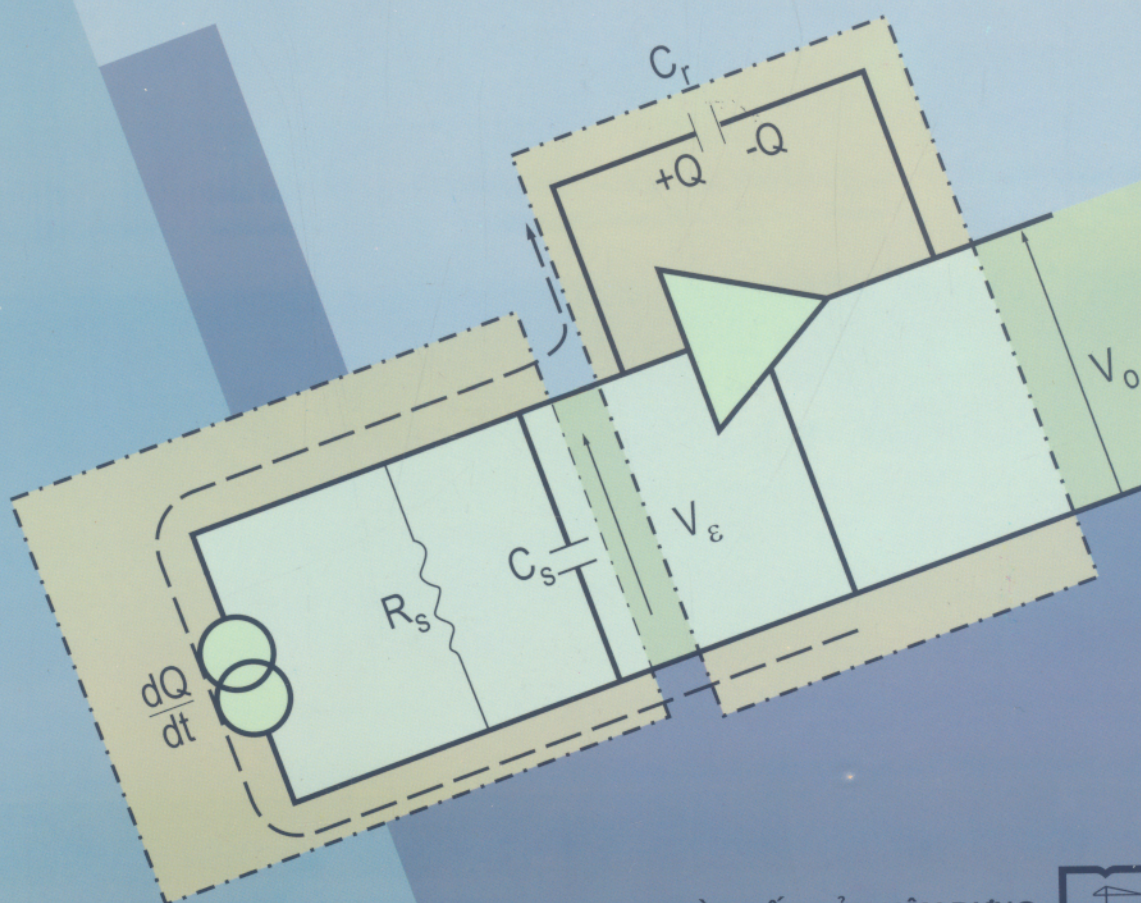


TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA ĐÀ NẴNG
HOÀNG MINH CÔNG

GIÁO TRÌNH CẢM BIẾN CÔNG NGHIỆP



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG



**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA ĐÀ NẴNG
HOÀNG MINH CÔNG**

GIÁO TRÌNH CẢM BIẾN CÔNG NGHIỆP

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2007**

LỜI MỞ ĐẦU

Cảm biến được định nghĩa như một thiết bị dùng để cảm nhận và biến đổi các đại lượng vật lý mang tính chất điện hoặc 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 12 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 1

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 và biến đổi các đại lượng vật lý cần đo thành các đại lượng đo chứa đựng thông tin cho phép xác định giá trị đại lượng cần đo.

Thông thường, các đại lượng cần đo (m) có tính chất điện hoặc không có tính chất điện (như nhiệt độ, áp suất, lực cơ học ...) 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). Đặc trưng (s) là hàm của đại lượng cần đo (m):

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

Người ta gọi (s) là đại lượng đầu ra hoặc là đáp 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

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...
Hóa học	+ Biến đổi hóa học + Biến đổi điện hóa + Phân tích phổ ...

- Phân loại theo dạng kích thích (bảng 1.2).

Bảng 1.2

Âm thanh	+ Biên pha, phân cực + Phổ + Tốc độ truyền sóng ...
Điện	+ Điện tích, dòng điện + Điện thế, điện áp + Điện trường (biên, pha, phân cực, phổ) + Điện dẫn, hằng số điện môi ...
Từ	+ Từ trường (biên, pha, phân cực, phổ) + Từ thông, cường độ từ trường + Độ từ thẩm ...
Quang	+ Biên, pha, phân cực, phổ + Hệ số phát xạ, khúc xạ + Hệ số hấp thụ, hệ số bức xạ ...
Cơ	+ 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	+ Nhiệt độ + Thông lượng + Nhiệt dung, tỉ nhiệt ...
Bức xạ	+ Kiểu + Năng lượng + Cường độ ...

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

Bảng 1.3

+ Độ nhạy + Độ chính xác + Độ phân giải + Độ chọn lọc + Độ tuyến tính + Công suất tiêu thụ + Dải tần + Độ trễ	+ Khả năng quá tải + Tốc độ đáp ứng + 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

+ 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:

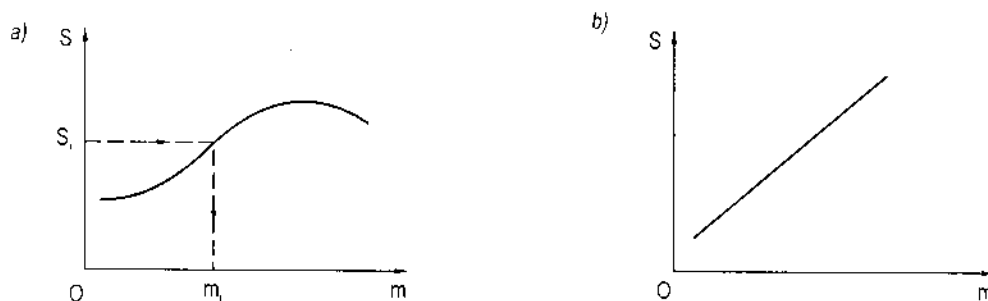
- + Cảm biến tích cực: có đầu ra là nguồn áp hoặc nguồn dòng.
- + Cảm biến thụ động: được đặc trưng bằng các thông số $R, L, C, M, \dots$ tuyến tính hoặc phi tuyến.

1.2. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA CẢM BIẾN

1.2.1. Đường cong chuẩn

a) Khái niệm

Đường cong chuẩn của cảm biến là đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của đáp ứng (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

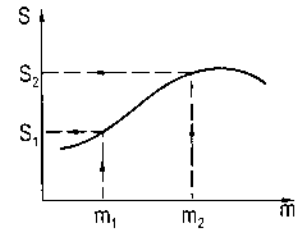
a) Dạng đường cong chuẩn b) Đường cong chuẩn của cảm biến tuyến tính

Dựa vào đường cong chuẩn của cảm biến, ta có thể xác định giá trị m_1 chưa biết của m thông qua giá trị đo được s_1 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).

b) 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

- *Chuẩn đơn giản:* Trong trường hợp đại lượng cần đo chỉ có một đại lượng vật lý duy nhất tác động lên cảm biến 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 cần 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 cần đo cho phép ta xây dựng được đường cong chuẩn của cảm biến cần chuẩn.

- *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 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 cần 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.

1.2.2. 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:

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

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:

$$S = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_{m=m_i} \quad (1.3)$$

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 cong 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:

$$r_i = \left(\frac{s}{m} \right)_{Q_i} \quad (1.4)$$

Từ (1.4), ta nhận thấy tỷ số chuyển đổi tĩnh r_i chỉ bằng độ nhạy S khi đặc trưng tĩnh là đường thẳng đi qua gốc tọa 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 - 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:

$$s(t) = s_0 + s_1 \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.6)$$

Trong đó:

s_0 - 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 - biên độ biến thiên ở đầu ra do thành phần biến thiên của đại lượng đo gây nên;

φ - 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:

$$S = \left(\frac{s_1}{m_1} \right)_{Q_0} \quad (1.7)$$

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 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.

1.2.3. Độ tuyến tính

a) Khái niệm

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:

$$s = am + b \quad (1.8)$$

Trong đó:
$$a = \frac{N \cdot \sum s_i \cdot m_i - \sum s_i \cdot \sum m_i}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} \quad (1.9)$$

$$b = \frac{\sum s_i \cdot \sum m_i^2 - \sum m_i \cdot s_i \cdot \sum m_i}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} \quad (1.10)$$

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.

1.2.4. Sai số và độ chính xác

a) Sai số

Các bộ cảm biến cũng như các dụng cụ đo lường khác, ngoài tác động của đại lượng cần đo 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.

Giả sử, khi sử dụng cảm biến để thực hiện phép đo, ta nhận được giá trị đo m, hiệu số giữa giá trị đo m và giá trị cần đo A được gọi là sai số tuyệt đối của phép đo:

$$\delta = m - A \quad (1.11)$$

Do không thể xác định được A nên không thể tính được sai số của phép đo theo công thức (1.11). Bởi vậy, sai số của phép đo chỉ có thể đánh giá một cách ước tính.

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*: Sai số hệ thống là sai số mà giá trị và quy luật đã biết trước và có thể phát hiện bằng cách kiểm tra cảm biến bằng cảm biến mẫu. Với một giá trị cho trước của đại lượng cần đo, sai số hệ thống có thể không đổi hoặc thay đổi chậm theo thời gian.

Sai số hệ thống thường có nguyên nhân do sự hiểu biết sai lệch hoặc không đầy đủ về cảm biến hay do điều kiện sử dụng không tốt, dưới đây là những nguyên nhân thường gặp của sai số hệ thống:

+ Sai số do giá trị của đại lượng chuẩn không đúng: thí dụ điểm 0 của cảm biến bị lệch, sai lệch của nhiệt độ chuẩn cấp nhiệt... Sai số dạng này có thể giảm được bằng cách kiểm tra kỹ các thiết bị phụ trợ trong mạch đo.

+ Sai số do đặc tính của cảm biến: sai số độ nhạy hoặc sai số đường cong chuẩn là nguyên nhân thường gặp của sai số hệ thống do đặc tính của cảm biến. Thí dụ đường cong chuẩn của cặp nhiệt ngẫu do nhà sản xuất cung cấp được xác định trên cơ sở chuẩn một số cặp nhiệt cùng được chế tạo một lần. Tuy nhiên, một cặp nhiệt ngẫu nào đó có đường cong chuẩn khác đôi chút so với đường cong chuẩn của các cặp nhiệt ngẫu đã được kiểm định. Trường hợp hóa già của bộ phận cảm nhận của cảm biến cũng thường kéo theo sự sai lệch khỏi đường cong chuẩn ban đầu, đặc biệt là đối với cặp nhiệt ngẫu và nhiệt điện trở. Để tránh sai số hệ thống trong các trường hợp này cần phải thường xuyên chuẩn lại cảm biến;

+ Sai số do điều kiện và chế độ sử dụng: tốc độ hồi đáp của cảm biến và các dụng cụ thứ cấp trong mạch đo thường có hạn, bởi vậy tất cả các phép đo tiến hành trước khi chế độ hoạt động bình thường của cảm biến được thiết lập đều gây ra sai số. Thí dụ một cảm biến đo nhiệt độ có tốc độ hồi đáp rất khác nhau phụ thuộc vào việc nó được đặt trong chất lỏng đứng yên hay có dòng chảy. Trường hợp của cảm biến đo nhiệt độ có nhiệt dung và quán tính nhiệt lớn được đặt vào môi trường đo có thể tích nhỏ làm thay đổi nhiệt độ môi trường đo cũng gây ra sai số.

+ Sai số do xử lý kết quả sai: sai số dạng này thường gặp phải do sự nhận xét, đánh giá không đúng khi tiến hành hiệu chỉnh kết quả đo chứa những điểm có độ lệch lớn để nhận được giá trị chính xác hơn. Sau đây là một số trường hợp thường gặp:

Trường hợp đo giả thiết sai dẫn đến xử lý sai kết quả đo, chẳng hạn khi kết quả đo lệch khỏi độ tuyến tính trong phép đo do sử dụng cảm biến đo giả thiết là tuyến tính;

Trường hợp khi đo nhiệt độ, nhiệt độ đo được của cảm biến và nhiệt độ môi trường cần đo khác nhau gây ra bởi sự dẫn nhiệt của vỏ cảm biến hoặc dây dẫn, do đó không đánh giá đúng lượng nhiệt tổn thất dẫn đến xử lý sai kết quả đo.

- *Sai số ngẫu nhiên*: Sai số ngẫu nhiên của phép đo là sai số mà giá trị và quy luật của nó chưa biết trước. Sự xuất hiện của sai số ngẫu nhiên cũng như dấu và biên độ của nó mang tính không xác định. Dưới đây là một số nguyên nhân gây ra sai số ngẫu nhiên:

+ Sai số do tính không xác định của đặc trưng của cảm biến, chẳng hạn do độ linh động của cảm biến. Sai số do độ linh động bằng độ biến thiên lớn nhất của đại lượng đo để gây nên sự thay đổi có thể nhận biết được của đại lượng đầu ra của cảm biến;

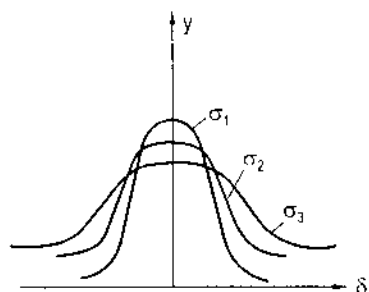
+ Sai số do tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên: do sự rung động, sự thăng giáng của nhiệt độ môi trường, sự không ổn định của nguồn điện áp nuôi ... tác động một cách ngẫu nhiên làm cho kết quả đo bị sai lệch;

+ Sai số do sự thay đổi của các đại lượng ảnh hưởng: khi đo, cảm biến thường không chỉ chịu tác động của đại lượng đo mà ít nhiều còn chịu tác động của các đại lượng ảnh hưởng mà mức độ ảnh hưởng của chúng không được tính đến khi chuẩn cảm biến. Thí dụ một cảm biến được chuẩn trong điều kiện nhiệt độ 20°C thì mọi sự thay đổi nhiệt độ chuẩn trên dưới 20°C đều kéo theo sự thay đổi kết quả đo.

Đối với sai số ngẫu nhiên, bằng phương pháp xử lý thống kê có thể xác định được giá trị xác suất của đại lượng đo và giới hạn của sai số. Các sai số ngẫu nhiên tác động lên các lần đo một cách hoàn toàn không phụ thuộc nhau. Bởi vậy xác suất xuất hiện các kết quả đo sẽ tuân theo định luật phân bố Gaus (hình 1.3).

Khi đó, mật độ xác suất y của sai số có giá trị δ xác định bởi công thức:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}\right]$$



Hình 1.3. Quy luật phân bố chuẩn của sai số ngẫu nhiên

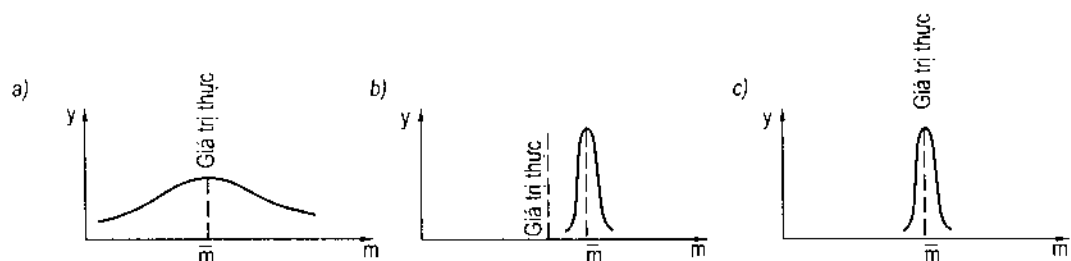
Trong đó: σ là sai số bình phương trung bình, xác định theo công thức:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}}$$

b) Độ chính xác

Độ chính xác của cảm biến là một đặc trưng quan trọng trong việc đánh giá chất lượng của cảm biến, nếu độ chính xác của cảm biến càng cao thì sai số khi đo càng nhỏ. Căn cứ vào các đặc trưng của sai số khi đo như tính trung thực, tính đúng đắn người ta đánh giá độ chính xác của cảm biến.

Cảm biến có tính đúng đắn cao là cảm biến có sai số hệ thống nhỏ, giá trị xác suất thường gặp của đại lượng đo gần với giá trị thực (hình 1.4a).



Hình 1.4. Phân loại cảm biến theo độ chính xác

a) Cảm biến có tính đúng đắn cao; b) Cảm biến có tính trung thực cao;

c) Cảm biến có độ chính xác cao

Cảm biến có tính trung thực là cảm biến có sai số ngẫu nhiên nhỏ, thể hiện kết quả các lần đo tập trung xung quanh giá trị trung bình $\bar{m}$ (hình 1.4b).

Cảm biến có độ chính xác cao là cảm biến cho kết quả đo đơn lẻ gần với giá trị thực của đại lượng đo. Cảm biến có độ chính xác cao đồng thời cũng là cảm biến có tính trung thực và tính đúng đắn cao (hình 1.4c).

Trong thực tế, để đánh giá độ chính xác của cảm biến người ta dùng khái niệm cấp chính xác của cảm biến. Giả sử trị số thực của đại lượng cần đo là m , kết quả đo lần thứ i là m_i , thang đo của cảm biến có giới hạn là M thì sai số quy dẫn của cảm biến là:

$$\chi = \frac{m_i - m}{M} \cdot 100 [\%]$$

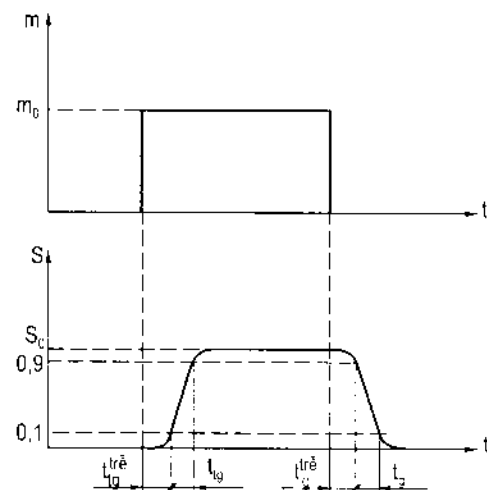
Cấp chính xác của cảm biến là sai số quy dẫn cực đại cho phép. Trong công nghiệp phổ biến là các cảm biến có cấp chính xác 0,5; 1; 1,5.

1.2.5. 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.

Thời gian hồi đáp t_h xác định bởi khoảng thời gian cần thiết phải chờ đợi sau khi có sự biến thiên của đại lượng cần 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 cần đo có dạng bậc thang, các thông số thời gian gồm thời gian trễ khi tăng ($t_{lg}^{\text{trễ}}$) và thời gian tăng (t_{lg}) ứng với sự tăng đột ngột của đại lượng cần đo hoặc thời gian trễ khi giảm ($t_{lg}^{\text{trễ}}$) và thời gian giảm (t_{lg}) ứng với sự giảm đột ngột của đại lượng cần đo. Khoảng thời gian trễ khi tăng ($t_{lg}^{\text{trễ}}$) 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_{lg} là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra tăng từ 10% đến 90% biến thiên tổng cộng của nó.



Hình 1.5. Xác định khoảng thời gian đặc trưng cho chế độ quá độ

Tương tự, khi đại lượng đo giảm, thời gian trễ khi giảm ($t_g^{tr\grave{e}}$) là 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_g là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra giảm từ 10% đến 90% biến thiên tổng cộng của nó.

Các thông số về thời gian ($t_{lg}^{tr\grave{e}}$), t_{lg} , ($t_g^{tr\grave{e}}$), t_g của cảm biến cho phép ta đánh giá về thời gian hồi đáp của nó.

1.2.6. 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.

1.3. 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.

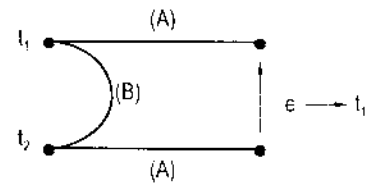
1.3.1. Nguyên lý chế tạo các cảm biến tích cực

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 (A) và (B) có bản chất hoá học khác nhau được hàn lại với nhau thành một mạch kín, nếu nhiệt độ ở hai mối hàn là t_1 và t_2 khác nhau, khi đó trong mạch xuất hiện một sức điện động $e(t_1, t_2)$ mà độ lớn của nó phụ thuộc chênh lệch nhiệt độ giữa t_1 và t_2 .

Hiệu ứng nhiệt điện được ứng dụng để đo nhiệt độ t_1 khi biết trước nhiệt độ t_2 , thường chọn $t_2 = 0^\circ\text{C}$.



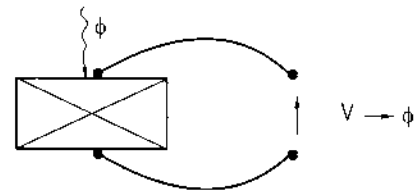
Hình 1.6. Sơ đồ hiệu ứng nhiệt điện

b) Hiệu ứng huả điện

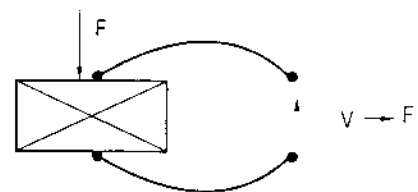
Một số tinh thể gọi là tinh thể huả điện (ví dụ tinh thể sulfatetriglycine) có tính phân cực điện tự phát với độ phân cực phụ thuộc vào nhiệt độ, làm xuất hiện trên các mặt đối diện của chúng những điện tích trái dấu. Độ lớn của điện áp giữa hai mặt phụ thuộc vào độ phân cực của tinh thể huả điện.

Hiệu ứng huả điện được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi ta chiếu một chùm ánh sáng vào tinh thể huả 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 .



Hình 1.7. Ứng dụng hiệu ứng huả điện



Hình 1.8. Ứng dụng hiệu ứng áp điện

c) Hiệu ứng áp điện

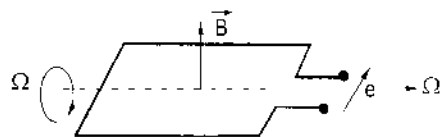
Một số vật liệu gọi chung là vật liệu áp điện (như thạch anh chẳng hạn) khi bị biến dạng dưới tác động của lực cơ học, trên các mặt đối diện của tấm vật liệu xuất hiện những

lượng điện tích bằng nhau nhưng trái dấu, hiện tượng trên được gọi là hiệu ứng áp điện. Đo V ta có thể xác định được cường độ của lực tác dụng F .

d) Hiệu ứng cảm ứng điện từ

Khi một dây dẫn chuyển động trong từ trường không đổi, trong dây dẫn xuất hiện một sức 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 sức điện động tỷ lệ với tốc độ biến thiên của từ thông qua khung dây.

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

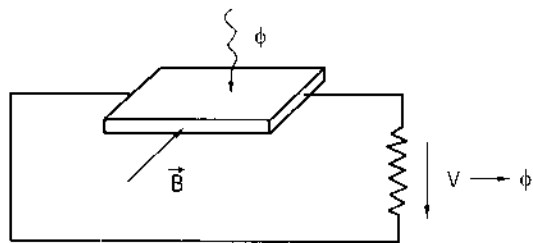


Hình 1.9. Ứng dụng hiệu ứng cảm ứng điện từ

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 thích hợp.

Hiệu ứng quang điện phát xạ (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 khi chiếu vào chúng một bức xạ ánh sáng có bước sóng thích hợp.



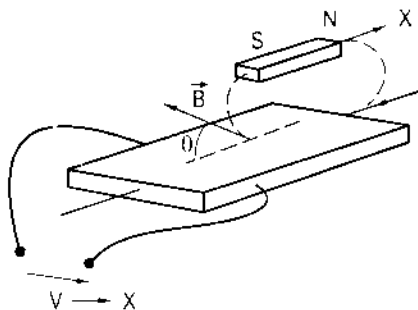
Hình 1.10. Ứng dụng hiệu ứng quang - điện - từ

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.

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 .



Hình 1.11. Ứng dụng hiệu ứng Hall

Biểu thức hiệu điện thế có dạng:

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

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 mỗi 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.

1.3.2. 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 phần tử chuyển động hoặc phần tử biến dạng của cảm biến. Trong các cảm biến có phần tử chuyển động, mỗi vị trí của phần tử động sẽ ứng với một giá trị xác định của trở kháng, cho nên do trở kháng có thể xác định được vị trí của đối tượng. Trong cảm biến có phần tử biến dạng, sự biến dạng của phần 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 1.5 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 1.5

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

1.4. MẠCH ĐO

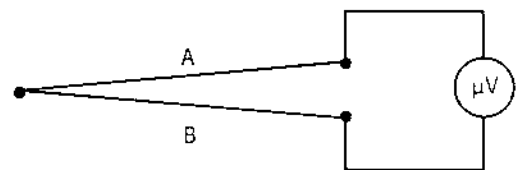
1.4.1. Sơ đồ mạch đo

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 ra tín hiệu điện mang theo thông tin về đại cần đo.

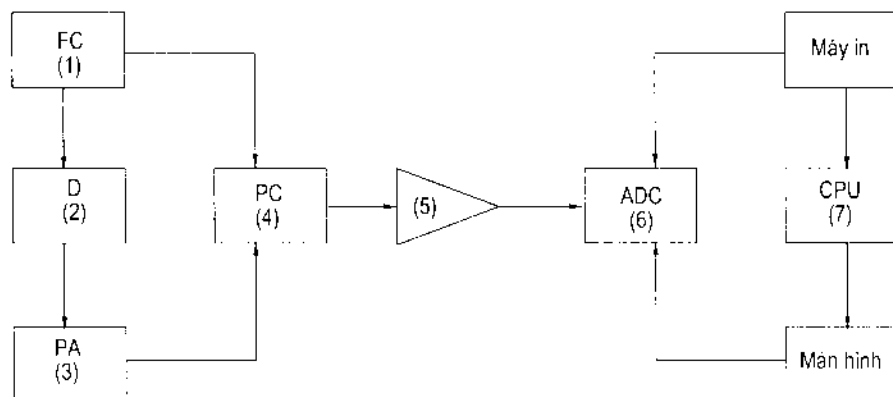
Ở đầu ra của mạch, tín hiệu điện đã qua xử lý được chuyển đổi sang dạng có thể đọc được trực tiếp giá trị cần tìm của đại lượng đo. Việc chuẩn hệ đo đảm bảo cho mỗi giá trị của chỉ thị đầu ra tương ứng với một giá trị của đại lượng cần đo tác động ở đầu vào của mạch.

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 1.12. Sơ đồ mạch đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt

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 1.13 biểu diễn sơ đồ khối một mạch đo điện thế trên bề mặt màng nhạy quang được lắp ráp từ nhiều phần tử.



Hình 1.13. 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.

1.4.2. Một số phân 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 1.14.

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 MΩ đến GΩ;
- + 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 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 vào khoảng 90 dB.

Tốc độ tăng hạn chế sự biến thiên cực đại của điện áp tính bằng V/μs.

b) Bộ khuếch đại đo lường IA

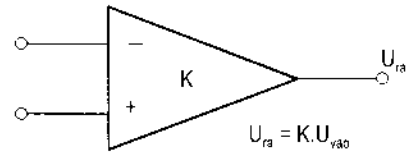
Bộ khuếch đại đo lường IA có hai đầu vào và một đầu ra. Tín hiệu đầu ra tỷ lệ với hiệu của hai điện áp đầu vào:

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

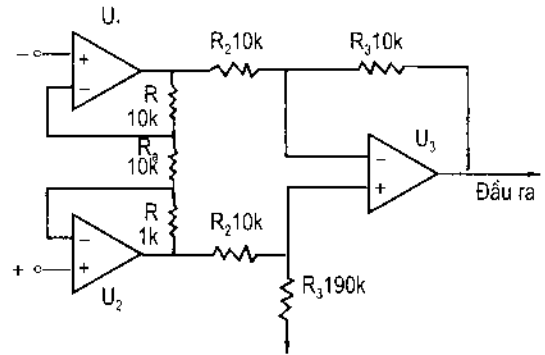
Đầu vào vi sai đóng vai trò rất quan trọng trong việc khử nhiễu ở chế độ chung và tăng điện trở vào của KĐTT. Điện áp trên R_a phải bằng điện áp vi sai đầu vào ΔU và tạo nên dòng điện $i = \frac{\Delta U}{R_a}$. Các điện áp ra từ khuếch đại thuật toán U_1 và U_2 phải bằng nhau

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:

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



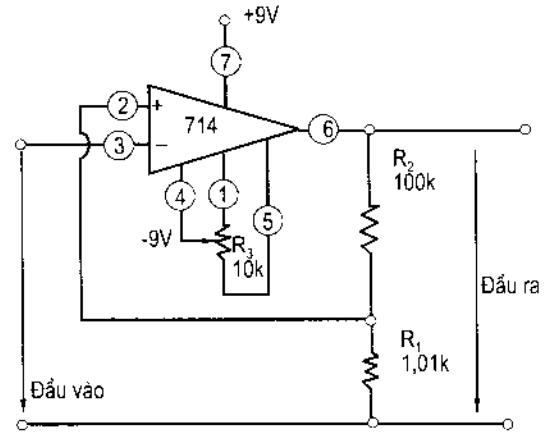
Hình 1.14. Sơ đồ bộ khuếch đại thuật toán



Hình 1.15. Sơ đồ bộ khuếch đại đo lường gồm ba KĐTT ghép nối điện trở

c) Khuếch đại áp lệch

Đối với một bộ 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 1.16, bằng cách điều chỉnh biến trở R_3 .

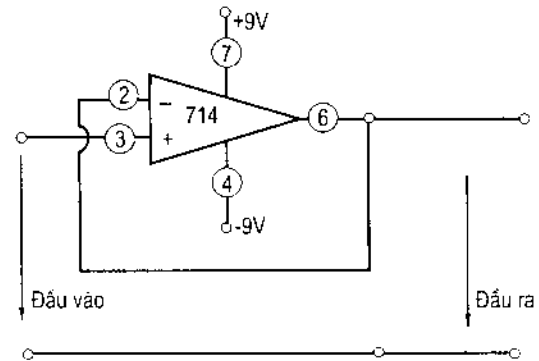


Hình 1.16. Sơ đồ mạch khử điện áp lệch

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 1.17.

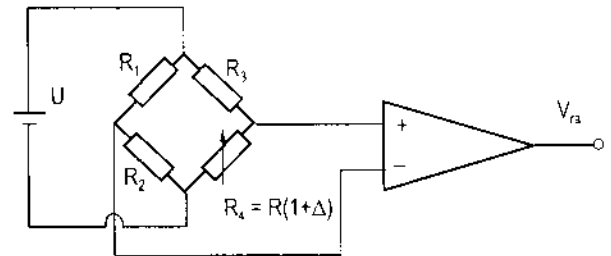
Trong bộ lặp điện áp, cực dương của KĐTT được nối trực tiếp với tín hiệu vào, còn cực âm được nối trực tiếp với đầu ra, tạo nên điện áp phản hồi 100% do đó hệ số khuếch đại bằng 1. Mạch lặp điện áp có chức năng tăng điện trở đầu vào, do vậy thường dùng để nối giữa hai khâu trong mạch đo.



Hình 1.17. Sơ đồ mạch lặp điện áp

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 1.18) hoạt động như cầu không cân bằng dựa trên việc phát hiện điện áp qua đường chéo của cầu.



Hình 1.18. 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:

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

Chương II

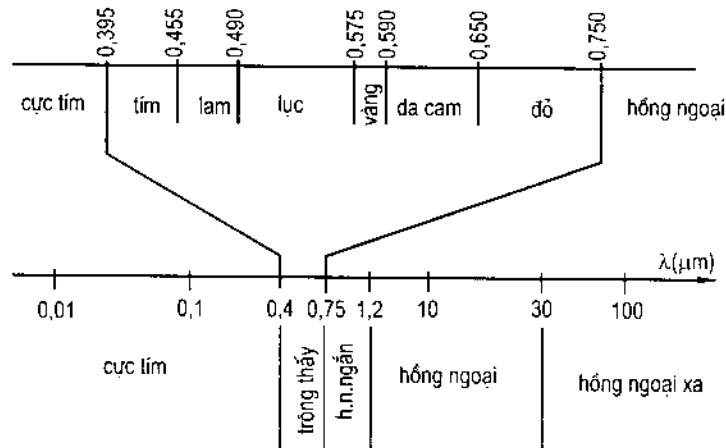
CẢM BIẾN QUANG

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.

Với tính chất sóng, ánh sáng được coi là một dạng của sóng điện từ. Trên hình 2.1 biểu diễn phổ ánh sáng và sự phân chia thành các dải màu của phổ, vùng ánh sáng nhìn thấy có bước sóng từ $0,4 \div 0,75\mu\text{m}$.



Hình 2.1. Phổ ánh sáng

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

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

Trong đó: n là 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.

Với tính chất hạt, có thể coi chùm ánh sáng như một luồng hạt nhỏ (được gọi là photon) chuyển động với vận tốc lớn, mỗi hạt mang một năng lượng nhất định, năng lượng này chỉ phụ thuộc tần số ν của ánh sáng:

$$W_{\phi} = h\nu \quad (2.1)$$

Trong đó h là hằng số Planck ($h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$).

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):

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.2)$$

- 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 (W/sr).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.3)$$

- 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.

$$L = \frac{dI}{dA_n} \quad (2.4)$$

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

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

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.5)$$

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 $K \cdot V(\lambda)$.

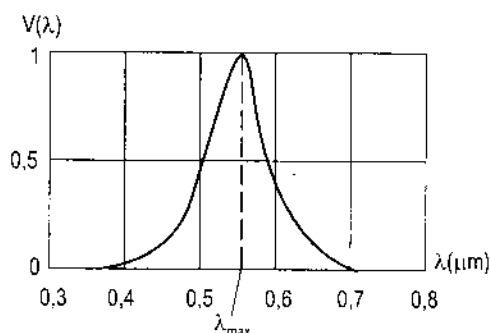
Theo quy ước, một luồng ánh sáng có năng lượng 1W ứng với bước sóng $\lambda_{\max}$ tương ứng với luồng ánh sáng bằng 680 lumen, do đó $K = 680$.

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

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

Đối với ánh sáng phổ liên tục:

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



Hình 2.2. Đường cong độ nhạy tương đối của mắt

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. Các đơn vị đo quang cơ bản

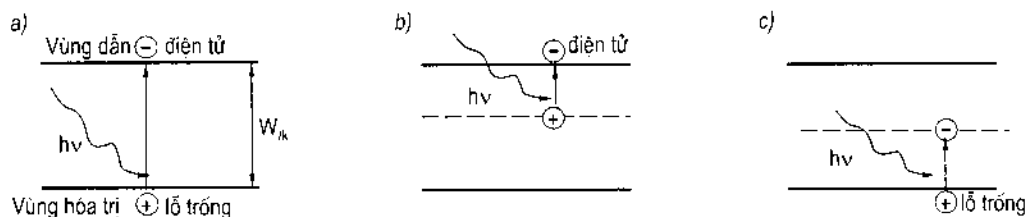
Đại lượng đo	Đơn vị thị giác	Đơn vị năng lượng
Luồng (thông lượng)	lumen(lm)	oat(W)
Cường độ	cadela(cd)	oat/steradian (W/sr)
Độ chói	cadela/m ² (cd/m ²)	oat/steradian.m ² (W/sr.m ²)
Độ rọi	lumen/m ² hay lux (lx)	oat/m ² (W/m ²)
Năng lượng	lumen.s (lm.s)	jun (j)

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 tinh khiết (như Si, Ge), mối liên kết giữa các nguyên tử là mối liên kết đồng hóa trị, khi ở nhiệt độ thấp (gần 0°K) các điện tử ở lớp ngoài cùng liên kết bền vững, do vậy vật liệu hầu như không dẫn điện. Để bẻ gãy mối liên kết, giải phóng điện tử khỏi nguyên tử, cần cung cấp cho nó một năng lượng tối thiểu bằng năng lượng liên kết W_{lk} , năng lượng cung cấp có thể là do kích thích nhiệt hoặc bức xạ ánh sáng. Khi điện tử được giải phóng khỏi nguyên tử, sẽ tạo thành hạt dẫn mới trong vật liệu. Đối với các chất bán dẫn tinh khiết các hạt dẫn là cặp điện tử - lỗ trống.



Hình 2.3. Ảnh hưởng của bản chất vật liệu đến hạt dẫn được giải phóng
a) Bán dẫn tinh khiết; b) Bán dẫn pha tạp loại n; c) Bán dẫn loại p

Đối với trường hợp bán dẫn pha tạp, hạt dẫn được giải phóng là điện tử nếu là pha tạp donor (bán dẫn loại n) hoặc là lỗ trống nếu là pha tạp acceptor (bán dẫn loại p).

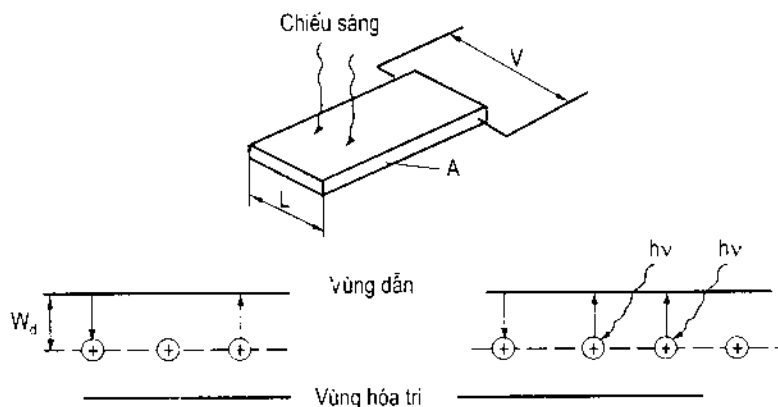
Giả sử có một tấm bán dẫn phẳng thể tích V pha tạp loại n có nồng độ các donor là N_d , có mức năng lượng nằm dưới vùng dẫn một khoảng bằng W_d đủ lớn để khi ở nhiệt độ phòng và trong tối nồng độ n_0 của các donor bị ion hoá do nhiệt là nhỏ.

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:

$$a = \exp\left(-\frac{qW_d}{kT}\right) \quad (2.6)$$

Trong đó: q - trị tuyệt đối của điện tích điện tử;

T - nhiệt độ tuyệt đối của khối vật liệu, k là hằng số.



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

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 $r.n_0^2$, 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:

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

Ở trạng thái cân bằng ta có :

$$\frac{dn_0}{dt} = 0$$

Suy ra:
$$n_0 = \frac{a}{2.r} + \left(\frac{a^2}{4r^2} + \frac{a.N_d}{r} \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

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 đơn vị thời gian ứng với một đơn vị thể tích vật liệu, xác định bởi công thức:

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{A.L} \cdot \frac{\eta(1-R)}{h\nu} \Phi \quad (2.9)$$

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 - 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 $0,5 \div 1$.

2.2.2. Tế bào quang dẫn

a) Vật liệu chế tạo

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

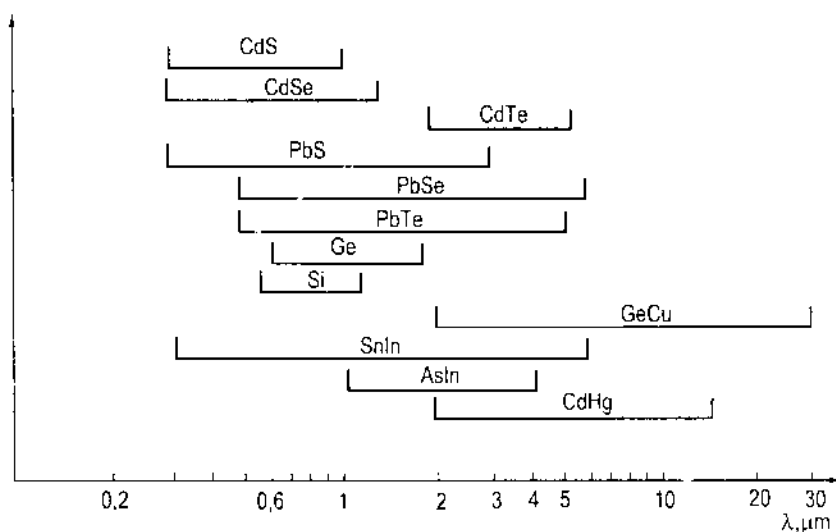
Đa tinh thể: CdS, CdSe, CdTe.

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 $10^4 \Omega \div 10^9 \Omega$ ở 25°C), trong khi đó SbIn, SbAs, CdHgTe có điện trở tối tương đối nhỏ (từ $10 \Omega \div 10^3 \Omega$ 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.

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

$$R_c = \frac{R_{c0} R_{cp}}{R_{c0} + R_{cp}} \quad (2.12)$$

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 $0,5 \div 1$.

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:

$$G_c = G_{c0} + G_{cp} \quad (2.13)$$

Trong đó:

G_{c0} - độ dẫn trong tối;

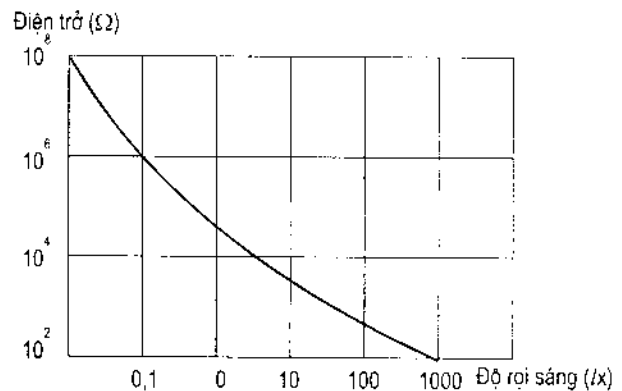
$$G_{c0} = 1/R_{c0};$$

G_{cp} - điện trở khi chiếu sáng: $G_{c0} = 1/R_{cp} = \Phi^\gamma/a$.

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

$$I = VG_{c0} + VG_{cp} = I_0 + I_p \quad (2.14)$$

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:



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

$$I_p = \frac{V}{a} \Phi^\gamma \quad (2.15)$$

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

$$\frac{I}{\Phi} = \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1} \quad (2.16)$$

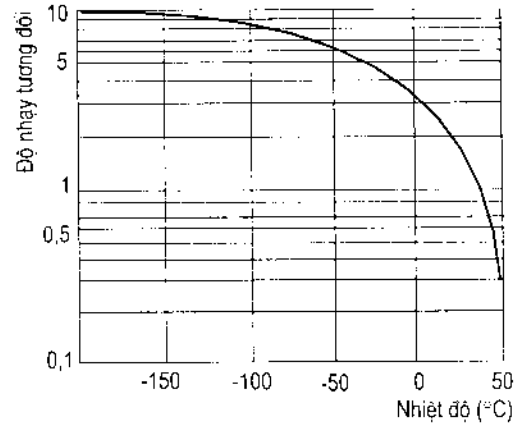
Và độ nhạy:

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1} \quad (2.17)$$

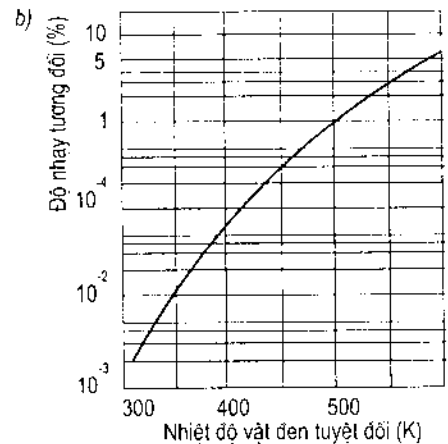
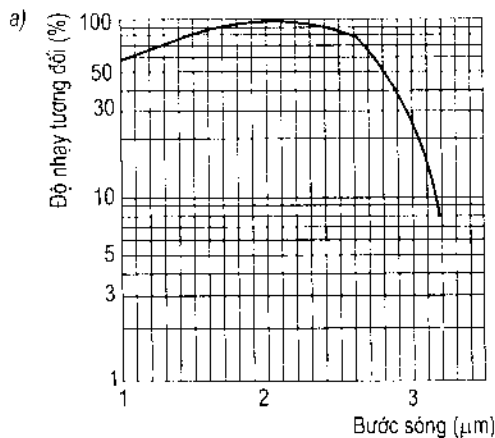
Từ hai biểu thức (2.16) và (2.17) có thể thấy:

- + 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

a) Đường cong phổ hồi đáp; b) Sự thay đổi của độ nhạy theo nhiệt độ.

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)} \quad (2.18)$$

Độ nhạy phổ của tế bào quang dẫn là hàm phụ thuộc nhiệt độ nguồn sáng, khi nhiệt độ tăng độ nhạy phổ tăng (hình 2.8b).

c) Đặc điểm và ứng dụng

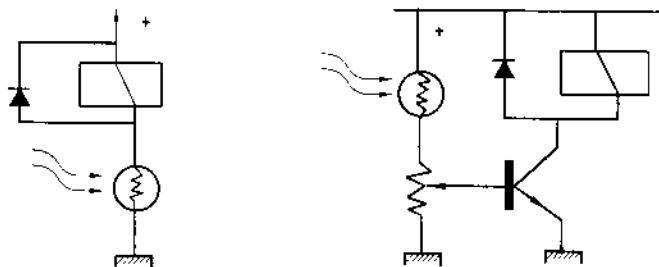
Đặc điểm chung của các tế bào quang dẫn:

- + Tỷ lệ chuyển đổi tinh 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 role*: 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 role (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 role

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

2.2.3. Photodiot

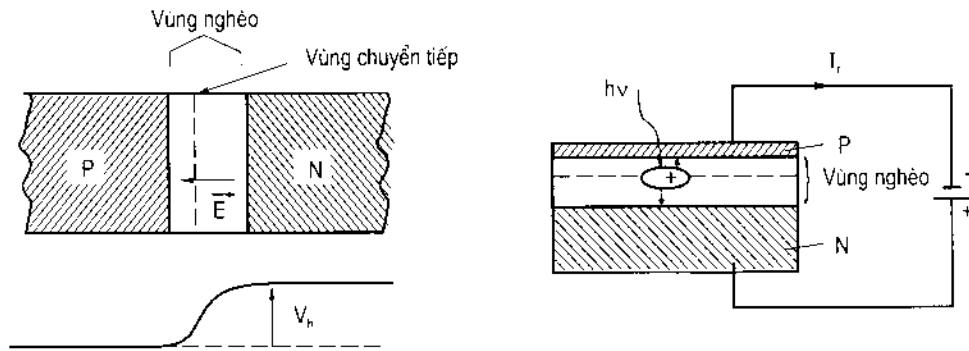
a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Xét hai tấm bán dẫn, một thuộc loại N và một thuộc loại P, ghép tiếp xúc với 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 điện I chính là dòng điện 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 diốt, 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 300°K), 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 diốt, khi đó $I = I_0$.

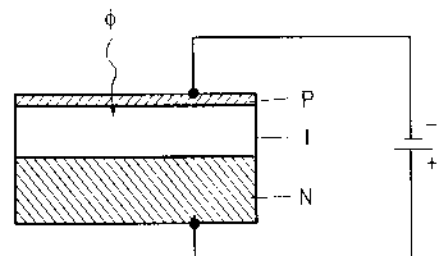
Khi chiếu sáng diốt bằng bức xạ có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện tử - lỗ trống. Để các hạt dẫn này tham gia dẫn điện cần phải ngăn cản sự tái hợp của chúng, tức là nhanh chóng tách rời cặp điện tử - lỗ trống. Sự tách cặp điện tử - lỗ trống chỉ xảy ra trong vùng nghèo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



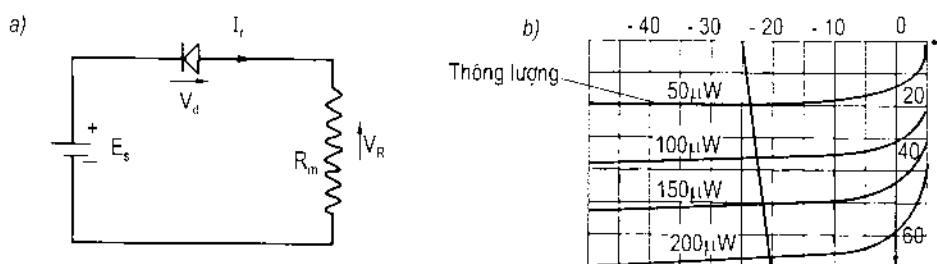
Hình 2.11. Cấu tạo diốt loại PIN

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.

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.



Hình 2.12. Sơ đồ nguyên lý và chế độ làm việc

Dòng ngược qua điốt:

$$I_r = -I_0 \exp\left[\frac{qV_d}{kT}\right] + I_0 + I_p \quad (2.19)$$

Trong đó I_p là dòng quang điện:

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{hc} \Phi_0 \exp(-\alpha X) \quad (2.20)$$

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 2.12b).

Dòng điện chạy trong mạch:

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

Điểm làm việc của điốt 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 điốt. Điốt 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 300°K) nhỏ nhưng phụ thuộc tuyến tính vào thông lượng.

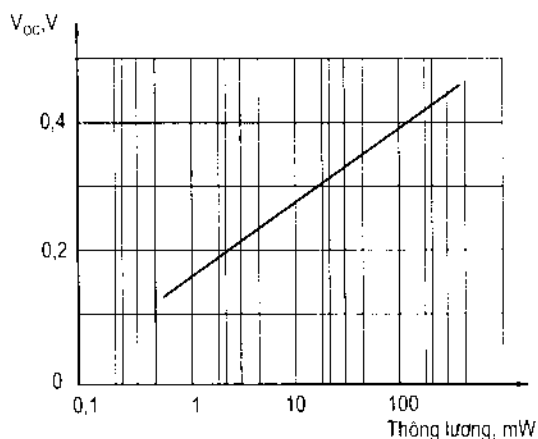
Khi chiếu sáng mạnh, $I_p \gg I_0$ và ta có:

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

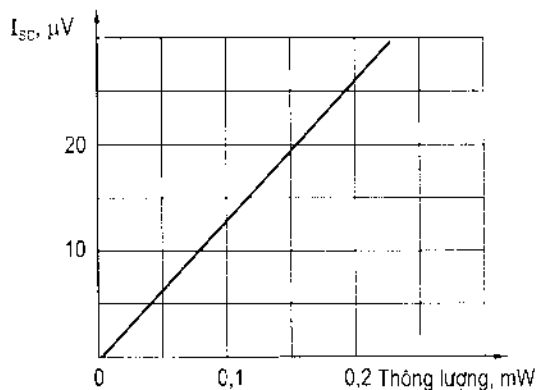
Trong trường hợp này V_{OC} có giá trị tương đối lớn (cỡ $0,1 \div 0,6\text{V}$) nhưng phụ thuộc vào thông lượng theo hàm logarit.

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

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.



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



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

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:

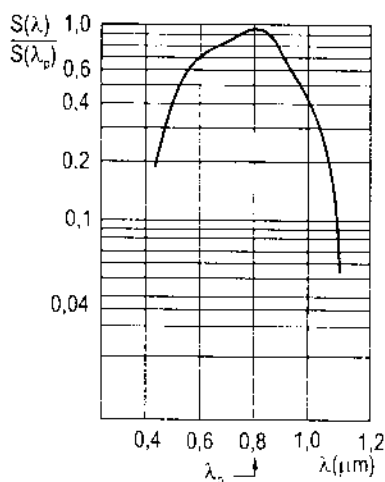
$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda$$

Với $\lambda \leq \lambda_s$.

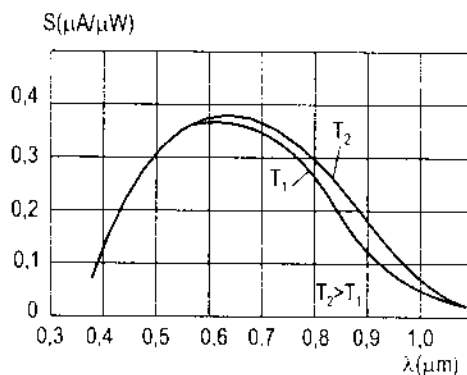
Độ nhạy phổ phụ thuộc vào λ , hiệu suất lượng tử η , hệ số phản xạ R và hệ số hấp thụ α .

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.

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.



Hình 2.15. Phổ độ nhạy của photodiode



Hình 2.16. Sự phụ thuộc của độ nhạy vào nhiệt độ

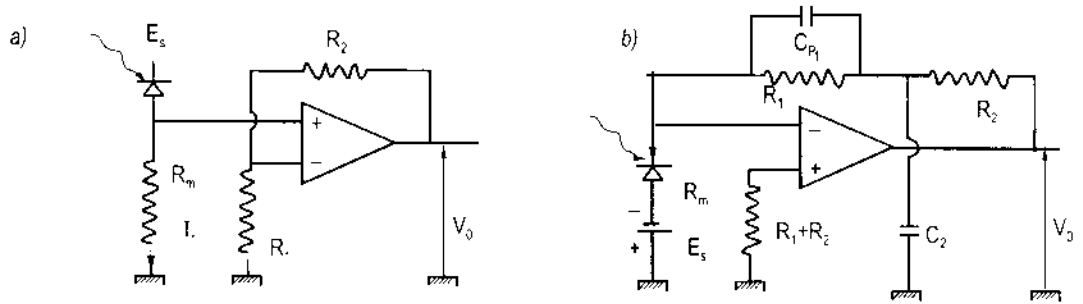
d) Sơ đồ ứng dụng photodiode

- 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.



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

Sơ đồ cơ sở (hình 2.17a):

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

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 diốt.

Sơ đồ tác động nhanh (hình 2.17b):

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

Điện trở của diốt 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.

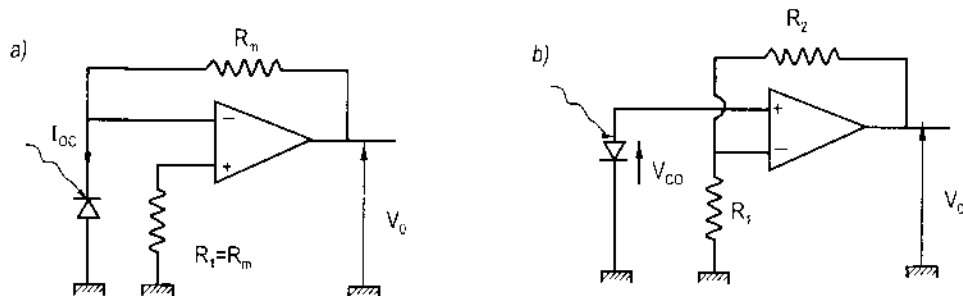
Sơ đồ tuyến tính (hình 2.18a): đo dòng ngắn mạch I_{sc} .

Trong chế độ này:

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

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

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

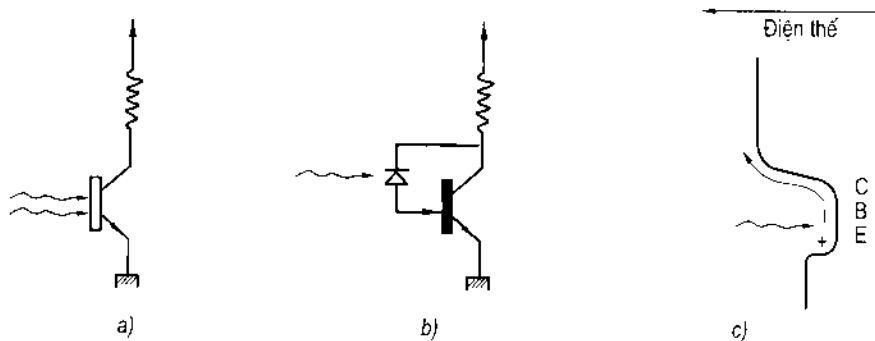


Hình 2.18. Sơ đồ mạch đo ở chế độ quang áp

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 ($V_{BE} \approx 0,6 \div 0,7V$). 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 $\lambda < \lambda_g$):

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

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 photodiot và một tranzito (hình 2.19b). Photodiot 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 , diot 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 :

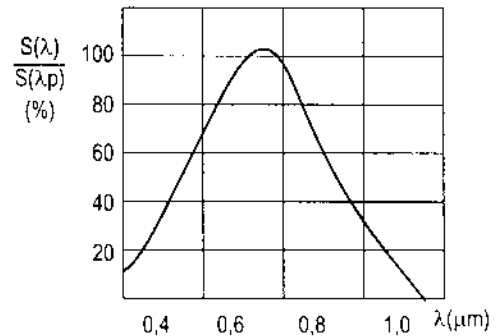
$$I_{cp} = \frac{(\beta + 1)q\eta(1 - R)\exp(-\alpha X)}{hc} \lambda \Phi_0$$

Đối với một thông lượng Φ_0 cho trước, đường cong phổ hồi đáp (hình 2.20) xác định bởi bản chất của diot B - C (vật liệu chế tạo).

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 .

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



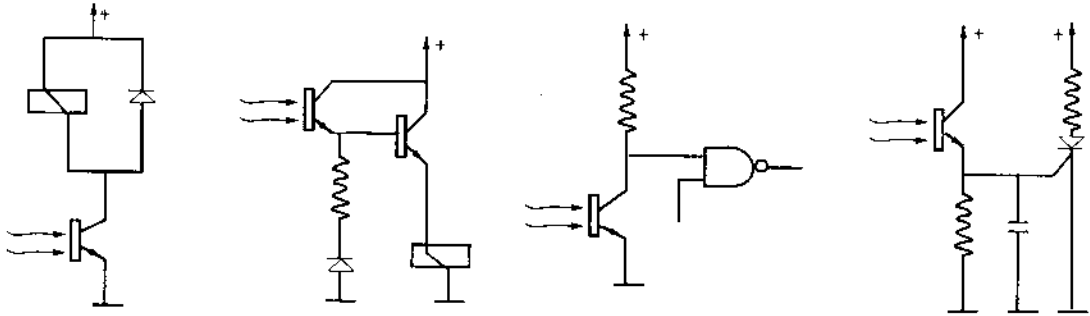
Hình 2.20. Đường cong phổ hồi đáp của photodiot

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 photodiot 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 bé nhưng người ta thích dùng photodiot 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 bão hoà cho phép điều khiển trực tiếp (hoặc sau khi khuếch đại) như một role, điều khiển một cổng logic hoặc một thyristo (hình 2.21).



Hình 2.21. Photodiotzito trong chế độ chuyển mạch
a) Role; b) Role sau khuếch đại; c) Cổng logic; d) Thyristo.

- Phototranzito trong chế độ tuyến tính:

Có hai cách sử dụng trong chế độ tuyến tính.

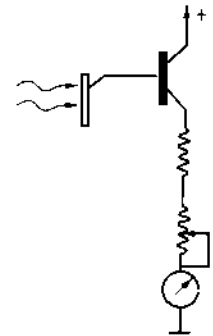
+ **Trường hợp thứ nhất:** đo ánh sáng không đổi (giống như một luxmet).

+ **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:

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



Hình 2.22.
Sơ đồ nguyên lý luxmet

2.2.5. Phototranzito hiệu ứng trường

Phototranzito hiệu ứng trường (photoFET) có sơ đồ cấu tạo như hình 2.23a (lớp ngoài là bán dẫn P, lớp trong là bán dẫn N) và sơ đồ tương đương như hình 2.23b.

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_{DSS} - 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 diode cổng - kênh;

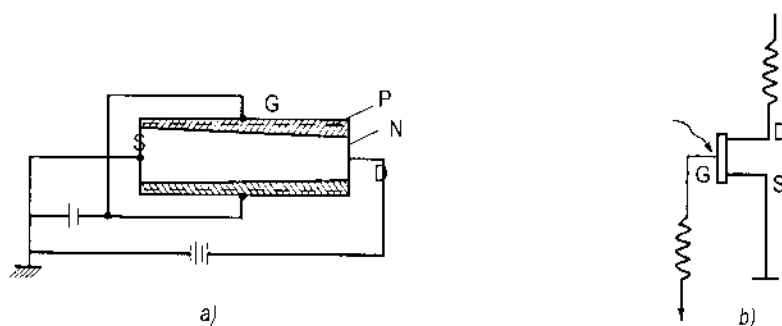
Φ - thông lượng ánh sáng.

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.



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

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 được 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 photocatốt có thể chọn trong các loại sau:

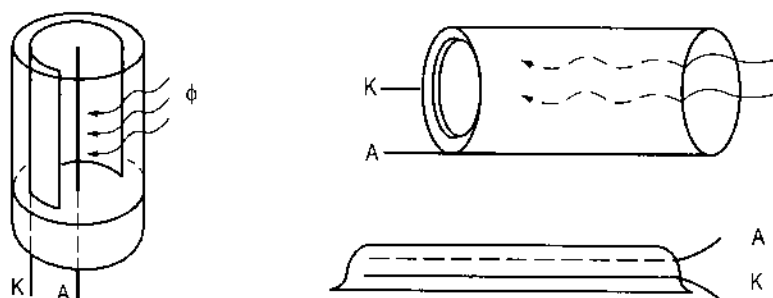
- + AgOCs nhạy ở vùng hồng ngoại;
- + Cs_3Sb , $(\text{Cs})\text{Na}_2\text{KSb}$ và K_2CsSb : nhạy với ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại;
- + Cs_2Te , Rb_2Te và CsTe chỉ nhạy trong vùng tử ngoại.

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

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%.

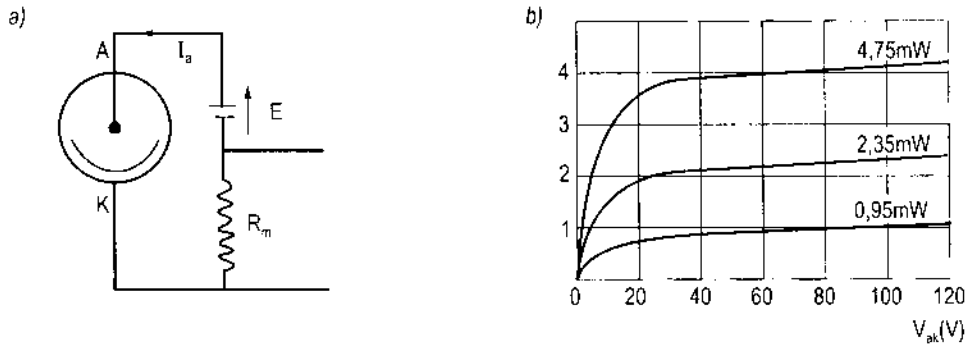
2.3.2. Tế bào quang điện chân không

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



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

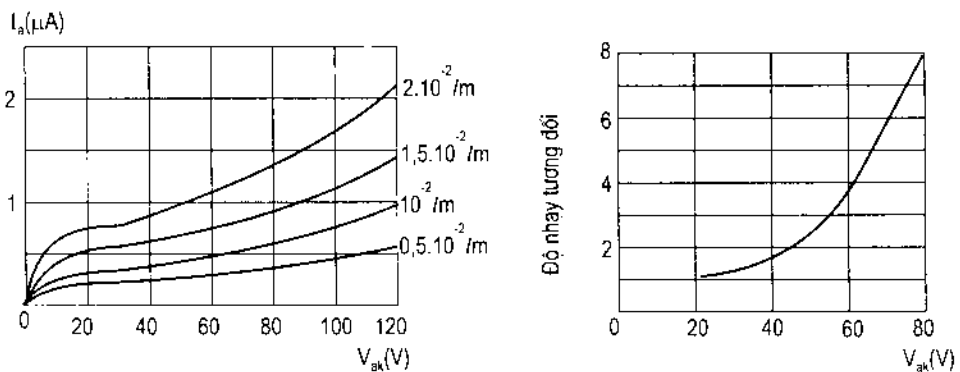
Tế bào quang điện được sử dụng chủ yếu trong vùng bão hoà, khi đó nó giống như một nguồn dòng, giá trị của dòng chỉ phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng mà nó nhận được. Điện trở trong ρ của tế bào quang điện rất lớn và có thể xác định từ độ dốc của đặc tuyến ở vùng bão hoà:

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

Độ nhạy phổ của tế bào quang điện được biểu diễn thông qua giá trị của dòng anốt trong vùng bão hoà, thường vào cỡ $10 \div 100 \text{ mA/W}$.

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 argon, dưới áp suất cỡ $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ mmHg}$.



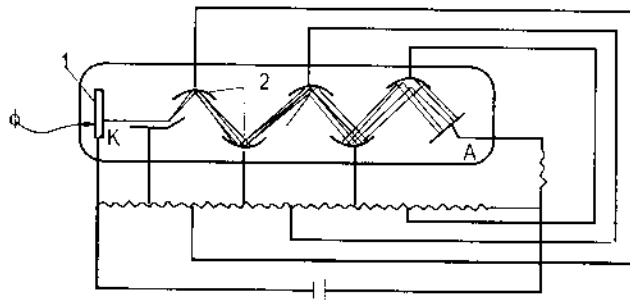
Hình 2.26. Đặc trưng và độ nhạy của tế bào quang điện dạng khí

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 anốt 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 photocatốt 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:

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

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

η_i - 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 $n = 5 \div 15$, hệ số phát xạ thứ cấp $\delta = 5 \div 10$ và $\eta_i > 90\%$, thì $M \sim 10^6 \div 10^8$.

Chương 3

CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ

3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Trong công nghiệp, nhiều quá trình công nghệ đòi hỏi kiểm tra và khống chế nhiệt độ một cách chặt chẽ để đảm bảo hiệu suất của quá trình, đảm bảo chất lượng sản phẩm cũng như đảm bảo an toàn cho thiết bị khi làm việc. Do vậy, vấn đề đo nhiệt độ đóng một vai trò hết quan trọng trong công nghiệp. Tuy nhiên, việc đo chính xác nhiệt độ của một vật rắn, một khối chất lỏng hoặc chất khí (gọi chung là môi trường đo) 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, trong khi đó 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 đo nhiệt độ. Hiện nay, tồn tại nhiều thang đo khác nhau, mỗi thang đo có những ưu nhược điểm riêng và chưa một thang đo nào thực sự hoàn thiện. Dưới đây nghiên cứu một số thang đo phổ biến.

a) Thang nhiệt độ động học (K)

Thang đo nhiệt độ động học (hay còn gọi là thang đo nhiệt độ tuyệt đối) do Thomson Kelvin xây dựng dựa trên cơ sở nhiệt động học. Theo định luật nhiệt động học thứ hai, công trong chu trình Carnot tỷ lệ với độ chênh nhiệt độ chứ không phụ thuộc chất đo nhiệt độ. Để thiết lập thang đo và gán giá trị số cho một nhiệt độ, Kelvin lấy điểm tan của nước đá là 273,15°K, đơn vị là độ K. Một độ K được quy định bằng độ chênh nhiệt độ ứng với 1% công trong chu trình Carnot giữa điểm sôi của nước và điểm tan của nước đá ở áp suất bình thường, khi đó quan hệ giữa công và nhiệt độ có dạng:

$$T = \frac{Q}{Q_{100} - Q_0} \cdot 100 \text{ [K]} \quad (3.1)$$

Trong đó: Q_{100} , Q_0 và Q là nhiệt lượng của môi chất tại nhiệt độ T_{100} , T_0 và T .

Thang đo nhiệt độ tuyệt đối có tính chất thuận túy lý luận, nó không thể thể hiện được trên thực tế, nhưng nhờ đó mà thống nhất được đơn vị đo nhiệt độ.

Đối với chất khí lý tưởng, quan hệ giữa áp suất (P), thể tích (V) với nhiệt độ có dạng hoàn toàn giống như quan hệ giữa công và nhiệt độ theo định luật nói trên:

$$T = \frac{PV}{P_{100}V_{100} - P_0V_0} \cdot 100 \text{ [K]} \quad (3.2)$$

Tuy khí thực có khác với khí lý tưởng nhưng sai khác không lớn và có thể hiệu chỉnh với độ chính xác cao nên dựa vào quan hệ trên ta có thể xây dựng được thang đo nhiệt độ trên thực tế.

b) Thang Celsius (Andreas Celsius - 1742)

Đơn vị đo nhiệt độ là °C. Trong thang đo Celsius, nhiệt độ điểm nước đá tan ứng với 0°C và nhiệt độ điểm nước sôi ứng với 100°C, một độ Celsius bằng một độ Kelvin.

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

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

c) 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 Celssius:

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

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

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. Giá trị tương ứng của một số nhiệt độ quan trọng theo các thang đo

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 cân 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 cân 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.

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 trao đổi 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:

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

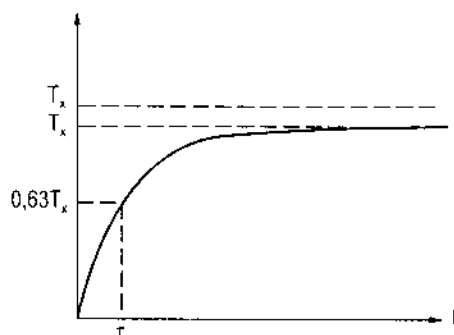
Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào hiệu số $(T_x - T_c)$, hiệu số này càng bé, độ chính xác của phép đo càng cao. Muốn vậy khi đo cần phải:

- + 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.

Để tăng cường trao đổi nhiệt giữa môi trường đo và cảm biến ta phải dùng cảm biến có phân 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 phân tử cảm nhận ra mạch đo bên ngoài phải có hệ số dẫn nhiệt thấp.

3.1.3. Phương pháp đo nhiệt độ

Như chúng ta đã biết, nhiệt độ không thể đo trực tiếp mà phải đo gián tiếp thông qua sự thay đổi tính chất của vật liệu theo nhiệt độ. Bởi vậy, để đo nhiệt độ cần phải biết được quan hệ giữa sự thay đổi tính chất vật lý của môi trường đo và cảm biến theo nhiệt độ, những tính chất này phải phụ thuộc đơn trị vào nhiệt độ. Thông qua xác định tính chất của môi trường đo và cảm biến ta xác định được nhiệt độ của môi trường đo.



Hình 3.1. Trao đổi nhiệt của cảm

Theo nguyên tắc đo, người ta chia ra hai phương pháp đo gồm đo tiếp xúc và đo không tiếp xúc.

Phương pháp đo tiếp xúc: khi đo, cảm biến tiếp xúc với môi trường đo, phép đo dựa trên các hiện tượng:

- + Giãn nở của vật liệu.
- + Biến đổi trạng thái của vật liệu.
- + Thay đổi điện trở của vật liệu.
- + Hiệu ứng nhiệt điện.

Phương pháp đo không tiếp xúc: khi đo cảm biến không tiếp xúc với môi trường đo, phép đo dựa vào sự phụ thuộc của bức xạ nhiệt của môi trường đo vào nhiệt độ, ví dụ đo nhiệt độ bằng hồng ngoại.

Dưới đây nghiên cứu một số loại cảm biến cơ bản và các dụng cụ thứ cấp thường dùng khi đo nhiệt độ.

3.2. NHIỆT KẾ GIÃN NỞ

3.2.1. Nguyên lý đo

Nguyên lý hoạt động của nhiệt kế giãn nở dựa vào sự giãn nở của vật liệu khi tăng nhiệt độ. Khi tăng nhiệt độ hầu hết các chất giãn nở làm tăng thể tích. Thể tích của khối chất phụ thuộc nhiệt độ theo quan hệ hàm số:

$$V = V_0 (1 + \alpha_v t) \quad (3.6)$$

Trong đó: V_0 , V - thể tích khối chất ở 0°C và ở nhiệt độ $t^\circ\text{C}$ [m^3].

α_v - hệ số giãn nở thể tích [$1/\text{độ}$].

Đối với vật thể rắn, quan hệ giữa chiều dài vật và nhiệt độ có dạng:

$$l = l_0 (1 + \alpha t) \quad (3.7)$$

Trong đó: l_0 , l - chiều dài của vật thể ở 0°C và ở nhiệt độ $t^\circ\text{C}$;

α - hệ số giãn nở dài [$1/\text{độ}$].

3.2.2. Các loại nhiệt kế giãn nở

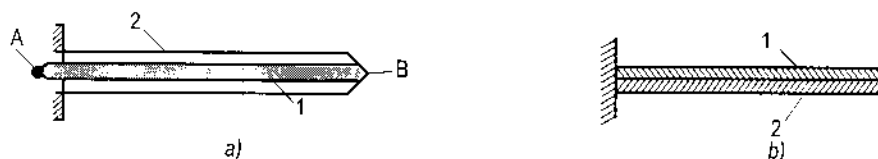
a) Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn

Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn có hai loại: gốm và kim loại, kim loại và kim loại.

Nhiệt kế gốm - kim loại (Dilatomet): gồm một thanh gốm (1) đặt trong ống kim loại (2), đầu B thanh gốm liên kết với ống kim loại, đầu còn lại A nối với hệ thống truyền động tới bộ phận chỉ thị.

Hệ số giãn nở nhiệt của kim loại là α_k và của gốm là α_g . Do $\alpha_k > \alpha_g$, khi nhiệt độ tăng một lượng dt , thanh kim loại giãn thêm một lượng $d l_k$, thanh gốm giãn thêm một

lượng dl_g với $dl_k > dl_g$, làm cho đầu A của thanh gòm dịch sang phải. Lượng dịch chuyển của đầu A phụ thuộc $(dl_k - dl_g)$ do đó phụ thuộc nhiệt độ. Đo độ dịch chuyển của thanh gòm ta có thể xác định được nhiệt độ.



Hình 3.2. Nhiệt kế giãn nở

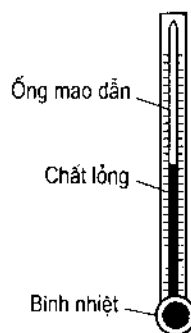
a) Nhiệt kế gòm - kim loại; b) Nhiệt kế kim loại - kim loại.

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 dịch chuyển của đầu tự do 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 .

b) Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng

Hình 3.3 trình bày cấu tạo của một nhiệt kế 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 chế tạo bằng thủy tinh có $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ nhỏ hơn đáng kể so với hệ số giãn nở của thủy ngân.



Hình 3.3. Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng

Khi đo nhiệt độ, bình nhiệt (1) được đặt tiếp xúc với môi trường đo. Khi nhiệt độ tăng, chất lỏng giãn nở và dâng lên trong ống mao dẫn (2). Thang đo được chia độ trên vỏ dọc theo ống mao dẫn.

Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng đơn giản và rẻ tiền, đo tương đối chính xác nhưng không biến đổi được thành tín hiệu điện.

Dải nhiệt độ làm việc của nhiệt kế chất lỏng 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 đo

Nguyên lý chung đo nhiệt độ bằng cảm biến điện trở là dựa vào sự thay đổi điện trở suất của vật liệu theo nhiệt độ. Trong trường hợp tổng quát, sự thay đổi điện trở của một cảm biến điện trở theo nhiệt độ có dạng:

$$R(T) = R_0 \cdot F(T - T_0) \quad (3.8)$$

Trong đó: R_0 là điện trở ở nhiệt độ T_0 , F là hàm đặc trưng cho vật liệu và $F = 1$ khi $T = T_0$.

Trường hợp điện trở kim loại, hàm (3.8) trên có dạng:

$$R(T) = R_0 (1 + AT + BT^2 + CT^3) \quad (3.9)$$

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.

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:

$$R(T + \Delta T) = R(T)(1 + \alpha_R \Delta T) \quad (3.10)$$

Trong đó: α_R - hệ số nhiệt của điện trở (hay còn gọi là độ nhạy nhiệt) ở nhiệt độ T , xác định bởi công thức:

$$\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT} \quad (3.11)$$

Độ nhạy nhiệt phụ thuộc vào vật liệu và nhiệt độ, chẳng hạn 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:

$$\Delta T_{\min} = \frac{1}{\alpha_R} \left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min} \quad (3.12)$$

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

Thực ra, điện trở của cảm biến không chỉ thay đổi do sự thay đổi điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi 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:

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

Đặt $\alpha_{\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$; $\alpha_l = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}$; $\alpha_s = \frac{1}{s} \frac{ds}{dT}$, mặt khác $\alpha_s = 2\alpha_l$, ta có:

$$\alpha_R = \alpha_p + \alpha_1 - \alpha_s = \alpha_p - \alpha_1$$

Trên thực tế, thường $\alpha_p \gg \alpha_1$ nên có thể coi $\alpha_R = \alpha_p$.

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

3.3.2. Các loại nhiệt kế điện trở

a) Nhiệt kế điện trở kim loại

- *Vật liệu:*

Để đảm bảo tính năng làm việc cần thiết, kim loại dùng để chế tạo nhiệt kế điện trở phải thỏa mãn các yêu cầu:

- + 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 và không triệt tiêu.
- + Có đủ độ bền cơ, hoá ở nhiệt độ làm việc.
- + Dễ gia công và có khả năng thay lẫn.

Do vậy, vật liệu thường dùng để chế tạo nhiệt kế điện trở kim loại là Pt và Ni, trong một số trường hợp có thể 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 $-200^\circ\text{C} \div 1000^\circ\text{C}$.

Điện trở platin thường được chế tạo với đường kính dây từ 0,05 - 0,07mm, điện trở $R_0 = 10\Omega; 46\Omega; 100\Omega$.

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, dẫn đến 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.

Đặc trưng vật lý quan trọng của một số vật liệu làm điện trở đo trình bày trên bảng 3.3.

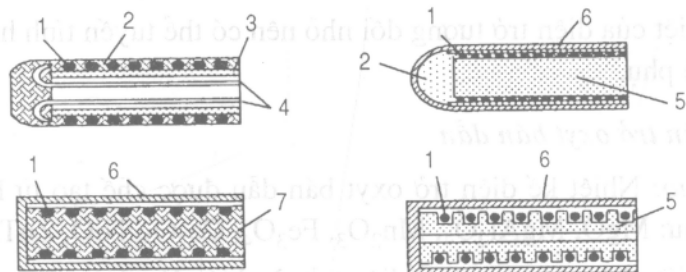
Bảng 3.3. Đặc trưng vật lý quan trọng của một số vật liệu làm điện trở đo

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

- *Cấu tạo:* Để tránh sự làm nóng đầu đo, dòng điện chạy qua điện trở thường giới hạn ở giá trị một vài mA. Mặt khác, để 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. Do vậy, điện trở kim loại được cuốn trên lõi và bao bọc bên ngoài bằng thủy tinh hoặc gốm, đồng thời đặt trong vỏ bảo vệ bằng thép. Trên hình 3.4 trình bày cấu tạo một số đầu đo của nhiệt kế điện trở thường dùng trong công nghiệp.

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 tạo của một nhiệt kế bề mặt có dạng như hình 3.5. Chiều dày lớp kim loại cỡ vài μm và kích thước nhiệt kế cỡ 1cm^2 .



Hình 3.4. Đầu đo nhiệt kế công nghiệp dùng điện trở platin

1. Dây platin; 2. Gốm cách điện; 3. Ống sứ cách điện; 4. Dây nối;
5. Trục gá; 6. Vỏ bọc; 7. Xi măng.

Đặc điểm của nhiệt kế bề mặt:

Độ nhạy nhiệt :

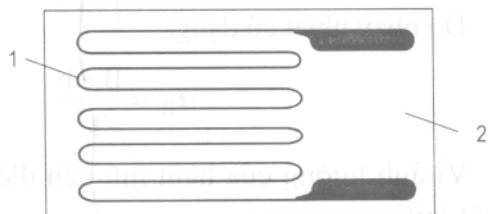
~ $5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ đối với trường hợp Ni và Fe-Ni.

~ $4 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ 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.



Hình 3.5. Nhiệt kế bề mặt

1. Điện trở; 2. Tấm vật liệu cách điện.

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

b) Nhiệt kế điện trở silic

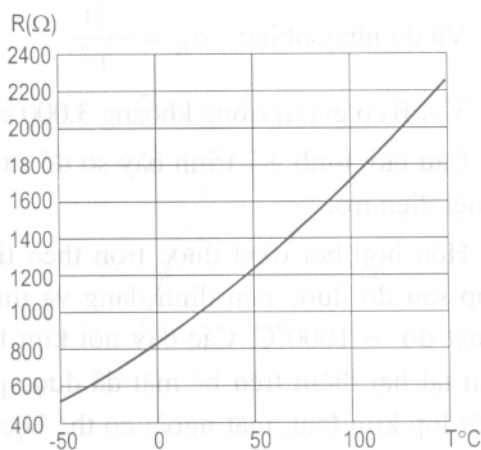
Vật liệu chế tạo: Vật liệu chế tạo nhiệt kế điện trở loại này là silic được kích tạp loại N. Silic tinh khiết hoặc đơn tinh thể silic có hệ số nhiệt điện trở âm, tuy nhiên khi được kích tạp loại N thì trong khoảng nhiệt độ thấp chúng lại có hệ số nhiệt điện trở dương, ở 25°C hệ số nhiệt điện trở $\sim 0,7\%/^\circ\text{C}$.

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 công thức:

$$R_T = R_0 \left[1 + A(T - T_0) + B(T - T_0)^2 \right] \quad (3.13)$$

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

Đầu đo của nhiệt kế điện trở silic được chế tạo có kích thước cỡ $500 \times 500 \times 240 \mu\text{m}$, được mạ kim loại ở một phía còn phía kia là bề mặt tiếp xúc.



Hình 3.6. Sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở silic

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

c) Nhiệt kế điện trở oxyt bán dẫn

Vật liệu chế tạo: Nhiệt kế điện trở oxyt bán dẫn 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 giữa điện trở của nhiệt điện trở và nhiệt độ có dạng:

$$R(T) = R_0 \left[\frac{T}{T_0} \right]^2 \exp \left\{ \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \quad (3.14)$$

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 (3.14) có thể viết lại:

$$R(T) = R_0 \exp \left\{ B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \quad (3.15)$$

Và độ nhạy nhiệt: $\alpha_R = -\frac{B}{T^2}$

Với B có giá trị trong khoảng $3.000 \div 5.000\text{K}$.

Cấu tạo: hình 3.7 trình bày sơ đồ cấu tạo của nhiệt điện trở.

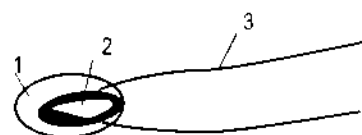
Hỗn hợp bột oxyt được trộn theo tỉ lệ thích hợp sau đó được nén định dạng và thiêu kết ở nhiệt độ $\sim 1000^\circ\text{C}$. Các dây nối kim loại được hàn tại hai điểm trên bề mặt đã được phủ bằng một lớp kim loại, mặt ngoài có thể bọc bằng vỏ thuỷ tinh.

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

3.3.3. Mạch đo và dụng cụ thứ cấp

a) Mạch đo dùng logomet

Sơ đồ mạch đo trình bày trên hình 3.8.



Hình 3.7. Cấu tạo nhiệt điện trở có vỏ bọc thuỷ tinh.
1. Vỏ bọc; 2. Điện trở; 3. Dây nối.

Logomet gồm rôto (1) trên đó bố trí hai cuộn dây (2) bắt chéo nhau, đặt trong từ trường của nam châm vĩnh cửu (3). Rôto được nối với hai lò xo cân (4), dòng điện đi vào các cuộn dây qua các lò xo cân.

Giả sử $R_t = R_{t0}$, khi đó:

$$R_{p2} + R_2 + R_t = R_{p1} + R_1 \quad (3.16)$$

Và

$$I_1 = I_2$$

Mô men quay M_1 và M_2 sinh ra do hai dòng điện chạy qua các cuộn dây:

$$M_1 = n.c.l.r.B_1.i_1$$

$$M_2 = n.c.l.r.B_2.i_2$$

Trong đó:

n, l, r - số vòng, chiều dài cạnh và bán kính của khung dây;

B_1, B_2 - từ thông qua các cuộn dây;

c - hằng số.

Do các lò xo cân và các khung dây có cấu tạo giống nhau và bố trí đối xứng, $M_1 = M_2$ và ngược chiều nên rôto đứng yên.

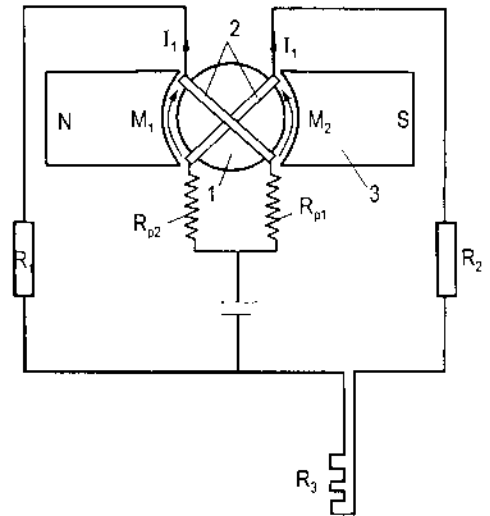
Khi nhiệt độ tăng lên R_t tăng, làm cho:

$$R_{p2} + R_2 + R_t > R_{p1} + R_1 \quad (3.17)$$

Khi đó $I_1 > I_2$ và $M_1 > M_2$ làm cho rôto quay theo chiều của M_1 , khi rôto quay M_1 giảm xuống và M_2 tăng lên cho đến khi $M_1 = M_2$ thì ngừng quay.

Ở vị trí cân bằng:

$$\begin{aligned} B_2 I_2 &= B_1 I_1 \\ \Rightarrow \frac{B_2}{B_1} &= \frac{I_1}{I_2} = \frac{E}{\frac{R_{p1} + R_1}{R_{p2} + R_2 + R_t}} \\ \Rightarrow \frac{B_2}{B_1} &= \frac{R_{p2} + R_2 + R_t}{R_{p1} + R_1} \end{aligned} \quad (3.18)$$



Hình 3.8. Sơ đồ mạch đo dùng logomet

1. Rôto; 2. Cuộn dây;

3. Nam châm vĩnh cửu; 4. Lò xo cân.

Góc quay của rôto là hàm của tỉ số từ thông qua các cuộn dây và là hàm của nhiệt độ:

$$\varphi = f\left(\frac{B_2}{B_1}\right) = f(t).$$

Logomet dùng để đo nhiệt độ thường được chế tạo với cấp chính xác 1 và 2.

b) Mạch đo dùng cầu cân bằng

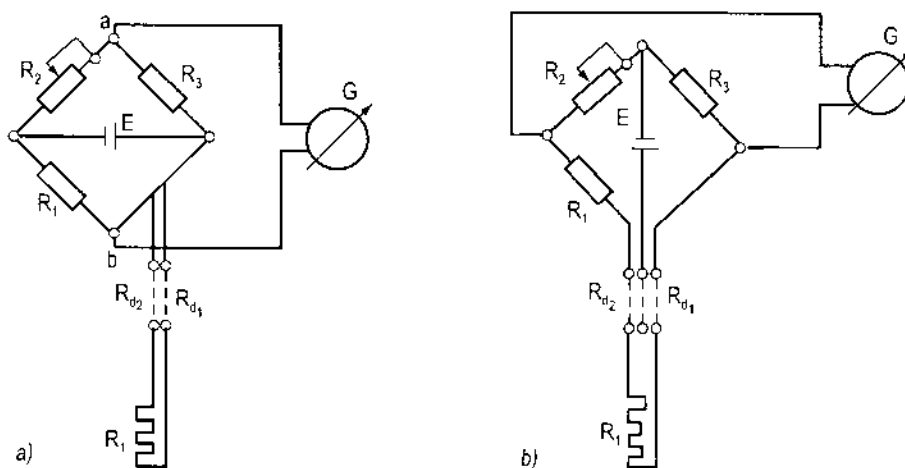
- Cầu hai dây dẫn (hình 3.9a):

Trong sơ đồ mạch đo dùng cầu hai dây dẫn, khi ở nhiệt độ $t_0 = 0^\circ\text{C}$ thì:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_{t_0} \quad (3.19)$$

Khi đó, điện áp $U_{ab} = 0$, dòng điện qua điện kế bằng 0 và kim điện thế kế (G) chỉ không.

Khi ở nhiệt độ t , R_1 thay đổi và $R_1 \cdot R_3 \neq R_2 \cdot R_t$ làm cho cầu mất cân bằng ($U_{ab} \neq 0$), điều chỉnh R_2 sao cho cầu đạt cân bằng mới, nếu bỏ qua thay đổi của điện trở dây nối thì vị trí của con chạy của biến trở R_2 phụ thuộc đơn trị vào nhiệt độ cần đo.



Hình 3.9. Sơ đồ mạch đo dùng cầu cân bằng

a) Cầu hai dây dẫn b) Cầu ba dây dẫn.

Cầu ba dây dẫn (hình 3.9b): khi tính đến điện trở của dây nối, ở nhiệt độ t ta có:

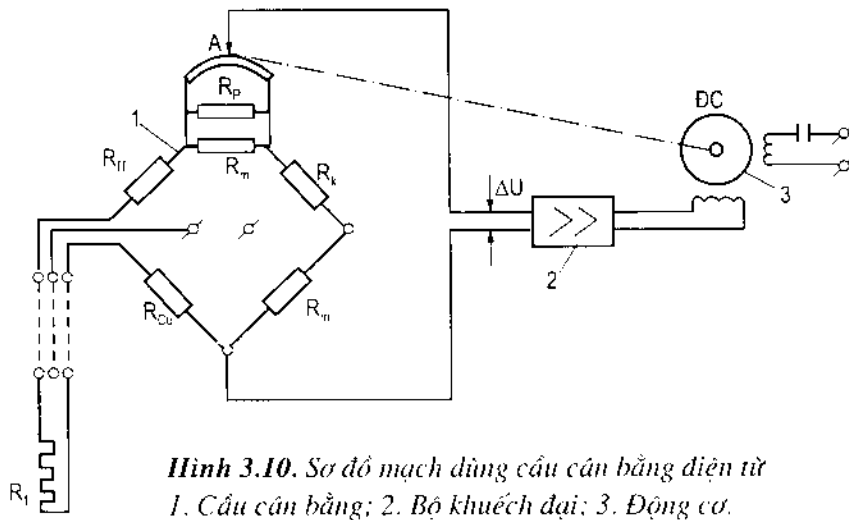
$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot (R_t + R_{d1} + R_{d2}) \quad (3.20)$$

Như vậy R_2 không phụ thuộc đơn trị vào nhiệt độ đo nên gây ra sai số. Để khắc phục sai số này, người ta dùng sơ đồ cầu ba dây dẫn, khi đó:

$$(R_1 + R_{d2}) \cdot R_3 = R_2 \cdot (R_t + R_{d1}) \quad (3.21)$$

Trong phương trình (3.21) ảnh hưởng của nhiệt độ tới điện trở dây nối phân ra hai vế nên tăng độ chính xác phép đo, do đó có thể đạt cấp chính xác 0,2.

Cầu cân bằng điện tử (hình 3.10): Các bộ phận cơ bản của mạch đo dùng cầu cân bằng điện tử gồm: cầu cân bằng (1), bộ khuếch đại (2) và động cơ (3).



Nguyên lý hoạt động: Giả sử ở nhiệt độ t_0 cầu cân bằng, khi đó $\Delta U = 0$, động cơ (3) và con chạy của biến trở R_p đứng yên. Khi R_t thay đổi, cầu mất cân bằng và $\Delta U \neq 0$, tín hiệu qua bộ khuếch đại (2) vào động cơ (3), động cơ quay một mặt làm quay kim chỉ, một mặt làm dịch chuyển con chạy của biến trở R_p cho đến khi cầu đạt cân bằng mới.

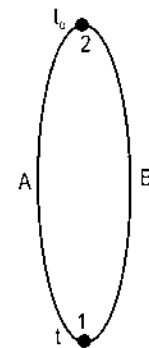
Thiết bị đo được chế tạo với cấp chính xác 0,5 và cầu cân bằng của nhóm nào thì đi cùng với nhiệt kế điện trở của nhóm ấy.

3.4. CẤP NHIỆT NGẪU

3.4.1. Hiệu ứng nhiệt điện

Phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt ngẫu dựa trên cơ sở hiệu ứng nhiệt điện.

Người ta nhận thấy rằng khi hai dây dẫn chế tạo từ hai 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.



Hình 3.11. Sơ đồ nguyên lý cặp nhiệt ngẫu

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.

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:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) + e_A(t_0, t) + e_B(t, t_0) \quad (3.22)$$

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:

$$e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0) \quad (3.23)$$

Như vậy:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (3.24)$$

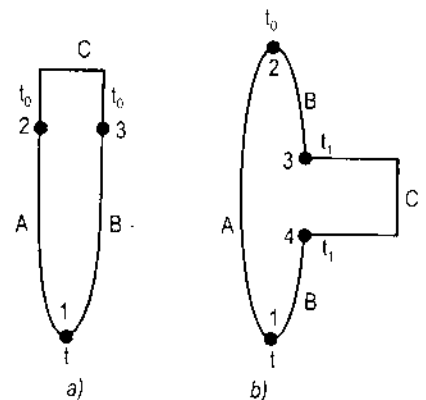
Phương trình (3.24) gọi là phương trình cơ bản của cặp nhiệt ngẫu.

Từ phương trình (3.24) nhận thấy nếu giữ nhiệt độ $t_0 = \text{const}$ thì:

$$E_{AB} = e_{AB}(t) + C = f(t) \quad (3.25)$$

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 3.12) nếu nhiệt độ hai đầu nối của dây thứ ba giống nhau.



Hình 3.12. Sơ đồ nối cặp nhiệt ngẫu với dây dẫn thứ ba

Trong trường hợp a (hình 3.12a):

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

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 (hình 3.12b):

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

Vì $e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$

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

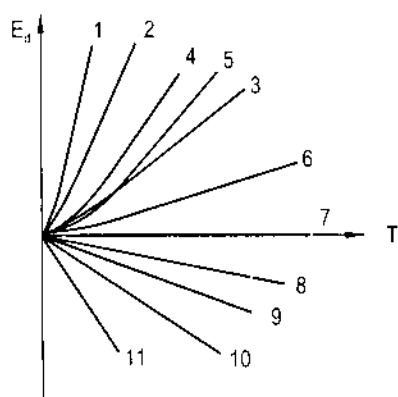
Nếu nhiệt độ hai đầu nối khác nhau sẽ làm xuất hiện sức điện động ký sinh.

3.4.2. Vật liệu chế tạo

Để chế tạo điện cực 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 3.13 biểu diễn quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của các vật liệu dùng để chế tạo điện cực so với điện cực chuẩn platin.

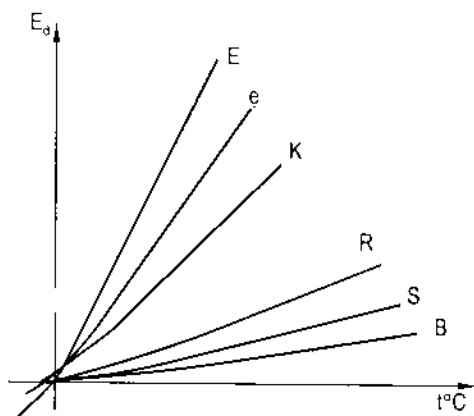


Hình 3.13. Sức điện động của một số vật liệu chế tạo điện cực

1. Telua; 2. Chrome; 3. Sắt; 4. Đồng; 5. Graphit;
6. Hợp kim platin-rod; 7. Platin; 8. Alumel;
9. Niken; 10. Constantan; 11. Coben.

Trong công nghiệp, tùy thuộc nhiệt độ và tính chất của môi trường đo, có thể sử dụng các cặp nhiệt ngẫu khác nhau, dưới đây là một số cặp thông dụng.

Quan hệ giữa sức điện động và nhiệt độ của một số cặp nhiệt cho ở hình 3.14.



Hình 3.14. Sức điện động của một số cặp nhiệt ngẫu

E - Chromel - Constantan;

R - Platin Rodi (13%) - Platin

J - Sắt - Constantan

S - Platin Rodi (10%) - Platin

K - Chromel - Alumel

B - Platin Rodi (30%) - Platin-rodì (6%)

- Cặp Platin-Rodi/Platin: Cực dương là hợp kim Platin (90%) và rodi (10%), cực âm là platin sạch.

Đặc tính:

- + 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 đường cong bậc hai, trong khoảng nhiệt độ $0 - 300^{\circ}\text{C}$ thì $E_d \approx 0$.
- + Trong môi trường có SiO_2 có thể bị hỏng ở nhiệt độ $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$.

Các cực của cặp nhiệt ngẫu Pt-Rd / Pt thường được chế tạo với đường kính $\phi = 0,5 \text{ mm}$. 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 $95\%\text{Ni} + 5\%(\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Si})$].

Đặc tính:

- + 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 (hợp kim gồm $56\%\text{Cu} + 44\%\text{Ni}$).

Đặc tính: + 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.

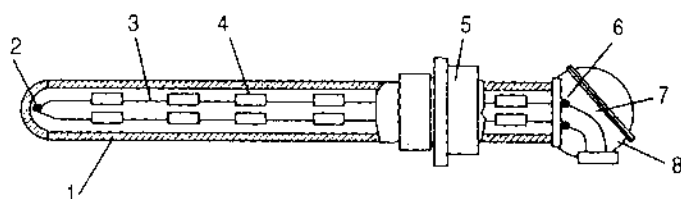
Đặc tính: + Nhiệt độ làm việc ngắn hạn 600°C .

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

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

3.4.3. Cấu tạo của cặp nhiệt

Cấu tạo điển hình của một cặp nhiệt công nghiệp trình bày trên hình 3.15.



Hình 3.15. Cấu tạo cặp nhiệt

1. Vỏ bảo vệ; 2. Mối hàn; 3. Dây 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 cực (3) được hàn nối với nhau bằng hàn vảy, hàn khí hoặc hàn tia điện tử. Đầu tự do nối với dây nối (7) tới dụng cụ đo nhờ các vít nối dây (6) 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.

3.4.4. 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, do vậy muốn nâng cao độ chính xác cần phải:

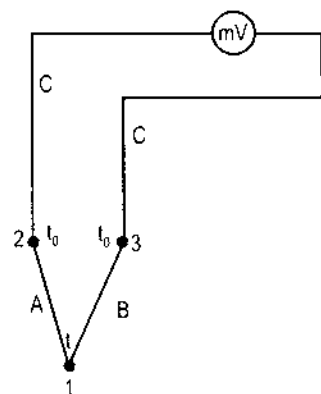
- + Giảm thiểu ảnh hưởng tác động của môi trường đo lên nhiệt độ đầu tự do.
- + Giảm thiểu sự sụt áp do có dòng điện chạy qua các phần tử của đầu đo và mạch đo.

a) Sơ đồ mạch đo dùng milivôn kế

Sơ đồ: Trên hình 3.16 biểu diễn sơ đồ mạch đo thông dụng dùng milivôn kế.

Trong mạch đo, cặp nhiệt (AB) được nối với milivôn kế (mV) qua các dây dẫn (C) tạo thành mạch kín. Dòng điện (i) do suất điện động nhiệt điện $E_{AB}(t, t_0)$ sinh ra trong mạch chạy qua khung dây của milivôn kế, làm khung dây quay đi một góc (φ):

$$\varphi = \frac{k_1}{k_2} \cdot i \quad (3.26)$$



Hình 3.16. Sơ đồ mạch đo dùng milivôn kế

Trong đó:

k_1 - hệ số phụ thuộc cấu tạo của khung dây và từ trường của nam châm, xác định bởi công thức:

$$k_1 = c_1 \cdot n \cdot e \cdot r \cdot L \cdot B$$

k_2 - hệ số phụ thuộc vào độ cứng của lò xo cân của milivôn kế;

c_1 - hằng số;

n - số vòng dây của khung dây;

r - bán kính của khung dây;

e - điện tích của điện tử;

L - chiều dài cạnh khung dây;

B - cảm ứng từ của nam châm vĩnh cửu.

Đặt $S = \frac{k_1}{k_2}$ gọi là độ nhạy của milivôn kế ta có:

$$\varphi = S \cdot i \quad (3.27)$$

Thang đo của milivôn kế được chia độ theo nhiệt độ.

Để đo trực tiếp hiệu nhiệt độ giữa hai điểm người ta dùng sơ đồ đo vi sai như hình 3.17. Trong sơ đồ này, cả hai đầu (1) và (2) của cặp nhiệt ngẫu 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 $t_1 - t_2$.

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 3.18. Sức điện động tổng của bộ mắc nối tiếp bằng $E_{\Sigma} = nE_{AB}(t, t_0)$.

- Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác phép đo:

Ảnh hưởng của nhiệt độ đầu tự do t_0 : Các cặp nhiệt được chuẩn ở điều kiện nhiệt độ đầu tự do $t_0 = 0^\circ\text{C}$, khi đó:

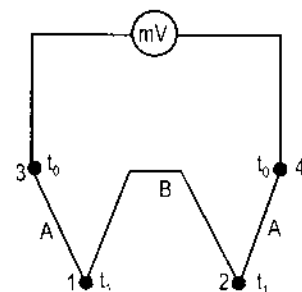
$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

Nếu nhiệt độ đầu tự do bằng $t'_0 \neq t_0 = 0^\circ\text{C}$ thì giá trị sức điện động đo được:

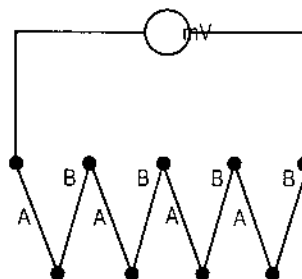
$$E_{AB}(t, t'_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t'_0)$$

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

Hay: $E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + E_{AB}(t'_0, t_0) \quad (3.28)$



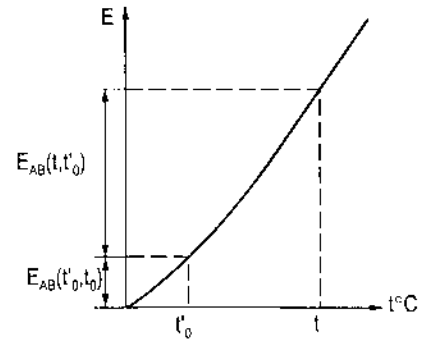
Hình 3.17. Sơ đồ đo vi sai



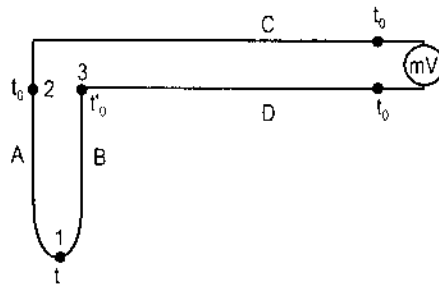
Hình 3.18. Sơ đồ mắc nối tiếp

Do $E_{AB}(t, t'_0) \neq E_{AB}(t, t_0)$, trong khi thang chia độ của milivôn kế chia theo giá trị của $E_{AB}(t, t_0)$ dẫn đến sai số khi đo, để khắc phục sai số này cần bù nhiệt độ đầu tự do, 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 3.20.



Hình 3.19. Ảnh hưởng nhiệt độ đầu tự do



Hình 3.20. Bù nhiệt độ đầu tự do bằng dây bù

Từ sơ đồ ta có:

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

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

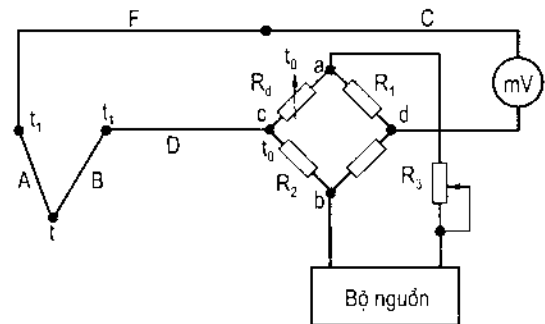
$$E = e_{AB}(t) - e_{CD}(t_0)$$

Vì $e(t_0) = 0$, nên:

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

Dùng cầu bù: Trên hình 3.21 giới thiệu sơ đồ dùng cầu bù tự động 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 $U_{cd} = 0$. Giả sử nhiệt độ đầu tự do tăng lên t'_0 , khi đó R_d tăng lên, cầu mất



Hình 3.21. Cầu bù tự động bù nhiệt độ đầu tự do

cân bằng, làm xuất hiện một điện áp U_{cd} . Người ta tính toán sao cho điện áp này bù vào sức nhiệt điện động 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 $0 \div 50^\circ\text{C}$ là $\pm 3^\circ\text{C}$.

Ảnh hưởng của điện trở mạch đo:

Xét mạch đo dùng milivôn kế điện từ (hình 3.22).

Tổng trở của mạch đo xác định theo công thức:

$$\sum R = R_t + R_d + R_v$$

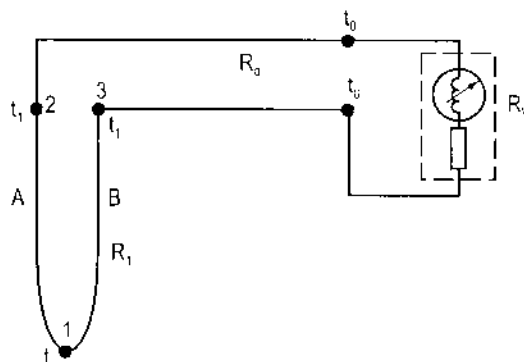
Trong đó:

R_t - điện trở của các điện cực;

R_d - điện trở của dây nối;

R_v - điện trở trong của milivôn kế.

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



Hình 3.22. Ảnh hưởng của điện trở mạch đo

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

$$\text{Rút ra: } E_{AB}(t, t_0) = V_m \left[1 + \frac{R_t + R_d}{R_v} \right] \quad (3.29)$$

Theo biểu thức (3.29) 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.

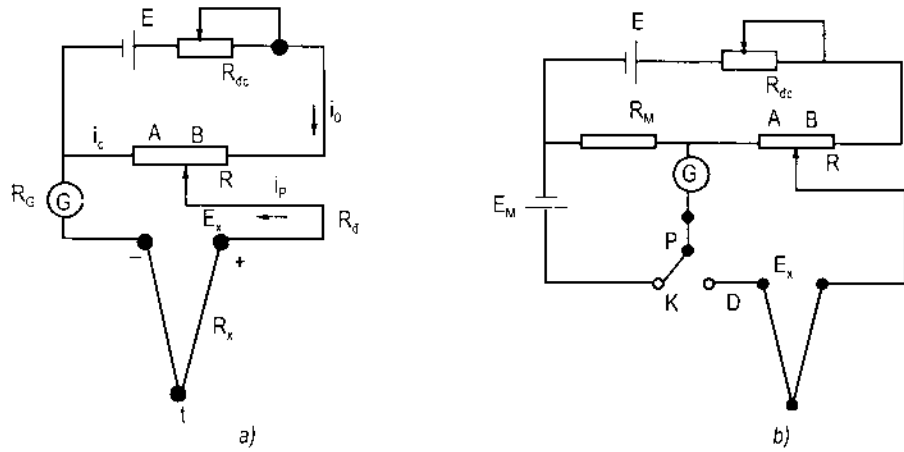
Ảnh hưởng của R_d : thông thường R_d khá nhỏ nên ít ảnh hưởng tới kết quả đo.

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_{kl} (chế tạo bằng đồng $\alpha_R = 4,2 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$). Để giảm sai số nên chọn R_p/R_{kl} lớn.

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

Sơ đồ hình 3.23 trình bày hai sơ đồ mạch 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 3.23. Sơ đồ đo bằng phương pháp xung đối

Theo sơ đồ hình (3.23a) 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:
$$R_{AB} = \frac{l}{L} R$$

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

Nếu cố định được I_0 , L và 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 (3.23b), 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 đo, 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

Hỏa kế là dụng cụ đo nhiệt độ không tiếp xúc. Theo nguyên lý làm việc người ta chia ra: hỏa kế bức xạ toàn phần, hỏa kế quang.

3.5.1. Hỏa kế bức xạ toàn phần

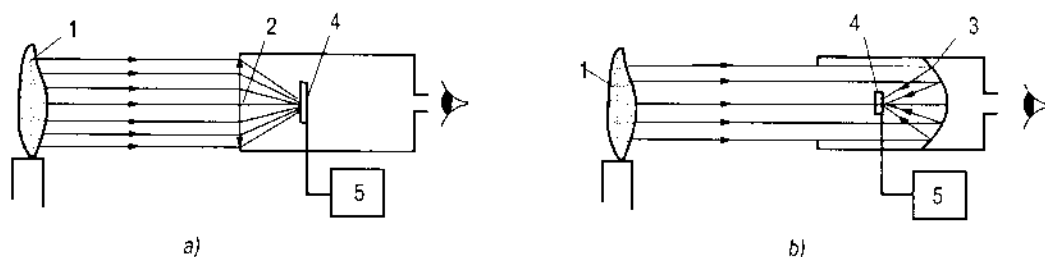
Nguyên lý đo dựa trên định luật Kiếp-khốp: Năng lượng bức xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỉ lệ với lũy thừa bậc 4 của nhiệt độ tuyệt đối của vật.

$$E = \sigma T^4$$

Trong đó: σ - hệ số bức xạ;

T - nhiệt độ tuyệt đối của vật đen tuyệt đối (K).

Hỏa kế bức xạ toàn phần có hai dạng: hỏa kế bức xạ có ống kính hội tụ (hình 3.24a) và hỏa kế bức xạ có kính phản xạ (hình 3.24b).



Hình 3.24. Hỏa kế bức xạ toàn phần

a) Loại có ống kính hội tụ b) Loại có kính phản xạ

1. Nguồn bức xạ; 2. Thấu kính hội tụ; 3. Gương phản xạ;

4. Bộ phận thu năng lượng; 5. Dụng cụ đo thứ cấp.

Trong sơ đồ hình 3.24a: 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 3.24b: ánh sáng từ nguồn bức xạ (1) đập tới gương phản xạ (3) và hội tụ tới bộ phận thu năng lượng 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 thỏa 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 đó.

Trên hình 3.25 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) là lớp phủ bằng bột platin.

Hoà kế dùng gương phản xạ tổn thất năng lượng thấp (~ 10%), hoà 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 hoà kế bức xạ sai số thường không vượt quá $\pm 27^\circ\text{C}$, 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 $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

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

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

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

Với ΔT là lượng hiệu chỉnh phụ thuộc $T_{\text{đọc}}$ và độ đen của vật đo (hình 3.26).

3.4.2. Hoà kế quang

Theo định luật Planck cường độ bức xạ đơn sắc của một vật bức xạ ứng với bước sóng λ ở nhiệt độ $T^\circ\text{K}$ xác định bởi công thức:

$$I_{\lambda-T} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad (3.31)$$

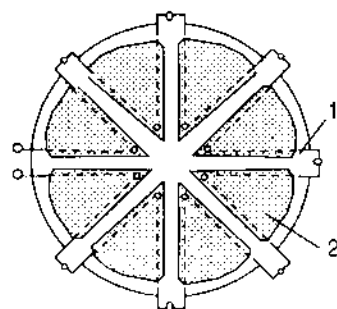
Trong đó:

$I_{\lambda-T}$ - cường độ bức xạ đơn sắc ứng với bước sóng λ ở nhiệt độ $T^\circ\text{K}$;

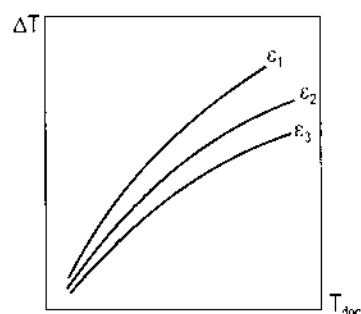
C_1, C_2 - các hằng số.

Nguyên tắc đo nhiệt độ bằng hoà kế quang là so sánh 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.

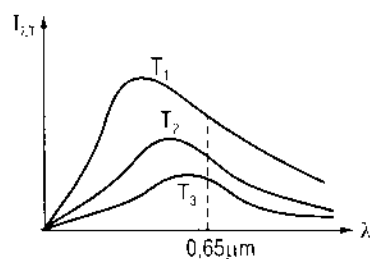
Từ hình 3.27 ta nhận thấy sự phụ thuộc giữa I và λ không đơn trị, do đó người ta thường cố định bước sóng ở $0,65\mu\text{m}$.



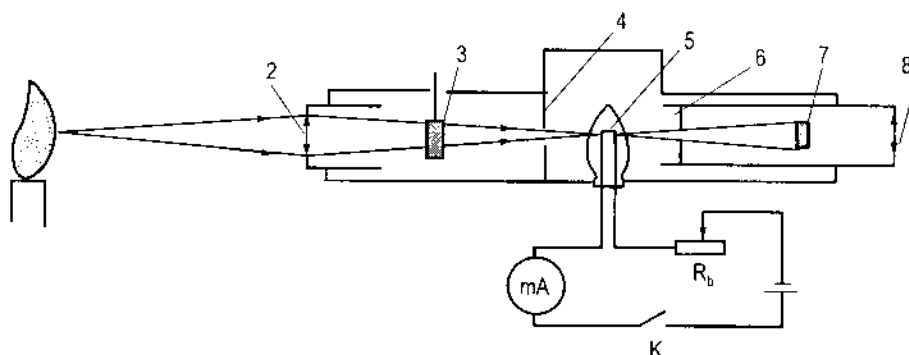
Hình 3.25. Bộ thu năng lượng
1. Cặp nhiệt; 2. Lớp phủ platin.



Hình 3.26. Hiệu chỉnh nhiệt độ theo độ đen



Hình 3.27. Sự phụ thuộc của cường độ ánh sáng vào bước sóng và nhiệt độ



Hình 3.28. Sơ đồ hoá kế quang học
 1. Nguồn bức xạ; 2. Vật kính; 3. Kính lọc; 4, 6. Vách ngăn;
 5. Bóng đèn mẫu; 7. Kính lọc ánh sáng đỏ; 8) Thị kính.

Trên hình 3.28 trình bày sơ đồ cấu tạo của hỏa kế quang.

Khi đo, hướng hoá kế quang vào vật cần đo (1), ánh sáng bức xạ từ vật 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. Bật công tắc K để cấp điện nung nóng dây tóc bóng đèn mẫu (5), điều chỉnh biến trở R_b để độ sáng của dây tóc bóng đèn trùng với độ sáng của vật cần đo.

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.

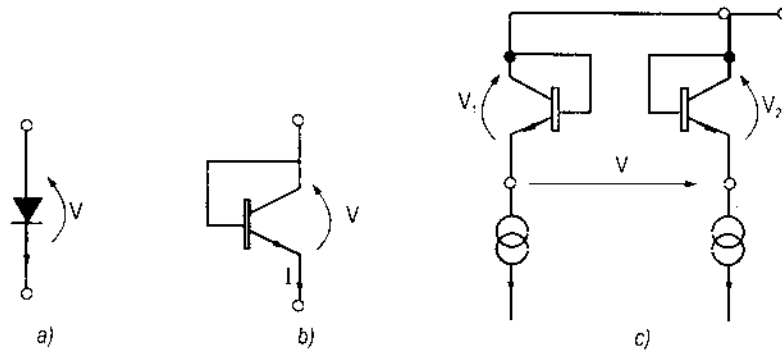
3.6. CÁC LOẠI CẢM BIẾN ĐO NHIỆT ĐỘ KHÁC

Để đo nhiệt độ có thể sử dụng diot hoặc tranzito mắc theo kiểu diot (nối B với C) và phân cực thuận với dòng không đổi. Khi đó điện áp (V) giữa hai cực sẽ là hàm của nhiệt độ: $V = F(T)$.

Độ nhạy nhiệt của diot hoặc tranzito mắc theo kiểu diot xác định bởi biểu thức:

$$S = \frac{dV}{dt}$$

Thường giá trị của độ nhạy nhiệt vào cỡ $-2,5V/^{\circ}C$. Độ nhạy nhiệt phụ thuộc vào dòng ngược qua diot nên để đo nhiệt độ cần chọn các linh kiện có đặc trưng tương tự (đối với một giá trị dòng I cho trước phải có cùng điện áp V và dòng ngược I_0).



Hình 3.29. Sơ đồ đo nhiệt độ bằng diot và tranzito
a) Diot; b) Tranzito mắc theo kiểu diot; c) Cặp tranzito mắc theo kiểu diot.

Để tăng độ tuyến tính và loại trừ ảnh hưởng của dòng ngược, người ta dùng hai tranzito mắc xung đối (sơ đồ hình 3.29c), khi đó độ nhạy nhiệt xác định theo công thức:

$$S = 86,56 \ln \frac{I_1}{I_2} \quad (\mu V/^{\circ}K)$$

Khi đó hiệu điện thế giữa hai cực emitor xác định theo công thức:

$$V = S.T$$

Độ nhạy nhiệt của diot hoặc tranzito mắc theo kiểu diot lớn hơn nhiều so với cặp nhiệt ngẫu nhưng nhỏ hơn so với nhiệt điện trở. Mặt khác, dùng diot hoặc tranzito không cần đến nhiệt độ chuẩn. Các nhiệt kế dùng diot hoặc tranzito có thể đo nhiệt độ nằm trong khoảng $-50 \div 150^{\circ}C$ với độ ổn định cao.

Chương 4

CẢM BIẾN ĐO VỊ TRÍ VÀ DỊCH CHUYỂN

4.1. NGUYÊN LÝ ĐO VỊ TRÍ VÀ DỊCH CHUYỂN

Các cảm biến xác định vị trí và dịch chuyển được sử dụng nhiều trong kỹ thuật đo lường và các hệ thống điều khiển tự động. Trong chương này nghiên cứu những vấn đề cơ bản về xác định vị trí và dịch chuyển cũng như các bộ cảm biến xác định vị trí và dịch chuyển được sử dụng nhiều trong công nghiệp như điện thế kế điện trở, cảm biến điện cảm, cảm biến điện dung, cảm biến quang, cảm biến dùng sóng đàn hồi.

Để xác định vị trí và đo dịch chuyển người ta sử dụng hai phương pháp cơ bản sau:

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 vị trí hoặc 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 hoặc 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.

4.2. ĐIỆN THẾ KẾ ĐIỆN TRỞ

Điện thế kế điện trở là loại cảm biến có cấu tạo đơn giản, tín hiệu đo lớn và không đòi hỏi mạch điện đặc biệt để xử lý tín hiệu. Theo nguyên lý cấu tạo điện thế kế điện trở được chia làm hai loại: điện thế kế điện trở dùng con chạy cơ học và điện thế kế điện trở không dùng con chạy cơ học.

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.

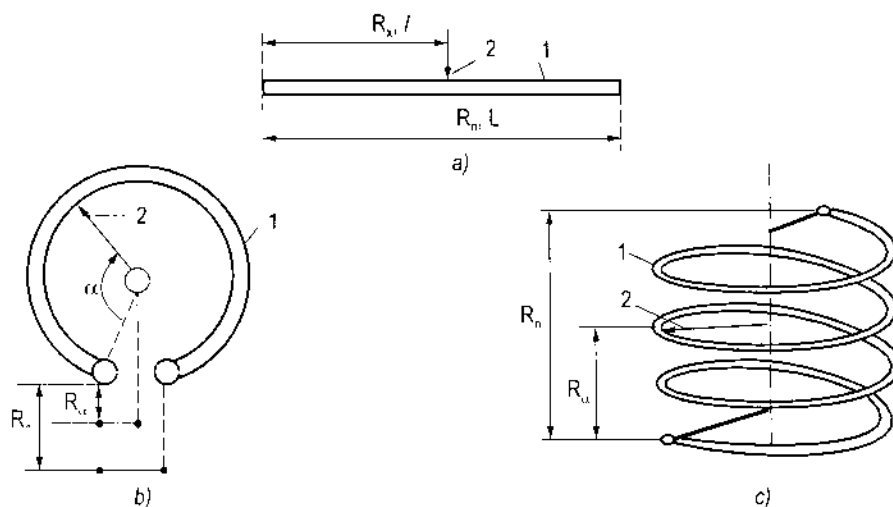
Đối với điện thế kế chuyển động thẳng (hình 4.1a):

$$R_x = \frac{l}{L} R_n \quad (4.1)$$

Đối với điện thế kế dịch chuyển tròn hoặc xoắn:

$$R_\alpha = \frac{\alpha}{\alpha_M} R_n \quad (4.2)$$

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 dạng dây cuộn hoặc băng dẫn. Các điện trở dạng dây cuộn 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.

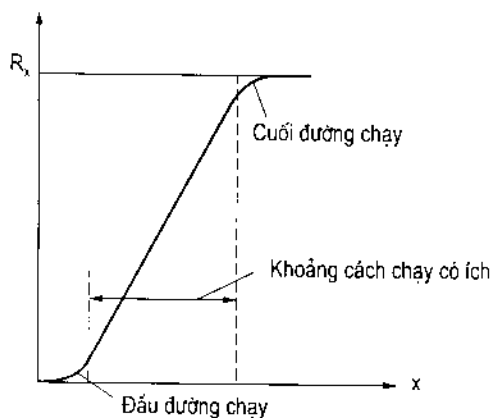
Các điện trở dạng băng dẫn được chế tạo bằng chất dẻo trộn bột dẫn điện là cacbon hoặc kim loại cỡ hạt $\sim 10^{-2} \mu\text{m}$.

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.

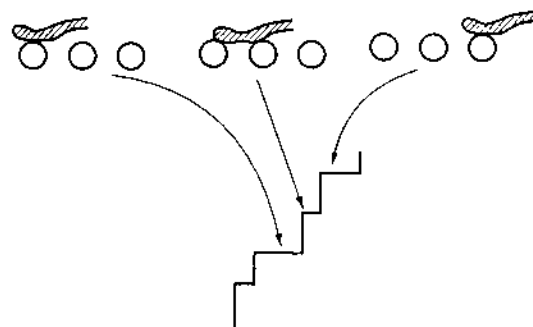
b) Các đặc trưng

- 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 kế 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 $5 \cdot 10^7 \div 10^8$ lần.

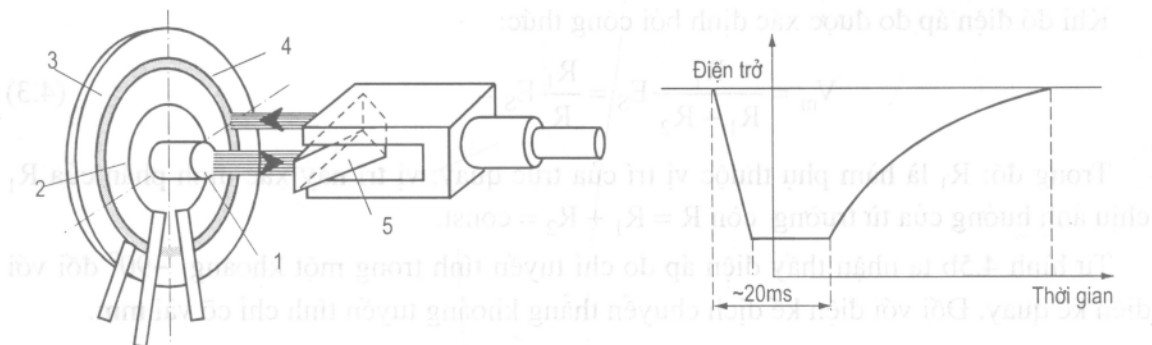
Các điện thế kế điện trở dùng con chạy cơ học tuy có cấu tạo đơn giản nhưng có sự cọ xát gây ồn và mòn, số lần sử dụng thấp và chịu ảnh hưởng lớn của môi trường khi có bụi và ẩm.

4.2.2. 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.



Hình 4.4. Điện thế kế quay dùng con trở quang

1. Diot phát quang; 2. Bồng đo; 3. Băng tiếp xúc; 4. Băng quang dẫn; 5. Kính phản xạ.

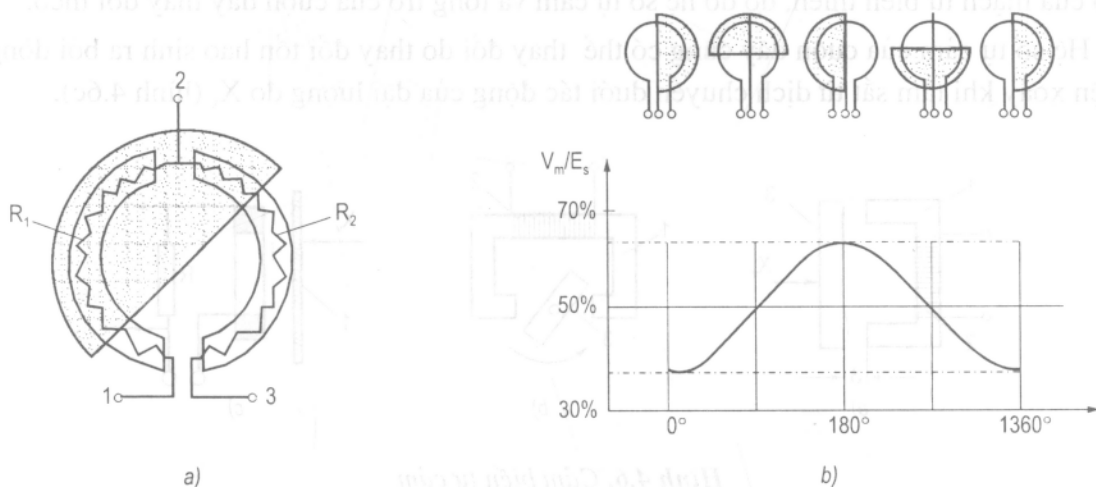
Điện thế kế tròn dùng con trở quang gồm diot phát quang (1), bồng đo (2), băng tiếp xúc (3) và băng quang dẫn (4). Băng điện trở đo được phân cách với băng tiếp xúc bởi một băng quang dẫn rất mỏng làm bằng CdSe trên đó có con trở quang dịch chuyển khi trục của điện thế kế quay. Điện trở của vùng quang dẫn giảm đáng kể trong vùng được chiếu sáng tạo nên sự liên kết giữa băng đo và băng tiếp xúc.

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 dùng con trở 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 phần bị 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).



Hình 4.5. Điện thế kế điện từ

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

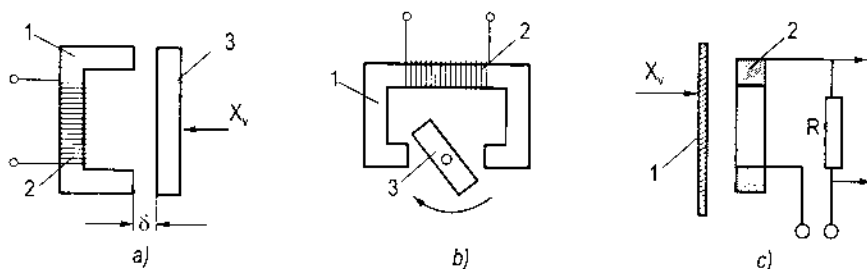
Cảm biến tự cảm đơn: hình 4.6 trình bày sơ đồ nguyên lý cấu tạo của một số loại cảm biến tự cảm đơn.

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 động 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).



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

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;

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

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:

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

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

$$S_\delta = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = - \frac{L_0}{\delta_0 \left[1 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^2 \right]^2} \quad (4.5)$$

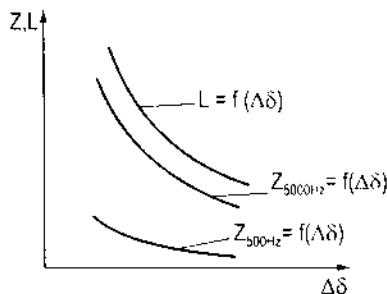
Độ nhạy của cảm biến tự cảm khi thay đổi tiết diện không khí ($\delta = \text{const}$):

$$S_s = \frac{\Delta L}{\Delta s} = \frac{L_0}{s_0} \quad (4.6)$$

Tổng trở của cảm biến:

$$Z = \omega L = \frac{\omega W^2 \mu_0 s}{\delta} \quad (4.7)$$

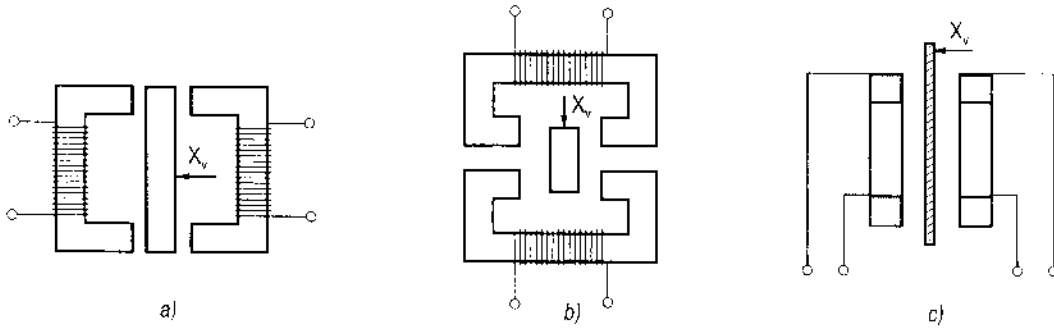
Từ công thức (4.7) ta thấy tổng trở Z của cảm biến là hàm tuyến tính với tiết diện khe hở không khí s và phi tuyến với chiều dài khe hở không khí δ .



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

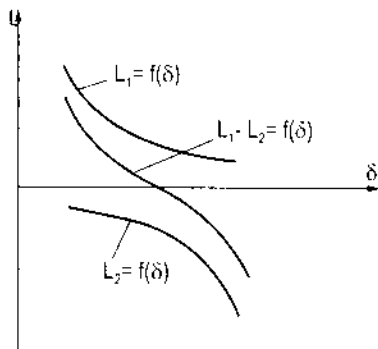
Đặc tính của cảm biến tự cảm đơn $Z = f(\Delta\delta)$ là hàm phi tuyến và phụ thuộc tần số nguồn kích thích, tần số nguồn kích thích càng cao thì độ nhạy của cảm biến càng cao (hình 4.7).

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).

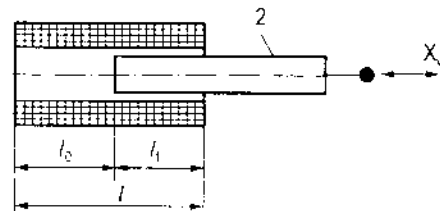


Hình 4.8. Cảm biến tự cảm kép mắc theo kiểu vi sai

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



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

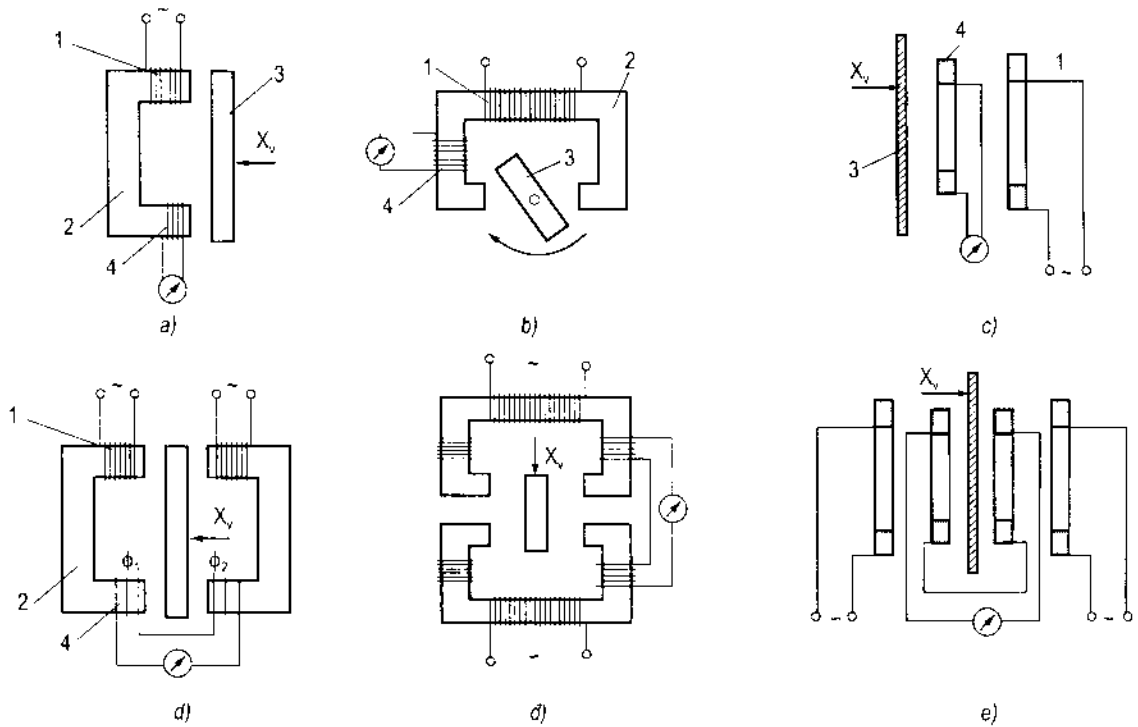
b) Cảm biến tự cảm có lõi từ di động

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

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 cấu 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).



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).

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 từ biến thiên:

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 .

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:

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

$$\text{Hay} \quad \Delta E = k \frac{\Delta s}{\delta_0} - ks \frac{\Delta \delta}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \quad (4.8)$$

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

$$S_\delta = \frac{\Delta E}{\Delta \delta} = -\frac{ks}{\delta_0^2 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2} = -\frac{E_0}{\delta_0 \left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2} \quad (4.9)$$

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

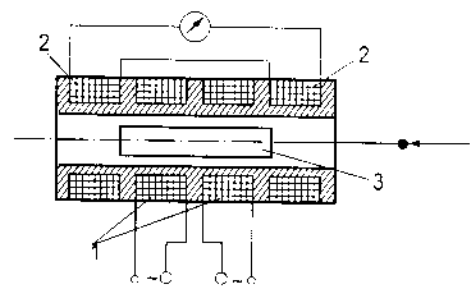
$$S_s = \frac{\Delta E}{\Delta s} = \frac{k}{\delta_0} = \frac{E_0}{s_0} \quad (4.10)$$

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

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.

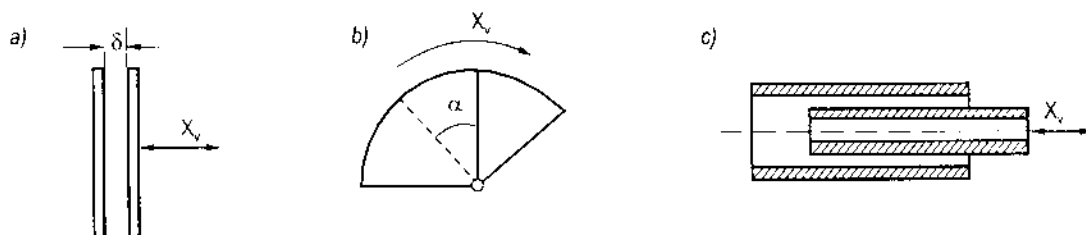
Khi điện trở của thiết bị đo đủ lớn, điện áp đo V_m gần như tuyến tính với hiệu số các hệ số hồ cảm của hai cuộn thứ cấp.

4.4. CẢM BIẾN ĐIỆN DUNG

Trong các cảm biến điện dung, bộ phận cơ bản là một tụ điện, trong đó có một bản cực có thể di động được.

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.



Hình 4.13. Cảm biến tụ điện đơn

Đối với cảm biến hình 4.13a, điện dung của tụ điện:

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

Trong đó: 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

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.

Đối với cảm biến hình 4.13b:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta} = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{360 \delta} \cdot \alpha \quad (4.11)$$

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

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.

Đối với cảm biến hình 4.13c:

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0}{\log(r_2 / r_1)} \cdot l \quad (4.12)$$

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.

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:

$$\Delta C = \frac{s_0}{\delta_0} \Delta \epsilon + \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \Delta s - \frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \quad (4.13)$$

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

$$S_{C\delta} = \frac{\Delta C}{\Delta \delta} = -\frac{\epsilon_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \quad (4.14)$$

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

$$S_{Cs} = \frac{\Delta C}{\Delta s} = \frac{\epsilon_0}{\delta_0} \quad (4.15)$$

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

$$S_{C\epsilon} = \frac{\Delta C}{\Delta \epsilon} = \frac{s_0}{\delta_0} \quad (4.16)$$

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:

$$S_{Z\epsilon} = -\frac{\delta_0}{\omega s_0 (\epsilon_0 + \Delta \epsilon)^2} \quad (4.17)$$

$$S_{Zs} = -\frac{\delta_0}{\omega \varepsilon_0 (s_0 + \Delta s)^2} \quad (4.18)$$

$$S_{Z\delta} = \frac{1}{\omega \varepsilon_0 s_0} \quad (4.19)$$

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.

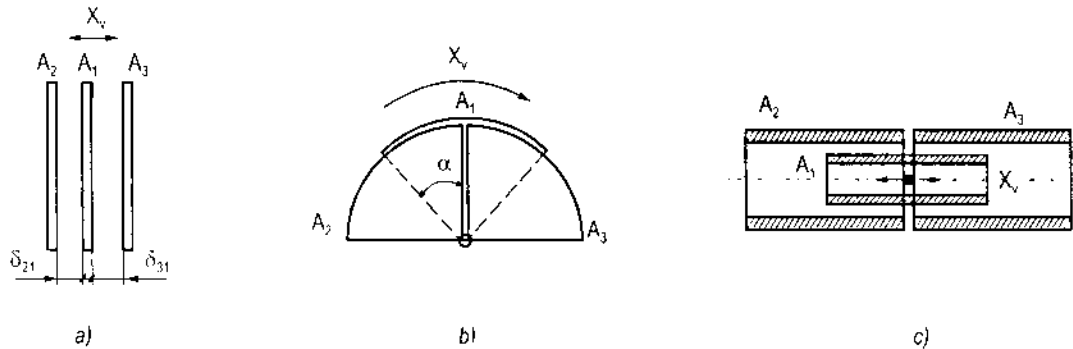
+ Biến thiên dung kháng của cảm biến tụ điện là hàm tuyến tính khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi nhưng phi tuyến khi diện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi.

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

Để tăng độ nhạy và đặc tính tuyến tính của cảm biến người ta sử dụng cảm biến tụ kép vi sai.

Các tụ kép vi sai gồm có ba bản cực (hình 4.14), một bản cực động A_1 dịch chuyển khi đối tượng đo dịch chuyển, còn hai bản cực A_2 và A_3 cố định tạo thành hai tụ điện có điện dung C_{21} và C_{31} .



Hình 4.14. Cảm biến tụ kép vi sai

Với tụ kép vi sai do dịch chuyển thẳng (hình 4.14a), khi bản cực động A_1 dịch chuyển, chẳng hạn sang phải, δ_{21} tăng kéo theo C_{21} giảm, ngược lại δ_{31} giảm kéo theo C_{31} tăng. Điện dung của hai tụ điện biến thiên ngược chiều nhau làm tăng độ nhạy và độ tuyến tính của cảm biến.

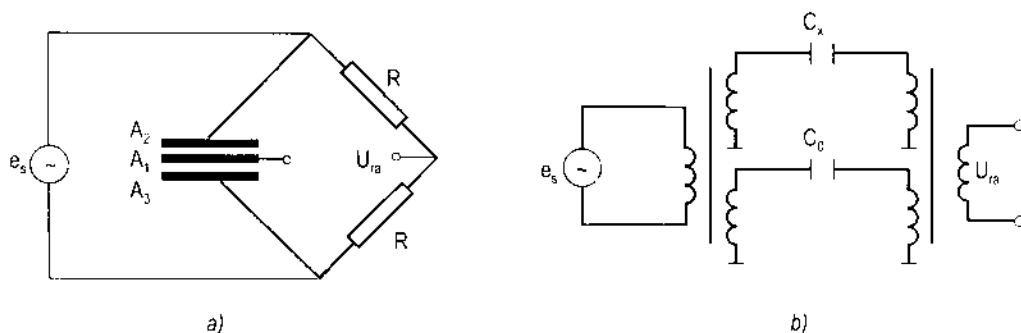
Với tụ kép vi sai do dịch chuyển quay (hình 4.14b), bản cực động A_1 dịch chuyển quay giữa hai bản cực tĩnh A_2 và A_3 làm thay đổi diện tích bản cực của các tụ.

Hình 4.14c cũng là tụ kép vi sai do dịch chuyển thẳng nhưng dựa vào thay đổi điện tích giữa các bản cực.

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 4.15. Mạch đo thường dùng với cảm biến tụ điện

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

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

4.5. CẢM BIẾN QUANG

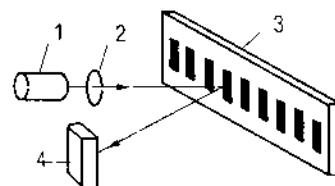
Các cảm biến xác định vị trí và dịch chuyển theo phương pháp quang học gồm nguồn phát ánh sáng kết hợp với một đầu thu quang (thường là tế bào quang điện).

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 vạch chia phản quang sẽ bị phản xạ trở lại đầu thu quang.

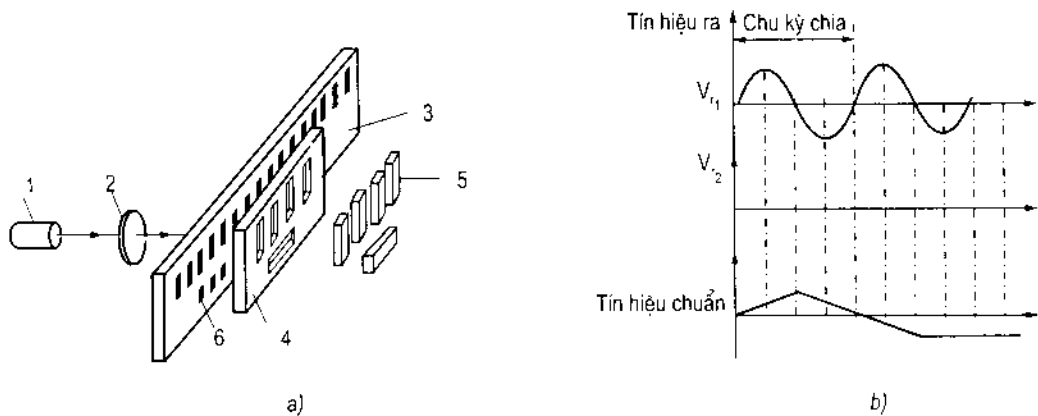


Hình 4.16. Cảm biến quang phản xạ
1. Nguồn phát; 2. Thấu kính;
3. Thước đo; 4. Đầu thu quang.

Cảm biến loại dọi 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 lưới chia kích quang và các phần tử thu quang.



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.

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

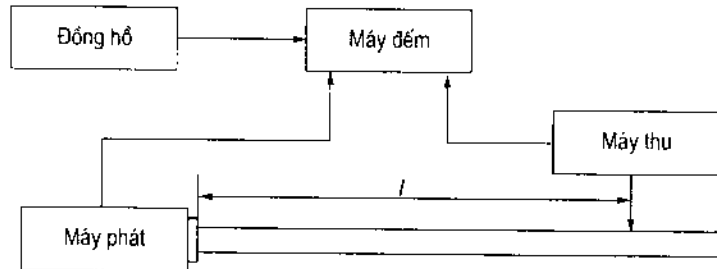
Tốc độ truyền sóng đàn hồi v trong chất rắn $\sim 10^3$ m/s. Thời gian truyền sóng giữa hai điểm trong vật rắn cách nhau một khoảng l xác định bởi biểu thức:

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

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.



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

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.

Gọi số xung đếm được là N và chu kỳ của xung đếm là t_{II} , ta có:

$$t_p = Nt_{II}$$

Khi đó:

$$l = vNt_{II} \quad (4.20)$$

4.6.2. Cảm biến sử dụng phân tử áp điện

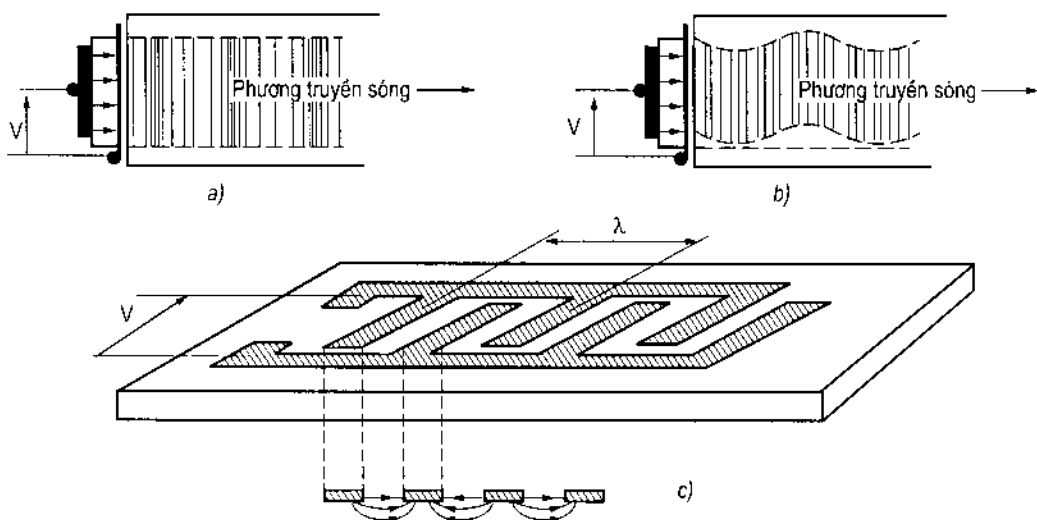
Trong các cảm biến áp điện, sóng đàn hồi được phát và thu nhờ sử dụng hiệu ứng áp điện. Hiệu ứng áp điện là hiện tượng khi một tấm vật liệu áp điện (thí dụ thạch anh) bị biến dạng dưới tác dụng của một lực cơ học có chiều nhất định, trên các mặt đối diện của tấm xuất hiện một lượng điện tích bằng nhau 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 sóng khối ngang;
- + Sóng bề mặt.

Sóng khối dọc truyền cho các phân 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 phân 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 phân 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 khoảng 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.

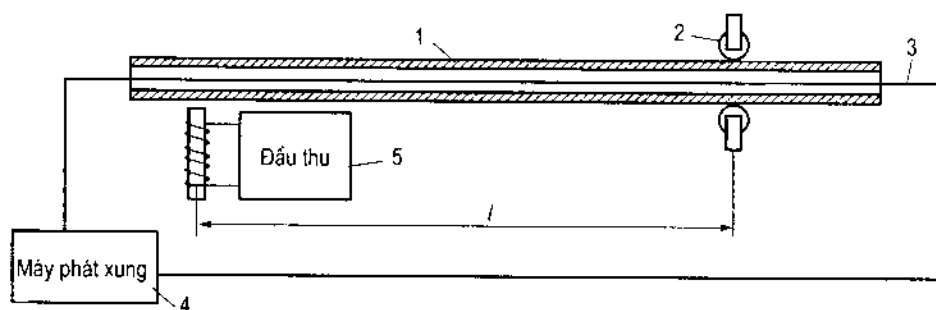
Nguyên lý hoạt động của cảm biến: Máy phát (4) cung cấp một xung điện truyền qua dây dẫn (3), xung này truyền với vận tốc ánh sáng (c), từ trường do nó sinh ra có đường sức là đường tròn đồng tâm với trục ống. Khi sóng điện từ truyền đến vị trí nam châm (2), sự kết hợp của hai từ trường làm cho ống bị 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 hồi đến khi nhận được xung hồi đáp, do $v \ll c$ ta có:

$$t_p = \frac{l}{v} \quad (4.21)$$

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



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.

Chương 5

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. Khái niệm cơ bản

- Biến dạng tương đối ε : là tỉ số giữa độ biến thiên kích thước (Δl) do biến dạng gây ra 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 $\sim 20 \div 80 \text{ kG/mm}^2$.

- Môđun Young (Y): xác định biến dạng theo phương của ứng lực.

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

Trong đó: 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 $\sim 18.000 \div 29.000 \text{ kG/mm}^2$.

- 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

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.

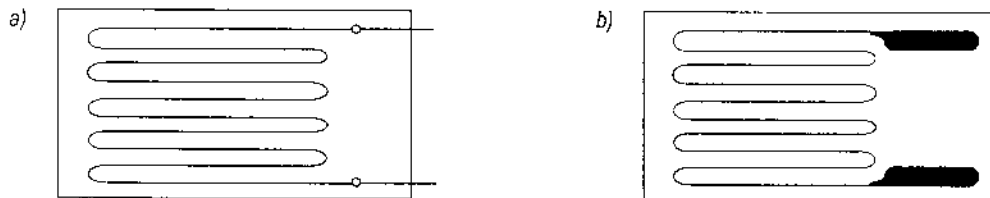
Đầu đo dạng dây rung được dùng trong ngành xây dựng. Đầu đo được làm bằng một sợi dây kim loại căng giữa hai điểm của cấu trúc cần đo biến dạng. Tần số của dây rung là hàm của sức căng cơ học, tần số này thay đổi khi khoảng cách hai điểm nối thay đổi.

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 $10 \div 20$ nhánh.



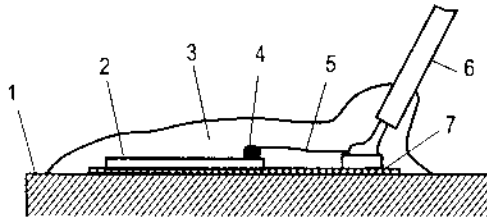
Hình 5.1. Sơ đồ cấu tạo của đầu đo kim loại
a) Đầu đo dùng dây quấn; b) Đầu đo dùng lưới màng.

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

Bảng 5.1. Một số vật liệu làm điện trở

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 :

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (5.4)$$

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:

$$\frac{\Delta R}{R} = \left\{ (1 + 2\nu) + C(1 - 2\nu) \right\} \frac{\Delta l}{l} = K \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (5.5)$$

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

$$K = 1 + 2\nu + C(1 - 2\nu) \quad (5.6)$$

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 $K = 2 \div 3$, 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 $\Delta l/l > 0,5\% \div 20\%$ 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:

$$K(T) = K_0 \{1 + \alpha_K (T - T_0)\} \quad (5.7)$$

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

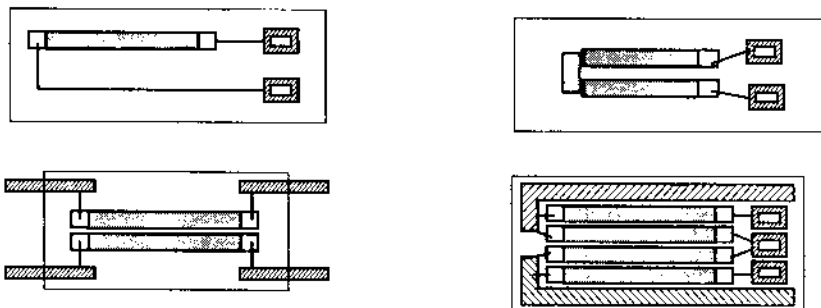
α_K - hệ số, phụ thuộc vật liệu. Với Nichrome V thì $\alpha_K = -0,04\%/^\circ\text{C}$, constantan $\alpha_K = 0,01\%/^\circ\text{C}$.

- 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 có thể bỏ qua.

5.3. CẢM BIẾN ÁP TRỞ SILIC

5.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

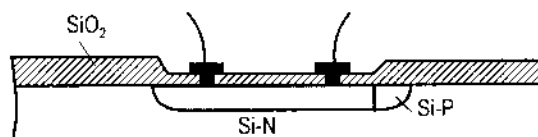
Đầu đo bán dẫn được làm bằng đơn tinh thể silic pha tạp. Cấu tạo của chúng phụ thuộc các chế tạo.



Hình 5.3. Đầu đo chế tạo bằng các mẫu cắt

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.

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 (P, Sb), còn điện trở loại P khuếch tán tạp chất thuộc nhóm III (Ga, In) vào đế silic loại N. Chuyển tiếp giữa đế và vùng khuếch tán tạo nên một diot 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:
$$\frac{\Delta R}{R} = \left\{ (1 + 2\nu) + \pi Y \right\} \frac{\Delta l}{l} \quad (5.8)$$

và hệ số đầu đo:

$$K = 1 + 2\nu + \pi Y \quad (5.9)$$

Thông thường $K = 100 \div 200$.

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:

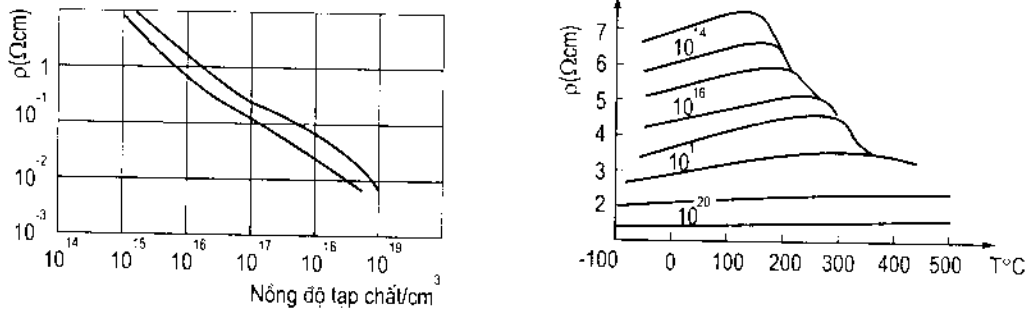
Ảnh hưởng của độ pha tạp: khi tăng độ pha tạp, mật độ hạt dẫn trong vật liệu tăng lên và điện trở suất của nó giảm xuống. Biểu thức chung của điện trở suất có dạng:

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

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 :

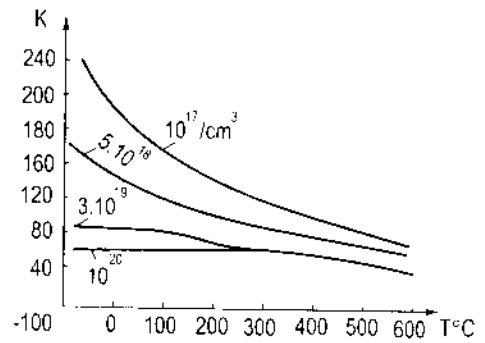
Ảnh hưởng của độ pha tạp: Hệ số đầu đo phụ thuộc vào độ pha tạp, khi độ pha tạp tăng lên, hệ số đầu đo giảm (hình 5.6).

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.



Hình 5.6. Sự phụ thuộc của K vào độ pha tạp

5.4. ĐẦU ĐO TRONG CHẾ ĐỘ ĐỘNG

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

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:

$$l \geq 0,1\lambda$$

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

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (5.10)$$

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 - 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 mỗi

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

Giới hạn mỗi 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 $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ giới hạn mỗi 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:

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{Sd}} \quad (5.11)$$

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:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{Y} \frac{F}{S} \quad (5.12)$$

Do đó tần số dao động của dây:

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

Suy ra:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{4l^2 d}{Y} N^2 = K \cdot N^2 \quad (5.13)$$

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:

$$\frac{\Delta l}{l} = K (N_1^2 - N_0^2) \quad (5.14)$$

Đo N_0 và N_1 ta có thể tính được biến dạng của cấu trúc.

Chương 6

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:

$$\vec{F} = M\vec{a} \quad (6.1)$$

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. 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.

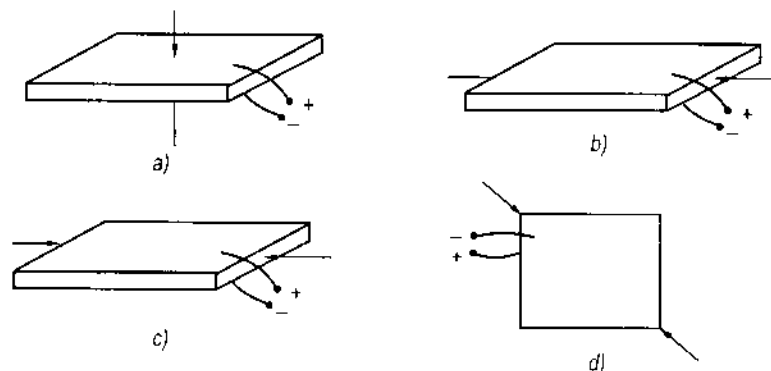
Đặc trưng vật lý của một số vật liệu áp điện được trình bày trên bảng 6.1.

Bảng 6.1 Đặc trưng vật lý của một số vật liệu áp điện

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.

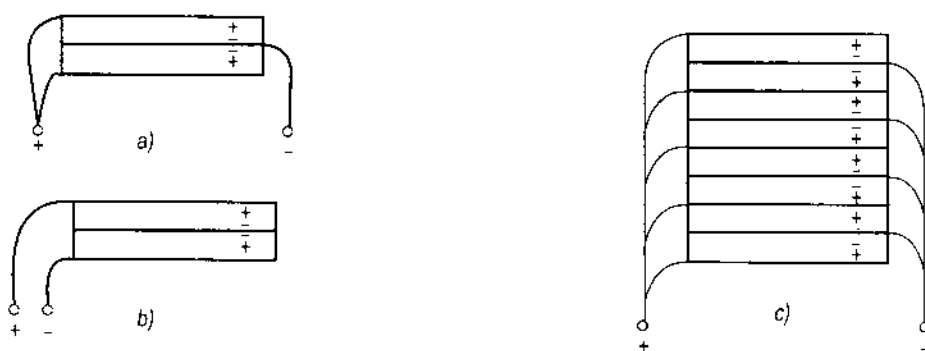
Các biến dạng cơ bản xác định chế độ làm việc của bản áp điện. Trên hình 6.1 biểu diễn các biến dạng cơ bản của bản áp điện.



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.



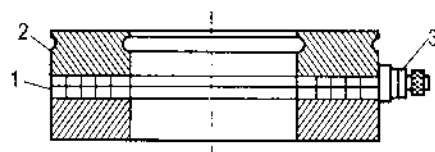
Hình 6.2. Cách ghép các phần tử áp điện

a) Hai phần tử song song; b) Hai phần tử nối tiếp; c) Nhiều phần tử song song.

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 chiều 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 điện 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%.

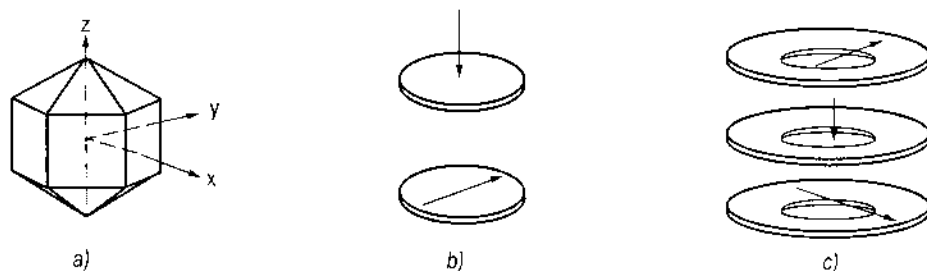
6.2.3. Cảm biến thạch anh nhiều thành phần

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.

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

bền 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 nhảy với lực nén F_x , hai cặp còn lại nhảy với lực cắt F_y và F_z vuông góc với F_x .



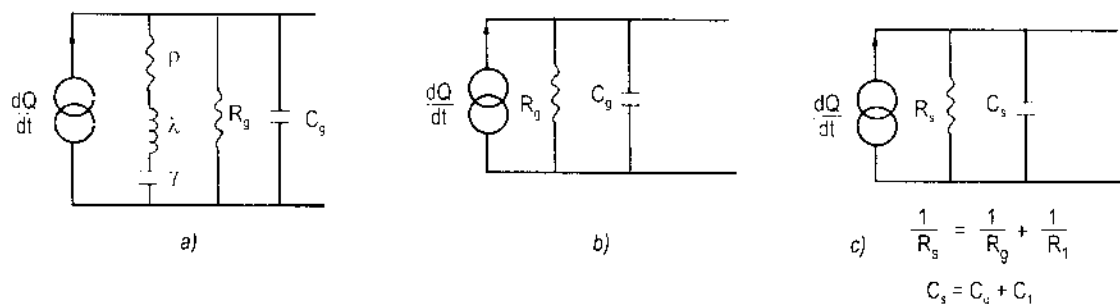
Hình 6.4. Cảm biến thạch anh nhiều thành phần

a) Ký hiệu các trục; b) Các phiên cắt đặc biệt; c) Cắt biến ba thành phần vuông góc.

6.2.4. Mach do

a) Sơ đồ tương đương của cảm biến

Trong dải thông rộng, cảm biến tương đương với một nguồn dòng mắc 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_p là điện dung của nguồn phát điện tích, khi ở tần số trung bình và cao nó trở thành trở kháng của cảm biến.



Hình 6.5. Sơ đồ tương đương của cảm biến áp điện

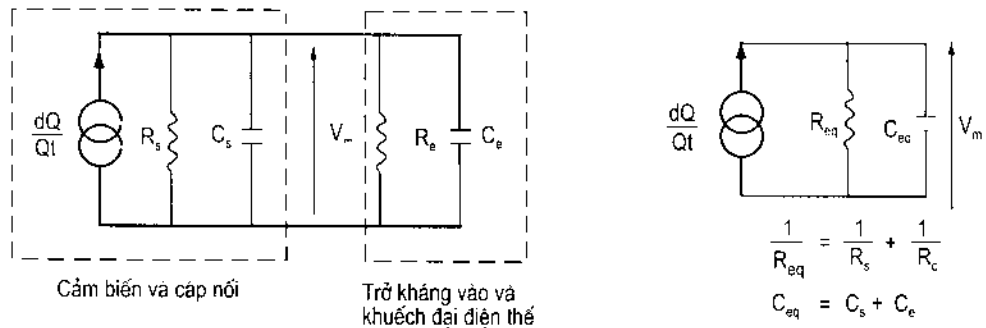
a) Trong dải thông rộng; b) Trong dải thông có ích; c) Nối với mạch ngoài.

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.

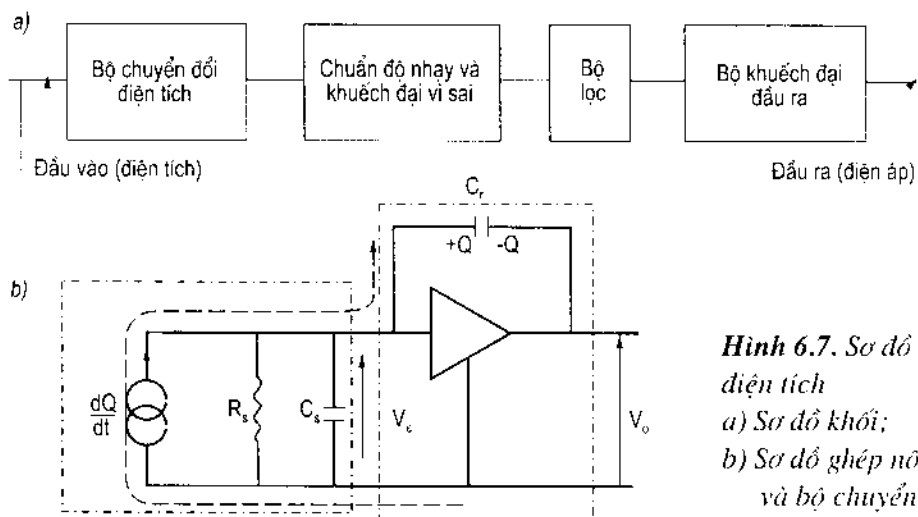


Hình 6.6. Sơ đồ tương đương của cảm biến mắc nối tiếp với bộ khuếch đại điện thế

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



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.

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.

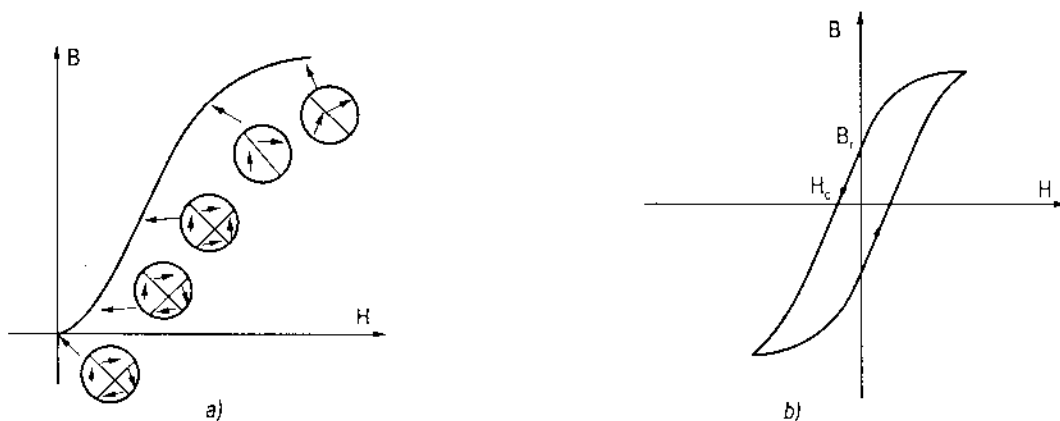
6.3. CẢM BIẾN TỪ GIẢO

6.3.1. Hiệu ứng từ giảo

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).

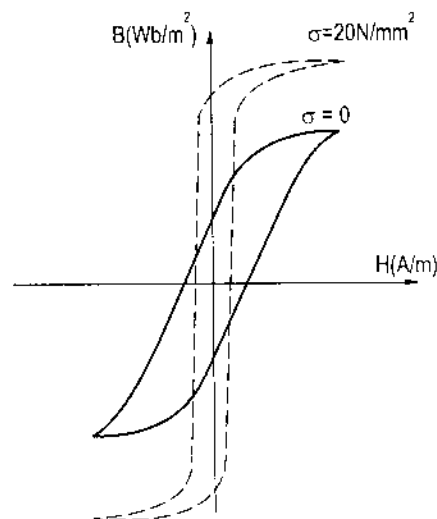


Hình 6.8. Đường cong từ hoá
a) Từ hoá lần đầu; b) Chu trình từ trễ

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 và kháng từ H_c .

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 đường cong từ hoá của permalloy 68.

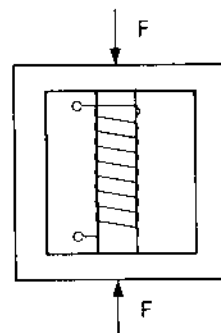


Hình 6.9. Sự biến dạng của đường cong từ hoá dưới tác dụng của lực kéo

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 cần 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 cần 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:

$$V_m = K \frac{dB_r}{dt} = K \frac{dB_r}{d\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$$

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: $V_m/\Delta l$ - tỉ số truyền đạt của cảm biến;

$\Delta l/F$ - độ mềm của vật trung gian.

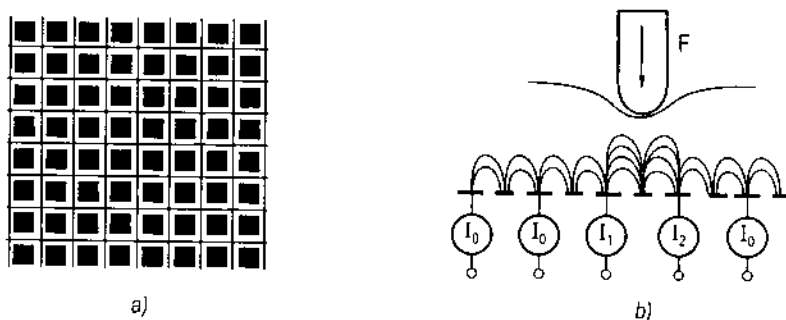
Vật trung gian là vòng đo lực, các dầm dạng console hoặc lò xo.

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

Phần 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 7

CẢM BIẾN ĐO 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 phần ứng xuất hiện sức 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 sức điện động e xuất hiện trong phần ứng có dạng:

$$e = -\Phi_0 \frac{dF(x)}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

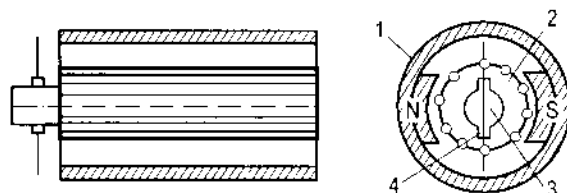
Suất điện động này tỉ lệ với vận tốc cần đo.

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, Rôto (phần ứng) là một trục sắt gồm nhiều lớp ghép lại, trên mặt ngoài rôto 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 Rôto. 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 rôto quay, sức 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 :

$$d\phi_i = d\overline{S_c} d\overline{B_i} = dS_c B_{iN}$$

dS_c là tiết diện bị cắt trong khoảng thời gian dt :

$$dS_c = l v dt = l \omega r dt$$

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 sức điện động xuất hiện trong một dây:

$$e_i = -\omega r / B_{iN}$$

Sức điện động ứng với một nửa số dây ở bên phải đường trung tính:

$$E_p = - \frac{\omega}{2\pi} N \phi_0 = -n N \phi_0$$

N - tổng số dây chính trên Rôto.

n - số vòng quay trong một giây.

ϕ_0 - từ thông xuất phát từ cực nam châm.

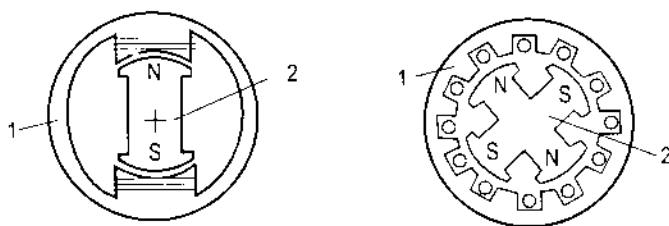
Tương tự tính được sức điện động ứng với một nửa số dây ở bên trái:

$$E_t = nN\phi_0 \quad (7.1)$$

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.



Hình 7.2. Sơ đồ cấu tạo của máy phát đồng bộ
1. Stato; 2. Rôto

Thực chất đây là một máy phát điện xoay chiều nhỏ. Rôto (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 sức điện động cảm ứng hình sin có biên độ tỉ lệ với tốc độ quay của Rôto.

$$e = E \sin \Omega t \quad (7.2)$$

Trong đó: $E = K_1 \omega$, $\Omega = K_2 \omega$, K_1 và K_2 là các thông số đặc trưng cho máy phát.

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:

$$U = \frac{RE}{\sqrt{(R + R_i)^2 + (L_i\Omega)^2}} = \frac{RK_1\omega}{\sqrt{(R + R_i)^2 + (K_2L_i\omega)^2}} \quad (7.3)$$

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).

Rôto là một đĩa hình trụ kim loại mỏng và di từ quay cùng tốc độ với trục cần đo, khối lượng và quán tính của nó không đáng kể.

Stato 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 $V_c = V_c \cos \omega_c t$.

Cuộn dây thứ hai là cuộn dây đo. Giữa hai đầu ra của cuộn này xuất hiện một sức điện động e_m có biên độ tỉ lệ với tốc độ góc cần đo:

$$e_m = E_m \cos(\omega_c t + \varphi) = k\omega V_c \cos(\omega_c t + \varphi)$$

Trong đó k là hằng số phụ thuộc vào kết cấu của máy, φ là độ lệch pha.

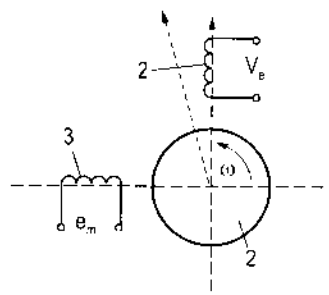
c) Tốc độ kế điện từ đo vận tốc dài

Khi đo vận tốc dài, với độ dịch chuyển lớn của vật khảo sát ($> 1m$) thường chuyển thành đo vận tốc góc. Trường hợp đo vận tốc của dịch chuyển thẳng nhỏ có thể dùng cảm biến vận tốc dài gồm hai phần tử cơ bản: một nam châm và một cuộn dây. Khi đo, một phần tử được giữ cố định, phần tử thứ hai liên kết với vật chuyển động. Chuyển động tương đối giữa cuộn dây và nam châm làm xuất hiện trong cuộn dây một sức điện động tỉ lệ với vận tốc cần đo.

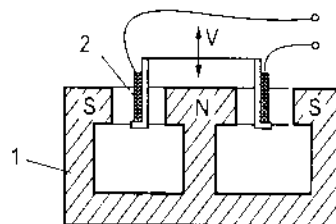
Sơ đồ cảm biến có cuộn dây di động biểu diễn trên hình 7.4.

Sức điện động xuất hiện trong cuộn dây có dạng:

$$e = 2\pi rNBv = lBv$$



Hình 7.3. Sơ đồ cấu tạo máy phát không đồng bộ
1. Cuộn kích; 2. Rôto; 3. Cuộn đo.



Hình 7.4. Cảm biến dùng cuộn dây di động
1. Nam châm; 2. Cuộn dây

Trong đó: N - số vòng dây;

r - bán kính vòng dây;

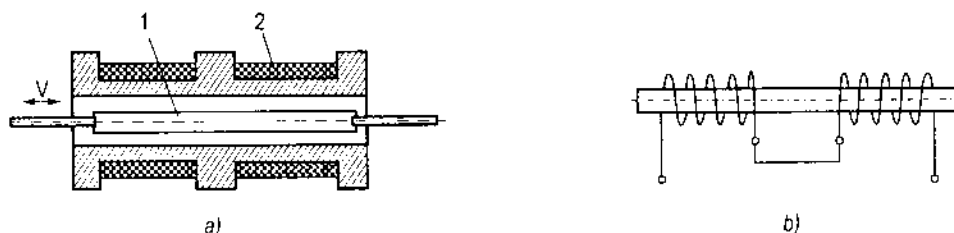
B - giá trị của cảm ứng từ;

v - tốc độ dịch chuyển của vòng dây;

l - tổng chiều dài của dây.

Tốc độ kế loại này đo được độ dịch chuyển vài mm với độ nhạy $\sim 1\text{V/m.s}$.

Khi độ dịch chuyển lớn hơn (tới 0,5 m) người ta dùng tốc độ kế có nam châm di động (hình 7.5).



Hình 7.5. Cảm biến có lõi từ di động

a) Cấu tạo; b) Sơ đồ nguyên lý.

1. Nam châm; 2. Cuộn dây.

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.

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.

Tùy 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 sức điện động cảm ứng có tần số tỉ lệ với tốc độ quay.

Tần số của sức 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 sức 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.

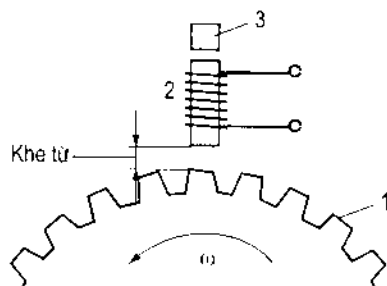
Dải đo của cảm biến phụ thuộc vào số răng của đĩa. Khi p lớn, tốc độ $n_{\min}$ đo được có giá trị bé. Khi p nhỏ, tốc độ $n_{\max}$ đo được sẽ lớn. Thí dụ với p = 60 răng, dải tốc độ đo được $n = 50 \div 500$ vòng/phút, còn với p = 15 răng dải tốc độ đo được $500 \div 10.000$ vòng/phút.

b) Tốc độ kế quang

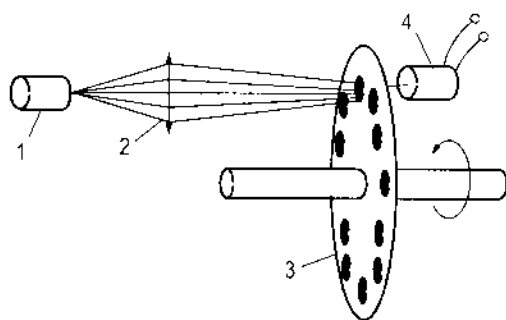
Hình 7.7 trình bày sơ đồ nguyên lý của một tốc độ kế quang đo tốc độ quay.

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.

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.



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.



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.

Phạm vi tốc độ đo được phụ thuộc vào hai yếu tố chính:

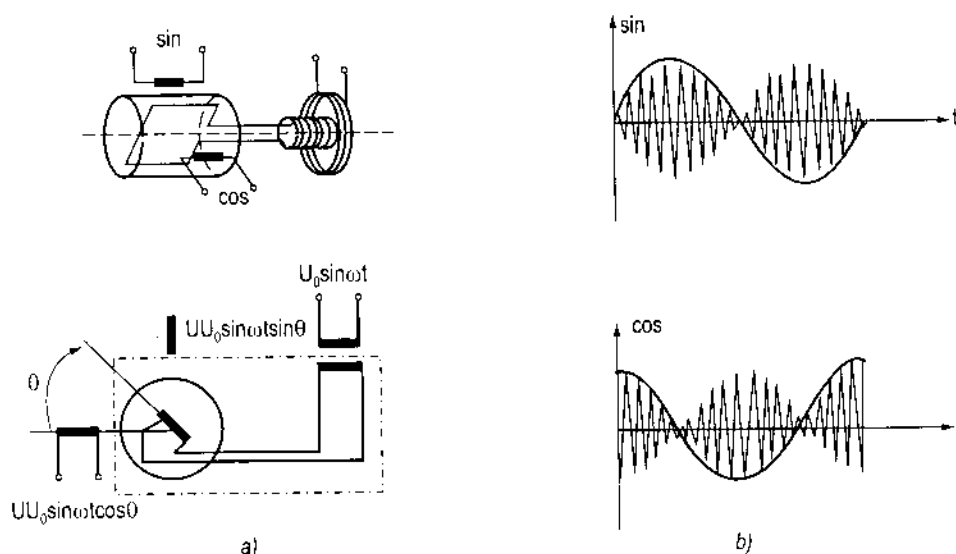
+ Số lượng lỗ trên đĩa.

+ 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 ($500 \div 1.000$ lỗ). Trong trường hợp đo tốc độ lớn ($\sim 10^5 \div 10^6$ 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 $2 \div 10$ 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 biên $U U_0 \sin \omega t \sin \theta$ và $U U_0 \sin \omega t \cos \theta$ (hình 7.8b). Đường bao của biên độ kênh tín hiệu ra chứa thông tin về vị trí tuyệt đối (góc θ) của Rôto 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 sửa sai góc thu được trên cơ sở so sánh góc với một số vị mạch sẵn có. Các vị mạch này cho tín hiệu góc dạng số với độ phân giải $10 \div 16$ bit/vòng và một tốc độ quay dạng tương tự. Độ phân giải của phương pháp này phụ thuộc vào thông số của mạch hiệu 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 $2 \div 10$ 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.

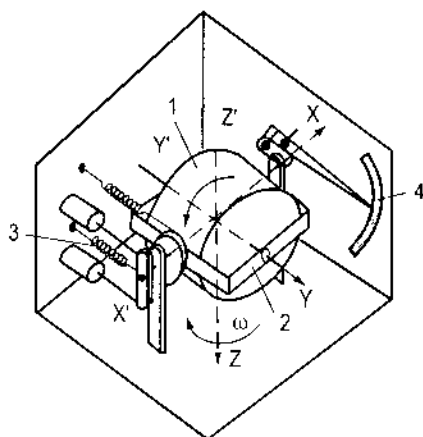
Khi biết góc quay tuyệt đối θ , lấy đạo hàm ta nhận được tốc độ góc ω cần đo.

7.1.5. Đối hướng kế

Đối hướng kế được gắn vào vật chuyển động để đo tốc độ góc của vật. Hai dạng đối hướng kế thường dùng là: đối hướng kế cơ học dùng con quay hồi chuyển, đối hướng kế quang dùng laze và cáp quang dựa trên hiện tượng truyền sóng ánh sáng.

a) Đối hướng kế dùng con quay hồi chuyển

Con quay hồi chuyển gồm một Rôto 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 đối 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:

$$C_g = C_r \quad (7.4)$$

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 :

$$\alpha = \omega \frac{H}{k} \quad (7.5)$$

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.

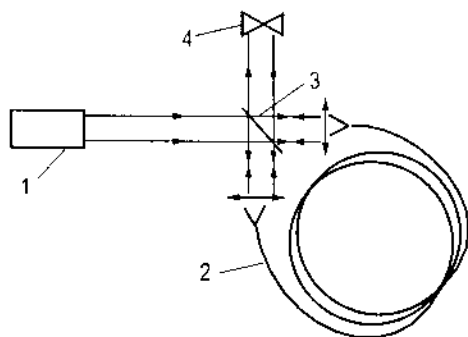
Các thông số của máy đo như sau:

+ Dải đo từ $\pm 7^\circ/\text{s}$ đến $\pm 360^\circ/\text{s}$;

+ Sai lệch khối độ tuyến tính $< \pm 1,5\%$ của dải đo.

b) Đối hướng kế quang

Đối 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 đối 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:

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi RL\omega}{\lambda c} \quad (7.6)$$

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:

$$\Delta Z = \frac{2L.R\omega}{\lambda c} \quad (7.7)$$

7.2. CẢM BIẾN ĐO 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 ($\sim 10\text{kHz}$), 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.

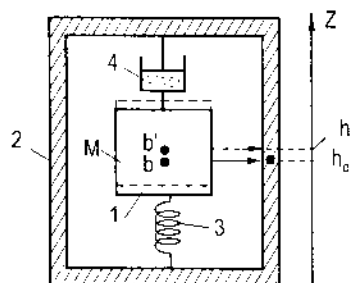
b) Chuyển động rung và phương pháp đo

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 tiếng 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.



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.

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.

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:

$$z = h - h_0 \quad (7.8)$$

Khi đó phương trình cân bằng lực có dạng:

$$M \frac{d^2 h}{dt^2} = -F \frac{dz}{dt} - Cz$$

Trong đó: 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.

$$\text{Hay} \quad -M \frac{d^2 h_0}{dt^2} = M \frac{d^2 z}{dt^2} + F \frac{dz}{dt} + Cz \quad (7.9)$$

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 $d^2 h_0/dt^2$) phụ thuộc vào đại lượng được chọn để làm đại lượng đo thứ cấp m_2 (z , dz/dt hoặc $d^2 z/dt^2$) 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 $Md^2 z/dt^2$).

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: $\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{M}} = 2\pi f_0$ là tần số riêng của M trên lò xo có độ cứng C .

$\xi = \frac{F}{2\sqrt{CM}}$ 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 .

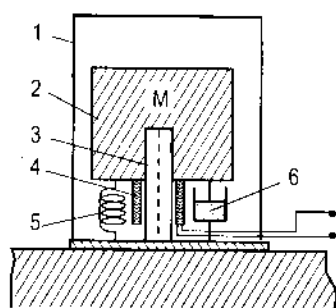
$$S = \frac{s}{m_1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{s}{m_2} = S_1 \cdot S_2$$

Trong đó: $S_1 = \frac{m_2}{m_1}$ là độ nhạy cơ của đại lượng đo sơ cấp;

$S_2 = \frac{s}{m_2}$ 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:

$$S_1 = \frac{m_2}{m_1} = \frac{z}{ph_0} = \frac{-p/\omega_0^2}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + 2\zeta \frac{p}{\omega_0} + 1}$$

Để thuận lợi trong việc 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 $f = B \cdot i$ 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:

$$f = (Bl)^2 \frac{1}{R} \cdot \frac{dz}{dt}$$

Lực này chống lại chuyển động của khối lượng rung, làm thay đổi hệ số tắt dần của chuyển động.

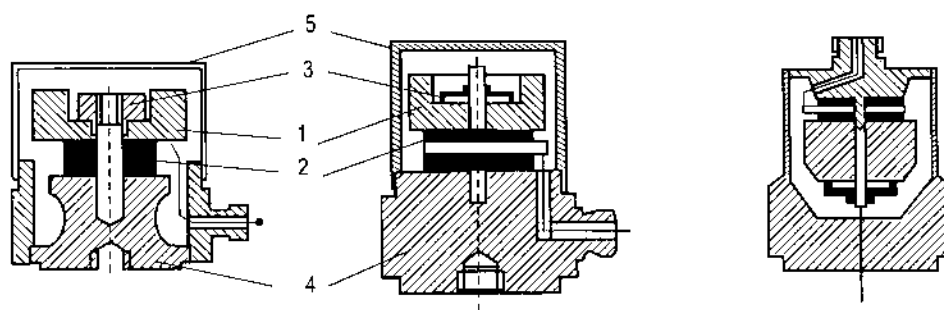
7.2.3. Gia tốc kế áp điện

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.

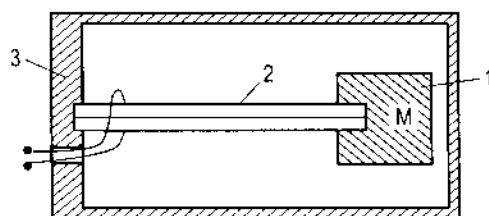


Hình 7.13. Sơ đồ cấu tạo gia tốc kế áp điện kiểu nén

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.



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.

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.

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:

$$|S_1| = \left| \frac{z}{a} \right| = \frac{1}{\omega_0^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right) + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}}$$

$$|S_2| = \left| \frac{Q}{z} \right| = dC \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}$$

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.

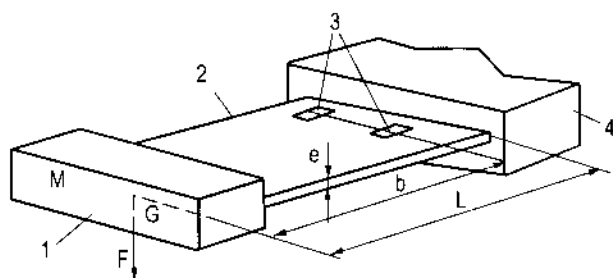
7.2.4. Gia tốc kế áp trở

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:

$$S = S_1 S_2 = \frac{\varepsilon}{a} \cdot \frac{V_m}{\varepsilon}$$



Hình 7.15. Sơ đồ nguyên lý của cảm biến gia tốc áp trở
1. Khối rung; 2. Tấm đàn hồi; 3. Áp trở; 4. Đế.

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 8

CẢM BIẾN ĐO ÁP SUẤT CHẤT LƯU

8.1. ÁP SUẤT VÀ NGUYÊN LÝ ĐO ÁP SUẤT

Trong công nghiệp sử dụng nhiều các thiết bị thủy lực và khí nén, để hệ thống làm việc bình thường phải đo và kiểm tra áp suất một cách liên tục. Trong một số trường hợp, khi áp suất chất lỏng, chất khí hoặc hơi (gọi chung là chất lưu) vượt quá một giới hạn nhất định có thể ảnh hưởng xấu đến hoạt động của thiết bị, thậm chí có thể làm hỏng hoặc nổ bình chứa, đường ống dẫn. Do vậy, cảm biến đo áp suất và lưu lượng chất lưu là bộ phận không thể thiếu trong nhiều hệ thống thiết bị công nghiệp.

8.1.1. Áp suất và đơn vị đo

a) Khái niệm

Khi chứa một chất lưu vào trong một bình chứa, chất lưu đó sẽ gây nên một áp lực tác dụng lên thành bình.

Áp suất là đại lượng có giá trị bằng lực tác dụng vuông góc lên một đơn vị diện tích thành bình:

$$p = \frac{dF}{dS} \quad (8.1)$$

Trong đó: dF - lực tác dụng [N];

dS - diện tích thành bình chịu lực tác dụng [m^2].

Trong trường hợp chất lưu không chuyển động, áp suất chất lưu là áp suất tĩnh (p_t) do trọng lượng của cột chất lưu gây nên cộng với tác dụng của áp suất khí quyển tác dụng lên mặt thoáng của chất lưu.

$$p_t = p_0 + \rho gh \quad (8.2)$$

Trong đó: p_0 - áp suất khí quyển;

ρ - khối lượng riêng của chất lưu;

g - gia tốc trọng trường;

h - khoảng cách từ điểm khảo sát đến mặt thoáng tiếp xúc với khí quyển.

Trong trường hợp chất lưu chuyển động, áp suất chất lưu gồm hai thành phần, gồm suất tĩnh (p_t) và áp suất động (p_d):

$$p = p_t + p_d \quad (8.3)$$

Áp suất tĩnh phụ thuộc vào vị trí của điểm khảo sát, trị số xác định theo công thức (8.2). Áp suất động (p_d) là thành phần do chuyển động của chất lưu gây nên, trị số phụ thuộc vào tốc độ chuyển động của chất lưu, được xác định theo công thức:

$$p_d = \frac{\rho v^2}{2} \quad (8.4)$$

Trong đó: v là tốc độ chuyển động của chất lưu.

b) Đơn vị đo áp suất

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 đo áp suất và hệ số chuyển đổi giữa các đơn vị

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

Phương pháp đo áp suất phụ thuộc vào dạng áp suất.

Đối với áp suất tĩnh có thể tiến hành đo bằng các phương pháp sau:

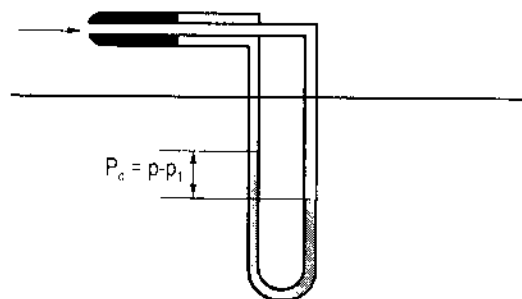
- + Đo trực tiếp áp suất chất lưu thông qua một lỗ được khoan trên thành bình.
- + Đo gián tiếp thông qua đo biến dạng của thành bình dưới tác động của áp suất.

Trong cách đo thứ nhất, phải sử dụng 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 làm việc tạo nên hoặc tác động lên một vật trung gian có phần tử nhạy cảm với lực do áp suất gây ra. Khi sử dụng vật trung gian để đo áp suất, cảm biến thường được 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.

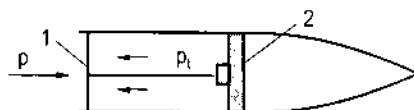
Trong cách đo thứ hai, người ta gắn lên thành bình các cảm biến đo ứng suất để đo biến dạng của thành bình, biến dạng này là hàm của áp suất.

Phương pháp đo áp suất động dựa trên nguyên tắc chung là đo hiệu áp suất tổng và áp suất tĩnh. 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. Để đo hiệu áp suất ($p - p_1$) có thể sử dụng ống Pitot (hình 8.1) trong đó nhánh thứ nhất đo áp suất tổng còn nhánh thứ hai 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.



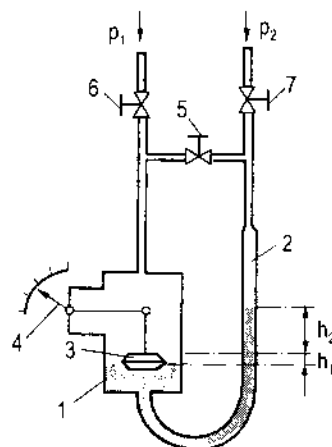
Hình 8.2. Đo áp suất động bằng màng
1. Màng đo; 2. Phần tử áp điện

8.2. ÁP KẾ DÙNG DỊCH THỂ

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. Vi áp kế kiểu phao

Vi áp kế kiểu phao (hình 8.3) gồm hai bình thông nhau, bình (1) có tiết diện lớn (F) và bình (2) có tiết diện nhỏ (f). 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 (5) và khi áp suất hai bên cân bằng, van (5) được khoá lại.



Hình 8.3. Vi áp kế kiểu phao
1. Bình lớn; 2. Bình nhỏ; 3. Phao;
4. Kim chỉ thị; 5, 6, 7. Van.

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:

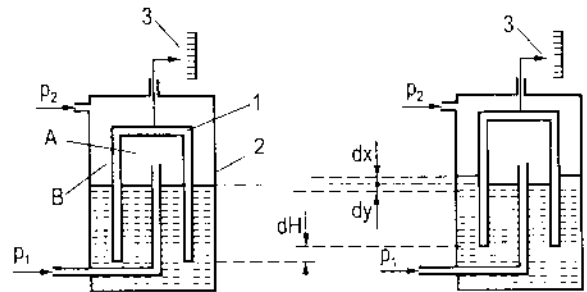
$$h_1 = \frac{1}{(1 + F/f)(\rho_m - \rho)g} \cdot (p_1 - p_2) \quad (8.5)$$

Khi mức chất lỏng trong bình lớn thay đổi (h_1 thay đổi), phao của áp kế dịch chuyển và qua cơ cấu truyền động làm quay kim chỉ thị trên đồng hồ đo.

Biểu thức (8.5) là phương trình đặc tính tĩnh của vi áp kế kiểu phao.

Vi áp kế 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 kế loại này cao (1; 1,5) nhưng chứa chất lỏng độc hại mà khi áp suất thay đổi đột ngột có thể tràn ra ngoài ảnh hưởng đến đối tượng đo và môi trường.



Hình 8.4. Vi áp kế kiểu chuông
1. Chuông; 2. Bình chứa; 3. Chỉ thị.

8.2.2. Vi áp kế kiểu chuông

Cấu tạo của vi áp kế kiểu chuông (hình 8.4), gồm chuông (1) nhúng trong chất lỏng làm việc chứa trong bình (2).

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:

$$d(p_1 - p_2) \cdot F = (dH + dy) \Delta f \cdot g(\rho_m - \rho) \quad (8.6)$$

Với: $dh = dx + dy$

$$d(p_1 - p_2) = dh(\rho_m - \rho)g$$

$$f dy = \Delta f \cdot dH + (\Phi - F) dx$$

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:

$$dH = \frac{f}{\Delta f \cdot g(\rho_m - \rho)} d(p_1 - p_2)$$

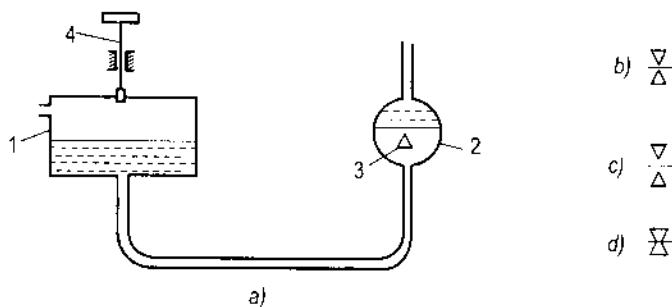
Lấy tích phân giới hạn từ 0 đến $(p_1 - p_2)$ nhận được phương trình đặc tính tĩnh của áp kế vi sai kiểu chuông:

$$H = \frac{f}{\Delta f \cdot g(\rho_m - \rho)} (p_1 - p_2)$$

Vi áp kế kiểu chuông có độ chính xác cao có thể đo được áp suất thấp và áp suất chân không.

8.2.3. Vi áp kế bù

Vi áp kế bù (hình 8.5a) gồm hai bình thông nhau (1) và (2), trong bình (2) có kim (3). Bình (1) có thể di động lên xuống nhờ vít (4).



Hình 8.5. Vi áp kế bù

1. Bình lớn; 2. Bình bé; 3. Kim; 4. Vít.

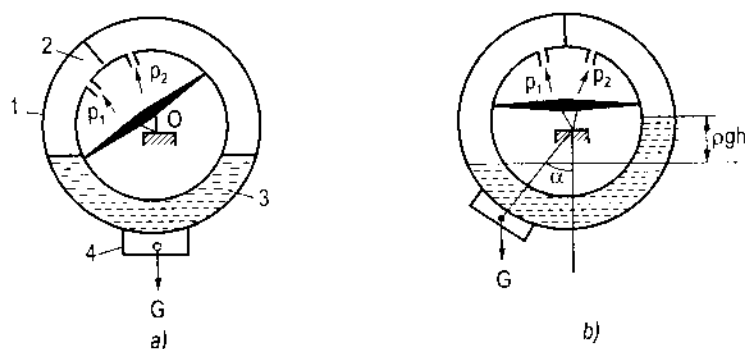
Khi áp suất p_1 trong bình (1) và p_2 trong bình (2) bằng nhau, kim có ảnh như hình 8.5b. Giả sử p_1 tăng lên, nước trong bình (1) hạ xuống, nước trong bình (2) dâng lên, khi đó ảnh của kim có dạng hình (8.5c). Điều chỉnh vít (4) để hạ bình (1) xuống, khi đó mực nước trong bình (1) dâng lên, bình (2) hạ xuống cho đến khi ảnh của kim có dạng hình 8.5b thì đọc kết quả đo áp suất trên bảng chia độ của vít (4).

Trường hợp p_1 giảm, nước trong bình (1) dâng lên, nước trong bình (2) hạ xuống, khi đó ảnh của kim có dạng hình (8.5d), điều chỉnh vít (4) để nâng bình (1) lên, mực nước trong bình (1) hạ xuống, nước trong bình (2) dâng lên cho đến khi ảnh của kim có ảnh như hình 8.5b và đọc kết quả.

Giới hạn đo của vi áp kế bù từ $125 \div 150 \text{ mmH}_2\text{O}$, sai số: $\pm 0,05 \text{ mmH}_2\text{O}$.

8.2.4. Áp kế vành khuyên

Áp kế vành khuyên (hình 8.6a) gồm vành khuyên (1) có tiết diện hình chữ S, trong đó chứa chất lỏng (3), trên vành khuyên có treo đối trọng (4). Vành khuyên có thể quay quanh tâm O.



Hình 8.6. Áp kế vành khuyên

1. Vành khuyên; 2. Vách ngăn; 3. Dịch thể; 4. Đối trọng.

Ban đầu, áp suất $p_1 = p_2$, mực dịch thể bên trái và bên phải bằng nhau, đối trọng nằm chính giữa. Giả sử p_1 tăng lên, $p_1 - p_2 = \Delta p > 0$, mực nước bên trái hạ xuống, bên phải dâng lên. Bên trái màng ngăn chịu tác dụng của lực do Δp gây ra, sinh ra mô men quay:

$$M_q = R.S.\Delta p$$

Trong đó: R - khoảng cách từ tâm vách ngăn đến tâm quay;

S - diện tích vách ngăn.

Mô men quay M_q làm quay vành khuyên theo chiều kim đồng hồ, đồng thời đối trọng G được nâng lên sinh ra mô men cản $M_c = G.\sin \alpha$, khi $M_q = M_c$ thì vành khuyên đứng yên (hình 8.6b).

Từ hình vẽ ta có:

$$\sin \alpha = \frac{RS}{G}.\Delta p \quad (8.8)$$

Với R , S và G không đổi ta có sự phụ thuộc giữa hiệu áp suất và góc quay theo hàm sin, thông qua cơ cấu chuyển đổi ta có thể biểu diễn (8.8) dưới dạng:

$$\alpha = C.\Delta p \quad (8.9)$$

Từ biểu thức (8.9) ta nhận thấy độ nhạy của áp kế không phụ thuộc tỉ trọng của dịch thể, muốn tăng độ nhạy tăng R, giảm G.

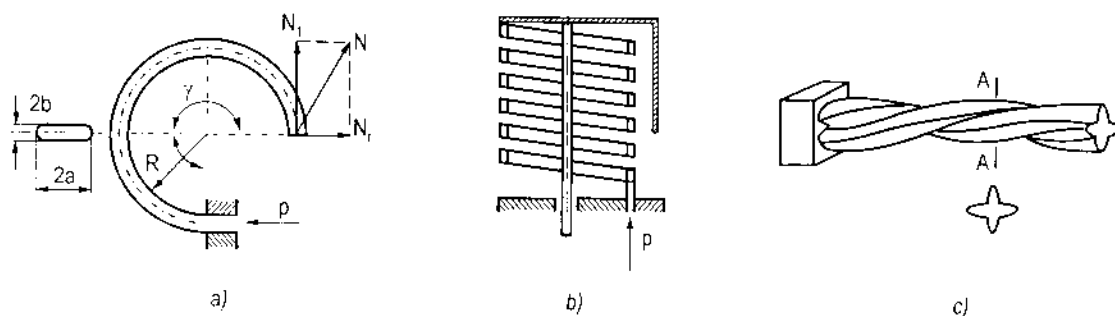
Giới hạn đo của áp kế khi dịch thể là nước từ $25 \div 160 \text{ mmH}_2\text{O}$, thủy ngân là $400 \div 2500 \text{ mmHg}$, cấp chính xác 1; 1,5.

8.3. ÁP KẾ ĐÀN HỒI

Nguyên lý chung của áp kế loại này dựa trên cơ sở đo sự biến dạng đàn hồi của một phần tử biến dạng nhạy cảm với tác dụng của áp suất. Các phần tử biến dạng thường dùng là lò xo, màng mỏng, ống trụ và ống đèn xếp.

8.3.1. Áp kế lò xo

Phần tử biến dạng của áp kế có cấu tạo dạng lò xo (hình 8.7), 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.



Hình 8.7. Lò xo ống

a) Lò xo một vòng; b) Lò xo nhiều vòng; c) Lò xo xoắn.

Trên hình (8.7a) là sơ đồ lò xo ống một vòng, tiết diện ngang của ống hình trái xoan. Khi áp suất trong ống và ngoài ống có chênh lệch lò xo sẽ biến dạng, nếu áp suất trong ống lớn hơn lò xo sẽ giãn ra, ngược lại nó sẽ co lại.

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.

Đối với ống thành mỏng (tỉ lệ $h/b = 0,6 \div 0,7$), lực thành phần theo hướng tiếp tuyến với trục ống ở đầu tự do xác định theo biểu thức:

$$N_t = pab \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{48s}{\epsilon + x^2} \cdot \frac{\gamma - \sin \gamma}{3\gamma - 4 \sin \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \gamma} = k_1 p \quad (8.11)$$

Lực hướng kính:

$$N_r = pab \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{48s}{\epsilon + x^2} \cdot \frac{\gamma - \cos \gamma}{\gamma - \sin \gamma \cdot \cos \gamma} = k_2 p \quad (8.12)$$

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:

$$N = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} \cdot p = kp \quad (8.13)$$

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 (8.7b). 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 8.7c, góc quay thường từ $40 \div 60^\circ$, do đó kim chỉ thị có thể gắn trực tiếp trên đầu tự do của lò xo.

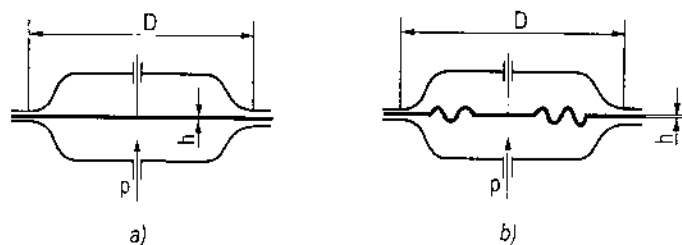
Lò xo ống chế tạo bằng đồng thau có thể đo áp suất dưới 5 MPa, hợp kim nhẹ hoặc thép dưới 1.000 MPa, còn trên 1.000 MPa phải dùng thép gió.

8.3.2. Áp kế màng

Phân tử biến dạng có cấu tạo dạng màng mỏng, được chia ra hai loại: màng đàn hồi và màng dẻo.

Màng đàn hồi có dạng tròn phẳng hoặc có uốn nếp được chế tạo bằng thép.

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.



Hình 8.8. Sơ đồ màng đo áp suất
a) Màng phẳng; b) Màng uốn nếp.

Độ võng của tâm màng phẳng dưới tác dụng của áp suất tác dụng lên màng xác định theo công thức sau:

$$\delta = \frac{3}{16}(1-\nu^2) \frac{pR^4}{Yh^3} \quad (8.14)$$

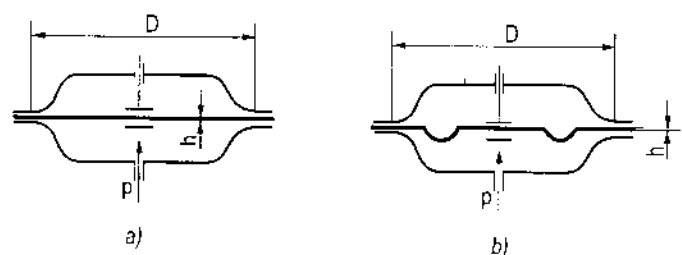
Màng uốn nếp có đặc tính phi tuyến nhỏ hơn màng phẳng nên có thể sử dụng với độ võng lớn hơn màng phẳng.

Độ võng của tâm màng uốn nếp xác định theo công thức:

$$a = \frac{\delta}{h} + \frac{b\delta^3}{h^3} = \frac{pR^4}{Yh^4} \quad (8.15)$$

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 tấm cao su. Trong một số trường hợp người ta dùng màng dẻo tâm cứng, khi đó tâm màng được kẹp cứng giữa hai tấm kim loại.



Hình 8.9. Sơ đồ cấu tạo màng dẻo có tâm cứng
a) Màng phẳng; b) Màng uốn nếp.

Đối với màng dẻo thường, lực di chuyển tạo nên ở tâm màng xác định bởi biểu thức:

$$N = \frac{\pi D^2}{12} \cdot p \quad (8.16)$$

Với D là đường kính ổ đỡ màng.

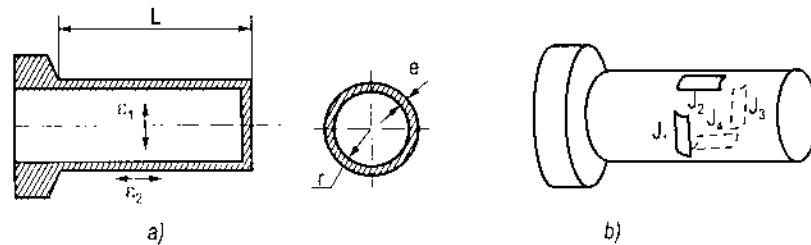
Đối với màng dẻo tâm cứng, lực di chuyển tạo nên ở tâm màng xác định bởi biểu thức:

$$N = \frac{\pi(D^2 + Dd + d^2)}{12} \cdot p \quad (8.17)$$

Trong đó: D, d - đường kính màng và đường kính đĩa cứng.

8.3.3. Áp kế ống trụ

Phần tử biến dạng của áp kế có cấu tạo dạng ống hình trụ, thành mỏng, một đầu bịt kín, một đầu hở, được chế tạo bằng kim loại (hình 8.10).



Hình 8.10. Phần tử biến dạng kiểu ống hình trụ
a) Sơ đồ cấu tạo; b) Vị trí gắn cảm biến do biến dạng.

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:

$$\epsilon_1 = \left(1 - \frac{\nu}{2}\right) \frac{p}{Y} \cdot \frac{r}{e} = k_1 p \quad (8.18)$$

$$\epsilon_2 = \left(\frac{1}{2} - \nu\right) \frac{p}{Y} \cdot \frac{r}{e} = k_2 p \quad (8.19)$$

Trong đó: p - áp suất;

Y - mô đun Young;

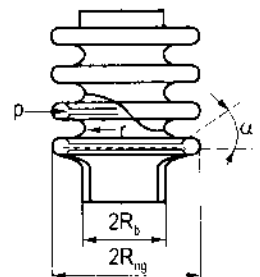
ν - hệ số poisson;

r, e - bán kính trong và chiều dày thành ống.

Để chuyển tín hiệu cơ (biến dạng) thành tín hiệu điện người ta dùng các cảm biến đo biến dạng.

8.3.4. Áp kế kiểu đèn xếp

Phần tử biến dạng có cấu tạo kiểu đèn xếp (hình 8.11), là một ống hình trụ xếp nếp có khả năng biến dạng đáng kể dưới tác dụng của áp suất.



Hình 8.11. Sơ đồ cấu tạo áp kế kiểu đèn xếp

Trong giới hạn tuyến tính, tỉ số giữa lực tác dụng và biến dạng của ống là không đổi và được gọi là độ cứng của ống. Để tăng độ cứng thường người ta đặt thêm vào trong ống một lò xo. Vật liệu chế tạo là đồng, thép cacbon hoặc thép hợp kim... Ống được chế tạo với đường kính 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:

$$\delta = N \cdot \frac{1 - \nu^2}{Y h_0} - \frac{n}{A_0 - \alpha A_1 + \alpha^2 A_2 + B_0 h / R_b^2} \quad (8.20)$$

Trong đó: h_0 - chiều dày thành ống xiphông;

n - số nếp làm việc;

α - góc bít 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:

$$N = \frac{\pi}{5} (R_{ng} + R_{tr})^2 \Delta p \quad (8.21)$$

8.4. ÁP KẾ ĐIỆN

Áp kế điện làm việc theo nguyên tắc biến đổi tác động của áp suất (thường là tín hiệu cơ) thành tín hiệu điện dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ hoặc biến thiên điện trở, điện cảm, điện dung của một phần tử chuyển đổi.

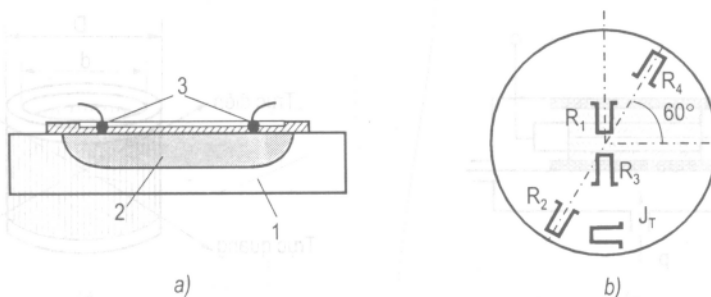
8.4.1. Áp kế áp trở

Áp kế áp trở sử dụng bộ chuyển đổi điện kiểu áp trở, phần tử nhạy cảm được chế tạo từ vật liệu có điện trở nhạy cảm với tác dụng của lực đo áp suất gây nên.

Trên hình 8.12 trình bày cấu tạo của phần tử áp trở silic (hình 8.12a) và vị trí gắn chúng trên bộ chuyển đổi (hình 8.12b). Phần tử 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).

Trên hình 8.12b 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:

$$\Delta R_1 = \Delta R_3 = -\Delta R_2 = -\Delta R_4 = \Delta R$$



Hình 8.12. 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.

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 ($\sim 4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$), khi đó biểu thức điện áp có dạng:

$$V_m = \pi I R_0 \sigma \quad (8.22)$$

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 cảm biến nhiệt độ J_T .

8.4.2. Áp kế áp điện

Áp kế áp điện sử dụng bộ chuyển đổi kiểu áp điện làm việc theo nguyên tắc hiệu ứng áp điện.

Trên hình 8.13a trình bày áp kế dùng bộ chuyển đổi áp điện dạng tấm mỏng song song.

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:

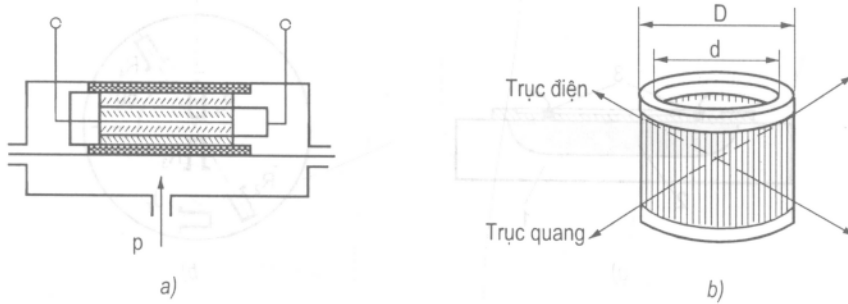
$$Q = kF$$

Với $F = p \cdot S$, do đó:

$$Q = kpS$$

Trong đó: k - hằng số áp điện, trong trường hợp thạch anh $k = 2,22 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$;

S - diện tích hữu ích của màng.



Hình 8.13. Áp kế áp điện

a) Bộ chuyển đổi dạng tấm; b) Bộ chuyển đổi dạng ống.

Đối với bộ chuyển đổi sử dụng phần tử áp điện dạng ống (hình 8.13b), điện tích trên các bản cực xác định theo công thức:

$$Q = kF \frac{4dh}{D^2 - d^2} \quad (8.23)$$

Trong đó: D, d - đường kính ngoài và đường kính trong của phần tử áp điện.

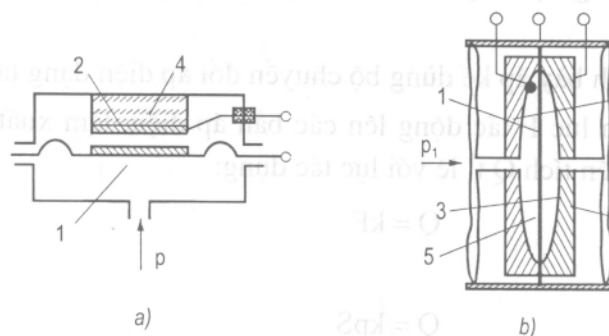
h - chiều cao phần phủ kim loại.

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.

8.4.3. Áp kế điện dung

Áp kế điện dung sử dụng bộ chuyển đổi kiểu điện dung (hình 8.14).

Hình 8.14a trình bày cấu tạo một áp kế điện dung, bộ chuyển đổi gồm bản cực động là màng kim loại (1), và bản cực tĩnh (2) gắn với đế bằng cách điện thạch anh (4). Dưới tác động của áp suất cần đo, bản cực động biến dạng làm cho khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi và điện dung của tụ điện thay đổi theo.



Hình 8.14. Bộ chuyển đổi kiểu điện dung

1. Bản cực động; 2, 3. Bản cực tĩnh; 4. Cách điện; 5. Dầu silicon.

Sự phụ thuộc của điện dung C vào độ dịch chuyển của màng có dạng:

$$C = \varepsilon \frac{S}{\delta + \delta_0} \quad (8.24)$$

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 8.14b trình bày cấu tạo một áp kế 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 biến thiên của dòng tín hiệu i_m (cung cấp bởi nguồn nuôi) tỉ lệ với áp suất giữa hai môi trường:

$$i_m = K_1 \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = K(p_1 - p_2) \quad (8.25)$$

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 $\pm (0,2 \div 5)\%$.

8.4.4. Áp kế điện cảm

Áp kế điện cảm sử dụng bộ chuyển đổi điện cảm làm việc theo nguyên tắc hiện tượng cảm ứng điện từ kiểu khe từ biến thiên hoặc kiểu biến áp vi sai.

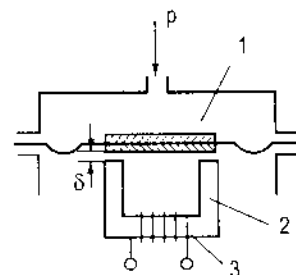
a) Áp kế điện cảm kiểu khe từ biến thiên

Áp kế điện cảm kiểu khe từ biến thiên sử dụng bộ chuyển đổi điện cảm kiểu khe từ biến thiên (hình 8.15), gồm tấm sắt từ (1) gắn trên màng đàn hồi, lõi sắt (2) và cuộn dây (3).

Dưới tác dụng của áp suất đo, màng dịch chuyển làm thay đổi khe hở từ (δ) giữa tấm sắt từ và lõi từ của nam châm điện, do đó thay đổi độ 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:

$$L = \frac{W^2}{l_{tb} / (\mu S_{tb}) + \delta / (\mu_0 S_0)} \quad (8.26)$$



Hình 8.15. Áp kế điện cảm kiểu khe từ biến thiên

1. Tấm sắt từ;

2. Lõi sắt từ;

3. Cuộn dây.

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:

$$L = W^2 \cdot \mu_0 \frac{S_0}{\delta}$$

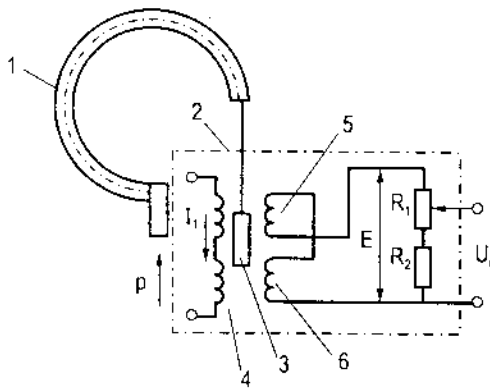
Với $\delta = kp$, ta có phương trình đặc tính tĩnh của cảm biến áp suất dùng bộ biến đổi cảm ứng:

$$L = W^2 \cdot \mu_0 \frac{S_0}{kp} \quad (8.27)$$

Để đo độ tự cảm L người ta dùng cầu đo xoay chiều hoặc mạch cộng hưởng LC.

b) Áp kế điện cảm kiểu biến áp vi sai

Áp kế điện cảm loại này sử dụng bộ chuyển đổi kiểu biến áp vi sai (hình 8.16).



Hình 8.16. Sơ đồ cấu tạo nguyên lý của bộ biến đổi kiểu biến áp vi sai
1. Lò xo vòng; 2. Bộ biến đổi; 3. Lõi thép.

Bộ biến đổi gồm một khung cách điện trên đó quấn cuộn sơ cấp (4). Cuộn thứ cấp gồm hai cuộn dây (5) và (6) quấn ngược chiều nhau. Lõi thép di động (3) 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 $\pm 25\%$.

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 số hỗ 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:

$$E = e_1 - e_2 = 2\pi f I_1 (M_1 - M_2) = 2\pi f I_1 M$$

Đối với phân 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:

$$V_{ra} = 2\pi f I_1 M_{ra} \quad (8.28)$$

Giá trị hồ cảm M_{ra} phụ thuộc độ dịch chuyển của lõi thép:

$$M_{ra} = M_{\max} \frac{\delta}{\delta_{\max}} \quad (3.29)$$

Trong đó: $M_{\max}$ là hồ cảm lớn nhất của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp ứng với độ dịch chuyển lớn nhất của lõi thép.

Từ phương trình (8.28) và (8.29), tìm được điện áp ra của bộ biến đổi:

$$V_{ra} = \frac{2\pi f I_1 M_{\max}}{\delta_{\max}} \delta \quad (8.30)$$

Chương 9

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 là lượng chất lưu chảy qua tiết diện ngang của ống dẫn 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 lượng (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:

$$Q_{tb} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ hoặc } G_{tb} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (9.1)$$

Trong đó: ΔV , Δm là thể tích và khối lượng chất lưu chảy qua ống trong khoảng thời gian khảo sát Δt .

Lưu lượng tức thời xác định theo công thức:

$$Q = \frac{dV}{dt} \text{ hoặc } G = \frac{dm}{dt} \quad (9.2)$$

Cảm biến đo lưu lượng (hay còn gọi là lưu lượng kế) được chế tạo dựa trên nguyên tắc:

- + Đếm trực tiếp thể tích chất lưu chảy qua lưu lượng kế trong một khoảng thời gian xác định Δt ;
- + Đo vận tốc chất lưu chảy qua lưu lượng kế 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.

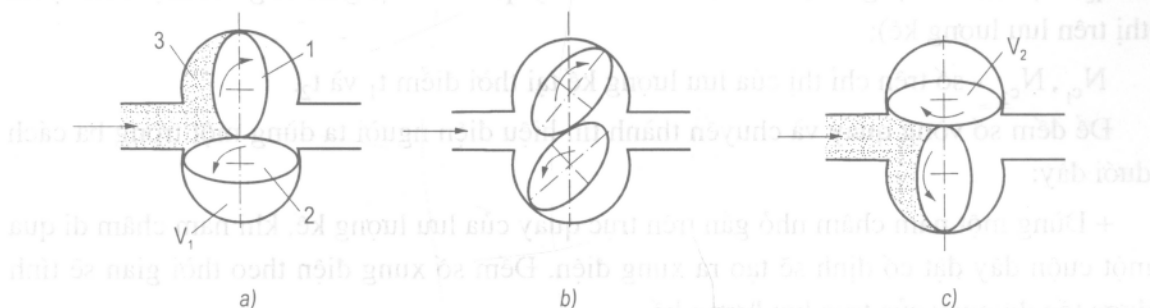
9.1.2. Cảm biến đo lưu lượng theo thể tích

Cảm biến đo lưu lượng theo thể tích làm việc theo nguyên tắc đếm trực tiếp lượng thể tích chất lưu đi qua buồng chứa có thể tích xác định của cảm biến.

Theo cấu tạo, cảm biến đo lưu lượng theo thể tích được chia ra: lưu lượng kế bánh răng, lưu lượng kế cánh.

a) Lưu lượng kế bánh răng

Sơ đồ nguyên lý của lưu lượng kế bánh răng trình bày trên hình 9.1.



Hình 9.1. Sơ đồ nguyên lý của lưu lượng kế bánh răng

1, 2. Bánh răng; 3. Vỏ.

Lưu lượng kế gồm hai bánh răng hình ôvan (1) và (2) truyền động ăn khớp với nhau trong vỏ (3) (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. Thông thường thể tích buồng chứa $V_1 = V_2 = V_0$, do đó trong một vòng quay của trục lưu lượng kế, thể tích chất lỏng qua lưu lượng kế bằng bốn lần thể tích V_0 . Trục của một trong hai bánh răng liên kết với cơ cấu đếm đặt ngoài vỏ lưu lượng kế.

Thể tích chất lưu chảy qua lưu lượng kế 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 lưu lượng kế ứng với một vòng quay.

N_1, N_2 - tổng số vòng quay của lưu lượng kế tại thời điểm t_1 và t_2 .

Lưu lượng trung bình:

$$Q_{tb} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{q_v (N_2 - N_1)}{t_2 - t_1} \quad (9.4)$$

Lưu lượng tức thời:

$$Q = \frac{dV}{dt} = q_v \frac{dN}{dt} = q_v n \quad (9.5)$$

Với $n = \frac{dN}{dt}$ là tốc độ quay của trục lưu lượng kế.

Thông thường thể tích chất lưu chảy qua lưu lượng kế được biểu diễn dưới dạng:

$$\Delta V = q_c (N_{c_2} - N_{c_1}) \quad (9.6)$$

Trong đó:

q_c - hệ số lưu lượng kế (thể tích chất lưu chảy qua lưu lượng kế ứng với một đơn vị chỉ thị trên lưu lượng kế);

N_{c_1}, N_{c_2} - số trên chỉ thị của lưu lượng kế tại thời điểm t_1 và t_2 .

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 lưu lượng kế, 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 lưu lượng kế.

+ Dùng tốc độ kế quang.

+ Dùng mạch đo thích hợp để đo tần số hoặc điện áp.

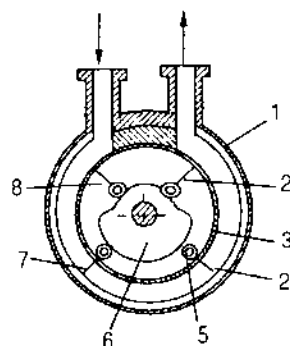
Giới hạn đo của lưu lượng kế loại này từ $0,01 \div 250 \text{ m}^3/\text{giờ}$, cấp chính xác $0,5 \div 1$, tổn thất áp suất nhỏ nhưng có nhược điểm là gây ồn khi làm việc và chất lỏng đo phải được lọc tốt.

b) Lưu lượng kế kiểu cánh

Để đo lưu lượng dòng khí người ta sử dụng lưu lượng kế kiểu cánh (hình 9.2).

Lưu lượng kế 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 luôn tiếp xúc với mặt ngoài cam (6) nhờ các con lăn (5). Trong một vòng quay, thể tích chất khí đi qua lưu lượng kế bằng thể tích vành chất khí giữa vỏ và tang. Chuyển động quay của tang được truyền đến cơ cấu đếm đặt bên ngoài vỏ lưu lượng kế.

Lưu lượng kế kiểu cánh có thể đo lưu lượng đến $100 \div 300 \text{ m}^3/\text{giờ}$, cấp chính xác 0,25; 0,5.



Hình 9.2. Lưu lượng kế kiểu cánh

1. Vỏ; 2, 4, 7, 8. Cánh;
3. Tang quay; 5. Con lăn; 6. Cam.

9.1.3. Cảm biến đo lưu lượng theo tốc độ

a) Nguyên lý đo

Lưu lượng được xác định qua tốc độ dòng chảy theo công thức:

$$Q = v.S \quad (9.7)$$

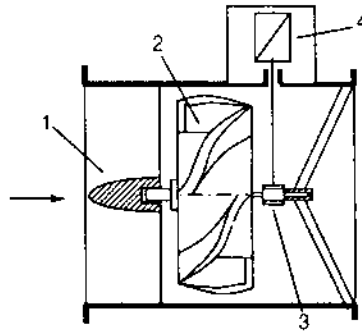
Trong đó: Q - lưu lượng;

v - tốc độ dòng chảy;

S - diện tích tiết diện ngang của ống dẫn.

Tiết diện S biết trước, do v xác định được Q .

b) Lưu lượng kế tuabin hướng trục



Hình 9.3. Sơ đồ cấu tạo lưu lượng kế tuabin hướng trục

1. Bộ chỉnh dòng chảy;

2. Tuabin

3. Bộ truyền bánh răng-trục vít;

4. Thiết bị đếm.

Hình 9.3 trình bày sơ đồ cấu tạo của một lưu lượng kế tuabin hướng trục.

Bộ phận chính của lưu lượng kế 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 tuabin tỉ lệ với tốc độ dòng chảy:

$$n = kv$$

Trong đó: k - hệ số tỉ lệ phụ thuộc cấu tạo lưu lượng kế;

v - tốc độ dòng chảy.

Lưu lượng thể tích chất lưu chảy qua lưu lượng kế:

$$Q = v.S = \frac{F}{k}n \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (9.8)$$

Với: S - tiết diện dòng chảy;

n - tốc độ quay của tuabin.

Nếu dùng cơ cấu đếm để đếm tổng số vòng quay của lưu lượng kế trong một khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 sẽ nhận được thể tích chất lỏng chảy qua lưu lượng kế :

$$dV = dQ.dt = \frac{F}{k}n.dt$$

$$V = \frac{F}{k} \int_{t_1}^{t_2} n dt$$

Hay

$$V = \frac{F}{k} (N_2 - N_1) \quad (9.9)$$

Với

$$N_2 - N_1 = \int_{t_1}^{t_2} n dt$$

Lưu lượng kế 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.

c) Lưu lượng kế tuabin tiếp tuyến

Để đo lưu lượng nhỏ người ta dùng lưu lượng kế tuabin tiếp tuyến có sơ đồ cấu tạo như hình 9.4.

Tuabin (1) của lưu lượng kế đặt trên trục quay vuông góc với dòng chảy. Chất lưu qua màng lọc (2) qua ống dẫn (3) vào lưu lượng kế theo hướng tiếp tuyến với tuabin làm quay tuabin. Cơ cấu đếm liên kết với trục tuabin để đưa tín hiệu đến mạch đo.

Lưu lượng kế tuabin tiếp tuyến với đường kính tuabin từ 15 ÷ 40 mm có phạm vi đo từ 3 ÷ 20 m³/giờ, cấp chính xác 2; 3.

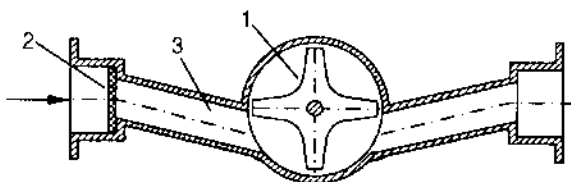
9.1.4. Cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp biến đổi

a) Nguyên lý đo

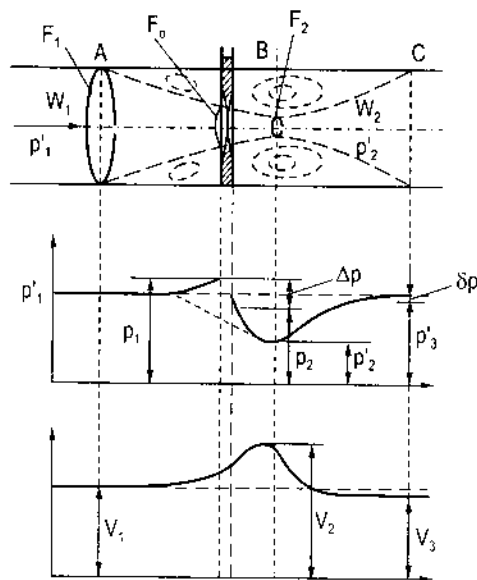
Cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp hoạt động dựa trên nguyên tắc đo độ giảm áp suất của dòng chảy khi đi qua một thiết bị thu hẹp.

Khi chảy qua thiết bị thu hẹp (hình 9.5), vận tốc chất lưu tăng lên và đạt cực đại (v_2) tại tiết diện B-B, do đó tạo ra sự chênh áp trước và sau thiết bị thu hẹp. Sử dụng một áp kế vì 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:



Hình 9.4. Lưu lượng kế tốc độ kiểu tuabin tiếp tuyến
1. Tuabin; 2. Màng lọc; 3. Ống dẫn.



Hình 9.5. Phân bố vận tốc và áp suất của một dòng chảy lý tưởng qua thiết bị thu hẹp

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p'_1 - p'_2)}$$

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 thiết bị, $m = F_0/F_1$;

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 thiết bị thu hẹp. Quan hệ giữa $\Delta p'$ và Δp có dạng:

$$\sqrt{p'_1 - p'_2} = \psi \sqrt{p_1 - p_2}$$

Khi đó:

$$v_2 = \frac{\psi}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

và lưu lượng khối lượng của chất lưu:

$$G = v_2 F_2 \rho = v_2 \mu F_0 \rho$$

$$G = \frac{\mu \psi}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} F_0 \sqrt{2\rho (p_1 - p_2)}$$

$$\text{Hay: } G = \alpha F_0 \sqrt{2\rho (p_1 - p_2)} \quad (9.10)$$

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 lượng (G) và lưu lượng thể tích (Q) của dòng chất lưu:

$$G = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho (p_1 - p_2)} \quad (9.11)$$

$$Q = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)} \quad (9.12)$$

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:

$$G = c\alpha\varepsilon\sqrt{\rho(p_1 - p_2)} \quad (9.13)$$

$$Q = c\alpha\varepsilon\sqrt{\frac{1}{\rho}(p_1 - p_2)} \quad (9.14)$$

Trong đó: $c = (\pi\sqrt{2})/4$ là hằng số;

ρ - tỉ trọng chất lưu tại cửa vào của lỗ thu hẹp.

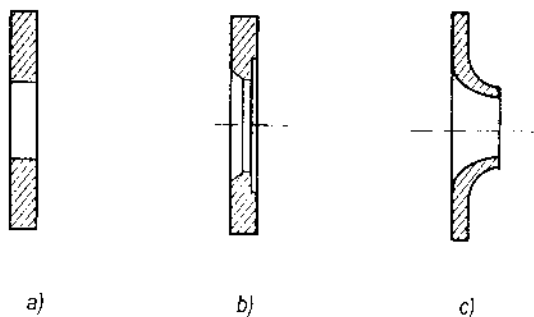
b) Thiết bị thu hẹp

- Màn ngăn

Màn ngăn có hai loại: màn ngăn chuẩn và màn ngăn có lỗ thu hẹp đặc biệt.

Màn ngăn chuẩn có lỗ thu hẹp hình trụ (hình 9.8a), được chế tạo với nhiều cỡ kích thước khác nhau. Màn ngăn chuẩn có cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo và lắp đặt nhưng tổn thất của dòng chảy qua thiết bị thu hẹp khá lớn, được sử dụng khi đo lưu lượng các dòng chảy có trị số Reynol lớn hơn trị số tới hạn.

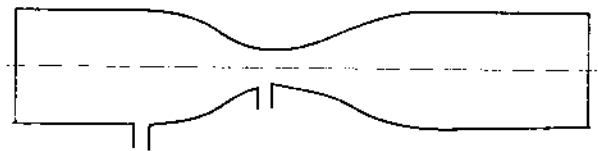
Màn ngăn có lỗ thu hẹp đặc biệt như màn ngăn có lỗ hình côn (hình 9.8b), lỗ hình phễu (hình 9.8c), ... được sử dụng khi đo lưu lượng các dòng chảy có trị số Reynol nhỏ hơn giá trị tới hạn, vì khi đó hệ số lưu lượng không phải là hằng số. Trong trường hợp này, trên cơ sở thực nghiệm người ta xác định hệ số lưu lượng cho mỗi lỗ thu hẹp và xem như không đổi trong phạm vi trị số Reynol giới hạn.



Hình 9.6. Cấu tạo màn ngăn dùng để đo lưu lượng dòng chảy
a) Màn ngăn chuẩn;
b) Màn ngăn lỗ hình côn;
c) Màn ngăn hình phễu.

- Ống thu hẹp:

Ống thu hẹp chuẩn có cấu tạo dạng ống venturi (hình 9.7), có biên dạng gần giống với biên dạng dòng chảy khi bị thu hẹp, nhờ đó dòng chảy biến đổi từ từ, giảm tổn thất áp suất khi qua thiết bị thu hẹp nhưng loại này có nhược điểm là khó chế tạo và lắp đặt.



Hình 9.7. Sơ đồ cấu tạo của ống thu hẹp chuẩn

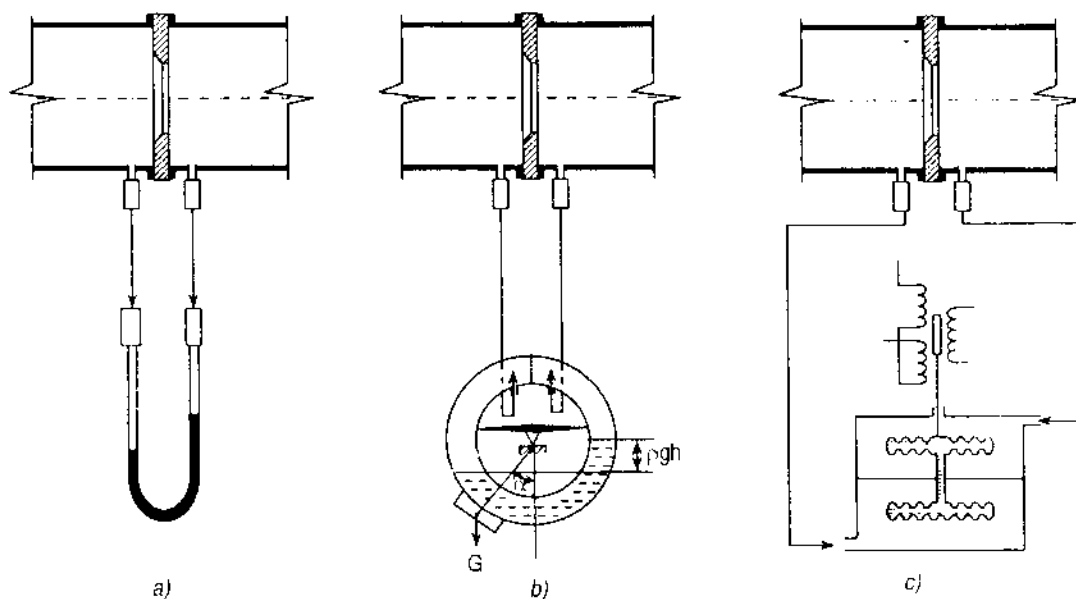
c) Mạch đo

Đối với hệ thống đo lưu lượng theo độ giảm áp thông dụng gồm hai bộ phận cơ bản: thiết bị thu hẹp và thiết bị đo áp. Ngoài ra tùy theo yêu cầu sử dụng trong hệ thống đo có thể trang bị thêm các bộ phận: biến đổi điện, tích phân lưu lượng, tính khối lượng chất lưu, tính toán xử lý số liệu, biến đổi tỉ trọng chất lưu trong điều kiện làm việc...

Đối với thiết bị thu hẹp, trong công nghiệp sử dụng rộng rãi các màng ngăn, khi cần giảm tổn thất dòng chảy sử dụng ống thu hẹp venturi. Để nhận được kết quả đo chính xác cao, khi đặt thiết bị thu hẹp phải đảm bảo các yêu cầu sau:

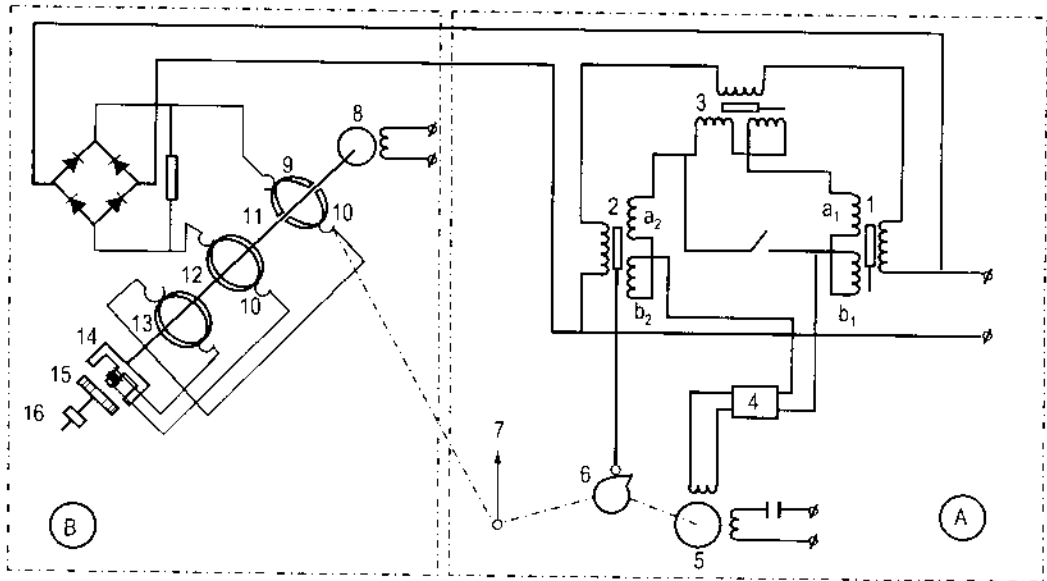
- + Lỗ của thiết bị thu hẹp phải đồng tâm với ống dẫn;
- + Ống đo áp phải đặt ngay trước và sau thiết bị thu hẹp;
- + Trước và sau thiết bị thu hẹp, ống dẫn phải có một đoạn thẳng không thay đổi tiết diện, không có van hoặc các vật cản làm thay đổi dòng chảy với chiều dài cần thiết.

Đối với thiết bị đo hiệu áp suất, tùy theo phạm vi đo, tính chất chất lưu, yêu cầu sử dụng kết quả đo có thể dùng các loại áp kế khác nhau. Trên hình 9.8 trình bày một mạch đo với thiết bị thu hẹp màng ngăn và áp kế đo hiệu áp khác nhau.



Hình 9.8. Sơ đồ mạch đo lưu lượng theo độ giảm áp
a) Với ống Pito; b) Với áp kế vành khuyên; c) Với màng đàn hồi.

Trên hình 9.9 giới thiệu sơ đồ một hệ thống đo lưu lượng được dùng rộng rãi trong các nhà máy luyện kim và hóa chất. Hệ thống gồm hai bộ phận: Bộ phận đo lưu lượng tức thời (A) và bộ phận tích phân lưu lượng (B).



Hình 9.9. Hệ thống đo lưu lượng kiểu

1, 2, 3. Cuộn dây và lõi sắt; 4. Bộ phận so sánh; 5. Động cơ xoay chiều;
6. Cam; 7. Kim chỉ; 8. Động cơ đồng bộ; 9. Vành bán khuyên; 10, 11. Chổi điện;
12, 13. Vành khuyên dẫn điện; 14. Cuộn dây; 15. Ly hợp; 16. Hộp số.

Nguyên tắc làm việc của bộ phận đo lưu lượng tức thời:

Khi chưa làm việc, lưu lượng bằng 0, các lõi sắt (1) và (2) ở giữa các cuộn dây thứ cấp, vì số vòng dây của các cuộn dây a_1 , b_1 và a_2 , b_2 bằng nhau và dấu ngược pha, ta có:

$$U_{a_1} = U_{b_1}$$

$$\Rightarrow U_1 = U_{a_1} - U_{b_1} = 0$$

và

$$U_{a_2} = U_{b_2}$$

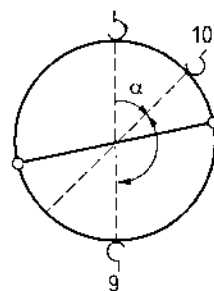
$$\Rightarrow U_2 = U_{a_2} - U_{b_2} = 0$$

Khi đó $\Delta U = U_1 - U_2 = 0$, động cơ (5) đứng yên và kim chỉ (7) chỉ 0. Để chỉnh điểm không, đóng khóa (K) và điều chỉnh lõi sắt (3).

Khi làm việc, lưu lượng tăng lên, giả sử lõi sắt (1) dịch chuyển lên, U_{a_1} tăng, U_{b_1} giảm dần đến $U_1 = U_{a_1} - U_{b_1} > 0$ và $\Delta U = U_1 - U_2 > 0$, sai lệch điện áp qua khuếch đại (4) làm cho động cơ (5) quay cam (6) và kim chỉ (7). Cam (6) quay làm cho lõi sắt (2) dịch chuyển lên cho đến khi vị trí tương đối của nó như lõi sắt (1) thì $\Delta U = U_1 - U_2 = 0$, động cơ (5) ngừng quay.

Nguyên tắc làm việc của bộ tích phân lưu lượng: Khi kim chỉ 0, thì hai chổi than (9) và (10) của vành khuyên (11) hợp với tâm vành khuyên (11) một góc $\beta = 180^\circ$,

chỉ có động cơ (8) được cấp điện. Khi lưu lượng tăng, động cơ (5) liên động với chổi than (10) quay, làm dịch chuyển chổi than (10) đi một góc α , góc hợp bởi hai chổi than và tâm vành khuyên $\beta = 180 - \alpha$ giảm xuống.



Hình 9.10. Sơ đồ vị trí chổi than của vành bán khuyên

Khi chổi than (9) và (10) nối điện, cuộn dây (14) hút khớp nối (15) làm quay hộp số (16). Số vòng quay trên hộp số (16) tỉ lệ với thời gian nối điện cho cuộn dây, do đó tỉ lệ với góc dịch chuyển chổi than (10) là α . Ta có:

$$Q_{\Sigma} = k.n \quad (9.15)$$

Trong đó: Q_{Σ} - tổng lượng lưu lượng.

k - hệ số tỉ lệ.

n - số vòng quay trên trục số.

9.1.5. Cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp không đổi

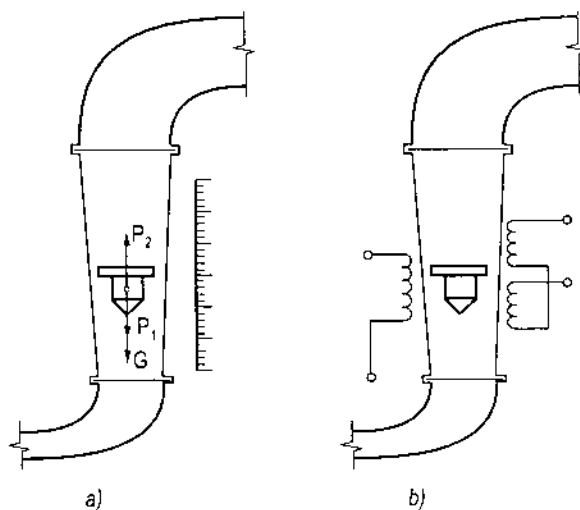
Ngoài cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp biến đổi, trong công nghiệp người ta còn sử dụng cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp không đổi. Trên hình hình 9.11a trình bày sơ đồ cấu tạo một cảm biến loại này.

Cấu tạo của cảm biến gồm hai bộ phận cơ bản: ống hình côn (1) và phao (2). Ống hình côn chế tạo bằng thủy tinh hoặc vật liệu không sắt từ, phao chế tạo bằng êbônit, đuyra hoặc thép.

Nguyên tắc hoạt động: phao nằm trong dòng chất lưu được đẩy lên nhờ lực đẩy acsimet và động năng của dòng khí, đồng thời chịu tác dụng của trọng lượng bản thân. Khe hở giữa thành ống và phao đóng vai trò thiết bị thu hẹp dòng chảy.

Do giảm áp qua phao nên áp suất trước phao (p_1) và sau phao (p_2) khác nhau, áp lực tác dụng lên phao:

$$P_1 = p_1.S$$



Hình 9.11. Sơ đồ cấu tạo lưu lượng kế đo lưu lượng theo độ giảm áp không đổi
a) Sơ đồ cấu tạo; b) Sơ đồ có bộ biến đổi điện.

$$P_2 = p_2 \cdot S$$

Trong đó: S là tiết diện ngang của phao.

Giả sử ở một lưu lượng nào đó phao ở vị trí cân bằng. Khi lưu lượng tăng lên, p_1 tăng, phao bị đẩy lên trên làm khe hở tăng lên làm cho p_1 giảm cho đến lúc phao ở vị trí cân bằng mới:

$$\begin{aligned} P_1 &= G + P_2 \\ \Rightarrow p_1 \cdot S &= G + p_2 \cdot S \\ \Rightarrow p_1 - p_2 &= \frac{G}{S} = \Delta p = \text{const} \end{aligned} \quad (9.16)$$

Mặt khác ta có:

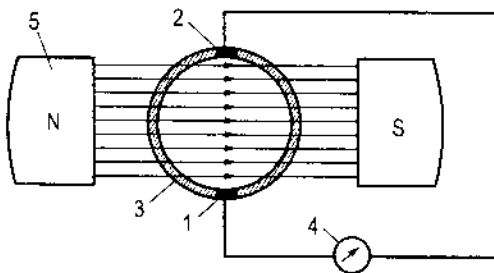
$$Q = \alpha \cdot F \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p} \quad (9.17)$$

Từ (9.16) và (9.17) ta nhận thấy Q phụ thuộc đơn trị vào tiết diện khe hở F do đó phụ thuộc vào vị trí của phao. Như vậy, căn cứ vào vị trí của phao ta biết được lưu lượng.

Lưu lượng kế loại này thường dùng để đo lưu lượng nhỏ, khi cần truyền kết quả đi xa người ta dùng bộ biến đổi điện kiểu biến áp vi sai (hình 9.11b), khi đó phao được chế tạo bằng vật liệu sắt từ.

9.1.6. Cảm biến điện từ

Nguyên lý của cảm biến điện từ dựa trên cơ sở định luật cảm ứng điện từ: khi có một dây dẫn chuyển động trong từ trường, cắt 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 9.12.



Hình 9.12. Sơ đồ lưu lượng kế điện từ
1, 2. Điện cực; 3. Ống kim loại;
4. Milivôn kế; 5. Nam châm.

Cảm biến gồm ống kim loại không từ tính (3) bên trong có phủ lớp vật liệu cách điện (sơn êmay, thủy tinh hữu cơ) đặt giữa hai cực của một nam châm (5) sao cho trục ống vuông góc với đường sức của từ trường. Trong mặt phẳng vuông góc với 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 sức điện động cảm ứng (E):

$$E = B \cdot \bar{v} \cdot D = \frac{4B}{\pi D} Q \quad (9.14)$$

Trong đó: B - cường độ từ trường;

$\bar{v}$ - 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 sức điện động cảm ứng E tỉ lệ với lưu lượng thể tích Q.

Cảm biến điện từ với từ trường không đổi có nhược điểm là trên các cực xuất hiện các sức điện động phụ (do phân cực) làm sai lệch kết quả đo. Để khắc phục nhược điểm trên, người ta dùng cảm biến điện từ dùng nam châm điện xoay chiều, tuy nhiên từ trường xoay chiều lại làm méo tín hiệu ra.

Cảm biến điện từ được dùng để đo lưu lượng của chất lỏng có độ dẫn điện không nhỏ hơn $10^{-5} \div 10^{-6}$ simen/m. Chúng có ưu điểm: đo lưu lượng không cần phải đo tỉ trọng chất lỏng, các phần 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.

Cảm biến điện từ với đường kính ống từ 10 ÷ 1.000 mm có thể đo lưu lượng từ 1 ÷ 2.500 m³/giờ với vận tốc dòng chảy từ 0,6 ÷ 10 m/s, cấp chính xác 1; 2,5.

9.2. CẢM BIẾN ĐO VÀ PHÁT HIỆN MỨC CHẤT LƯU

9.2.1. Khái niệm và phương pháp đo

Đo và phát hiện mức chất lưu là xác định mức hoặc 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.

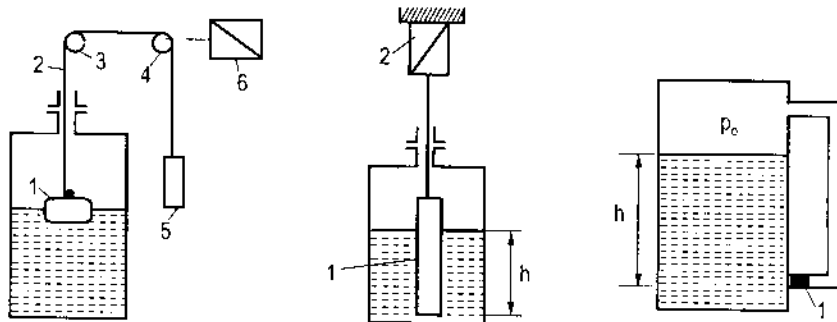
Có ba phương pháp hay dùng trong kỹ thuật đo và phát hiện mức chất lưu:

- + 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. Cảm biến đo mức theo phương pháp thủy tĩnh

Trên hình 9.13 giới thiệu một sơ đồ đo mức bằng phương pháp thủy tĩnh.

Trong sơ đồ hình 9.13a, phao (1) nổi trên mặt chất lưu được nối với đổi trọng (5) bằng dây mềm (2) qua các ròng rọc (3), (4). Khi mức chất lưu thay đổi, phao (1) nâng lên hoặc



Hình 9.13. Sơ đồ đo mức theo phương pháp thủy tĩnh
a) Dùng phao cầu; b) Dùng phao trụ; c) Dùng cảm biến áp suất vi sai.

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 9.13b, phao hình trụ (1) nhúng chìm trong chất lưu, phía trên gắn với một cảm biến đo lực (2). Trong quá trình đo, cảm biến chịu tác động của một lực F tỉ lệ với chiều cao mức 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 9.13c, 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:

$$p = p_0 + \rho gh$$

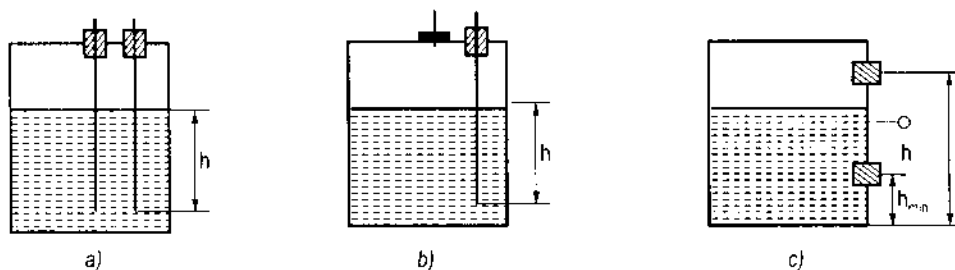
Mặt khác, của màng cảm biến chịu tác động của áp suất p_0 bằng áp suất ở đỉnh bình chứa. Chênh lệch áp suất $(p - p_0)$ sinh ra lực tác dụng lên màng của cảm biến làm nó biến dạng. Biến dạng của màng tỉ lệ với chiều cao h của chất lưu trong bình chứa, được chuyển đổi thành tín hiệu điện nhờ các bộ biến đổi điện thích hợp.

9.2.3. Cảm biến đo mức theo 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 9.14 giới thiệu một số cảm biến độ dẫn đo mức thông dụng.



Hình 9.14. 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 9.14a 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 $\sim 10V$ (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 9.14b chỉ sử dụng một điện cực, điện cực thứ hai là bình chứa bằng kim loại.

Sơ đồ cảm biến hình 9.14c 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.

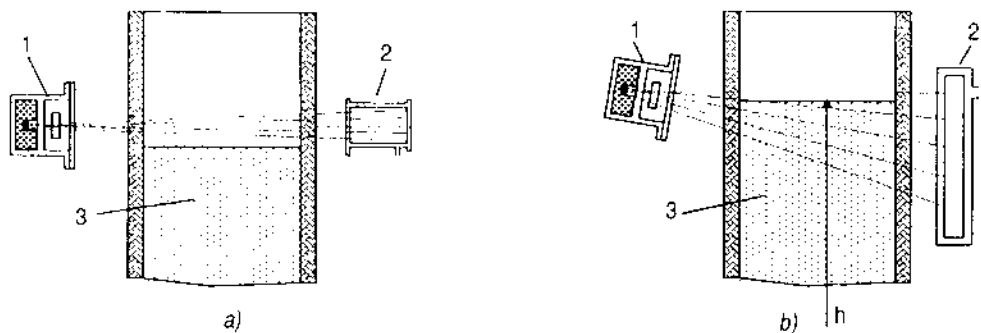
b) Cảm biến tụ điện

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 là 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. Cảm biến đo mức theo 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.



Hình 9.15. 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.

Trong phương pháp này cảm biến gồm một nguồn phát tia (1) và bộ thu (2) đặt ở hai phía của bình chứa (hình 9.15). 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 9.15a), 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 9.15b), 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.

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 10

CẢM BIẾN ĐO MỘT SỐ CHỈ TIÊU CÔNG NGHỆ

Trong chương này nghiên cứu một số cảm biến đo một số chỉ tiêu công nghệ thường gặp trong công nghiệp như thành phần khí, độ pH, nồng độ chất điện ly, tỷ trọng, độ ẩm, ...

10.1. CẢM BIẾN ĐO THÀNH PHẦN KHÍ

10.1.1. Khái niệm

Trong công nghiệp nhiều quá trình công nghệ được tiến hành trong môi trường khí mà thành phần của chúng ảnh hưởng lớn đến hiệu quả quá trình và chất lượng sản phẩm. Đo nồng độ khí nhằm xác định thành phần của một hay một số chất trong hỗn hợp khí tác động lớn tới quá trình, các thành phần khí cần đo thường là O_2 , CO , SO_2 , CO_2 , H_2 , ...

Để đo nồng độ khí trong công nghiệp, người ta thường dùng các cảm biến dựa trên phương pháp phân tích điện (như đo nồng độ khí theo độ dẫn nhiệt, theo độ từ thẩm, theo khả năng hấp thụ bức xạ ánh sáng... của chất khí cần đo) hoặc phân tích quang phổ, so với phương pháp phân tích hóa học các phương pháp này tuy cho kết quả chính xác thấp nhưng thời gian phân tích nhanh, đáp ứng kịp thời yêu cầu công nghệ.

10.1.2. Đo thành phần khí theo độ dẫn nhiệt của chất khí

Phương pháp đo nồng độ khí theo độ dẫn nhiệt của chất khí dựa vào sự khác nhau về độ dẫn nhiệt của các chất khí. Phương pháp này thường dùng để đo nồng độ khí CO_2 , đôi khi dùng để đo nồng độ khí SO_2 .

Một chất khí ở điều kiện nhất định có một độ dẫn nhiệt nhất định và độ dẫn nhiệt của hỗn hợp phụ thuộc vào độ dẫn nhiệt của các cấu tử. Bảng 10.1 cho độ dẫn nhiệt tương đối của một số chất khí so với không khí.

Bảng 10.1. Độ dẫn nhiệt tương đối của các chất khí

Chất khí	Không khí	O_2	CO_2	SO_2	CO	H_2	CH_4	Hơi nước
λ/λ_{kk}	1	1,01	0,6	0,34	0,96	7,0	1,27	1,3

Cảm biến đo nồng độ khí theo độ dẫn nhiệt của chất khí có bộ phận cơ bản là một buồng đo có dạng hình trụ bên trong căng một sợi dây bạch kim (hình 10.1).

Khi cho dòng không khí chuyển động chậm đi qua buồng đo, cấp điện để nung nóng dây bạch kim sao cho nhiệt độ dây $t_d = 100^\circ\text{C}$, khi đó nhiệt độ thành buồng đo là t_b . Khi đó, cho dòng khí cần đo chuyển động qua buồng đo, do độ dẫn nhiệt của khí cần phân tích khác không khí nên nhiệt độ dây bạch kim thay đổi. Căn cứ độ sai lệch của nhiệt độ dây có thể xác định được thành phần khí phân tích.

Độ dẫn nhiệt của khí xác định theo công thức:

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{D}{d}}{2\pi l \Delta t} \quad (10.1)$$

Trong đó: D - đường kính buồng đo;

d - đường kính dây bạch kim;

l - chiều dài dây;

Δt - độ chênh lệch giữa nhiệt độ dây và nhiệt độ thành bình:

$$\Delta t = t_d - t_b \quad (10.2)$$

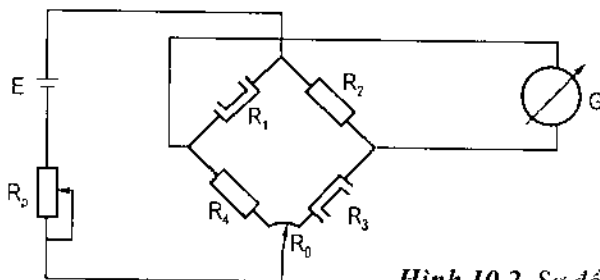
Loại bỏ các đại lượng ổn định ta có quan hệ $\lambda = f(t_d)$.

Từ (10.1) và (10.2) ta có:

$$t_d = \frac{Q \ln \frac{D}{d}}{2\pi l \lambda} + t_b \quad (10.3)$$

Khi nhiệt độ dây thay đổi (thường trong phạm vi $\pm 5^\circ\text{C}$) thì điện trở của dây R_d thay đổi theo, để đo nhiệt độ dây người ta dùng cầu cân bằng (hình 10.2). Cầu cân bằng gồm hai điện trở so sánh R_2 và R_4 , các điện trở R_1 và R_3 là hai buồng đo. Điện trở R_p là điện trở điều chỉnh dòng đi qua các biến trở, R_0 là điện trở điều chỉnh điểm 0.

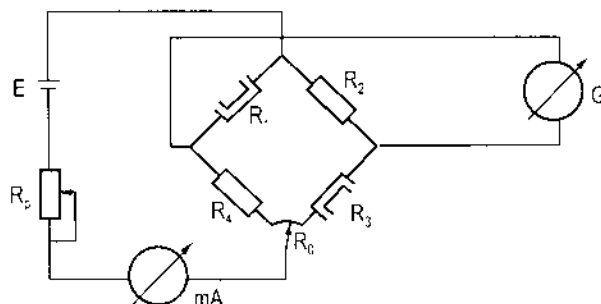
Phương pháp này thường dùng đo nồng độ khí CO_2 , giới hạn đo $0 \div 20\% \text{CO}_2$.



Hình 10.2. Sơ đồ mạch đo

10.1.3. Đo nồng độ khí theo sự cháy của cấu tử cần phân tích

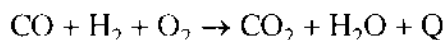
Cảm biến đo nồng độ khí theo sự cháy của cấu tử cần phân tích được dùng để đo tổng lượng khí ($\text{CO} + \text{H}_2$).



Hình 10.3. Sơ đồ hệ thống đo hỗn hợp khí $\text{CO} + \text{H}_2$

Cảm biến đo (R_3) là một buồng đo sử dụng dây bạch kim, khi đo được nung nóng lên tới nhiệt độ $300 \div 400^\circ\text{C}$. Sơ đồ mạch đo trình bày trên hình 10.3.

Nguyên lý hoạt động: Khí cần phân tích được dẫn qua buồng đo R_3 , nhờ xúc tác bạch kim, xảy ra phản ứng:



Nếu hàm lượng ($\text{CO} + \text{H}_2$) thay đổi 1% thì nhiệt độ dây thay đổi $125 \div 150^\circ\text{C}$.

Cảm biến đo loại này cho kết quả chính xác không cao, sai số thường $> 2,5\%$.

10.1.4. Đo nồng độ khí theo độ từ thẩm của khí

Phương pháp đo nồng độ khí theo độ từ thẩm của khí dựa trên tính chất từ của các loại khí. Chất khí nào có độ từ thẩm lớn sẽ bị nam châm hút, còn chất khí nào có độ từ thẩm thấp không chịu tác động của từ trường. Phương pháp này thường dùng để phân tích thành phần oxy trong hỗn hợp.

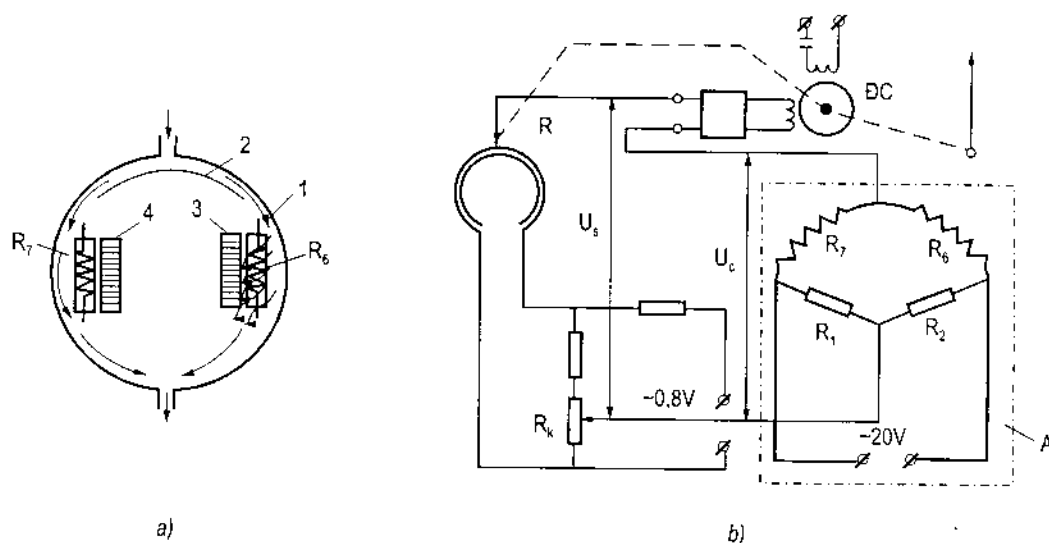
Bảng 10.2. Độ từ thẩm của chất khí (μ)

Khí	O_2	NO	Không khí	NO_2	C_2H_2	He	H_2	N_2	Cl_2	CO
μ	192	60,0	30,8	9	1	- 0,0083	- 0,164	- 0,154	- 0,6	0,84

Sơ đồ cấu tạo của cảm biến đo thành phần khí theo độ từ thẩm trình bày trên hình 10.4a.

Cảm biến gồm buồng đo hình tang trống (1) có hai cửa, cửa trên để dẫn khí vào, cửa dưới để dẫn khí ra. Trong buồng đo bố trí màn chắn (2), điện trở R_6 và R_7 bằng dây bạch

kim, nam châm (3) và cực từ giả (4) có hình dáng giống với nam châm (3) nhằm tạo ra sự đối xứng về truyền nhiệt.



Hình 10.4. Sơ đồ thiết bị phân tích khí theo độ từ thẩm
a) Sơ đồ cấu tạo buồng đo; b) Sơ đồ hệ thống đo.

Nguyên lý hoạt động: dòng khí cần phân tích được dẫn vào buồng đo bị tấm chắn (2) tách thành hai dòng. Dòng khí bên trái không chịu tác động của nam châm đi dọc thành buồng đo tới cửa ra. Dòng khí bên phải chịu lực hút của nam châm (3) đi qua điện trở R_6 đã được nung nóng sau đó tới cửa ra. Do dòng khí lạnh liên tục đi qua, nhiệt độ điện trở R_6 giảm. Căn cứ vào độ chênh nhiệt độ của điện trở R_6 và R_7 có thể xác định được thành phần của khí cần phân tích.

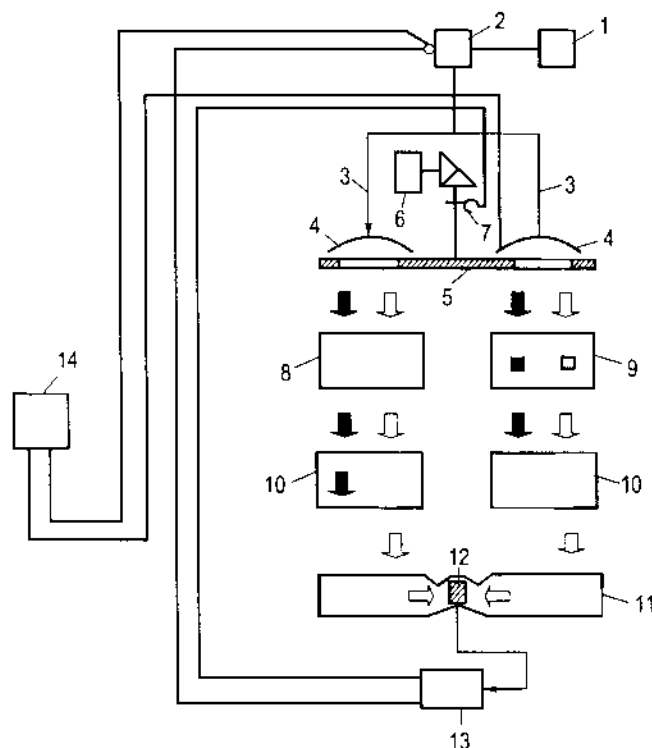
Để đo độ chênh nhiệt độ đây sử dụng mạch đo có sơ đồ như hình 10.4b. Phần (A) là buồng đo, R là biến trở đo, K là bộ khuếch đại, (ĐC) là động cơ xoay chiều liên kết động với kim chỉ và con chạy của biến trở đo R. Các điện trở R_6 và R_7 của buồng đo được nung nóng từ nguồn điện $\sim 20V$. Khi chưa cho dòng khí đi qua, nhiệt độ của hai điện trở R_6 và R_7 bằng nhau do đó điện trở của chúng bằng nhau, điều chỉnh R để cho $U_s = U_c$. Khi đó $\Delta U = U_s - U_c = 0$, động cơ (ĐC) đứng yên và kim chỉ chỉ 0. Khi cho dòng khí đi qua, nhiệt độ của điện trở R_6 giảm xuống, U_c thay đổi và $U_c \neq U_s \Rightarrow \Delta U = U_s - U_c \neq 0$, chênh áp qua khuếch đại (K) cấp điện cho động cơ (ĐC), động cơ quay kim chỉ và dịch con chạy của biến trở (R) cho đến khi $U_s = U_c$.

Độ chính xác của kết quả đo phụ thuộc vào khoảng hàm lượng oxy, trong khoảng từ $0 \div 10\%$ hoặc từ $0 \div 21\%$ sai số $\pm 0,5\%O_2$, còn trong khoảng từ $0 \div 100\%$ sai số $\pm 1,25\%O_2$.

10.1.5. Đo nồng độ khí theo khả năng hấp thụ bức xạ

Đo nồng độ khí theo khả năng hấp thụ bức xạ dựa trên hiện tượng hấp thụ có chọn lọc các tia bức xạ của các chất khí, đặc biệt là bức xạ hồng ngoại. Phương pháp này chủ yếu dùng phân tích khí CO_2 .

Sơ đồ nguyên lý của cảm biến trình bày trên hình 10.5.



Hình 10.5. Sơ đồ thiết bị phân tích khí theo khả năng hấp thụ bức xạ

1. Nguồn điện;
2. Ổn áp;
3. Dây điện trở nicrom;
4. Gương cầu;
5. Đĩa quay;
6. Động cơ điện;
7. Chính lai cơ khí;
8. Bình chứa khí sạch;
9. Bình chứa khí cần phân tích;
10. Bình chứa các khí không cần phân tích;
11. Hệ thống gương phản xạ;
12. Micrôvôn;
13. Bộ khuếch đại;
14. Đồng hồ đo thứ cấp.

Nguyên lý hoạt động: khí phân tích, dây điện trở (3) được nung nóng đến nhiệt độ $700 \div 800^\circ\text{C}$ để tạo ra ánh sáng đỏ, đĩa (5) trên đó có các lỗ trống quay với vận tốc $n = 6$ vòng/s. Luồng bức xạ gồm các bức xạ mà tất cả các chất khí không cần phân tích hấp thụ (ký hiệu bằng mũi tên tô đậm) và các bức xạ chỉ bị chất khí phân tích hấp thụ (ký hiệu bằng mũi tên không tô đậm) qua gương cầu (4) và các lỗ trống của đĩa quay tạo ra xung ánh sáng đi xuống các buồng chứa khí. Khi đi qua các bình chứa khí do bình chế tạo bằng florin nên hầu như bình không hấp thụ ánh sáng đỏ.

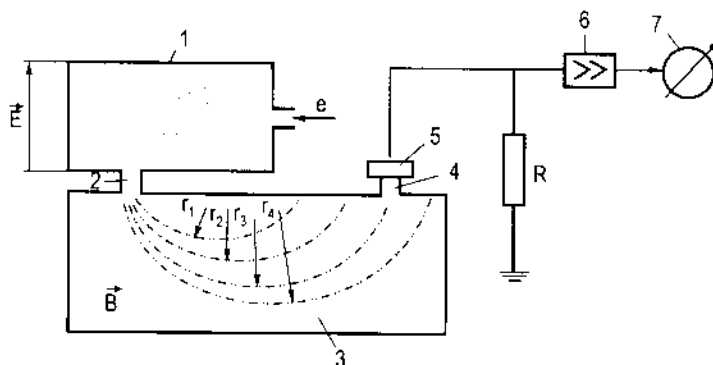
Luồng bức xạ bên trái đi qua buồng (8) chứa không khí sạch nên không bị hấp thụ, luồng bức xạ bên phải đi qua buồng (9) chứa chất khí phân tích một phần bức xạ bị hấp thụ. Khi đi qua buồng (10) tất cả bức xạ mà các chất khí không cần phân tích hấp thụ sẽ bị hấp thụ hoàn toàn. Như vậy sau khi đi qua buồng (10) luồng bức xạ bên trái và bên phải chỉ còn những bức xạ mà chất khí phân tích hấp thụ nhưng cường độ khác nhau.

Nhờ hệ thống gương phản xạ hai luồng bức xạ trên được hướng vào hai mặt của một micrôvôn, do năng lượng bức xạ của hai luồng khác nhau nên tạo ra tín hiệu sai lệch.

Tín hiệu sai lệch sau khi được khuếch đại nhờ bộ khuếch đại (13) làm dịch chuyển con chạy biến trở để thay đổi dòng điện cung cấp cho dây nicrôm (3) và cấp tín hiệu cho đồng hồ đo (14). Toàn bộ hệ thống được đặt trong buồng điều nhiệt.

10.1.6. Đo nồng độ khí bằng quang phổ định lượng

Cảm biến đo nồng độ khí bằng quang phổ gồm buồng ion hóa (1), buồng từ trường (3), cảm biến thu (5), bộ khuếch đại (6) và dụng cụ đo (7). Hai thành buồng ion hóa được đặt dưới một điện áp $\bar{U}$.



Hình 10.6. Sơ đồ thiết bị phân tích khí bằng quang phổ

1. Buồng ion hóa; 2. Buồng từ trường; 3, 4. Khe hở;
5. Cảm biến thu; 6. Khuếch đại; 7. Dụng cụ đo.

Nguyên lý hoạt động: khí cần đo được chứa vào buồng (1) dưới áp suất thấp, bị bắn phá bởi dòng điện tử (e) và bị ion hóa. Dưới tác dụng của điện trường $\bar{E}$ do điện áp $\bar{U}$ gây ra, các ion chất khí chuyển động về phía thành dưới của buồng và có một luồng đi qua khe hở (2) vào buồng từ trường (3) theo quán tính. Dưới tác dụng của từ trường vuông góc ($\bar{B}$), các ion chuyển động theo những quỹ đạo cong với bán kính cong (r) khác nhau, phụ thuộc vào cường độ điện trường $\bar{E}$, cường độ từ trường ($\bar{B}$), cũng như khối lượng (m) và điện tích (e) của ion, trong đó m và e là hai nhân tố thuộc bản chất chất khí. Bằng cách thay đổi $\bar{E}$ và $\bar{B}$ ta có thể hướng những chùm ion khác nhau đi qua khe hở (4) tới cảm biến (5). Tín hiệu từ cảm biến (5) qua bộ khuếch đại (6) được đưa tới dụng cụ đo (7).

10.2. CẢM BIẾN ĐO ĐỘ PH

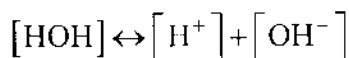
10.2.1. Nguyên lý đo

Độ pH của một dung dịch xác định bởi công thức:

$$\text{pH} = -\lg [H^+]$$

Trong đó: $[H^+]$ là nồng độ ion H^+ trong dung dịch.

Đối với nước nguyên chất, phương trình phân ly:



Hằng số phân ly:

$$K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{HOH}]}$$

Ở điều kiện bình thường, nước phân ly không đáng kể, $K = 10^{-14}$. Do $[\text{HOH}] \approx 1$ và $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ nên $[\text{H}^+] = 10^{-7}$, suy ra độ pH của nước nguyên chất: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 7$. Dung dịch có độ pH = 7 được gọi là dung dịch trung tính, pH > 7 là dung dịch có tính kiềm, pH < 7 là dung dịch có tính axit.

Nguyên lý đo nồng độ H^+ dựa trên cơ sở: nếu nhúng một thanh kim loại vào dung dịch muối, trên mặt phân cách sẽ xuất hiện một hiệu thế gọi là thế điện cực:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln C - \frac{RT}{nF} \ln c \quad (10.4)$$

Trong đó: F- hằng số faraday ($F = 16.500 \text{ [C]}$).

C - nồng độ ion trong kim loại.

c - nồng độ ion trong dung dịch muối.

n - hóa trị của kim loại.

Thông thường nồng độ ion trong kim loại hầu như không đổi, công thức (10.4) có thể viết:

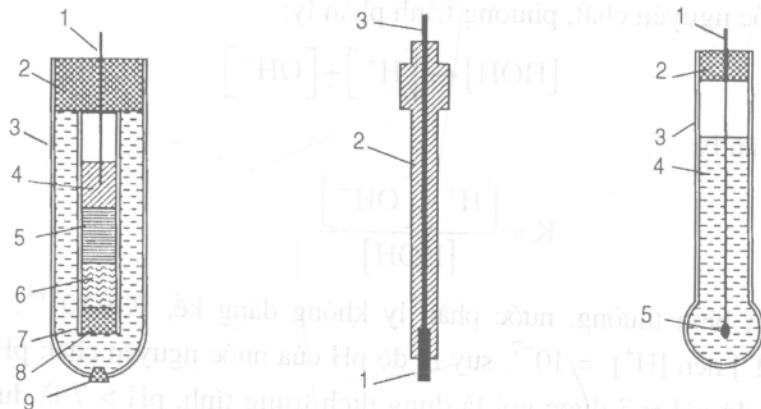
$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln c \quad (10.5)$$

Từ công thức (10.5) nhận thấy: thế điện cực phụ thuộc bản chất kim loại, nhiệt độ và nồng độ ion trong dung dịch. Nếu biết thế điện cực ta có thể xác định được nồng độ ion trong dung dịch. Tuy nhiên, trong thực tế không thể đo trực tiếp thế điện cực, do vậy để đo nồng độ $[\text{H}^+]$ người ta đo hiệu điện thế giữa cực đo nhúng trong dung dịch cần đo và điện cực so sánh nhúng trong dung dịch đã biết trước nồng độ.

10.2.2. Cấu tạo của cảm biến

Cảm biến đo độ pH của dung dịch gồm hai bộ phận cơ bản: điện cực so sánh và điện cực đo.

Để làm điện cực so sánh thường dùng điện cực calomen (hình 10.7a), gồm dây platin (1), nút (2), bình thủy tinh (3), lớp thủy ngân kim loại Hg (4), lớp calomen Hg_2Cl_2 (5), lớp bông (6), dung dịch KCl (7) và nút (8), (9). Lớp bề mặt phản ứng của điện cực là bề mặt tiếp xúc Hg - Hg_2Cl_2 .



Hình 10.7. Sơ đồ cấu tạo điện cực đo $[H^+]$

a) Điện cực so sánh; b) Điện cực đo; c) Điện cực màng thủy tinh.

Hằng số phân ly:

$$K = \frac{[Hg^+]^2 \cdot [Cl^-]^2}{[Hg_2Cl_2]}$$

Do $[Hg_2Cl_2]$ ổn định và $[Cl^-]$ được giữ không đổi nhờ sự bổ sung từ dung dịch KCl nên điện thế điện cực luôn cố định.

Điện cực đo thường sử dụng điện cực kim loại (platin, vàng, bạc, thủy ngân). Chúng có cấu tạo như hình 10.7b, gồm một que kim loại (1) đặt trong một ống bảo vệ bằng thủy tinh hoặc polime (2), phần dưới của que (gọi là phần nhạy cảm) không bị che chắn để có thể tiếp xúc với dung dịch. Điện cực được nối điện ra ngoài bằng cáp điện (3).

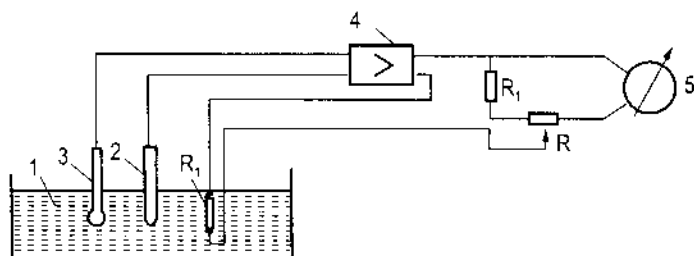
Khi đo pH người ta còn dùng điện cực đo màng thủy tinh (hình 10.7c). Cấu tạo của điện cực gồm: dây bạch kim (1), nút (2), bình thủy tinh có đáy mỏng hình cầu (3), dung dịch KCl (4), lớp bọc AgCl (5). Phần tử nhạy cảm của điện cực là màng thủy tinh mỏng hình cầu chế tạo từ thủy tinh đặc biệt có tính dẫn điện yếu, khi đặt trong dung dịch chứa $[H^+]$, điện thế trên mặt phân cách phụ thuộc vào hoạt độ của các ion $[H^+]$:

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln a_{H^+}$$

10.2.3. Sơ đồ mạch đo

Tùy theo yêu cầu sử dụng người ta dùng sơ đồ đo khác nhau.

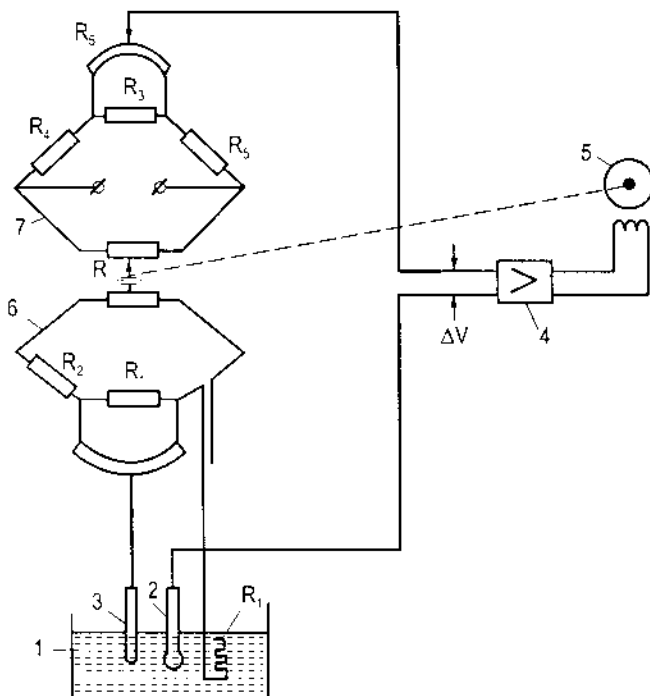
Trong sơ đồ hình 10.8, sử dụng dụng cụ đo thứ cấp là milivôn kế, gồm bình chứa dung dịch cần đo (1), điện cực so sánh (2) điện cực đo (3), bộ khuếch đại (4), milivôn kế (5), điện trở bù nhiệt độ R_t . Hiệu điện thế giữa cực đo và điện cực so sánh qua bộ khuếch đại được đưa trực tiếp vào đồng hồ đo.



Hình 10.8. Sơ đồ mạch đo $[H^+]$ dùng milivôn kế
1. Dung dịch cần đo; 2. Điện cực so sánh; 3) Điện cực đo;
4. Bộ khuếch đại; 5. Milivôn kế; 6. Điện trở bù.

Để bù ảnh hưởng của nhiệt độ người ta lắp vào mạch đo điện trở bù R_1 . Do thế điện cực của điện cực đo có điện trở lớn (cỡ hàng chục $M\Omega$) nên dụng cụ đo thứ cấp phải có điện trở vào lớn.

Trong sơ đồ hình 10.9, sử dụng hệ thống đo tự động.



Hình 10.9. Sơ đồ mạch đo $[H^+]$ tự động
1. Dung dịch cần đo;
2. Điện cực đo;
3. Điện cực so sánh;
4. Khuếch đại;
5. Động cơ xoay chiều;
6, 7. Cầu cân bằng.

Hệ thống đo gồm bể chứa dung dịch cần đo $[H^+]$ (1), điện cực đo (2), điện cực so sánh (3), khuếch đại (4), động cơ xoay chiều (5) và hai cầu cân bằng (6), (7). Khi đo, hiệu điện thế giữa điện cực đo và điện cực so sánh tạo ra tín hiệu sai lệch ΔV , qua bộ khuếch đại (4) làm quay động cơ (5), con chạy biến trở R liên động với động cơ quay theo cho đến khi sai lệch điện áp bằng 0 thì động cơ ngừng quay. Điện trở R_1 dùng để bù ảnh hưởng của nhiệt độ.

10.3. CẢM BIẾN ĐO NỒNG ĐỘ CHẤT ĐIỆN LY

10.3.1. Nguyên lý đo

Đo nồng độ chất điện ly dựa trên nguyên lý đo độ dẫn điện của dung dịch chứa chất điện ly. Độ dẫn điện của một chất điện ly phụ thuộc:

+ Bản chất, độ phân ly và nồng độ chất điện ly.

+ Nhiệt độ của dung dịch.

Độ dẫn điện riêng của một chất trong dung dịch xác định theo công thức:

$$\chi = \mu \cdot \alpha \cdot \lambda \quad (\Omega \cdot \text{cm})^{-1} \quad (10.6)$$

Trong đó: μ - nồng độ đương lượng của dung dịch;

α - mức độ điện ly;

λ - độ dẫn điện đương lượng của dung dịch.

Quan hệ giữa nồng độ đương lượng (μ) và áp suất thẩm thấu (p) có dạng:

$$\mu = \frac{p}{\delta} \cdot 10^{-6} \quad (10.7)$$

Trong đó δ là trọng lượng đương lượng của chất hòa tan.

Từ (10.6) và (10.7) ta có:

$$\chi = \frac{\alpha \cdot p}{\delta} \cdot \lambda \cdot 10^{-6} \quad (10.8)$$

Độ dẫn điện cũng phụ thuộc vào nhiệt độ, quan hệ phụ thuộc có dạng:

$$\chi_t = \chi_0 \cdot [1 + \beta(t - t_0)]$$

Trong đó: χ_t, χ_0 - là độ dẫn điện của chất điện ly ở nhiệt độ t và t_0 ;

β - hệ số phụ thuộc bản chất dung dịch và nhiệt độ, trong khoảng $0 \div 30^\circ\text{C}$, giá trị của β như sau:

Dung dịch axit: $\beta = 0,017$.

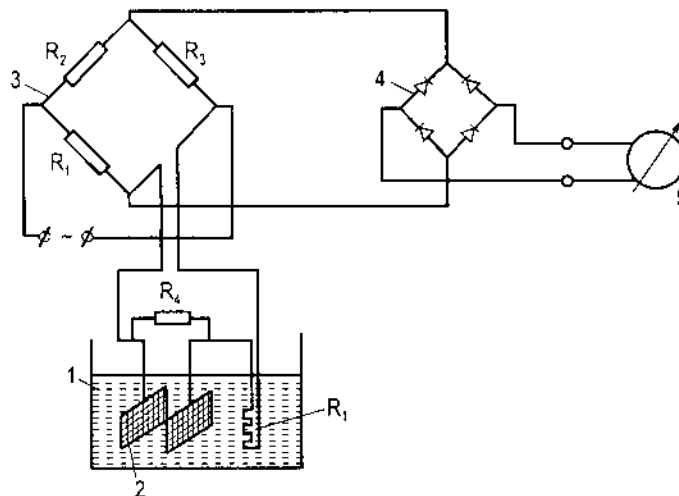
Dung dịch kiềm: $\beta = 0,019$.

Dung dịch muối: $\beta = 0,023$.

Như vậy, ở một nhiệt độ nhất định, độ dẫn điện của dung dịch chỉ phụ thuộc nồng độ dung dịch $\chi = f(c)$. Đo độ dẫn điện của dung dịch ta có thể xác định được nồng độ chất điện ly trong dung dịch.

10.3.2. Cảm biến đo

Bộ phận cơ bản của cảm biến là hai bản cực kim loại, khi đo được đặt vào dung dịch cần đo (sơ đồ hình 10.10).



Hình 10.10. Sơ đồ hệ thống đo nồng độ chất điện ly

1. Dung dịch cần đo; 2. Bàn cực; 3. Cầu điện trở; 4. Bộ chỉnh lưu; 5. Điện thế kế.

Trong sơ đồ, để tránh hiện tượng điện phân dùng nguồn cấp là nguồn xoay chiều, điện trở R_4 dùng để hạn chế dòng qua dung dịch, R_1 là điện trở bù ảnh hưởng của nhiệt độ. Tín hiệu đo là dòng xoay chiều lấy từ cầu cân bằng (3) qua bộ chỉnh lưu (4) tới điện thế kế (5).

10.4. CẢM BIẾN ĐO TỈ TRỌNG

10.4.1. Cảm biến đo theo áp suất

Phương pháp đo tỉ trọng thông qua đo áp suất dựa trên cơ sở:

$$p = \gamma \cdot H$$

Trong đó: p - áp suất tại điểm đo;

H - chiều cao cột chất lỏng.

Khi cố định H thì p phụ thuộc tỉ trọng γ .

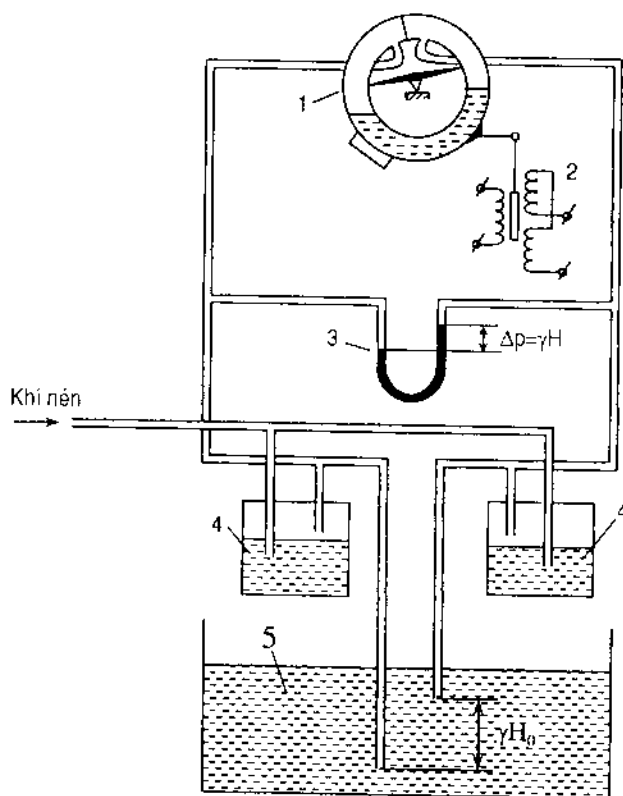
Sơ đồ mạch đo trình bày trên hình 10.11.

Nguyên lý hoạt động: khí nén đi qua các buồng lọc (4) vào hai ống dẫn đặt trong dung dịch cần đo tỉ trọng (4) và thoát ra ngoài. Do miệng ống bên trái và bên phải đặt lệch nhau một khoảng H_0 nên áp suất khí ở hai nhánh chênh lệch một lượng:

$$\Delta p = \gamma \cdot H_0$$

Do H_0 cố định nên hiệu áp Δp chỉ phụ thuộc tỉ trọng (γ) của dung dịch.

Để đo hiệu áp dùng áp kế chữ U (3) và áp kế vành khuyên (1). Bộ biến đổi điện (2) dùng để truyền kết quả đi xa.



Hình 10.11. Sơ đồ mạch đo tỉ trọng theo áp suất
 1. Áp kế vành khuyên;
 2. Bộ biến đổi điện;
 3. Áp kế chữ U;
 4. Bộ lọc;
 5. Dung dịch cần đo tỉ trọng.

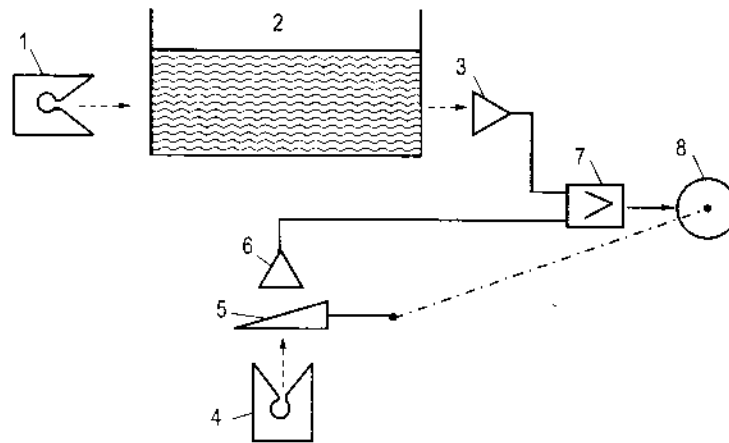
10.4.2. Cảm biến đo dòng đồng vị phóng xạ

Phương pháp đo tỉ trọng bằng đồng vị phóng xạ dựa trên cơ sở: Tia γ của chất đồng vị phóng xạ Co^{60} đi qua một môi trường thì bị môi trường đó hấp thụ, lượng bức xạ γ bị hấp thụ phụ thuộc bản chất môi trường và chiều dày mà tia đi qua. Trong môi trường là dung dịch nếu có chứa những ion kim loại nặng hoặc vonfram thì kết quả đo sẽ bị ảnh hưởng. Phương pháp này thường dùng đo mật độ vật liệu dạng bùn.

Sơ đồ mạch đo trình bày trên hình 10.12.

Nguyên lý hoạt động: Luồng bức xạ đi từ nguồn phát (1) qua môi trường đo (2) bị môi trường hấp thụ một phần, phần còn lại đến bộ thu (3). Tương tự luồng bức xạ đi từ nguồn (4) qua nệm (5) bị nệm hấp thụ một phần, phần còn lại đến bộ thu (6), mức hấp thụ của nệm (5) phụ thuộc vị trí của nệm. Nếu tín hiệu từ các bộ thu đến bộ khuếch đại (7) bằng nhau thì động cơ không có tín hiệu nên đứng yên.

Giả sử môi trường thay đổi mật độ, tín hiệu từ bộ thu (3) thay đổi, xuất hiện sai lệch ở đầu vào bộ khuếch đại (7), động cơ (8) quay, làm nệm (5) liên động với động cơ xê dịch cho đến khi tín hiệu đến từ bộ thu (6) bằng tín hiệu đến từ bộ thu (3), động cơ ngừng quay. Kim chỉ thị liên động với động cơ cho phép hiển thị kết quả. Để truyền kết quả đi xa dùng cảm biến vị trí.



Hình 10.12. Sơ đồ mạch đo tỉ trọng bằng phóng xạ
 1, 4. Nguồn phát tia bức xạ; 2. Môi trường đo;
 3, 6. Bộ thu; 5. Nền; 7. Bộ khuếch đại; 8. Động cơ.

10.5. CẢM BIẾN ĐO ĐỘ ẨM

Trong công nghiệp hầu hết các loại nguyên, nhiên, vật liệu, khí lò... đều có chứa một lượng ẩm nhất định.

Đối với nguyên, nhiên, vật liệu rắn, độ ẩm xác định theo công thức:

$$W = \frac{G_a - G_k}{G_k} \cdot 100 \quad (\%)$$

Trong đó: G_a - khối lượng vật liệu ẩm;

G_k - khối lượng vật liệu khô sau khi sấy.

Đối với thể khí (không khí, nhiên liệu khí và khí lò...), độ ẩm được đánh giá theo độ ẩm tuyệt đối hoặc độ ẩm tương đối.

Độ ẩm tuyệt đối (γ) là số gam hơi nước có trong một mét khối khí khô $[g/m^3]$.

Lượng hơi nước cực đại có thể chứa trong một mét khối khí khô ở một nhiệt độ và áp suất nhất định được gọi là lượng hơi nước bão hòa (γ_{bh}) ở nhiệt độ và áp suất đó.

Độ ẩm tương đối (u) là tỉ số giữa độ ẩm tuyệt đối (γ) và lượng nước bão hòa (γ_{bh}) ở cùng một nhiệt độ và áp suất:

$$u = \frac{\gamma}{\gamma_{bh}} \cdot 100 \quad (\%)$$

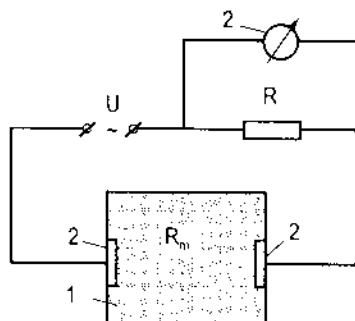
Cảm biến đo độ ẩm thường được gọi là ẩm kế.

10.5.1. Cảm biến đo độ ẩm vật liệu rời

Thông thường để xác định độ ẩm của vật liệu, người ta lấy mẫu vật liệu ẩm đem cân, sau đó đem sấy khô cân lại khối lượng và tính độ ẩm của nó. Phương pháp này cho độ

chính xác cao nhưng tốn thời gian. Trong công nghiệp người ta đo độ ẩm vật liệu rắn (thường là dạng rời) bằng các phương pháp điện dựa trên cơ sở đo sự thay đổi tính chất điện (như điện trở hoặc điện dung) của vật liệu phụ thuộc vào độ ẩm của nó.

Hình 10.13 trình bày sơ đồ hệ thống đo độ ẩm theo biến thiên điện trở, hệ thống gồm hai điện cực (2) được cấp điện từ nguồn xoay chiều điện áp U , đồng hồ hiển thị độ ẩm (3).



Hình 10.13. Sơ đồ đo độ ẩm vật liệu rời theo biến thiên điện trở

1. Khối vật liệu; 2. Các điện cực; 3. Đồng hồ đo.

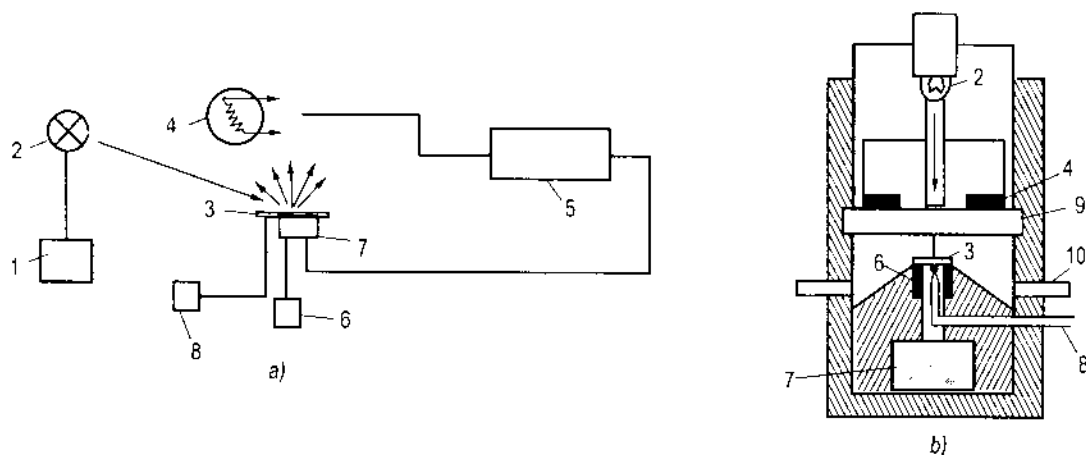
Điện trở R_m của vật liệu phụ thuộc độ ẩm của vật liệu và nhiệt độ, để bù ảnh hưởng của nhiệt độ, mắc nối tiếp với R_m một điện trở R có cùng hệ số nhiệt điện trở.

10.5.2. Cảm biến đo độ ẩm của khí

a) Ẩm kế ngưng tụ

Ẩm kế ngưng tụ đo độ ẩm khí dựa trên nguyên tắc đo điểm sương: khi làm lạnh từ từ chất khí cho đến lúc xuất hiện các hạt sương, đo nhiệt độ điểm sương xác định được độ ẩm của khí.

Trên hình 10.14 trình sơ đồ nguyên lý và sơ đồ cấu tạo của một ẩm kế ngưng tụ tự động.



Hình 10.14. Sơ đồ đo độ ẩm theo điểm sương

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Sơ đồ cấu tạo.

Nguyên lý hoạt động của ẩm kế (hình 10.14a): khí liên tục được thổi qua mặt gương (3), nguồn sáng (2) được bố trí sao cho khi chưa có hơi nước ngưng tụ trên mặt gương, tia sáng chiếu từ nguồn sáng đập tới gương phản xạ không chiếu tới đầu thu (4). Lúc này hệ thống điều khiển (5) phát tín hiệu để bộ phận làm lạnh gương (7) hoạt động. Khi xuất hiện lớp sương trên bề mặt gương, ánh sáng bị tán xạ đập tới đầu thu quang (4) kích thích bộ điều khiển phát tín hiệu để bộ phận nung nóng gương (6) hoạt động, gương bị nung nóng, lớp sương biến mất và một chu kỳ làm lạnh mới lại bắt đầu. Để đo nhiệt độ sử dụng cảm biến đo nhiệt độ (8) (kiểu điện trở hoặc cặp nhiệt ngẫu).

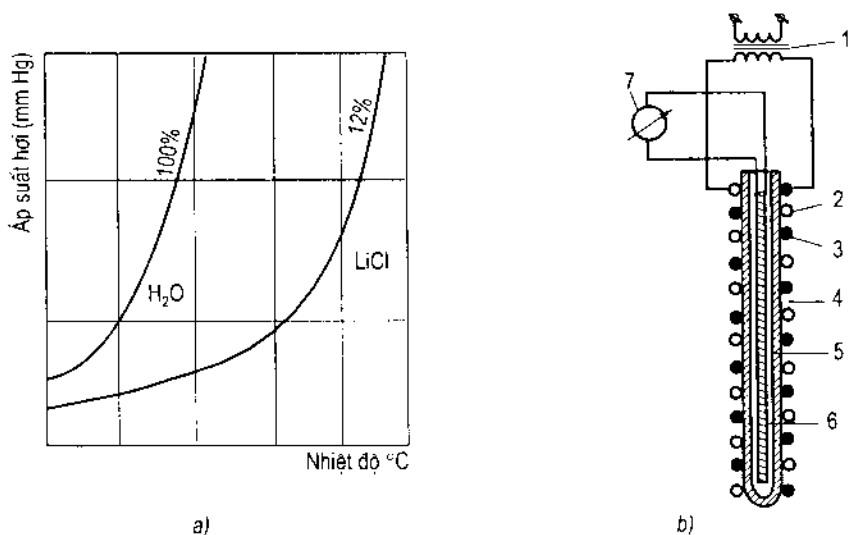
Sơ đồ cấu tạo của ẩm kế trình bày trên hình 10.14b, gồm nguồn sáng (2), gương (3), tế bào quang dẫn (4), điện trở đốt (6), buồng làm lạnh (7), cặp nhiệt ngẫu (8), cửa sổ (9), đường dẫn khí (10).

Ẩm kế ngưng tụ đo điểm sương có phạm vi đo rộng, từ -70°C đến 100°C , độ chính xác có thể đạt tới $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, thời gian hồi đáp khoảng vài phút, có thể đo độ ẩm của nhiên liệu khí. Tuy nhiên do cấu tạo phức tạp, giá thành cao, đòi hỏi hiệu chỉnh thường xuyên nên ít được sử dụng trong công nghiệp.

b) Ẩm kế hấp thụ

Ẩm kế hấp thụ đo độ ẩm khí dựa trên hai hiện tượng:

- Áp suất hơi ở phía trên một dung dịch bão hòa chứa các muối hòa tan nhỏ hơn áp suất hơi bên trên mặt nước với cùng điều kiện nhiệt độ như nhau'



Hình 10.15.

a) Sự phụ thuộc áp suất hơi bão hòa vào nhiệt độ; b) Cấu tạo của ẩm kế hấp thụ LiCl.

1. Biến áp; 2, 3. Các điện cực; 4. Lớp sợi thủy tinh;

5. Ống kim loại bọc cách nhiệt; 6. Nhiệt kế điện trở; 7. Đồng hồ nhiệt độ.

Độ dẫn điện của muối kết tinh nhỏ hơn rất nhiều so với độ dẫn điện của dung dịch của chính muối đó với tỉ lệ cỡ $10^{-3} \div 10^{-4}$.

Khi đo độ ẩm bằng ẩm kế hấp thụ người ta nung nóng dung dịch muối chứa trong ẩm kế cho đến khi áp suất hơi bão hòa ở phía trên dung dịch bằng áp suất hơi ở trong môi trường khí, do nhiệt độ biết được áp suất hơi và nhiệt độ hóa sương.

Trên hình (10.15b) trình bày cấu tạo của ẩm kế LiCl đo độ ẩm theo nguyên tắc hấp thụ. Ẩm kế gồm một ống kim loại bọc cách điện (5), bên ngoài được bao bọc bởi một lớp vải sợi thủy tinh tẩm dung dịch LiCl (4), trên đó có cuốn hai điện cực kim loại (2) và (3). Nhiệt kế điện trở (6) dùng để đo nhiệt độ điểm hóa sương, (7) là đồng hồ nhiệt độ.

Nguyên lý hoạt động: khi nguồn cấp (1) cấp một điện áp xoay chiều cho hai điện cực kim loại (2) và (3), dòng điện chạy qua dung dịch làm nó bị nung nóng, nước trong dung dịch bốc hơi dần. Khi nước bay hơi hết dòng điện giữa các điện cực giảm xuống đáng kể, nhiệt độ đầu đo giảm xuống, các tinh thể LiCl lại hấp thụ nước, độ ẩm tăng làm cho dòng điện lại tăng. Quá trình trên lặp đi lặp lại cho đến khi đạt được cân bằng giữa muối rắn và dung dịch. Nhiệt độ cân bằng liên quan đến nhiệt độ hóa sương và áp suất hơi bão hòa do đó có thể xác định được độ ẩm của khí.

Ẩm kế LiCl cho phép đo nhiệt độ hóa sương với độ chính xác cao, việc đo tiến hành bằng cách nung nóng đầu đo thuận lợi hơn dùng phương pháp làm lạnh, phạm vi đo nhiệt độ hóa sương từ -10°C đến 60°C .

c) Ẩm kế bốc hơi ẩm

Ẩm kế đo độ ẩm theo phương pháp làm bốc hơi ẩm gồm hai nhiệt kế điện trở: một nhiệt kế khô và một nhiệt kế ẩm. Trên đầu đo của nhiệt kế ẩm bọc một lớp bông thấm nước. Nếu khí có độ ẩm càng thấp thì nước bốc hơi càng mạnh, nhiệt độ đầu đo của nhiệt kế ẩm càng giảm. Khi đó giữa hai đầu đo có chênh lệch nhiệt độ:

$$\Delta t = t_k - t_a$$

Dựa vào độ chênh nhiệt độ giữa hai nhiệt kế, xác định được độ ẩm tương đối của khí:

$$u = \frac{p_a - A(t_k - t_a)}{p_k} \cdot 100 \quad (\%)$$

Trong đó: p_k - áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ khô;

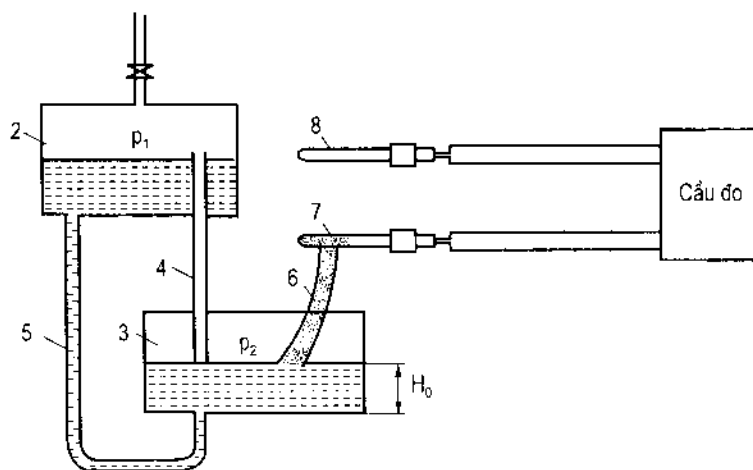
p_a - áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ ẩm;

A - hệ số phụ thuộc vào tốc độ thổi của dòng khí.

Trên hình 10.16 trình bày sơ đồ một hệ thống đo độ ẩm theo phương pháp làm bốc hơi.

Mức nước trong bình (3) được giữ ở mức H_0 , do sự bốc hơi nước trong bình (3) sụt xuống thấp hơn mức H_0 , miệng dưới của ống (4) hở ra, khoảng không trên bình (2) và (3)

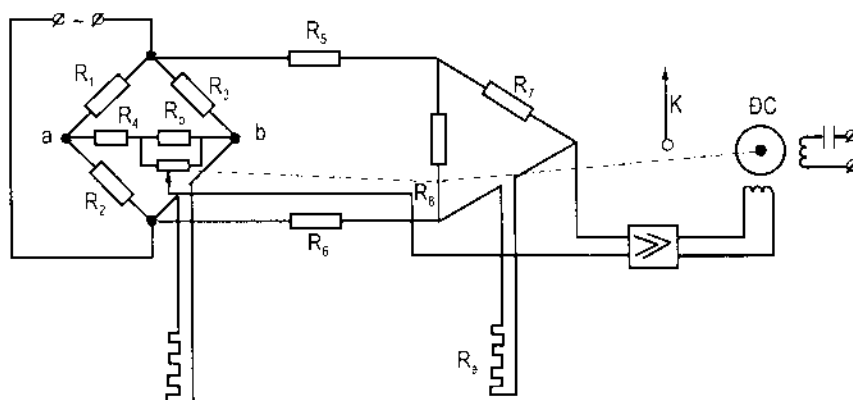
thông nhau áp suất trong bình (2) và (3) bằng nhau ($p_1 = p_2$), qua ống (5) nước từ bình (2) được cấp vào bình (3). Khi nước trong bình (3) đến mức H_0 , miệng dưới ống (4) bịt lại, p_2 tăng, p_1 giảm cho đến khi $p_2 = p_1 + \gamma H$ thì mực nước trong bình (2) và (3) ổn định. Do sự bay hơi liên tục nên quá trình trên lặp đi lặp lại và đạt được cân bằng.



Hình 10.16. Sơ đồ hệ thống đo độ ẩm theo phương pháp làm bốc hơi

1. Van; 2, 3. Thùng chứa; 4, 5. Ống thông; 6. Miếng bông;
7. Nhiệt kế ẩm; 8. Nhiệt kế khô; 9. Cầu đo.

Để đo chênh lệch nhiệt độ giữa hai nhiệt kế dùng cầu đo (hình 10.17) gồm hai cầu cân bằng. Cầu thứ nhất gồm điện trở R_1, R_2, R_3 và điện trở của nhiệt kế khô R_k , cầu thứ hai gồm R_7, R_8 và điện trở của nhiệt kế ẩm R_a . Theo cách mắc, điện áp mất cân bằng của cầu thứ nhất U_{ab} được đem so sánh với cầu thứ hai, sai lệch điện áp ΔU qua khuếch đại được đưa vào động cơ (ĐC) làm động cơ quay, kim chỉ (K) quay theo và con trượt của biến trở R_p liên động với động cơ xê dịch cho đến khi ΔU triệt tiêu, động cơ ngừng quay.



Hình 10.17. Sơ đồ cầu đo hiện nhiệt độ giữa hai nhiệt kế

Chương 11

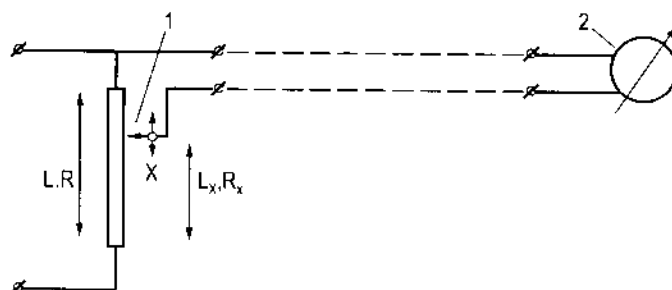
TRUYỀN KẾT QUẢ ĐI XA

Trong công nghiệp, do yêu cầu sản xuất và quản lý, trong nhiều trường hợp cần truyền kết quả từ cảm biến đến các bộ phận khác, người ta gọi chung là truyền kết quả đi xa. Để truyền kết quả đi xa người ta dùng hệ thống truyền kết quả đi xa gồm một bộ phát và một bộ thu. Theo quy ước, các dụng cụ mà kết quả đo của nó sẽ được truyền đi xa là bộ phát, các bộ phận nhận tín hiệu đo bộ phát đưa tới và biến nó thành sự dịch chuyển của kim chỉ hoặc tín hiệu để xử lý gọi là bộ thu.

11.1. TRUYỀN XA KIỂU ĐIỆN TRỞ

11.1.1. Phương pháp dùng biến đổi điện trở

Khi truyền xa kiểu điện trở, ở bộ phát tín hiệu đo được chuyển đổi thành tín hiệu điện nhờ một cảm biến vị trí kiểu biến trở, bộ thu là một đồng hồ đo kiểu milivôn kế.



Hình 11.1. Truyền xa kiểu biến trở

1. Biến trở; 2. Milivôn kế.

Ở bộ phát, khi đại lượng đo (m) thay đổi, con chạy của biến trở (1) dịch chuyển và điện áp ra U_x thay đổi theo:

$$U_x = \frac{R_x}{R} \cdot U = \frac{L_x}{L} \cdot U$$

Điện áp U_x được truyền đến bộ thu (2) là một milivôn kế được chia độ theo đại lượng đo.

Hệ thống truyền xa kiểu biến trở có cấu tạo đơn giản nhưng có tiếp điểm nên làm việc kém tin cậy, đồng thời chịu ảnh hưởng của sự thay đổi điện trở của biến trở.

11.1.2. Phương pháp dùng logomet

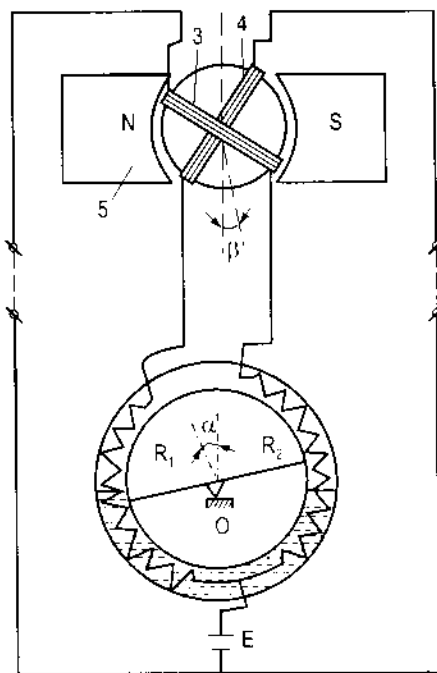
Trên hình 11.2 trình bày sơ đồ một hệ thống truyền xa kiểu logomet.

Bộ phát gồm vành khuyên (1) có thể quay quanh gối tựa (O), bên trong đặt hai điện trở R_1 , R_2 , phần dưới vành khuyên dẫn dây thủy ngân (2). Bộ thu là một logomet gồm hai cuộn dây (3) và (4) đặt trong từ trường của nam châm (5).

Khi đo, dưới tác động của đại lượng đo, giả sử vành khuyên quay một góc (α) làm tỉ số $\frac{R_1}{R_2}$ thay đổi, sự phân bố dòng điện đi vào

hai cuộn dây (3) và (4) của logomet thay đổi theo, làm quay kim chỉ một góc (β) phụ thuộc góc quay (α), tức là phụ thuộc giá trị của đại lượng đo.

Ưu điểm của hệ thống truyền xa kiểu logomet là kết quả truyền ít chịu ảnh hưởng của nguồn nuôi (E) nhưng góc quay bị hạn chế.

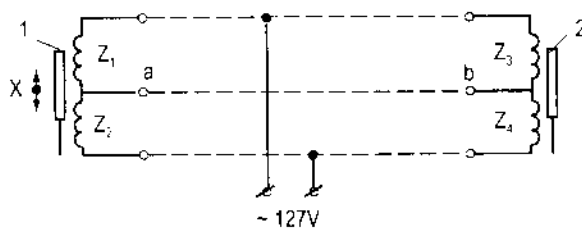


Hình 11.2. Truyền xa kiểu logomet
1. Vành khuyên; 2. Thủy ngân;
3, 4. Cuộn dây; 5. Nam châm.

11.2. TRUYỀN XA KIỂU TỪ CẢM

11.2.1. Dùng cầu cân bằng cảm ứng

Hệ thống truyền xa dùng cầu cân bằng cảm ứng gồm hai cuộn dây giống nhau, bên trong có đặt lõi sắt từ, một cuộn dây làm bộ phát, một cuộn dây làm bộ thu. Mỗi cuộn dây được chia làm hai phần có kích thước và thông số điện giống nhau (hình 11.3).



Hình 11.3. Sơ đồ truyền xa dùng cầu cân bằng cảm ứng
1. Bộ phát; 2. Bộ thu.

Khi chưa có tín hiệu đo, các lõi sắt từ của cuộn phát và cuộn thu ở giữa các cuộn dây ta có $Z_1.Z_4 = Z_2.Z_3$, cầu cân bằng và qua dây (ab) không có dòng điện chạy qua. Khi có

tín hiệu đo tác động lên lõi sắt từ của bộ phát, làm nó dịch chuyển tương đối với các cuộn dây. Giả sử lõi sắt từ của bộ phát dịch chuyển lên trên làm Z_1 tăng lên và Z_2 giảm xuống, dòng điện qua Z_3 tăng. Khi Z_3 tăng, lực hút của cuộn Z_3 tăng hút lõi sắt từ của cuộn thu lên trên cho đến khi vị trí tương đối của nó giống với vị trí tương đối của lõi sắt của cuộn phát thì ta lại có $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$, dòng điện qua dây (ab) lại bằng không.

Ưu điểm của hệ thống truyền xa dùng cầu cân bằng cảm ứng là có thể truyền đi một độ dịch chuyển tương đối lớn, nhưng nó có nhược điểm là độ nhạy bị hạn chế do ma sát cơ học.

11.2.2. Dùng biến thế vi sai

Trong bộ truyền xa dùng biến thế vi sai, bộ phát và bộ thu là hai biến thế vi sai giống nhau. Mỗi biến thế vi sai gồm một cuộn dây sơ cấp và hai cuộn dây thứ cấp giống nhau hoàn toàn, mắc xung đối. Lõi sắt của bộ phát thay đổi vị trí tương đối theo trị số của đại lượng cần đo (hình 11.4).

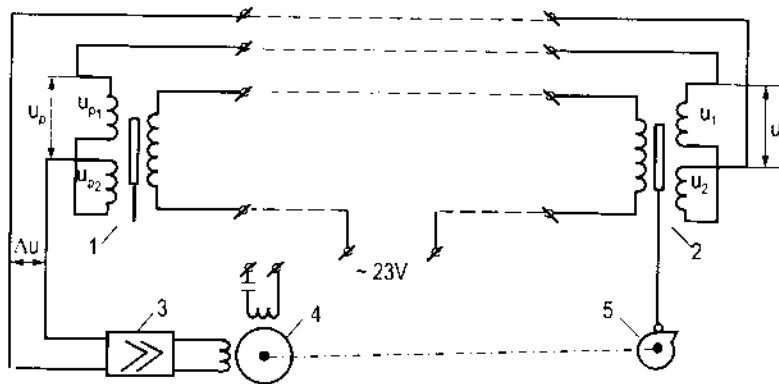
Khi chưa có tín hiệu đo, lõi sắt của cuộn phát và cuộn thu nằm chính giữa hai cuộn dây thứ cấp của mỗi cuộn, khi đó:

$$u_{p1} = u_{p2} \Rightarrow u_p = u_{p1} - u_{p2} = 0$$

Và

$$u_{t1} = u_{t2} \Rightarrow u_t = u_{t1} - u_{t2} = 0$$

Lúc này $\Delta u = u_p - u_t = 0$, tín hiệu vào khuếch đại bằng không, động cơ và cơ cấu cam đứng yên.



Hình 11.4. Sơ đồ hệ thống truyền xa dùng biến thế vi sai
1. Bộ phát; 2. Bộ thu; 3. Bộ khuếch đại; 4. Động cơ; 5. Cam.

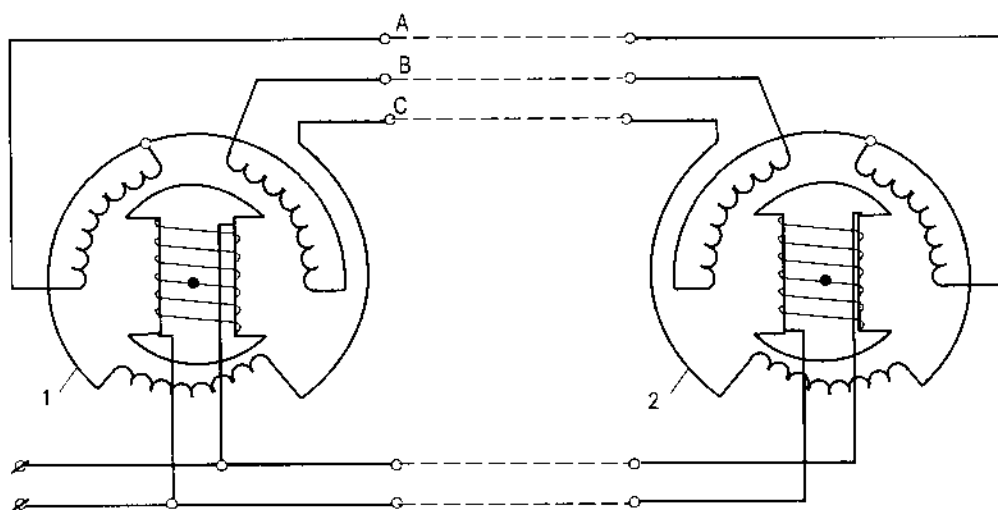
Khi đo, dưới tác động của đại lượng đo, lõi sắt của bộ phát dịch chuyển, giả sử lõi sắt đi lên trên làm cho u_{p1} tăng, u_{p2} giảm và $u_p = u_{p1} - u_{p2} \neq 0$. Khi đó $\Delta u \neq 0$ và tín hiệu vào khuếch đại khác không, động cơ quay. Khi động cơ quay, cam (5) liên động với động cơ quay theo, đồng thời làm cho lõi sắt của bộ thu dịch chuyển cùng

hướng với lõi sắt của bộ phát cho đến khi vị trí của hai lõi sắt như nhau thì $\Delta u = 0$ và động cơ ngừng quay.

Hệ thống truyền xa loại này thường dùng truyền kết quả đo lưu lượng, áp suất hoặc mức chất lưu.

11.3. TRUYỀN XA KIỂU ĐỒNG BỘ

Truyền xa kiểu đồng bộ gồm một xenxin phát và một xenxin thu (hình 11.5).



Hình 11.5. Truyền xa kiểu đồng bộ

1. Xenxin phát; 2. Xenxin thu.

Mỗi xenxin thực chất là một động cơ đồng bộ, cuộn một pha đặt ở rôto, ba cuộn ba pha đặt ở stato và nối hình sao. Các cuộn ba pha của xenxin phát và thu mắc xung đối nhau, tương đương hai biến thế mắc xung đối.

Khi chưa đo, rôto của xenxin phát và xenxin thu có vị trí giống nhau thì sự phân bố sức điện động trong các cuộn stato của hai xenxin giống nhau.

Khi đo, giả sử rôto của xenxin phát quay một góc (α) làm sự phân bố sức điện động trong cuộn dây ba pha của xenxin phát thay đổi, qua dây A, B, C sẽ có dòng điện chạy qua, các dòng điện này tạo ra từ trường quay trong cuộn ba pha của xenxin thu, từ trường quay làm rôto xenxin thu quay cùng chiều với rôto xenxin phát cho đến lúc vị trí rôto của hai xenxin giống nhau thì ngừng quay.

Hệ thống truyền xa kiểu đồng bộ có thể truyền xa một góc quay lớn tùy ý.

Chương 12

CẢM BIẾN THÔNG MINH

12.1. 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:

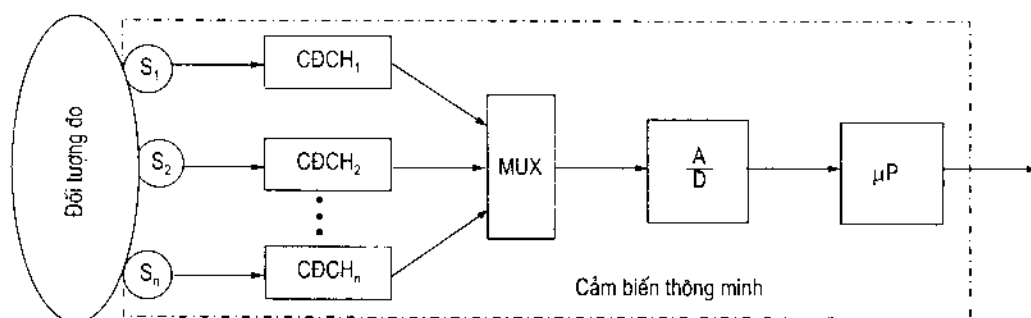
- + Chức năng thu thập số liệu đo từ nhiều đại lượng đo khác nhau với các khoảng đo khác nhau;
- + Chức năng chương trình hoá quá trình đo, tức là đo theo một chương trình định sẵn, chương trình này có thể thay đổi bằng thiết bị lập trình;
- + Có thể gia công sơ bộ kết quả đo theo các thuật toán đã định sẵn và đưa ra kết quả (hiển thị trên màn hình máy tính hoặc máy in);
- + Có thể thay đổi tọa 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 khác 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.

12.2. 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 12.1):



Hình 12.1. 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 (CDCH). Các bộ chuyển đổi chuẩn hoá làm nhiệm vụ tạo ra tín hiệu chuẩn, thường là điện áp từ $0 \div 5V$ hoặc $0 \div 10V$ 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 CDCH, 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 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.

12.3. 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).

12.3.1. Bộ 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 $0 \div 5V$ hay $0 \div 10V$ hoặc dòng $0 \div 20\text{ mA}$ hay $4 \div 20\text{ mA}$.

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 12.2)

Đặc tính ra của chuyển đổi chuẩn hoá thường là tuyến tính, tức là có dạng:

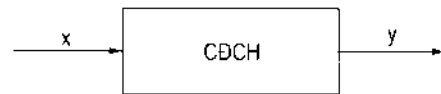
$$y = y_0 + kx \quad (12.1)$$

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:

$$\begin{cases} y_0 = Y \frac{X_1}{X_2 - X_1} \\ k = \frac{Y}{X_2 - X_1} \end{cases}$$



Hình 12.2. Sơ đồ nguyên lý chuyển đổi chuẩn hoá

Thay vào (10.1) ta có đặc tính của CĐCH:

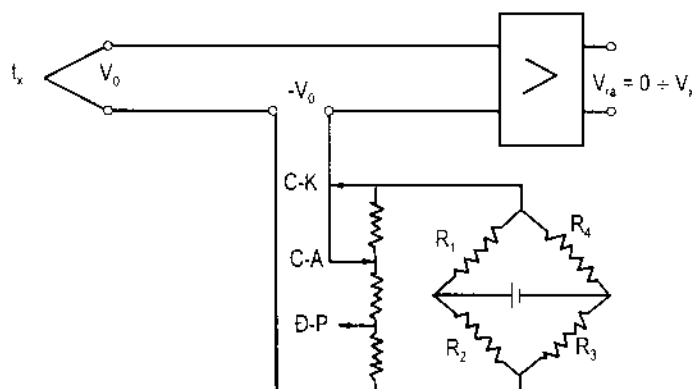
$$y = -Y \frac{X_1}{X_2 - X_1} + \frac{Y}{X_2 - X_1} x \quad (12.2)$$

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 12.3).

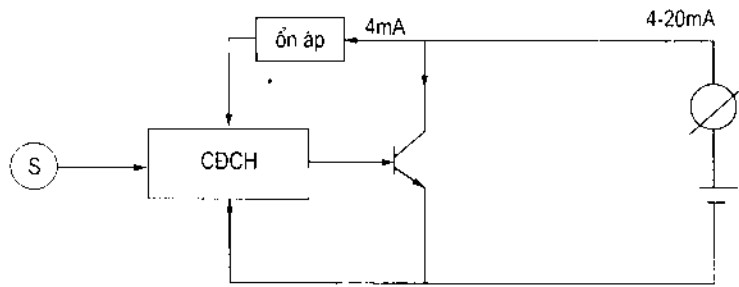


Hình 12.3. Bộ chuyển đổi chuẩn hoá đầu ra là áp một chiều

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_1 để khi nhiệt độ đầu tự do t_0 thay đổi thì nhiệt điện trở R_1 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 $0 \div 20\text{mA}$ hay $4 \div 20\text{mA}$. Với dòng $4 \div 20\text{mA}$ thì 4mA dùng để cung cấp cho mạch điện tử còn từ $0 \div 16\text{mA}$ 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 12.4.



Hình 12.4. 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 ($0 \div 16\text{mA}$). Mạch điện tử được cấp dòng 4mA qua bộ ổn áp. Dòng thay đổi từ $4 \div 20\text{mA}$ được đo nhờ 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.

12.3.2. 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 tác động nhanh (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 $\text{k}\Omega$). 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;

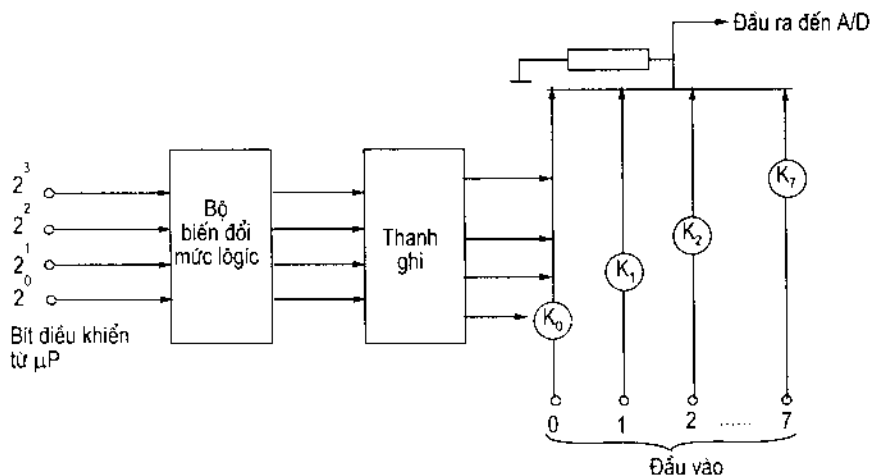
- + Chế độ địa chỉ: bộ đổi nối làm việc theo một chương trình đã định sẵn.

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 12.5 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 dồn 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.



Hình 12.5. Bộ dôn kênh MUX 8 bit

12.3.3. 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:

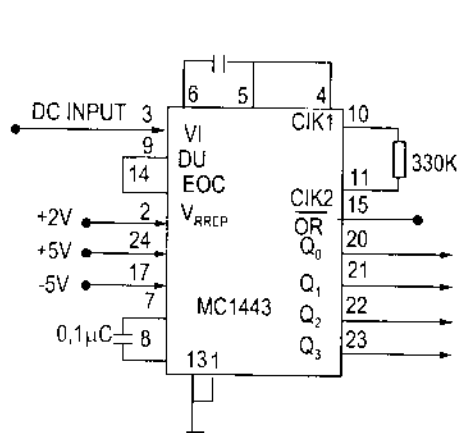
+ *Phương pháp song song*: Điện áp vào đồng thời so sánh với n điện áp chuẩn và xác định chính xác xem nó đang nằm ở giữa mức nào. Kết quả ta có một bậc của tín hiệu xấp xỉ. Phương pháp này có giá thành cao vì mỗi một số ta phải cần một bộ so sánh. Ví dụ trong phạm vi biến đổi từng nấc từ $0 \div 100$ cần đến 100 bộ so sánh. Ưu điểm của phương pháp này là tác động nhanh.

+ *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.

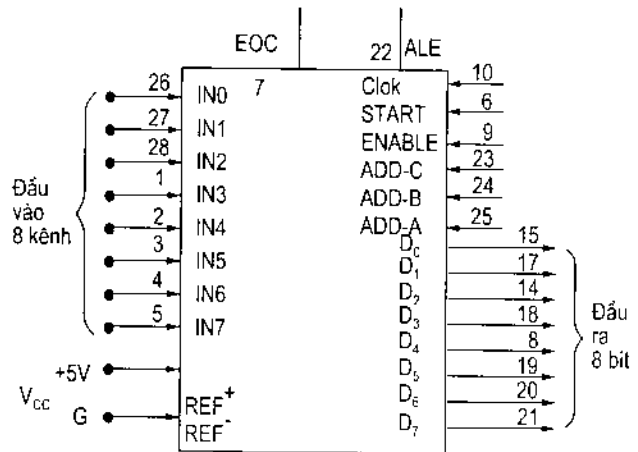
+ *Phương pháp số*: đây là phương pháp đơn giản nhất. Ở trường hợp này ta tính đến số lượng các tổng số điện áp chuẩn của các bit trẻ dùng để biểu diễn điện áp vào. Nếu số lượng cực đại dùng để mô tả bằng n thì do đó cũng cần tối đa n bước để nhận được kết quả. Phương pháp này đơn giản, rẻ tiền nhưng chậm.

Các bộ chuyển đổi số trong công nghiệp rất đa dạng, dưới đây giới thiệu một số bộ điển hình.

Trên hình 12.6 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.



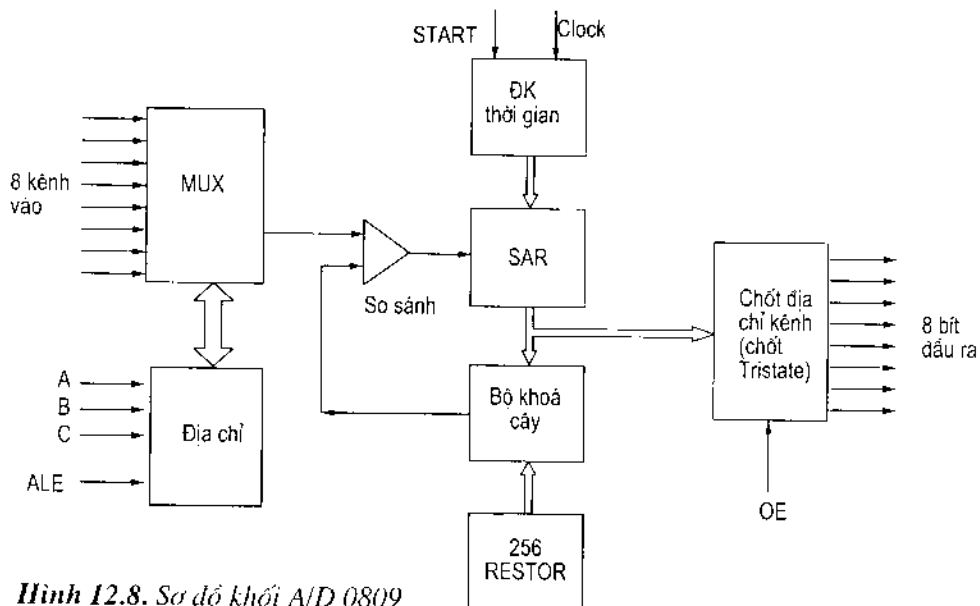
Hình 12.6. Chuyển đổi A/D MC 14433



Hình 12.7. Sơ đồ ADC 0809

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 12.7). Loại A/D này có đầu vào là tám kênh một chiều ($0 \div 5V$) 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 12.8. 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 khoá 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 thành 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 12.8. 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.

12.4. 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.

12.4.1. Tự động khắc 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.

12.4.2. 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 12.9). Phương pháp này gọi là 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 ;

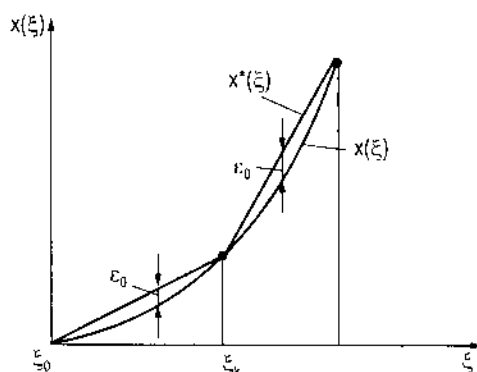
- Ở giá trị ξ_1 ta có x_1 ;

- 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 :



Hình 12.9. Phương pháp nội suy tuyến tính

$$\nabla(\xi_2, \xi_0) = \frac{x_2 - x_0}{\xi_2 - \xi_0}$$

- 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 tín 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 tín 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:

$$x_i^*(\xi) = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{\xi_{i+1} - \xi_i}(\xi - \xi_i) \quad (12.3)$$

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 .

12.4.3. 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:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P\left[|\xi^* - \xi| \geq \varepsilon\right] = 0 \quad \dots (12.4)$$

thì ước lượng ξ^* được gọi là ước lượng có căn cứ.

- Nếu lấy trung bình ước lượng mà ta có:

$$M[\xi^*] = \xi \quad (12.5)$$

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_1^* nào đó không lớn hơn trung bình bình phương độ sai lệch ξ_i^* của bất kỳ ước lượng thứ i nào:

$$M\left[(\xi_1^* - \xi)^2\right] < M\left[(\xi_i^* - \xi)^2\right] \quad (12.6)$$

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:

$$\begin{aligned} M[m_x^*] &= M\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i\right] = \frac{1}{N} M\left[\sum_{i=1}^N X_i\right] \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M[X_i] = \frac{1}{N} \cdot N \cdot m_x = m_x \end{aligned} \quad (12.7)$$

Như vậy ước lượng kỳ vọng toán học m_x^* là ước lượng không chệch.

Tương tự ta có thể chứng minh được rằng:

$$M[D_x^*] = D_x = \sigma_x^2 \quad (12.8)$$

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 $\bar{X}$:

$$\bar{X} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i + \dots + x_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (12.9)$$

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:

$$x_i - \bar{X} = v_i \quad (12.10)$$

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:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \text{Min} \quad (12.11)$$

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 Bessel:

$$\sigma^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n-1)} \quad (12.12)$$

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:

$$\sigma_{\bar{X}}^* = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}{n(n-1)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}}{n(n-1)} = \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}} \quad (12.13)$$

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: $X_0 = \bar{X} \pm \sigma_{\bar{X}}^* \cdot n$.

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 12.1 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:

$$\Delta_{1,2} = k\sigma_X^* \quad (12.14)$$

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:

$$\Delta_{1,2} = h_{st}\sigma_X^* \quad (12.15)$$

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 12.1.

Bảng 12.1 Bảng xác định hệ số phân bố Student

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:

$$S(t;n) = \frac{(n/2)!}{\sqrt{\pi(n-1)} \cdot [(n-1)/2]} \cdot \frac{1}{(1+t^2/n)^{n/2}} \quad (12.16)$$

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 (12.14).

Như vậy, kết quả đo với ước lượng khoảng, nhờ có phân bố Student có thể viết dưới dạng:

$$(\bar{X} - \Delta'_{1,2}) < X_0 < (\bar{X} + \Delta'_{1,2}) \quad (12.17)$$

Từ (12.17) 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 theo biểu thức sau đây:

$$\gamma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_{\bar{X}}^*}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (12.18)$$

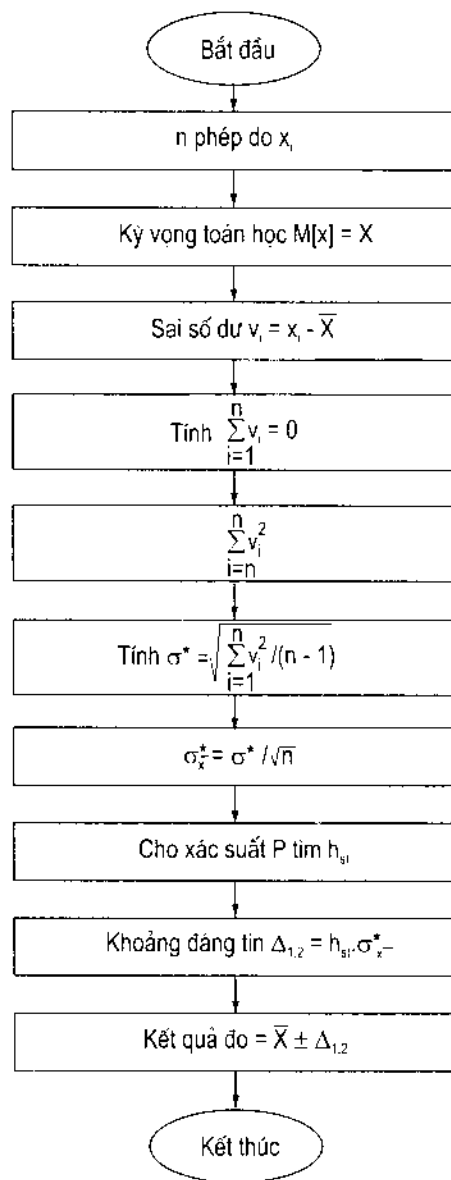
Quá trình gia công kết quả đo được biểu diễn theo sơ đồ thuật toán hình 12.10. Quá trình gia công này có thể thực hiện trên máy tính với bất kỳ ngôn ngữ nào, kết quả cho ta giá trị thực $X_0 = \bar{X}$ và khoảng đáng tin $\Delta'_{1,2}$.

Vậy kết quả đo nhận được sau khi gia công sẽ là:

$$\bar{X} \pm \Delta'_{1,2} \quad (12.19)$$

12.4.4. 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:



Hình 12.10. Sơ đồ thuật toán gia công kết quả đo

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (12.20)$$

Vì thế mà sai số tuyệt đối của kết quả đo gián tiếp như sau:

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 \Delta X_1^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 \Delta X_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2 \Delta X_n^2} \quad (12.21)$$

và sai số tương đối của kết quả đo sẽ là:

$$\begin{aligned} \gamma_Y = \frac{\Delta Y}{Y} &= \sqrt{\left(\frac{\partial X_1}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\Delta X_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_2}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\Delta X_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial X_n}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\Delta X_n}\right)^2} \\ &= \sqrt{\gamma_{X_1}^2 + \gamma_{X_2}^2 + \dots + \gamma_{X_n}^2} \end{aligned} \quad (12.22)$$

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:

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 \sigma_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2 \sigma_{X_n}^2} \quad (12.23)$$

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 12.2 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 12.2. Biểu thức tính sai số tuyệt đối và sai số tương đối của một số hàm

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	$\pm n X_{n-1} \Delta X$	$\pm n (\Delta X / X)$

12.4.5. Bù sai số

a) Bù sai số cộng tính

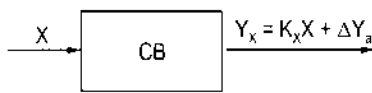
Trong cảm biến có sai số cộng tính, ta có:

$$Y_X = K_X X + \Delta Y_a \quad (12.24)$$

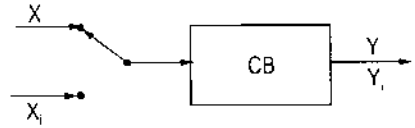
Với
$$K_X = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$$

Giá trị ΔY_a không thay đổi theo X là sai số cộng tính (hình 12.11).

Loại trừ sai số loại này bằng một bộ trừ (hình 12.12).



Hình 12.11. Sơ đồ nguyên lý cảm biến có sai số cộng tính



Hình 12.12. Loại trừ sai số cộng tính

Ta có:

$$Y_i = K_i X_i + \Delta Y_a \quad (12.25)$$

Thực hiện phép trừ theo vế (12.24) và (12.25) và biến đổi ta có:

$$X - X_i = (Y_X - Y_i) \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) \quad (12.26)$$

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:

$$Y_X = X K_X (1 - \gamma_k) \quad (12.27)$$

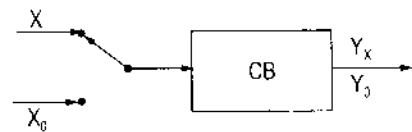
Trong đó: γ_k là sai số nhân tính.

Muốn bù sai số nhân tính ta dùng một phép chia.

Nếu đại lượng vào là X_0 , ta có:

$$Y_0 = X_0 K_0 (1 - \gamma_k) \quad (12.28)$$

Thực hiện phép chia theo vế (12.27) và (12.28) ta có:



Hình 12.13. Loại trừ sai số nhân tính

$$\frac{Y_X}{Y_0} = \frac{X}{X_0} \cdot \frac{K_X(1-\gamma_k)}{K_0(1-\gamma_k)} = \frac{X}{X_0} \frac{K_X}{K_0}$$

Nhận được
$$X = \frac{Y}{Y_0} \frac{K_0}{K_X} X_0 \quad (12.29)$$

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:

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial F}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial F}{\partial b} \Delta b + \dots \quad (12.30)$$

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.

Bảng thực nghiệm ta lập ra bảng yếu tố ảnh hưởng (bảng 12.3).

Bảng 12.3 Bảng yếu tố ảnh hưởng

$\begin{matrix} \diagdown \\ A \end{matrix} \quad X$	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. Hoàng Minh Công. *Giáo trình Cảm biến công nghiệp*. Đại học Đà Nẵng - 2004.
2. Hoàng Minh Công. *Giáo trình Kiểm nhiệt tự động hoá*. Đại học Đà Nẵng - 2006.
3. 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*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - 2001.
4. Tạ Duy Liêm. *Hệ thống điều khiển số cho máy công cụ*. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - 1998.
5. Phan Quang Phô, Nguyễn Đức Chiến. *Giáo trình Cảm biến*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - 2000.
6. Đỗ Xuân Thụ (chủ biên). *Kỹ thuật điện tử*. Nhà xuất bản Giáo dục - 2002.
7. S.C. Jomathon Lin. *Computer Numerical Control*. Pelmar Publishers Inc.

MỤC LỤC

<i>Lời nói đầu</i>	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	5
1.1.2. Phân loại	5
1.2. Các đặc trưng cơ bản của cảm biến	7
1.2.1. Đường cong chuẩn	7
1.2.2. Độ nhạy của cảm biến	8
1.2.3. Độ tuyến tính	10
1.2.4. Sai số và độ chính xác	11
1.2.5. Độ nhanh và thời gian hồi đáp	14
1.2.6. Giới hạn sử dụng của cảm biến	15
1.3. Nguyên lý chung chế tạo cảm biến	15
1.3.1. Nguyên lý chế tạo các cảm biến tích cực	16
1.3.2. Nguyên chế tạo cảm biến thụ động	18
1.4. Mạch đo	19
1.4.1. Sơ đồ mạch đo	19
1.4.2. Một số phân tử cơ bản của mạch đo	20
Chương II. Cảm biến quang	
2.1. Tính chất và đơn vị đo ánh sáng	22
2.1.1. Tính chất của ánh sáng	22
2.2.1. Các đơn vị đo quang	24
2.2. Cảm biến quang dẫn	24
2.2.1. Hiệu ứng quang dẫn	24
2.2.2. Tế bào quang dẫn	27
2.2.3. Photodiôt	30
2.2.4. Phototranzito	36
2.2.5. Phototranzito hiệu ứng trường	38
2.3. Cảm biến quang điện phát xạ	39
2.3.1. Hiệu ứng quang điện phát xạ	39
2.3.2. Tế bào quang điện chân không	40

2.3.3. Tế bào quang điện dạng khí	41
2.3.4. Thiết bị nhân quang	42
Chương 3. Cảm biến đo nhiệt độ	
3.1. Khái niệm chung	43
3.1.1. Thang đo nhiệt độ	43
3.1.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo	44
3.1.3. Phương pháp đo nhiệt độ	45
3.2. Nhiệt kế giãn nở	46
3.2.1. Nguyên lý đo	46
3.2.2. Các loại nhiệt kế giãn nở	46
3.3. Nhiệt kế điện trở	47
3.3.1. Nguyên lý đo	47
3.3.2. Các loại nhiệt kế điện trở	49
3.3.3. Mạch đo và dụng cụ thứ cấp	52
3.4. Cặp nhiệt ngẫu	55
3.4.1. Hiệu ứng nhiệt điện	55
3.4.2. Vật liệu chế tạo	57
3.4.3. Cấu tạo của cặp nhiệt	59
3.4.4. Mạch đo và dụng cụ thứ cấp	59
3.5. Hoả kế	64
3.5.1. Hoả kế bức xạ toàn phần	64
3.5.2. Hoả kế quang	65
3.6. Các loại cảm biến đo nhiệt độ khác	66
Chương 4. Cảm biến đo vị trí và dịch chuyển	
4.1. Nguyên lý đo vị trí và dịch chuyển	68
4.2. Điện thế kế điện trở	68
4.2.1. Điện thế kế dùng con chạy cơ học	68
4.2.2. Điện thế kế không dùng con chạy cơ học	68
4.3. Cảm biến điện cảm	70
4.3.1. Cảm biến tự cảm	72
4.3.2. Cảm biến hổ cảm	72
4.4. Cảm biến điện dung	74
4.4.1. Cảm biến tụ điện đơn	77
4.4.2. Cảm biến tụ kép vi sai	79
4.4.3. Mạch đo	80

4.5. Cảm biến quang	80
4.5.1. Cảm biến quang phản xạ	80
4.5.2. Cảm biến quang soi thấu	81
4.6. Cảm biến đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi	81
4.6.1. Nguyên lý đo dịch chuyển bằng sóng đàn hồi	81
4.6.2. Cảm biến sử dụng phân tử áp điện	82
4.6.3. Cảm biến âm từ	83
Chương 5. Cảm biến đo biến dạng	
5.1. Biến dạng và phương pháp đo	85
5.1.1. Khái niệm cơ bản	85
5.1.2. Phương pháp đo biến dạng	86
5.2. Đầu đo điện trở kim loại	86
5.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	86
5.2.2. Các đặc trưng chủ yếu	88
5.3. Cảm biến áp trở silic	88
5.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	88
5.3.2. Các đặc trưng chủ yếu	89
5.4. Đầu đo trong chế độ động	90
5.4.1. Tần số sử dụng tối đa	91
5.4.2. Giới hạn môi	91
5.5. Ứng suất kế dây rung	91
Chương 6. Cảm biến đo lực	
6.1. Nguyên lý đo lực	93
6.2. Cảm biến áp điện	94
6.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	94
6.2.2. Cảm biến thạch anh kiểu vòng đệm	95
6.2.3. Cảm biến thạch anh nhiều thành phần	95
6.2.4. Mạch đo	96
6.3. Cảm biến từ giảo	98
6.3.1. Hiệu ứng từ giảo	98
6.3.2. Cảm biến từ thẩm biến thiên	99
6.3.3. Cảm biến từ dư biến thiên	99
6.4. Cảm biến đo lực dựa trên phép đo dịch chuyển	100
6.5. Cảm biến xúc giác	100

Chương 7. Cảm biến đo vận tốc, gia tốc và rung

7.1. Cảm biến đo vận tốc	101
7.1.1. Nguyên lý đo vận tốc	101
7.1.2. Tốc độ kế điện từ	102
7.1.3. Tốc độ kế xung	105
7.1.4. Máy đo góc tuyệt đối	107
7.1.5. Đổi hướng kế	108
7.2. Cảm biến đo rung và gia tốc	109
7.2.1. Khái niệm cơ bản	109
7.2.2. Cảm biến đo tốc độ rung	112
7.2.3. Gia tốc kế áp điện	113
7.2.4. Gia tốc kế áp trở	114

Chương 8. Cảm biến đo áp suất chất lưu

8.1. Áp suất và nguyên lý đo áp suất	116
8.1.1. Áp suất và đơn vị đo	116
8.1.2. Nguyên lý đo áp suất	117
8.2. Áp kế dùng dịch thể	118
8.2.1. Vi áp kế kiểu phao	118
8.2.2. Vi áp kế kiểu chuông	119
8.2.3. Vi áp kế bù	120
8.2.4. Áp kế vành khuyên	121
8.3. Áp kế đàn hồi	122
8.3.1. Áp kế lò xo	122
8.3.2. Áp kế màng	123
8.3.3. Áp kế ống trụ	125
8.3.4. Áp kế kiểu đèn xếp	125
8.4. Áp kế điện	125
8.4.1. Áp kế áp trở	126
8.4.2. Áp kế áp điện	127
8.4.3. Áp kế điện dung	128
8.4.4. Áp kế điện cảm	129

Chương 9. Cảm biến đo lưu lượng

9.1. Cảm biến đo lưu lượng	132
9.1.1. Lưu lượng và đơn vị đo	132

9.1.2. Cảm biến đo lưu lượng theo thể tích	132
9.1.3. Cảm biến đo lưu lượng theo tốc độ	134
9.1.4. Cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp biến đổi	136
9.1.5. Cảm biến đo lưu lượng theo độ giảm áp không đổi	141
9.1.6. Cảm biến điện từ	142
9.2. Cảm biến đo và phát hiện mức chất lưu	143
9.2.1. Khái niệm và phương pháp đo	143
9.2.2. Cảm biến đo mức theo phương pháp thủy tĩnh	143
9.2.3. Cảm biến đo mức theo phương pháp điện	144
9.2.4. Cảm biến đo mức theo phương pháp bức xạ	145
Chương 10. Cảm biến đo một số chỉ tiêu công nghệ	
10.1. Cảm biến đo thành phần khí	147
10.1.1. Khái niệm	147
10.1.2. Đo thành phần khí theo độ dẫn nhiệt của chất khí	147
10.1.3. Đo nồng độ khí theo sự cháy của cấu tử cần phân tích	149
10.1.4. Đo nồng độ khí theo độ từ thẩm của khí	149
10.1.5. Đo nồng độ khí theo khả năng hấp thụ bức xạ	151
10.1.6. Đo nồng độ khí bằng quang phổ định lượng	152
10.2. Cảm biến đo độ pH	152
10.2.1. Nguyên lý đo	152
10.2.2. Cấu tạo của cảm biến	153
10.2.3. Sơ đồ mạch đo	154
10.3. Cảm biến đo nồng độ chất điện ly	156
10.3.1. Nguyên lý đo	156
10.3.2. Cảm biến đo	156
10.4. Cảm biến đo tỉ trọng	157
10.4.1. Cảm biến đo theo áp suất	157
10.4.2. Cảm biến đo dùng đồng vị phóng xạ	158
10.5. Cảm biến đo độ ẩm	159
10.5.1. Cảm biến đo độ ẩm vật liệu rời	159
10.5.2. Cảm biến đo độ ẩm của khí	160
Chương 11. Truyền kết quả đi xa	
11.1. Truyền xa kiểu điện trở	164
11.1.1. Phương pháp dùng biến đổi điện trở	164

11.1.2. Phương pháp dùng logomet	165
11.2. Truyền xa kiểu từ cảm	165
11.2.1. Dùng cầu cân bằng cảm ứng	165
11.2.2. Dùng biến thế vi sai	166
11.3. Truyền xa kiểu đồng bộ	167
Chương 12. Cảm biến thông minh	
12.1. Khái niệm về cảm biến thông minh	168
12.2. Cấu trúc của một cảm biến thông minh	169
12.3. Các khâu chức năng của cảm biến thông minh	170
12.3.1. Bộ chuyển đổi chuẩn hoá	170
12.3.2. Bộ dồn kênh MUX (multiplexer)	172
12.3.3. Bộ chuyển đổi tương tự số A/D	173
12.4. Các thuật toán xử lý trong cảm biến thông minh	175
12.4.1. Tự động khắc độ	175
12.4.2. Xử lý tuyến tính hoá từng đoạn	175
12.4.3. Gia công kết quả đo	177
12.4.4. Sai số của kết quả các phép đo gián tiếp	181
12.4.5. Bù sai số	183
Tài liệu tham khảo	185

GIÁO TRÌNH CẢM BIẾN CÔNG NGHIỆP

Chịu trách nhiệm xuất bản:
BÙI HỮU HẠNH

<i>Biên tập:</i>	NGUYỄN THỊ BÌNH
<i>Chế bản điện tử:</i>	TRẦN KIM ANH
<i>Sửa bản in:</i>	NGUYỄN THỊ BÌNH
<i>Bìa:</i>	VŨ BÌNH MINH

In 500 cuốn khổ 19 × 27cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 392-2007/CXB/6-33/XD, ngày 30-5-2007. In xong nộp lưu chiểu tháng 7 năm 2007.

6C6 - 03	18 - 2007
XD- 2007	

Giá : 36.000^d