

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HẢI DƯƠNG
KHOA KỸ THUẬT VÀ CÔNG NGHỆ

TaiLieu.vn

BÀI GIẢNG CẢM BIẾN
(Dành cho sinh viên ngành Kỹ thuật điện và Công nghệ kỹ thuật
điện tử-viễn thông)

Giảng viên: ThS. Phan Đình Trung

Hải Dương, tháng 9 năm 2024

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CẢM BIẾN	1
1.1. Khái niệm và phân loại cảm biến	1
1.1.1. Khái niệm	1
1.1.2. Phân loại cảm biến.....	1
1.2. Đường cong chuẩn của cảm biến.....	3
1.2.1. Khái niệm	3
1.2.2. Phương pháp chuẩn cảm biến.....	4
1.3. Các đặc trưng cơ bản	5
1.3.1. Độ nhạy của cảm biến.....	5
1.3.2. Độ tuyến tính	6
1.3.3. Sai số và độ chính xác	7
1.3.4. Độ nhanh và thời gian hồi đáp.....	8
1.3.5. Giới hạn sử dụng của cảm biến.....	9
1.4. Nguyên lý chế tạo cảm biến.....	10
1.4.1. Nguyên lý chế tạo các cảm biến tích cực	10
1.4.2. Nguyên lý chế tạo các cảm biến thụ động.....	13
1.5. Mạch đo	13
1.5.1. Sơ đồ mạch đo	13
1.5.2. Một số phân tử cơ bản của mạch đo	14
1.6. Phạm vi ứng dụng	16
CHƯƠNG 2. CẢM BIẾN QUANG	18
2.1. Tế bào quang dẫn.....	19
2.1.1. Hiệu ứng quang dẫn	19
2.1.2. Vật liệu chế tạo.....	20
2.1.3. Các đặc trưng.....	20
2.1.4. Đặc điểm và ứng dụng.....	22
2.1.5. Cách đo điện trở quang hoặc quang trở (LDR)	23
2.2. Photodiode.....	24
2.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.....	24
2.2.2. Chế độ hoạt động	25

2.2.3. Độ nhạy.....	26
2.2.4. Ứng dụng photodiôt	27
2.3. Photo tranzito	28
2.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	28
2.3.2. Độ nhạy.....	29
2.3.3. Sơ đồ dùng phototranzito.....	30
2.3.4. Cách đo photo tranzitor.....	31
2.3.5. Phototranzito hiệu ứng trường	31
2.4. Một số cảm biến quang thực tế	32
2.4.1. Kiểu thu phát độc lập.....	32
2.4.2. Kiểu thu phát chung (gương phản xạ)	34
2.4.3. Kiểu khuếch tán	38
2.5. Cảm biến sợi quang và laser	38
2.5.1. Cảm biến sợi quang	38
2.5.2. Cảm biến laser	39
CHƯƠNG 3. CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ.....	42
3.1. Khái niệm cơ bản.....	42
3.1.1. Thang đo nhiệt độ	42
3.1.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo	43
3.1.3. Phân loại cảm biến đo nhiệt độ	43
3.2. Nhiệt kế giãn nở.....	43
3.2.1. Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn	44
3.2.2. Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng.....	44
3.3. Nhiệt kế điện trở.....	44
3.3.1. Nguyên lý	44
3.3.2. Nhiệt kế điện trở kim loại.....	45
3.3.3. Nhiệt kế điện trở silic.....	48
3.3.4. Nhiệt kế điện trở oxit bán dẫn	51
3.4. Cảm biến nhiệt ngẫu	52
3.4.1. Hiệu ứng nhiệt điện.....	52
3.4.2. Cấu tạo cặp nhiệt ngẫu	54

3.5. Các bộ cảm biến nhiệt họ LM34 và LM35	56
CHƯƠNG 4. CẢM BIẾN VỊ TRÍ.....	60
4.1. Giới thiệu chung.....	60
4.2. Cảm biến tiếp xúc	60
4.2.1. Công tắc hành trình.....	60
4.2.2. Công tắc từ	61
4.1.3. Điện thế kế điện trở (Potentiometers)	62
4.2.4. Cảm biến loại điện cảm.....	64
4.2.5. Cảm biến điện dung.....	65
4.3. Cảm biến tiệm cận	66
4.3.1. Cảm biến tiệm cận điện cảm	67
4.3.2. Cảm biến tiệm cận điện dung.....	72
4.3.3. Cảm biến siêu âm	75
4.3.4. Sử dụng cảm biến tiệm cận.....	79
CHƯƠNG 5. CẢM BIẾN MỨC CHẤT LƯU VÀ ĐO TỐC ĐỘ	85
5.1. Cảm biến mức chất lưu	85
5.1.1. Cảm biến mức theo phương pháp thủy tĩnh	85
5.1.2. Cảm biến mức theo phương pháp dẫn điện	89
5.1.3. Phương pháp đo mức chất lỏng dùng bức xạ.....	90
5.2. Cảm biến tốc độ quay	91
Phương pháp đo cơ bản:	91
5.2.1. Đo vận tốc vòng quay bằng phương pháp Analog.....	92
5.2.2. Đo vận tốc vòng quay bằng phương pháp quang điện tử	94
CHƯƠNG 6. CẢM BIẾN THÔNG MINH.....	102
6.1. Giới thiệu	102
6.2. Cấu trúc của một cảm biến thông minh	103
6.3. Các khâu chức năng của cảm biến thông minh	104
6.3.1. Chuyển đổi chuẩn hóa.....	104
6.3.2. Bộ dồn kênh (MUX-multiplexer)	105
6.3.3. Bộ chuyển đổi tương tự số A/D	106
6.4. Các thuật toán xử lý.....	107

6.4.1. Tự động khắc bia	107
6.4.2. Xử lý tuyến tính hóa từng đoạn.....	107
6.5. Một số đặc tính trong cảm biến thông minh.....	108
6.6. Ứng dụng.....	109
THÍ NGHIỆM CÁC MÔ ĐUN CẢM BIẾN	112
I. Mô đun thí nghiệm cảm biến từ	112
II. Mô đun thí nghiệm cảm biến quang loại thu phát.....	113
III. Mô đun thí nghiệm cảm biến tiệm cận điện dung	115
IV. Mô đun thí nghiệm cảm biến tiệm cận điện cảm	116
V. Mô đun thí nghiệm cảm biến hồng ngoại.....	117
VI. Mô đun thí nghiệm cảm biến nhiệt độ	118
VII. Mô đun thí nghiệm cảm biến tốc độ và góc quay	120
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	122

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CẢM BIẾN

Số tiết: 3 (Lý thuyết: 3 tiết; bài tập, thực hành, thảo luận: 0 tiết)

A. MỤC TIÊU

- **Kiến thức:** Nêu được tầm quan trọng, khái niệm bộ cảm biến; Trình bày được phương pháp phân loại các bộ cảm biến, các thông số cơ bản của cảm biến, nguyên lý chế tạo cảm biến và mạch đo.

- **Kỹ năng:** Nhận biết các thông số đặc trưng, phân loại của cảm biến, các phương chuẩn cảm biến và phân biệt các hiệu ứng vật lý.

- **Mức độ tự chủ, tự chịu trách nhiệm:** Có ý thức tự học tập, tự nghiên cứu, nghiêm túc trong việc lĩnh hội kiến thức.

B. TÀI LIỆU HỌC TẬP, THAM KHẢO

[1] Nguyễn Thị Toan, *Bài giảng Cảm biến*, Lưu hành nội bộ - Trường Đại học Hải Dương (2022)

[2] Phan Quốc Phô (chủ biên), *Giáo trình Cảm biến*, NXB Khoa học và Kỹ thuật - 2006.

[3] Nguyễn Đức Thành, “Đo lường điều khiển bằng máy tính”, NXB ĐH Quốc gia TP HCM, 2013.

C. NỘI DUNG

1.1. Khái niệm và phân loại cảm biến

1.1.1. Khái niệm

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

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

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

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

1.1.2. Phân loại cảm biến

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

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

Bảng 1-1

Hiện tượng	Chuyển đổi đáp ứng và kích thích
Hiện tượng vật lý	- Nhiệt điện

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

- Phân loại theo dạng kích thích (Bảng 1-2)

Bảng 1-2

Âm thanh	- 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 - Tốc độ truyền - 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 ...
--------	--

- Phân loại 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.... tuyến tính hoặc phi tuyến.

1.2. Đường cong chuẩn của cảm biến

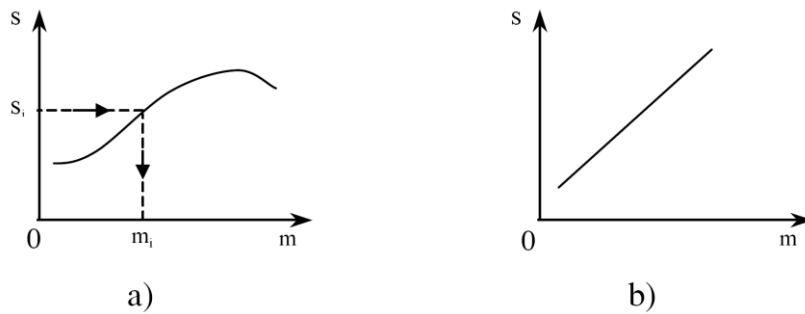
1.2.1. Khái niệm

Đường cong chuẩn cảm biến là đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của đại lượng điện (s) ở đầu ra của cảm biến vào giá trị của đại lượng đo (m) ở đầu vào.

Đường cong chuẩn có thể biểu diễn bằng biểu thức đại số dưới dạng $s = F(m)$, hoặc bằng đồ thị như Hình 1-1a.

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

Để dễ sử dụng, người ta thường chế tạo cảm biến có sự phụ thuộc tuyến tính giữa đại lượng đầu ra và đại lượng đầu vào, phương trình $s = F(m)$ có dạng $s = am + b$ với a , b là các hệ số, khi đó đường cong chuẩn là đường thẳng (Hình 1-1b).

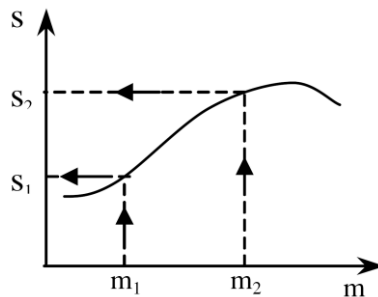


Hình 1-1. Đường cong chuẩn cảm biến

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

1.2.2. Phương pháp chuẩn cảm biến

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



Hình 1-2. Phương pháp chuẩn cảm biến

a. Chuẩn đơn giản

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

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

b. Chuẩn nhiều lần

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

- Đặt lại điểm 0 của cảm biến: đại lượng cần đo và đại lượng đầu ra có giá trị tương ứng với điểm gốc, $m = 0$ và $s = 0$.

- Đo giá trị đầu ra theo một loạt giá trị tăng dần đến giá trị cực đại của đại lượng đo ở đầu vào.

- Lặp lại quá trình đo với các giá trị giảm dần từ giá trị cực đại. Khi chuẩn nhiều lần cho phép xác định đường cong chuẩn theo cả hai hướng đo tăng dần và đo giảm dần.

1.3. Các đặc trưng cơ bản của cảm biến

1.3.1. Độ nhạy của cảm biến

a. Khái niệm

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

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

Đại lượng S xác định bởi biểu thức:

$$S = \frac{\Delta S}{\Delta m} \quad \text{được gọi là độ nhạy của cảm biến.}$$

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 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 **định được gọi là đặc trưng tĩnh của cảm biến**. Một điểm $Q_i(m_i, s_i)$ trên đặc

trung 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 không phụ thuộc vào điểm làm việc Q_i và chỉ bằng 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 là giá trị không đổi, m_1 là biên độ và ω là tần số góc của biến thiên đại lượng đo.

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

$$s(t) = S_0 + S_1 \cos(\omega t + \phi) \quad (1.6)$$

Trong đó:

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

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

$$s = \left(\frac{S_1}{m_1} \right)_{Q_0}$$

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

1.3.2. Độ tuyến tính

a. Khái niệm

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

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

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

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

b. Đường thẳng tốt nhất

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

Đường thẳng được xây dựng trên cơ sở các số liệu thực nghiệm sao cho sai số là bé nhất, biểu diễn sự tuyến tính của cảm biến được gọi là đường thẳng tốt nhất.

Phương trình biểu diễn đường thẳng tốt nhất được lập bằng phương pháp bình phương bé nhất. Giả sử khi chuẩn cảm biến ta tiến hành với N điểm đo, phương trình có dạng:

$$s = am + b$$

Trong đó:

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

c. Độ lệch tuyến tính

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

1.3.3. Sai số và độ chính xác

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

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

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

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

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

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

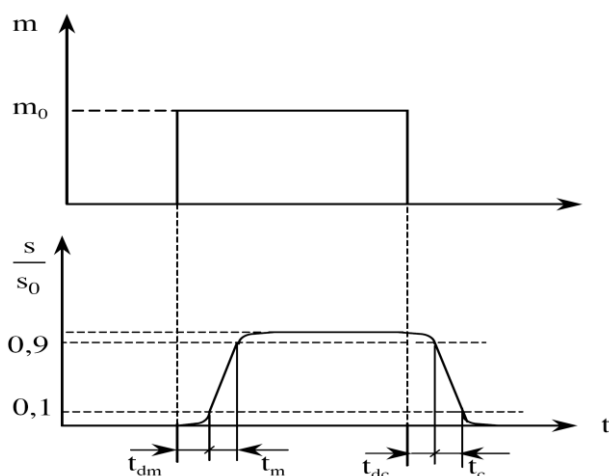
- + Do sự thay đổi đặc tính của thiết bị.
- + Do tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên.

+ Do các đại lượng ảnh hưởng không được tính đến khi chuẩn cảm biến. Chúng ta có thể giảm thiểu sai số ngẫu nhiên bằng một số biện pháp thực nghiệm thích hợp như bảo vệ các mạch đo tránh ảnh hưởng của nhiễu, tự động điều chỉnh điện áp nguồn nuôi, bù các ảnh hưởng nhiệt độ, tần số, vận hành đúng chế độ hoặc thực hiện phép đo lường thống kê.

1.3.4. Độ nhanh và thời gian hồi đáp

Độ nhanh là đặc trưng của cảm biến cho phép đánh giá khả năng theo kịp về thời gian của đại lượng đầu ra khi đại lượng đầu vào biến thiên. Thời gian hồi đáp là đại lượng được sử dụng để xác định giá trị số của độ nhanh.

Độ nhanh t_r là khoảng thời gian từ khi đại lượng đo thay đổi đột ngột đến khi biến thiên của đại lượng đầu ra chỉ còn khác giá trị cuối cùng một lượng giới hạn ε tính bằng %. Thời gian hồi đáp tương ứng với $\varepsilon\%$ xác định khoảng thời gian cần thiết phải chờ đợi sau khi có sự biến thiên của đại lượng đo để lấy giá trị của đầu ra với độ chính xác định trước. Thời gian hồi đáp đặc trưng cho chế độ quá độ của cảm biến và là hàm của các thông số thời gian xác định chế độ này.



Hình 1-3. Xác định các khoảng thời gian đặc trưng cho chế độ quá độ

Trong trường hợp sự thay đổi của đại lượng đo có dạng bậc thang, các thông số thời gian gồm thời gian trễ khi tăng (t_{dm}) và thời gian tăng (t_m) ứng với sự tăng đột

ngột của đại lượng đo hoặc thời gian trễ khi giảm (t_{dc}) và thời gian giảm (t_c) ứng với sự giảm đột ngột của đại lượng đo. Khoảng thời gian trễ khi tăng t_{dm} là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra tăng từ giá trị ban đầu của nó đến 10% của biến thiên tổng cộng của đại lượng này và khoảng thời gian tăng t_m là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra tăng từ 10% đến 90% biến thiên biến thiên tổng cộng của nó.

Tương tự, khi đại lượng đo giảm, thời gian trễ khi giảm t_{dc} 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_c là thời gian cần thiết để đại lượng đầu ra giảm từ 10% đến 90% biến thiên biến thiên tổng cộng của nó. Các thông số về thời gian t_r , t_{dm} , t_m , t_{dc} , t_c của cảm biến cho phép ta đánh giá về thời gian hồi đáp của nó.

1.3.5. Giới hạn sử dụng của cảm biến

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

a. Vùng làm việc danh định

Vùng làm việc danh định tương ứng với những điều kiện sử dụng bình thường của cảm biến. Giới hạn của vùng là các giá trị ngưỡng mà các đại lượng đo, các đại lượng vật lý có liên quan đến đại lượng đo hoặc các đại lượng ảnh hưởng có thể thường xuyên đạt tới mà không làm thay đổi các đặc trưng làm việc danh định của cảm biến.

b. Vùng không gây nên hư hỏng

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

c. Vùng không phá hủy

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

Kết luận: Khi đánh giá lựa chọn một cảm biến hay phải so sánh chúng với nhau ta cần phải chú ý những đặc tính cơ bản sau đây:

- Phải xét đến khả năng có thể thay thế các cảm biến. Tức là khi chế tạo một loại cảm biến ta phải tính đến khả năng chế tạo nhiều cảm biến với các đặc tính như nhau đã cho trước. **Như thế mới có thể thay thế khi bị hư hỏng mà không mắc phải sai số.**

- Cảm biến phải có đặc tính đơn trị, nghĩa là với đường cong hồi phục của cảm biến ứng với giá trị m ta chỉ nhận được một giá trị s mà thôi.

- Đặc tuyến của cảm biến phải ổn định, nghĩa là không được thay đổi theo thời gian.

- Tín hiệu ra của cảm biến yêu cầu phải tiện cho việc ghép nối vào dụng cụ đo, hệ thống đo và hệ thống điều khiển.

- Đặc tính quan trọng của cảm biến là sai số:

+ Sai số cơ bản của cảm biến là sai số gây ra do nguyên tắc của cảm biến, sự không hoàn thiện của cấu trúc, sự yếu kém của công nghệ chế tạo.

+ Sai số phụ: là sai số gây ra do sự biến động của điều kiện bên ngoài khác với điều kiện tiêu chuẩn.

- Độ nhạy của cảm biến cũng là một tiêu chuẩn quan trọng. Nó có tác dụng quyết định cấu trúc của mạch đo để đảm bảo cho phép đo có thể bắt nhạy với những biến động nhỏ của đại lượng đo.

- Đặc tính động của cảm biến: Khi cho tín hiệu đo vào cảm biến thường xuất hiện quá trình quá độ. Quá trình này có thể nhanh hay chậm tùy thuộc vào dạng cảm biến. Đặc tính này được gọi là độ tác động nhanh. Nếu độ tác động nhanh chậm tức là phản ứng của tín hiệu ra của cảm biến trễ so với sự thay đổi của tín hiệu vào.

- Sự tác động ngược lại của cảm biến lên đại lượng đo làm thay đổi nó và tiếp đến là gây ra sự thay đổi của tín hiệu ở đầu ra của cảm biến.

- Về kích thước của cảm biến mong muốn là phải nhỏ có như vậy mới đưa được vào những nơi hẹp, nâng cao độ chính xác của phép đo.

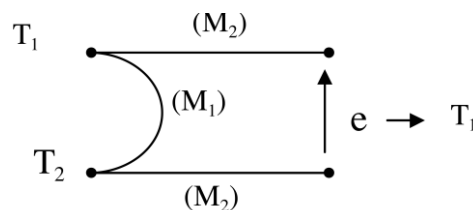
1.4. Nguyên lý chế tạo cảm biến

1.4.1. Nguyên lý chế tạo các cảm biến tích cực

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

a. Hiệu ứng nhiệt điện

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

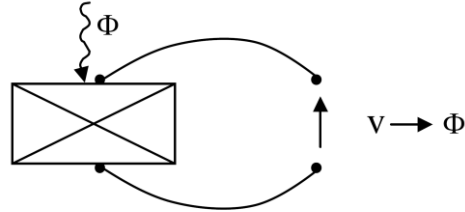


Hình 1-4. Sơ đồ hiệu ứng nhiệt điện

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

b. Hiệu ứng quang điện

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

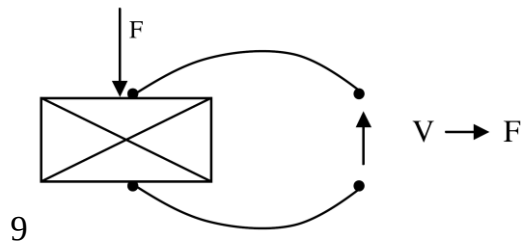


Hình 1-5. Ứng dụng hiệu ứng quang điện

Hiệu ứng quang điện được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi ta chiếu một chùm ánh sáng vào tinh thể quang điện, tinh thể hấp thụ ánh sáng và nhiệt độ của nó tăng lên, làm thay đổi sự phân cực điện của tinh thể. Đo điện áp V ta có thể xác định được thông lượng ánh sáng Φ .

c. Hiệu ứng áp điện

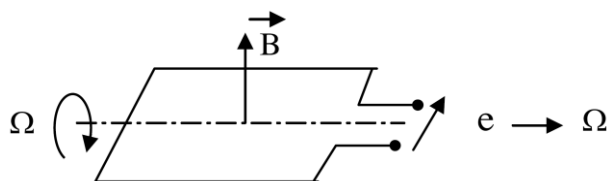
Một số vật liệu gọi chung là vật liệu áp điện (như thạch anh chẳng hạn) khi bị biến dạng dưới tác động của lực cơ học, trên các mặt đối diện của tấm vật liệu xuất hiện những lượng điện tích bằng nhau nhưng trái dấu, được gọi là hiệu ứng áp điện. Đo V ta có thể xác định được cường độ của lực tác dụng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



Hình 1-6. Ứng dụng hiệu ứng áp điện

d. Hiệu ứng cảm ứng điện từ

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



Hình 1-7. Ứng dụng hiệu ứng cảm ứng điện từ

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

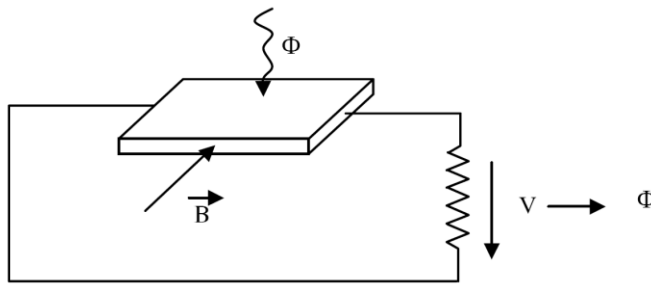
e. Hiệu ứng quang điện

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

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

g. Hiệu ứng quang - điện - từ

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



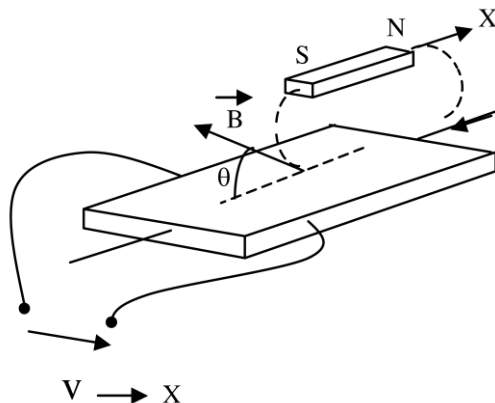
Hình 1-8. Ứng dụng hiệu ứng quang - điện - từ

h. Hiệu ứng Hall

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

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

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



Hình 1-9. Ứng dụng hiệu ứng Hall

Hiệu ứng Hall được ứng dụng để xác định vị trí của một vật chuyển động. Vật cần xác định vị trí liên kết cơ học với thanh nam châm, ở mọi thời điểm, vị trí thanh

nam châm xác định giá trị của từ trường B và góc θ tương ứng với tấm bán dẫn mỏng làm vật trung gian. Vì vậy, hiệu điện thế V_H đo được giữa hai cạnh tấm bán dẫn là hàm phụ thuộc vào vị trí của vật trong không gian.

1.4.2. Nguyên lý chế tạo các 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 đo 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

1.5. Mạch đo

1.5.1. Sơ đồ mạch đo

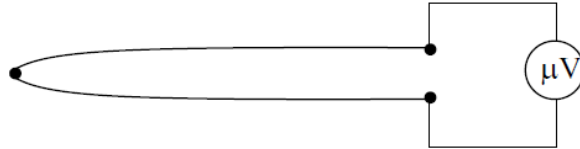
Mạch đo gồm toàn bộ thiết bị đo cho phép xác định chính xác giá trị của đại lượng cần đo.

Ở đầu vào: Cảm biến chịu tác động của đại lượng cần đo gây nên tín hiệu điện mang thông tin về đại lượng cần đo;

Ở đầu ra: Là tín hiệu điện đã qua xử lý và chuyển sang dạng có thể đọc được.

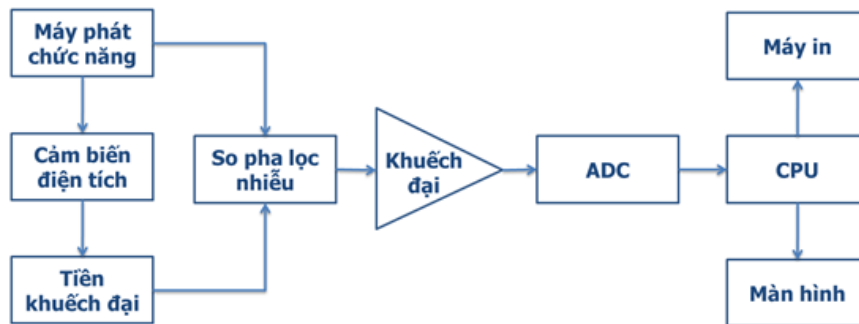
- Dạng đơn giản mạch đo: Gồm 1 cảm biến, bộ phận chuyển đổi tín hiệu và thiết bị chỉ thị.

Ví dụ 1: Mạch đo nhiệt độ gồm một cặp nhiệt ghép nối trực tiếp với 1 micro vôn kế:



Hình 1-10. Sơ đồ đo đơn giản

Ví dụ 2: Mạch đo điện thế bề mặt:

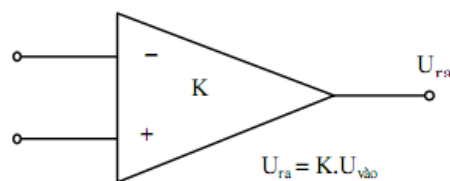


Hình 1-11. Sơ đồ đo điện thế bề mặt

1.5.2. Một số phần tử cơ bản của mạch đo

a. Bộ khuếch đại thuật toán (OA)

Là bộ khuếch đại dòng một chiều có hai đầu vào, 1 đầu ra, gồm hàng trăm Transi-to và các R, C ghép với nhau.



Hình 1-12. Phần tử khuếch đại thuật toán

Các đặc tính cơ bản của khuếch đại thuật toán:

- R_v rất lớn (cỡ hàng trăm $M\Omega$ - $G\Omega$), R_f rất nhỏ (cỡ phần chục Ω);
- **Hệ số K hở mạch** rất lớn (cỡ 100.000);
- Dải tần làm việc rộng;
- Hệ số suy giảm CMRR vào khoảng 90dB;
- Tốc độ tăng hạn chế sự biến thiên cực đại của điện áp tính bằng $V/\mu s$.

b. Bộ khuếch đại đo lường (IA: Instrument Amplify)