

## CHƯƠNG 7.

### CÁC CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SƠ CẤP (5 LT)

#### 7.1. Khái niệm chung.

Chuyển đổi đo lường sơ cấp thực hiện quan hệ hàm đơn trị giữa hai đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định, trong đó đại lượng vào cần đo là đại lượng không điện và đại lượng ra là đại lượng điện, xử lý đại lượng điện này bằng các mạch đo để có được kết quả đo.

Các chuyển đổi đo lường sơ cấp thường dựa trên các hiệu ứng vật lý vì vậy *độ chính xác của nó phụ thuộc rất nhiều vào bản chất vật lý của chuyển đổi*. Để nâng cao độ chính xác của phép đo và dụng cụ đo cần nâng cao độ chính xác của chuyển đổi sơ cấp vì đây là khâu cơ bản trong thiết bị đo.

##### 7.1.1. Các định nghĩa.

- **Chuyển đổi đo lường (tranducer):** là thiết bị thực hiện một quan hệ hàm đơn trị giữa hai đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định.

- **Chuyển đổi đo lường sơ cấp (primary tranducer):** là các chuyển đổi đo lường mà đại lượng vào là đại lượng không điện và đại lượng ra là đại lượng điện.

Đa số các chuyển đổi đo lường sơ cấp đều dựa trên các hiệu ứng vật lý như: hiệu ứng nhiệt điện, quang điện, hóa điện, cộng hưởng từ hạt nhân...vì vậy mà độ chính xác, độ nhạy, độ tác động nhanh...đều phụ thuộc vào các thành tựu của ngành vật lý và phụ thuộc vào công nghệ chế tạo.

- **Đầu đo (sensor):** là chuyển đổi sơ cấp được đặt trong một hộp và có kích thước và hình dạng khác nhau phù hợp với chỗ đặt của điểm đo. Còn gọi là bộ cảm biến, xenxơ (sensor).

##### 7.1.2. Các đặc tính của chuyển đổi sơ cấp.

Theo quan điểm mô hình mạch ta coi bộ cảm biến như một hộp đen, có quan hệ đáp ứng-kích thích được biểu diễn bằng phương trình của chuyển đổi sơ cấp là:

$$Y = f(X) \quad (7.1)$$



Hình 7.1. Mô hình mạch của chuyển đổi đo lường sơ cấp.

với X là đại lượng đầu vào (đại lượng không điện cần đo), Y là đại lượng ra (đại lượng điện sau chuyển đổi).

Trong thực tế mỗi quan hệ này thường được tìm thông qua thực nghiệm. Mỗi quan hệ (7.1) thường là phi tuyến, nhưng để nâng cao độ chính xác của thiết bị đo cần phải tìm cách tuyến tính hóa bằng các mạch điện tử hay sử dụng các thuật toán thực hiện khi gia công bằng máy tính.

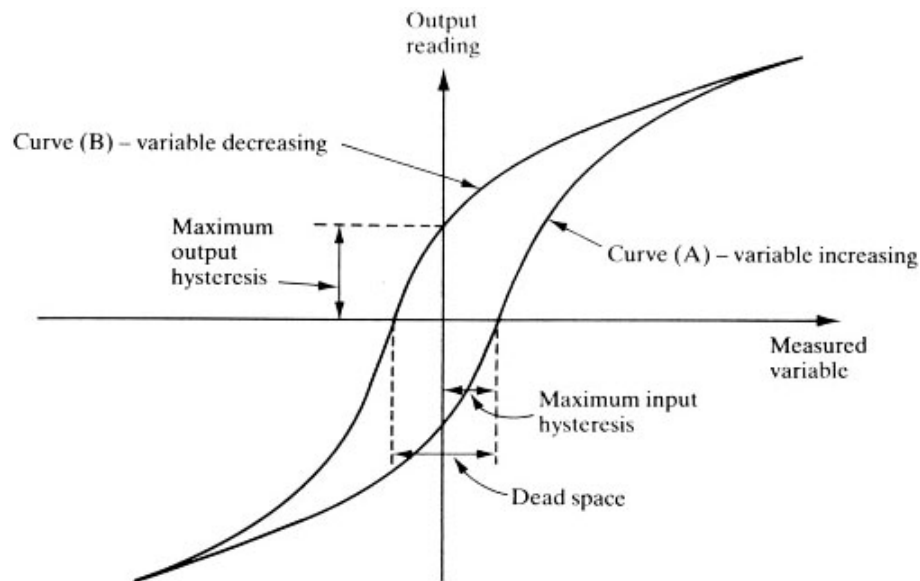
Tín hiệu ra Y của chuyển đổi đo lường sơ cấp trong thực tế không chỉ phụ thuộc tín hiệu vào X mà còn phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài Z, tức là:

$$Y = f(X, Z)$$

như vậy muốn đảm bảo độ chính xác của chuyển đổi thì sự ảnh hưởng của điều kiện ngoài Z cần phải được chú ý loại trừ bằng các phương pháp thích hợp.

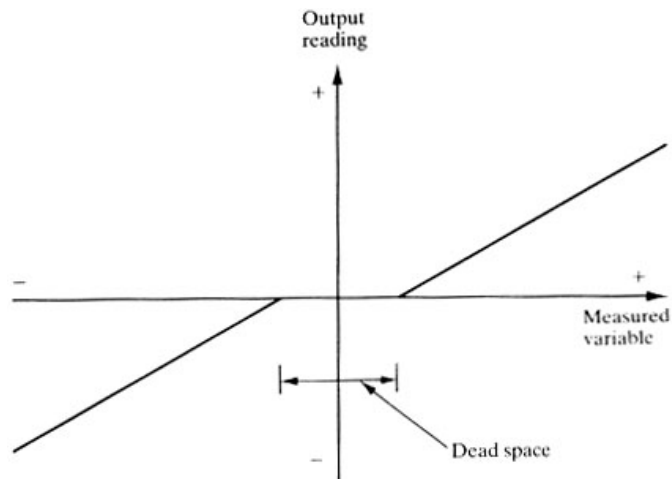
Quan hệ (7.1) được đặc trưng bằng nhiều đặc trưng cơ bản của bộ cảm biến. Khi đánh giá một chuyển đổi hay phải so sánh chúng với nhau cần phải chú ý những đặc tính cơ bản sau:

- **Khả năng thay thế các chuyển đổi:** cần có nhiều chuyển đổi với các đặc tính tương tự để thay thế khi hư hỏng mà không bị mắc phải sai số.
- **Chuyển đổi phải có đặc tính đơn trị:** nghĩa là với đường cong hồi phục của chuyển đổi ứng với một giá trị X chỉ có một giá trị Y.



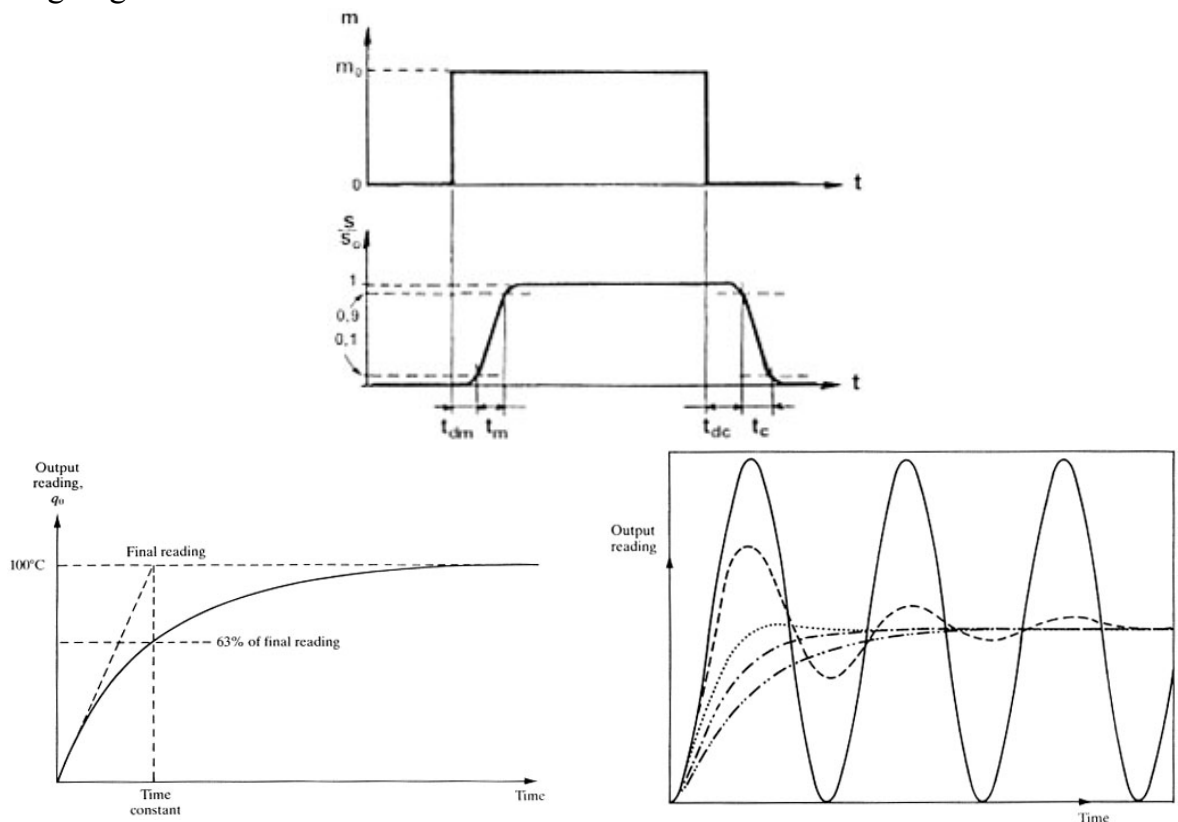
Hình 7.2. Tính không đơn trị của đặc tính của chuyển đổi.

- **Đường cong đặc tính của chuyển đổi phải ổn định:** nghĩa là không được thay đổi theo thời gian (không bị già hóa).
- **Tín hiệu ra của chuyển đổi phải tiện cho việc ghép nối vào dụng cụ đo, hệ thống đo và máy tính:** hiện nay có 2 chuẩn tín hiệu ra phổ biến là tín hiệu điện áp 0-5V, 0-10V...; tín hiệu dòng điện 0-20mA, 4-20mA.
- **Sai số:** là đặc tính quan trọng của chuyển đổi đo. Yêu cầu sai số phải thỏa mãn yêu cầu, giảm sai số càng nhỏ càng tốt. Khi xét theo nguyên nhân gây sai số thường có sai số cơ bản và sai số phụ:
  - **Sai số cơ bản:** sai số gây ra do nguyên lý hoạt động của chuyển đổi, sự không hoàn thiện của cấu trúc, công nghệ chế tạo không tốt...
  - **Sai số phụ:** sai số gây ra do sự biến động của điều kiện bên ngoài khác với điều kiện tiêu chuẩn.
- **Độ nhạy:** là một tiêu chuẩn quan trọng có tác dụng quyết định cấu trúc của mạch đo để đảm bảo cho phép đo có thể đo được những biến động nhỏ của đại lượng đo. Yêu cầu độ nhạy của chuyển đổi đối với đại lượng đo càng lớn càng tốt, tuy nhiên bên cạnh đó cũng yêu cầu độ nhạy của chuyển đổi với nhiễu phải thấp để hạn chế thấp nhất ảnh hưởng của nhiễu lên kết quả đo.
- **Độ tuyến tính của đường đặc tính:** yêu cầu đường đặc tính quan hệ đại lượng đo và tín hiệu ra càng tuyến tính càng tốt.



Hình 7.3. Đặc tính thể hiện độ nhạy của chuyển đổi đo lường.

- **Đặc tính động:** khi tín hiệu đo  $X$  tác động vào chuyển đổi ĐLSC thường phải có quá trình quá độ (tương ứng với một khoảng thời gian  $\tau_{qd}$ ) mới có tín hiệu ra  $Y$  tương ứng ở đầu ra.



Hình 7.4. Đặc tính động của chuyển đổi đo lường.

Quá trình này có thể nhanh hay chậm phụ thuộc vào dạng chuyển đổi. Đặc tính này gọi là độ tác động nhanh: nếu độ tác động nhanh chậm tức là phản ứng của tín hiệu ra của chuyển đổi trễ so với sự thay đổi của tín hiệu vào, như vậy thiết bị đo có thể không đáp ứng được yêu cầu về tính năng thời gian thực.

Khi lựa chọn chuyển đổi phải lưu ý độ tác động nhanh của nó phải phù hợp với tốc độ thay đổi của đại lượng cần đo hoặc phải tính toán để bù lại ảnh hưởng do sự chênh lệch đó gây ra. Độ tác động nhanh của chuyển đổi có ảnh hưởng đến sai số của phép đo và tốc độ của phép đo.

- **Ảnh hưởng của chuyển đổi lên đại lượng đo:** khi đưa chuyển đổi vào hệ thống cần đo để xác định đại lượng đo thì chuyển đổi đo và cả dụng cụ đo có ảnh hưởng nhất định đến hệ thống được đo trong đó có ảnh hưởng đến đại lượng đo, như vậy đầu ra của chuyển đổi cũng bị ảnh hưởng.

Các chuyển đổi đo lường và các thiết bị đo phải được chế tạo và sử dụng sao cho ít gây ảnh hưởng đến hệ thống được đo và đại lượng đo nhất, ví dụ: vônmet phải có điện trở trong rất lớn, ampe mét phải có điện trở trong rất nhỏ...

- **Kích thước, khối lượng của chuyển đổi:** thường yêu cầu phải phù hợp với ứng dụng, thường càng nhỏ càng tốt, như vậy mới đưa được đầu đo vào những nơi nhỏ hẹp để nâng cao độ chính xác của phép đo.

### 7.1.3. Phân loại các chuyển đổi sơ cấp.

a) Theo nguyên lý chuyển đổi giữa đáp ứng và kích thích:

Hiện tượng	Loại chuyển đổi
Vật lý	Điện trở Điện từ Tĩnh điện Nhiệt điện Điện tử và ion Quang điện Quang từ Quang đàn hồi Từ điện Nhiệt từ Nhiệt quang ...
Hóa học	Biến đổi hóa học Điện hóa Phân tích phổ ...
Sinh học	Biến đổi sinh hóa Hiệu ứng trên cơ thể sống ...

b) Theo dạng kích thích:

Kích thích	Các đặc tính của kích thích
Âm thanh	biên pha, phân cực phổ tốc độ truyền sóng ...
Điện	điện tích, dòng điện điện thế, điện áp điện trường điện dẫn, hằng số điện môi ...
Từ	từ trường (biên độ, pha, phân cực, phổ) từ thông, cường độ từ trường độ từ thẩm ...

Quang	biên, pha, phân cực, phổ tốc độ truyền hệ số phát xạ, khúc xạ hệ số hấp thụ, hệ số bức xạ ...
Cơ	vị trí, vận tốc, gia tốc lực, mômen, áp suất ứng suất, độ cứng khối lượng, tỉ trọng vận tốc chất lưu, độ nhớt, lưu lượng ...
Nhiệt	nhiệt độ thông lượng nhiệt dung, tỉ nhiệt ..
Bức xạ	kiểu năng lượng cường độ ...

**c) Theo tính năng của chuyển đổi:**

độ nhạy độ chính xác độ phân giải độ chọn lọc độ tuyến tính công suất tiêu thụ dải tần	khả năng quá tải tốc độ đáp ứng độ trễ độ ổn định tuổi thọ điều kiện môi trường kích thước, trọng lượng
--	---

**d) Theo phạm vi sử dụng của chuyển đổi:**

công nghiệp nghiên cứu khoa học môi trường, khí tượng thông tin, viễn thông	nông nghiệp dân dụng giao thông quân sự, vũ trụ
--	--

**e) Theo thông số của mô hình mạch thay thế:**

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

## 7.2. Các chuyển đổi điện trở.

Là loại chuyển đổi thực hiện chuyển đổi đại lượng không điện cần đo thành sự thay đổi điện trở của nó.

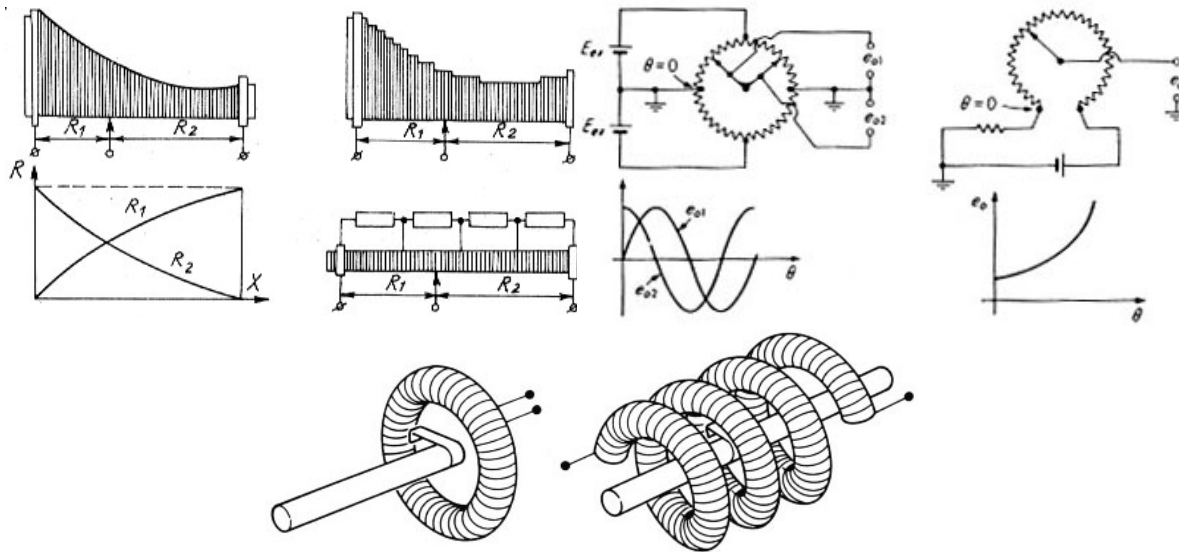
Có hai loại chuyển đổi điện trở chủ yếu:

### 7.2.1. Chuyển đổi biến trở.

**a) Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** là một biến trở gồm có lõi bằng vật liệu cách điện trên có quấn dây dẫn điện, dây quấn được phủ lớp cách điện. Trên lõi và dây quấn có con trượt, dưới tác dụng của đại lượng vào con trượt di chuyển làm cho điện trở thay đổi.

Quan hệ giữa đại lượng vào và ra được biểu diễn:

$$R = f(X_v)$$



Hình 7.5. Hình dáng một số loại biến trở và đặc tính của nó.

**b) Các đặc tính cơ bản:** chuyển đổi biến trở chỉ phát hiện sự thay đổi điện trở nhỏ nhất là bằng điện trở một vòng dây tương ứng với một di chuyển bằng khoảng cách giữa hai vòng dây.

- *Độ nhạy của chuyển đổi:* nếu điện trở toàn phần của chuyển đổi là  $R$  với số vòng là  $W$  thì độ nhạy của chuyển đổi (điện trở bé nhất có thể phát hiện)  $R_0$  là:

$$R_0 = \frac{R}{W}$$

- *Độ di chuyển bé nhất có thể phát hiện:* gọi  $L$  là chiều dài của biến trở thì độ di chuyển bé nhất có thể phát hiện là:

$$X_0 = \frac{L}{W}$$

- *Sai số rời rạc của chuyển đổi đối với cuộn dây quấn như nhau:*

$$\gamma = \frac{\Delta R_{\min}}{2R} = \frac{R_0}{2R} = \frac{1}{2W}$$

với  $\Delta R_{\min}$  là điện trở toàn phần của một vòng dây.

- Sai số phi tuyến: 0,1-0,03%
- Sai số nhiệt độ: 0,1% /10<sup>0</sup>C

**c) Mạch đo:** chuyển đổi biến trở là loại chuyển đổi thông số, các mạch thường dùng gồm: mạch biến trở, mạch phân áp, mạch cầu.

- *Mạch biến trở:* như hình 7.6a: đại lượng đầu ra là dòng điện trong mạch I:

$$I = \frac{U}{R_x + R_{CT}} = \frac{U}{R \cdot \frac{X}{l} + R_{CT}} = f(X)$$

với  $R_{CT}$  là điện trở của cơ cấu chỉ thị (ampemét). Dòng điện tỉ lệ nghịch với lượng di chuyển  $X$ .

Nhược điểm của mạch này là quan hệ  $I=f(X)$  không tuyến tính, dòng điện không biến thiên được từ 0 trở đi ( $I_{\min}=U/R > 0$ ).

- *Mạch phân áp:* như hình 7.6b: đại lượng ra là điện áp lấy trên một phần của

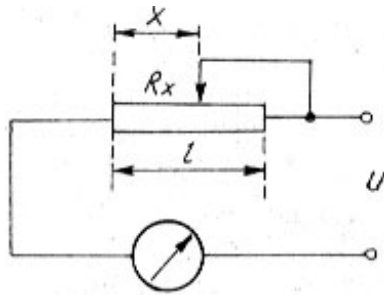
biến trở  $U_X$ :

$$U_X = I \cdot (R_X // R_V) = \frac{U}{(R - R_X) + (R_X // R_V)} \cdot (R_X // R_V)$$

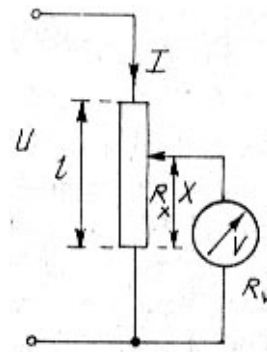
nếu  $R_V \gg R_X \Rightarrow (R_X // R_V) \approx R_X$ , có:

$$U_X = \frac{U}{(R - R_X) + R_X} R_X = U \cdot \frac{R_X}{R} = U \cdot \frac{1}{R} \cdot (R \cdot \frac{X}{l}) = U \cdot (\frac{X}{l}) = f(X)$$

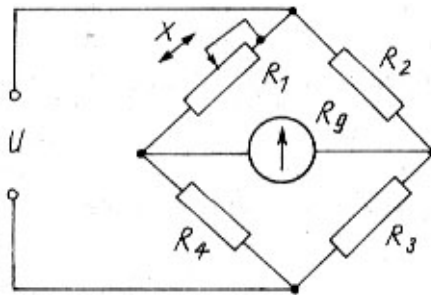
như vậy quan hệ giữa đại lượng ra  $U_X$  và đại lượng vào  $X$  là quan hệ tuyến tính, tỉ lệ thuận.  $U_X$  biến thiên từ  $[0, U]$  khi  $X$  biến thiên từ  $[0, l]$ .



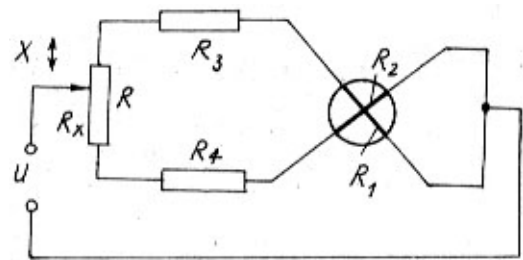
a) Mạch biến trở



b) Mạch phân áp



c) mạch cầu



d) Mạch lôgômét

Hình 7.6. Cách mắc chuyển đổi biến trở trong mạch.

- *Mạch cầu*: như hình 7.6c: đại lượng ra là điện áp lấy trên cầu  $U_g$ :  
với  $R_g \gg R_1, R_2, R_3, R_4$  có:

$$U_g = U \cdot \left( \frac{R_4}{R_4 + R_X} - \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) \text{ với } R_X = R_1 \cdot \frac{X}{l}$$

với  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  có:

$$U_g = U \cdot \left( \frac{R_4}{R_4 + R_X} - \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) = \frac{U}{2} \cdot \frac{l - X}{l + X} = f(X)$$

như vậy quan hệ giữa đại lượng ra  $U_g$  và đại lượng vào  $X$  là quan hệ phi tuyến, tỉ lệ nghịch.

- *Mạch lôgômét*: như hình 7.6d: đại lượng ra là góc quay  $\alpha$  của kim chỉ thị của lôgômét:

Khi con chạy trượt lượng  $X$  làm  $R_X$  thay đổi, dòng điện  $I_1, I_2$  thay đổi theo làm cho góc quay  $\alpha$  của lôgômét thay đổi:

$$\alpha = f(I_1 / I_2) = f(X)$$

**d) Ứng dụng**: chuyển đổi biến trở thường được ứng dụng để đo các di chuyển



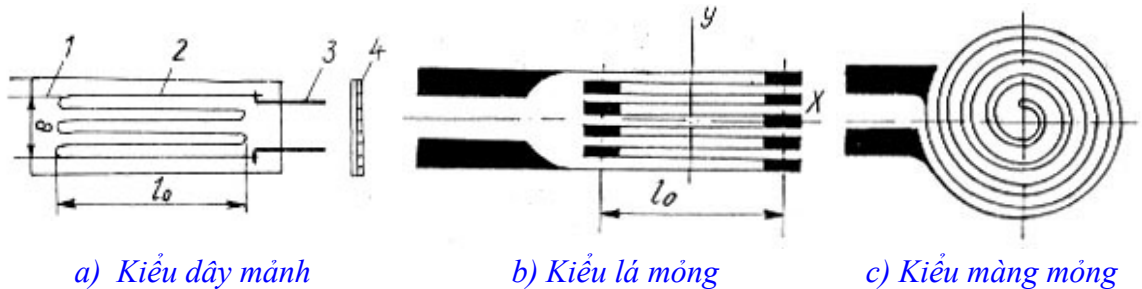
thẳng (2-3mm) hoặc di chuyển góc. Ngoài ra còn ứng dụng trong các dụng cụ đo lực, áp suất, gia tốc hoặc các chuyển đổi ngược trong mạch cầu, điện thế kế tự động. Chuyển đổi biến trở có thể dùng để đo các đại lượng biến thiên với tần số không lớn hơn 5Hz.

### 7.2.2. Chuyển đổi điện trở lực căng.

**a) Cấu tạo và nguyên lý làm việc:** dựa trên hiệu ứng tenzô: khi dây dẫn chịu biến dạng thì điện trở của nó thay đổi, còn gọi là chuyển đổi điện trở tenzô.

Gồm có 3 loại chính: chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh, chuyển đổi điện trở lực căng lá mỏng và chuyển đổi điện trở lực căng màng mỏng.

Phổ biến nhất là chuyển đổi điện trở lực căng dây mảnh, có cấu tạo như hình 7.7a: trên tấm giấy mỏng bền 1 dán một sợi dây điện trở 2 (hình răng lược có đường kính từ 0,02-0,03mm; chế tạo bằng constantan, nicrom, hợp kim platin-iridi...). Hai đầu dây được hàn với lá đồng 3 dùng để nối với mạch đo. Phía trên được dán tấm giấy mỏng để cố định dây. Chiều dài  $l_0$  là chiều dài tác dụng của chuyển đổi.



Hình 7.7. Cấu tạo của chuyển đổi điện trở lực căng.

Chuyển đổi được dán lên đối tượng đo, khi đối tượng đo bị biến dạng sẽ làm cho chuyển đổi tenzô biến dạng theo một lượng tương đối  $\varepsilon_l = \Delta l / l$  và điện trở của nó thay đổi một lượng tương đối là  $\varepsilon_R = \Delta R / R$  với:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = f(\varepsilon_l)$$

có được phương trình biến đổi tổng quát của biến trở lực căng là:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_l \cdot (1 + 2K_p + m) = K \cdot \varepsilon_l$$

với:  $K_p$ : hệ số Poisson, đối với kim loại  $K_p = 0,24-0,4$ .

$m$ : hệ số tỉ lệ,  $m = \varepsilon_p / \varepsilon_l$ , với  $\varepsilon_p = \Delta \rho / \rho$  là biến thiên tương đối của điện trở suất đặc trưng cho sự thay đổi tính chất vật lý của chuyển đổi.

Độ nhạy của chuyển đổi là:  $K = 1 + 2K_p + m$ ;  $K = 0,5-8$  đối với kim loại.

Để giảm kích thước của chuyển đổi, tăng điện trở tác dụng cũng như có thể chế tạo được chuyển đổi với hình dạng phức tạp hơn người ta chế tạo chuyển đổi kiểu màng mỏng và lá mỏng:

**Chuyển đổi lực căng kiểu lá mỏng:** được chế tạo từ một lá kim loại mỏng với chiều dày 0,004 ÷ 0,012mm. Nhờ phương pháp quang khắc hình dáng của chuyển đổi được tạo thành khác nhau như hình 7.7b.

**Chuyển đổi lực căng kiểu màng mỏng:** được chế tạo bằng cách cho bốc hơi kim loại lên một khung với hình dáng định trước.

Ưu điểm của hai kiểu chuyển đổi trên là điện trở lớn, tăng được độ nhạy, kích



thước giảm.

Ngoài ra các vật liệu bán dẫn như silic, germani, asen... cũng được dùng để chế tạo các chuyển đổi điện trở lực căng. Ưu điểm của loại này là hệ số nhạy lớn ( $K = 200-800$ ), kích thước nhỏ, nhiệt độ làm việc từ  $-250-250^{\circ}\text{C}$ . Nhược điểm của chúng là độ bền cơ học kém.

**b) Các đặc tính cơ bản:**

- Yêu cầu đối với vật liệu chế tạo chuyển đổi: có độ nhạy lớn, dây điện trở có hệ số nhiệt  $\alpha$  nhỏ, điện trở suất  $\rho$  lớn, sự thay đổi điện trở tương đối không vượt quá 1% khi đối tượng đo chịu ứng suất lớn nhất (độ biến dạng tương đối  $\varepsilon_1$  trong giới hạn đàn hồi không lớn hơn  $2,5 \cdot 10^{-3}$  do đó  $\varepsilon_R$  vào khoảng 1,25-10).

- Độ nhạy của chuyển đổi dây mảnh khác với độ nhạy của vật liệu chế tạo ban đầu do có thêm phần bị uốn cong của chuyển đổi không chịu biến dạng theo hướng cần đo, điều này làm giảm độ nhạy cỡ 25-30%. Mặt khác các phần uốn còn gây ra sai số trong quá trình đo. Muốn tăng độ nhạy phải tăng chiều dài tác dụng  $l_0$ .

- Hệ số nhiệt của chuyển đổi thường khác với hệ số nhiệt của đối tượng đo nên khi nhiệt độ thay đổi gây biến dạng phụ trong quá trình đo.

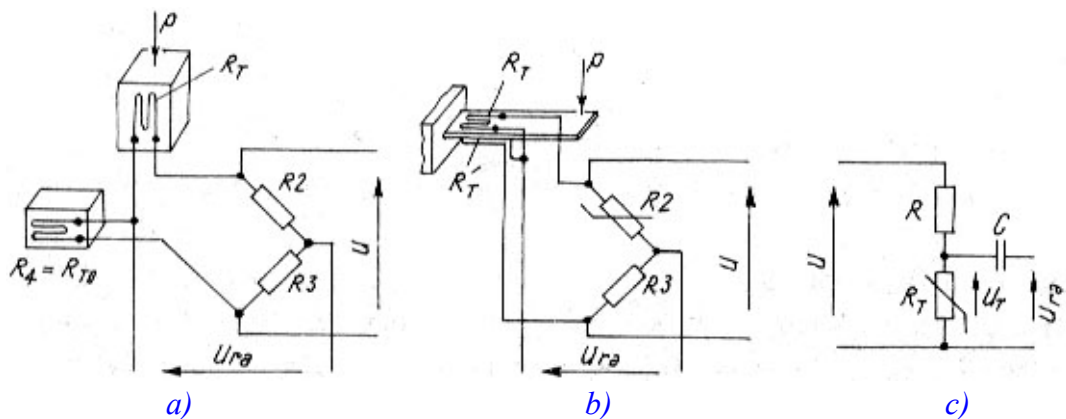
- Sai số của thiết bị đo dùng chuyển đổi tenzô chủ yếu do độ chính xác khắc độ của các chuyển đổi. Thường chúng được chế tạo hàng loạt và khắc chuẩn sơ bộ nên khi sử dụng phải khắc chuẩn trực tiếp chuyển đổi với mạch đo, khi đó sai số có thể giảm đến 0,2-0,5% khi đo biến dạng tĩnh và 1-1,5% khi đo biến dạng động.

- Ngoài ra còn có sai số do biến dạng dư của keo dán khi sấy khô, sự giãn nở khác nhau giữa chuyển đổi và chi tiết dán...

- Khi sử dụng phải có công nghệ dán chuẩn và chọn vị trí chính xác.

**c) Mạch đo:** các chuyển đổi điện trở lực căng được dán lên đối tượng đo bằng các loại keo dán đặc biệt (như axêtonxenlulôit...). Thông thường chuyển đổi điện trở lực căng được dùng với mạch cầu một chiều hoặc xoay chiều và mạch phân áp.

- *Bù nhiệt độ:* ngoài sự thay đổi điện trở do đối tượng đo gây ra thì khi nhiệt độ thay đổi cũng làm cho điện trở của chuyển đổi bị thay đổi. Nếu mạch cầu chỉ có một nhánh hoạt động (tức là chỉ có một chuyển đổi mắc vào một nhánh của cầu) cần phải thực hiện bù nhiệt độ. Thường sử dụng thêm một chuyển đổi cùng loại được dán thích hợp để thực hiện bù nhiệt độ.



Hình 7.8. Mạch chuyển đổi điện trở lực căng bằng mạch cầu đo.

- *Mạch cầu một nhánh hoạt động và một nhánh không hoạt động:* sử dụng thêm một chuyển đổi dán lên một chi tiết không làm việc nhưng có cùng vật liệu và đặt

trong cùng một nhiệt độ với đối tượng đo, như hình 7.8a:

Khi cầu không làm việc (ở trạng thái cân bằng):

$$\frac{R_T}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = K$$

Khi đối tượng đo làm việc  $R_T$  thay đổi thành  $\varepsilon_R \cdot R_T$ , cầu mất cân bằng và có điện áp ra:

$$U_{ra} = U \cdot \frac{(1 + \varepsilon_R)R_T R_3 - R_2 R_4}{[(1 + \varepsilon_R)R_T + R_4] \cdot (R_2 + R_3)}$$

Nếu  $R_2 = R_3$ ;  $R_4 = R_{T0}$  (với  $R_{T0}$  là điện trở của chuyển đổi tenzô dán lên chi tiết không biến dạng) thì điện áp ra là:

$$U_{ra} \approx 0,25 \cdot U \cdot \varepsilon_R.$$

- *Mạch cầu có hai nhánh hoạt động*: có hai nhánh cầu được dán chuyển đổi tenzô và cùng hoạt động như hình 7.8b. Điện áp ra của mạch cầu tăng gấp 2 lần và bù nhiệt độ tốt hơn, sai số nhiệt độ cũng bị loại trừ.

- *Cầu 4 nhánh hoạt động*: điện áp ra của mạch cầu tăng 4 lần, sai số nhiệt độ bị loại trừ.

- *Mạch phân áp*: như hình 7.8c, thường được ứng dụng để đo biến dạng động với tần số lớn hơn 1000Hz (ví dụ biến dạng do va đập), tụ C trong mạch có tác dụng lọc thành phần một chiều.

Điện áp rơi trên tenzô:

$$U_T = \frac{U}{R_T + R} \cdot R_T$$

Khi có biến dạng với tần số  $\omega$ :

$$U_T = \frac{U}{R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t) + R} \cdot [R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t)]$$

với  $\varepsilon_R \ll 1 \Rightarrow [R_T(1 + \varepsilon_R \sin \omega t) + R] \approx (R_T + R)$  có:

$$U_T \approx U \cdot \left[ \frac{R_T}{R_T + R} + \frac{R_T(\varepsilon_R \sin \omega t)}{R_T + R} \right]$$

Điện áp ra chỉ lấy thành phần xoay chiều:

$$U_T \approx U \cdot \frac{R_T \varepsilon_R}{R_T + R} \sin \omega t$$

**d) Ứng dụng:** các chuyển đổi lực căng được dùng để đo lực, áp suất, mômen quay, gia tốc và các đại lượng khác nếu có thể biến đổi thành biến dạng đàn hồi với ứng suất cực tiểu lớn hơn hoặc bằng độ nhạy của chuyển đổi (thường cỡ  $1 \cdot 10^7 \div 2 \cdot 10^7$  N). Chuyển đổi lực căng có thể đo các đại lượng biến thiên tới vài chục kHz.

### 7.3. Các chuyển đổi điện từ.

- **Định nghĩa:** Là nhóm các chuyển đổi làm việc dựa trên các quy luật điện từ. Đại lượng vật lý không điện cần đo làm thay đổi các đại lượng từ của chuyển đổi như: điện cảm, hồ cảm, từ thông, độ từ thẩm...

- **Phân loại:** chuyển đổi điện từ được phân thành 3 loại chủ yếu sau:

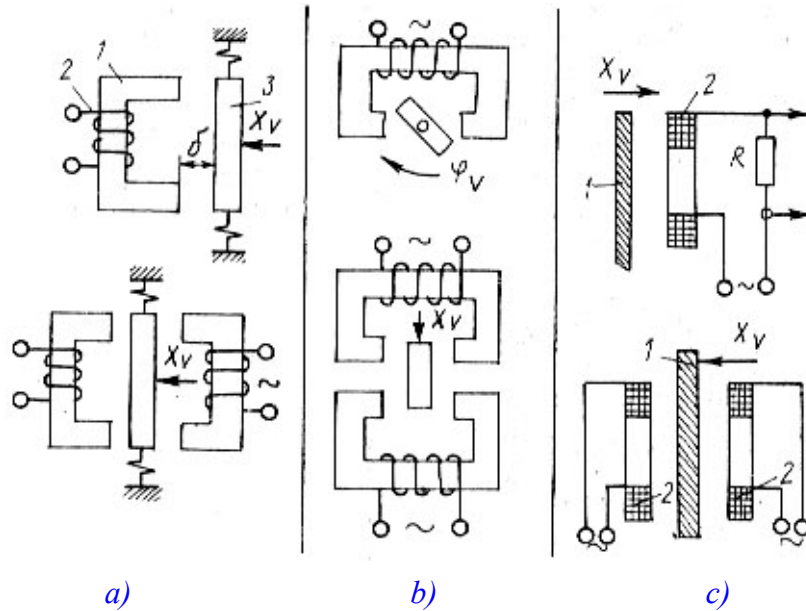
- Chuyển đổi điện cảm và hồ cảm.

- Chuyển đổi cảm ứng.
- Chuyển đổi áp từ.

### 7.3.1. Chuyển đổi điện cảm và hồ cảm.

#### a) Chuyển đổi điện cảm:

**Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** chuyển đổi điện cảm là một cuộn dây quấn trên lõi thép có khe hở không khí như hình 7.9:



Hình 7.9. Một số dạng của chuyển đổi điện cảm.

Dưới tác động của đại lượng đo  $X_v$  có thể tác động lên chuyển đổi theo các cách sau:

- Làm cho phần ứng 3 di chuyển, khe hở không khí  $\delta$  thay đổi làm thay đổi từ trở của lõi thép do đó điện cảm và tổng trở của chuyển đổi cũng thay đổi theo (hình 7.9a).
- Làm cho tiết diện khe hở không khí thay đổi dẫn đến thay đổi điện cảm của chuyển đổi (hình 7.9b).
- Làm cho phần ứng 1 di chuyển dẫn đến thay đổi tổn hao dòng điện xoáy làm cho điện cảm của chuyển đổi thay đổi (hình 7.9c).

- Điện cảm của chuyển đổi: 
$$L = \frac{W^2}{R_\delta} = W^2 \frac{\mu_0 s}{\delta}$$

(bỏ qua điện trở thuần của cuộn dây và từ trở của lõi thép)

với:  $W$  là số vòng của cuộn dây

$R_\delta = \mu_0 s / \delta$  là từ trở của khe hở không khí;  $\delta$ : chiều dài khe hở không khí

$\mu_0$ : độ từ thẩm của không khí;  $s$ : tiết diện thực của khe hở không khí

Lượng thay đổi của điện cảm khi có  $X_v$  tác động là (với  $W = \text{const}$ ):

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

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

với:  $s_0, \delta_0$ : tiết diện và khe hở ban đầu (khi chưa có đại lượng đo  $X_v$  tác động).

- *Tổng trở của chuyển đổi:*  $Z = \omega L = \omega W^2 \frac{\mu_0 s}{\delta}$  : là một hàm tuyến tính với tiết diện khe hở không khí  $s$  và là hàm phi tuyến (hypebol) với chiều dài khe hở không khí  $\delta$ .

Lượng thay đổi của tổng trở  $Z$  khi có  $X_v$  tác động là:

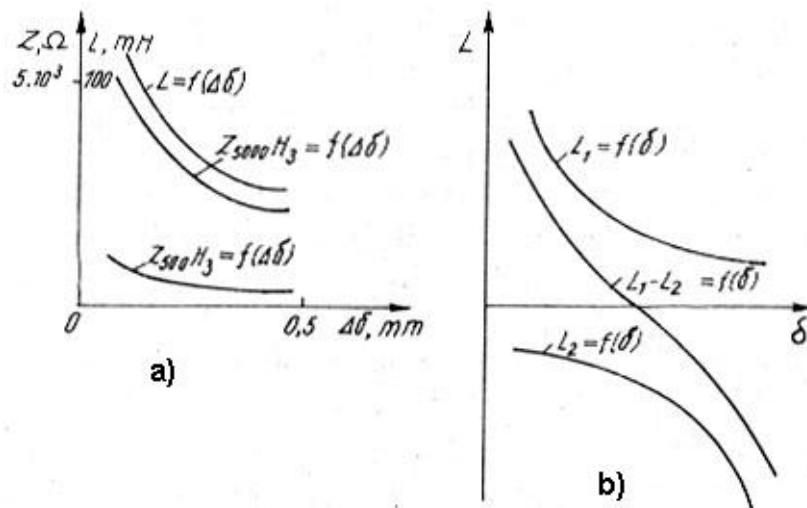
$$\Delta Z = \omega \Delta L = \omega \left[ W^2 \cdot \frac{\mu_0}{\delta_0} \Delta s - W^2 \cdot \frac{\mu_0 s_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta \right]$$

**Các đặc tính cơ bản:**

- *Độ nhạy của chuyển đổi khi tiết diện khe hở không khí  $s$  thay đổi* (độ dài của khe hở không khí  $\delta = \text{const}$ ):

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

với  $L_0 = W^2 \frac{\mu_0 s_0}{\delta_0}$  là giá trị điện cảm ban đầu của chuyển đổi (khi  $X_v$  chưa tác động).



Hình 7.10. Đặc tính của chuyển đổi điện cảm khi khe hở không khí thay đổi:

a) khi mắc theo kiểu đơn ; b) khi mắc theo kiểu vi sai

- *Độ nhạy của chuyển đổi khi khe hở không khí  $\delta$  thay đổi* (tiết diện của khe hở không khí  $s = \text{const}$ ):

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

như vậy độ nhạy này phụ thuộc vào tỉ số  $\Delta \delta / \delta_0$  tức là phụ thuộc sự thay đổi của tiết diện khe hở không khí  $\Delta \delta$  mà không phụ thuộc vào diện tích của khe hở không khí. Với chuyển đổi điện cảm dạng đơn thì  $\Delta \delta / \delta_0 \leq 0,2$ ; với chuyển đổi điện cảm mắc kiểu vi sai thì  $\Delta \delta / \delta_0 \leq 0,4$  đảm bảo độ phi tuyến của chuyển đổi dưới 1%.

Đặc tính của chuyển đổi điện cảm khi khe hở không khí thay đổi thường phi tuyến và tỉ lệ thuận với tần số của nguồn kích thích như hình 7.10a.

Để tăng độ nhạy và độ tuyến tính của chuyển đổi điện cảm người ta thường mắc chuyển đổi này theo kiểu vi sai có đặc tính như hình 7.10b.

**b) Chuyển đổi hồ cảm (chuyển đổi biến áp):**

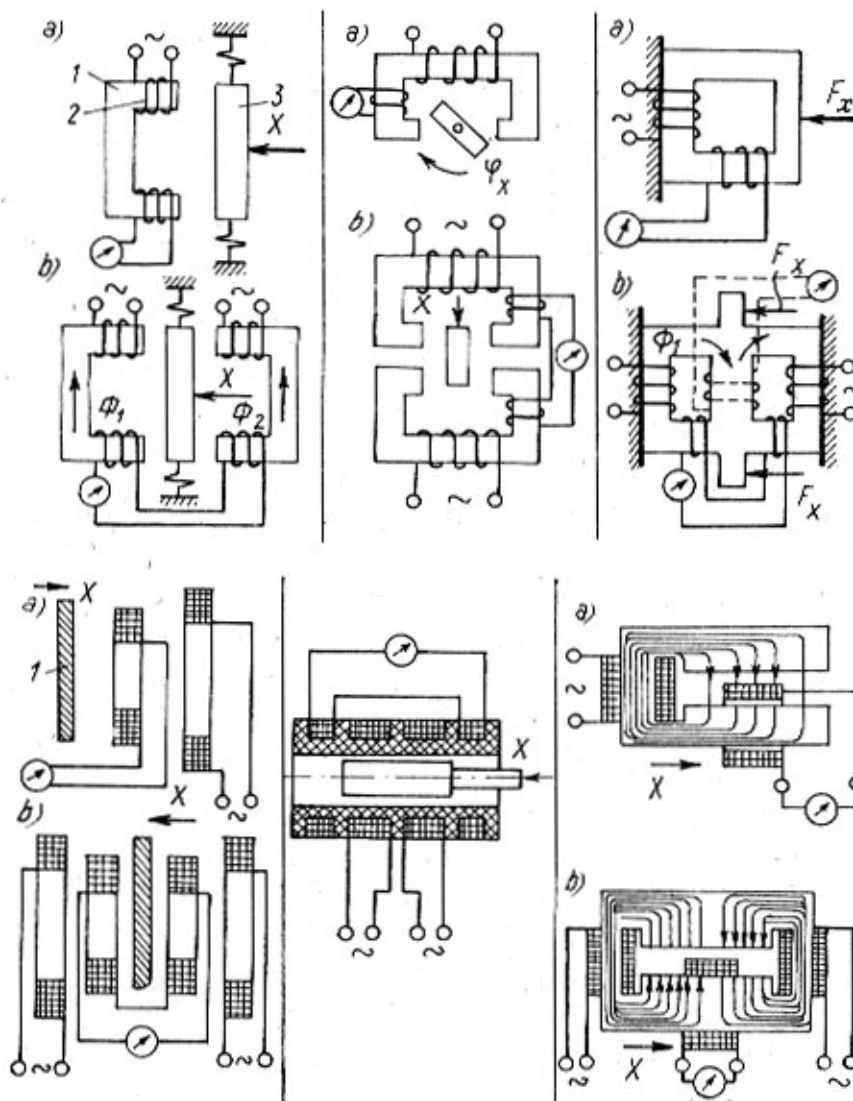
**Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** như hình 7.11a,b: có cấu tạo giống với chuyển đổi điện cảm, chỉ khác là có thêm một cuộn dây đo  $W_2$ .

Khi chiều dài hoặc tiết diện của khe hở không khí thay đổi sẽ làm cho từ thông của mạch từ thay đổi và xuất hiện sức điện động cảm ứng  $e$ :

$$e = -W_2 \cdot \frac{d\Phi_t}{dt}$$

$$\text{với } \Phi_t = \frac{i \cdot W_1}{R_\delta} = i \cdot W_1 \cdot \frac{\mu_0 S}{\delta} = f(i)$$

$$\Rightarrow e = -W_2 \cdot \frac{W_1 \mu_0 S}{\delta} \cdot \frac{di}{dt}$$



**Hình 7.11. Các chuyển đổi hồ cảm:**  
a) chuyển đổi đơn; b) chuyển đổi kiểu vi sai

Khi làm việc với dòng điện xoay chiều  $i = I_m \cdot \sin \omega t$  thì giá trị sức điện động trong cuộn dây đo  $W_2$  là:

$$e = - \left[ \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_0 S}{\delta} \cdot \omega \cdot I_m \right] \cdot \cos \omega t$$

có giá trị hiệu dụng là:

$$E = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_0 s}{\delta} \cdot \omega \cdot I_m = K \cdot \frac{s}{\delta}$$

là phương trình của chuyển đổi hồ cảm, với hệ số K là hằng số phụ thuộc cấu tạo và nguồn cung cấp của chuyển đổi.

Khi khe hở hoặc tiết diện của khe hở không khí thay đổi ta có lượng thay đổi của điện áp ra là:

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

$$\Rightarrow \Delta E = \frac{K}{\delta_0} \cdot \Delta s - \frac{K \cdot s}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \cdot \Delta \delta$$

#### **Các đặc tính cơ bản:**

- *Độ nhạy của chuyển đổi với sự thay đổi chiều dài của khe hở không khí  $\delta$  (khi tiết diện khe hở không khí không đổi  $s = \text{const}$ ) là:*

$$S_\delta = \frac{\Delta E}{\Delta \delta} = \frac{E_0}{\delta_0 \cdot [1 + (\Delta \delta / \delta_0)]^2} = f(\Delta \delta)$$

- *Độ nhạy của chuyển đổi với sự thay đổi của tiết diện khe hở không khí  $s$  (khi chiều dài khe hở không khí không đổi  $\delta = \text{const}$ ) là:*

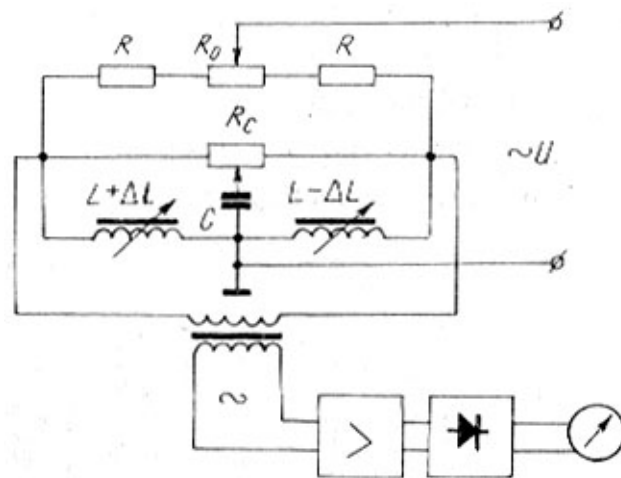
$$S_s = \frac{\Delta E}{\Delta s} = \frac{E_0}{s_0} = \text{const}$$

với  $E_0 = \frac{K \cdot s_0}{\delta_0}$  là sức điện động hồ cảm ban đầu trong cuộn dây đo  $W_2$  khi đại lượng đo  $X_v$  chưa tác động lên chuyển đổi.

Độ nhạy của chuyển đổi hồ cảm tỉ lệ thuận với tần số của nguồn cung cấp.

**c) Mạch đo:** thường sử dụng mạch cầu không cân bằng với nguồn cung cấp xoay chiều có một nhánh hoạt động (chuyển đổi đơn) hoặc hai nhánh hoạt động (chuyển đổi mắc kiểu vi sai).

Ví dụ xét mạch cầu với chuyển đổi mắc kiểu vi sai như hình 7.12:



*Hình 7.12. Mạch cầu với chuyển đổi điện cảm mắc kiểu vi sai*

Trong đó điện trở  $R_0$  dùng để cân bằng thành phần thực (biên độ) và  $R_0 \ll R$ . Chỉ thị là dụng cụ từ điện.



Đối với các chuyển đổi hồ cảm thường dùng phương pháp đo điện áp xoay chiều. Khi cần xác định dấu của đại lượng đo có thể dùng chỉnh lưu nhạy pha. Công suất ra của chuyển đổi hồ cảm thường lớn (cỡ vài chục oát) nên trong nhiều trường hợp không cần khuếch đại.

Sai số của mạch phụ thuộc nhiều vào sai số của nguồn cung cấp, đặc biệt đối với mạch cầu không cân bằng. Ngoài ra sai số có thể gặp phải khi nhiệt độ môi trường thay đổi làm cho độ từ thẩm của mạch từ và điện trở thực của cuộn dây thay đổi. Tuy nhiên khi mắc theo kiểu vi sai sẽ khử được các sai số trên.

**d) Ứng dụng:** chuyển đổi điện cảm và hồ cảm có thể đo các đại lượng không điện khác nhau tùy thuộc vào cấu trúc của từng loại chuyển đổi cụ thể.

- Đo di chuyển từ vài chục  $\mu\text{m}$  đến hàng chục cm
- Đo chiều dày lớp phủ, đo độ bóng của chi tiết gia công...
- Đo lực từ cỡ  $0,1\text{N} \div$  cỡ  $10^2\text{N}$
- Đo áp suất với dải đo từ  $10^{-3}\text{N/m}^2 \div$  cỡ  $10^4\text{N/m}^2$
- Đo gia tốc từ  $10^{-2}\text{g}$  đến cỡ  $10^2\text{g}$ .

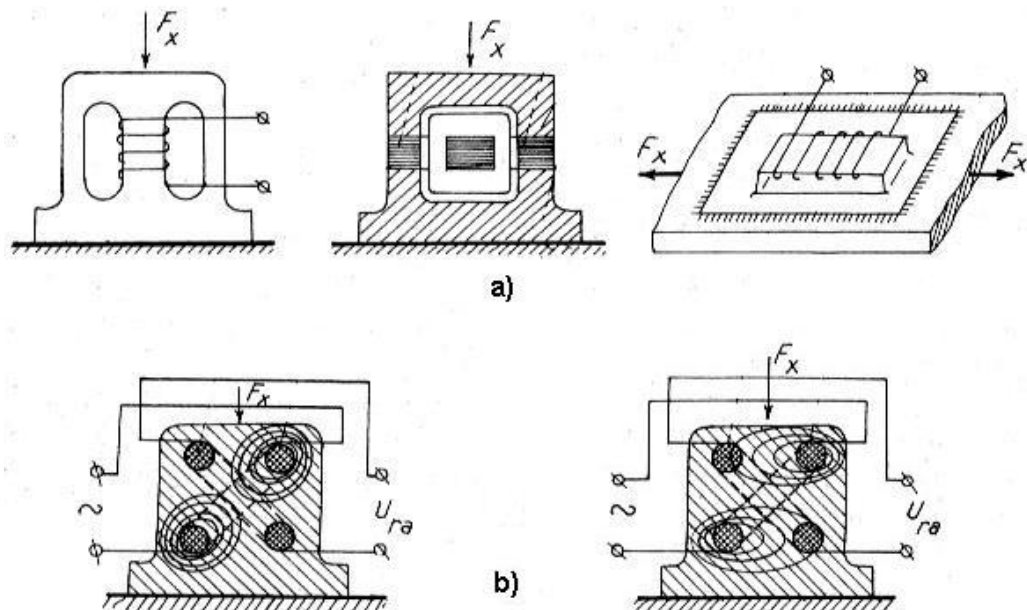
Đặc tính động của chuyển đổi được xác định chủ yếu phụ thuộc vào hệ thống cơ của phần động. Tần số làm việc rất rộng tùy theo cấu trúc của phần động có thể đo được các đại lượng biến thiên từ  $500\text{Hz} \div$  vài kHz.

### 7.3.3. Chuyển đổi áp từ:

**a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** chuyển đổi áp từ là một dạng của chuyển đổi điện cảm và hồ cảm. Tuy nhiên khác với hai loại trên, mạch từ của chuyển đổi áp từ là mạch từ kín. Nguyên lý làm việc của nó dựa trên hiệu ứng áp từ:

Hình 7.13 là cấu tạo của một số dạng khác nhau của chuyển đổi áp từ:

- Chuyển đổi áp từ kiểu điện cảm: hình 7.13a
- Chuyển đổi áp từ kiểu hồ cảm: hình 7.13b



Hình 7.13. Các dạng của chuyển đổi áp từ:  
a) kiểu điện cảm      b) kiểu hồ cảm

Dưới tác dụng của biến dạng đàn hồi cơ học làm cho lõi thép biến dạng dẫn đến các tính chất của vật liệu sắt từ bị thay đổi, cụ thể là độ từ thẩm  $\mu$  và từ trở của mạch

từ  $R_\mu$  thay đổi, làm cho điện cảm  $L$  hoặc hồ cảm  $M$  thay đổi theo.

Cụ thể, nếu bỏ qua tổn hao dòng xoáy và từ trễ thì điện cảm của chuyển đổi áp từ là:

$$L = \frac{W^2}{R} = W^2 \cdot \frac{\mu \cdot s}{l}$$

với:  $W$ : số vòng của cuộn dây

$R$ : từ trở của mạch từ ;  $\mu$ : độ từ thẩm của lõi thép

$l, s$ : chiều dài và tiết diện của mạch từ.

Suy ra tổng trở của chuyển đổi là:

$$Z = \omega \cdot L = \frac{\omega \cdot W^2 \mu \cdot s}{l}$$

Với  $W = \text{const}$  thì khi có tác động của đại lượng đo gây nên biến dạng đàn hồi cơ học sẽ làm cho điện cảm của chuyển đổi thay đổi là:

$$\Delta L = L_0 \cdot \left\{ \frac{\Delta \mu}{\mu} + \frac{\Delta s}{s} - \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{l}{[1 + (\Delta l / l)]^2} \right\}$$

### **b) Các đặc tính cơ bản:**

- *Độ nhạy của chuyển đổi áp từ đối với điện cảm  $L$ :*

$$S_L = \frac{\Delta L / L}{\Delta l / l} = S_\mu - (K_p + 1)$$

với:  $S_\mu = \frac{\Delta \mu / \mu}{\Delta l / l}$ : là độ nhạy áp từ, đặc trưng của lõi vật liệu.

$K_p = -\frac{\Delta s / s}{\Delta l / l}$ : là hệ số poisson

Thường  $S_\mu \gg (K_p + 1)$  nên có thể coi độ nhạy tương đối của chuyển đổi bằng độ nhạy áp từ:

$$S_L = S_\mu$$

Độ nhạy thực của chuyển đổi khi tính đến điện trở cuộn dây, tổn hao trên lõi thép sẽ nhỏ hơn so với độ nhạy áp từ.

- *Độ nhạy của chuyển đổi áp từ đối với tổng trở  $Z$ :*

$$S_Z = \frac{\Delta Z / Z}{\Delta l / l} = S_L = S_\mu$$

Thực tế thường dùng khái niệm độ nhạy tương đối  $S_\sigma$  đối với ứng suất cơ học  $\sigma$ :

$$S_\sigma = \frac{\Delta Z / Z}{\sigma} = \frac{\Delta Z / Z}{E \cdot (\Delta l / l)} = \frac{S_Z}{E}$$

với  $E$  là mô đun đàn hồi.

- *Sai số:* sai số của chuyển đổi áp từ có thể do các nguyên nhân sau:

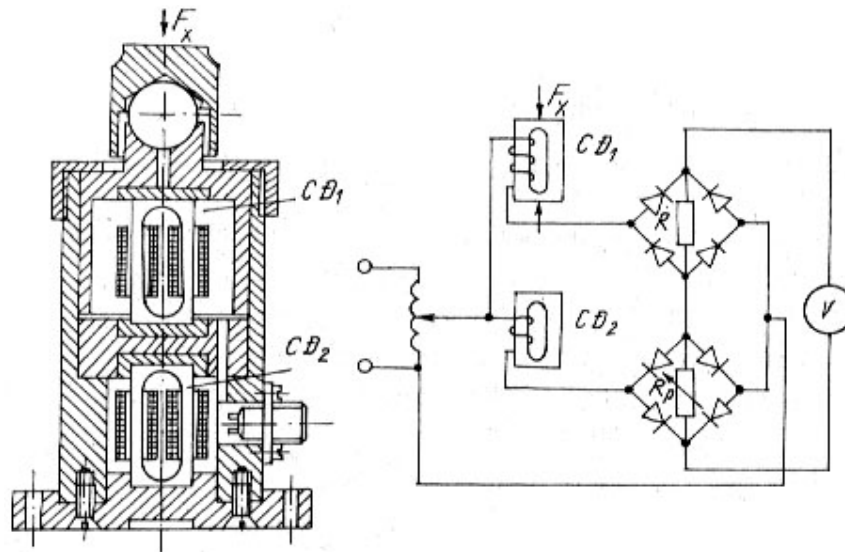
- Sai số hồi sai do hiện tượng áp từ trễ không trùng lặp giữa trạng thái từ khi tăng tải và khi giảm tải. Do sự phân tán các giá trị  $\Delta \mu / \mu = f(F)$  ở chu kỳ đầu. Sai số này lớn nhất ở các chu kỳ đầu tuy nhiên khi lặp lại chu kỳ tăng và giảm tải nhiều lần thì sai số giảm xuống còn cỡ 1%.
- Sai số gây ra bởi sự dao động của dòng điện từ hóa làm thay đổi từ thẩm ban đầu và thay đổi độ lớn của hiệu ứng áp từ. Giảm sai số này bằng cách chọn giá trị dòng từ hóa để cho lõi thép làm việc với cường độ từ trường tương ứng với

độ từ thẩm lớn nhất. Khi đó sai số sẽ nhỏ hơn  $0,3\% \div 0,4\%$  khi điện áp nguồn nuôi dao động 1%.

- Sai số gây ra bởi sự dao động nhiệt độ của môi trường: khi nhiệt độ thay đổi sẽ làm cho điện trở của cuộn dây, độ từ thẩm ban đầu và hiệu ứng áp từ của chuyển đổi bị thay đổi. Sai số do nhiệt độ từ  $(0,5\% \div 1,5\%)/10^0\text{C}$ .

c) **Mạch đo:** mạch đo của chuyển đổi áp từ tương tự như mạch đo của chuyển đổi điện cảm và hồ cảm. Đặc tính động của chuyển đổi áp từ được quyết định chủ yếu ở mạch đo và có thể làm việc với các đại lượng biến thiên đến hàng chục kHz.

Ví dụ về cấu tạo của chuyển đổi áp từ kiểu vi sai và mạch đo của nó như hình 7.14:



Hình 7.14. Cấu tạo của chuyển đổi áp từ kiểu vi sai và mạch đo của nó

d) **Ứng dụng:** chuyển đổi áp từ thường dùng để đo lực có giá trị lớn ( $10^5 \div 10^6\text{N}$ ) và đo áp suất trong điều kiện khó khăn.

Nhược điểm của chuyển đổi áp từ là độ chính xác thấp (cỡ  $3\% \div 5\%$ ) nhưng có ưu điểm là cấu trúc đơn giản, độ tin cậy cao nên thường được sử dụng nhiều ở ngoài hiện trường để đo áp suất, mômen xoắn trong các máy khoan đất, đo lực cắt trong quá trình gia công kim loại...

#### 7.3.4. Chuyển đổi cảm ứng.

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** gồm có nam châm vĩnh cửu hoặc nam châm điện và cuộn dây, có nhiều loại khác nhau với cấu tạo như hình 7.15.

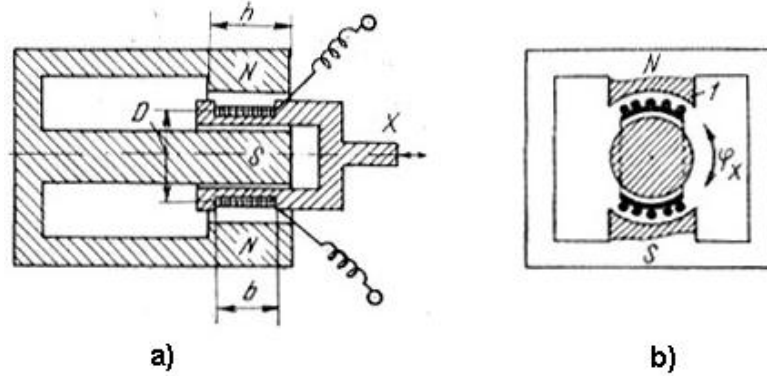
Khi đại lượng đo tác động lên chuyển đổi sẽ làm cho cuộn dây di chuyển dẫn đến từ thông bị thay đổi hoặc vị trí lõi thép thay đổi làm cho từ trở của mạch từ thay đổi. Các loại chuyển đổi cảm ứng khác nhau bao gồm: chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển (di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc), chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ di chuyển (di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc), chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ bị biến dạng.

- *Chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển:*

Đối với loại chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển thẳng (như hình 7.15a) thì khi cuộn dây di chuyển thì từ thông  $\Phi$  móc vòng qua cuộn dây thay đổi sẽ sinh ra sức điện động cảm ứng  $E$  được tính:

$$E = -W \cdot \frac{d\Phi}{dt} = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

với: X: độ di chuyển thẳng của cuộn dây  
 $S = -B \cdot \pi \cdot D \cdot W$  là độ nhạy của chuyển đổi.  
 B: độ từ cảm của khe hở không khí  
 D: đường kính trung bình của cuộn dây  
 W: số vòng của cuộn dây



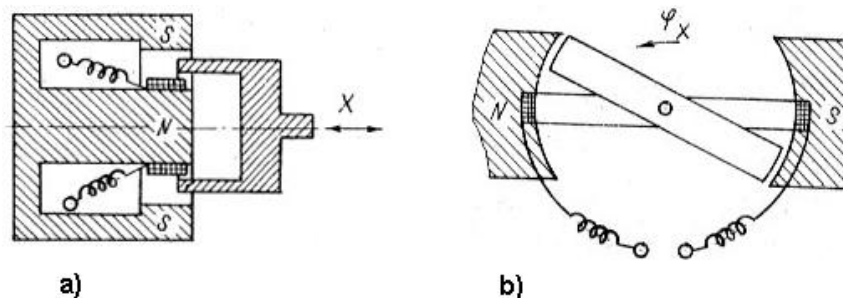
Hình 7.15. Chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển:  
 a) cuộn dây di chuyển thẳng      b) cuộn dây di chuyển góc

Đối với loại chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây quay một góc  $\alpha$  (như hình 7.15b) thì:

$$E = -B_\alpha \cdot l \cdot \frac{dX}{dt} = -B_\alpha \cdot s_\alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

với:  $\alpha$ : độ di chuyển góc của cuộn dây  
 $B_\alpha$ : cảm ứng từ của khe hở không khí  
 $l = \pi \cdot D \cdot W$ : tổng chiều dài thực của cuộn dây  
 $s_\alpha = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot W$ : tổng tiết diện thực của cuộn dây

- Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ di chuyển: di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc (hình 7.16a,b):



Hình 7.16. Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ di chuyển:  
 a) di chuyển thẳng      b) di chuyển góc

Đối với trường hợp lõi sắt di chuyển thẳng thì sức điện động cảm ứng là:

$$E = -W \frac{d\Phi}{dt} = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

với: X: độ di chuyển thẳng của lõi thép

$$S = \frac{k.W.F_M}{R_{M0}} : \text{độ nhạy của chuyển đổi}$$

$k$ : hệ số phụ thuộc vào cấu trúc của chuyển đổi

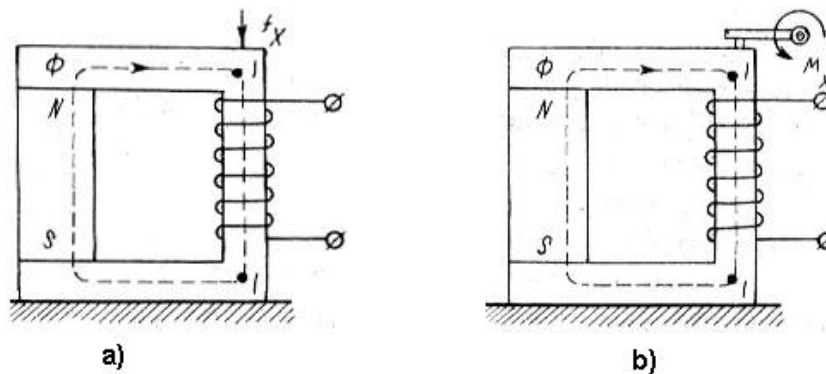
$F_M$ : sức từ động của nam châm

$R_{M0}$ : từ trở của mạch từ khi chưa có đại lượng đo tác động (khi  $X=0$ )

Đối với trường hợp lõi sắt di chuyển góc quay quanh trục theo qui luật hình sin, tức là khe hở không khí giữa các đầu cực từ thay đổi theo qui luật hình sin thì sức điện động sinh ra là:

$$E = -W \frac{d\Phi}{dt} = -W.\omega.B.s_\alpha.\cos 2\omega t$$

- *Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ bị biến dạng* (dựa trên hiệu ứng áp từ): di chuyển thẳng hoặc di chuyển góc (hình 7.17a,b):



Hình 7.17. Chuyển đổi cảm ứng có lõi sắt từ bị biến dạng (dựa trên hiệu ứng áp từ):

a) biến dạng thẳng

b) biến dạng góc

Đoạn 1-1 của mạch từ chịu lực tác động theo  $f_v$  (hoặc mômen  $M_v$  biến thành lực  $f_v$ ), do hiệu ứng áp từ sẽ làm cho từ trở của đoạn 1-1 thay đổi, do đó từ thông móc vòng qua cuộn dây cũng thay đổi và sinh ra sức điện động cảm ứng  $E$  tỉ lệ với tốc độ thay đổi của lực  $f_v$ :

$$E = S_\mu \frac{dl_{1-1}}{dt} = S'_\mu \cdot \frac{df_v}{dt}$$

với:  $l_{1-1}$ : chiều dài của đoạn mạch từ bị biến dạng (đoạn 1-1)

$S_\mu, S'_\mu$ : độ nhạy tương ứng khi thay đổi  $l$  và khi thay đổi  $f_v$

- *Kết luận chung*: như vậy đối với chuyển đổi cảm ứng thì phương trình biến đổi chung có dạng:

$$E = S \cdot \frac{dX}{dt}$$

với:  $S$ : độ nhạy của chuyển đổi

$X$ : đại lượng vào của chuyển đổi (di chuyển thẳng, di chuyển góc hoặc lực)

Mạch tương đương của chuyển đổi cảm ứng như hình 7.18: trong đó:

$R_L, L$ : điện trở thực và điện cảm thực của cuộn dây

$R_t$ : điện trở thực của tải (ví dụ của cơ cấu chỉ thị nối với chuyển đổi)

Ứng với điều kiện ban đầu thì độ nhạy của chuyển đổi có dạng:

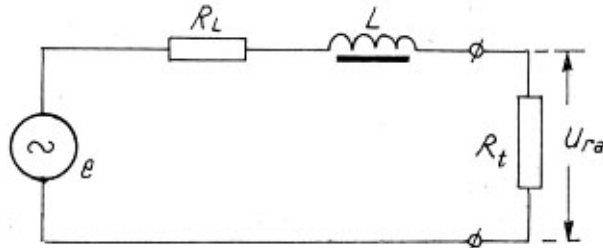
$$S(p) = S_0 \cdot \frac{\tau p}{1 + \tau p}$$



với:  $\tau = \frac{L}{R_L + R_t}$ : hằng số thời gian của mạch

$S_0 = \frac{S \cdot R_t}{L}$ : hệ số tỉ lệ (độ nhạy của chuyển đổi khi  $\omega\tau \gg 1$ )

như vậy chuyển đổi cảm ứng là một khâu quán tính-vi phân.



Hình 7.18. Mạch tương đương của chuyển đổi cảm ứng

**b) Các đặc tính cơ bản:** Từ các dạng cấu trúc khác nhau có nhận xét là: các chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển có đặc tính tuyến tính và độ chính xác cao hơn. Các chuyển đổi có lõi thép di chuyển ngược lại có đặc tính phi tuyến và từ trễ do đó chỉ sử dụng trong các mạch điều tần hoặc điều pha.

Tín hiệu ra của các chuyển đổi cảm ứng có biên độ cao (cỡ  $10^{-1} \div 10^1$  V) nên mạch đo đơn giản và không cần khuếch đại.

Khi sử dụng các chuyển đổi cảm ứng cần phải chú ý đến sai số do tần số thay đổi. Sai số của chuyển đổi với nam châm vĩnh cửu và cuộn dây di chuyển đạt được từ  $0,2\% \div 0,5\%$ .

**c) Mạch đo:** từ các phương trình đặc trưng của chuyển đổi ta cũng thấy rằng sức điện động ở đầu ra của các chuyển đổi cảm ứng tỉ lệ với tốc độ biến thiên của tín hiệu đầu vào, do đó muốn đo tín hiệu thì phải mắc thêm bộ tích phân ở đầu ra của chuyển đổi, khi đó tín hiệu điện áp ra nhận được là:

$$U = \int E dt = \int S \cdot \frac{dX}{dt} = S \cdot X$$

là một đại lượng ổn định tỉ lệ với biến thiên của đại lượng vào (đại lượng cần đo).

#### d) Ứng dụng:

- Các chuyển đổi cảm ứng có cuộn dây di chuyển: dùng đo tốc độ quay và mômen quay, dùng làm tốc độ kế.

- Các chuyển đổi có lõi thép di chuyển: dùng đo di chuyển thẳng, đo di chuyển góc, đo biên độ rung từ  $10^{-2}$ mm ÷ vài mm.

Độ nhạy cao của chuyển đổi cho phép đo được các di chuyển nhỏ, đo tốc độ, gia tốc và các đại lượng khác với dải tần số đến  $15 \div 30$ kHz.

### 7.4. Chuyển đổi tĩnh điện.

Chuyển đổi tĩnh điện được phân thành hai loại là: chuyển đổi áp điện và chuyển đổi điện dung.

#### 7.4.1. Chuyển đổi áp điện (chuyển đổi piezo):

**a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** chuyển đổi áp điện hoạt động dựa trên hiệu ứng áp điện, gồm có hiệu ứng áp điện thuận và hiệu ứng áp điện ngược:

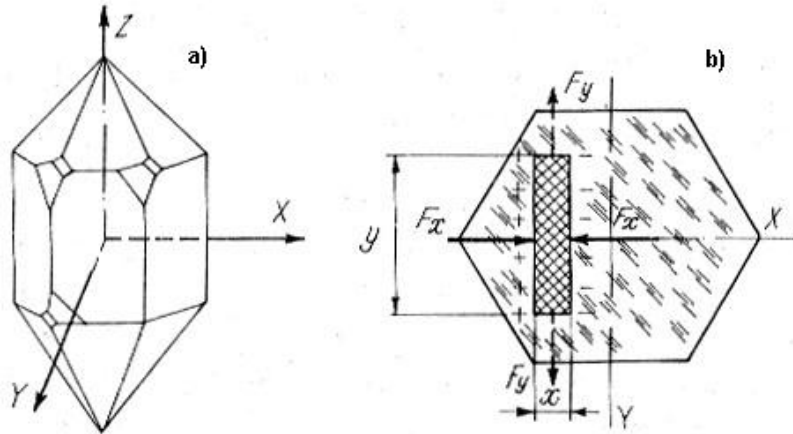
- **Hiệu ứng áp điện thuận:** vật liệu khi chịu tác động của một lực cơ học biến thiên thì trên bề mặt của nó xuất hiện các điện tích, khi lực ngừng tác dụng thì các



điện tích biến mất.

Vật liệu dùng chế tạo các chuyển đổi áp điện là các tinh thể thạch anh ( $\text{SiO}_2$ ), muối BariTitanat ( $\text{BaTiO}_3$ ), muối xêrít, tuamalin...

Hình 7.19 là cấu trúc của một tinh thể thạch anh: gồm có 3 trục chính: trục quang Z, trục điện X và trục cơ Y:



Hình 7.19. a) Cấu trúc của một tinh thể thạch anh: gồm có 3 trục chính: trục quang Z; trục điện X; trục cơ Y  
b) Chuyển đổi áp điện

Nếu cắt tinh thể áp điện thành hình khối có 3 cạnh ứng với 3 trục quang, cơ, điện thì ta được chuyển đổi áp điện như hình 7.19b.

- Lực  $F_x$  tác động theo trục điện X: gây ra hiệu ứng điện dọc với điện tích:

$$q_x = d_1 \cdot F_x$$

với  $d_1$  là hằng số áp điện (còn gọi là môđun áp điện).

Điện tích sinh ra này không phụ thuộc kích thước hình học của chuyển đổi mà chỉ phụ thuộc độ lớn của lực tác động  $F_x$ , dấu của điện tích thay đổi theo dấu của lực  $F_x$ .

- Lực  $F_y$  tác động theo trục cơ Y: gây ra hiệu ứng áp điện ngang với điện tích là:

$$q_y = -d_1 \cdot \frac{y}{x} \cdot F_y$$

với:  $y, x$  là kích thước của chuyển đổi tương ứng theo trục X và Y.

Dấu của điện tích  $q_x$  và  $q_y$  ngược nhau, nghĩa là lực  $F_x$  nén sẽ làm xuất hiện điện tích cùng dấu khi  $F_y$  là lực kéo và ngược lại.

- Lực tác dụng theo trục quang Z: không xảy ra hiệu ứng áp điện.

Trường hợp các cạnh của chuyển đổi không song song với các trục chính hoặc lực tác động không song song với các trục thì điện tích sinh ra sẽ có giá trị nhỏ hơn.

Hình 7.20 là các dạng biến dạng của chuyển đổi áp điện.

- Hiệu ứng áp điện ngược: nếu đặt vật liệu trong từ trường biến thiên thì điện trường tác dụng lên chúng sẽ sinh ra biến dạng cơ học. Cụ thể nếu đặt phần tử điện trong điện trường có cường độ  $E_x$  dọc trục X, nó sẽ bị biến dạng tương đối theo hướng trục này một lượng:

$$\frac{\Delta x}{x} = d_1 E_x$$

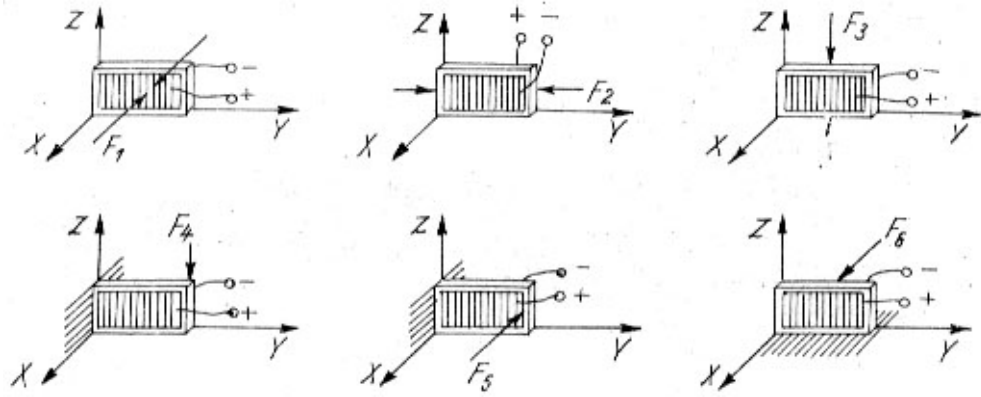
với:  $E_x = U_x \cdot x$ : cường độ điện trường tác động lên chuyển đổi

$U_x$ : điện áp đặt lên phần tử áp điện

Từ đó xác định được các biến dạng cơ học tỉ lệ với cường độ điện trường:

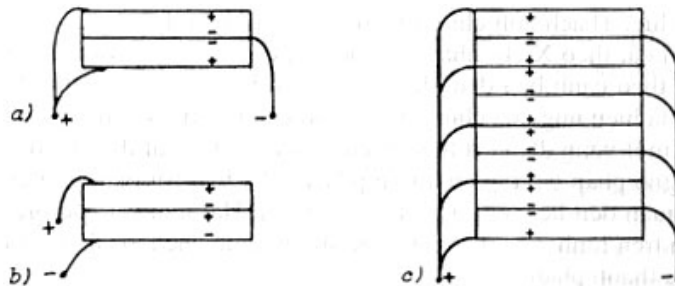
$$\Delta x = d_1 \cdot U_x$$

$$\Delta y = -\frac{y}{x} \cdot d_1 \cdot U_x$$



Hình 7.20. Các dạng biến dạng của chuyển đổi áp điện

Để tăng điện tích đầu ra của chuyển đổi áp điện có thể mắc song song nhiều chuyển đổi như hình 7.21:



Hình 7.21. mắc song song nhiều chuyển đổi áp điện để tăng điện tích đầu ra

**b) Các đặc tính cơ bản:** các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu áp điện thông dụng như sau:

- **Thạch anh:** là vật liệu tự nhiên hoặc tổng hợp với các đặc tính:

- Hằng số áp điện:  $d_1 = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$
- Hằng số điện môi:  $\epsilon = 39,8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
- Ứng suất cho phép:  $\sigma = 70 \div 100 \text{ N/mm}^2$
- Điện trở suất:  $\rho = 10^{16} \Omega/\text{m}$ , phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và các trục.

Ở nhiệt độ  $200^\circ\text{C}$  thì  $d_1$  không phụ thuộc nhiệt độ, từ  $200^\circ\text{C} \div 500^\circ\text{C}$  thì  $d_1$  thay đổi đáng kể, từ nhiệt độ  $537^\circ\text{C}$  thì tính chất áp điện bị phá hủy.

- **Muối BariTitanat ( $\text{BaTiO}_3$ ):** là loại vật liệu tổng hợp với các đặc tính:

- Hằng số áp điện:  $d_1 = 107 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$ , tuy nhiên hằng số áp điện không phải là hằng số mà trong nhiều trường hợp nó bị giảm tới 20% trong 2 năm.
- Hằng số điện môi:  $\epsilon = 1240 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$
- Môđun đàn hồi:  $E = 115 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$
- Các tính chất của BariTitanat phụ thuộc nhiều vào lượng tạp chất, công nghệ chế tạo và điện áp phân cực.

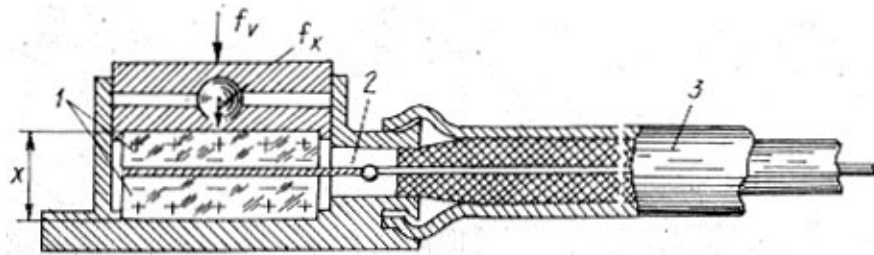
- Do có hiện tượng trễ nên đặc tính  $q = f(F)$  không tuyến tính

Tuy nhiên do có độ bền cơ học cao, giá thành thấp và có thể chế tạo dưới hình dạng bất kỳ nên loại vật liệu này được sử dụng rộng rãi.

Hiện nay đã tìm ra các loại vật liệu áp điện khác như Titanát chì ( $\text{PbTiO}_3$ ), Ziriconat chì ( $\text{PbZnO}_3$ ) có mô đun áp điện lớn hơn  $\text{BaTiO}_3$  gấp tới 4 lần.

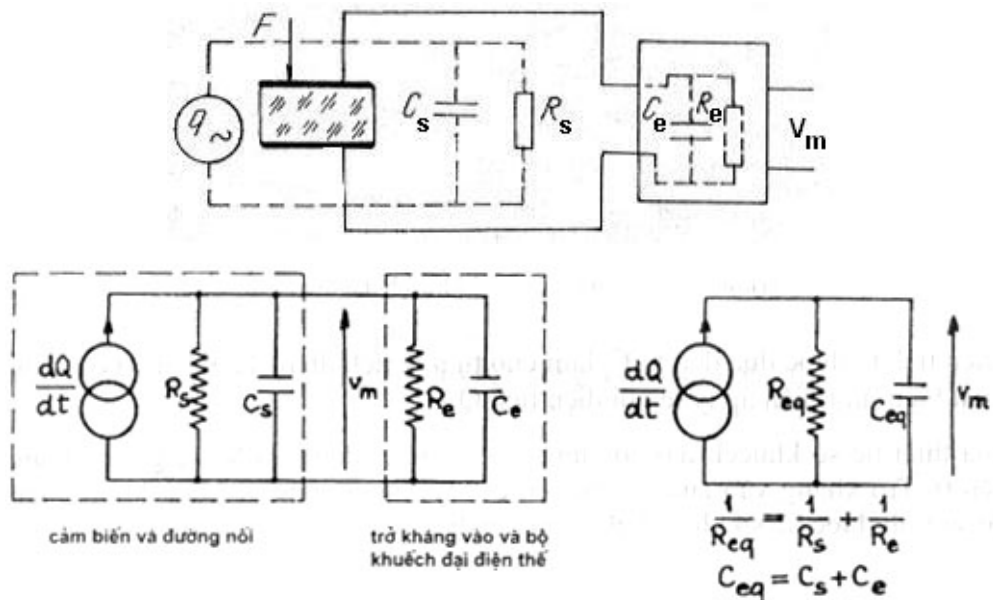
**c) Mạch đo:** công suất ra của chuyển đổi rất nhỏ vì vậy yêu cầu tổng trở vào của mạch đo phải rất lớn (cỡ  $10^8 \div 10^{14} \Omega$ ). Dây nối từ chuyển đổi vào mạch đo cần phải được bọc kim để chống lại điện tích rò.

Hình 7.22 là sơ đồ cấu tạo của một chuyển đổi áp điện dùng đo lực  $F_x$ : hai phần tử áp điện 1 được đặt sao cho điện tích phân cực ngược nhau khi bị va đập. Điện tích ra được lấy trên thanh dẫn 2 ở giữa hai phần tử 1, dây dẫn là cáp bọc kim 3.



Hình 7.22. Sơ đồ cấu tạo của một chuyển đổi áp điện dùng đo lực  $F_x$

Đầu ra của chuyển đổi áp điện được mắc với mạch đo (mạch khuếch đại) có sơ đồ mạch tương đương như hình 7.23. Đầu ra nhận được điện áp  $V_m$  tỉ lệ với lực tác dụng lên chuyển đổi.



Hình 7.23. Mạch đầu ra của chuyển đổi áp điện với mạch đo (mạch khuếch đại) và sơ đồ mạch tương đương

- **Dải tần làm việc của chuyển đổi áp điện:** khi làm việc ở dải tần số cao thì sai số của chuyển đổi áp điện do tần số không đáng kể, tuy nhiên sai số ở dải tần số thấp là đáng kể và tới một giới hạn dưới của tần số (quyết định bởi tham số của chuyển đổi và của cả mạch đo) thì chuyển đổi không còn hoạt động chính xác. Để giảm sai số ở tần số thấp thì phải tăng hằng số thời gian  $\tau$  của mạch đo, với  $\tau$  được

tính:

$$\tau = R_{eq} \cdot C_{eq} = \frac{R_s \cdot R_e}{R_s + R_e} \cdot (C_s + C_e)$$

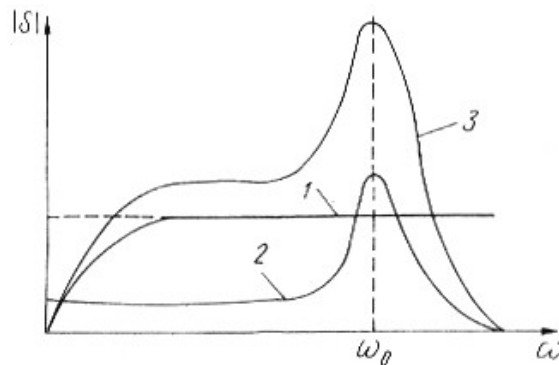
- *Độ nhạy thực của chuyển đổi*: trong thực tế thì lực tác động lên chuyển đổi ngoài lực  $f_x$  (theo phương X) còn có các lực biến dạng cơ học, lực điện, khi đó đặc tính độ nhạy S của chuyển đổi có dạng như hình 7.24. Độ nhạy của chuyển đổi sẽ không còn phụ thuộc vào tần số khi thỏa mãn điều kiện:

$$\omega_0 \gg \omega \gg \frac{1}{\tau}$$

với  $\omega_0 = \sqrt{C_0/m}$  là tần số dao động riêng cơ học và  $\omega$  là tần số dao động của lực tác động lên chuyển đổi. Khi đó độ nhạy cơ điện của chuyển đổi là:

$$S = \frac{d_1}{C} \cdot \frac{sE}{mx} \cdot \frac{1}{\omega_0^2}$$

với m là khối lượng của phần tử áp điện.



Hình 7.24. đặc tính độ nhạy của chuyển đổi áp điện:

1) đặc tính điện      2) đặc tính cơ      3) đặc tính cơ điện

- *Ảnh hưởng của dây cáp nối chuyển đổi*: khi sử dụng chuyển đổi áp điện cần tính đến hiệu ứng của dây cáp nối chuyển đổi vì trong điều kiện bị rung bản thân dây cáp cũng sinh ra điện tích do đó làm sai lệch kết quả đo. Trong thực tế với độ rung ở tần số 60÷80kHz điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích của bản thân phần tử áp điện vì vậy phải sử dụng loại cáp đặc biệt chống rung (ví dụ loại ABK).

Phần tử áp điện và mạch đo cần phải được chống ẩm tốt.

**d) Ứng dụng**: chuyển đổi áp điện được dùng để đo lực biến thiên (đến  $10^3\text{N}$ ), đo áp suất  $10^2(\text{N/mm}^2)$  và gia tốc (tới  $10^3\text{g}$ ) trong dải tần từ 0,5÷100kHz.

Ưu điểm của chuyển đổi loại này là cấu trúc đơn giản, kích thước nhỏ, độ tin cậy cao, có khả năng đo các đại lượng biến thiên nhanh. Nhược điểm của nó là không đo được lực tĩnh, khó khắc độ.

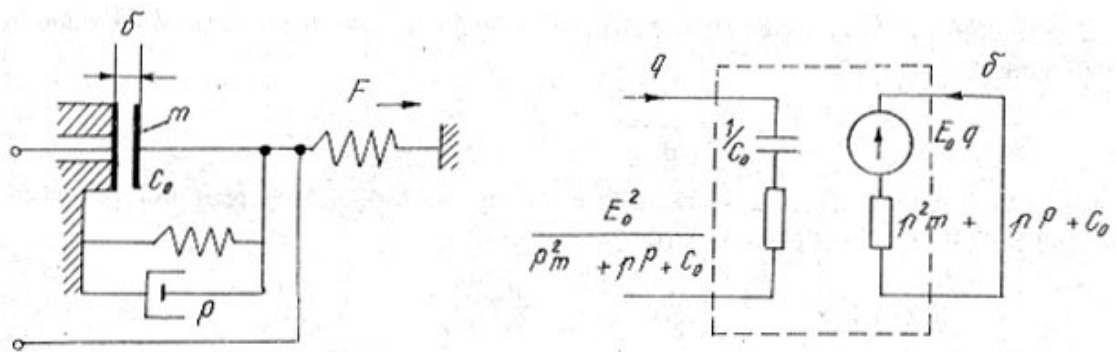
Ngoài việc sử dụng các hiệu ứng áp điện thuận của chuyển đổi áp điện người ta còn dùng hiệu ứng áp điện ngược để tạo các chuyển đổi ngược do di chuyển và các thiết bị để kích thích dao động siêu âm ở tần số dao động cơ (ví dụ dao động kí cơ học). Nhược điểm của loại chuyển đổi này là độ biến dạng của phần tử điện áp nhỏ (chỉ vài phần micromet).

### 7.4.2. Chuyển đổi điện dung.

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** các chuyển đổi điện dung làm việc dựa trên nguyên lý về sự tác động tương hỗ giữa hai điện cực tạo thành một tụ điện có điện dung thay đổi dưới tác động của đại lượng vào.

Chuyển đổi điện dung có thể chia thành hai nhóm lớn là chuyển đổi máy phát và chuyển đổi thông số:

- **Chuyển đổi máy phát:** có đại lượng ra thường là điện áp ra của máy phát; đại lượng vào là sự di chuyển thẳng, di chuyển góc của bản điện cực động của chuyển đổi. Loại này thường dùng đo các đại lượng cơ học.
  - **Chuyển đổi thông số:** có đại lượng vào là sự di chuyển của bản điện cực động; đại lượng ra là sự thay đổi điện dung  $C$  của chuyển đổi.
- **Chuyển đổi điện dung máy phát:** hình 7.25 là cấu tạo của chuyển đổi điện dung phát điện và sơ đồ mạch tương đương:



Hình 7.25. Cấu tạo của một loại chuyển đổi điện dung cơ bản và sơ đồ mạch tương đương

Đại lượng ra là điện áp  $U$  đặt trên hai cực của tụ điện, điện áp này liên quan với các thông số như sau :

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

với:  $q$  - điện tích trên bản cực

$C = \frac{\epsilon s}{\delta}$  : điện dung của tụ điện tạo bởi hai bản cực

$\epsilon$  - điện môi giữa hai bản cực

$s, \delta$  - diện tích của bản cực và khoảng cách giữa chúng

Đại lượng vào là lực cơ  $F$  tác động lên bản cực động gồm hai thành phần: lực tác động do điện tích tương hỗ  $F_d$  và lực đẩy cơ học  $F_c$  gây nên bởi cực động, với:

$$F_d = \frac{1}{2} U^2 \cdot \frac{\epsilon s}{\delta^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{\epsilon s}; \quad F_c = S(p) \cdot \delta$$

với:  $S(p) = p^2 m + pP + k_p$

$m$  - khối lượng của bản cực động

$P$  - hệ số cản dũ;  $k_p$  - hệ số phản kháng

Suy ra phương trình của chuyển đổi là:

$$F = F_d + F_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{\epsilon s} + S(p) \cdot \delta$$

Từ biểu thức trên ta thấy chuyển đổi điện dung có tính chất phi tuyến vì vậy phương trình biến đổi có thể viết dưới dạng :

$$dU = \frac{\partial U}{\partial q} . dq + \frac{\partial U}{\partial \delta} . d\delta = \frac{\delta}{\epsilon s} . dq + \frac{q}{\epsilon s} . d\delta = \frac{1}{C_0} . dq + E_0 . d\delta$$

$$dF = \frac{\partial F}{\partial q} . dq + \frac{\partial F}{\partial \delta} . d\delta = \frac{q}{\epsilon s} . dq + S(p) . d\delta = E_0 . dq + S(p) . d\delta$$

với:  $C_0$  - điện dung ban đầu tương ứng với khoảng cách  $\delta_0$  giữa hai bản cực

$$E_0 = \frac{U_0}{\delta_0} = \frac{q_0}{C_0 \delta_0} = \frac{q}{\epsilon s} - \text{cường độ điện trường ban đầu của tụ điện}$$

Nếu chuyển đổi làm việc trong khoảng di chuyển nhỏ phương trình sẽ được biểu diễn dưới dạng thay đổi  $\Delta \delta$  :

$$\Delta \delta = \frac{E_0 . \Delta q}{p^2 m + pP + k_p} = k_0 . \Delta q$$

với hệ số  $k_0$  của chuyển đổi điện dung phát điện là một hàm tuyến tính với điện áp  $U$  (điện tích trên 2 bản cực) :

$$k_0 = k . E_0 = k . \frac{U_0}{\delta_0} = k . \frac{q_0}{C_0 \delta_0}$$

- *Chuyển đổi điện dung thông số*: với một tụ điện phẳng thì điện dung là:

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

như vậy khi một trong ba đại lượng  $\epsilon$ ,  $s$ ,  $\delta$  thay đổi, điện dung cũng thay đổi theo. Với một sự thay đổi rất nhỏ của điện dung ta có:

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

Đưa về dạng sai phân ta được:

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

suy ra sự biến thiên tương đối của điện dung:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\Delta s}{s_0} - \frac{1}{(1 + \Delta \delta / \delta_0)^2} . \frac{\Delta \delta}{\delta_0}$$

với:  $\epsilon_0, s_0, \delta_0, C_0$  - các giá trị ban đầu của các đại lượng tương ứng.

- Độ nhạy của chuyển đổi điện dung khi khoảng cách giữa hai bản cực  $\delta$  thay đổi và  $\epsilon = \text{const}$ ,  $s = \text{const}$  là:

$$S_\delta = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta \delta / \delta_0} = - \frac{1}{(1 + \Delta \delta / \delta_0)^2}$$

- Độ nhạy của chuyển đổi điện dung khi diện tích giữa hai bản cực  $s$  thay đổi và  $\epsilon = \text{const}$ ,  $\delta = \text{const}$  là:

$$S_s = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta s / s_0} = 1$$

- Độ nhạy của chuyển đổi điện dung khi hằng số điện môi thay đổi  $\epsilon$  thay đổi



và  $\delta = \text{const}$ ,  $s = \text{const}$  là:

$$S_{\varepsilon} = \frac{\Delta C / C_0}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = 1$$

- Sự biến thiên tương đối điện kháng của chuyển đổi điện dung: nếu xét đến dung kháng  $X_c = \frac{1}{\omega C}$  với  $\omega = \text{const}$  thì ta có:

$$dX_c = \frac{\partial X_c}{\partial \varepsilon} . d\varepsilon + \frac{\partial X_c}{\partial s} . ds + \frac{\partial X_c}{\partial \delta} . d\delta$$

với sự thay đổi hữu hạn  $\Delta \varepsilon$ ,  $\Delta s$ ,  $\Delta \delta$  ta cũng có độ nhạy tương đối :

$$S'_{\delta} = \frac{\Delta X_c / X_{co}}{\Delta \delta / \delta_0} = 1$$

$$S'_{\varepsilon} = \frac{\Delta X_c / X_{co}}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = - \frac{1}{(1 + \Delta \varepsilon / \varepsilon_0)^2}$$

$$S'_s = \frac{\Delta X_c / X_{co}}{\Delta s / s_0} = - \frac{1}{(1 + \Delta s / s_0)^2}$$

với:  $X_{co}$  - giá trị dung kháng ban đầu

**b) Các đặc tính cơ bản:** từ các biểu thức trên ta thấy:

- Sự biến thiên tương đối của chuyển đổi điện dung là hàm tuyến tính khi tiết diện bản cực và hằng số điện môi thay đổi, nhưng phi tuyến khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi.

- Sự biến thiên tương đối điện kháng của chuyển đổi điện dung là hàm tuyến tính khi khoảng cách giữa hai bản cực thay đổi ( $\Delta \delta$ ) và phi tuyến với diện tích bản cực và hằng số điện môi thay đổi.

Trị số biến thiên tương đối  $\Delta s$  và  $\Delta \varepsilon / \varepsilon_0$  thường đạt từ  $0,15 \div 0,2$  đối với chuyển đổi đơn và  $0,4$  với chuyển đổi mắc kiểu vi sai.

- Khi khoảng cách  $\Delta \delta$  thay đổi, sự biến thiên điện kháng  $\Delta X_c$  của chuyển đổi sẽ tăng khi  $\varepsilon_0$  điện áp ra của mạch đo tăng lên. Tuy nhiên giảm khoảng cách  $\delta$  giữa hai bản cực chỉ thực hiện đến một giá trị nào đó để tránh điện áp đánh thủng cách điện. Ví dụ: với không khí, cường độ điện trường không được lớn hơn  $10 \text{KV/cm}$ .

Mặt khác giữa hai bản cực khi có điện áp đặt vào sẽ tính lực hút  $F_h = - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{\varepsilon s}{\delta^2}$

lực này cần phải nhỏ hơn đại lượng đo. Đối với chuyển đổi mắc kiểu vi sai thì lực hút giữa hai bản tụ có môđun bằng nhau nhưng ngược chiều nhau nên bù lẫn nhau.

- Độ nhạy của chuyển đổi khi tính đến điện dung kí sinh: trong thực tế có điện dung kí sinh  $C_{ks}$  hình thành ở dây nối và bản thân cấu trúc của chuyển đổi làm độ nhạy của nó giảm đi:

$$\frac{\Delta C_{td}}{C_{td}} = \frac{\Delta C_0 / C_0}{1 + (C_{ks} / C_0)}$$

với:  $C_{td}$  - điện dung tác dụng.

Như vậy độ nhạy của chuyển đổi khi kể đến điện dung kí sinh là:

$$S'_{\delta} = \frac{\Delta x_{ctd}}{\Delta \delta / \delta_0} = \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

$$S'_s = \frac{\Delta x_{ctd} / x_{ctd}}{\Delta s / s_0} = \frac{-1}{1 + (\Delta s / s_0)^2} \cdot \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

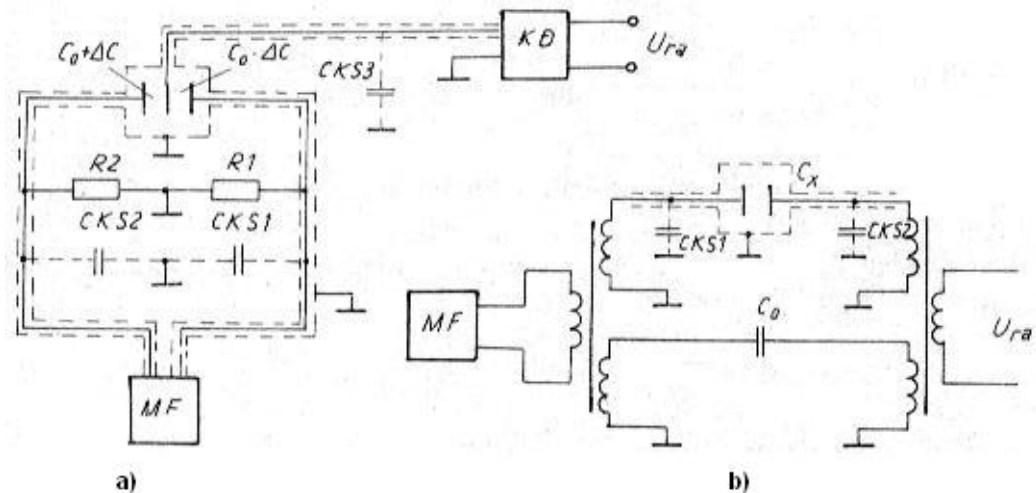
$$S'_\varepsilon = \frac{\Delta x_{ctd} / x_{ctd}}{\Delta \varepsilon / \varepsilon_0} = \frac{-1}{1 + (\Delta \varepsilon / \varepsilon_0)^2} \cdot \frac{1}{1 + C_{ks} / C_0}$$

Độ nhạy sẽ giảm nhiều khi  $C_{ks}/C_0$  càng lớn.

**c) Mạch đo:** thông thường mạch đo dùng với chuyển đổi điện dung là các *mạch cầu không cân bằng* cung cấp bằng dòng xoay chiều. Mạch đo cần phải thực hiện các yêu cầu sau:

- Tổng trở vào tức là điện trở của đường chéo cầu phải thật lớn
- Các dây dẫn được bọc kim để tránh ảnh hưởng của điện trường ngoài
- Không được mắc điện trở song song với chuyển đổi làm tổng trở của nó
- Chống ẩm tốt.
- Tần số nguồn cung cấp cần phải cao, để tăng công suất ra của chuyển đổi có thể tới hàng chục MHz.

Hình 7.26 là các sơ đồ mạch đo dùng với chuyển đổi điện dung:



Hình 7.26. Sơ đồ mạch đo dùng với chuyển đổi điện dung:

a) sơ đồ mạch đo của chuyển đổi điện dung vi sai mắc theo mạch cầu

b) sơ đồ mạch cầu biến áp với hai nhánh điện cảm

- Sơ đồ mạch đo của chuyển đổi điện dung vi sai mắc theo mạch cầu với hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$ : như hình 7.26a:

Các điện dung  $C_{ks1}$ ,  $C_{ks2}$  và  $C_{ks3}$  song song với hai điện trở và chỉ thị là các điện dung kí sinh trị số bé không đáng kể.

Do điện dung của tụ điện chuyển đổi nhỏ (cỡ chục microphara) nên để đảm bảo công suất ra lớn thì phải dùng một khuếch đại có độ nhạy cao  $KĐ$ .

Cung cấp cho mạch cầu là một máy phát tần số lớn ( $MF$ ).

- Sơ đồ mạch cầu biến áp với hai nhánh điện cảm: như hình 7.26b:

Trong sơ đồ này điện dung kí sinh  $C_{ks1}$  và  $C_{ks2}$  rất nhỏ do nối song song với hai cuộn sơ cấp biến áp.

- Sơ đồ mạch đo dòng một chiều: để đo đại lượng biến thiên cùng với mạch cầu người ta còn dùng mạch đo dòng một chiều. Sơ đồ mạch như hình 7.27.

Nếu bỏ qua điện dung kí sinh của phụ tải  $C_t$  song song với điện trở tải  $R_t$  ta có:

$$U_0 = iR_t + \frac{1}{C} \int i dt$$

$$\Leftrightarrow U_0 \cdot C = iR_t C + \int i dt$$

$$\Rightarrow U_0 \frac{dC}{dt} = R_t \cdot C_0 \frac{di}{dt} + iR_t \frac{dC}{dt} + i$$

với:  $C_0$  - là điện dung ban đầu, coi là hằng số.

Nếu gọi  $iR_t = U_r$  và  $R_t \frac{di}{dt} = dU_r$  ta có :

$$U_0 \frac{dC}{dt} = C_0 \frac{dU_r}{dt} + U_r \frac{dC}{dt} + \frac{U_r}{R_t}$$

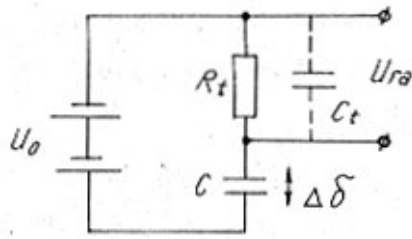
Với sự di chuyển nhỏ  $\Delta\delta \ll \delta_0$  một cách gần đúng có thể viết :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\epsilon\epsilon_0}{\delta_0^2} \cdot \frac{d\delta}{dt} = \frac{C_0}{\delta_0} \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

suy ra:

$$\tau \cdot \frac{dU_r}{dt} + U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot (U_0 - U_r) \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

với:  $\tau = R_t C_0$  = hằng số thời gian của mạch.



Hình 7.27. Mạch đo dùng chuyển đổi điện dung nuôi bởi dòng một chiều

Với điều kiện  $\Delta\delta \ll \delta_0$  và  $U_r \ll U_0$  ta có phương trình gần đúng của chuyển đổi dưới dạng:

$$\tau \cdot \frac{dU_r}{dt} + U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot U_0 \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

biểu diễn dưới dạng toán tử Laplace:

$$(\tau p + 1)U_r = \frac{\tau}{\delta_0} \cdot U_0 \cdot (\delta p)$$

suy ra độ nhạy của chuyển đổi (dưới dạng toán tử) là:

$$S(p) = \frac{U_r}{\delta} = \frac{U_0}{\delta_0} \cdot \frac{\tau p}{1 + \tau p}$$

Từ đó nhận thấy mạch đo trên có tính chất là một khâu vi phân.

Để tăng độ tuyến tính của chuyển đổi và tăng độ nhạy của mạch ta có thể dùng mạch này ở hai chế độ làm việc.

- Đo biên độ rung: trong trường hợp này hằng số thời gian  $\tau = R_t C_0$  phải lớn, bằng cách tăng  $R_t$  (tăng điện trở của khuếch đại)

- Đo tốc độ (đạo hàm của di chuyển): thì ngược lại, hằng số thời gian  $\tau = R_i C_0$  phải rất nhỏ

Thiết bị dùng chuyển đổi điện dung với dòng một chiều chỉ có thể khắc độ trong chế độ động.

#### d) Ứng dụng:

- Loại có khe hở không khí thay đổi được dùng đo những di chuyển nhỏ (từ vài micrômét đến vài milimét).
- Nếu dùng chuyển đổi điện dung trong mạch cung cấp điện áp một chiều có thể đo được tốc độ, độ dịch chuyển biến thiên của các đại lượng khác có thể biến đổi thành di chuyển (lực, áp suất, gia tốc).
- Loại có điện tích bản cực thay đổi dùng đo các di chuyển lớn (hơn 1cm) và di chuyển góc (đến  $270^\circ$ ).
- Chuyển đổi có điện môi  $\epsilon$  thay đổi dùng để đo độ ẩm (vải, chất dẻo), đo mức nước, chiều dày của các vật cách điện, đo lực.
- Chuyển đổi có tổn hao điện môi thay đổi (mạch đo dùng đo góc tổn hao tg $\delta$  của tụ trong mạch xoay chiều) dùng để xác định các tham số vật lý của vật liệu nào đó đặt giữa hai bản cực...

### 7.5. Chuyển đổi nhiệt điện.

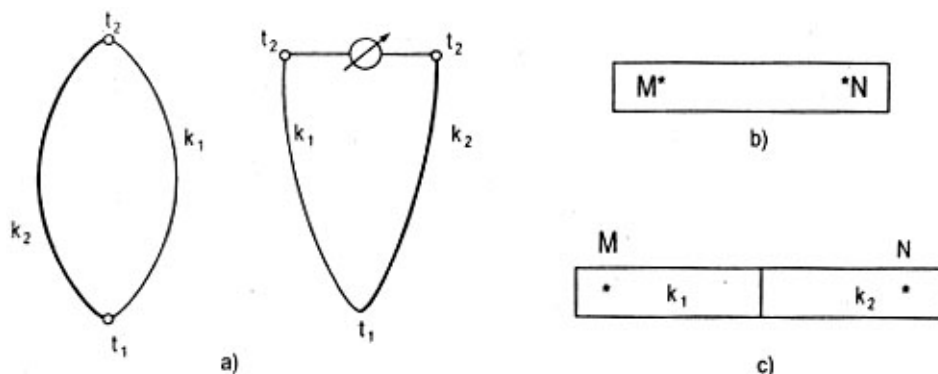
Chuyển đổi nhiệt điện là những chuyển đổi điện trên các quá trình nhiệt như đốt nóng, làm lạnh, trao đổi nhiệt...

Thực tế khi đo các đại lượng theo phương pháp điện người ta thường sử dụng hai hiện tượng, đó là *hiệu ứng nhiệt điện* và *hiệu ứng thay đổi điện trở của dây dẫn hay chất bán dẫn khi nhiệt độ thay đổi*. Tương ứng với hai hiện tượng trên người ta phân thành hai loại chuyển đổi nhiệt điện đó là *chuyển đổi cặp nhiệt điện (Thermocouple)* và *chuyển đổi nhiệt điện trở (RTD-Resistance Temperature Detector)*.

#### 7.5.1. Chuyển đổi cặp nhiệt điện (Thermocouple):

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

Nếu có hai dây dẫn khác nhau ( $k_1, k_2$ ) (như hình 7.28a) nối với nhau tại hai điểm  $t_1$  và  $t_2$  và một trong hai điểm đó (ví dụ điểm  $t_1$ ) được đốt nóng thì trong mạch sẽ xuất hiện một dòng điện gây ra bởi sức điện động nhiệt điện.



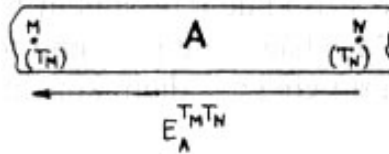
Hình 7.28. Sự tạo ra sức điện động nhiệt điện do hiệu ứng Thomson và hiệu ứng Seebeck.

Sự tạo ra sức điện động nhiệt điện là do tác động của hiệu ứng Thomson và hiệu ứng Seebeck.

- **Hiệu ứng Thomson:** trong một vật dẫn đồng nhất, giữa hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau sẽ sinh ra một sức điện động. Sức điện động này chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật dẫn và nhiệt độ ở hai điểm M và N:

$$E_{\theta} = \int_{t_1}^{t_2} \sigma dt$$

với:  $\sigma$  - hệ số Thomson với vật liệu cho trước



Hình 7.28b. Sự tạo ra sức điện động nhiệt điện do hiệu ứng Thomson

Nếu hai vật dẫn có bản chất khác nhau  $k_1, k_2$  đặt tiếp xúc thì xuất hiện sức điện động phụ thuộc bản chất của hai vật dẫn và nhiệt độ của điểm tiếp xúc:

$$E_{K_1 K_2} = \int_{t_1}^{t_2} (\sigma_{K_1} - \sigma_{K_2}) dt$$

với:  $\sigma_{k1}, \sigma_{k2}$  - hệ số Thomson với hai vật liệu  $k_1, k_2$ .

- **Hiệu ứng Seebeck:** một mạch kín gồm hai vật dẫn  $k_1, k_2$  được nối với nhau tại hai điểm ở nhiệt độ tương ứng  $t_1, t_2$  sẽ tạo thành một cặp nhiệt điện. Khi nhiệt độ ở hai đầu  $t_1$  và  $t_2$  khác nhau, các điện tích khuếch tán sang nhau tạo nên một sức điện động do tác động của hiệu ứng Thomson:

$$E_{K_1 K_2}(t_1, t_2) = E_{K_1 K_2}(t_1) + E_{K_1 K_2}(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} (\sigma_{K_1} - \sigma_{K_2}) dt$$

Sức điện động này phụ thuộc vào nhiệt độ  $t_1, t_2$  và có thể biểu diễn dưới dạng:

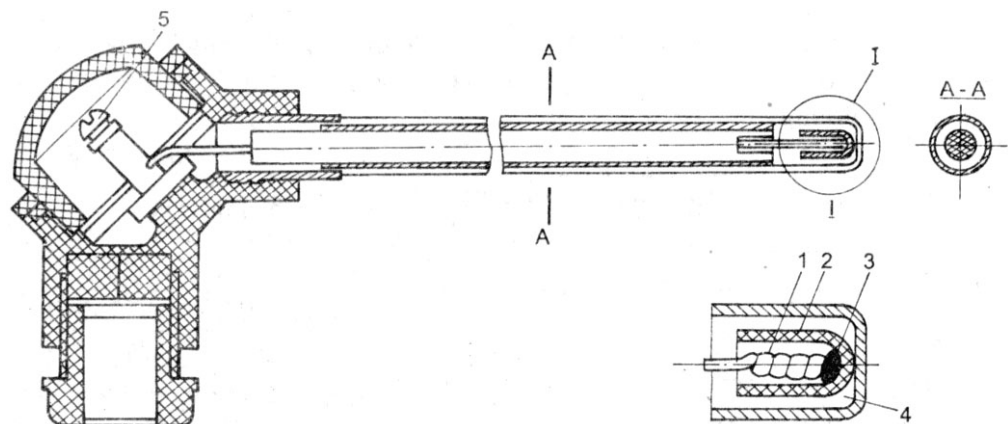
$$E_{K_1 K_2}(t_1, t_2) = e_{K_1 K_2}(t_1) - e_{K_1 K_2}(t_2)$$

Nếu ở một đầu giữ nhiệt độ không đổi ( $t_2$ ) và đầu kia ( $t_1$ ) đặt ở môi trường đo nhiệt độ ta có:

$$E_{K_1 K_2}(t_1, t_2) \sim E_1(t_1)$$

đầu  $t_1$  gọi là đầu làm việc,  $t_2$  là đầu tự do.

Cấu tạo thực của một cặp nhiệt điện điển hình như hình 7.29:



Hình 7.29. Cấu tạo thực của một cặp nhiệt điện điển hình:

1 - dây kim loại; 2 - ống sứ cách điện; 3 - đầu hàn; 4 - vỏ thép; 5 - đầu nối ra

Vật liệu dùng để chế tạo cặp nhiệt điện cần đảm bảo các yêu cầu: quan hệ giữa sức điện động nhiệt điện với nhiệt độ là một hàm đơn trị, tính chất nhiệt điện không thay đổi, độ bền hóa học và cơ học cao, dẫn điện tốt, có trị số sức điện động nhiệt điện lớn.

*Bảng 7.1: Một số cặp nhiệt điện thông thường*

Loại cặp nhiệt điện	Nhiệt độ làm việc (°C)	E (mV)	Độ chính xác
Đồng/constantan $\Phi = 1,63 \text{ mm}$	-270 ÷ 370	-6,25 ÷ 19,02	-100°C ÷ -40°C : ±2% -40°C ÷ -100°C : ±0,8% -100°C ÷ -350°C : ±0,75%
Cromel/Alumel $\Phi = 3,25 \text{ mm}$	-270 ÷ 1250	-5,35 ÷ 50,63	0°C ÷ 400°C : ±3°C 400°C ÷ 1250°C : ±0,75%
Platin - Rodi (30%)/Platin $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	-50 ÷ 1500	-0,23 ÷ 15,57	0°C ÷ 600°C : ±2,5°C 600°C ÷ 1500°C : ±0,4%
Platin - Rodi (30%)/Platin - Rodi (6%); $\Phi = 0,51 \text{ mm}$	0 ÷ 1700	0 ÷ 12,42	870°C ÷ 1700°C : ±0,5%
Wonfram - Reni (5%)/ Wonfram - Reni (26%)	0 ÷ 2700	0 ÷ 38,45	

**b) Các đặc tính cơ bản:**

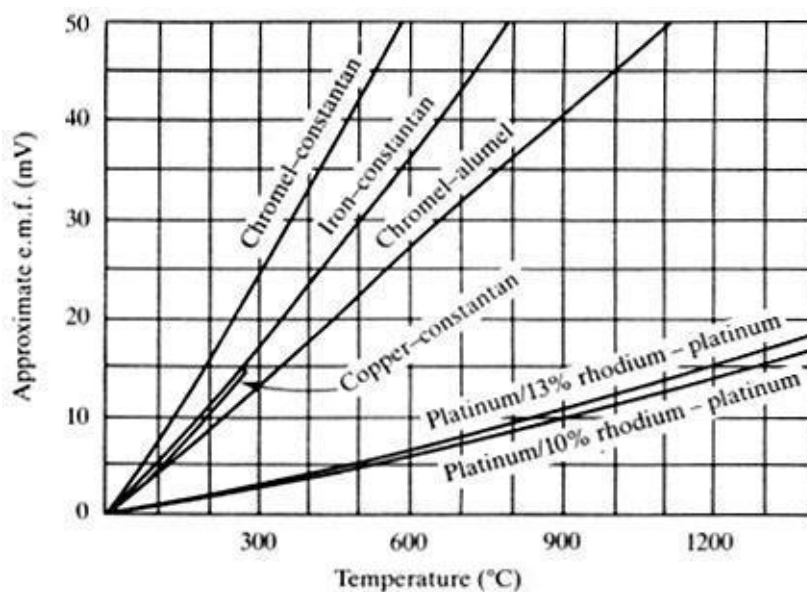
Phương trình biến đổi của cặp nhiệt điện trong trường hợp chung, một cách gần đúng có thể biểu diễn dưới dạng:

$$E_T = At + Bt^2 + Ct^3$$

với:  $E_T$  - sức điện động nhiệt điện.

$t$  - hiệu nhiệt độ giữa đầu công tác và đầu tự do.

A, B, C - các hằng số phụ thuộc nhiệt độ của dây làm cặp nhiệt điện.



*Hình 7.30. Đường đặc tính của một số cặp nhiệt điện hình*



- Độ nhạy của cặp nhiệt:

$$S_T \approx \frac{dE_T}{dt} = A + 2B.t + 3C.t^2 = f(t)$$

Như vậy độ nhạy của cặp nhiệt điện không phải là hằng số mà phụ thuộc vào nhiệt độ. Do vậy các cặp nhiệt điện công nghiệp thường cho trước một bảng sức điện động ứng với các nhiệt độ khác nhau trong khoảng  $1^\circ\text{C}$  với đầu tự do ở  $0^\circ\text{C}$ .

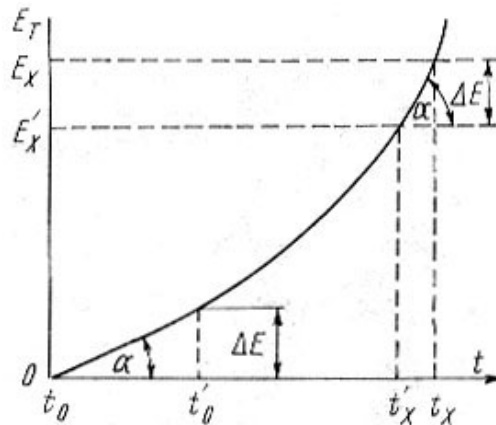
- Các nguyên nhân chủ yếu gây sai số đối với cặp nhiệt điện: sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi; sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây, cặp nhiệt và chỉ thị. Ngoài ra còn có sai số gây nên do đặt cặp nhiệt điện không đúng vị trí cần đo, không đúng hướng và diện tích tiếp xúc của cặp nhiệt với đối tượng đo quá nhỏ:

- Sai số do nhiệt độ đầu tự do thay đổi và cách khắc phục: khi khắc độ các cặp nhiệt điện, đầu tự do được đặt ở môi trường có nhiệt độ  $0^\circ\text{C}$ , nhưng trong thực tế sử dụng, nhiệt độ đầu tự do đặt trong môi trường khác  $0^\circ\text{C}$ .

Khắc phục sai số trên thường dùng phương pháp hiệu chỉnh hệ số k trên từng đoạn của đường cong đặc tính  $E_T = f(t)$  hoặc dùng thiết bị hiệu chỉnh tự động nhiệt độ đầu tự do:

- **Hiệu chỉnh hệ số k trên từng đoạn của đường cong đặc tính  $E_T = f(t)$ :**

Đường cong quan hệ giữa  $E_T = f(t)$  khi nhiệt độ đầu tự do  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  như hình vẽ:



Hình 7.31. Đường cong biểu diễn quan hệ giữa  $E_T = f(t)$  với nhiệt độ đầu tự do  $0^\circ\text{C}$

Giả sử rằng cặp nhiệt điện có thể đo ở nhiệt độ  $t$  với nhiệt độ đầu tự do  $t'_0 > t_0$ , lúc đó sức điện động  $E_T(t, t'_0)$  sẽ nhỏ hơn sức điện động  $E_T(t, t_0)$  một lượng:

$$\Delta E_T = E_T(t, t_0) - E_T(t, t'_0)$$

Theo hình 7.29 ta có:

$$(t - t') = (t'_0 - t_0) \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'} \cdot (t'_0 - t_0) \cdot k$$

với:  $k \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha'}$  là hệ số hiệu chỉnh ở nhiệt độ đầu tự do, nó là hàm của  $t$  và do đó ở

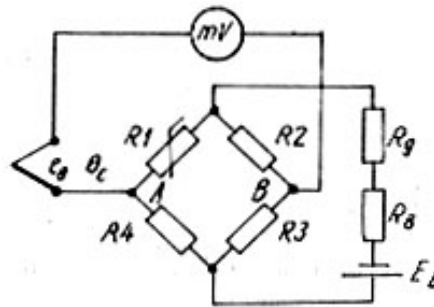
khác nhau với mỗi đoạn của đường cong.

Trong khi khắc độ, đường cong được phân thành nhiều đoạn, ứng với mỗi đoạn là  $100^\circ\text{C}$  và mỗi đoạn có một hệ số hiệu chỉnh  $k$  và được lập bảng. Đối với cặp nhiệt điện đặc tính là tuyến tính thì hệ số  $k$  bằng đơn vị.

Có thể coi  $k = 0,8 \div 1$  đối với cặp nhiệt điện bình thường và  $k = 0,5 \div 0,6$  đối với cặp nhiệt quý.

▪ **Dùng thiết bị hiệu chỉnh tự động nhiệt độ đầu tự do:**

Trường hợp này có thể mắc một mạch cầu trong đó có ba nhánh làm bằng điện trở không thay đổi theo nhiệt độ (manganin) và một nhánh điện trở thay đổi theo nhiệt độ (đồng, niken):



Hình 7.32. Dùng mạch cầu để hiệu chỉnh tự động nhiệt độ đầu tự do

Cầu được tính toán cân bằng ở nhiệt độ  $0^{\circ}\text{C}$ , mắc nối tiếp với đầu tự do của cặp nhiệt. Khi nhiệt độ môi trường thay đổi thì điện trở (đồng, niken) thay đổi, cầu mất cân bằng và trên đường chéo xuất hiện một điện áp  $\Delta U$ . Điện áp này bù cho lượng  $\Delta E$  bị giảm khi môi trường có nhiệt độ khác  $0^{\circ}\text{C}$ .

Ngoài ra người ta còn dùng dụng cụ điện thế kế tự động tự ghi để đo nhiệt độ với cặp nhiệt. Thiết bị này tự động bù nhiệt độ đầu tự do.

- Sai số do sự thay đổi điện trở của đường dây, cặp nhiệt và chỉ thị: cặp nhiệt điện thường được đo sức điện động bằng milivônmet hoặc điện thế kế điện trở nhỏ điều chỉnh bằng tay hoặc tự động với giới hạn đo đến 100mV.

Khi đo sức điện động bằng milivônmet, dòng điện chạy trong mạch là:

$$I = \frac{E_T}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$

với:  $E_T$  - sức điện động nhiệt điện  
 $R_{CT}$  - điện trở của milivônmet  
 $R_{ND}$  - điện trở cặp nhiệt điện  
 $R_d$  - điện trở đường dây.

Điện áp rơi trên milivônmet:

$$U_{CT} = E - I(R_{ND} + R_d) = \frac{E \cdot R_{CT}}{R_{CT} + R_{ND} + R_d}$$

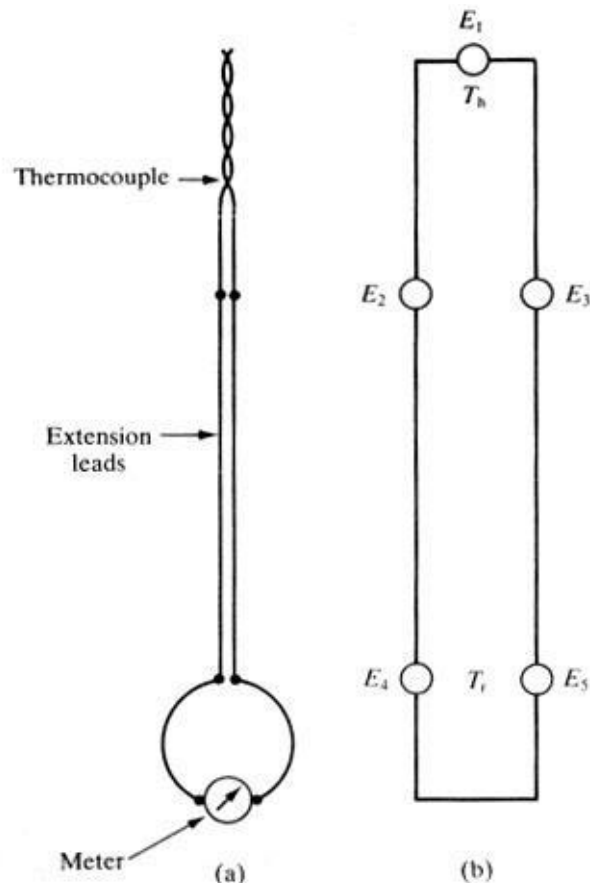
Từ biểu thức trên thấy rằng cần giữ cho  $R_{ND}$  và  $R_d$  không thay đổi. Khi khắc độ thường được tính  $(R_{ND} + R_d)$  bằng  $50\Omega$ . Nguyên nhân gây ra sai số chủ yếu là do điện trở của milivônmet thay đổi vì vậy khi đo phải chọn điện trở của milivônmet có trị số lớn hơn  $40 \div 50$  lần điện trở của cặp nhiệt để giảm sai số.

c) **Mạch đo:** sức điện động Seebeck đo được giữa hai đầu của cặp nhiệt sẽ cung cấp thông tin về nhiệt độ cần đo. Chúng chỉ có thể được xác định chính xác nếu như ta giảm tối thiểu sự sụt áp do dòng điện chạy trong các phần tử cặp nhiệt và dây dẫn, điện trở của các thành phần này cũng thay đổi theo nhiệt độ của môi trường và nhiệt độ cần đo, vì vậy phải có các biện pháp bù sự thay đổi này trong quá trình đo.

Thường sử dụng các phương pháp đo suất điện động ra của cặp nhiệt là: sử dụng milivôn kế có điện trở trong lớn và sử dụng phương pháp xung đối để dòng chạy qua

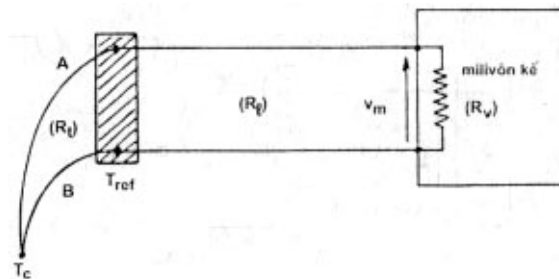
cặp nhiệt bằng không.

- Sơ đồ mạch đo điện hình sử dụng cặp nhiệt: như hình 7.33: ngoài suất điện động của tiếp xúc chính của cặp nhiệt đặt tại nhiệt độ cần đo  $E_1$  còn có các suất điện động sinh ra tại các đầu tiếp xúc của cặp nhiệt với dây nối (thường bằng đồng)  $E_2$  và  $E_3$ , của dây nối với cơ cấu chỉ thị  $E_4$  và  $E_5$ . Để kết quả đo chính xác thì phải có biện pháp loại trừ hoặc bù các suất điện động này.



Hình 7.33. Sơ đồ mạch đo điện hình sử dụng cặp nhiệt

- Đo suất điện động của cặp nhiệt dùng milivôn kế: mạch đo như hình 7.34:



Hình 7.34. Đo suất điện động của cặp nhiệt dùng milivôn kế

với:  $R_t$  là điện trở của cặp nhiệt  
 $R_l$  là điện trở của dây nối  
 $R_v$  là điện trở vào của milivôn kế  
 Điện áp giữa hai đầu của milivôn kế là:

$$V_m = E_{AB}(T_c, T_{ref}) \cdot \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v}$$

Vì điện trở của cặp nhiệt và dây nối thường không biết và thay đổi theo nhiệt độ nên để phép đo chính xác thì phải đảm bảo điều kiện:

$$R_v \gg R_t + R_l$$

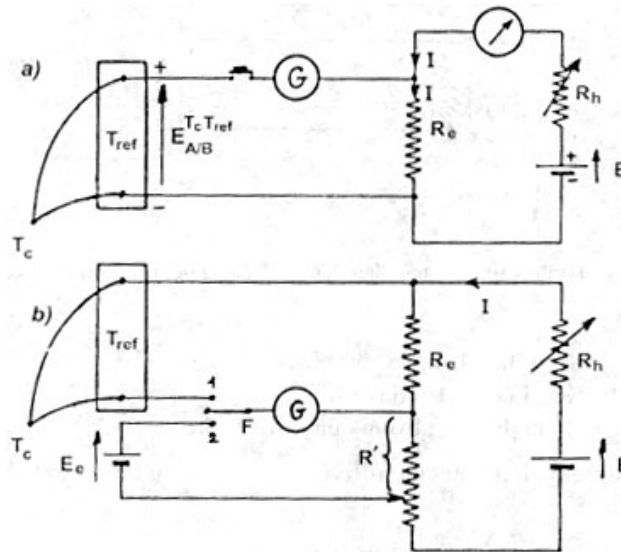
thường thì điều kiện cần thỏa mãn là:

$$R_v > (40 \div 50).R_l$$

khi đó điện áp giữa hai đầu milivôn kế là:

$$V_m \approx E_{AB}(T_c, T_{ref})$$

- *Đo suất điện động của cặp nhiệt bằng phương pháp xung đối*: nguyên tắc của phương pháp xung đối là đấu với suất điện động cần đo một điện áp ngược dấu  $V_{xd}$  sao cho điện áp này có giá trị bằng đúng suất điện động. Giá trị của  $V_{xd}$  có thể đo được chính xác, thông thường đây là điện áp rơi trên một điện trở sun.



Hình 7.35. Đo suất điện động của cặp nhiệt bằng phương pháp xung đối

Cặp nhiệt nối nối tiếp với một điện kế G và được đấu song song với một điện trở chuẩn  $R_e$ , dòng điện I chạy qua  $R_e$  có thể điều chỉnh được sao cho kim điện kế chỉ 0 (nghĩa là dòng chạy qua điện kế, tức chạy qua cặp nhiệt bằng 0).

Khi đó suy ra suất điện động của cặp nhiệt là:

$$E_{AB}(T_c, T_{ref}) = I.R_e$$

Dòng điện I có thể được điều chỉnh bằng một biến trở  $R_h$  mắc nối tiếp với nguồn điện E và đo bằng một miliampe kế (hình 7.35a) hoặc điều chỉnh bằng pin mẫu (hình 7.35b), khi đó suy ra suất điện động của cặp nhiệt là:

$$E_{AB}(T_c, T_{ref}) = \frac{R_e}{R'} . E_e$$

**d) Ứng dụng:** ứng dụng của cặp nhiệt chủ yếu dùng để đo nhiệt độ, ngoài ra nó còn được sử dụng để đo các đại lượng không điện và các điện khác như đo dòng điện (ở tần số cao), đo hướng chuyển động và lưu lượng của các dòng chảy, đo di chuyển, đo áp suất nhỏ (độ chân không)...

### 7.5.2. Nhiệt điện trở (RTD-Resistance Temperature Detector):

**a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** nhiệt điện trở là chuyển đổi có điện trở thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ của nó.

Tuỳ theo tác dụng của dòng điện cung cấp chạy qua chuyển đổi người ta phân ra nhiệt điện trở đốt nóng và nhiệt điện trở không đốt nóng:

- *Nhiệt điện trở không đốt nóng*: dòng điện chạy qua rất nhỏ không làm tăng nhiệt độ của điện trở và nhiệt độ của nó bằng nhiệt độ của môi trường. Nhiệt điện trở loại này dùng để đo nhiệt độ và các đại lượng cơ học như đo di chuyển.

- *Nhiệt điện trở đốt nóng*: dòng điện chạy qua rất lớn làm nhiệt độ của nó tăng lên cao hơn nhiệt độ môi trường, nên có sự toả nhiệt ra môi trường xung quanh. Nhiệt điện trở loại này được dùng để đo lưu lượng, lưu tốc của dòng chảy, phân tích các chất hóa học v.v...

Nhiệt điện trở được chế tạo có thể bằng kim loại hoặc bằng chất bán dẫn. Yêu cầu đối với vật liệu chế tạo là: có hệ số nhiệt độ lớn, bền hóa học khi có tác dụng của môi trường, điện trở suất lớn, khó chảy.

Để giảm tổn hao nhiệt dẫn, chiều dài của nhiệt điện trở cần phải lớn hơn đường kính dây gấp nhiều lần (ví dụ hơn 200 lần).

#### **b) Các đặc tính cơ bản:**

- *Nhiệt điện trở kim loại (Resistance thermometers)*: chuyển đổi nhiệt điện trở kim loại thường được chế tạo bằng các kim loại như đồng, platin và niken, đường kính dây từ  $0,02 \div 0,06\text{mm}$  với chiều dài từ  $5 \div 20\text{mm}$ .

- Nhiệt điện trở đồng: có dải nhiệt độ làm việc từ  $-50 \div 180^{\circ}\text{C}$ .

Phương trình đặc trưng của nó được biểu diễn dưới dạng:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

với:  $\alpha$  - hệ số nhiệt độ của nhiệt điện trở, với đồng thì  $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  trong khoảng nhiệt độ từ  $0 \div 100^{\circ}\text{C}$ ,

$t$  - nhiệt độ của chuyển đổi (nhiệt độ cần đo)

$R_0$  - điện trở của chuyển đổi ở  $0^{\circ}\text{C}$

Nếu không biết giá trị của  $R_0$  có thể dùng biểu thức:

$$R_{T_2} = R_{T_1} \frac{(\tau + t_2)}{(\tau + t_1)}$$

với:  $R_{T_2}, R_{T_1}$  - điện trở ứng với nhiệt độ  $t_2$  và  $t_1$ .

$\tau = 1/\alpha$  - hằng số, phụ thuộc vào vật liệu,  $\tau = 234$  đối với đồng.

Khi tính điện trở  $R_2$  ở nhiệt độ  $t_2$  chỉ cần biết điện trở  $R_1$  ở nhiệt độ  $t_1$  bất kỳ.

- Nhiệt điện trở Platin: platin có thể chịu được nhiệt độ đến  $1200^{\circ}\text{C}$  không bị ôxi hóa hoặc nóng chảy.

Phương trình đặc trưng của chuyển đổi có thể viết dưới dạng:

$$R_T = R_0 (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$$

ở nhiệt độ từ  $0 \div 660^{\circ}\text{C}$ , và:

$$R = R_0 \left[ (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot (t - 100)^3) \right]$$

ở nhiệt độ từ  $-180^{\circ}\text{C} \div 0^{\circ}\text{C}$ .

Như vậy đặc tính của nó có dạng phi tuyến; với nhiệt độ lớn hơn  $660^{\circ}\text{C}$  và nhỏ hơn  $-180^{\circ}\text{C}$  quan hệ giữa  $R_T = f(t)$  được chuẩn hóa và cho dưới dạng bảng.

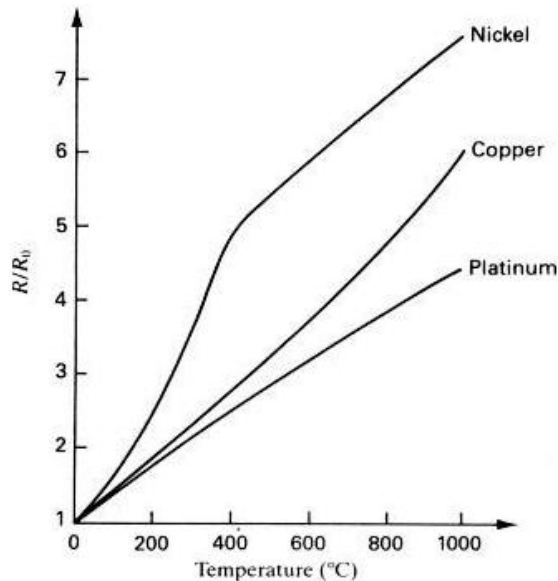
Nhược điểm của chuyển đổi nhiệt điện trở Platin là đặc tính phi tuyến, không dùng được trong môi trường ôxi hóa khử. Nhưng do ưu điểm là độ bền hóa học cao,

tính dẻo lớn, có thể chế tạo thành sợi rất mỏng (đến  $1,25\mu\text{m}$ ) nên được sử dụng rộng rãi.

- Nhiệt điện trở Niken: niken có thể sử dụng đến nhiệt độ  $250 \div 300^{\circ}\text{C}$ , ở nhiệt độ cao hơn quan hệ  $R_T = f(t)$  không đơn trị. Trong khoảng nhiệt độ từ  $0 \div 100^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha \approx 5.10^{-3} 1/^{\circ}\text{C}$ .

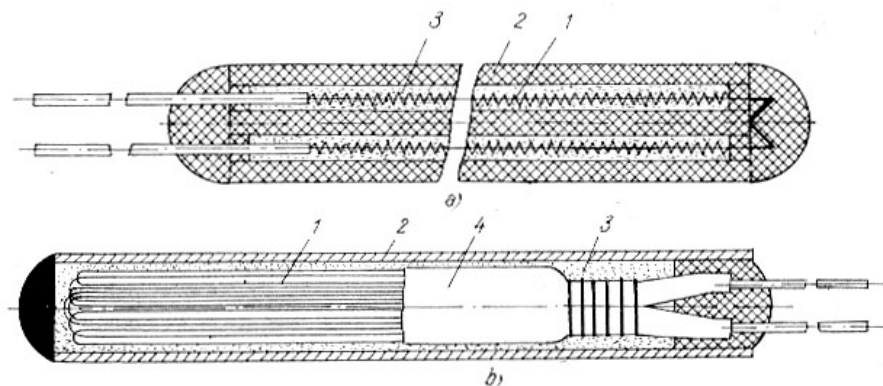
Tính chất điện của Niken phụ thuộc nhiều vào tạp chất và quá trình nhiệt luyện. Ưu điểm cơ bản của Niken là điện trở suất cao (gấp 5 lần của đồng), hệ số nhiệt lớn cho phép chế tạo được chuyển đổi có kích thước nhỏ.

Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở kim loại điển hình như hình 7.36:



Hình 7.36. Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở kim loại điển hình

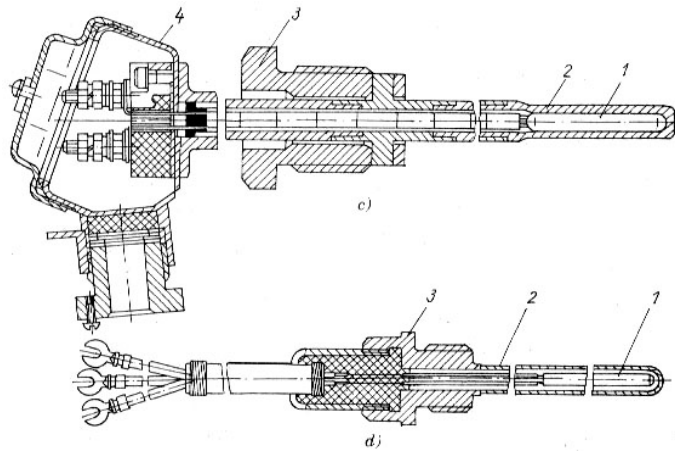
Hình 7.37a,b là sơ đồ cấu tạo của một số loại nhiệt điện trở thường dùng trong công nghiệp: dây nhiệt điện trở được luồn vào hai hoặc bốn ống sứ 2 và được bọc bên ngoài bằng bột ôxit nhôm 3, (ôxit nhôm cách điện tốt, bền nhiệt và dẫn nhiệt tốt):



Hình 7.37a,b: Sơ đồ cấu tạo của nhiệt điện trở:  
1 – dây điện trở; 2 – vỏ bảo vệ; 3 – bột ôxit nhôm

Hình 7.37c,d là cấu tạo của loại chuyển đổi nhiệt điện trở dùng trong công nghiệp. Chúng gồm có: dây 1 đặt trong ống sứ, bên ngoài là thiết bị bảo vệ 2 được chế tạo bằng thép tốt không gỉ, để gắn chuyển đổi lên đối tượng đo người ta dùng ổ đỡ tĩnh, hoặc động 3 và hộp đầu ra 4:





Hình 7.37c,d: Sơ đồ cấu tạo của nhiệt điện trở:

1 – dây đặt trong ống sứ; 2 – vỏ bảo vệ; 3 – ổ đỡ; 4 – hộp đầu ra

- **Nhiệt điện trở bán dẫn (thermistor):** nhiệt điện trở bán dẫn được chế tạo từ một số ôxit kim loại khác nhau như CuO, CoO, MnO... Quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ của nó được biểu diễn bằng biểu thức:

$$R_T = R_0 \cdot \exp \left[ \beta \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

với:  $R_0$  - điện trở tại nhiệt độ  $T_0$  của chất bán dẫn, phụ thuộc vào tính chất vật lý của chất bán dẫn, kích thước và hình dáng của nhiệt điện trở bán dẫn.

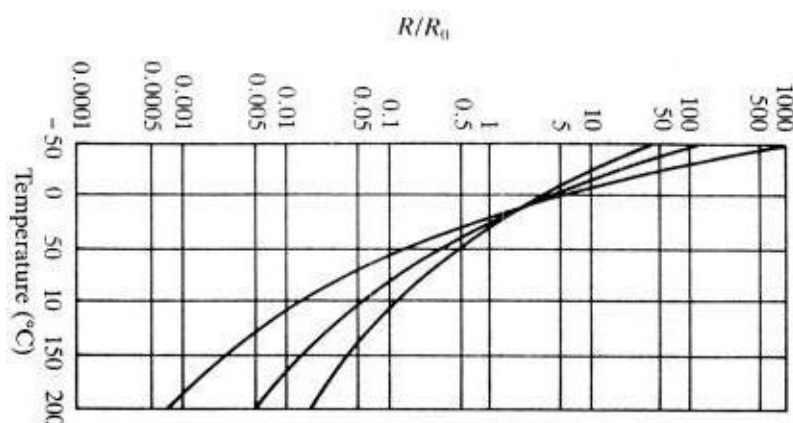
$\beta$  - hằng số phụ thuộc vào tính chất vật lý của chất bán dẫn.

$T$  - nhiệt độ tuyệt đối của chất bán dẫn (nhiệt độ cần đo).

Hệ số nhiệt độ  $\alpha$  của chất bán dẫn mang dấu âm và có giá trị từ  $0,02 \div 0,08 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  lớn gấp 8÷10 lần của kim loại và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ:

$$\alpha = -\frac{\beta}{T^2}$$

Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở bán dẫn điển hình như hình 7.38:



Hình 7.38. Đường đặc tính của một số nhiệt điện trở bán dẫn điển hình

Vì điện trở suất lớn do đó kích thước của chuyển đổi nhiệt điện trở bán dẫn thường nhỏ. Cấu tạo của nhiệt điện trở bán dẫn có thể ở dạng thanh, dạng đĩa, và hình cầu.

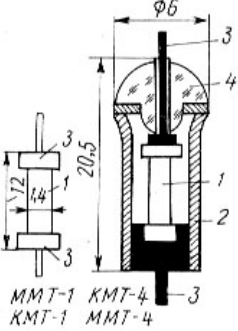
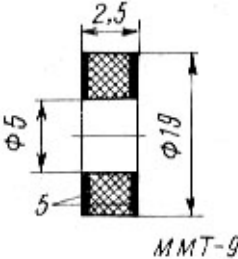
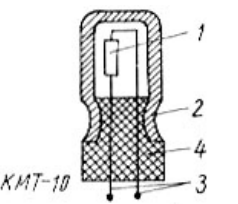
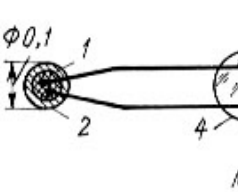
Nhược điểm của các nhiệt điện trở bán dẫn là đặc tính nhiệt độ phi tuyến nên khó khắc độ.

Bảng 7.2 và 7.3 cho thấy các thông số đặc trưng của nhiệt điện trở kim loại và hình dáng cấu tạo, thông số cơ bản của nhiệt điện trở bán dẫn:

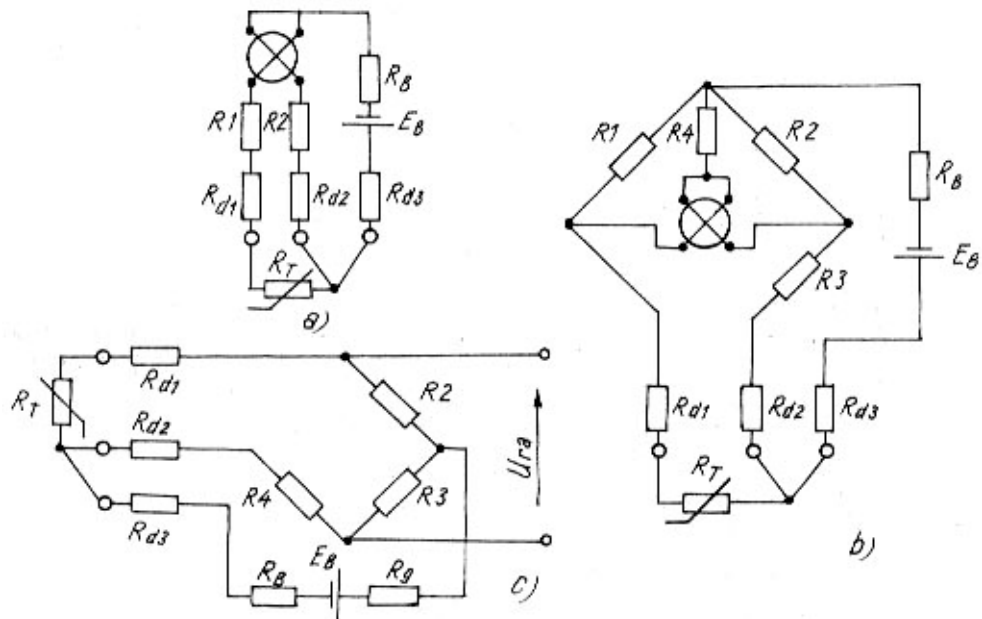
*Bảng 7.2: Các thông số đặc trưng của một số loại nhiệt điện trở kim loại thông dụng:*

Vật liệu	Khoảng nhiệt độ đo ( $^{\circ}\text{C}$ )	Điện trở $R_0$ ( $\Omega$ )	Sai số tương đối ( $\Delta R_0/R_0$ )		Sai số tuyệt đối $\Delta t, ^{\circ}\text{C}$		
			Cấp I	Cấp II, III	Cấp I	Cấp II	Cấp III
Platin	$0 \div 650$	$10 \div 46$	$\pm 0.05$	$\pm 0,1$	$\pm(0,15 \pm 310^{-3}t)$	$\pm(0,3 \pm 4,510^{-3}t)$	-
	$-200 \div 0$	100			$\pm(0,15 \pm 4,5.10^{-3}t)$	$\pm(0,3 \pm 6.10^{-3}t)$	-
Đồng	$50 \div 180$	$53 \div 100$	$\pm 0.05$	$\pm 0,1$	-	$\pm(0,3 \pm 4,510^{-3}t)$	$\pm(0,3 \pm 6.10^{-3}t)$

*Bảng 7.3: Các thông số đặc trưng của một số loại nhiệt điện trở thông dụng:*

Loại nhiệt điện trở	Hệ số nhiệt điện trở $\% / 1^{\circ}\text{C}$	Điện trở ban đầu $R_0$	Nhiệt độ làm việc lớn nhất ( $^{\circ}\text{C}$ )	Hằng số thời gian trong không khí (s)	Ứng dụng
 <p>MMT-1 KMT-4 KMT-1 MMT-4</p>	$-2,4 \div -3,4$	$1 \div 200$	+120	$85 \div 115$	Đo nhiệt độ
 <p>MMT-9</p>	$-2,4 \div -3,4$	$0,01 \div 5$	+120	$85 \div 115$	Hiệu chỉnh nhiệt độ
 <p>KMT-10</p>	$-2,4 \div -3,4$	$0,5 \div 3,0$	+120	-	Đo nhiệt độ
 <p>MT-6</p>	-	-	-	$1 \div 10$	Đo nhiệt độ biến thiên của chất khí không xâm thực

c) **Mạch đo:** mạch đo đối với chuyển đổi nhiệt điện trở có thể dùng mạch bất kỳ để đo điện trở của nó. Thông thường người ta hay dùng mạch cầu không cân bằng có chỉ thị là lôgômét hoặc cầu tự động ghi. Để giảm sai số của điện trở đường dây có thể dùng mạch cầu ba dây như hình 7.39a, b, c:



Hình 7.39. Mạch đo của chuyển đổi nhiệt điện trở:

a) Mạch lôgômét; b) Mạch cầu 3 dây dùng chỉ thị lôgômét; c) Mạch cầu 3 dây

Sai số của nhiệt kế nhiệt điện trở chủ yếu là do sự thay đổi điện trở đường dây khi nhiệt độ môi trường thay đổi. Điện trở đường dây có thể đạt tới  $5\Omega$  trong khi đó điện trở của nhiệt điện trở thường vào khoảng  $40\div 100\Omega$  do đó khi điện trở đường dây thay đổi gây nên sai số đáng kể.

Ngoài ra dòng điện chạy qua nhiệt điện trở gây nóng cũng làm cho điện trở tăng lên, gây sai số, mặt khác nhiệt điện trở được bọc ngoài bằng một vỏ thép nên bị tổn hao nhiệt và gây sai số.

d) **Ứng dụng:** dùng đo nhiệt độ, đo các đại lượng không điện như đo di chuyển, đo áp suất và dùng để phân tích thành phần, nồng độ của một số hợp chất và chất khí.

### 7.5.3. Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất của điốt và tranzito bán dẫn.

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** hoạt động dựa trên sự phụ thuộc nhiệt độ của đặc tính của điốt. Dựa trên đặc tính đó người ta sử dụng để đo nhiệt độ hoặc sự thay đổi nhiệt độ của một đối tượng nào đó. Tuy vậy sự phụ thuộc này không tuyến tính và không đủ độ tin cậy, do vậy người ta sử dụng tính chất phụ thuộc vào nhiệt độ của  $U_{BE}$  (điện áp giữa bazơ-emitor) của tranzito khi duy trì  $I_C$  (dòng điện côlector) không đổi.

Theo mẫu Ebers-Moll, dòng điện côlector ( $I_C$ ) của một tranzito lý tưởng là:

$$I_C = \alpha_F \cdot I_{ES} \cdot \left( \exp \left\{ \frac{qU_{BE}}{KT} \right\} - 1 \right) - I_{CS} \cdot \left( \exp \left\{ \frac{-qU_{CB}}{KT} \right\} - 1 \right)$$

với:  $\alpha_F$  - hệ số tỉ lệ;

$I_{ES}$  - dòng emitor bão hoà.

$q$  - điện tích,  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}C$ ;

$U_{BE}$  - điện áp giữa bazơ và emitor.

T - nhiệt độ tuyệt đối;

$I_{CS}$  - dòng collector bão hoà

$U_{CB}$  - điện áp giữa collector và bazơ

$\alpha_F I_{ES}$  được kí hiệu là  $I_S$  ( $\alpha_F I_{ES} = I_S$ ), trong vùng hoạt động thường  $I_C \gg I_S$ .

Với điều kiện  $U_{CB} = 0$  ta có:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_C}{I_S}$$

như vậy  $U_{BE}$  phụ thuộc vào nhiệt độ.

Mặt khác  $I_S$  cũng phụ thuộc vào nhiệt độ, một cách gần đúng ta có:

$$I_S = BT^3 \exp \left\{ \frac{-qU_{go}}{KT} \right\}$$

với: B - hằng số;

$U_{go}$  - điện áp tiếp giáp.

Suy ra:

$$U_{BE} = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_C}{I_{C0}} \left( \frac{T_0}{T} \right)^3 + (U_{BE0} - U_{go}) \cdot \frac{T}{T_0} + U_{go}$$

với:  $U_{BE0}$  - điện áp bazơ-emitor ứng với dòng  $I_{C0}$  ở nhiệt độ  $T_0$

Từ công thức trên ta thấy quan hệ giữa  $U_{BE}$  và nhiệt độ T là phi tuyến và phụ thuộc vào dòng  $I_C$ .

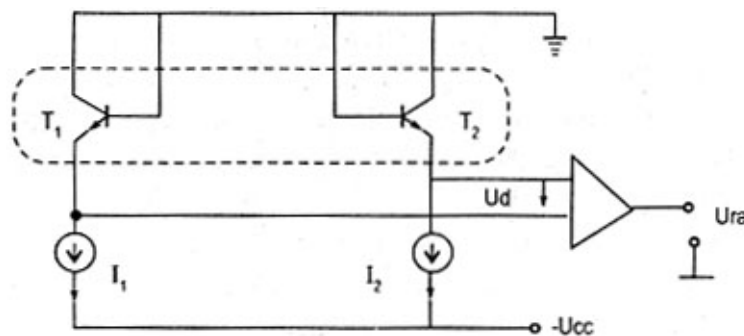
Độ nhạy của  $U_{BE}$  theo T:

$$S = \left. \frac{dU_{BE}}{dT} \right|_{I_C = I_{C0}} = \frac{U_{BE0} - U_{go}}{T_0} - \frac{3K}{q} \left( 1 + \ln \frac{T}{T_0} \right)$$

phần đầu của biểu thức phía phải tương ứng với độ nhạy, phần sau mô tả độ phi tuyến.

Do độ phi tuyến nhiều nên cần phải duy trì dòng collector không đổi (theo thời gian và nhiệt độ) làm cho phương pháp này không khả thi.

Thông thường người ta sử dụng hai tranzito có dòng emitor giống nhau và được cung cấp bởi dòng điện collector khác nhau như hình vẽ 7.40:



Hình 7.40. Cảm biến nhiệt độ dựa trên tính chất của tranzito

Nếu cả hai tranzito ở cùng nhiệt độ thì sự khác nhau giữa dòng bazơ-emitor là:

$$U_d = U_{BE1} - U_{BE2} = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}}$$

Nếu cả hai tranzito được coi là giống nhau thì ta có  $I_{S1} = I_{S2}$  và suy ra:

$$U_d = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}$$

Với  $I_{C1}/I_{C2}$  là hằng số thì  $U_d$  sẽ tỉ lệ với nhiệt độ  $T$  mà không cần đến một nguồn ổn định:

$$U_d = \frac{KT}{q}$$

Ví dụ: nếu  $I_{C1}/I_{C2} = 2$  thì  $U_d/T = 59,73 \mu V/K$ , như vậy cần khuếch đại 167,4 lần để có tín hiệu ra là 10mV/K.

Các cảm biến nhiệt độ sử dụng tính chất của tranzito bán dẫn đã được chế tạo dưới dạng các vi mạch (IC), bảng 7.4 là các thông số cơ bản của một số IC bán dẫn đo nhiệt độ phổ biến:

*Bảng 7.4. Một số đặc tính của cảm biến nhiệt độ dựa trên bán dẫn tranzito*

Loại	Độ nhạy	Dải đo	Sai số
AD 592 CN	$1 \mu A/K$	$-25^{\circ}C \div 105^{\circ}C$	$0,3^{\circ}C$
LM 35	$\pm 10 mV/K$	$-55^{\circ}C \div 150^{\circ}C$	$\pm 0,25^{\circ}C$
MMB-TS 102	$-2,25 mV/K$	$-40^{\circ}C \div 150^{\circ}C$	$\pm 2^{\circ}C$
REF - 02A	$2,1 mV/K$	$-55^{\circ}C \div 125^{\circ}C$	$\pm 0,5^{\circ}C$

## 7.6. Chuyển đổi hóa điện.

### 7.6.1. Nguyên lý làm việc chung của các chuyển đổi hóa điện:

Chuyển đổi hóa điện là những chuyển đổi dựa trên các hiện tượng hóa điện xảy ra khi cho dòng điện đi qua bình điện phân hoặc do quá trình ôxi hóa khử các điện cực. Các hiện tượng này phụ thuộc vào tính chất của các điện cực, bản chất và nồng độ của các dung dịch. Do đó chuyển đổi hóa điện thường là một bình điện phân chứa một dung dịch nào đó, có hai hay nhiều cực để nối với mạch đo lường.

Giống như phân tử của một mạch điện, chuyển đổi hóa điện có thể được đặc trưng bằng sức điện động do nó sinh ra, sụt áp khi dòng điện qua nó hoặc là các phần tử điện trở, điện cảm, điện dung.

Nguyên lý làm việc của các chuyển đổi hóa điện là dựa vào quan hệ giữa thành phần, tính chất các dung dịch với các thông số điện nói trên. Quan hệ này phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như nhiệt độ, áp suất, tốc độ dịch chuyển, các thông số khác của dung dịch và của điện cực, do vậy phương trình biến đổi với các chuyển đổi hóa điện là những hàm số rất phức tạp.

Khi tăng một sự phụ thuộc này và giảm đến mức thấp nhất các sự phụ thuộc khác có thể chế tạo ra các chuyển đổi hóa điện không chỉ để xác định thành phần và nồng độ các dung dịch mà còn dùng để đo nhiều đại lượng không điện khác như di chuyển áp suất, tốc độ, gia tốc...

Để hiểu nguyên lý làm việc của các chuyển đổi hóa điện ta cần nghiên cứu các hiện tượng điện hóa cơ bản gồm: hiện tượng phân li, điện thế cực, hiện tượng điện phân và sự phân cực.

**a) Hiện tượng phân li:** khi hoà tan vào nước hoặc các dung dịch khác các muối hoặc axit, bazơ... thì phân tử của các chất này sẽ phân li thành các ion điện tích dương (cation) hoặc các ion điện tích âm (anion) và tạo thành một dung dịch dẫn

điện. Sự chuyển động của các hạt mang điện tích trong chất điện li hay các điện cực chỉ diễn ra dưới dạng chuyển động của các ion hoặc tách ion trên các điện cực.

Nồng độ của dung dịch càng lớn thì điện dẫn của dung dịch càng tăng. Điện dẫn của nước tinh khiết bằng không, điện dẫn của một dung dịch bất kỳ được tính bằng công thức:

$$\gamma = \lambda \cdot f \cdot c = \lambda \cdot a \quad (1/\Omega \cdot m)$$

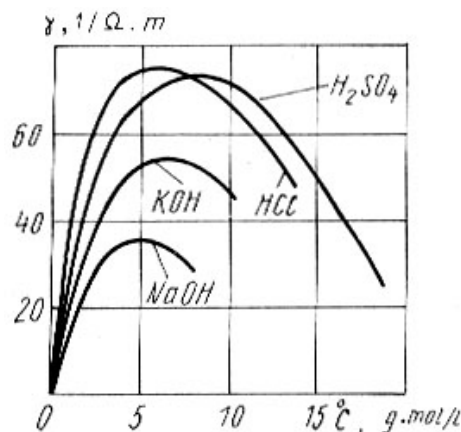
c - nồng độ tương đương hay nồng độ phân tử (tính bằng gammol trên lít)

f - hệ số hoạt động của dung dịch (f = 1 ở dung dịch loãng và giảm khi c tăng).

a = f.c - độ hoạt động của dung dịch.

$\lambda$  - hệ số, còn gọi là điện dẫn tương đương.

Hình 7.41 là đường đặc tính của một số dung dịch:



Hình 7.41. Đường đặc tính phân li của một số dung dịch

Điện dẫn của dung dịch phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Hệ số nhiệt độ của các dung dịch điện dẫn khác nhau vào khoảng  $1,5 \div 2,5\% / 1^\circ\text{C}$ .

**b) Điện thế cực:** khi nhúng một điện cực kim loại vào nước hay dung dịch thì giữa các điện cực và dung dịch xuất hiện một điện thế gọi là điện thế cực. Điện thế này được tạo ra do các nguyên tử ở dạng ion dương đi vào dung dịch, khi đó xác lập một sự cân bằng động giữa kim loại và dung dịch, trên bề mặt của điện cực xuất hiện một điện thế nhảy cấp gọi là điện thế cực.

Khi nồng độ của dung dịch nhỏ, các ion kim loại đi vào dung dịch nên điện cực có thể âm hơn so với dung dịch. Ngược lại ở nồng độ cao, các ion kim loại được tách ra bám trên điện cực làm cho điện cực có điện thế dương so với dung dịch.

Điện thế cực không chỉ xuất hiện trên cực kim loại mà còn xuất hiện trên các điện cực phi kim loại. Người ta lấy điện cực hydro làm điện cực chuẩn, điện thế cực của nó bằng không.

Điện thế cực của các chất khác nhau đối với điện cực chuẩn không vượt quá  $\pm 3\text{V}$ . Ví dụ: điện thế cực của Kali  $E_0 = -2,92\text{V}$ ; Kẽm  $E_0 = -0,76\text{V}$ ; Đồng  $E_0 = +0,34\text{V}$ .

$E_0$  là điện thế chuẩn với nồng độ  $1\text{g-mol/l}$  và nhiệt độ  $18^\circ\text{C}$ . Ở nhiệt độ và nồng độ bất kì thì điện thế cực được tính:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln a$$

với:  $R = 8,3178/\text{C}$  - hằng số khí.



T - nhiệt độ tuyệt đối K.

n - hóa trị ion.

F = 96522 C/g - mol- hằng số Faraday.

- *Phản tử galvanic*: nếu hai điện cực nhúng vào môi trường thì trên các điện cực sẽ xảy ra phản ứng ôxi hóa khử tạo thành một phản tử galvanic có sức điện động bằng hiệu điện thế giữa hai điện cực, mỗi điện cực được gọi là bán phản tử:

$$E_{12} = E_1 - E_2 = E_{01} - E_{02} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}$$

Ngoài điện thế cực ra, trên biên của hai dung dịch cũng có một hiệu điện thế gọi là điện thế biên sinh ra do độ cơ động của các ion trong hai dung dịch khác nhau. Điện thế biên cỡ vài milivon đến vài chục milivon.

### c) *Hiện tượng điện phân và sự phân cực*:

*Hiện tượng điện phân*: nếu cho một dòng điện chạy qua dung dịch thì sẽ xảy ra hiện tượng điện phân, đó là một quá trình biến đổi hóa học tách vật chất ra khỏi dung dịch. Để tách một gam tương đương một chất bất kỳ ra khỏi dung dịch cần có một lượng điện tích bằng 96.522 culon. Nguyên lý làm việc của các chuyển đổi điện phân dựa trên hiện tượng này.

*Hiện tượng phân cực*: là hiện tượng thay đổi điện thế cực do sự thay đổi nồng độ ở gần điện cực khi có dòng điện chạy qua bình điện phân. Dựa trên hiện tượng phân cực người ta chế tạo các thiết bị dùng để phân tích định tính và định lượng dung dịch, thiết bị đó gọi là phân cực kí.

Nếu dòng đi chạy qua bình điện phân là dòng xoay chiều thì điện áp phân cực cũng sẽ biến thiên, điện áp và dòng điện lệch pha nhau một góc  $90^\circ$ .

Điện áp rơi trên bình điện phân bao gồm điện áp rơi trên điện trở dung dịch và điện áp phân cực trên các điện cực  $\Delta V$ .

Khi đo điện trở của dung dịch bằng dòng một chiều thì sai số do phân cực bằng  $\Delta V/V$  và có thể tới 10% nếu điện áp trên hai cực  $U = 20V$ . Đối với dòng xoay chiều sai số sẽ giảm nhiều khi  $\Delta U \ll U$  và bằng  $0,5 \cdot \Delta U/U^2$ , vì điện áp rơi trên điện trở bình điện phân và điện áp phân cực lệch pha nhau  $90^\circ$ .

### 7.6.2. *Chuyển đổi điện dẫn dung dịch*:

a) *Cấu tạo và nguyên lý hoạt động*: nguyên lý làm việc của chuyển đổi điện dẫn dựa vào sự phụ thuộc của điện dẫn dung dịch với thành phần và nồng độ của chất điện phân cũng như khoảng cách l và tiết diện của điện cực s.

Một cách gần đúng phương trình đặc trưng của chuyển đổi có dạng:

$$R = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{l}{s} = \frac{1}{\lambda f c} \cdot \frac{l}{s}$$

với:  $\gamma$  là điện dẫn suất của dung dịch

Chuyển đổi điện dẫn dung dịch được sử dụng rộng rãi để đo nồng độ của dung dịch (khi l và s không thay đổi), khi đó:

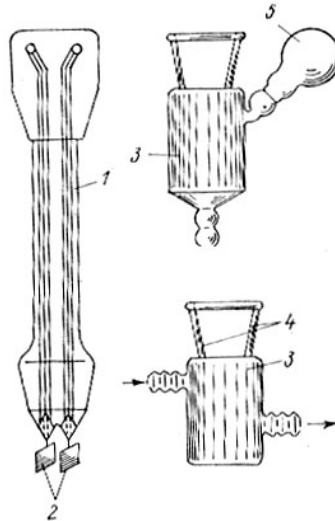
$$R = f(\gamma) = k \cdot \frac{1}{\gamma}$$

và đo các đại lượng khi nồng độ dung dịch không thay đổi, khi đó:

$$R = f\left(\frac{l}{s}\right)$$

**b) Mạch đo và ứng dụng:** chuyển đổi điện dẫn dung dịch thường dùng với mạch cầu.

Sơ đồ chuyển đổi điện dẫn dung dịch đo nồng độ: như hình 7.42: gồm có vỏ 1, bên trong là điện cực platin 2 và bình đo 3 có lỗ 4 để lắp chuyển đổi vào. Các bình này cho phép đo nồng độ dung dịch đang chảy hoặc nhờ bơm cao su khuấy dung dịch 5:

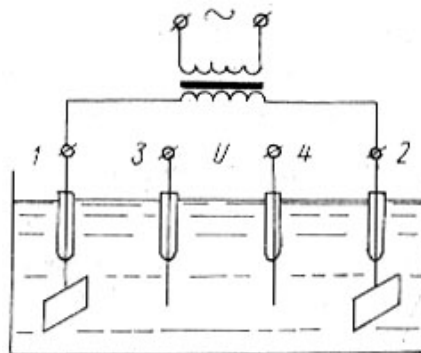


Hình 7.42. Sơ đồ chuyển đổi điện dẫn dung dịch đo nồng độ

Hằng số  $k=1/s$  ở trong khoảng  $30 \div 70$  l/m và được xác định bằng thực nghiệm với sai số  $\pm 1\%$ . Chuyển đổi được cung cấp bằng điện áp xoay chiều  $50\text{Hz} \div 1000\text{Hz}$  để loại trừ sai số do hiện tượng phân cực.

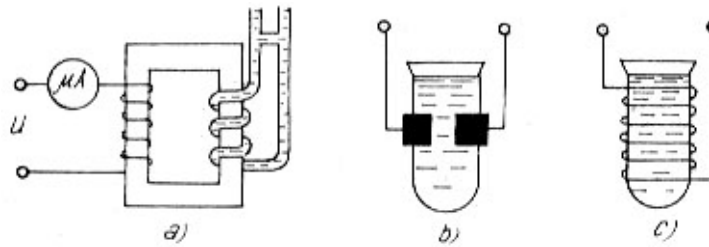
Trong công nghiệp, khi cần đo nồng độ các dung dịch người ta dùng chuyển đổi có điện cực dạng hai hình trụ đồng tâm và cho dung dịch cần đo chảy qua. Tùy theo bản chất của dung dịch, điện cực có thể được làm bằng graphite, platin, thép không gỉ hay các vật liệu khác không tương tác với dung dịch.

**Chuyển đổi 4 điện cực:** như hình 7.43: để loại trừ sai số do phân cực, cùng với việc cung cấp điện áp xoay chiều, người ta còn dùng chuyển đổi 4 điện cực trong đó có hai điện cực dòng (1,2) cung cấp bằng dòng điện xoay chiều ổn định và hai cực điện áp (3,4) dùng đo điện áp:



Hình 7.43. Chuyển đổi 4 điện cực

*Chuyển đổi điện dẫn không tiếp xúc:* như hình 7.44: để loại trừ hiện tượng phân cực và các tác dụng tương hỗ không mong muốn khác giữa các điện cực và dung dịch, người ta dùng chuyển đổi điện dẫn không tiếp xúc:



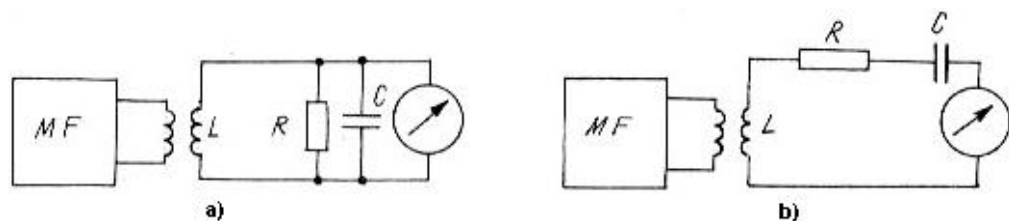
Hình 7.44. Chuyển đổi điện dẫn không tiếp xúc

Tùy theo tần số cung cấp cho chuyển đổi tần thấp (âm tần) và chuyển đổi cao tần:

- Chuyển đổi âm tần kiểu biến áp: như hình 7.44a: gồm có cuộn dây ngắn mạch 1 là một ống thủy tinh chứa dung dịch cần đo. Dòng điện trong cuộn dây sơ cấp phụ thuộc vào tổng trở của mạch thứ cấp và bản thân mạch thứ cấp, tổng trở của nó lại phụ thuộc vào nồng độ của dung dịch cần đo, dụng cụ 2 mắc trong mạch sơ cấp có thể khắc độ theo đơn vị nồng độ. Chuyển đổi này dùng để đo nồng độ dung dịch có điện dẫn suất trong khoảng  $\gamma = 0 \div 50$  ( $1/\Omega \cdot m$ ). Nhược điểm của chuyển đổi này là kết cấu phức tạp do phải chế tạo vòng đựng chất lỏng (gồm một ống thủy tinh hoặc chất dẻo có đặt các điện cực bằng kim loại ở phía ngoài).
- Chuyển đổi điện dẫn kiểu điện dung: như hình 7.44b: gồm một ống thủy tinh hoặc chất dẻo có đặt các điện cực bằng kim loại phía ngoài.
- Chuyển đổi cao tần kiểu điện cảm: như hình 7.44c trong đó các điện cực được thay thế bằng cuộn dây quấn quanh ống.

Các chuyển đổi cao tần được nối với mạch cộng hưởng do một máy phát cao tần cung cấp như hình 7.45: để đo nồng độ dung dịch nhỏ có thể dùng mạch hình 7.45a, mạch cộng hưởng gồm các phần tử được mắc song song với nhau.

Với nồng độ lớn hơn người ta dùng mạch gồm các phần tử mắc nối tiếp như hình 7.45b, dụng cụ được khắc độ theo mẫu có nồng độ đã biết.



Hình 7.45. Các chuyển đổi điện dẫn cao tần:

a) đo nồng độ dung dịch nhỏ

b) đo nồng độ dung dịch lớn

### 7.6.3. Chuyển đổi ganvanic:

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** nguyên lý làm việc của chuyển đổi ganvanic dựa vào sự phụ thuộc của điện thế cực theo nồng độ và thành phần của dung dịch. Ganvanic được dùng rộng rãi để đo độ hoạt động của các ion hydro, qua đó xác định được thành phần và tính chất của dung dịch nước cần nghiên cứu.

Sự phân li của nước diễn ra theo phương trình sau:



Nếu gọi  $a_{H^+}$ ,  $a_{OH^-}$  là hoạt độ của các ion  $H^+$  và  $OH^-$  thì  $K = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$  là một hằng số và gọi là hằng số phân li ở nhiệt độ  $25^\circ C$ .

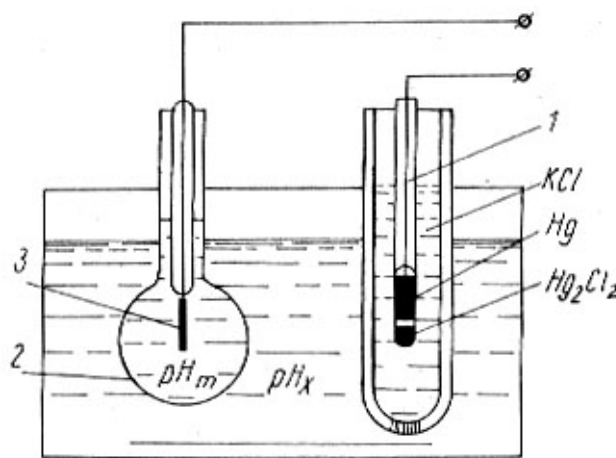
$a_{H^+} = a_{OH^-} = 10^{-7}$ ,  $K = 10^{-14}$  với nước sạch và dung dịch trung hoà; với dung dịch axit  $a_{H^+} > a_{OH^-}$ ; với dung dịch kiềm  $a_{H^+} < a_{OH^-}$ .

Trong thực tế để tiện cho việc tính toán và ghi chép, người ta dùng đơn vị mới gọi là độ pH:

$$pH = -\lg a_{H^+}$$

Vì  $a_{H^+}$  thay đổi từ  $10^0 \div 10^{-14}$  nên khoảng thay đổi của độ pH =  $0 \div 14$ .

**b) Mạch đo và ứng dụng:** các dụng cụ đo độ pH gọi là các pH-mét, trong đó có chuyển đổi ganvanic. Chuyển đổi ganvanic gồm có bán phần tử calômen 1 và điện cực đo lường thủy tinh 2 như hình 7.46:



Hình 7.46. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của chuyển đổi ganvanic

Điện cực bán phần tử calômen là một ống thủy ngân trong đó có dung dịch calômen bão hoà khó hoà tan ( $Hg_2Cl_2$ ).

Sự tiếp xúc điện của bán phần tử với dung dịch thí nghiệm được thực hiện qua dung dịch bão hoà KCl (khóa điện li) để giảm điện thế khuếch tán, do trên biên của dung dịch KCl điện thế khuếch tán có trị số nhỏ.

Điện cực thủy tinh 2 là một bình thủy tinh có thành mỏng (chứa Natri). Khi nhúng bình thủy tinh vào dung dịch, các ion natri từ thủy tinh đi vào dung dịch, còn các ion hiđrô từ dung dịch vào chiếm chỗ của chúng do đó bề mặt của lớp thủy tinh được làm bão hoà bởi các ion hiđrô và điện cực thủy tinh có tính chất như điện cực hiđrô.

Để lấy điện thế ở bên trong điện cực thủy tinh, bình được đổ đầy dung dịch mẫu có độ pH\_m đã biết. Trong bình thủy tinh có điện cực clorua bạc 3.

Với độ pH\_x cần đo, sức điện động E của chuyển đổi ganvanic có thể biểu diễn dưới dạng:

$$E = E_0 + b \cdot pH.$$

với:  $E_0$  - suất điện động của chuyển đổi khi pH = 0.

b - hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ và loại điện cực được sử dụng.

Khi đo sức điện động của chuyển đổi ganvanic thường người ta dùng mạch đo kiểu bù có thiết bị tự động hiệu chỉnh sai số nhiệt độ.

Các pH mét công nghiệp có thể đo được độ pH của dung dịch và bùn ở nhiệt độ từ  $0 \div 100^{\circ}\text{C}$  với sai số cơ bản 0,02 đơn vị pH. Các pH-mét trong phòng thí nghiệm với điện cực thủy tinh có màn chắn và có thiết bị hiệu chỉnh nhiệt độ đạt được sai số không lớn hơn 0,01 đơn vị pH và dải làm việc trong khoảng từ  $0 \div 100^{\circ}\text{C}$ .

**c) Các đặc tính cơ bản:** sai số của chuyển đổi ganvanic chủ yếu do ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường và điện thế biên. Sự thay đổi nhiệt độ dẫn đến sự thay đổi điện thế cực và điện trở của chuyển đổi. Để giảm sai số này có thể dùng mạch hiệu chỉnh nhiệt độ.

Sai số động của chuyển đổi có điện cực thủy tinh phụ thuộc vào chiều dày của bình. Với thành rất mỏng (cỡ 0,05mm), điện thế của điện cực thủy tinh thay đổi tức thời theo sự thay đổi độ pH của dung dịch.

Khắc độ được tiến hành theo mẫu dung dịch có độ pH ổn định và có thể đạt được sai số tuyệt đối  $\pm 0,01$  pH.

Do tín hiệu ra của chuyển đổi ganvanic rất nhỏ (tổng trở ra lớn) nên mạch đo cần có tổng trở vào lớn ( $10^8 \div 10^{12} \Omega$ ).

#### 7.6.4. Chuyển đổi điện phân (chuyển đổi Culon):

**a) Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** nguyên lý làm việc của chuyển đổi điện phân dựa vào hiện tượng điện phân: theo định luật Faraday, quan hệ giữa điện lượng  $Q$  và lượng vật chất tách ra trên điện cực được biểu diễn theo phương trình:

$$Q = \int i dt = \frac{m \cdot n \cdot F}{A}$$

với:  $m$  - khối lượng chất được giải phóng

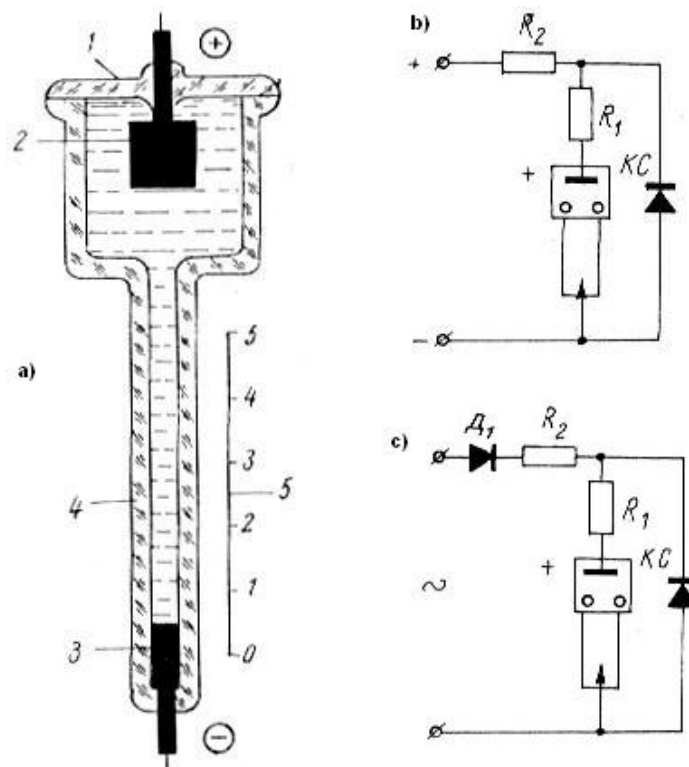
$n$  - hóa trị ion

$A$  - trọng lượng nguyên tử của chất.

$F = 96522 \text{ C/g} \cdot \text{mol}$  - hằng số Faraday.

Chuyển đổi điện phân là một khâu tích phân: đại lượng vào có thể là điện lượng  $Q$  hoặc sự thay đổi dòng điện với thời gian  $t$ , đại lượng ra có thể là khối lượng chất giải phóng hoặc sự thay đổi chiều dài, điện trở của điện cực, độ trong suốt quang học của điện cực và dung dịch.

**b) Mạch đo và ứng dụng:** chuyển đổi điện phân đơn giản nhất là đồng hồ thời gian như hình 7.47a dùng để đo thời gian làm việc của các thiết bị. Nó gồm có vỏ thủy tinh 1 đặt hai điện cực bằng đồng là anốt 2 và catốt 3. Catốt nằm trong ống mao quản 4, dọc theo ống mao quản có thang chia độ 5. Dung dịch chứa trong bình là sunfát đồng  $\text{CuSO}_4$ :



Hình 7.47. Chuyển đổi điện phân đơn giản: đồng hồ thời gian:  
a) cấu tạo b) sơ đồ mắc đồng hồ với dòng DC c) sơ đồ mắc đồng hồ với dòng AC

Khi có dòng điện một chiều đi qua sẽ xảy ra hiện tượng điện phân. Anốt tan vào dung dịch còn catốt được bám vào một lượng đồng làm tăng độ dài của nó. Với dòng điện không thay đổi, độ dài của cực catốt khi tăng một lượng  $\Delta l$  có thể viết dưới dạng:

$$\Delta l = \frac{A}{\delta \cdot n \cdot F} \cdot \frac{I}{s} \cdot t = k \cdot t$$

với:  $\delta$  - mật độ dòng điện  
s - tiết diện của catốt  
t - thời gian đo.

Hình là các sơ đồ mắc của đồng hồ: với dòng một chiều ( hình 7.47b), với dòng xoay chiều (hình 7.47c).

Đồng hồ thời gian trên được chế tạo với giới hạn đo  $5 \div 10^4$  giờ với dòng chảy từ  $0,01 \div 1 \text{ mA}$ . Sai số khoảng 5% khi cân catốt và 20% khi tính theo thang chia độ.

Ngoài đồng hồ thời gian, chuyển đổi điện phân còn được chế tạo thành các dụng cụ để đo điện lượng khi phóng nạp ắc quy và các điện trở điều khiển dùng trong các mạch điều khiển và mạch hiệu chỉnh.

### 7.6.5. Chuyển đổi khimôtrôn:

a) **Cấu tạo và nguyên lý hoạt động:** khimôtrôn là một chuyển đổi điện hóa, nguyên lý làm việc của nó dựa trên việc sử dụng lớp "khóa", đó là lớp môi trường làm nghèo đi các hạt mang điện tích (tương tự như điốt và tranzito bán dẫn).

Chuyển đổi Khimôtrôn là một bình điện phân chứa đầy dung dịch iốt tuakali, trong dung dịch được duy trì dưới dạng ôxi hóa và dạng khử của một kim loại ion nhất định. Các điện cực được làm bằng kim loại không tương tác hóa học với chất điện phân (như vàng, bạch kim).

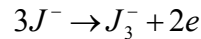


Khi ở dạng dung dịch, iốt-tuakali được phân ly theo phương trình:



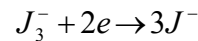
**Dòng điện dẫn:** nếu ta đặt vào hai điện cực anốt và catốt một điện áp (cỡ 1V) thì các ion sẽ chuyển động và dẫn điện. Điện dẫn của dung dịch chủ yếu là do các anion  $J^-$ , còn ion cation  $K^+$  không tham gia dẫn điện vì ở catốt có điện thế âm cỡ -2V (trong khi đó điện thế thoát của  $K^+$  khoảng -1,8V).

Dưới tác dụng của điện trường giữa anốt và catốt, các ion  $J^-$  di chuyển đến anốt và cho anốt điện tử để tạo thành ion  $J_3^-$  theo phương trình:



Các ion  $J^-$  giảm liên tục và rất nhanh cho đến khi dòng điện giảm đến không ( $I = 0$ ) do  $J^-$  biến hết thành  $J_3^-$ .

**Dòng điện khuếch tán:** bên cạnh hiện tượng này thì nhờ sự khuếch tán trong dung dịch, các ion  $J_3^-$  chạm vào cực catốt, nhận được điện tử để tạo thành dòng khuếch tán:

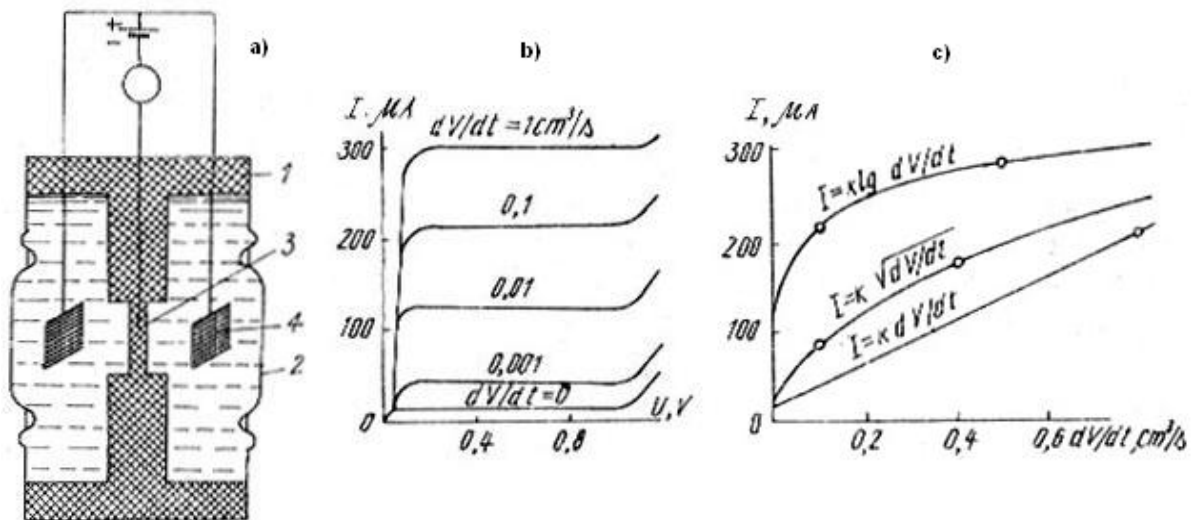


Dòng điện khuếch tán này rất nhỏ cỡ  $10\mu A$  ở nhiệt độ bình thường. Bằng phương pháp thích hợp người ta đẩy các ion  $J_3^-$  về điện cực catốt, các ion  $J_3^-$  nhận điện tử để biến thành  $3J^-$  và dòng điện tăng lên rất nhanh.

Dòng điện  $I$  phụ thuộc chủ yếu vào lượng chuyển động của ion  $J_3^-$  về phía catốt, tức là phụ thuộc vào tác động của đại lượng cơ học nào đó.

**b) Mạch đo và ứng dụng:** ứng dụng chuyển đổi Khimôntrôn người ta chế tạo các dụng cụ để đo áp suất, gia tốc và tạo thành điốt điện hóa.

**Thiết bị đo áp suất dùng chuyển đổi khimôntrôn:** như hình 7.48:



Hình 7.48. Thiết bị đo áp suất dùng chuyển đổi khimôntrôn:

a) sơ đồ nguyên lý cấu tạo      b) đặc tính vôn-ampe

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo như hình 7.48a: thiết bị gồm có bình 1 được gắn kín bởi hai màng đàn hồi 2. Bên trong gồm có cực catốt làm bằng platin 3 có lỗ ở giữa để dung dịch đi qua; hai anốt 4 được đặt ở hai phía của catốt đó là những tấm lưới platin, bên trong chứa bình dung dịch KJ.

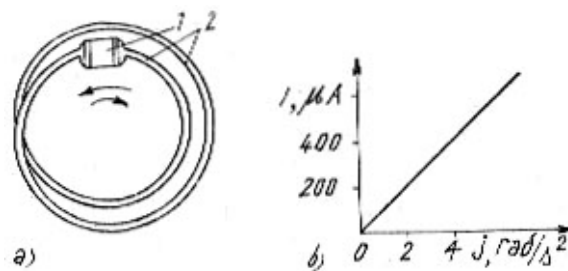
Khi các điện cực được mắc với nguồn điện ngoài, dung dịch ở trạng thái đứng

yên, dòng điện chạy trong mạch chạy rất yếu và chủ yếu là dòng khuếch tán (như hình 7.48b).

Khi có tác dụng của áp suất bên ngoài, màng đàn hồi ép dung dịch KJ có các ion  $J_3^-$  qua lỗ của catốt 3, các  $J_3^-$  nhận điện tử ( $J_3^- + 2e \rightarrow 3J^-$ ) và dòng điện tăng lên. Dòng chảy của dung dịch qua lỗ càng nhiều, dòng càng tăng nhanh như các đường cong đặc tính hình 7.48b.

Các đường cong đặc tính của chuyển đổi này tương tự như đặc tính vôn-ampe của các tranzito.

*Chuyển đổi đo gia tốc góc ứng dụng chuyển đổi kimôntron:* như hình 7.49: trong chuyển đổi này không có màng đàn hồi, bình chứa dung dịch có dạng hình ống tròn. Dưới tác dụng của gia tốc góc, dung dịch bị di chuyển qua lỗ của cực catốt và dòng điện thay đổi theo sự thay đổi của gia tốc.



Hình 7.49. Chuyển đổi đo gia tốc góc ứng dụng chuyển đổi kimôntron:  
a) nguyên lý cấu tạo      b) đặc tính của chuyển đổi

## 7.7. Chuyển đổi điện tử và ion.

### 7.7.1. Phân loại:

Nhóm các chuyển đổi điện tử và ion là nhóm gồm nhiều kim loại chuyển đổi khác nhau. Nguyên lý làm việc của các loại chuyển đổi này dựa vào sự thay đổi dòng ion và dòng điện tử dưới tác dụng của các đại lượng đo. Người ta chia các chuyển đổi điện tử và ion thành 2 loại cơ bản là:

- Chuyển đổi điện tử và ion
- Chuyển đổi ion hoá

Các chuyển đổi điện tử và ion lại được phân thành các loại:

- Chuyển đổi tự phát xạ điện tử
- Chuyển đổi phát xạ nhiệt điện tử
- Chuyển đổi phát xạ quang điện tử

### 7.7.2. Chuyển đổi phát xạ điện tử là các đèn hai cực:

**a) Nguyên lý hoạt động:** dưới tác dụng của điện trường mạnh (với điện áp trên anốt và catốt cỡ 3kV), các điện tử bị bắn ra khỏi catốt, trên đường đi chúng ion hoá các phân tử khí tạo thành ion dương và âm. Dòng điện chạy từ anốt đến catốt thay đổi theo mật độ không khí trong đèn hai cực.

**b) Ứng dụng:** chế tạo các thiết bị đo áp suất thấp còn gọi (các chân không kế).

Ví dụ: chân không kế loại BM ь-1 của Liên Xô (cũ) đo độ chân không  $2.10^{-6} \div 8.10^{-4} \text{ mm Hg}$ .

### 7.7.3. Chuyển đổi có phát xạ nhiệt điện tử:

**a) Nguyên lý hoạt động:** các loại chuyển đổi này được chế tạo dưới dạng đèn điện tử hai cực và ba cực. Khi catốt bị đốt nóng các điện tử bắn ra khỏi nó và dưới tác dụng của điện trường, các điện tử chuyển động từ anốt đến catốt. Trên đường đi các điện tử ion hoá không khí tạo thành các ion dương và âm.

**b) Ứng dụng:** cũng như loại chuyển đổi phát xạ điện tử, chuyển đổi loại này dùng cho độ chân không tới  $10^{-6}$  mm Hg.

Nếu giữ cho đèn có độ chân không ổn định thì dòng điện chạy trong mạch phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai cực anốt và catốt. Ứng dụng hiện tượng trên, người ta chế tạo các thiết bị đo các đại lượng cơ học như đo độ di chuyển, đo áp suất ...

#### 7.7.4. Chuyển đổi có phát xạ quang điện tử (chuyển đổi quang điện):

**a) Nguyên lý hoạt động:** nguyên lý cơ bản của các chuyển đổi quang điện dựa trên hiện tượng giải phóng điện tích dưới tác dụng của dòng ánh sáng do hiệu ứng quang điện gây nên sự thay đổi tính chất của vật liệu.

Ánh sáng có hai tính chất cơ bản là tính chất sóng và tính chất hạt. Tính chất hạt của ánh sáng thể hiện qua sự tương tác với vật chất.

Cụ thể: ánh sáng gồm các hạt photon có năng lượng  $Q_\phi$  phụ thuộc vào tần số:

$$Q_\phi = h\nu$$

với:  $h$  - hằng số planck ( $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$  Js)  
 $\nu$  - tần số của sóng ánh sáng

Trong vật chất, các điện tử có xu hướng muốn được giải phóng khỏi nguyên tử để trở thành điện tử tự do. Để giải phóng các điện tử khỏi các nguyên tử cần cung cấp cho nó một năng lượng bằng hoặc lớn hơn năng lượng liên kết  $Q_e$ . Khi một photon được hấp thụ sẽ có một điện tử được giải phóng nếu:

$$Q_\phi \geq Q_e \Leftrightarrow \nu \geq \frac{Q_e}{h} \Leftrightarrow \lambda \leq \frac{hc}{Q_e}$$

như vậy bước sóng lớn nhất của ánh sáng có thể gây nên hiện tượng giải phóng điện tử là:

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{Q_e} = \frac{1,237}{Q_e} (\mu m)$$

Năng lượng liên kết của điện tử trong nguyên tử  $Q_e$  phụ thuộc vào bản chất của vật liệu.

**Bảng 7.5. Một số đơn vị đo quang cơ bản**

Thông số	Đơn vị thị giác	Kí hiệu	Đơn vị năng lượng
Thông lượng ánh sáng ( $\phi$ )	Lumen	lm	W (oat)
Cường độ sáng ( $I$ )	Candela	Cd	W/S <sub>r</sub> (oat/steradian)
Độ chói năng lượng ( $L$ )	Candela/m <sup>2</sup>	Cd/m <sup>2</sup>	W/S <sub>r</sub> .m <sup>2</sup>
Độ rọi năng lượng ( $E$ )	Candela/m <sup>2</sup> hay Lux	lx	W/m <sup>2</sup>
Năng lượng bức xạ ( $Q$ )	Lumen.s	lm.s	J (Jun)

Chuyển đổi phát xạ quang điện tử bao gồm các dạng cơ bản là: tế bào quang điện, quang điện trở, photodiốt và phototranzito

**b) Nguồn sáng:** để tạo nguồn sáng có thể thực hiện theo hai phương pháp:

- Kích thích nguyên tử và phân tử của vật chất bằng đốt nóng (bức xạ nhiệt).
- Biến đổi từ một dạng năng lượng khác (bức xạ lạnh hay bức xạ quang điện).

Nguồn sáng quyết định mọi đặc tính quan trọng của bức xạ. Chuyển đổi quang

chỉ có hiệu quả khi nó phù hợp với bức xạ ánh sáng (phổ, cường độ, tần số).

Nguồn sáng có thể thực hiện như sau:

**Đèn sợi đốt:** là một bóng đèn thủy tinh trong chứa chất khí hiếm hoặc halôgen và có sợi đốt làm bằng vonfram. Ánh sáng đèn sợi đốt nằm trong vùng nhìn thấy. Ưu điểm của đèn sợi đốt là thông lượng lớn, dải phổ rộng và có thể thay đổi được. Nhược điểm là quán tính lớn, thời gian sử dụng ngắn và dễ vỡ.

**Điốt phát quang - LED (Light Emitting Diode):** là các đèn điốt, năng lượng được giải phóng do sự tái hợp điện tử - lỗ trống ở phần chuyển tiếp P-N làm phát sinh các photon. Ưu điểm của điốt phát quang là thời gian hồi đáp nhỏ (cỡ ns) do vậy có thể điều chế được ở tần số cao bằng nguồn nuôi, phổ ánh sáng hoàn toàn xác định, kích thước nhỏ, công suất tiêu thụ bé, độ tin cậy cao, độ bền tốt. Nhược điểm là thông lượng nhỏ (cỡ mW) và nhạy với nhiệt độ.

**Laze - Laser (Light Amplification by Stimulated Emission Radiation):** là nguồn đơn sắc, độ chói lớn, rất định hướng tính liên kết mạnh (cùng phân cực và cùng pha) do vậy khi các bức xạ chồng chéo lên nhau chúng tạo thành một sóng duy nhất và xác định. Ưu điểm: laze có bước sóng đơn sắc hoàn toàn xác định, thông lượng lớn, chùm tia mảnh, độ định hướng cao và truyền đi xa.

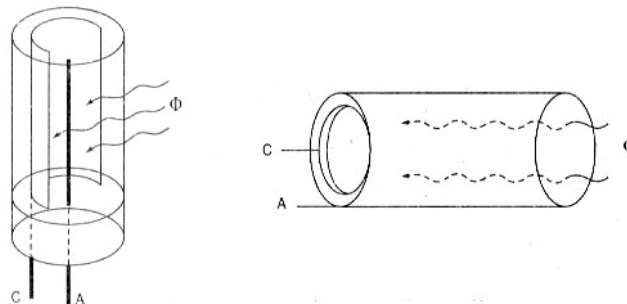
**c) Tế bào quang điện (photo-cell):** tế bào quang điện là phần tử quang điện sử dụng hiệu ứng quang điện ngoài, đó là một đèn chân không hoặc có khí. Dưới tác dụng của dòng ánh sáng catốt sẽ phát xạ các điện tử.

Sự phát xạ điện tử diễn ra theo các giai đoạn: hấp thụ photon và giải phóng điện tử. Các điện tử được giải phóng di chuyển lên bề mặt và dưới tác dụng của điện trường các điện tử sẽ di chuyển theo một hướng nhất định.

Tùy theo cấu tạo và nguyên lý làm việc người ta phân thành 3 loại tế bào quang điện: tế bào quang điện chân không, đèn iôn khí và bộ nhân quang điện.

Các vật liệu sử dụng làm photo catốt của tế bào quang điện là: AgOCs nhạy với vùng hồng ngoại;  $\text{Cs}_3\text{Sb}$ ,  $(\text{Cs})\text{Na}_2\text{KSb}$ ,  $\text{K}_2\text{CsSb}$ : nhạy với ánh sáng nhìn thấy và vùng tử ngoại;  $\text{Cs}_2\text{Te}$ ,  $\text{Rb}_2\text{Te}$ ,  $\text{CsT}$ : nhạy trong vùng tử ngoại.

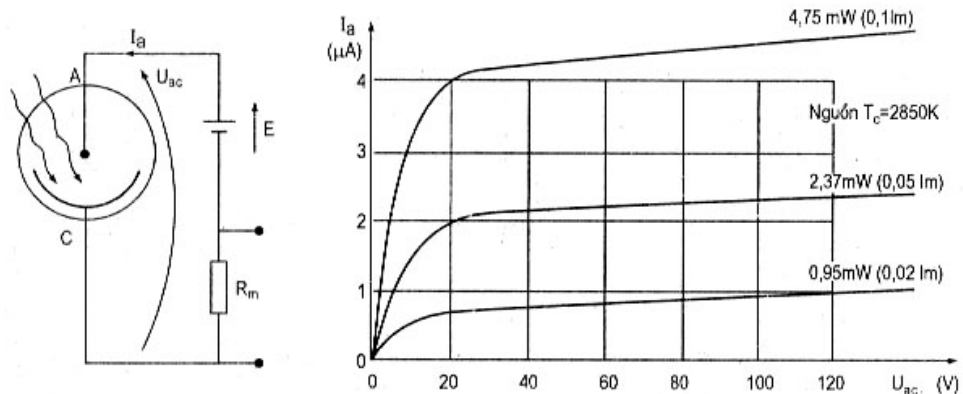
**Tế bào quang điện chân không:** là một ống hình trụ được hút chân không tới áp suất  $10^{-6} \div 10^{-8} \text{ mmHg}$ . Trong ống đặt một catốt có khả năng phát xạ khi được chiếu sáng và một anốt. Hình dạng và vị trí của các điện cực được thiết kế sao cho catốt có thể hấp thụ tối đa thông lượng ánh sáng chiếu tới mà không bị anốt che tối nhưng vẫn thu được tối đa số điện tử phát xạ từ catốt:



Hình 7.50. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của tế bào quang điện chân không

Hình 7.51 là sơ đồ mạch điện của tế bào quang điện chân không và đặc tính von-ampe của nó: đặc tính có hai vùng rõ rệt: khi điện áp tăng, dòng điện tăng nhanh

theo giá trị của điện áp đặt do số lượng điện tử tạo ra di chuyển đến anốt tăng. Khi điện áp tăng đến mức độ nào đó, số điện tử được phát xạ từ catốt di chuyển hết đến anốt và dòng điện lúc này chỉ còn phụ thuộc vào thông lượng của ánh sáng chiếu tới.

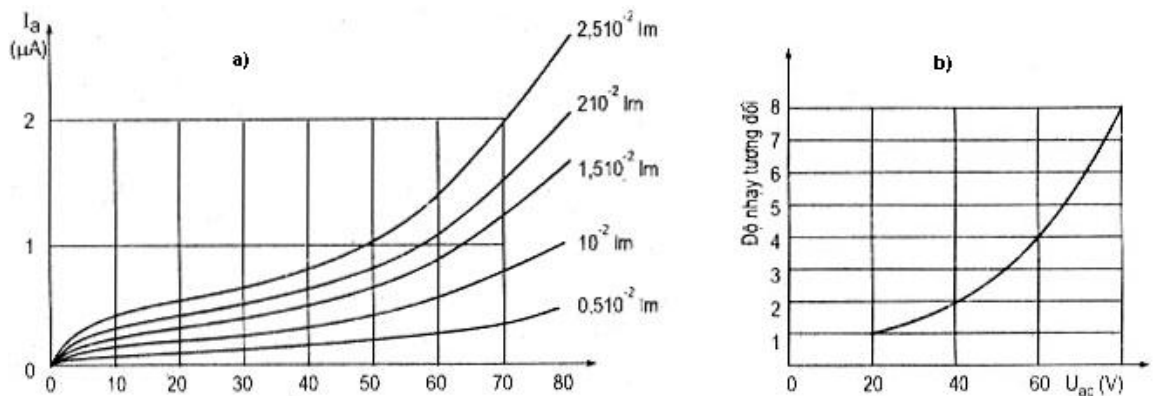


Hình 7.51. Sơ đồ mạch điện của tế bào quang điện chân không và đặc tính von-ampe

Tế bào quang điện chân không được sử dụng trong vùng bão hòa và giống như nguồn dòng. Giá trị của dòng chỉ phụ thuộc vào nguồn sáng mà nó nhận được. Điện trở trong của tế bào quang điện rất lớn  $R_i = 10^{10} \Omega$ . Độ nhạy khoảng  $10 \div 100 \text{ mA/W}$ .

**Tế bào quang điện dạng khí:** có cấu tạo tương tự như tế bào quang điện chân không nhưng bên trong đèn chứa khí argon với áp suất  $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ mm Hg}$ .

Đặc tính von-ampe và độ nhạy như hình 7.52:



Hình 7.52. Các đặc tính của tế bào quang điện dạng khí:

a) đặc tính von-ampe tĩnh

b) ảnh hưởng của  $U_{AC}$  đến độ nhạy

Khi điện áp thấp ( $U \leq 20 \text{ V}$ ) đặc tính von-ampe giống tế bào quang điện chân không do các điện tử di chuyển không đủ gia tốc để ion hoá chất khí trong bình. Khi điện áp tăng dần, các điện tử di chuyển với vận tốc lớn làm ion hoá các nguyên tử khí (do va chạm) do đó dòng anốt tăng mạnh (khoảng  $5 \div 10$  lần).

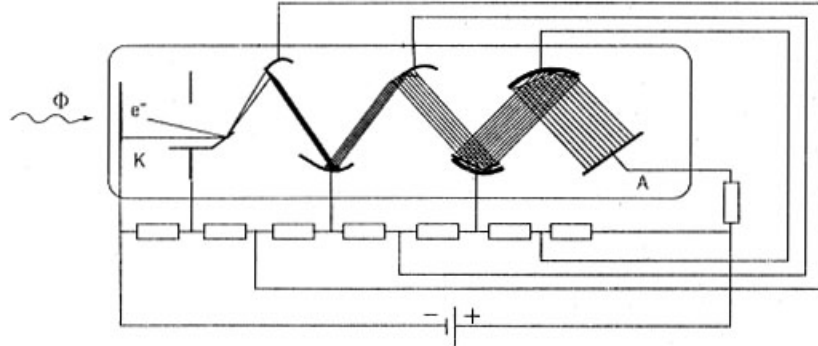
**Thiết bị nhân quang:** khi bề mặt vật rắn bị bắn phá bởi các điện tử có năng lượng đủ lớn thì nó có thể phát xạ các điện tử (phát xạ thứ cấp). Nếu số điện tử phát xạ thứ cấp lớn hơn số điện tử tới bề mặt thì sẽ có khả năng khuếch đại tín hiệu. Sự khuếch đại này được ứng dụng làm bộ nhân quang điện có sơ đồ cấu trúc như hình 7.53.

Thiết bị gồm có catốt sơ cấp và một số catốt thứ cấp. Các catốt được phủ bằng vật liệu có khả năng phát xạ điện tử thứ cấp. Các điện cực này mắc nối tiếp nhau qua các điện trở và có thể tăng dần sao cho các điện tử phát xạ từ điện cực thứ K sẽ



bị hút bởi điện cực (K+1) và số điện tử thứ cấp phát xạ ở các điện cực này tăng lên.

Khi có thông lượng ánh sáng  $\Phi$  chiếu vào catốt sơ cấp các điện tử phát xạ (gọi là điện tử sơ cấp) được tập trung (bằng phương pháp tĩnh điện) trên điện cực thứ cấp thứ nhất của dãy các điện cực và các điện phát xạ này tiếp tục di chuyển và tăng dần khi bắn phá các điện cực tiếp theo.



Hình 7.53. Sơ đồ cấu trúc của bộ nhân quang điện

Nếu mỗi điện tử sơ cấp khi va chạm với một điện cực giải phóng  $\delta$  điện tử phát xạ thứ cấp thì với  $n$  điện cực số điện tử phát xạ sẽ là:

$$M = \delta^n$$

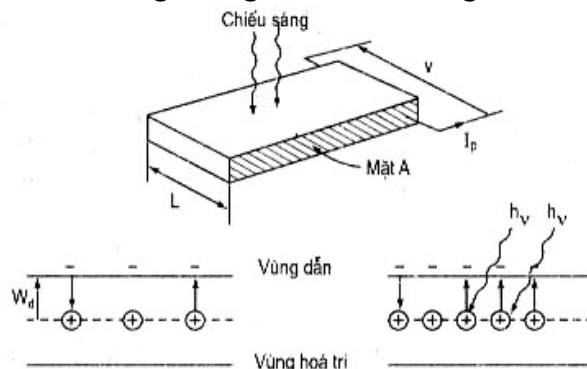
Bảng 7.6. Một số loại tế bào quang điện và các thông số cơ bản của nó.

Loại tế bào quang điện	Loại photô catốt	$U_{am}$ (V)	Độ nhạy ( $\mu A/lm$ )	Miền phổ nhạy $\overset{o}{A}$	$I_{tối}, \mu A$ ( $T=300K$ )
LJB-3	Ôxit xêri chân không	240	20	$4.10^3 \div 12.10^3$	0,1
LJB-4		240	20	-	-
CLJB-3	Ăng ti moan xêri	240	80÷100	$4.10^3 \div 6.10^3$	0,01
CLJB-4	Chân không	-	-	-	-
LJr-1	Ôxit xêri có khí	240	75÷150	$4.10^3 \div 12.10^3$	0,1
LJF-3	-	-	100÷250	-	-

Tuy nhiên không phải bất kỳ điện tử nào khi được giải phóng ra khỏi điện cực cũng tới và giải phóng được điện tử ở cực khác do đó nếu gọi hiệu suất đạt được là  $\eta$  thì số điện tử phát xạ thực sẽ là:

$$M = \eta \delta^n$$

**d) Quang điện trở:** quang điện trở là cảm biến dựa vào hiệu ứng quang điện trong: giả sử có một tấm bán dẫn phẳng có thể tích  $V$  được pha tạp loại  $n$  với nồng độ các donor  $N_d$  và có mức năng lượng nằm dưới vùng dẫn là  $W_d$  (như hình 7.54):



Hình 7.54. Quang điện trở và sự chuyển mức năng lượng của điện tử



Ở nhiệt độ phòng và trong bóng tối xảy ra đồng thời quá trình các điện tử được giải phóng do bị kích thích nhiệt và quá trình tái hợp của các điện tử với các nguyên tử đã bị ion hoá. Ở trạng thái cân bằng có nồng độ các donor bị ion hóa do nhiệt là:

$$n_0 = -\frac{a}{2r} + \left[ \frac{a^2}{4r} + \frac{aN_d}{r} \right]^{\frac{1}{2}}$$

suy ra độ dẫn trong bóng tối của bán dẫn:

$$G_0 = q \cdot \mu \cdot n_0$$

với:  $\mu$  - độ linh động của điện tử;  $q$  - điện tích.

Khi bị chiếu sáng (năng lượng  $h\nu \geq W_d$ ) xảy ra hiện tượng các photon ion hoá các nguyên tử donor và giải phóng điện tử. Các điện tử này được bổ sung thêm vào số các điện tử được giải phóng do kích thích nhiệt ngoài ra một số điện tử được giải phóng sẽ tái hợp với các nguyên tử. Phương trình động học cho mật độ của điện tử ở điều kiện cân bằng dưới tác dụng của ánh sáng là:

$$n = \sqrt{\frac{g}{r}}$$

với:  $g$  - số điện tử được giải phóng trong một đơn vị thể tích trong thời gian 1s  
 $r$  - hệ số tái hợp

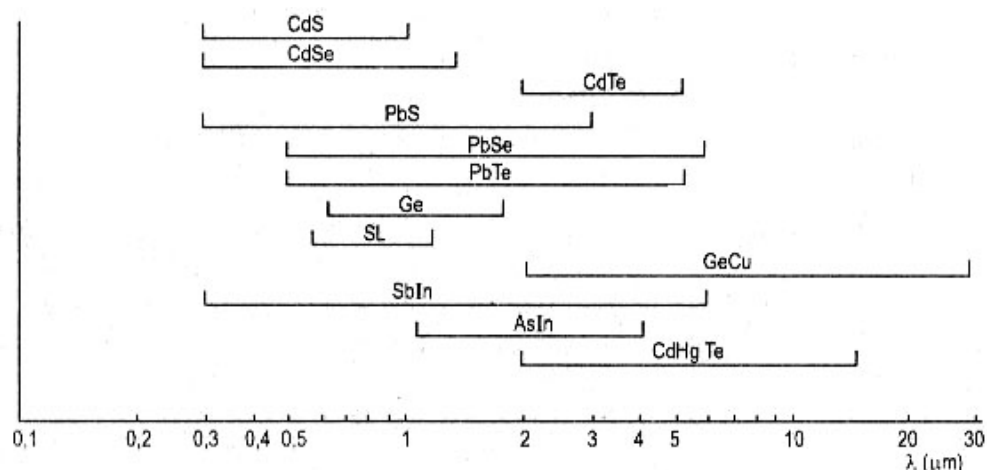
suy ra độ dẫn tương ứng với nồng độ điện tử ở điều kiện cân bằng khi bị chiếu sáng:

$$G_p = q \cdot \mu \cdot n$$

là hàm phi tuyến đối với thông lượng ánh sáng, thay đổi theo  $\phi^{1/2}$ . Thực nghiệm cho thấy rõ số mũ của  $\phi$  nằm giữa 0,5 và 1.

Vật liệu chế tạo quang điện trở là các bán dẫn đa tinh thể đồng nhất hoặc đơn tinh thể, bán dẫn riêng hoặc pha tạp. Loại đa tinh thể như: CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe. Đơn tinh thể như: Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp Au, Cu, Sb, In, SbIn, AsIn, PbIn, CdHgTe.

Vùng phổ làm việc của các vật liệu trên được biểu diễn trên hình 7.55:



Hình 7.55. Vùng phổ làm việc của một số vật liệu quang dẫn phổ biến

Quang điện trở có giá trị điện trở tối  $R_0$  phụ thuộc vào dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và bản chất hoá lý của vật liệu. Điện trở  $R_s$  (khi bị chiếu sáng) của cảm biến được tính theo công thức:

$$R_s = a \cdot \phi^{-\gamma}$$

điện trở này giảm rất nhanh khi bị chiếu sáng theo đường đặc tính như hình 7.56a.

Điện trở  $R_s$  phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Độ nhạy nhiệt càng nhỏ khi độ rọi sáng càng lớn. Giá trị của điện trở bị giảm chậm ở những điều kiện làm việc giới hạn khi độ rọi sáng và điện áp đặt quá lớn.

Thông thường quan hệ giữa điện trở và thông lượng ánh sáng  $\phi$  là phi tuyến nhưng có thể tuyến tính hóa bằng cách mắc một điện trở song song với quang điện trở.

Dòng quang điện  $I$  được xác định bằng biểu thức:

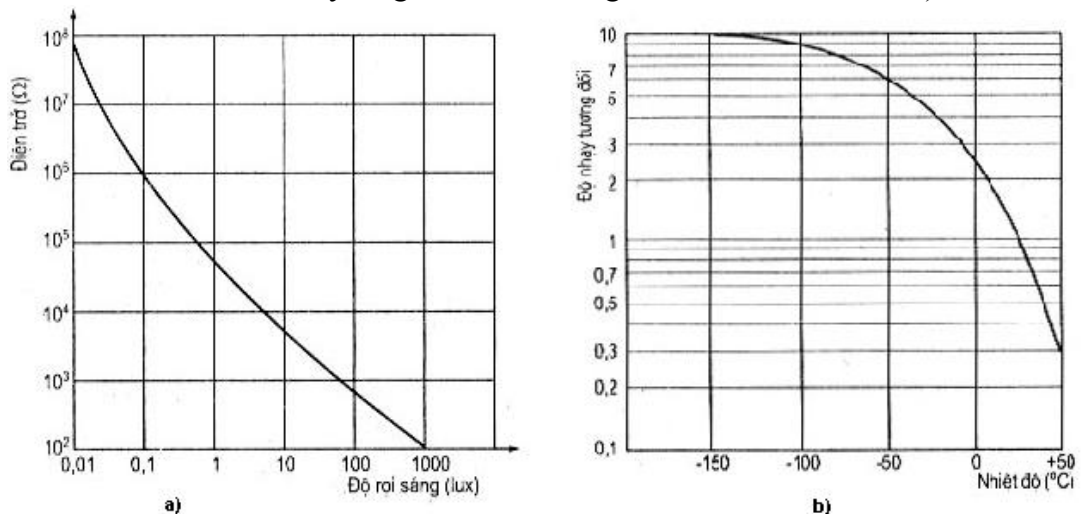
$$I = \frac{U}{a} \phi^\gamma$$

với  $a$  là hệ số phụ thuộc vật liệu của quang điện trở, nhiệt độ và phổ bức xạ.

Độ nhạy của quang điện trở được tính đối với luồng ánh sáng có phổ xác định:

$$\frac{\Delta I}{\Delta \phi} = \gamma \frac{U}{a} \phi^{\gamma-1}$$

như vậy hệ số biến đổi và độ nhạy giảm khi bức xạ tăng. Độ nhạy tỉ lệ thuận với điện áp  $U$  (chỉ đúng khi  $U$  nhỏ) để hiệu ứng Joule không làm thay đổi nhiệt độ (do khi nhiệt độ cao thì độ nhạy sẽ giảm như đường đặc tính ở hình 7.56b).



Hình 7.56. Ảnh hưởng của độ rọi sáng và nhiệt độ lên tế bào quang dẫn:

a) sự phụ thuộc của điện trở của quang điện trở vào độ rọi sáng

b) ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhạy của tế bào quang dẫn

Khi sử dụng các bức xạ đơn sắc, với thông lượng ánh sáng xác định thì  $I_p$  chỉ phụ thuộc vào  $\lambda$ . Khi đó độ nhạy phổ của quang điện trở được biểu diễn bằng biểu thức:

$$S_\lambda \approx \frac{\Delta I}{\Delta \phi(\lambda)}$$

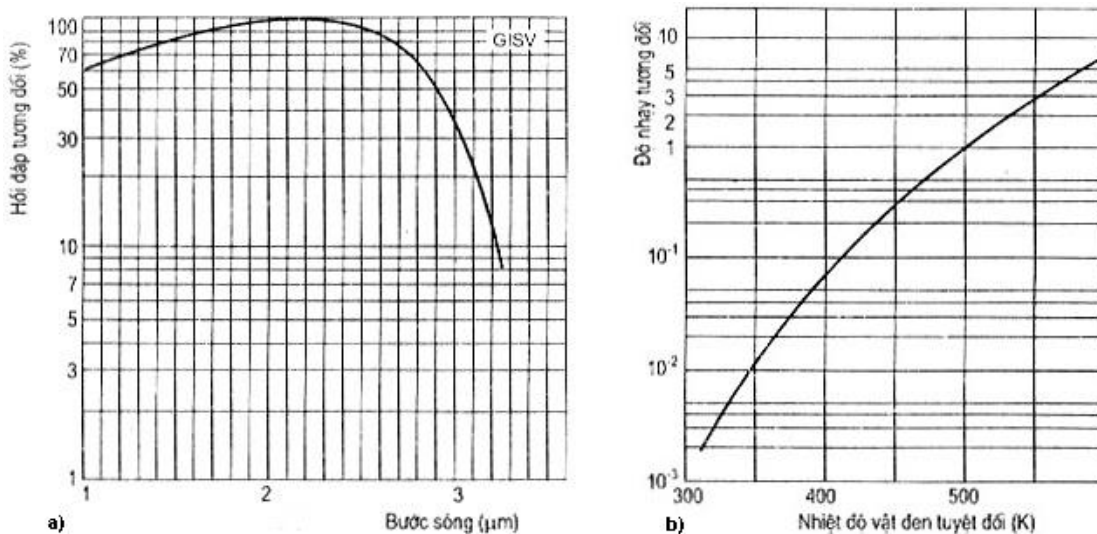
và có đường cong đặc tính như hình 7.57a.

Độ nhạy phổ cũng phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn sáng, khi nhiệt độ tăng thì độ nhạy phổ tăng. Với bức xạ không đơn sắc, dòng  $I_p$  phụ thuộc vào phổ bức xạ và do đó nhạy toàn phần phụ thuộc vào phổ bức xạ như hình 7.57b.

**Ưu điểm:** ưu điểm lớn nhất của quang điện trở là độ nhạy cao, chế tạo đơn giản và dễ sử dụng.

**Nhược điểm:** thời gian đáp ứng lớn và phụ thuộc không tuyến tính vào thông

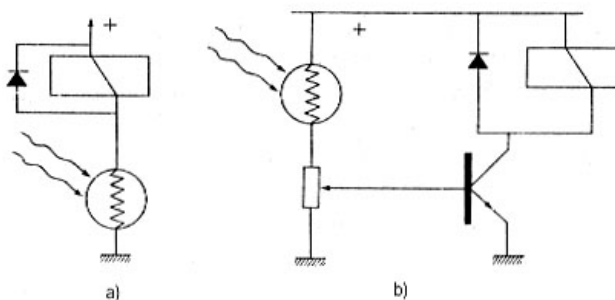
lượng ánh sáng; độ nhạy phụ thuộc vào nhiệt độ do đó cần phải ổn định nhiệt và tản nhiệt tốt; dễ bị già hoá theo thời gian.



Hình 7.57. Độ nhạy phổ của tế bào quang dẫn:

- a) đường cong phổ hồi đáp của độ nhạy của tế bào quang dẫn  
b) sự thay đổi của độ nhạy toàn phần theo nhiệt độ màu của nguồn

Ứng dụng của quang điện trở: thường dùng để điều khiển role đóng mở (như hình 7.58), đo các đại lượng không điện như đo tốc độ quay, đo lưu lượng, đếm số lượng hoặc dùng trong hệ thống báo động.



Hình 7.58. Ứng dụng tế bào quang điện để điều khiển role:

- a) điều khiển trực tiếp      b) điều khiển thông qua tranzito khuếch đại

Bảng 7.7 là một số loại chuyển đổi quang điện trở thông dụng và các thông số cơ bản của nó:

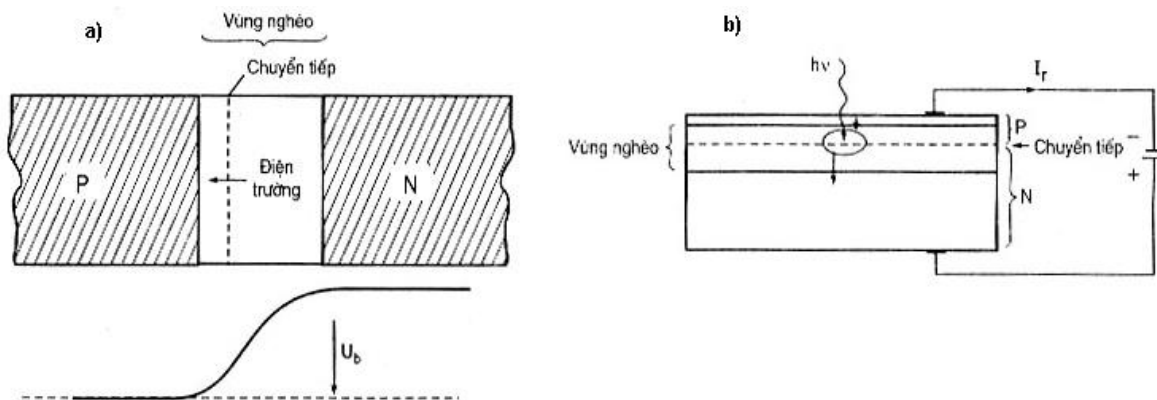
Bảng 7.7. Một số loại chuyển đổi quang điện trở và các thông số cơ bản của nó

Thông số cơ bản	ΦC - A1 ΦCA - Γ1	ΦC - K1 ΦCK - Γ1	ΦCK - Γ2	ΦC - K6	CΦz - 1
Diện tích bề mặt nhạy ánh sáng, mm <sup>2</sup>	28	29	58	125	0,45
Điện trở lúc tối, Ω	10 <sup>4</sup> ÷ 10 <sup>6</sup>	3,3.10 <sup>6</sup>	1,6.10 <sup>6</sup>	3.10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>
Dòng lúc tối, μA	100	100	100	100	100
Độ nhạy riêng, μA - lx.mV	500	3.10 <sup>3</sup> ÷ 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	6.10 <sup>4</sup>
Hằng số thời gian, ms	4.10 <sup>-5</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	6.10 <sup>-3</sup>

Công suất, W	0,002 ÷ 0,01	0,2	0,3	0,3	0,05
Dòng phôtô (F=200lx), $\mu\text{A}$	0,1	2	3 ÷ 4	2	1,5
Giới hạn điện áp làm việc, V	10 ÷ 60	50 ÷ 400	50 ÷ 220	50 ÷ 220	3 ÷ 15

### e) Phôtô điốt:

*Nguyên lý làm việc:* dựa trên hiện tượng thay đổi độ dẫn phụ thuộc vào ánh sáng của lớp tiếp giáp P-N của các chất bán dẫn (hình 7.59):



Hình 7.59. Hiệu ứng quang điện dựa trên tiếp giáp P-N:

a) hàng rào điện thế của tiếp giáp P-N

b) hiệu ứng quang điện trong vùng nghèo của tiếp giáp P-N

Khi không có điện áp đặt lên tiếp giáp P-N thì dòng điện qua tiếp giáp bằng không ( $I = 0$ ). Dòng điện  $I$  lúc này là tổng của hai dòng điện ngược chiều nhau và bằng nhau đó là *dòng khuếch tán các hạt cơ bản* sinh ra khi ion hoá tạp chất (lỗ trống trong bán dẫn loại p và điện tử trong bán dẫn loại n) và *dòng hạt dẫn không cơ bản* (điện tử trong bán dẫn loại p và lỗ trống trong bán dẫn n) do kích thích nhiệt.

Khi đặt lên điốt (lên tiếp giáp P-N) điện áp ngược  $U_d$  thì chiều cao của hàng rào điện thế và bề rộng vùng nghèo thay đổi làm cho dòng điện  $I$  thay đổi theo. Khi đó  $I$  được gọi là dòng điện ngược (dòng điện rò), có chiều từ K đến A của điốt và có giá trị tính bằng:

$$I = I_0 - I_0 \cdot \exp\left[-\frac{U_d}{(KT/q)}\right]$$

với:  $U_d$  - điện áp đặt lên điốt;  $I_0$  - dòng điện tối

Với điện áp ngược đạt giá trị đủ lớn ( $U_d \gg KT/q$ , cỡ 26mV tại  $T=300\text{K}$ ) thì chiều cao hàng rào điện thế tăng đến mức dòng khuếch tán của các hạt dẫn cơ bản trở nên rất nhỏ có thể bỏ qua và chỉ còn lại dòng các hạt dẫn không cơ bản, dòng điện này gọi là *dòng ngược (dòng rò) của điốt*  $I_r$ :

$$I_r = I_0$$

Khi đó nếu chiếu vào điốt dòng ánh sáng có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng ( $\lambda < \lambda_0$ ) thì sẽ xuất hiện các cặp điện tử-lỗ trống và dưới tác dụng của điện trường chúng di chuyển theo hướng của các hạt dẫn không cơ bản tạo ra dòng điện gọi là *dòng quang điện*  $I_p$  làm tăng dòng điện ngược  $I_r$  (như hình 7.59b), khi đó:

$$I_r = I_0 + I_p$$

Dòng quang điện phụ thuộc vào cấu tạo của điốt, loại tia bức xạ, thành phần phổ

và quang thông của tia bức xạ.

Các vật liệu thường dùng làm chế tạo photô điốt là Si, Ge (sử dụng trong vùng ánh sáng nhìn thấy); GaAs, InAs, InSb (sử dụng trong vùng hồng ngoại).

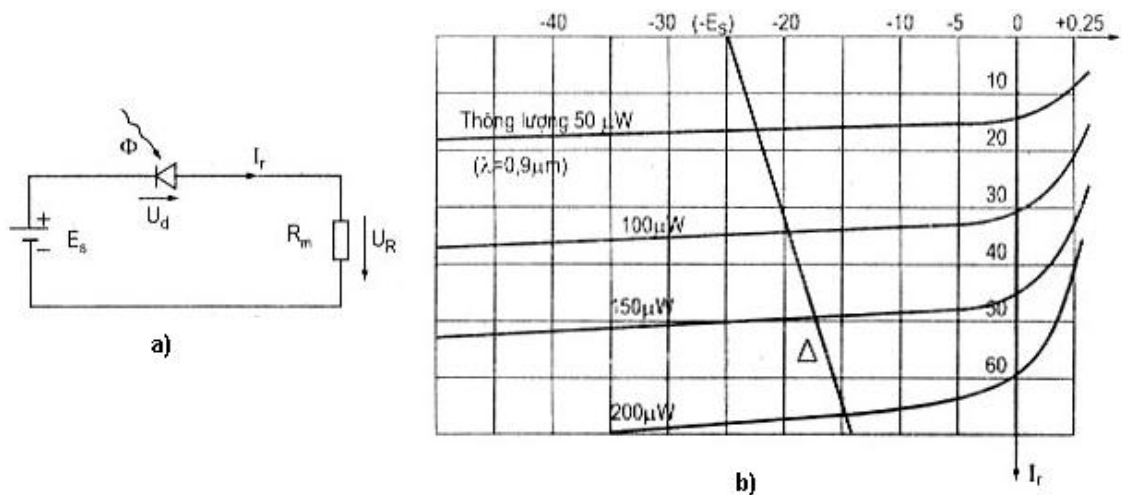
Các photô điốt có thể làm việc theo 2 chế độ: chế độ quang dẫn và chế độ quang thế.

**Chế độ quang dẫn:** có sơ đồ mạch như hình 7.60a: điốt được phân cực ngược với điện áp  $U_d$  đủ lớn ( $U_d \gg KT/q$ ), khi đó dòng ngược chạy qua điốt là:

$$I_r = I_0 + I_p$$

và do  $I_0 \ll I_p$  nên ta có:

$$I_r \approx I_p$$



Hình 7.60. Sơ đồ mạch của photô điốt ở chế độ quang dẫn và đặc tính V-A với các thông lượng khác nhau

Xét mạch ta có:  $E = U_R + U_d$ ;  $U_R = R \cdot I_r$

suy ra:

$$I_r = \frac{E - U_d}{R}$$

Hình 7.60b là họ đặc tính vôn-ampe  $U = f(I)$  ứng với các thông lượng ánh sáng khác nhau và đường thẳng tải  $\Delta$ .

Điểm làm việc Q của điốt là điểm giao nhau giữa đường tải  $\Delta$  và đường đặc tính  $U = f(I)$  với thông lượng tương ứng. Chế độ làm việc này là tuyến tính, điện áp trên tải  $U_R$  tỉ lệ với thông lượng ánh sáng  $\Phi$ :

$$U_R = f(\Phi)$$

**Chế độ quang thế:** trong chế độ này không có điện áp ngoài đặt vào điốt. Điốt hoạt động như bộ chuyển đổi năng lượng, tương ứng với một máy phát. Ta xét ở hai chế độ: chế độ hở mạch và chế độ ngắn mạch:

- Chế độ hở mạch ( $U_h$ ): khi điốt bị chiếu sáng thì dòng quang điện  $I_p$  tăng làm cho hàng rào thế giảm đi một lượng  $\Delta U_b$ , do đó dòng các hạt dẫn cơ bản tăng lên để đảm bảo cân bằng giữa dòng hạt dẫn cơ bản và không cơ bản sao cho  $I_r = 0$ . Khi đó nếu trong tối (ánh sáng yếu)  $I_p \ll I_0$  thì:

$$U_h = \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_0}$$

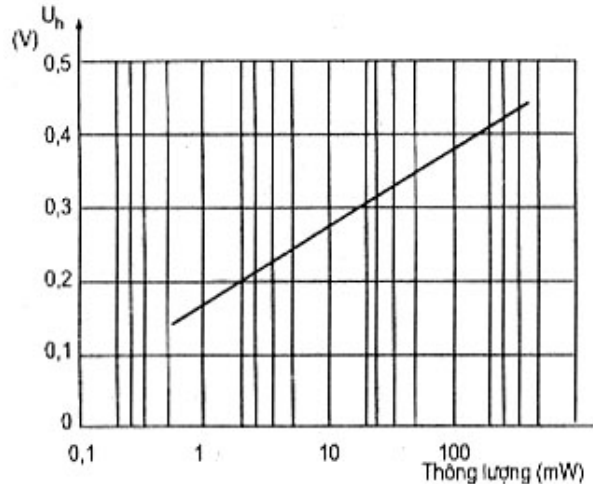


$U_h$  lúc này rất nhỏ nhưng phụ thuộc tuyến tính với thông lượng  $\Phi$ .

Còn khi thông lượng ánh sáng mạnh  $I_p \gg I_0$  thì:

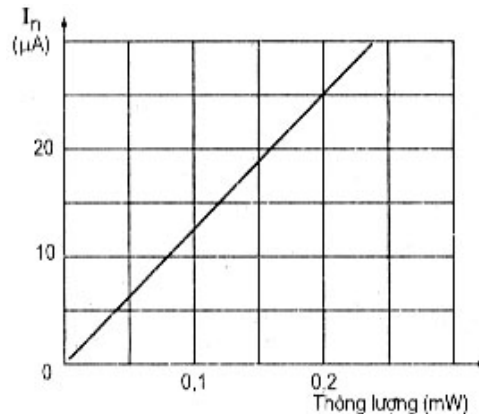
$$U_h = \frac{KT}{q} \cdot \log \frac{I_p}{I_0}$$

lúc này  $U_h$  có giá trị tương đối lớn (0,1÷0,6V) nhưng quan hệ giữa  $U_h$  và  $\Phi$  có dạng hàm lôgarit như hình 7.61:



Hình 7.61. Đặc tính của photô điốt ở chế độ hở mạch:  $U_h = f(\Phi)$

- Chế độ ngắn mạch ( $I_n$ ): khi nối ngắn mạch hai đầu của điốt bằng một điện trở  $R_n$  nhỏ hơn  $R_d$  (điện trở trong của điốt) thì dòng ngắn mạch bằng dòng  $I_p$  và tỉ lệ với thông lượng ánh sáng  $\Phi$  (như hình 7.62):



Hình 7.62. Đặc tính quan hệ  $I_n = f(\Phi)$  của photô điốt ở chế độ ngắn mạch

Đặc điểm của chế độ làm việc này là không có dòng tối (do không có điện áp phân cực ngoài), nhờ vậy có thể giảm được nhiễu và có khả năng đo được thông lượng nhỏ.

**Độ nhạy của photô điốt:** đối với bức xạ có phổ xác định thì dòng quang điện  $I_p$  tỉ lệ thuận với cường độ ánh sáng trong một khoảng rộng. Độ nhạy phổ được xác định bằng biểu thức:

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

với:  $q$  - điện tích;

$\eta$  - hiệu suất lượng tử,

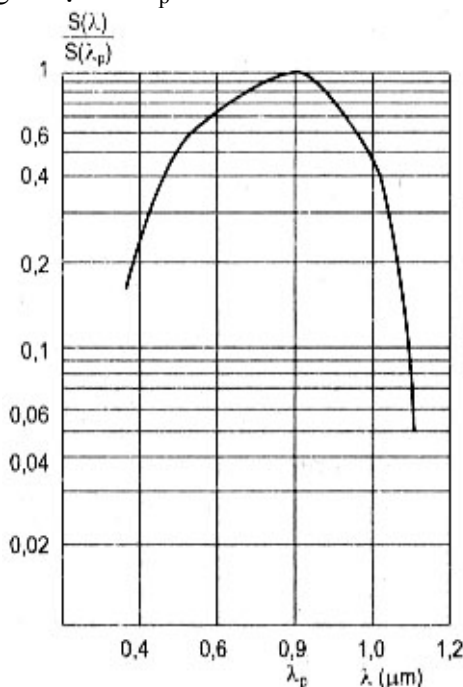
$R$  - hệ số phản xạ;

$\alpha$  - hệ số hấp thụ



X - bề dày của vùng nghèo với  $\lambda \leq \lambda_0$

Như vậy độ nhạy phổ phụ thuộc vào bước sóng  $\lambda$ , hiệu suất lượng tử  $\eta$  và hệ số  $\alpha$ . Với mỗi loại photodiode cần biết độ nhạy phổ dựa trên đường cong phổ hồi đáp  $S(\lambda)/S(\lambda_p)$ , trong đó  $\lambda_p$  - độ dài bước sóng ứng với nhiệt độ phổ cực đại (như hình 7.63) đồng thời cần biết giá trị của  $\lambda_p$ .

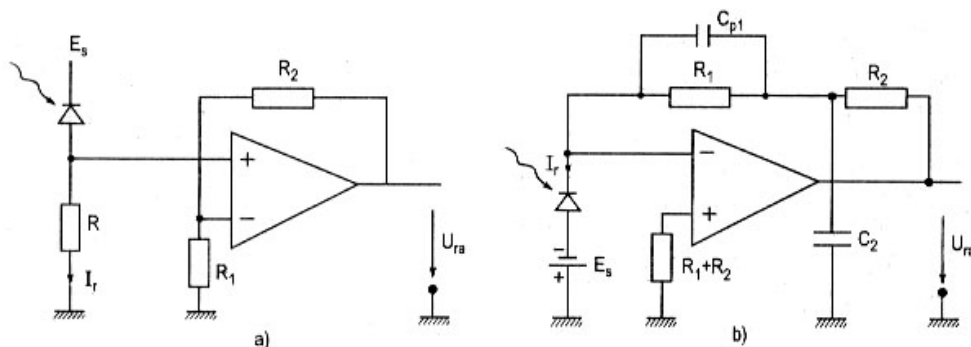


Hình 7.63. Phổ độ nhạy của photodiode

Thông thường  $\lambda_p$  nằm trong khoảng  $0,1 \div 1 \text{ A/W}$ . Do ảnh hưởng của nhiệt độ nên đường cong độ nhạy phổ  $\lambda_p$  bị di chuyển: khi nhiệt độ tăng thì  $\lambda_p$  dịch chuyển về phía bước sóng dài. Hệ số nhiệt độ của dòng quang dẫn  $(1/I_p) \cdot (dI_p/dT)$  có giá trị khoảng  $0,1\%/^{\circ}\text{C}$ .

*Các ứng dụng của photodiode:* tùy thuộc ứng dụng để có thể chọn photodiode làm việc ở các chế độ phù hợp, cụ thể:

- Chế độ quang dẫn: chế độ này có độ tuyến tính cao, thời gian hồi đáp nhanh, dải thông lớn. Sơ đồ ứng dụng như hình vẽ 7.64:



Hình 7.64. Sơ đồ mạch đo dòng ngược của photodiode ở chế độ quang dẫn:  
a) sơ đồ cơ bản b) sơ đồ tác động nhanh

Với sơ đồ 7.64a: điện áp ở đầu ra được tính:

$$U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_v = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot R \cdot I_r$$

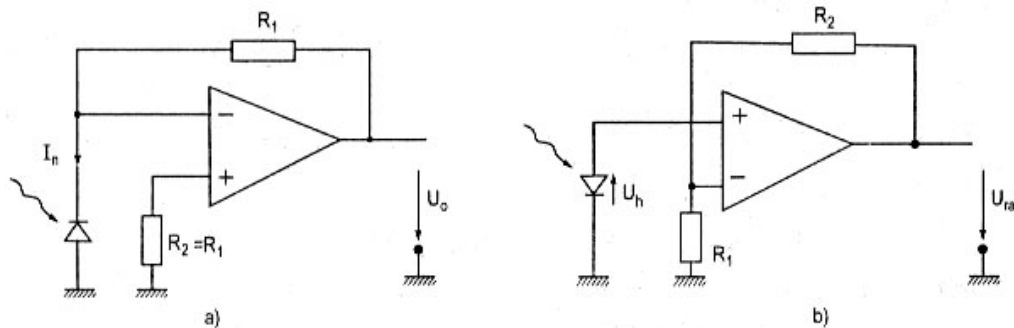
Để giảm nhiễu cần phải tăng R, đồng thời tổng trở vào của khuếch đại cần lớn để tránh làm giảm điện trở tải của điốt.

Với sơ đồ 7.64b: điện áp ở đầu ra là:

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

Mạch này có điện trở tải của điốt nhỏ và bằng  $(R_1 + R_2)/K$  (với K là hệ số khuếch đại). Tụ điện  $C_2$  có tác dụng bù trừ ảnh hưởng của tụ kí sinh  $C_{p1}$  với điều kiện  $R_1 \cdot C_{p1} = R_2 \cdot C_2$ . Mạch yêu cầu dòng vào rất nhỏ và sự suy giảm do nhiệt độ không đáng kể.

- Chế độ quang thế: đặc điểm của chế độ này là: có thể làm việc ở chế độ tuyến tính hoặc lôgarit tùy thuộc vào tải; ít nhiễu; thời gian hồi đáp lớn, dải thông nhỏ tuy nhiên mạch nhạy cảm với nhiệt độ khi hoạt động ở chế độ lôgarit.



Hình 7.65. Sơ đồ mạch đo dòng ngược của photodiode ở chế độ quang thế:

a) sơ đồ tuyến tính

b) sơ đồ lôgarit

Với sơ đồ tuyến tính như hình 7.65a thì điện áp ra là:

$$U_r = R_1 I_n$$

Với sơ đồ lôgarit như hình 7.65b thì điện áp ra là:

$$U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_h$$

#### f) Phototranzito:

*Nguyên lý làm việc:* phototranzito là các loại tranzito silic (NPN) hoạt động ở điều kiện: điện áp đặt lên bazơ bằng không, chỉ có điện áp trên collector, đồng thời chuyển tiếp B-C phân cực ngược (như hình 7.66a). Như vậy điện áp đặt tập trung chủ yếu trên chuyển tiếp B-C trong khi đó sự chênh lệch điện thế giữa E và B thay đổi không đáng kể ( $U_{BE} \approx 0,6 \div 0,7V$ ).

Khi phần chuyển tiếp B-C được chiếu sáng, nó sẽ hoạt động giống photodiode ở chế độ quang dẫn với dòng ngược được tính bằng:

$$I_r = I_0 + I_p$$

với dòng quang điện  $I_p$  ứng với bước sóng  $\lambda < \lambda_0$  được tính:

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\lambda X)}{hc} \lambda \phi_0$$

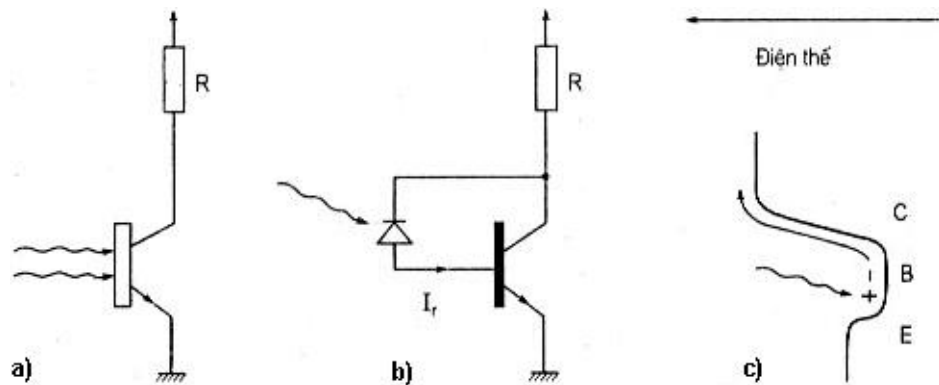
trong đó:  $\phi_0$  - thông lượng ánh sáng chiếu qua bề dày X của bazơ;

Khi đó dòng ngược  $I_r$  sẽ đóng vai trò là dòng bazơ để tạo nên dòng collector  $I_c$

(nhờ hiệu ứng tranzito), với:

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

trong đó  $\beta$  là hệ số khuếch đại dòng với emitor chung.



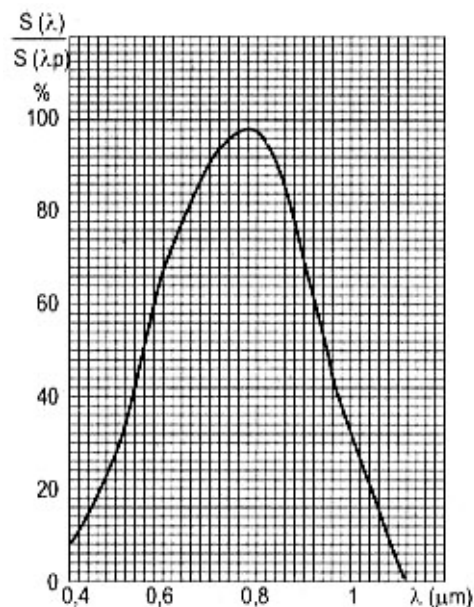
Hình 7.66. Phôtô tranzito:

a) mạch nguyên lý b) sơ đồ mạch điện c) sơ đồ mạch tương đương

Có thể coi phôtô tranzito như tổ hợp của một phôtô điốt và một tranzito biểu diễn như hình 7.66b: phôtô điốt cung cấp dòng quang điện tại bazơ còn tranzito cho hệ số khuếch đại  $\beta$ , các điện tử 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 thì các điện tử bị kéo về phía collector; lỗ trống ở lại trong vùng bazơ (hình 7.66c) tạo thành dòng điện từ E đến B và C.

**Độ nhạy của phôtô tranzito:** với quang thông  $\Phi_0$  cho trước thì đường cong độ nhạy phổ hồi đáp  $S(\lambda)/S(\lambda_p)$  như hình 7.67 và được xác định bởi bản chất của tiếp giáp B-C (vật liệu chế tạo silic hoặc loại pha tạp chất):



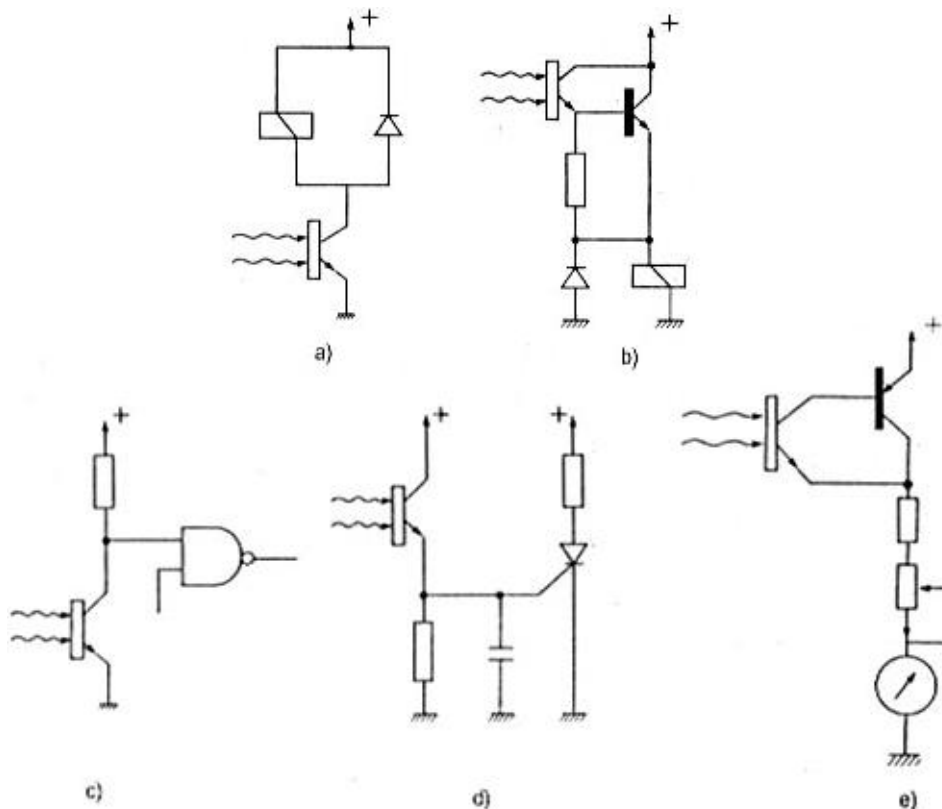
Hình 7.67. Đường cong độ nhạy phổ hồi đáp  $S(\lambda)/S(\lambda_p)$  của phôtô tranzito ứng với quang thông  $\Phi_0$  cho trước

Với bước sóng  $\lambda$  cho trước thì dòng collector  $I_c$  không phải là hàm tuyến tính của thông lượng  $\Phi$  hoặc độ chiếu sáng vì hệ số khuếch đại  $\beta$  phụ thuộc vào dòng  $I_c$ .

(tức là phụ thuộc vào  $\Phi$ ) như vậy độ nhạy phổ phụ thuộc vào quang thông  $\Phi$ . Ví dụ: loại phototranzito BPW22 có độ nhạy tăng 1,6 lần khi độ rọi sáng tăng 8 lần (từ  $1\text{mW/cm}^2$  lên  $8\text{mW/cm}^2$ ).

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

Ứng dụng của phototranzito: điều khiển đóng mở rơle, thyisto, cổng logic và đo ánh sáng như trên hình 7.68a, b, c, d, e.



Hình 7.68. Ứng dụng phototranzito trong chế độ chuyển mạch để điều khiển:

a) Rơle    b) Rơle (sau khuếch đại)    c) Cổng logic    d) Thyisto

Bảng 7.8 là một số phototranzito thông dụng và các thông số đặc trưng của nó:

Bảng 7.8: Một số phototranzito thông dụng và các thông số đặc trưng

Loại phototranzito	Độ nhạy ( $\mu\text{A/lm}$ )	Điện trở lúc tối ( $\Omega$ )	Tần số cực đại (Hz)	Sức điện động (mV)
K-5 (Sêlen)	$250 \div 500$	$10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	$50 \div 100$	-
$\Phi\text{ЭCC-2}$	$3,5 \cdot 10^3 \div 8 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^3$	$5 \div 10$	$60 \div 150$
$\Phi\text{Д-1}$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	$10^5$	-
$\Phi\text{ДK-2}$	$10^4 \div 2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5 \div 10^6$	$10^5$	-
$\Phi\text{ДK-1}$	$3 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^6$	$10^5$	-

### 7.7.5. Chuyển đổi ion hóa:

a) Nguyên lý làm việc của chuyển đổi ion: khi có tia phóng xạ và tia Rơngơn đi vào vùng không khí thì các chất khí bị ion hoá và tạo thành các điện tử và ion, dưới tác dụng của điện trường E các dòng điện tử và ion chuyển động đến các điện cực tạo thành dòng điện (cỡ từ  $10^{-3} \div 10^{-7}\mu\text{A}$ ).

Nguồn tác nhân ion hoá thường là các tia phóng xạ như tia  $\alpha$ , tia  $\beta$ , tia  $\gamma$  và tia

Rơngen.

Chuyển đổi ion hoá có nhiều loại khác nhau nhưng cấu tạo thường nhiều khâu như hình 7.69:



Hình 7.69. Sơ đồ khối cấu trúc của chuyển đổi ion hóa

với: N - nguồn phóng xạ; CD - khâu chuyển đổi; BT - bộ thu bức xạ

**b) Nguồn phóng xạ:**

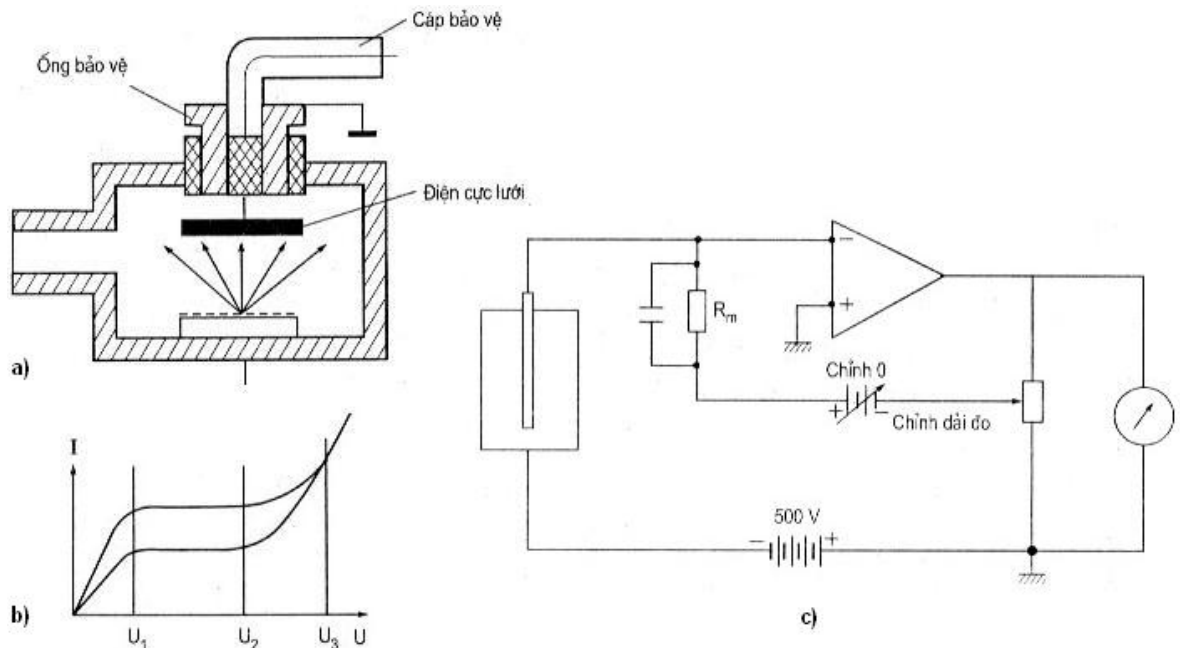
Tia  $\alpha$ : là hạt nhân nguyên tử Hêli ( $2\text{He}^+$ ):  $m_\alpha > m_e$  tới 7000 lần. Năng lượng ban đầu  $E_\alpha = 6\text{MeV}$  và trên quãng đường đi có thể ion hoá được 20 vạn ion.

Tia  $\beta$ : là dòng các điện tử có  $E_\beta = 1,2\text{MeV}$ . Chiều dài di chuyển  $l_{\max} = 5000\text{mm}$  trong không khí và ion hoá được 5 cặp ion/10mm.

Tia  $\gamma$ : là các bức xạ điện từ có bước sóng  $\lambda_\gamma = 10^{-7} \div 10^{-10}\text{mm}$ . Ngoài ra còn sử dụng Coban 60, Xezi 134, Tali 206...

**c) Bộ thu bức xạ:** có nhiệm vụ biến đổi năng lượng bức xạ hạt nhân thành điện năng. Bộ thu bức xạ chia thành 3 loại: bình ion hoá, máy đếm phóng điện trong chất khí và máy đếm nhấp nháy.

**Bình ion hoá:** là bình chứa đầy chất khí có hai điện cực nối với nguồn ngoài. Dưới tác dụng của tia phóng xạ, môi trường khí bị ion hoá gây ra dòng điện chạy trong bình. Cấu tạo của bình ion hóa như hình 7.70a:



Hình 7.70. Bình ion hóa:

a) cấu tạo bình ion hoá - tia  $\alpha$

b) đặc tính vôn - ampe

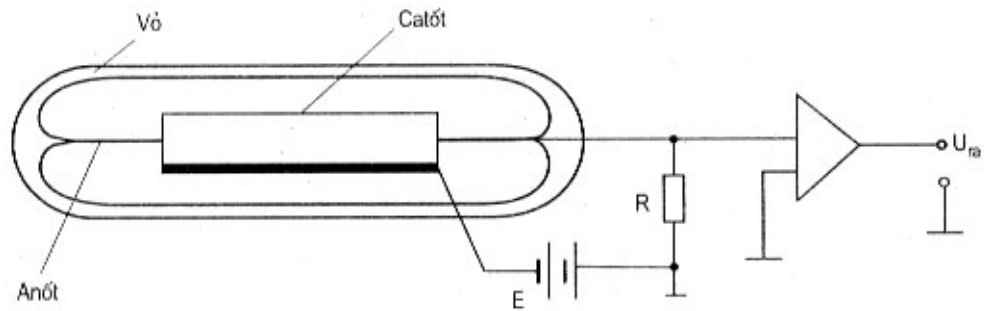
c) mạch đo

Đặc tính  $I = f(U)$  của bình ion hóa như hình 7.70b. Sơ đồ mạch đo của một chuyển đổi ion hoá như hình 7.70c.

**Máy đếm phóng điện trong chất khí:** là một thiết bị làm việc trong chế độ tự phóng điện (giai đoạn IV) trong đặc tính  $I = f(U)$  của chuyển đổi ion.

Cấu tạo: như hình 7.71: gồm một bình hình trụ tròn bằng kim loại hoặc thủy tinh

chứa khí argon hoặc nitơ, bên trong phủ một lớp kim loại dẫn điện. Trong bình căng sợi dây kim loại:

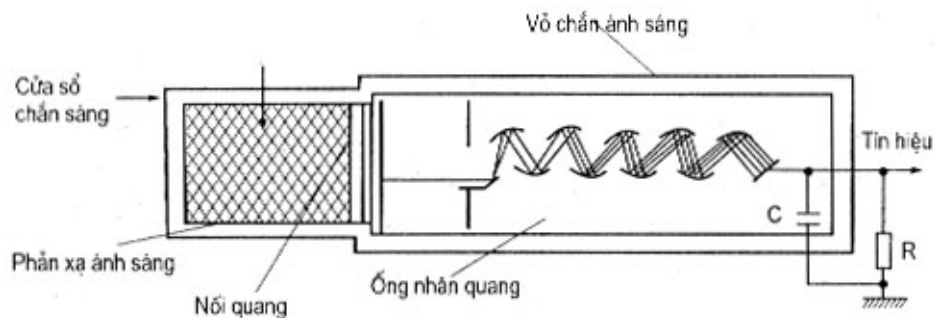


Hình 7.71. Cấu tạo của máy đếm phóng điện trong chất khí.

Ống đếm làm việc dựa vào hiện tượng tự phóng điện trong chất khí dưới tác dụng của tia phóng xạ và điện trường ngoài. Nhờ hiện tượng phóng điện mà dòng điện ion là những xung dòng điện đủ lớn, độ nhạy cao.

Ống đếm làm việc ở hai chế độ: chế độ đếm xung và chế độ đo dòng điện trung bình khi đưa qua mạch tích phân.

**Máy đếm nhấp nháy:** có cấu tạo như hình 7.72: gồm có bộ nhấp nháy và bộ nhân quang:



Hình 7.72. Cấu tạo của máy đếm nhấp nháy

Bộ nhấp nháy được chế tạo từ vật liệu cho phép biến đổi năng lượng của các hạt tới thành các photon ánh sáng có bước sóng giữa xanh và cực tím. Khi các photon tới catốt của bộ nhân quang chúng sẽ làm phát xạ điện tử ở đó và các điện tử được thu lại ở anốt và đưa ra ngoài. Chất phát quang thường là Sunfua kẽm ZnS, NaI v.v.

**d) Ứng dụng của chuyển đổi ion hóa:** dùng đo di chuyển khi khoảng cách giữa hai điện cực thay đổi, đo mật độ chất khí trong dải áp suất từ  $100kN/m^2$  (1 at) đến  $0,1N/m^2$ . Đo tốc độ dòng khí trong đó số điện tử và ion được ion hóa phụ thuộc tốc độ dòng khí đi qua bình ion...

## 7.8. Chuyển đổi lượng tử.

Là loại chuyển đổi dựa trên các hiện tượng vật lý hạt nhân nguyên tử. Ta sẽ xét loại chuyển đổi lượng tử phổ biến nhất đó là chuyển đổi dựa trên hiện tượng *cộng hưởng từ hạt nhân*. Nhờ việc sử dụng hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân vào kỹ thuật đo lường mà các phép đo cường độ từ trường cũng như các đại lượng khác có quan hệ với nó như dòng điện lớn chẳng hạn đã được nâng cao được độ chính xác

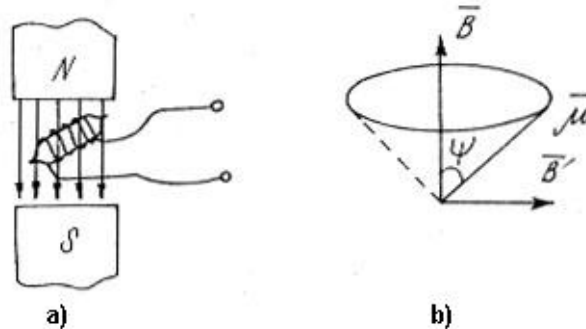


lên rất nhiều lần.

### 7.8.1. Nguyên lý hoạt động của chuyển đổi:

Nhiều hạt nhân nguyên tử có chứa một mômen từ được gọi là *dipol* kí hiệu là  $\mu$  và mômen khối lượng chuyển động được gọi là *spin*  $p$ . Tỉ số của các mômen ấy là  $\lambda = \mu/p$  gọi là *hệ số thủy từ* của hạt nhân, nó là một hằng số và không phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài.

Nếu ta đặt vật liệu (ví dụ: nước nặng) trong một ống nghiệm, sau đó đặt cả ống nghiệm vào trong một từ trường đều (như hình 7.73a) có độ từ cảm  $B$  thì các mômen từ  $\mu$  sẽ quay xung quanh vector  $\vec{B}$  (như hình 7.73b):



Hình 7.73. Nguyên lý của chuyển đổi lượng tử:

a) vật liệu trong ống nghiệm đặt trong từ trường  $B$

b) các mômen từ  $\mu$  quay xung quanh vector  $\vec{B}$

Lúc đó *mômen lực*  $M$  tác động lên các mômen từ  $\mu$  được thể hiện bằng phương trình:

$$M = |\vec{\mu} \cdot \vec{B}|$$

còn phương trình chuyển động sẽ có dạng:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = M = |\vec{\mu} \vec{B}|$$

mặt khác :

$$\frac{dP}{dt} = P\omega$$

với  $\omega$  - là tần số quay của mômen từ xung quanh  $B$ .

Từ đó ta có :

$$\mu \cdot B = P \cdot \omega \Leftrightarrow \omega = \frac{\mu B}{P} = \gamma \cdot B$$

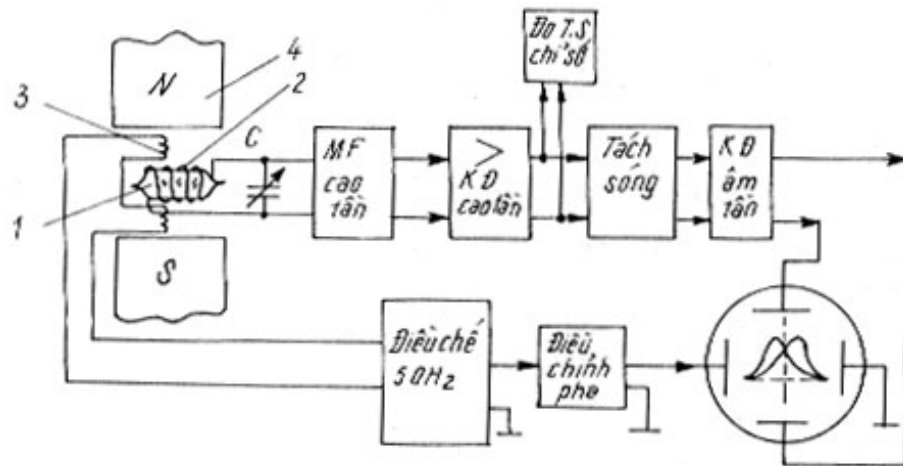
Nếu trong mặt phẳng vuông góc với từ trường  $\vec{B}$  ta tạo ra một từ trường xoay chiều  $\vec{B}'$  có tần số cao cùng quay với mômen từ dipol thì khi vectơ  $\vec{B}'$  quay đồng bộ với các mômen từ dipol  $\mu$  sẽ gây ra sự thay đổi của từ trường cao tần và sẽ xuất hiện mômen tác động lên dipol  $\mu$  làm thay đổi góc  $\varphi$  giữa  $\vec{B}$  và  $\vec{\mu}$ . Khi có sự cân bằng giữa tần số quay  $\omega$  của mômen từ  $\mu$  xung quanh  $\vec{B}$  và tần số quay của vectơ  $\vec{B}'$  thì sẽ sinh ra cộng hưởng. Đó là hiện tượng *cộng hưởng từ hạt nhân*.

Như vậy có thể xác định  $B$  theo giá trị tần số cộng hưởng  $\omega$  và hệ số thủy từ  $\gamma$ .

Hệ số  $\gamma$  đối với mỗi chất có thể xác định chính xác đến 0,001% còn sai số đo  $\omega$  có thể đạt đến 0,01% bằng tần số kế chỉ thị số. Cho nên nếu sử dụng loại chuyển đổi này có thể đo độ từ cảm của từ trường với độ chính xác cao hơn hẳn các phương pháp thông thường khác.

### 7.8.2. Mạch đo:

Mạch đo của chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân như hình 7.74: gồm chuyển đổi và các mạch xử lý, hiển thị:



Hình 7.74. Mạch đo của chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân

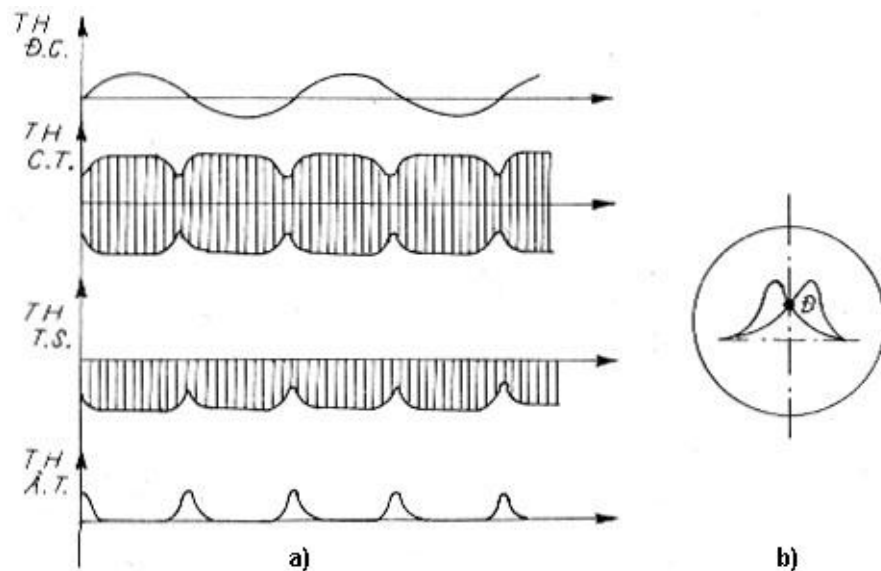
Chuyển đổi gồm ống nghiệm 1 chứa một chất (ví dụ nước nặng D) đặt vào trong một cuộn dây 2. Cuộn dây này cùng với điện dung C (có thể thay đổi được) tạo thành một máy phát cao tần LC. Ống nghiệm và cuộn dây được đặt trong một từ trường đều có độ từ cảm cần đo  $B_x$  của nam châm vĩnh cửu 4.

Khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng là lúc mà tần số quay của proton (hạt nhân hydro) bằng tần số của máy phát cao tần ở một giá trị nào đó của độ từ cảm B. Ở trạng thái đó sẽ xảy ra sự mất mát năng lượng làm giảm biên độ dao động của máy phát. Việc giữ được hiện tượng cộng hưởng và nhận được tín hiệu liên tục được đảm bảo nhờ từ trường không đổi  $B_x$  được điều chế bởi một từ trường xoay chiều có tần số thấp 50Hz bằng một cuộn dây phụ 3 đặt trong từ trường. Như vậy điện áp cao tần của máy phát cũng bị điều chế. Tiếp theo tín hiệu được đưa vào khuếch đại cao tần, qua tách sóng vào khuếch đại âm tần và đưa đến hai bản cực Y của dao động kí điện tử.

Mặt khác tín hiệu điều chế 50 Hz đồng thời được đưa qua bộ điều chỉnh pha vào hai bản cực Y của dao động kí.

Quá trình này được biểu diễn ở hình 7.75a: tín hiệu điều chế 50Hz có chu kỳ là  $T_M$ , cứ mỗi chu kỳ  $T_M$  điều kiện cộng hưởng được nhắc lại hai lần. Khi tín hiệu đi qua điểm "O" thì giá trị B tại đó có cộng hưởng sẽ nhắc lại. Như thế trên màn hình của dao động kế sẽ xuất hiện hai tín hiệu như hình 7.75b.

Bằng cách điều chỉnh pha của tín hiệu điều chế vào hai cực X của dao động kí ta có thể tách thành hai tín hiệu như hình 7.75b. Điểm giao nhau ở giữa Đ sẽ là điểm cộng hưởng. Khi điểm Đ đạt vị trí ở giữa màn hình của dao động kí thì ta đo tần số cao tần bằng tần số kế chỉ thị số, từ đó tính được độ từ cảm  $B_x$  cần đo.



Hình 7.75. Các tín hiệu của quá trình đo bằng chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân:

a) Tín hiệu cộng hưởng từ hạt nhân

b) Tín hiệu cộng hưởng trên màn dao động kí điện tử

### 7.8.3. Ứng dụng:

Phương pháp trên được ứng dụng để đo độ từ cảm của từ trường đều từ  $5.10^{-3}T$  trở đi. Giới hạn đo phụ thuộc vào hạt nhân nguyên tử của chất mà ta sử dụng.

Ví dụ: nếu dùng hạt nhân hydro ( $H_2$ ) thì có thể đo từ trường đến  $0,5T$ ; nếu dùng  $L^7$  thì đo từ  $0,5 \div 1,0T$  còn dùng nước nặng  $D$  thì có thể đo từ  $1,0T$  trở đi.

Sai số cho phép đo từ trường này phụ thuộc vào các yếu tố như sau:

- Sai số đo tần số có thể đạt  $0,001\%$  ;
- Sai số đo việc xác định hệ số thủy từ  $\gamma$  là  $0,001\%$  ;
- Sai số đo việc tìm cộng hưởng có thể đạt  $0,05 \div 0,1\%$  .

Vì vậy phép đo từ trường này có thể đạt đến sai số  $0,1\% \div 0,2\%$  . Trong khi đó bằng các phương pháp thông thường ta chỉ đạt được sai số  $1,5\% \div 2\%$  .

Ngoài việc đo từ trường, trong thực tế phương pháp này còn được ứng dụng rộng rãi để đo dòng điện lớn. Trong lĩnh vực y học người ta sử dụng loại chuyển đổi này để sản xuất máy chụp cắt lớp (TURBOGRAPH) là loại máy hiện đại để phát hiện các khối u ở bên trong não hay trong cơ thể thay cho việc sử dụng máy chụp X-quang sử dụng tia X độc hại.

### 7.8.4. Chuyển đổi cộng hưởng từ điện tử:

Ngoài chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân người ta còn sử dụng chuyển đổi cộng hưởng từ điện tử, chuyển đổi này có phương pháp và thiết bị để tìm cộng hưởng giống như đối với chuyển đổi cộng hưởng từ hạt nhân.

Hệ số thủy từ điện tử được tính theo công thức sau đây:

$$\gamma_{dt} = \frac{e}{2m_e c}$$

với:  $e$  - điện tích của điện tử

$m_e$  - khối lượng của điện tử

$c$  - tốc độ ánh sáng

So sánh với cộng hưởng từ hạt nhân thì cộng hưởng từ điện tử có các ưu điểm là:

- Hệ số thủy từ điện tử  $\gamma_{dt}$  lớn hơn  $10^3$  lần hệ số thủy từ hạt nhân  $\gamma$  và tần số cộng hưởng cũng lớn hơn 3 lần.

- Tín hiệu cộng hưởng từ điện tử cũng lớn hơn tín hiệu cộng hưởng từ hạt nhân vì thế mà có thể đo được  $B_x$  nhỏ hơn (từ  $10^{-5} \div 5.10^{-4}$  T) mà phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân khó thực hiện được.

Tuy nhiên sai số của phương pháp cộng hưởng từ điện tử lớn hơn cộng hưởng từ hạt nhân vì độ rộng của cộng hưởng khá lớn làm cho việc tìm cộng hưởng vấp phải sai số lớn hơn.

Về ứng dụng: cộng hưởng từ điện tử cũng sử dụng để đo từ trường đều và các đại lượng khác liên quan đến từ trường đều.

## 7.9. Chuyển đổi đo độ ẩm.

### 7.9.1. Khái niệm chung:

Độ ẩm là một thông số quan trọng tác động trực tiếp tới con người, các quá trình lí hóa và sinh lí, thiết bị máy móc... Trong công nghiệp độ ẩm ảnh hưởng trực tiếp đến các sản phẩm, cụ thể như ngành dệt: khi thay đổi độ ẩm là đặc tính của sợi thay đổi. Hoạt động của các mạch vi điện tử cũng phụ thuộc rất nhiều vào độ ẩm.

Việc đo độ ẩm gặp nhiều khó khăn hơn đo các đại lượng khác như lưu lượng, nhiệt độ, mức, áp suất... Lý do chủ yếu là giới hạn độ ẩm rất rộng từ vài ppm (phần triệu) đến 100%. Ngoài ra phép đo độ ẩm nằm trong khoảng nhiệt độ rộng từ  $-60^{\circ}\text{C}$  đến  $1000^{\circ}\text{C}$ , có thể có các thành phần ăn mòn và cá hạt bẩn hoặc hóa chất. Do vậy có nhiều kỹ thuật và dụng cụ đo độ ẩm khác nhau, vấn đề là cần chọn kiểu cảm biến và phương pháp đo thích hợp với từng hoàn cảnh cụ thể.

Sau đây là một số thông số quan trọng đặc trưng cho độ ẩm:

- Khối lượng  $M$  của không khí ẩm chứa trong một thể tích nào đó là tổng của khối lượng không khí khô  $M_k$  và khối lượng của hơi nước  $M_h$ . Tương ứng là các áp suất:

- $P = P_k + P_h$  : áp suất toàn phần của không khí ẩm
- $P_k$  : áp suất riêng của không khí khô
- $P_h$  : áp suất riêng phần của hơi nước.

- *Áp suất hơi bão hoà*  $P_{bh}$  ở nhiệt độ  $T$  (đo bằng đơn vị Pa) là áp suất hơi nước ở trạng thái cân bằng với nước lỏng, kí hiệu là  $P_{bh}(T)$ . Với áp suất lớn hơn áp suất này sẽ xảy ra hiện tượng ngưng tụ.

- *Độ ẩm tương đối*  $RH\%$  là tỉ số giữa áp suất riêng phần của hơi nước và áp suất hơi bão hoà ở nhiệt độ  $T$ :

$$RH\% = \frac{P_h}{P_{bh}(T)} 100\%$$

- *Nhiệt độ hóa sương*  $T_{hs}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) là nhiệt độ cần phải làm lạnh không khí ẩm xuống tới đó để đạt được trạng thái bão hoà, với điều kiện tỉ số trộn  $Q_{tr} = M_h / M_k$  không thay đổi trong quá trình làm lạnh. Đó cũng là là nhiệt độ để  $P_h = P_{bh}(T)$ .

- *Nhiệt độ ẩm*  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) là nhiệt độ cân bằng của một khối lượng nước hóa hơi và không khí (trong trường hợp nhiệt lượng cần thiết để hóa hơi chỉ được trích từ không khí).

### 7.9.2. Phân loại các phương pháp và dụng cụ đo độ ẩm (ẩm kế):

Các ẩm kế có thể được phân thành cá loại chính:

- Ẩm kế dựa trên nguyên lý đo tính chất của vật liệu có liên quan đến độ ẩm. Thuộc loại này có ẩm kế biến thiên trở kháng, ẩm kế tinh thể thạch anh
- Ẩm kế dựa trên nguyên lý vật lý cho phép xác định trực tiếp độ ẩm. Thuộc loại này có ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế điện ly...

Các thông số của không khí ẩm và loại ẩm kế thích hợp để đo chúng được phân loại như sau:

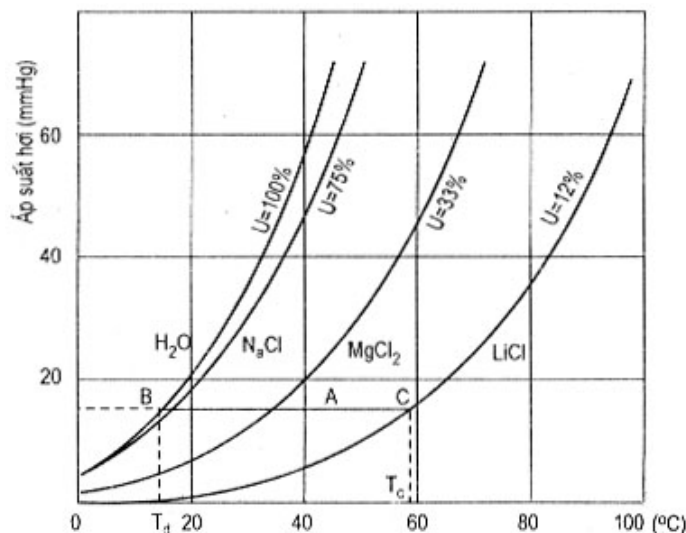
- Độ ẩm tương đối RH: được đo bằng ẩm kế biến thiên điện trở và biến thiên điện dung
- Nhiệt độ điểm sương  $T_{hs}$  được đo bằng ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế hấp thụ, ẩm kế oxit nhôm, ẩm kế điện ly
- Nhiệt độ ẩm  $T_a$  đo bằng psychromét

### 7.9.3. Chuyển đổi độ ẩm bằng phương pháp hấp thụ:

a) Nguyên lý làm việc của chuyển đổi: dựa trên hai hiện tượng:

- Áp suất hơi phía trên một dung dịch bão hòa chứa các muối hòa tan nhỏ hơn áp suất hơi ở phía trên mặt nước ở cùng điều kiện nhiệt độ. Hình 7.76 là đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa.
- Một số chất nếu ở trạng thái khô thì có điện trở rất cao nhưng khi hút ẩm hơi nước ở môi trường xung quanh thì điện trở của chúng giảm một cách đáng kể (ví dụ như các chất clorua - LiCl, anhidrit photphoric -  $P_2O_5$  ).

Khi đo độ ẩm người ta nung nóng dung dịch muối chứa trong ẩm kế cho đến khi áp suất hơi bão hòa ở phía trên dung dịch bằng áp suất hơi của môi trường không khí bình thường. Từ nhiệt độ đó xác định được áp suất hơi  $P_h$  và nhiệt độ hóa sương  $T_{hs}$ . Thông thường chọn dung dịch muối bão hòa sao cho ở một nhiệt độ cho trước thì áp suất hơi càng nhỏ càng tốt, thường chọn muối LiCl.



Hình 7.76. Đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa.

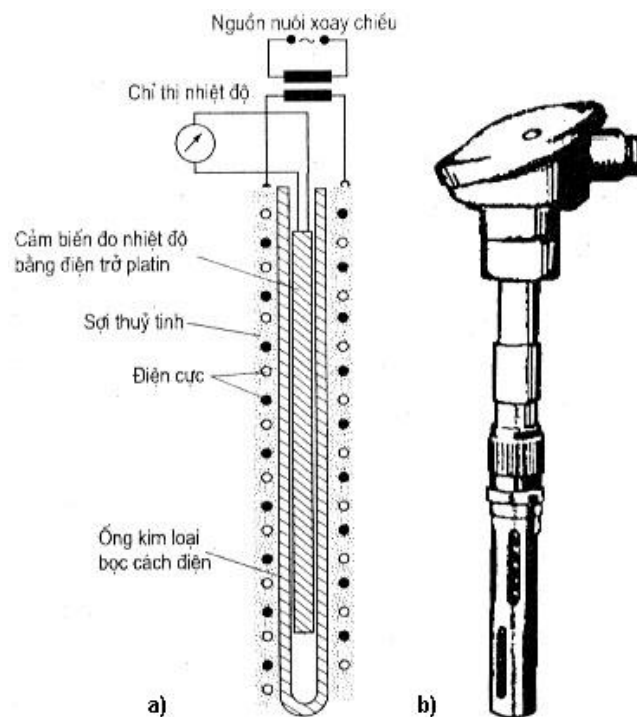
Bảng 7.9 là các giá trị áp suất hơi bão hòa trên mặt nước và trên dung dịch muối clorua bão hòa ở những nhiệt độ khác nhau ở đường cong áp suất hơi gần tương ứng với đường cong độ ẩm tương đối 12%.

Ví dụ: cùng một giá trị áp suất hơi bằng 2163Pa, nhiệt độ hoá sương của nước là  $18,8^{\circ}\text{C}$  nhưng nhiệt độ cân bằng của dung dịch LiCl bão hòa là  $60^{\circ}\text{C}$ .

*Bảng 7.9. các giá trị áp suất hơi bão hòa trên mặt nước và trên dung dịch muối clorua liti bão hòa ở những nhiệt độ khác nhau*

Nhiệt độ dung dịch $^{\circ}\text{C}$	Áp suất hơi trên mặt nước (Pa)	Áp suất hơi trên mặt LiCl (Pa)	Độ ẩm tương đối %
5	872,47	119,2	13,7
10	1227,94	157,6	12,8
20	2338,54	260,6	11,1
30	4245,20	473,9	11,2
40	7381,27	1066,1	11,1
50	12344,78	1727,5	11,0
60	19933	2163,4	10,9

**b) Ẩm kế LiCl:** cấu tạo của chuyển đổi: như hình 7.77: gồm có một ống được bao bọc bởi một lớp vải tẩm dung dịch LiCl, trên đó có quần hai điện cực bằng kim loại không bị ăn mòn. Điện cực được đốt nóng bằng nguồn cung cấp làm bay hơi nước. Khi nước bay hơi hết thì điện trở của chuyển đổi tăng lên làm cho dòng điện giữa các điện cực giảm đáng kể.



*Hình 7.77. Ẩm kế đo độ ẩm bằng phương pháp hấp thụ dùng LiCl:  
a) sơ đồ nguyên lý cấu tạo      b) hình dáng bên ngoài*

Khi LiCl hấp thụ hơi nước ở môi trường xung quanh thì độ ẩm của nó tăng lên, điện trở của nó giảm và dòng điện giữa các điện cực tăng lên làm cho nhiệt độ của chuyển đổi lại tăng. Đến một thời điểm nào đó sẽ đạt được một sự cân bằng giữa muối LiCl và dung dịch. Sự cân bằng này liên quan đến áp suất hơi và đồng thời đến nhiệt độ hoá sương  $T_{hs}$  nhờ vậy có thể xác định được  $T_s$ .

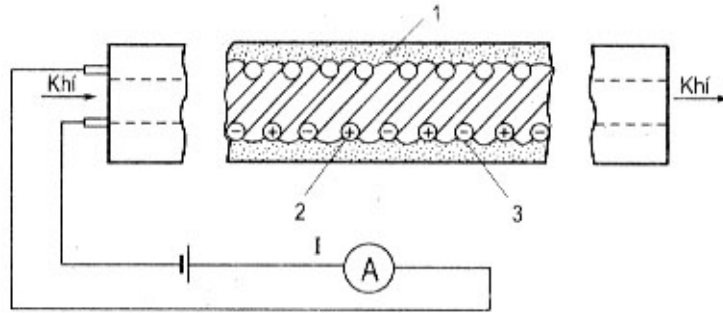
Đặc điểm của chuyển đổi LiCl là có thể dùng đo nhiệt độ hoá sương với độ



chính xác cao; mặt khác do đo nhiệt độ cân bằng thực hiện bằng đốt nóng chuyển đổi nên đơn giản, độ tin cậy cao, giá thành hạ, có thể đạt tới độ chính xác  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  tùy thuộc vào độ chính xác của chuyển đổi đo nhiệt độ, cấu tạo của đầu đo và điều kiện sử dụng.

Thời gian hồi đáp chậm (mười phút), phạm vi đo nhiệt độ hoá sương của các chất từ  $-10^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$ .

c) **Ấm kế anhidrit photphoric  $\text{P}_2\text{O}_5$ :** chuyển đổi có cấu tạo như hình vẽ 7.78: gồm một ống cách điện 1 có mặt trong đặt hai điện cực xoắn 2 và 3, giữa chúng phủ màng mỏng  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Màng có điện trở lớn ở dạng khô và điện trở bị giảm khi hút ẩm.

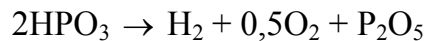


Hình 7.78. Cấu tạo của ẩm kế anhidrit photphoric  $\text{P}_2\text{O}_5$

Không khí cần đo độ ẩm được đưa qua ống với vận tốc không đổi. Lúc đó liên tục diễn ra hai quá trình là: sự hút ẩm của màng để tạo thành axit photphoric:



và điện phân nước để tái sinh anhydric photphoric:



Dòng điện  $I$  tỉ lệ với độ ẩm tuyệt đối của không khí:

$$I = \frac{FZqB}{M}$$

với:  $F$  - hằng số Faraday;

$Z$  - độ kiềm;

$q$  - lưu tốc dòng khí  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$M$  - trọng lượng phân tử  $\text{H}_2\text{O}$ ;

$P$  - độ ẩm tuyệt đối  $\text{g}/\text{m}^3$

Chuyển đổi loại  $\text{P}_2\text{O}_5$  cho phép đo hơi nước trong dải đo từ  $10^{-4} \div 1\%$  theo khối lượng với sai số  $5\% \div 10\%$ .

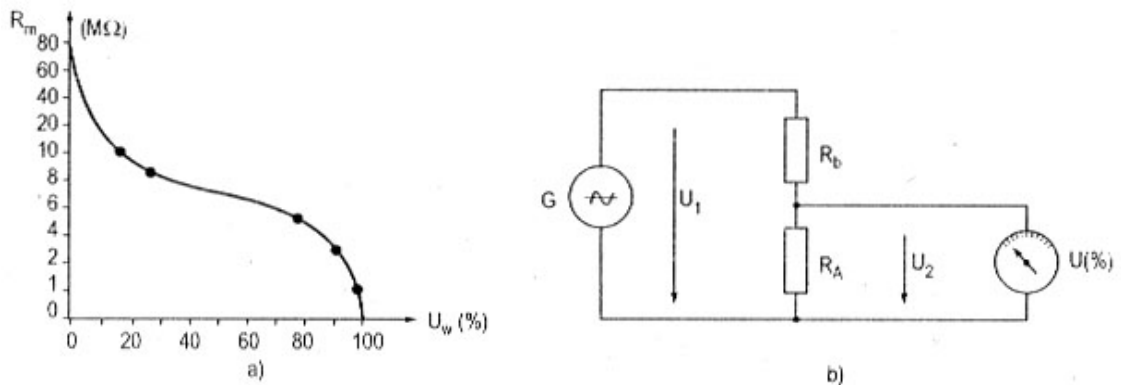
#### 7.9.4. Chuyển đổi đo độ ẩm biến thiên trở kháng:

Đó là các chuyển đổi có tính chất hút ẩm được chế tạo dưới dạng điện trở hoặc tụ điện. Dưới tác động của độ ẩm của môi trường sẽ làm cho các thông số  $R$  hoặc  $C$  thay đổi. Các thông số này phụ thuộc vào độ ẩm của môi trường, chúng được chia thành hai loại là điện trở và tụ điện.

a) **Ấm kế điện trở:** kiểu điện trở kim loại gồm một đế có kích thước nhỏ (vài  $\text{mm}^2$ ) được phủ chất hút ẩm và đặt hai thanh dẫn bằng kim loại không bị ăn mòn và oxi hóa. Trị số điện trở  $R$  đo được giữa hai thanh dẫn phụ thuộc vào hàm lượng nước (tỉ số giữa khối lượng nước hấp thụ và khối lượng chất khô) và vào nhiệt độ chất hút ẩm. Hàm lượng nước lại phụ thuộc vào độ ẩm tương đối và nhiệt độ.

Đường cong đặc trưng cho sự phụ thuộc của điện trở với độ ẩm tương đối và nhiệt độ của ẩm kế điện trở như hình 7.79a.

Hình 7.79b là mạch bù ảnh hưởng của nhiệt độ, trong đó chuyển đổi độ ẩm  $R_A$  và điện trở bù  $R$  có hệ số nhiệt độ  $\alpha_t$  giống nhau.



Hình 7.79. Ẩm kế điện trở:

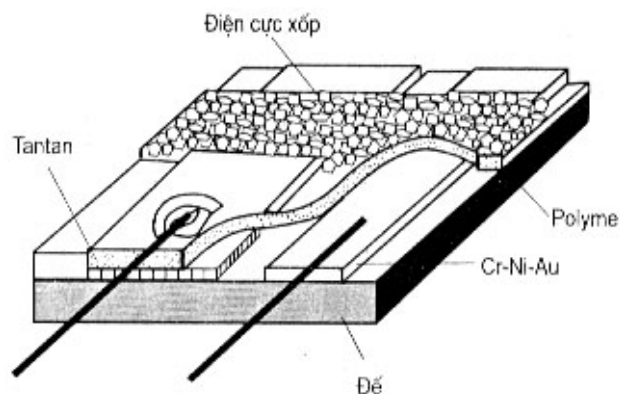
a) Sự phụ thuộc của điện trở vào độ ẩm tương đối

b) Mạch đo

Đặc điểm của ẩm kế điện trở: có thể đo được độ ẩm tương đối từ  $5\% \div 95\%$ , trong dải nhiệt độ  $-10^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$ . Thời gian hồi đáp cỡ 10 giây và đạt độ chính xác từ  $\pm 2\% \div 5\%$ .

**b) Ẩm kế tụ điện:** loại chuyển đổi này được chế tạo thành một tụ điện với lớp điện môi giữa hai bản cực là các chất hút ẩm. Do hấp thụ hơi nước nên hằng số điện môi thay đổi làm cho điện dung của tụ thay đổi.

Hình 7.80 là một chuyển đổi độ ẩm tụ điện có lớp điện môi là chất polyme. Lớp polyme được phủ trên điện cực thứ nhất là tantan sau đó là crôm phủ tiếp lên polyme bằng phương pháp bay hơi trong chân không để làm điện cực thứ hai. Thời gian hồi đáp phụ thuộc vào độ dày lớp điện môi  $\epsilon$ .



Hình 7.80. Chuyển đổi độ ẩm tụ điện có lớp điện môi là chất polyme

Với chuyển đổi tụ điện polyme có thể đo được độ ẩm với dải đo từ  $0\% \div 100\%$ ; dải nhiệt độ từ  $-40^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$ . Độ chính xác  $\pm 2\% \div 3\%$  và thời gian hồi đáp cỡ vài giây.

Ngoài ra người ta còn sử dụng chất ôxít nhôm ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) làm chất điện môi. Trong đó điện cực thứ nhất là một tấm nhôm được chế tạo bằng phương pháp anốt hoá, chiều dày của lớp  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cỡ  $0,3 \mu\text{m}$ . Loại chuyển đổi này chỉ thích hợp với độ ẩm thấp nên lớp điện môi càng mỏng càng tốt. Điện cực thứ hai là một màng kim loại, được chế tạo từ Cu, Au, Pt ... Chuyển đổi loại này cho phép đo nhiệt độ hóa sương  $T_s$  trong phạm vi từ  $-80^{\circ}\text{C} \div +70^{\circ}\text{C}$ , thời gian hồi đáp cỡ vài giây. Có thể làm việc

trong dải áp suất rộng đến hàng trăm bar. Nhược điểm là không dùng được trong môi trường ăn mòn như NaCl, lưu huỳnh.

## 7.10. Khái niệm về chuyển đổi thông minh có sử dụng $\mu P$ .

### 7.10.1. Sự ra đời các cảm biến thông minh:

Chúng ta xét đến yêu cầu của việc thông minh hoá các cảm biến theo các khía cạnh sau:

- Hiện nay trong các hệ thống thu thập số liệu đo lường thì các cảm biến là khâu yếu nhất của hệ thống so với các bộ biến đổi điện - điện và các hệ thống xử lý kết quả đo. Sai số và các đặc tính kỹ thuật khác của hệ thống không vượt quá sai số của cảm biến nếu không có biện pháp công nghệ và xử lý để cải tiến các đặc tính kỹ thuật của cảm biến. Rõ ràng yêu cầu cải tiến các cảm biến hiện có là một vấn đề cấp thiết. Việc cải tiến đó dựa trên tình hình phát triển của công nghệ và kỹ thuật điện tử - tin học.

- Hiện nay đã xuất hiện các chuyển đổi sơ cấp trên cơ sở công nghệ và vi điện tử, vi cơ điện tử (MEMS) đạt kết quả tốt hơn các chuyển đổi cũ về kích thước và tính năng kỹ thuật. Chính nhờ những công nghệ đó mà ta có thể sử dụng chúng vào nhiều cảm biến khác nhau, giúp cho việc đa chức năng hoá các cảm biến.

- Các vi xử lý, vi tính đơn phiên ngày càng được sử dụng rộng rãi, khả năng xử lý ngày càng cao, giá thành ngày càng thấp. Vì thế khi sử dụng chúng kết hợp với các chuyển đổi sơ cấp để tạo ra các cảm biến thông minh không làm tăng nhiều giá thành của cảm biến.

- Nhờ tính năng cao của các vi xử lý mà các nhà kỹ thuật đo lường đã đưa ra được nhiều biện pháp và phương pháp đo để đa năng hóa các cảm biến, các thiết bị đo; đã đề ra nhiều biện pháp xử lý để nâng cao tính chính xác, khả năng thông tin, tăng tốc độ đo, nâng cao tính ổn định, loại trừ các yếu tố ảnh hưởng đến thiết bị đo. Trên cơ sở đó các cảm biến thông minh đã ra đời.

Người ta quan tâm nhiều đến cảm biến thông minh vì chúng có những khả năng sau:

- Sử dụng đa chức năng, tức là có thể đo nhiều đại lượng khác nhau với khoảng đo khác nhau.
- Có khả năng chương trình hoá với ý nghĩa: quá trình đo có thể theo một chương trình định trước, chương trình này có thể thay đổi bằng các thiết bị ghi chương trình (programator).
- Tự động xử lý kết quả đo như:
  - o Tự động khắc độ, tự động chọn thang đo.
  - o Tự động bù sai số hệ thống và ngẫu nhiên.
  - o Tự động bù ảnh hưởng các yếu tố khác nhau.
  - o Tự động truyền kết quả lên cấp trên theo chu kì hay theo địa chỉ (chức năng truyền thông).

Cấu trúc cảm biến thông minh gồm các chuyển đổi sơ cấp kết hợp với các bộ biến đổi và bộ vi xử lý hay vi tính đơn phiên. Kèm theo với bộ vi xử lý là một bộ ghi chương trình để ghi các chương trình xử lý, các số liệu thống kê và khắc độ...

### 7.10.2. Vi điện tử hoá các chuyển đổi sơ cấp:

Để nâng cao tính năng của các cảm biến, người ta đã cố gắng đưa công nghệ vi điện tử vào các chuyển đổi đo lường sơ cấp để diễn hình hoá chúng và nâng cao các đặc tính kỹ thuật của chúng làm phần tử cơ bản các cảm biến thông minh.

**a) Chuyển đổi điện trở:** người ta đã làm các nhiệt điện trở, các điện trở chính xác và thậm chí các cầu đo bằng kỹ thuật vi điện tử.

Người ta cũng đã chế tạo các chuyển đổi điện trở lực căng bằng công nghệ vi điện tử, nuôi cấy đa tinh thể trên đơn tinh thể được ứng dụng trong các cảm biến đo trọng lượng (cân) trong các áp kế (đo áp suất) và trong các áp kế vi sai (dùng để đo lưu lượng).

Nhiệt độ, áp suất, lưu lượng là ba đại lượng thường gặp nhất trong các hệ thống tự động hoá quá trình sản xuất. Các chuyển đổi điện trở lực căng này được nuôi cấy trên màng kim loại vì thế không bị ảnh hưởng của hiện tượng trượt gây nên bởi công nghệ dán điện trở.

Người ta cũng đã chế tạo cả điện trở bù nhiệt độ ngay trên cảm biến để loại trừ ảnh hưởng của nhiệt độ lên kết quả đo.

**b) Chuyển đổi quang điện:** photô điốt, optron, ống dẫn quang với công nghệ vi điện tử, người ta có thể chế tạo photô điốt, optron với kích thước nhỏ nhưng có hiệu quả cao. Opton kết hợp với dây dẫn quang làm tăng hiệu quả của các phương pháp đo quang điện.

Ví dụ: thiết bị đo tốc độ (opton tachometric), các quang kế, quang phổ kế, các máy so màu đo độ đục đã được giảm đáng kể kích thước, giảm bớt kích thước mẫu thử, thậm chí có thể thực hiện phép đo tại chỗ trong cơ thể. Các cảm biến được kết hợp với khả năng xử lý của máy tính đã trở thành các thiết bị phân tích thông minh.

**c) Công nghệ màng bán dẫn có chọn lọc:** đã tạo ra được các chuyển đổi pH kèm với khuếch đại bán dẫn trường ở đầu vào có kích thước không quá 1mm, làm linh hoạt hoá các phép đo pH với những yêu cầu khác nhau.

Trong phân tích nồng độ vật chất thì màng lọc có chọn lọc trở thành những bộ phận rất quý của các máy phân tích khí hiện đại có độ chọn lọc cao với nồng độ thấp.

Rõ ràng với các chuyển đổi sơ cấp đã nói trên sẽ cho phép trong một thời gian không lâu tạo ra được các cảm biến đa chức năng, linh hoạt và có các tính năng kỹ thuật tốt hơn nhiều các cảm biến thông thường hiện nay.

Nghiên cứu các cảm biến đa chức năng với chuyển đổi sơ cấp điện tử là một nội dung của việc nghiên cứu để tạo ra các cảm biến thông minh.

### 7.10.3. Xử lý sơ bộ kết quả đo nhờ cảm biến thông minh:

Phương trình cơ bản của cảm biến có dạng:

$$Y = f(X, a, b, c, \dots)$$

Phương trình này nói lên nguyên tắc hoạt động của chuyển đổi, ở đây X là đại lượng đo (còn gọi là đại lượng chủ); các đại lượng a, b, c... được gọi là các yếu tố ảnh hưởng (nhiều) mà ta cần loại trừ.

Yêu cầu của các cảm biến là tạo được đặc tính  $Y = f(X)$  và quan hệ này được lặp lại với một giá trị chính xác để từ Y ta có thể suy ra X với một sai số bé hơn sai số yêu cầu. Về công nghệ mặc dầu có những tiến bộ đáng kể nhưng vẫn còn xa với yêu

cầu.

Trong các cảm biến thông minh đã sử dụng triệt để khả năng xử lý kết quả đo của các bộ vi xử lý hay các máy tính đơn phiên để nâng cao các đặc tính kỹ thuật của các cảm biến. Có thể nêu ra các xử lý mà các vi xử lý hay vi tính đơn phiên phải làm:

**a) Xử lý khắc độ:** yêu cầu cơ bản nhất đối với chuyển đổi là tạo được đặc tính:

$$Y = f(X)$$

cụ thể là:

$$Y_i = K_i \cdot X_c$$

với  $K_i$  luôn phải được giữ là hằng số

Việc khắc độ hay chuẩn độ là xác định các  $K_i$  với sai số của nó phải đảm bảo:

$$\max \left| \frac{\Delta K_i}{K_i} \right| \leq \gamma_{K_i}$$

Trong trường hợp cảm biến bị nhiều yếu tố ngẫu nhiên tác động thì  $K_i$  được xác định bằng phương pháp thống kê:

$$\overline{K_i} = \frac{\sum_{j=1}^m K_{ij}}{m}$$

$\overline{K_i}$  này được đơn vị xử lý lưu giữ làm hệ số biến đổi tại điểm  $X_i$  của cảm biến và tính ra được:

$$X_i = \frac{Y_i}{K_i}$$

Sai số tuyệt đối ngẫu nhiên  $\Delta K_i$  của hệ số  $K_i$  được tính với giả thiết phân bố xác suất của nó là phân bố Student. Bộ hệ số  $K_i$  và  $\Delta K_i$  được tính toán và ghi trong EPROM của vi tính đơn phiên bằng một bộ lập chương trình.

**b) Xử lý tuyến tính hoá từng đoạn:** số lượng khoảng biến đổi đặc trưng bằng  $K_i$  được chọn tùy theo đặc tính phi tuyến của cảm biến. Vi xử lý hay vi tính đơn phiên được giao nhiệm vụ tuyến tính hóa từng đoạn đặc tính đó, cụ thể quá trình diễn ra như sau:

- Giá trị đo  $X$  được chuyển đổi thành  $Y_x$  sau đó chuyển đổi thành số.
- Tìm khoảng của  $Y_x$  với điều kiện  $Y_i < Y_x < Y_{i+1}$  ứng với  $X_i < X < X_{i+1}$  và thực hiện phép nội suy tuyến tính:

$$X = X_i + \left( \frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) \cdot (Y_x - Y_i)$$

- Ghi kết quả  $X$  cùng với  $K_i$  và  $\gamma_{K_i} = \frac{\Delta K_i}{K_i}$ . Kết quả được ghi giữ lại trong RAM

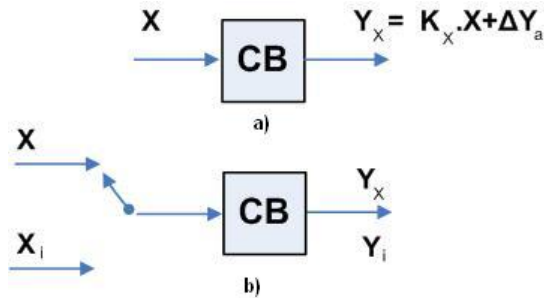
và chuyển về khối xử lý trung tâm khi có yêu cầu tính toán.

**c) Bù sai số cộng tính:** sai số cộng tính thường xuyên xảy ra trong các cảm biến do ma sát, do đặc tính trễ của cảm biến, do nhiễu có thể biểu diễn với đại lượng đo  $X$ ... Biểu thức chung để tính đại lượng ra của cảm biến trong trường hợp này là:

$$Y_x = K_x X + \Delta Y_a \Rightarrow X = \frac{Y_x}{K_x} - \frac{\Delta Y_a}{K_x}$$

với:  $K_x = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$  đã biết trước

và  $\Delta Y_a$  gọi là sai số cộng tính, là giá trị chưa biết nhưng có tính chất là không thay đổi theo giá trị của  $X$  (hình 7.81a).



Hình 7.81. Bù sai số cộng tính:

a) biểu thức chung của cảm biến      b) mạch trừ thực hiện bù sai số cộng tính

Lượng sai số  $\Delta Y_a / K_x$  được loại trừ bằng một bộ trừ (như hình 7.81b). Cụ thể với phép đo thứ  $i$  bất kỳ thì ta có:

$$Y_i = K_x X_i + \Delta Y_a \Rightarrow X_i = \frac{Y_i}{K_x} - \frac{\Delta Y_a}{K_x}$$

suy ra:

$$X - X_i = \frac{(Y_x - Y_i)}{K_x} = (Y_x - Y_i) \cdot \frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i}$$

với các giá trị đã biết trước  $X_i, Y_i, X_{i+1}, Y_{i+1}$  ta tính được giá trị của một phép đo bất kỳ:

$$X = X_i + (Y_x - Y_i) \cdot \frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i}$$

Bằng cách này ta loại trừ được thành phần sai số cộng tính  $\Delta Y_a$ . Ở đây ta thấy với cách bù sai số phi tuyến thì ta cũng bù luôn sai số cộng tính.

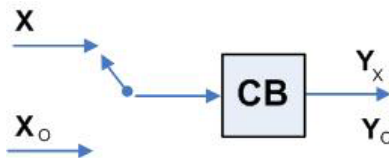
**d) Bù sai số nhân tính:** trong cảm biến có sai số nhân tính thì biểu thức chung để tính đại lượng ra của cảm biến là:

$$Y_x = X \cdot K_x (1 + \gamma_k)$$

với  $\gamma_k$  là sai số nhân tính.

Muốn bù sai số nhân tính ta dùng một phép chia (như hình 7.82), cụ thể: nếu đại lượng vào là  $X_0$  thì ta có đại lượng ra là:

$$Y_0 = X_0 \cdot K_0 (1 + \gamma_k)$$



Hình 7.82. Bù sai số nhân tính bằng mạch chia

suy ra:

$$\frac{Y_x}{Y_0} = \frac{X}{X_0} \cdot \frac{K_x (1 + \gamma_k)}{K_0 (1 + \gamma_k)} = \frac{X}{X_0} \cdot \frac{K_x}{K_0}$$



$$\Rightarrow X = \frac{Y_x}{Y_0} \cdot \frac{K_0}{K_x} \cdot X_0$$

và sai số nhân tính được loại trừ.

**e) Bù sai số do các yếu tố ảnh hưởng:** một trong những sai số khó loại trừ nhất trong các cảm biến là các yếu tố ảnh hưởng (hay các yếu tố không mang thông tin). Khi nghiên cứu các cảm biến người ta cũng đã đưa vào các biện pháp để loại trừ những yếu tố đơn nhưng trong nhiều cảm biến ảnh hưởng này rất khó loại trừ. Không những thế ở các cảm biến khác nhau tuy cùng một công nghệ chế tạo nhưng ảnh hưởng này cũng khác nhau, vì thế trong các cảm biến thông minh ta thường bù ảnh hưởng của các yếu tố không mang thông tin trên ngay cảm biến sử dụng ấy.

Từ phương trình biến đổi của cảm biến ta có thể viết sai số:

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta X + \frac{\partial F}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial F}{\partial b} \Delta b + \dots$$

trong đó thành phần  $(\partial F / \partial a) \cdot \Delta a$  là ảnh hưởng của yếu tố a đến kết quả đo Y.

Thông qua thực nghiệm sẽ lập ra được bảng ảnh hưởng (bảng 7.10):

**Bảng 7.10. Bảng ảnh hưởng được lập thông qua thực nghiệm**

$\begin{matrix} X \\ A \end{matrix}$	$X_1$	$X_2$	...	$X_i$	$X_n$
$A_1$	$\Delta_{11}$	$\Delta_{12}$	...	$\Delta_{1i}$	$\Delta_{1n}$
$A_2$	$\Delta_{21}$	$\Delta_{22}$	...	$\Delta_{2i}$	$\Delta_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A_j$	$\Delta_{j1}$	$\Delta_{j2}$	...	$\Delta_{ji}$	$\Delta_{jn}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A_m$	$\Delta_{m1}$	$\Delta_{m2}$	...	$\Delta_{mi}$	$\Delta_{mn}$

Khi muốn bù ảnh hưởng của yếu tố A thì ta tra bảng để xác định độ ảnh hưởng của yếu tố A.

Từ giá trị A do một cảm biến đo phụ và căn cứ vào giá trị đại lượng đo được ta tra ra giá trị của  $\Delta_{ij}$ , sau đó nội suy tuyến tính ra giá trị của đại lượng đó mà ta phải bù, để loại sai số do sự ảnh hưởng của yếu tố A. Các phép sai phân hoá và nội suy tuyến tính được máy tính thực hiện.

**f) Xử lý thống kê:** khi bản thân đối tượng đo biến đổi sẽ làm cho các thông số đo có tính ngẫu nhiên lớn. Khi đó cảm biến thông minh có thể xử lý thống kê tức là đo với tốc độ nhanh rồi lấy ra giá trị trung bình, tính sai số thống kê của kết quả đo, lưu giữ và truyền lên máy tính cấp trên để xử lý cấp cao hơn... nhằm đạt được kết quả đo chính xác nhất.

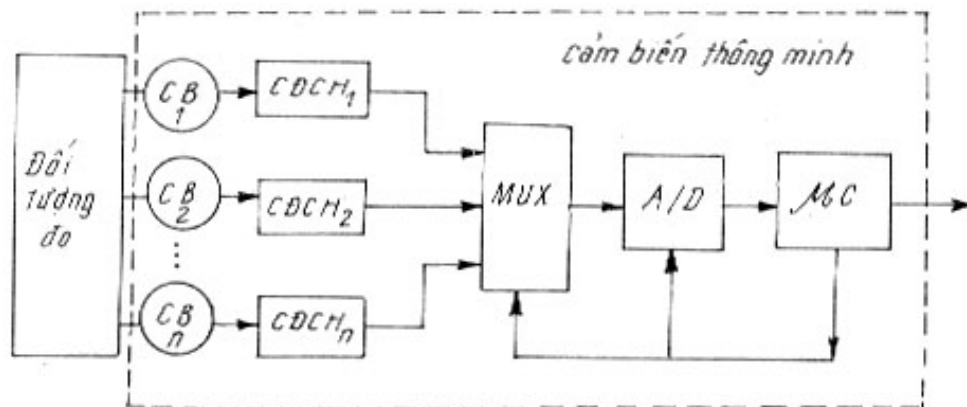
**g) Xử lý trong phép đo gián tiếp và hợp bộ:** trong đo lường hiện đại, nhiều khi phép đo một đại lượng không thể đạt được trực tiếp mà phải thông qua một số phép tính toán, các phép đo như vậy gọi là các phép đo gián tiếp và hợp bộ. Với sự có mặt của vi tính và vi xử lý thì việc gia công đại số ấy được thực hiện một cách dễ dàng, thậm chí cả việc giải những phương trình hay những hệ phương trình trong các phép đo hợp bộ.

Khi đó vi tính được sử dụng như là một mô hình của đối tượng với các hệ số của

phương trình phụ thuộc vào đối tượng và được xác định bằng thực nghiệm. Quá trình xây dựng mô hình này phải là một quá trình nghiên cứu, thực nghiệm và dạy cho máy tính. Trong quá trình thử nghiệm ấy đôi khi số lượng tính toán khá nhiều nên có khi phải sử dụng máy tính nối với hệ thống xử lý tính toán phức tạp hơn. Sau đó máy tính sẽ dạy lại cho vi xử lý của cảm biến thông minh những xử lý tối thiểu để có được kết quả thích hợp và truyền lên cấp trên. Hệ thống thu thập như vậy được gọi là hệ thống phân tán nhằm giảm bớt khối lượng tính toán ở trung tâm.

#### 7.10.4. Cấu trúc của cảm biến thông minh:

Qua những phân tích về chuyển đổi sơ cấp, về các nội dung phải xử lý trong các hệ đo lường các đại lượng vật lý, ta có thể đi đến cấu trúc chung của các cảm biến thông minh như sau (hình 7.83):



Hình 7.83. Cấu trúc chung của các cảm biến thông minh

Cảm biến gồm những chuyển đổi sơ cấp dùng để biến đại lượng không điện hoặc điện thành đại lượng điện. Các đại lượng này có thể là các đại lượng chủ cần thiết cho phép đo, cũng có thể là các đại lượng của yếu tố ảnh hưởng được sử dụng trong việc tính toán để loại trừ sai số do ảnh hưởng của chúng.

Cũng như sơ đồ chung của hệ thu thập số đo, các đại lượng điện cũng được qua các khâu chuyển đổi chuẩn hoá (CĐCH). Sau đó chúng được đưa vào bộ dồn kênh (MUX) và qua bộ chuyển đổi tương tự - số (A/D) vào vi tính đơn phiên ( $\mu C$  hoặc vi xử lý).

Có thể có hai loại công nghệ:

- Nếu các chuyển đổi là loại chuyển đổi sơ cấp bình thường: thì các đầu ra của chúng được đưa vào một vi mạch công nghệ lai gồm các bộ biến đổi chuẩn hóa, MUX, A/D và  $\mu C$  trong một khối có đầu nối liên máy tính cấp trên và bộ ghi chương trình cho EPROM.

- Nếu các chuyển đổi là loại chuyển đổi thực hiện bằng công nghệ vi mạch: thì cả chuyển đổi lẫn các phần tử gia công phía sau được để trong một khối công nghệ mạch lai.

Các cảm biến thông minh có dạng như trên đã được phát triển vì thế việc hệ thống hoá các cảm biến, chọn cấu trúc như thế nào để đảm bảo tính linh hoạt cao, việc chương trình hoá được dễ dàng... là các nội dung cần nghiên cứu về cảm biến thông minh.

### 7.10.5. Một số ví dụ về cảm biến thông minh:

Hiện nay các cảm biến thông minh đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi, cùng với xu hướng phát triển mạnh mẽ của các hệ thống điều khiển phân tán (DCS-Distributed Control System) thì vai trò của cảm biến thông minh ngày càng quan trọng cũng như các tính năng của chúng ngày càng được nâng cao.

Có thể nêu lên một ví dụ cơ bản về cảm biến thông minh là cảm biến Smart – 3000, nằm trong hệ thống tự động hoá quá trình sản xuất linh hoạt của hãng Honeywell (Hoa Kỳ).

Về chuyển đổi sơ cấp Smart - 3000: gồm một cảm biến nhiệt điện trở bằng phương pháp bốc hơi dùng để đo nhiệt độ, chủ yếu là do nhiệt độ của môi trường để bù yếu tố ảnh hưởng; điện trở này được một mạch biến đổi thành điện áp đưa vào MUX (multiplexer). Một chuyển đổi điện trở lực căng bán dẫn được nuôi cấy trên một máy đàn hồi dùng để đo áp suất; ở cảm biến đo áp suất này có bố trí một điện trở bù nhiệt độ của chuyển đổi chính.

Điện áp của cảm biến được khuếch đại và chuẩn hoá để vào MUX qua A/D vào  $\mu C$ . Một cảm biến điện trở lực căng dùng để đo hiệu áp suất. Cảm biến này có thể đo áp suất, nhưng chủ yếu dùng để đo lưu tốc và lưu lượng bằng phương pháp chấn lưu (lỗ chuẩn hay ống Venturi). Trong cảm biến này các chuyển đổi và điện trở bù nhiệt độ đều được thực hiện bằng công nghệ vi điện tử.

Quan hệ giữa hiệu áp suất và lưu tốc được tính theo hình thức:

$$q_g = k.\xi.D.\sqrt{hp}$$

Rõ ràng với quan hệ này trong cảm biến phải có những phép gia công sau:

- Xác định k: thường được xác định bằng thực nghiệm.
- $\xi$  độ nhớt của chất lỏng, phụ thuộc vào chất lỏng, nhiệt độ của chất lỏng.  $\xi$

thông thường được xác định thông qua quá trình khắc độ.

$\xi$  còn phụ thuộc theo nhiệt độ vì thế phải có cách bù nhiệt và nhiệt độ đó đã được đo thông qua cảm biến nhiệt độ (nhiệt điện trở).

- D đường kính của lỗ chuẩn hay ống Venturi, mỗi lỗ chấn lưu có một hệ số thực nghiệm.

- h: hiệu áp suất đo bởi hiệu áp kế
- p: khối lượng riêng của dung dịch dẫn áp suất.

Như vậy điện áp ra ở hiệu áp kế được biến đổi thành số vào máy vi tính đơn phiên, ở đó nó được tính toán, lấy căn, tuyến tính hoá, bù lại các yếu tố ảnh hưởng...

Tất cả các chuyển đổi sơ cấp, các khuếch đại chuẩn hoá các MUX, A/D và vi tính đơn phiên được bỏ vào một hộp của cảm biến, đầu ra nối với máy vi tính cấp trên. Ngoài ra nó còn có cổng đối thoại với các máy ghi chương trình dùng để thông minh hoá các cảm biến.

Cách cấu tạo kiểu này có một thuận lợi cơ bản là cảm biến có thể chế tạo hàng loạt bằng công nghệ vi điện tử, vừa giảm nhẹ giá thành vừa tăng chất lượng cảm biến. Lắp ráp cũng theo qui tắc chung nhưng chưa cần hiệu chỉnh. Việc khắc độ được thực hiện đơn chiếc ngay trên cảm biến đang sử dụng hồ đo mà có thể loại trừ được sự sai khác của linh kiện, việc bù sai số cũng được tiến hành đơn chiếc. Các khâu xử lý nói trên đều được thực hiện bằng máy tính của bộ ghi chương trình

chuyên dụng cho một loại cảm biến thông minh.

Hiện nay các nhà thiết kế và chế tạo hệ thống tự động hoá đã đưa vào hệ thống những cảm biến thông minh và giao việc xử lý sơ bộ kết quả đo cho cảm biến, chỉ thu thập số liệu chi tiết khi cần thiết và gọi ra khi cần phân tích sự cố.

#### **7.10.6. Thiết bị đo thông minh và linh hoạt:**

Trên cơ sở của cảm biến thông minh người ta đã chế tạo ra các thiết bị đo linh hoạt và thông minh. Các thiết bị đo thông minh thường được dùng vào các hệ thống thông tin đo lường sau:

- Hệ thống tự động nghiên cứu khoa học.
- Hệ thống tự động kiểm tra xuất xưởng và kiểm tra tiếp nhận hàng hoá.
- Hệ tự động phân tích nồng độ vật chất trong công nghiệp, sinh hoá, sinh học.
- Hệ chuẩn đoán kỹ thuật

##### **a) Các vấn đề giải quyết trong thiết bị đo thông minh:**

Các hệ thống trên đã giải quyết các vấn đề sau:

- *Menu hoá các chế độ đo lường:* các chế độ đo lường được phân thành các lớp và được đặt tên để người sử dụng có thể chọn. Mỗi menu xác định các đại lượng cần được đo, khoảng đo và cách tiến hành đo lường, các bước tiến hành và dự kiến phạm vi kết quả.

Menu được xây dựng dựa trên cơ sở phân tích phương pháp đo, phạm vi ứng dụng, khoảng đo thường gặp, từ đó phân chia ra thành các *đơn nguyên*. Mỗi đơn nguyên có nhiệm vụ chỉ rõ phương pháp đo, chuyển đổi sơ cấp và các biến đổi chuẩn hoá được chọn, tiến hành các xử lý cần thiết và chỉ thị kết quả đo... Người sử dụng chỉ cần chỉ rõ nguyên đơn nào máy sẽ tự động tiến hành các thủ tục đã qui định và biểu thị ra kết quả đo theo ý của người sử dụng.

- *Chuẩn độ tự động thiết bị:* các thiết bị đo và phân tích nồng độ trước khi sử dụng đều được chuẩn độ theo những mẫu đã pha chế sẵn, việc làm này trước kia đòi hỏi các thí nghiệm viên có trình độ và kinh nghiệm. Ngày nay các máy thông minh thực hiện việc chuẩn độ đó một cách tự động, tự xử lý kết quả đo, tìm ra các hệ số hiệu chỉnh, tự động chọn khoảng đo thích hợp.

- *Tự động lập chương trình thử nghiệm:* các thử nghiệm đều tuân thủ một trình tự thử, thu thập kết quả, xử lý và báo cáo theo một mẫu nhất định. Với một menu nhất định máy sẽ tự động lập chương trình thử, lấy số liệu và in kết quả đo.

**b) Các ví dụ thực tế về máy đo thông minh:** sau đây là một số ví dụ về máy đo thông minh:

- *Máy TOC – 5000* của hãng Shimadzu Nhật Bản: máy thực hiện các chức năng sau: phân tích TC (nồng độ cacbon toàn phần), IC (nồng độ cacbon vô cơ), TOC (nồng độ cacbon hữu cơ toàn phần), NPOC (nồng độ cacbon hữu cơ không sục). Phương pháp: đốt và phân tích khí kiểu hồng ngoại. Khoảng đo  $4.10^{-9} \div 4.10^{-3}$  nồng độ cacbon. Sai số không quá 1% và 2% tùy theo chế độ. Ngoài ra còn có các chức năng:

- Tự động hoá điều khiển van, lò, mô tơ v.v. để thực hiện phép đo theo menu. Tự động chọn chế độ tối ưu cho việc phân tích.
- Tự động chọn đường cong khắc độ thích hợp nhất cho việc phân tích, tự

động chọn khối lượng chất thử nghiệm thích hợp cho việc thử ( $4 \div 2500 \mu l$ ).

- Tự động lặp lại phép đo 10 lần và xử lý gia công ngẫu nhiên.
- Tự động tính toán diện tích các pick (xung nhọn) để suy ra nồng độ.
- Tự động trình bày kết quả dưới nhiều dạng khác nhau tùy theo yêu cầu.

- Máy 7457— 5700°: tự động kiểm tra thiết bị đo của công ti Fluke - Hoa Kỳ. Hệ này cho phép kiểm tra tất cả các dụng cụ đo. Ví dụ: kiểm tra các multimet (vạn năng kế) tương tự và số dải đo khác nhau:

- Điện áp một chiều và xoay chiều, 220mV đến 1100 với sai số không lớn hơn 10 phần triệu.
- Dòng điện một chiều và xoay chiều,  $220 \mu A$  đến  $2,2^\circ$  có thể mở rộng đến 11A.
- Điện trở  $1 \Omega$  đến  $100M\Omega$ .

Máy có hai hệ MET/TRAC và MET/CAL cho phép tự động kiểm tra tính toán sai số, viết báo cáo, lưu giữ lịch trình kiểm tra, sửa chữa và các chương trình dịch vụ khác.