

UBND TỈNH LÂM ĐỒNG  
**TRƯỜNG CAO ĐẲNG ĐÀ LẠT**

**GIÁO TRÌNH**

**MÔN HỌC/MÔ ĐUN: KỸ THUẬT CẢM BIẾN**

**NGÀNH/NGHỀ: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP**

**TRÌNH ĐỘ: TRUNG CẤP VÀ CAO ĐẲNG**

## TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

## LỜI GIỚI THIỆU

*Giới thiệu xuất xứ của giáo trình:* Để phù hợp với chương trình giảng dạy theo kiểu tích lũy tín chỉ nội dung của từng môn học cũng được điều chỉnh lại cho phù hợp với chương trình. Vì vậy trong quá trình biên soạn tác giả đã tổng hợp thông tin của nhiều nguồn tài liệu khác nhau để giáo trình giảng dạy cho môn học được ngắn gọn và súc tích hơn. Giáo trình gồm có bốn chương được sắp theo thứ tự để dễ tiếp thu kiến thức người học. Các chương trong chương trình đảm bảo phù hợp với chương trình khung.

*Lời cảm ơn.* Tôi xin gửi lời cảm ơn đến lời cảm ơn chân thành đến tất cả quý thầy cô đồng nghiệp đã nhiệt tình góp ý giúp đỡ để hoàn thiện được giáo trình này.

Đà Lạt, ngày 25 tháng 06 năm 2017

Tham gia biên soạn

1. Chủ biên: Nguyễn Trần Kha Ngọc Linh
2. Nguyễn Mạnh Cường

## MỤC LỤC

## TRANG

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN.....                                                                                | 2  |
| LỜI GIỚI THIỆU .....                                                                                   | 2  |
| GIÁO TRÌNH MÔN HỌC/MÔ ĐUN.....                                                                         | 6  |
| Tên môn học/mô đun: Kỹ Thuật Cảm Biến .....                                                            | 6  |
| Mã môn học/mô đun: MĐ16 .....                                                                          | 6  |
| Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học/mô đun: .....                                        | 6  |
| Mục tiêu của môn học/mô đun: .....                                                                     | 6  |
| Chương 1: KHÁI NIỆM VÀ ĐẶT TRƯNG CƠ BẢN.....                                                           | 7  |
| Giới thiệu: Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam. .... | 7  |
| Mục tiêu:.....                                                                                         | 7  |
| Nội dung chính: .....                                                                                  | 7  |
| 1. Khái niệm và phân loại cảm biến .....                                                               | 7  |
| 1.1. Khái niệm.....                                                                                    | 7  |
| 1.2. Phân loại cảm biến .....                                                                          | 7  |
| 1.3. Đường cong chuẩn của cảm biến.....                                                                | 10 |
| 1.3.1. Khái niệm .....                                                                                 | 10 |
| 1.3.2. Phương pháp chuẩn cảm biến.....                                                                 | 10 |
| 1.4. Các đặc trưng cơ bản .....                                                                        | 12 |
| 1.4.1. Độ nhạy của cảm biến .....                                                                      | 12 |
| 1.4.2. Độ tuyến tính .....                                                                             | 13 |
| 1.4.3. Sai số và độ chính xác.....                                                                     | 14 |
| 1.4.4. Độ nhanh và thời gian hồi đáp .....                                                             | 15 |
| 1.4.5. Giới hạn sử dụng của cảm biến .....                                                             | 16 |
| 1.5. Nguyên lý chung chế tạo cảm biến .....                                                            | 17 |
| 1.5.1. Nguyên lý chế tạo các cảm biến tích cực.....                                                    | 17 |
| CHƯƠNG 2: CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ .....                                                                      | 21 |
| Giới thiệu: Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam. .... | 21 |
| Mục tiêu:.....                                                                                         | 21 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Nội dung chính: .....                                                                                  | 21 |
| 1. Khái niệm cơ bản.....                                                                               | 21 |
| 1.1. Thang đo nhiệt độ .....                                                                           | 21 |
| 1.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cần đo .....                                                         | 22 |
| 1.3. Phân loại cảm biến đo nhiệt độ.....                                                               | 23 |
| 2. Nhiệt kế giãn nở .....                                                                              | 24 |
| 2.1. Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn .....                                                              | 24 |
| 2.2. Nhiệt kế giãn nở dùng chất lỏng.....                                                              | 24 |
| 2.3. Nhiệt kế điện trở .....                                                                           | 25 |
| 2.3.1. Nguyên lý .....                                                                                 | 25 |
| 3. Nhiệt kế điện trở kim loại .....                                                                    | 26 |
| 3.1 Vật liệu .....                                                                                     | 26 |
| 3.2 Cấu tạo nhiệt kế điện trở .....                                                                    | 27 |
| 3.1. Nhiệt kế điện trở silic .....                                                                     | 29 |
| 3.2. Nhiệt kế điện trở oxýt bán dẫn .....                                                              | 29 |
| 4. Cảm biến nhiệt ngẫu nhiên.....                                                                      | 30 |
| 4.1. Hiệu ứng nhiệt điện .....                                                                         | 30 |
| 4.2. Cấu tạo cặp nhiệt .....                                                                           | 31 |
| 4.3. Mạch đo và dụng cụ thứ cấp .....                                                                  | 34 |
| Chương 3: CẢM BIẾN TIÊM CẬN.....                                                                       | 39 |
| Giới thiệu: Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam. .... | 39 |
| Mục tiêu:.....                                                                                         | 39 |
| Nội dung chính: .....                                                                                  | 39 |
| 1. Nguyên lý đo vị trí và dịch chuyển .....                                                            | 39 |
| 2. Điện thế kế điện trở.....                                                                           | 39 |
| 2.1. Điện thế kế dùng con chạy cơ học .....                                                            | 39 |
| 2.2. Điện thế kế không dùng con chạy cơ học .....                                                      | 41 |
| 3. Cảm biến điện cảm .....                                                                             | 43 |
| 3.1. Cảm biến tự cảm .....                                                                             | 43 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2. Cảm biến hồng ngoại .....                                                                         | 45 |
| 4. Cảm biến điện dung.....                                                                             | 46 |
| 4.1. Cảm biến tụ điện đơn .....                                                                        | 46 |
| 4.2. Cảm biến tụ kép vi sai .....                                                                      | 47 |
| Chương 4: CẢM BIẾN QUANG .....                                                                         | 49 |
| Giới thiệu: Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam. .... | 49 |
| Mục tiêu:.....                                                                                         | 49 |
| Nội dung chính: .....                                                                                  | 49 |
| 1. Tính chất và đơn vị đo ánh sáng .....                                                               | 49 |
| 1.1. Tính chất của ánh sáng.....                                                                       | 49 |
| 1.2. Các đơn vị đo quang.....                                                                          | 50 |
| 2. Cảm biến quang dẫn.....                                                                             | 51 |
| 2.1. Hiệu ứng quang dẫn .....                                                                          | 51 |
| 2.2. Tế bào quang dẫn .....                                                                            | 53 |
| 2.3. Photodiode .....                                                                                  | 57 |
| 2.4. Phototransistor.....                                                                              | 61 |
| 2.5 Phototransistor hiệu ứng trường: (photoFET) có sơ đồ tương đương như hình.....                     | 63 |
| 3. Cảm biến quang điện phát xạ .....                                                                   | 64 |
| 3.1. Hiệu ứng quang điện phát xạ .....                                                                 | 64 |
| 3.2. Tế bào quang điện chân không .....                                                                | 65 |
| 3.3. Tế bào quang điện dạng khí.....                                                                   | 66 |
| 3.4. Thiết bị nhân quang .....                                                                         | 66 |

## GIÁO TRÌNH MÔN HỌC/MÔ ĐUN

**Tên môn học/mô đun: Kỹ Thuật Cảm Biến**

**Mã môn học/mô đun: MD16**

**Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học/mô đun:**

- Vị trí: Mô đun này học sau các môn học: An toàn lao động; Đo lường điện; Vật liệu điện; Khí cụ điện; Mạch điện; cung cấp điện 1; cung cấp điện 2. Học trước các môn kỹ thuật cảm biến; vi điều khiển; điều khiển điện khí nén; PLC.
- Tính chất: Là mô đun kỹ thuật chuyên ngành, thuộc mô đun đào tạo nghề tự chọn.
- Ý nghĩa và vai trò của môn học/mô đun: Giáo trình có thể sử dụng làm tài liệu cho sinh viên ngành kỹ thuật, học viên, sinh viên trung cấp và cao đẳng kỹ thuật cũng như kỹ thuật viên đang làm việc liên quan đến sửa chữa bảo trì các thiết bị điện gia dụng.

**Mục tiêu của môn học/mô đun:**

- Về kiến thức:
  - + Giải thích được cấu tạo, nguyên lý làm việc của các thiết bị điện gia dụng. Xác định được nguyên nhân hư hỏng.
- Về kỹ năng:
  - + Tháo lắp được các thiết bị điện gia dụng. Sửa chữa được hư hỏng theo yêu cầu.
- Về năng lực tự chủ và trách nhiệm:
  - Rèn luyện đức tính cẩn thận, tỉ mỉ, tư duy sáng tạo và khoa học.
  - Có khả năng tự nghiên cứu, tự học, tham khảo tài liệu liên quan đến môn học để vận dụng vào hoạt động học tập.
  - Vận dụng được các kiến thức tự nghiên cứu, học tập và kiến thức, kỹ năng đã được học để hoàn thiện các kỹ năng liên quan đến môn học một cách khoa học, đúng quy định.

## Chương 1: KHÁI NIỆM VÀ ĐẶT TRƯNG CƠ BẢN

**Giới thiệu:** Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam.

**Mục tiêu:**

- Phân tích được đặc điểm, các yêu cầu đối với nguồn năng lượng, nhà máy điện, mạng lưới điện, hộ tiêu thụ, hệ thống bảo vệ và trung tâm điều độ.
- Vận dụng đúng các yêu cầu và nội dung chủ yếu khi thiết kế hệ thống cung cấp điện.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác và nghiêm túc trong học tập và trong thực hiện công việc.

**Nội dung chính:**

### 1. Khái niệm và phân loại cảm biến

#### 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 ( $m$ ).

#### 1.2. 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 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhiệt điện</li> <li>- Quang điện</li> <li>- Quang từ</li> <li>- Điện từ</li> <li>- Quang đàn hồi</li> <li>- Từ điện</li> <li>- Nhiệt từ...</li> </ul> |
| Hoá học           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Biến đổi hoá học</li> <li>- Biến đổi điện hoá</li> <li>- Phân tích phổ ...</li> </ul>                                                                 |
| Sinh học          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Biến đổi sinh hoá</li> <li>- Biến đổi vật lý</li> </ul>                                                                                               |
|                   | - Hiệu ứng trên cơ thể sống ...                                                                                                                                                                |

- Phân loại theo dạng kích thích (bảng 1.2)

Bảng 1.2

|          |                                                                                                                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Âm thanh | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Biên pha, phân cực</li> <li>- Phổ</li> <li>- Tốc độ truyền sóng ...</li> </ul>                                                                           |
| Điện     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Điện tích, dòng điện</li> <li>- Điện thế, điện áp</li> <li>- Điện trường (biên, pha, phân cực, phổ) -</li> <li>Điện dẫn, hằng số điện môi ...</li> </ul> |
| Từ       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Từ trường (biên, pha, phân cực, phổ)</li> <li>- Từ thông, cường độ từ trường</li> <li>- Độ từ thẩm ...</li> </ul>                                        |
| Quang    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Biên, pha, phân cực, phổ</li> <li>- Tốc độ truyền</li> <li>- Hệ số phát xạ, khúc xạ</li> <li>- Hệ số hấp thụ, hệ số bức xạ ...</li> </ul>                |

|        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cơ     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vị trí</li> <li>- Lực, áp suất</li> <li>- Gia tốc, vận tốc</li> <li>- ứng suất, độ cứng</li> <li>- Mô men</li> <li>- Khối lượng , tỉ trọng</li> <li>- Vận tốc chất lưu , độ nhớt ...</li> </ul> |
| Nhiệt  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhiệt độ</li> <li>- Thông lượng</li> <li>- Nhiệt dung, tỉ nhiệt ...</li> </ul>                                                                                                                  |
| Bức xạ | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểu</li> <li>- Năng lượng</li> <li>- Cường độ ...</li> </ul>                                                                                                                                   |

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

Bảng 1.3

|                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Độ nhạy</li> <li>- Độ chính xác</li> <li>- Độ phân giải</li> <li>- Độ chọn lọc</li> <li>- Độ tuyến tính</li> <li>- Công suất tiêu thụ</li> <li>- Dải tần</li> <li>- Độ trễ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Khả năng quá tải</li> <li>- Tốc độ đáp ứng</li> <li>- Độ ổn định</li> <li>- Tuổi thọ</li> <li>- Điều kiện môi trường</li> <li>- Kích thước , trọng lượng</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

Bảng 1.4

|                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Công nghiệp</li> <li>- Nghiên cứu khoa học</li> <li>- Môi trường, khí tượng</li> <li>- Thông tin, viễn thông</li> <li>- Nông nghiệp</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- 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.

### 1.3. Đường cong chuẩn của cảm biến

#### 1.3.1. Khái niệm

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



Hình 1.1 Đường cong chuẩn cảm biến

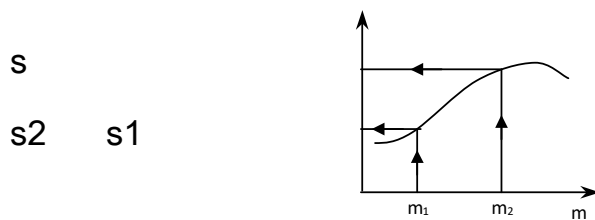
a) Dạng đường cong chuẩn b) Đường cong chuẩn của cảm biến tuyến tính

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

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

#### 1.3.2. 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.

## 1.4. Các đặc trưng của cảm biến

### 1.4.1. Độ nhạy của cảm biến

#### a) Khái niệm

Đối với cảm biến tuyến tính, giữa biến thiên đầu ra  $\Delta s$  và biến thiên đầu vào  $\Delta m$  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  $\Delta s$  của đại lượng đầu ra và biến thiên  $\Delta m$  tương ứng của đại lượng đo ở đầu vào quanh giá trị đó:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### c) Độ nhạy trong chế độ động

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

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

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

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

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

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

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.
- $\phi$  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:

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.

### 1.4.2. □□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  $\xi$  cũng không phụ thuộc vào đại lượng đo.

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

#### b) Đường thẳng tốt nhất

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

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

$$s = am + b$$

Trong đó:

#### 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.

#### 1.4.3. Sai số và ảnh hưởng của nó

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  $\Delta x$  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:

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

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

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

Do nguyên lý của cảm biến.

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

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

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

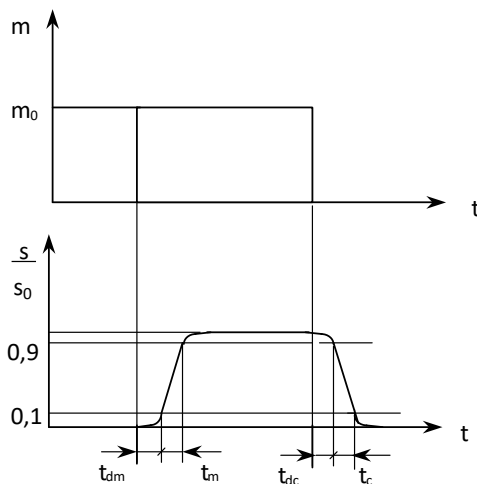
Chúng ta có thể giảm thiểu sai số ngẫu nhiên bằng một số biện pháp thực nghiệm thích hợp như bảo vệ các mạch đo tránh ảnh hưởng của nhiễu, tự động điều chỉnh điện áp nguồn nuôi, bù các ảnh hưởng nhiệt độ, tần số, vận hành đúng chế độ hoặc thực hiện phép đo lường thống kê.

#### **1.4.4. 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  $\varepsilon$  tính bằng %. Thời gian hồi đáp tương ứng với  $\varepsilon\%$  xác định khoảng thời gian cần thiết phải chờ đợi sau khi có sự biến thiên của đại lượng đo để lấy giá trị của đầu ra với độ chính xác định trước. Thời gian hồi đáp đặc trưng cho chế độ quá độ của cảm biến và là hàm của các thông số thời gian xác định chế độ này.

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



Hình 1.3 Xác định các khoảng thời gian đặc trưng cho chế độ quá độ

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.

#### 1.4.5. Giới hạn sử dụng của cảm biến

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

##### a) Vùng làm việc danh định

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

##### b) Vùng không gây nên hư hỏng

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

### c) Vùng không phá hủy

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

## 1.5. Nguyên lý chung chung của cảm biến

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

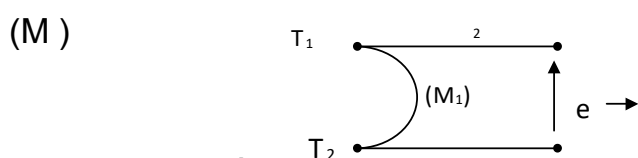
- Cảm biến tích cực: là các cảm biến hoạt động như một máy phát, đáp ứng (s) là điện tích, điện áp hay dòng.
- Cảm biến thụ động: là các cảm biến hoạt động như một trở kháng trong đó đáp ứng (s) là điện trở, độ tự cảm hoặc điện dung.

### 1.5.1. Nguyên lý chung của các cảm biến tích cực

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

#### a) Hiệu ứng nhiệt điện

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



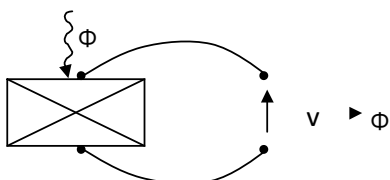
Hình 1.4. Sơ đồ

hiệu ứng nhiệt điện.

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

#### b) Hiệu ứng hoả điện

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



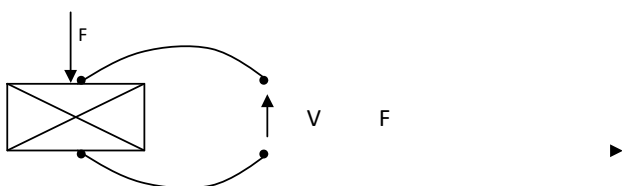
Hình 1.5 ứng dụng hiệu ứng hoả điện

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

#### 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.

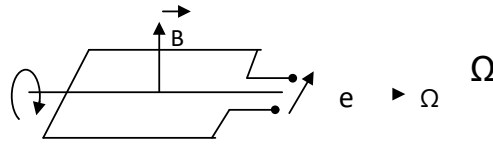
Đo  $V$  ta có thể xác định được cường độ của lực tác dụng  $F$ .



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.

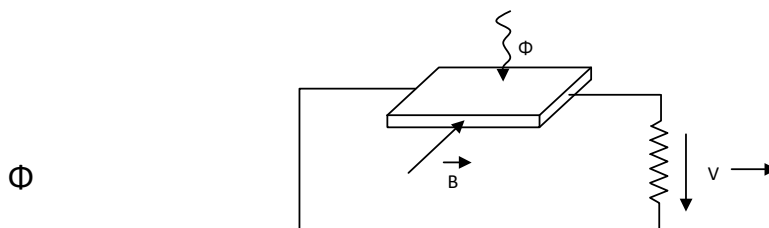
e) Hiệu ứng quang điện

- **Hiệu ứng quang điện:** (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 ngoài:** (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

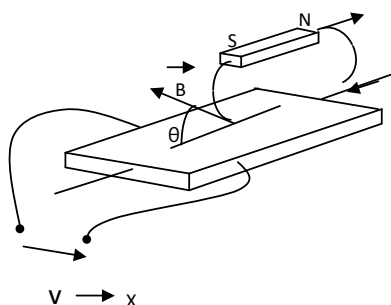
h) Hiệu ứng Hall

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  $\theta$ , 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.

X



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  $\theta$  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.

## CHƯƠNG 2: CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ

**Giới thiệu:** Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam.

**Mục tiêu:**

- Phân tích được đặc điểm, các yêu cầu đối với nguồn năng lượng, nhà máy điện, mạng lưới điện, hộ tiêu thụ, hệ thống bảo vệ và trung tâm điều độ.
- Vận dụng đúng các yêu cầu và nội dung chủ yếu khi thiết kế hệ thống cung cấp điện.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác và nghiêm túc trong học tập và trong thực hiện công việc.

**Nội dung chính:**

### 1. Khái niệm cảm biến

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

#### 1.1. Thang đo nhiệt độ

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

Theo định lý Carnot: hiệu suất  $\eta$  của một động cơ nhiệt thuận nghịch hoạt động giữa hai nguồn có nhiệt độ  $\theta_1$  và  $\theta_2$  trong một thang đo bất kỳ chỉ phụ thuộc vào  $\theta_1$  và  $\theta_2$ :

Dạng của hàm  $F$  phụ thuộc vào thang đo nhiệt độ. Ngược lại việc chọn dạng hàm  $F$  sẽ quyết định thang đo nhiệt độ. Đặt  $F(\theta) = T$ , Trong đó  $T_1$  và  $T_2$  là nhiệt độ động học tuyệt đối của hai nguồn.

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

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

Có thể chứng minh được rằng:

$$G(\theta) = RT$$

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

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

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

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

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

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

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

Quan hệ giữa nhiệt độ Fahrenheit và nhiệt Celcius:

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

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

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

Bảng 3.1

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

## 1.2. Nhiệt độ đo được và nhiệt độ cảm nhận

Giả sử môi trường đo có nhiệt độ thực bằng  $T_x$ , nhưng khi đo ta chỉ nhận được nhiệt độ  $T_c$  là nhiệt độ của phần tử cảm nhận của cảm biến. Nhiệt độ  $T_x$  gọi là nhiệt độ

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

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

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

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

Với:  $\alpha$  - hệ số dẫn nhiệt.

A - diện tích bề mặt trao đổi nhiệt.

T - thời gian trao đổi nhiệt.

Lượng nhiệt cảm biến hấp thụ:

$$dQ = m C dT_c$$

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:

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

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

### 1.3. Phân loại cảm biến đo nhiệt độ

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

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

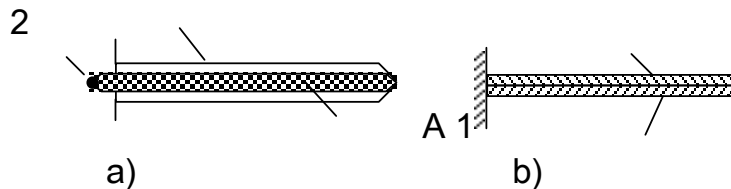
Dưới đây nghiên cứu một số loại cảm biến cơ bản.

## 2. Nhiệt kế giãn nở

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

### 2.1. Nhiệt kế giãn nở dạng chữ r

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



Hình 3.2 Nhiệt kế giãn nở

a) Nhiệt kế gồm - kim loại b) Nhiệt kế kim loại - kim loại

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

Dịch chuyển của thanh gồm phụ thuộc  $dl_k - dl_g$  do đó phụ thuộc nhiệt độ.

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

Nhiệt kế giãn nở dùng chất rắn thường dùng để đo nhiệt độ dưới  $700^\circ\text{C}$ .

### 2.2. Nhiệt kế giãn nở dạng chữ l

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

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

Dải nhiệt độ làm việc từ - 50 ữ 600°C tùy theo vật liệu chế tạo vỏ bọc.

## 2.3. Nhiệt kế điện trở

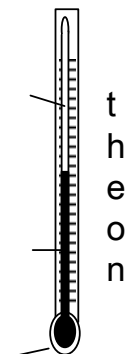
### 2.3.1. Nguyên lý

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

Trong trường hợp tổng quát, sự thay đổi điện trở

$R_0$  là điện trở ở nhiệt độ  $T_0$ ,  $F$  là hàm đặc trưng cho vật

Hình 3.3 Nhiệt kế giản nở dùng chất lỏng



nhiệt độ có dạng:

1

liệu và  $F = 1$  khi  $T = T_0$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

được gọi hệ số nhiệt của điện trở hay còn gọi là độ nhạy nhiệt ở nhiệt độ  $T$ . Độ nhạy

nhệt phụ thuộc vào vật liệu và nhiệt độ, ví dụ ở 0°C platin (Pt) có  $\alpha_R = 3,9 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ .

Chất lượng thiết bị đo xác định giá trị nhỏ nhất mà nó có thể đo được, do đó  $R_0$  min

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

Ví dụ nếu  $R_0 = 10$  và với những phép đo quanh điểm 0 °C, vật liệu là platin thì  $R_0$  min

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

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

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

### 3. Nhiệt kế điện trở kim loại

#### 3.1 Vết li

Yêu cầu chung đối với vật liệu làm điện trở:

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

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

- Platin :

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

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

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

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

+ Dải nhiệt độ làm việc khá rộng từ -200°C ữ 1000°C.

- Nikel:

- + Có độ nhạy nhiệt cao, bằng  $4,7 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ .
- + Điện trở ở  $100^{\circ}\text{C}$  lớn gấp 1,617 lần so với ở  $0^{\circ}\text{C}$ .
- + Dễ bị oxy hoá khi ở nhiệt độ cao làm giảm tính ổn định.
- + Dải nhiệt độ làm việc thấp hơn  $250^{\circ}\text{C}$ .

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  $180^{\circ}\text{C}$ . Điện trở suất của đồng nhỏ, do đó để chế tạo điện trở có điện trở lớn phải tăng chiều dài dây làm tăng kích thước điện trở.

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

Bảng 3.2

| Thằng s□                                                       | 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  |
| $\alpha \times 10^6 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$                | 16,7 | 12,8 | 8,9  | 6    |
| $\rho \times 10^8 \text{ (}\Omega\text{m)}$                    | 1,72 | 10   | 10,6 | 5,52 |
| $\alpha \times 10^3 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$    | 3,9  | 4,7  | 3,9  | 4,5  |

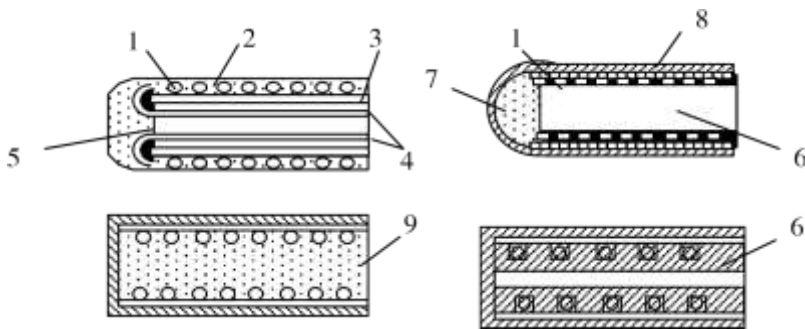
### 3.2 Cấu tạo nhiệt kế điện trở

Để tránh sự làm nóng đầu đo dòng điện chạy qua điện trở thường giới hạn ở giá trị một vài mA và điện trở có độ nhạy nhiệt cao thì điện trở phải có giá trị đủ lớn.

Muốn vậy phải giảm tiết diện dây hoặc tăng chiều dài dây. Tuy nhiên khi giảm tiết diện dây độ bền lại thấp, dây điện trở dễ bị đứt, việc tăng chiều dài dây lại làm tăng kích thước điện trở. Để hợp lý người ta thường chọn điện trở R ở  $0^{\circ}\text{C}$  có giá trị vào khoảng  $100\Omega$ , khi đó với điện trở platin sẽ có đường kính dây cỡ vài  $\mu\text{m}$  và chiều dài khoảng 10cm, sau khi quấn lại sẽ nhận được nhiệt kế có chiều dài cỡ 1cm. Các sản phẩm

thương mại thường có điện trở ở 0°C là 50Ω, 500Ω và 1000Ω, các điện trở lớn thường được dùng để đo ở dải nhiệt độ thấp.

- *Nhiệt kế công nghiệp*: Để sử dụng cho mục đích công nghiệp, các nhiệt kế phải có vỏ bọc tốt chống được va chạm mạnh và rung động, điện trở kim loại được cuộn và bao bọc trong thủy tinh hoặc gốm và đặt trong vỏ bảo vệ bằng thép. Trên hình 3.4 là các nhiệt kế dùng trong công nghiệp bằng điện trở kim loại platin.

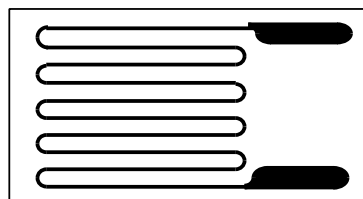


Hình 3.4 Nhiệt kế công nghiệp dùng điện trở platin

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

- *Nhiệt kế bề mặt*:

Nhiệt kế bề mặt dùng để đo nhiệt độ trên bề mặt của vật rắn. Chúng thường được chế tạo bằng phương pháp quang hoá và sử dụng vật liệu làm điện trở là Ni, Fe-Ni hoặc Pt. Cấu trúc của một nhiệt kế bề mặt có dạng như hình vẽ 3.5. Chiều dày lớp kim loại cỡ vài àm và kích thước nhiệt kế cỡ 1cm<sup>2</sup>.



Hình 3.5 Nhiệt kế bề mặt

Đặc trưng chính của nhiệt kế bề mặt:

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

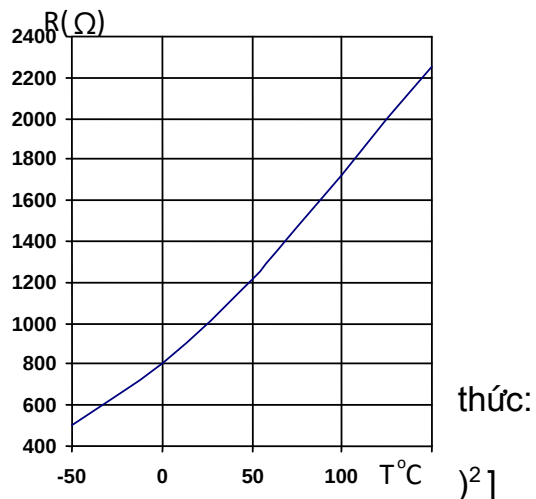
-260°C ừ 1400 °C đối với Pt.

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

### 3.1. Nhiệt kế điện trở silic

Silic tinh khiết hoặc đơn tinh thể silic có hệ số nhiệt điện trở âm, tuy nhiên khi được kích tạp loại n thì trong khoảng nhiệt độ thấp chúng lại có hệ số nhiệt điện trở dương, hệ số nhiệt điện trở ~0,7%/°C ở 25°C. Phần tử cảm nhận nhiệt của cảm biến silic được chế tạo có kích thước 500x500x240 ăm được mạ kim loại ở một phía còn phía kia là bề mặt tiếp xúc.

Trong dải nhiệt độ làm việc ( -55 ừ 200 °C) có thể lấy gần đúng giá trị điện trở của cảm biến theo nhiệt độ theo công



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

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

Sự thay đổi nhiệt của điện trở tương đối nhỏ nên có thể tuyến tính hoá bằng cách

### 3.2. Nhiệt kế điện trở oxyt bán dẫn

#### a) VỐt li□u ch□t□b

Nhiệt điện trở được chế tạo từ hỗn hợp oxyt bán dẫn đa tinh thể như: MgO, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, ZnTiO<sub>4</sub>.

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

#### b) C□u t□b

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

Hình 3.7 Cấu tạo nhiệt điện

trở có vỏ bọc 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  $10^{-4} - 10^{-3}K$ . Kích thước cảm biến nhỏ có thể đo nhiệt độ tại từng điểm. Nhiệt dung cảm biến nhỏ nên thời gian hồi đáp nhỏ. Tùy thuộc thành phần chế tạo, dải nhiệt độ làm việc của cảm biến nhiệt điện trở từ vài độ đến khoảng  $300^{\circ}C$ .

#### 4. Cảm biến nhiệt ngẫu

##### 4.1. Hiệu ứng nhiệt điện

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

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

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

Giữa hai đầu của một dây dẫn cũng có chênh lệch nồng độ điện tử tự do, do đó cũng có sự khuếch tán điện tử và hình thành hiệu điện thế tương ứng trong A là

$e_A(t, t_0)$  và trong B là  $e_B(t, t_0)$ .

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

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

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

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

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

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

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

Chọn nhiệt độ ở một mối hàn  $t_0 = \text{const}$  biết trước làm nhiệt độ so sánh và đo sức điện động sinh ra trong mạch ta có thể xác định được nhiệt độ  $t$  ở mối hàn thứ hai. Sức điện động của cặp nhiệt không thay đổi nếu chúng ta nối thêm vào mạch một dây dẫn thứ ba (hình 3.9) nếu nhiệt độ hai đầu nối của dây thứ ba giống nhau.

Thật vậy:

- Trong trường hợp a:

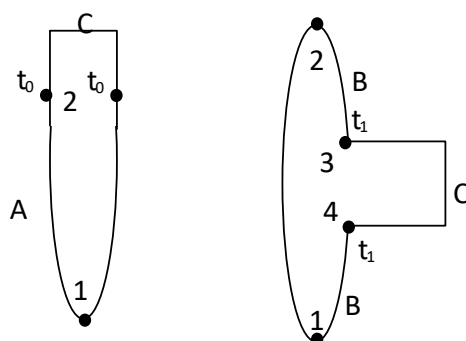
$$E_{ABC}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0)$$

Vì:

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

Nên:

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



Hình 3.9 Sơ đồ nối cặp nhiệt với dây dẫn thứ ba

- Trường hợp b:

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

Vì:

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

Nên:

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

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

## 4.2. Cấu tạo cặp nhiệt

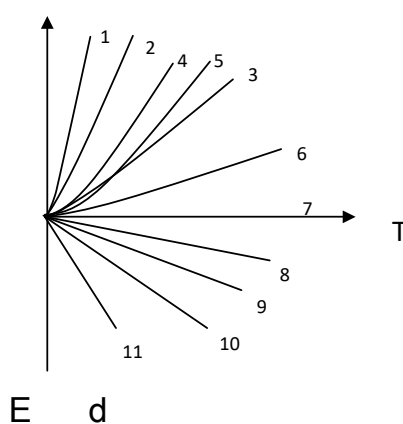
### a) Vật liệu chế tạo

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

Tuy nhiên chúng phải đảm bảo các yêu cầu sau:

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

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



Hình 3.10 Sức điện động của một số vật liệu chế tạo điện cực

1) Telua 2) Chromel 3) Sắt 4) Đồng 5) Graphit 6) Hợp kim platin-rôđi  
7) Platin 8) Alumel 9) Niken 10) Constantan 11) Coben

- Cặp Platin - Rôđi/Platin:

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

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

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

Đường đặc tính có dạng bậc hai, trong khoảng nhiệt độ  $0 - 300^{\circ}\text{C}$  thì  $E \approx 0$ .

Trong môi trường có  $\text{SiO}_2$  có thể hỏng ở nhiệt độ  $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$ .

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

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

- Cặp nhiệt Chromel/Alumel:

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

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

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

Đường kính cực  $\phi = 3\text{ mm}$ .

- Cặp nhiệt Chromel/Coben:  
Cực dương là chromel, cực âm là coben là hợp kim gồm 56%Cu + 44% Ni.

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

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

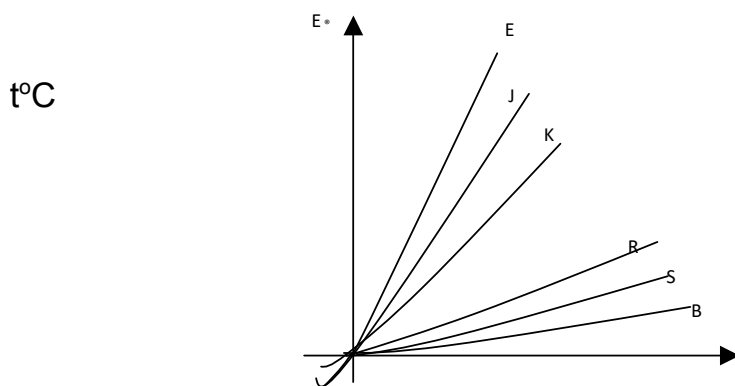
- Cặp nhiệt Đồng/Coben:  
Cực dương là đồng sạch, cực âm là coben.

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

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

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

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



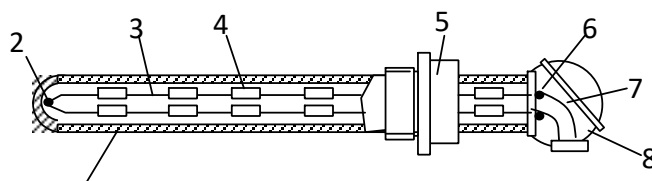
Hình 3.11 Sức điện động của một số cặp nhiệt ngẫu

E-Chromel/Constantan R- Platin-Rodi (13%)/Platin J-

Sắt/Constantan S- Platin-Rodi (10%)/Platin

K- Chromel/Alumel B-Platin-rod (30%)/ Platin-rod (6%) b) C Cu t b

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



Hình 3.12 Cấu tạo cặp nhiệt

1) Vỏ bảo vệ 2) Mối hàn 3) Dây điện cực 4) Sứ cách điện

5) Bộ phận lắp đặt 6) Vít nối dây 7) Dây nối 8) Đầu nối dây

Đầu làm việc của các điện cực (3) được hàn nối với nhau bằng hàn vảy, hàn khí hoặc hàn bằng tia điện tử. Đầu tự do nối với dây nối (7) tới dụng cụ đo nhờ các vít nối (6)

dây đặt trong đầu nối dây (8). Để cách ly các điện cực người ta dùng các ống sứ cách điện (4), sứ cách điện phải trơ về hoá học và đủ độ bền cơ và nhiệt ở nhiệt độ làm việc. Để bảo vệ các điện cực, các cặp nhiệt có vỏ bảo vệ (1) làm bằng sứ chịu nhiệt hoặc thép chịu nhiệt. Hệ thống vỏ bảo vệ phải có nhiệt dung đủ nhỏ để giảm bớt quán tính nhiệt và vật liệu chế tạo vỏ phải có độ dẫn nhiệt không quá nhỏ nhưng cũng không được quá lớn. Trường hợp vỏ bằng thép mỗi hàn ở đầu làm việc có thể tiếp xúc với vỏ để giảm thời gian hồi đáp.

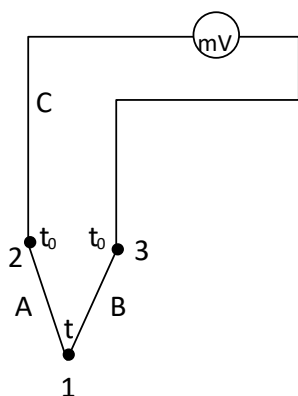
### 4.3. Mạch đo và dạng cấu trúc

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

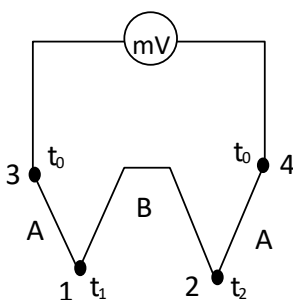
- Giảm thiểu ảnh hưởng của tác động của môi trường đo lên nhiệt độ đầu tự do.
- Giảm thiểu sự sụt áp do có dòng điện chạy qua các phần tử của cảm biến và mạch đo.

a) Sơ đồ mạch đo dùng milivôn kế - Sơ đồ:

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



Hình 3.13 Sơ đồ mạch đo

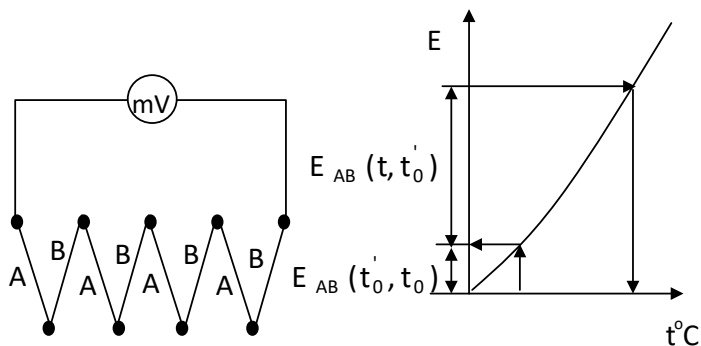


Hình 3.14 Sơ đồ đo sai

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

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

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



Hình 3.15 Sơ đồ mắc nối tiếp

Hình 3.16 Hiệu chỉnh nhiệt độ đầu tự do

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

- Bù nhiệt độ đầu tự do:

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

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

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

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

Rút ra:

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

Hay:

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

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

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

- Dùng dây bù:

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

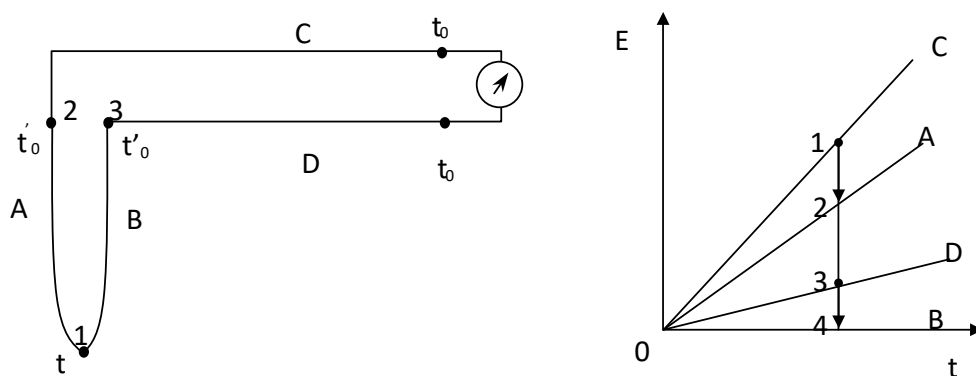
$$E = e_{AB}(t) \text{ v } e_{CA}(t'_0) + e_{BD}(t'_0) \text{ v } e_{CD}(t_0)$$

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

$$E = e_{AB}(t) \text{ v } e_{CD}(t_0)$$

Vì  $e(t_0) = 0$ , nên:

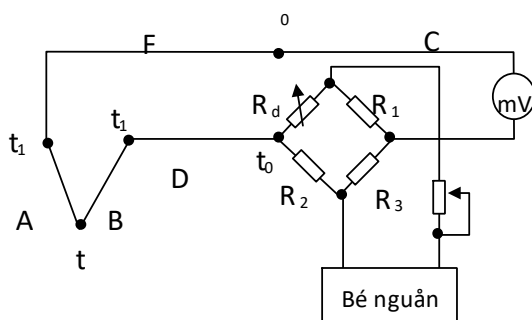
$$E = e_{AB}(t) \text{ v } e_{AB}(t_0)$$



Hình 3.17 Bù nhiệt độ đầu tự do bằng dây bù

- Dùng cầu bù:

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



Hình 3.18 Cầu bù nhiệt độ đầu tự do

Cầu bù gồm điện trở  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  làm bằng manganin (hợp kim chứa 99,4%Cu, 0,6%Ni) có hệ số nhiệt điện trở bằng không, còn  $R_d$  làm bằng đồng có hệ số nhiệt điện trở  $4,25 \text{ v } 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Khi nhiệt độ đầu tự do  $t_0 = 0$ , cầu cân bằng  $U_{AB} = 0$ . Giả sử nhiệt

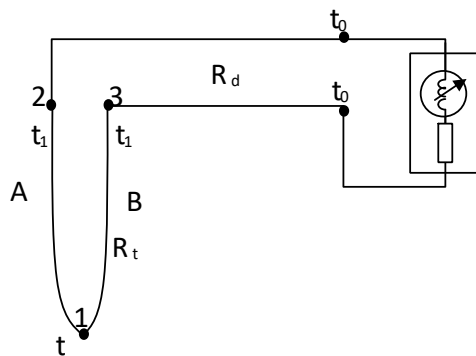
độ đầu tự do tăng lên  $t'_0$ , khi đó  $R_d$  tăng lên làm xuất hiện một điện áp  $U_{cd}$ . Người ta tính toán sao cho điện áp này bù vào sức điện động nhiệt một lượng đúng bằng lượng cần hiệu chỉnh, nghĩa là  $U_{cd} = E_{AB}(t'_0, t_0)$ . Như vậy trên cửa vào của dụng cụ đo có điện áp:

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

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

- ảnh hưởng của điện trở mạch đo:

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



Hình 3.19 ảnh hưởng của điện trở mạch đo

Gọi:  $R_t$  là điện trở của cặp nhiệt.

$R_d$  là điện trở dây nối.

$R_v$  là điện trở trong của milivôn kế.

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

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

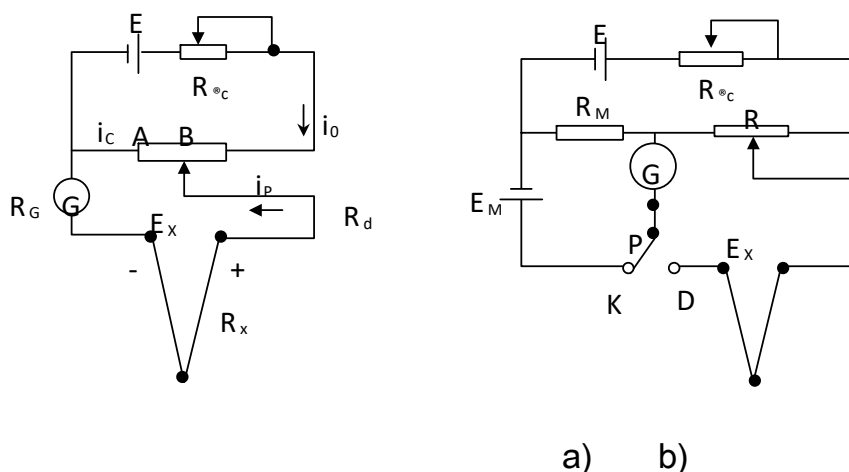
**Ảnh hưởng của  $R_d$ :** thông thường  $R_d$  khá nhỏ nên ít ảnh hưởng tới kết quả đo.

- ảnh hưởng của  $R_v$ :  $R_v = R_{kd} + R_f$ .

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

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

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



Hình 3.20 Sơ đồ đo bằng phương pháp bù

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

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

### Chương 3: CẢM BIẾN TIỆM CẬN

**Giới thiệu:** Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam.

**Mục tiêu:**

- Phân tích được đặc điểm, các yêu cầu đối với nguồn năng lượng, nhà máy điện, mạng lưới điện, hộ tiêu thụ, hệ thống bảo vệ và trung tâm điều độ.
- Vận dụng đúng các yêu cầu và nội dung chủ yếu khi thiết kế hệ thống cung cấp điện.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác và nghiêm túc trong học tập và trong thực hiện công việc.

**Nội dung chính:**

#### 1. Nguyên lý vị trí và dịch chuyển

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

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

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

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

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

#### 2. Cảm biến điện trở

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

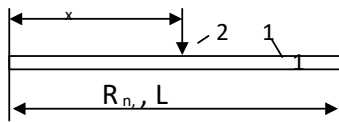
##### 2.1. Cảm biến điện trở dạng con chạy cơ học

###### 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.

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)



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

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

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

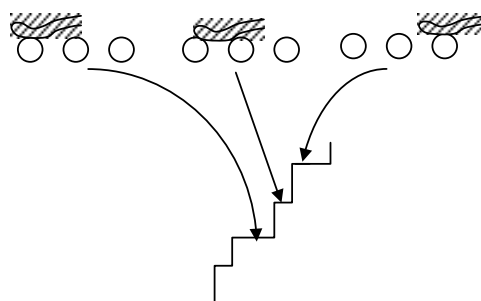
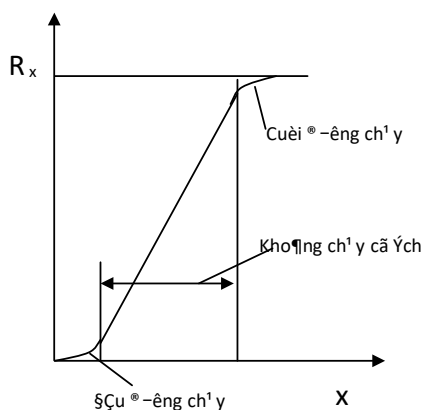
Các điện trở được chế tạo với các giá trị  $R_n$  nằm trong khoảng  $1\text{k}\Omega$  đến  $100\text{k}\Omega$ , đôi khi đạt tới  $\text{M}\Omega$ .

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

## b) Các đặc trưng

- Khoảng chạy có ích của con chạy:

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



Hình 4.2 Sự phụ thuộc của điện trở điện thế kể vào vị trí con chạy      Hình 4.3 Độ phân giải của điện thế kể 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  $\sim 10$

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

- Thời gian sống:

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

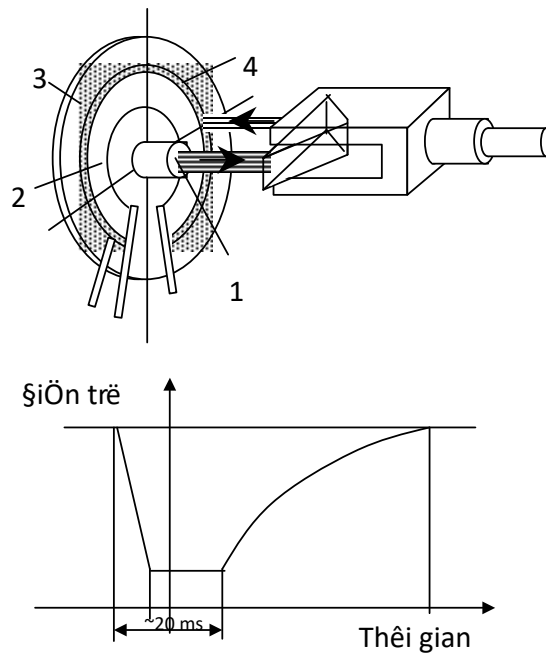
## 2.2. **Hiện tượng kháng dòng con chạy cơ học**

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

a) Điện thế kế dùng con trở quang

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

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



Hình 4.4 Điện thế kế quay dùng con trở quang

1) Điốt phát quang 2) Bảng đo 3) Bảng tiếp xúc 4) Bảng quang dẫn

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

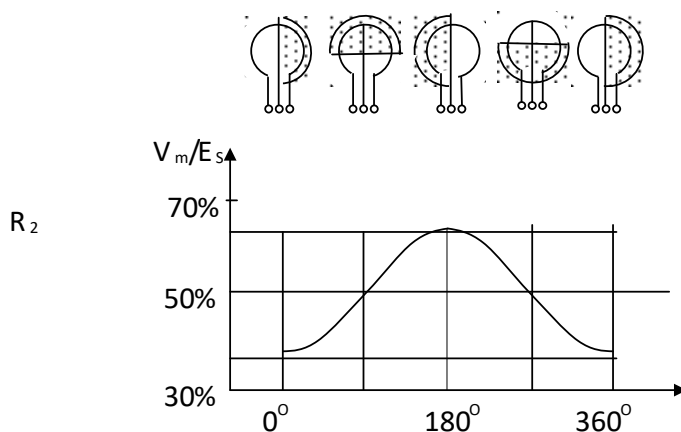
#### b) Điện thế kế dùng con trở từ

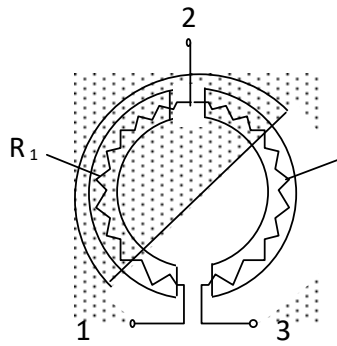
Hình 4.5 trình bày sơ đồ nguyên lý một điện thế kế từ gồm hai từ điện trở  $R_1$  và  $R_2$  mắc nối tiếp và một nam châm vĩnh cửu (gắn với trục quay của điện thế kế) bao phủ lên một phần của điện trở  $R_1$  và  $R_2$ , vị trí phần bị bao phủ phụ thuộc góc quay của trục.

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).

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

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  $R = R_1 + R_2 = \text{const}$ .





Hình 4.5 Điện thế kế điện từ

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.

### 3. Cảm biến điện cảm

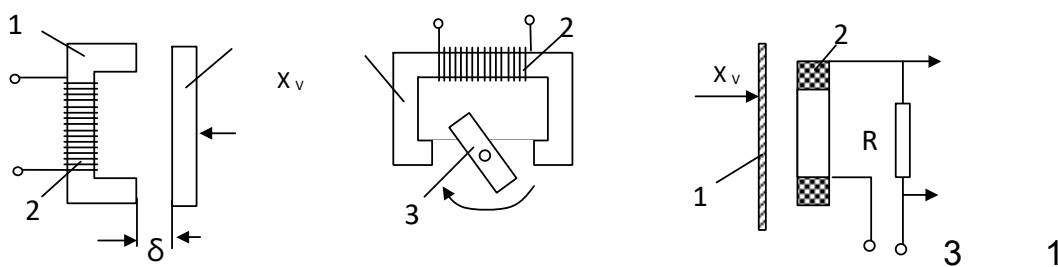
Cảm biến điện cảm là nhóm các cảm biến làm việc dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ. Vật cần đo vị trí hoặc dịch chuyển được gắn vào một phần tử của mạch từ gây nên sự biến thiên từ thông qua cuộn đo. Cảm biến điện cảm được chia ra:

cảm biến tự cảm và hồ cảm.

#### 3.1. Cảm biến từ cảm

##### a) Cảm biến từ cảm có khe từ biến thiên

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



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

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

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

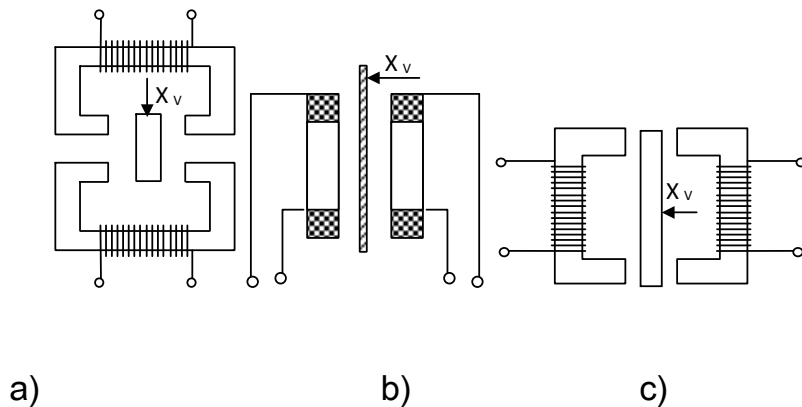
Sơ đồ hình 4.6b: khi phần ứng quay, tiết diện khe hở không khí thay đổi, làm cho từ trở của mạch từ biến thiên, do đó hệ số tự cảm và tổng trở của cuộn dây thay đổi theo.

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

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

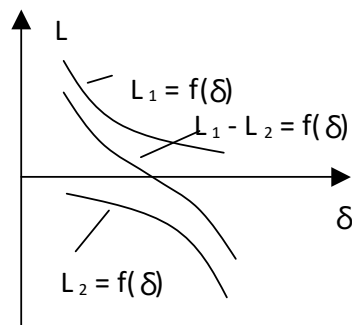
Đặc tính của cảm biến tự cảm đơn  $Z = f(\Delta\delta)$  là hàm phi tuyến và phụ thuộc tần số nguồn kích thích, tần số nguồn kích thích càng cao thì độ nhạy của cảm biến càng cao (hình 4.7).

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



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

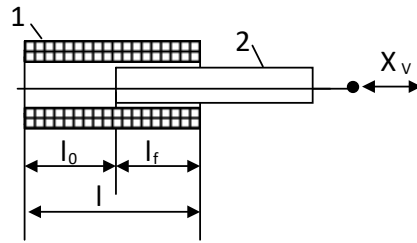
Đặc tính của cảm biến tự cảm kép vi sai có dạng như hình 4.9.



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

b) Cảm biến tự cảm có lõi từ di động

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



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

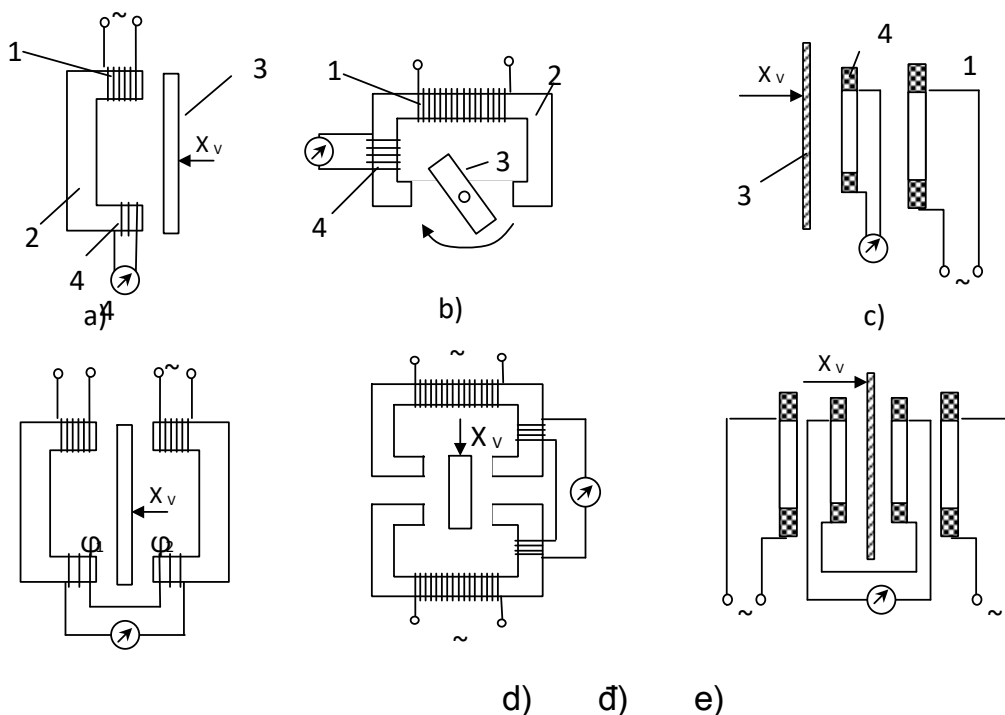
Dưới tác động của đại lượng đo  $X_v$ , lõi từ dịch chuyển làm cho độ dài  $l_f$  của lõi từ nằm trong cuộn dây thay đổi, kéo theo sự thay đổi hệ số tự cảm  $L$  của cuộn dây. Sự phụ thuộc của  $L$  vào  $l_f$  là hàm không tuyến tính, tuy nhiên có thể cải thiện bằng cách ghép hai cuộn dây đồng dạng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

### 3.2. Cảm biến hồ cảm tương tự cảm biến tự cảm chỉ khác ở chỗ có thêm một cuộn dây đo (hình 4.11).

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

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

- Cảm biến đơn có khe hở không khí:



Hình 4.11 Cảm biến hồ cảm

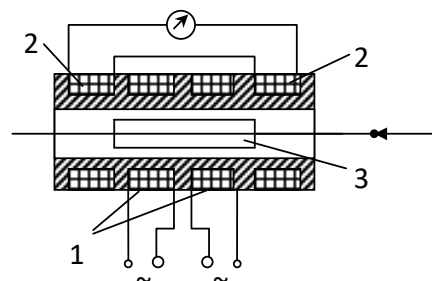
1) Cuộn sơ cấp 2) Gông từ 3) lõi từ di động 4) Cuộn thứ cấp (cuộn đo)

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  $S_\delta$  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 thể 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

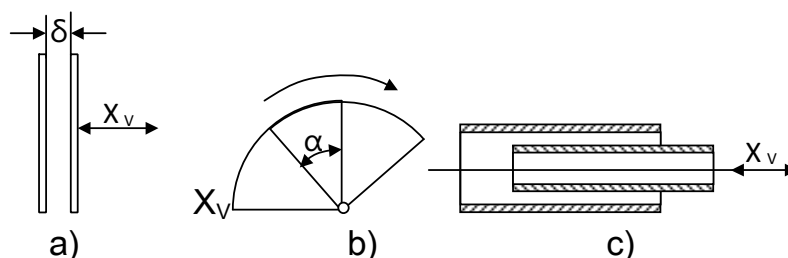
Về nguyên tắc, khi lõi từ ở vị trí trung gian, điện áp đo  $V_m$  ở đầu ra hai cuộn thứ cấp bằng không. Khi lõi từ dịch chuyển, làm thay đổi mối quan hệ giữa cuộn sơ cấp với các cuộn thứ cấp, tức là làm thay đổi hệ số hồ cảm giữa cuộn sơ cấp với các cuộn thứ cấp. Khi điện trở của thiết bị đo đủ lớn,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

#### 4. Cảm biến điện dung

##### 4.1. Cảm biến tĩnh điện

Các cảm biến tụ điện đơn là một tụ điện phẳng hoặc hình trụ có một bản cực gắn cố định (bản cực tĩnh) và một bản cực di chuyển (bản cực động) liên kết với vật cần đo. Khi bản cực động di chuyển sẽ kéo theo sự thay đổi điện dung của tụ điện. - Đối với cảm biến hình 4.13a: dưới tác động của đại lượng đo  $X_v$ , bản cực động di chuyển, khoảng cách giữa các bản cực thay đổi, kéo theo điện dung tụ điện biến thiên.

$\epsilon$  - hằng số điện môi của môi trường.  $\epsilon_0$  - hằng số điện môi của chân không.  $s$  - diện tích nằm giữa hai điện cực.  $\delta$  - khoảng cách giữa hai bản cực.



Hình 4.13 Cảm biến tụ điện đơn

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

$\alpha$  - góc ứng với phần hai bản cực đối diện nhau.

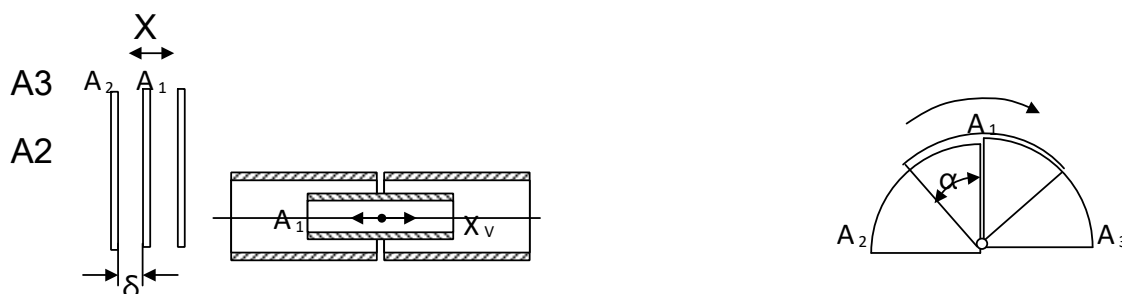
Đối với cảm biến hình 4.13c: dưới tác động của đại lượng đo  $X_v$ , bản cực động di chuyển thẳng dọc trục, diện tích giữa các bản cực thay đổi, kéo theo sự thay đổi của điện dung.

- 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.

## 4.2. Cảm biến tổ hợp vi sai



Hình 4.14 Cảm biến tụ kép vi sai

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

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

## Chương 4: CẢM BIẾN QUANG

**Giới thiệu:** Chương này giúp người học có tổng hợp hệ thống cung cấp điện của ngành điện Việt Nam.

**Mục tiêu:**

- Phân tích được đặc điểm, các yêu cầu đối với nguồn năng lượng, nhà máy điện, mạng lưới điện, hộ tiêu thụ, hệ thống bảo vệ và trung tâm điều độ.
- Vận dụng đúng các yêu cầu và nội dung chủ yếu khi thiết kế hệ thống cung cấp điện.
- Rèn luyện tính cẩn thận, chính xác và nghiêm túc trong học tập và trong thực hiện công việc.

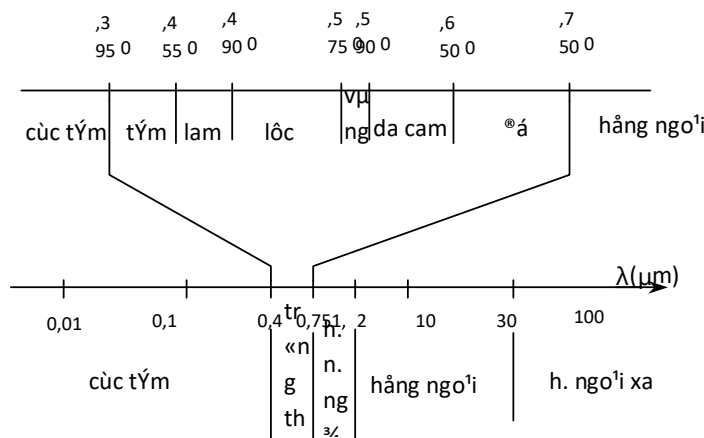
**Nội dung chính:**

### 1. Tính chất và ảnh hưởng của ánh sáng

#### 1.1. Tính chất của ánh sáng

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

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



Hình 2.1 Phổ ánh sáng

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

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

## 1.2. Các đơn vị 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 ( $\Phi$ ): là công suất phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ đo bằng oát (W):

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.

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.

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

Độ chói năng lượng đo bằng oát/Steradian.m<sup>2</sup>.

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.

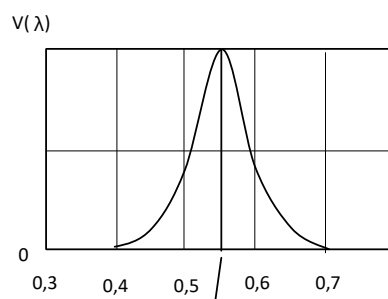
Độ rọi năng lượng đo bằng oát/m<sup>2</sup>.

### b) Các 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  $K \cdot V(\lambda)$ .

1



## Hình 2.2 Đường cong độ nhạy tương đối của mắt

Theo quy ước, một luồng ánh sáng có năng lượng 1W ứng với bước sóng  $\lambda_{\max}$  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:

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

Đối với ánh sáng phổ liên tục:

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

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

Bảng 2.1

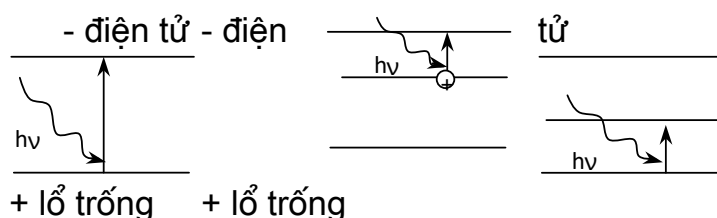
| Đại lượng           | Đơn vị thực nghiệm                         | Đơn vị năng lượng                            |
|---------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Luồng (thông lượng) | lumen(lm)                                  | oat(W)                                       |
| Cường độ            | cadela(cd)                                 | oat/sr(W/sr)                                 |
| Độ chói             | cadela/m <sup>2</sup> (cd/m <sup>2</sup> ) | oat/sr.m <sup>2</sup> (W/sr.m <sup>2</sup> ) |
| Độ rọi              | lumen/m <sup>2</sup> hay lux (lx)          | oat/m <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )       |
| Năng lượng          | lumen.s (lm.s)                             | jun (j)                                      |

## 2. Cơ chế biến quang dẫn

### 2.1. Hiệu ứng quang dẫn

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

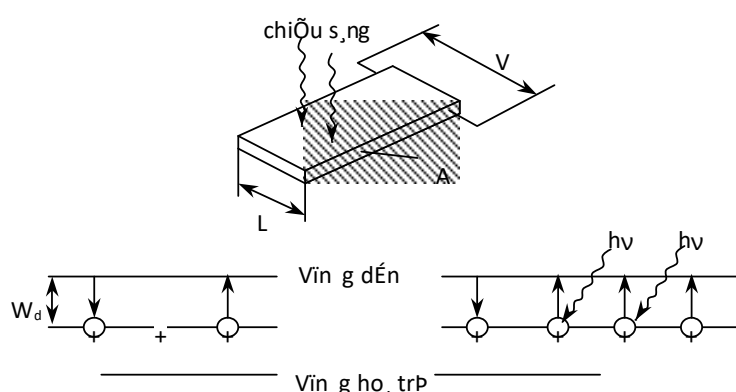
Trong chất bán dẫn, các điện tử liên kết với hạt nhân, để giải phóng điện tử khỏi nguyên tử cần cung cấp cho nó một năng lượng tối thiểu bằng năng lượng liên kết  $W_{lk}$ . Khi điện tử được giải phóng khỏi nguyên tử, sẽ tạo thành hạt dẫn mới trong vật liệu.



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

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

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



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

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

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

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

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

Khi chiếu sáng, các photon sẽ ion hoá các nguyên tử donor, giải phóng ra các điện tử. Tuy nhiên không phải tất cả các photon đập tới bề mặt vật liệu đều giải phóng điện tử, một số bị phản xạ ngay ở bề mặt, một số bị hấp thụ và chuyển năng lượng cho điện tử

dưới dạng nhiệt năng, chỉ phần còn lại mới tham gia vào giải phóng điện tử. Do vậy, số điện tử (g) được giải phóng do bị chiếu sáng trong một giây ứng với một đơn vị thể tích vật liệu, xác định bởi công thức:

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).

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

R - là hệ số phản xạ của bề mặt vật liệu.  $\lambda$  - bước

sóng ánh sáng.  $\Phi$  - thông lượng ánh sáng.

$h$  - hằng số Planck.

## 2.2. Tế bào quang dẫn

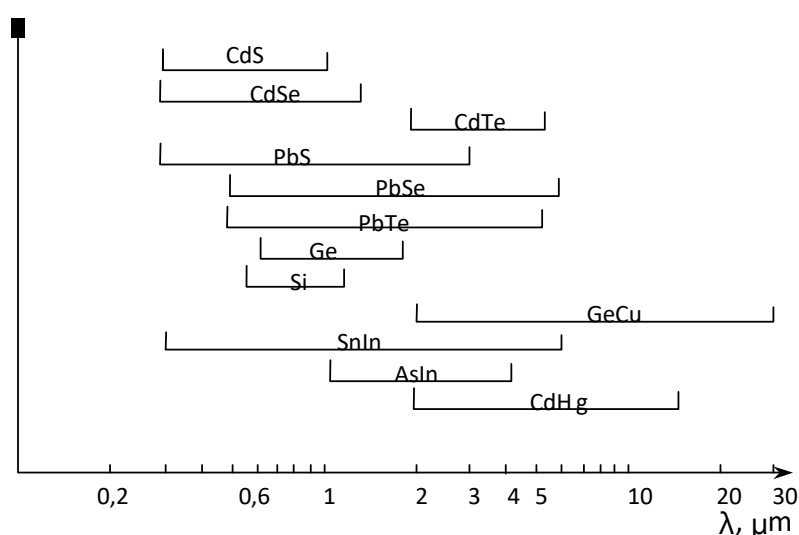
### a) Vật liệu chế tạo

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

- Đa tinh thể: CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe.

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

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



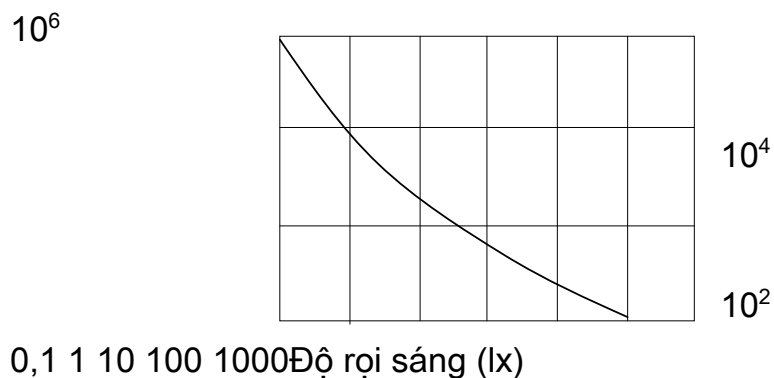
Hình 2.5. Vùng phổ làm việc của một số vật liệu quang dẫn

### b) Các đặc trưng

- **Điện trở tối** : Giá trị điện trở tối  $R_{c0}$  của các quang điện trở phụ thuộc rất lớn vào hình dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và bản chất hoá lý của vật liệu chế tạo. Các chất PbS, CdS, CdSe có điện trở tối rất lớn ( từ  $10^4 \Omega$  -  $10^9 \Omega$  ở  $25^\circ\text{C}$ ), trong khi đó SbIn,

SbAs, CdHgTe có điện trở tối tương đối nhỏ ( từ  $10 \Omega$  -  $10^3 \Omega$  ở  $25^\circ\text{C}$ ). 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.

Điện trở ( $10^6 \Omega$ )



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

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

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.

$\gamma$  - hệ số có giá trị từ 0,5 - 1.

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

**Độ dẫn:** 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:

$$G_c = G_{c0} + G_{cp} \quad (2.1)$$

Trong đó:

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

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

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

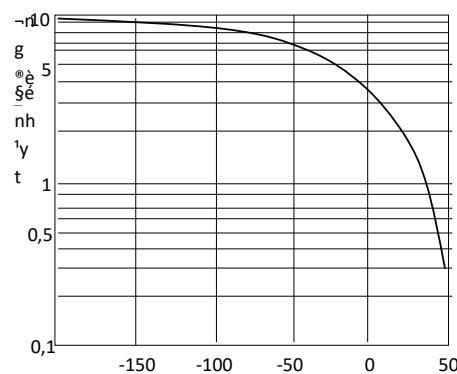
$$I = VG_{co} + VG_{cp} = I_0 + I_p$$

Trong điều kiện sử dụng thông thường  $I_0 \ll I_p$ , do đó dòng quang điện của tế bào quang dẫn Tế bào quang dẫn là một cảm biến không tuyến tính, độ nhạy giảm khi bức

xạ tăng (trừ khi  $\gamma = 1$ ).

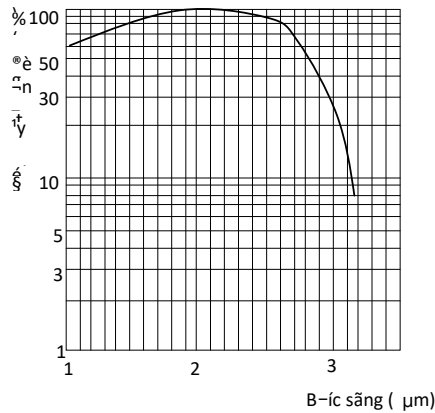
-Khi điện áp đặt vào đủ nhỏ, độ nhạy tỷ lệ thuận với điện áp đặt vào tế bào quang dẫn. Khi điện áp đặt vào lớn, hiệu ứng Joule làm tăng nhiệt độ, dẫn đến độ nhạy giảm (hình 2.7).

Trường hợp bức xạ ánh sáng là đơn sắc,  $I_p$  phụ thuộc vào  $\lambda$ , 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)



Nhiệt độ (°C)

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



Nhiệt độ vật đen tuyệt đối (K)

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

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

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

### c) Đặc điểm và ứng dụng

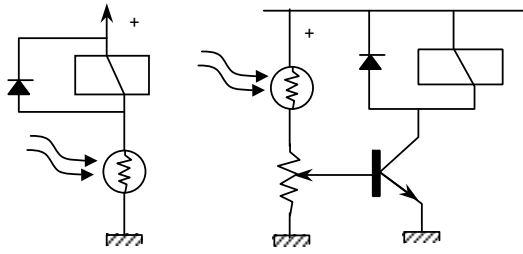
Đặc điểm chung của các tế bào quang dẫn:

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

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

-Điều khiển rơ le: khi có bức xạ ánh sáng chiếu lên tế bào quang dẫn, điện trở của nó giảm đáng kể, cho dòng điện chạy qua đủ lớn, được sử dụng trực tiếp hoặc qua khuếch đại để đóng mở rơ le (hình 2.9).

-Thu tín hiệu quang: dùng tế bào quang dẫn để thu và biến tín hiệu quang thành xung điện. Các xung ánh sáng ngắt quãng được thể hiện qua xung điện, trên cơ sở đó có thể lập các mạch đếm vật hoặc đo tốc độ quay của đĩa.



Hình 2.9 Dùng tế bào quang dẫn điều khiển rơle

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

## 2.3. Photođiot

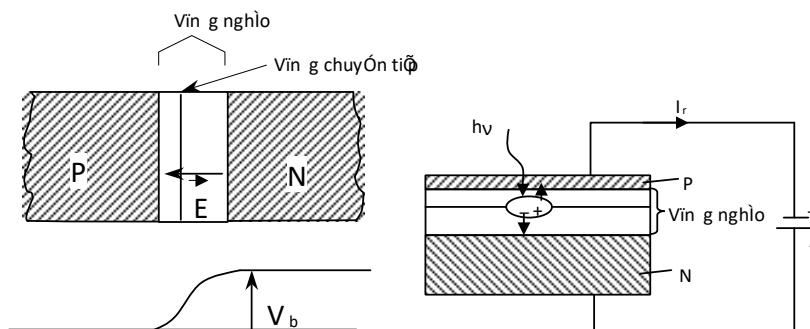
### a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

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

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

nhau và ngược chiều:

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



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

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

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 điôt, khi đó  $i = I_0$ .

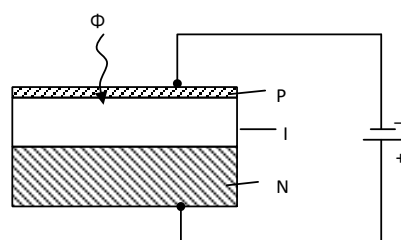
Khi chiếu sáng điôt bằng bức xạ có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện tử - lỗ trống. Để các hạt dẫn này tham gia dẫn điện cần phải ngăn cản sự tái hợp của chúng, tức là nhanh chóng tách rời cặp điện tử - lỗ trống. Sự tách cặp điện tử - lỗ trống chỉ xảy ra trong vùng nghèo 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 điôt 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 điôt PIN, lớp bán dẫn riêng I kẹp giữa hai lớp bán dẫn P và N, với loại điôt này chỉ cần điện áp ngược vài vôn có thể mở rộng vùng nghèo ra toàn bộ lớp bán dẫn I.

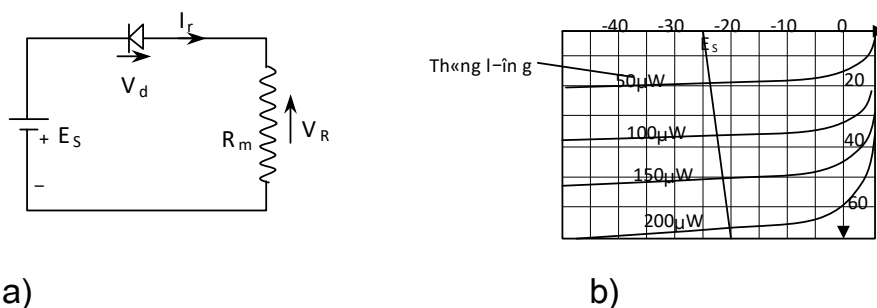


Hình 2.11 Cấu tạo điôt loại PIN

b) Chế độ hoạt động

- Chế độ quang dẫn:

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



Hình 2.12 Sơ đồ nguyên lý và chế độ làm việc

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

Điểm làm việc của điốt là điểm giao nhau giữa đường thẳng tải  $\Delta$  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  $\Delta V_b$ . Sự giảm chiều cao hàng rào thế làm cho dòng hạt dẫn cơ bản tăng lên, khi đạt cân bằng  $I_r = 0$ .

$$[qV]$$

d) Sơ đồ ứng dụng photodiode

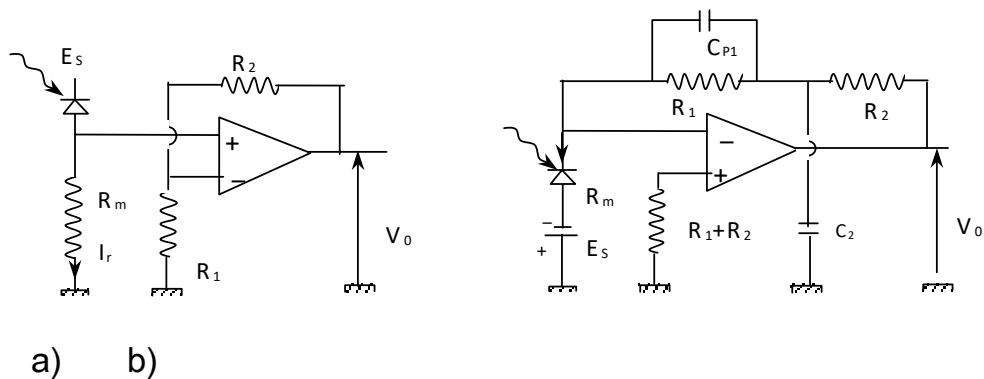
- Sơ đồ làm việc ở chế độ quang dẫn:

Đặc trưng của chế độ quang dẫn:

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

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

Sơ đồ đo dòng ngược (hình 2.17a):



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

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

Sơ đồ mạch đo nhanh (hình 2.17b):

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

điện trở của điốt nhỏ và bằng  $R_1 + R_2$  trong đó K là hệ số khuếch đại ở tần số làm

K

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

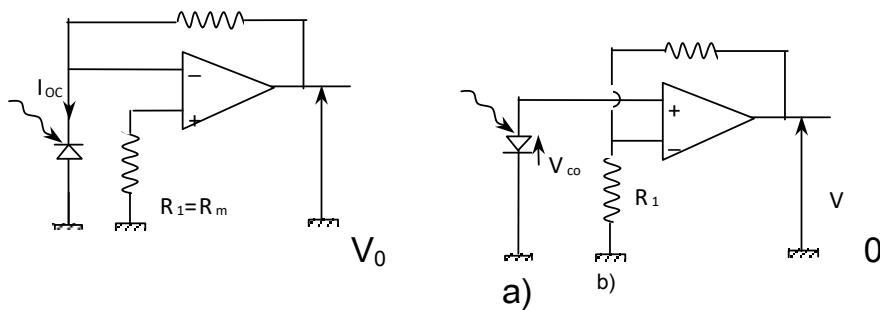
- + Có thể làm việc ở chế độ tuyến tính hoặc logarit tùy thuộc vào tải.
- + ít nhiễu.
- + Thời gian hồi đáp lớn.
- + Dải thông nhỏ.
- + Nhạy cảm với nhiệt độ ở chế độ logarit.

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

Trong chế độ này:

$$V_0 = R_m I_{sc}$$

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

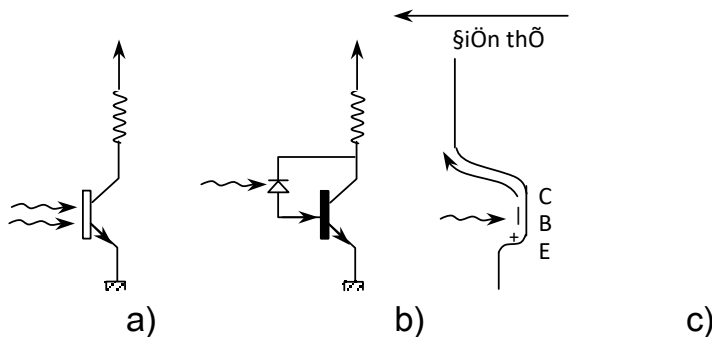


Hình 2.18 Sơ đồ mạch đo ở chế độ quang áp

## 2.4. Phototranzito

### a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

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



Hình 2.19 Phototranzito

a) Sơ đồ mạch điện b) Sơ đồ tương đương

c) Tách cặp điện tử lỗ trống khi chiếu sáng bazơ

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

$$I_r = I_0 + I_p$$

Trong đó  $I_0$  là dòng ngược trong tối,  $I_p$  là dòng quang điện dưới tác dụng của thông lượng  $\Phi_0$  chiếu qua bề dày  $X$  của bazơ (bước sóng  $\lambda < \lambda_s$ ):

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

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

$\beta$  - 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  $\beta$ . 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 colectơ 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) □□ nh□y

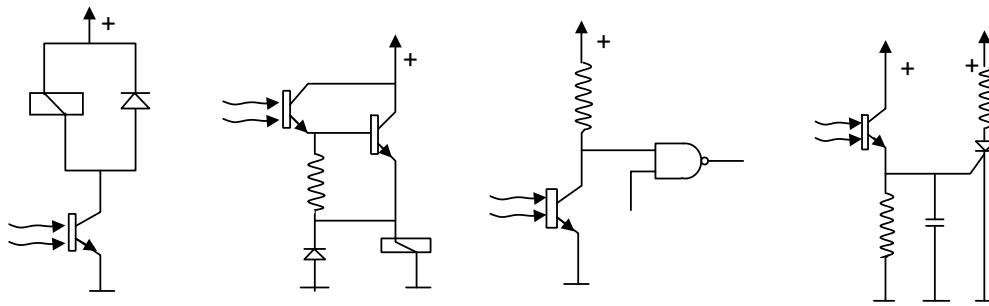
Khi nhận được thông lượng  $\Phi_0$ , diot bazơ-colectơ sinh ra dòng quang điện  $I_p$ , dòng này gây nên trong phototranzito một dòng  $I_{cp} = (\beta + 1)I_p$ , trong đó giá trị của  $I_{cp}$  được rút ra từ công thức của  $I_p$ :

Đối với một thông lượng  $\Phi_0$  cho trước, đường cong phổ hồi đáp xác định bởi bản chất của diot B-C: vật liệu chế tạo (thường là Si) và loại pha tạp (hình 2.20). Đối với một bước sóng cho trước, dòng colectơ  $I_c$  không phải là hàm tuyến tính của thông lượng hoặc độ chiếu sáng bởi vì hệ số khuếch đại  $\beta$  phụ thuộc vào dòng  $I_c$  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 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 bảo hoà cho phép điều khiển trực tiếp (hoặc sau khi khuếch đại) như một rơle, điều khiển một cổng logic hoặc một thyristo (hình 2.21).



Hình 2.21 Photodiode trong chế độ chuyển mạch

a) Role b) Role sau khếch đại c) Cổng logic d) Thyristo

- Phototransistor 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

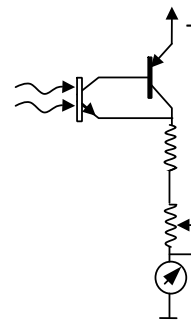
thay đổi dạng:

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

Trong đó  $\Phi_1(t)$  là thành phần

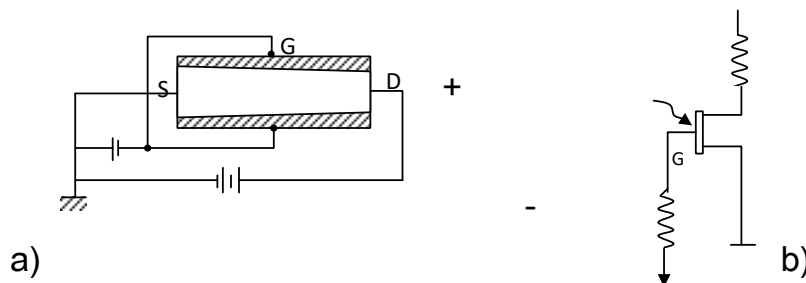
thay đổi với biên độ nhỏ để sao cho

không dẫn tới phototransistor bị chặn hoặc  
thể coi độ nhạy không đổi. Trong điều kiện đó, dòng



bảo hoà và có

## 2.5 Phototransistor hiệu ứng trường: (photoFET) có sơ đồ tương đương như hình



Hình 2.23 Phototransistor hiệu ứng trường

a) Sơ đồ cấu tạo b) Sơ đồ mạch

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

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

$V_P$  - điện áp thắt kênh.

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

$$I_r = I_0 + I_P$$

$I_P = S_g \Phi$  - dòng quang điện.

$I_0$  - dòng điện trong tối.

$S_g$  - độ nhạy của diode cổng - kênh.

$\Phi$  - 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.

### 3. Cơ chế phát xạ điện tử khi chiếu sáng và hiệu ứng quang điện

#### 3.1. Hiệu ứng quang điện phát xạ

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

Cơ chế phát xạ điện tử khi chiếu sáng vật liệu xảy ra theo ba giai đoạn:

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

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

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

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

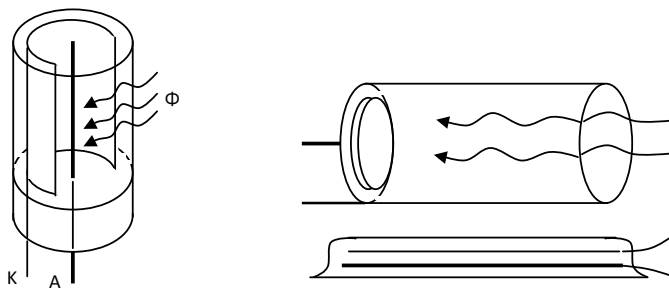
- AgOCs nhạy ở vùng hồng ngoại.
- $\text{Cs}_3\text{Sb}$ ,  $(\text{Cs})\text{Na}_2\text{KSb}$  và  $\text{K}_2\text{CsSb}$ : nhạy với ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại.
- $\text{Cs}_2\text{Te}$ ,  $\text{Rb}_2\text{Te}$  và  $\text{CsTe}$  chỉ nhạy trong vùng tử ngoại.

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

Ngoài ra còn dùng các hợp chất của các chất thuộc nhóm III - V, đó là các hợp chất  $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ ,  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ ,  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$ , ngưỡng nhạy sáng của chúng nằm ở vùng hồng ngoại ( $\lambda \sim 1\mu\text{m}$ ), hiệu suất lượng tử đạt tới 30%.

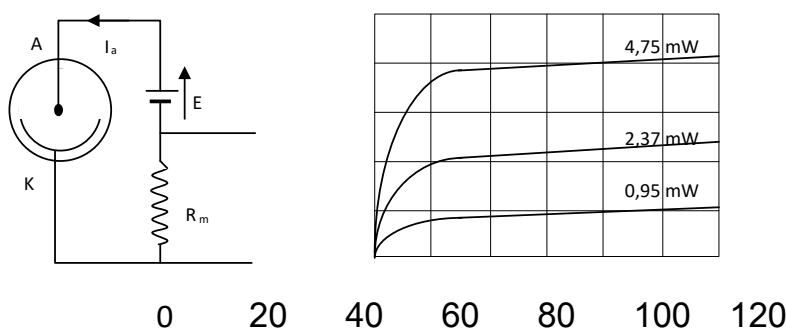
### 3.2. Tế bào quang điện chân không

Tế bào quang điện chân không gồm một ống hình trụ có một cửa sổ trong suốt, được hút chân không (áp suất  $\sim 10^{-6} - 10^{-8}$  mmHg). Trong ống đặt một 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 anốt  $I_a$  phụ thuộc vào điện thế anốt - catốt  $V_{ak}$  biểu diễn trên hình 2.25.



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

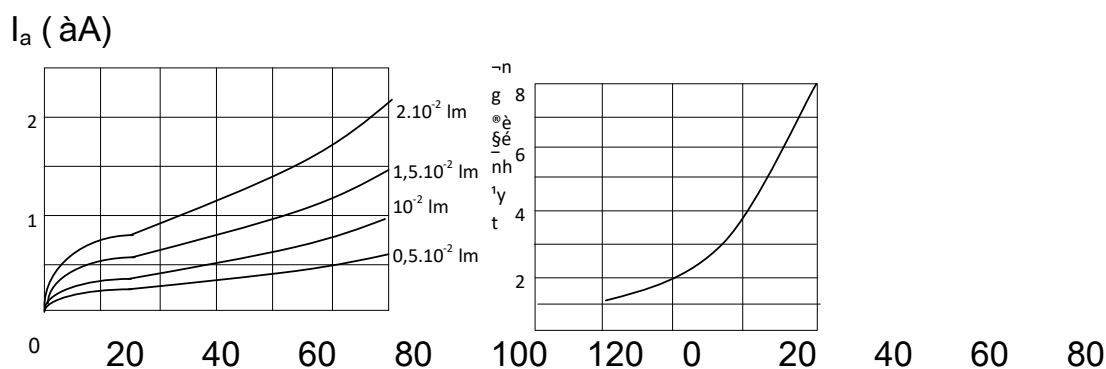
+ Vùng điện tích không gian đặc trưng bởi sự tăng mạnh của dòng khi điện áp tăng.

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

Tế bào quang điện được sử dụng chủ yếu trong vùng bảo hoà, khi đó nó giống như một nguồn dòng, giá trị của dòng chỉ phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng mà nó nhận được. Điện trở trong  $r$  của tế bào quang điện rất lớn và có thể xác định từ độ dốc của đặc tuyến ở vùng bảo hoà: Độ nhạy phổ của tế bào quang điện được biểu diễn thông qua giá trị của dòng anot trong vùng bão hoà, thường vào cỡ 10 - 100 mA/W.

### 3.3. Tế bào quang điện dạng khí

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



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

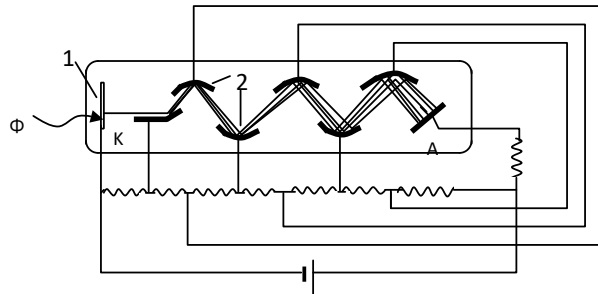
Khi điện áp thấp hơn 20V, đặc tuyến  $I - V$  có dạng giống như tế bào quang điện chân không. Khi điện áp cao, điện tử chuyển động với tốc độ lớn làm ion hoá các nguyên tử khí, kết quả là dòng anot tăng lên từ 5 - 10 lần.

### 3.4. Thiết bị nhân quang

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

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

điện thế của các điện cực tăng dần sao cho các điện tử sinh ra từ điện cực thứ k sẽ bị hút bởi điện cực thứ (k+1). Kết quả ở điện cực sau số điện tử lớn hơn ở điện cực trước đó.



Hình 2.27 Thiết bị nhân quang

1) Photocatot 2) Dynode (điện cực thứ cấp)

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

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

$\eta_c$  - hệ số thu nhận điện tử hữu hiệu của các cực.

$\eta_t$  - hệ số chuyển tải hữu hiệu từ điện cực này sang điện cực khác.

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

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