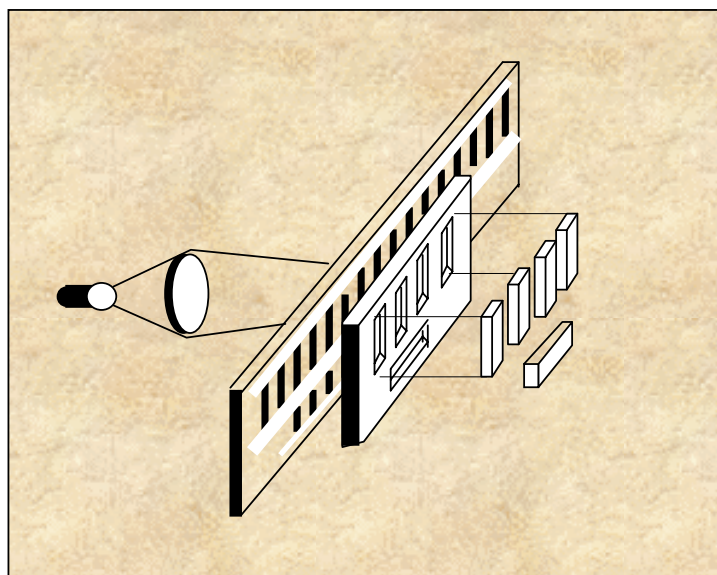

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

Th.S. Hoàng Minh Công

GIÁO TRÌNH CẢM BIẾN CÔNG NGHIỆP



- ĐÀ NẴNG 2004 -

LỜI MỞ ĐẦU

Cảm biến được định nghĩa như một thiết bị dùng để cảm nhận và biến đổi các đại lượng vật lý và các đại lượng không mang tính chất điện thành các đại lượng điện có thể đo được. Nó là thành phần quan trọng trong một thiết bị đo hay trong một hệ điều khiển tự động.

Đã từ lâu các bộ cảm biến được sử dụng như những bộ phận để cảm nhận và phát hiện, nhưng chỉ từ vài ba chục năm trở lại đây chúng mới thể hiện vai trò quan trọng trong kỹ thuật và công nghiệp đặc biệt là trong lĩnh vực đo lường, kiểm tra và điều khiển tự động. Nhờ các tiến bộ của khoa học và công nghệ trong lĩnh vực vật liệu, thiết bị điện tử và tin học, các cảm biến đã được giảm thiểu kích thước, cải thiện tính năng và ngày càng mở rộng phạm vi ứng dụng. Giờ đây không có một lĩnh vực nào mà ở đó không sử dụng cảm biến. Chúng có mặt trong các hệ thống tự động phức tạp, người máy, kiểm tra chất lượng sản phẩm, tiết kiệm năng lượng, chống ô nhiễm môi trường. Cảm biến cũng được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực giao thông vận tải, sản xuất hàng tiêu dùng, bảo quản thực phẩm, sản xuất ô tô ... Bởi vậy trang bị những kiến thức cơ bản về cảm biến trở thành một yêu cầu quan trọng đối với các cán bộ kỹ thuật.

Đối với sinh viên ngành cơ điện tử cũng như các ngành tự động hoá trong các trường đại học kỹ thuật, môn học cảm biến công nghiệp là một môn học bắt buộc trong chương trình đào tạo, nhằm trang bị những kiến thức cơ bản về cảm biến để học tốt các môn học chuyên ngành. Giáo trình cảm biến công nghiệp được viết cho chuyên ngành cơ điện tử gồm 10 chương, giới thiệu những kiến thức cơ bản về cảm biến, cấu tạo, nguyên lý hoạt động, các đặc trưng cơ bản và sơ đồ mạch đo của những cảm biến được sử dụng phổ biến trong công nghiệp cũng như trong thí nghiệm, nghiên cứu và được sắp xếp theo công dụng của các bộ cảm biến.

Do nội dung giáo trình bao quát rộng, tài liệu tham khảo hạn chế và trình độ có hạn của người biên soạn nên chắc chắn giáo trình không tránh khỏi sai sót. Tác giả mong muốn nhận được sự góp ý của bạn đọc và đồng nghiệp để giáo trình được hoàn thiện hơn. Các nhận xét, góp ý xin gửi về Khoa Cơ khí Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng.

Tác giả

Chương I

CÁC KHÁI NIỆM VÀ ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN

1.1. Khái niệm và phân loại cảm biến

1.1.1. Khái niệm

Cảm biến là thiết bị dùng để cảm nhận biến đổi các đại lượng vật lý và các đại lượng không có tính chất điện cần đo thành các đại lượng điện có thể đo và xử lý được.

Các đại lượng cần đo (m) thường không có tính chất điện (như nhiệt độ, áp suất ...) tác động lên cảm biến cho ta một đặc trưng (s) mang tính chất điện (như điện tích, điện áp, dòng điện hoặc trở kháng) chứa đựng thông tin cho phép xác định giá trị của đại lượng đo. Đặc trưng (s) là hàm của đại lượng cần đo (m):

$$s = F(m)$$

(1.1)

Người ta gọi (s) là đại lượng đầu ra hoặc là phản ứng của cảm biến, (m) là đại lượng đầu vào hay kích thích (có nguồn gốc là đại lượng cần đo). Thông qua đo đạc (s) cho phép nhận biết giá trị của (m).

1.1.2. Phân loại cảm biến

Các bộ cảm biến được phân loại theo các đặc trưng cơ bản sau đây:

- Theo nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích (bảng 1.1).

Bảng 1.1

Hiện tượng	Chuyển đổi đáp ứng và kích thích
Hiện tượng vật lý	- Nhiệt điện - Quang điện - Quang từ - Điện từ - Quang đàn hồi - Từ điện - Nhiệt từ...
Hoá học	- Biến đổi hoá học - Biến đổi điện hoá - Phân tích phổ ...
Sinh học	- Biến đổi sinh hoá - Biến đổi vật lý - Hiệu ứng trên cơ thể sống ...

- Phân loại theo dạng kích thích (bảng 1.2)

Bảng 1.2

Âm thanh	<ul style="list-style-type: none"> - Biên pha, phân cực - Phổ - Tốc độ truyền sóng ...
Điện	<ul style="list-style-type: none"> - Điện tích, dòng điện - Điện thế, điện áp - Điện trường (biên, pha, phân cực, phổ) - Điện dẫn, hằng số điện môi ...
Từ	<ul style="list-style-type: none"> - Từ trường (biên, pha, phân cực, phổ) - Từ thông, cường độ từ trường - Độ từ thẩm ...
Quang	<ul style="list-style-type: none"> - Biên, pha, phân cực, phổ - Tốc độ truyền - Hệ số phát xạ, khúc xạ - Hệ số hấp thụ, hệ số bức xạ ...
Cơ	<ul style="list-style-type: none"> - Vị trí - Lực, áp suất - Gia tốc, vận tốc - Ứng suất, độ cứng - Mô men - Khối lượng, tỉ trọng - Vận tốc chất lưu, độ nhớt ...
Nhiệt	<ul style="list-style-type: none"> - Nhiệt độ - Thông lượng - Nhiệt dung, tỉ nhiệt ...
Bức xạ	<ul style="list-style-type: none"> - Kiểu - Năng lượng - Cường độ ...

- Theo tính năng của bộ cảm biến (bảng 1.3)

Bảng 1.3

<ul style="list-style-type: none"> - Độ nhạy - Độ chính xác 	<ul style="list-style-type: none"> - Khả năng quá tải - Tốc độ đáp ứng
---	--

<ul style="list-style-type: none"> - Độ phân giải - Độ chọn lọc - Độ tuyến tính - Công suất tiêu thụ - Dải tần - Độ trễ 	<ul style="list-style-type: none"> - Độ ổn định - Tuổi thọ - Điều kiện môi trường - Kích thước, trọng lượng
---	---

- Phân loại theo phạm vi sử dụng (bảng 1.4).

Bảng 1.4

<ul style="list-style-type: none"> - Công nghiệp - Nghiên cứu khoa học - Môi trường, khí tượng - Thông tin, viễn thông - Nông nghiệp - Dân dụng - Giao thông - Vũ trụ - Quân sự
--

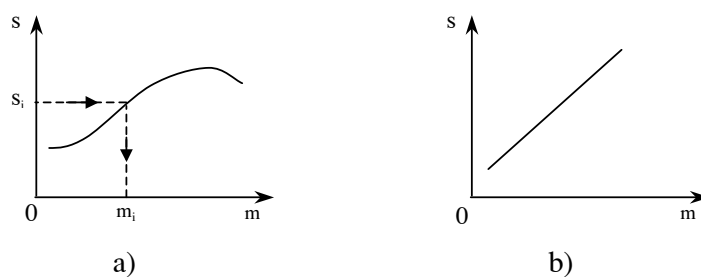
- Phân loại theo thông số của mô hình mạch thay thế :

- + Cảm biến tích cực có đầu ra là nguồn áp hoặc nguồn dòng.
- + Cảm biến thụ động được đặc trưng bằng các thông số R, L, C, M tuyến tính hoặc phi tuyến.

1.2. Đường cong chuẩn của cảm biến

1.2.1. Khái niệm

Đường cong chuẩn cảm biến là đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của đại lượng điện (s) ở đầu ra của cảm biến vào giá trị của đại lượng đo (m) ở đầu vào. Đường cong chuẩn có thể biểu diễn bằng biểu thức đại số dưới dạng $s = F(m)$, hoặc bằng đồ thị như hình 1.1a.



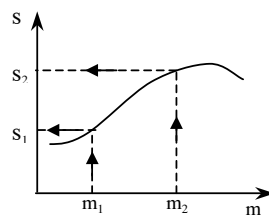
Hình 1.1 Đường cong chuẩn cảm biến
a) Dạng đường cong chuẩn b) Đường cong chuẩn của cảm biến tuyến tính

Dựa vào đường cong chuẩn của cảm biến, ta có thể xác định giá trị m_i chưa biết của m thông qua giá trị đo được s_i của s .

Để dễ sử dụng, người ta thường chế tạo cảm biến có sự phụ thuộc tuyến tính giữa đại lượng đầu ra và đại lượng đầu vào, phương trình $s = F(m)$ có dạng $s = am + b$ với a, b là các hệ số, khi đó đường cong chuẩn là đường thẳng (hình 1.1b).

1.2.2. Phương pháp chuẩn cảm biến

Chuẩn cảm biến là phép đo nhằm mục đích xác lập mối quan hệ giữa giá trị s đo được của đại lượng điện ở đầu ra và giá trị m của đại lượng đo có tính đến các yếu tố ảnh hưởng, trên cơ sở đó xây dựng đường cong chuẩn dưới dạng tường minh (đồ thị hoặc biểu thức đại số). Khi chuẩn cảm biến, với một loạt giá trị đã biết chính xác m_i của m , đo giá trị tương ứng s_i của s và dựng đường cong chuẩn.



Hình 1.2 Phương pháp chuẩn cảm biến

a) Chuẩn đơn giản

Trong trường hợp đại lượng đo chỉ có một đại lượng vật lý duy nhất tác động lên một đại lượng đo xác định và cảm biến sử dụng không nhạy với tác động của các đại lượng ảnh hưởng, người ta dùng phương pháp chuẩn đơn giản. Thực chất của chuẩn đơn giản là đo các giá trị của đại lượng đầu ra ứng với các giá trị xác định không đổi của đại lượng đo ở đầu vào. Việc chuẩn được tiến hành theo hai cách:

- Chuẩn trực tiếp: các giá trị khác nhau của đại lượng đo lấy từ các mẫu chuẩn hoặc các phần tử so sánh có giá trị biết trước với độ chính xác cao.
- Chuẩn gián tiếp: kết hợp cảm biến cần chuẩn với một cảm biến so sánh đã có sẵn đường cong chuẩn, cả hai được đặt trong cùng điều kiện làm việc. Khi tác động lên hai cảm biến với cùng một giá trị của đại lượng đo ta nhận được giá trị tương ứng của cảm biến so sánh và cảm biến cần chuẩn. Lặp lại tương tự với các giá trị khác của đại lượng đo cho phép ta xây dựng được đường cong chuẩn của cảm biến cần chuẩn.

b) Chuẩn nhiều lần

Khi cảm biến có phần tử bị trễ (trễ cơ hoặc trễ từ), giá trị đo được ở đầu ra phụ thuộc không những vào giá trị tức thời của đại lượng cần đo ở đầu vào mà còn phụ thuộc vào giá trị trước đó của đại lượng này. Trong trường hợp như vậy, người ta áp dụng phương pháp chuẩn nhiều lần và tiến hành như sau:

- Đặt lại điểm 0 của cảm biến: đại lượng cần đo và đại lượng đầu ra có giá trị tương ứng với điểm gốc, $m=0$ và $s=0$.
- Đo giá trị đầu ra theo một loạt giá trị tăng dần đến giá trị cực đại của đại lượng đo ở đầu vào.
- Lặp lại quá trình đo với các giá trị giảm dần từ giá trị cực đại.

Khi chuẩn nhiều lần cho phép xác định đường cong chuẩn theo cả hai hướng đo tăng dần và đo giảm dần.

1.3. Các đặc trưng cơ bản

1.3.1. Độ nhạy của cảm biến

a) Khái niệm

Đối với cảm biến tuyến tính, giữa biến thiên đầu ra Δs và biến thiên đầu vào Δm có sự liên hệ tuyến tính:

$$\Delta s = S \cdot \Delta m$$

(1.2)

Đại lượng S xác định bởi biểu thức $S = \frac{\Delta s}{\Delta m}$ được gọi là độ nhạy của cảm biến.

Trường hợp tổng quát, biểu thức xác định độ nhạy S của cảm biến xung quanh giá trị m_i của đại lượng đo xác định bởi tỷ số giữa biến thiên Δs của đại lượng đầu ra và biến thiên Δm tương ứng của đại lượng đo ở đầu vào quanh giá trị đó:

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

(1.3)

Để phép đo đạt độ chính xác cao, khi thiết kế và sử dụng cảm biến cần làm sao cho độ nhạy S của nó không đổi, nghĩa là ít phụ thuộc nhất vào các yếu tố sau:

- Giá trị của đại lượng cần đo m và tần số thay đổi của nó.
- Thời gian sử dụng.
- Ảnh hưởng của các đại lượng vật lý khác (không phải là đại lượng đo) của môi trường xung quanh.

Thông thường nhà sản xuất cung cấp giá trị của độ nhạy S tương ứng với những điều kiện làm việc nhất định của cảm biến.

b) Độ nhạy trong chế độ tĩnh và tỷ số chuyển đổi tĩnh

Đường chuẩn cảm biến, xây dựng trên cơ sở đo các giá trị s_i ở đầu ra tương ứng với các giá trị không đổi m_i của đại lượng đo khi đại lượng này đạt đến chế độ làm việc danh định được gọi là đặc trưng tĩnh của cảm biến. Một điểm $Q_i(m_i, s_i)$ trên đặc trưng tĩnh xác định một điểm làm việc của cảm biến ở chế độ tĩnh.

Trong chế độ tĩnh, độ nhạy S xác định theo công thức (1.3) chính là độ dốc của đặc trưng tĩnh ở điểm làm việc đang xét. Như vậy, nếu đặc trưng tĩnh không phải là tuyến tính thì độ nhạy trong chế độ tĩnh phụ thuộc điểm làm việc.

Đại lượng r_i xác định bởi tỷ số giữa giá trị s_i ở đầu ra và giá trị m_i ở đầu vào được gọi là tỷ số chuyển đổi tĩnh:

$$r_i = \left(\frac{s}{m} \right)_{Q_i}$$

(1.4)

Từ (1.4), ta nhận thấy tỷ số chuyển đổi tĩnh r_i không phụ thuộc vào điểm làm việc Q_i và chỉ bằng S khi đặc trưng tĩnh là đường thẳng đi qua gốc toạ độ.

c) Độ nhạy trong chế độ động

Độ nhạy trong chế độ động được xác định khi đại lượng đo biến thiên tuần hoàn theo thời gian.

Giả sử biến thiên của đại lượng đo m theo thời gian có dạng:

$$m(t) = m_0 + m_1 \cos \omega t \quad (1.5)$$

Trong đó m_0 là giá trị không đổi, m_1 là biên độ và ω tần số góc của biến thiên đại lượng đo.

Ở đầu ra của cảm biến, hồi đáp s có dạng:

$$s(t) = s_0 + s_1 \cos(\omega t + \varphi)$$

Trong đó:

- s_0 là giá trị không đổi tương ứng với m_0 xác định điểm làm việc Q_0 trên đường cong chuẩn ở chế độ tĩnh.
- s_1 là biên độ biến thiên ở đầu ra do thành phần biến thiên của đại lượng đo gây nên.
- φ là độ lệch pha giữa đại lượng đầu vào và đại lượng đầu ra.

Trong chế độ động, độ nhạy S của cảm biến được xác định bởi tỉ số giữa biên độ của biến thiên đầu ra s_1 và biên độ của biến thiên đầu vào m_1 ứng với điểm làm việc được xét Q_0 , theo công thức:

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

Độ nhạy trong chế độ động phụ thuộc vào tần số đại lượng đo, $S = S(f)$. Sự biến thiên của độ nhạy theo tần số có nguồn gốc là do quán tính cơ, nhiệt hoặc điện của đầu đo, tức là của cảm biến và các thiết bị phụ trợ, chúng không thể cung cấp tức thời tín hiệu điện theo kịp biến thiên của đại lượng đo. Bởi vậy khi xét sự hồi đáp có phụ thuộc vào tần số cần phải xem xét sơ đồ mạch đo của cảm biến một cách tổng thể.

1.3.2. Độ tuyến tính

a) Khái niệm

Một cảm biến được gọi là tuyến tính trong một dải đo xác định nếu trong dải chế độ đó, độ nhạy không phụ thuộc vào đại lượng đo.

Trong chế độ tĩnh, độ tuyến tính chính là sự không phụ thuộc của độ nhạy của cảm biến vào giá trị của đại lượng đo, thể hiện bởi các đoạn thẳng trên đặc trưng tĩnh của cảm biến và hoạt động của cảm biến là tuyến tính chừng nào đại lượng đo còn nằm trong vùng này.

Trong chế độ động, độ tuyến tính bao gồm sự không phụ thuộc của độ nhạy ở chế độ tĩnh $S(0)$ vào đại lượng đo, đồng thời các thông số quyết định sự hồi đáp (như tần số riêng f_0 của dao động không tắt, hệ số tắt dần ξ cũng không phụ thuộc vào đại lượng đo).

Nếu cảm biến không tuyến tính, người ta đưa vào mạch đo các thiết bị hiệu chỉnh sao cho tín hiệu điện nhận được ở đầu ra tỉ lệ với sự thay đổi của đại lượng đo ở đầu vào. Sự hiệu chỉnh đó được gọi là sự tuyến tính hoá.

b) Đường thẳng tốt nhất

Khi chuẩn cảm biến, từ kết quả thực nghiệm ta nhận được một loạt điểm tương ứng (s_i, m_i) của đại lượng đầu ra và đại lượng đầu vào. Về mặt lý thuyết, đối với các cảm biến tuyến tính, đường cong chuẩn là một đường thẳng. Tuy nhiên, do sai số khi đo, các điểm chuẩn (m_i, s_i) nhận được bằng thực nghiệm thường không nằm trên cùng một đường thẳng.

Đường thẳng được xây dựng trên cơ sở các số liệu thực nghiệm sao cho sai số là bé nhất, biểu diễn sự tuyến tính của cảm biến được gọi là đường thẳng tốt nhất. Phương trình biểu diễn đường thẳng tốt nhất được lập bằng phương pháp bình phương bé nhất. Giả sử khi chuẩn cảm biến ta tiến hành với N điểm đo, phương trình có dạng:

$$s = am + b$$

Trong đó:

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

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

c) Độ lệch tuyến tính

Đối với các cảm biến không hoàn toàn tuyến tính, người ta đưa ra khái niệm độ lệch tuyến tính, xác định bởi độ lệch cực đại giữa đường cong chuẩn và đường thẳng tốt nhất, tính bằng % trong dải đo.

1.3.3. Sai số và độ chính xác

Các bộ cảm biến cũng như các dụng cụ đo lường khác, ngoài đại lượng cần đo (cảm nhận) còn chịu tác động của nhiều đại lượng vật lý khác gây nên sai số giữa giá trị đo được và giá trị thực của đại lượng cần đo. Gọi Δx là độ lệch tuyệt đối giữa giá trị đo và giá trị thực x (sai số tuyệt đối), sai số tương đối của bộ cảm biến được tính bằng:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \quad [\%]$$

Sai số của bộ cảm biến mang tính chất ước tính bởi vì không thể biết chính xác giá trị thực của đại lượng cần đo. Khi đánh giá sai số của cảm biến, người ta thường phân chúng thành hai loại: sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

- Sai số hệ thống: là sai số không phụ thuộc vào số lần đo, có giá trị không đổi hoặc thay đổi chậm theo thời gian đo và thêm vào một độ lệch không đổi giữa giá trị thực và giá trị đo được. Sai số hệ thống thường do sự thiếu hiểu biết về hệ đo, do điều kiện sử dụng không tốt gây ra. Các nguyên nhân gây ra sai số hệ thống có thể là:

Do nguyên lý của cảm biến.

- + Do giá trị của đại lượng chuẩn không đúng.
- + Do đặc tính của bộ cảm biến.
- + Do điều kiện và chế độ sử dụng.
- + Do xử lý kết quả đo.

- Sai số ngẫu nhiên: là sai số xuất hiện có độ lớn và chiều không xác định. Ta có thể dự đoán được một số nguyên nhân gây ra sai số ngẫu nhiên nhưng không thể dự đoán được độ lớn và dấu của nó. Những nguyên nhân gây ra sai số ngẫu nhiên có thể là:

- + Do sự thay đổi đặc tính của thiết bị.
- + Do tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên.
- + Do các đại lượng ảnh hưởng không được tính đến khi chuẩn cảm biến.

Chúng ta có thể giảm thiểu sai số ngẫu nhiên bằng một số biện pháp thực nghiệm thích hợp như bảo vệ các mạch đo tránh ảnh hưởng của nhiễu, tự động điều chỉnh điện áp nguồn

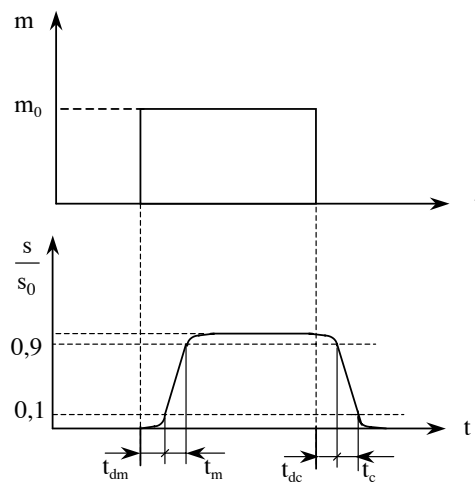
nuôi, bù các ảnh hưởng nhiệt độ, tần số, vận hành đúng chế độ hoặc thực hiện phép đo lường thống kê.

1.3.4. Độ nhanh và thời gian hồi đáp

Độ nhanh là đặc trưng của cảm biến cho phép đánh giá khả năng theo kịp về thời gian của đại lượng đầu ra khi đại lượng đầu vào biến thiên. Thời gian hồi đáp là đại lượng được sử dụng để xác định giá trị số của 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 chỉ còn khác giá trị cuối cùng một lượng giới hạn ε tính bằng %. Thời gian hồi đáp tương ứng với $\varepsilon\%$ xác định khoảng thời gian cần thiết phải chờ đợi sau khi có sự biến thiên của đại lượng đo để lấy giá trị của đầu ra với độ chính xác định trước. Thời gian hồi đáp đặc trưng cho chế độ quá độ của cảm biến và là hàm của các thông số thời gian xác định chế độ này.

Trong trường hợp sự thay đổi của đại lượng đo có dạng bậc thang, các thông số thời gian gồm thời gian trễ khi tăng (t_{dm}) và thời gian tăng (t_m) ứng với sự tăng đột ngột của đại lượng đo hoặc thời gian trễ khi giảm (t_{dc}) và thời gian giảm (t_c) ứng với sự giảm đột ngột của đại lượng đo. Khoảng thời gian trễ khi tăng t_{dm} là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra 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 tăng từ 10% đến 90% biến thiên biến thiên tổng cộng của nó.



HÌNH 1.3 XÁC ĐỊNH CÁC KHOẢNG THỜI

gian cần thiết để đại lượng đầu ra giảm từ giá trị ban đầu của nó đến 10% biến thiên tổng cộng của đại lượng này và khoảng thời gian giảm t_c là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra giảm từ 10% đến 90% biến thiên biến thiên tổng cộng của nó.

Các thông số về thời gian t_r , t_{dm} , t_m , t_{dc} , t_c của cảm biến cho phép ta đánh giá về thời gian hồi đáp của nó.

1.3.5. Giới hạn sử dụng của cảm biến

Trong quá trình sử dụng, các cảm biến luôn chịu tác động của ứng lực cơ học, tác động nhiệt... Khi các tác động này vượt quá ngưỡng cho phép, chúng sẽ làm thay đổi đặc trưng làm việc của cảm biến. Bởi vậy khi sử dụng cảm biến, người sử dụng cần phải biết rõ các giới hạn này.

a) Vùng làm việc danh định

Vùng làm việc danh định tương ứng với những điều kiện sử dụng bình thường của cảm biến. Giới hạn 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 thường xuyên đạt tới mà không làm thay đổi các đặc trưng làm việc danh định của cảm biến.

b) Vùng không gây nên hư hỏng

Vùng không gây nên hư hỏng là vùng mà khi mà các đại lượng đo hoặc các đại lượng vật lý có liên quan và các đại lượng ảnh hưởng vượt qua ngưỡng của vùng làm việc danh định nhưng vẫn còn nằm trong phạm vi không gây nên hư hỏng, các đặc trưng của cảm biến có thể bị thay đổi nhưng những thay đổi này mang tính thuận nghịch, tức là khi trở về vùng làm việc danh định các đặc trưng của cảm biến lấy lại giá trị ban đầu của chúng.

c) Vùng không phá hủy

Vùng không phá hủy là vùng mà khi mà các đại lượng đo hoặc các đại lượng vật lý có liên quan và các đại lượng ảnh hưởng vượt qua ngưỡng của vùng không gây nên hư hỏng nhưng vẫn còn nằm trong phạm vi không bị phá hủy, các đặc trưng của cảm biến bị thay đổi và những thay đổi này mang tính không thuận nghịch, tức là khi trở về vùng làm việc danh định các đặc trưng của cảm biến không thể lấy lại giá trị ban đầu của chúng. Trong trường hợp này cảm biến vẫn còn sử dụng được, nhưng phải tiến hành chuẩn lại cảm biến.

1.4. Nguyên lý chung chế tạo cảm biến

Các cảm biến được chế tạo dựa trên cơ sở các hiện tượng vật lý và được phân làm hai loại:

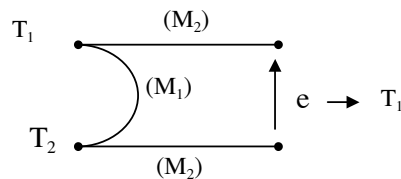
- Cảm biến tích cực: là các cảm biến hoạt động như một máy phát, đáp ứng (s) là điện tích, điện áp hay dòng.
- Cảm biến thụ động: là các cảm biến hoạt động như một trở kháng trong đó đáp ứng (s) là điện trở, độ tự cảm hoặc điện dung.

1.4.1. Nguyên lý chế tạo các cảm biến tích cực

Các cảm biến tích cực được chế tạo dựa trên cơ sở ứng dụng các hiệu ứng vật lý biến đổi một dạng năng lượng nào đó (nhiệt, cơ hoặc bức xạ) thành năng lượng điện. Dưới đây mô tả một cách khái quát ứng dụng một số hiệu ứng vật lý khi chế tạo cảm biến.

a) Hiệu ứng nhiệt điện

Hai dây dẫn (M_1) và (M_2) có bản chất hoá học khác nhau được hàn lại với nhau thành một mạch điện kín, nếu nhiệt độ ở hai mối hàn là T_1 và T_2 khác nhau, khi đó trong mạch xuất hiện một suất điện động $e(T_1, T_2)$ mà độ lớn của nó phụ thuộc chênh lệch nhiệt độ giữa T_1 và T_2 .

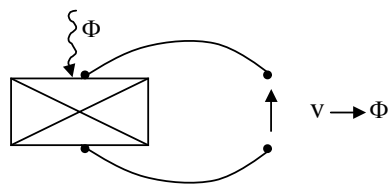


Hình 1.4. Sơ đồ hiệu ứng nhiệt điện.

Hiệu ứng nhiệt điện được ứng dụng để đo nhiệt độ T_1 khi biết trước nhiệt độ T_2 , thường chọn $T_2 = 0^\circ\text{C}$.

b) Hiệu ứng hoả điện

Một số tinh thể gọi là tinh thể hoả điện (ví dụ tinh thể sulfate triglycine) có tính phân cực điện tự phát với độ phân cực phụ thuộc vào nhiệt độ, làm xuất hiện trên các mặt đối diện của chúng những điện tích trái dấu. Độ lớn của điện áp giữa hai mặt phụ thuộc vào độ phân cực của tinh thể hoả điện.



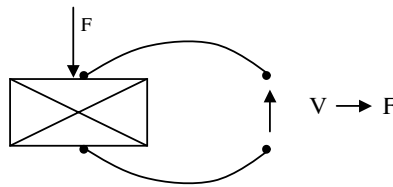
Hình 1.5 Ứng dụng hiệu ứng hoả điện

Hiệu ứng hoả điện được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi ta chiếu một chùm ánh sáng vào tinh thể hoả điện, tinh thể hấp thụ ánh sáng và nhiệt độ

của nó tăng lên, làm thay đổi sự phân cực điện của tinh thể. Đo điện áp V ta có thể xác định được thông lượng ánh sáng Φ .

c) Hiệu ứng áp điện

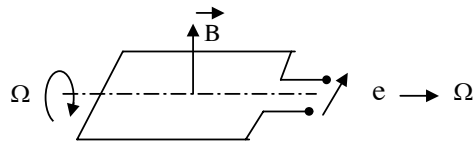
Một số vật liệu gọi chung là vật liệu áp điện (như thạch anh chẳng hạn) khi bị biến dạng dưới tác động của lực cơ học, trên các mặt đối diện của tấm vật liệu xuất hiện những lượng điện tích bằng nhau nhưng trái dấu, được gọi là hiệu ứng áp điện. Đo V ta có thể xác định được cường độ của lực tác dụng F .



Hình 1.6 Ứng dụng hiệu ứng áp điện

d) Hiệu ứng cảm ứng điện từ

Khi một dây dẫn chuyển động trong từ trường không đổi, trong dây dẫn xuất hiện một suất điện động tỷ lệ với từ thông cắt ngang dây trong một đơn vị thời gian, nghĩa là tỷ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây. Tương tự như vậy, trong một khung dây đặt trong từ trường có từ thông biến thiên cũng xuất hiện một suất điện động tỷ lệ với tốc độ biến thiên của từ thông qua khung dây.



Hình 1.7 Ứng dụng hiệu ứng cảm ứng điện từ

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

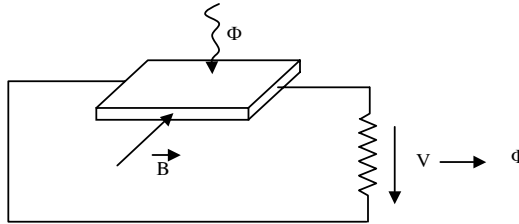
e) Hiệu ứng quang điện

- **Hiệu ứng quang dẫn:** (hay còn gọi là hiệu ứng quang điện nội) là hiện tượng giải phóng ra các hạt dẫn tự do trong vật liệu (thường là bán dẫn) khi chiếu vào chúng một bức xạ ánh sáng (hoặc bức xạ điện từ nói chung) có bước sóng nhỏ hơn một ngưỡng nhất định.

- **Hiệu ứng quang phát xạ điện tử:** (hay còn gọi là hiệu ứng quang điện ngoài) là hiện tượng các điện tử được giải phóng và thoát khỏi bề mặt vật liệu tạo thành dòng có thể thu lại nhờ tác dụng của điện trường.

g) Hiệu ứng quang - điện - từ

Khi tác dụng một từ trường B vuông góc với bức xạ ánh sáng, trong vật liệu bán dẫn được chiếu sáng sẽ xuất hiện một hiệu điện thế theo hướng vuông góc với từ trường B và hướng bức xạ ánh sáng.



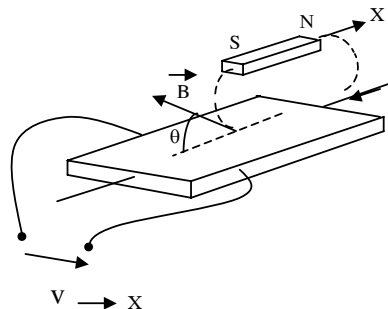
Hình 1.8 Ứng dụng hiệu ứng quang - điện - từ

h) Hiệu ứng Hall

Khi đặt một tấm mỏng vật liệu mỏng (thường là bán dẫn), trong đó có dòng điện chạy qua, vào trong một từ trường B có phương tạo với dòng điện I trong tấm một góc θ , sẽ xuất hiện một hiệu điện thế V_H theo hướng vuông góc với B và I. Biểu thức hiệu điện thế có dạng:

$$V_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta$$

Trong đó K_H là hệ số phụ thuộc vào vật liệu và kích thước hình học của tấm vật liệu.



Hiệu ứng Hall được ứng dụng để xác định vị trí của một vật chuyển động. Vật cần xác định vị trí liên kết cơ học với thanh nam châm, ở mọi thời điểm, vị trí thanh nam châm xác định giá trị của từ trường B và góc θ tương ứng với tấm bán dẫn mỏng làm vật trung gian. Vì vậy, hiệu điện thế V_H đo được giữa hai cạnh tấm bán dẫn là hàm phụ thuộc vào vị trí của vật trong không gian.

1.4.2. Nguyên chế tạo cảm biến thụ động

Cảm biến thụ động thường được chế tạo từ một trở kháng có các thông số chủ yếu nhạy với đại lượng cần đo. Giá trị của trở kháng phụ thuộc kích thước hình học, tính chất điện của vật liệu chế tạo (như điện trở suất ρ , độ từ thẩm μ , hằng số điện môi ϵ). Vì vậy tác động của đại lượng đo có thể ảnh hưởng riêng biệt đến kích thước hình học, tính chất điện hoặc đồng thời cả hai.

Sự thay đổi thông số hình học của trở kháng gây ra do chuyển động của phân tử chuyển động hoặc phân tử biến dạng của cảm biến. Trong các cảm biến có phân tử chuyển động, mỗi vị trí của phân tử động sẽ ứng với một giá trị xác định của trở kháng, cho nên đo trở kháng có thể xác định được vị trí của đối tượng. Trong cảm biến có phân tử biến dạng, sự biến dạng của phân tử biến dạng dưới tác động của đại lượng đo (lực hoặc các đại lượng gây ra lực) gây ra sự thay đổi của trở kháng của cảm biến. Sự thay đổi trở kháng do biến dạng liên quan đến lực tác động, do đó liên quan đến đại lượng cần đo. Xác định trở kháng ta có thể xác định được đại lượng cần đo.

Sự thay đổi tính chất điện của cảm biến phụ thuộc vào bản chất vật liệu chế tạo trở kháng và yếu tố tác động (nhiệt độ, độ chiếu sáng, áp suất, độ ẩm ...). Để chế tạo cảm biến, người ta chọn sao cho tính chất điện của nó chỉ nhạy với một trong các đại lượng vật lý trên, ảnh hưởng của các đại lượng khác là không đáng kể. Khi đó có thể thiết lập được sự phụ thuộc đơn trị giữa giá trị đại lượng cần đo và giá trị trở kháng của cảm biến.

Trên bảng 1.1 giới thiệu các đại lượng cần đo có khả năng làm thay đổi tính chất điện của vật liệu sử dụng chế tạo cảm biến.

Bảng 1.1

Đại lượng cần đo	Đặc trưng nhạy cảm	Loại vật liệu sử dụng
Nhiệt độ	ρ	Kim loại (Pt, Ni, Cu) Bán dẫn
Bức xạ ánh sáng	ρ	Bán dẫn
Biến dạng	ρ Từ thẩm (μ)	Hợp kim Ni, Si pha tạp Hợp kim sắt từ
Vị trí (nam châm)	ρ	Vật liệu từ điện trở: Bi, InSb

1.5. Mạch đo

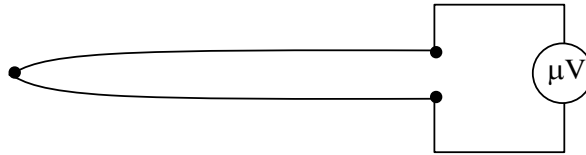
1.5.1. Sơ đồ mạch đo

Mạch đo bao gồm toàn bộ thiết bị đo (trong đó có cảm biến) cho phép xác định chính xác giá trị của đại lượng cần đo trong những điều kiện tốt nhất có thể.

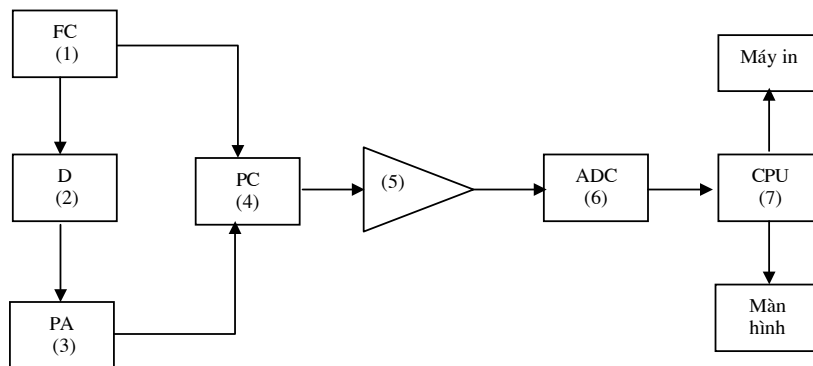
Ở đầu vào của mạch, cảm biến chịu tác động của đại lượng cần đo gây nên tín hiệu điện mang theo thông tin về đại cần đo.

Ở đầu ra của mạch, tín hiệu điện đã qua xử lý được chuyển đổi sang dạng có thể đọc được trực tiếp giá trị cần tìm của đại lượng đo. Việc chuẩn hệ đo đảm bảo cho mỗi giá trị của chỉ thị đầu ra tương ứng với một giá trị của đại lượng đo tác động ở đầu vào của mạch.

Dạng đơn giản của mạch đo gồm một cảm biến, bộ phận biến đổi tín hiệu và thiết bị chỉ thị, ví dụ mạch đo nhiệt độ gồm một cặp nhiệt ghép nối trực tiếp với một milivôn kế.



Hình 1.10 Sơ đồ mạch đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt



Hình 1.11 Mạch đo điện thế bề mặt

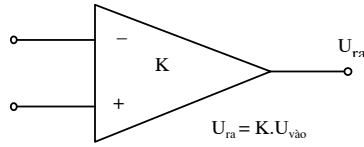
- 1) Máy phát chức năng 2) Cảm biến điện tích 3) Tiền khuếch đại
4) So pha lọc nhiễu 5) Khuếch đại 6) Chuyển đổi tương tự số 7) Máy tính

Trên thực tế, do các yêu cầu khác nhau khi đo, mạch đo thường gồm nhiều thành phần trong đó có các khối để tối ưu hoá việc thu thập và xử lý dữ liệu, chẳng hạn mạch tuyến tính hoá tín hiệu nhận từ cảm biến, mạch khử điện dung ký sinh, các bộ chuyển đổi nhiều kênh, bộ khuếch đại, bộ so pha lọc nhiễu, bộ chuyển đổi tương tự - số, bộ vi xử lý, các thiết bị hỗ trợ... Trên hình 1.11 biểu diễn sơ đồ khối một mạch điện đo điện thế trên bề mặt màng nhạy quang được lắp ráp từ nhiều phần tử

1.5.2. Một số phần tử cơ bản của mạch đo

a) Bộ khuếch đại thuật toán (KĐTT)

Bộ khuếch đại thuật toán mạch tích hợp là bộ khuếch đại dòng một chiều có hai đầu vào và một đầu ra chung, thường gồm hàng trăm tranzito và các điện trở, tụ điện ghép nối với nhau. Sơ đồ bộ khuếch đại thuật toán biểu diễn trên hình 1.12.



Hình 1.12 Sơ đồ bộ khuếch đại thuật toán

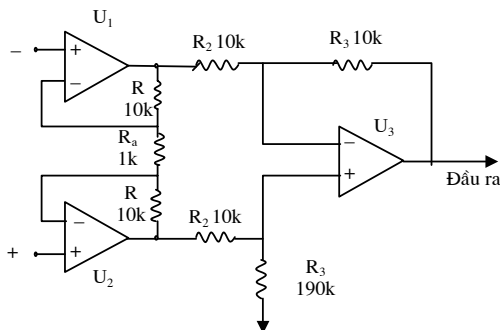
Các đặc tính cơ bản của bộ khuếch đại thuật toán:

- Bộ khuếch đại có hai đầu vào: một đầu đảo (-), một đầu không đảo (+).
- Điện trở vào rất lớn, cỡ hàng trăm $M\Omega$ đến $G\Omega$.
- Điện trở ra rất nhỏ, cỡ phần chục Ω .
- Điện áp lệch đầu vào rất nhỏ, cỡ vài nV.
- Hệ số khuếch đại hở mạch rất lớn, cỡ 100.000.
- Dải tần làm việc rộng.
- Hệ số suy giảm theo cách nối chung CMRR là tỷ số hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán đối với các tín hiệu sai lệch và hệ số khuếch đại theo cách nối chung của cùng bộ khuếch đại thuật toán. Thông thường CMRR vào khoảng 90 dB.
- Tốc độ tăng hạn chế sự biến thiên cực đại của điện áp tính bằng V/ μ s.

b) Bộ khuếch đại đo lường IA

Bộ khuếch đại đo lường IA có hai đầu vào và một đầu ra. Tín hiệu đầu ra tỷ lệ với hiệu của hai điện áp đầu vào:

$$U_{ra} = A(U_+ - U_-) = A\Delta U$$



Hình 1.13 Sơ đồ bộ khuếch đại đo lường gồm ba KĐTT ghép nối điện trở

Đầu vào vi sai đóng vai trò rất quan trọng trong việc khử nhiễu ở chế độ chung và tăng điện trở vào của KĐTT. Điện áp trên R_a phải bằng điện áp vi sai đầu vào ΔU và tạo nên dòng

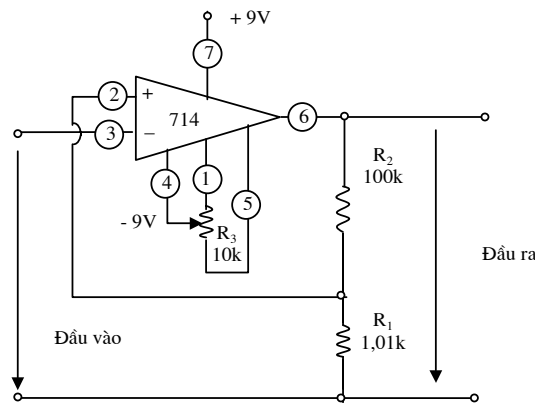
điện $i = \frac{\Delta U}{R_a}$. Các điện áp ra từ KĐTT U_1 và U_2 phải bằng nhau về biên độ nhưng ngược pha.

Điện áp U_3 của tầng thứ hai biến đổi đầu ra vi sai thành đầu ra đơn cực. Hệ số khuếch đại tổng của IA bằng:

$$A = \left(1 + \frac{2R}{R_a}\right) \frac{R_3}{R_1}$$

c) Khử điện áp lệch

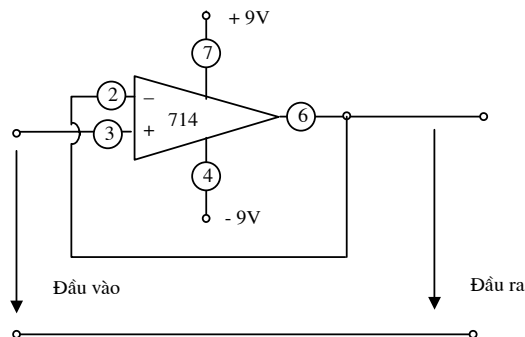
Đối với một bộ khuếch KĐTT lý tưởng khi hở mạch phải có điện áp ra bằng không khi hai đầu vào nối mát. Thực tế vì các điện áp bên trong nên tạo ra một điện áp nhỏ (điện áp phân cực) ở đầu vào KĐTT cỡ vài mV, nhưng khi sử dụng mạch kín điện áp này được khuếch đại và tạo nên điện áp khá lớn ở đầu ra. Để khử điện áp lệch có thể sử dụng sơ đồ hình 1.14, bằng cách điều chỉnh biến trở R_3 .



Hình 1.14 Sơ đồ mạch khử điện áp lệch

d) Mạch lặp lại điện áp

Để lặp lại điện áp chính xác, người ta sử dụng bộ KĐTT làm việc ở chế độ không đảo với hệ số khuếch đại bằng 1 sơ đồ như hình 1.15.



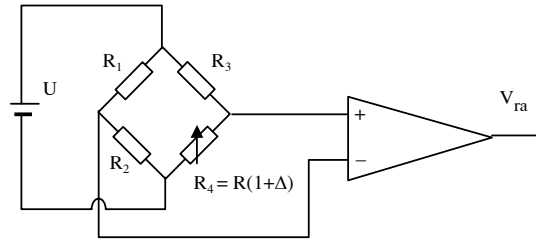
Hình 1.15 Sơ đồ mạch lặp điện áp

Trong bộ lặp điện áp, cực dương của KĐTT được nối trực tiếp với tín hiệu vào, còn cực âm được nối trực tiếp với đầu ra, tạo nên điện áp phản hồi 100% do đó hệ số

khuếch đại bằng 1. Mạch lặp điện áp có chức năng tăng điện trở đầu vào, do vậy thường dùng để nối giữa hai khâu trong mạch đo.

e) Mạch cầu

Cầu Wheatstone thường được sử dụng trong các mạch đo nhiệt độ, lực, áp suất, từ trường... Cầu gồm bốn điện trở R_1 , R_2 , R_3 cố định và R_4 thay đổi (mắc như hình 1.16) hoạt động như cầu không cân bằng dựa trên việc phát hiện điện áp qua đường chéo của cầu.



Hình 1.15 Sơ đồ mạch cầu

Trong mạch cầu, điện áp ra là hàm phi tuyến nhưng đối với biến đổi nhỏ ($\Delta < 0,05$) có thể coi là tuyến tính. Khi $R_1 = R_2$ và $R_3 = R_4$ độ nhạy của cầu là cực đại. Trường hợp $R_1 \gg R_2$ hoặc $R_2 \gg R_1$ điện áp ra của cầu giảm. Đặt $K = R_1/R_2$ độ nhạy của cầu là:

$$\alpha = \frac{U}{R} \frac{K}{(1+k)^2}.$$

Chương II

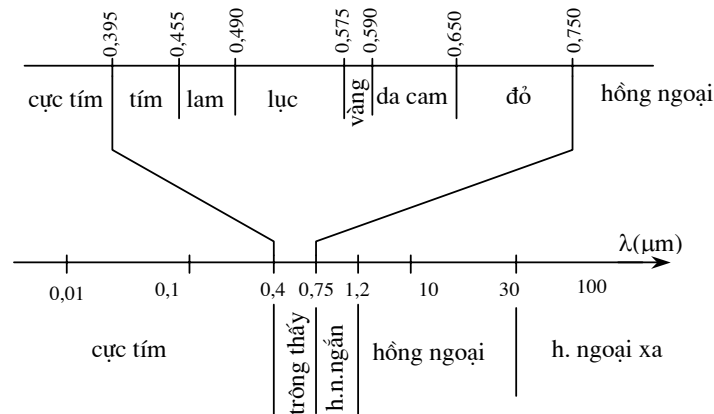
CẢM BIẾN QUANG

2.1. Tính chất và đơn vị đo ánh sáng

2.1.1. Tính chất của ánh sáng

Như chúng ta đã biết, ánh sáng vừa có tính chất sóng vừa có tính chất hạt.

Ánh sáng là một dạng của sóng điện từ, vùng ánh sáng nhìn thấy có bước sóng từ 0,4 - 0,75 μm . Trên hình 2.1 biểu diễn phổ ánh sáng và sự phân chia thành các dải màu của phổ.



Hình 2.1 Phổ ánh sáng

Vận tốc truyền ánh sáng trong chân không $c = 299.792 \text{ km/s}$, trong môi trường vật chất vận tốc truyền sóng giảm, được xác định theo công thức:

$$v = \frac{c}{n}$$

n - chiết suất của môi trường.

Mối quan hệ giữa tần số ν và bước sóng λ của ánh sáng xác định bởi biểu thức:

- Khi môi trường là chân không : $\lambda = \frac{c}{\nu}$

- Khi môi trường là vật chất : $\lambda = \frac{v}{\nu}$.

Trong đó ν là tần số ánh sáng.

Tính chất hạt của ánh sáng thể hiện qua sự tương tác của ánh sáng với vật chất. Ánh sáng gồm các hạt nhỏ gọi là photon, mỗi hạt mang một năng lượng nhất định, năng lượng này chỉ phụ thuộc tần số ν của ánh sáng:

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

(2.1)

Trong đó h là hằng số Planck ($h = 6,6256.10^{-34} \text{J.s}$).

Bước sóng của bức xạ ánh sáng càng dài thì tính chất sóng thể hiện càng rõ, ngược lại khi bước sóng càng ngắn thì tính chất hạt thể hiện càng rõ.

2.1.2. Các đơn vị đo quang

a) Đơn vị đo năng lượng

- Năng lượng bức xạ (Q): là năng lượng lan truyền hoặc hấp thụ dưới dạng bức xạ đo bằng Jun (J).

- Thông lượng ánh sáng (Φ): là công suất phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ đo bằng oát (W):

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

(2.2)

- Cường độ ánh sáng (I): là luồng năng lượng phát ra theo một hướng cho trước ứng với một đơn vị góc khối, tính bằng oát/steradian.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

(2.3)

- Độ chói năng lượng (L): là tỉ số giữa cường độ ánh sáng phát ra bởi một phần tử bề mặt có diện tích dA theo một hướng xác định và diện tích hình chiếu dA_n của phần tử này trên mặt phẳng P vuông góc với hướng đó.

$$L = \frac{dI}{dA_n}$$

(2.4)

Trong đó $dA_n = dA \cdot \cos\theta$, với θ là góc giữa P và mặt phẳng chứa dA .

Độ chói năng lượng đo bằng oát/Steradian. m^2 .

- Độ rọi năng lượng (E): là tỉ số giữa luồng năng lượng thu được bởi một phần tử bề mặt và diện tích của phần tử đó.

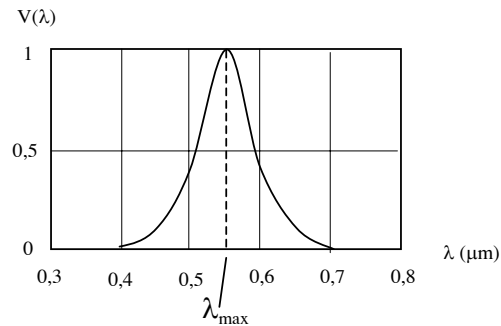
$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

(2.5)

Độ rọi năng lượng đo bằng oát/ m^2 .

b) Đơn vị đo thị giác

Độ nhạy của mắt người đối với ánh sáng có bước sóng khác nhau là khác nhau. Hình 2.2 biểu diễn độ nhạy tương đối của mắt $V(\lambda)$ vào bước sóng. Các đại lượng thị giác nhận được từ đại lượng năng lượng tương ứng thông qua hệ số tỉ lệ $K.V(\lambda)$.



Hình 2.2 Đường cong độ nhạy tương đối của mắt

Theo quy ước, một luồng ánh sáng có năng lượng 1W ứng với bước sóng λ_{\max} tương ứng với luồng ánh sáng bằng 680 lumen, do đó $K=680$.

Do vậy luồng ánh sáng đơn sắc tính theo đơn vị đo thị giác:

$$\Phi_v(\lambda) = 680V(\lambda)\Phi(\lambda) \quad \text{lumen}$$

Đối với ánh sáng phổ liên tục:

$$\Phi_v = 680 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \quad \text{lumen}$$

Tương tự như vậy ta có thể chuyển đổi tương ứng các đơn vị đo năng lượng và đơn vị đo thị giác.

Bảng 2.1 liệt kê các đơn vị đo quang cơ bản.

Bảng 2.1

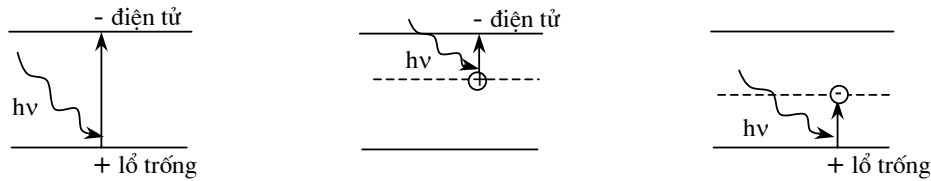
Đại lượng đo	Đơn vị thị giác	Đơn vị năng lượng
Luồng (thông lượng)	lumen(lm)	oat(W)
Cường độ	cadela(cd)	oat/sr(W/sr)
Độ chói	cadela/m ² (cd/m ²)	oat/sr.m ² (W/sr.m ²)
Độ rọi	lumen/m ² hay lux (lx)	oat/m ² (W/m ²)
Năng lượng	lumen.s (lm.s)	jun (j)

2.2. Cảm biến quang dẫn

2.2.1. Hiệu ứng quang dẫn

Hiệu ứng quang dẫn (hay còn gọi là hiệu ứng quang điện nội) là hiện tượng giải phóng những hạt tải điện (hạt dẫn) trong vật liệu dưới tác dụng của ánh sáng làm tăng độ dẫn điện của vật liệu.

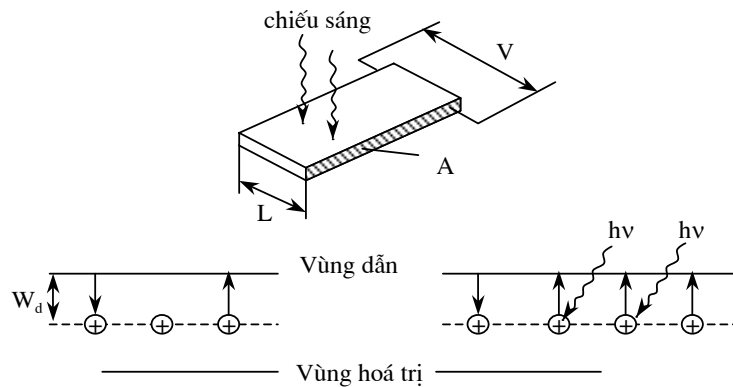
Trong chất bán dẫn, các điện tử liên kết với hạt nhân, để giải phóng điện tử khỏi nguyên tử cần cung cấp cho nó một năng lượng tối thiểu bằng năng lượng liên kết W_{lk} . Khi điện tử được giải phóng khỏi nguyên tử, sẽ tạo thành hạt dẫn mới trong vật liệu.



Hình 2.3. Ảnh hưởng của bản chất vật liệu đến hạt dẫn được giải phóng

Hạt dẫn được giải phóng do chiếu sáng phụ thuộc vào bản chất của vật liệu bị chiếu sáng. Đối với các chất bán dẫn tinh khiết các hạt dẫn là cặp điện tử - lỗ trống. Đối với trường hợp bán dẫn pha tạp, hạt dẫn được giải phóng là điện tử nếu là pha tạp donor hoặc là lỗ trống nếu là pha tạp acceptor.

Giả sử có một tấm bán dẫn phẳng thể tích V pha tạp loại N có nồng độ các donor N_d , có mức năng lượng nằm dưới vùng dẫn một khoảng bằng W_d đủ lớn để ở nhiệt độ phòng và khi ở trong tối nồng độ n_0 của các donor bị ion hoá do nhiệt là nhỏ.



Hình 2.4. Tế bào quang dẫn và sự chuyển mức năng lượng của điện tử

Khi ở trong tối, nồng độ điện tử được giải phóng trong một đơn vị thời gian tỉ lệ với nồng độ các tạp chất chưa bị ion hoá và bằng $a(N_d - n_0)$, với hệ số a xác định theo công thức:

$$a = \exp\left(-\frac{qW_d}{kT}\right)$$

(2.6)

Trong đó q là trị tuyệt đối của điện tích điện tử, T là nhiệt độ tuyệt đối của khối vật liệu, k là hằng số.

Số điện tử tái hợp với các nguyên tử đã bị ion hoá trong một đơn vị thời gian tỉ lệ với các nguyên tử đã bị ion hoá n_0 và nồng độ điện tử cũng chính bằng n_0 và bằng $r \cdot n_0^2$, trong đó r là hệ số tái hợp.

Phương trình động học biểu diễn sự thay đổi nồng độ điện tử tự do trong khối vật liệu có dạng:

$$\frac{dn_0}{dt} = a(N_d - n_0) - r \cdot n_0^2$$

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

Suy ra:

$$n_0 = \frac{a}{2 \cdot r} + \left(\frac{a^2}{4r^2} + \frac{a \cdot N_d}{r} \right)^{1/2}$$

(2.7)

Độ dẫn trong tối được biểu diễn bởi hệ thức:

$$\sigma_0 = q\mu n_0 \quad (2.8)$$

Trong đó μ là độ linh động của điện tử.

Khi nhiệt độ tăng, độ linh động của điện tử giảm, nhưng sự tăng mật độ điện tử tự do do sự kích thích nhiệt lớn hơn nhiều nên ảnh hưởng của nó là nhân tố quyết định đối với độ dẫn.

Khi chiếu sáng, các photon sẽ ion hoá các nguyên tử donor, giải phóng ra các điện tử. Tuy nhiên không phải tất cả các photon đập tới bề mặt vật liệu đều giải phóng điện tử, một số bị phản xạ ngay ở bề mặt, một số bị hấp thụ và chuyển năng lượng cho điện tử dưới dạng nhiệt năng, chỉ phần còn lại mới tham gia vào giải phóng điện tử. Do vậy, số điện tử (g) được giải phóng do bị chiếu sáng trong một giây ứng với một đơn vị thể tích vật liệu, xác định bởi công thức:

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{A \cdot L} \cdot \frac{\eta(1-R)}{h\nu} \Phi$$

(2.9)

Trong đó:

G - số điện tử được giải phóng trong thể tích V trong thời gian một giây.

$V=A.L$, với A, L là diện tích mặt cạnh và chiều rộng tấm bán dẫn (hình 2.4).

η - hiệu suất lượng tử (số điện tử hoặc lỗ trống trung bình được giải phóng khi một photon bị hấp thụ).

R - là hệ số phản xạ của bề mặt vật liệu.

λ - bước sóng ánh sáng.

Φ - thông lượng ánh sáng.

h - hằng số Planck.

Phương trình động học của tái hợp trong trường hợp này có dạng:

$$\frac{dn}{dt} = a(N_d - n) + g - r.n^2$$

Thông thường bức xạ chiếu tới đủ lớn để số điện tử được giải phóng lớn hơn rất nhiều so với điện tử được giải phóng do nhiệt:

$$g \gg a(N_d - n) \text{ và } n \gg n_0$$

Trong điều kiện trên, rút ra phương trình động học cho mật độ điện tử ở điều kiện cân bằng dưới tác dụng chiếu sáng:

$$n = \left(\frac{g}{r} \right)^{1/2} \quad (2.10)$$

Độ dẫn tương ứng với nồng độ điện tử ở điều kiện cân bằng:

$$\sigma = q\mu n. \quad (2.11)$$

Từ công thức (2.9), (2.10) và (2.11) ta nhận thấy độ dẫn là hàm không tuyến tính của thông lượng ánh sáng, nó tỉ lệ với $\Phi^{1/2}$. Thực nghiệm cho thấy số mũ của hàm Φ nằm trong khoảng 0,5 - 1.

2.2.2. Tế bào quang dẫn

a) Vật liệu chế tạo

Tế bào quang dẫn được chế tạo các bán dẫn đa tinh thể đồng nhất hoặc đơn tinh thể, bán dẫn riêng hoặc bán dẫn pha tạp.

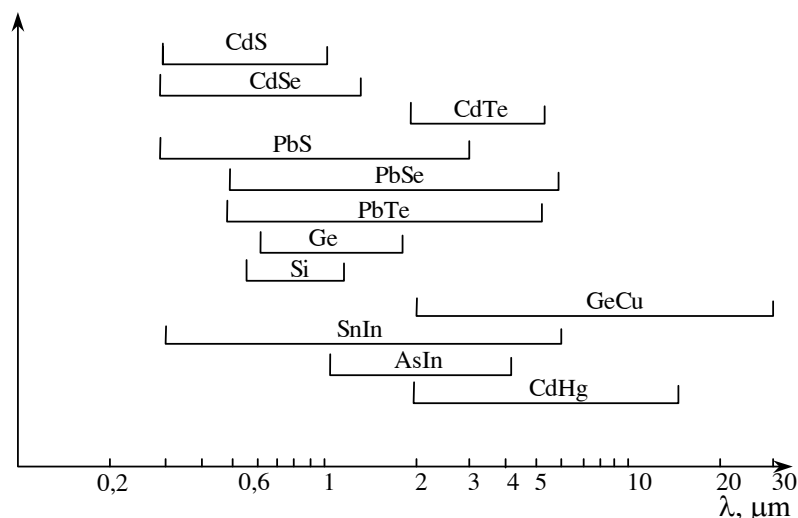
- Đa tinh thể: CdS, CdSe, CdTe.

PbS, PbSe, PbTe.

- Đơn tinh thể: Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp Au, Cu, Sb, In.

SbIn, AsIn, PIn, cdHgTe.

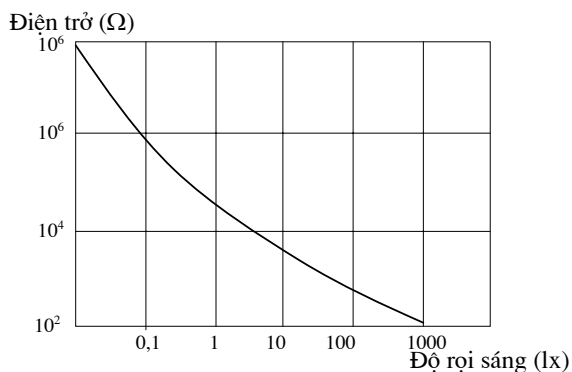
Vùng phổ làm việc của các vật liệu này biểu diễn trên hình 2.5



Hình 2.5. Vùng phổ làm việc của một số vật liệu quang dẫn

b) Các đặc trưng

- **Điện trở** : Giá trị điện trở tối R_{C0} của các quang điện trở phụ thuộc rất lớn vào hình dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và bản chất hoá lý của vật liệu chế tạo. Các chất PbS, CdS, CdSe có điện trở tối rất lớn (từ $10^4 \Omega$ - $10^9 \Omega$ ở 25°C), trong khi đó SbIn, SbAs, CdHgTe có điện trở tối tương đối nhỏ (từ 10Ω - $10^3 \Omega$ ở 25°C). Điện trở R_c của cảm biến giảm rất nhanh khi độ rọi tăng lên. Trên hình 2.6 là một ví dụ về sự thay đổi của điện trở cảm biến theo độ rọi sáng.



Hình 2.6. Sự phụ thuộc của điện trở vào độ rọi sáng

Tế bào quang dẫn có thể coi như một mạch tương đương gồm hai điện trở R_{c0} và R_{cp} mắc song song:

$$R_c = \frac{R_{c0} R_{cp}}{R_{c0} + R_{cp}}$$

(2.12)

Trong đó:

R_{c0} - điện trở trong tối.

R_{cp} - điện trở khi chiếu sáng: $R_{cp} = a\Phi^{-\gamma}$.

a - hệ số phụ thuộc vào bản chất vật liệu, nhiệt độ, phổ bức xạ.

γ - hệ số có giá trị từ 0,5 - 1.

Thông thường $R_{cp} \ll R_{c0}$, nên có thể coi $R_c = R_{cp}$. Công thức (2.12) cho thấy sự phụ thuộc của điện trở của tế bào quang dẫn vào thông lượng ánh sáng là không tuyến tính, tuy nhiên có thể tuyến tính hóa bằng cách sử dụng một điện trở mắc song song với tế bào quang dẫn. Mặt khác, độ nhạy nhiệt của tế bào quang dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ, khi độ rọi càng lớn độ nhạy nhiệt càng nhỏ.

- **Độ nhạy:** Theo sơ đồ tương đương của tế bào quang dẫn, độ dẫn điện của tế bào quang dẫn là tổng độ dẫn trong tối và độ dẫn khi chiếu sáng:

$$G_c = G_{c0} + G_{cp}$$

(2.1)

Trong đó:

- G_{c0} là độ dẫn trong tối: $G_{c0} = 1/R_{c0}$.

- G_{cp} là điện trở khi chiếu sáng: $G_{cp} = 1/R_{cp} = \Phi^\gamma/a$.

Khi đặt điện áp V vào tế bào quang dẫn, dòng điện qua mạch:

$$I = VG_{c0} + VG_{cp} = I_0 + I_P$$

Trong điều kiện sử dụng thông thường $I_0 \ll I_P$, do đó dòng quang điện của tế bào quang dẫn xác định bởi biểu thức:

$$I_P = \frac{V}{a} \Phi^\gamma$$

(2.15)

Đối với luồng bức xạ có phổ xác định, tỉ lệ chuyển đổi tĩnh:

$$\frac{I}{\Phi} = \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1}$$

(2.16)

Và độ nhạy:

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1}$$

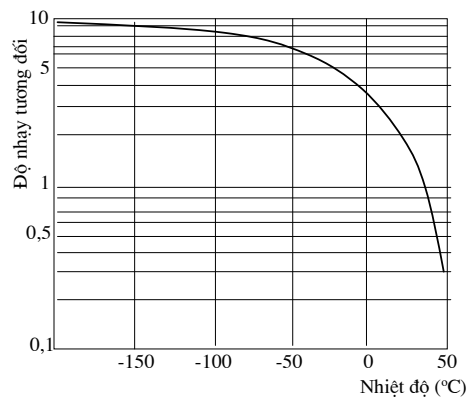
(2.17)

Từ hai biểu thức (2.16) và (2.17) có thể thấy:

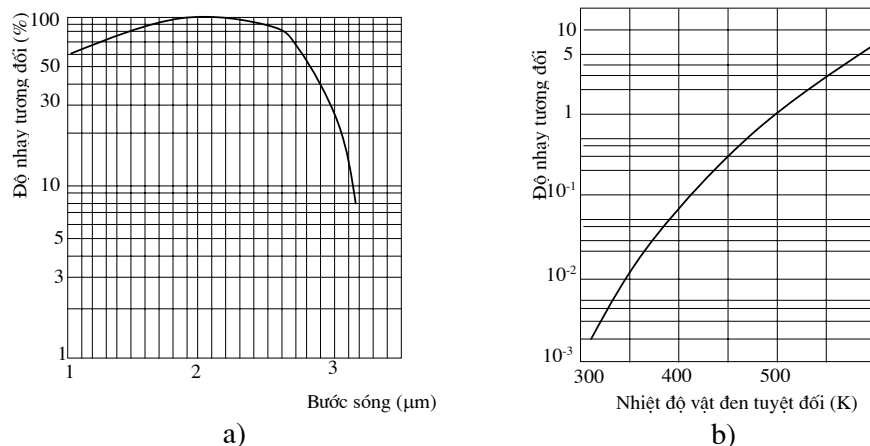
- Tế bào quang dẫn là một cảm biến không tuyến tính, độ nhạy giảm khi bức xạ tăng (trừ khi $\gamma=1$).

- Khi điện áp đặt vào đủ nhỏ, độ nhạy tỷ lệ thuận với điện áp đặt vào tế bào quang dẫn. Khi điện áp đặt vào lớn, hiệu ứng Joule làm tăng nhiệt độ, dẫn đến độ nhạy giảm (hình 2.7).

Trường hợp bức xạ ánh sáng là đơn sắc, I_p phụ thuộc vào λ , độ nhạy phổ của tế bào quang dẫn xác định nhờ đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của hồi đáp vào bước sóng (hình 2.8a)



Hình 2.7 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhạy của tế bào quang dẫn



Hình 2.8 Độ nhạy của tế bào quang dẫn

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

(2.28)

Độ nhạy phổ của tế bào quang dẫn là hàm phụ thuộc nhiệt độ nguồn sáng, khi nhiệt độ tăng độ nhạy phổ tăng.

Khi bức xạ không phải là đơn sắc, dòng I_p và do đó độ nhạy toàn phần phụ thuộc phổ bức xạ (hình 2.8b).

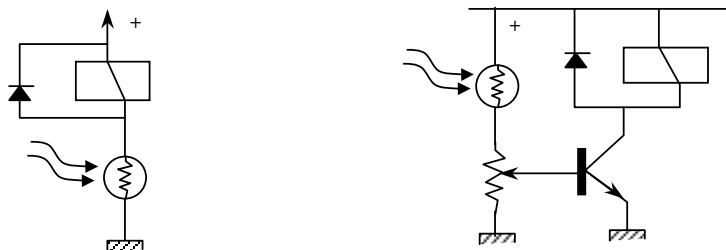
c) Đặc điểm và ứng dụng

Đặc điểm chung của các tế bào quang dẫn:

- Tỷ lệ chuyển đổi tĩnh cao.
- Độ nhạy cao.
- Hồi đáp phụ thuộc không tuyến tính vào thông lượng.
- Thời gian hồi đáp lớn.
- Các đặc trưng không ổn định do già hoá.
- Độ nhạy phụ thuộc nhiệt độ.
- Một số loại đòi hỏi làm nguội.

Trong thực tế, tế bào quang dẫn được dùng trong hai trường hợp:

- Điều khiển rơ le: khi có bức xạ ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn, điện trở của nó giảm đáng kể, cho dòng điện chạy qua đủ lớn, được sử dụng trực tiếp hoặc qua khuếch đại để đóng mở rơ le (hình 2.9).
- Thu tín hiệu quang: dùng tế bào quang dẫn để thu và biến tín hiệu quang thành xung điện. Các xung ánh sáng ngắt quãng được thể hiện qua xung điện, trên cơ sở đó có thể lập các mạch đếm vật hoặc đo tốc độ quay của đĩa.



Hình 2.9 Dùng tế bào quang dẫn điều khiển rơ le

a) Điều khiển trực tiếp b) Điều khiển thông qua tranzito khuếch đại

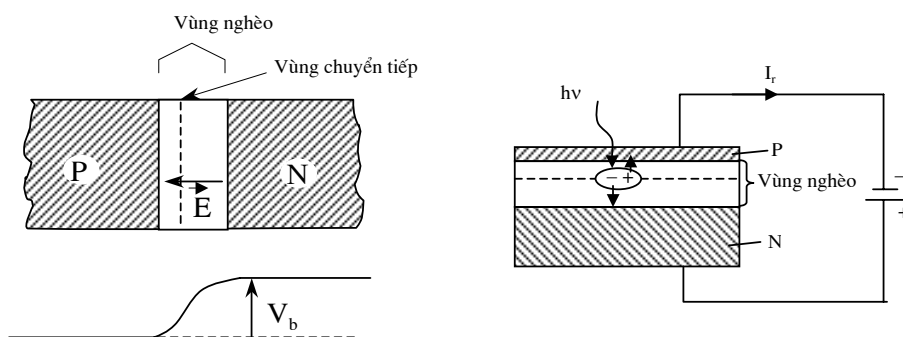
2.2.3. Photodiode

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Xét hai tấm bán dẫn, một thuộc loại N và một thuộc loại P, ghép tiếp xúc nhau. Tại mặt tiếp xúc hình thành một vùng nghèo hạt dẫn vì tại vùng này tồn tại một điện trường và hình thành hàng rào thế V_b .

Khi không có điện thế ở ngoài đặt lên chuyển tiếp ($V=0$), dòng điện chạy qua chuyển tiếp $I = 0$, thực tế dòng I chính là dòng tổng cộng của hai dòng điện bằng nhau và ngược chiều:

- Dòng khuếch tán các hạt cơ bản sinh ra khi ion hoá các tạp chất (lỗ trống trong bán dẫn loại P, điện tử trong bán dẫn loại N) do năng lượng nhiệt của các hạt dẫn cơ bản đủ lớn để vượt qua hàng rào thế.
- Dòng hạt dẫn không cơ bản sinh ra do kích thích nhiệt (điện tử trong bán dẫn P, lỗ trống trong bán dẫn N) chuyển động dưới tác dụng của điện trường E trong vùng nghèo.



Hình 2.10 Sơ đồ chuyển tiếp P - N và hiệu ứng quang điện trong vùng nghèo

Khi có điện áp đặt lên điốt, hàng rào thế thay đổi kéo theo sự thay đổi dòng hạt cơ bản và bề rộng vùng nghèo. Dòng điện qua chuyển tiếp:

$$I = I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] - I_0$$

Khi điện áp ngược đủ lớn ($V_d \ll -\frac{kT}{q} = -26\text{mV}$ ở 300K), chiều cao hàng rào thế lớn đến mức dòng khuếch tán của các hạt cơ bản trở nên rất nhỏ và có thể bỏ qua và chỉ còn lại dòng ngược của điốt, khi đó $I = I_0$.

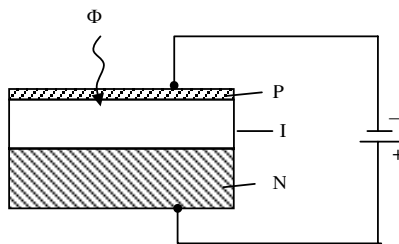
Khi chiếu sáng điốt bằng bức xạ có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện tử - lỗ trống. Để các hạt dẫn này tham gia dẫn điện cần phải ngăn cản sự tái hợp của chúng, tức là nhanh chóng tách rời cặp điện tử - lỗ trống. Sự tách cặp điện tử - lỗ trống chỉ xảy ra trong vùng nghèo nhờ tác dụng của điện trường.

Số hạt dẫn được giải phóng phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng đạt tới vùng nghèo và khả năng hấp thụ của vùng này. Thông lượng ánh sáng chiếu tới vùng nghèo phụ thuộc đáng kể vào chiều dày lớp vật liệu mà nó đi qua:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\alpha x}$$

Trong đó hệ số $\alpha \approx 10^5 \text{ cm}^{-1}$. Để tăng thông lượng ánh sáng đến vùng nghèo người ta chế tạo điốt với phiên bản dẫn chiều dày rất bé.

Khả năng hấp thụ bức xạ phụ thuộc rất lớn vào bề rộng vùng nghèo. Để tăng khả năng mở rộng vùng nghèo người ta dùng điốt PIN, lớp bán dẫn riêng I kẹp giữa hai lớp bán dẫn P và N, với loại điốt này chỉ cần điện áp ngược vài vôn có thể mở rộng vùng nghèo ra toàn bộ lớp bán dẫn I.

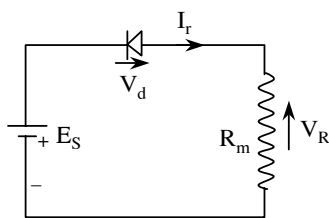


Hình 2.11 Cấu tạo điốt loại PIN

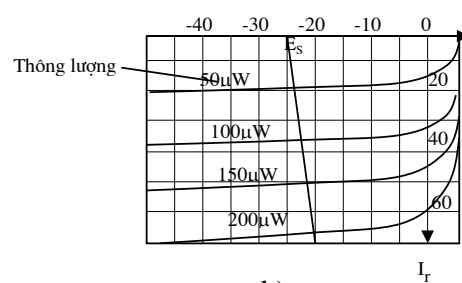
b) Chế độ hoạt động

- Chế độ quang dẫn:

Sơ đồ nguyên lý (hình 2.12a) gồm một nguồn E_s phân cực ngược điốt và một điện trở R_m để đo tín hiệu.



a)



b)

Hình 2.12 Sơ đồ nguyên lý và chế độ làm việc

Dòng ngược qua điôt:

$$I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 + I_p$$

(2.40)

Trong đó I_p là dòng quang điện:

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{hc} \Phi_0 \exp(-\alpha X)$$

(2.41)

Khi điện áp ngược V_d đủ lớn, thành phần $\exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] \rightarrow 0$, ta có:

$$I_R = I_0 + I_p$$

Thông thường $I_0 \ll I_p$ do đó $I_R \approx I_p$.

Phương trình mạch điện:

$$E = V_R - V_D$$

Trong đó $V_R = R_m I_r$ cho phép vẽ đường thẳng tải Δ (hình 2.11b).

Dòng điện chạy trong mạch:

$$I_r = \frac{E}{R_m} + \frac{V}{R_m}$$

Điểm làm việc của điôt là điểm giao nhau giữa đường thẳng tải Δ và đường đặc tuyến I-V với thông lượng tương ứng. Chế độ làm việc này là tuyến tính, V_R tỉ lệ với thông lượng.

- Chế độ quang thế:

Trong chế độ này không có điện áp ngoài đặt vào điôt. Điôt làm việc như một bộ chuyển đổi năng lượng tương đương với một máy phát và người ta đo thế hở mạch V_{oc} hoặc đo dòng ngắn mạch I_{sc} .

Đo thế hở mạch: Khi chiếu sáng, dòng I_p tăng làm cho hàng rào thế giảm một lượng ΔV_b . Sự giảm chiều cao hàng rào thế làm cho dòng hạt dẫn cơ bản tăng lên, khi đạt cân bằng $I_r = 0$.

Ta có:

$$-I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 + I_p = 0$$

Rút ra:

$$\Delta V_b = \frac{kT}{q} \log\left[1 + \frac{I_p}{I_0}\right]$$

Độ giảm chiều cao ΔV_b của hàng rào thế có thể xác định được thông qua đo điện áp giữa hai đầu điốt khi hở mạch.

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \log \left[1 + \frac{I_P}{I_0} \right]$$

Khi chiếu sáng yếu $I_P \ll I_0$:

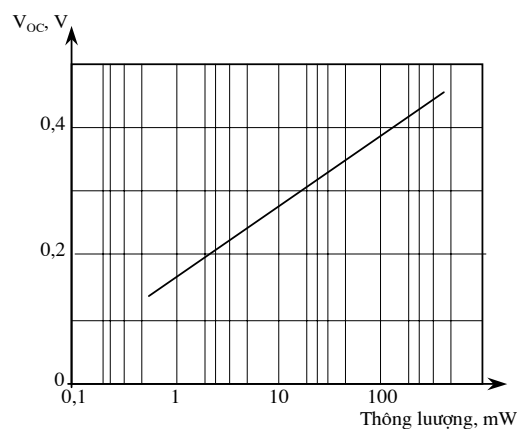
$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \cdot \frac{I_P}{I_0}$$

Trong trường hợp này V_{OC} ($kT/q=26\text{mV}$ ở 300K) nhỏ nhưng phụ thuộc tuyến tính vào thông lượng.

Khi chiếu sáng mạnh, $I_P \gg I_0$ và ta có:

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \log \frac{I_P}{I_0}$$

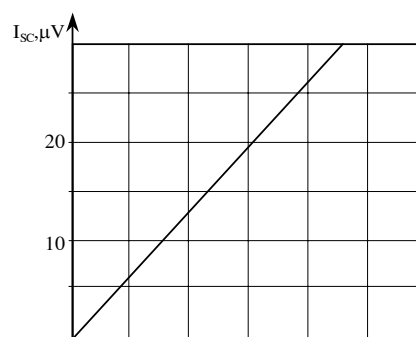
Trong trường hợp này V_{OC} có giá trị tương đối lớn (cỡ $0,1 - 0,6 \text{ V}$) nhưng phụ thuộc vào thông lượng theo hàm logarit.

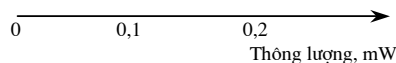


Hình 2.13 Sự phụ thuộc của thế hở mạch vào thông lượng

Đo dòng ngắn mạch: Khi nối ngắn mạch hai đầu điốt bằng một điện trở nhỏ hơn r_d nào đó, dòng đoản mạch I_{SC} chính bằng I_P và tỉ lệ với thông lượng (hình 2.14):

$$I_{SC} = I_P$$





Hình 2.14 Sự phụ thuộc của dòng ngắn mạch vào thông lượng ánh sáng

Đặc điểm quan trọng của chế độ này là không có dòng tối, nhờ vậy có thể giảm nhiễu và cho phép đo được thông lượng nhỏ.

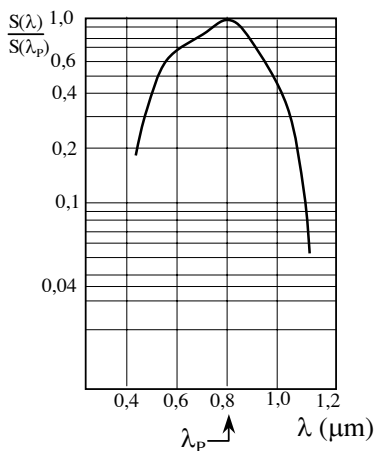
c) Độ nhạy

Đối với bức xạ có phổ xác định, dòng quang điện I_p tỉ lệ tuyến tính với thông lượng trong một khoảng tương đối rộng, cỡ 5 - 6 decad. Độ nhạy phổ xác định theo công thức:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda$$

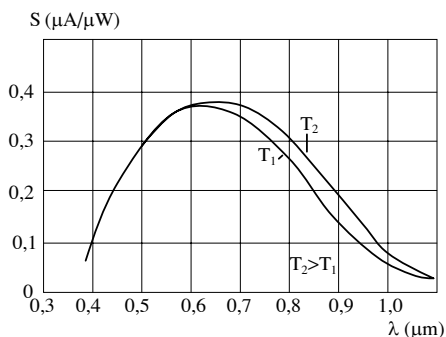
Với $\lambda \leq \lambda_s$.

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



Hình 2.15 Phổ độ nhạy của photodiode

Người sử dụng cần phải biết độ nhạy phổ dựa trên đường cong phổ hồi đáp $S(\lambda)/S(\lambda_p)$ và giá trị của bước sóng λ_p ứng với độ nhạy cực đại. Thông thường $S(\lambda_p)$ nằm trong khoảng 0,1 - 1,0 A/W.



Hình 2.16 Sự phụ thuộc của độ nhạy vào nhiệt độ

Khi nhiệt độ tăng, cực đại λ_p của đường cong phổ dịch chuyển về phía bước sóng dài. Hệ số nhiệt của dòng quang dẫn $\frac{1}{I_p} \cdot \frac{dI_p}{dT}$ có giá trị khoảng 0,1%/°C.

d) Sơ đồ ứng dụng photodiode

- Sơ đồ làm việc ở chế độ quang dẫn:

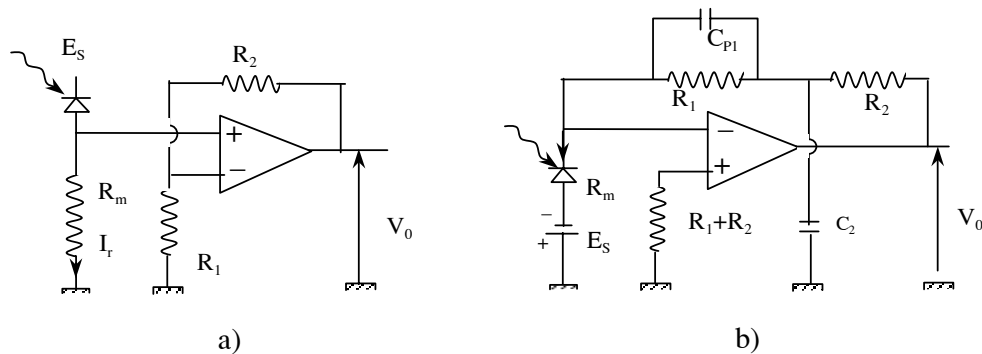
Đặc trưng của chế độ quang dẫn:

- + Độ tuyến tính cao.
- + Thời gian hồi đáp ngắn.
- + Dải thông lớn.

Hình 2.16 trình bày sơ đồ đo dòng ngược trong chế độ quang dẫn.

Sơ đồ cơ sở (hình 2.17a):

$$V_0 = R_m \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] I_r$$



Hình 2.17 Sơ đồ mạch đo dòng ngược trong chế độ quang dẫn

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

Sơ đồ tác động nhanh (hình 2.17b):

$$V_0 = (R_1 + R_2) I_r$$

điện trở của diode nhỏ và bằng $\frac{R_1 + R_2}{K}$ trong đó K là hệ số khuếch đại ở tần số làm việc.

Tụ C_2 có tác dụng bù trừ ảnh hưởng của tụ ký sinh C_{pl} với điều kiện $R_1 C_{pl} = R_2 C_2$. Bộ khuếch đại ở đây phải có dòng vào rất nhỏ và sự suy giảm do nhiệt cũng phải không đáng kể.

- Sơ đồ làm việc ở chế độ quang thế:

Đặc trưng của chế độ quang thế:

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

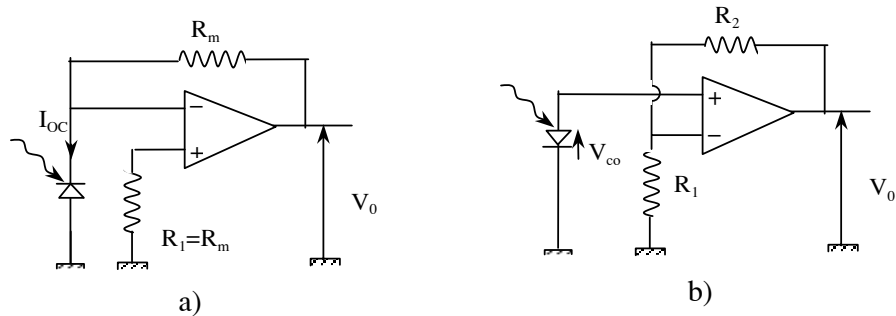
Sơ đồ tuyến tính (hình 2.18a): đo dòng ngắn mạch I_{sc} .

Trong chế độ này:

$$V_0 = R_m \cdot I_{sc}$$

Sơ đồ logarit (hình 2.18b): đo điện áp hở mạch V_{oc} .

$$V_0 = \left[1 + \frac{R_2}{R_1} \right] V_{oc}$$

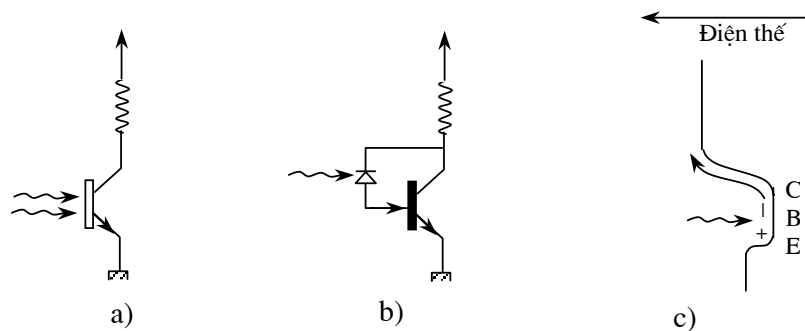


Hình 2.18 Sơ đồ mạch đo ở chế độ quang áp

2.2.4. Phototranzito

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Phototranzito là các tranzito mà vùng bazơ có thể được chiếu sáng, không có điện áp đặt lên bazơ, chỉ có điện áp trên C, đồng thời chuyển tiếp B-C phân cực ngược.



Hình 2.19 Phototranzito

- a) Sơ đồ mạch điện b) Sơ đồ tương đương
c) Tách cặp điện tử lỗ trống khi chiếu sáng bazơ

Điện áp đặt vào tập trung hầu như toàn bộ trên chuyển tiếp B-C (phân cực ngược) trong khi đó chênh lệch điện áp giữa E và B thay đổi không đáng kể ($V_{BE} \approx 0,6-0,7$ V). Khi chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, nó hoạt động giống như photodiode ở chế độ quang thế với dòng ngược:

$$I_r = I_0 + I_p$$

Trong đó I_0 là dòng ngược trong tối, I_p là dòng quang điện dưới tác dụng của thông lượng Φ_0 chiếu qua bề dày X của bazơ (bước sóng $\lambda < \lambda_s$):

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda \Phi_0$$

Dòng I_r đóng vai trò dòng bazơ, nó gây nên dòng collector I_c :

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

β - hệ số khuếch đại dòng của tranzito khi đấu chung emitter.

Có thể coi phototranzito như tổ hợp của một photodiode và một tranzito (hình 2.19b). Photodiode cung cấp dòng quang điện tại bazơ, còn tranzito cho hiệu ứng khuếch đại β . Các điện tử và lỗ trống phát sinh trong vùng bazơ (dưới tác dụng của ánh sáng) sẽ bị phân chia dưới tác dụng của điện trường trên chuyển tiếp B - C.

Trong trường hợp tranzito NPN, các điện tử bị kéo về phía collector trong khi lỗ trống bị giữ lại trong vùng bazơ (hình 2.19c) tạo thành dòng điện tử từ E qua B đến C. Hiện tượng xảy ra tương tự như vậy nếu như lỗ trống phun vào bazơ từ một nguồn bên ngoài: điện thế bazơ tăng lên làm giảm hàng rào thế giữa E và B, điều này gây nên dòng điện tử I_E chạy từ E đến B và khuếch tán tiếp từ B về phía C.

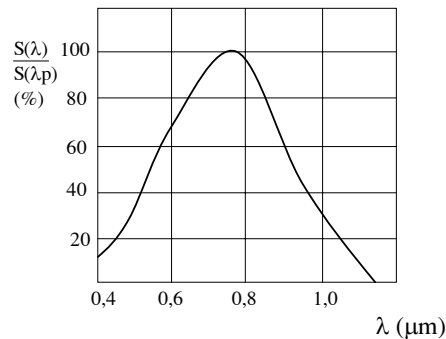
b) Độ nhạy

Khi nhận được thông lượng Φ_0 , diode bazơ-collector sinh ra dòng quang điện I_p , dòng này gây nên trong phototranzito một dòng $I_{cp} = (\beta + 1)I_p$, trong đó giá trị của I_{cp} được rút ra từ công thức của I_p :

$$I_{cp} = \frac{(\beta + 1)q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda \Phi_0$$

Đối với một thông lượng Φ_0 cho trước, đường cong phổ hồi đáp xác định bởi bản chất của diode B-C: vật liệu chế tạo (thường là Si) và loại pha tạp (hình 2.20). Đối với một bước sóng cho trước, dòng collector I_c không phải là hàm tuyến tính của thông

lượng hoặc độ chiếu sáng bởi vì hệ số khuếch đại β phụ thuộc vào dòng I_c (tức là cũng phụ thuộc thông lượng), nghĩa là $\frac{\Delta I_c}{\Delta \Phi_0}$ phụ thuộc vào Φ_0 .



Hình 2.20 Đường cong phổ hồi đáp của photodiode

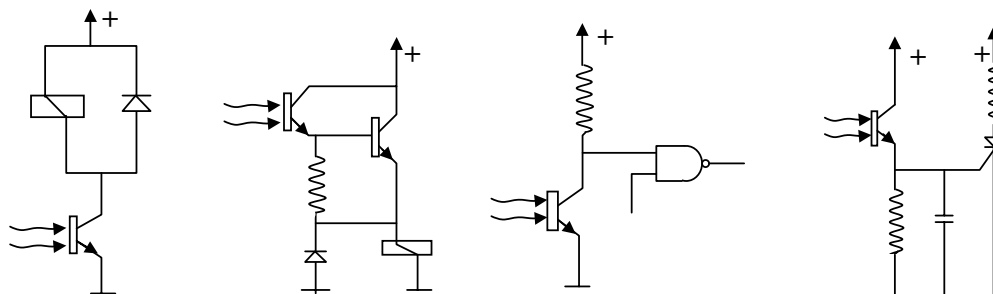
Độ nhạy phổ $S(\lambda_p)$ ở bước sóng tương ứng với điểm cực đại có giá trị nằm trong khoảng 1 - 100A/W.

c) Sơ đồ dùng phototranzito

Phototranzito có thể dùng làm bộ chuyển mạch, hoặc làm phần tử tuyến tính. Ở chế độ chuyển mạch nó có ưu điểm so với photodiode là cho phép sử dụng một cách trực tiếp dòng chạy qua tương đối lớn. Ngược lại, ở chế độ tuyến tính, mặc dù cho độ khuếch đại nhưng người ta thích dùng photodiode vì nó có độ tuyến tính tốt hơn.

- Phototranzito chuyển mạch:

Trong trường hợp này sử dụng thông tin dạng nhị phân: có hay không có bức xạ, hoặc ánh sáng nhỏ hơn hay lớn hơn ngưỡng. Tranzito chặn hoặc bảo hoà cho phép điều khiển trực tiếp (hoặc sau khi khuếch đại) như một rơle, điều khiển một cổng logic hoặc một thyristo (hình 2.21).



Hình 2.21 Photodiode trong chế độ chuyển mạch
a) Rơle b) Rơle sau khuếch đại c) Cổng logic d) Thyristo

- Phototranzito trong chế độ tuyến tính:

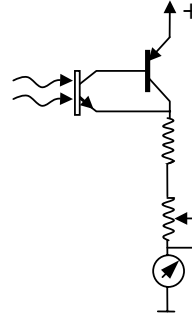
Có hai cách sử dụng trong chế độ tuyến tính.

- Trường hợp thứ nhất: đo ánh sáng không đổi (giống như một luxmet).
- Trường hợp thứ hai: thu nhận tín hiệu thay đổi dạng:

$$\Phi(t) = \Phi_0 + \Phi_1(t)$$

Trong đó $\Phi_1(t)$ là thành phần thay đổi với biên độ nhỏ để sao cho không dẫn tới phototranzito bị chặn hoặc bão hoà và có thể coi độ nhạy không đổi. Trong điều kiện đó, dòng colectơ có dạng:

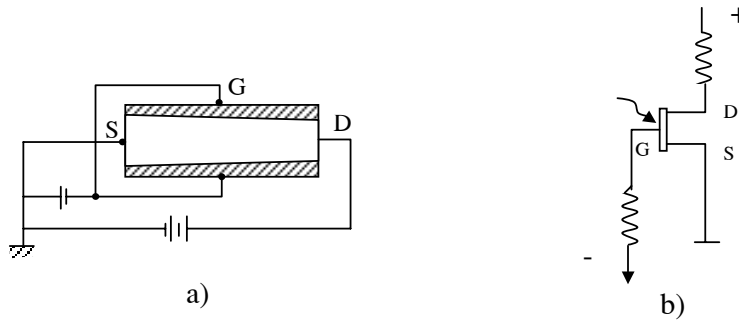
$$I_c(t) = I_c \Phi_0 + S \cdot \Phi_1(t)$$



Hình 2.22 Sơ đồ nguyên lý luxmet

2.2.5. Phototranzito hiệu ứng trường

Phototranzito hiệu ứng trường (photoFET) có sơ đồ tương đương như hình 2.23.



Hình 2.23 Phototranzito hiệu ứng trường
a) Sơ đồ cấu tạo b) Sơ đồ mạch

Trong phototranzito hiệu ứng trường, ánh sáng được sử dụng để làm thay đổi điện trở kênh. Việc điều khiển dòng máng I_D được thực hiện thông qua sự thay đổi điện áp V_{GS} giữa cổng và nguồn. Trong chế độ phân cực ngược chuyển tiếp P-N giữa cổng và kênh, điện áp này sẽ xác định độ rộng của kênh và do đó dòng máng có dạng:

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

Với I_{DS} - dòng máng khi $V_{GS} = 0$.

V_P - điện áp thắt kênh.

Khi bị chiếu sáng, chuyển tiếp P-N hoạt động như một photodiode cho dòng ngược:

$$I_r = I_0 + I_P$$

$I_p = S_g \Phi$ - dòng quang điện.

I_0 - dòng điện trong tối.

S_g - độ nhạy của diot cổng - kênh.

Φ - thông lượng ánh sáng.

Dòng I_r chạy qua điện trở R_g của mạch cổng xác định điện thế V_{GS} và dòng máng:

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

E_g - thế phân cực của cổng.

Phototranzito hiệu ứng trường được ứng dụng nhiều trong việc điều khiển điện áp bằng ánh sáng.

2.3. Cảm biến quang điện phát xạ

2.3.1. Hiệu ứng quang điện phát xạ

Hiệu ứng quang điện phát xạ hay còn được gọi là hiệu ứng quang điện ngoài là hiện tượng các điện tử được giải phóng khỏi bề mặt vật liệu tạo thành dòng khi chiếu vào chúng một bức xạ ánh sáng có bước sóng nhỏ hơn một ngưỡng nhất định và có thể thu lại nhờ tác dụng của điện trường.

Cơ chế phát xạ điện tử khi chiếu sáng vật liệu 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.
- Điện tử thoát khỏi bề mặt vật liệu.

Khi một điện tử hấp thụ photon và được giải phóng, di chuyển của nó trong khối vật liệu mang tính ngẫu nhiên theo mọi hướng, do đó chỉ một lượng rất nhỏ hướng tới bề mặt. Mặt khác, trong quá trình di chuyển, các điện tử này có thể va chạm với các điện tử khác và mất đi một phần năng lượng do đó chỉ một lượng nhỏ điện tử được giải phóng tới được bề mặt. Mặt khác, sự phát xạ của các điện tử sau khi đã đến được bề mặt chỉ có thể xảy ra khi động năng của nó đủ thắng được hàng rào thế phân cách vật liệu với môi trường.

Với tất cả những điều kiện trên, số điện tử phát xạ trung bình khi một photon bị hấp thụ (hiệu suất lượng tử) thường nhỏ hơn 10% và ít khi vượt quá 30%.

Vật liệu chế tạo: Phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng, vật liệu chế tạo photocatod có thể chọn trong các loại sau:

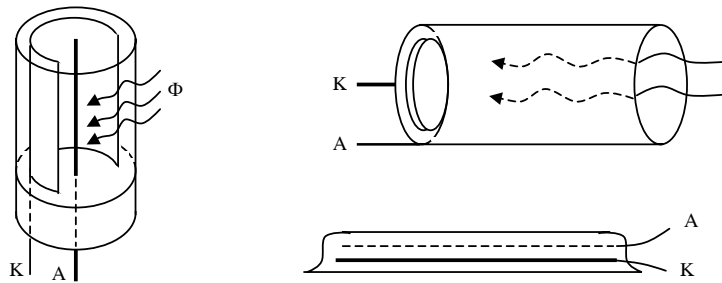
- AgOCs nhạy ở vùng hồng ngoại.
- Cs_3Sb , $(Cs)Na_2KSb$ và K_2CsSb : nhạy với ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại.
- Cs_2Te , Rb_2Te và $CsTe$ chỉ nhạy trong vùng tử ngoại.

Hiệu suất lượng tử của các vật liệu trên $\sim 1 - 30\%$.

Ngoài ra còn dùng các hợp chất của các chất thuộc nhóm III - V, 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 ở vùng hồng ngoại ($\lambda \sim 1\mu\text{m}$), hiệu suất lượng tử đạt tới 30% .

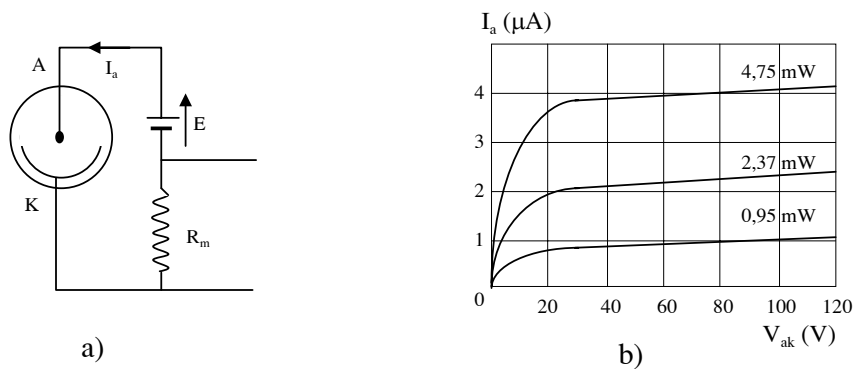
2.3.2. Tế bào quang điện chân không

Tế bào quang điện chân không gồm một ống hình trụ có một cửa sổ trong suốt, được hút chân không (áp suất $\sim 10^{-6} - 10^{-8}$ mmHg). Trong ống đặt một catot có khả năng phát xạ khi được chiếu sáng và một anot.



Hình 2.24 Sơ đồ cấu tạo tế bào quang điện chân không

Sơ đồ tương đương và sự thay đổi của dòng anot I_a phụ thuộc vào điện thế anot - catot V_{ak} biểu diễn trên hình 2.25.



Hình 2.25 Sơ đồ tương đương và đặc trưng $I - v$ của tế bào quang điện chân không
Đặc trưng $I - V$ có hai vùng rõ rệt:

+ Vùng điện tích không gian đặc trưng bởi sự tăng mạnh của dòng khi điện áp tăng.

+ Vùng bảo hoà đặc trưng bởi sự phụ thuộc không đáng kể của dòng vào điện áp.

Tế bào quang điện được sử dụng chủ yếu trong vùng bảo hoà, khi đó nó giống như một nguồn dòng, giá trị của dòng chỉ phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng mà nó

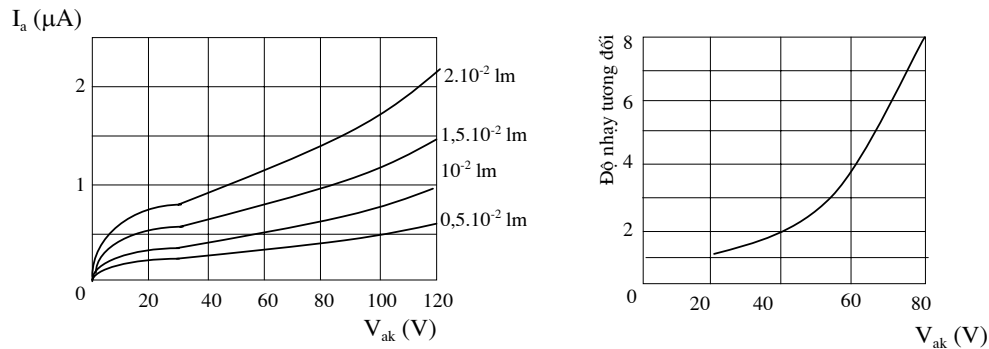
nhận được. Điện trở trong ρ của tế bào quang điện rất lớn và có thể xác định từ độ dốc của đặc tuyến ở vùng bão hoà:

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

Độ nhạy phổ của tế bào quang điện được biểu diễn thông qua giá trị của dòng anot trong vùng bão hoà, thường vào cỡ 10 - 100 mA/W.

2.3.3. Tế bào quang điện dạng khí

Tế bào quang điện dạng khí có cấu tạo tương tự tế bào quang điện chân không, chỉ khác ở chỗ thể tích bên trong của đèn được điền đầy bằng khí, thường là khí acgon, dưới áp suất cỡ 10^{-1} - 10^{-2} mmHg.



Hình 2.26 Đặc trưng và độ nhạy của tế bào quang điện dạng khí

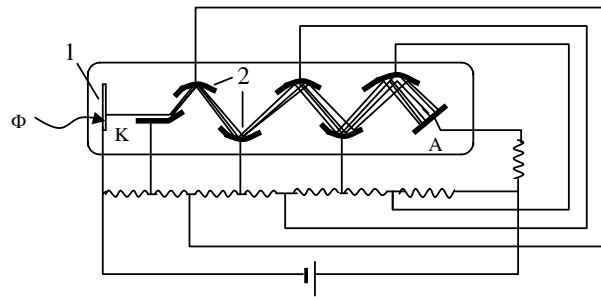
Khi điện áp thấp hơn 20V, đặc tuyến I - V có dạng giống như tế bào quang điện chân không. Khi điện áp cao, điện tử chuyển động với tốc độ lớn làm ion hoá các nguyên tử khí, kết quả là dòng anot tăng lên từ 5 - 10 lần.

2.3.4. Thiết bị nhân quang

Khi bề mặt vật rắn bị bắn phá bởi các điện tử có năng lượng cao, nó có thể phát xạ các điện tử (gọi là phát xạ thứ cấp). Nếu số điện tử phát xạ thứ cấp lớn hơn số điện tử tới thì có khả năng khuếch đại tín hiệu. Sự khuếch đại được thực hiện bằng các thiết bị nhân quang (hình 2.27).

Các điện tử tới (điện tử sơ cấp) được phát xạ từ một photocatot đặt trong chân không và bị chiếu sáng. Sau đó chúng được tiêu tụ trên được cực thứ nhất của dãy các điện cực (dynode) nối tiếp. Bề mặt các điện cực nối tiếp phủ bằng vật liệu có khả năng phát xạ điện tử thứ cấp. Theo chiều đi từ điện cực thứ nhất đến các điện cực tiếp theo, điện thế của các điện cực tăng dần sao cho các điện tử sinh ra từ điện cực thứ k sẽ bị

hút bởi điện cực thứ $(k+1)$. Kết quả ở điện cực sau số điện tử lớn hơn ở điện cực trước đó.



Hình 2.27 Thiết bị nhân quang
1) Photocatot 2) Dynode (điện cực thứ cấp)

Hệ số khuếch đại của thiết bị nhân quang xác định theo công thức:

$$M = \eta_c (\eta_t \delta)^n$$

η_c - hệ số thu nhận điện tử hữu hiệu của các cực.

η_t - hệ số chuyển tải hữu hiệu từ điện cực này sang điện cực khác.

δ - hệ số phát xạ thứ cấp (số điện tử thứ cấp phát ra khi có một điện tử đập vào điện cực).

Với số điện cực $n = 5 - 15$, hệ số phát xạ thứ cấp $\delta = 5 - 10$ và $\eta_t > 90\%$, thì $M \sim 10^6 - 10^8$.

Chương III

CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ

3.1. Khái niệm cơ bản

Nhiệt độ là một trong số những đại lượng có ảnh hưởng rất lớn đến tính chất vật chất. Bởi vậy trong nghiên cứu khoa học, trong công nghiệp cũng như trong đời sống hàng ngày việc đo nhiệt độ là rất cần thiết. Tuy nhiên việc xác định chính xác một nhiệt độ là một vấn đề không đơn giản. Đa số các đại lượng vật lý đều có thể xác định trực tiếp nhờ so sánh chúng với một đại lượng cùng bản chất. Nhiệt độ là đại lượng chỉ có thể đo gián tiếp dựa vào sự phụ thuộc của tính chất vật liệu vào nhiệt độ.

3.1.1. Thang đo nhiệt độ

Để đo nhiệt độ trước hết phải thiết lập thang nhiệt độ. Thang nhiệt độ tuyệt đối được thiết lập dựa vào tính chất của khí lý tưởng.

Theo định lý Carnot: hiệu suất η của một động cơ nhiệt thuận nghịch hoạt động giữa hai nguồn có nhiệt độ θ_1 và θ_2 trong một thang đo bất kỳ chỉ phụ thuộc vào θ_1 và θ_2 :

$$\eta = \frac{F(\theta_1)}{F(\theta_2)} \quad (3.1)$$

Dạng của hàm F phụ thuộc vào thang đo nhiệt độ. Ngược lại việc chọn dạng hàm F sẽ quyết định thang đo nhiệt độ. Đặt $F(\theta) = T$, khi đó hiệu suất nhiệt của động cơ nhiệt thuận nghịch được viết như sau:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (3.2)$$

Trong đó T_1 và T_2 là nhiệt độ động học tuyệt đối của hai nguồn.

Đối với chất khí lý tưởng, nội năng U chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của chất khí và phương trình đặc trưng liên hệ giữa áp suất p , thể tích v và nhiệt độ có dạng:

$$p.v = G(\theta)$$

Có thể chứng minh được rằng:

$$G(\theta) = RT$$

Trong đó R là hằng số khí lý tưởng, T là nhiệt độ động học tuyệt đối.

Để có thể gán một giá trị số cho T , cần phải xác định đơn vị cho nhiệt độ. Muốn vậy chỉ cần gán giá trị cho nhiệt độ tương ứng với một hiện tượng nào đó với điều kiện hiện tượng này hoàn toàn xác định và có tính lặp lại.

Thang Kelvin (Thomson Kelvin - 1852): Thang nhiệt độ động học tuyệt đối, đơn vị nhiệt độ là K. Trong thang đo này người ta gán cho nhiệt độ của điểm cân bằng ba trạng thái nước - nước đá - hơi một giá trị số bằng 273,15 K.

Thang Celsius (Andreas Celsius - 1742): Thang nhiệt độ bách phân, đơn vị nhiệt độ là °C và một độ Celsius bằng một độ Kelvin.

Nhiệt độ Celsius xác định qua nhiệt độ Kelvin theo biểu thức:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (3.3)$$

Thang Fahrenheit (Fahrenheit - 1706): Đơn vị nhiệt độ là °F. Trong thang đo này, nhiệt độ của điểm nước đá tan là 32°F và điểm nước sôi là 212°F.

Quan hệ giữa nhiệt độ Fahrenheit và nhiệt độ Celsius:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} \{T(^{\circ}\text{F}) - 32\} \quad (3.4)$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (3.5)$$

Bảng 3.1 Cho các giá trị tương ứng của một số nhiệt độ quan trọng theo các thang đo khác nhau.

Bảng 3.1

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

3.1.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo

Giả sử môi trường đo có nhiệt độ thực bằng T_x , nhưng khi đo ta chỉ nhận được nhiệt độ T_c là nhiệt độ của phần tử cảm nhận của cảm biến. Nhiệt độ T_x gọi là nhiệt độ cần đo, nhiệt độ T_c gọi là nhiệt độ đo được. Điều kiện để đo đúng nhiệt độ là phải có sự cân bằng nhiệt giữa môi trường đo và cảm biến. Tuy nhiên, do nhiều nguyên nhân, nhiệt độ cảm biến không bao giờ đạt tới nhiệt độ môi trường T_x , do đó tồn tại một chênh lệch nhiệt độ $T_x - T_c$ nhất định. Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào hiệu số $T_x - T_c$, hiệu số này càng bé, độ chính xác của phép đo càng cao. Muốn vậy khi đo cần phải:

- Tăng cường sự trao đổi nhiệt giữa bộ cảm biến và môi trường đo.

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

Chúng ta hãy khảo sát trường hợp đo bằng cảm biến tiếp xúc. Lượng nhiệt truyền từ môi trường vào bộ cảm biến xác định theo công thức:

$$dQ = \alpha A (T_x - T_c) dt$$

Với: α - hệ số dẫn nhiệt.

A - diện tích bề mặt trao đổi nhiệt.

T - thời gian trao đổi nhiệt.

Lượng nhiệt cảm biến hấp thụ:

$$dQ = mC dT_c$$

Với: m - khối lượng cảm biến.

C - nhiệt dung của cảm biến.

Nếu bỏ qua tổn thất nhiệt của cảm biến ra môi trường ngoài và giả sử, ta có:

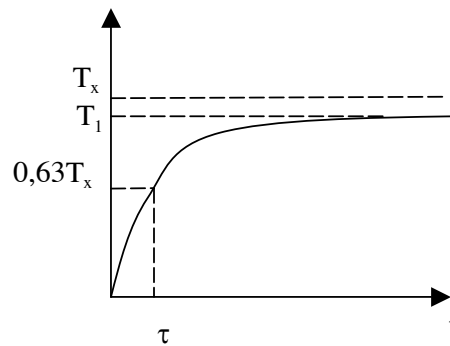
$$\alpha A (T_x - T_c) dt = mC dT_c$$

Đặt $\frac{mC}{\alpha A} = \tau$, gọi là hằng số thời gian nhiệt, ta có:

$$\frac{dT_c}{T_x - T_c} = \frac{dt}{\tau}$$

Nghiệm của phương trình có dạng:

$$T_c = T_x - ke^{-\frac{t}{\tau}}$$



Hình 3.1. Trao đổi nhiệt của cảm biến

Để tăng cường trao đổi nhiệt giữa môi trường có nhiệt độ cần đo và cảm biến ta phải dùng cảm biến có phần tử cảm nhận có tỉ nhiệt thấp, hệ số dẫn nhiệt cao, để hạn chế tổn thất nhiệt từ cảm biến ra ngoài thì các tiếp điểm dẫn từ phần tử cảm nhận ra mạch đo bên ngoài phải có hệ số dẫn nhiệt thấp.

3.1.3. Phân loại cảm biến đo nhiệt độ

Các cảm biến đo nhiệt độ được chia làm hai nhóm:

- Cảm biến tiếp xúc: cảm biến tiếp xúc với môi trường đo, gồm:
 - + Cảm biến giãn nở (nhiệt kế giãn nở).
 - + Cảm biến điện trở (nhiệt điện trở).
 - + Cặp nhiệt ngẫu.
- Cảm biến không tiếp xúc: hoả kế.

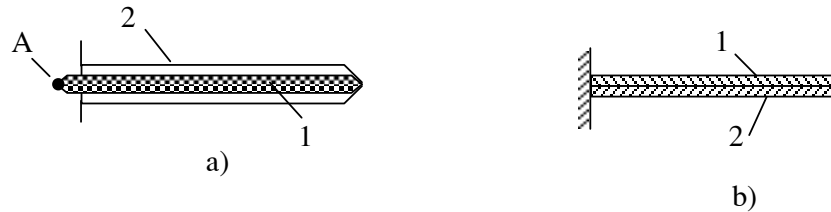
Dưới đây nghiên cứu một số loại cảm biến cơ bản.

3.2. Nhiệt kế giãn nở

Nguyên lý hoạt động của nhiệt kế giãn nở dựa vào sự giãn nở của vật liệu khi tăng nhiệt độ. Nhiệt kế loại này có ưu điểm kết cấu đơn giản, dễ chế tạo.

3.2.1. Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn

Thường có hai loại: gốm và kim loại, kim loại và kim loại.



Hình 3.2 Nhiệt kế giãn nở
a) Nhiệt kế gốm - kim loại b) Nhiệt kế kim loại - kim loại

- Nhiệt kế gốm - kim loại (Dilatomet): gồm một thanh gốm (1) đặt trong ống kim loại (2), một đầu thanh gốm liên kết với ống kim loại, còn đầu A nối với hệ thống truyền động tới bộ phận chỉ thị. Hệ số giãn nở nhiệt của kim loại và của gốm là α_k và α_g . Do $\alpha_k > \alpha_g$, khi nhiệt độ tăng một lượng dt , thanh kim loại giãn thêm một lượng dl_k , thanh gốm giãn thêm dl_g với $dl_k > dl_g$, làm cho thanh gốm dịch sang phải. Dịch chuyển của thanh gốm phụ thuộc $dl_k - dl_g$ do đó phụ thuộc nhiệt độ.

- Nhiệt kế kim loại - kim loại: gồm hai thanh kim loại (1) và (2) có hệ số giãn nở nhiệt khác nhau liên kết với nhau theo chiều dọc. Giả sử $\alpha_1 > \alpha_2$, khi giãn nở nhiệt hai thanh kim loại cong về phía thanh (2). Dựa vào độ cong của thanh kim loại để xác định nhiệt độ.

Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn thường dùng để đo nhiệt độ dưới 700°C .

3.2.2. Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng

Nhiệt kế gồm bình nhiệt (1), ống mao dẫn (2) và chất lỏng (3). Chất lỏng sử dụng thường dùng là thủy ngân có hệ số giãn nở nhiệt $\alpha = 18 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$, vỏ nhiệt kế bằng thủy tinh có $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$.

Khi đo nhiệt độ, bình nhiệt được đặt tiếp xúc với môi trường đo. Khi nhiệt độ tăng, chất lỏng giãn nở và dâng lên trong ống mao dẫn. Thang đo được chia độ trên vỏ theo dọc ống mao dẫn.

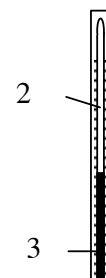
Dải nhiệt độ làm việc từ $-50 \div 600^\circ\text{C}$ tùy theo vật liệu chế tạo vỏ bọc.

3.3. Nhiệt kế điện trở

3.3.1. Nguyên lý

Nguyên lý chung đo nhiệt độ bằng các điện trở là dựa vào sự phụ thuộc điện trở suất của vật liệu theo nhiệt độ.

Trong trường hợp tổng quát, sự thay đổi điện trở



Hiện nay thường sử dụng ba loại điện trở đo nhiệt độ đó là: điện trở kim loại, điện trở silic và điện trở chế tạo bằng hỗn hợp các oxit bán dẫn.

Trường hợp điện trở kim loại, hàm trên có dạng:

$$R(T) = R_0 \left(1 + AT + BT^2 + CT^3 \right) \quad (3.6)$$

Trong đó nhiệt độ T đo bằng $^{\circ}\text{C}$, $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$ và A, B, C là các hệ số thực nghiệm.

Trường hợp điện trở là hỗn hợp các oxit bán dẫn:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (3.7)$$

T là nhiệt độ tuyệt đối, B là hệ số thực nghiệm.

Các hệ số được xác định chính xác bằng thực nghiệm khi đo những nhiệt độ đã biết trước. Khi đã biết giá trị các hệ số, từ giá trị của R người ta xác định được nhiệt độ cần đo.

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

$$R(T + \Delta T) = R(T) (1 + \alpha_R \Delta T) \quad (3.8)$$

Trong đó:

$$\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT} \quad (3.9)$$

được gọi hệ số nhiệt của điện trở hay còn gọi là độ nhạy nhiệt ở nhiệt độ T . Độ nhạy nhiệt phụ thuộc vào vật liệu và nhiệt độ, ví dụ ở 0°C platin (Pt) có $\alpha_R = 3,9 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

Chất lượng thiết bị đo xác định giá trị nhỏ nhất mà nó có thể đo được $\left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min}$, do đó

cũng xác định sự thay đổi nhỏ nhất của nhiệt độ có thể phát hiện được:

$$\Delta T_{\min} = \frac{1}{\alpha_R} \left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min}$$

Ví dụ nếu $\left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min} = 10^{-6}$ và với những phép đo quanh điểm 0°C , vật liệu là platin thì

$$\Delta T_{\min} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Thực ra, điện trở không chỉ thay đổi khi nhiệt độ thay đổi do sự thay đổi điện trở suất mà còn chịu tác động của sự thay đổi kích thước hình học của nó. Bởi vậy đối với một điện trở dây có chiều dài l và tiết diện s , hệ số nhiệt độ có dạng:

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

$$\text{Đặt: } \alpha_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}; \quad \alpha_l = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}; \quad \alpha_s = \frac{1}{s} \frac{ds}{dT}$$

$$\alpha_R = \alpha_\rho + \alpha_l - \alpha_s$$

$$\text{Với } \alpha_s = 2\alpha_l \quad \text{ta có: } \alpha_R = \alpha_\rho - \alpha_l$$

Trên thực tế thường $\alpha_\rho \gg \alpha_l$ nên có thể coi $\alpha_R = \alpha_\rho$.

3.3.2. Nhiệt kế điện trở kim loại

a) Vật liệu

Yêu cầu chung đối với vật liệu làm điện trở:

- Có điện trở suất ρ đủ lớn để điện trở ban đầu R_0 lớn mà kích thước nhiệt kế vẫn nhỏ.
- Hệ số nhiệt điện trở của nó tốt nhất là luôn luôn không đổi dấu, không triệt tiêu.
- Có đủ độ bền cơ, hoá ở nhiệt độ làm việc.
- Dễ gia công và có khả năng thay lẫn.

Các cảm biến nhiệt thường được chế tạo bằng Pt và Ni. Ngoài ra còn dùng Cu, W.

- Platin :

+ Có thể chế tạo với độ tinh khiết rất cao (99,999%) do đó tăng độ chính xác của các tính chất điện.

+ Có tính trơ về mặt hoá học và tính ổn định cấu trúc tinh thể cao do đó đảm bảo tính ổn định cao về các đặc tính dẫn điện trong quá trình sử dụng.

+ Hệ số nhiệt điện trở ở 0°C bằng $3,9 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$.

+ Điện trở ở 100°C lớn gấp 1,385 lần so với ở 0°C .

+ Dải nhiệt độ làm việc khá rộng từ $-200^\circ\text{C} \div 1000^\circ\text{C}$.

- Nikel:

+ Có độ nhạy nhiệt cao, bằng $4,7 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$.

- + Điện trở ở 100°C lớn gấp 1,617 lần so với ở 0°C.
- + Dễ bị oxy hoá khi ở nhiệt độ cao làm giảm tính ổn định.
- + Dải nhiệt độ làm việc thấp hơn 250°C.

Đồng được sử dụng trong một số trường hợp nhờ độ tuyến tính cao của điện trở theo nhiệt độ. Tuy nhiên, hoạt tính hoá học của đồng cao nên nhiệt độ làm việc thường không vượt quá 180°C. Điện trở suất của đồng nhỏ, do đó để chế tạo điện trở có điện trở lớn phải tăng chiều dài dây làm tăng kích thước điện trở.

Wonfram có độ nhạy nhiệt và độ tuyến tính cao hơn platin, có thể làm việc ở nhiệt độ cao hơn. Wonfram có thể chế tạo dạng sợi rất mảnh nên có thể chế tạo được các điện trở cao với kích thước nhỏ. Tuy nhiên, ứng suất dư sau khi kéo sợi khó bị triệt tiêu hoàn toàn bằng cách ủ do đó giảm tính ổn định của điện trở.

Bảng 3.2

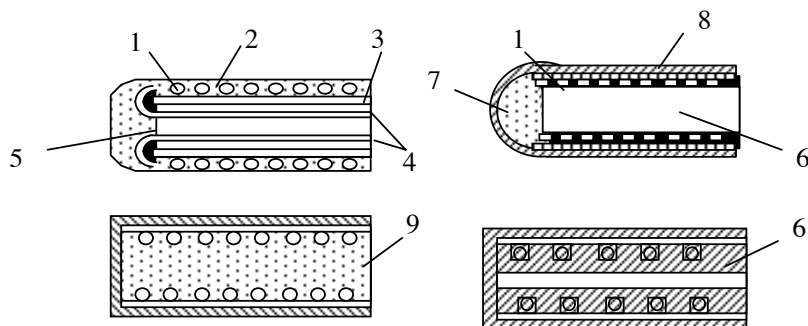
Thông số	Cu	Ni	Pt	W
T_f (°C)	1083	1453	1769	3380
c (J°C ⁻¹ kg ⁻¹)	400	450	135	125
λ (W°C ⁻¹ m ⁻¹)	400	90	73	120
$\alpha_l \times 10^6$ (°C)	16,7	12,8	8,9	6
$\rho \times 10^8$ (Ωm)	1,72	10	10,6	5,52
$\alpha \times 10^3$ (°C ⁻¹)	3,9	4,7	3,9	4,5

b) Cấu tạo nhiệt kế điện trở

Để tránh sự làm nóng đầu đo dòng điện chạy qua điện trở thường giới hạn ở giá trị một vài mA và điện trở có độ nhạy nhiệt cao thì điện trở phải có giá trị đủ lớn. Muốn vậy phải giảm tiết diện dây hoặc tăng chiều dài dây. Tuy nhiên khi giảm tiết diện dây độ bền lại thấp, dây điện trở dễ bị đứt, việc tăng chiều dài dây lại làm tăng kích thước điện trở. Để hợp lý người ta thường chọn điện trở R ở 0°C có giá trị vào khoảng 100Ω, khi đó với điện trở platin sẽ có đường kính dây cỡ vài μm và chiều dài khoảng 10cm, sau khi quấn lại sẽ nhận được nhiệt kế có chiều dài cỡ 1cm. Các sản phẩm thương mại thường có điện trở ở 0°C là 50Ω, 500Ω và 1000Ω, các điện trở lớn thường được dùng để đo ở dải nhiệt độ thấp.

- *Nhiệt kế công nghiệp*: Để sử dụng cho mục đích công nghiệp, các nhiệt kế phải có vỏ bọc tốt chống được va chạm mạnh và rung động, điện trở kim loại được cuốn và bao

bọc trong thủy tinh hoặc gốm và đặt trong vỏ bảo vệ bằng thép. Trên hình 3.4 là các nhiệt kế dùng trong công nghiệp bằng điện trở kim loại platin.

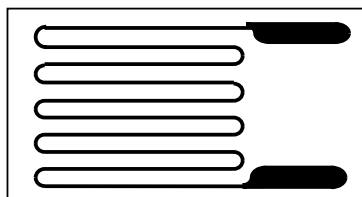


Hình 3.4 Nhiệt kế công nghiệp dùng điện trở platin

- 1) Dây platin 2) Gốm cách điện 3) Ống platin 4) Dây nối 5) Sứ cách điện
6) Trục giá 7) Cách điện 8) Vỏ bọc 9) Xi măng

- *Nhiệt kế bề mặt:*

Nhiệt kế bề mặt dùng để đo nhiệt độ trên bề mặt của vật rắn. Chúng thường được chế tạo bằng phương pháp quang hoá và sử dụng vật liệu làm điện trở là Ni, Fe-Ni hoặc Pt. Cấu trúc của một nhiệt kế bề mặt có dạng như hình vẽ 3.5. Chiều dày lớp kim loại cỡ vài µm và kích thước nhiệt kế cỡ 1cm².



Hình 3.5 Nhiệt kế bề mặt

Đặc trưng chính của nhiệt kế bề mặt:

- Độ nhạy nhiệt : $\sim 5 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ đối với trường hợp Ni và Fe-Ni
 $\sim 4 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ đối với trường hợp Pt.
- Dải nhiệt độ sử dụng: $-195^{\circ}\text{C} \div 260^{\circ}\text{C}$ đối với Ni và Fe-Ni.
 $-260^{\circ}\text{C} \div 1400^{\circ}\text{C}$ đối với Pt.

Khi sử dụng nhiệt kế bề mặt cần đặc biệt lưu ý đến ảnh hưởng biến dạng của bề mặt đo.

3.3.3. Nhiệt kế điện trở silic

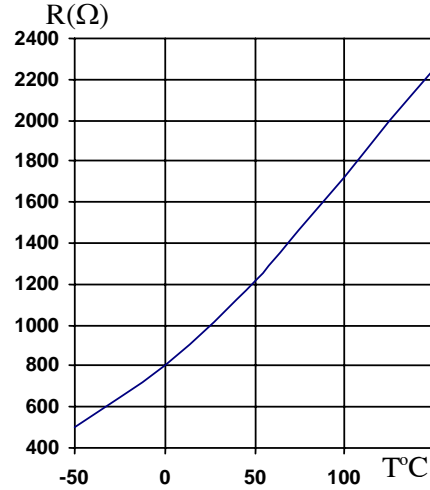
Silic tinh khiết hoặc đơn tinh thể silic có hệ số nhiệt điện trở âm, tuy nhiên khi được kích tạp loại n thì trong khoảng nhiệt độ thấp chúng lại có hệ số nhiệt điện trở dương, hệ số nhiệt điện trở $\sim 0,7\%/^{\circ}\text{C}$ ở 25°C . Phần tử cảm nhận nhiệt của cảm biến silic được chế tạo có kích thước $500 \times 500 \times 240 \mu\text{m}$ được mạ kim loại ở một phía còn phía kia là bề mặt tiếp xúc.

Trong dải nhiệt độ làm việc ($-55 \div 200^{\circ}\text{C}$) có thể lấy gần đúng giá trị điện trở của cảm biến theo nhiệt độ theo công thức:

$$R_T = R_0 \left[1 + A(T - T_0) + B(T - T_0)^2 \right]$$

Trong đó R_0 và T_0 là điện trở và nhiệt độ tuyệt đối ở điểm chuẩn.

Sự thay đổi nhiệt của điện trở tương đối nhỏ nên có thể tuyến tính hoá bằng cách mắc thêm một điện trở phụ.



Hình 3.6 Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở silic

3.3.4. Nhiệt kế điện trở oxyt bán dẫn

a) Vật liệu chế tạo

Nhiệt điện trở được chế tạo từ hỗn hợp oxyt bán dẫn đa tinh thể như: MgO , MgAl_2O_4 , Mn_2O_3 , Fe_3O_4 , Co_2O_3 , NiO , ZnTiO_4 .

Sự phụ thuộc của điện trở của nhiệt điện trở theo nhiệt độ cho bởi biểu thức:

$$R(T) = R_0 \left[\frac{T}{T_0} \right]^2 \exp \left\{ \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \quad (3.11)$$

Trong đó $R_0(\Omega)$ là điện trở ở nhiệt độ $T_0(\text{K})$.

Độ nhạy nhiệt có dạng:

$$\alpha_R = \frac{\beta + b}{T^2}$$

Vì ảnh hưởng của hàm mũ đến điện trở chiếm ưu thế nên biểu thức (3.11) có thể viết lại:

$$R(T) = R_0 \exp \left\{ B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \quad (3.12)$$

Và độ nhạy nhiệt:

$$\alpha_R = -\frac{B}{T^2}$$

Với B có giá trị trong khoảng 3.000 - 5.000K.

b) Cấu tạo

Hỗn hợp bột oxyt được trộn theo tỉ lệ thích hợp sau đó được nén định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ $\sim 1000^{\circ}\text{C}$. Các dây nối kim loại được hàn tại hai điểm trên bề mặt và được phủ bằng một lớp kim loại. Mặt ngoài có thể bọc bởi vỏ thủy tinh.



Hình 3.7 Cấu tạo nhiệt điện trở có vỏ bọc thủy

Nhiệt điện trở có độ nhạy nhiệt rất cao nên có thể dùng để phát hiện những biến thiên nhiệt độ rất nhỏ cỡ 10^{-4} - 10^{-3}K . Kích thước cảm biến nhỏ có thể đo nhiệt độ tại từng điểm. Nhiệt dung cảm biến nhỏ nên thời gian hồi đáp nhỏ. Tùy thuộc thành phần chế tạo, dải nhiệt độ làm việc của cảm biến nhiệt điện trở từ vài độ đến khoảng 300°C .

3.4. Cảm biến nhiệt ngẫu

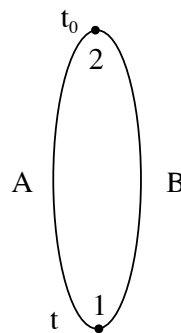
3.4.1. Hiệu ứng nhiệt điện

Phương pháp đo nhiệt độ bằng cảm biến nhiệt ngẫu dựa trên cơ sở hiệu ứng nhiệt điện. Người ta nhận thấy rằng khi hai dây dẫn chế tạo từ vật liệu có bản chất hoá học khác nhau được nối với nhau bằng mối hàn thành một mạch kín và nhiệt độ hai mối hàn là t và t_0 khác nhau thì trong mạch xuất hiện một dòng điện. Sức điện động xuất hiện do hiệu ứng nhiệt điện gọi là sức điện động nhiệt điện. Nếu một đầu của cặp nhiệt ngẫu hàn nối với nhau, còn đầu thứ hai để hở thì giữa hai cực xuất hiện một hiệu điện thế. Hiện tượng trên có thể giải thích như sau:

Trong kim loại luôn luôn tồn tại một nồng độ điện tử tự do nhất định phụ thuộc bản chất kim loại và nhiệt độ. Thông thường khi nhiệt độ tăng, nồng độ điện tử tăng.

Giả sử ở nhiệt độ t_0 nồng độ điện tử trong A là $N_A(t_0)$, trong B là $N_B(t_0)$ và ở nhiệt độ t nồng độ điện tử trong A là $N_A(t)$, trong B là $N_B(t)$, nếu $N_A(t_0) > N_B(t_0)$ thì nói chung $N_A(t) > N_B(t)$.

Xét đầu làm việc (nhiệt độ t), do $N_A(t) > N_B(t)$ nên có sự khuếch tán điện tử từ A \rightarrow B và ở chỗ tiếp xúc xuất hiện một hiệu điện thế $e_{AB}(t)$ có tác dụng cản trở sự khuếch tán. Khi đạt cân bằng $e_{AB}(t)$ sẽ không đổi.



Hình 3. 8 Sơ đồ nguyên lý cặp nhiệt

Tương tự tại mặt tiếp xúc ở đầu tự do (nhiệt độ t_0) cũng xuất hiện một hiệu điện thế $e_{AB}(t_0)$.

Giữa hai đầu của một dây dẫn cũng có chênh lệch nồng độ điện tử tự do, do đó cũng có sự khuếch tán điện tử và hình thành hiệu điện thế tương ứng trong A là $e_A(t, t_0)$ và trong B là $e_B(t, t_0)$.

Sức điện động tổng sinh ra do hiệu ứng nhiệt điện xác định bởi công thức sau:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) + e_A(t_0, t) + e_B(t, t_0) \quad (3.13)$$

Vì $e_A(t_0, t)$ và $e_B(t, t_0)$ nhỏ và ngược chiều nhau có thể bỏ qua, nên ta có:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0)$$

Nếu nhiệt độ hai mối hàn bằng nhau, chẳng hạn bằng t_0 khi đó sức điện động tổng:

$$E_{AB} = e_{AB}(t_0) + e_{BA}(t_0) = 0$$

Hay:

$$e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0) \quad (3.14)$$

Như vậy:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (3.15)$$

Phương trình (3.15) gọi là phương trình cơ bản của cặp nhiệt ngẫu. Từ phương trình (3.15) nhận thấy nếu giữ nhiệt độ $t_0 = \text{const}$ thì:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) + C = f(t) \quad (3.16)$$

Chọn nhiệt độ ở một mối hàn $t_0 = \text{const}$ biết trước làm nhiệt độ so sánh và đo sức điện động sinh ra trong mạch ta có thể xác định được nhiệt độ t ở mối hàn thứ hai.

Sức điện động của cặp nhiệt không thay đổi nếu chúng ta nối thêm vào mạch một dây dẫn thứ ba (hình 3.9) nếu nhiệt độ hai đầu nối của dây thứ ba giống nhau.

Thật vậy:

- Trong trường hợp a:

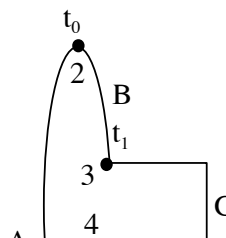
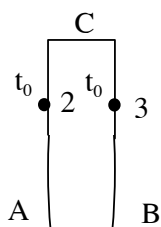
$$E_{ABC}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0)$$

Vì:

$$e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = 0$$

Nên:

$$E_{ABC}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$



- Trường hợp b:

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1)$$

Vì:

$$e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$$

Nên:

$$E_{ABC}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

Nếu nhiệt độ hai đầu nối khác nhau sẽ làm xuất hiện sức điện động ký sinh.

3.4.2. Cấu tạo cặp nhiệt

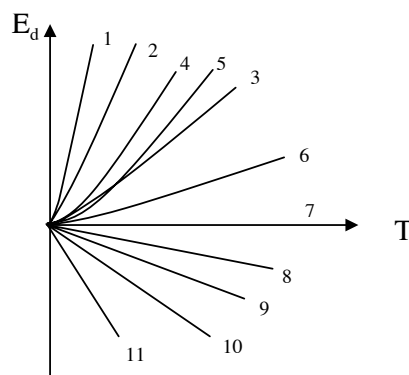
a) Vật liệu chế tạo

Để chế tạo cực nhiệt điện có thể dùng nhiều kim loại và hợp kim khác nhau.

Tuy nhiên chúng phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- Sức điện động đủ lớn (để dễ dàng chế tạo dụng cụ đo thứ cấp).
- Có đủ độ bền cơ học và hoá học ở nhiệt độ làm việc.
- Dễ kéo sợi.
- Có khả năng thay lẫn.
- Giá thành rẻ.

Hình 3.10 biểu diễn quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của các vật liệu dùng để chế tạo điện cực so với điện cực chuẩn platin.



- *Cặp Platin - Rôđi/Platin:*

Cực dương là hợp kim Platin (90%) và rôđi (10%), cực âm là platin sạch.

Nhiệt độ làm việc ngắn hạn cho phép tới 1600°C , $E_d = 16,77\text{mV}$.

Nhiệt độ làm việc dài hạn $< 1300^{\circ}\text{C}$.

Đường đặc tính có dạng bậc hai, trong khoảng nhiệt độ $0 - 300^{\circ}\text{C}$ thì $E \approx 0$. Trong môi trường có SiO_2 có thể hỏng ở nhiệt độ $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$.

Đường kính điện cực thường chế tạo $\phi = 0,5\text{ mm}$.

Do sai khác của các cặp nhiệt khác nhau tương đối nhỏ nên loại cặp nhiệt này thường được dùng làm cặp nhiệt chuẩn.

- *Cặp nhiệt Chromel/Alumel:*

Cực dương là Chromel, hợp kim gồm $80\%\text{Ni} + 10\%\text{Cr} + 10\%\text{Fe}$. Cực âm là Alumen, hợp kim gồm $95\%\text{Ni} + 5\%(\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Si})$.

Nhiệt độ làm việc ngắn hạn $\sim 1100^{\circ}\text{C}$, $E_d = 46,16\text{ mV}$.

Nhiệt độ làm việc dài hạn $< 900^{\circ}\text{C}$.

Đường kính cực $\phi = 3\text{ mm}$.

- *Cặp nhiệt Chromel/Coben:*

Cực dương là chromel, cực âm là coben là hợp kim gồm $56\%\text{Cu} + 44\%\text{Ni}$.

Nhiệt độ làm việc ngắn hạn 800°C , $E_d = 66\text{ mV}$.

Nhiệt độ làm việc dài hạn $< 600^{\circ}\text{C}$.

- *Cặp nhiệt Đồng/Coben:*

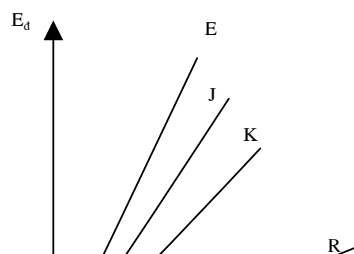
Cực dương là đồng sạch, cực âm là coben.

Nhiệt độ làm việc ngắn hạn 600°C .

Nhiệt độ làm việc dài hạn $< 300^{\circ}\text{C}$.

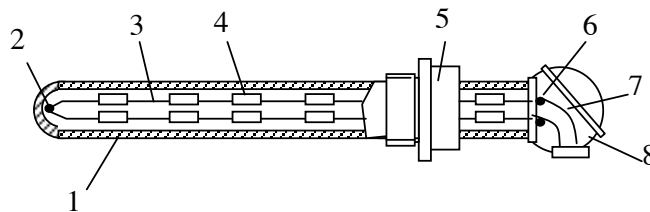
Loại này được dùng nhiều trong thí nghiệm vì dễ chế tạo.

Quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của một số cặp nhiệt cho ở hình 3.11.



b) Cấu tạo

Cấu tạo điển hình của một cặp nhiệt công nghiệp trình bày trên hình 3.12.



Hình 3.12 Cấu tạo cặp nhiệt

- 1) Vỏ bảo vệ 2) Mối hàn 3) Dây điện cực 4) Sứ cách điện
5) Bộ phận lắp đặt 6) Vít nối dây 7) Dây nối 8) Đầu nối dây

Đầu làm việc của các điện cực (3) được hàn nối với nhau bằng hàn vảy, hàn khí hoặc hàn bằng tia điện tử. Đầu tự do nối với dây nối (7) tới dụng cụ đo nhờ các vít nối (6) dây đặt trong đầu nối dây (8). Để cách ly các điện cực người ta dùng các ống sứ cách điện (4), sứ cách điện phải trơ về hoá học và đủ độ bền cơ và nhiệt ở nhiệt độ làm việc. Để bảo vệ các điện cực, các cặp nhiệt có vỏ bảo vệ (1) làm bằng sứ chịu nhiệt hoặc thép chịu nhiệt. Hệ thống vỏ bảo vệ phải có nhiệt dung đủ nhỏ để giảm bớt quán tính nhiệt và vật liệu chế tạo vỏ phải có độ dẫn nhiệt không quá nhỏ nhưng cũng không được quá lớn. Trường hợp vỏ bằng thép mối hàn ở đầu làm việc có thể tiếp xúc với vỏ để giảm thời gian hồi đáp.

3.4.3. Mạch đo và dụng cụ thứ cấp

Nhiệt độ cần đo được xác định thông qua việc đo sức điện động sinh ra ở hai đầu dây của cặp nhiệt ngẫu. Độ chính xác của phép đo sức điện động của cặp nhiệt ngẫu phụ thuộc nhiều yếu tố. Muốn nâng cao độ chính xác cần phải:

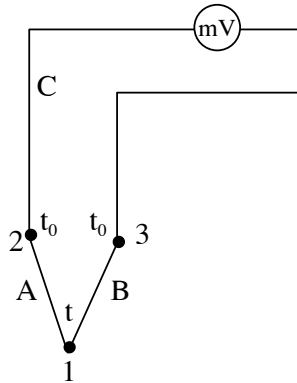
- Giảm thiểu ảnh hưởng của tác động của môi trường đo lên nhiệt độ đầu tự do.

- Giảm thiểu sự sụt áp do có dòng điện chạy qua các phần tử của cảm biến và mạch đo.

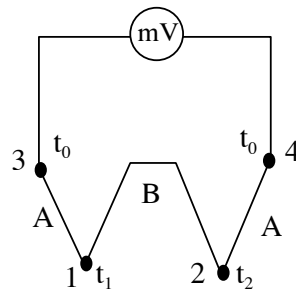
a) Sơ đồ mạch đo dùng milivôn kế

- Sơ đồ:

Trên hình 3.13 biểu diễn sơ đồ đo thông dụng sử dụng milivôn kế từ điện.



Hình 3.13 Sơ đồ mạch đo

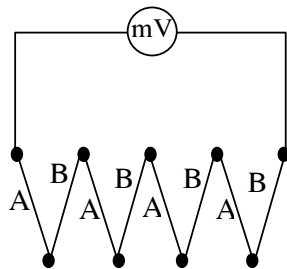


Hình 3.14 Sơ đồ đo vi sai

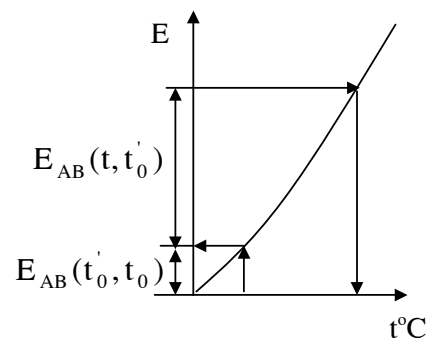
Khi nhiệt độ hai đầu tự do (2) và (3) bằng nhau thì sức điện động trong mạch chính là sức điện động của cặp nhiệt, nếu chúng khác nhau thì trong mạch xuất hiện suất điện động ký sinh ở các mối nối và làm sai lệch kết quả đo.

Để đo trực tiếp hiệu nhiệt độ giữa hai điểm người ta dùng sơ đồ đo vi sai như hình 3.14.

Trong sơ đồ này, cả hai đầu 1 và 2 của cặp nhiệt là đầu làm việc tương ứng với nhiệt độ t_1 và t_2 . Kết quả đo cho phép ta xác định trực tiếp giá trị của hiệu số hai nhiệt độ $t_1 - t_2$.



Hình 3.15 Sơ đồ mắc nối tiếp



Hình 3.16 Hiệu chỉnh nhiệt độ đầu tự do

Trường hợp nhiệt độ môi trường đo không khác nhiều nhiệt độ đầu tự do, để tăng độ nhạy phép đo có thể mắc theo sơ đồ nối tiếp n cặp nhiệt như hình 3.15. Sức điện động tổng của bộ mắc nối tiếp bằng $nE_{AB}(t, t_0)$.

- Bù nhiệt độ đầu tự do:

Thông thường cặp nhiệt ngẫu được chuẩn với $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ứng với:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

Nếu nhiệt độ đầu tự do bằng $t'_0 \neq 0$ thì giá trị sức điện động đo được:

$$E_{AB}(t, t'_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t'_0)$$

Rút ra:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + [e_{AB}(t'_0) - e_{AB}(t_0)]$$

Hay:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + E_{Ab}(t'_0, t_0)$$

Giá trị $E_{AB}(t, t'_0)$ là lượng hiệu chỉnh xác định từ thang chia độ của cặp nhiệt ngẫu đã dùng theo giá trị đo ở nhiệt độ đầu tự do t'_0 .

Dưới đây trình bày một số phương pháp bù nhiệt độ đầu tự do.

- Dùng dây bù:

Để loại trừ ảnh hưởng của nhiệt độ đối tượng đo lên đầu tự do có thể mắc dụng cụ đo theo sơ đồ hình 3.17.

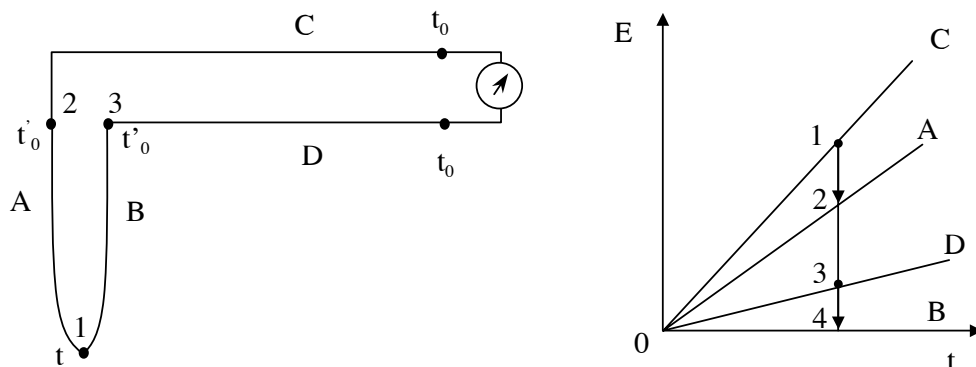
$$E = e_{AB}(t) - e_{CA}(t'_0) + e_{BD}(t'_0) - e_{CD}(t_0)$$

Chọn dây dẫn C và D sao cho $e_{CA}(t'_0) = e_{DB}(t'_0)$ ($\overline{12} = \overline{34}$), khi đó:

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

Vì $e(t_0) = 0$, nên:

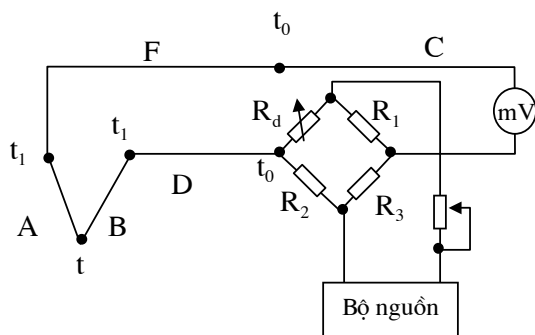
$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$



Hình 3.17 Bù nhiệt độ đầu tự do bằng dây bù

- Dùng cầu bù:

Trên hình 3.18 giới thiệu sơ đồ dùng cầu bù tự động nhiệt độ đầu tự do.



Hình 3.18 Cầu bù nhiệt độ đầu tự do

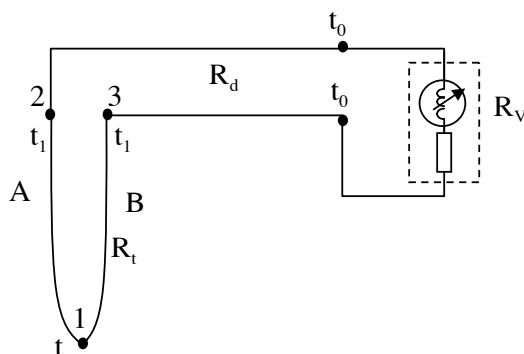
Cầu bù gồm điện trở R_1 , R_2 , R_3 làm bằng manganin (hợp kim chứa 99,4%Cu, 0,6%Ni) có hệ số nhiệt điện trở bằng không, còn R_d làm bằng đồng có hệ số nhiệt điện trở $4,25 \div 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Khi nhiệt độ đầu tự do $t_0 = 0$, cầu cân bằng $U_{AB}=0$. Giả sử nhiệt độ đầu tự do tăng lên t'_0 , khi đó R_d tăng lên làm xuất hiện một điện áp U_{cd} . Người ta tính toán sao cho điện áp này bù vào sức điện động nhiệt một lượng đúng bằng lượng cần hiệu chỉnh, nghĩa là $U_{cd} = E_{AB}(t'_0, t_0)$. Như vậy trên cửa vào của dụng cụ đo có điện áp:

$$E_{AB}(t, t'_0) + U_{cd} = E_{AB}(t, t_0)$$

Sai số bù của cầu tiêu chuẩn khi nhiệt độ t_0 thay đổi trong khoảng $0 - 50^\circ\text{C}$ là $\pm 3^\circ\text{C}$.

- Ảnh hưởng của điện trở mạch đo:

Xét mạch đo dùng milivôn kế điện từ (hình 3.19).



Hình 3.19 Ảnh hưởng của điện trở mạch đo

Gọi: R_t là điện trở của cặp nhiệt.

R_d là điện trở dây nối.

R_v là điện trở trong của milivôn kế.

Khi đó điện áp giữa hai đầu milivôn kế xác định bởi công thức:

$$V_m = E_{AB}(t, t_0) \frac{R_v}{R_t + R_d + R_v}$$

Rút ra:

$$E_{AB}(t, t_0) = V_m \left[1 + \frac{R_t + R_d}{R_v} \right] \quad (3.17)$$

Theo biểu thức (3.17) khi $R_v \gg R_t + R_d$ thì:

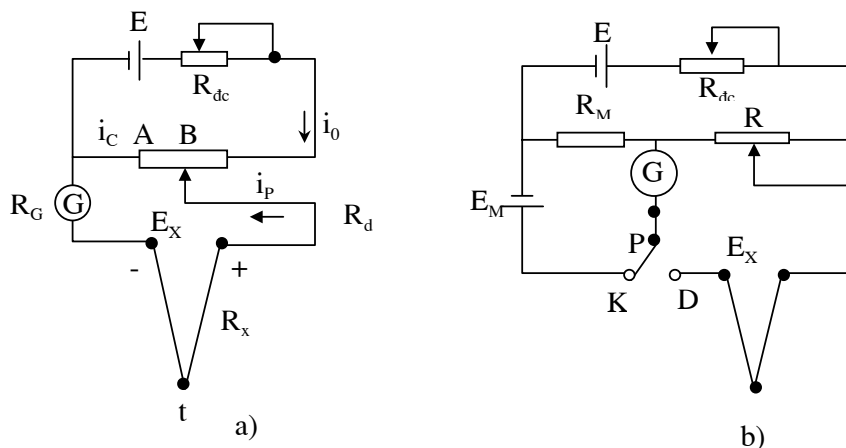
$$E_{AB}(t, t_0) \approx V_m$$

- *Ảnh hưởng của R_t* : Đối với cặp cromen/alumen hoặc cặp cromen/coben có điện trở R_t khá nhỏ nên sự thay đổi của nó ít ảnh hưởng tới kết quả đo. Đối với cặp $P_t R_d - P_t$ có điện trở R_t khá lớn ($\sim 15\Omega$) nên sự thay đổi của nó ảnh hưởng đáng kể tới kết quả đo.
- *Ảnh hưởng của R_d* : thông thường R_d khá nhỏ nên ít ảnh hưởng tới kết quả đo.
- *Ảnh hưởng của R_v* : $R_v = R_{kd} + R_f$.

Điện trở phụ R_f của milivôn kế thường chế tạo bằng vật liệu có $\alpha_R = 0$ nên không ảnh hưởng, sự thay đổi R_v khi nhiệt độ tăng chủ yếu do sự thay đổi của điện trở khung dây R_{kd} (chế tạo bằng đồng $\alpha_R = 4,2 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$). Để giảm sai số nên chọn R_p/R_{kd} lớn.

b) Sơ đồ mạch đo xung đối dùng điện thế kế

Trên hình 3.20 trình bày sơ đồ đo bằng phương pháp xung đối, dựa theo nguyên tắc so sánh điện áp cần đo với một điện áp rơi trên một đoạn điện trở.



Hình 3.20 Sơ đồ đo bằng phương pháp bù

Theo sơ đồ hình (3.20a) ta có:

$$E_X = I_C R_{AB} + I_P (R_d + R_x + R_G)$$

$$I_C = I_0 + I_P$$

$$E_X = (I_0 + I_P) R_{AB} + I_P (R_d + R_x + R_G)$$

$$I_P = \frac{E_X - I_0 R_{AB}}{R_{AB} + R_d + R_x + R_G}$$

Nếu $E_X = I_0 R_{AB}$ thì $I_P = 0$, tức là điện thế kế chỉ không, khi đó điện áp rơi trên AB bằng giá trị E_X cần đo.

Ta có:

$$R_{AB} = \frac{1}{L} R$$

$$E_X = I_0 \frac{1}{L} R$$

Nếu cố định được I_0 , L , R ta có E_X phụ thuộc đơn trị vào l tức là phụ thuộc vào vị trí con chạy của đồng hồ đo.

Trên sơ đồ hình (3.20b), E_M là một pin mẫu, R_M là một điện trở mẫu bằng manganin. Khi đóng P vào K thì điện áp rơi trên R_M được so sánh với pin mẫu. Nếu kim điện kế chỉ không thì không cần điều chỉnh dòng I_0 , nếu kim điện kế lệch khỏi không thì dịch chuyển R_{dc} để kim điện kế về không. Khi đó đóng P vào D và xê dịch biến trở R để kim điện kế chỉ không, khi đó $E_X = U_{AB}$.

3.5. Hoả kế

Các cảm biến quang thuộc loại cảm biến đo nhiệt độ không tiếp xúc, gồm: hoả kế bức xạ toàn phần, hoả kế quang học.

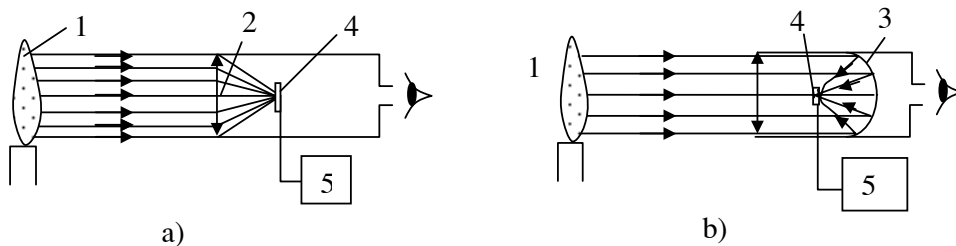
3.5.1. Hoả kế bức xạ toàn phần

Nguyên lý dựa trên định luật: Năng lượng bức xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỉ lệ với lũy thừa bậc 4 của nhiệt độ tuyệt đối của vật.

$$E = \sigma T^4 \quad (3.18)$$

Trong đó: σ là hằng số, T là nhiệt độ tuyệt đối của vật đen tuyệt đối (K).

Thông thường có hai loại: hoả kế bức xạ có ống kính hội tụ, hoả kế bức xạ có kính phản xạ.



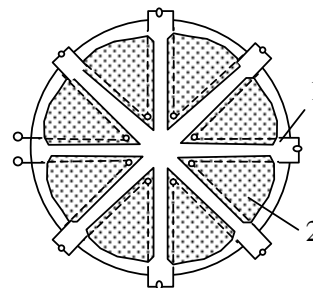
Trong sơ đồ hình (3.21a): ánh sáng từ nguồn bức xạ (1) qua thấu kính hội tụ (2) đập tới bộ phận thu năng lượng tia bức xạ (4), bộ phận này được nối với dụng cụ đo thứ cấp (5).

Trong sơ đồ hình (3.21b): ánh sáng từ nguồn bức xạ (1) đập tới gương phản xạ (3) và hội tụ tới bộ phận thu năng lượng tia bức xạ (4), bộ phận này được nối với dụng cụ đo thứ cấp (5).

Bộ phận thu năng lượng có thể là một vi nhiệt kế điện trở hoặc là một tổ hợp cặp nhiệt, chúng phải thoả mãn các yêu cầu:

- + Có thể làm việc bình thường trong khoảng nhiệt độ 100 - 150°C.
- + Phải có quán tính nhiệt đủ nhỏ và ổn định sau 3 - 5 giây.
- + Kích thước đủ nhỏ để tập trung năng lượng bức xạ vào đo.

Trên hình 3.22 trình bày cấu tạo của một bộ thu là tổ hợp cặp nhiệt. Các cặp nhiệt (1) thường dùng cặp crômen/côben mắc nối tiếp với nhau. Các vệt đen (2) phủ bằng bột platin.



Hình 3.22 Bộ thu năng lượng
1) Cặp nhiệt 2) Lớp phủ platin

Hoả kế dùng gương phản xạ tổn thất năng lượng thấp (~ 10%), hoả kế dùng thấu kính hội tụ có thể tổn thất tới 30 - 40%. Tuy nhiên loại thứ nhất lại có nhược điểm là khi môi trường nhiều bụi, gương bị bẩn, độ phản xạ giảm do đó tăng sai số.

Khi đo nhiệt độ bằng hoả kế bức xạ sai số thường không vượt quá 27°C, trong điều kiện:

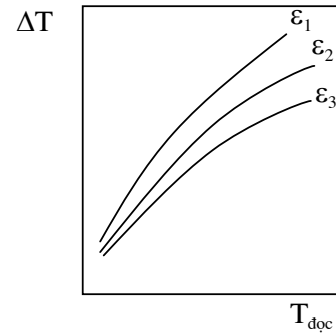
- + Vật đo phải có độ đen xấp xỉ bằng 1.
- + Tỷ lệ giữa đường kính vật bức xạ và khoảng cách đo (D/L) không nhỏ hơn 1/16.

+ Nhiệt độ môi trường $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Trong thực tế độ đen của vật đo $\varepsilon < 1$,
khi đó $T_{\text{do}} = \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}} \cdot T_{\text{doc}}$. Thông thường xác
định theo công thức sau:

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

Với ΔT là lượng hiệu chỉnh phụ thuộc T_{doc}
và độ đen của vật đo (hình 3.23).



Hình 3.23 Hiệu chỉnh nhiệt
đọc theo độ đen

Khoảng cách đo tốt nhất là $1 \pm 0,2$ mét.

3.5.2. Hoả kế quang điện

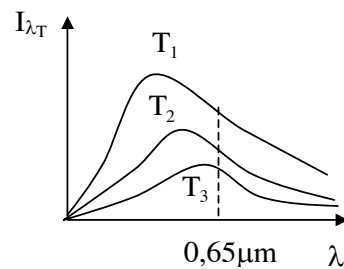
Hoả kế quang điện chế tạo dựa trên định luật Planck:

$$I_{\lambda_T} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad (3.19)$$

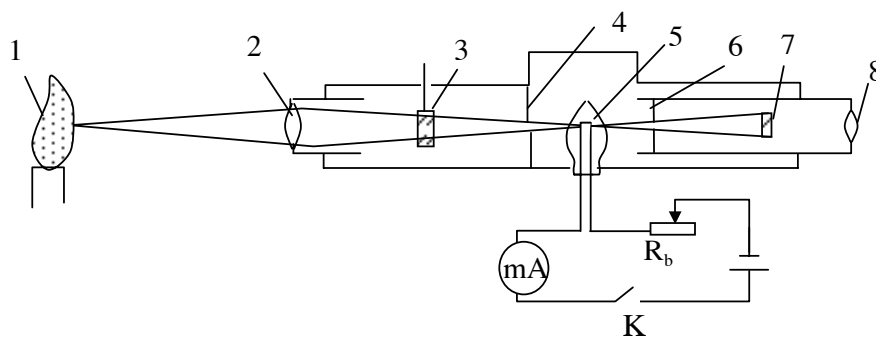
Trong đó λ là bước sóng, C_1 , C_2 là các hằng số.

Nguyên tắc đo nhiệt độ bằng hoả kế
quang học là so sánh cường độ sáng của vật
cần đo và độ sáng của một đèn mẫu ở trong
cùng một bước sóng nhất định và theo cùng
một hướng. Khi độ sáng của chúng bằng nhau
thì nhiệt độ của chúng bằng nhau.

Từ hình 3.24 ta nhận thấy sự phụ thuộc
giữa I và λ không đơn trị, do đó người ta
thường cố định bước sóng ở $0,65\mu\text{m}$.



Hình 3.24 Sự phụ thuộc của
cường độ ánh sáng vào bước
sóng và nhiệt độ



Hình 3.25 Sơ đồ hoả kế quang học

- 1) Nguồn bức xạ 2) Vật kính 3) Kính lọc 4&6) Thành ngăn
5) Bóng đèn mẫu 7) Kính lọc ánh sáng đỏ 8) Thị kính

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

Sai số khi đo:

Sai số do độ đen của vật đo $\varepsilon < 1$. Khi đó T_{do} xác định bởi công thức:

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

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

Giá trị của ΔT cho theo đồ thị.

Ngoài ra sai số của phép đo còn do ảnh hưởng của khoảng cách đo, tuy nhiên sai số này thường nhỏ. Khi môi trường có bụi làm bẩn ống kính, kết quả đo cũng bị ảnh hưởng.

Chương IV

CẢM BIẾN ĐO VỊ TRÍ VÀ DỊCH CHUYỂN

4.1. Nguyên lý đo vị trí và dịch chuyển

Việc xác định vị trí và dịch chuyển đóng vai trò rất quan trọng trong kỹ thuật. Hiện nay có hai phương pháp cơ bản để xác định vị trí và dịch chuyển.

Trong phương pháp thứ nhất, bộ cảm biến cung cấp tín hiệu là hàm phụ thuộc vào vị trí của một trong các phần tử của cảm biến, đồng thời phần tử này có liên quan đến vật cần xác định dịch chuyển.

Trong phương pháp thứ hai, ứng với một dịch chuyển cơ bản, cảm biến phát ra một xung. Việc xác định vị trí và dịch chuyển được tiến hành bằng cách đếm số xung phát ra.

Một số cảm biến không đòi hỏi liên kết cơ học giữa cảm biến và vật cần đo vị trí hoặc dịch chuyển. Mối liên hệ giữa vật dịch chuyển và cảm biến được thực hiện thông qua vai trò trung gian của điện trường, từ trường hoặc điện từ trường, ánh sáng.

Trong chương này trình bày các loại cảm biến thông dụng dùng để xác định vị trí và dịch chuyển của vật như điện thế kế điện trở, cảm biến điện cảm, cảm biến điện dung, cảm biến quang, cảm biến dùng sóng đàn hồi.

4.2. Điện thế kế điện trở

Loại cảm biến này có cấu tạo đơn giản, tín hiệu đo lớn và không đòi hỏi mạch điện đặc biệt để xử lý tín hiệu. Tuy nhiên với các điện thế kế điện trở có con chạy cơ học có sự cọ xát gây ồn và mòn, số lần sử dụng thấp và chịu ảnh hưởng lớn của môi trường khi có bụi và ẩm.

4.2.1. Điện thế kế dùng con chạy cơ học

a) Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Cảm biến gồm một điện trở cố định R_n , trên đó có một tiếp xúc điện có thể di chuyển được gọi là con chạy. Con chạy được liên kết cơ học với vật chuyển động cần khảo sát. Giá trị của điện trở R_x giữa con chạy và một đầu của điện trở R_n là hàm phụ thuộc vào vị trí con chạy, cũng chính là vị trí của vật chuyển động.

- Đối với điện thế kế chuyển động thẳng (hình 4.1a):

$$R_x = \frac{l}{L} R_n$$

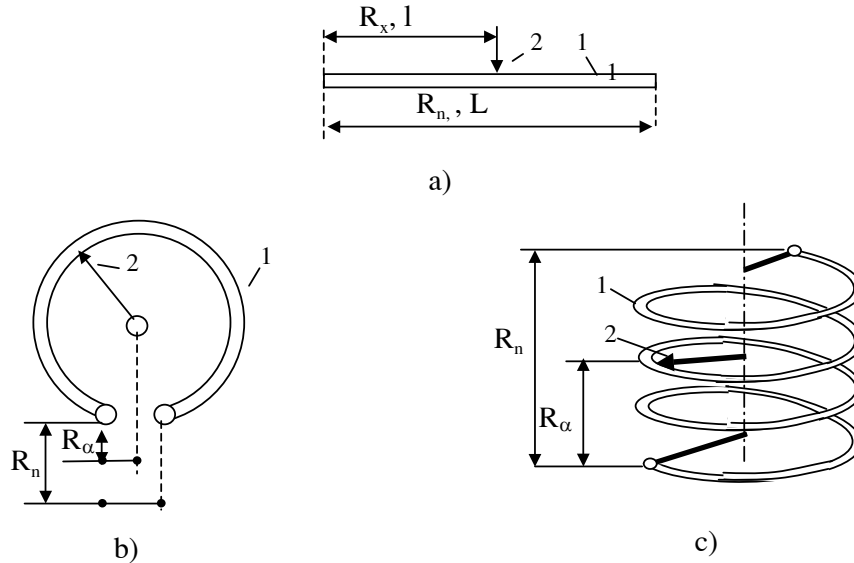
(4.1)

- Trường hợp điện thế kế dịch chuyển tròn hoặc xoắn:

$$R_x = \frac{\alpha}{\alpha_M} R_n$$

(4.2)

Trong đó $\alpha_M < 360^\circ$ khi dịch chuyển tròn (hình 4.1b) và $\alpha_M > 360^\circ$ khi dịch chuyển xoắn. (hình 4.1c)



Hình 4.1 Các dạng điện thế kế
1) Điện trở 2) Con chạy

Các điện trở được chế tạo có dạng cuộn dây hoặc băng dẫn.

Các điện trở dạng cuộn dây thường được chế tạo từ các hợp kim Ni - Cr, Ni - Cu , Ni - Cr - Fe, Ag - Pd quấn thành vòng xoắn dạng lò xo trên lõi cách điện (bằng thủy tinh, gốm hoặc nhựa), giữa các vòng dây cách điện bằng emay hoặc lớp oxyt bề mặt.

Các điện trở dạng băng dẫn được chế tạo bằng chất dẻo trộn bột dẫn điện là cacbon hoặc kim loại cỡ hạt $\sim 10^{-2} \mu\text{m}$.

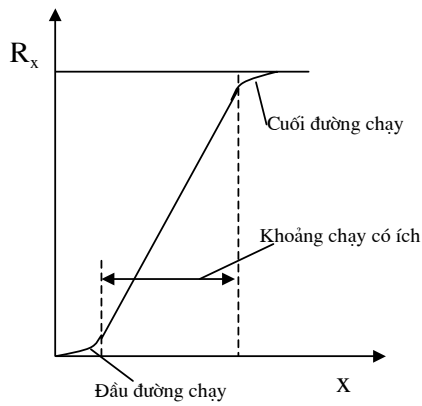
Các điện trở được chế tạo với các giá trị R_n nằm trong khoảng $1\text{k}\Omega$ đến $100\text{k}\Omega$, đôi khi đạt tới $\text{M}\Omega$.

Các con chạy phải đảm bảo tiếp xúc điện tốt, điện trở tiếp xúc phải nhỏ và ổn định.

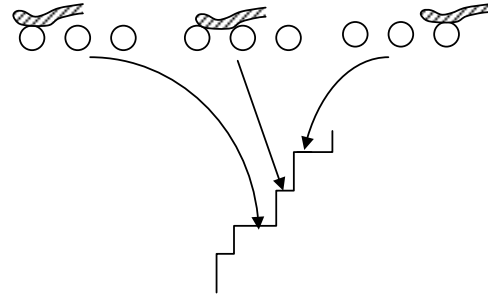
b) Các đặc trưng

- Khoảng chạy có ích của con chạy:

Thông thường ở đầu hoặc cuối đường chạy của con chạy tỉ số R_x/R_n không ổn định. Khoảng chạy có ích là khoảng thay đổi của x mà trong khoảng đó R_x là hàm tuyến tính của dịch chuyển.



Hình 4.2 Sự phụ thuộc của điện trở điện thế kể vào vị trí con chạy



Hình 4.3 Độ phân giải của điện thế kế dạng dây

- Năng suất phân giải:

Đối với điện trở dây cuốn, độ phân giải xác định bởi lượng dịch chuyển cực đại cần thiết để đưa con chạy từ vị trí tiếp xúc hiện tại sang vị trí tiếp xúc lân cận tiếp theo. Giả sử cuộn dây có n vòng dây, có thể phân biệt $2n-2$ vị trí khác nhau về điện của con chạy:

- + n vị trí tiếp xúc với một vòng dây.
- + $n - 2$ vị trí tiếp xúc với hai vòng dây.

Độ phân giải của điện trở dạng dây phụ thuộc vào hình dạng và đường kính của dây điện trở và vào khoảng $\sim 10\mu\text{m}$.

Độ phân giải của các điện trở kiểu băng dẫn phụ thuộc vào kích thước hạt, thường vào cỡ $\sim 0,1\ \mu\text{m}$.

- Thời gian sống:

Thời gian sống của điện kế là số lần sử dụng của điện thế kế. Nguyên nhân gây ra hư hỏng và hạn chế thời gian sống của điện thế kế là sự mài mòn con chạy và dây điện trở trong quá trình làm việc. Thường thời gian sống của điện thế kế dạng dây dẫn vào cỡ 10^6 lần, điện kế dạng băng dẫn vào cỡ $5 \cdot 10^7 - 10^8$ lần.

4.2.2. Điện thế kế không dùng con chạy cơ học

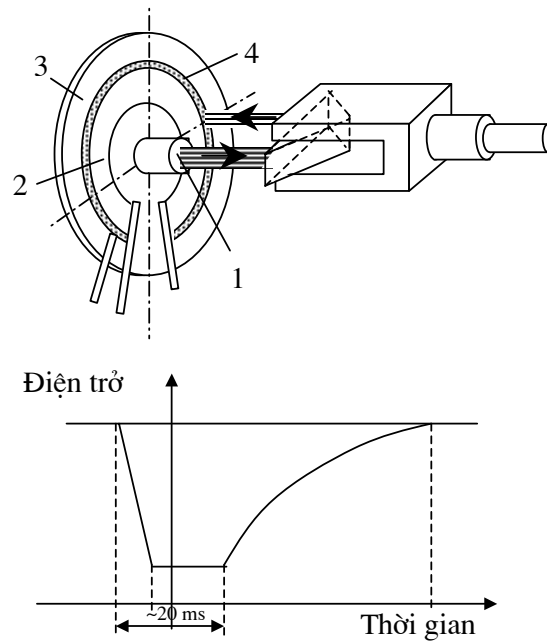
Để khắc phục nhược điểm của điện thế kế dùng con chạy cơ học, người ta sử dụng điện thế kế liên kết quang hoặc từ.

a) Điện thế kế dùng con trở quang

Hình 4.4 trình bày sơ đồ nguyên lý của một điện thế kế dùng con trở quang.

Điện thế kế tròn dùng con trở quang gồm diot phát quang (1), băng đo (2), băng tiếp xúc (3) và băng quang dẫn (4). Băng điện trở đo được phân cách với băng tiếp xúc

bởi một băng quang dẫn rất mảnh làm bằng CdSe trên đó có con trở quang dịch chuyển khi trục của điện thế kế quay. Điện trở của vùng quang dẫn giảm đáng kể trong vùng được chiếu sáng tạo nên sự liên kết giữa băng đo và băng tiếp xúc.



Hình 4.4 Điện thế kế quay dùng con trở quang
1) Diot phát quang 2) Băng đo 3) Băng tiếp xúc 4) Băng quang dẫn

Thời gian hồi đáp của vật liệu quang dẫn cỡ vài chục ms.

b) Điện thế kế dùng con trở từ

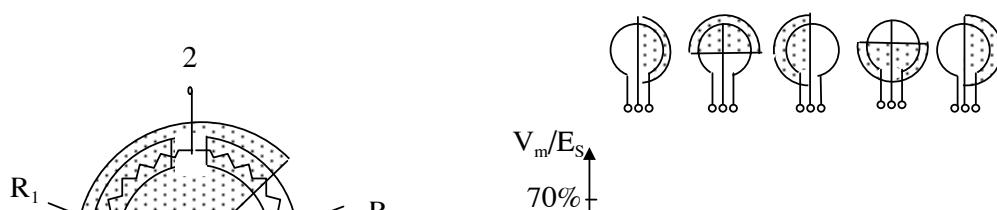
Hình 4.5 trình bày sơ đồ nguyên lý một điện thế kế từ gồm hai từ điện trở R_1 và R_2 mắc nối tiếp và một nam châm vĩnh cửu (gắn với trục quay của điện thế kế) bao phủ lên một phần của điện trở R_1 và R_2 , vị trí phân bố bao phủ phụ thuộc góc quay của trục.

Điện áp nguồn E_s được đặt giữa hai điểm (1) và (3), điện áp đo V_m lấy từ điểm chung (2) và một trong hai đầu (1) hoặc (3).

Khi đó điện áp đo được xác định bởi công thức:

$$V_m = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_s = \frac{R_1}{R} E_s \quad (4.3)$$

Trong đó R_1 là hàm phụ thuộc vị trí của trục quay, vị trí này xác định phần của R_1 chịu ảnh hưởng của từ trường còn $R = R_1 + R_2 = \text{const.}$



Từ hình 4.5b ta nhận thấy điện áp đo chỉ tuyến tính trong một khoảng $\sim 90^\circ$ đối với điện kế quay. Đối với điện kế dịch chuyển thẳng khoảng tuyến tính chỉ cỡ vài mm.

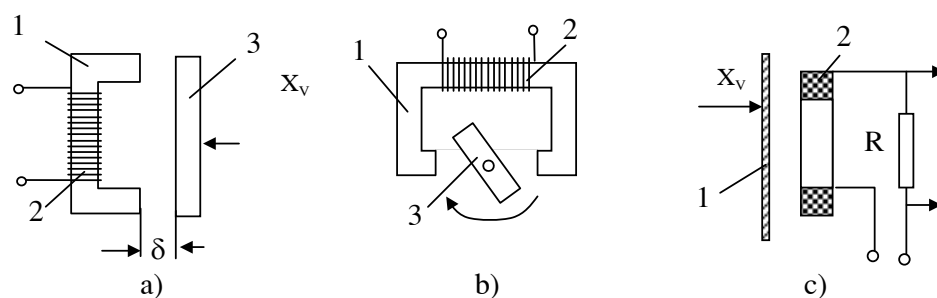
4.3. Cảm biến điện cảm

Cảm biến điện cảm là nhóm các cảm biến làm việc dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ. Vật cần đo vị trí hoặc dịch chuyển được gắn vào một phần tử của mạch từ gây nên sự biến thiên từ thông qua cuộn đo. Cảm biến điện cảm được chia ra: cảm biến tự cảm và hồ cảm.

4.3.1. Cảm biến tự cảm

a) Cảm biến tự cảm có khe từ biến thiên

- Cảm biến tự cảm đơn: trên hình 4.6 trình bày sơ đồ nguyên lý cấu tạo của một số loại cảm biến tự cảm đơn.



Hình 4.6 Cảm biến tự cảm
1) Lõi sắt từ 2) Cuộn dây 3) Phần động

Cảm biến tự cảm đơn gồm một cuộn dây quấn trên lõi thép cố định (phần tĩnh) và một lõi thép có thể di động dưới tác động của đại lượng đo (phần động), giữa phần tĩnh và phần động có khe hở không khí tạo nên một mạch từ hở.

Sơ đồ hình 4.6a: dưới tác động của đại lượng đo X_v , phần ứng của cảm biến di chuyển, khe hở không khí δ trong mạch từ thay đổi, làm cho từ trở của mạch từ biến thiên, do đó hệ số tự cảm và tổng trở của cuộn dây thay đổi theo.

Sơ đồ hình 4.6b: khi phần ứng quay, tiết diện khe hở không khí thay đổi, làm cho từ trở của mạch từ biến thiên, do đó hệ số tự cảm và tổng trở của cuộn dây thay đổi theo.

Hệ số tự cảm của cuộn dây cũng có thể thay đổi do thay đổi tổn hao sinh ra bởi dòng điện xoáy khi tấm sắt từ dịch chuyển dưới tác động của đại lượng đo X_v (hình 4.6c).

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

$$L = \frac{W^2}{R_\delta} = \frac{W^2 \mu_0 s}{\delta}$$

Trong đó:

W - số vòng dây.

$R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 s}$ - từ trở của khe hở không khí.

δ - chiều dài khe hở không khí.

s - tiết diện thực của khe hở không khí.

Trường hợp $W = \text{const}$ ta có:

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

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

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

(4.4)

Độ nhạy của cảm biến tự cảm khi khe hở không khí thay đổi ($s=\text{const}$):

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

(4.5)

Độ nhạy của cảm biến tự cảm khi thay đổi tiết diện không khí ($\delta = \text{const}$):

$$S_s = \frac{\Delta L}{\Delta s} = \frac{L_0}{s_0}$$

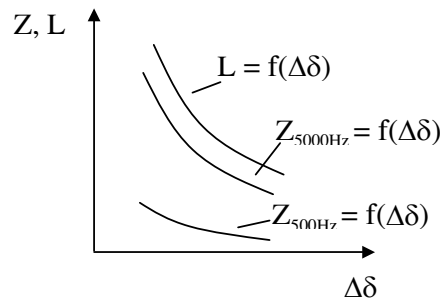
(4.6)

Tổng trở của cảm biến:

$$Z = \omega L = \frac{\omega W^2 \mu_0 s}{\delta}$$

(4.7)

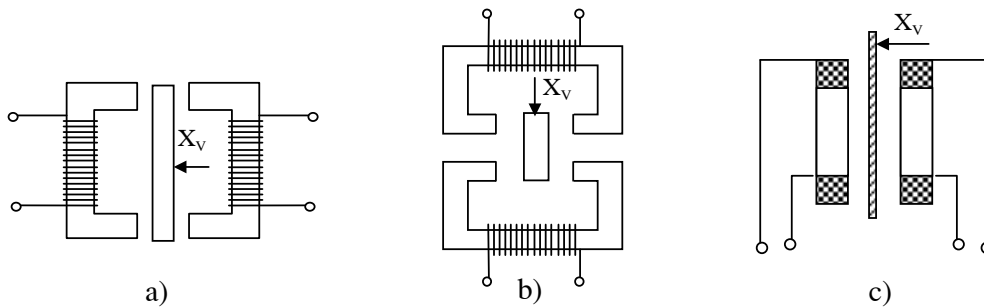
Từ công thức (4.7) ta thấy tổng trở Z của cảm biến là hàm tuyến tính với tiết diện khe hở không khí s và phi tuyến với chiều dài khe hở không khí δ .



Hình 4.7 Sự phụ thuộc giữa L, Z với chiều dài khe hở không khí δ

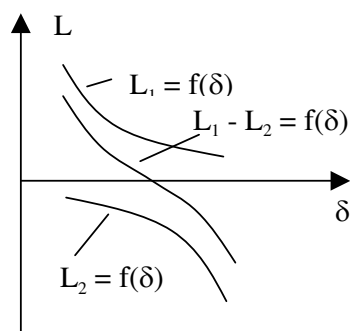
Đặc tính của cảm biến tự cảm đơn $Z = f(\Delta\delta)$ là hàm phi tuyến và phụ thuộc tần số nguồn kích thích, tần số nguồn kích thích càng cao thì độ nhạy của cảm biến càng cao (hình 4.7).

- Cảm biến tự cảm kép lắp theo kiểu vi sai: Để tăng độ nhạy của cảm biến và tăng đoạn đặc tính tuyến tính người ta thường dùng cảm biến tự cảm kép mắc theo kiểu vi sai (hình 4.8).



Hình 4.8 Cảm biến tự cảm kép mắc theo kiểu vi sai

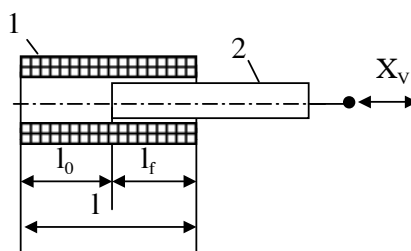
Đặc tính của cảm biến tự cảm kép vi sai có dạng như hình 4.9.



Hình 4.9 Đặc tính của cảm biến tự cảm kép lắp vi sai

b) Cảm biến tự cảm có lõi từ di động

Cảm biến gồm một cuộn dây bên trong có lõi từ di động được (hình 4.10).



Hình 4.10 Sơ đồ nguyên lý cảm biến tự cảm có lõi từ
1) Cuộn dây 2) Lõi từ

Dưới tác động của đại lượng đo X_v , lõi từ dịch chuyển làm cho độ dài l_f của lõi từ nằm trong cuộn dây thay đổi, kéo theo sự thay đổi hệ số tự cảm L của cuộn dây. Sự phụ thuộc của L vào l_f là hàm không tuyến tính, tuy nhiên có thể cải thiện bằng cách ghép hai cuộn dây đồng dạng vào hai nhánh kề sát nhau của một cầu điện trở có chung một lõi sắt.

4.3.2. Cảm biến hồ cảm

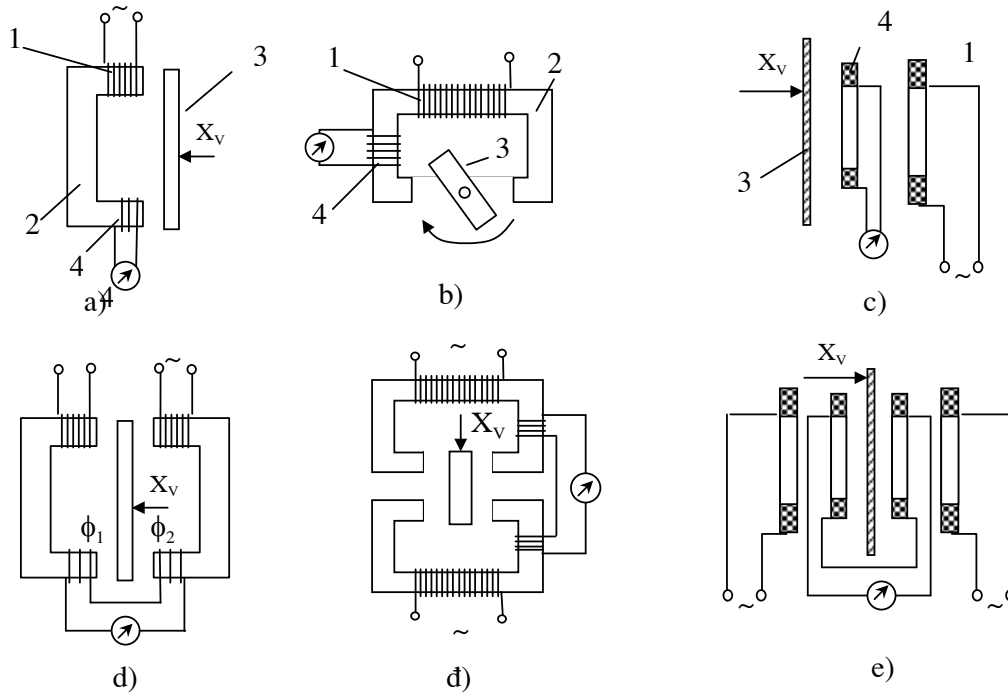
Cấu tạo của cảm biến hồ cảm tương tự cảm biến tự cảm chỉ khác ở chỗ có thêm một cuộn dây đo (hình 4.11).

Trong các cảm biến đơn khi chiều dài khe hở không khí (hình 4.11a) hoặc tiết diện khe không khí thay đổi (hình 4.11b) hoặc tổn hao do dòng điện xoáy thay đổi (hình 4.11c) sẽ làm cho từ thông của mạch từ biến thiên kéo theo suất điện động e trong cuộn đo thay đổi.

- Cảm biến đơn có khe hở không khí:

Từ thông tức thời: $\Phi_t = \frac{iW_1}{R_\delta} = \frac{iW_1\mu_0 s}{\delta}$

i - giá trị dòng điện tức thời trong cuộn dây kích thích W_1 .



Hình 4.11 Cảm biến hồ cảm

1) Cuộn sơ cấp 2) Gông từ 3) lõi từ di động 4) Cuộn thứ cấp (cuộn đo)

Sức điện động cảm ứng trong cuộn dây đo W_2 :

$$e = -W_2 \frac{d\Phi_t}{dt} = -\frac{W_2 W_1 \mu_0 s}{\delta} \cdot \frac{di}{dt}$$

W_2 - số vòng dây của cuộn dây đo.

Khi làm việc với dòng xoay chiều $i = I_m \sin \omega t$, ta có:

$$e = -\frac{W_2 W_1 \mu_0 s}{\delta} \omega I_m \cos \omega t$$

và giá trị hiệu dụng của suất điện động:

$$E = -\frac{W_2 W_1 \mu_0 s}{\delta} \omega I = k \frac{s}{\delta}$$

I - giá trị hiệu dụng của dòng điện, $k = W_2 W_1 \mu_0 \omega I$.

Với các giá trị W_2 , W_1 , μ_0 , ω và I là hằng số, ta có:

$$dE = \frac{\partial E}{\partial s} ds + \frac{\partial E}{\partial \delta} d\delta$$

Hay

$$\Delta E = k \frac{\Delta s}{\delta_0} - ks \frac{\Delta \delta}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2}$$

(4.8)

Độ nhạy của cảm biến với sự thay đổi của chiều dài khe hở không khí δ ($s = \text{const}$):

$$S_\delta = \frac{\Delta E}{\Delta \delta} = - \frac{ks}{\delta_0^2 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2} = - \frac{E_0}{\delta_0 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2}$$

(4.9)

Còn độ nhạy khi tiết diện khe hở không khí s thay đổi ($\delta = \text{const}$):

$$S_s = \frac{\Delta E}{\Delta s} = \frac{k}{\delta_0} = \frac{E_0}{s_0}$$

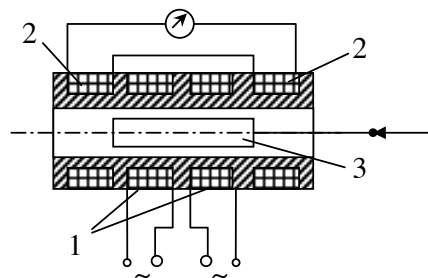
(4.10)

$E_0 = \frac{ks_0}{\delta_0}$ - sức điện động hồ cảm ban đầu trong cuộn đo W_2 khi $X_v = 0$.

Ta nhận thấy công thức xác định độ nhạy của cảm biến hồ cảm có dạng tương tự như cảm biến tự cảm chỉ khác nhau ở giá trị của E_0 và L_0 . Độ nhạy của cảm biến hồ cảm S_δ và S_s cũng tăng khi tần số nguồn cung cấp tăng.

- Cảm biến vi sai: để tăng độ nhạy và độ tuyến tính của đặc tính cảm biến người ta mắc cảm biến theo sơ đồ vi sai (hình 4.11d,đ,e). Khi mắc vi sai độ nhạy của cảm biến tăng gấp đôi và phạm vi làm việc tuyến tính mở rộng đáng kể.

- Biến thế vi sai có lõi từ: gồm bốn cuộn dây ghép đồng trục tạo thành hai cảm biến đơn đối xứng, bên trong có lõi từ di động được (hình 4.12). Các cuộn thứ cấp được nối ngược với nhau sao cho suất điện động trong chúng triệt tiêu lẫn nhau.



Hình 4.12 Cảm biến hồ cảm vi sai
1) Cuộn sơ cấp 2) Cuộn thứ cấp 3) Lõi từ

Về nguyên tắc, khi lõi từ ở vị trí trung gian, điện áp đo V_m ở đầu ra hai cuộn thứ cấp bằng không. Khi lõi từ dịch chuyển, làm thay đổi mối quan hệ giữa cuộn sơ cấp với các cuộn thứ cấp, tức là làm thay đổi hệ số hồ cảm giữa cuộn sơ cấp với các cuộn thứ cấp. Khi điện trở của thiết bị đo đủ lớn, điện áp đo V_m gần như tuyến tính với hiệu số các hệ số hồ cảm của hai cuộn thứ cấp.

4.4. Cảm biến điện dung

4.4.1. Cảm biến tụ điện đơn

Các cảm biến tụ điện đơn là một tụ điện phẳng hoặc hình trụ có một bản cực gắn cố định (bản cực tĩnh) và một bản cực di chuyển (bản cực động) liên kết với vật cần đo. Khi bản cực động di chuyển sẽ kéo theo sự thay đổi điện dung của tụ điện.

- Đối với cảm biến hình 4.13a: dưới tác động của đại lượng đo X_v , bản cực động di chuyển, khoảng cách giữa các bản cực thay đổi, kéo theo điện dung tụ điện biến thiên.

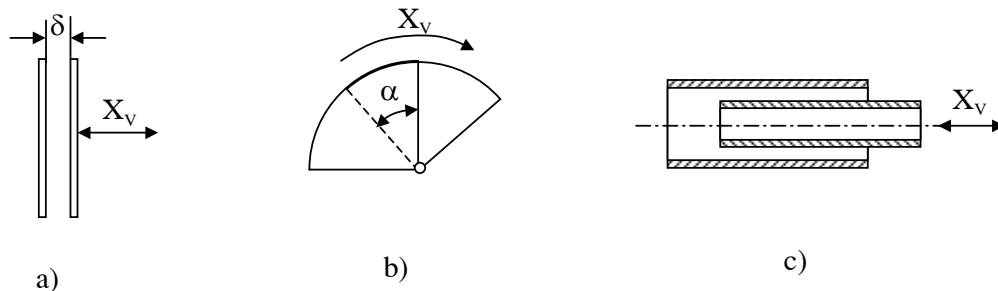
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 s}{\delta}$$

ϵ - hằng số điện môi của môi trường.

ϵ_0 - hằng số điện môi của chân không.

s - diện tích nằm giữa hai điện cực.

δ - khoảng cách giữa hai bản cực.



Hình 4.13 Cảm biến tụ điện đơn

- Đối với cảm biến hình 4.13b: dưới tác động của đại lượng đo X_v , bản cực động di chuyển quay, diện tích giữa các bản cực thay đổi, kéo theo sự thay đổi của điện dung tụ điện.

$$C = \frac{\epsilon_0 s}{\delta} = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{360\delta} \cdot \alpha$$

(4.11)

α - góc ứng với phần hai bản cực đối diện nhau.

Đối với cảm biến hình 4.13c: dưới tác động của đại lượng đo X_v , bản cực động di chuyển thẳng dọc trục, diện tích giữa các bản cực thay đổi, kéo theo sự thay đổi của điện dung.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log(r_2 / r_1)} \cdot l$$

(4.12)

Xét trường hợp tụ điện phẳng, ta có:

$$C = \frac{\epsilon s}{\delta}$$

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial C}{\partial s} ds + \frac{\partial C}{\partial \delta} d\delta$$

Đưa về dạng sai phân ta có:

$$\Delta C = \frac{s_0}{\delta_0} \Delta \epsilon + \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \Delta s - \frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta$$

(4.13)

Khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi ($\epsilon = \text{const}$ và $s = \text{const}$), độ nhạy của cảm biến:

$$S_{C\delta} = \frac{\Delta C}{\Delta \delta} = - \frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2}$$

(4.14)

Khi diện tích của bản cực thay đổi ($\epsilon = \text{const}$ và $\delta = \text{const}$), độ nhạy của cảm biến:

$$S_{Cs} = \frac{\Delta C}{\Delta s} = \frac{\epsilon_0}{\delta_0}$$

(4.15)

Khi hằng số điện môi thay đổi ($s = \text{const}$ và $\delta = \text{const}$), độ nhạy của cảm biến:

$$S_{C\epsilon} = \frac{\Delta C}{\Delta \epsilon} = \frac{s_0}{\delta_0}$$

(4.16)

Nếu xét đến dung kháng:

$$Z = \frac{1}{\omega C} = \frac{\delta}{\omega \epsilon s}$$

$$dZ = \frac{\partial Z}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial Z}{\partial s} ds + \frac{\partial Z}{\partial \delta} d\delta$$

Đưa về dạng sai phân:

$$\Delta Z = -\frac{\delta_0}{\omega s_0 (\epsilon_0 + \Delta \epsilon)^2} \Delta \epsilon - \frac{\delta_0}{\omega \epsilon_0 (s_0 + \Delta s)^2} \Delta s + \frac{1}{\omega \epsilon_0 s_0} \Delta \delta$$

Tương tự trên ta có độ nhạy của cảm biến theo dung kháng:

$$S_{Z\epsilon} = -\frac{\delta_0}{\omega s_0 (\epsilon_0 + \Delta \epsilon)^2}$$

(4.17)

$$S_{Zs} = -\frac{\delta_0}{\omega \epsilon_0 (s_0 + \Delta s)^2}$$

(4.18)

$$S_{Z\delta} = \frac{1}{\omega \epsilon_0 s_0}$$

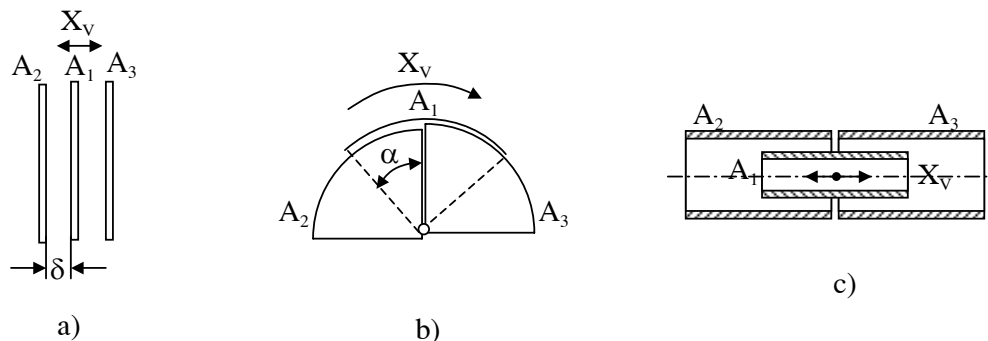
(4.19)

Từ các biểu thức trên có thể rút ra:

- Biến thiên điện dung của cảm biến tụ điện là hàm tuyến tính khi diện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi nhưng phi tuyến khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi.
- Biến thiên dung kháng của cảm biến tụ điện là hàm tuyến tính khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi nhưng phi tuyến khi diện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi.

Ngoài ra giữa hai bản cực khi có điện áp đặt vào sẽ phát sinh lực hút, lực này cần phải nhỏ hơn đại lượng đo.

4.4.2. Cảm biến tụ kép vi sai



Hình 4.14 Cảm biến tụ kép vi sai

Tụ kép vi sai có khoảng cách giữa các bản cực biến thiên dịch chuyển thẳng (hình 4.14a) hoặc có diện tích bản cực biến thiên dịch chuyển quay (hình 4.14b) và dịch chuyển thẳng (hình 4.14c) gồm ba bản cực. Bản cực động A_1 dịch chuyển giữa hai bản cực cố định A_2 và A_3 tạo thành cùng với hai bản cực này hai tụ điện có điện dung C_{21} và C_{31} biến thiên ngược chiều nhau.

Độ nhạy và độ tuyến tính của tụ kép vi sai cao hơn tụ đơn và lực tương hỗ giữa các bản cực triệt tiêu lẫn nhau do ngược chiều nhau.

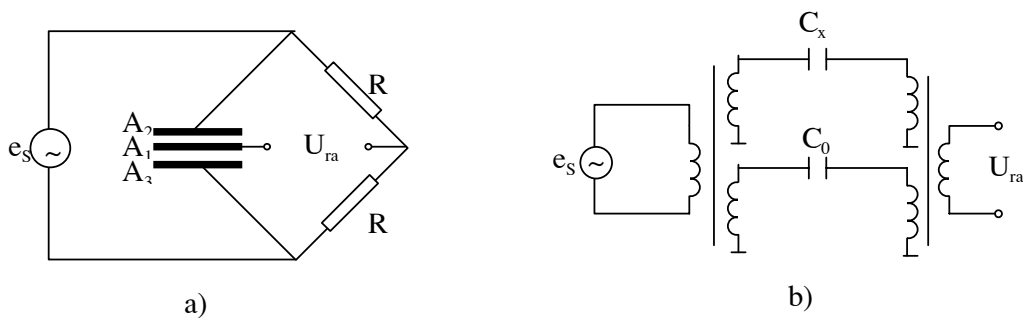
4.4.3. Mạch đo

Thông thường mạch đo dùng với cảm biến điện dung là các mạch cầu không cân bằng cung cấp bằng dòng xoay chiều. Mạch đo cần thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Tổng trở đầu vào tức là tổng trở của đường chéo cầu phải thật lớn.
- Các dây dẫn phải được bọc kim loại để tránh ảnh hưởng của điện trường ngoài.
- Không được mắc các điện trở song song với cảm biến.
- Chống ẩm tốt.

Hình 4.15a là sơ đồ mạch cầu dùng cho cảm biến tụ kép vi sai với hai điện trở. Cung cấp cho mạch cầu là một máy phát tần số cao.

Hình 4.15b là sơ đồ mạch mạch cầu biến áp với hai nhánh tụ điện.



Hình 4.15 Mạch đo thường dùng với cảm biến tụ điện

4.5. Cảm biến quang

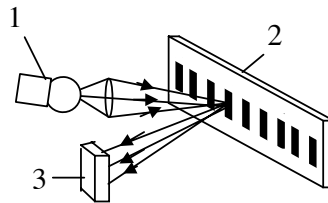
Các cảm biến đo vị trí và dịch chuyển theo phương pháp quang học gồm nguồn phát ánh sáng kết hợp với một đầu thu quang (thường là tế bào quang điện).

Tùy theo cách bố trí đầu thu quang, nguồn phát và thước đo (hoặc đối tượng đo), các cảm biến được chia ra:

- Cảm biến quang phản xạ.
- Cảm biến quang soi thấu.

4.5.1. Cảm biến quang phản xạ

Cảm biến quang phản xạ (hình 4.16) hoạt động theo nguyên tắc dội phản quang: đầu thu quang đặt cùng phía với nguồn phát. Tia sáng từ nguồn phát qua thấu kính hội tụ đập tới một thước đo chuyển động cùng vật khảo sát, trên thước có những vạch chia phản quang và không phản quang kế tiếp nhau, khi tia sáng gặp phải vạch chia phản quang sẽ bị phản xạ trở lại đầu thu quang.

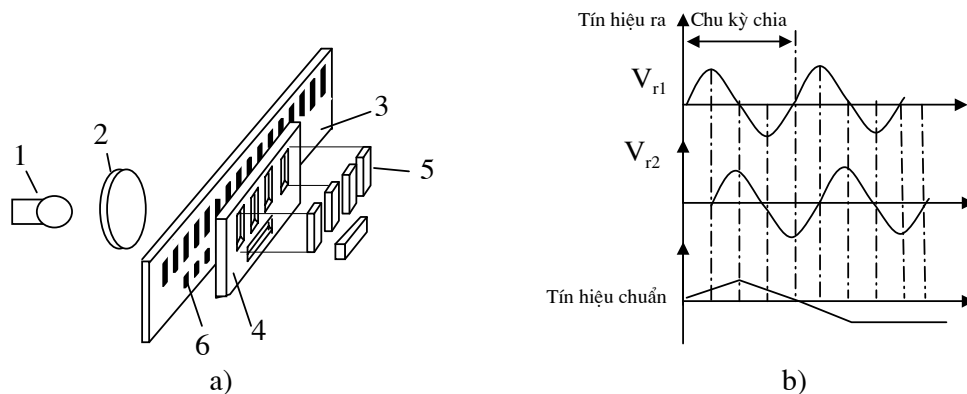


Hình 4.16 Cảm biến quang phản xạ
1) Nguồn phát 2) Thước đo 3) Đầu thu quang

Cảm biến loại dội phản quang, không cần dây nối qua vùng cảm nhận nhưng cự ly cảm nhận thấp và chịu ảnh hưởng của ánh sáng từ nguồn sáng khác.

4.5.2. Cảm biến quang soi thấu

Sơ đồ cấu trúc của một cảm biến đo vị trí và dịch chuyển theo nguyên tắc soi thấu trình bày trên hình 4.17a. Cảm biến gồm một nguồn phát ánh sáng, một thấu kính hội tụ, một thước đo, một lưới chia kích quang và các phần tử thu quang (thường là tế bào quang điện).



Hình 4.17 a) Sơ đồ cấu tạo cảm biến quang soi thấu b) Tín hiệu ra
1) Nguồn sáng 2) Thấu kính hội tụ 3) Thước đo
4) Lưới chia 5) Tế bào quang điện 6) Mã chuẩn

Khi thước đo (gắn với đối tượng khảo sát, chạy giữa thấu kính hội tụ và lưới chia) có chuyển động tương đối so với nguồn sáng sẽ làm xuất hiện một tín hiệu ánh sáng hình sin. Tín hiệu này được thu bởi các tế bào quang điện đặt sau lưới chia. Các tín hiệu đầu ra của cảm biến được khuếch đại trong một bộ tạo xung điện tử tạo thành tín hiệu xung dạng chữ nhật.

Các tế bào quang điện bố trí thành hai dãy và đặt lệch nhau một phần tư độ chia nên ta nhận được hai tín hiệu lệch pha 90° (hình 4.17b), nhờ đó không những xác định được độ dịch chuyển mà còn có thể nhận biết được cả chiều chuyển động.

Để khôi phục điểm gốc trong trường hợp mất điện nguồn người ta trang bị thêm mốc đo chuẩn trên thước đo.

Ưu điểm của các cảm biến soi thấu là cự ly cảm nhận xa, có khả năng thu được tín hiệu mạnh và tỉ số độ tương phản sáng tối lớn, tuy nhiên có hạn chế là khó bố trí và chỉnh thẳng hàng nguồn phát và đầu thu.

4.6. Cảm biến đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi

4.6.1. Nguyên lý đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi

Tốc độ truyền sóng đàn hồi v trong chất rắn $\sim 10^3$ m/s. Thời gian truyền sóng giữa hai điểm trong vật rắn cách nhau một khoảng l xác định bởi biểu thức:

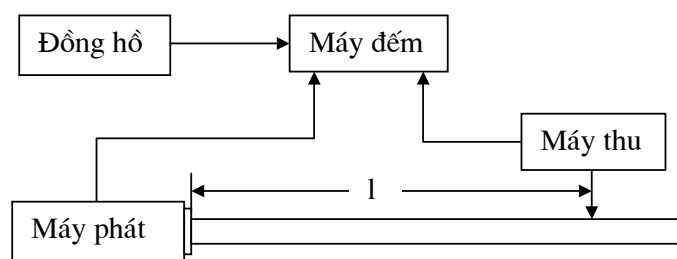
$$t_p = \frac{l}{v}$$

Biết tốc độ truyền sóng v và đo thời gian truyền sóng t_p ta có thể xác định được khoảng cách l cần đo:

$$l = vt_p$$

Sơ đồ khối của một thiết bị đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi biểu diễn trên hình 4.18.

Thời gian truyền sóng t_p từ khi tín hiệu xuất hiện ở máy phát đến khi nó được tiếp nhận ở máy thu được đo bằng máy đếm xung. Máy đếm hoạt động khi bắt đầu phát sóng và đóng lại khi tín hiệu đến được máy thu.



Hình 4.18 Sơ đồ khối của một thiết bị đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi

Gọi số xung đếm được là N và chu kỳ của xung đếm là t_H , ta có:

$$t_P = Nt_H$$

Khi đó: $l = vNt_H$

(4.20)

4.6.2. Cảm biến sử dụng phần tử áp điện

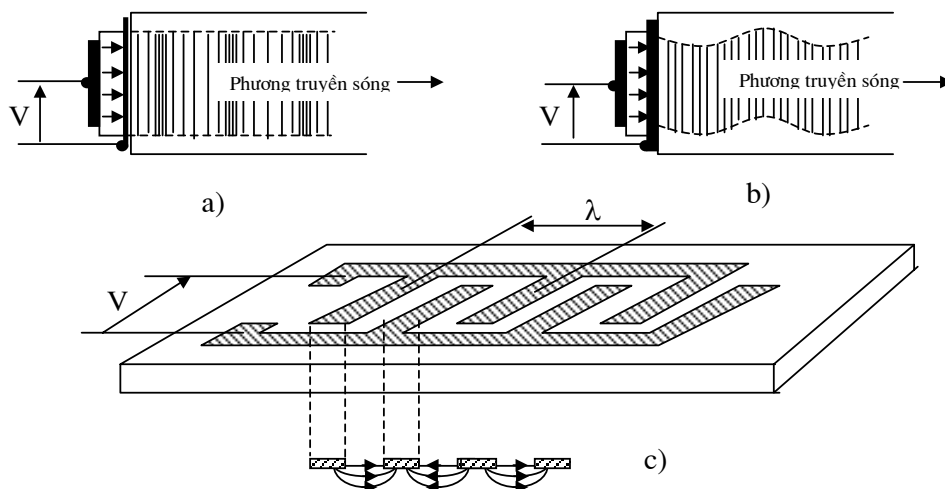
Trong các cảm biến áp điện, sóng đàn hồi được phát và thu nhờ sử dụng hiệu ứng áp điện. Hiệu ứng áp điện là hiện tượng khi một tấm vật liệu áp điện (thí dụ thạch anh) bị biến dạng dưới tác dụng của một lực cơ học có chiều nhất định, trên các mặt đối diện của tấm xuất hiện một lượng điện tích bằng nhau nhưng trái dấu, ngược lại dưới tác động của điện trường có chiều thích hợp, tấm vật liệu áp điện bị biến dạng.

Để đo dịch chuyển ta có thể sử dụng hai dạng sóng đàn hồi:

- Sóng khối: dọc và ngang.
- Sóng bề mặt.

Sóng khối dọc truyền cho các phần tử của vật rắn dịch chuyển dọc theo phương truyền sóng tạo nên sự nén rồi lại giãn nở của các lớp của vật rắn. Sóng này được kích thích bằng phần tử áp điện rung theo bề dày (hình 4.19a).

Sóng khối ngang gây nên dịch chuyển vuông góc với phương truyền sóng, tạo ra chuyển động trượt tương đối giữa các lớp của vật rắn. Sóng này được kích thích bằng một phần tử áp điện rung theo mặt cắt (hình 4.19b).



Hình 4.19 Các dạng sóng đàn hồi

a) Sóng dọc b) Sóng ngang c) Sóng bề mặt và dạng điện cực kích thích

Sóng bề mặt truyền trong lớp bề mặt của vật rắn, biên độ của chúng hầu như bằng không ở độ sâu 2λ dưới bề mặt. Sóng bề mặt gồm một thành phần sóng dọc và một thành phần sóng ngang. Nguồn kích thích sóng bề mặt là một hệ điện cực kiểu răng lược cài nhau phủ lên bề mặt vật liệu áp điện (hình 4.19c). Khoảng cách giữa hai răng kề nhau của các điện cực phải bằng λ để có thể gây ra biến dạng khi có điện áp V cùng pha đặt vào và để tăng hiệu ứng của chúng. Máy thu sóng bề mặt cũng có cấu tạo tương tự như máy phát được gắn cố định vào bề mặt vật rắn, khi có sóng bề mặt đi qua, các răng của điện cực làm biến dạng bề mặt vật rắn và gây nên điện áp do hiệu ứng áp điện.

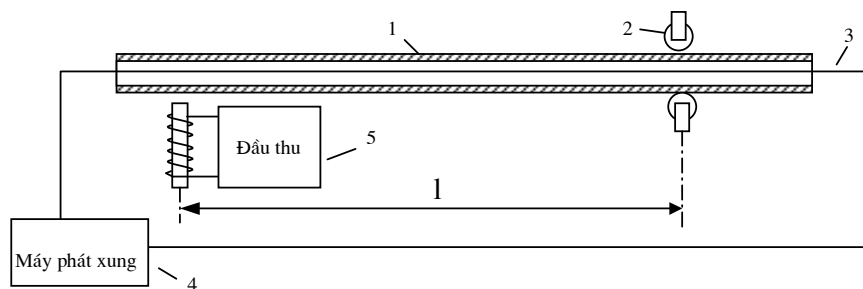
4.6.3. Cảm biến âm từ

Sóng đàn hồi phát ra nhờ sử dụng hiệu ứng Wiedemann: hiện tượng xoắn một ống trụ sắt từ khi nó chịu tác dụng đồng thời của một từ trường dọc và một từ trường ngang.

Sóng đàn hồi được thu trên cơ sở sử dụng hiệu ứng Villari: sức căng cơ học làm thay đổi khả năng từ hoá và độ từ thẩm của vật liệu sắt từ.

Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của cảm biến âm từ trình bày trên hình 4.20.

Cấu tạo của cảm biến gồm ống sắt từ (1), nam châm di động (2) trượt dọc ống gắn với vật cần xác định vị trí. Dây dẫn (3) nằm giữa trục ống và được nối với máy phát xung (4). Máy thu (5) có lõi từ nối cơ học với ống.



Hình 4.20 Sơ đồ nguyên lý cảm biến âm từ

1) Ống sắt từ 2) Nam châm 3) Dây dẫn 4) Máy phát xung 5) Đầu thu

Nguyên lý hoạt động của cảm biến: Máy phát (4) cung cấp một xung điện truyền qua dây dẫn (3), xung này truyền với vận tốc ánh sáng (c), từ trường do nó sinh ra có đường sức là đường tròn đồng tâm với trục ống. Khi sóng điện từ truyền đến vị trí nam châm (2), sự kết hợp của hai từ trường làm cho ống bị xoắn cục bộ, xoắn cục bộ này truyền đi trong ống dưới dạng sóng đàn hồi với vận tốc v . Khi sóng đàn hồi đến máy thu (5) nó làm thay đổi độ từ hoá gây nên tín hiệu hồi đáp.

Gọi t_p là thời gian từ khi phát xung hỏi đến khi nhận được xung hồi đáp, do $v \ll c$ ta có:

$$t_p = \frac{l}{v}$$

(4.21)

Trong đó l là khoảng cách từ nam châm đến đầu thu, t_p được đo bằng phương pháp đếm xung.

Chương V

CẨM BIẾN ĐO BIẾN DẠNG

Dưới tác động của ứng lực cơ học, trong môi trường chịu ứng lực xuất hiện biến dạng. Sự biến dạng của các cấu trúc ảnh hưởng rất lớn tới khả năng làm việc cũng như độ an toàn khi làm việc của kết cấu chịu lực. Mặt khác giữa ứng lực và biến dạng có mối quan hệ với nhau, dựa vào mối quan hệ đó người ta có thể xác định được ứng lực khi đo biến dạng do nó gây ra. Bởi vậy đo biến dạng là một vấn đề được quan tâm nhiều trong kỹ thuật.

5.1. Biến dạng và phương pháp đo

5.1.1. Định nghĩa một số đại lượng cơ học

- Biến dạng ε : là tỉ số giữa độ biến thiên kích thước (Δl) và kích thước ban đầu (l).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (5.1)$$

Biến dạng gọi là đàn hồi khi mà ứng lực mất đi thì biến dạng cũng mất theo.

Biến dạng mà còn tồn tại ngay cả sau khi ứng lực mất đi được gọi là biến dạng dư.

- Giới hạn đàn hồi: là ứng lực tối đa không gây nên biến dạng dẻo vượt quá 2%, tính bằng kG/mm^2 . Ví dụ giới hạn đàn hồi của thép $\sim 20 - 80 \text{ kG/mm}^2$.
- Môđun Young (Y): xác định biến dạng theo phương của ứng lực.

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{1}{Y} \frac{F}{S} = \frac{1}{Y} \sigma \quad (5.2)$$

F - lực tác dụng, kG .

S - tiết diện chịu lực. mm^2 .

σ - ứng lực, $\sigma = F/S$.

Đơn vị đo môđun Young là kG/mm^2 . Môđun Young của thép $\sim 18.000 - 29.000 \text{ kG/mm}^2$.

- Hệ số poisson ν : hệ số xác định biến dạng theo phương vuông góc với lực tác dụng.

$$\varepsilon_{\perp} = -\nu \varepsilon_{\parallel} \quad (5.3)$$

Trong vùng biến dạng đàn hồi $\nu \approx 0,3$.

5.1.2. phương pháp đo biến dạng

Tác động của ứng lực gây ra sự biến dạng trong kết cấu chịu ứng lực. Giữa biến dạng và ứng lực có quan hệ chặt chẽ với nhau, bằng cách đo biến dạng ta có thể tính được ứng lực tác động lên kết cấu. Để đo biến dạng người ta sử dụng các cảm biến biến dạng hay còn gọi là đầu đo biến dạng.

Hiện nay sử dụng phổ biến hai loại đầu đo biến dạng:

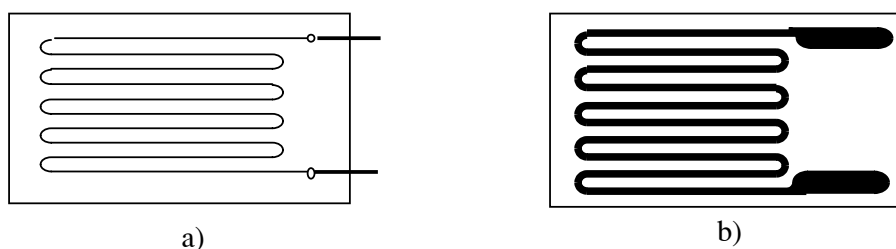
- Đầu đo điện trở: đây là loại đầu đo dùng phổ biến nhất. Chúng được chế tạo từ vật liệu có điện trở biến thiên theo mức độ biến dạng, với kích thước nhỏ từ vài mm đến vài cm, khi đo chúng được dán trực tiếp lên cấu trúc biến dạng.
- Đầu đo dạng dây rung được dùng trong ngành xây dựng. Đầu đo được làm bằng một sợi dây kim loại căng giữa hai điểm của cấu trúc cần đo biến dạng. Tần số của dây rung là hàm của sức căng cơ học, tần số này thay đổi khi khoảng cách hai điểm nối thay đổi.

Trong chương này đề cập đến các đầu đo biến dạng thường dùng trong công nghiệp như đầu đo điện trở kim loại, đầu đo điện trở bán dẫn - áp điện trở, ứng suất kế dây rung và các đầu đo trong chế độ động.

5.2. Đầu đo điện trở kim loại

5.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Đầu đo điện trở kim loại có cấu tạo dạng lưới. Đối với đầu đo dạng lưới dây, được làm bằng dây điện trở có tiết diện tròn (đường kính $d \approx 20 \mu\text{m}$) hoặc tiết diện chữ nhật $a \times b$ (hình 5.1a). Đầu đo dạng lưới màng chế tạo bằng phương pháp mạch in (hình 5.1b). Số nhánh n của cảm biến thường từ 10 - 20 nhánh.

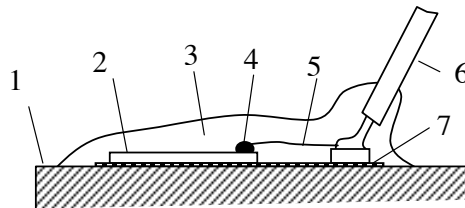


Hình 5.1 Sơ đồ cấu tạo của đầu đo kim loại
a) Đầu đo dùng dây quấn b) Đầu đo dùng lưới màng

Cảm biến được cố định trên đế cách điện mỏng bề dày $\sim 0,1 \text{ mm}$ làm bằng giấy hoặc $\sim 0,03 \text{ mm}$ làm bằng chất dẻo (polyimide, epoxy). Vật liệu làm điện trở thường thuộc họ hợp kim Ni (bảng 5.1).

Hợp kim	Thành phần	Hệ số đầu đo K
Constantan	45%Ni, 55%Cu	2,1
Isoelastic	52%Fe, 36%Ni, 8%Cr, 4%(Mn+Mo)	3,5
Karma	74%Ni, 20%Cr, 3%Cu, 3%Fe	2,1
Nicrome V	80%Ni, 20%Cr	2,5
Bạch kim - vonfram	92%Pt, 8%W	4,1

Khi đo cảm biến được gắn vào bề mặt của cấu trúc cần khảo sát (hình 5.2), kết quả là cảm biến cũng chịu một biến dạng như biến dạng của cấu trúc.



Hình 5.2 Cách cố định đầu đo trên bề mặt khảo sát

- 1) Bề mặt khảo sát 2) Cảm biến 3) Lớp bảo vệ 4) Mối hàn
5) Dây dẫn 6) Cáp điện 7) Keo dán

Điện trở của cảm biến xác định bởi biểu thức :

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

(5.4)

Phương trình sai phân:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

Biến dạng dọc Δl của dây kéo theo biến dạng ngang của tiết diện, quan hệ giữa biến dạng ngang và biến dạng dọc có dạng:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta d}{d} = -\nu \frac{\Delta l}{l}$$

Tiết diện ngang của dây $S = ab$ hoặc $S = \pi d^2/4$, ta có:

$$\frac{\Delta S}{S} = -2\nu \frac{\Delta l}{l}$$

Mặt khác, đối với đầu đo kim loại:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = C \frac{\Delta V}{V}$$

C - hằng số Bridman.

V - thể tích dây.

Vì $V = S.l$, ta có:

$$\frac{\Delta V}{V} = (1 - 2\nu) \frac{\Delta l}{l}$$

Và:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = C(1 - 2\nu) \frac{\Delta l}{l}$$

Vậy ta có:

$$\frac{\Delta R}{R} = \{(1 + 2\nu) + C(1 - 2\nu)\} \frac{\Delta l}{l} = K \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

(5.5)

Hệ số K được gọi là hệ số đầu đo, giá trị xác định theo biểu thức:

$$K = 1 + 2\nu + C(1 - 2\nu)$$

(5.6)

Vì $\nu \approx 0,3$, $C \approx 1$, nên đầu đo kim loại có $K \approx 2$.

5.2.2. Các đặc trưng chủ yếu

- *Điện trở suất* : điện trở của vật liệu làm dây phải đủ lớn để dây không quá dài làm tăng kích thước cảm biến và tiết diện dây không quá bé làm giảm dòng đo dẫn đến làm giảm độ nhạy.
- *Hệ số đầu đo*: thông thường $K = 2 - 3$, ngoại trừ isoelastic có $K = 3,5$ và platin-vonfram $K = 4,1$.
- *Ảnh hưởng của lực đến độ tuyến tính*: trong giới hạn đàn hồi, hệ số đầu đo không đổi do quan hệ tuyến tính giữa điện trở và biến dạng. Ngoài giới hạn đàn hồi, khi $\Delta l/l > 0,5\% - 20\%$ tùy theo vật liệu, hệ số đầu đo $K \approx 2$.
- *Ảnh hưởng của nhiệt độ*: nói chung K ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, ngoại trừ isoelastic. Trong khoảng nhiệt độ từ $-100^\circ\text{C} \div 300^\circ\text{C}$ sự thay đổi của hệ số đầu đo K theo nhiệt độ có thể biểu diễn bởi biểu thức:

$$K(T) = K_0 \{1 + \alpha_K (T - T_0)\}$$

(5.7)

K_0 - hệ số đầu đo ở nhiệt độ chuẩn T_0 (thường $T_0 = 25^\circ\text{C}$).

α_K - hệ số, phụ thuộc vật liệu. Với Nichrome V thì $\alpha_K = -0,04\%/^\circ\text{C}$, constantan $\alpha_K = +0,01\%/^\circ\text{C}$

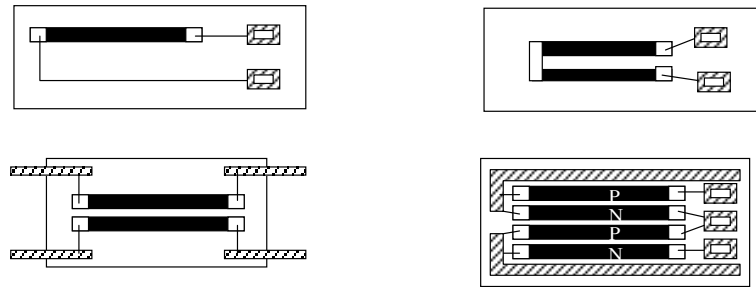
- *Độ nhạy ngang*: ngoài các nhánh dọc có điện trở R_L cảm biến còn có các đoạn nhánh ngang có tổng độ dài l_t , điện trở R_t , do đó điện trở tổng cộng của cảm biến bằng $R = R_L + R_t$. Trong quá trình biến dạng các đoạn ngang cũng bị biến dạng, R_t thay đổi cũng làm cho R thay đổi. Tuy nhiên do $R_t \ll R_L$, ảnh hưởng của biến dạng ngang cũng không lớn.

5.3. Cảm biến áp trở silic

5.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

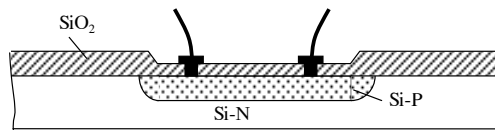
Đầu đo bán dẫn được làm bằng đơn tinh thể silic pha tạp. Cấu tạo của chúng phụ thuộc các chế tạo.

Đầu đo loại cắt: chế tạo bằng các mẫu cắt từ tấm đơn tinh thể silic pha tạp có sơ đồ cấu tạo như hình 5.3. Các mẫu cắt đơn tinh thể được lấy 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. Mẫu cắt có chiều dài từ 0,1 mm đến vài mm và chiều dày cỡ 10^{-2} mm. Các mẫu cắt được dán trên đế cách điện bằng nhựa.



Hình 5.3 Đầu đo chế tạo bằng các mẫu cắt

Đầu đo khuếch tán: điện trở của đầu đo chế tạo bằng cách khuếch tán tạp chất vào một tấm đế đơn tinh thể silic pha tạp. Sơ đồ cấu tạo của loại này trình bày trên hình 5.4.



Hình 5.4 Đầu đo loại khuếch tán

Điện trở loại N nhận được bằng cách khuếch tán vào đế silic loại P một tạp chất thuộc nhóm V trong bảng tuần hoàn (như P, Sb), còn điện trở loại P khuếch tán tạp chất thuộc nhóm III (như Ga, In) vào đế silic loại N. Chuyển tiếp giữa đế và vùng khuếch tán tạo nên một điốt và luôn được phân cực ngược (vùng P âm hơn vùng N) để cho điện trở của cảm biến cách biệt với đế silic.

Biến thiên điện trở của đầu đo bán dẫn xác định bởi công thức tương tự đầu đo kim loại:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

Đối với đầu đo bán dẫn, biến thiên điện trở suất do tác dụng của ứng lực có dạng:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi \sigma = \pi Y \frac{\Delta l}{l}$$

Trong đó π là hệ số áp điện trở, σ là ứng lực tác dụng.

Vậy:

$$\frac{\Delta R}{R} = \{(1 + 2\nu) + \pi Y\} \frac{\Delta l}{l}$$

(5.8)

và hệ số đầu đo:

$$K = 1 + 2\nu + \pi Y$$

(5.9)

Thông thường $K = 100 - 200$.

5.3.2. Các đặc trưng chủ yếu

Đối với đầu đo bán dẫn, độ pha tạp là yếu tố quyết định đến các đặc trưng của chúng.

- Điện trở:

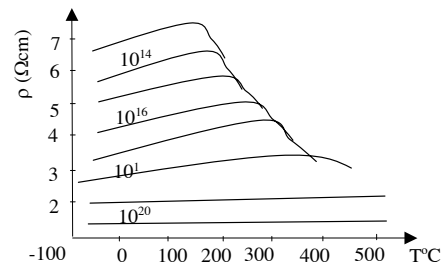
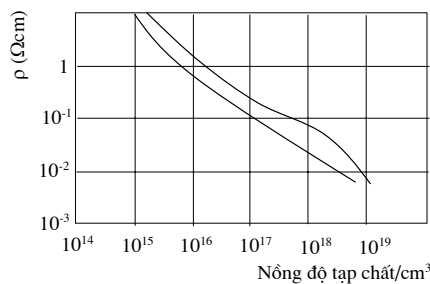
Ảnh hưởng của độ pha tạp: khi tăng độ pha tạp, mật độ hạt dẫn trong vật liệu tăng lên và điện trở suất của nó giảm xuống. Biểu thức chung của điện trở suất có dạng:

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

q - giá trị tuyệt đối của điện tích điện trở hoặc lỗ trống.

n, p - mật độ điện tử và lỗ trống tự do.

μ_n, μ_p - độ linh động của điện tử và lỗ trống.

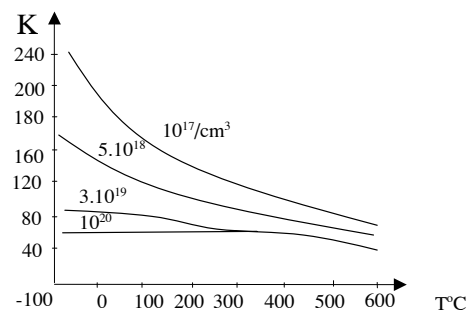


Hình 5.5 Sự phụ thuộc của điện trở suất vào nồng độ pha tạp và nhiệt độ.
Ảnh hưởng của nhiệt độ: khi nhiệt độ nhỏ hơn 120 °C hệ số nhiệt điện trở có giá trị dương và giảm dần khi độ pha tạp tăng lên.

Ở nhiệt độ cao hệ số nhiệt điện trở có giá trị âm và không phụ thuộc vào độ pha tạp.

- Hệ số đầu đo K :

Ảnh hưởng của độ pha tạp: Hệ số đầu đo phụ thuộc vào độ pha tạp, khi độ pha tạp tăng lên, hệ số đầu đo giảm (hình 5.6).



Hình 5.6 Sự phụ thuộc của K vào độ pha tạp

Ảnh hưởng của độ biến dạng: Hệ số đầu đo phụ thuộc vào độ biến dạng, quan hệ có dạng:

$$K = K_1 + K_2 \varepsilon + K_3 \varepsilon^2$$

Tuy nhiên với độ biến dạng dưới một giá trị cực đại nào đó có thể coi K không đổi.

Ảnh hưởng của nhiệt độ: Khi nhiệt độ tăng hệ số đầu đo giảm, tuy nhiên khi độ pha tạp lớn (cỡ $N_d = 10^{20} \text{cm}^{-3}$) hệ số đầu đo ít phụ thuộc nhiệt độ.

5.4. Đầu đo trong chế độ động

Khi đo biến dạng trong chế độ động, đầu đo phải thỏa mãn một số yêu cầu nhất định như tần số sử dụng tối đa, giới hạn môi.

5.4.1. Tần số sử dụng tối đa

Tần số của đầu đo không phụ thuộc vào vật liệu chế tạo, silic có thể truyền không suy giảm các dao động với tần số lớn hơn 10^6 Hz . Tuy nhiên tần số làm việc lại phụ thuộc vào phương pháp gắn đầu đo và kích thước của nó.

Để cho các biến dạng đo được gần như đồng bộ trong phạm vi của đầu đo, chiều dài l của các nhánh phải nhỏ hơn nhiều lần bước sóng λ của dao động cơ học. Quan hệ giữa kích thước l và chiều dài bước sóng phải thỏa mãn điều kiện:

$$l \leq 0,1\lambda$$

Chiều dài bước sóng λ của dao động cơ học được xác định bởi công thức:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

(5.10)

Trong đó v là vận tốc truyền sóng và f là tần số dao động.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{d} \cdot \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}}$$

Y - là môđun Young.

ν - hệ số poisson.

d - trọng lượng riêng vật liệu chế tạo dây.

Vậy tần số cực đại f_{\max} của dao động khi chiều dài nhánh của đầu đo là l bằng:

$$f_{\max} = \frac{v}{10.l}$$

5.4.2. Giới hạn môi

Biến dạng nhiều lần làm tăng điện trở đầu đo do hiệu ứng môi, hiệu ứng này càng lớn khi biên độ biến dạng càng lớn.

Giới hạn môi được xác định bởi số chu kỳ biến dạng N với biên độ cho trước gây nên biến thiên điện trở bằng 10^{-4} ứng với chu kỳ biến dạng giả định. Đối với biên độ biến dạng cỡ $\pm 2.10^{-3}$ giới hạn môi nằm trong khoảng từ 10^4 (constantan) đến 10^8 (isoelastic) chu kỳ.

5.5. Ứng suất kế dây rung

Ứng suất kế dây rung được dùng để theo dõi kiểm tra các công trình xây dựng như đập, cầu, đường hầm ...

Cấu tạo của ứng suất kế dây rung gồm một dây thép căng giữa hai giá gắn vào cấu trúc cần nghiên cứu biến dạng. Khi có biến dạng, sự căng cơ học của dây kéo theo sự thay đổi tần số dao động N của dây, bằng cách đo tần số dao động của dây có thể biết được độ lớn của biến dạng.

Tần số dao động của sợi dây xác định theo công thức:

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{Sd}}$$

(5.11)

l - khoảng cách giữa hai điểm căng dây.

F - lực tác dụng.

S - tiết diện dây.

d - khối lượng riêng của vật liệu chế tạo dây.

Dưới tác dụng của lực F, độ dài dây biến thiên một lượng Δl xác định từ biểu thức:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{Y} \frac{F}{S}$$

(5.12)

Do đó tần số dao động của dây:

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Y \Delta l}{d l}}$$

Suy ra:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{4l^2 d}{Y} N^2 = K \cdot N^2$$

(5.13)

Giả sử Δl_0 là độ kéo dài ban đầu và N_0 là tần số tương ứng khi chưa có biến dạng:

$$\frac{\Delta l_0}{l} = K \cdot N_0^2$$

Khi có biến dạng, độ kéo dài tổng cộng của dây là Δl_1 và tần số là N_1 , ta có:

$$\frac{\Delta l_1}{l} = K \cdot N_1^2$$

Vì độ kéo dài do biến dạng $\Delta l = \Delta l_1 - \Delta l_0$, suy ra:

$$\frac{\Delta I}{1} = K(N_1^2 - N_0^2)$$

(5.14)

Đo N_0 và N_1 ta có thể tính được biến dạng của cấu trúc.

Chương VI

CẢM BIẾN ĐO LỰC

6.1. Nguyên lý đo lực

Xác định ứng lực cơ học tác động lên các cấu trúc trong những điều kiện xác định là vấn đề hàng đầu trong việc đánh giá độ an toàn cho hoạt động của máy móc, thiết bị.

Theo định luật cơ bản của động lực học, lực được xác định bởi biểu thức:

$$\vec{F} = M\vec{a}$$

(6.1)

Trong đó:

\vec{F} - lực tác dụng (N).

M - khối lượng của vật (kg).

\vec{a} - gia tốc của vật (m/s^2).

Theo công thức (6.1), khi một lực có cường độ F (N) tác động vào một vật có khối lượng M (kg) sẽ gây ra gia tốc a (m/s^2).

Nguyên tắc đo lực là làm cân bằng lực cần đo với một lực đối kháng sao cho lực tổng cộng và momen tổng của chúng bằng không.

Trong các cảm biến đo lực thường có một vật trung gian chịu tác động của lực cần đo và biến dạng. Biến dạng của vật trung gian là nguyên nhân gây ra lực đối kháng và trong giới hạn đàn hồi biến dạng tỉ lệ với lực đối kháng.

Biến dạng và lực gây ra biến dạng có thể đo trực tiếp bằng cảm biến biến dạng, hoặc đo gián tiếp nếu một trong những tính chất điện của vật liệu chế tạo vật trung gian phụ thuộc vào biến dạng.

Ta cũng có thể xác định một lực bằng cách cân bằng nó với một lực đã biết. Theo công thức xác định trọng lực của một vật trong trọng trường trái đất:

$$\vec{P} = M\vec{g}$$

Trong môi trường có g biết trước, cân khối lượng M của vật ta có thể xác định được trọng lực của vật đó, ngược lại nếu sử dụng một vật có khối lượng đã biết sẽ có được một lực xác định. Đây chính là nguyên tắc chuẩn cảm biến bằng máy đo có khối lượng treo.

Trong chương này nghiên cứu các bộ cảm biến đo lực phổ biến như cảm biến áp điện, cảm biến từ giảo, cảm biến dựa trên phép đo dịch chuyển, cảm biến xúc giác.

6.2. Cảm biến áp điện

6.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cảm biến áp điện hoạt động dựa trên nguyên lý của hiệu ứng áp điện.

Phần tử cơ bản của một cảm biến áp điện có cấu tạo tương tự một tụ điện được chế tạo bằng cách phủ hai bản cực lên hai mặt đối diện của một phiến vật liệu áp điện mỏng. Vật liệu áp điện thường dùng là thạch anh vì nó có tính ổn định và độ cứng cao. Tuy nhiên hiện nay vật liệu gốm (ví dụ gốm PZT) do có ưu điểm độ bền và độ nhạy cao, điện dung lớn, ít chịu ảnh hưởng của điện trường ký sinh, dễ sản xuất và giá thành chế tạo thấp cũng được sử dụng đáng kể.

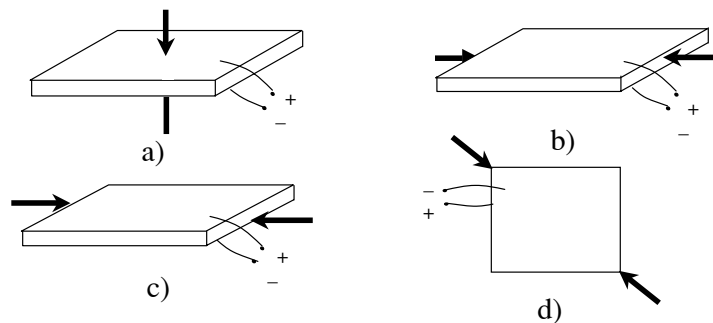
Đặc trưng vật lý của một số vật liệu áp điện được trình bày trên bảng 6.1.

Bảng 6.1

Vật liệu	Độ thấm thấu	Điện trở suất ($\Omega.m$)	Modun Young ($10^9 N.m^{-2}$)	Ứng lực cực đại ($10^7 N.m^{-2}$)	Nhiệt độ làm việc T_{max} ($^{\circ}C$)
Thạch anh	$\epsilon_{11}=4,5$	10^{12}	$Y_{11}=80$	10	550
Muối seignette	$\epsilon_{11}=350$	$>10^{10}$	$Y_{11}=19,3$ $Y_{22}=30$	1,4	45
L.H.	$\epsilon_{11}=5,6$	$>10^{10}$	46	1,5	75
PZT5A	$\epsilon_{11}=1.700$	10^{11}	$Y_{33}=53$	7-8	365

Dưới tác dụng của lực cơ học, tấm áp điện bị biến dạng, làm xuất hiện trên hai bản cực các điện tích trái dấu. Hiệu điện thế xuất hiện giữa hai bản cực tỉ lệ với lực tác dụng.

Các biến dạng cơ bản xác định chế độ làm việc của bản áp điện. Trên hình 6.1 biểu diễn các biến dạng cơ bản của bản áp điện.



Hình 6.1 Các dạng biến dạng cơ bản

a) Theo chiều dọc b) Theo chiều ngang c) Cắt theo bề dày d) Cắt theo bề mặt

Trong nhiều trường hợp các bản áp điện được ghép thành bộ theo cách ghép nối tiếp hoặc song song.



Hình 6.2 Cách ghép các phần tử áp điện

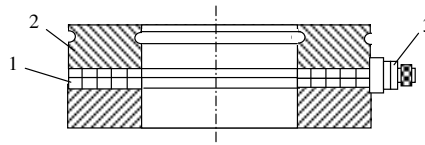
a) Hai phần tử song song b) Hai phần tử nối tiếp c) Nhiều phần tử song song

b)

Trường hợp ghép song song hai bản áp điện (hình 6.2a), điện dung của cảm biến tăng gấp đôi so với trường hợp một bản áp điện. Khi ghép nối tiếp (hình 6.2b) điện áp hở mạch và trở kháng trong tăng gấp đôi nhưng điện dung giảm xuống còn một nửa. Những nguyên tắc trên áp dụng cho cả trường hợp ghép nhiều bản áp điện với nhau như biểu diễn trên hình 6.2c.

6.2.2. Cảm biến thạch anh kiểu vòng đệm

Các cảm biến thạch anh kiểu vòng đệm có cấu tạo như hình 6.3, chúng gồm các phiến cắt hình vòng đệm ghép với nhau và chỉ nhạy với lực nén tác dụng dọc theo trục.



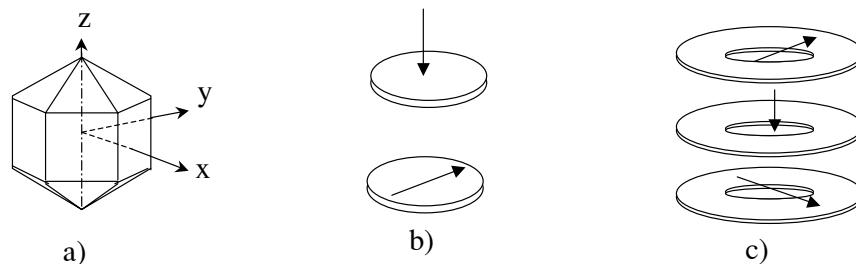
Hình 6.3 Cấu tạo của cảm biến vòng đệm thạch anh
1) Các vòng đệm 2) Các tấm đế 3) Đầu nối dây

Giới hạn trên của dải đo phụ thuộc vào diện tích bề mặt của các vòng đệm, cỡ từ vài kN (với đường kính ~ 1 cm) đến 10^3 kN (với đường kính ~ 10 cm).

Người ta cũng có thể dùng cảm biến loại này để đo lực kéo bằng cách tạo lực nén đặt trước (dùng các bulông xiết chặt các vòng đệm), khi đó lực kéo được đo như sự sụt giảm của lực nén. Tuy nhiên, khi đó độ nhạy giảm 5 - 10%.

6.2.3. Cảm biến thạch anh nhiều thành phần

Trong cảm biến loại này, các vòng đệm thạch anh được cắt theo các hướng khác nhau, khi đó chúng chỉ nhạy với một hướng xác định của lực.



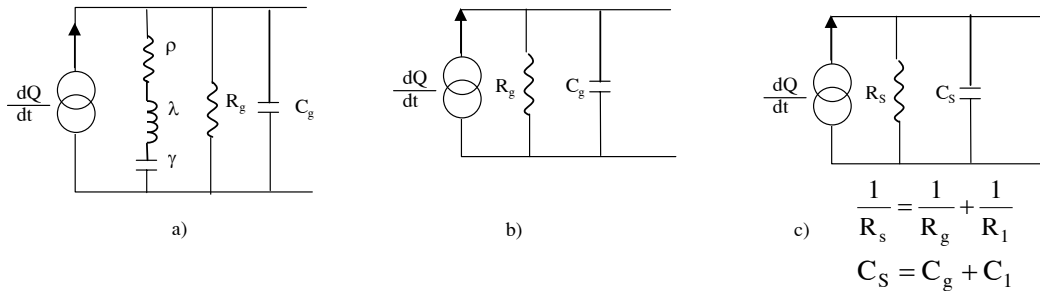
Hình 6.4 Cảm biến thạch anh nhiều thành phần
a) Ký hiệu các trục b) Các phiến cắt đặc biệt c) Cảm biến ba thành phần vuông góc

Thạch anh có năm hệ số điện áp d_{11} , d_{12} , d_{14} , d_{25} , d_{26} , do đó một vòng đệm cắt theo phương của trục X chỉ nhạy với lực nén (vì có d_{11}), các lực ký sinh tác động theo cạnh bên đều không gây nên hiệu ứng với vòng đệm và các ứng lực mà hiệu ứng của chúng liên quan đến d_{12} , d_{14} sẽ không có mặt. Tương tự như vậy, một vòng đệm cắt theo phương Y chỉ nhạy với lực cắt theo bề dày (vì có d_{26}) và bằng cách lắp ghép hợp lý có thể loại trừ hiệu ứng của các ứng lực liên quan đến d_{25} (cắt theo mặt). Hai mặt cắt đặc biệt này biểu diễn trên hình 6.4b, chúng được sử dụng để chế tạo các cảm biến thạch anh nhiều thành phần.

Trên hình 6.4c biểu diễn một cảm biến ba thành phần vuông góc gồm ba cặp vòng tròn ghép với nhau, một cặp nhạy với lực nén F_x , hai mặt còn lại nhạy với lực cắt F_y và F_z vuông góc với F_x .

6.2.4. Sơ đồ mạch đo

a) Sơ đồ tương đương của cảm biến



Hình 6.5 Sơ đồ tương đương của cảm biến áp điện

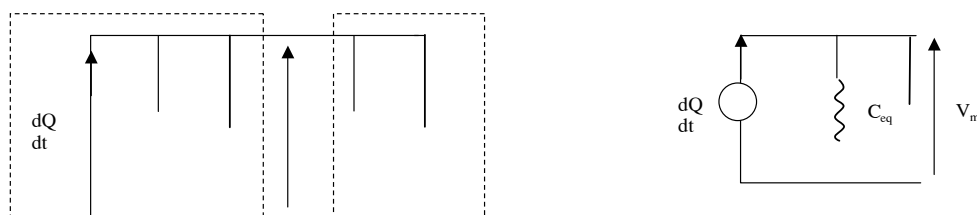
Trong dải tần số rộng (từ tần số thấp đến tần số cao) điện trở tương đương có thể coi là một nguồn dòng điện song song với trở kháng trong (gồm ba nhánh) của cảm biến (hình 6.5a). Nhánh ρ , λ , γ đặc trưng cho cộng hưởng điện cơ thứ nhất ở tần số cao nằm ngoài dải thông của cảm biến. Điện trở trong R_g là điện trở cách điện của vật liệu áp điện, khi ở tần số thấp nó trở thành trở kháng trong của cảm biến. Tụ điện C_g là điện dung của nguồn phát điện tích, khi ở tần số trung bình và cao nó trở thành trở kháng của cảm biến.

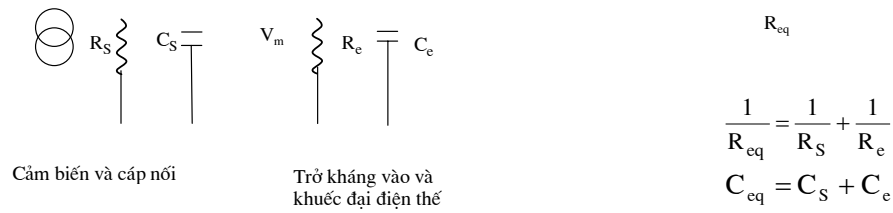
Trên thực tế ở dải thông thường sử dụng, người ta dùng mạch tương đương biểu diễn ở hình 6.5b.

Khi nối cảm biến với mạch ngoài bằng cáp dẫn, trở kháng của cáp dẫn tương đương điện trở R_1 và tụ điện C_1 mắc song song với cảm biến, khi đó mạch tương đương có dạng hình 6.5c.

b) Sơ đồ khuếch đại điện áp

Trở kháng vào của bộ khuếch đại điện áp tương đương với một điện trở R_e mắc song song với một tụ C_e , khi đó mạch tương đương có dạng hình 6.6.





Hình 6.6 Sơ đồ tương đương của cảm biến mắc nối tiếp với bộ khuếch đại điện thế

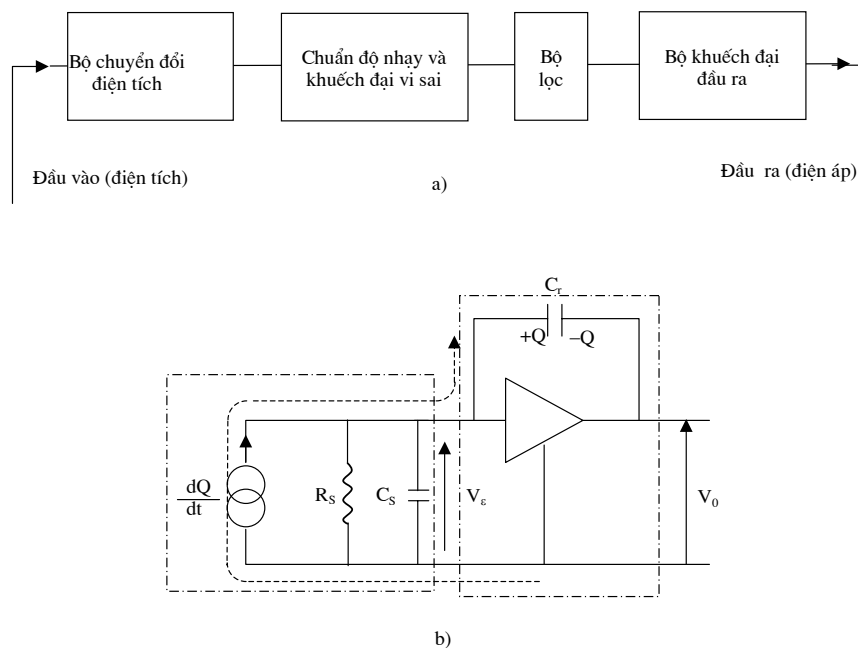
Điện áp ở lối vào của khuếch đại xác định bởi công thức:

$$V_m = \frac{Q}{C_q} \cdot \frac{R_{eq} C_{eq} P}{1 + R_{eq} C_{eq} P}$$

c) Sơ đồ khuếch đại điện tích

Trong mạch khuếch đại điện tích, sự di chuyển của điện tích ở lối vào sẽ gây nên ở lối ra một điện áp tỉ lệ với điện tích đầu vào. Bộ khuếch đại điện tích gồm một bộ biến đổi điện tích - điện áp đầu vào, một tầng chuẩn độ nhảy, một bộ lọc trung gian và một số tầng khuếch đại ở đầu ra để cung cấp tín hiệu ra (hình 6.7a).

Sơ đồ mạch ghép nối cảm biến với bộ chuyển đổi điện áp - điện tích trình bày trên hình 6.7b.



Hình 6.7 Sơ đồ khuếch đại điện tích

a) Sơ đồ khối b) Sơ đồ ghép nối cảm biến và bộ chuyển đổi điện tích - điện áp

6.3. Cảm biến từ giao

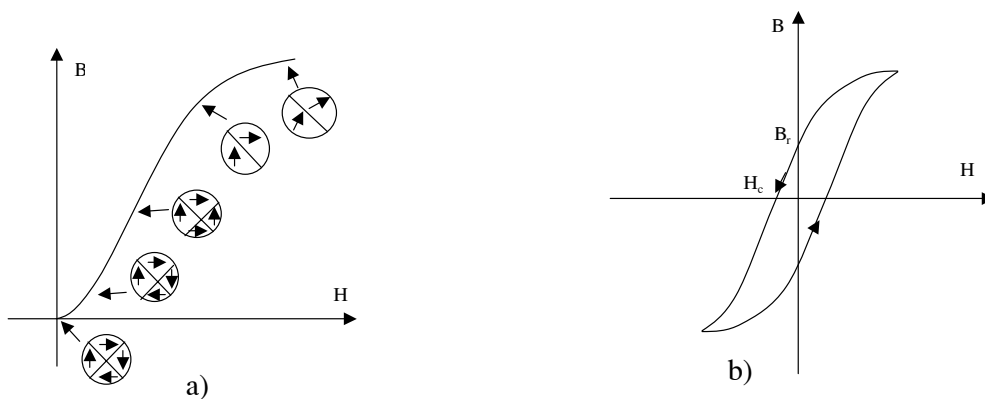
6.3.1. Hiệu ứng từ giao

Dưới tác động của từ trường, một số vật liệu sắt từ thay đổi tính chất hình học hoặc tính chất cơ học (hệ số Young). Hiện tượng này được gọi là hiệu ứng từ giảo. Khi có tác dụng của lực cơ học gây ra ứng lực trong vật liệu sắt từ làm thay đổi đường cong từ hoá của chúng, khi đó dựa vào sự thay đổi của độ từ thẩm hoặc từ dư có thể xác định được độ lớn của lực tác dụng. Đây là hiệu ứng từ giảo nghịch.

- *Cơ chế từ hoá*: Như chúng ta đã biết trong vật liệu sắt từ, mỗi nguyên tử được đặc trưng bởi một mômen từ. Để giảm thiểu năng lượng tổng cộng, mômen từ của các nguyên tử trong cùng một miền từ hoá tự nhiên (domen) phải hướng theo một hướng chung. Hướng chung này định hướng theo một số hướng ưu tiên của mạng tinh thể gọi là hướng dễ từ hoá. Hướng của các mômen từ trong các domen cạnh nhau không trùng nhau.

Khi có từ trường ngoài H tác động, sự định hướng của mômen từ trong một domen theo một hướng chung tăng dần. Khi H nhỏ, các vách domen từ dịch chuyển và kích thước của các domen từ có hướng từ hoá thuận lợi trùng với hướng của từ trường bên ngoài tăng lên. Khi từ trường ngoài tăng lên đến mức nào đó xảy ra hiện tượng đảo hướng của các domen theo hướng từ trường ngoài. Khi từ trường ngoài đủ mạnh sẽ làm quay hướng dễ từ hoá của các domen từ theo hướng từ trường ngoài dẫn đến bão hoà (hình 6.8a).

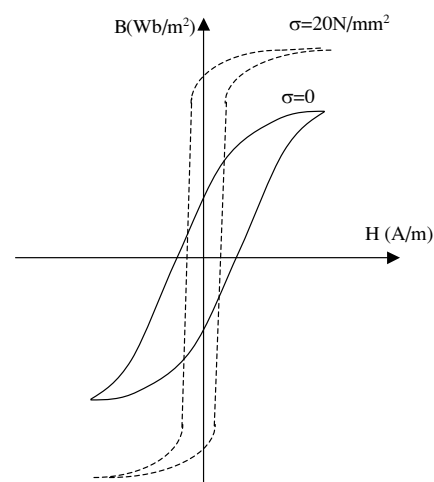
- *Hiện tượng từ trễ*: Sau khi từ hoá lần đầu đến bão hoà ($H = H_m$), nếu vẫn giữ nguyên phương từ trường và thực hiện một chu trình khép kín ($H_m, 0, -H_m, 0$) ta nhận được đường cong từ hoá như hình 6.8b gọi là đường cong từ trễ với độ từ dư B_r là kháng từ H_c .



Hình 6.8 Đường cong từ hoá
a) Từ hoá lần đầu b) Chu trình từ trễ

Khi trong vật liệu sắt từ có ứng lực, kích thước mạng tinh thể thay đổi, các hướng dễ từ hoá thay đổi dẫn đến làm thay đổi định hướng của các domen. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng từ giảo nghịch.

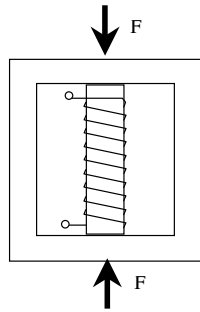
Trên hình 6.9 biểu diễn ảnh hưởng của ứng lực đến



6.3.2. Cảm biến từ thẩm biến thiên

Cấu tạo của cảm biến gồm một cuộn dây có lõi từ hợp với một khung sắt từ tạo thành một mạch từ kín (hình 6.10). Dưới tác dụng của lực F , lõi từ bị biến dạng kéo theo sự thay đổi độ từ thẩm μ , làm cho từ trở mạch từ thay đổi do đó độ tự cảm của cuộn dây cũng thay đổi. Sự thay đổi tương đối của L , R hoặc μ tỉ lệ với ứng lực σ , tức là với lực cân đo F :

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} = K \cdot \sigma$$



Hình 6.10 Cảm biến từ giảo có từ thẩm biến thiên

6.3.3. Cảm biến từ dư biến thiên

Phần tử cơ bản của cảm biến từ dư biến thiên là một lõi từ làm bằng Ni tinh khiết cao, có từ dư B_r . Dưới tác dụng của lực cân đo, thí dụ lực nén ($d\sigma < 0$), B_r tăng lên:

$$\frac{dB_r}{d\sigma} = -1,5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}}{\text{N} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Sự thay đổi của từ thông sẽ làm xuất hiện trong cuộn dây một suất điện động tỉ lệ với dB_r/dt . Biểu thức của điện áp hở mạch có dạng:

$$V_m = K \frac{dB_r}{dt} = K \frac{dB_r}{d\sigma} \frac{d\sigma}{dt}$$

Trong đó K là hệ số tỉ lệ với số vòng dây và tiết diện vòng dây.

6.4. Cảm biến đo lực dựa trên phép đo dịch chuyển

Trong cảm biến loại này, lực cần đo tác dụng lên vật trung gian và gây nên sự thay đổi kích thước Δl của nó. Sự thay đổi kích thước được đo bằng một cảm biến dịch chuyển. Khi đó tín hiệu ra V_m và lực tác dụng được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\frac{V_m}{F} = \frac{V_m}{\Delta l} \frac{\Delta l}{F}$$

Trong đó:

- $V_m/\Delta l$ gọi là tỉ số truyền đạt của cảm biến.
- $\Delta l/F$ gọi là độ mềm của vật trung gian.

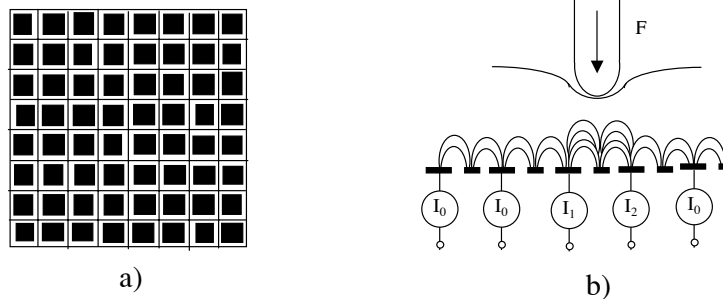
Vật trung gian là vòng đo lực, các dầm dạng console hoặc lò xo.

Tùy theo điều kiện sử dụng có thể sử dụng nhiều loại cảm biến dịch chuyển khác nhau như:

- Điện thế kế điện trở.
- Cảm biến từ trở biến thiên.
- Cảm biến tụ điện.

6.5. Cảm biến xúc giác

Phân chính của cảm biến là một đế cách điện trên đó có một lưới dẫn điện (hình 6.11a) được đặt dưới điện áp V . Lưới điện gồm hai hệ thống dây dẫn (X_1, X_2, \dots) và (Y_1, Y_2, \dots) vuông góc với nhau tạo thành những ô vuông nhỏ, mỗi ô vuông nhỏ đều có một điện cực được cách điện với dây dẫn của lưới bao quanh nó, các điện cực này nối với đất thông qua mạch đo dòng. Mặt trên của hệ thống được phủ cao su có pha các hạt dẫn điện. Khi có lực nén tác dụng lên một phần nào đó của tấm cao su, khoảng cách giữa các hạt dẫn điện ở phần đó ngắn lại, điện trở giảm xuống, dòng điện tăng lên (hình 6.11b). Toạ độ của vùng có dòng điện tăng lên sẽ xác định vị trí của lực tác dụng và giá trị của nó xác định giá trị của lực.



Hình 6.11 Cảm biến xúc tác
a) Hệ thống cực đo b) Tác dụng của lực lên điện cực

Chương VII

CẢM BIẾN VẬN TỐC, GIA TỐC VÀ RUNG

7.1. Cảm biến đo vận tốc

7.1.1. Nguyên lý đo vận tốc

Trong công nghiệp, phần lớn trường hợp đo vận tốc là đo tốc độ quay của máy. Độ an toàn cũng như chế độ làm việc của máy phụ thuộc rất lớn vào tốc độ quay. Trong trường hợp chuyển động thẳng, việc đo vận tốc dài cũng thường được chuyển về đo tốc độ quay. Bởi vậy, các cảm biến đo vận tốc góc đóng vai trò quan trọng trong việc đo vận tốc.

Để đo vận tốc góc thường ứng dụng các phương pháp sau đây:

- Sử dụng tốc độ kế vòng kiểu điện từ: nguyên lý hoạt động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Cảm biến gồm có hai phần: phần cảm (nguồn từ thông) và phần ứng (phần có từ thông đi qua). Khi có chuyển động tương đối giữa phần cảm và phần ứng, từ thông đi qua phần ứng biến thiên, trong nó xuất hiện suất điện động cảm ứng xác định theo công thức:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Thông thường từ thông qua phần ứng có dạng:

$$\Phi(x) = \Phi_0 F(x)$$

Trong đó x là biến số của vị trí thay đổi theo vị trí góc quay hoặc theo đường thẳng, khi đó suất điện động e xuất hiện trong phần ứng có dạng:

$$e = -\Phi_0 \frac{dF(x)}{dx} \frac{dx}{dt}$$

Suất điện động này tỉ lệ với vận tốc cần đo.

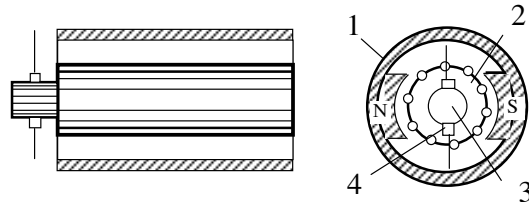
- Sử dụng tốc độ kế vòng loại xung: làm việc theo nguyên tắc đo tần số chuyển động của phần tử chuyển động tuần hoàn, ví dụ chuyển động quay. Cảm biến loại này thường có một đĩa được mã hoá gắn với trục quay, chẳng hạn gồm các phần trong suốt xen kẽ các phần không trong suốt. Cho chùm sáng chiếu qua đĩa đến một đầu thu quang, xung điện lấy từ đầu thu quang có tần số tỉ lệ với vận tốc quay cần đo.

7.1.2. Tốc độ kế điện từ

a) Tốc độ kế điện từ đo vận tốc góc

- Tốc độ kế dòng một chiều:

Sơ đồ cấu tạo của một tốc độ kế dòng một chiều biểu diễn trên hình 7.1.



Hình 7.1 Sơ đồ cấu tạo của máy phát dòng một chiều
1) Stato 2) Rôto 3) Cổ góp 4) Chổi quét

Stato (phần cảm) là một nam châm điện hoặc nam châm vĩnh cửu, roto (phần ứng) là một trục sắt gồm nhiều lớp ghép lại, trên mặt ngoài roto xẻ các rãnh song song với trục quay và cách đều nhau. Trong các rãnh đặt các dây dẫn bằng đồng gọi là dây chính, các dây chính được nối với nhau từng đôi một bằng các dây phụ. Cổ góp là một hình trụ trên mặt có gắn các lá đồng cách điện với nhau, mỗi lá nối với một dây chính của roto. Hai chổi quét ép sát vào cổ góp được bố trí sao cho tại một thời điểm chúng luôn tiếp xúc với hai lá đồng đối diện nhau.

Khi rô to quay, suất điện động xuất hiện trong một dây dẫn xác định theo biểu thức:

$$e_i = -\frac{d\phi_i}{dt}$$

Trong đó $d\phi_i$ là từ thông mà dây dẫn cắt qua trong thời gian dt :

$$d\phi_i = d\vec{S}_c \cdot d\vec{B}_i = dS_c B_{iN}$$

dS_c là tiết diện bị cắt trong khoảng thời gian dt :

$$dS_c = lvdt = l\omega r dt$$

Trong đó:

l - chiều dài dây dẫn.

v - vận tốc dài của dây.

ω - vận tốc góc của dây.

r - bán kính quay của dây.

Biểu thức của suất điện động xuất hiện trong một dây:

$$e_i = -\omega r l B_{iN}$$

Suất điện động ứng với một nửa số dây ở bên phải đường trung tính:

$$E_p = -\frac{\omega}{2\pi} N\phi_0 = -nN\phi_0$$

N - tổng số dây chính trên roto.

n - số vòng quay trong một giây.

ϕ_0 - là từ thông xuất phát từ cực nam châm.

Tương tự tính được suất điện động ứng với một nửa số dây ở bên trái:

$$E_t = nN\phi_0$$

(7.1)

Nguyên tắc nối dây là nối thành hai cụm, trong mỗi cụm các dây mắc nối tiếp với nhau, còn hai cụm thì mắc ngược pha nhau.

b) Tốc độ kế dòng xoay chiều

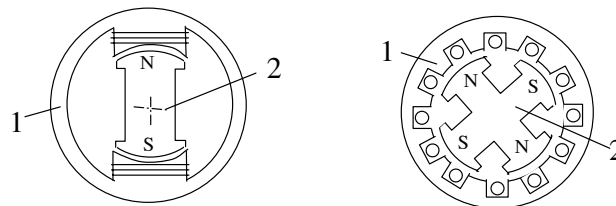
- Máy phát đồng bộ:

Sơ đồ cấu tạo của một tốc độ kế dòng xoay chiều kiểu máy phát đồng bộ biểu diễn trên hình 7.2.

Thực chất đây là một máy phát điện xoay chiều nhỏ. Roto (phần cảm) của máy phát là một nam châm hoặc tổ hợp của nhiều nam châm nhỏ. Phần ứng gồm các cuộn dây bố trí cách đều trên mặt trong của stato là nơi cung cấp suất điện động cảm ứng hình sin có biên độ tỉ lệ với tốc độ quay của roto.

$$e = E \sin \Omega t \quad (7.2)$$

Trong đó $E = K_1 \omega$, $\Omega = K_2 \omega$, K_1 và K_2 là các thông số đặc trưng cho máy phát.



Hình 7.2 Sơ đồ cấu tạo của máy phát đồng bộ
1) Stato 2) Rôto

Giá trị của ω có thể tính được theo E hoặc Ω .

- Xác định ω từ biên độ suất điện động:

Cuộn cảm ứng có trở kháng trong:

$$Z_i = R_i + jL_i\Omega$$

Trong đó R_i , L_i là điện trở và tự cảm của cuộn dây. Điện áp ở hai đầu cuộn ứng với tải R có giá trị:

$$U = \frac{RE}{\sqrt{(R + R_i)^2 + (L_i \Omega)^2}} = \frac{RK_1 \omega}{\sqrt{(R + R_i)^2 + (K_2 L_i \omega)^2}} \quad (7.3)$$

Từ biểu thức (7.3), ta thấy điện áp U không phải là hàm tuyến tính của tốc độ quay ω . Điều kiện để sử dụng máy phát như một cảm biến vận tốc là $R \gg Z_i$ để sao cho có thể coi $U \approx E$.

Điện áp ở đầu ra được chỉnh lưu thành điện áp một chiều, điện áp này không phụ thuộc chiều quay và hiệu suất lọc giảm khi tần số thấp. Mặt khác, sự có mặt của bộ lọc làm tăng thời gian hồi đáp của cảm biến.

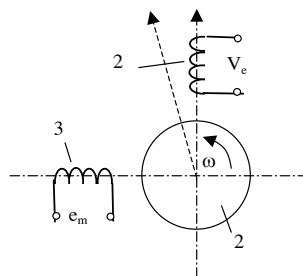
- *Xác định bằng cách đo tần số của suất điện động*: phương pháp này có ưu điểm là tín hiệu có thể truyền đi xa mà sự suy giảm tín hiệu không ảnh hưởng tới độ chính xác của phép đo.

- Máy phát không đồng bộ:

Cấu tạo của máy phát không đồng bộ tương tự như động cơ không đồng bộ hai pha (hình 7.3).

Roto là một đĩa hình trụ kim loại mỏng và dẹt từ quay cùng tốc độ với trục cần đo, khối lượng và quán tính của nó không đáng kể.

Stator làm bằng thép từ tính, trên đó bố trí hai cuộn dây, một cuộn là cuộn kích thích được cung cấp điện áp V_c có biên độ V_c và tần số ω_c ổn định $V_c = V_c \cos \omega_c t$.



Hình 7.3 Sơ đồ cấu tạo máy phát không đồng bộ
1) Cuộn kích 2) Rôto 3) Cuộn đo

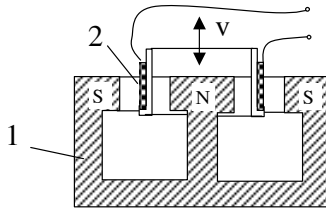
Cuộn dây thứ hai là cuộn dây đo. Giữa hai đầu ra của cuộn này xuất hiện một suất điện động e_m có biên độ tỉ lệ với tốc độ góc cần đo:

$$e_m = E_m \cos(\omega_e t + \varphi) = k\omega V_c \cos(\omega_e t + \varphi)$$

Trong đó k là hằng số phụ thuộc vào kết cấu của máy, φ là độ lệch pha.

c) Tốc độ kế điện từ đo vận tốc dài

Sơ đồ cảm biến có cuộn dây di động biểu diễn trên hình 7.4.



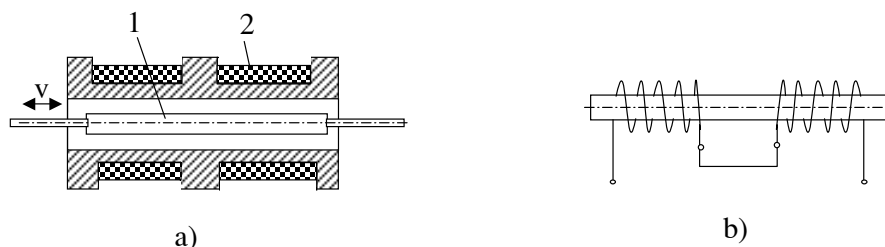
Suất điện động xuất hiện trong cuộn dây có dạng:

$$e = 2\pi rNBv = 1Bv$$

l - tổng chiều dài của dây.

Khi độ dịch chuyển lớn hơn (tới 0,5 m) người ta dùng tốc độ kế có nam châm di động (hình 7.5).

Cảm biến gồm một nam châm di chuyển dọc trục của hai cuộn dây quấn ngược chiều nhau và mắc nối tiếp. Khi nam châm di chuyển, suất điện động xuất hiện trong từng cuộn dây tỉ lệ với tốc độ của nam châm nhưng ngược chiều nhau. Hai cuộn dây được mắc nối tiếp và quấn ngược chiều nên nhận được suất điện động ở đầu ra khác không.



IF $1.75 G^2 = 1.5 \times 10^{11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ then

7.1.3. Tốc độ kế xung

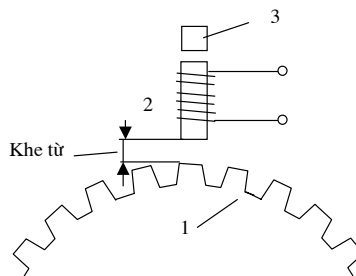
Tốc độ kế xung thường có cấu tạo đơn giản, chắc chắn, chịu đựng tốt trong môi trường độc hại, khả năng chống nhiễu và chống suy giảm tín hiệu cao, dễ biến đổi tín hiệu sang dạng số.

Tuỳ thuộc vào bản chất của vật quay và dấu hiệu mã hoá trên vật quay, người ta sử dụng loại cảm biến thích hợp.

- Cảm biến từ trở biến thiên: sử dụng khi vật quay là sắt từ.
- Cảm biến từ điện trở: sử dụng khi vật quay là một hay nhiều nam châm nhỏ.
- Cảm biến quang cùng với nguồn sáng: sử dụng khi trên vật quay có các lỗ, đường vát, mặt phản xạ.

a) Tốc độ kế từ trở biến thiên

Cấu tạo của cảm biến từ trở biến thiên gồm một cuộn dây có lõi sắt từ chịu tác động của một nam châm vĩnh cửu đặt đối diện với một đĩa quay làm bằng vật liệu sắt từ trên đó có khía răng. Khi đĩa quay, từ trở của mạch từ biến thiên một cách tuần hoàn làm cho từ thông qua cuộn dây biến thiên, trong cuộn dây xuất hiện một suất điện động cảm ứng có tần số tỉ lệ với tốc độ quay.



Hình 7.6 Sơ đồ cấu tạo của cảm biến từ trở biến thiên
1) Đĩa quay (bánh răng) 2) Cuộn dây 3) Nam châm vĩnh cửu

Tần số của suất điện động trong cuộn dây xác định bởi biểu thức:

$$f = pn$$

p - số lượng răng trên đĩa.

n - số vòng quay của đĩa trong một giây.

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

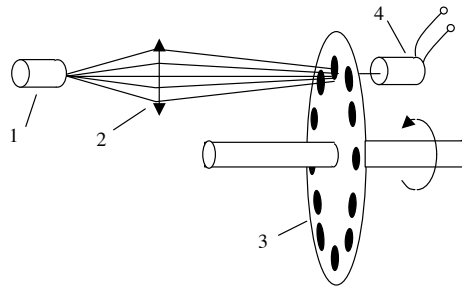
- Khoảng cách giữa cuộn dây và đĩa quay: khoảng cách càng lớn E càng nhỏ.
- Tốc độ quay: Tốc độ quay càng lớn, E càng lớn. Khi tốc độ quay nhỏ, biên độ E rất bé và khó phát hiện, do vậy tồn tại một vùng tốc độ quay không thể đo được, người ta gọi vùng này là vùng chết.

Dải đo của cảm biến phụ thuộc vào số răng của đĩa. Khi p lớn, tốc độ n_{\min} đo được có giá trị bé. Khi p nhỏ, tốc độ n_{\max} đo được sẽ lớn. Thí dụ với $p = 60$ răng, dải tốc độ đo được $n = 50 - 500$ vòng/phút, còn với $p = 15$ răng dải tốc độ đo được $500 - 10.000$ vòng/phút.

b) Tốc độ kế quang

Hình 7.7 trình bày sơ đồ nguyên lý của một tốc độ kế quang đo tốc độ quay.

Nguồn sáng phát tia hồng ngoại là một diot phát quang (LED). Đĩa quay, đặt giữa nguồn sáng và đầu thu, có các lỗ bố trí cách đều trên một vòng tròn. Đầu thu là một photodiode hoặc phototranzitor. Khi đĩa quay, đầu thu chỉ chuyển mạch khi nguồn sáng, lỗ, nguồn phát sáng thẳng hàng. Kết quả là khi đĩa quay, đầu thu quang nhận được một thông lượng ánh sáng biến điệu và phát tín hiệu có tần số tỉ lệ với tốc độ quay nhưng biên độ không phụ thuộc tốc độ quay.



Hình 7.7 Sơ đồ nguyên lý của tốc độ kế quang
1) Nguồn sáng 2) Thấu kính hội tụ 3) Đĩa quay 4) Đầu thu quang

Trong các cảm biến quang đo tốc độ, người ta cũng có thể dùng đĩa quay có các vùng phản xạ ánh sáng bố trí tuần hoàn trên một vòng tròn để phản xạ ánh sáng tới đầu thu quang.

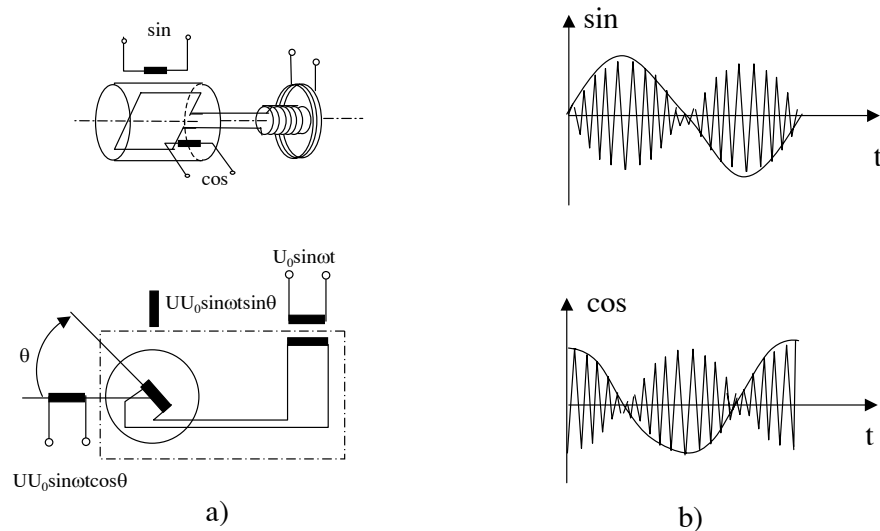
Phạm vi tốc độ đo được phụ thuộc vào hai yếu tố chính:

- Số lượng lỗ trên đĩa.
- Dải thông của đầu thu quang và của mạch điện tử.

Để đo tốc độ nhỏ ($\sim 0,1$ vòng/phút) phải dùng đĩa có số lượng lỗ lớn (500 - 1.000 lỗ). Trong trường hợp đo tốc độ lớn ($\sim 10^5 - 10^6$ vòng/phút) phải sử dụng đĩa quay chỉ một lỗ, khi đó tần số ngắt của mạch điện xác định tốc độ cực đại có thể đo được.

7.1.4. Máy đo góc tuyệt đối

Máy đo góc tuyệt đối gồm hai phần: phần động gắn liền với trục quay chứa cuộn sơ cấp được kích thích bằng sóng mang có tần số 2 - 10 kHz qua máy biến áp quay (hình 7.8a). Phần tĩnh có hai dây quấn thứ cấp (cuộn sin và cuộn cos) đặt lệch nhau 90° .



Hình 7.8 Sơ đồ nguyên lý máy đo góc tuyệt đối

Khi trục quay, ở đầu ra của hai dây quấn thứ cấp ta thu được hai tín hiệu điều biến $UU_0 \sin \omega t \sin \theta$ và $UU_0 \sin \omega t \cos \theta$ (hình 7.8b). Đường bao của biên độ kênh tín hiệu ra chứa thông tin về vị trí tuyệt đối (góc θ) của roto máy đo tức là vị trí tuyệt đối của trục quay.

Có hai cách xử lý thông tin thu được. Cách thứ nhất là hiệu chỉnh sai góc thu được được trên cơ sở so sánh góc với một số vi mạch sẵn có. Các vi mạch này cho tín hiệu góc dạng số với độ phân giải 10 - 16 bit/vòng và một tốc độ quay dạng tương tự. Độ phân giải của phương pháp này phụ thuộc vào thông số của mạch điều chỉnh.

Cách thứ hai, có chất lượng cao hơn, là dùng hai bộ chuyển đổi tương tự - số để lấy mẫu trực tiếp từ đỉnh tín hiệu điều chế. Trong trường hợp này cần đồng bộ chặt chẽ giữa thời điểm lấy mẫu và khâu tạo tín hiệu kích thích 2 - 10 kHz sau đó dùng bộ lọc để chuyển xung hình chữ nhật thành tín hiệu kích thích hình sin.

Độ phân giải của phép đo dùng máy đo góc tuyệt đối hoàn toàn phụ thuộc vào độ phân giải của bộ chuyển đổi tương tự số.

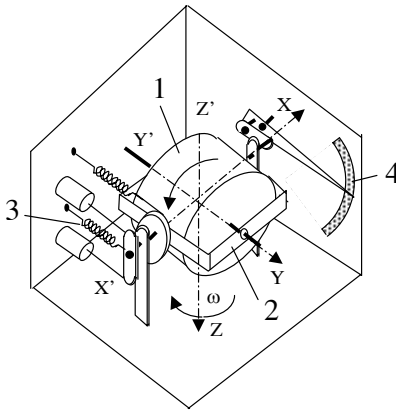
Khi biết góc quay tuyệt đối θ , lấy đạo hàm ta nhận được tốc độ góc ω cần đo.

7.1.5. Đổi hướng kế

Đổi hướng kế được gắn vào vật chuyển động để đo tốc độ góc của vật. Hai dạng đổi hướng kế thường dùng là: đổi hướng kế cơ học dùng con quay hồi chuyển, đổi hướng kế quang dùng laze và cáp quang dựa trên hiện tượng truyền sóng ánh sáng.

a) Đổi hướng kế dùng con quay hồi chuyển

Con quay hồi chuyển gồm một roto lắp trên một khung động và được quay quanh trục $Y'Y$ với tốc độ lớn ($\sim 10^4$ vòng/phút) nhờ một động cơ.



Hình 7.9 Sơ đồ nguyên lý đổi hướng kế dùng con quay hồi chuyển

1) Con quay hồi chuyển 2) Khung động 3) Lò xo 4) Điện thế kế

Tốc độ quay ω cần đo theo trục $Z'Z$ vuông góc với trục $Y'Y$ làm xuất hiện một ngẫu lực C_g tỉ lệ với ω theo hướng $X'X$ vuông góc với hai trục $Y'Y$ và $Z'Z$ có xu hướng làm cho khung động của con quay hồi chuyển quay theo. Ngẫu lực C_g được cân bằng bởi ngẫu lực đàn hồi C_r của hai lò xo gây nên có giá trị tỉ lệ với góc quay α của khung.

Ở trạng thái cân bằng:

$$C_g = C_r$$

(7.4).

với $C_r = k\alpha$ (k là hệ số đàn hồi của lò xo) và $C_g = \omega H$ (H là mômen động học của rôto). Thay các giá trị vào công thức (7.4) ta có công thức xác định góc α :

$$\alpha = \omega \frac{H}{k}$$

(7.5)

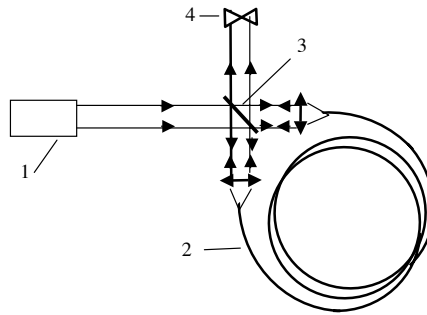
Góc quay α của khung động của con quay hồi chuyển tỉ lệ với vận tốc góc ω cần đo. Để tiện cho xử lý, góc quay α được chuyển đổi thành tín hiệu điện nhờ một điện thế kế.

Các thông số của máy đo như sau:

- Dải đo từ $\pm 7^\circ/\text{s}$ đến $\pm 360^\circ/\text{s}$.
- Sai lệch khỏi độ tuyến tính $< \pm 1,5\%$ của dải đo.

b) Đổi hướng kế quang

Đổi hướng kế quang gồm nguồn phát chùm tia laze (1), cuộn dây sợi quang (2) có chiều dài L quấn thành vòng bán kính R quay với cùng vận tốc góc ω với vật quay.



Hình 7.10 Sơ đồ nguyên lý đổi hướng kế quang dùng laze và cáp quang
1) Nguồn phát laze 2) Cáp quang 3) Bản phân tách 4) Đầu thu

Chùm tia xuất phát từ nguồn phát (1) qua bản phân tách (3) tạo thành hai chùm tia truyền theo hai hướng ngược nhau trong sợi cáp quang. Khi ra khỏi cáp, do quãng đường truyền sóng khác nhau, hai tia lệch pha nhau, độ lệch pha giữa hai chùm tia bằng:

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi RL\omega}{\lambda c}$$

(7.6)

λ - bước sóng tia laze.

c - vận tốc ánh sáng.

Trên đầu thu (4) ta thu được hệ vân giao thoa của hai chùm tia. Bằng cách đếm số vân giao thoa ΔZ bị dịch chuyển do cáp quang quay, ta có thể tính được tốc độ quay theo công thức:

$$\Delta Z = \frac{2LR\omega}{\lambda c} \quad (7.7)$$

7.2. Cảm biến rung và gia tốc

7.2.1. Khái niệm cơ bản

a) Dải gia tốc và phương pháp đo gia tốc

Theo nguyên lý cơ bản của cơ học, gia tốc là đại lượng vật lý thể hiện mối quan hệ giữa lực và khối lượng. Phép đo gia tốc có thể thực hiện qua việc đo lực (cảm biến áp điện, cảm biến cân bằng ngẫu lực) hoặc đo gián tiếp thông qua sự biến dạng hay di chuyển của vật trung gian.

Tùy theo mức gia tốc và dải tần của hiện tượng khảo sát người ta phân biệt các dải gia tốc sau:

- Đo gia tốc chuyển động của một khối lượng nào đó, trong đó chuyển động của trọng tâm luôn giữ ở tần số tương đối thấp (từ 0 đến vài chục Hz), giá trị của gia tốc nhỏ. Các cảm biến thường dùng là các cảm biến gia tốc đo dịch chuyển và cảm biến gia tốc đo biến dạng.
- Đo gia tốc rung của các cấu trúc cứng hoặc cấu trúc có khối lượng lớn, tần số rung đạt tới hàng trăm Hz. Cảm biến gia tốc thường dùng là cảm biến từ trở biến thiên, đầu đo biến dạng kim loại hoặc áp điện trở.
- Đo gia tốc rung mức trung bình và dải tần tương đối cao (~10kHz), thường gặp khi vật có khối lượng nhỏ. Cảm biến gia tốc sử dụng là loại áp trở hoặc áp điện.
- Đo gia tốc khi va đập, thay đổi gia tốc có dạng xung. Cảm biến gia tốc sử dụng là các loại có dải thông rộng về cả hai phía tần số thấp và tần số cao.

Cảm biến đo gia tốc là cảm biến chuyển động không cần có điểm mốc, chúng khác với các cảm biến dịch chuyển bởi vì khi đo dịch chuyển của một vật người ta phải đo chuyển động tương đối của vật đó so với một vật khác cố định lấy làm mốc.

b) Chuyển động rung và phương pháp đo

Đo độ rung trong công nghiệp có tầm quan trọng đặc biệt vì các lý do:

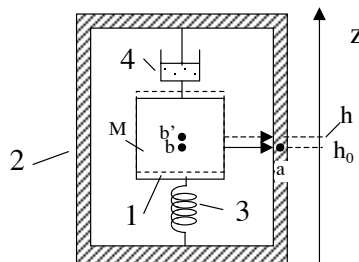
- Nhằm khống chế biên độ rung để tránh gây tiến ồn có hại cho sức khỏe.
- Hạn chế mức rung ở giới hạn cho phép để đảm bảo độ an toàn cho công trình.

- Rung động liên quan đến trạng thái mài mòn và bền mỏi của chi tiết cơ khí trong máy móc. Đo độ rung giúp cho người quản lý nắm được tình trạng mòn của chi tiết từ đó có kế hoạch bảo dưỡng, sửa chữa kịp thời.

Độ rung được đặc trưng bởi độ dịch chuyển, tốc độ hoặc gia tốc ở các điểm trên vật rung. Bởi vậy khi đo rung động người ta đo một trong những đặc trưng trên.

Cảm biến rung có thể là cảm biến dịch chuyển, cảm biến tốc độ hoặc cảm biến gia tốc nhưng có thể mô tả nguyên lý hoạt động của chúng bằng mô hình hệ cơ học có một bậc tự do như trình bày ở hình 7.11.

Cảm biến gồm một phần tử nhạy cảm (lò xo, tinh thể áp điện...) nối với một khối lượng rung và được đặt chung trong một vỏ hộp. Chuyển động rung của khối lượng M tác động lên phần tử nhạy cảm của cảm biến và được chuyển thành tín hiệu điện ở đầu ra.



Hình 7.11 Sơ đồ nguyên lý cảm biến đo gia tốc và rung
1) Khối rung 2) Vỏ hộp 3) Phần tử nhạy cảm 4) Giảm chấn

Gọi h_0 là tung độ của điểm a của vỏ hộp, h là tung độ điểm b của khối lượng rung. Khi không có gia tốc tác động lên vỏ hộp tung độ của a và b bằng nhau.

Dịch chuyển tương đối của khối lượng M so với vỏ hộp xác định bởi biểu thức:

$$z = h - h_0$$

(7.8)

Khi đó phương trình cân bằng lực có dạng:

$$M \frac{d^2 h}{dt^2} = -F \frac{dz}{dt} - Cz$$

Cz - phản lực của lò xo.

$F \frac{dz}{dt}$ - lực ma sát nhớt.

$M \frac{d^2 h}{dt^2}$ - lực do gia tốc của khối M gây nên.

Hay:

$$-M \frac{d^2 h_0}{dt^2} = M \frac{d^2 z}{dt^2} + F \frac{dz}{dt} + Cz \quad (7.9)$$

Từ công thức (7.9), ta nhận thấy cấu tạo của cảm biến để đo đại lượng sơ cấp m_1 (độ dịch chuyển h_0 , vận tốc dh_0/dt hoặc gia tốc d^2h_0/dt^2) phụ thuộc vào đại lượng được chọn để làm đại lượng đo thứ cấp m_2 (z , dz/dt hoặc d^2z/dt^2) và dải tần số làm việc. Dải tần số làm việc quyết định số hạng nào trong vế phải phương trình chiếm ưu thế (Cz , Fdz/dt hoặc Md^2z/dt^2).

Trên thực tế cảm biến thứ cấp thường sử dụng là:

- Cảm biến đo vị trí tương đối của khối lượng rung M so với vỏ hộp.
- Cảm biến đo lực hoặc cảm biến đo biến dạng.
- Cảm biến đo tốc độ tương đối.

Dùng toán tử laplace (p) có thể mô tả hoạt động của cảm biến rung bằng biểu thức sau:

$$-Mp^2 h_0 = Mp^2 z + Fpz + Cz$$

Hoặc:

$$\frac{z}{h_0} = \frac{-p_2 \omega_0^2}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + 2\xi \frac{p}{\omega_0} + 1}$$

Với:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{M}} = 2\pi f_0 \text{ là tần số riêng của } M \text{ trên lò xo có độ cứng } C.$$

$$\xi = \frac{F}{2\sqrt{CM}} \text{ là hệ số tắt dần.}$$

Độ nhạy của cảm biến có thể tính bằng tỉ số giữa đại lượng điện đầu ra s và đại lượng đo sơ cấp m_1 .

$$S = \frac{s}{m_1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{s}{m_2} = S_1 \cdot S_2$$

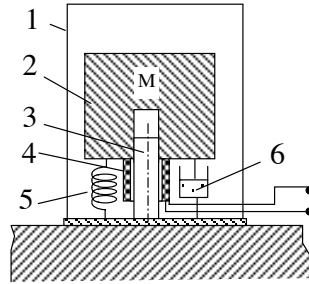
Trong đó:

$$S_1 = \frac{m_2}{m_1} \text{ là độ nhạy cơ của đại lượng đo sơ cấp.}$$

$$S_2 = \frac{s}{m_2} \text{ là độ nhạy của cảm biến thứ cấp.}$$

7.2.2. Cảm biến đo tốc độ rung

Sơ đồ cảm biến đo tốc độ rung trình bày trên hình 7.12.



Hình 7.12 Sơ đồ nguyên lý cảm biến đo vận tốc rung
1) Vỏ hộp 2) Khối rung 3) Lõi nam châm 4) Cuộn dây 5) Lò xo 6) Giảm chấn

Trong cảm biến loại này, đại lượng đo sơ cấp m_1 là tốc độ rung dh_0/dt , đại lượng đo thứ cấp m_2 là dịch chuyển tương đối z . Độ nhạy sơ cấp S_1 xác định bởi biểu thức:

$$S_1 = \frac{m_2}{m_1} = \frac{z}{ph_0} = \frac{-p/\omega_0^2}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + 2\xi \frac{p}{\omega_0} + 1}$$

Để tiện lợi trong sử dụng, người ta cũng sử dụng đại lượng đo thứ cấp m_2 là tốc độ dịch chuyển tương đối dz/dt .

Việc chuyển đổi tốc độ tương đối của khối lượng rung so với vỏ hộp thành tín hiệu điện thực hiện bởi một cảm biến vị trí tương đối kiểu điện từ gồm một cuộn dây và một lõi nam châm. Cuộn dây gắn với khối lượng rung, lõi nam châm đặt bên trong cuộn dây và gắn với vỏ cảm biến. Bằng cách đo suất điện động của cuộn dây có thể đánh giá được tốc độ rung cần đo.

Một điều cần quan tâm khi sử dụng cảm biến loại này đó là phản ứng của cảm biến thứ cấp đối với chuyển động của khối lượng rung thể hiện thông qua phản lực $f = B.l.i$ tác động lên cuộn dây khi cuộn dây chuyển động trong từ trường cảm ứng B . Giả thiết bỏ qua trở kháng của cuộn dây $L\omega$, khi đó phản lực f tỉ lệ với tốc độ tương đối:

$$f = (Bl)^2 \frac{1}{R} \frac{dz}{dt}$$

Lực này chống lại chuyển động của khối lượng rung, làm thay đổi hệ số tắt dần của chuyển động.

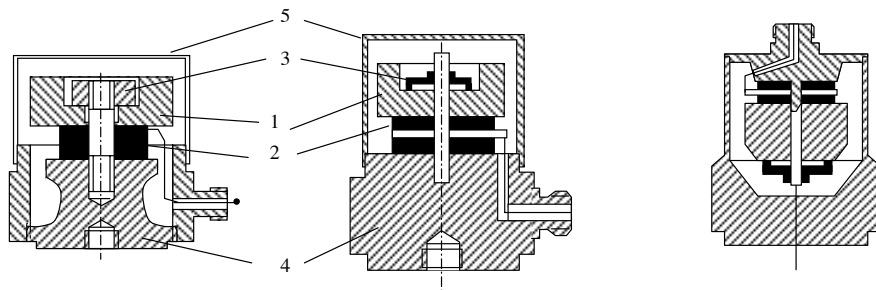
7.2.3. Gia tốc kế áp điện

a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Cấu tạo chung của gia tốc kế áp điện gồm một khối lượng rung M và một phần tử áp điện đặt trên giá đỡ cứng, và toàn bộ được đặt trong một vỏ hộp kín.

Thông thường cần phải đo gia tốc theo hai hướng dọc theo trục nhạy cảm. Tùy thuộc vào bản chất lực tác dụng (nén, kéo hoặc cắt) trong bộ cảm biến phải có bộ phận cơ khí tạo ứng lực cơ học đặt trước lên phần tử áp điện để mở rộng dải đo gia tốc theo hai chiều.

Trên hình 7.13 trình bày sơ đồ cấu tạo của các gia tốc kế áp điện kiểu nén.

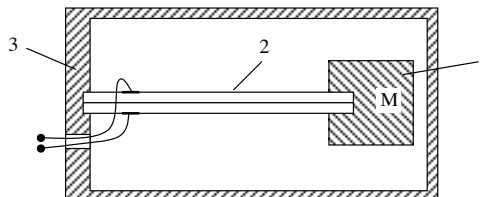


Hình 7.13 Sơ đồ cấu tạo gia tốc kế áp điện kiểu nén
1) Khối lượng rung 2) Phiến áp điện 3) Đai ốc 4) Đế 5) Vỏ hộp

Cảm biến loại này có tần số cộng hưởng cao, kết cấu chắc chắn, nhạy với ứng lực của đế.

Sơ đồ cấu tạo của gia tốc kế kiểu uốn cong trình bày trên hình 7.14.

Phần tử áp điện của cảm biến gồm hai phiến áp điện mỏng dán với nhau, một đầu gắn cố định lên vỏ hộp cảm biến, một đầu gắn với khối lượng rung. Cảm biến loại này cho độ nhạy rất cao nhưng tần số và gia tốc rung đo được bị hạn chế.



Hình 7.14 Sơ đồ cấu tạo gia tốc kế áp điện kiểu uốn cong
1) Khối lượng rung 2) Phiến áp điện 3) Vỏ hộp

b) Đặc trưng của cảm biến

Độ nhạy được biểu diễn bởi biểu thức:

$$S = \frac{Q}{a} = S_1 S_2$$

Trong đó:

a - gia tốc của cảm biến.

Q - điện tích được tạo ra khi cảm biến rung với gia tốc a .

S_1 - độ nhạy cơ của hệ thống khối lượng rung.

S_2 - độ nhạy điện của cảm biến.

Giá trị của S_1 và S_2 xác định như sau:

$$|S_1| = \left| \frac{z}{a} \right| = \frac{1}{\omega_0^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

$$|S_2| = \left| \frac{Q}{z} \right| = dC \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

Trong đó:

d - hằng số điện môi.

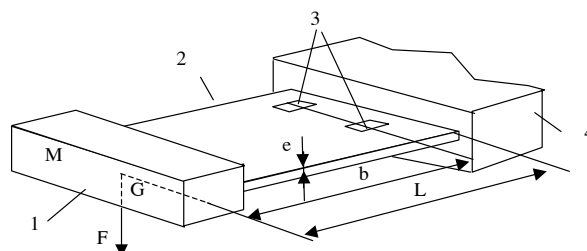
c - độ cứng của phần tử nhạy cảm.

$\omega = \frac{1}{\tau}$ - tần số tắt dưới của hệ thống cảm biến - mạch đo.

7.2.4. Gia tốc kế áp trở

Cấu tạo chung của một gia tốc kế áp trở gồm một tấm mỏng đàn hồi một đầu gắn với giá đỡ, một đầu gắn với khối lượng rung, trên đó có gắn từ 2 đến 4 áp trở mắc trong một mạch cầu Wheatstone. Dưới tác dụng của gia tốc, tấm đàn hồi bị uốn cong, gây nên biến dạng trong đầu đo một cách trực tiếp hoặc gián tiếp qua bộ khuếch đại cơ.

Trên hình 7.15 giới thiệu sơ đồ nguyên lý của một cảm biến gia tốc áp trở.



Độ nhạy của cảm biến được biểu diễn bằng biểu thức:

$$S = S_1 S_2 = \frac{\varepsilon}{a} \cdot \frac{V_m}{\varepsilon}$$

- Độ nhạy điện của cầu Wheatstone S_1 : vì 4 đầu đo đều có cùng một biến dạng $|\varepsilon|$ nên điện áp ra V_m của đầu đo bằng:

$$V_m = e_s \frac{\Delta R}{R} = e_s K \varepsilon$$

Suy ra:

$$S_2 = K e_s$$

Trong đó:

e_s - điện áp nuôi cầu (10 - 15 V).

K - hệ số đầu đo áp trở.

R - điện trở một đầu đo.

- Độ nhạy cơ S_1 của hệ thống cơ khí xác định theo biểu thức:

$$S_1 = \frac{A}{\omega_0^2} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

Giá trị của A và ω_0 phụ thuộc vào kết cấu của hệ chịu uốn, ví dụ với cảm biến cho ở hình 7.15:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{Y l e^3}{4 L^3 M}}$$

$$A = 1,5 \frac{b e}{L^3}$$

Trong đó Y là môđun Young.

Chương VIII

CẢM BIẾN ĐO ÁP SUẤT CHẤT LƯU

8.1. Áp suất và nguyên lý đo áp suất

8.1.1. Áp suất và đơn vị đo

Áp suất là đại lượng có giá trị bằng tỉ số giữa lực tác dụng vuông góc lên một mặt với diện tích của nó:

$$p = \frac{dF}{ds}$$

(8.1)

Đối với các chất lỏng, khí hoặc hơi (gọi chung là chất lưu), áp suất là một thông số quan trọng xác định trạng thái nhiệt động học của chúng. Trong công nghiệp, việc đo áp suất chất lưu có ý nghĩa rất lớn trong việc đảm bảo an toàn cho thiết bị cũng như giúp cho việc kiểm tra và điều khiển hoạt động của máy móc thiết bị có sử dụng chất lưu.

Trong hệ đơn vị quốc tế (SI) đơn vị áp suất là pascal (Pa): 1 Pa là áp suất tạo bởi một lực có độ lớn bằng 1N phân bố đồng đều trên một diện tích $1m^2$ theo hướng pháp tuyến.

Đơn vị Pa tương đối nhỏ nên trong công nghiệp người ta còn dùng đơn vị áp suất là bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$) và một số đơn vị khác.

Bảng 8.1 trình bày các đơn vị đo áp suất và hệ số chuyển đổi giữa chúng.

Bảng 8.1

Đơn vị áp suất	pascal (Pa)	bar (b)	kg/cm ²	atmosphe (atm)	mmH ₂ O	mmHg	mbar
1Pascal	1	10^{-5}	$1,02.10^{-5}$	$0,987.10^{-5}$	$1,02.10^{-1}$	$0,75.10^{-2}$	10^{-2}
1 bar	10^5	1	1,02	0,987	$1,02.10^4$	750	10^3
1 kg/cm ²	$9,8.10^4$	0,980	1	0,986	10^4	735	$9,80.10^2$
1 atm	$1,013.10^5$	1,013	1,033	1	$1,033.10^4$	760	$1,013.10^3$
1mmH ₂ O	9,8	$9,8.10^{-5}$	10^{-3}	$0,968.10^{-4}$	1	0,0735	0,098
1mmHg	133,3	$13,33.10^{-4}$	$1,36.10^{-3}$	$1,315.10^{-3}$	136	1	1,33
1mbar	100	10^{-3}	$1,02.10^{-3}$	$0,987.10^{-3}$	1,02	0,750	1

8.1.2. Nguyên lý đo áp suất

Đối với chất lưu không chuyển động, áp suất chất lưu là áp suất tĩnh (p_t):

$$p = p_t \quad (8.2)$$

Do vậy đo áp suất chất lưu thực chất là xác định lực tác dụng lên một diện tích thành bình. Đối với chất lưu không chuyển động chứa trong một ống hở đặt thẳng đứng, áp suất tĩnh tại một điểm M cách bề mặt tự do một khoảng (h) xác định theo công thức sau:

$$p = p_0 + \rho gh \quad (8.3)$$

Trong đó:

p_0 - áp suất khí quyển.

ρ - khối lượng riêng chất lưu.

g - gia tốc trọng trường.

Để đo áp suất tĩnh có thể tiến hành bằng các phương pháp sau:

- Đo áp suất chất lưu lấy qua một lỗ được khoan trên thành bình nhờ cảm biến thích hợp.
- Đo trực tiếp biến dạng của thành bình do áp suất gây nên.

Trong cách đo thứ nhất, phải sử dụng một cảm biến đặt sát thành bình. Trong trường hợp này, áp suất cần đo được cân bằng với áp suất thủy tĩnh do cột chất lỏng mẫu tạo nên hoặc tác động lên một vật trung gian có phân tử nhạy cảm với lực do áp suất gây ra. Khi sử dụng vật trung gian để đo áp suất, cảm biến thường trang bị thêm bộ phận chuyển đổi điện. Để sai số đo nhỏ, thể tích chết của kênh dẫn và cảm biến phải không đáng kể so với thể tích tổng cộng của chất lưu cần đo áp suất.

Trong cách đo thứ hai, người ta gắn lên thành bình các cảm biến đo ứng suất để đo biến dạng của thành bình. Biến dạng này là hàm của áp suất.

Đối với chất lưu chuyển động, áp suất chất lưu (p) là tổng áp suất tĩnh (p_t) và áp suất động (p_d):

$$p = p_t + p_d \quad (8.4)$$

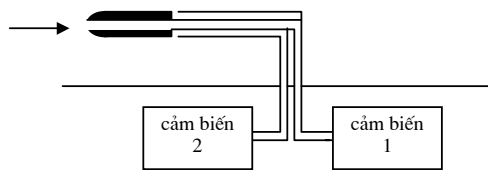
Áp suất tĩnh tương ứng với áp suất gây nên khi chất lỏng không chuyển động, được đo bằng một trong các phương pháp trình bày ở trên. Áp suất động do chất lưu chuyển động gây nên và có giá trị tỉ lệ với bình phương vận tốc chất lưu:

$$p_d = \frac{\rho v^2}{2}$$

(8.5)

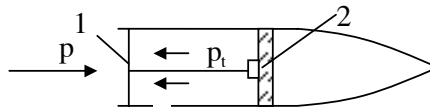
Trong đó ρ là khối lượng riêng chất lưu.

Khi dòng chảy va đập vuông góc với một mặt phẳng, áp suất động chuyển thành áp suất tĩnh, áp suất tác dụng lên mặt phẳng là áp suất tổng. Do vậy, áp suất động được đo thông qua đo chênh lệch giữa áp suất tổng và áp suất tĩnh. Thông thường việc đo hiệu ($p - p_t$) thực hiện nhờ hai cảm biến nối với hai đầu ra của một ống Pitot, trong đó cảm biến (1) đo áp suất tổng còn cảm biến (2) đo áp suất tĩnh.



Hình 8.1 Đo áp suất động bằng ống Pitot

Có thể đo áp suất động bằng cách đặt áp suất tổng lên mặt trước và áp suất tĩnh lên mặt sau của một màng đo (hình 8.2), như vậy tín hiệu đo cảm biến cung cấp chính là chênh lệch giữa áp suất tổng và áp suất tĩnh.



Hình 8.2 Đo áp suất động bằng màng
1) Màng đo 2) Phần tử áp điện

8.2. Áp kế vi sai dựa trên nguyên tắc cân bằng thủy tĩnh

Nguyên lý chung của phương pháp dựa trên nguyên tắc cân bằng áp suất chất lưu với áp suất thủy tĩnh của chất lỏng làm việc trong áp kế.

8.2.1. Áp kế vi sai kiểu phao

Áp kế vi sai kiểu phao gồm hai bình thông nhau, bình lớn có tiết diện F và bình nhỏ có tiết diện f (hình 8.3). Chất lỏng làm việc là thủy ngân hay dầu biến áp. Khi đo, áp suất lớn (p_1) được đưa vào bình lớn, áp suất bé (p_2) được đưa vào bình nhỏ. Để tránh chất lỏng làm việc phun ra ngoài khi cho áp suất tác động về một phía người ta mở van (4) và khi áp suất hai bên cân bằng van (4) được khoá lại.

Khi đạt sự cân bằng áp suất, ta có:

$$p_1 - p_2 = g(\rho_m - \rho)(h_1 + h_2)$$

Trong đó:

g - gia tốc trọng trường.

ρ_m - trọng lượng riêng của chất lỏng làm việc.

ρ - trọng lượng riêng của chất lỏng hoặc khí cần đo.

Mặt khác từ cân bằng thể tích ta có:

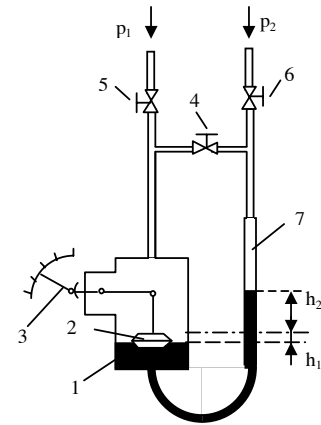
$$F.h_1 = f.h_2$$

Suy ra:

$$h_1 = \frac{1}{(1 + F/f)(\rho_m - \rho)g} \cdot (p_1 - p_2)$$

(8.6)

Khi mức chất lỏng trong bình lớn thay đổi (h_1 thay đổi), phao của áp kế dịch chuyển và qua cơ cấu liên kết làm quay kim chỉ thị trên đồng hồ đo. Biểu thức (8.6) là phương trình đặc tính tĩnh của áp kế vi sai



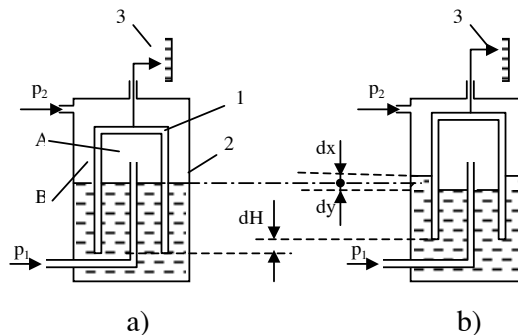
Hình 8.3. Áp kế vi sai kiểu phao

Áp kế vi sai kiểu phao dùng để đo áp suất tĩnh không lớn hơn 25MPa. Khi thay đổi tỉ số F/f (bằng cách thay ống nhỏ) ta có thể thay đổi được phạm vi đo.

Cấp chính xác của áp suất kế loại này cao (1; 1,5) nhưng chứa chất lỏng độc hại mà khi áp suất thay đổi đột ngột có thể ảnh hưởng đến đối tượng đo và môi trường.

8.2.2. Áp kế vi sai kiểu chuông

Cấu tạo của áp kế vi sai kiểu chuông gồm chuông (1) nhúng trong chất lỏng làm việc chứa trong bình (2).



Hình 8.4 Áp kế vi sai kiểu chuông
1) Chuông 2) Bình chứa 3) Chỉ thị

Khi áp suất trong buồng (A) và (B) bằng nhau thì nắp chuông (1) ở vị trí cân bằng (hình 8.4a), khi có biến thiên độ chênh áp $d(p_1 - p_2) > 0$ thì chuông được nâng lên (hình 8.4b). Khi đạt cân bằng ta có:

$$d(p_1 - p_2).F = (dH + dy)\Delta f.g(\rho_m - \rho) \quad (8.8)$$

Với:

$$dh = dx + dy$$

$$d(p_1 - p_2) = dh(\rho_m - \rho)g$$

$$f dy = \Delta f.dH + (\Phi - F)dx$$

Trong đó:

F - tiết diện ngoài của chuông.

dH - độ di chuyển của chuông.

dy - độ dịch chuyển của mức chất lỏng trong chuông.

dx - độ dịch chuyển của mức chất lỏng ngoài chuông.

Δf - diện tích tiết diện thành chuông.

Φ - diện tích tiết diện trong của bình lớn.

dh - chênh lệch mức chất lỏng ở ngoài và trong chuông.

f - diện tích tiết diện trong của chuông.

Giải các phương trình trên ta có:

$$dH = \frac{f}{\Delta f.g(\rho_m - \rho)} d(p_1 - p_2)$$

Lấy tích phân giới hạn từ 0 đến $(p_1 - p_2)$ nhận được phương trình đặc tính tĩnh của áp kế vi sai kiểu chuông:

$$H = \frac{f}{\Delta f.g(\rho_m - \rho)} (p_1 - p_2) \quad (8.9)$$

Áp kế vi sai có độ chính xác cao có thể đo được áp suất thấp và áp suất chân không.

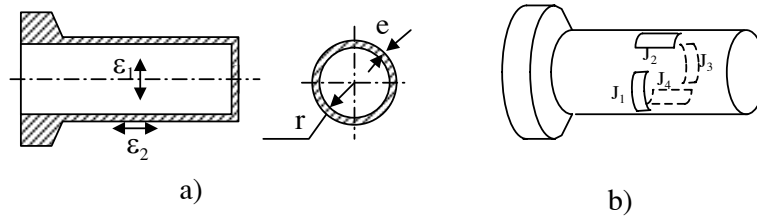
8.3. Cảm biến áp suất dựa trên phép đo biến dạng

Nguyên lý chung của cảm biến áp suất loại này dựa trên cơ sở sự biến dạng đàn hồi của phần tử nhạy cảm với tác dụng của áp suất. Các phần tử biến dạng thường dùng là ống trụ, lò xo ống, xi phong và màng mỏng.

8.3.1. Phần tử biến dạng

a) Ống trụ

Sơ đồ cấu tạo của phần tử biến dạng hình ống trụ trình bày trên hình 8.5. Ống có dạng hình trụ, thành mỏng, một đầu bịt kín, được chế tạo bằng kim loại.



Hình 8.5 Phần tử biến dạng kiểu ống hình trụ

a) Sơ đồ cấu tạo b) Vị trí gắn cảm biến

Đối với ống dài ($L \gg r$), khi áp suất chất lưu tác động lên thành ống làm cho ống biến dạng, biến dạng ngang (ϵ_1) và biến dạng dọc (ϵ_2) của ống xác định bởi biểu thức:

$$\epsilon_1 = \left(1 - \frac{\nu}{2}\right) \frac{p}{Y} \frac{r}{e} = k_1 p$$
$$\epsilon_2 = \left(\frac{1}{2} - \nu\right) \frac{p}{Y} \frac{r}{e} = k_2 p$$

Trong đó:

p - áp suất.

Y - mô đun Young.

ν - hệ số poisson.

r - bán kính trong của ống.

e - chiều dày thành ống.

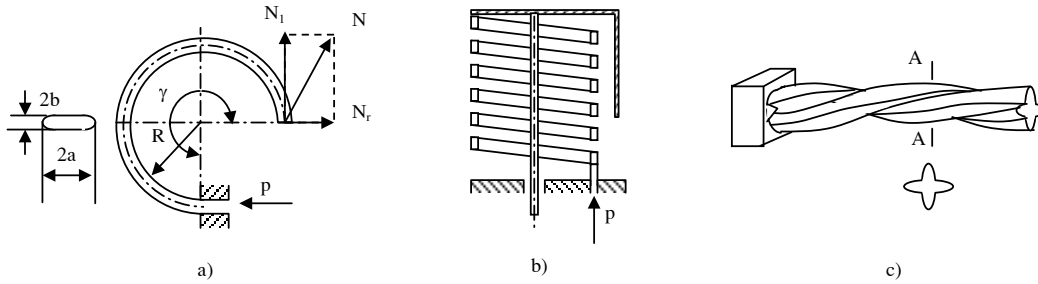
Để chuyển tín hiệu cơ (biến dạng) thành tín hiệu điện người ta dùng bộ chuyển đổi điện (thí dụ cảm biến lực).

b) Lò xo ống

Cấu tạo của các lò xo ống dùng trong cảm biến áp suất trình bày trên hình 8.6.

Lò xo là một ống kim loại uốn cong, một đầu giữ cố định còn một đầu để tự do. Khi đưa chất lưu vào trong ống, áp suất tác dụng lên thành ống làm cho ống bị biến dạng và đầu tự do dịch chuyển.

Trên hình (8.6a) là sơ đồ lò xo ống một vòng, tiết diện ngang của ống hình trái xoan. Dưới tác dụng của áp suất dư trong ống, lò xo sẽ giãn ra, còn dưới tác dụng của áp suất thấp nó sẽ co lại.



Hình 8.6 Lò xo ống

Đối với các lò xo ống thành mỏng biến thiên góc ở tâm (γ) dưới tác dụng của áp suất (p) xác định bởi công thức:

$$\Delta\gamma = p\gamma \frac{1-\nu^2}{Y} \cdot \frac{R^2}{bh} \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{\alpha}{\beta + x^2} \quad (8.10)$$

Trong đó:

ν - hệ số poisson.

Y - mô đun Young.

R - bán kính cong.

h - bề dày thành ống.

a, b - các bán trục của tiết diện ôvan.

α, β - các hệ số phụ thuộc vào hình dáng tiết diện ngang của ống.

$x = Rh/a^2$ - tham số chính của ống.

Lực thành phần theo hướng tiếp tuyến với trục ống (ống thành mỏng $h/b = 0,6 - 0,7$) ở đầu tự do xác định theo biểu thức:

$$N_t = pab \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{48s}{\varepsilon + x^2} \cdot \frac{\gamma - \sin \gamma}{3\gamma - 4\sin \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \gamma} = k_1 p \quad (8.11)$$

Lực hướng kính:

$$N_r = pab \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{48s}{\varepsilon + x^2} \cdot \frac{\gamma - \cos \gamma}{\gamma - \sin \gamma \cdot \cos \gamma} = k_2 p \quad (8.12)$$

Trong đó s và ε các hệ số phụ thuộc vào tỉ số b/a .

Giá trị của k_1, k_2 là hằng số đối với mỗi lò xo ống nên ta có thể viết được biểu thức xác định lực tổng hợp:

$$N = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} \cdot p = kp$$

(8.13)

$$\text{Với } k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} = f(a, b, h, R, \gamma).$$

Bằng cách thay đổi tỉ số a/b và giá trị của R, h, γ ta có thể thay đổi được giá trị của $\Delta\gamma$, N và độ nhạy của phép đo.

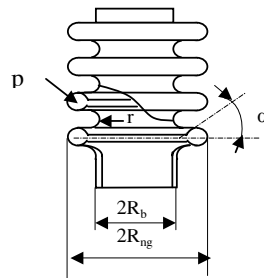
Lò xo ống một vòng có góc quay nhỏ, để tăng góc quay người ta dùng lò xo ống nhiều vòng có cấu tạo như hình (8.6b). Đối với lò xo ống dạng vòng thường phải sử dụng thêm các cơ cấu truyền động để tăng góc quay.

Để tạo ra góc quay lớn người ta dùng lò xo xoắn có tiết diện ô van hoặc hình răng khía như hình 8.6c, góc quay thường từ $40 - 60^\circ$, do đó kim chỉ thị có thể gắn trực tiếp trên đầu tự do của lò xo.

Lò xo ống chế tạo bằng đồng thau có thể đo áp suất dưới 5 MPa, hợp kim nhẹ hoặc thép dưới 1.000 MPa, còn trên 1.000 MPa phải dùng thép gió.

c) Xiphông

Cấu tạo của xiphông trình bày trên hình 8.7.



Hình 8.7 Sơ đồ cấu tạo ống xiphông

Ống xiphông là một ống hình trụ xếp nếp có khả năng biến dạng đáng kể dưới tác dụng của áp suất. Trong giới hạn tuyến tính, tỉ số giữa lực tác dụng và biến dạng của xiphông là không đổi và được gọi là độ cứng của xiphông. Để tăng độ cứng thường người ta đặt thêm vào trong ống một lò xo. Vật liệu chế tạo là đồng, thép cacbon, thép hợp kim ... Đường kính xiphông từ 8 - 100mm, chiều dày thành 0,1 - 0,3 mm.

Độ dịch chuyển (δ) của đáy dưới tác dụng của lực chiều trục (N) xác định theo công thức:

$$\delta = N \cdot \frac{1 - \nu^2}{Y h_0} - \frac{n}{A_0 - \alpha A_1 + \alpha^2 A_2 + B_0 h / R_b^2} \quad (8.14)$$

Trong đó:

h_0 - chiều dày thành ống xiphông.

n - số nếp làm việc.

α - góc bịt kín.

ν - hệ số poisson.

A_0, A_1, B_0 - các hệ số phụ thuộc $R_{ng}/R_{tr}, r/R+r$.

R_{ng}, R_{tr} - bán kính ngoài và bán kính trong của xi phông.

r - bán kính cong của nếp uốn.

Lực chiều trục tác dụng lên đáy xác định theo công thức:

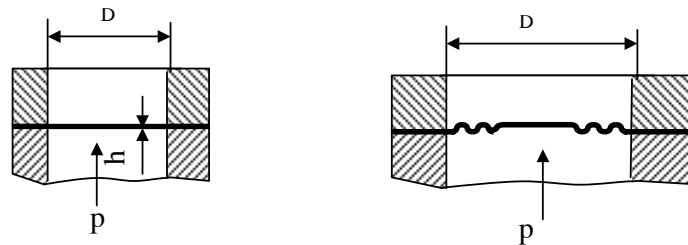
$$N = \frac{\pi}{5} (R_{ng} + R_{tr})^2 \Delta p$$

(8.15)

d) Màng

Màng dùng để đo áp suất được chia ra màng đàn hồi và màng dẻo.

Màng đàn hồi có dạng tròn phẳng hoặc có uốn nếp được chế tạo bằng thép.



Hình 8.8 Sơ đồ màng đo áp suất

Khi áp suất tác dụng lên hai mặt của màng khác nhau gây ra lực tác động lên màng làm cho nó biến dạng. Biến dạng của màng là hàm phi tuyến của áp suất và khác nhau tùy thuộc điểm khảo sát. Với màng phẳng, độ phi tuyến khá lớn khi độ võng lớn, do đó thường chỉ sử dụng trong một phạm vi hẹp của độ dịch chuyển của màng.

Độ võng của tâm màng phẳng dưới tác dụng của áp suất tác dụng lên màng xác định theo công thức sau:

$$\delta = \frac{3}{16} (1 - \nu^2) \frac{pR^4}{Yh^3} \quad (8.16)$$

Màng uốn nếp có đặc tính phi tuyến nhỏ hơn màng phẳng nên có thể sử dụng với độ võng lớn hơn màng phẳng. Độ võng của tâm màng uốn nếp xác định theo công thức:

$$a = \frac{\delta}{h} + \frac{b\delta^3}{h^3} = \frac{pR^4}{Yh^4} \quad (8.17)$$

Với a, b là các hệ số phụ thuộc hình dạng và bề dày của màng.

Khi đo áp suất nhỏ người ta dùng màng dẻo hình tròn phẳng hoặc uốn nếp, chế tạo từ vải cao su. Trong một số trường hợp người ta dùng màng dẻo có tâm cứng, khi đó ở tâm màng được kẹp cứng giữa hai tấm kim loại.



Hình 8.9 Sơ đồ cấu tạo màng dẻo có tâm cứng

Đối với màng dẻo thường, lực di chuyển tạo nên ở tâm màng xác định bởi biểu thức:

$$N = \frac{\pi D^2}{12} \cdot p \quad (8.19)$$

Với D là đường kính ổ đỡ màng.

Đối với màng dẻo tâm cứng, lực di chuyển tạo nên ở tâm màng xác định bởi biểu thức:

$$N = \frac{\pi(D^2 + Dd + d^2)}{12} \cdot p \quad (8.20)$$

Với D là đường kính màng, d là đường kính đĩa cứng.

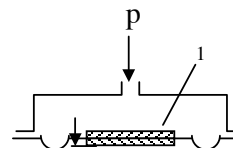
8.3.2. Các bộ chuyển đổi điện

Khi sử dụng cảm biến đo áp suất bằng phần tử biến dạng, để chuyển đổi tín hiệu cơ trung gian thành tín hiệu điện người ta dùng các bộ chuyển đổi. Theo cách chuyển đổi người ta chia các bộ chuyển đổi thành hai loại:

- Biến đổi sự dịch chuyển của phần tử biến dạng thành tín hiệu đo. Các chuyển đổi loại này thường dùng là: cuộn cảm, biến áp vi sai, điện dung, điện trở...
- Biến đổi ứng suất thành tín hiệu đo. Các bộ chuyển đổi là các phần tử áp điện hoặc áp trở.

a) Bộ biến đổi đo áp suất kiểu điện cảm

Cấu tạo của bộ chuyển đổi kiểu điện cảm biểu diễn trên hình 8.10. Bộ chuyển đổi gồm tấm sắt từ động gắn trên màng (1), và nam châm điện có



tự cảm của cuộn dây. Nếu bỏ qua điện trở cuộn dây, từ thông tản và tổn hao trong lõi từ thì độ tự cảm của bộ biến đổi xác định bởi công thức sau:

$$L = \frac{W^2}{l_{tb}/(\mu S_{tb}) + \delta/(\mu_0 S_0)} \quad (8.21)$$

Trong đó:

W - số vòng dây của cuộn dây.

l_{tb}, S_{tb} : chiều dài và diện tích trung bình của lõi từ.

δ, S_0 - chiều dài và tiết diện khe hở không khí .

μ, μ_0 - độ từ thẩm của lõi từ và không khí.

Thông thường $l_{tb}/(\mu S_{tb}) \ll \delta/(\mu_0 S_0)$, do đó có thể tính L theo công thức gần đúng:

$$L = W^2 \cdot \mu_0 \frac{S_0}{\delta}$$

Với $\delta = kp$, ta có phương trình đặc tính tĩnh của cảm biến áp suất dùng bộ biến đổi cảm ứng:

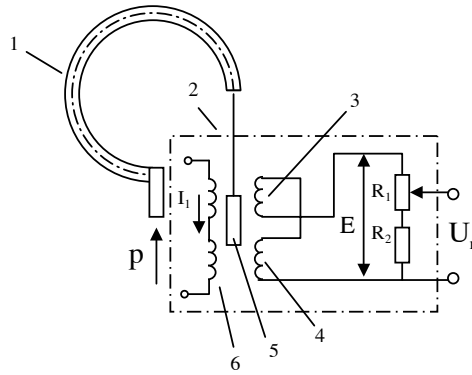
$$L = W^2 \cdot \mu_0 \frac{S_0}{kp} \quad (8.22)$$

Để đo độ tự cảm L người ta dùng cầu đo xoay chiều hoặc mạch cộng hưởng LC.

b) Bộ biến đổi kiểu biến áp vi sai

Bộ biến đổi áp suất kiểu biến áp vi sai (hình 8.11) gồm một lò xo vòng (1) và phần tử biến đổi (2). Phần tử biến đổi gồm một khung cách điện trên đó quấn cuộn sơ cấp (7). Cuộn thứ cấp gồm hai cuộn dây (4) và (5) quấn ngược chiều nhau. Lõi thép di

động nối với lò xo (1). Đầu ra của cuộn thứ cấp nối với điện trở R_1 , cho phép điều chỉnh giới hạn đo trong phạm vi $\pm 25\%$.



Hình 8.11 Sơ đồ cấu tạo nguyên lý của bộ biến đổi kiểu biến áp vi sai
1) Lò xo vòng 2) Phần tử biến đổi 3&4) Cuộn thứ cấp
5) Lõi thép 6) Cuộn sơ cấp

Nguyên lý làm việc: dòng điện I_1 chạy trong cuộn sơ cấp sinh ra từ thông biến thiên trong hai nửa cuộn thứ cấp, làm xuất hiện trong hai nửa cuộn dây này các suất điện động cảm ứng e_1 và e_2 :

$$e_1 = 2\pi f \cdot I_1 M_1$$

$$e_2 = 2\pi f \cdot I_1 M_2$$

Trong đó M_1 và M_2 là hệ cảm giữa cuộn sơ cấp và các nửa cuộn thứ cấp.

Hai nửa cuộn dây đấu ngược chiều nhau, do đó suất điện động trong cuộn thứ cấp:

$$E = e_1 - e_2 = 2\pi f I_1 (M_1 - M_2) = 2\pi f I_1 M \quad (8.23)$$

Đối với phần tử biến đổi chuẩn có điện trở của ra R_1 và R_2 thì điện áp ra của bộ biến đổi xác định bởi công thức:

$$V_{ra} = 2\pi f I_1 M_{ra} \quad (8.24)$$

Giá trị hệ cảm M_{ra} phụ thuộc độ dịch chuyển của lõi thép:

$$M_{ra} = M_{\max} \frac{\delta}{\delta_{\max}}$$

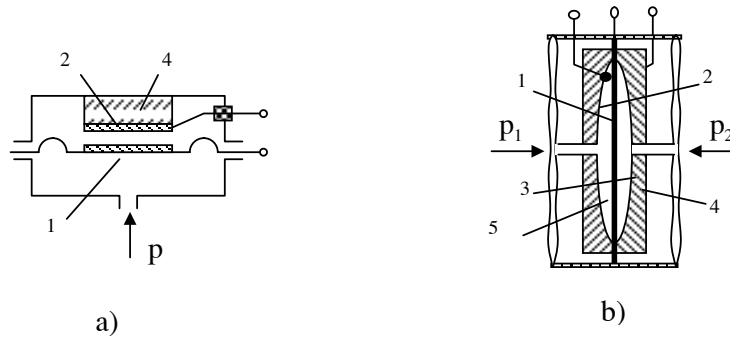
Trong đó M_{\max} là hệ cảm lớn nhất của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp ứng với độ dịch chuyển lớn nhất của lõi thép.

Từ phương trình (8.23) và (8.24), tìm được điện áp ra của bộ biến đổi:

$$V_{ra} = \frac{2\pi f I_1 M_{\max}}{\delta_{\max}} \delta \quad (8.25)$$

c) Bộ biến đổi kiểu điện dung

Sơ đồ cảm biến kiểu điện dung trình bày trên hình 8.12



Hình 8.12 Bộ chuyển đổi kiểu điện dung
1) Bản cực động 2&3) Bản cực tĩnh 4) Cách điện 4) Dầu silicon

Hình 8.12a trình bày cấu tạo một bộ biến đổi kiểu điện dung gồm bản cực động là màng kim loại (1), và bản cực tĩnh (2) gắn với đế bằng cách điện thạch anh (4).

Sự phụ thuộc của điện dung C vào độ dịch chuyển của màng có dạng:

$$C = \varepsilon \frac{s}{\delta + \delta_0} \quad (8.26)$$

Trong đó:

ε - hằng số điện môi của cách điện giữa hai bản cực.

δ_0 - khoảng cách giữa các điện cực khi áp suất bằng 0.

δ - độ dịch chuyển của màng.

Hình 8.12b là một bộ biến đổi điện dung kiểu vi sai gồm hai bản cực tĩnh (2) và (3) gắn với chất điện môi cứng (4), kết hợp với màng (1) nằm giữa hai bản cực để tạo thành hai tụ điện C_{12} và C_{13} . Khoảng trống giữa các bản cực và màng điền đầy bởi dầu silicon (5).

Các áp suất p_1 và p_2 của hai môi trường đo tác động lên màng, làm màng dịch chuyển giữa hai bản cực tĩnh và tạo ra tín hiệu i_m (cung cấp bởi nguồn nuôi) tỉ lệ với áp suất giữa hai môi trường:

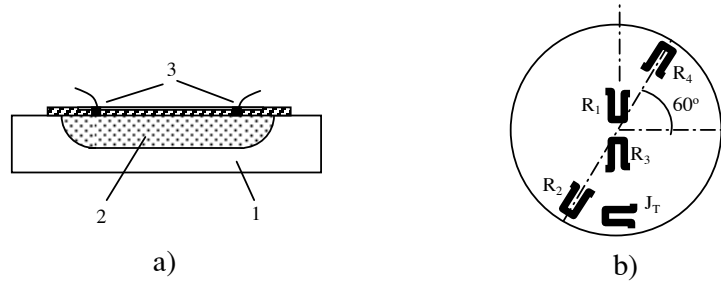
$$i_m = K_1 \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = K(p_1 - p_2) \quad (8.27)$$

Để biến đổi biến thiên điện dung C thành tín hiệu đo lường, thường dùng mạch cầu xoay chiều hoặc mạch vòng cộng hưởng LC.

Bộ cảm biến kiểu điện dung đo được áp suất đến 120 MPa, sai số $\pm (0,2 - 5)\%$.

3.2.4. Bộ biến đổi kiểu áp trở

Cấu tạo của phần tử biến đổi áp trở biểu diễn trên hình 8.13a. Cảm biến áp trở gồm đế silic loại N (1) trên đó có khuếch tán tạp chất tạo thành lớp bán dẫn loại P (2) , mặt trên được bọc cách điện và có hai tiếp xúc kim loại để nối dây dẫn (3).



Hình 8.13. Sơ đồ nguyên lý cảm biến áp trở
a) Sơ đồ cấu tạo b) Vị trí đặt trên màng
1) Đế silic-N 2) Bán dẫn P 3) Dây dẫn

Trên hình 8.13b là trường hợp màng định hướng (100) có gắn 4 cảm biến áp trở, trong đó có hai cảm biến đặt ở tâm theo hướng (110) và hai cảm biến đặt ở biên tạo thành với hướng (100) một góc 60° . Với cách đặt như vậy, biến thiên điện trở của hai cặp cảm biến khi có ứng suất nội sẽ bằng nhau nhưng trái dấu:

$$\Delta R_1 = \Delta R_3 = -\Delta R_2 = -\Delta R_4 = \Delta R$$

Để đo biến thiên điện trở người ta dùng mạch cầu, khi đó ở hai đầu đường chéo cầu được nuôi bằng dòng một chiều sẽ là:

$$V_m = \frac{I}{4}(\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4) = I\Delta R$$

Sự thay đổi tương đối của trở kháng theo ứng lực σ tính xác định theo biểu thức:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \pi\sigma$$

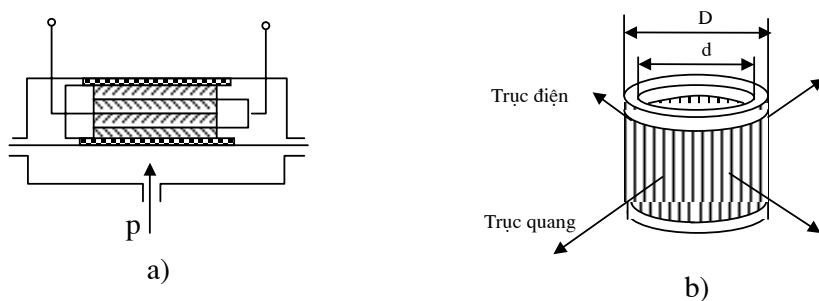
Trong đó π là hệ số áp trở của tinh thể ($\sim 4.10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$), khi đó biểu thức điện áp có dạng:

$$V_m = \pi I R_0 \sigma \quad (8.28)$$

Bộ chuyển đổi kiểu áp trở làm việc trong dải nhiệt độ từ -40°C đến 125°C phụ thuộc vào độ pha tạp. Người ta cũng có thể bù trừ ảnh hưởng của nhiệt độ bằng cách đưa thêm vào bộ chuyển đổi một bộ phận hiệu chỉnh được điều khiển qua đầu đo nhiệt độ J_T .

d) Bộ chuyển đổi kiểu áp điện

Bộ chuyển đổi kiểu áp điện, dùng phần tử biến đổi là phần tử áp điện, cho phép biến đổi trực tiếp ứng lực dưới tác động của lực F do áp suất gây nên thành tín hiệu điện.



Hình 8.14 Cảm biến kiểu áp trở
a) Phần tử áp điện dạng tấm b) Phần tử áp điện dạng ống

Áp suất (p) gây nên lực F tác động lên các bản áp điện, làm xuất hiện trên hai mặt của bản áp điện một điện tích Q tỉ lệ với lực tác dụng:

$$Q = kF$$

Với $F = p.S$, do đó:

$$Q = kpS$$

Trong đó:

k - hằng số áp điện, trong trường hợp thạch anh $k = 2,22.10^{-12}$ C/N.

S - diện tích hữu ích của màng.

Để tăng điện tích Q người ta ghép song song một số bản cực với nhau.

Đối với phần tử áp điện dạng ống, điện tích trên các bản cực xác định theo công thức:

$$Q = kF \frac{4dh}{D^2 - d^2} \quad (8.29)$$

Trong đó:

D, d - đường kính ngoài và đường kính trong của phần tử áp điện.

h - chiều cao phần phủ kim loại.

Giới hạn trên của cảm biến áp suất dùng bộ biến đổi áp điện từ 2,5 - 100 MPa, cấp chính xác 1,5;2. Bộ biến đổi áp điện có hồi đáp tần số rất tốt nên thường dùng để đo áp suất thay đổi nhanh, tuy nhiên chúng có nhược điểm là nhạy cảm với sự thay đổi nhiệt độ.

Chương IX

CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG VÀ MỨC CHẤT LƯU

9.1. Cảm biến đo lưu lượng

9.1.1. Lưu lượng và đơn vị đo

Lưu lượng chất lưu là lượng chất lưu chảy qua tiết diện ngang của ống trong một đơn vị thời gian. Tùy theo đơn vị tính lượng chất lưu (theo thể tích hoặc khối lượng) người ta phân biệt:

- Lưu lượng thể tích (Q) tính bằng m^3/s , $m^3/giờ$...
- Lưu lượng khối (G) tính bằng kg/s , $kg/giờ$...

Lưu lượng trung bình trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ xác định bởi biểu thức:

$$Q_{tb} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ hoặc } G_{tb} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

(9.1)

Trong đó ΔV , Δm là thể tích và khối lượng chất lưu chảy qua ống trong thời khoảng gian khảo sát.

Lưu lượng tức thời xác định theo công thức:

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad \text{hoặc} \quad G = \frac{dm}{dt}$$

(9.2)

Để đo lưu lượng người ta dùng các lưu lượng kế. Tùy thuộc vào tính chất chất lưu, yêu cầu công nghệ, người ta sử dụng các lưu lượng kế khác nhau. Nguyên lý hoạt động của các lưu lượng kế dựa trên cơ sở:

- Đếm trực tiếp thể tích chất lưu chảy qua công tơ trong một khoảng thời gian xác định Δt .
- Đo vận tốc chất lưu chảy qua công tơ khi lưu lượng là hàm của vận tốc.
- Đo độ giảm áp qua tiết diện thu hẹp trên dòng chảy, lưu lượng là hàm phụ thuộc độ giảm áp.

Tín hiệu đo biến đổi trực tiếp thành tín hiệu điện hoặc nhờ bộ chuyển đổi điện thích hợp.

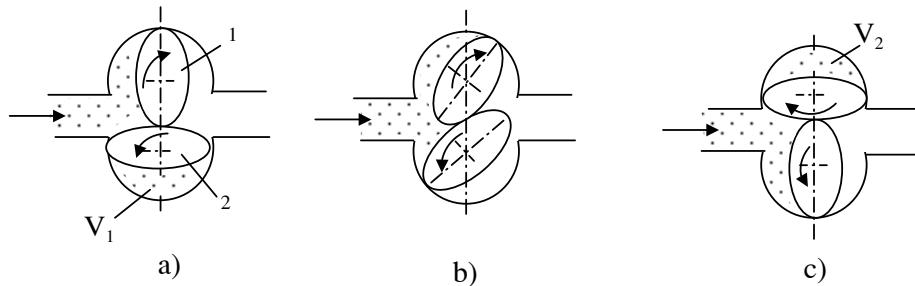
9.1.2. Công tơ thể tích

Công tơ thể tích đo thể tích chất lưu chảy qua công tơ bằng các đếm trực tiếp lượng thể tích đi qua buồng chứa có thể tích xác định của công tơ.

Sơ đồ nguyên lý của công tơ thể tích kiểu bánh răng hình ôvan trình bày trên hình 9.1.

Công tơ gồm hai bánh răng hình ôvan (1) và (2) truyền động ăn khớp với nhau (hình 9.1a). Dưới tác động của dòng chất lỏng, bánh răng (2) quay và truyền chuyển

động tới bánh răng (1) (hình 9.1b) cho đến lúc bánh răng (2) ở vị trí thẳng đứng, bánh răng (1) nằm ngang. Chất lỏng trong thể tích V_1 được đẩy sang cửa ra. Sau đó bánh răng (1) quay và quá trình tương tự lặp lại, thể tích chất lỏng trong buồng V_2 được đẩy sang cửa ra. Trong một vòng quay của công tơ thể tích chất lỏng qua công tơ bằng bốn lần thể tích V_0 (bằng V_1 hoặc V_2). Trục của một trong hai bánh răng liên kết với cơ cấu đếm đặt ngoài công tơ.



Thể tích chất lưu chảy qua công tơ trong thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ tỉ lệ với số vòng quay xác định bởi công thức:

$$\Delta V = q_v (N_2 - N_1) \quad (9.3)$$

Trong đó:

q_v - thể tích chất lưu chảy qua công tơ ứng với một vòng quay.

N_1, N_2 - tổng số vòng quay của công tơ tại thời điểm t_1 và t_2 .

Thông thường thể tích chất lưu chảy qua công tơ được biểu diễn dưới dạng:

$$\Delta V = q_c (N_{c2} - N_{c1})$$

(9.4)

q_c - hệ số công tơ (thể tích chất lưu chảy qua công tơ ứng với một đơn vị chỉ thị trên công tơ).

N_{c1}, N_{c2} - số trên chỉ thị công tơ tại thời điểm t_1 và t_2 .

Lưu lượng trung bình:

$$Q_{tb} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{q_v (N_2 - N_1)}{t_2 - t_1}$$

(9.5)

Lưu lượng tức thời:

$$Q = \frac{dV}{dt} = q_v \frac{dN}{dt} = q_v n$$

(9.6)

Với $n = \frac{dN}{dt}$ là tốc độ quay trên trục công tơ.

Để đếm số vòng quay và chuyển thành tín hiệu điện người ta dùng một trong ba cách dưới đây:

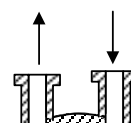
- Dùng một nam châm nhỏ gắn trên trục quay của cửa công tơ, khi nam châm đi qua một cuộn dây đặt cố định sẽ tạo ra xung điện. Đếm số xung điện theo thời gian sẽ tính được tốc độ quay của trục công tơ.

- Dùng tốc độ kế quang.

- Dùng mạch đo thích hợp để đo tần số hoặc điện áp.

Giới hạn đo của công tơ loại này từ 0,01 - 250 m³/giờ, độ chính xác cao $\pm(0,5 - 1)\%$, tổn thất áp suất nhỏ nhưng có nhược điểm là chất lỏng đo phải được lọc tốt và gây ồn khi làm việc.

Để đo lưu lượng dòng khí người ta sử dụng công tơ khí kiểu quay. Công tơ (hình 9.2) gồm vỏ hình trụ (1), các cánh (2,4,7,8), tang quay (3) và cam (6). Khi cánh (4) ở vị trí như hình vẽ, áp suất chất khí tác động lên cánh làm cho tang (3) quay. Trong quá trình quay các cánh



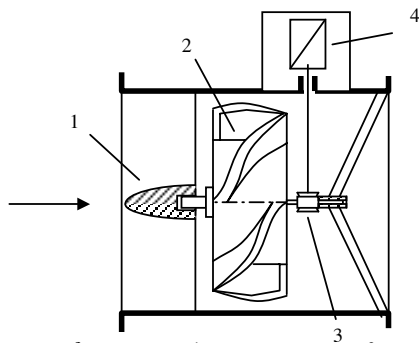
động quay của tang được truyền đến cơ cấu đếm đặt bên ngoài vỏ công tơ.

Công tơ khí kiểu quay có thể đo lưu lượng đến 100 - 300 m³/giờ, cấp chính xác 0,25; 0,5.

9.1.3. Công tơ tốc độ

Hình 9.3 trình bày sơ đồ cấu tạo của một công tơ tốc độ tuabin hướng trục.

Bộ phận chính của công tơ là một tuabin hướng trục nhỏ (2) đặt theo chiều chuyển động của dòng chảy. Trước tuabin có đặt bộ chỉnh dòng chảy (1) để san phẳng dòng rối và loại bỏ xoáy. Chuyển động quay của tuabin qua bộ bánh răng - trục vít (3) truyền tới thiết bị đếm (4).



Tốc độ quay của công tơ tỉ lệ với tốc độ dòng chảy:

Hình 9.3 Sơ đồ cấu tạo công tơ tốc độ tuabin hướng trục

1) Bộ chỉnh dòng chảy 2) Tuabin

Trong đó:

3) Bộ truyền bánh răng-trục vít 4) Thiết bị đếm

k - hệ số tỉ lệ phụ thuộc cấu tạo công tơ.

W- tốc độ dòng chảy.

Lưu lượng thể tích chất lưu chảy qua công tơ:

$$Q = WF = \frac{F}{k} n$$

(9.7)

Với:

F - tiết diện dòng chảy.

n - tốc độ quay của tuabin (số vòng quay trong một giây).

Nếu dùng cơ cấu đếm để đếm tổng số vòng quay của công tơ trong một khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 sẽ nhận được thể tích chất lỏng chảy qua công tơ:

$$dV = dQdt = \frac{F}{k} ndt$$

$$V = \frac{F}{k} \int_{t_1}^{t_2} ndt$$

Hay:

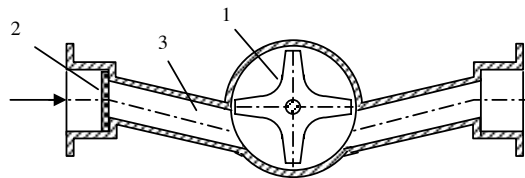
$$V = \frac{F}{k} (N_2 - N_1) \quad (9.8)$$

$$\text{Với } N_2 - N_1 = \frac{F}{k} \int_{t_1}^{t_2} n dt$$

Công tơ tốc độ tuabin hướng trục với đường kính tuabin từ 50 - 300 mm có phạm vi đo từ 50 - 300 m³/giờ, cấp chính xác 1; 1,5; 2.

Để đo lưu lượng nhỏ người ta dùng công tơ tốc độ kiểu tiếp tuyến có sơ đồ cấu tạo như hình 9.4.

Tuabin công tơ (1) đặt trên trục quay vuông góc với dòng chảy. Chất lưu qua màng lọc (2) qua ống dẫn (3) vào công tơ theo hướng tiếp tuyến với tuabin làm quay tuabin. Cơ cấu đếm liên kết với trục tuabin để đưa tín hiệu đến mạch đo.



Công tơ kiểu tiếp tuyến với đường kính tuabin từ 15 - 40 mm có phạm vi đo từ 3 - 20 m³/giờ, cấp chính xác 2; 3. **Hình 9.4 Công tơ tốc độ kiểu tuabin tiếp tuyến**

9.1.4. Lưu lượng kế màng chắn

a) Nguyên lý đo

Các cảm biến loại này hoạt động dựa trên nguyên tắc đo độ giảm áp suất của dòng chảy khi đi qua màng ngăn có lỗ thu hẹp. Trên hình 9.5 trình bày sơ đồ nguyên lý đo lưu lượng dùng màng ngăn tiêu chuẩn.

Khi chảy qua lỗ thu hẹp của màng ngăn, vận tốc chất lưu tăng lên và đạt cực đại (W_2) tại tiết diện B-B, do đó tạo ra sự chênh áp trước và sau lỗ thu hẹp. Sử dụng một áp kế vi sai đo độ chênh áp này có thể xác định được lưu lượng của dòng chảy.

Giả sử chất lỏng không bị nén, và dòng chảy là liên tục, vận tốc cực đại của dòng chảy tại tiết diện B-B được xác định theo biểu thức:

$$W_2 = \frac{1}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

Trong đó:

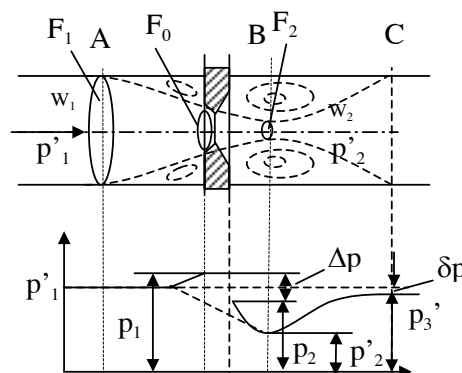
p_1', p_2' - áp suất tĩnh tại tiết diện A-A và B-B.

ρ - tỉ trọng chất lưu.

ξ - hệ số tổn thất thủy lực.

m - tỉ số thu hẹp của màng ngăn, $m = F_0/F_1$.

μ - hệ số thu hẹp dòng chảy, $\mu = F_2/F_0$.



Thường người ta không đo độ giảm áp $\Delta p' = p'_1 - p'_2$ ở tiết diện A-A và B-B, mà đo độ giảm áp $\Delta p = p_1 - p_2$ ngay trước và sau lỗ thu hẹp. Quan hệ giữa $\Delta p'$ và Δp có dạng:

$$\sqrt{p'_1 - p'_2} = \psi \sqrt{p_1 - p_2}$$

Khi đó:

$$W_2 = \frac{\psi}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

và lưu lượng khối lượng của chất lưu:

$$G = W_2 F_2 \rho = W_2 \mu F_0 \rho = \frac{\mu \psi}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} F_0 \sqrt{2 \rho (p_1 - p_2)}$$

Hay:

$$G = \alpha F_0 \sqrt{2 \rho (p_1 - p_2)} \quad (9.9)$$

Với $\alpha = \frac{\mu \psi}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}}$ gọi là hệ số lưu lượng.

Từ các biểu thức trên và $F_0 = \pi d^2/4$, ta nhận được công thức xác định lưu lượng khối (G) và lưu lượng thể tích (Q) của dòng chất lưu:

$$G = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \rho (p_1 - p_2)} \quad (9.10)$$

$$Q = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)} \quad (9.11)$$

Trong trường hợp môi trường chất lưu chịu nén, thì khi áp suất giảm, chất lưu giãn nở, làm tăng tốc độ dòng chảy so với khi không chịu nén, do đó phải đưa thêm vào hệ số hiệu chỉnh ε ($\varepsilon < 1$), khi đó các phương trình trên có dạng:

$$G = c \alpha \varepsilon \sqrt{\rho (p_1 - p_2)} \quad (9.12)$$

$$Q = c \alpha \varepsilon \sqrt{\frac{1}{\rho} (p_1 - p_2)} \quad (9.13)$$

Ở đây:

$c = (\pi \sqrt{2})/4$ là hằng số.

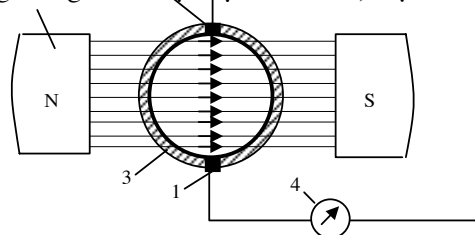
ρ - tỉ trọng chất lưu tại cửa vào của lỗ thu hẹp.

Đối với các dòng chất lưu có trị số Reynol nhỏ hơn giá trị tới hạn, khi đó không thể dùng màng ngăn lỗ thu hẹp tiêu chuẩn vì khi đó hệ số lưu lượng không phải là

b) Sơ đồ hệ thống đo lưu lượng dòng chảy chất lưu có số Reynol nhỏ

Nguyên lý của lưu lượng kế điện từ dựa trên định luật cảm ứng điện từ: khi có một dây dẫn chuyển động trong từ trường các các đường sức của từ trường thì trong dây dẫn xuất hiện một suất điện động cảm ứng tỉ lệ với tốc độ chuyển động của dây dẫn. Sơ đồ nguyên lý của lưu lượng kế điện từ biểu diễn trên hình 1.8

- 1) Mang ngân
- 2) Lưu lượng kế vi sai
- 3) Bộ biến đổi độ giảm áp
- 4) Dụng cụ đo thứ cấp
- 5) Bộ tích phân lưu lượng
- 6) Dụng cụ tính khối lượng chất lưu
- 7) Thiết bị tính toán
- 8) Biến đổi
- 9) Bộ biến đổi áp suất
- 10) Bộ biến đổi áp suất
- 11) Bộ biến đổi tỉ trọng trong điều kiện định mức
- 12) Bộ biến đổi tỉ trọng chất lưu ở 20°C



Lưu lượng kế gồm ống kim loại không từ tính (3) bên trong có phủ lớp vật liệu cách điện (sơn emay, thủy tinh hoặc chất dẻo khác), hai đầu của một nam châm (5) sao cho trục ống vuông góc với trục quay của nam châm (4). Một vòng dây (6) Nam châm

đường sức, có hai điện cực (1) và (2) được nối với milivôn kế (4). Khi chất lưu có tính dẫn điện chảy qua ống, trong chất lưu xuất hiện một suất điện động cảm ứng (E) :

$$E = BWD = \frac{4B}{\pi D} Q \quad (9.14)$$

Trong đó:

- B - cường độ từ trường.
- W - tốc độ trung bình của dòng chảy.
- D - đường kính trong của ống.
- Q - lưu lượng thể tích của chất lưu.

Khi $B = \text{const}$ thì E suất điện động cảm ứng tỉ lệ với lưu lượng thể tích Q.

Lưu lượng kế điện từ với từ trường không đổi có nhược điểm là trên các cực xuất hiện các suất điện động phụ (do phân cực) làm sai lệch kết quả đo. Để khắc phục nhược điểm trên, người ta dùng lưu lượng kế điện từ dùng nam châm điện xoay chiều, tuy nhiên từ trường xoay chiều lại làm méo tín hiệu ra.

Lưu lượng kế điện từ được dùng để đo lưu lượng của chất lỏng có độ dẫn điện không nhỏ hơn $10^{-5} - 10^{-6}$ Simen/m. Chúng có ưu điểm: đo lưu lượng không cần phải đo tỉ trọng chất lỏng, các phân tử hạt, bọt khí và tác động của môi trường (như nhiệt độ, áp suất, ...) nếu chúng không làm thay đổi độ dẫn điện của chất lưu sẽ không ảnh hưởng đến kết quả đo.

Lưu lượng kế điện từ với đường kính ống từ 10 - 1.000 mm có thể đo lưu lượng trong từ 1 - 2.500 m³/giờ với vận tốc dòng chảy từ 0,6 - 10 m/s với cấp chính xác 1; 2,5.

9.2. Cảm biến đo và phát hiện mức chất lưu

9.2.1. Mục đích và phương pháp đo

Mục đích việc đo và phát hiện mức chất lưu là xác định mức độ hoặc khối lượng chất lưu trong bình chứa.

Có hai dạng đo: đo liên tục và xác định theo ngưỡng.

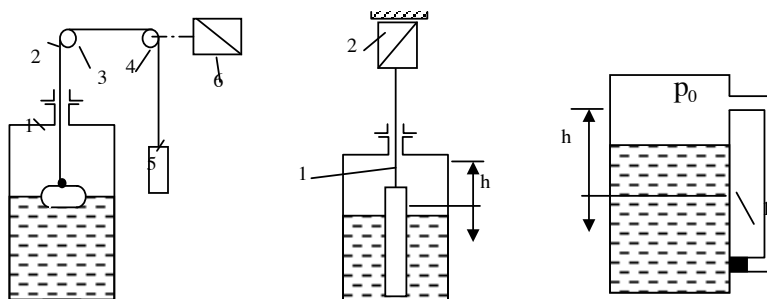
Khi đo liên tục biên độ hoặc tần số của tín hiệu đo cho biết thể tích chất lưu còn lại trong bình chứa. Khi xác định theo ngưỡng, cảm biến đưa ra tín hiệu dạng nhị phân cho biết thông tin về tình trạng hiện tại mức ngưỡng có đạt hay không.

Có ba phương pháp hay dùng trong kỹ thuật đo và phát hiện mức chất lưu:

- Phương pháp thủy tĩnh dùng biến đổi điện.
- Phương pháp điện dựa trên tính chất điện của chất lưu.
- Phương pháp bức xạ dựa trên sự tương tác giữa bức xạ và chất lưu.

9.2.2. Phương pháp thủy tĩnh

Phương pháp thủy tĩnh dùng để đo mức chất lưu trong bình chứa. Trên hình 9.9 giới thiệu một số sơ đồ đo mức bằng phương pháp thủy tĩnh.



Trong sơ đồ hình 9.9a, phao (1) nổi trên mặt chất lưu được nối với đối trọng (5) bằng dây mềm (2) qua các ròng rọc (3), (4). Khi mức chất lưu thay đổi, phao (1) nâng
a) Dùng phao cầu b) Dùng phao trụ c) Dùng cảm biến áp suất vì sai

lên hoặc hạ xuống làm quay ròng rọc (4), một cảm biến vị trí gắn với trục quay của ròng rọc sẽ cho tín hiệu tỉ lệ với mức chất lưu.

Trong sơ đồ hình 9.9b, phao hình trụ (1) nhúng chìm trong chất lưu, phía trên được treo bởi một cảm biến đo lực (2). Trong quá trình đo, cảm biến chịu tác động của một lực F tỉ lệ với chiều cao chất lưu:

$$F = P - \rho gSh$$

Trong đó:

P - trọng lượng phao.

h - chiều cao phần ngập trong chất lưu của phao.

S - tiết diện mặt cắt ngang của phao.

ρ - khối lượng riêng của chất lưu.

g - gia tốc trọng trường.

Trên sơ đồ hình 9.9c, sử dụng một cảm biến áp suất vi sai dạng màng (1) đặt sát đáy bình chứa. Một mặt của màng cảm biến chịu áp suất chất lưu gây ra:

$$p = p_0 + \rho gh$$

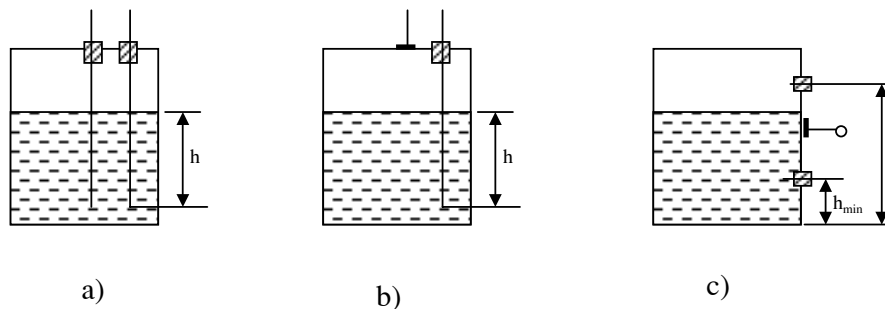
Mặt khác của màng cảm biến chịu tác động của áp suất p_0 bằng áp suất ở đỉnh bình chứa. Chênh lệch áp suất $p - p_0$ sinh ra lực tác dụng lên màng của cảm biến làm nó biến dạng. Biến dạng của màng tỉ lệ với chiều cao h của chất lưu trong bình chứa, được chuyển đổi thành tín hiệu điện nhờ các bộ biến đổi điện thích hợp.

9.2.3. Phương pháp điện

Các cảm biến đo mức bằng phương pháp điện hoạt động theo nguyên tắc chuyển đổi trực tiếp biến thiên mức chất lỏng thành tín hiệu điện dựa vào tính chất điện của chất lưu. Các cảm biến thường dùng là cảm biến độ dẫn và cảm biến điện dung.

a) Cảm biến độ dẫn

Các cảm biến loại này dùng để đo mức các chất lưu có tính dẫn điện (độ dẫn điện $\sim 50\mu\text{Scm}^{-1}$). Trên hình 9.10 giới thiệu một số cảm biến độ dẫn đo mức thông dụng.



Hình 9.10 Cảm biến độ dẫn

a) Cảm biến hai điện cực b) Cảm biến một điện cực c) Cảm biến phát hiện mức

Sơ đồ cảm biến hình 9.10a gồm hai điện cực hình trụ nhúng trong chất lỏng dẫn điện. Trong chế độ đo liên tục, các điện cực được nối với nguồn nuôi xoay chiều $\sim 10\text{V}$ (để tránh hiện tượng phân cực của các điện cực). Dòng điện chạy qua các điện cực có biên độ tỉ lệ với chiều dài của phần điện cực nhúng chìm trong chất lỏng.

Sơ đồ cảm biến hình 9.10b chỉ sử dụng một điện cực, điện cực thứ hai là bình chứa bằng kim loại.

Sơ đồ cảm biến hình 9.10c dùng để phát hiện ngưỡng, gồm hai điện cực ngắn đặt theo phương ngang, điện cực còn lại nối với thành bình kim loại, vị trí mỗi điện cực ngắn ứng với một mức ngưỡng. Khi mức chất lỏng đạt tới điện cực, dòng điện trong mạch thay đổi mạnh về biên độ.

b) Cảm biến tụ điện

Khi chất lỏng là chất cách điện, có thể tạo tụ điện bằng hai điện cực hình trụ nhúng trong chất lỏng hoặc một điện cực kết hợp với điện cực thứ hai là thành bình chứa nếu thành bình làm bằng kim loại. Chất điện môi giữa hai điện cực chính là chất lỏng ở phần điện cực bị ngập và không khí ở phần không có chất lỏng. Việc đo mức chất lưu được chuyển thành đo điện dung của tụ điện, điện dung này thay đổi theo mức chất lỏng trong bình chứa. Điều kiện để áp dụng phương pháp này hằng số điện môi của chất lỏng phải lớn hơn đáng kể hằng số điện môi của không khí (thường là gấp đôi).

Trong trường hợp chất lưu là chất dẫn điện, để tạo tụ điện người ta dùng một điện cực kim loại bên ngoài có phủ cách điện, lớp phủ đóng vai trò chất điện môi còn chất lưu đóng vai trò điện cực thứ hai.

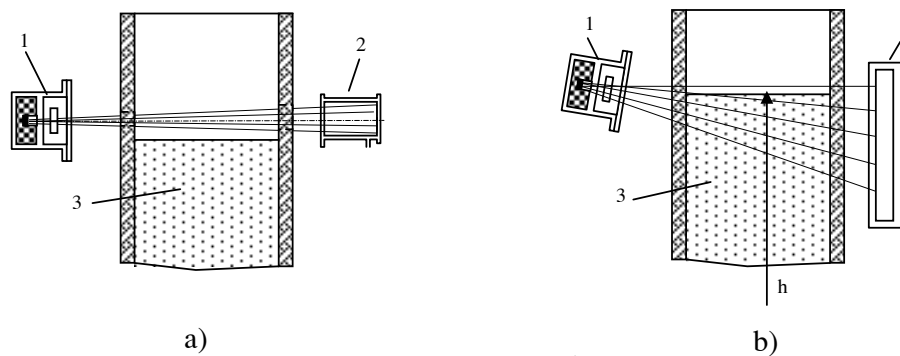
9.2.4. Phương pháp bức xạ

Cảm biến bức xạ cho phép đo mức chất lưu mà không cần tiếp xúc với môi trường đo, ưu điểm này rất thích hợp khi đo mức ở điều kiện môi trường đo có nhiệt độ, áp suất cao hoặc môi trường có tính ăn mòn mạnh.

Trong phương pháp này cảm biến gồm một nguồn phát tia (1) và bộ thu (2) đặt ở hai phía của bình chứa. Nguồn phát thường là một nguồn bức xạ tia γ (nguồn ^{60}Co hoặc ^{137}Cs), bộ thu là một buồng ion hoá.

Ở chế độ phát hiện mức ngưỡng (hình 9.11a), nguồn phát và bộ thu đặt đối diện nhau ở vị trí ngang mức ngưỡng cần phát hiện, chùm tia của nguồn phát mảnh và gần như song song. Tùy thuộc vào mức chất lưu (3) cao hơn hay thấp hơn mức ngưỡng mà chùm tia đến bộ thu sẽ bị suy giảm hoặc không, bộ thu sẽ phát ra tín hiệu tương ứng với các trạng thái so với mức ngưỡng.

Ở chế độ đo mức liên tục (hình 9.11b), nguồn phát (1) phát ra chùm tia với một góc mở rộng quét lên toàn bộ chiều cao của mức chất lưu cần kiểm tra và bộ thu.



Hình 9.11 Cảm biến đo mức bằng tia bức xạ
a) Cảm biến phát hiện ngưỡng b) Cảm biến đo mức liên tục
1) Nguồn phát tia bức xạ 2) Bộ thu 3) Chất lưu

Khi mức chất lưu (3) tăng do sự hấp thụ của chất lưu tăng, chùm tia đến bộ thu (2) sẽ bị suy giảm, do đó tín hiệu ra từ bộ thu giảm theo. Mức độ suy giảm của chùm tia bức xạ tỉ lệ với mức chất lưu trong bình chứa

Chương X

CẢM BIẾN THÔNG MINH

10.1. Khái niệm về cảm biến thông minh

Kỹ thuật đo lường và điều khiển tự động hiện đại ngày nay có những tiến bộ vượt bậc nhờ việc sử dụng các vi mạch điện tử: vi xử lý (μP) và vi điều khiển (μC). Để nhận được những đặc tính mới cho dụng cụ đo như: tự động chọn thang đo, tự động xử lý thông tin đo, tự động bù sai số ... người ta phải sử dụng các bộ vi xử lý hay vi điều khiển kết hợp với các cảm biến khác nhau để tạo ra một loại cảm biến mới gọi là cảm biến thông minh (Intelligent Sensor).

Các cảm biến thông minh có thể thực hiện được các chức năng mới mà các cảm biến thông thường không thể thực hiện được, đó là:

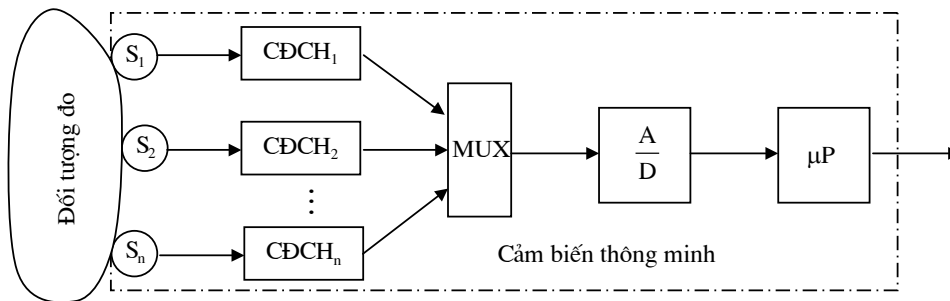
- Chức năng thu thập số liệu đo từ nhiều đại lượng đo khác nhau với các khoảng đo khác nhau.
- Chức năng chương trình hoá quá trình đo, tức là đo theo một chương trình định sẵn, chương trình này có thể thay đổi bằng thiết bị lập trình.
- Có thể gia công sơ bộ kết quả đo theo các thuật toán đã định sẵn và đưa ra kết quả (hiển thị trên màn hình máy tính hoặc máy in).
- Có thể thay đổi toạ độ bằng cách đưa thêm vào các thừa số nhân thích hợp.
- Tiến hành tính toán đưa ra kết quả đo khi thực hiện các phép đo gián tiếp hay hợp bộ hoặc đo thống kê.
- Hiệu chỉnh sai số của phép đo.
- Bù các kết quả đo bị sai lệch do ảnh hưởng của sự biến động các thông số môi trường như: nhiệt độ, độ ẩm ... Điều khiển các khâu của dụng cụ đo cho phù hợp với đại lượng đo, ví dụ tự động chọn thang đo.
- Mã hoá tín hiệu.
- Ghép nối các thiết bị ngoại vi như màn hình, máy in, bàn phím hoặc với các kênh liên lạc để truyền đi xa theo chu kỳ hay địa chỉ.
- Có khả năng tự động khắc độ.
- Sử dụng μP có thể thực hiện các phép tính như: cộng, trừ, nhân chia, tích phân, vi phân, phép tuyến tính hoá đặc tính phi tuyến của cảm biến, điều khiển quá trình đo, điều khiển sự làm việc của các khâu khác như: chuyển đổi tương tự - số (A/D) hay các bộ dồn kênh (MUX)...

- Sử dụng μP có khả năng phát hiện những vị trí hỏng hóc trong thiết bị đo và đưa ra thông tin về chúng nhờ cài đặt chương trình kiểm tra và chẩn đoán kỹ thuật về sự làm việc của các thiết bị đo.

Các cảm biến thông minh, với sự kết hợp giữa μP và các bộ cảm biến thông thường, thực sự đã tạo ra một tiến bộ vượt bậc trong kỹ thuật đo.

10.2. Cấu trúc của một cảm biến thông minh

Cấu trúc của một cảm biến thông minh có thể biểu diễn bằng sơ đồ khối như hình sau (hình 10.1):



Hình 10.1. Sơ đồ cấu trúc một cảm biến thông minh

Từ đối tượng đo, qua các cảm biến sơ cấp S, các đại lượng đo và các đại lượng của yếu tố ảnh hưởng chuyển thành tín hiệu điện và được đưa vào các bộ chuyển đổi chuẩn hoá CĐCH. Các bộ chuyển đổi chuẩn hoá làm nhiệm vụ tạo ra tín hiệu chuẩn, thường là điện áp từ 0 - 5V hoặc 0 - 10V để đưa vào bộ dồn kênh MUX. Bộ dồn kênh MUX làm nhiệm vụ đưa các tín hiệu vào bộ chuyển đổi tương tự - số A/D trước khi vào bộ vi xử lý μP .

Việc thực hiện một bộ cảm biến thông minh có thể tiến hành theo hai cách:

- Cách 1: nếu bộ cảm biến ở đầu vào là loại cảm biến thông thường thì đầu ra của chúng được đưa vào một vi mạch công nghệ lai, bao gồm các CĐCH, MUX, A/D và μP trong một khối có đầu ra qua bộ ghép nối để truyền thông tin đi xa hay vào máy tính cấp trên hay bộ ghi chương trình cho EPROM.
- Cách 2: nếu bản thân cảm biến là vi mạch thì cả cảm biến lẫn những thiết bị sau đều được để trong một khối công nghệ lai.

Cấu trúc trên là cấu trúc phổ biến của một cảm biến thông minh. Sự hoạt động của cảm biến là do μP đảm nhận, nó tổ chức sự tác động lẫn nhau giữa các khâu theo một thuật toán chọn tần suất xuất hiện của tín hiệu, xác định giới hạn đo của từng kênh, tính toán sai số của phép đo ... Trong quá trình hoạt động xảy ra sự trao đổi lệnh giữa các khâu thông qua một ngôn ngữ chung (thường là hợp ngữ ASSEMBLY).

Các chương trình phần mềm bảo đảm mọi hoạt động của cảm biến bao gồm:

- Chương trình thu thập dữ liệu: khởi động các thiết bị như ngăn xếp, cổng thông tin nối tiếp, đọc số liệu từ cổng vào ADC, điều khiển hoạt động của MUX.
- Chương trình biến đổi và xử lý thông tin đo: biến đổi các giá trị đo được thành mã BCD, mã 7 thanh, mã ASCII, các chương trình xử lý số liệu đo.

- Chương trình giao diện: đưa hiển thị ra LED hay màn hình, máy in, đọc bàn phím và xử lý chương trình bàn phím, đưa kết quả ra cổng thông tin hay truyền vào mạng, hay gửi cho máy tính cấp trên.

10.3. Các khâu chức năng của cảm biến thông minh

Ngoài các cảm biến thông thường đã đề cập, cảm biến thông minh còn bao gồm các khâu cơ bản sau: các chuyển đổi chuẩn hoá (CĐCH), bộ dồn kênh (MUX), chuyển đổi tương tự số (A/D) và bộ vi xử lý (μP).

10.3.1. Chuyển đổi chuẩn hoá

Chuyển đổi chuẩn hoá làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện sau cảm biến thành tín hiệu chuẩn thường là áp từ 0 - 5V hay 0 - 10V hoặc dòng 0 - 20 mA hay 4 - 20 mA.

Giữa các cảm biến và chuyển đổi A/D rồi vào μP tín hiệu nhất thiết phải qua các CĐCH sao cho bất kể khoảng đo nào của các đại lượng đo thì cũng tương ứng với một giới hạn đo của CĐCH. Các chuyển đổi chuẩn hoá có thể phục vụ riêng cho từng cảm biến và đặt trước MUX hay cho một nhóm cảm biến giống nhau về loại và khoảng đo đặt sau MUX.

Khi qua CĐCH tín hiệu được biến đổi tỷ lệ, nếu tín hiệu vào x nằm trong khoảng từ $X_1 \div X_2$ thì tín hiệu ra y phải là $0 \div Y$ (hình 10.2)



Hình 10.2 Sơ đồ nguyên lý chuyển đổi chuẩn hoá

Đặc tính ra của chuyển đổi chuẩn hoá thường là tuyến tính, tức là có dạng:

$$y = y_0 + kx \quad (10.1)$$

Thay các giá trị đầu vào và đầu ra của CĐCH ta có:

$$\begin{cases} 0 = y_0 + kX_1 \\ Y = y_0 + kX_2 \end{cases}$$

Giải ra ta được:

$$\begin{cases} y_0 = Y \frac{X_1}{X_2 - X_1} \\ k = \frac{Y}{X_2 - X_1} \end{cases}$$

Thay vào (10.1) ta có đặc tính của CĐCH:

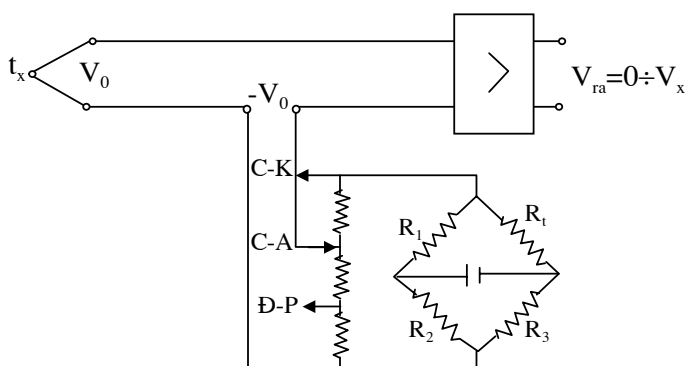
$$y = -Y \frac{X_1}{X_2 - X_1} + \frac{Y}{X_2 - X_1} x \quad (10.2)$$

Chuyển đổi chuẩn hoá có đầu ra là tín hiệu một chiều (là dòng hay áp) được thực hiện qua hai bước:

- Bước 1: Trừ đi giá trị ban đầu $x = X_1$, để tạo ra ở đầu ra của CĐCH giá trị $y = 0$.
- Bước 2: thực hiện khuếch đại ($K > 1$) hay suy giảm ($K < 1$).

Để thực hiện việc trừ đi giá trị ban đầu người ta thường sử dụng khâu tự động bù tín hiệu ở đầu vào hoặc thay đổi hệ số phản hồi của bộ khuếch đại.

Ta xét ví dụ sau đây sơ đồ CĐCH sử dụng cặp nhiệt, có đầu ra là áp một chiều (hình 10.3).

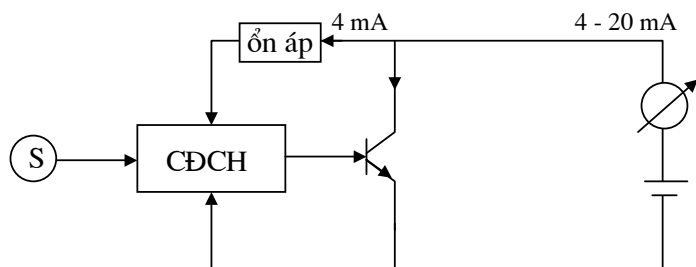


Hình 10.3 Bộ chuyển đổi chuẩn hoá đầu ra là áp một chiều

Để đo nhiệt độ ta sử dụng cặp nhiệt ngẫu. Ở nhiệt độ t_0 của môi trường ta luôn có ở đầu ra của cặp nhiệt một điện áp V_0 (tương đương giá trị X_1 đầu vào CĐCH) nhưng yêu cầu ở đầu ra của CĐCH phải là $y = 0$, ta phải tạo được một điện áp $-V_0$ để bù. Mặt khác khi t_0 thay đổi thì V_0 cũng thay đổi theo, do vậy ta phải sử dụng một cầu điện trở có một nhánh bù là nhiệt điện trở R_t để khi nhiệt độ đầu tự do t_0 thay đổi thì nhiệt điện trở R_t cũng thay đổi theo sao cho điện áp xuất hiện ở đầu ra của cầu đúng bằng $-V_0$. Kết quả là điện áp ở đầu vào khuếch đại bằng 0 khi ở nhiệt độ bình thường. Điện áp ở đầu ra của cầu được tính toán tương ứng với các loại cặp nhiệt khác nhau (Đ-P, C-A, C-K).

Trong thực tế, để truyền đi xa người ta dùng nguồn dòng nên khi truyền tín hiệu trên đường dây, điện trở của dây có thay đổi cũng không gây ảnh hưởng đáng kể đến kết quả phép đo. Tín hiệu đầu ra của CĐCH là dòng từ 0 - 20mA hay 4 - 20mA. Với dòng

4 - 20mA thì 4mA dùng để cung cấp cho mạch điện tử còn từ 0 - 16mA là tín hiệu đo. Nguồn dòng được tạo bởi bộ biến dòng (ví dụ dùng tranzito chẳng hạn). Sơ đồ một bộ chuyển đổi chuẩn hoá đầu ra là dòng một chiều được trình bày trên hình 10.4.



Hình 10.4 Chuyển đổi chuẩn hoá đầu ra là dòng một chiều

Từ cảm biến qua bộ CĐCH tín hiệu đầu ra sẽ thay đổi theo độ lớn của tín hiệu sau cảm biến (0 - 16mA). Mạch điện tử được cấp dòng 4 mA qua bộ ổn áp. Dòng thay đổi từ 4 - 20 mA được đo bằng cách biến đổi dòng thành áp bằng cách cho dòng rơi trên một điện trở mẫu và đo điện áp đó suy ra đại lượng đo.

10.3.2. Bộ dồn kênh MUX (multiplexer)

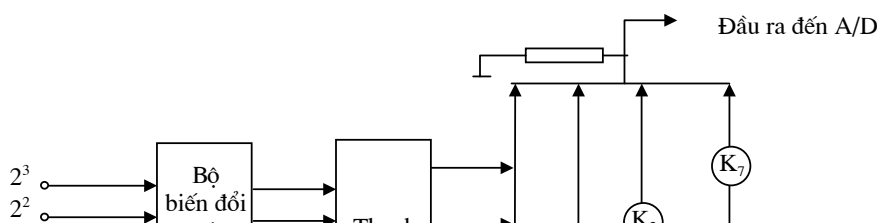
Nhiệm vụ của MUX là dồn kênh, biến tín hiệu song song từ các cảm biến thành nối tiếp để đưa vào A/D và μP . Để đảm bảo độ tác động nhanh, người ta phải sử dụng các khoá điện tử, tức là thực hiện việc đổi nối không tiếp xúc. Đổi nối này có ưu điểm là độ tác động nhanh cao (tần số đổi nối có thể đạt hàng chục MHz). Tuy nhiên chúng có nhược điểm là khi đóng mạch điện trở thuận khác 0 (có thể đến hàng trăm Ω) còn khi hở mạch điện trở ngược khác ∞ (cỡ vài trăm k Ω). Vì vậy các bộ dồn kênh thường được bố trí sau CĐCH, ở đó tín hiệu đã được chuẩn hoá.

Bộ đổi nối có hai chế độ làm việc:

- Chế độ chu trình: tín hiệu các cảm biến sẽ lần lượt đưa vào A/D theo một chu trình. Tần số lặp lại của tín hiệu sẽ được lựa chọn tùy thuộc sai số của phép đo cho trước.
- Chế độ địa chỉ: bộ đổi nối làm việc theo một chương trình đã định sẵn.

Do sai số của bộ dồn kênh tăng khi số lượng kênh tăng nên đối với các cảm biến thông minh người ta thường hạn chế số kênh sử dụng.

Trên hình 10.5 là sơ đồ nguyên lý của một bộ đổi nối điện tử MUX 8 bit loại CD 4051.



Các bit điều khiển từ μP được đưa đến bộ biến đổi mức logic để điều khiển register cho ra xung đóng mở tám khoá K_0, K_1, \dots, K_7 đưa tín hiệu từ tám kênh đầu vào đến một đầu ra để đưa đến bộ chuyển đổi A/D.

Ngày nay các loại MUX được sản xuất dưới dạng mạch IC rất tiện cho việc sử dụng vào thiết bị đo. Tuy nhiên như thế thường số lượng kênh vào là cố định, không thay đổi được theo yêu cầu thực tế.

10.3.3. Bộ chuyển đổi tương tự số A/D

Bộ chuyển đổi A/D làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu tương tự thành số trước khi đưa thông tin vào μP .

Có ba phương pháp khác nhau để tạo một bộ chuyển đổi A/D:

- Phương pháp song song: Điện áp vào đồng thời so sánh với n điện áp chuẩn và xác định chính xác xem nó đang nằm ở giữa mức nào. Kết quả ta có một bậc của tín hiệu xấp xỉ. Phương pháp này có giá thành cao vì mỗi một số ta phải cần một bộ so sánh. Ví dụ trong phạm vi biến đổi từ 0 - 100 cần đến 100 bộ so sánh. Ưu điểm của phương pháp này là độ tác động nhanh cao.

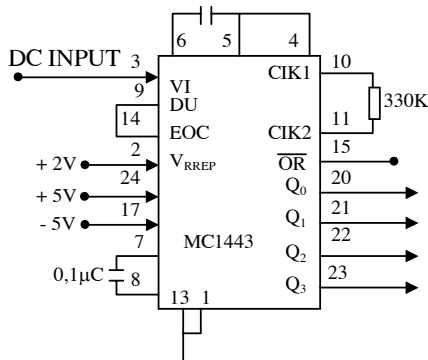
- Phương pháp trọng số: việc so sánh diễn ra cho từng bit của số nhị phân. Cách so sánh như sau: thoát tiên ta xác định xem điện áp vào có vượt điện áp chuẩn của bit già hay không. Nếu vượt thì kết quả có giá trị “1” và lấy điện áp vào trừ đi điện áp chuẩn. Phần dư đem so sánh với các bit trẻ lân cận. Rõ ràng là có bao nhiêu bit trong một số nhị phân thì cần bấy nhiêu bước so sánh và bấy nhiêu điện áp chuẩn.

- Phương pháp số: đây là phương pháp đơn giản nhất. Ở trường hợp này ta tính đến số lượng các tổng số điện áp chuẩn của các bit trẻ dùng để biểu diễn điện áp vào.

Nếu số lượng cực đại dùng để mô tả bằng n thì do đó cũng cần tối đa n bước để nhận được kết quả. Phương pháp này đơn giản, rõ ràng nhưng chậm.

Các chuyển đổi số trong công nghiệp rất đa dạng, dưới đây giới thiệu một số bộ điển hình.

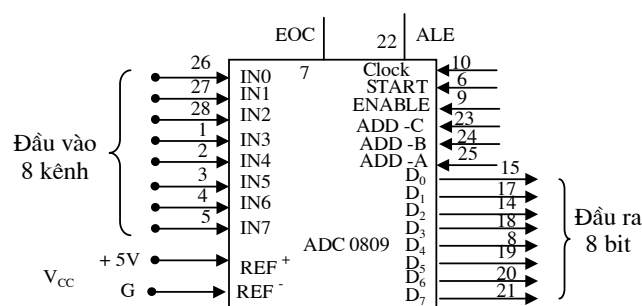
Trên hình 10.6 là sơ đồ một bộ chuyển đổi số MC 14433 sản xuất theo công nghệ CMOS của hãng MOTOROLA có đầu vào là điện áp một chiều DC INPUT. Loại A/D này có một đầu vào và đầu ra là số 4 bit.

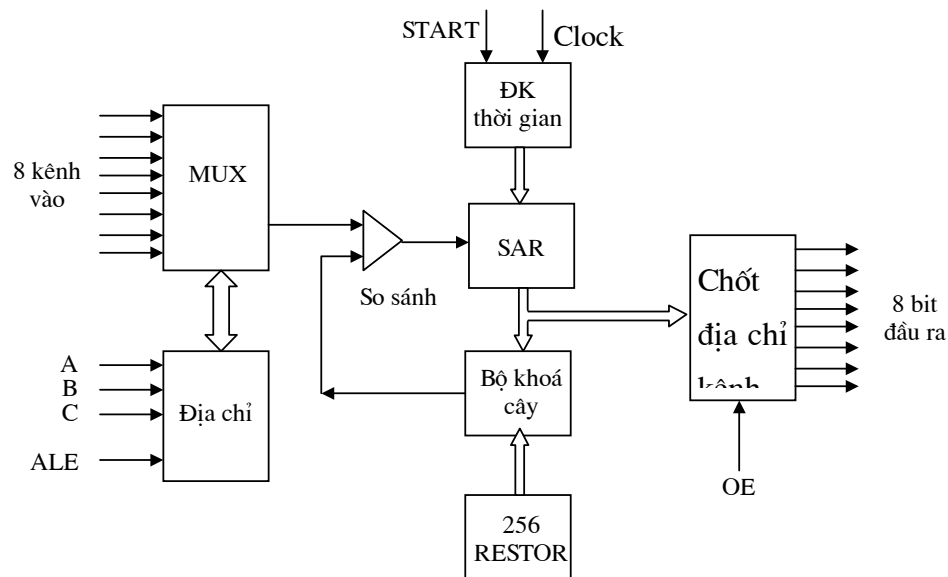


Hình 10.6 Chuyển đổi A/D MC 14433

Trong thực tế người ta thường chế tạo kết hợp giữa hai bộ MUX và chuyển đổi A/D và cho vào cùng một vỏ. Đại diện cho linh kiện loại này là ADC 0809 (hình 10.7). Loại A/D này có đầu vào là tám kênh một chiều (0 - 5V) và đầu ra tám bit, số liệu có thể đưa lên BUS dữ liệu của μP .

Sơ đồ khối của ADC 0809 trình bày trên hình 10.8. Để điều khiển hoạt động của A/D 0809, ba bit địa chỉ A, B, C được chốt và giải mã để chọn một trong tám kênh đường truyền tín hiệu tương tự và bộ so sánh. Khi có xung START và CLOCK thì quá trình so sánh bắt đầu xảy ra. Điện áp vào được so sánh với điện áp do bộ khóa hình cây và bộ 256 R tạo ra. Khi quá trình biến đổi kết thúc, bộ điều khiển phát ra tín hiệu EOC (End of Converter). Số liệu được đưa ra thanh ghi đệm và chốt lại. μP muốn đọc số liệu từ A/D thì phải phát ra một tín hiệu vào chân OE (output - enable) quá trình đọc được tiến hành.





Hình 10.8 Sơ đồ khối A/D 0809

Bộ chuyển đổi A/D 0809 là một chip gói theo tiêu chuẩn 28 chân chế tạo theo công nghệ CMOS. ADC 0809 không có mạch bù zêrô phụ và mạch chỉnh full-scale. ADC 0809 có ưu điểm là dễ dàng kết nối với μP hay μC vì được cung cấp chốt địa chỉ kênh và chốt TTL - TRISTATE ở đầu ra, có tốc độ cao, độ chính xác cao và ít phụ thuộc vào nhiệt độ, tiêu thụ công suất nhỏ.

10.4. Các thuật toán xử lý trong cảm biến thông minh

Như đã đề cập ở trên, phương trình cơ bản của cảm biến bù $y = f(x)$. Tuy nhiên ngoài đối số x là đại lượng đo còn có một số yếu tố khác ảnh hưởng đến kết quả đo, đó là các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, điện từ trường, độ rung ... nghĩa là $y = f(x, a, b, c, \dots)$, trong đó a, b, c, \dots là các yếu tố ảnh hưởng cần loại trừ. Trong các cảm biến thông minh, người ta sử dụng khả năng tính toán của các bộ vi xử lý để nâng cao các đặc tính kỹ thuật của bộ cảm biến như nâng cao độ chính xác, loại trừ sai số phi tuyến, bù các ảnh hưởng của các yếu tố môi trường...

Dưới đây trình bày một số phép xử lý được thực hiện trong cảm biến thông minh.

10.4.1. Tự động khác độ

Quá trình tự động khắc độ được tiến hành như sau:

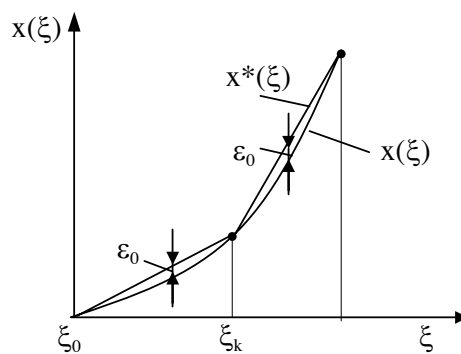
Đầu tiên người ta đo các giá trị của tín hiệu chuẩn và ghi vào bộ nhớ, sau đó đo các giá trị của đại lượng cần đo và bằng các công cụ toán học (dưới dạng thuật toán) có thể so sánh, gia công kết quả đo và loại trừ sai số. Công việc này có thể thực hiện cho từng cảm biến. Khi mắc các cảm biến vào hệ thống, μP làm nhiệm vụ điều khiển tín hiệu chuẩn thay đổi, bộ nhớ sẽ ghi lại các giá trị y ở đầu ra của cảm biến tương ứng.

Khi đo, đại lượng đo x tác động vào cảm biến, tương ứng với giá trị nào của x bộ nhớ sẽ đưa ra giá trị tương ứng của tín hiệu chuẩn đã được ghi từ trước.

Với cách đó chúng ta có thể loại trừ được sai số phi tuyến của đặc tính cảm biến mà dụng cụ số thông thường không thực hiện được. Phương pháp này đòi hỏi các cảm biến phải hoàn toàn giống nhau để trong trường hợp hỏng hóc cần phải thay thế sẽ không gây ra sai số đáng kể. Ngược lại nếu cảm biến thay thế không giống cảm biến đã khắc độ thì phải khắc độ lại với cảm biến mới.

10.4.2. Xử lý tuyến tính hoá từng đoạn

Trường hợp đặc tính của tín hiệu x sau cảm biến là một hàm phi tuyến của đại lượng đo ξ , tức là $x(\xi)$ là một hàm phi tuyến. Thay vì khắc độ đặc tính đo vào bộ nhớ như đã đề cập ở trên, ta có thể thay $x(\xi)$ bằng một đường gấp khúc tuyến tính hoá từng đoạn với sai số ε_0 (hình 10.9). Phương pháp này gọi là phương pháp nội suy tuyến tính.



Hình 10.9 Phương pháp nội suy tuyến tính

Thuật toán để lựa chọn đoạn tuyến tính hoá được thực hiện như sau:

- Ở giá trị ξ_0 của đại lượng đo, đường cong $x(\xi)$ cho ta giá trị x_0 .
- x_0 được nhớ vào RAM của μP .

- Ở giá trị ξ_1 ta có x_1 .
- x_1 được nhớ vào RAM của μP .
- Ở giá trị ξ_2 ta có x_2 .
- x_2 được nhớ vào RAM của μP .
- Tính tỉ số các gia số bậc một của đa thức nội suy Lagrange $x_1^*(\xi)$ đi qua hai điểm x_0 và x_1 :

$$\nabla(\xi_2, \xi_0) = \frac{x_2 - x_0}{\xi_2 - \xi_0}$$

- Tính giá trị của đa thức nội suy ở điểm ξ_1 :

$$x_1^*(\xi_1) = x_0 + \nabla(\xi_2, \xi_0)(\xi_1 - \xi_0)$$

- Tính độ sai lệch ở điểm ξ_1 :

$$\varepsilon_1(\xi_1) = |x_1 - x_1^*(\xi_1)|$$

- So sánh $\varepsilon_1(\xi_1)$ với sai số đã cho ε_0 : nếu $\varepsilon_1(\xi_1) < \varepsilon_0$ thì giá trị tính hiệu không được chấp nhận.

- Ở giá trị ξ_3 ta có x_3 .
- Nhớ x_3 vào RAM của μP .
- Tính tỉ số các gia số bậc một của đa thức nội suy Lagrange $x_2^*(\xi)$:

$$\nabla(\xi_3, \xi_0) = \frac{x_3 - x_0}{\xi_3 - \xi_0}$$

- Tính giá trị của đa thức nội suy ở điểm ξ_1, ξ_2 :

$$x_2^*(\xi_1) = x_0 + \nabla(\xi_3, \xi_0)(\xi_1 - \xi_0)$$

$$x_2^*(\xi_2) = x_0 + \nabla(\xi_3, \xi_0)(\xi_2 - \xi_0)$$

- Tính độ sai lệch của phép nội suy ở điểm ξ_1, ξ_2 :

$$\varepsilon_2(\xi_1) = |x_1 - x_2^*(\xi_1)|$$

$$\varepsilon_2(\xi_2) = |x_2 - x_2^*(\xi_2)|$$

- So sánh $\varepsilon_2(\xi_1)$ và $\varepsilon_2(\xi_2)$ với ε_0 : nếu $\varepsilon_2(\xi_1) < \varepsilon_0$ và $\varepsilon_2(\xi_2) < \varepsilon_0$ thì giá trị tính hiệu không được chấp nhận.

- Ở điểm ξ_k ta có x_k mà đa thức nội suy sẽ là:

$$x_{k-1}^*(\xi) = x_0 + \nabla(\xi_k, \xi_0)(\xi - \xi_0)$$

Với

$$\nabla(\xi_k, \xi_0) = \frac{x_k - x_0}{\xi_k - \xi_0}$$

Mà ta có:

$$\varepsilon_{k-1}(\xi_j) = |x_j - x_k^*(\xi_j)| \geq \varepsilon_0$$

Với j là một điểm nào đó nằm trong khoảng 0 đến k .

- Khoảng nội suy khi đó sẽ bằng:

$$\Delta \nabla \xi_k = \xi_k - \xi_0$$

Và giá trị x_k sẽ được chấp nhận như là điểm cuối của đoạn thẳng của đường xấp xỉ hoá từng đoạn.

- Với phép nội suy tuyến tính quá trình hồi phục sẽ được tiến hành theo cách nối liền các điểm bằng đoạn thẳng:

$$x^*(\xi) = x_0 + \frac{x_k - x_0}{\xi_k - \xi_0}(\xi - \xi_0)$$

Đoạn thẳng tiếp theo sẽ đi qua điểm x_k .

Tổng quát ta có đoạn thẳng thứ i của đường gấp khúc có dạng:

$$x_i^*(\xi) = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{\xi_{i+1} - \xi_i}(\xi - \xi_i) \quad (10.3)$$

để hồi phục giá trị đo ta chỉ việc tính $x_i^*(\xi)$ theo đối số ξ là các đại lượng đo được từ cảm biến. Các giá trị tính được theo đường nội suy tuyến tính luôn đảm bảo sai số cho phép là ε_0 .

10.4.3. Gia công kết quả đo

Khi tính toán sai số ngẫu nhiên, người ta thường sử dụng các đặc tính của chúng, đó là kỳ vọng toán học và độ lệch bình quân phương. Các đặc trưng thống kê này đủ để đánh giá sai số của kết quả đo. Việc tính các đặc tính số này là nội dung cơ bản trong quá trình gia công kết quả đo.

Để tính kỳ vọng toán học và độ lệch bình quân phương ta phải có số lượng phép đo rất lớn. Tuy nhiên trong thực tế số lượng các phép đo n là có hạn, vì thế ta chỉ tìm được ước lượng của kỳ vọng toán học và độ lệch bình quân phương mà thôi. Thường các ước lượng này đối với các đại lượng đo vật lý có các tính chất cơ bản là các ước lượng có căn cứ, không chệch và có hiệu quả.

Nếu gọi ξ^* là ước lượng của đặc tính thống kê ξ thì:

- Nếu ta tăng số lượng N các giá trị đo và nếu với $\varepsilon > 0$ mà ta có:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P\left[\left|\xi^* - \xi\right| \geq \varepsilon\right] = 0 \quad (10.4)$$

thì ước lượng ξ^* được gọi là ước lượng có căn cứ.

- Nếu lấy trung bình ước lượng mà ta có:

$$M[\xi^*] = \xi \quad (10.5)$$

thì ước lượng ξ^* được gọi là ước lượng không chệch.

- Nếu trung bình bình phương độ sai lệch (phương sai) của một ước lượng đã cho ξ_i^* nào đó không lớn hơn trung bình bình phương độ sai lệch ξ_i^* của bất kỳ ước lượng thứ i nào:

$$M\left[(\xi_i^* - \xi)^2\right] > M\left[(\xi_1^* - \xi)^2\right] \quad (10.6)$$

thì ước lượng đó được gọi là ước lượng có hiệu quả.

Ví dụ: Kỳ vọng toán học của các giá trị một điểm đo X có ước lượng là m_x^* , ta có:

$$\begin{aligned} M[m_x^*] &= M\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i\right] = \frac{1}{N} M\left[\sum_{i=1}^N X_i\right] \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M[X_i] = \frac{1}{N} \cdot N \cdot m_x = m_x \end{aligned} \quad (10.7)$$

Như vậy ước lượng kỳ vọng toán học m_x^* là ước lượng không chệch.

Tương tự ta có thể chứng minh được rằng:

$$M[D_x^*] = D_x = \sigma_x^2 \quad (10.8)$$

tức là ước lượng của phương sai D_x^* của các giá trị điểm đo X là một ước lượng không chệch.

Giả sử ta tiến hành n phép đo cùng một giá trị X. Giá trị đáng tin nhất đại diện cho đại lượng đo X là giá trị trung bình đại số của dãy các phép đo như nhau \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i + \dots + x_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10.9)$$

Trong đó:

x_1, x_2, \dots, x_n - kết quả của các phép đo riêng biệt.

n - số các phép đo.

Ước lượng kỳ vọng toán học của m_x^* của đại lượng đo sẽ bằng \bar{X} .

Nếu không có sai số hệ thống thì \bar{X} sẽ là giá trị thực của đại lượng đo. Tất cả các giá trị đo sẽ phân tán xung quanh giá trị \bar{X} này.

Độ lệch kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình (theo giá trị số và dấu) được xác định từ biểu thức:

$$x_i - \bar{X} = v_i \quad (10.10)$$

Với v_i là sai số dư.

Sai số dư có các tính chất sau đây:

- Tổng các sai số dư bằng 0.

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0$$

- Tổng của bình phương của chúng có giá trị nhỏ nhất:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \text{Min} \quad (10.11)$$

Những tính chất này được sử dụng khi gia công kết quả đo để kiểm tra độ chính xác của việc tính \bar{X} .

Theo tổng bình phương của tất cả các sai số dư người ta xác định ước lượng độ lệch bình quân phương σ^* , tiêu biểu cho mức độ ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên đến kết quả đo.

Theo lý thuyết xác suất việc tính σ^* được thực hiện theo công thức Besel:

$$\sigma^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n-1)} \quad (10.12)$$

Ước lượng này là không chệch, có căn cứ và có hiệu quả.

Việc chia tổng bình phương sai số dư cho $(n-1)$ thay cho n có thể chấp nhận được vì kết quả gần bằng nhau và n càng lớn thì sự sai lệch càng nhỏ. Ước lượng độ lệch bình quân phương σ^* đặc trưng cho độ chính xác của một dãy phép đo và được xác định bởi một tập các điều kiện đo (các đặc tính kỹ thuật của dụng cụ đo, các đặc điểm của người làm thí nghiệm, các yếu tố bên ngoài ảnh hưởng đến phép đo). Ước lượng σ^* đặc trưng cho độ phân tán của kết quả đo xung quanh giá trị trung bình đại số của nó.

Vì giá trị trung bình đại số còn có một sai số ngẫu nhiên nào đó, nên ta đưa ra khái niệm ước lượng độ lệch bình phương của giá trị trung bình đại số:

$$\sigma_{\bar{X}}^* = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n(n-1))} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}}{n(n-1))} = \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}} \quad (10.13)$$

Ước lượng này đặc trưng cho sai số đó của kết quả đo.

Ước lượng đã khảo sát trên đây được gọi là ước lượng điểm bao gồm: $X_0 = \bar{X}$, $\sigma_{\bar{X}}^*$, n .

Ước lượng điểm của sai số phép đo không hoàn chỉnh bởi vì $\sigma_{\bar{X}}^*$ chỉ thể hiện khoảng mà giá trị thực có thể nằm trong khoảng đó nhưng lại không nói gì về xác suất rơi của X_0 vào khoảng đó. Ước lượng điểm chỉ cho phép đưa ra một vài kết luận nào đó về độ chính xác của các phép đo mà thôi.

Dưới đây ta khảo sát một khái niệm ước lượng khác là ước lượng khoảng. Đó là khoảng đáng tin mà trong giới hạn đó với một xác suất nhất định ta tìm thấy giá trị thực X_0 .

Cho trước giá trị xác suất đáng tin P với đại lượng ngẫu nhiên có phân bố chuẩn và số lượng phép đo là vô hạn $n \rightarrow \infty$, thì theo bảng 10.1 ta tìm được hệ số k và như vậy tìm được khoảng đáng tin $\Delta_{1,2} = k\sigma^*$.

Khi số lượng các phép đo có hạn ($n \geq 20$) khoảng tin cậy đó có thể tính gần đúng theo biểu thức:

$$\Delta_{1,2} = k\sigma_{\bar{X}}^* \quad (10.14)$$

Trong thực tế ta không thể tiến hành nhiều phép đo được, thường chỉ hạn chế trong $2 \leq n \leq 20$, khi đó khoảng tin cậy được tính theo biểu thức sau:

$$\Delta_{1,2} = h_{st}\sigma_{\bar{X}}^* \quad (10.15)$$

Ở đây h_{st} - hệ số phân bố Student phụ thuộc vào xác suất đã cho P và số lượng phép đo n được xác định theo bảng 10.1.

Bảng 10.1

n	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,000	6,31	12,7	31,8	63,7	637
3	0,816	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
4	0,765	2,35	2,35	4,54	5,84	13,0
5	0,741	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	0,727	2,02	2,57	3,36	4,04	6,86

7	0,718	1,94	2,49	3,14	3,71	5,96
8	0,711	1,90	2,36	3,00	3,50	5,40
9	0,706	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	0,703	1,83	2,26	2,82	3,25	4,49
12	0,697	1,80	2,20	2,72	3,10	4,78
14	0,694	1,77	2,16	2,65	3,01	4,49
16	0,691	1,75	2,13	2,60	2,99	4,07
18	0,689	1,74	2,11	2,57	2,90	3,96
20	0,688	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
25	0,684	1,71	2,06	2,49	2,80	3,74
31	0,683	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
41	0,681	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
61	0,679	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
121	0,677	1,65	1,98	2,36	2,62	3,37
∞	0,674	1,64	1,96	2,33	2,58	3,29

Số liệu bảng này được tính theo công thức:

$$S(t;n) = \frac{(n/2)!}{\sqrt{\pi(n-1)} \cdot [(n-1)/2]!} \cdot \frac{1}{(1+t^2/n)^{n/2}} \quad (10.16)$$

Trong đó: $S(t;n)$ - mật độ phân bố Student.

$$t = (\bar{X} - X_0) / \sigma_x^*.$$

n - số lần đo.

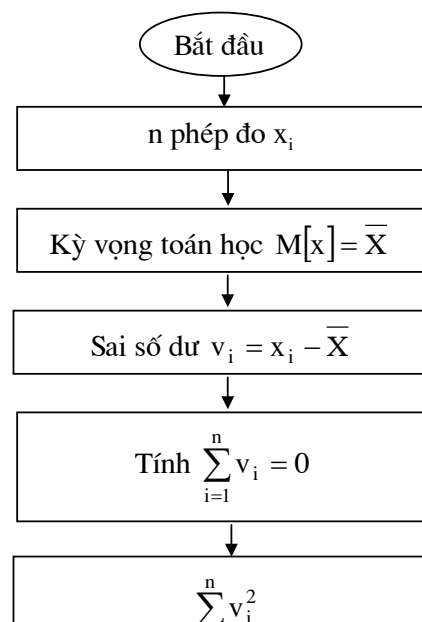
Trường hợp $n \rightarrow \infty$ (thực tế $n \geq 20$) thì phân bố Student sẽ tiến đến phân bố chuẩn, lúc đó h_{st} có thể thay thế bằng hệ số k như biểu thức 10.14.

Như vậy kết quả đo với ước lượng khoảng, nhờ có phân bố Student có thể viết dưới dạng:

$$(\bar{X} - \Delta'_{1,2}) < X_0 < (\bar{X} + \Delta'_{1,2}) \quad (10.17)$$

Từ (10.17) ta thấy rằng xác suất của độ lệch trung bình đại số so với giá trị thực của đại lượng đo không vượt quá $\Delta'_{1,2}$.

Khi thực hiện gia công kết quả đo người ta còn xác định khái niệm sai số bình quân phương tương đối



10.4.4. Sai số của kết quả các phép đo gián tiếp

Khi tính toán các sai số ngẫu nhiên của phép đo gián tiếp cần phải nhớ rằng đại lượng cần đo Y có quan hệ hàm với một hay nhiều đại lượng đo trực tiếp X_1, X_2, \dots, X_n , tức là:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (10.20)$$

Vì thế mà sai số tuyệt đối của kết quả đo gián tiếp như sau:

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 \Delta X_1^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 \Delta X_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2 \Delta X_n^2} \quad (10.21)$$

và sai số tương đối của kết quả đo sẽ là:

$$\begin{aligned} \gamma_Y = \frac{\Delta Y}{Y} &= \sqrt{\left(\frac{\partial X_1}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\Delta X_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_2}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\Delta X_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial X_n}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\Delta X_n}\right)^2} \\ &= \sqrt{\gamma_{X_1}^2 + \gamma_{X_2}^2 + \dots + \gamma_{X_n}^2} \end{aligned} \quad (10.22)$$

Trong đó $\gamma_{X_1}, \gamma_{X_2}, \dots, \gamma_{X_n}$ - là sai số tương đối của các đại lượng đo trực tiếp X_1, X_2, \dots, X_n .

Nếu các kết quả đo trực tiếp X_i được xác định với sai số bình quân phương σ_{X_n} , thì:

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 \sigma_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2 \sigma_{X_n}^2} \quad (10.23)$$

Ở đây $\left(\frac{\partial Y}{\partial X_i}\right) \sigma_{X_i}$ là sai số riêng của phép đo gián tiếp thứ i.

Ở bảng 10.2 trình bày biểu thức tính sai số tuyệt đối và sai số tương đối của một số hàm Y thường gặp nhất trong các phép đo gián tiếp.

Bảng 10.2

Hàm Y	Sai số tuyệt đối ΔY	Sai số tương đối $\gamma_Y = \frac{\Delta Y}{Y}$
$X_1 + X_2$	$\pm \sqrt{(\Delta X_1)^2 + (\Delta X_2)^2}$	$\pm \sqrt{[(\Delta X_1)^2 + (\Delta X_2)^2] / (X_1 + X_2)^2}$
$X_1 \cdot X_2$	$\pm \sqrt{X_1^2 (\Delta X_2)^2 + X_2^2 (\Delta X_1)^2}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2}$
$\frac{X_1}{X_2}$	$\pm \sqrt{[X_1^2 (\Delta X_1)^2 + X_2^2 (\Delta X_2)^2] X_2^4}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2}$
X^n	$\pm n X_{n-1} \Delta X$	$\pm n (\Delta X / X)$

10.4.5. Bù sai số

a) Bù sai số cộng tính

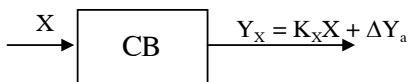
Trong cảm biến có sai số cộng tính, ta có:

$$Y_X = K_X X + \Delta Y_a \quad (10.24)$$

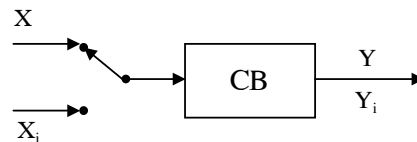
Với $K_X = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$.

Giá trị ΔY_a không thay đổi theo X là sai số cộng tính. (hình 10.11).

Loại trừ sai số loại này bằng một bộ trừ (hình 10.12).



Hình 10.11 Sơ đồ nguyên lý cảm biến có sai số cộng tính



Hình 10.12 Loại trừ sai số cộng tính

Ta có:

$$Y_i = K_i X_i + \Delta Y_a \quad (10.25)$$

Thực hiện phép trừ theo vế (10.24) và (10.25) và biến đổi ta có:

$$X - X_i = (Y_X - Y_i) \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) \quad (10.26)$$

Bằng cách này ta đã loại trừ được sai số cộng tính ΔY_a .

b) Bù sai số nhân tính

Trong cảm biến có sai số nhân tính, ta có:

$$Y_X = XK_X(1 - \gamma_k) \quad (10.27)$$

Trong đó γ_k là sai số nhân tính.

Muốn bù sai số nhân tính ta dùng

Nếu đại lượng vào là X_0 , ta có:

$$Y_0 = X_0 K_0 (1 - \gamma_k) \quad (10.28)$$

Thực hiện phép chia theo vế (10.27) và (10.28) ta có:

$$\frac{Y_X}{Y_0} = \frac{X}{X_0} \frac{K_X(1 - \gamma_k)}{K_0(1 - \gamma_k)} = \frac{X}{X_0} \frac{K_X}{K_0}$$

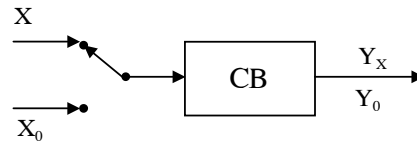
Nhận được
$$X = \frac{Y}{Y_0} \frac{K_0}{K_X} X_0$$

(10.29)

c) Bù sai số do các yếu tố ảnh hưởng

Một trong những sai số khó loại trừ nhất trong các cảm biến là sai số do các yếu tố ảnh hưởng (hay các yếu tố không mang thông tin). Khi nghiên cứu các cảm biến, người ta cũng đưa vào các biện pháp để loại trừ những yếu tố đơn nhưng trong nhiều cảm biến ảnh hưởng này rất khó loại trừ. Không những thế ở các cảm biến khác nhau cùng một công nghệ chế tạo, ảnh hưởng này cũng khác nhau, vì thế trong các cảm biến thông minh người ta thường bù ảnh hưởng của các yếu tố không mang thông tin ngay trên cảm biến sử dụng. Từ phương trình biến đổi của cảm biến ta có thể viết sai số:

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial F}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial F}{\partial b} \Delta b + \dots \quad (10.30)$$



Hình 10.12 Loại trừ sai số nhân tính

Trong đó $\frac{\partial F}{\partial a} \Delta a$ là ảnh hưởng của yếu tố a đến kết quả đo Y . Nhờ khả năng xử lý của máy tính ta có thể sai phân hoá và nội suy tuyến tính.

Bằng thực nghiệm ta lập ra bảng yếu tố ảnh hưởng (bảng 10.3).

Bảng 10.3

A \ X	X_1	X_2		X_j	X_n
A_1	Δ_{11}	Δ_{12}	...	Δ_{1j}	Δ_{1n}
A_2	Δ_{21}	Δ_{22}	...	Δ_{2j}	Δ_{2n}
			...		
A_i	Δ_{i1}	Δ_{i2}	...	Δ_{ij}	Δ_{in}
A_m	Δ_{m1}	Δ_{m2}	Δ_{mj}	Δ_{mn}

Từ giá trị A_i nhận được do một cảm biến đo phụ và giá trị của đại lượng đo X_j , tra bảng nhận được giá trị Δ_{ij} , sau đó nội suy ra giá trị phải bù để loại trừ sai số do ảnh hưởng của yếu tố A .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Văn Doanh, Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Văn Hoà, Võ Thạch Sơn, Đào Văn Tân. *Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường & điều khiển*. NXB Khoa học và Kỹ thuật - 2001.
2. Phan Quang Phô, Nguyễn Đức Chiến. *Giáo trình Cảm biến*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - 2000.
3. Tạ Duy Liêm. *Hệ thống điều khiển số cho máy công cụ*. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - 1998.
4. Đỗ Xuân Thụ (chủ biên). *Kỹ thuật điện tử*. Nhà xuất bản Giáo dục - 2002.
5. S.C. Jomathon Lin. *Computer Numerical Control*. Pelmar Publishers Inc.

LỜI MỞ ĐẦU

3

CHƯƠNG I. CÁC KHÁI NIỆM VÀ ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN

1.1. Khái niệm và phân loại cảm biến

5

1.1.1. Khái niệm về cảm biến

5

1.1.2. Phân loại cảm biến

5

1.2. Đường cong chuẩn

7

1.2.1. Khái niệm

7

1.2.2. Phương pháp chuẩn cảm biến

8

1.3. Các đặc trưng cơ bản

9

1.3.1. Độ nhạy

9

1.3.2. Độ tuyến tính

11

1.3.3. Sai số và độ chính xác

12

1.3.4. Độ nhanh và thời gian hồi đáp

13

1.3.5. Giới hạn sử dụng của cảm biến

14

1.4. Nguyên lý chế tạo cảm biến

15

1.4.1. Nguyên lý chế tạo cảm biến tích cực

15

1.4.2. Nguyên lý chế tạo cảm biến thụ động

19

1.5. Mạch đo

20

1.5.1. Sơ đồ mạch đo

20

1.5.2. Một số phần tử cơ bản của mạch đo

21

Chương II. Cảm biến quang

2.1. Tính chất và đơn vị đo ánh sáng

24

2.1.1. Tính chất ánh sáng

24

2.1.2. Các đơn vị đo quang

25

2.2. Cảm biến quang dẫn

26

2.2.1. Hiệu ứng quang dẫn

26

2.2.2. Tế bào quang dẫn

29

2.2.3. Photodiot

33

2.2.4. Phototranzito

40

2.2.5. Phototranzito hiệu ứng trường

43

2.3. Cảm biến quang điện phát xạ

44

2.3.1. Hiệu ứng quang điện pháp xạ

44

2.3.2. Tế bào quang điện chân không

45

2.3.3. Tế bào quang điện dạng khí

46

2.3.4. Thiết bị nhân quang

46

Chương III. Cảm biến đo nhiệt độ

3.1. Khái niệm cơ bản

48

3.1.1. Nhiệt độ và thang đo nhiệt độ

48

3.1.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo

49

3.1.3. Phân loại cảm biến đo nhiệt độ

50

3.2. Nhiệt kế giãn nở

51

3.2.1. Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn

51

3.2.2. Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng

51

3.3. Nhiệt kế điện trở

52

3.3.1. Nguyên lý chung

52

3.3.2. Nhiệt kế điện trở kim loại

53

3.3.3. Nhiệt kế điện trở silic

56

3.3.4. Nhiệt kế điện trở oxyt bán dẫn

56

3.4. Cảm biến nhiệt ngẫu

57

3.4.1. Hiệu ứng nhiệt điện

57

3.4.2. Cấu tạo cặp nhiệt

59

3.4.3. Mạch đo và dụng cụ thứ cấp

62

3.5. Hoả kế

67

3.5.1. Hoả kế bức xạ toààn phần

67

3.5.2. Hoả kế quang điện

68

Chương IV. Cảm biến đo vị trí và dịch chuyển

4.1. Nguyên lý đo vị trí và dịch chuyển

71

4.2. Điện thế kế điện trở

71

4.2.1. Điện thế kế điện trở dùng con chạy cơ học

71

4.2.2. Điện thế kế điện trở không dùng con chạy cơ học

73

4.3. Cảm biến điện cảm

75

4.3.1. Cảm biến tự cảm

75

4.3.2. Cảm biến hồ cảm

78

4.4. Cảm biến điện dung

81

4.4.1. Cảm biến tụ đơn

81

4.4.2. Cảm biến tụ kép vi sai

83

4.4.3. Mạch đo

84

4.5. Cảm biến quang

84

4.5.1.	Cảm biến quang phản xạ	84
4.5.2.	Cảm biến quang soi thấu	85
4.6.	Cảm biến đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi	86
4.6.1.	Nguyên lý đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi	86
4.6.2.	Cảm biến sử dụng phân tử áp điện	87
4.6.3.	Cảm biến âm từ	88

CHƯƠNG V. CẢM BIẾN ĐO BIẾN DẠNG

5.1.	Biến dạng và phương pháp đo	90
5.1.1.	Định nghĩa một số đại lượng cơ học	90
5.1.2.	Phương pháp đo biến dạng	91
5.2.	Đầu đo điện trở kim loại	91
5.2.1.	Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	91
5.2.2.	Các đặc trưng chủ yếu	93
5.3.	Cảm biến áp trở silic	94
5.3.1.	Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	94
5.3.2.	Các đặc trưng chủ yếu	95
5.4.	Đầu đo trong chế độ động	96

5.4.1.	Tần số sử dụng	tối đa
	96	
5.4.2.	Giới hạn mỗi	
	97	
5.5.	Ứng suất kể dây rung	
	97	

CHƯƠNG VI. CẢM BIẾN ĐO LỰC

6.1.	Nguyên lý đo lực	
	99	
6.2.	Cảm biến áp điện	
	100	
6.2.1.	Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	
	100	
6.2.2.	Cảm biến thạch anh kiểu vòng đệm	
	101	
6.2.3.	Cảm biến thạch anh nhiều thành phần	
	102	
6.2.4.	Sơ đồ mạch đo	
	102	
6.3.	Cảm biến từ giảo	
	104	
6.3.1.	Hiệu ứng từ giảo	
	104	
6.3.2.	Cảm biến từ thẩm biến thiên	
	105	
6.3.3.	Cảm biến từ dư biến thiên	
	106	
6.4.	Cảm biến dựa trên phép đo dịch chuyển	
	106	
6.5.	Cảm biến xúc giác	
	107	

CHƯƠNG VII. CẢM BIẾN ĐO VẬN TỐC, GIA TỐC VÀ RUNG

- 7.1. Cảm biến đo vận tốc
 - 108
 - 7.1.1. Nguyên lý đo vận tốc
 - 108
 - 7.1.2. Tốc độ kế điện từ
 - 108
 - 7.1.3. Tốc độ kế xung
 - 113
 - 7.1.4. Máy đo góc tuyệt đối
 - 115
 - 7.1.5. Đổi hướng kế
 - 116
- 7.2. Cảm biến đo rung và gia tốc
 - 118
 - 7.2.1. Khái niệm cơ bản
 - 118
 - 7.2.2. Cảm biến đo tốc độ rung
 - 121
 - 7.2.3. Gia tốc kế áp điện
 - 122
 - 7.2.4. Gia tốc kế áp trở
 - 123

CHƯƠNG VIII. CẢM BIẾN ĐO ÁP SUẤT CHẤT LỎU

- 8.1. Áp suất và nguyên lý đo áp suất
 - 126
 - 8.1.1. Áp suất và đơn vị đo
 - 126

8.1.2. Nguyên lý đo áp suất	127
8.2. Áp kế vi sai dựa trên nguyên tắc cân bằng thủy tĩnh	128
8.2.1. Áp kế vi sai kiểu phao	128
8.2.2. Áp kế vi sai kiểu chuông	129
8.3. Cảm biến áp suất dựa trên phép đo biến dạng	130
8.3.1. Phần tử biến dạng	131
8.3.2. Các bộ chuyển đổi điện	135

CHƯƠNG IX. CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG VÀ MỨC CHẤT LƯU

9.1. Cảm biến đo lưu lượng	142
9.1.1. Lưu lượng và đơn vị đo	142
9.1.2. Công tơ thể tích	142
9.1.3. Công tơ tốc độ	144
9.1.4. Lưu lượng kế màng chắn	146
9.1.5. Lưu lượng kế điện từ	149
9.2. Cảm biến đo và phát hiện mức chất lưu	150

9.2.1. Mục đích và phương pháp đo

150

9.2.2. Phương pháp thuỷ tĩnh

151

9.2.3. Phương pháp điện

152

9.2.4. Phương pháp bức xạ

153

CHƯƠNG X. CẢM BIẾN THÔNG MINH

10.1. Khái niệm về cảm biến thông minh

155

10.2. Cấu trúc của một cảm biến thông minh

156

10.3. Các khâu chức năng của cảm biến thông minh

157

10.3.1. Bộ chuyển đổi chuẩn hoá

157

10.3.2. Bộ dồn kênh MUX

159

10.3.3. Bộ chuyển đổi tương tự - số A/D

160

10.4. Các thuật toán xử lý trong cảm biến thông minh

163

10.4.1. Tự động khắc độ

163

10.4.2. Xử lý tuyến tính hoá từng đoạn

163

10.4.3. Gia công kết quả đo

166

10.4.4. Sai số của kết quả các phép đo gián tiếp

171

Tài liệu tham khảo

174

Mục lục

175

