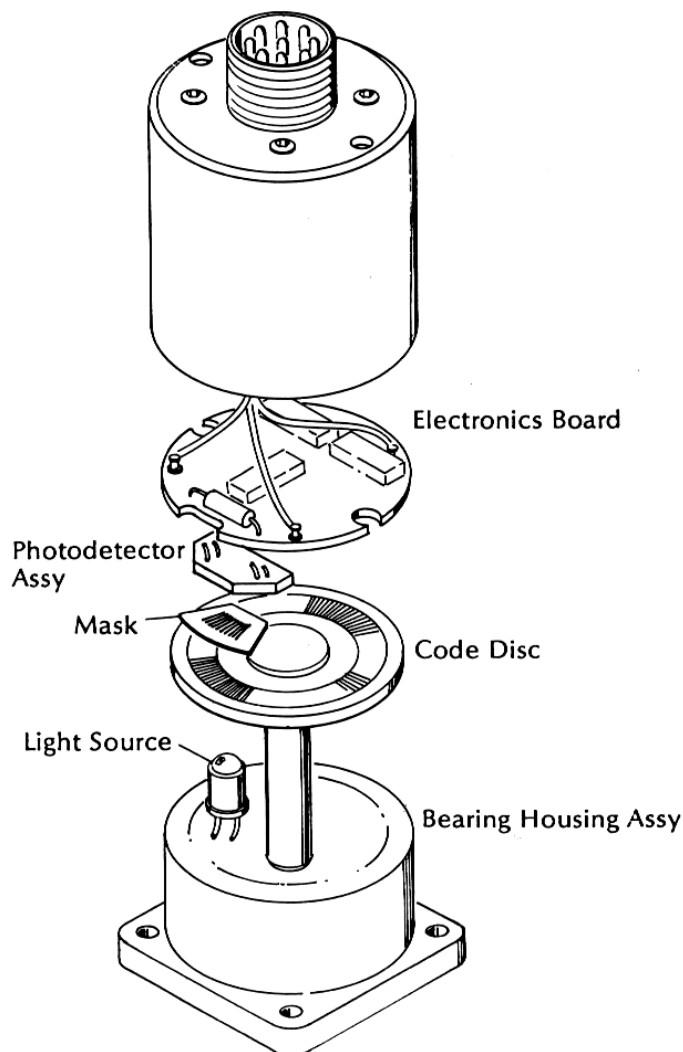
- Cảm biến va chạm (tiếp xúc): cảm biến công tắc được dùng để phát hiện khi có va chạm cơ học với một vật nào đó. Thí dụ, cảm biến công tắc tạo ra một sự chuyển mạch khi thân robot chạy vào tường hoặc chạm giới hạn đường chạy của robot.
- Cảm biến giới hạn: tương tự như cảm biến tiếp xúc, cảm biến giới hạn phát hiện một vật đã di chuyển đến cuối hành trình của nó, khi đó tín hiệu điều khiển motor sẽ tắt.
- Mã hóa trục quay (shaft): một trục quay kết hợp với một công tắc chạm sẽ được ấn một lần ở một vòng quay. Phần mềm đếm số lần ấn để xác định số vòng và tốc độ quay của trục.

5.6 Encoder quang

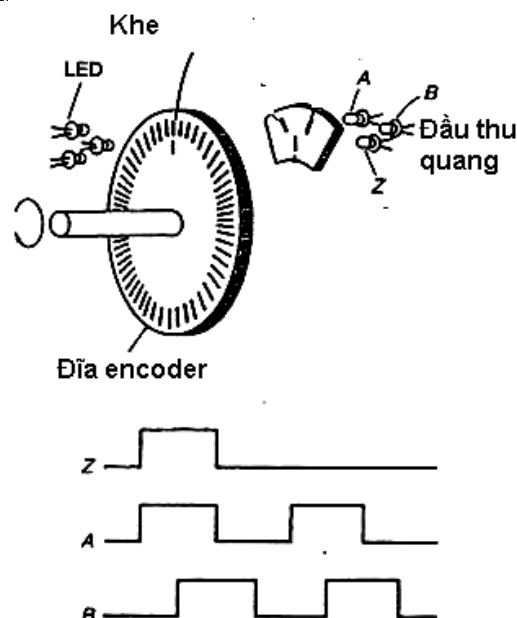
Encoder là một thiết bị cảm biến chuyển đổi tín hiệu vật lý dạng chuyển động thành tín hiệu điện, được sử dụng trong một số thiết bị điều khiển (chẳng hạn PLC) để điều khiển các cơ cấu chấp hành khác trong việc định vị tọa độ hay điều khiển tốc độ của các loại động cơ.

Có nhiều kỹ thuật để chế tạo encoder, thông dụng nhất là các kỹ thuật cơ, từ, trở kháng và quang học.

Các thành phần chính của encoder quang bao gồm một nguồn sáng, một đầu thu quang (photodiode hoặc phototransistor) và đĩa encoder. Đĩa encoder được gắn đồng trục với vật quay có các vùng phản xạ hoặc trong suốt được bố trí tuần hoàn xen kẽ với các phần chắn sáng giữa nguồn sáng và đầu thu quang.



Hình 5-16 : Cấu tạo encoder



Hình 5-17 : Nguyên tắc hoạt động của encoder

Ánh sáng từ nguồn sáng phát ra đến đĩa encoder nếu gặp phần trong suốt (phản xạ) sẽ xuyên qua (phản xạ) đĩa và được nhận được tại đầu thu quang. Nếu ánh sáng gặp các phần chắn sáng sẽ không đến được đầu thu. Do đó khi vật quay chuyển động, đầu thu sẽ nhận được một thông lượng được biến điệu và nó phát ra tín hiệu có tần số tỷ lệ với tốc độ quay.

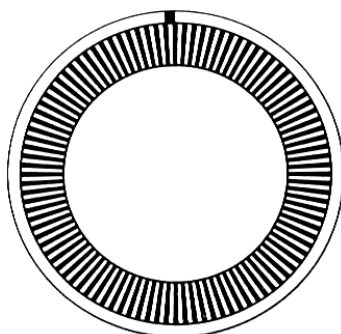
Có hai dạng encoder chính bao gồm endcoder cho phép xác định sự tăng tín hiệu (encoder dạng tăng) và encoder cho phép xác định giá trị chính xác của tín hiệu (encoder chính xác).

5.6.1 Encoder dạng tăng

Xác định sự tăng tín hiệu dựa vào một chuỗi các sóng cao và thấp cho phép xác định sự di chuyển từ vị trí này sang vị trí khác, dạng này chỉ phát hiện được sự thay đổi tọa độ.

a. Tachometer encoder

Đây là loại encoder dạng tăng đơn giản nhất. Thường dùng trong các hệ thống chỉ quay một hướng và đòi hỏi thông tin đơn giản về vị trí và vận tốc. Đối với loại encoder này người dùng chỉ có thể xác định được vận tốc quay nhưng không thể xác định được hướng quay, do đó không thể sử dụng như cảm biến vị trí.

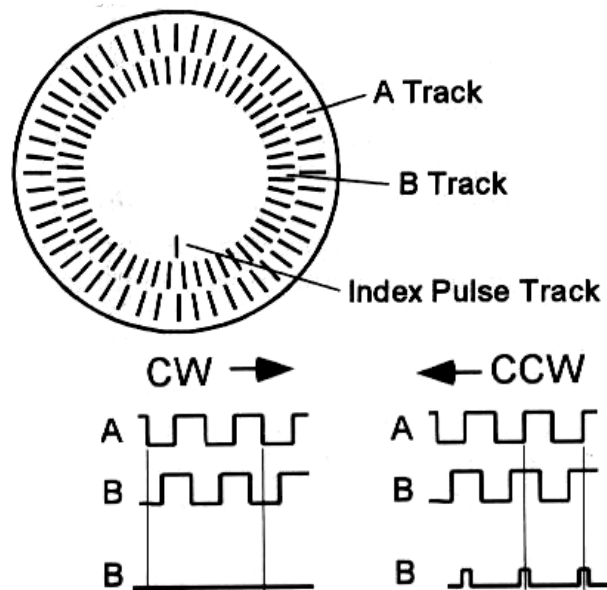


Hình 5-18 : Đĩa tachometer encoder

b. Phase-Quadrature encoder

Để khắc phục nhược điểm của Tachometer encoder, người ta bổ sung thêm một kênh thứ hai lệch với kênh thứ nhất 90° vào đĩa encoder.

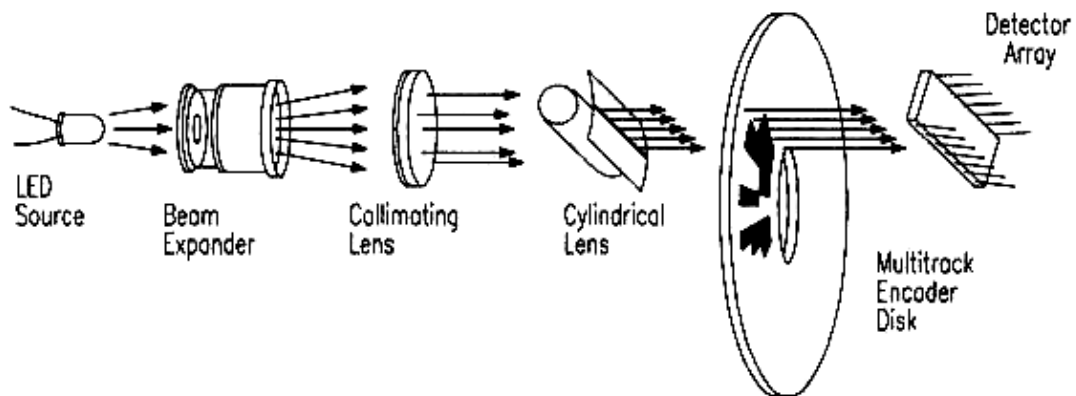
Dựa vào sự lệch pha của hai tín hiệu đáp ứng của hai kênh ta có thể xác định được chiều quay của vật quay.



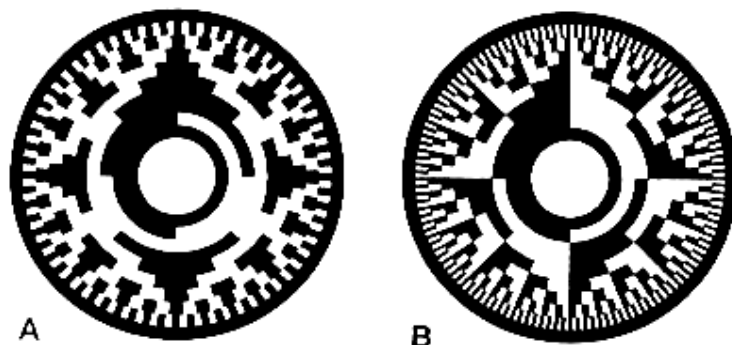
Hình 5-19 : Đĩa phase-quadrature encoder

5.6.2 Encoder chính xác

Encoder chính xác cho phép người dùng xác định một cách chính xác giá trị các thông tin về vận tốc, vị trí, hướng quay... bằng cách sử dụng đĩa quay nhiều kênh có các phần trong suốt hoặc phản xạ được sắp xếp theo thứ tự các loại mã nhị phân, Gray...



Hình 5-20 : Các thành phần chính của encoder chính xác

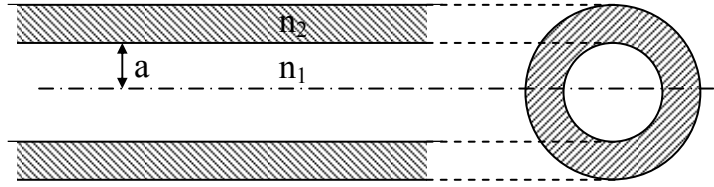


Hình 5-21 : Các dạng đĩa encoder chính xác

5.7 Cáp quang

5.7.1 Cấu tạo và tính năng

Cáp quang bao gồm một lõi chiết suất n_1 , bán kính a ($10 \div 100\mu\text{m}$) và một vỏ chiết suất $n_2 < n_1$ dày $\sim 50\mu\text{m}$.



Hình 5-22 : Mặt cắt của cáp quang

Các vật liệu sử dụng để chế tạo cáp quang bao gồm:

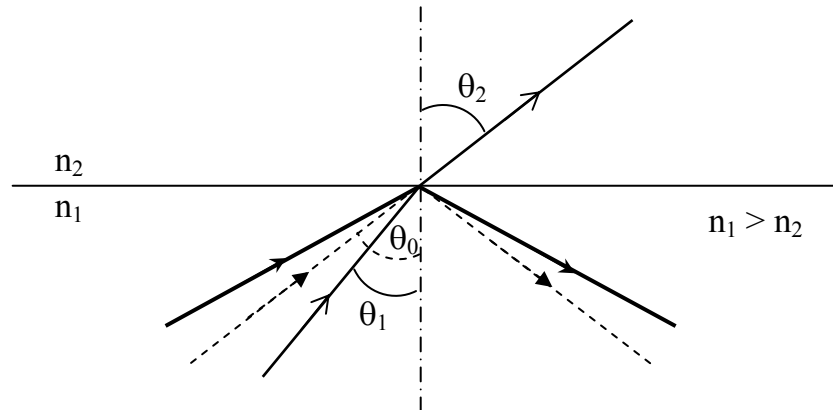
- SiO₂ tinh khiết hoặc pha tạp nhẹ.
- Thủy tinh, thành phần của SiO₂ và phụ gia Na₂O₃, B₂O₃, PbO...
- Polyme.

Ở mặt phân cách giữa 2 môi trường có chiết suất tương ứng bằng n_1 và n_2 , các góc θ_1 , θ_2 do một tia sáng tạo thành với đường trục góc của mặt phẳng:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (5.16)$$

Khi $n_1 > n_2$ sẽ xảy ra phản xạ toàn phần nếu:

$$\theta_1 > \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \theta_0 \quad (5.17)$$



Hình 5-23 : Hiện tượng khúc xạ, phản xạ

Trong cáp quang, tia sáng sẽ bị giam giữ trong lõi và được truyền đi bằng phản xạ liên tục nối tiếp nhau.

5.7.2 Ứng dụng

a. Truyền thông tin

Truyền thông tin dưới dạng tín hiệu ánh sáng lan truyền trong cáp quang là để tránh các tín hiệu điện từ ký sinh hoặc để đảm bảo cách điện giữa mạch điện nguồn và máy thu. Trong những ứng dụng loại này, thông tin được truyền đi chủ yếu bằng cách

mã hóa các xung ánh sáng. Ngoài ra người ta còn có thể truyền thông tin đi bằng cách biến điệu biên độ hoặc tần số của ánh sáng.

b. Quang sát và đo đạc bằng phương tiện quang học

Cáp quang cho phép quan sát hoặc đo đạc bằng các phương pháp quang ở những chỗ khó tiếp cận hoặc trong các môi trường độc hại. Sử dụng cáp quang có thể dẫn ánh sáng đến những vị trí mà trong điều kiện bình thường ánh sáng không thể chiếu tới được.

Nguồn sáng phát ra bức xạ dưới dạng xung để phân biệt nó với ánh sáng môi trường. Bức xạ này được dẫn đến khu vực đo bằng cáp quang Fa. Các đại lượng đo có thể là vị trí của một vật thể (phản xạ hoặc hấp thụ ánh sáng), tốc độ quay, thành phần hóa học của môi trường, nhiệt độ... Trong khu vực đo, tia bức xạ bị thay đổi và sự thay đổi này phụ thuộc vào đại lượng đo. Tùy từng trường hợp cụ thể mà ta thu được những thay đổi khác nhau của tia bức xạ:

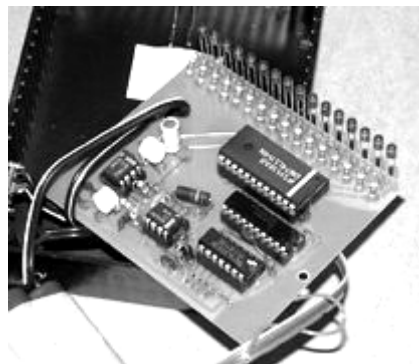
- Thay đổi cường độ trong trường hợp đo vị trí
- Biến điệu tần số tỉ lệ với tốc độ quay
- Thay đổi bước sóng trong trường hợp đo nhiệt độ: ánh sáng tới làm phát quang vật liệu, ánh sáng do vật liệu bức xạ ra có phổ phụ thuộc vào nhiệt độ.

Các tia phản xạ trở lại, tia bị truyền trở lại hoặc tia mới phát xạ được thu lại bằng cáp quang Fr và được đưa đến một cảm biến quang. Cảm biến sẽ cung cấp tín hiệu điện chứa thông tin về đại lượng cần đo.

Trong những ứng dụng này, trong một số trường hợp tín hiệu quang dưới tác động của một đại lượng vật lý làm thay đổi tính chất quang của cáp quang và do đó thay đổi điều kiện lan truyền sóng. Lúc này cáp quang đóng vai trò cảm biến để chuyển đổi đại lượng vật lý cần đo thành tín hiệu quang.

5.8 Một số ứng dụng của cảm biến

5.8.1 Tachometer quang hiển thị tốc độ quay bằng LED



Hình 5-24 : Tachometer quang

a. Đặc điểm

- Có thể lựa chọn các dải tốc độ làm việc: 0 – 4000 rpm, 0 – 8000 rpm, 0 – 16000 rpm, 0 – 32000 rpm.
- Độ phân giải: 250 rpm, 500 rpm, 1000 rpm, 2000 rpm.
- Điện áp sử dụng: 9V pin alkaline hoặc 4 x AA 4,8V pin NiCd/NiMH
- Cảm biến: phototransistor NPN

b. Mạch điện

Các linh kiện chính:

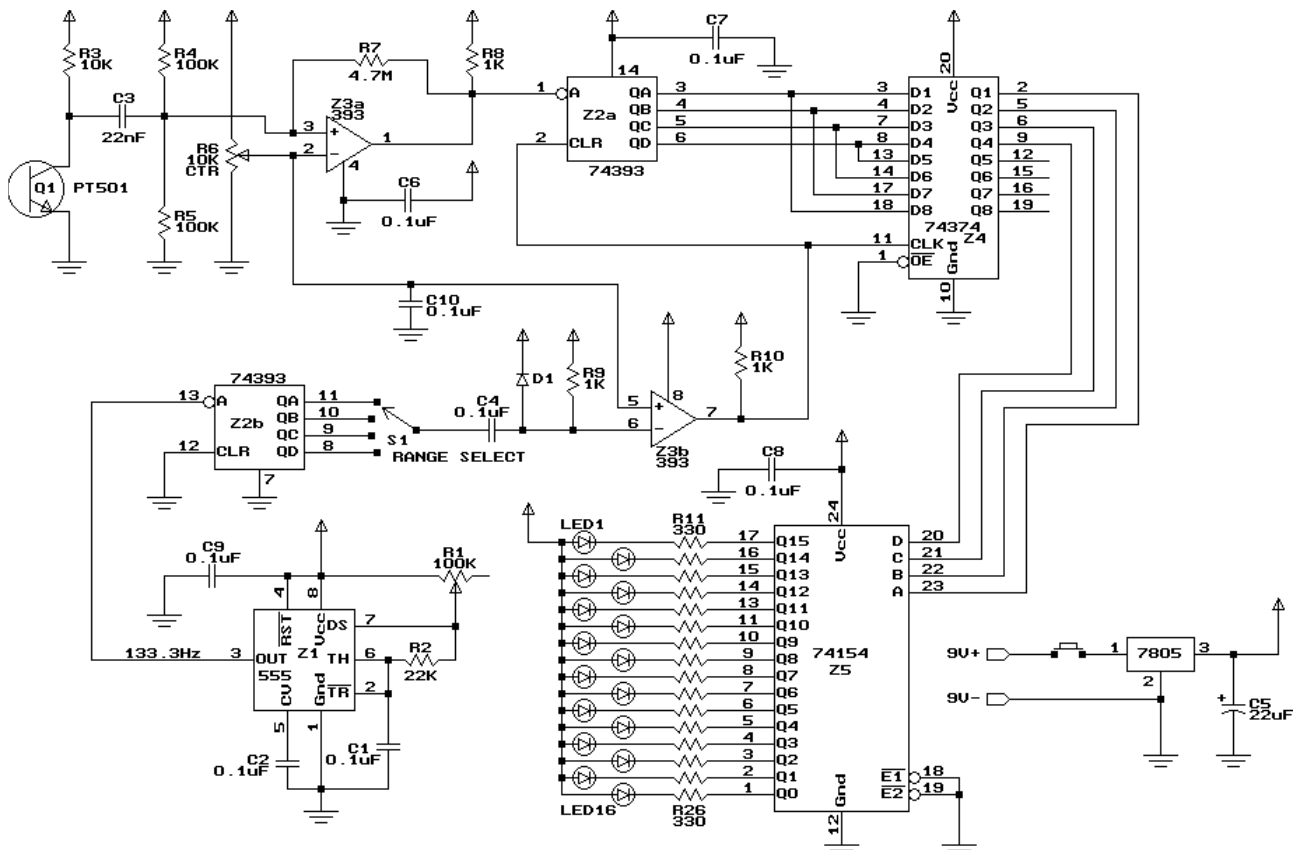
- Phototransistor PT501
- LM393 bộ so sánh điện áp
- LM555 dùng để tạo bộ dao động tạo tần số chuẩn 133,3 Hz
- 74393 bộ đếm, chia tần 4 bit
- 74373 bộ chốt 8 bit
- 74154 bộ giải mã 4 $\rightarrow$ 16

Hoạt động của mạch điện:

Điện áp tại cực thu PT501 phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào thay đổi từ 0,7V (sáng) đến 5V (tối). Điện áp này được so sánh với điện áp từ chiết áp R6 thông qua bộ so sánh điện áp LM393. Tín hiệu ngõ ra mạch so sánh được đưa vào bộ đếm 4 bit 74393, các ngõ ra bộ đếm này biểu diễn số xung được nhận vào. Các ngõ ra của bộ đếm 4 bit được đưa vào bốn ngõ vào bộ chốt 8 bit 74373. Bộ chốt này có chức năng “giữ” lại giá trị số đếm trong một khoảng thời gian trì hoãn được tạo ra bởi bộ dao động từ LM555.

Các ngõ ra của bộ chốt được đưa vào bộ giải mã 4 $\rightarrow$ 16 74154. Giá trị nhị phân được giải mã và hiển thị thông qua 16 LED tương ứng ở ngõ ra bộ giải mã.

Bộ dao động từ LM555 có tần số tại ngõ ra là 133,3Hz. Ngõ ra này được đưa vào bộ chia tần 4 bit. Các ngõ ra QA, QB, QC, QD có tần số lần lượt là 66,67Hz, 33,33Hz, 16,67Hz và 8,333Hz. Công tắc chuyển mạch S1 sẽ chọn một trong các ngõ ra này để đặt thời gian trì hoãn cho bộ chốt.



Hình 5-25 : Mạch điện tachometer quang

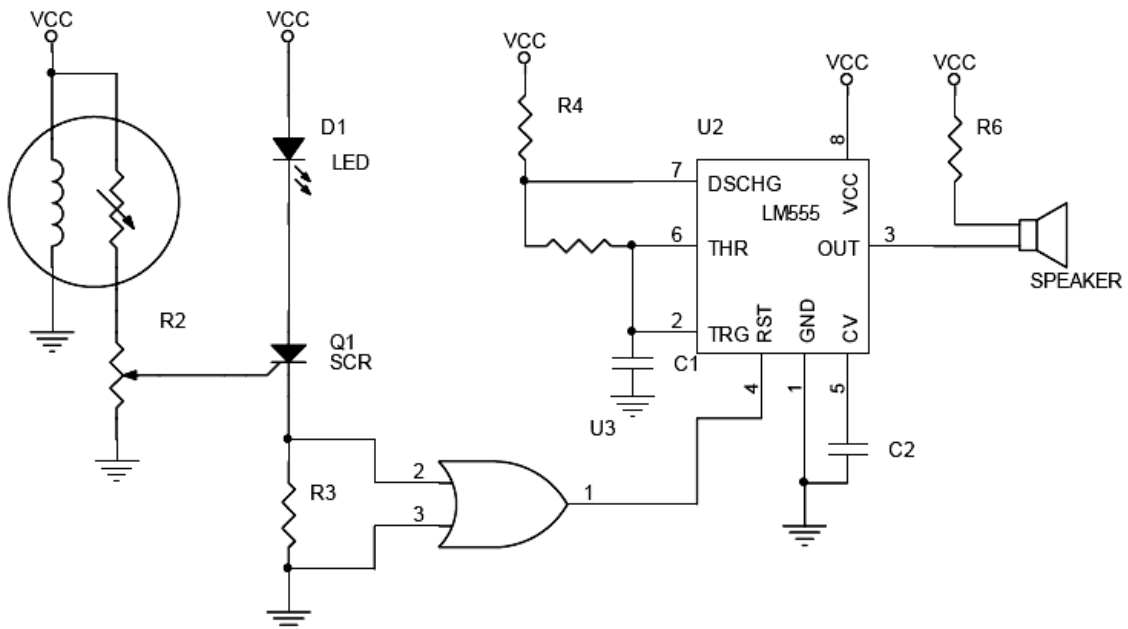
Nếu cần đo vận tốc quay trong dải từ 0 đến 16000rpm, ta cần đếm từ 0 đến 32000 xung/phút (hai cánh quạt) tức là 533,3 xung/s. Do bộ đếm xung chỉ đếm từ 0 đến 15 nên ta không thể đếm theo giây.

Thực tế ta đếm trong từng $1/33,33$ giây (30ms). Trong khoảng thời gian, đó với một ngõ vào 1600rpm, bộ đếm nhận được 16 xung có nghĩa là số đếm sẽ quay về không. Do đó, tại ngõ vào 15999rpm, nó chỉ nhận được 15 xung, ta cần “giữ” ngõ ra bộ đếm và sau đó reset trong mỗi 30ms.

Để làm được điều này ta cần có một chuỗi xung 33,33Hz. Tương tự, cho ba trường hợp 0 – 4000rpm, 0 – 8000rpm và 0 – 32000rpm ta cần các chuỗi xung tương ứng 8,333Hz, 16,67Hz và 66,67Hz từ bộ dao động dùng LM555.

5.8.2 Ứng dụng cảm biến khí phát hiện khí metan

Cảm biến khí hoạt động như một biến trở (điện trở của nó phụ thuộc vào nồng độ gas), khi gas đi qua bề mặt cảm biến điện trở chất bán dẫn giảm xuống. Dòng kích SCR tăng lên, kích SCR dẫn. LED D1 sáng, đồng thời IC555 được reset, phát ra âm thanh báo động.



Hình 5-26: Thiết bị phát hiện khí metan

5.8.3 Bộ đọc mã vạch

Mã vạch là những vạch đậm hoặc mảnh dùng để mã hóa số hay chữ cái.

Có nhiều loại mã vạch khác nhau, phổ biến nhất là mã sản phẩm thông dụng (Universal Product Code – UPC) và mã nhận dạng ký tự bằng quang học (Optical Character Recognition – OCR).

Có hai loại mã vach thường gặp nhất là:

- Vạch đen là 1, vạch trắng là 0.
- Mã vạch n từ m phần tử: vạch đen/trắng rộng là 1, vạch đen/trắng hẹp là 0.

Máy quét mã vạch phát tia laser công suất thấp. Tia sáng gặp mã vạch phản xạ lại một cảm biến quang. Cảm biến này chuyển tín hiệu quang mang thông tin mã vạch thành tín hiệu điện.

- Nguồn sáng chuyển động nhờ gương đa giác quay, mã cố định.

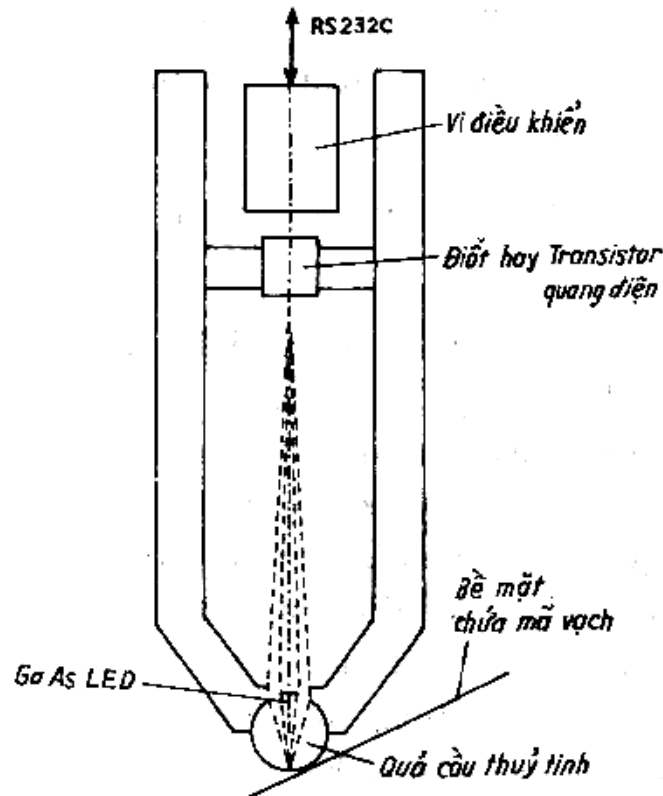
- Nguồn sáng cố định, mã chuyển động.

Bút quang:

Tia laser được led phát ra hội tụ qua thấu kính hình cầu lên mã vạch. Tia phản xạ được hội tụ qua thấu kính về cảm biến. Cảm biến cho tín hiệu khoảng 1,1V khi gặp phản trắng và 0V khi gặp phản đen.

Vận tốc quét tối đa 1m/s. Mã vạch được giải mã thành ký tự ASCII. Bộ giải mã là vi điều khiển chuyên dùng, mã ASCII được truyền đến máy tính thông qua giao tiếp RS232. Bộ giải mã được nối với loa nhỏ, phát âm thanh báo hiệu khi quét xong.

Trở ngại chính là không thể đọc chính xác nếu các vạch bị bẩn hoặc in nhòe.



Hình 5-27: Sơ đồ bộ đọc mã vạch

5.8.4 Đo mức chất lưu

Ứng dụng này sử dụng các cảm biến này chuyển đổi mức chất lỏng thành tín hiệu điện.

a. Cảm biến độ dẫn

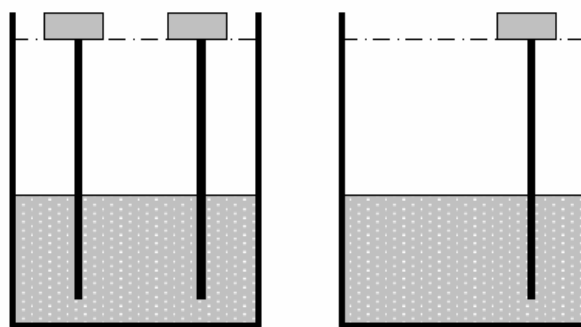
Chỉ dùng cho các chất lưu dẫn điện ($\sigma \approx 50\mu\text{Scm}^{-1}$), không ăn mòn kim loại.

Cấu tạo gồm hai điện cực hình trụ, nếu bình chứa bằng kim loại thì bình chứa là một điện cực. Đầu đo được nuôi bằng điện áp xoay chiều $\approx 10\text{V}$ để tránh hiện tượng phân cực.

Có hai chế độ đo:

- Đo liên tục:

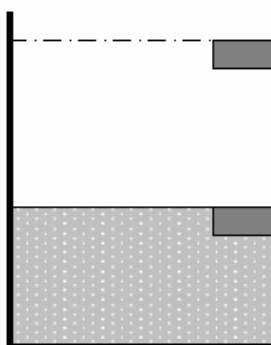
Đầu đo được đặt theo vị trí thẳng đứng, chiều dài đầu đo bằng chiều cao của mức chất lỏng cần đo. Dòng điện giữa các điện cực tỷ lệ với chiều dài điện cực ngập trong chất lưu. Độ lớn tín hiệu điện phụ thuộc vào độ dẫn của chất lưu.



Hình 5-28: Sơ đồ bố trí đo liên tục

- Phát hiện theo ngưỡng:

Điện cực được đặt theo phương nằm ngang, vị trí mỗi điện cực tương ứng một mức chất lưu. Khi chất lỏng đạt đến mức điện cực, xuất hiện dòng điện có biên độ không đổi.



Hình 5-29: Sơ đồ bố trí đo theo ngưỡng

b. Cảm biến tụ điện

Được sử dụng khi chất lỏng là chất cách điện, hằng số điện môi của chất lưu phải lớn hơn hằng số điện môi không khí, thường là gấp đôi.

Có thể tạo thành tụ điện bằng hai điện cực (thành bình chứa kim loại và một điện cực). Chất điện môi giữa hai điện cực là phần ngập chất lỏng và phần không khí. Mức chất lưu được chuyển thành điện dung tụ điện. Điện dung này thay đổi theo mức chất lưu.

Nếu chất lưu dẫn điện, sử dụng một điện cực có phủ chất cách điện, lớp cách điện đóng vai trò là điện môi, chất lỏng là điện cực thứ hai.