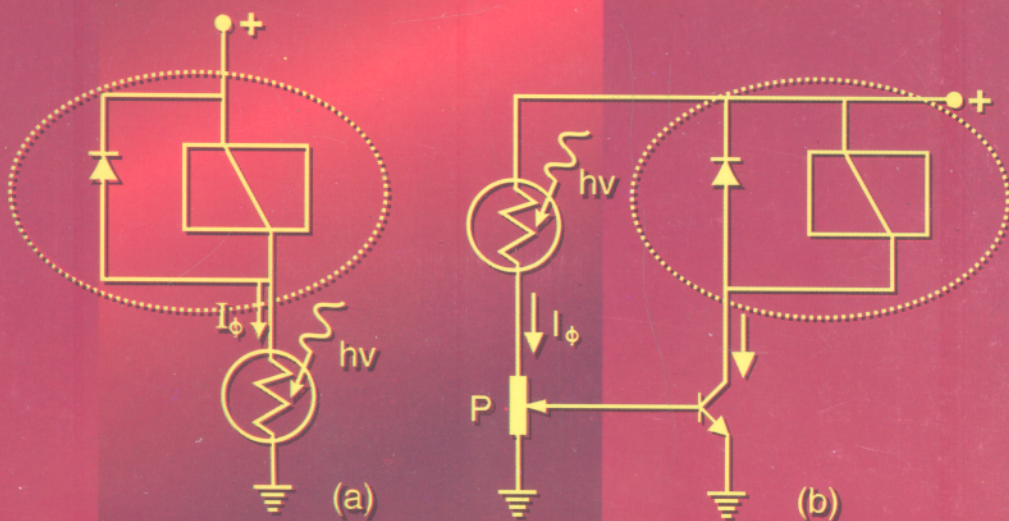


ĐẶNG HÙNG (Chủ biên)
NGẠC VĂN AN - ĐỖ TRUNG KIÊN
NGUYỄN ĐĂNG LÂM - LÊ XUÂN THÊ

VẬT LÝ KỸ THUẬT



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

ĐẶNG HÙNG (Chủ biên)
NGẠC VĂN AN - ĐỖ TRUNG KIÊN
NGUYỄN ĐĂNG LÂM - LÊ XUÂN THÊ

VẬT LÝ KỸ THUẬT

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Vật lý Kỹ thuật đã được đưa vào giảng dạy cho sinh viên các ngành Vật lý, Vật lý Sư phạm, Công nghệ Khoa học Vật liệu từ nhiều năm trở lại đây.

Việc đo lường các đại lượng vật lý không điện bằng điện là phương pháp tối ưu đã được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu, trong các ngành khoa học và kỹ thuật. Để có thể thực hiện được phép đo điện các đại lượng vật lý không phải điện, người ta sử dụng các bộ chuyển đổi để biến đổi đại lượng vật lý cần đo sang đại lượng điện như dòng điện, hiệu điện thế hoặc điện lượng. Các bộ chuyển đổi trên còn gọi là các biến tử, hay cảm biến (sensor).

Trong phạm vi giáo trình này, chương 1 trình bày khái quát về đo lường các đại lượng vật lý, các loại sai số xảy ra trong quá trình đo và cách khắc phục. Những chương tiếp theo, chúng tôi giới thiệu các loại biến tử, trong đó dẫn ra nguyên lý hoạt động, các hiệu ứng vật lý được áp dụng cho từng loại biến tử và các công thức lý thuyết liên quan. Mỗi loại biến tử được giới thiệu kèm theo các sai số thường gặp và cách khắc phục trên sơ đồ mạch điện đo đặc tương ứng. Khả năng ứng dụng và các hạn chế cũng được đề cập đến.

Do còn hạn chế về tài liệu tham khảo và do giới hạn thời lượng của một giáo trình, chắc chắn cuốn sách này còn nhiều khiếm khuyết cần được chỉnh lý và bổ sung. Chúng tôi hy vọng sẽ nhận được những ý kiến đóng góp của độc giả và các bạn sinh viên.

Các tác giả

13.8.13.81.
2001.01.01.
01.01.01.

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

1.1. ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG PHẢI ĐIỆN

1.1.1 Khái niệm chung

Đo lường là phương pháp duy nhất để thu nhận thông tin về các đại lượng đặc trưng cho các hiện tượng hoặc các quá trình vật lý.

Trong khoa học, sản xuất, quốc phòng, người ta cần phải đo lường rất nhiều các đại lượng đặc trưng cho các quá trình vật lý khác nhau.

Trong đó các phép đo : cơ, nhiệt, quang, hóa, âm... tức là các phép đo các đại lượng không phải điện nhiều hơn các phép đo các đại lượng điện.

Khi chưa có thiết bị điều khiển tự động và máy tính, con người trực tiếp thu nhận các đại lượng thông qua giác quan và xử lý thông tin đo được.

Ngày nay, các thông tin đo được thường cho tác dụng trực tiếp vào thiết bị điều khiển tự động hoặc máy tính. Vì vậy, các thông tin này phải được biến đổi thành các đại lượng điện (hiệu điện thế hay dòng điện) một cách tối ưu cho từng hệ xử lý.

Ví dụ : Đo và khống chế nhiệt độ.

Những biến đổi của nhiệt độ được thể hiện bằng sự biến đổi của điện áp U. Điện áp này được điều chế và số hóa có thể truyền đến trung tâm xử lý ở xa đối tượng đo. Từ trung tâm, máy tính có thể phân tích, xử lý và điều khiển để khống chế nhiệt độ của đối tượng.

1.1.2 Những ưu điểm lớn của phương pháp đo điện các đại lượng không phải điện

1. Dễ dàng thay đổi độ nhạy của thiết bị trong một phạm vi rất rộng. Nghĩa là có thể chế tạo một máy đo các đại lượng từ rất nhỏ cho đến rất lớn. Về mặt này, kỹ thuật điện tử cho phép ta tăng độ nhạy của máy lên nhờ các mạch khuếch đại.

2. Các thiết bị điện có quán tính rất nhỏ. Dải tần làm việc rất rộng (có dao động ký tới 200MHz, tức là chỉ có quán tính $0,5.10^{-8}s$). Vì vậy có thể đo được các đại lượng biến đổi từ chậm đến rất nhanh.

3. Có thể đo các đại lượng từ xa, tập trung về trung tâm các kết quả đo của nhiều đại lượng để tính toán, xử lý rồi lại ra lệnh trở lại điều khiển cả quá trình sản xuất.

4. Có thể tổ hợp (modul hóa các thiết bị đo lường và điều khiển). Có thể thực hiện được phương pháp đo lường hiện thị số. Các thiết bị đo kiểu này được sử dụng rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật khác nhau :

- Sản xuất hàng tiêu dùng phục vụ đời sống.
- Tự động hóa các quá trình luyện kim, công nghiệp hóa học, dệt...
- Trong nghiên cứu các hiện tượng hạt nhân.
- Trong khí tài quân sự.

1.2 NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ MỘT SỐ ĐỊNH NGHĨA

1.2.1 Định nghĩa phép biến đổi đo

Là phương pháp cho ta nhận được ánh xạ của một giá trị của một đại lượng vật lý bằng một giá trị của một đại lượng vật lý khác có phụ thuộc hàm số với nó.

Ví dụ : Để đo nhiệt độ ta dùng cặp nhiệt điện.

Mỗi nhiệt độ ứng với một chỉ số của vôn kế chỉ thị suất điện động nhiệt điện. Như vậy, đại lượng nhiệt độ $\leftrightarrow$ điện áp theo ánh xạ 1 : 1

Bất kỳ một dụng cụ đo nào cũng dùng một phép biến đổi đo. Tức là dùng hàm số quan hệ giữa đại lượng ra và đại lượng vào. Ở ví dụ trên :

T là đại lượng vào

Suất điện động nhiệt điện $\epsilon_{nd} = f(T)$ là đại lượng ra

1.2.2 Biến tử đo (cảm biến) – Transducer (Transformer)

Là một thiết bị kỹ thuật xây dựng trên một nguyên tắc vật lý xác định (tức là dựa trên một hiệu ứng vật lý xác định) thực hiện một phân phép biến đổi đo.

Ta cần phân biệt biến tử do và biến tử năng lượng. Biến tử do có nhiệm vụ thực hiện phép biến đổi đo một cách trung thực, chính xác thông tin cần đo. Còn biến tử năng lượng cần phải có hiệu suất cao. Cùng một biến tử có thể dùng làm biến tử do, vừa dùng làm biến tử năng lượng. Chẳng hạn như

tế bào quang điện bán dẫn (diode quang điện) có thể dùng đo cường độ ánh sáng như quang thông kế, nhưng cũng có thể dùng làm biến tử năng lượng chuyển đổi quang năng thành điện năng (pin mặt trời).

1.2.3 Một số ví dụ về biến tử đo và thiết bị đo

1. Đo nhiệt độ

– Biến tử là nhiệt kế thủy ngân Hg :

$$h = f(T).$$

– Biến tử là thanh kim loại kép :

$$\Delta l = f(T).$$

– Biến tử là cặp nhiệt điện :

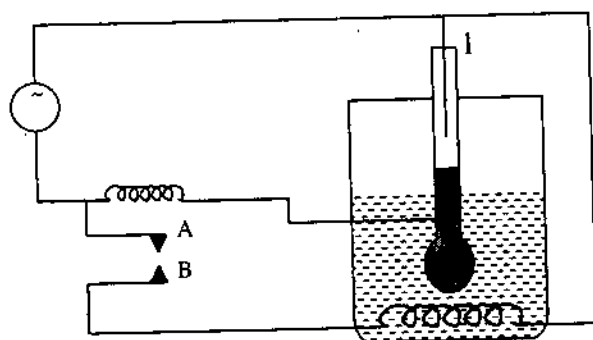
$$U_{nd} = f(T).$$

2. Điều hoà nhiệt độ (hay khống chế nhiệt độ)

Trên hình vẽ 1, nhiệt kế thủy ngân có tiếp điểm 1 có thể di chuyển ở những nhiệt độ khác nhau.

Ta cần bình nước ổn định ở nhiệt độ T_1 . Bếp điện đun nước, khi đạt $T = T_1$ thì tiếp điểm 1 được nối với cột thủy ngân làm mạch kín (mạch role). Khi này, role sẽ hút cực A làm mạch điện đốt bếp bị ngắt.

Khi $T < T_1$ thì ngược lại mạch role sẽ bị ngắt làm cho hai tiếp điểm A và B đóng, bếp đun hoạt động.



Hình 1. Hệ khống chế nhiệt độ

Ở nơi nhận (trung tâm) sẽ nhận được sóng cao tần có điều chế. Tại đây sẽ tách sóng để nhận được sóng âm tần là dạng của tín hiệu ban đầu.

Điều chế như trên được gọi là điều chế tương tự, tức là E_0 , ω , φ tuyến tính với đại lượng cần đo là x (biến điều đúng theo quy luật của x).

Ngày nay, ngành tin học (*Informations*) đang phát triển. Người ta thường xử lý số liệu bằng máy tính (lưu trữ và xử lý). Do vậy phải thực hiện điều chế số. Nghĩa là số hóa tín hiệu đã được điều chế tương tự : DAM, DFM, DPM (D : *digital*).

1.4 NHỮNG TÍNH CHẤT CHUNG CỦA BIẾN TỬ ĐO

1.4.1 Đại lượng vào tự nhiên

Mỗi biến tử đo được cấu tạo sao cho nó chỉ nhạy cảm với một đại lượng vật lý trong số nhiều đại lượng vật lý tác dụng vào nó. Đại lượng này gọi là đại lượng vào tự nhiên.

Ví dụ : Biến tử biến trở có thể chịu ảnh hưởng nhiệt độ của dây, độ ẩm của khung và các yếu tố khác. Song đại lượng vào tự nhiên là độ dịch chuyển của con trượt.

Muốn dùng biến tử biến trở để đo các đại lượng khác như nhiệt độ thì cần dùng biến tử sơ bộ. Biến tử này sẽ biến sự thay đổi nhiệt độ thành độ dịch chuyển (ví dụ lá kim loại kép), tức là biến đổi nhiệt độ thành đại lượng vào tự nhiên.

1.4.2 Đặc trưng của biến tử

Đó là sự phụ thuộc hàm số của đại lượng lối ra vào đại lượng lối vào. Sự phụ thuộc này được biểu diễn dưới dạng biểu thức hay đồ thị. Thường người ta cố gắng thực hiện sự phụ thuộc này là tuyến tính.

Sự phụ thuộc tuyến tính $\alpha = \varphi(x)$ được diễn tả bằng hai thông số :

– Đại lượng ban đầu α_0 .

– Độ dốc $S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}$. (1.1)

S còn được gọi là độ nhạy của biến tử. Độ nhạy của biến tử thường được biểu diễn qua đơn vị thường dùng.

1.4.4 Giới hạn biến đổi và ngưỡng nhảy

Giới hạn biến đổi là đại lượng vào cực đại mà một biến tử nhận được không gây méo phi tuyến hoặc làm hỏng biến tử, thường ký hiệu là X_H .

Ngưỡng nhảy là giá trị cực tiểu của đại lượng vào mà biến tử còn có thể xác định được đại lượng ra một cách tin cậy, được ký hiệu là X_o .

Dải động của biến tử được xác định bằng tỉ số :

$$D = \frac{X_H}{X_o} \quad (1.2)$$

Vì thiết bị đo là một kênh truyền tin tức gồm nhiều biến tử mắc nối tiếp, vì vậy phải phối hợp dải động của chúng để duy trì tính truyền thông của kênh.

Dải động của thiết bị đo là phần dải động chung cho các phần của nó.

1.4.5 Sai số của biến tử đo

Thông thường, các biến tử sau khi sản xuất và được lấy mẫu, người ta kèm đồ thị đường cong mẫu ấy với biến tử. Khi ta lấy mẫu lại, có thể có một đường cong khác không trùng với đường cong mẫu trước. Vì vậy ta phải đưa vào khái niệm sai số.

Đường cong mẫu in trong tài liệu hướng dẫn kèm theo gọi là đường cong danh định.

Sai số nhỏ là một chỉ tiêu chính của biến tử. Điều này khác với các biến tử năng lượng, trong đó hiệu suất đóng vai trò quan trọng.

Hiệu suất của biến tử đo thường rất nhỏ (vài %), vì biến tử đo không có nhiệm vụ biến đổi năng lượng mà nhiệm vụ chính là truyền tin tức chính xác. Đó chính là điều khác biệt giữa hệ điều khiển với hệ truyền năng lượng.

Tuy nhiên, đặc trưng cho truyền tin và truyền năng lượng là hai đặc tính liên hệ chặt chẽ với nhau và mối tương quan giữa chúng là điều thú vị.

Sau đây là vài dạng sai số.

1) Theo cách thể hiện bằng số

a) Sai số tuyệt đối : hiệu giữa đại lượng cần đo x và giá trị thực đo được

$$x_{th} : \quad \Delta x = x - x_{th} \quad (1.3)$$

b) Sai số tương đối

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_{th}} 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} 100\% . \quad (1.4)$$

Sai số tương đối đặc trưng cho từng phép đo.

Độ chính xác của phép đo được tính :

$$\varepsilon = \left| \frac{x_{th}}{\Delta x} \right| = \frac{1}{\gamma_x} . \quad (1.5)$$

2) Theo nguồn gây ra sai số (Nguyên nhân tạo ra sai số)

a) Sai số phương pháp : sinh ra do sự không hoàn thiện của phép đo và không chính xác của biểu thức lý thuyết.

b) Sai số thiết bị : liên quan đến cấu trúc và mạch đo của dụng cụ không hoàn chỉnh.

c) Sai số chủ quan : gây ra do người sử dụng.

d) Sai số bên ngoài (khách quan) : ảnh hưởng của điều kiện bên ngoài tác động lên đối tượng đo, dụng cụ đo. Ví dụ như biến động của nhiệt độ, áp suất, độ ẩm...

3) Theo quy luật xuất hiện của sai số

a) Sai số hệ thống

– Không đổi : do khác độ thang đo, hiệu chỉnh dụng cụ đo không chính xác, do nhiệt độ tại thời điểm đo.

– Thay đổi có quy luật : biến động của nguồn cung cấp, ảnh hưởng của điện từ trường.

Việc phân tích các nguyên nhân có thể xuất hiện của sai số hệ thống, tìm phương pháp phát hiện và loại trừ chúng là một trong những nhiệm vụ quan trọng của mọi phép đo chính xác.

Việc phát hiện sai số hệ thống là phức tạp, nhưng nếu phát hiện được thì việc đánh giá và loại trừ không khó khăn. Trường hợp sai số hệ thống không đổi thì có thể loại bằng cách đưa vào một lượng hiệu chỉnh nhất định.

b) Sai số ngẫu nhiên

Thay đổi không theo một quy luật nào. Để phát hiện sai số ngẫu nhiên, phải nhắc lại nhiều lần phép đo một đại lượng và sử dụng toán học thống kê và lý thuyết xác suất để tính toán.

Đối với biến tử đo, ta có một số sai số đặc trưng sau :

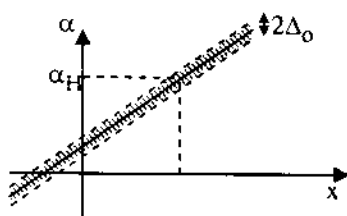
- Sai số hệ thống của đặc trưng khỏi hàm lý tưởng.
- Sự phụ thuộc của đặc trưng vào phương biến đổi của đại lượng vào (đường trê).

- Sai số ngẫu nhiên. Sai số này gây ra do tạp âm và can nhiễu. Tạp âm và can nhiễu làm cho khi đo trong cùng một điều kiện, ta được các số liệu khác nhau.

- Sai số do lấy mẫu.

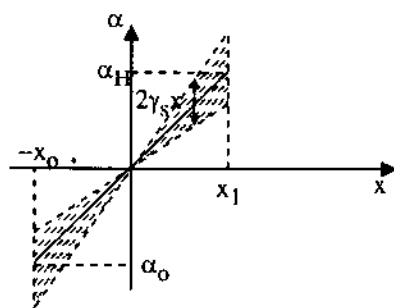
Những sai số này tồn tại ngay cả khi biến tử làm việc trong điều kiện tối ưu. Ngoài ra đặc trưng còn biến đổi theo tác động của các yếu tố bên ngoài và thường bị biến đổi một cách chậm tùy ý theo thời gian (hiện tượng trôi).

Do có các sai số đó mà đặc trưng của biến tử không xác định chính xác. Sẽ có một vùng không xác định bao quanh đặc trưng.



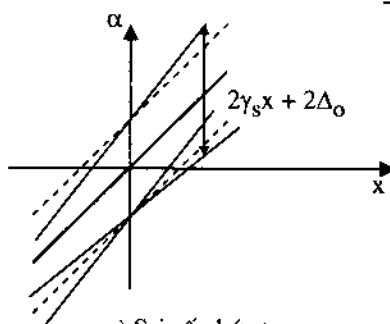
a) Sai số điểm không

- Sai số cộng



b) Sai số độ nhạy

- Sai số nhân



c) Sai số phức tạp

Hình 7. Các dạng đường sai số bao quanh đường đặc trưng danh định

Dạng 7a) biểu diễn sai số điểm không hay sai số cộng.

Dạng 7b) biểu diễn sai số độ nhạy hay sai số nhân.

Dạng 7c) biểu diễn sai số phức tạp. Trong trường hợp hình vẽ 7c thì :

$$\Delta = \Delta_o + \gamma_s x. \quad (1.6)$$

Trong đó, Δ_o : sai số tuyệt đối điểm không của dụng cụ.

γ_s : sai số tương đối của độ nhạy.

x : giá trị của đại lượng đo.

Sai số tương đối, theo định nghĩa là :

$$\gamma = \frac{\Delta}{x} = \frac{\Delta_o}{x} + \gamma_s. \quad (1.7)$$

Khi $\gamma_s = 0$ thì sai số tương đối là

$$\gamma = \frac{\Delta}{x} = \frac{\Delta_o}{x}.$$

Sai số này giảm khi x tăng. Khi $x = x_o$ là ngưỡng nhạy của biến tử thì sai số tương đối là 100%. Ở gần ngưỡng nhạy, sai số tăng lên và đạt tới giá trị vô cùng lớn khi $x \ll x_o$. Cho nên, để giới hạn sai số, người ta đưa vào khái niệm “dải làm việc”.

Dải làm việc của thiết bị là dải đại lượng trong đó, sai số tương đối không vượt quá giá trị danh định γ_H . Gọi x_1 là giá trị của x khi $\gamma = \gamma_H$ thì dải làm việc của thiết bị là :

$$L = \frac{x_H}{x_1}. \quad (1.8)$$

Dải làm việc hẹp hơn dải động.

Nếu đặt $\gamma_o = \frac{\Delta_o}{x_H}$ thì $\Delta_o = \gamma_o x_H$, do vậy có thể viết sai số tương đối

dưới dạng :

$$\gamma = \frac{\Delta_o}{x} + \gamma_s = \frac{x_H}{x} \gamma_o + \gamma_s. \quad (1.9)$$

γ_o gọi là sai số điểm không tỷ đối.

1.4.6 Năng suất phân giải

Một đặc trưng quan trọng của dụng cụ là khả năng phân giải. Khả năng phân giải của thiết bị có biểu thức toán học :

$$R = \int_{x_l}^{x_H} \frac{dx}{2\Delta} \quad (1.10)$$

Trong đó, Δ : giá trị tức thời của sai số.

x_l, x_H : giới hạn của đại lượng đo.

Khi $\Delta = \Delta_0$ thì :

$$R = \frac{x_H - x_l}{2\Delta_0} \quad (1.11)$$

Khi vùng sai số của biến tử có dạng hình (7c) thì :

$$R = \frac{1}{2\gamma_s} L_n \left(1 + \frac{\gamma_s}{\gamma_0} \right) \quad (1.12)$$

Vậy năng suất phân giải là một chỉ tiêu đầy đủ về độ chính xác của dụng cụ đo (biến tử đo).

Nên chú ý rằng, trong biểu thức của năng suất phân giải có mặt của $\Delta = \Delta_0 + \gamma_s \cdot x$, trong đó Δ_0 không bao giờ bằng 0, vì điểm "0" của dụng cụ không bao giờ ổn định do có tạp nhiệt và can nhiễu. Cho nên sai số điểm "0" gây ra sự trôi. Giảm ảnh hưởng của tạp nhiệt và can nhiễu là một chỉ tiêu quan trọng của biến tử.

Muốn giảm tác dụng của can nhiễu, ta có thể tăng công suất của biến tử. Khi đó, ảnh hưởng của can nhiễu, của tạp và của sự trôi tác động lên đại lượng ra giảm đi đáng kể. Song biến tử công suất lớn lại tiêu hao nhiều năng lượng của đối tượng cần đo. Vậy, tuy giảm ảnh hưởng của can nhiễu nhưng ta lại phải tăng phản ứng của biến tử lên đối tượng đo. Kết quả là ta không đo được giá trị thực của thông số có được ở đối tượng đo, mà đo được giá trị đã bị biến dạng do biến tử tác dụng vào.

Ví dụ :

Khi đo hiệu điện thế trong một mạch có trở lớn thì cần phải có một vôn kế có trở nội rất lớn. Khi đó mới có thể bỏ qua dòng chạy qua vôn kế. Nhưng vôn kế nhạy lại có momen xoắn nhỏ. Do đó, ảnh hưởng của sự trôi điểm "0" của can nhiễu, của sự rung lại càng lớn.

Ngược lại, khi tăng độ vững chãi cơ khí của vôn kế, ta phải tăng momen của dây xoắn. Khi đó là tăng công suất tiêu thụ của vôn kế và sẽ mắc phải

sai số vì phương pháp đã làm thay đổi chế độ của đối tượng đo, do tác dụng vào nó một biến tử tiêu thụ công suất lớn.

Đại lượng đặc trưng cho tương tác của biến tử đo và nguồn tín hiệu (đối tượng) là *trở vào*. Độ lớn của trở vào là khác nhau đối với các biến tử khác nhau.

Mạch lối ra của biến tử lại phản ứng lên biến tử mắc tiếp theo sau. Phản ứng này lại được biểu diễn bằng *trở ra*.

Một biến tử sẽ có trở vào và trở ra.

Hai biến tử sẽ càng ít phụ thuộc vào nhau khi trở ra của biến tử trước nhỏ, còn trở vào của biến tử sau lớn.

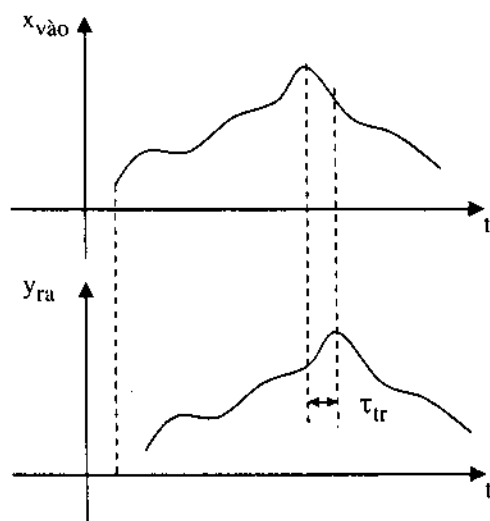
1.4.7. Sai số động của biến tử đo

– Mọi biến tử đo đều có quán tính và cần có thời gian để thực hiện biến đổi.

Ví dụ : Dao động ký từ điện.

Khi đo các đại lượng biến đổi chậm, tần số thấp thì dao động từ của dao động ký theo kịp giá trị tức thời của đại lượng đo mà không mắc sai số động. Nếu tần số của đại lượng cần đo tăng lên thì dao động từ, do có quán tính, có một độ trễ và sự ghi xảy ra với độ trễ đó, tức là một độ lệch pha nhất định.

Sai số lệch pha gây ra do quán tính của dao động từ không phải là không đổi mà tăng lên khi tần số của quá trình đo tăng lên. Vậy, do có độ trễ mà sinh ra sai số động của biến tử : đại lượng ra chưa kịp tăng tới giá trị cực đại thì đại lượng vào đã bắt đầu giảm (hình 8).



Hình 8. Độ trễ của tín hiệu ra so với tín hiệu vào

Vì vậy, khi tần số của đại lượng cần đo tăng thì độ nhảy của biến tử giảm. Sai số động này càng tăng khi tần số tăng. Vậy đặc trưng tần số của thiết bị đo bị giới hạn ở tần số cao.

Dải tần của thiết bị gồm nhiều biến tử được xác định bằng dải tần của biến tử có dải tần hẹp nhất.

– Cũng cần lưu ý là dải tần của thiết bị đo cũng bị giới hạn ở phía tần số thấp, vì thiết bị đo hay dùng bộ khuếch đại RC. Các bộ khuếch đại này không làm việc ở tần số nhỏ hơn $20 \div 2\text{Hz}$.

Việc sử dụng bộ khuếch đại xoay chiều trong thiết bị đo rất phổ biến vì bộ khuếch đại này rất ổn định.

1.4.8 Sự già và thời gian sử dụng của thiết bị đo

Theo thời gian, vật liệu làm biến tử sẽ già đi không còn hoạt tính, nhất là các vật liệu bán dẫn trong các dụng cụ điện tử và quang điện.

Ví dụ : màn huỳnh quang, catốt oxit, catốt quang điện...

Sai số độ nhảy do sự già của đèn điện tử rất lớn : $30 \div 40\%$ sau 500 giờ hoạt động.

Thời gian sử dụng của cầu đo có điện trở Mn được coi là vô hạn nếu ta thừa nhận sai số cỡ lớn cỡ $0,1 \div 0,5\%$. Thời gian đó rút lại khá nhỏ nếu ta cần một sai số cỡ $0,01 \div 0,02\%$.

Sai số do sự già của biến tử khác nhau với các loại biến tử khác nhau.

Buồng ion hóa có thời gian sử dụng rất lớn, do đó biến tử tiếp xúc hay biến trở thường có cùng độ già vì tiếp điểm của chúng ngày càng mòn và hỏng do phóng điện.

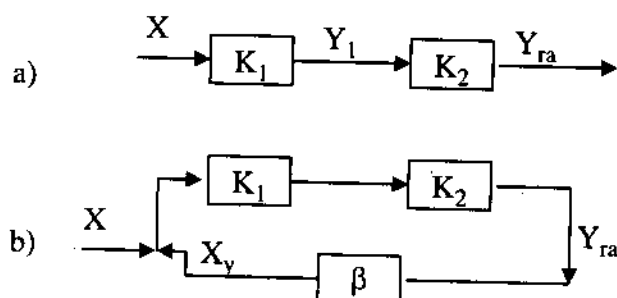
1.5 PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI ĐẠI LƯỢNG ĐO

Trong phép biến đổi được thực hiện bởi nhiều biến tử, sai số tổng cộng phụ thuộc nhiều vào cấu trúc của phép biến đổi, tức là vào các phương pháp nối các biến tử trong thiết bị đo. Có hai phương pháp chính dùng để biến đổi khi đo :

– Phương pháp biến đổi thẳng : là phương pháp mà trong đó tất cả các biến đổi tin tức được thực hiện theo một phương x qua $K_1, K_2 \dots$ tới Y ra.

– Phương pháp biến đổi cân bằng : dùng hai mạch biến đổi, vai trò của chúng khác nhau.

Mạch biến đổi thẳng gồm K_1 , K_2 hay gọi tắt là mạch K . Mạch biến đổi ngược cho tín hiệu phản hồi gọi là mạch β .



Hình 9. a) Biến đổi thẳng
b) Biến đổi cân bằng

Mạch β tạo ra một đại lượng X_y đồng tính chất với đại lượng cần biến đổi ở lối vào X và cân bằng với đại lượng này. Do đó, ở lối vào của mạch K chỉ có một phần nhỏ, bằng hiệu $X - X_y$. Mạch K chỉ có một mục đích duy nhất là phát hiện sự sai khác $X - X_y$. Vậy trong mạch β phải có một biến tử ngược biến Y_{ra} thành X_y .

$$X_y = (X - X_y) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \beta.$$

$$\rightarrow \frac{X - X_y}{X_y} = \frac{1}{K_1 K_2 \beta}.$$

Nếu $K_1 \cdot K_2 \cdot \beta \gg 1$ thì $X \approx X_y$ do $Y_{ra} = \frac{X_y}{\beta}$.

Nên $X = X_y = \beta Y_{ra}$.

1.6 ĐỘ NHẠY S – PHÂN LOẠI CẢM BIẾN

Ta biết rằng nếu gọi đại lượng lối ra là y , đại lượng lối vào là x , thì để tiện cho việc sử dụng, người ta thường chế tạo để y biến thiên tuyến tính theo x .

Nghĩa là : $\Delta y = S \Delta x.$ (1.13)

S được định nghĩa là độ nhạy của cảm biến.

Nghĩa là khi thiết kế và trong quá trình sử dụng thì độ nhạy $S = \text{const.}$

Như vậy, độ nhạy S phải ít phụ thuộc nhất vào các yếu tố sau :

- Độ lớn của đại lượng lối vào x .
- Tần số thay đổi f của x trong dải thông.
- Thời gian sử dụng (độ già hóa).
- Ảnh hưởng của các đại lượng vật lý khác không phải là đại lượng đo.

Do cảm biến là một phần của mạch điện nên có thể coi cảm biến là một trong hai yếu tố sau :

1. Coi cảm biến như một máy phát, trong đó đại lượng x là điện tích q , hiệu điện thế U hay dòng điện I . Gọi là cảm biến tích cực.

2. Coi cảm biến như một trở kháng, trong đó đại lượng x là R, L, C . Gọi là cảm biến thụ động.

Cách phân biệt đầu là cảm biến tích cực, đầu là cảm biến thụ động dựa trên sơ đồ tương đương. Trên thực tế thì bản chất của chính hiện tượng vật lý quyết định cách chế tạo và cách sử dụng của cảm biến.

1.6.1 Cảm biến tích cực

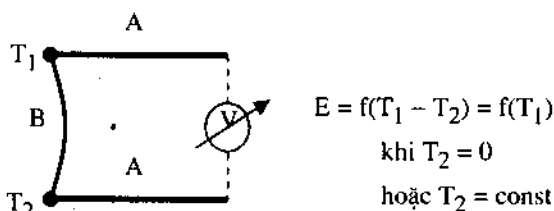
Hoạt động như một máy phát. Nó thường dựa trên một hiệu ứng vật lý biến đổi một dạng năng lượng nào đó (cơ, quang, nhiệt, bức xạ) thành năng lượng điện. Dưới đây là một số hiệu ứng mà người ta sử dụng để xây dựng nguyên lý hoạt động của cảm biến.

a) Hiệu ứng nhiệt điện

Giữa các đầu ra của hai dây dẫn có bản chất hóa học khác nhau được hàn lại với nhau thành mạch điện. Nhiệt độ ở hai mối hàn là T_1 và T_2 .

Khi đó sẽ xuất hiện một suất điện động E :

$$E = f(T_1 - T_2). \quad (1.14)$$



Hình 10. Cặp nhiệt điện

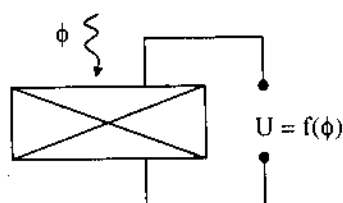
Hiệu ứng này dùng để đo nhiệt độ T_1 khi biết trước nhiệt độ T_2 .

b) Hiệu ứng hỏa điện

Có một số tinh thể gọi là tinh thể hỏa điện (ví dụ sulfate triglicine) có phân cực điện tự phát, mức độ phân cực phụ thuộc vào nhiệt độ.

Trên các mặt đối diện của tinh thể xuất hiện các điện tích trái dấu phụ thuộc vào độ phân cực (tức phụ thuộc vào nhiệt độ).

Hiệu ứng hỏa điện được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi tinh thể hấp thụ ánh sáng thì nhiệt độ T° tăng $\rightarrow$ phân cực tăng $\rightarrow$ hiệu điện thế U giữa hai mặt đối diện tăng.

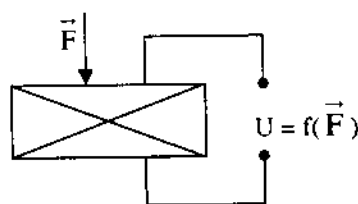


Hình 11. Hiệu ứng hỏa điện

c) Hiệu ứng áp điện

Khi tác dụng lực cơ học $\vec{F}$ lên tinh thể áp điện (thí dụ thạch anh) sẽ gây nên biến dạng và làm xuất hiện lượng điện tích bằng nhau nhưng trái dấu trên hai mặt đối diện của tinh thể. Đó là hiệu ứng áp điện. Lượng điện tích q tỉ lệ với độ lớn lực $\vec{F}$.

Hiệu ứng này sử dụng để xác định lực $\vec{F}$ (hoặc các đại lượng gây nên $\vec{F}$ tác dụng vào vật áp điện như áp suất $\vec{P}$, gia tốc $\vec{a}$). Khi biết điện áp trên hai bản cực sẽ suy ra F .



Hình 12. Hiệu ứng áp điện

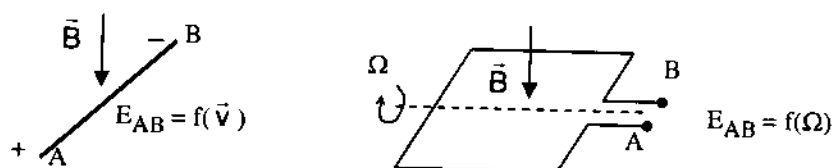
d) Hiệu ứng cảm ứng điện từ

+ Một dây dẫn chuyển động trong từ trường $\vec{B}$ không đổi, cắt các đường sức từ. Trên hai đầu dây sẽ xuất hiện suất điện động E cảm ứng. Suất điện

động này tỷ lệ với số đường sức bị cắt (từ thông) trong một đơn vị thời gian, tức là tỷ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây dẫn.

+ Một khung dây dẫn chịu tác động của một từ thông biến thiên sẽ làm xuất hiện suất điện động cảm ứng : $E_{cu} = -\frac{d\phi}{dt}$. (1.15)

Hiệu ứng này dùng để xác định tốc độ dịch chuyển (tốc độ dài hoặc tốc độ góc).



Hình 13. Hiệu ứng cảm ứng điện từ

e) Hiệu ứng quang điện

Dù được biểu hiện ở nhiều dạng khác nhau nhưng hiệu ứng quang điện đều cùng chung một bản chất, đó là hiện tượng bắn ra hoặc tạo ra các hạt dẫn tự do từ vật liệu, khi nó bị tác dụng bởi bức xạ ánh sáng (hoặc bức xạ điện từ) có bước sóng $\lambda < \lambda_0$ (ngưỡng đặc trưng cho vật liệu).

Hiệu ứng này được ứng dụng để chế tạo các cảm biến quang.

▪ Hiệu ứng quang phát xạ điện tử

Là hiện tượng các electron được giải phóng thoát ra khỏi vật liệu (catốt), tạo thành dòng được thu lại dưới tác dụng điện trường.

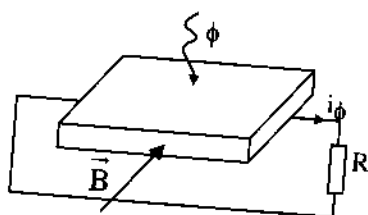
▪ Hiệu ứng quang điện trong chất bán dẫn

Khi chiếu ánh sáng vào lớp chuyển tiếp P – N, sẽ làm xuất hiện các cặp điện tử – lỗ trống. Các phân tử tải điện này sẽ chuyển động ngược chiều nhau dưới tác dụng của điện trường chuyển tiếp, làm thay đổi hiệu điện thế giữa hai đầu chuyển tiếp P – N.

▪ Hiệu ứng quang điện từ

Khi tác dụng $\vec{B}$ vuông góc với bức xạ ánh sáng thì trong vật liệu bán dẫn được chiếu sáng sẽ xuất hiện một hiệu điện thế $\vec{U}$ theo hướng vuông góc với $\vec{B}$ và hướng bức xạ ánh sáng.

Hiệu ứng quang điện từ cho phép nhận được dòng hoặc thế phụ thuộc vào cường độ chiếu sáng ($I, U = f(\phi)$). Vì thế, hiệu ứng được sử dụng để đo các đại lượng quang thông qua đo U và I , hoặc dùng để biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện.



Hình 14. Hiệu ứng quang điện từ

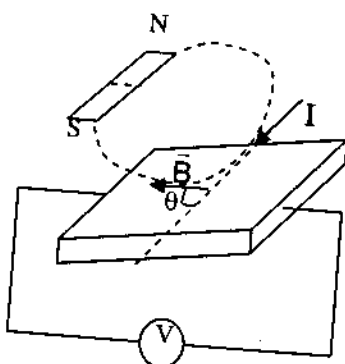
▪ Hiệu ứng Hall

Trong vật liệu (thường là bán dẫn) dạng tấm mỏng có dòng $\vec{I}$ chạy qua. Khi $\vec{I}$ tạo với $\vec{B}$ một góc θ , khi đó sẽ xuất hiện một hiệu điện thế U_H :

$$U_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta.$$

(1.16)

K_H là hệ số phụ thuộc vào vật liệu, kích thước hình học của vật.



Hình 15. Hiệu ứng Hall

U_H phụ thuộc vào vị trí nam châm.

Hiệu ứng Hall được ứng dụng để xác định vị trí của một vật chuyển động. Vật chuyển động được ghép chặt với một thanh nam châm. Ở mỗi thời điểm, vị trí của thanh nam châm xác định độ lớn của $\vec{B}$ và giá trị θ . Do đó,

3.873.813.
1. NX8800
1.813.813.
1.813.813.



Trong vật liệu (thường là bán dẫn) dạng tấm mỏng có dòng $\vec{I}$ chạy qua.

Khi $\vec{I}$ tạo với $\vec{B}$ một góc θ , khi đó sẽ xuất hiện một hiệu điện thế U_H :

$$U_H = K_H . I . B . \sin \theta. \quad (1.16)$$

K_H là hệ số phụ thuộc vào vật liệu, kích thước hình học của vật.



U_H phụ thuộc vào vị trí nam châm.

Hiệu ứng Hall được ứng dụng để xác định vị trí của một vật chuyển động. Vật chuyển động được ghép chặt với một thanh nam châm. Ở mỗi thời điểm, vị trí của thanh nam châm xác định độ lớn của $\vec{B}$ và giá trị θ . Do đó,

hiệu điện thế U_H giữa hai mặt của tấm bán dẫn là một hàm của vị trí vật chuyển động.

1.6.2 Cảm biến thụ động

Cảm biến thụ động được chế tạo từ những trở kháng có một trong các thông số chủ yếu nhạy cảm với đại lượng cần đo.

Trở kháng Z phụ thuộc vào :

- Kích thước hình học.
- Điện trở suất ρ , độ từ thẩm μ , hằng số điện môi ϵ .

Thông số hình học, kích thước có thể thay đổi nếu cảm biến có phần tử chuyển động hoặc phần tử biến dạng.

a) Đại lượng đo làm thay đổi kích thước hình học

– Cảm biến có chứa phần tử động : mỗi vị trí của phần tử chuyển động tương ứng với một giá trị của trở kháng, nên ta đo trở kháng Z sẽ biết được vị trí của đối tượng cần xác định (ví dụ đối với biến trở, biết Z sẽ biết được vị trí con trỏ).

Đây là nguyên lý của nhiều loại cảm biến vị trí hoặc dịch chuyển như cảm biến điện thế, cảm biến cảm ứng có lõi động, tụ điện dùng bản cực di động...

– Cảm biến có chứa phần tử biến dạng : sự biến dạng được gây nên bởi đại lượng lực F , hoặc các đại lượng dẫn đến lực (gia tốc, áp suất...) tác dụng trực tiếp hoặc gián tiếp lên cảm biến.

Ví dụ như bản cực di động của tụ điện chịu tác động của áp suất vì sai, cảm biến đo ứng lực liên quan chặt chẽ đến cấu trúc chịu tác động của ứng suất.

b) Đại lượng đo làm thay đổi ρ , μ , ϵ

Tùy thuộc vào bản chất của từng chất mà tính chất điện của chúng có thể nhạy với nhiều đại lượng vật lý như : nhiệt độ T , độ chiếu sáng ϕ , áp suất P , độ ẩm...

Nếu chỉ có một trong các đại lượng trên là thay đổi còn các đại lượng khác không đổi, chúng ta sẽ thiết lập được sự tương ứng đơn trị giữa giá trị của đại lượng này với trở kháng Z . Chẳng hạn, $Z = f(T)$.

Đường cong chuẩn sẽ thể hiện sự tương ứng đó và cho phép xác định đại lượng cần đo từ phép đo trở kháng Z.

Dưới đây là bảng liệt kê một số đại lượng cần đo có khả năng làm thay đổi các tính chất điện của vật liệu sử dụng để chế tạo biến tử.

Bảng 1. Một số đại lượng cần đo và vật liệu sử dụng làm biến tử tương ứng

Đại lượng cần đo	Đặc trưng nhạy cảm	Loại vật liệu sử dụng
Nhiệt độ	Điện trở suất (ρ)	Kim loại : Pt, Ni, Cu, bán dẫn
Bức xạ ánh sáng	ρ	Bán dẫn
Biến dạng	ρ , độ từ thẩm μ	Hợp kim Ni, Si pha tạp Hợp kim sắt từ
Vị trí (nam châm)	ρ	Vật liệu từ – điện trở : Bi, InSb
Độ ẩm	ρ , hằng số điện môi ϵ	LiCl, Al_2O_3 , polyme
Mức (vị trí)	ϵ	Chất lưu cách điện

1.6.3 Các đại lượng ảnh hưởng

Khi dùng biến tử để xác định đại lượng cần đo x_1 thì không chỉ đại lượng x_1 tác động đến biến tử mà các đại lượng khác $x_2, x_3, \dots$ cũng đồng thời tác động đến biến tử. Các đại lượng vật lý $x_2, x_3, \dots$ này có thể làm biến tử thay đổi và sẽ ảnh hưởng đến tín hiệu đo. $x_2, x_3, \dots$ gọi là các đại lượng ảnh hưởng hay đại lượng gây nhiễu.

Ví dụ :

– Nhiệt độ T là đại lượng ảnh hưởng của biến tử quang (quang trở).

– Từ trường $\vec{B}$ là đại lượng ảnh hưởng của biến tử nhiệt (điện trở Ge).

Các đại lượng ảnh hưởng thường gặp :

– Nhiệt độ làm thay đổi các đặc trưng điện, cơ và kích thước của cảm biến.

- Áp suất, gia tốc, dao động (rung) có thể gây nên biến dạng và ứng suất trong một số phần tử cấu thành cảm biến làm sai lệch tín hiệu thu được.

– Độ ẩm có thể làm thay đổi tính chất điện của vật liệu như hằng số điện môi ϵ , điện trở suất ρ .

– Từ trường $\vec{B}$ tạo ra suất điện động cảm ứng chống chập tín hiệu có ích. $\vec{B}$ có thể làm thay đổi tính chất điện của vật liệu cấu thành biến từ.

– Biên độ A và tần số f của điện áp nguồn nuôi (ví dụ biến thể vì sai) sẽ ảnh hưởng đến đại lượng điện đầu ra.

Mối quan hệ giữa đại lượng lối ra và đại lượng lối vào khi có mặt các đại lượng ảnh hưởng sẽ là :

$$y = f(x_1, x_2, x_3 \dots). \quad (1.17)$$

Để có thể rút ra giá trị cần đo x_1 từ các giá trị đo được y ta cần có một số biên pháp :

- Giảm ảnh hưởng các đại lượng nhiễu $x_2, x_3, \dots$ đến mức thấp nhất bằng các biện pháp như cách điện, chống rung, bọc kim...

- Ổn định các đại lượng ảnh hưởng ở những giá trị biết trước và chuẩn cảm biến trong những điều kiện đó như bình ổn nhiệt, nguồn điện áp có bộ phân điều chỉnh...

– Sử dụng các sơ đồ ghép nối cho phép bù trừ ảnh hưởng của các đại lượng gây nhiễu.

1.6.4 Mạch đo

Bao gồm toàn bộ các thiết bị đo (kể cả biến tử) để có thể xác định chính xác đại lượng cần đo trong những điều kiện tốt nhất có thể.

Ở đầu vào của mạch, biến tử chịu tác động của đại lượng cần đo (tác động trực tiếp nếu là biến tử tích cực, tác động gián tiếp đối với biến tử thụ động), tạo nên tín hiệu điện mang theo thông tin về đại lượng cần đo.

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

Dạng đơn giản nhất của một mạch đo bao gồm : biến từ, bộ phận biến đổi tín hiệu, bộ chỉ thị.

Ví dụ :

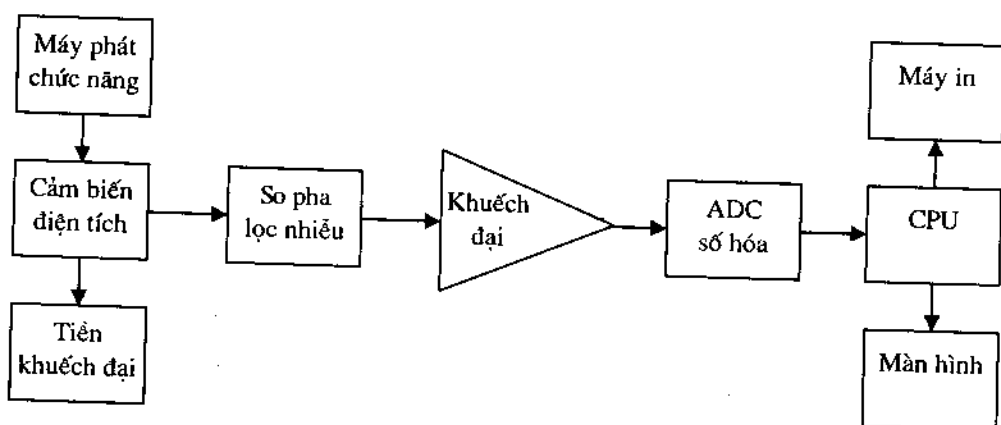
Mạch đo chỉ gồm một cặp nhiệt điện ghép nối tiếp với một mili vôn kế.

Tuy nhiên, điều kiện đo trên thực tế thường do môi trường đo đòi hỏi, đồng thời do sự cần thiết của việc khai thác tín hiệu, mạch đo sẽ bao gồm nhiều thành phần mà trong đó có các khối nhằm tối ưu hóa việc thu thập và xử lý dữ liệu.

Ví dụ :

Mạch tuyến tính hóa số liệu nhận được từ cảm biến, mạch khuếch đại điện dung kí sinh, các bộ chuyển đổi nhiều kênh, bộ khuếch đại, bộ so pha, lọc nhiễu, bộ chuyển đổi tương tự sang số (ADC), bộ vi xử lý, vi điều khiển, các thiết bị hỗ trợ...

Dưới đây là sơ đồ khối của một mạch đo điện thế trên bề mặt màng nhạy quang được lắp ráp từ nhiều phân tử.



Hình 16. Sơ đồ khối mạch đo điện thế bề mặt

1.6.5 Sai số của phép đo

Sau khi đo, ta có được bảng giá trị đo hoặc có thể được vẽ trên một đường cong nào đó. Dù bất kể một phép đo đơn giản hay phức tạp luôn tồn tại sai số.

Các giá trị của mọi đại lượng cần đo chỉ có thể biết được sau khi xử lý qua mạch đo. Giá trị thực của đại lượng cần đo xác định sự tác động của đại lượng lối vào x lên cảm biến.

Người đo sẽ chỉ có được giá trị tổng thể (giá trị tổng thể = giá trị thực + sai số).

Vì thế, sai số phép đo = giá trị tổng thể – giá trị thực

Nhưng giá trị thực ta không biết nên đánh giá sai số thường được ước tính. Phân ra hai loại sai số là sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

a) Sai số hệ thống

Giả sử ta đo một đại lượng đã biết trước giá trị thực của nó. Nếu như giá trị trung bình của các đại lượng đo luôn luôn lệch khỏi giá trị thực, không phụ thuộc vào số lần đo liên tiếp thì sai số này gọi là sai số hệ thống.

Đối với một giá trị cho trước của đại lượng đo thì sai số hệ thống luôn thêm vào một độ lệch không đổi giữa giá trị thực và giá trị đo được.

■ Nguyên nhân tạo ra sai số hệ thống :

Người đo hiểu biết sai lệch hoặc không đầy đủ về hệ đo. Cũng có thể hệ đo được sử dụng trong điều kiện không tốt. Cụ thể sai số hệ thống do những nguyên nhân :

+ Do giá trị của đại lượng chuẩn không đúng

Ví dụ, điểm "0" của thiết bị đo lệch khỏi vị trí ; giá trị đo của nhiệt độ chuẩn của cặp nhiệt điện không chính xác (như là hỗn hợp nước – nước đá không sạch) ; giá trị điện áp nguồn nuôi của hệ cần đo không chính xác. Có thể giảm các loại sai số do những nguyên nhân này bằng cách kiểm tra kỹ các thiết bị phụ trợ trong mạch đo.

+ Do đặc tính của cảm biến : sai số độ nhạy và sai số đường cong chuẩn thường cũng dẫn đến sai số hệ thống.

Ví dụ, hệ số K của cảm biến ứng lực thường do nhà sản xuất xác định dựa trên việc đo K của các cảm biến cùng được chế tạo một lần (cùng một lô sản xuất). Tuy nhiên cũng có một vài sản phẩm có hệ số K khác đôi chút so với K của cảm biến đã được kiểm định.

Việc già hóa của cảm biến cũng thường kéo theo sự sai lệch khỏi đường cong chuẩn ban đầu, đặc biệt là cặp nhiệt điện và nhiệt điện trở.

Để giảm thiểu sai số hệ thống do những nguyên nhân này, cần phải thường xuyên chuẩn lại cảm biến.

+ Do điều kiện và chế độ sử dụng

Tốc độ hồi đáp của cảm biến và các thiết bị phụ trợ là có hạn. Vì vậy, mọi phép đo đều chứa sai số. Độ lớn của sai số này phụ thuộc vào điều kiện đo.

Ngay cả sự có mặt của cảm biến cũng làm thay đổi đại lượng đo và dẫn đến sai số. Ví dụ, cặp nhiệt điện có nhiệt dung và quán tính nhiệt nên tồn tại sai số lớn khi đặt trong môi trường có thể tích nhỏ.

+ Do xử lý kết quả đo

Là do người đo nhận xét, đánh giá không chính xác khi tiến hành hiệu chỉnh các kết quả đo chứa những điểm có độ lệch lớn để nhận được những giá trị chính xác hơn.

Ví dụ :

Kết quả đo lệch khỏi độ tuyến tính trong phép đo sử dụng cảm biến giả thiết là tuyến tính. Trường hợp này do giả thiết sai nên dẫn đến xử lý kết quả đo sai.

Nhiệt độ đo được và nhiệt độ môi trường cần đo khác nhau. Nguyên nhân do vỏ cảm biến dẫn nhiệt gây nên.

b) Sai số ngẫu nhiên

Là sai số xuất hiện mà dấu và độ lớn của chúng mang tính không xác định. Nguyên nhân của sai số ngẫu nhiên có thể dự đoán, biết trước được nhưng độ lớn và dấu của chúng thì không thể biết trước được.

▪ Có một số nguyên nhân dẫn đến sai số ngẫu nhiên :

+ Do tính không xác định của đặc trưng thiết bị, tính linh động của thiết bị

Ở dưới một giá trị ngưỡng nhất định thì sự thay đổi của đại lượng đo không cho phép cảm biến phát hiện được.

Hoặc *sai số do đọc sai số liệu*, do thói quen của người đo hoặc do chất lượng của thiết bị (chẳng hạn độ mảnh của kim chỉ thị).

Nếu gọi sai số đọc là ϵ_l , sai số linh động là ϵ_m , thì sai số độ phân giải ϵ_r được xác định :

$$\epsilon_r = \sqrt{\epsilon_l^2 + \epsilon_m^2} . \quad (1.18)$$

Ngoài ra còn tồn tại sai số trễ (quán tính) như : trễ cơ học của lò xo, trễ từ của vật liệu sắt từ...

+ Do tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên

Nhiều nền gây nên kích thích nhiệt của các hạt dẫn trong các điện trở hoặc trong các phần tử của cảm biến, làm xuất hiện thăng giáng điện áp chồng lên tín hiệu có ích ở đầu ra.

Hoặc là các cảm ứng ký sinh do bức xạ điện từ, đặc biệt ở tần số công nghiệp (50Hz).

Hoặc là thăng giáng của U nguồn làm thay đổi biên độ tín hiệu cần xử lý.

+ Do các đại lượng ảnh hưởng

Hậu quả của các đại lượng ảnh hưởng không được tính đến khi chuẩn cảm biến nên tạo ra sai số ngẫu nhiên.

Để giảm sai số ngẫu nhiên, cần phải có biện pháp thực nghiệm thích hợp như ổn định nhiệt độ và độ ẩm của môi trường đo, dùng các giá đỡ chống rung, sử dụng các bộ ổn áp, ổn dòng có độ ổn định cao, sử dụng các bộ chuyển đổi có độ phân giải thích hợp. Bọc kim, nối đất các thiết bị đo điện, dùng các bộ lọc tín hiệu...

1.7 ĐÁNH GIÁ ĐẠI LƯƠNG ĐO

1.7.1 Tính trung thực, đúng đắn và độ chính xác của đại lượng đo

Sai số ngẫu nhiên làm cho kết quả đo bị tản mạn khi đo nhiều lần. Bằng phương pháp xử lý thống kê, người ta có thể xác định được giá trị xác suất của đại lượng đo và giá trị giới hạn của sai số.

Khi đo lặp lại n lần của cùng một giá trị đo, ta được các giá trị $m_1, m_2, \dots, m_n$ thì :

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}. \quad (1.19)$$

Độ tản mạn của kết quả đo n lần được biểu diễn thông qua độ lệch σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(m_1 - \bar{m})^2 + (m_2 - \bar{m})^2 + \dots + (m_n - \bar{m})^2}{n-1}}. \quad (1.20)$$

Các sai số ngẫu nhiên tác động đến các lần đo một cách hoàn toàn không phụ thuộc lẫn nhau, do đó xác suất xuất hiện các kết quả khác nhau sẽ tuân theo phân bố Gauss :

Xác suất $P(m_1, m_2)$ nhận được giá trị đo nằm trong khoảng m_1 và m_2 được xác định :

$$P(m_1, m_2) = \int_{m_1}^{m_2} P(m) dm. \quad (1.21)$$

Trong đó $P(m)$ là mật độ xác suất của giá trị m của đại lượng đo. Với phân bố Gauss thì :

$$P(m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(m - \bar{m})^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (1.22)$$

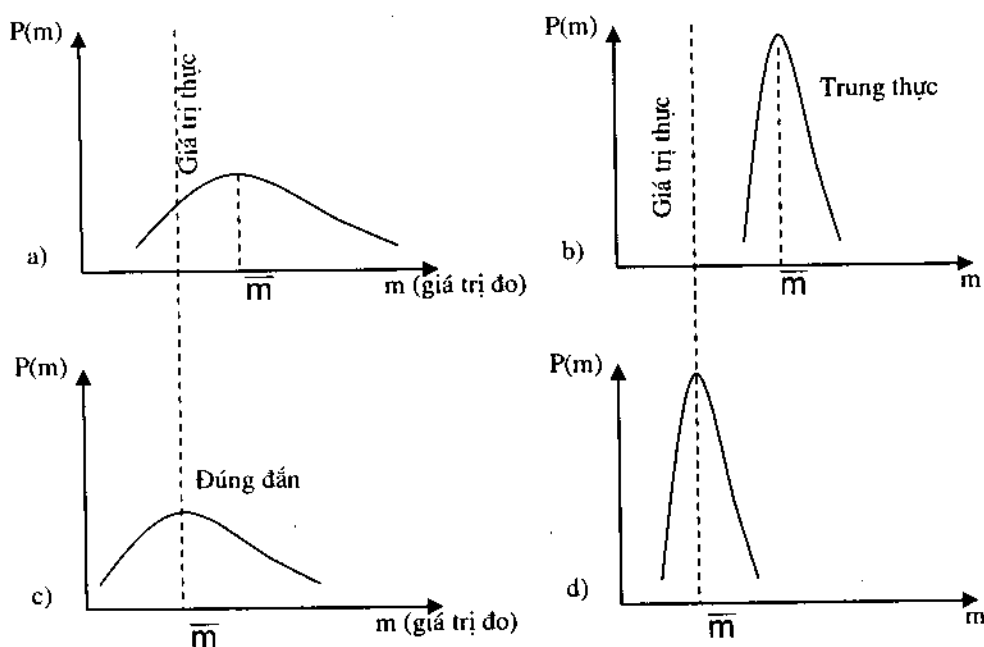
Tính trung thực : là chất lượng của thiết bị đo có sai số ngẫu nhiên nhỏ nhất, thể hiện ở chỗ kết quả đo tập trung xung quanh gần giá trị $\bar{m}$.

Tính đúng đắn : là chất lượng của thiết bị đo có sai số hệ thống nhỏ, giá trị xác suất P gần với giá trị thực.

Độ chính xác : là đặc trưng của thiết bị cho các kết quả đo đơn lẻ gần với giá trị thực của đại lượng đo.

Một thiết bị đo chính xác đồng thời cũng là một thiết bị trung thực và đúng đắn.

Để tiện hình dung ta biểu diễn hàm mật độ xác suất phụ thuộc vào các sai số.



Hình 17. Các dạng mật độ xác suất khác nhau

Hình 17a), sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên lớn, thiết bị không đúng đắn, không trung thực.

Hình 17b), sai số hệ thống lớn, sai số ngẫu nhiên nhỏ, thiết bị trung thực nhưng không đúng đắn.

Hình 17c), sai số hệ thống nhỏ, sai số ngẫu nhiên lớn, thiết bị đúng đắn nhưng không trung thực.

Hình 17d), sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên nhỏ, thiết bị đúng đắn, trung thực, chính xác.

1.7.2 Chuẩn cảm biến

Là biểu diễn tường minh mối quan hệ giữa đại lượng lối ra y và đại lượng lối vào x (hoặc m) dưới dạng đồ thị hoặc đại số, trong đó đã tính đến các thông số ảnh hưởng (chiều đo, tốc độ biến thiên của x , hoặc các đại lượng khác như nhiệt độ, độ ẩm). Có hai cách chuẩn.

a) Chuẩn đơn giản

Thường sử dụng với các đại lượng đo là tĩnh, nghĩa là đại lượng đo có giá trị không đổi trong thời gian đo. Ví dụ, đo khoảng cách cố định bằng một cảm biến mà chỉ thị của nó không phụ thuộc vào nhiệt độ, độ ẩm ; đo nhiệt độ không đổi bằng một cặp nhiệt điện...

Trường hợp này ta kết hợp các giá trị đo được tương ứng :

y_1 ứng với x_1 .

y_2 ứng với $x_2...$

Việc chuẩn được tiến hành như sau :

– Chuẩn trực tiếp : các giá trị khác nhau của đại lượng đo lấy từ các mẫu chuẩn có giá trị biết trước với độ chính xác cao.

– Chuẩn gián tiếp : kết hợp cảm biến cần chuẩn với cảm biến đã được chuẩn đã có sẵn đường cong chuẩn.

b) Chuẩn nhiều lần

Khi cảm biến có chứa các phần tử có độ trễ (trễ cơ hoặc trễ từ), giá trị đo y_1 không chỉ phụ thuộc vào x_1 mà còn phụ thuộc vào giá trị trước đó, tức là y còn phụ thuộc chiều biến thiên x . Khi đó ta cần phải sử dụng phương pháp chuẩn nhiều lần :

– Chuẩn điểm gốc $y = 0 \rightarrow x = 0$.

- Tăng dần x , có được y tương ứng đến khi $x_{\max}$.
- Giảm x từ $x_{\max}$, có được y tương ứng đến khi $x = 0$.

Ta có được đường cong chuẩn theo cả hai hướng biến thiên của đại lượng cần đo x .

1.7.3 Độ nhạy

a) Định nghĩa độ nhạy

Độ nhạy S xung quanh một giá trị không đổi x_i nào đó của đại lượng đo, được xác định bởi tỉ số biến thiên Δy của đại lượng đầu ra và Δx của đại lượng đầu vào tương ứng :

$$S = \left. \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_{x=x_i} \quad (1.23)$$

Thông thường catalog cho biết độ nhạy S tương ứng với điều kiện làm việc nhất định của cảm biến.

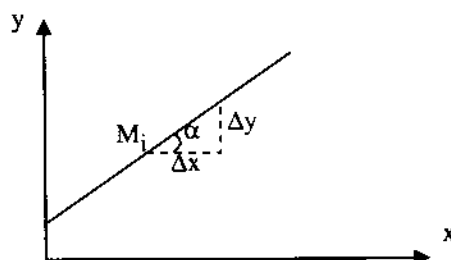
Đơn vị của độ nhạy phụ thuộc vào nguyên lý làm việc của cảm biến.

Ví dụ, cảm biến nhiệt điện trở thì đơn vị độ nhạy là $\Omega/^{\circ}\text{C}$, cảm biến cặp nhiệt điện là $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

b) Độ nhạy trong chế độ tĩnh

Độ nhạy ở đây chính là độ dốc của đường cong chuẩn tại điểm làm việc :

$$S = \text{tg } \alpha = \left. \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_{M_i(x=x_i)} \quad (1.24)$$

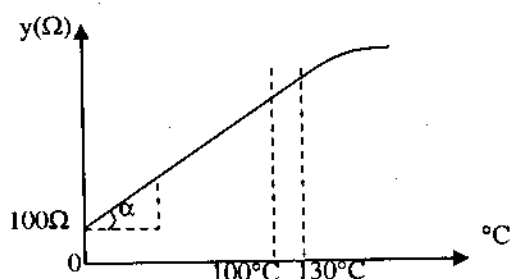


Hình 18. Độ nhạy trong chế độ tĩnh

Nếu đặc trưng tĩnh không tuyến tính thì độ nhạy S phụ thuộc vị trí điểm làm việc M_i . Nếu tuyến tính thì trong quá trình đo, độ nhạy không đổi $S = \text{const}$.

Ví dụ :

Với điện trở bằng platin thì ở nhiệt độ 0°C là 100Ω . Trong khoảng từ $0 \div 150^{\circ}\text{C}$, biến thiên gần như là tuyến tính. Tại 0°C , độ nhạy tĩnh là $S = 0,39$; tại 130°C , độ nhạy tĩnh là $S = 0,38\Omega/^{\circ}\text{C}$.



Hình 19. Độ nhạy tĩnh của điện trở platin

c) Độ nhạy trong chế độ động

Độ nhạy động được xác định khi đại lượng đo là một hàm tuần hoàn theo t.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + x_1 \cos \omega t \\ y(t) &= y_0 + y_1 \cos(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (1.25)$$

y_0 tương ứng với x_0 xác định tại điểm M_0 trên đường cong chuẩn ở chế độ tĩnh.

x_1 là biên độ biến thiên của đại lượng đo.

y_1 là biên độ biến thiên của đại lượng lối ra.

φ là độ lệch pha giữa đại lượng lối vào và đại lượng lối ra.

Độ nhạy động được xác định :

$$S = \frac{y_1}{x_1} \Big|_{M_0}. \quad (1.26)$$

Ở chế độ động, $S = S(f)$ xác định tính tần số của cảm biến. Sở dĩ S phụ thuộc vào tần số vì cảm biến nói riêng và thiết bị đo nói chung đều có quán tính. Các đại lượng đo được (y) không theo kịp sự biến thiên của đại lượng lối vào (x).

Quán tính thường do sự có mặt của các yếu tố R, L, C tạo ra các hằng số thời gian τ : $\tau = RC$ hay $\tau = L/R$. Nghĩa là tại t_1 thì x_1 xuất hiện. Ta có được y_1 đo được tại thời điểm $t_1 + \tau$.

1.7.4 Độ tuyến tính

a) Điều kiện có tuyến tính

Một cảm biến được gọi là tuyến tính trong một dải làm việc xác định nếu như trong dải đo, độ nhạy S không phụ thuộc vào giá trị đo x.

Nếu như cảm biến không tuyến tính thì người ta sẽ tuyến tính hóa bằng cách đưa thêm vào hệ đo thiết bị hiệu chỉnh.

Trong chế độ tĩnh, độ tuyến tính thể hiện bằng các đoạn thẳng trên các đặc tuyến tĩnh.

Trong chế độ động, độ tuyến tính bao gồm sự không phụ thuộc của độ nhạy ở chế độ tĩnh vào x :

$$S_{(0)} = \frac{y_0}{x_0} = \text{const}, \quad (1.27)$$

đồng thời còn bao gồm các thông số quyết định thời gian hồi đáp cũng không phụ thuộc vào đại lượng đo x (tức là $\tau = \text{const}$ không phụ thuộc vào x).

b) Đường thẳng tốt nhất – Độ lệch tuyến tính

Khi chuẩn cảm biến, ta nhận được một loạt các điểm tương ứng x_i, y_i , ngay cả khi về mặt lý thuyết, cảm biến là tuyến tính thì các điểm M_i này cũng không nằm trên một đường thẳng, vì có sự không chính xác khi đo và sự sai lệch trong chế tạo biến tử.

Tuy nhiên từ các điểm đo được bằng thực nghiệm, người ta vẫn xây dựng được một phương trình cho đường thẳng để biểu diễn sự tuyến tính của cảm biến. Người ta gọi đây là đường thẳng tốt nhất được tính dựa trên phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Đường thẳng tốt nhất có phương trình : $y = ax + b$.

Trong đó,

$$\begin{aligned} a &= \frac{N \sum y_i x_i - \sum y_i \sum x_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \\ b &= \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum y_i x_i \sum x_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \end{aligned} \quad (1.28)$$

với N là số điểm thực nghiệm đo.

Độ lệch tuyến tính được xác định từ độ lệch cực đại giữa đường cong chuẩn và đường thẳng tốt nhất, trong dải đo (được tính bằng 100%).

1.7.5 Độ nhanh – Thời gian hồi đáp

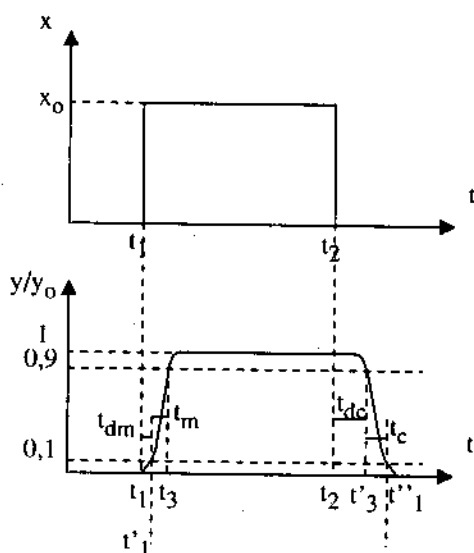
Độ nhanh là một đặc trưng của cảm biến, cho phép đánh giá đại lượng ra y có theo kịp đại lượng lối vào x hay không.

Thời gian hồi đáp chính là biểu hiện bằng số cụ thể của độ nhanh này.

Độ nhanh t_r là thời gian từ khi x thay đổi đột ngột, đến khi biến thiên của y chỉ còn khác giá trị cuối cùng một lượng giới hạn quy định $\varepsilon\%$ nào đó. Cảm biến càng nhanh thì thời gian hồi đáp càng nhỏ.

Như vậy, t_r cùng với $\varepsilon\%$ tương ứng sẽ xác định khoảng thời gian cần thiết phải chờ đợi sau khi có x biến thiên để đo được y có độ chính xác quy định. Do vậy, t_r đặc trưng cho quá trình quá độ.

Ngoài ra, để đặc trưng cho quá trình quá độ này còn một số khoảng thời gian khác nữa :



Hình 20. Một số khoảng thời gian đặc trưng cho quá trình quá độ

Khi x thay đổi dạng bậc thang, dẫn đến y thay đổi.

– Khoảng thời gian trễ khi tăng lên :

+ Gọi khoảng thời gian cần thiết để đại lượng y tăng từ giá trị ban đầu đến 10% của biến thiên lớn nhất là t_{dm} :

$$t_{dm} = t'_1 - t_1.$$

+ Gọi khoảng thời gian cần thiết để y tăng từ giá trị 10% đến 90% là t_m :

$$t_m = t_3 - t'_1.$$

– Khoảng thời gian trễ khi giảm xuống :

+ Gọi khoảng thời gian trễ khi giảm xuống t_{dc} là thời gian cần thiết để đại lượng ra y giảm từ giá trị ban đầu đến 90% của nó là :

$$t_{dc} = t'_3 - t_2.$$

+ Tương tự khoảng thời gian giảm từ 90% xuống còn 10% là :

$$t_c = t''_1 - t'_3.$$

Như vậy thông qua các thông số : t_r , t_{dm} , t_m , t_{dc} , t_c ta có thể đánh giá được thời gian hồi đáp (khả năng truyền đạt nhanh hay chậm của biến tử).

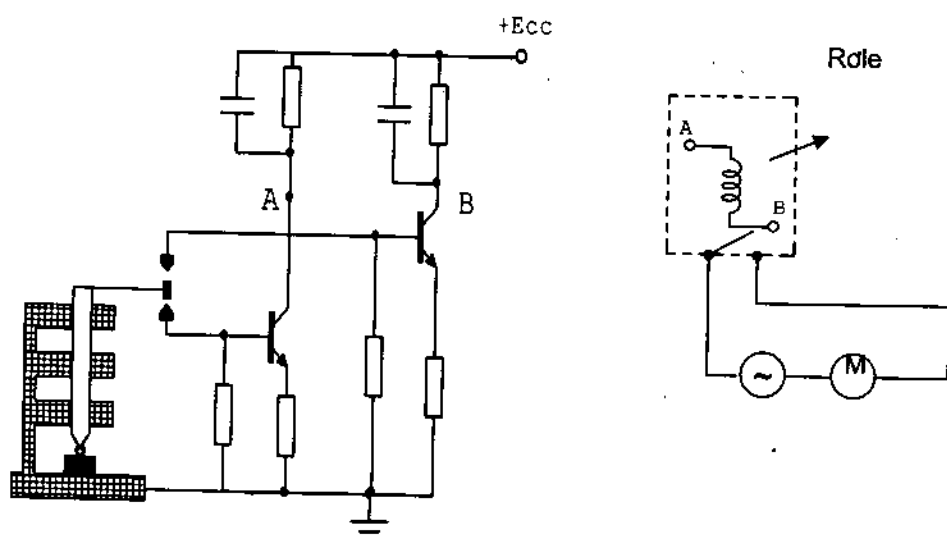
Chương 2

BIẾN TỬ ĐIỆN TRỞ – ĐIỆN CƠ

2.1 BIẾN TỬ TIẾP XÚC

Là biến tử, trong đó dịch chuyển cơ học được biến đổi thành trạng thái đóng, mở mạch của khóa điều khiển mạch điện. Như vậy, đại lượng vào tự nhiên của biến tử tiếp xúc là sự dịch chuyển trong không gian.

Biến tử này có ứng dụng quan trọng là đo bề dày cho sản phẩm một cách tự động, tự động khống chế nhiệt độ.



Hình 21. Biến tử tiếp xúc

Nếu sản phẩm có bề dày lớn hơn hay nhỏ hơn chiều dài chuẩn thì tiếp điểm sẽ đóng về một phía nào đó, transistor sẽ bị cấm, role sẽ đóng mạch điện xoay chiều làm mô tơ M hoạt động, đẩy thứ phẩm ra ngoài.

Đầu tiếp xúc của biến tử hình cầu. Vật liệu và chế độ điện của đầu tiếp xúc là quan trọng đối với độ chính xác và tin cậy của biến tử.

Khi U_o , I_o vượt quá giá trị định mức nào đó, sẽ có phóng điện hồ quang làm hỏng tiếp điểm. Để tránh điều này, người ta thường mắc thêm tụ, trở song song với tiếp điểm.

Muốn tránh hồ quang ở tiếp điểm, công suất tiêu tán ở tiếp điểm thường không quá 150mW. Vì vậy, khi cần điều khiển một mạch có công suất lớn hơn, phải có một bộ khuếch đại (như trong hình vẽ).

Tiếp điểm còn hỏng do phát xạ lạnh : $U = 10^V$ ở $1\mu m$ thì $E = 10.000V/mm$. Khi đó, điện tử sẽ phát xạ từ catốt tới anốt làm hỏng anốt. Anốt sẽ bị lõm, catốt sẽ lỗi ra.

Khi sử dụng, nên điều chỉnh $U, I < U_o, I_o$ để tránh hiện tượng hồ quang.

Tiếp điểm còn hỏng do các hơi hóa chất ăn mòn. Vì vậy, người ta đã nghĩ ra nhiều loại hợp kim đặc biệt để làm tiếp điểm.

Tiếp điểm thường dùng :

+ Bạc, đồng $I_o = 0,4A,$

$U_o = 13V.$

+ Platin, Volgin $I_o = 0,9A,$

$U_o = 17V.$

+ Platin, Iridi $I_o = 0,74A,$

$U_o = 20V.$

Ứng dụng :

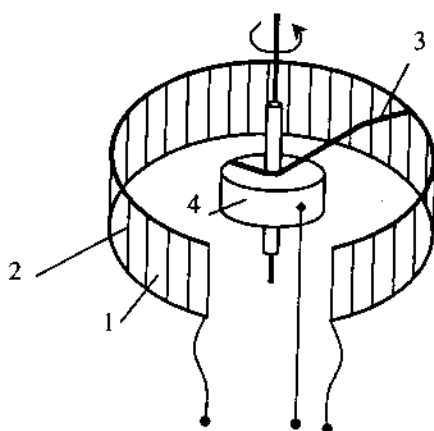
+ Đo bề dày sản phẩm, khống chế kích thước vật gia công.

+ Tiếp điểm một phía khống chế nhiệt độ bàn là.

2.2 BIẾN TỬ BIẾN TRỞ

2.2.1 Nguyên tắc hoạt động và cấu trúc

Biến tử biến trở là một biến tử mà độ dịch chuyển của con trở phụ thuộc vào đại lượng không điện cần đo. Do đó, đại lượng vào tự nhiên là độ dịch chuyển của các con trượt. Dịch chuyển đó có thể là chuyển động thẳng hoặc chuyển động quay. Đại lượng ra là điện trở được phân bố tuyến tính hoặc theo một hàm nào đó dọc theo đường trượt của con trượt.



Hình 22. Biến trở biến trở

Hình 22 vẽ một biến trở con trượt. Dây điện trở 2 được quấn đều đặn trên khung 1 làm bằng chất cách điện. Chất cách điện phủ trên dây điện trở được cạo sạch ở phần tiếp xúc với chổi 3. Vành 4 để nối chổi với dây điện mạch ngoài. Chổi được cách điện với trục quay (vành 4 được gắn với trục quay).

Dây điện trở có thể được cuốn trên một khung cách điện như hình 22, cũng có thể được căng giữa hai điểm của một giá cách điện. Theo cách sau, sự biến đổi điện trở là liên tục. Theo cách bố trí hình 22, sự biến đổi của điện trở là từng nấc.

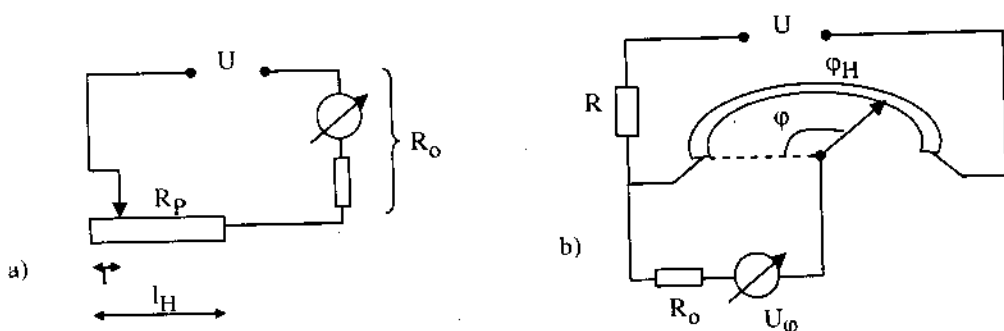
Vật liệu làm điện trở thường là Mangan, Constantan. Khi cần có một mặt tiếp xúc bền đặc biệt, người ta dùng hợp kim Iridi (Iridium) (90% Pt + 10% Ir). Có Ir sẽ tăng độ cứng và khả năng chống mài mòn và ăn mòn của hơi hóa chất.

Con trượt thường có dạng dây hay lá bằng hợp kim Pt (platin) + Ir (iridi) hoặc bằng Ag (bạc) hoặc hợp kim Cu (đồng) + P (phốtpho).

Khung quấn dây thường làm bằng nhựa dẻo hoặc nhôm phủ chất cách điện (Nhôm sẽ tỏa nhiệt tốt).

2.2.2 Mạch điện

Thang chia độ của dụng cụ đo còn phụ thuộc vào mạch đo. Sau đây ta tìm hiểu một vài mạch đo chuẩn.



Hình 23. Mạch điện cho biến trở biến trở

- Theo hình 23a), dòng điện qua điện kế của mạch :

$$I = \frac{U}{R_o + R_p \left(1 - \frac{l}{l_H} \right)} \quad (2.1)$$

Trong đó, l là độ lệch con trượt tương ứng với giá trị đo tức thời.

l_H là độ dài của cả biến trở tương ứng với giá trị điện trở R_p .

- Khi biến trở có dạng khung tròn (hình 23b) thì thay l và l_H bằng ϕ và ϕ_H .

Hình 23b) mắc theo kiểu chia thế. Điện áp trong mạch đo U_ϕ :

$$U_\phi = \frac{U \frac{\phi}{\phi_H}}{\frac{R}{R_p} + 1 - \frac{\frac{\phi}{\phi_H}}{1 + \frac{R_o}{R_p} \frac{\phi_H}{\phi}}} \quad (2.2)$$

R_o là trở của vôn kế.

Sự phụ thuộc vào ϕ ở đây là phi tuyến. Muốn có phụ thuộc tuyến tính phải chọn $R_o \gg R_p$. Khi đó :

$$U_\phi \cong \frac{U \frac{\phi}{\phi_H}}{\frac{R}{R_p} + 1} \quad (2.3)$$

Vì trong thực tế, dụng cụ đo vẫn có một điện trở hữu hạn khác vô cùng nên ta sẽ luôn mắc một sai số phi tuyến.

Ví dụ, khi $R_o / R_p = 10$, $R / R_p = 10$ thì khi $\phi = \phi_H$, sai số phi tuyến là 0,8%.

813.3.BT
60.NX
S.87

2.3.1 Nguyên tắc hoạt động và cấu trúc

Cơ sở của biến tử này là hiệu ứng ứng lực. Hiệu ứng này là sự thay đổi điện trở hoạt của dây dẫn khi bị biến dạng cơ học.

Đặc trưng cơ bản của hiệu ứng ứng lực của vật liệu là độ nhạy ứng lực K, theo định nghĩa, bằng tỉ số của độ thay đổi điện trở trên sự thay đổi độ dài dây dẫn :

$$K = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_l}. \quad (2.4)$$

Với $\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} \equiv \frac{dR}{R}$, $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} \equiv \frac{dl}{l}$.

– Đối với chất lỏng, thể tích của vật liệu không thay đổi khi biến dạng. Lúc đó, K tính ra $K = 2$. Thật vậy, điện trở của vật dẫn có thể tích không đổi tỉ lệ với bình phương độ dài :

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l^2}{V},$$

$$\rightarrow \Delta R = \frac{\rho}{V} \cdot 2l \cdot dl,$$

$$\rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{2dl}{l},$$

$$\rightarrow K = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_l} = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = 2. \quad (2.5)$$

– Đối với vật rắn, thay đổi độ dài sẽ làm thay đổi thể tích, khi đó, biến dạng đàn hồi được đặc trưng bằng hệ số Poisson :

$$\mu = -\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_l}, \quad (2.6)$$

$$-\mu \frac{\Delta l}{l} = -\mu \epsilon_l = \epsilon_b = \frac{\Delta b}{b},$$

Trong đó, ϵ_h là hệ số biến dạng ngang tương đối.

b là kích thước ngang của dây dẫn (đường kính hay cạnh).

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

$$\rightarrow \Delta R = \rho \frac{\Delta l}{S} - \rho \frac{l \Delta S}{S^2}.$$

Chia cả hai vế cho R :

$$\rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{2\Delta b}{b}, \text{ (vì } S = \pi(b/2)^2 \rightarrow \Delta S = 2\pi b \Delta b)$$

Nhưng như tính toán trên :

$$\frac{\Delta b}{b} = -\mu \frac{\Delta l}{l},$$

$$\rightarrow \frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu) \frac{\Delta l}{l}.$$

Hệ số độ nhạy ứng lực :

$$K = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_l} = 1 + 2\mu. \quad (2.7)$$

μ đối với kim loại có giá trị cỡ $0,24 \div 0,4$ nên K cỡ $1,48 \div 1,8$. Nhưng thực nghiệm cho biết K vượt quá giá trị trên. Điều này chứng tỏ khi biến dạng, tính chất của vật liệu thay đổi, do đó, điện trở suất thay đổi. Vì thế, K được hiệu chỉnh lại :

$$K = (1 + 2\mu) + m. \quad (2.8)$$

$$\text{Trong đó, } m = \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

của vật liệu biến đổi khi biến dạng.

2.3.2 Vật liệu của điện trở ứng lực

Vật liệu cấu tạo phải có hệ số độ nhạy ứng lực lớn nhất. Thông thường ϵ_R không vượt quá $5 \cdot 10^{-3} \div 7 \cdot 10^{-3}$. Trong khi đó, sự thay đổi nhiệt độ cũng làm R thay đổi. Độ thay đổi này so sánh được với sự thay đổi do ứng lực. Do đó, yêu cầu quan trọng là hệ số nhiệt điện trở phải nhỏ.

Một yếu tố quan trọng nữa đối với vật liệu của biến tử là ở cùng loại sản xuất phải có tính chất giống nhau và ổn định.

Biến từ ứng suất thường chỉ dùng một lần là đã suy giảm chất lượng và bị biến dạng gần như hoàn toàn. Vì thế, chỉ dùng biến từ này một lần.

Để chuẩn số đo, phải lấy mẫu một biến từ khác cùng loạt sản xuất.

Dưới đây là số liệu của một số vật liệu hay dùng làm biến từ ứng lực.

Bảng 2. Một số vật liệu chế tạo điện trở ứng lực

Vật liệu	Thành phần	Hệ số độ nhạy K
Constantan	60% Cu + 40% Ni	$1,9 \div 2,1$
Nikel Crôm	80% Ni + 20% Cr	$2,1 \div 2,3$
Mangan	84% Cu + 12% Mn + 4% Ni	$0,47 \div 0,5$
Nikel	Ni	1,2
Bismuth	Bi	2,2

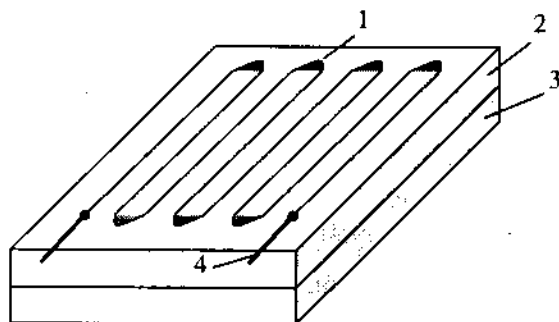
2.3.3 Ứng dụng của điện trở ứng lực

a) Đo áp suất của môi trường lên một vật

Áp lực sẽ làm thay đổi thể tích của dây dẫn, do đó làm thay đổi điện trở R của dây. Xác định R sẽ suy ra được áp suất. Các áp kế để đo áp suất lớn được chế tạo dựa trên nguyên tắc này. Trong áp kế này, dây dẫn được làm bằng mangan hay bán dẫn (Ge hoặc Si) đặt trong nơi cần đo áp suất.

b) Dùng để đo sự biến dạng

Dựa trên hiệu ứng tenxơ khi kéo dãn dây dẫn. Loại này thường được thực hiện dưới dạng dẹt để dán lên vật thể cần đo độ biến dạng. Một dây dẫn đường kính $0,02 \div 0,05$ mm được uốn theo đường díc dắc rồi dán lên một đế mỏng bằng giấy hay chất dẻo. Hai đầu của dây hàn với hai dây dẫn bằng đồng làm cực ra.



- 1 - Dây dẫn có độ nhạy ứng lực.
- 2 - Hồ dán hay xi măng.
- 3 - Đế bằng giấy hay chất dẻo.
- 4 - Cực ra.

Hình 24. Điện trở ứng lực

Biến tử này được dán lên một vật thể để nghiên cứu sự biến dạng của vật đó.

Vậy đại lượng vào tự nhiên là sự biến dạng bề mặt của vật thể đo. Còn đại lượng ra là sự biến đổi R .

Thông số chuẩn của biến tử loại này thường là : để có kích thước 5×20 mm, điện trở từ $30 \div 500 \Omega$.

Ngoài ra còn có nhiều dạng khác. Để giảm kích thước để, người ta chế tạo dạng tròn, còn dây ứng lực có dạng xoắn ốc.

Đôi khi, người ta dùng dao động ký điện từ để chỉ tự động số đo được, dòng qua dao động ký khá lớn. Vậy biến tử cần có công suất lớn.

Muốn vậy, cần có $30 \div 50$ biến tử mắc song song, chiều dài để $150 \div 200$ mm.

Hoặc còn được thực hiện dưới dạng một ống cao su có lỗ rất nhỏ (mao dẫn), đường kính $0,1 \div 0,5$ mm, trong có chứa đầy thủy ngân. Khi dán lên vật thể cần nghiên cứu biến dạng, biến tử bị biến dạng cùng vật thể và điện trở của nó thay đổi. Biến tử này có $K = 2$ dùng để đo các biến dạng lớn của vật thể.

Vì biến tử điện trở ứng lực chỉ dùng được một lần nên việc lấy mẫu nó là lấy mẫu biến tử khác cùng loạt sản xuất. Vậy việc chế tạo chúng phải thật giống nhau.

Biến tử điện trở ứng suất loại tốt thường được chế tạo dưới dạng băng mỏng $4 \div 12 \mu\text{m}$: một lá kim loại mỏng được dán lên đế, trên lớp lá này lại được phủ một lớp nhũ tương có tính cảm quang. Bằng dụng cụ quang học, người ta chụp lên lớp nhũ một hình dạng cần thiết, sau đó dùng thuốc hiện hình làm cho lớp nhũ tương nhận ánh sáng trở nên một lớp bền vững không chịu tác động của axit. Sau đó, cho ăn mòn, ta được một mạng lưới băng mỏng dùng làm biến tử điện trở ứng suất.

Biến tử dạng băng mỏng có ưu điểm cơ bản là dễ dàng thực hiện dưới dạng bất kỳ với đầu mút to, dễ hàn cực ra. Hồ dán bị mềm ở nhiệt độ 140°C .

2.3.4 Tính chất của biến tử điện trở ứng lực

Khi dùng biến tử này phải chú ý đến đặc trưng của nó. Đặc trưng của biến tử rất khác đặc trưng của vật liệu dùng làm biến tử nếu như ta không quan tâm đến yếu tố sau :

- Điều quan trọng ở đây là chỗ, uốn khúc của dây dẫn làm biến tử bị biến dạng theo chiều không cần đo.

Vì vậy, độ nhạy của biến tử có thể giảm $20 \div 30\%$ so với vật liệu. Do biến tử có các đoạn dây dẫn vuông góc với phương biến dạng cần nghiên cứu, nên xuất hiện biến dạng ngang làm sai lệch phép đo.

Biến tử dạng băng khắc phục được nhược điểm này nếu ta làm bề rộng của băng ở chỗ uốn khúc to hẳn ra.

- Do có sự sai khác về hệ số nhiệt của biến tử và vật thể cần nghiên cứu, nên biến tử bị biến dạng khi nhiệt độ thay đổi.

Ví dụ :

Hệ số dẫn nở nhiệt của thép nhỏ hơn constantan, nên biến tử làm bằng constantan sẽ bị biến dạng nén khi dán lên thép và khi nhiệt độ tăng.

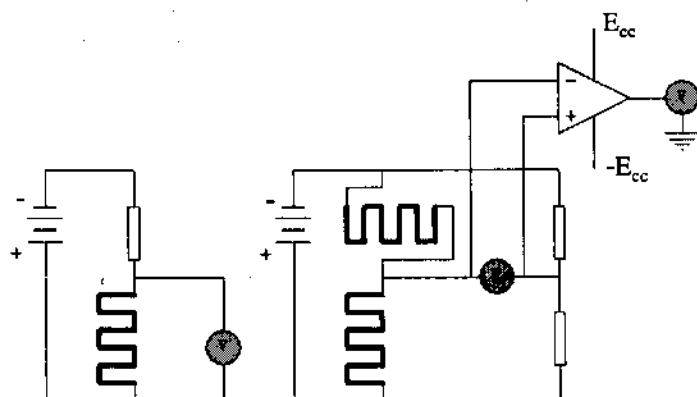
Vì vậy, trong chế tạo biến tử, người ta phải tìm cách loại bỏ ảnh hưởng của biến dạng không cần thiết. Mặt khác, khi đo, phải chọn biến tử là vật liệu có độ giãn nở nhiệt tương ứng với vật cần đo.

2.3.5 Mạch đo của biến tử

Trước hết ta cần chú ý tới dòng chịu được của biến tử. Để đo mọi thành phần của biến dạng, ta thường dùng mạch cầu như mạch đo thứ hai của hình 25.

Dây dẫn constantan có :

Tiết diện S	Dòng I
$50\mu\text{m}^2$	100mA
$25\mu\text{m}^2$	35mA
$12\mu\text{m}^2$	12,5mA



Hình 25. Sơ đồ đo biến dạng

Chương 3

BIẾN TỬ TÍNH ĐIỆN

3.1 BỘ BIẾN TỬ ĐIỆN DUNG

3.1.1 Nguyên tắc hoạt động, hệ thức cơ bản, ứng dụng

Biến tử điện dung là một tụ điện mà ta có thể thay đổi điện dung bằng cách thay đổi hằng số điện môi, kích thước của bản tụ hay khoảng cách giữa hai bản tụ. Với tụ phẳng ta có :

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{\delta} \quad (3.1)$$

Trong đó, ϵ : hằng số điện môi.

S : tiết diện của bản tụ.

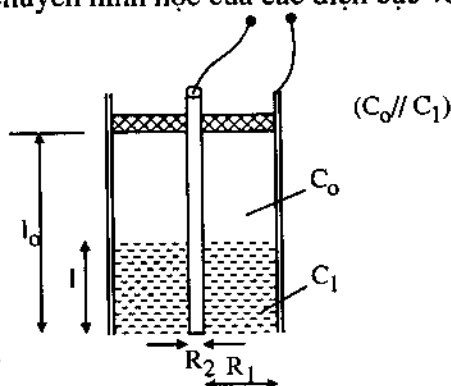
δ : khoảng cách giữa hai bản tụ.

Biến tử điện dung có thể dùng để đo các đại lượng không điện theo bốn cách : đại lượng cần đo sẽ làm thay đổi ϵ , S , δ hay tạo ra độ tổn hao Δ của điện môi chứa trong tụ điện.

Biến tử điện dung có thể dùng để phân tích thành phần vật chất (hằng số điện môi và độ tổn hao điện môi là những hàm của một số tính chất của vật chất). Trong đó, đại lượng vào tự nhiên của biến tử là thành phần vật chất chứa trong không gian giữa hai bản tụ.

Biến tử điện dung còn được dùng rộng rãi để đo độ ẩm của chất rắn.

Trong nhiều trường hợp sử dụng thực tế, đại lượng vào tự nhiên của biến tử điện dung là sự dịch chuyển hình học của các điện cực với nhau.



Hình 26. Biến tử điện dung đo mức chất lỏng không dẫn điện

Biến tử điện dung được xem là hai tụ điện C_0 và C_1 mắc song song nhau.

C_1 là phần dưới của các điện cực và chất lỏng điện môi (mức chất lỏng cần đo).

C_0 là phần trên của điện cực với điện môi là không khí.

Ta có :

$$C_1 = l\varepsilon \frac{2\pi}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \quad (3.2)$$

$$C_0 = (l_0 - l)\varepsilon_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \quad (3.3)$$

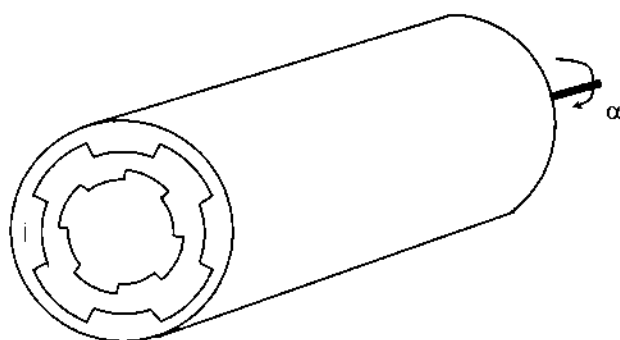
Trong đó, l_0 : chiều dài toàn biến tử.

l : chiều dài phần chứa chất lỏng.

$\varepsilon, \varepsilon_0$: hằng số điện môi tương ứng của chất lỏng và không khí.

R_1, R_2 : bán kính ngoài và trong của cột tụ điện.

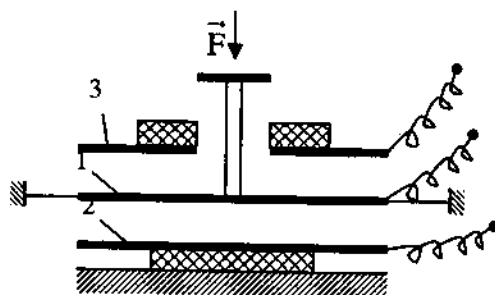
Hình 27 là một biến tử điện dung ứng dụng để đo góc quay α . Khi lõi sắt quay một góc α thì điện dung giữa phần tĩnh và phần quay sẽ thay đổi. Như thế điện dung C của biến tử sẽ tỉ lệ với góc quay α .



Hình 27. Biến tử điện dung đo góc quay

Điện dung là một hàm của góc quay $C = f(\alpha)$.

Phổ biến hơn cả là biến tử điện dung, trong đó độ lớn của khe hở δ phụ thuộc vào đại lượng không điện cần đo. Nguyên tắc của loại biến tử này được mô tả trên hình vẽ 28.



Hình 28. Biến tử điện dung đo lực F

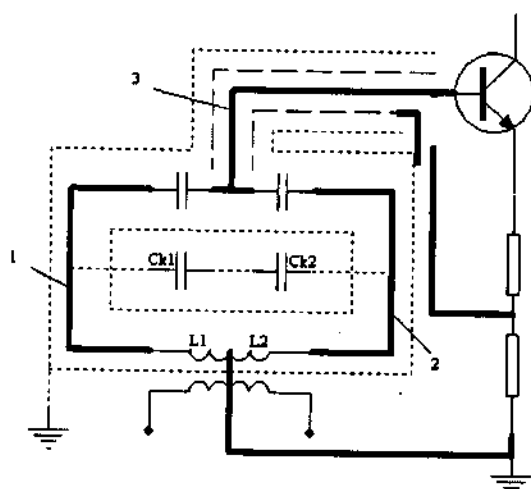
Cốt 1 được gắn trên một lò xo, có thể di chuyển theo phương của lực $\vec{F}$ (phương thẳng đứng). Các cốt 2, 3 giữ cố định. Khi có lực $\vec{F}$ tác động thì C_{12} tăng, C_{13} giảm.

3.1.2 Mạch đo của biến tử điện dung

Để tăng độ chính xác và độ nhạy của phép đo, biến tử điện dung thường được cấu tạo theo cấu trúc vi sai. Các điện dung của biến tử được mắc vào hai nhánh tương ứng của cầu đo.

Các yêu cầu chính của mạch đo là :

- Bọc kim rất kỹ các bộ phận có dây dẫn để chống cảm ứng, chống nhiễu.
- Không có các phần tử mắc rẽ với biến tử.

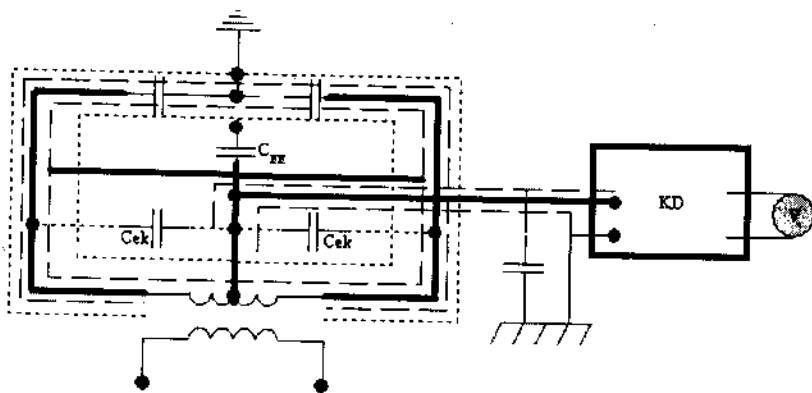


Hình 29. Mạch điện cho biến tử điện dung

Sơ đồ hình 29 có được những yêu cầu trên và cho phép ta thực hiện được tất cả các ưu điểm của biến tử điện dung.

Trên hình vẽ, C_{k1} , C_{k2} là các tụ điện của hai dây đồng trục 1 và 2, các điện dung này mắc song song với nguồn nuôi. Hai nửa cuộn dây L_1 , L_2 của biến thể nuôi mạch đo. Điện dung ký sinh của các lớp dây của biến thể không ảnh hưởng đến mạch đo (vì nó được mắc đối xứng với mạch cầu). Muốn giảm điện trở tải của mạch cầu để tăng độ nhạy và độ tuyến tính của cầu, ta cần phải trung hòa ảnh hưởng của dây nối 3. Mục đích này đạt được khi ta dùng dây dẫn có hai lớp bọc kim kết hợp với bộ khuếch đại lặp lại emitter.

Nhược điểm chính của sơ đồ trên là phải cách điện cả hai cốt của biến tử với đất, trong khi nhiều biến tử điện dung lại có cấu trúc nối đất một cốt. Trong trường hợp buộc phải nối một điện cực vào đất, ta nên dùng sơ đồ hình 30.

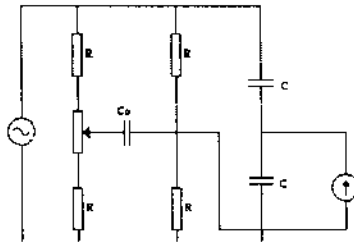


Hình 30. Sơ đồ biến tử có một cực nối đất

Trong sơ đồ này, dây đồng trục có hai vỏ bọc kim được dùng để nối các vế của mạch cầu. Vỏ bọc thứ nhất nối với điểm giữa của biến thể. Như vậy, điện dung C_{ek} giữa lõi và vỏ bọc kim thứ nhất được mắc song song với hai vế của thứ cấp biến thể. Vì điện trở lõi ra của biến thể nhỏ nên ảnh hưởng của C_{ek} là không đáng kể.

Điện dung C_{EE} (giữa vỏ bọc kim 1 và 2) được mắc song song với lõi vào của bộ khuếch đại. Vì vậy, C_{EE} không ảnh hưởng đến sự cân bằng của cầu mà chỉ làm giảm độ nhạy của cầu.

Khi cần phải cân bằng cầu đo với độ chính xác cao, ta cần mắc thêm các R và C như hình 31 để bù trừ độ lệch pha gây ra do các tụ kí sinh.



Hình 31. Mạch cân bằng cầu với độ chính xác cao

3.1.3 Các phép tính cơ bản

Xét sơ đồ hình 31. Dung kháng $Z_C = \frac{1}{\omega C}$. Với tụ phẳng $C = \frac{\epsilon S}{\delta}$ thì :

$$Z_C = \frac{\delta}{\omega \epsilon S} . \quad (3.4)$$

Điện áp lỗi ra của mạch cầu trong đó mắc biến tử điện dung được xác định :

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_{\text{ra cầu}} = \frac{\dot{U}}{2} \frac{\epsilon_{\delta} Z_{v \text{ kd}}}{Z_{v \text{ kd}} + \frac{R}{2} + \frac{1}{j\omega C_0} (1 - \epsilon_{\delta}^2)} . \quad (3.5)$$

Trong đó, $Z_{v \text{ kd}}$: trở lối vào của bộ khuếch đại mắc trong mạch của cầu.

ϵ_{δ} : độ biến đổi độ rộng khe tương đối. Có :

$$\epsilon_{\delta} = \frac{\Delta \delta}{\delta} , \quad (3.6)$$

R : điện trở của từng vế của mạch cầu.

C_0 : điện dung ban đầu của biến tử.

Thường thì $R \ll Z_C$ nên bỏ qua thành phần $R/2$ trong (3.5). Chia cả tử số và mẫu số của (3.5) cho $Z_{v \text{ kd}}$:

$$\dot{U}_{\text{ra cầu}} = \frac{\dot{U}}{2} \frac{\epsilon_{\delta}}{1 - \frac{j}{a} (1 - \epsilon_{\delta}^2)} . \quad (3.7)$$

$$\Delta U = | \dot{U}_{\text{ra cau}} | = \frac{U}{2} \frac{\epsilon_{\delta}}{\sqrt{1 + \frac{1}{a^2} (1 - \epsilon_{\delta}^2)^2}} \quad (3.8)$$

Biểu thức $\frac{1}{a^2} (1 - \epsilon_{\delta}^2)^2$ là phần méo phi tuyến phụ thuộc vào a (trở vào khuếch đại (Z_{vkd})/ trở ra của cầu (Z_{ra})).

Cần chú ý rằng, ngoài ngoại lực tác động lên biến tử thì giữa hai cốt của biến tử còn lực hút tĩnh điện :

$$f_3 = \frac{1}{2} \frac{U^2}{\delta^2} \epsilon S. \quad (3.9)$$

Ví dụ : tụ phẳng, cốt hình tròn có $d = 25\text{mm}$, $\delta = 0,1\text{mm}$, $U = 50\text{V}$ thì $f_3 = 5.10^{-4}\text{N}$.

3.2 BIẾN TỬ ÁP ĐIỆN

3.2.1 Nguyên tắc hoạt động

Có hai hiệu ứng áp điện.

a) Hiệu ứng áp điện thuận

Khi tác dụng một lực F lên tinh thể áp điện thì trên các mặt biên của chúng xuất hiện các điện tích. Khi thôi không tác dụng lực thì trên mặt biên của tinh thể điện môi ấy sẽ trở lại trạng thái ban đầu không tích điện nữa. Chất điện môi đó được gọi là chất áp điện.

Hiệu ứng trên được gọi là hiệu ứng áp điện thuận.

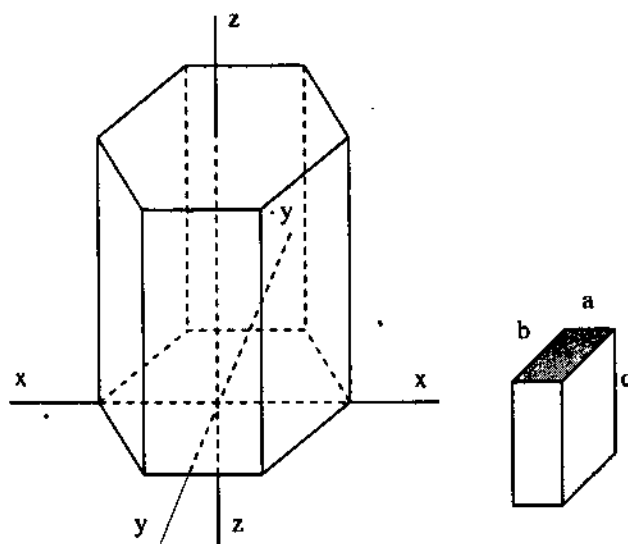
b) Hiệu ứng áp điện ngược

Đặt một tinh thể áp điện vào trong điện trường $\vec{E}$ thì $\vec{E}$ sẽ tác dụng lên tinh thể làm kích thước hình học của nó thay đổi.

Hiệu ứng này được gọi là hiệu ứng áp điện ngược.

c) Một số chất áp điện

Thạch anh, titanát bari (BaTiO_3), các muối xenhét, dihydro photphat amôn, dihydro photphat kali, tuốc-ma-lin... là những chất áp điện. Ta xét biến tử áp điện thạch anh :



Hình 32. Biến tử áp điện thạch anh

zz : trục quang.

a $\equiv$ phương x.

xx : trục điện.

b $\equiv$ phương y.

yy : trục cơ.

c $\equiv$ phương z.

– Khi tác dụng lực $\vec{F}$ (nén hoặc kéo vuông góc với trục quang : $\vec{F} \perp zz$), chẳng hạn $\vec{F} \equiv \vec{F}_x$ hoặc $\vec{F} \equiv \vec{F}_y$ thì trên mặt vuông góc với xx xuất hiện các điện tích.

– Khi $\vec{F} \equiv zz$ thì không có điện tích.

– Khi $\vec{F} \equiv \vec{F}_x$ thì ta có hiệu ứng dọc. Các điện tích sẽ xuất hiện trên mặt bc (mặt bc $\perp$ trục điện). Các điện tích này không phụ thuộc vào kích thước của tinh thể :

$$q = d_1 F_x. \quad (3.10)$$

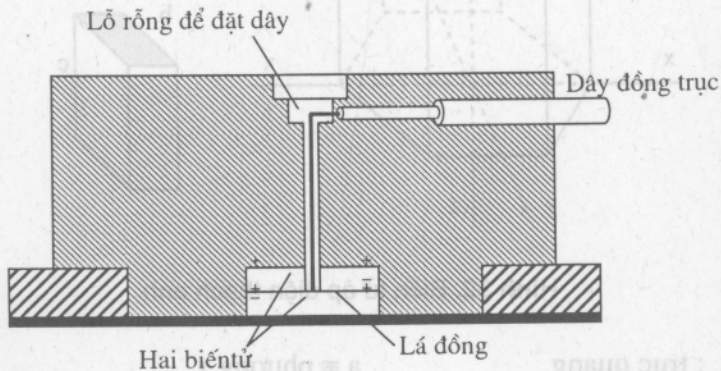
$d_1 = \text{const}$ cho một chất áp điện : suất áp điện. Điện tích xuất hiện khi nén và khi giãn là trái dấu.

– Khi $\vec{F} \equiv \vec{F}_y$ ta có hiệu ứng ngang : điện tích cũng chỉ xuất hiện trên mặt bc $\perp$ trục điện xx nhưng trái dấu với hiệu ứng áp điện dọc. Tuy nhiên, trong trường hợp áp điện ngang, q phụ thuộc vào kích thước tinh thể :

$$q = -d_1 F_y \frac{b}{a}. \quad (3.11)$$

Muốn tăng độ nhạy ta phải tăng tỉ số b/a .

Biến tử áp điện là loại biến tử phát, với đại lượng vào tự nhiên là áp lực, đại lượng ra là điện tích q hay hiệu điện thế U . Biến tử áp điện thường được dùng để đo áp lực động. Khi dùng để đo áp lực tĩnh thì mạch đo phải có điện trở $R_{\text{vào}}$ vô cùng lớn.



Hình 33. Biến tử áp điện

3.2.2 Một số thông số của biến tử áp điện

a) Thạch anh

$$d_1 = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ C/N.}$$

$$\varepsilon = 39,8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m.}$$

Còn suất đàn hồi theo phương vuông góc quang trục.

$$E = 70 \div 100 \text{ kN/mm}^2.$$

$$\text{Áp lực chịu được } 70 \div 80 \text{ N/mm}^2.$$

$$\rho \text{ theo phương quang trục : Ở } 20^\circ\text{C} = 10^{12} \Omega\text{m,}$$

$$\text{Ở } 300^\circ\text{C} = 6 \cdot 10^3 \Omega\text{m.}$$

$$< 200^\circ\text{C : } d_1 \approx \text{const.}$$

$$200^\circ\text{C} \div 300^\circ\text{C : } d_1 \text{ thay đổi chút ít.}$$

$$> 500^\circ\text{C : } d_1 \text{ giảm nhanh.}$$

$$573^\circ\text{C : } \text{thì mất hiệu ứng áp điện (điểm Currie).}$$

b) Titanat Bari

Gốm áp điện đa tinh thể có tính chất vật lý phụ thuộc vào quá trình chế tạo gốm, phụ thuộc vào ngoại lực tác dụng vào (cơ hay điện). Có tính phi tuyến lớn :

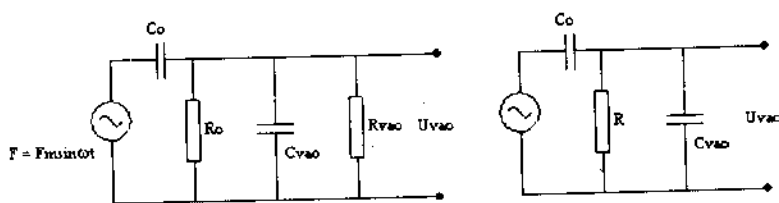
$$d_1 = 107 \cdot 10^{-12} \text{ C/N.}$$

$$\varepsilon = 124 \cdot 10^{-11} \text{ F/m.}$$

Dải nhiệt độ làm việc $15^\circ\text{C} \div 100^\circ\text{C}$.

3.2.3 Mạch điện và những phép tính cơ bản

Biến tử áp điện thường dùng để đo các đại lượng động. Giới hạn dưới của tần số làm việc phụ thuộc vào biến tử và mạch đo. Công suất ra nhỏ nên trở vào của mạch đo phải lớn. R_o , C_o là trở và tụ của biến tử. R_{vao} , C_{vao} là trở và tụ của mạch đo, kể cả dây dẫn.



Hình 34. Sơ đồ tương đương của biến tử mắc vào mạch đo

$$R = \frac{R_o R_{vao}}{R_o + R_{vao}} \quad (3.12)$$

Khi tác dụng lực biến đổi $F = F_m \sin \omega t$, lối ra của biến tử có điện áp :

$$U = d_1 \frac{F_m \sin \omega t}{C_o} = U_m \sin \omega t. \quad (3.13)$$

Từ sơ đồ hình 34 ta có :

$$\dot{U}_{vao} = \left[\frac{\frac{d_1 \dot{F}}{C_o}}{\left(\frac{1}{j\omega C_o} + \frac{\frac{1}{j\omega C_{vao}} R}{\frac{1}{j\omega C_{vao}} + R} \right)} \right] \frac{\frac{1}{j\omega C_{vao}} R}{\frac{1}{j\omega C_{vao}} + R} \quad (3.14)$$

$$\rightarrow \dot{U}_{vao} = d_1 \dot{F} \frac{j\omega R}{1 + j\omega R(C_o + C_{vao})}$$

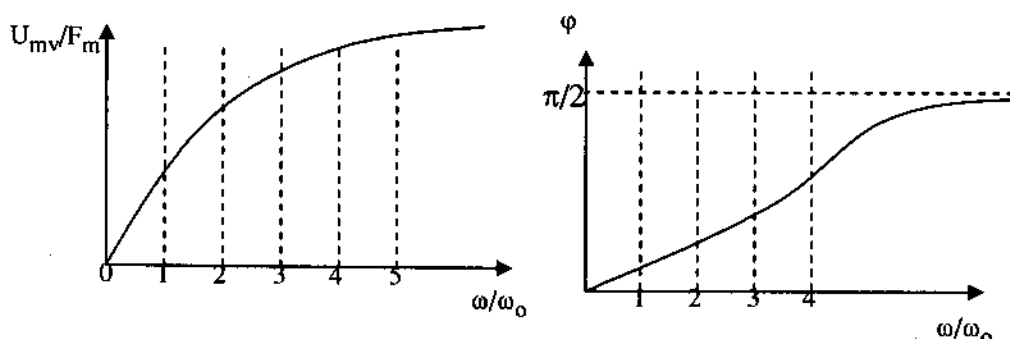
Nên biên độ điện áp :

$$U_{mvao} = \dot{U}_{vao} = \frac{d_1 F_m \omega R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 (C_o + C_{vao})^2}} \quad (3.15)$$

$$\text{Độ lệch pha } \varphi = \arctg \omega R (C_o + C_{vao}). \quad (3.16)$$

Khi $\omega^2 R^2 (C_o + C_{vao})^2 \gg 1$ thì U_{mvao} không phụ thuộc vào ω .

Đặt $\omega_o = \frac{1}{R(C_o + C_v)}$, ta có đường cong biểu diễn như hình 35.



Hình 35. Sự phụ thuộc của U_{mv} và φ vào tần số

Ứng dụng của biến tử áp điện

Để đo lực, áp lực và gia tốc biến đổi. Ưu điểm là kích thước nhỏ, cấu trúc đơn giản, bền, độ tin cậy cao. Đo được các đại lượng biến đổi nhanh (đo gia tốc trong phạm vi $a = 0,1 \div 16g$).

3.3 BIẾN TỬ ELECTRET

Nguyên tắc hoạt động, hệ thức cơ bản

Định nghĩa : Electret là chất điện môi có độ phân cực lớn và không đổi. Tức là có những điện tích trái dấu ở mặt ngoài đối diện nhau và tồn tại trong thời gian dài.

Các phương pháp tạo ra electret :

- Nung nóng vật liệu rồi để nguội trong điện trường lớn.
- Nung nóng vật liệu, để nguội dần trong ánh sáng kích thích.

Hai phương pháp này cho ta loại electret nhiệt.

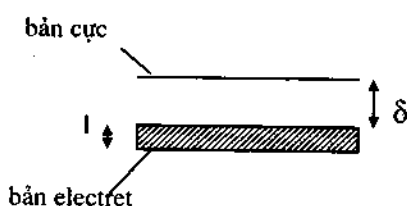
c) Electret điện chế tạo không cần nung nóng.

Các chất điện môi dùng để chế tạo electret là những điện môi thiên nhiên hay tổng hợp : nhựa đường, êbôxit, sáp ong, mica...

Electret dùng để tạo ra điện trường không đổi. Đặc trưng cho nó là mật độ điện tích σ .

Nguyên tắc hoạt động :

Nguyên tắc hoạt động của biến tử electret là, khi thay đổi khoảng cách giữa một điện cực đặt gần electret thì các điện tích sẽ hưởng ứng trên điện cực đó. Mạch ngoài sẽ xuất hiện dòng điện i .



Hình 36. Hoạt động của biến tử electret

Cường độ điện trường $\vec{E}$ tạo ra bởi electret là

$$E = \frac{Q}{\delta(C_o + C_1)} = \frac{\sigma S}{\delta(C_o + C_1)}. \quad (3.17)$$

(vì $E = U/d$, $U = Q/C$, $Q = \sigma S$).

Trong đó, C_o : điện dung riêng của electret.

C_1 : điện dung của tụ mà điện môi là không khí, còn các má tụ là bản electret và một bản cực (tụ này có khoảng cách δ).

δ : Độ dày của khe không khí

Gọi l là độ dày của electret, hằng số điện môi là ϵ , có :

$$C_o = \frac{\epsilon S}{l}. \quad (3.18)$$

$$C_1 = \frac{\epsilon_o S}{\delta}. \quad (3.19)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_o \left(1 + \frac{\epsilon \delta}{\epsilon_o l} \right)}. \quad (3.20)$$

Trên bản cực kim loại đặt gần bản electret xuất hiện những điện tích hưởng ứng $Q_{h.u}$, mật độ điện tích hưởng ứng là $\sigma_{h.u}$:

$$\sigma_{h.u} \equiv D = \epsilon_0 E = \frac{\sigma}{1 + \frac{\epsilon \delta}{\epsilon_0 l}}. \quad (3.21)$$

(D : cảm ứng điện).

Dòng điện xuất hiện trong mạch là :

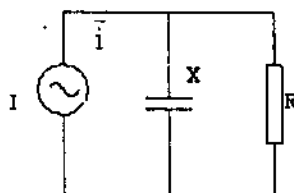
$$i = \frac{dq}{dt} = S \frac{d\sigma_{h.u}}{dt} = S \frac{d}{dt} \left(\frac{\sigma}{\frac{\epsilon \delta}{\epsilon_0 l} + 1} \right) = \sigma \frac{S}{l} \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \frac{\Delta \delta \cdot \omega \cdot \cos \omega t}{\left(\frac{\epsilon \delta}{\epsilon_0 l} + 1 \right)^2}.$$

(vì rằng ở đây xét trường hợp hàm $\delta = \sin \omega t$).

$$\text{Vậy : } I_m = \sigma \frac{S}{l} \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \frac{\Delta \delta \cdot \omega}{\left(\frac{\epsilon \delta}{\epsilon_0 l} + 1 \right)^2}. \quad (3.22)$$

Vì thế, đo I_m biết được $\Delta \delta$.

Xuất phát từ cấu trúc của biến tử, ta có sơ đồ tương đương sau :



Hình 37. Sơ đồ tương đương của biến tử electret

Trong đó, X : điện trở kháng lối vào mạch ngoài.

R : trở lối vào của mạch ngoài.

$$X = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j\omega} \frac{1}{C_0 + C_1}.$$

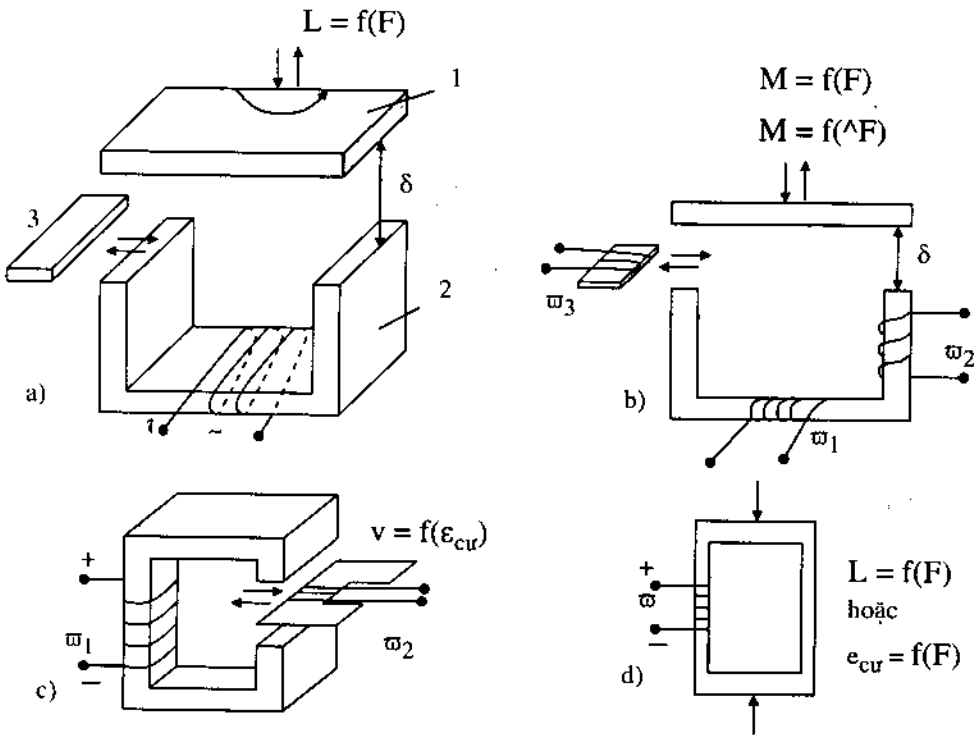
$$\dot{U}_{ra} = \frac{\dot{I}_m X R}{R + X} = \sigma \frac{S}{l} \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \frac{\Delta \delta}{\left(\frac{\epsilon \delta}{\epsilon_0 l} + 1 \right)^2} \frac{j\omega R}{1 + j\omega C R}. \quad (3.23)$$

$$C = C_0 + C_1.$$

Chương 4

BIẾN TỬ ĐIỆN TỪ

4.1 PHÂN LOẠI VÀ NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG



Hình 38. Một số loại biến tử điện từ điển hình

- a) Biến tử tự cảm.
- b) Biến tử hồ cảm.
- c) Biến tử cảm ứng.
- d) Biến tử từ giảo.

a) Biến tử tự cảm

Cấu trúc biến tử có một lõi từ động (2) và phần lõi từ tĩnh (1). Trong mạch từ có cuộn dây ϖ vòng. Độ tự cảm là :

$$L = \frac{\varpi^2}{R_M} \quad (4.1)$$

$$R_M = R_{MCT} + R_\delta = R_{MCT} + \frac{2\delta}{\mu_0 S} \quad (4.2)$$

Trong đó, R_M : từ trở toàn phần.

R_{MCT} : từ trở của phần lõi sắt.

R_δ : từ trở của phần khe không khí.

δ : độ lớn của khe không khí.

$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Henry/m là hệ số từ thẩm khe không khí.

Nếu biến thiên R_M bằng cách đưa phần động dịch chuyển gần phần tĩnh (giảm δ) thì R_M giảm. Ngược lại thì R_M tăng. Hoặc quay phần động quanh trục so với phần tĩnh.

Ta cũng có thể thay đổi bằng cách đưa vật sắt từ 3 vào khe để giảm δ hoặc một vật liệu dẫn điện không phải sắt từ.

Vậy trong biến từ phần a) thì đại lượng vào tự nhiên là độ dịch chuyển của lõi, còn đại lượng ra là sự biến thiên tự cảm L của cuộn dây. Các loại biến từ như thế gọi là biến từ tự cảm.

b) Biến từ biến áp

Biến từ có hai cuộn dây ϖ_1, ϖ_2 . Khi thay đổi R_M thì hệ số hồ cảm giữa hai cuộn cũng biến thiên :

$$M = \frac{\varpi_1 \varpi_2}{R_M} \quad (4.3)$$

Thay đổi ϖ thì M thay đổi.

Biến từ biến đại lượng cần đo thành sự thay đổi của hồ cảm M . Vì vậy, biến từ này được gọi là biến từ biến áp hay biến từ hồ cảm.

Vậy biến từ biến áp khác biến từ tự cảm là có thêm một cuộn dây, nên cách tính hai biến từ này là như nhau.

c) Biến từ cảm ứng

Biến từ có cuộn dây ϖ_2 đặt trong không khí. Còn ϖ_1 được nuôi bởi một nguồn dòng không đổi. Khi ϖ_2 đứng yên, trong cuộn dây đó không có một suất điện động cảm ứng nào. Nhưng khi ϖ_2 dịch chuyển thì trong nó xuất hiện một suất điện động cảm ứng :

$$e = -\varpi_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (4.4)$$

Vậy đại lượng vào tự nhiên là tốc độ của sự dịch chuyển, còn đại lượng ra là suất điện động e .

d) Biến từ từ giả

Biến từ này không có khe từ. Nếu tác dụng vào lõi sắt từ một lực nén, kéo hay xoắn thì hằng số μ thay đổi, dẫn đến từ trở R_{MCT} của lõi sắt cũng thay đổi.

$$R_{MCT} = \frac{l_c}{S_c \mu} \quad (4.5)$$

Trong đó, l_c : chiều dài lõi sắt.

S_c : tiết diện lõi sắt.

Đại lượng vào tự nhiên là sự biến dạng của lõi sắt từ, đại lượng ra là độ biến thiên L hay là $e_{tự cảm}$ gây ra do sự thay đổi từ trở :

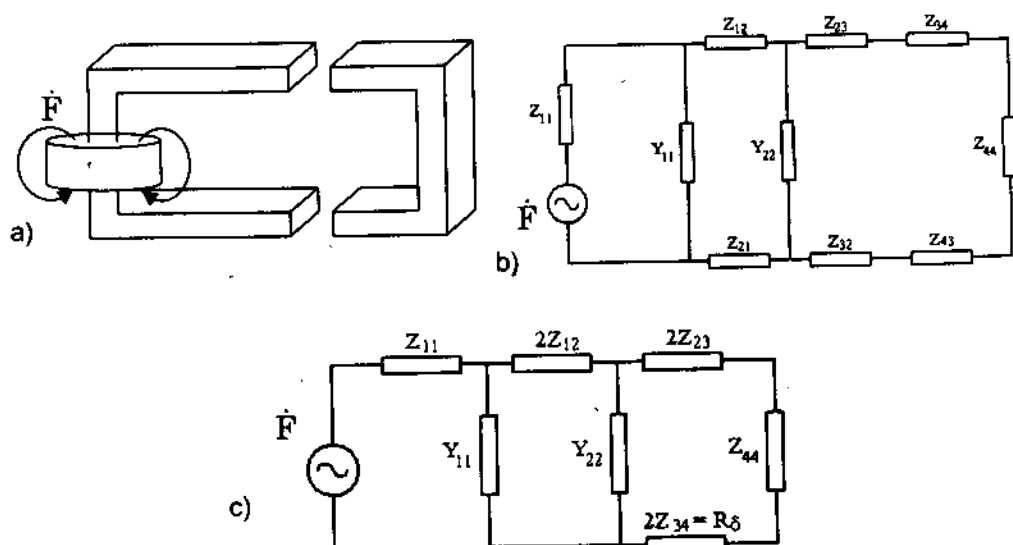
$$e_{tự cảm} = f(F),$$

$$\text{hay } L = f(F).$$

4.2 CÁC PHÉP TÍNH CƠ BẢN CỦA BIẾN TỬ ĐIỆN TỬ

4.2.1 Sơ đồ tương đương của mạch từ

Các phép tính quy về tính R_M tức là tính toán mạch từ, sau đó sẽ tính các thông số điện (L , M , e).



Hình 39. Sơ đồ tương đương của mạch từ

$$\frac{\dot{F}}{Z_M} = \dot{\phi}.$$

Sức điện động $\dot{F} = \omega \dot{I}$.

Trong đó, $\dot{I}$ là nguồn dòng.

Xét mạch từ như hình 39a, sơ đồ tương đương như hình 39b.

Các từ trở phức $Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{23}, Z_{32}, Z_{44}$ là các từ trở phức của các đoạn mạch của mạch từ.

Z_{34}, Z_{43} là các từ trở biến đổi của khe từ.

Y_{11}, Y_{22} là các đoạn mạch rẽ tương đương ứng với các từ thông dò trong không khí.

Nếu coi $Z_{12} = Z_{21}, Z_{23} = Z_{32}, Z_{34} = Z_{43}$ ta sẽ có sơ đồ tương đương như hình 39c.

4.2.2 Cách tính trở phức của mạch từ

Khi làm việc, lõi từ của biến tử nằm trong một từ trường biến đổi, do đó, một phần công suất bị tiêu hao vì từ trễ và dòng Fucô. Vì thế từ thông biến đổi bị chậm pha so với sức từ động F . Chính vì vậy mà từ trở của mạch từ phải coi là phức :

$$\dot{Z}_M = \frac{\dot{F}}{\dot{\phi}} = R_M + jX_M. \quad (4.6)$$

$$\dot{Y}_M = \frac{\dot{\phi}}{\dot{F}} = g_M + jb_M. \quad (4.7)$$

Trong đó, R_M, g_M : các thành phần hoạt của từ trở và từ dẫn.

X_M, b_M : các thành phần kháng.

Biểu thức điện trở phức của cả cuộn dây của biến tử là :

$$\dot{Z} = \dot{R} + j\omega L. \quad (4.8)$$

Để thống nhất đưa các thông số về dạng phức, ta đưa ra các khái niệm từ cảm phức $\dot{L}$:

$$\dot{L} = \frac{\dot{\psi}}{\dot{I}} = \frac{\omega \dot{\phi}}{\dot{I}} = \frac{\omega^2 \dot{I}}{Z_M \dot{I}} = \frac{\omega^2}{Z_M}. \quad (4.9)$$

$$(\forall \dot{F} = \omega \dot{I}, \dot{\phi} = \frac{\dot{F}}{Z_M}).$$

Thay $\dot{L}$ vào $\dot{Z}$:

$$\dot{Z} = R + j\omega\dot{L} = R + j\omega \frac{\omega^2}{Z_M} = R + j\omega \frac{\omega^2}{R_M + jX_M} \quad (4.10a)$$

$$\rightarrow \dot{Z} = R + \frac{\omega\omega^2 X_M}{|\dot{Z}_M|^2} + j \frac{\omega\omega^2 R_M}{|\dot{Z}_M|^2} \quad (4.10)$$

Tổng trở $\dot{Z}$ ở (4.10) gồm ba phần :

- Số hạng thứ nhất : trở hoạt tiêu hao nhiệt.
- Số hạng thứ hai : trở của cuộn dây gây ra tiêu hao về từ trễ, dòng xoáy.
- Số hạng thứ ba : phần kháng đặc trưng cho tiêu tán công suất ra môi trường (công suất ảo).

Ở trên, $|\dot{Z}_M|^2 = R_M^2 + X_M^2$ là bình phương môđun của từ trở phức.

Gần đúng : Nếu bỏ qua hiệu ứng da để tính R_M, X_M :

$$R_M = \sum_i \frac{l_i}{\mu_i S_i} + \frac{\delta}{\mu_0 S} \quad (4.11)$$

Trong đó, l_i, S_i, μ_i : chiều dài, tiết diện, độ từ thẩm của đoạn thứ i của mạch.

δ, S, μ_0 : chiều dài, tiết diện và độ từ thẩm của khe không khí.

$$X_M = \frac{P_{CT}}{\omega\phi^2} \quad (4.12)$$

Trong đó, ϕ : giá trị hiệu dụng của từ thông.

P_{CT} : công suất tiêu hao vì từ trễ trong lõi sắt và vì dòng xoáy.

$$P_{CT} = P_{CT((10))} \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^\beta \left(\frac{B_m}{1}\right) \cdot G \quad (4.13)$$

Trong đó, $P_{CT((10))}$: công suất tiêu tán của 1kg sắt từ khi đặt trong cuộn dây có dòng điện $f = 50\text{Hz}$ đi qua và tạo ra được cảm ứng từ $B = 1 \text{ Tesla} = 10.000\text{Gauss}$.

G : khối lượng của lõi sắt, f là tần số.

$\beta = 1,2 \div 1,6$ tùy theo trường mạnh hay yếu.

Chú ý :

Khi lõi từ là một khối đặc thì không thể bỏ qua hiệu ứng da (skin). Khi chú ý đến hiệu ứng này, ta tính được bề dày của lớp da :

$$Z_{0,05} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_{td} \gamma}} \quad (4.14)$$

Trong đó, $Z_{0,05}$: chiều dày ở đó cường độ sóng chỉ còn 5%.

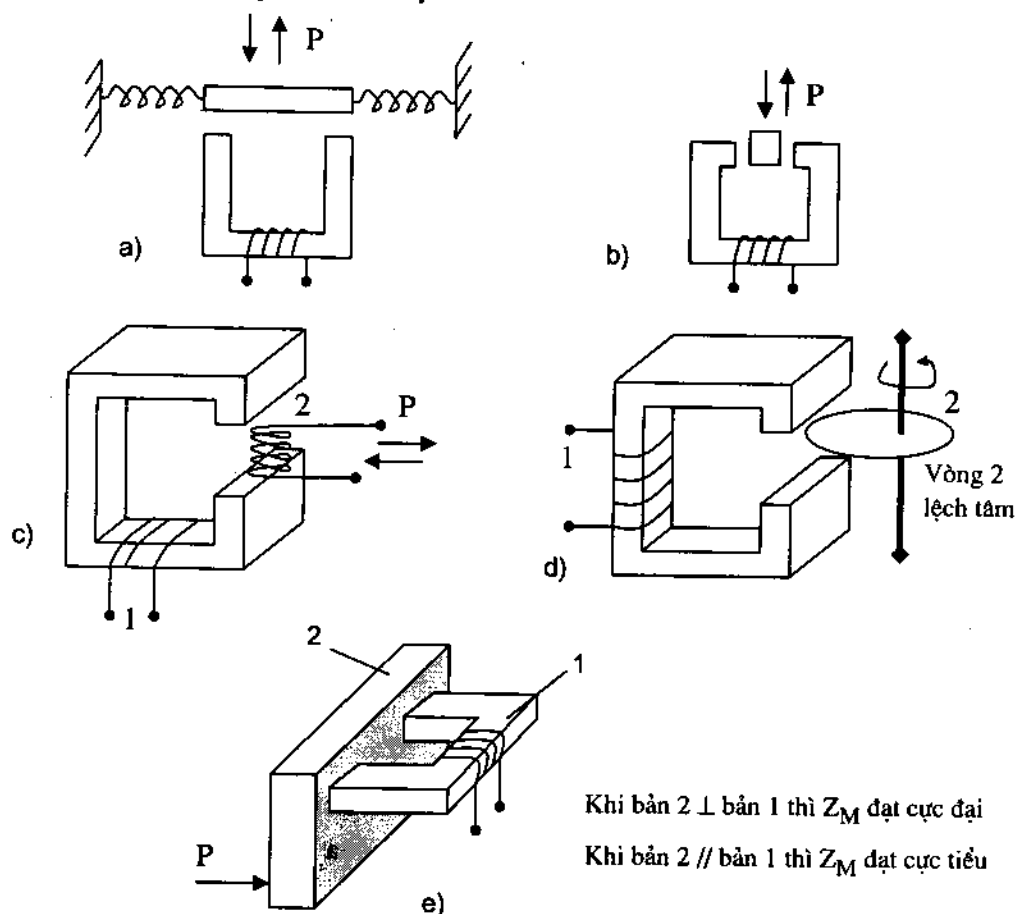
ω : tần số nguồn cung cấp.

μ_{td} : hằng số từ môi tương đương.

$\gamma = 1/\rho$ là dẫn điện suất của vật liệu.

4.3 BIẾN TỬ TỰ CẢM

4.3.1 Các loại biến tử tự cảm



Hình 40. Các loại biến tử tự cảm

– Hình 40a, b là biến từ tự cảm thông dụng nhất dùng để đo các đại lượng cơ học P (áp lực, áp suất, độ dịch chuyển).

Do tác dụng của P nên khoảng cách khe từ thay đổi, làm cho từ trở Z_M cũng thay đổi : $Z_M = f(P)$. Vì vậy, tổng trở Z cũng là một hàm của P.

– Hình 40c, d : cuộn 2 đưa vào khe làm thay đổi từ trở của mạch.

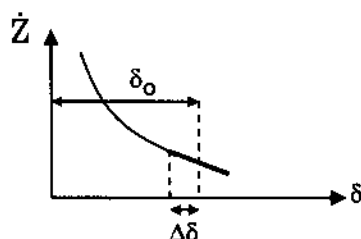
– Hình 40e : bản 2 gồm nhiều lá sắt ghép lại. Khi lá sắt từ bản 2 song song với lõi 1 thì $Z_{M \min}$. Còn khi lá sắt bản 2 vuông góc với lá sắt lõi 1 thì $Z_{M \max}$.

4.3.2 Mạch đo với biến từ tự cảm

Theo trên và công thức 4.10a), tổng trở của cuộn dây có dạng :

$$\dot{Z} = R + j\omega \frac{\omega^2}{\dot{Z}_{MCT} + \frac{\delta}{\mu_0 S}}. \quad (4.15)$$

Nghĩa là Z phụ thuộc vào δ theo hàm hypebol. Muốn độ phi tuyến nhỏ, ta phải chọn một đoạn ngắn, gần thẳng quanh giá trị δ_0 ; δ_0 là độ lớn của khe không khí ở vị trí ban đầu.

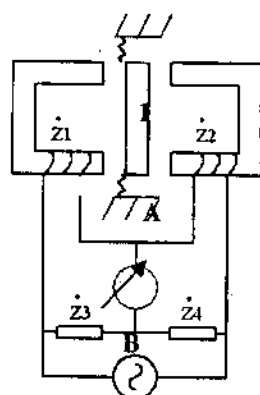


Hình 41. Biến thiên của tổng trở $\dot{Z}$ theo độ lớn khe không khí δ

Độ biến đổi của δ trong phạm vi tuyến tính là $\Delta\delta = 0,1\delta_0 + 0,15\delta_0$. Muốn tăng độ tuyến tính ta dùng biến từ vi sai như trên hình 42.

– Khi $P = 0$, lõi 1 ở vị trí đối xứng với hai cuộn dây (hay hai lõi sắt), từ trở đối xứng, từ thông trong hai nhánh là bằng nhau. Lúc này, tổng trở $\dot{Z}_1$ bằng tổng trở $\dot{Z}_2$ của hai cuộn dây.

– Khi $P \neq 0$, sự biến đổi từ trở, từ thông ở hai nhánh là ngược nhau. Nếu $\dot{Z}_1$ tăng thì $\dot{Z}_2$ giảm và ngược lại. Mạch cầu sẽ mất cân bằng và làm xuất hiện dòng điện trên chéo AB của cầu.



Hình 42. Biến tử tự cảm vi sai

Ta đã biết, điều kiện cầu cân bằng là :

$$\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_4}, \text{ hay :}$$

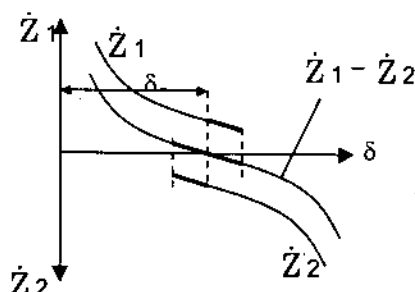
$$\dot{Z}_1 \dot{Z}_4 - \dot{Z}_2 \dot{Z}_3 = 0 \quad (4.16)$$

Khi $P \neq 0$ thì $\dot{Z}_1 \dot{Z}_4 - \dot{Z}_2 \dot{Z}_3 \neq 0$ làm cho trên đường chéo của mạch cầu xuất hiện dòng $\dot{I}_{yk}$:

$$\dot{I}_{yk} = k(\dot{Z}_1 \dot{Z}_4 - \dot{Z}_2 \dot{Z}_3). \quad (4.17)$$

Nếu chọn $\dot{Z}_3 = \dot{Z}_4$ thì :

$$\dot{I}_{yk} = k_1(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2). \quad (4.18)$$



Hình 43. Sự phụ thuộc $\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2 = f(\delta)$

Hình 43 là đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc $\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2 = f(\delta)$. Theo hình vẽ ta thấy, nếu cùng một độ phi tuyến như ở biến tử đơn thì với biến tử vi sai, khoảng biến đổi của δ là $\Delta\delta$ có thể lớn hơn 3 lần.

Khi này, $\Delta\delta = 0,3\delta_0 \div 0,4\delta_0$.

Vì vậy, trong thực tế người ta chỉ dùng biến tử vi sai.

Ưu điểm của biến tử tự cảm là có khả năng cho công suất lớn tới 1 ÷ 1,5W. Tuy nhiên, người ta vẫn cho qua bộ khuếch đại trước khi đo.

4.3.3 Sai số trong phép đo

Sai số cơ bản của biến tử tự cảm là thăng giáng của hiệu điện thế U và tần số của nguồn nuôi, thăng giáng nhiệt độ gây sai số cho mạch cầu.

Nếu biến tử vi sai hoàn toàn đối xứng thì những ảnh hưởng trên không tác động. Nhưng thực tế không có sự đối xứng lý tưởng.

Vì từ trở của lõi sắt có tính phi tuyến lớn, cho nên thông số của biến tử phụ thuộc nhiều vào hiệu điện thế và tần số của nguồn nuôi.

Biến tử làm việc với mạch cầu cân bằng thường được dùng trong chế độ μ cực đại. Vì trong chế độ này, thăng giáng nguồn nuôi ít ảnh hưởng tới các thông số của biến tử.

Muốn giảm sai số gây ra do các yếu tố ngoài ta phải tăng độ nhạy tương đối của biến tử : tăng tỉ số $\Delta\delta/\delta$.

Ta hãy so sánh pha của thế lấy ra với sự biến thiên của R_δ .

Ta đã biết độ dẫn của biến tử là :

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{\dot{Z}} \approx \frac{\dot{Z}_m}{j\omega\omega^2} = \frac{1}{j\omega\omega^2} (R_{MCT} + R_\delta + jX_M). \quad (4.19)$$

Độ biến đổi của γ là :

$$\Delta\gamma = \frac{1}{j\omega\omega^2} \Delta R_\delta. \quad (4.20)$$

Dòng điện I_{yk} trong mạch chỉ thị tỉ lệ với ΔR_δ . Thật vậy :

$$I_{yk} = k_1(Z_1 - Z_2) = k_1 \left(\frac{1}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_2} \right) = k_1 \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_1\gamma_2}$$

$$I_{yk} = \frac{k_1}{\gamma_1\gamma_2} \Delta\gamma. \quad (4.21)$$

Ta thấy I_{yk} đồng pha với $\Delta\gamma$, chậm pha $\pi/2$ với ΔR_δ .

Nếu trên mạch chéo cầu ta mắc biến thế thì thứ cấp biến thế sẽ mắc vào bộ khuếch đại. Nếu điện trở vào bộ khuếch đại là rất lớn thì xem biến thế như chạy không tải. Do đó, U_2 của thứ cấp biến thế là :

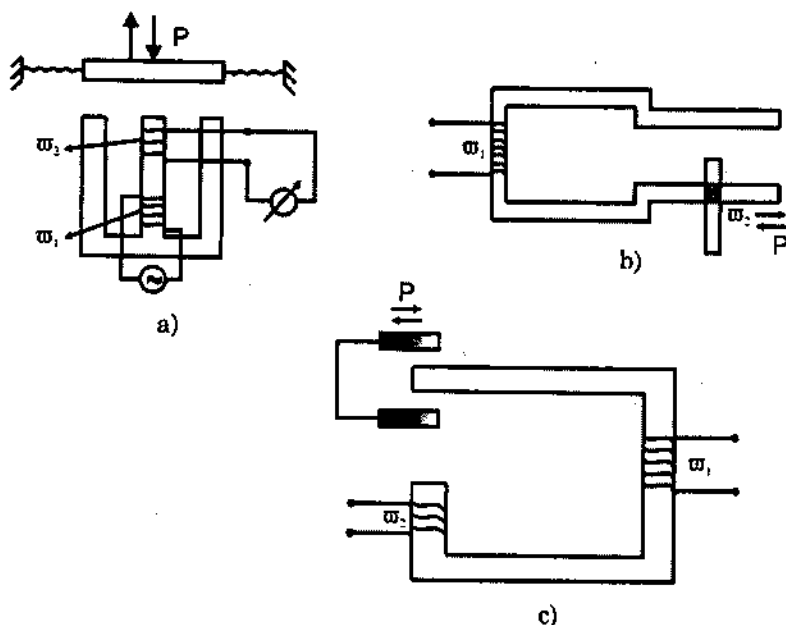
$$U_2 = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(LI_{yk})}{dt}$$

$$U_2 = -j\omega LI_{yk}. \quad (4.22)$$

Vậy U_2 chậm pha hơn $\pi/2$ so với I_{yk} , tức là U_2 chậm pha π so với ΔR_δ . U_2 chính là điện áp đưa vào bộ khuếch đại.

4.4 BIẾN TỬ BIẾN ÁP

Hình 44 vẽ một vài biến tử biến áp thông dụng.



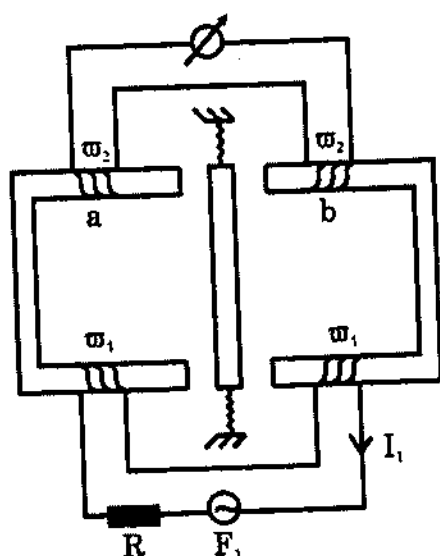
Hình 44. Một số loại biến tử biến áp thông dụng

Hình 44a) và 44c) : Cuộn 1 được nuôi bằng nguồn xoay chiều. Nếu biên độ của I_1 giữ không đổi thì sức từ động và do đó sức điện động cảm ứng trong cuộn 2 chỉ là một hàm số của khe hở δ , tức là của P :

$$E_2 = -\omega \varpi_2 \phi = -\omega \varpi_2 \frac{F}{Z_m} = -\omega \varpi_1 \varpi_2 \frac{I_1}{Z_m} = f(P). \quad (4.23)$$

Hình 44b) : dưới tác dụng của đại lượng cần đo x, cuộn 2 di chuyển (biến thiên khoảng cách giữa ϖ_1 và ϖ_2). Vậy khi ϖ_2 di chuyển thì sức điện động cảm ứng của ϖ_2 thay đổi theo.

Giống như biến từ tự cảm, biến từ biến áp cũng thường có cấu trúc vi sai để giảm các sai số do các yếu tố ngoài tác động và tăng độ nhạy của biến từ (hình 45).



Hình 45. Mạch đo vi sai của biến từ biến áp vi sai

$$E_2 = E_{2b} - E_{2a} = \omega \phi_a \varpi_2 - \omega \phi_b \varpi_2$$

$$= \omega \varpi_2 \left(\frac{F_1}{Z_{ma}} - \frac{F_1}{Z_{mb}} \right)$$

$$E_2 = \frac{\omega \varpi_2 F_1}{Z_{ma} Z_{mb}} (Z_{mb} - Z_{ma}) = \frac{\omega \varpi_1 \varpi_2 I_1}{Z_{ma} - Z_{mb}}. \quad (4.24)$$

Theo trên, mạch đo của biến từ phải đảm bảo có dòng I_{01} không đổi để có được sức từ động F_1 không đổi. Muốn vậy, ta phải mắc nối tiếp với nguồn xoay chiều một điện trở R rất lớn hơn cảm kháng ωL_1 của cuộn 1.

4.5 BIẾN TỬ CẢM ỨNG

4.5.1 Tính chất và phân loại

Đại lượng vào tự nhiên là tốc độ của dịch chuyển cơ học. Vậy biến tử cảm ứng là dụng cụ để đo tốc độ dài và tốc độ góc.

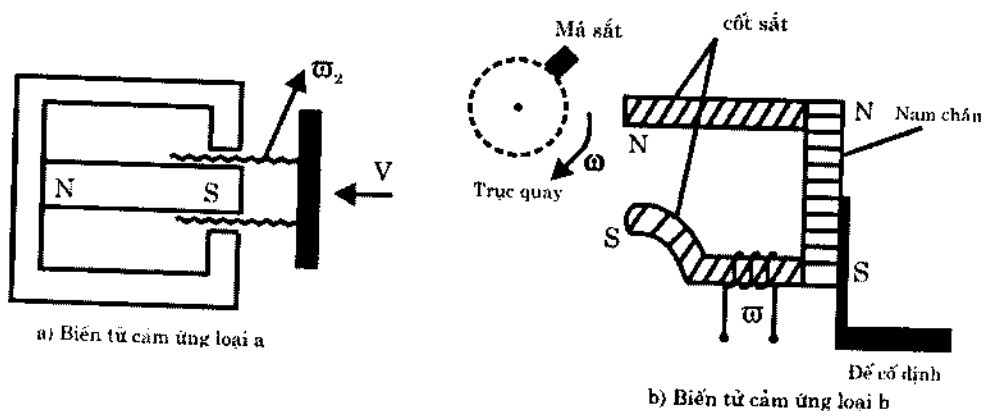
Ví dụ :

Dùng để đo tốc độ quay của một trục máy, đo độ rung, đo các tham số của các chuyển động có gia tốc. Muốn cho giá trị số đo của dụng cụ đo dùng biến tử cảm ứng được tuyến tính, thì trong bộ khuếch đại mạch đo phải có bộ vi phân hay tích phân (cũng có thể để mạch vi hay tích phân ngay trong mạch đo).

Vì vậy, khi dùng biến tử cảm ứng để đo gia tốc thì ta cần một mạch vi phân lắp trong mạch đo hay trong bộ khuếch đại.

Biến tử cảm ứng được chia làm hai loại :

- Nam châm vĩnh cửu đứng yên, cuộn dây chạy trong khe từ.
- Cả nam châm và cuộn dây đứng yên, lõi sắt non dịch chuyển làm thay đổi từ trở của khe từ.



(Đo tốc độ dịch chuyển của cuộn ω_2)

(Đo tốc độ quay ω của trục quay có gắn má sắt từ)

Hình 46. Hai loại biến tử cảm ứng

4.5.2 Các phép tính cơ bản với biến tử cảm ứng

a) Biến tử loại a

Giống như loa điện động, phép tính sức điện động cảm ứng dựa theo công thức thông thường vì nam châm đứng yên, tạo ra từ thông không đổi, còn cuộn dây chuyển động. Cho nên :

$$E_2 = -\omega_2 \frac{d\phi}{dt}. \quad (4.25)$$

b) Biến tử loại b

Từ thông thay đổi là do từ trở thay đổi khi má sắt chuyển động. Giả sử độ biến đổi cực đại của từ thông ϕ là $\Delta\phi$, ta có :

$$\Delta\phi = \frac{F}{R_M} - \frac{F}{R_M + \Delta R}. \quad (4.26)$$

Biên độ và giá trị hiệu dụng của từ thông biến đổi là :

$$\begin{aligned} \phi_m &= \frac{\Delta\phi}{2}; \phi_{hd} = \frac{\Delta\phi}{2\sqrt{2}}. \\ E &= -\omega\omega_2\phi_{hd} = -\frac{\omega\omega_2 F}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{R_M} - \frac{1}{R_M + \Delta R_M} \right) \\ &= \frac{\omega\omega_1\omega_2 I_1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{R_M} - \frac{1}{R_M + \Delta R_M} \right). \end{aligned} \quad (4.27)$$

Trong đó, I_1 : nguồn một chiều không đổi tạo ra nam châm điện có từ thông không đổi.

ω_1 : số vòng dây có dòng I_1 đi qua.

ω_2 : số vòng dây cuộn thứ cấp đưa ra mạch đo.

Thông thường, biến tử cảm ứng dùng nam châm điện để có độ nhạy lớn. Muốn tăng độ nhạy, người ta còn phải cải tiến theo phương pháp sau :

1. Tăng số vòng dây ω_2 cho tới khi điện trở của nó đạt giá trị tối ưu ($R = R$ bộ chỉ thị)

2. Khi tăng số vòng ω_2 thì kích thước cuộn dây lớn, do đó khe từ phải làm rộng. Điều này lại làm cho từ trường trong khe giảm đi và dẫn tới độ nhạy giảm. Nên chọn ω_2 tối ưu.

3. Nên tránh phản ứng của dòng cảm ứng trong cuộn ϖ_2 (từ thông gây ra bởi dòng này phải rất nhỏ so với từ thông chính).

4.6 BIẾN TỬ TỪ GIẢO

4.6.1 Khái niệm

a) Hiện tượng từ giảo

Là hiện tượng thay đổi hệ số từ thẩm μ của vật sắt từ khi trong vật sắt từ có các lực căng cơ học (ứng suất $\sigma = \frac{P}{S}$) gây ra do ngoại lực tác động vào vật đó.

Khi P biến thiên, σ sẽ biến thiên, dẫn đến μ , R_M , và Z cũng biến thiên.

b) Hiện tượng từ cơ

Là hiện tượng ngược với từ giảo : Vật sắt từ đặt trong từ trường ngoài thì dưới tác dụng của trường này, vật sắt từ bị biến dạng. Để đặc trưng cho hiện tượng từ cơ người ta dùng đại lượng :

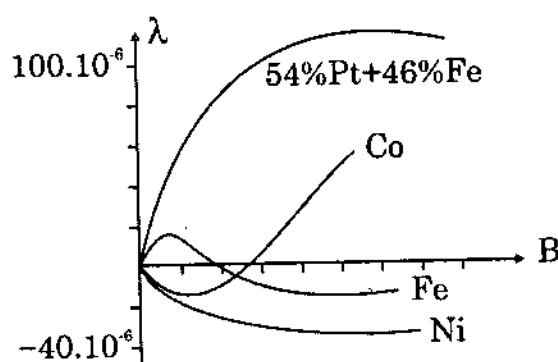
$$\frac{\Delta l}{l} = \lambda,$$

gọi là độ biến đổi tương đối chiều dài của vật sắt từ dưới tác dụng của từ trường.

Chú ý :

- Hiện tượng từ giảo và từ cơ nói chung là không đơn trị.
- Một số vật sắt từ có hiệu ứng từ cơ dương, tức là kích thước của nó tăng theo chiều tăng của từ trường.
- Một số khác có hiệu ứng từ cơ âm : tức là vật thể giảm kích thước theo chiều tăng của từ trường.
- Độ lớn của λ và dấu của nó phụ thuộc vào vật liệu của mạch từ, vào quá trình luyện nhiệt, vào nhiệt độ và cường độ từ trường.

Sự phụ thuộc của $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$ vào từ trường từ hóa được miêu tả trên hình 47



Hình 47. Sự phụ thuộc của λ vào từ trường từ hóa

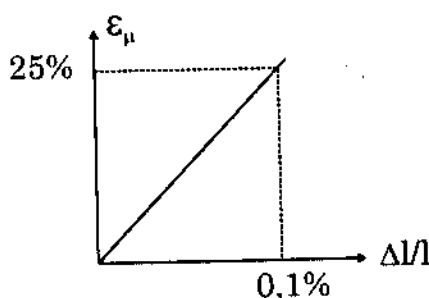
Ta thấy hiện tượng từ giảo là sự biến thiên μ dưới tác động của sức căng cơ học. Ngoài ra ta thấy μ không đơn trị. Nghĩa là : Một vật liệu từ dưới tác dụng của sức căng cơ học bên ngoài, hằng số từ môi tăng khi từ trường nhỏ, còn ở từ trường lớn thì μ sẽ giảm khi sức căng cơ học tăng.

Nếu ta chọn từ trường tác động một cách thích hợp thì có thể được một đoạn tuyến tính.

Ví dụ, sự phụ thuộc của $\varepsilon_\mu = \frac{\Delta\mu}{\mu}$ vào $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$ từ 0 đến 0,1% được vẽ trên hình 48.

Độ nhạy tương đối của vật từ giảo có biểu thức :

$$k = \frac{\frac{\Delta\mu}{\mu}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{\varepsilon_\mu}{\varepsilon_l} \quad (4.28)$$



Đối với biến từ từ giảo, đại lượng vào tự nhiên là lực tác động, cho nên người ta thường dùng biểu thức của độ nhạy như sau :

Hình 48. Sự phụ thuộc của ε_μ vào λ

$$S_M = \frac{\frac{\Delta\mu}{\mu}}{\sigma} \quad (4.29)$$

Trong đó, $\sigma = \frac{P}{S}$ là ứng suất.

4.6.2 Hệ thức lý thuyết cơ bản

Ta hãy tìm mối liên hệ giữa σ với μ và λ .

Để tính toán, ta dựa vào định luật bảo toàn năng lượng :

– Giả sử khi chưa có lực $\vec{P}$ tác động, trong từ trường từ hóa $\vec{H}$ có cảm ứng từ $\vec{B}$.

– Khi có lực tác động $\vec{P}$, cũng ở trong từ trường từ hóa $\vec{H}$ thì cảm ứng từ có giá trị $\vec{B}_P$.

Các hằng số từ môi tương ứng là :

$$\mu = \frac{B}{H} : \text{khi không có lực tác động } (\vec{P} = 0),$$

và
$$\mu_P = \frac{B_P}{H} : \text{khi có lực } \vec{P} \text{ tác động.}$$

Gọi năng lượng của ngoại lực cung cấp cho vật thể khi biến dạng là :

$$W_P = \Delta l \cdot P. \quad (4.30)$$

Khi đó, mật độ năng lượng là :

$$W_\sigma = \frac{W_P}{V} = \frac{\Delta l \cdot P}{V} = \frac{\Delta l \cdot P}{l \cdot S}.$$

Do
$$\lambda = \frac{\Delta l}{l} \text{ và } \sigma = \frac{P}{S} \text{ nên } W_\sigma = \lambda \cdot \sigma. \quad (4.31)$$

W_σ chính là mật độ năng lượng ngoại lực cung cấp để hằng số từ môi tăng từ μ đến $\mu + \Delta\mu$.

Mặt khác, mật độ năng lượng từ trường là :

$$W_M = \frac{BH}{2} = \frac{\mu H^2}{2}. \quad (4.32)$$

Sự tăng hằng số từ môi từ μ đến $\mu + \Delta\mu$ tương ứng với sự tăng mật độ năng lượng từ là :

$$\Delta W_M = W_{B_P} - W_B = \frac{H^2(\mu + \Delta\mu)}{2} - \frac{H^2\mu}{2} = \frac{H^2\Delta\mu}{2} = \frac{B^2\Delta\mu}{2\mu^2}. \quad (4.33)$$

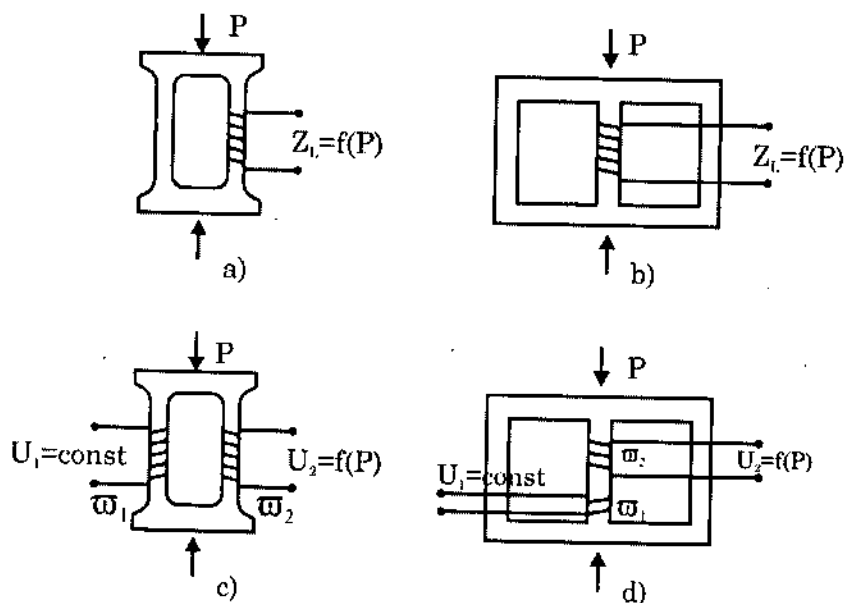
Theo định luật bảo toàn năng lượng thì $W_\sigma = \Delta W_M$ nên :

$$\frac{B^2\Delta\mu}{2\mu^2} = \lambda\sigma,$$

hoặc dạng sau :

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\lambda}{B^2} 2\mu\sigma. \quad (4.34)$$

4.6.3 Các loại biến tử từ giảo



Hình 49. Các loại biến tử từ giảo

Hình 49a, b) : Hoạt động như một cảm kháng biến đổi.

Hình 49c, d) : Hoạt động như biến thế nhưng có hệ số hở cảm M thay đổi.

– Biến tử từ giảo có thể hoạt động như một cảm kháng biến đổi (Z_L biến thiên). Độ lớn của cảm kháng phụ thuộc vào ngoại lực tác động lên biến tử (hình 49a, b).

– Biến tử từ giảo có thể hoạt động như một biến thế mà hệ số hở cảm của cuộn dây thay đổi (hình 49c, d).

Hình 49 trên là các loại biến tử từ giảo dùng để đo các lực tác động lớn (vài chục ngàn Newton), biến tử loại này thường có lõi là một khối đặc.

Mỗi biến tử từ giảo có một tần số cộng hưởng nhất định. Tần số này phụ thuộc vào dạng và kích thước của lõi sắt từ. Khi được nuôi bằng một dòng điện có tần số bằng tần số cộng hưởng của biến tử thì biến tử dao động cộng hưởng rất mạnh và phát ra sóng siêu âm.

Người ta đã sử dụng tính chất này để lắp các máy phát siêu âm.

Chương 5

CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ (BIẾN TỬ ĐO NHIỆT ĐỘ)

Trong các đại lượng vật lý, nhiệt độ là đại lượng được quan tâm nhiều nhất, bởi vì nhiệt độ có vai trò quyết định tới nhiều tính chất của vật chất.

Nhiệt độ làm thay đổi liên tục các đại lượng khác như áp suất, thể tích, độ dẫn... Nhiệt độ tác động làm thay đổi pha hay điểm Curie của các vật liệu từ...

Bởi vậy, trong nghiên cứu khoa học và sản xuất, việc đo nhiệt độ là điều hết sức cần thiết.

Tuy nhiên, để đo nhiệt độ một cách chính xác thì không đơn giản. Có nhiều phương pháp đo nhiệt độ khác nhau, cụ thể là :

- Phương pháp quang dựa trên bức xạ nhiệt do dao động nhiệt gây ra (hiệu ứng Doppler).

- Phương pháp dựa trên sự giãn nở của vật rắn, của chất lỏng hoặc khí (với áp suất không đổi), hoặc dựa trên tốc độ âm.

- Phương pháp dựa trên sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ, hoặc dựa trên sự thay đổi tần số của dao động thạch anh.

5.1 THANG NHIỆT ĐỘ

Người ta xuất phát từ các định luật nhiệt động học để định ra thang nhiệt độ.

Thang nhiệt độ tuyệt đối dựa trên các tính chất của khí lý tưởng. Định luật Carnot nêu ra :

Hiệu suất η của một động cơ nhiệt thuận nghịch hoạt động giữa hai nguồn có nhiệt độ θ_1 và θ_2 trong một thang đo bất kỳ chỉ phụ thuộc vào θ_1 và θ_2 .

$$\eta = \frac{F(\theta_1)}{F(\theta_2)} \quad (5.1)$$

Dạng của hàm F phụ thuộc vào thang đo nhiệt độ. Ngược lại, việc lựa chọn hàm F sẽ quyết định thang đo nhiệt độ.

Đặt $F(\theta) = T$ thì T được xác định như là nhiệt độ nhiệt động học tuyệt đối và khi đó :

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (5.2)$$

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

Mặt khác chất khí lý tưởng được xác định bởi :

– Phương trình liên hệ ba đại lượng :

$$P.V = G(\theta). \quad (5.3)$$

$$G(\theta) = RT. \quad (5.4)$$

Trong đó, R là hằng số khí lý tưởng.

a) *Thang nhiệt độ nhiệt động học tuyệt đối (K)*

Gọi là thang nhiệt độ Kelvin, đơn vị là K. Trong thang này, người ta gán cho nhiệt độ của điểm cân bằng của hai trạng thái nước – nước đá – một giá trị bằng 273,15K.

Từ thang Kelvin, người ta xác định các thang khác như thang Celsius, thang Fahrenheit bằng cách chuyển dịch các giá trị nhiệt độ

b) *Thang Celsius (°C)*

Ở thang này, đơn vị nhiệt độ là °C. Một độ Celsius bằng một độ Kelvin, được xác định :

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15. \quad (5.5)$$

c) *Thang Fahrenheit (°F)*

$$T(^{\circ}\text{C}) = \{T(^{\circ}\text{F}) - 32\} \frac{5}{9} \quad (5.6)$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (5.7)$$

Bảng dưới đây ghi một số nhiệt độ của các thang nhiệt độ khác nhau của một số trạng thái vật.

Bảng 3.

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

5.2 BIẾN TỬ NHIỆT ĐIỆN TRỞ

Dựa vào hiệu ứng giá trị của R phụ thuộc vào nhiệt độ. Trong trường hợp tổng quát :

$$R(T) = R_0 \cdot f(T - T_0). \quad (5.8)$$

Trong đó, R_0 là điện trở tại T_0 .

f là một hàm đặc trưng cho vật liệu :

$$f(T - T_0) = 1 \text{ khi } T = T_0.$$

Với kim loại có :

$$R(T) = R_0(1 + aT + bT^2 + cT^3). \quad (5.9)$$

Trong đó, T : đo bằng độ celsius ($^{\circ}\text{C}$).

$$T_0 = 0^{\circ}\text{C} \text{ ứng với } R_0.$$

Với hỗn hợp oxít bán dẫn :

$$R(T) = R_0 \exp \left[b \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]. \quad (5.10)$$

Trong đó, T : nhiệt độ tuyệt đối kelvin (K).

Ở trên, các hệ số a, b, c được xác định chính xác bằng cách đo những nhiệt độ đã biết trước. Khi đã biết a, b, c thì từ giá trị R người ta xác định được nhiệt độ cần đo.

Khi độ biến thiên nhiệt độ ΔT là nhỏ thì có thể bỏ qua số hạng bậc 2, 3 và xem là hàm tuyến tính :

$$R(T + \Delta T) = R(T) \cdot [1 + \alpha_R \cdot \Delta T]. \quad (5.11)$$

$$\text{Trong đó, } \alpha_R = \frac{1}{R(T)} \frac{dR}{dT}. \quad (5.12)$$

α_R : hệ số nhiệt của điện trở tại nhiệt độ T .

α_R phụ thuộc vào vật liệu và nhiệt độ.

Ví dụ :

Platin có $\alpha_R(^{\circ}\text{C}) = 3,9 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

Một số khác có $\alpha_R(^{\circ}\text{C}) = 5,2 \cdot 10^{-2}/^{\circ}\text{C}$.

Chất lượng của vật liệu xác định giá trị nhỏ nhất có thể đo được $\left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min}$,

do vậy nó cũng xác định sự thay đổi nhỏ nhất của nhiệt độ mà còn có thể đo được $\Delta T_{\min}$:

$$\Delta T_{\min} = \frac{1}{\alpha_R} \left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min} \quad (5.13)$$

Ví dụ:

Nếu như $\left. \frac{\Delta R}{R_0} \right|_{\min} = 10^{-6}$ đối với các phép đo xung quanh 0°C thì:

$\Delta T_{\min} = 2,56 \cdot 10^{-4}^\circ\text{C}$ đối với platin.

$\Delta T_{\min} = 1,92 \cdot 10^{-5}^\circ\text{C}$ đối với vật liệu khác.

Với một dây điện trở chiều dài l , tiết diện S thì hệ số nhiệt điện trở được tính:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} + \frac{1}{l} \frac{dl}{dT} - \frac{1}{S} \frac{dS}{dT} \quad (5.14)$$

Vì $R = \rho \frac{l}{S}$, cả ba đại lượng ρ , l , S đều biến thiên theo T .

Số hạng thứ nhất là hệ số nhiệt độ của điện trở suất, ký hiệu α_ρ .

Số hạng thứ hai là hệ số nhiệt độ do co giãn của vật liệu, α_l .

Số hạng thứ ba bằng $2\alpha_l$.

Do đó, $\alpha_R = \alpha_\rho - \alpha_l$. (5.15)

Thông thường, vật liệu làm biến tử nhiệt điện trở có $\alpha_\rho \approx 10^{-3}/^\circ\text{C}$,
 $\alpha_l = 10^{-5}/^\circ\text{C}$.

Nên trên thực tế:

$$\alpha_R \approx \alpha_\rho \quad (5.16)$$

5.2.1 Nhiệt điện trở kim loại (thường gọi là điện trở kim loại)

Thường dùng Pt, Ni, Cu, Wonfram.

– Platin có độ tinh khiết rất cao (99,999%), do đó cho phép tăng độ chính xác của các tính chất điện của vật liệu. Ngoài ra Pt rất trơ về hoá tính,

ổn định trong cấu trúc tinh thể vì vậy tính dẫn điện của nó rất ổn định. Nó làm việc tốt trong một dải nhiệt độ khá rộng $T = -200^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$, nếu như có vỏ bảo vệ tốt.

– Ni có độ nhạy nhiệt độ cao hơn Pt (Với Ni thì $R(100^{\circ}\text{C}) = 1,617 R(0^{\circ}\text{C})$ còn với Platin thì $R(100^{\circ}\text{C}) = 1,385 R(0^{\circ}\text{C})$).

Tuy vậy, Ni có hoạt tính hoá học cao, dễ bị oxy hoá khi nhiệt độ làm việc tăng dẫn đến giảm sự ổn định và hạn chế dải nhiệt độ làm việc : thường $< 250^{\circ}\text{C}$.

– Cu có độ tuyến tính cao nhưng yếu điểm là có hoạt tính hoá học quá lớn : thường $< 180^{\circ}\text{C}$. Ngoài ra, do ρ nhỏ hơn nên có R lớn, phải tăng chiều dài l dẫn đến làm tăng kích thước của điện trở.

– Wofram có độ nhạy nhiệt độ cao hơn so với Pt khi $< 100\text{ K}$. Có độ tuyến tính tốt hơn Pt. Có thể hạn chế kích thước. Nhược điểm : độ ổn định nhỏ hơn Pt và chỉ làm việc ở dải nhiệt độ thấp, hoạt tính hoá học lớn.

5.2.2 Nhiệt điện trở bán dẫn (từ các oxyt bán dẫn đa tinh thể)

AgAl_2O_4 ; Mn_2O_3 ; Fe_3O_4 ; NiO .

Có độ nhạy nhiệt rất cao, khoảng lớn hơn 10 lần so với kim loại. Ngoài ra, hệ số nhiệt của nó có giá trị âm và phụ thuộc mạnh vào nhiệt độ.

Có ρ lớn nên có thể chế tạo được các cảm biến nhỏ, cho phép đo nhiệt độ ở từng điểm, đồng thời do nhiệt dung nhỏ nên tốc độ hồi đáp lớn. Ngoài ra độ ổn định của biến trở phụ thuộc vào việc chế tạo và điều kiện làm việc. Khi sử dụng cần tránh những thăng giáng nhiệt độ đột ngột.

Tùy từng loại được chế tạo mà dải làm việc của nó khác nhau : Có thể từ vài độ K cho đến 300°C . Có thể mở rộng dải nhiệt độ nhưng lưu ý là trị số của R giảm đáng kể khi làm việc ở nhiệt độ cao.

Độ dẫn của vật liệu bán dẫn

$$\sigma = q (\mu_n n + \mu_p p). \quad (5.17)$$

Trong đó, μ_n , μ_p : Độ linh động của electron, lỗ trống.

n : Mật độ điện tử.

p : Mật độ lỗ trống.

Trái với kim loại, ở bán dẫn nhiệt độ ảnh hưởng chủ yếu đến mật độ điện tích tự do (n , p). Sự thay đổi nhiệt độ (chẳng hạn khi nhiệt độ tăng) sẽ làm đứt mối liên kết giữa các nguyên tử và hình thành các cặp điện tử – lỗ trống.

Số cặp điện tử – lỗ trống được hình thành trong một đơn vị thời gian, trong một đơn vị thể tích là G :

$$G = AT^a \exp\left(-\frac{qE_i}{kT}\right). \quad (5.18)$$

Trong đó, T : Nhiệt độ tuyệt đối của bán dẫn.

K : Hệ số Boltzman.

E_i : Năng lượng cần thiết để tạo ra một cặp điện tử lỗ trống.

A , a : Hằng số đặc trưng cho vật liệu.

Đồng thời còn tồn tại quá trình tái hợp.

Số cặp điện tử – lỗ trống tái hợp là R thì :

$$R = r \cdot np. \quad (5.19)$$

Trong đó, r : hệ số tái hợp.

Ở trạng thái cân bằng thì $R = G$.

Nghĩa là :

$$n = \left[\frac{AT^a}{r} \right]^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{qE_i}{2KT}\right). \quad (5.20)$$

Từ đây suy ra độ dẫn σ :

$$\sigma = CT^b \exp\left(-\frac{\beta}{T}\right). \quad (5.21)$$

Trong đó, b , C : là các hằng số đặc trưng cho vật liệu.

$$b \approx 1 \div 4.$$

$$\beta = \frac{qE_i}{2K}. \quad (5.22)$$

E_i : Năng lượng liên kết.

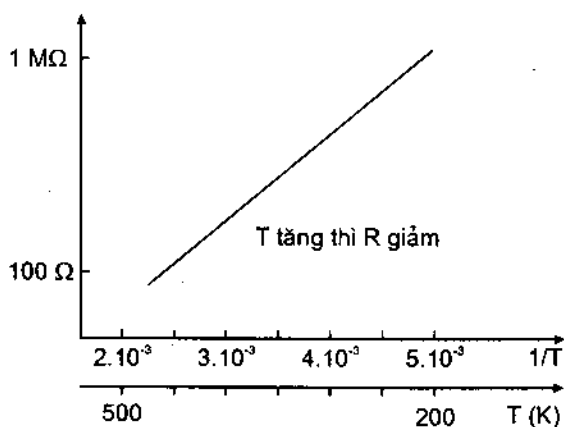
Điện trở của vật liệu bán dẫn

Viết lại :

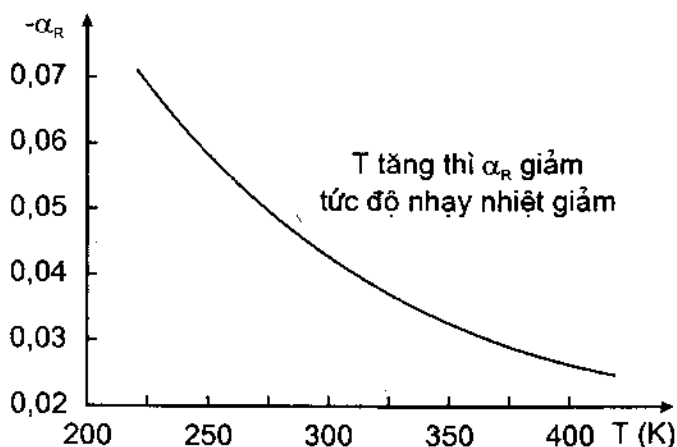
$$R(T) = R_0 \exp\left[b\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]. \quad (5.23)$$

Độ nhạy nhiệt $\alpha_R = -\frac{b}{T^2}$. Giá trị b nằm trong khoảng $3000 \div 5000$ K.

Ví dụ đặc trưng dưới đây là của 1 điện trở bán dẫn :



Hình 50. Đặc trưng điện trở của một điện trở bán dẫn



Hình 51. Đặc trưng độ nhạy nhiệt của vật liệu bán dẫn

5.3 CẶP NHIỆT ĐIỆN

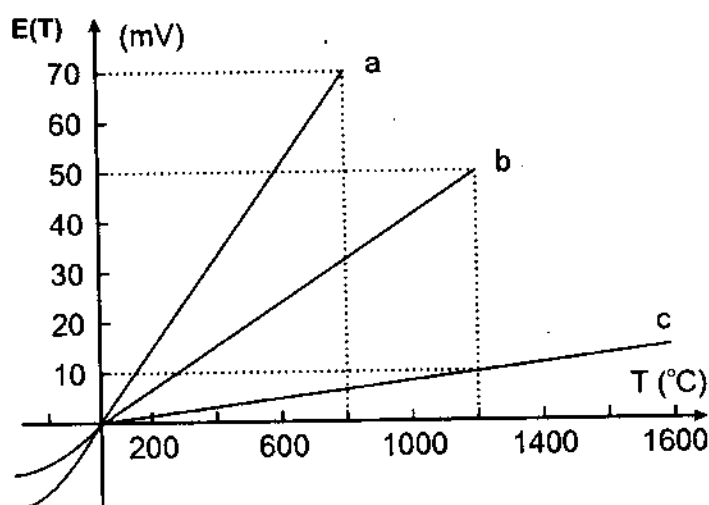
5.3.1 Khái niệm chung – Độ nhạy nhiệt

Cặp nhiệt điện có cấu tạo gồm hai dây dẫn có bản chất kim loại khác nhau A và B được nối với nhau bởi hai mối hàn có nhiệt độ là T_1 , T_2 . Suất điện động E của mạch kín phụ thuộc vào bản chất vật liệu A và B và vào nhiệt độ T_1 , T_2 .

Thông thường, nhiệt độ của một mối hàn được giữ không đổi và biết trước ($T_1 = T_{\text{chuẩn}}$). Nhiệt độ mối hàn T_2 được đặt trong môi trường cần đo nhiệt độ T_x ($T_2 = T_x$).

Ưu điểm của cặp nhiệt điện : Nhỏ nên người ta thường dùng để đo nhiệt độ tại từng điểm của đối tượng nghiên cứu. Tốc độ hồi đáp nhanh bởi vì nó nhỏ nên nhiệt dung nhỏ. Nó là loại biến từ phát (cung cấp suất điện động) do vậy không cần dòng I nguồn ngoài chạy qua $\rightarrow$ không có hiệu ứng đốt nóng $\rightarrow$ không phải khử hiệu ứng tạo ra sai số này.

Nhược điểm : Phải biết trước và giữ ổn định nhiệt độ chuẩn ($T_1 = T_{SS}$), do vậy sai số hoặc có sự thăng giáng của T_{SS} cũng chính là tạo ra sai số của T_x .



Hình 52. $E(T)$ của một số loại cặp nhiệt điện

Suất điện động của cặp nhiệt điện nói chung là một hàm không tuyến tính (Hình vẽ 52). Mỗi loại cặp có một bảng chuẩn của $E = f(T)$.

Ví dụ :

Với cặp nhiệt Platin – 30% Rodi/Platin – 6% Rodi.

Trong khoảng từ 0°C đến 1820°C thì E phụ thuộc nhiệt độ theo :

$$E = \sum_{i=0}^{i=8} a_i T^i .$$

Trong đó, E : đo bằng μV .

T : đo bằng $^{\circ}\text{C}$.

Các giá trị cụ thể a_i :

$$a_0 = 0$$

$$a_1 = -2,4674601620 \cdot 10^{-1}$$

$$a_2 = 5,910211169 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = -1,430712340 \cdot 10^{-6+}$$

$$a_4 = 2,1509149750 \cdot 10^{-9}$$

$$a_5 = -3,1757800720 \cdot 10^{-12}$$

$$a_6 = 2,4010367459 \cdot 10^{-15}$$

$$a_7 = -9,0928148159 \cdot 10^{-19}$$

$$a_8 = 1,3299505137 \cdot 10^{-22}$$

Hình 52 biểu diễn $E(T)$ phụ thuộc nhiệt độ của một số loại cặp nhiệt trong đó các đường :

a. Crom/ Constantan.

b. Crom/ Alumel.

c. Platin – Rodi (13%)/Platin.

Có một số loại cặp nhiệt khoảng làm việc của chúng có thể chia ra một số vùng nhỏ. Mỗi vùng nhỏ sự phụ thuộc của E vào nhiệt độ theo các hàm đặc trưng khác nhau.

Nói chung mỗi loại cặp nhiệt có một dải nhiệt độ làm việc giới hạn.

Từ -270°C đối với cặp Cu/Au – Coban, đến 2700°C đối với cặp Wonfram – Reni 5%/ Wonfram – Reni 26%.

Như vậy dải làm việc của cặp nhiệt rộng lớn hơn rất nhiều so với dải làm việc của nhiệt kế điện trở.

Độ nhạy nhiệt

Độ nhạy nhiệt hay còn gọi là năng suất nhiệt điện của cặp nhiệt ở nhiệt độ T_x được xác định :

$$S(T_x) = \frac{dE_{A/B}}{dT_x} \quad (5.24)$$

Trong đó, S : hàm của nhiệt độ, có đơn vị là $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Ví dụ :

Cặp nhiệt Fe /Constrantan có :

$$S(0^\circ\text{C}) = 52,9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}.$$

$$S(700^\circ\text{C}) = 63,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}.$$

Cặp nhiệt Pt – Rh(10%) /Pt có :

$$S(0^{\circ}\text{C}) = 6,4 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}.$$

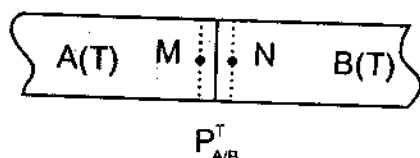
$$S(1400^{\circ}\text{C}) = 11,93 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}.$$

5.3.2 Các hiệu ứng nhiệt điện

a) Hiệu ứng Peltier

Ở chỗ tiếp xúc giữa hai dây dẫn A và B khác nhau về bản chất nhưng cùng một nhiệt độ, tồn tại một hiệu điện thế tiếp xúc thuộc bản chất vật dẫn và nhiệt độ.

$$U_{MN} = V_M - V_N = P_{A/B}^T \quad (5.25)$$



Hình 53. $P_{A/B}^T$ gọi là suất điện động Peltier

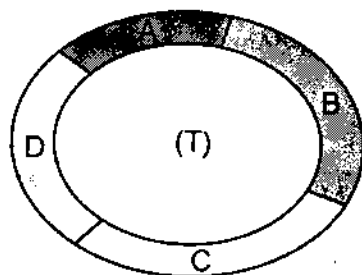
Định luật Volta

Trong một chuỗi kín cách nhiệt được tạo thành bởi những vật dẫn khác nhau thì tổng suất điện động Peltier bằng 0.

Ví dụ :

Hình vẽ chuỗi gồm bốn vật dẫn A, B, C, D nối tiếp nhau.

$$\sum P^T = 0; P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T + P_{D/A}^T = 0. \quad (5.26)$$



Hình 54. Chuỗi bốn vật dẫn A, B, C, D

Thật vậy, nếu $\sum P^T \neq 0$ sẽ tồn tại dòng chạy trong mạch kín sẽ dẫn đến tổn hao năng lượng do hiệu ứng June. Điều này trái với định luật Carnot (định luật Carnot nói rằng một hệ ở cùng một nhiệt độ sẽ không thể tạo ra năng lượng).

Biểu thức (5.26) có thể viết lại :

$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T = -P_{D/A}^T.$$

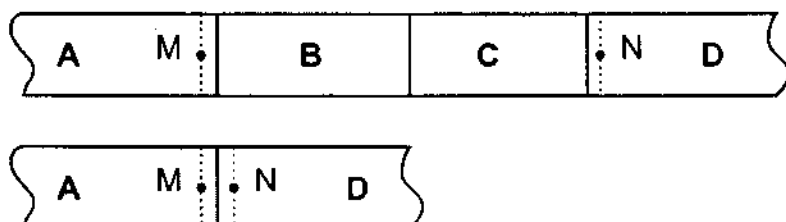
Hay :

$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T = P_{A/D}^T, \forall P_{A/D}^T = -P_{D/A}^T. \quad (5.27)$$

Ta kết luận :

Khi hai vật dẫn A và D được phân cách bởi các vật dẫn trung gian và toàn hệ được cách nhiệt, thì hiệu thế tiếp xúc giữa hai vật này (hai vật ở đầu mút) cũng chính bằng hiệu điện thế khi chúng tiếp xúc trực tiếp nhau :

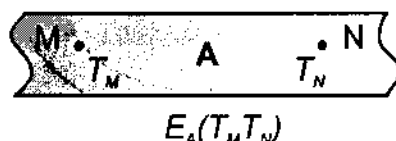
$$P_{A/D}^T = P_{A...D}^T \equiv U_{MN}.$$



Hình 55. Hiệu ứng Peltier khi có vật ngăn cách

b) Hiệu ứng Thomson

Trong vật dẫn đồng nhất A, nếu giữa hai điểm M, N có nhiệt độ khác nhau thì sẽ tạo ra suất điện động và suất điện động này chỉ phụ thuộc bản chất vật A, T_M , T_N .



Hình 56. Hiệu ứng Thomson

$$E_A(T_M T_N) = \int_{T_N}^{T_M} h_A dT. \quad (5.28)$$

Trong đó, h_A là hệ số Thomson, phụ thuộc vào bản chất kim loại A.

Suất điện động $E_A(T_M T_N)$ là một hàm của nhiệt độ.

Định luật Magnus

Nếu hai đầu ngoài của một mạch chỉ gồm một vật dẫn duy nhất và đồng chất được duy trì ở cùng một nhiệt độ thì suất điện động Thomson bằng không :

$$E_A(T_M T_N) = 0 \text{ khi } T_M = T_N. \quad (5.29)$$

c) Hiệu ứng Seebeck

Giả thiết có một mạch kín được tạo thành bởi hai vật dẫn A, B. Hai chuyển tiếp được giữ ở nhiệt độ T_1 và T_2 khi này sẽ tạo ra một cặp nhiệt điện. Cặp nhiệt điện này sẽ gây nên một suất điện động do kết quả tác động đồng thời của hai hiệu ứng Peltier và Thomson, suất điện động này gọi là suất điện động Seebeck (suất điện động nhiệt điện).

Thật vậy suất điện động giữa ab, bc, cd, da lần lượt là :

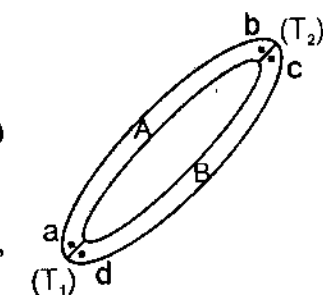
$$e_{ab} = \int_{T_1}^{T_2} h_A dT; \quad e_{bc} = P_{A/B}^{T_2}; \quad e_{cd} = \int_{T_2}^{T_1} h_B dT; \quad e_{da} = P_{B/A}^{T_1}. \quad (5.30)$$

Suất điện động Seebeck = $\sum e$. Cụ thể :

$$E_{A/B} T_2 T_1 = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} (h_A - h_B) dT. \quad (5.31)$$

Nếu chọn T_1 là nhiệt độ chuẩn so sánh,
 $T_1 = \text{const}$ và chọn bằng 0°C :

$$T_1 = 0^\circ\text{C} = \text{const.}$$



Hình 57. Hiệu ứng Seebeck

Khi đó, với một cặp nhiệt A, B cho trước suất điện động chỉ phụ thuộc vào T_2 (T_2 là nhiệt độ cần đo) :

$$E_{A/B} = f(T_2).$$

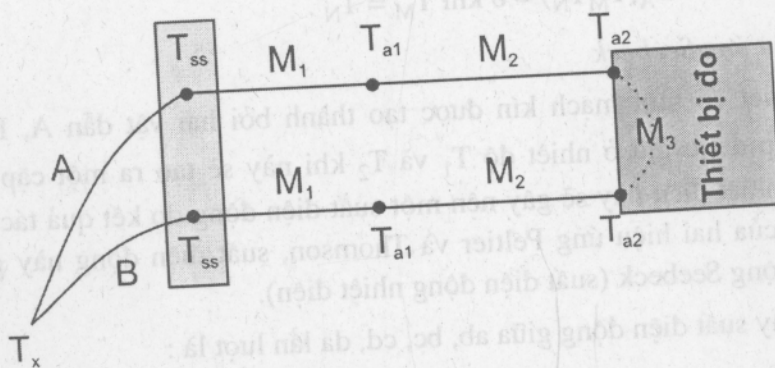
5.4 SƠ ĐỒ ĐO VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐO NHIỆT ĐỘ BẰNG CẶP NHIỆT ĐIỆN

5.4.1 Sơ đồ đo

– Khi lắp sơ đồ đo nhiệt độ cần chú ý ở mạch ngoài có hai nhánh đối xứng, từng cặp đoạn mạch luôn được giữ ở cùng một nhiệt độ.

– Các mối hàn phải nhỏ, gọn đến mức tối đa để tránh sự xuất hiện suất điện động ký sinh.

a) Sơ đồ đo dùng một cặp nhiệt



Hình 58. Sơ đồ cặp nhiệt điện

Để đo nhiệt độ T_x tại một điểm nào đó của đối tượng, người ta sử dụng sơ đồ bên. Cặp nhiệt AB có :

$$T_1 = T_{ss} \text{ (so sánh).}$$

$$T_2 = T_x \text{ (nhiệt độ cần đo).}$$

Mạch ngoài được lắp thành 2 nhánh với từng cặp đối xứng nhau có nhiệt độ giống nhau.

M_1, M_2 : Các đoạn dây kim loại dẫn.

T_{a1}, T_{a2} : Nhiệt độ ở các chỗ hàn tiếp giáp.

Khi này trong mạch tồn tại suất điện động Seebeck bằng tổng các suất điện động xuất hiện trên toàn mạch.

$$e = E_{A/B}(T_x T_{SS})$$

$$\begin{aligned}
 &= P_{A/B}^{T_x} + \int_{T_x}^{T_{SS}} h_B dT + P_{B/M1}^{T_{SS}} + \int_{T_{SS}}^{T_{a1}} h_{M1} dT + P_{M1/M2}^{T_{a1}} + \int_{T_{a1}}^{T_{a2}} h_{M2} dT \\
 &\quad + P_{M2/M3}^{T_{a2}} + \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_{M3} dT + P_{M3/M2}^{T_{a1}} + \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_{M2} dT + P_{M2/M1}^{T_{a1}} \\
 &\quad + \int_{T_{a2}}^{T_{SS}} h_{M1} dT + P_{M1/A}^{T_{SS}} + \int_{T_{SS}}^{T_x} h_A dT. \quad (5.32)
 \end{aligned}$$

Ở trên có từng cặp các số hạng triệt tiêu nhau :

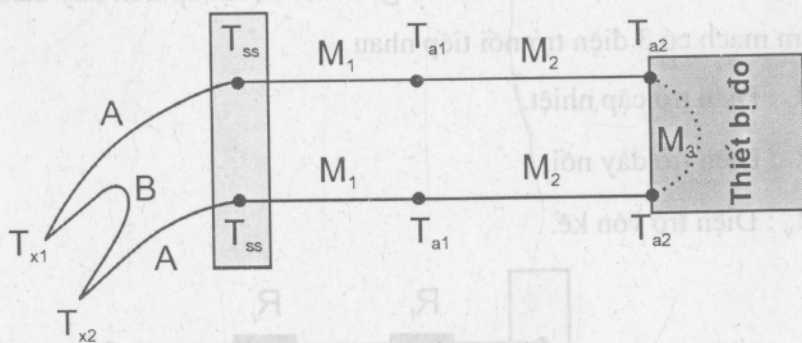
(5) và (11) ; (4) và (12) ; (8) = 0.

(6) và (10) ; (7) và (9) ;

Vì vậy suất điện động (Seebeck) đơn giản còn :

$$E_{A/B}(T_x T_{SS}) = P_{A/B}^{T_x} - P_{A/B}^{T_{SS}} + \int_{T_x}^{T_{SS}} (h_B - h_A) dT. \quad (5.33)$$

b) Sơ đồ vi sai dùng 2 cặp nhiệt (Đo hiệu $T_{x1} - T_{x2}$) giữa hai điểm



Hình 59. Sơ đồ vi sai dùng hai cặp nhiệt điện

Mạch đo có cấu trúc như hình trên. Mạch ngoài hoàn toàn giống sơ đồ một cặp nhiệt, chỉ khác là khi tiếp xúc với đối tượng đo, có 2 đầu cặp nhiệt để đo hiệu $T_{x1} - T_{x2}$ giữa hai điểm.

Suất điện động Seebeck sẽ là một hàm của $T_{x1} - T_{x2}$:

$$E_{A/B}^{T_{x1}T_{x2}} = f(T_{x1} - T_{x2}).$$

Đặc biệt, nếu như khoảng chênh lệch nhiệt độ từ T_{x1} đến T_{x2} là nhỏ thì trên dải từ T_{x1} đến T_{x2} được xem là tuyến tính, khi đó :

$$E_{A/B}^{T_{x1}T_{x2}} = S(T_{x1} - T_{x2}). \quad (5.34)$$

Trong đó, S là độ nhạy của cặp nhiệt.

5.4.2 Phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt

Suất điện động Seebeck (suất điện động nhiệt điện) đo được giữa 2 đầu của cặp nhiệt chính là thông tin về nhiệt độ cần đo $E_{A/B}^{Tx} = f(t_x)$.

Nhiệt độ chỉ có thể xác định chính xác khi ta giảm tối thiểu sụt áp xảy ra trên cặp nhiệt và trên dây dẫn, trên đó có dòng điện chạy qua. Dây dẫn và cặp nhiệt lại rất khó xác định điện trở R của chúng, bởi vì điện trở R phụ thuộc nhiệt độ môi trường và nhiệt độ đối tượng đo. Vì vậy, trong mạch đo phải khử được ảnh hưởng của sai số này.

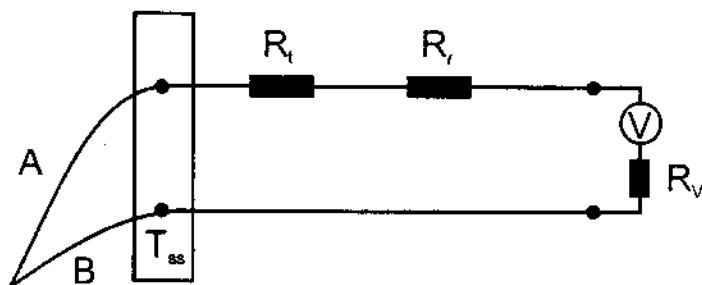
Thường áp dụng 2 phương pháp sau.

a) Đo trực tiếp

Dùng vôn kế có R_v rất lớn để làm giảm tối đa sụt áp trên dây dẫn.

Xem mạch có 3 điện trở nối tiếp nhau :

- R_t : Điện trở cặp nhiệt.
- R_l : Điện trở dây nối.
- R_v : Điện trở vôn kế.



Hình 60. Phương pháp đo nhiệt độ trực tiếp

Khi đó điện áp U_v trên vôn kế được xác định :

$$U_v = E_{A/B}^{T_x T_{ss}} \cdot \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v},$$

$$\rightarrow E_{A/B}^{T_x T_{ss}} = U_v \left[1 + \frac{R_t + R_l}{R_v} \right]. \quad (5.35)$$

Vì R_t và R_l xác định không được chính xác nên để giảm sai số thì $R_v \gg R_t + R_l$.

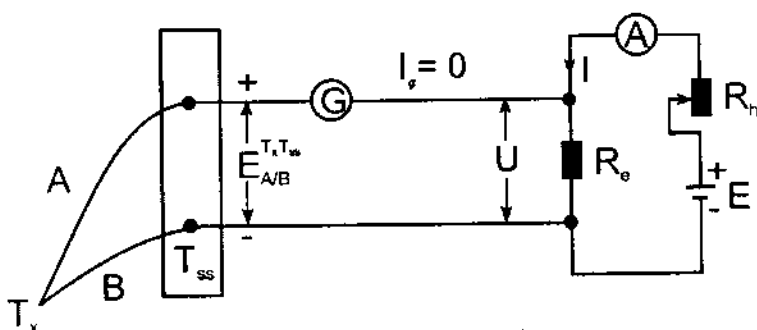
b) Đo bằng phương pháp xung đối

Nguyên tắc :

Đấu với suất điện động cân đo 1 điện áp xung đối U sao cho :

$$U \equiv E_{A/B}^{T_x T_{ss}} \text{ cân đo.}$$

Giá trị của U được xác định chính xác (thường là điện áp sụt trên một điện trở có dòng chạy qua). Cặp nhiệt được nối tiếp với điện kế G và $// R_e$. Có thể điều chỉnh để dòng qua $G = 0$.

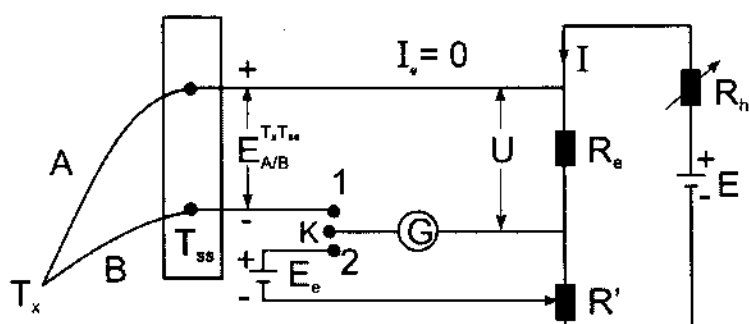


Hình 61. Phương pháp đo nhiệt độ xung đối

Điều chỉnh R_h để $I_g = 0$, đo được dòng I trên ampe kế. Điện trở R_e đã biết trước, khi đó :

$$E_{A/B}^{T_x T_{ss}} = U = I \cdot R_e. \quad (5.36)$$

Cũng có thể đo nhiệt độ bằng phương pháp xung đối như hình dưới đây :



Hình 62. Phương pháp khác đo nhiệt độ xung đối

Trên hình, E_c là nguồn pin mẫu được điều chỉnh bằng biến trở R_h .

– Đầu tiên đóng k về vị trí số 1 để đo T_x , điều chỉnh R_h để $I_g = 0$.

– Đóng K về vị trí 2, điều chỉnh R' để $I_g = 0$.

Dòng điện I chạy qua khung $R_e R' E R_h$ trong 2 trường hợp là như nhau và bằng :

$$I = \frac{E_c}{R'}$$

$$E_{A/B}^{T_x T_{ss}} = U = \frac{R_e}{R'} E_c \quad (5.37)$$

5.4.3 Các loại cặp nhiệt thường dùng

Dải làm việc của các cặp nhiệt thường bị hạn chế về 2 phía của nhiệt độ :

- Ở nhiệt độ thấp, năng suất nhiệt điện giảm (độ nhạy giảm).
- Ở nhiệt độ cao, cặp nhiệt có thể bị nhiễm bẩn (ôxy hoá), hoặc có thể bị bay hơi mất một số thành phần cấu tạo cặp nhiệt, hoặc bị tăng kích thước → tăng độ sai số, giảm độ bền. Thậm chí bị nóng chảy.

Để có suất điện động nhiệt điện ổn định, người ta phải ấn định dải làm việc cho từng loại cặp nhiệt.

Nhiệt độ làm việc cực đại của mỗi cặp nhiệt, ngoài sự phụ thuộc vào vật liệu A, B còn phụ thuộc vào ϕ của dây làm cặp nhiệt.

Dây nhiệt càng lớn thì làm việc được ở nhiệt độ càng cao. Dưới đây là bảng một số cặp nhiệt thông dụng.

Bảng 4. Một số loại cặp nhiệt độ thông dụng

Cặp nhiệt điện	Nhiệt độ làm việc	$E_{A/B}$ (mV)	Độ chính xác
Đồng/Constantan $\phi = 1,63 \text{ mm}$	$-270 \div 370$	$-6,258 \div 19,027$	$(-100^{\circ}\text{C} \div -40^{\circ}\text{C}) \pm 2\%$ $(-40^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}) \pm 0,8\%$ $(100 \div 350^{\circ}\text{C}) \pm 0,75\%$
Sắt/Constantan $\phi = 3,25 \text{ mm}$	$-210 \div 800$	$-8,096 \div 45,498$	$(0^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}) \pm 3^{\circ}\text{C}$ $(400^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}) \pm 0,75\%$
Chromel/Alumel $\phi = 3,25 \text{ mm}$	$-270 \div 1250$	$-5,354 \div 50,633$	$(0^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}) \pm 3^{\circ}\text{C}$ $(400 \div 1250^{\circ}\text{C}) \pm 0,75\%$
Platin/Vàng		0,75	
Platin/Bạc		0,72	
Platin/Constrantan		-3,4	

5.5 ĐO NHIỆT ĐỘ BẰNG DIODE VÀ TRANSISTOR

5.5.1 Khái niệm chung – Độ nhạy nhiệt

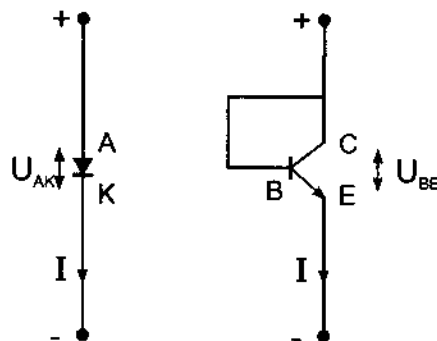
– Có thể dùng Diode hoặc Transistor như là một cảm biến để đo nhiệt độ. Với transistor phải đấu tắt cực B và cực C (gọi là mắc theo kiểu Diode). Khi nhiệt độ tăng thì R_D giảm. Nếu dòng I chạy qua diode giữ không đổi thì khi nhiệt độ tăng, sụt áp trên diode sẽ giảm.

Nghĩa là khi diode phân cực thuận với dòng I không đổi thì điện áp giữa 2 cực của nó là một hàm của nhiệt độ :

$$U_{AK} = f(T) \text{ hoặc } U_{BE} = f(T).$$

– Độ nhạy nhiệt của D (hay T mắc theo kiểu D) được xác định bởi biểu thức :

$$S = \left. \frac{dU}{dT} \right|_{I=\text{const}} \quad (5.38)$$



Hình 63. Sơ đồ diode và transistor để đo nhiệt độ

Độ nhạy nhiệt có thứ nguyên là mV/K hay $\mu\text{V/K}$.

Thông thường giá trị độ nhạy đạt cỡ :

$$S \approx 2,5 \text{ mV/K.}$$

Độ nhạy S phụ thuộc vào dòng ngược I_0 (dòng nhiệt), mà dòng nhiệt I_0 lại rất khác nhau đối với các linh kiện khác nhau. Để tăng độ tuyến tính và khả năng thay thế, người ta thường mắc theo sơ đồ dưới đây :

Dùng một cặp Transistor đấu theo kiểu diode mắc đối nhau, bằng cách này nó loại trừ được ảnh hưởng của dòng I_0 .

5.5.2 Sơ đồ dùng cặp Transistor đấu theo kiểu Diode

Có nguồn dòng cấp cho E của T_1, T_2 ,
tức là :

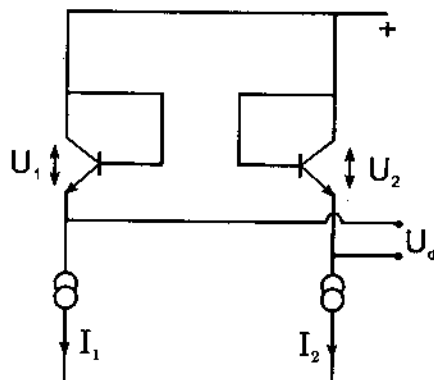
$$I_1 = \text{const.}$$

$$I_2 = \text{const.}$$

Độ nhạy nhiệt :

$$S = \frac{d(U_1 - U_2)}{dT} \quad (5.39)$$

S lớn hơn nhiều so với dùng cặp nhưng nhỏ hơn nhiều so với dùng nhiệt điện trở.



Hình 64. Sơ đồ cặp transistor mắc theo kiểu diode

Ở đây không cần nhiệt độ chuẩn (T_{ss}).

Dải làm việc bị hạn chế : Từ $-50^\circ \div 150^\circ\text{C}$.

Trong dải này cảm biến có độ ổn định cao.

Ngoài dải thì tính chất điện thay đổi nhiều hơn không sử dụng được :

$$I_1 = I_0 \exp \frac{qU_1}{KT} \rightarrow U_1 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_1}{I_0}.$$

$$I_2 = I_0 \exp \frac{qU_2}{KT} \rightarrow U_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_2}{I_0}.$$

Nên hiệu điện thế U_o đã loại được ảnh hưởng của dòng I_0 :

$$U_d = U_1 - U_2 = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{KT}{q} \ln n, \quad (5.40a)$$

$$n = \frac{I_1}{I_2}, \text{ do } \frac{KT}{q} = 86,56,$$

$$\text{nên } U_d = 86,56 T \ln n. \quad (5.40b)$$

Trong đó, U_d đo bằng μV , T đo bằng nhiệt độ tuyệt đối K.

Độ nhạy nhiệt :

$$S = \frac{dU_d}{dT} = \frac{K}{q} \ln n = 86,56 \ln n [\mu V \cdot K^{-1}]. \quad (5.41)$$

Độ nhạy nhiệt trong trường hợp này nhỏ hơn so với dùng 1 diode. Tuy nhiên, về nguyên tắc không phụ thuộc nhiệt độ và có độ tuyến tính cao. Bởi vì ở đây đã loại trừ được ảnh hưởng của dòng nhiệt I_0 .

5.6 VẬT LIỆU DÙNG LÀM NHIỆT NGẪU (CẶP NHIỆT) VÀ CÁC SAI SỐ

5.6.1 Vật liệu

Để đo nhiệt độ $< 1100^\circ C$ người ta thường dùng kim loại thường.

Đo nhiệt độ $> 1100^\circ C$ chế tạo từ các kim loại quý nhóm platin.

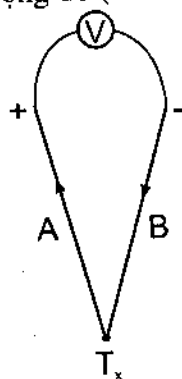
Đo nhiệt độ $> 1600^\circ C$ dùng các kim loại khó nóng chảy.

Với phép đo không đặt trực tiếp nhiệt ngẫu vào đối tượng đo (do bức xạ nhiệt) người ta có thể dùng 1 cực là kim loại còn cực kia không phải là kim loại (ví dụ Telua, silic). Loại nhiệt ngẫu này có $E_{A/B} > E_{A/B}$ kim loại nhưng nhược điểm là kém bền và không chắc chắn.

Lưu ý rằng chiều của suất điện động nhiệt điện $E_{A/B}$ phụ thuộc vào nhiệt độ (là âm hơn hay dương hơn) so với T_{SS} (nhiệt độ so sánh).

Điện cực là dương (+) nếu như dòng điện I chạy từ đầu T_x đến đó.

Điện cực là âm (-) nếu như dòng I chạy từ đó về điểm đo T_x .



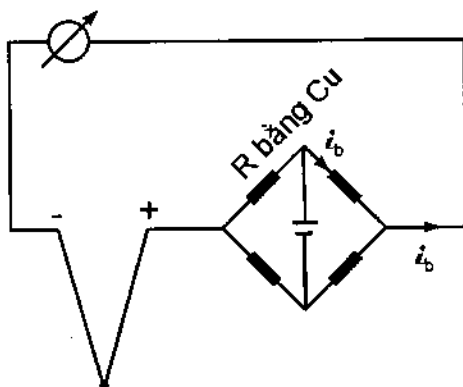
Hình 65. Mô hình cặp nhiệt điện để đo nhiệt độ

5.6.2 Sai số và cách khắc phục

a) Sai số do thăng giáng nhiệt độ ở mỗi hàn ngoài

Thực tế mỗi hàn ngoài không ở nhiệt độ cố định được. Nghĩa là $T_{SS} \neq \text{const}$. Muốn T_{SS} ổn định ta phải đặt nó vào trong một môi trường có nhiệt dung lớn. Thường nhúng nó vào trong một bình chất lỏng điều nhiệt (bình này có khối lượng chất lỏng lớn và nóng ở một nhiệt độ xác định (dùng Role để khống chế nhiệt độ)). Đôi khi người ta ổn nhiệt mỗi hàn ngoài bằng cách chôn sâu dưới lòng đất hoặc cũng có thể khắc phục sai số này bằng việc xây dựng một mạch bù trừ như hình 66 dưới đây :

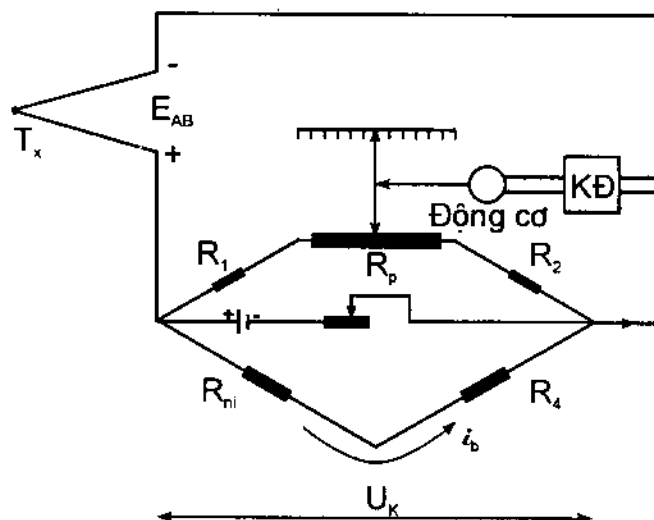
Đây là 1 mạch cầu, 1 nhánh có R bằng Đồng hoặc Niken, khi nhiệt độ tăng thì R_{CU} tăng. Trên chéo cầu xuất hiện suất điện động bù vào sự giảm suất điện động nhiệt được gây ra do sự tăng nhiệt độ của mỗi hàn ngoài. Nghĩa là : T_{SS} tăng thì $E_{A/B}$ giảm (vì hiệu $T_X - T_{SS}$ giảm) ; Mặt khác nhiệt độ tăng thì R_{CU} tăng $\rightarrow$ xuất hiện i_b chạy trên chéo cầu bù vào sự giảm $E_{A/B}$ ban đầu.



Hình 66. Mạch cầu đo khắc phục sai số

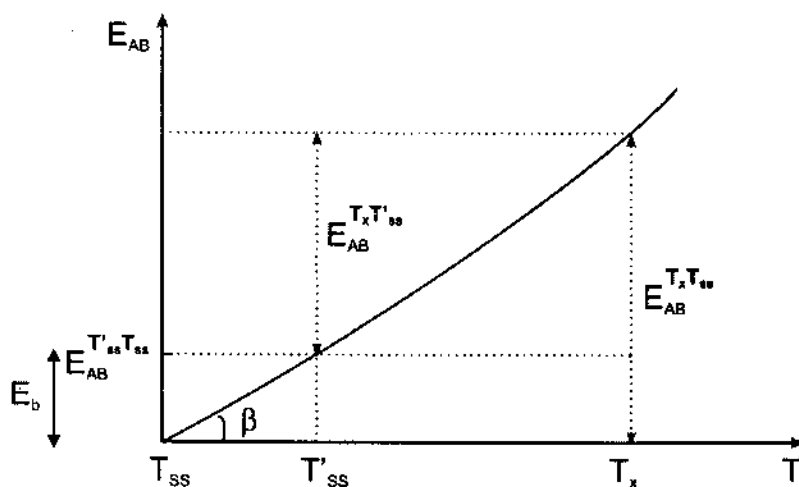
Sai số của mạch này không quá 0,004 mV/độ.

Để giảm sai số gây ra do bộ khuếch đại, người ta còn dùng mạch tự cân bằng để đo nhiệt độ như sơ đồ dưới đây. Điện áp U_K được mắc xung đối với $E_{A/B} \rightarrow$ hiệu 2 điện áp này ($U_K - E_{AB}$) được đưa vào bộ khuếch đại. Tín hiệu đã được khuếch đại tác dụng vào mô tơ quay, làm dịch chuyển con chạy của biến áp R_p cho tới khi $U_K = U_{AB}$ thì động cơ dừng lại. Để bù trừ sai số do nhiệt độ mỗi hàn ngoài thăng giáng, có thể thay điện trở ở nhánh thứ 3 là Niken hoặc đồng.



Hình 67. Mạch tự cân bằng giảm sai số do bộ khuếch đại gây ra và sai số do thăng giáng nhiệt độ so sánh

Cách tính điện trở nhiệt (R_{CU} , R_{NI}) trong mạch cầu.



Hình 68. Điện trở nhiệt đặc trưng E_{AB} theo nhiệt độ

Trong mạch cầu ở trên thấy có 1 nhánh làm bằng điện trở nhiệt để khi T_{SS} tăng sẽ xuất hiện một suất điện động bù (E_b) bù lại sự giảm E_{AB} do T_{SS} tăng. E_b sẽ tạo ra một dòng I_b chạy qua điện trở nhiệt. Ta hãy tính giá trị điện trở nhiệt. Đặc trưng E_{AB} theo nhiệt độ có dạng như hình vẽ.

Khi T_{SS} tăng đến T'_{SS} thì suất điện động nhiệt điện giảm 1 lượng là $E^{T'_{SS}T_{SS}}$.

Ở đây :

$$\begin{aligned} E^{T'_{SS}T_{SS}} &= E^{T'_{SS}T_{SS}} + E^{T_{SS}T'_{SS}} \\ E^{T'_{SS}T_{SS}} &= (T'_{SS} - T_{SS}) \operatorname{tg} \beta = E_b. \end{aligned} \quad (5.42)$$

Biểu thức (5.42) là giá trị suất điện động cần phải bù nhiệt độ so sánh tăng từ T_{SS} đến T'_{SS} .

Mặt khác khi T_{SS} tăng đến T'_{SS} thì điện trở nhiệt cũng tăng 1 lượng là :

$$\Delta R_N = R_{N0} \alpha (T'_{SS} - T_{SS}). \quad (5.43)$$

Ở đây,

R_{N0} : điện trở nhiệt ở nhiệt độ T_{SS} .

α : hệ số nhiệt điện trở của vật liệu.

R_N tăng 1 lượng ΔR_N nên chéo cầu xuất hiện một hiệu điện thế bố chính :

$$\begin{aligned} E_b &\approx I_b \cdot \Delta R_N \\ &= (T'_{SS} - T_{SS}) \cdot \operatorname{tg} \beta \rightarrow \Delta R_N = \frac{(T'_{SS} - T_{SS})}{I_b}. \end{aligned} \quad (5.44)$$

Từ (5.43) có :

$$R_{N0} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{I_b \alpha}. \quad (5.45)$$

b) Sai số tạo ra do sự thay đổi nhiệt độ của đường dây truyền tín hiệu

Từ cặp nhiệt độ đến bộ chỉ thị suất điện động của cặp nhiệt cỡ 100mV. Khi đó, dùng cặp nhiệt với mạch cầu bù trừ thăng giáng của nhiệt độ so sánh thì vấn đề điện trở dây dẫn không cần chú ý.

Tuy nhiên, khi đo nhiệt độ bằng cách đo trực tiếp dùng milivol kế thì ảnh hưởng của R mạch thay đổi $\rightarrow$ số đo của (V). Ta hãy xét ảnh hưởng này :

$$I = \frac{E}{R_{\text{dong ho}} + R_{\text{day noi}} + R_{\text{cap nhiet dien}}} \quad (5.46)$$

Số đo trên (V) là :

$$U_{\text{dong ho}} = \frac{E \cdot R_{\text{dong ho}}}{R_{\text{dong ho}} + R_{\text{day noi}} + R_{\text{cap nhiet dien}}} \quad (5.47)$$

Khi $R_{\text{Đồng hồ}}$ và $R_{\text{dây nối}}$ thay đổi theo nhiệt độ thì U_{dh} sẽ thay đổi.

Độ thay đổi đó sẽ là :

$$\gamma = \frac{R_{\text{dh}} \cdot \alpha_{\text{dh}} (T - T_{\text{dh}})}{R_{\text{dh}} + R_{\text{day}} + R_{\text{cap}}} + \frac{R_{\text{day}} \alpha_{\text{day}} (T - T_{\text{day}})}{R_{\text{dh}} + R_{\text{day}} + R_{\text{cap}}} \quad (5.48)$$

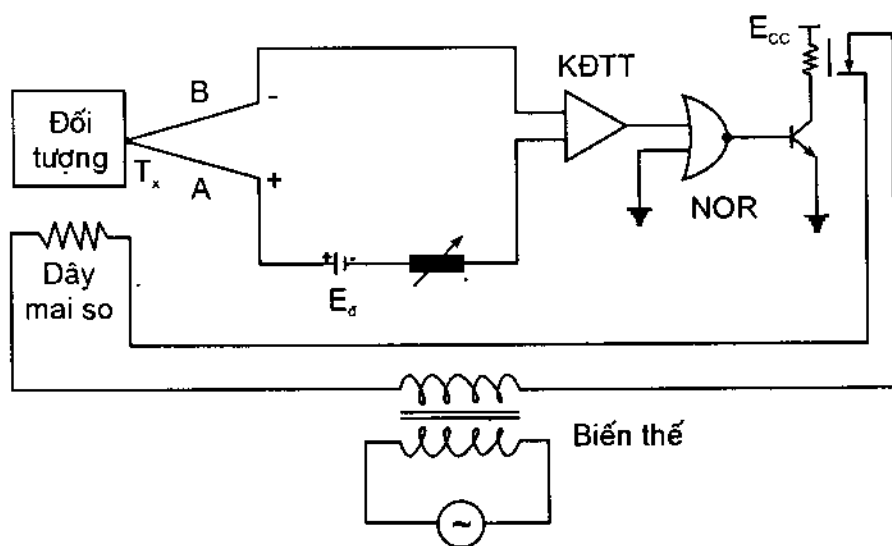
Biểu thức này chính là sai số tỉ đối do dây và đồng hồ tạo nên khi có thăng giáng nhiệt độ.

Ngoài sai số trên, ta thấy cặp nhiệt có nhiệt dung đáng kể, nên khi đo, cặp nhiệt sẽ làm thay đổi nhiệt độ của đối tượng đo và cũng tạo ra sai số.

5.7 MẠCH TỰ ĐỘNG KHÔNG CHẾ NHIỆT ĐỘ

Trong sản xuất và nghiên cứu, nhiều khi cần giữ đối tượng ở một nhiệt độ không đổi. Ta dùng mạch ổn nhiệt để giải quyết vấn đề này.

Nhiệt ngẫu đo nhiệt độ của đối tượng có suất điện động nhiệt điện $E(T_x, T_{ss})$, được mắc xung với một điện áp sản ra từ nguồn pin mẫu E_d .



Hình 69. Sơ đồ mạch bình ổn nhiệt

B.13.61.9
61.61.9
61.61.9

Hiệu điện áp $E^{T_{XTSS}} - E_d$ sẽ tác động vào trong mạch khuếch đại thuật toán (KĐTT) có hệ số khuếch đại lớn. Lối ra của KĐTT điều khiển mạch logic NOR. lối ra NoR đưa vào bazơ của transistor. Tại Colector của Transistor là Role. Role đóng hay ngắt phụ thuộc nhiệt độ đối tượng đo :

+ $T_X < T_C$ (nhiệt độ cân bằng ổn) thì role đóng mạch điện kia làm đun nóng đối tượng.

+ $T_X = T_C$ Role ngắt làm mạch hở. Nhiệt độ đối tượng sẽ không tăng lên.

Chương 6

BIẾN TỬ QUANG ĐIỆN

Biến tử loại này dựa trên hiệu ứng quang điện. Các dụng cụ (biến tử) quang điện được chia ra làm 3 loại :

- Biến tử dùng tế bào quang điện với hiệu ứng quang điện ngoại.
- Biến tử dùng hiệu ứng quang điện nội.
- Phôtôdiode.

Xét các đặc trưng cơ bản của các dụng cụ quang điện.

1/ Đặc trưng chiếu sáng biểu diễn dòng quang điện phụ thuộc quang thông

$$I_{\Phi} = f(\Phi).$$

2/ Đặc trưng phổ

Sự phụ thuộc của độ nhạy vào bước sóng chiếu sáng :

$$S = f(\lambda_{\Phi}).$$

3/ Đặc trưng tần số

Sự phụ thuộc của độ nhạy vào tần số điều chế của ánh sáng :

$$S = f(\omega).$$

4/ Đặc trưng Vol – Ampe

Sự phụ thuộc của dòng quang điện vào điện áp đặt vào biến tử :

$$I_{\Phi} = f(u).$$

6.1 ÁNH SÁNG VÀ PHÉP ĐO QUANG

6.1.1 Tính chất của ánh sáng

Biến tử quang được sử dụng để chuyển đổi những thông tin từ ánh sáng (hồng ngoại, tử ngoại, nhìn thấy) thành tín hiệu điện.

Ánh sáng có 2 loại tính chất cơ bản : sóng và hạt.

– Dạng sóng của ánh sáng : Khi các nguyên tử của nguồn sáng có các điện tử, lỗ trống chuyển từ mức năng lượng này sang mức năng lượng khác thì chúng phát ra sóng điện từ (sóng ánh sáng).

Vận tốc sóng ánh sáng trong chân không : $c = 299792 \text{ km/s}$ ($c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Vận tốc trong môi trường :

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

Trong đó, n : Chiết suất trong môi trường.

Quan hệ giữa tần số và bước sóng :

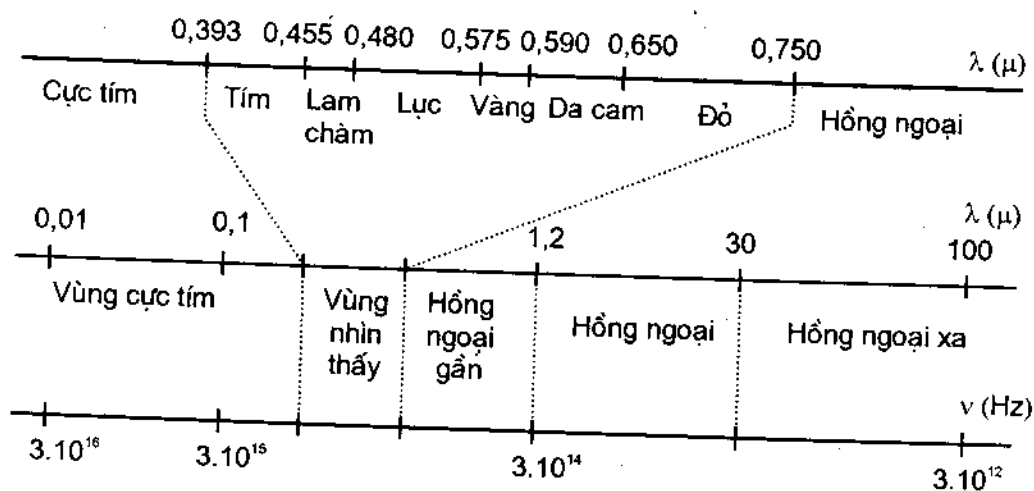
Trong chân không :

$$\lambda = \frac{c}{\gamma} \quad (6.1)$$

Trong môi trường :

$$\lambda = \frac{v}{\gamma} \quad (6.2)$$

Phổ của ánh sáng : tia cực tím – vùng nhìn thấy – vùng hồng ngoại gần – hồng ngoại – hồng ngoại xa được biểu diễn trên hình 70.



Hình 70. Phổ của ánh sáng

– Dạng (tính chất) hạt của ánh sáng được thể hiện thông qua tương tác của nó với vật chất.

Chùm ánh sáng là một chùm hạt photon với năng lượng của một hạt là :

$$W_{\Phi} = h\nu. \quad (6.3)$$

Trong đó, h : hằng số Plank = $6,6256 \cdot 10^{-34}$ J.s.

Khi ánh sáng chiếu vào, tức là các hạt photon đập vào vật chất cung cấp cho các e^- liên kết của nguyên tử vật chất một năng lượng là W_{Φ} . Gọi W_l là năng lượng liên kết giữa các điện tử – lỗ trống với lõi nguyên tử thì :

Nếu $W_{\Phi} \geq W_l$ thì điện tử, lỗ trống được giải phóng, nghĩa là :

$$\gamma \geq \frac{W_l}{h}, \quad (6.4)$$

hoặc

$$\lambda \leq \frac{hc}{W_l}. \quad (6.5)$$

(6.5) là điều kiện để có hiện tượng quang điện. Từ đây có thể đưa ra công thức ngưỡng bước sóng để có được hiện tượng quang điện :

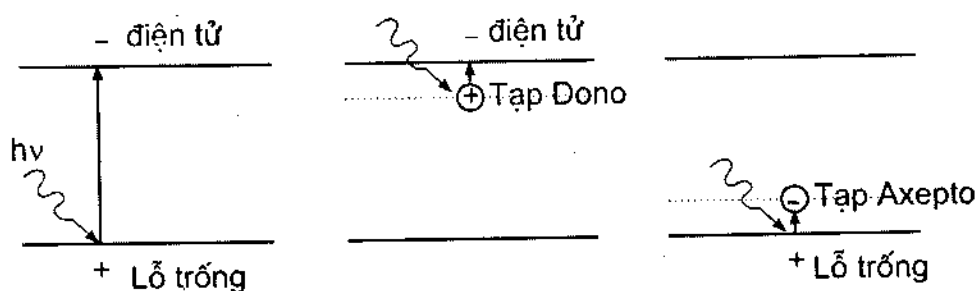
$$\lambda_s = \frac{hc}{W_l}$$

$$\lambda_s (\mu m) = \frac{1,237}{W_l (eV)}. \quad (6.6)$$

Trong đó, λ_s : bước sóng dài nhất có thể xảy ra hiện tượng quang điện.

Loại điện tích được giải phóng khi chiếu sáng phụ thuộc bản chất vật chất bị chiếu sáng :

- Chiếu vào chất điện môi và bán dẫn tinh khiết thì các điện tích được giải phóng là các cặp (điện tử – lỗ trống).
- Chiếu vào bán dẫn pha tạp Dono (loại n) : giải phóng điện tử.
- Chiếu vào bán dẫn pha tạp Acepto (loại p) : giải phóng lỗ trống.
- Chiếu vào kim loại : giải phóng điện tử.



Hình 71. Hiệu ứng quang điện

Hiện tượng tạo ra các hạt dẫn dưới tác dụng của ánh sáng chính là hiệu ứng quang điện. Nó làm thay đổi tính chất điện của vật liệu, đó là nguyên lý cơ bản của các biến tử quang học.

Gọi số photon chiếu vào vật liệu trong 1 giây là n_i .

Số photon bị hấp thụ trong 1 giây là n_a .

r là hệ số phản xạ vật liệu, ta có :

$$n_a = (1 - r)n_i.$$

Φ là công suất chùm sáng (Φ còn gọi là thông lượng ánh sáng, có thứ nguyên W)

$$n_i = \frac{\Phi}{h\nu} = \frac{\lambda\Phi}{hc}.$$

Thay vào $n_a \rightarrow$

$$n_a = (1 - r) \frac{\lambda\Phi}{hc}. \quad (6.7)$$

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

Ta có số điện tử hoặc lỗ trống được giải phóng trong một giây là :

$$G = \eta.n_a = \eta(1 - r) \frac{\lambda\Phi}{hc}. \quad (6.8)$$

6.1.2 Các đơn vị đo quang

– Năng lượng bức xạ Q đo bằng Jun (J).

– Thông lượng ánh sáng Φ là công suất phát xạ, lan truyền hoặc hấp thụ.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}. \quad (6.9)$$

Đơn vị là $W = \frac{Jun}{giây}.$

– Cường độ ánh sáng I là luồng năng lượng ánh sáng phát ra trong 1 giây theo một hướng cho trước dưới một góc khối.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}. \quad (6.10)$$

Đơn vị là W/stresteradian.

– Độ chói năng lượng L là tỉ số giữa cường độ ánh sáng phát ra bởi 1 phần tử bề mặt dA theo một hướng xác định và hình chiếu của dA theo hướng đó.

$$L = \frac{dI}{dA_n} \quad (6.11)$$

Đơn vị là $W/steradian.m^2$.

– Độ rọi năng lượng E là tỉ số giữa thông lượng ánh sáng đi qua yếu tố bề mặt dA và yếu tố diện tích đó.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (6.12)$$

Đơn vị là W/m^2 .

6.2 NGUỒN SÁNG

Việc sử dụng biến tử quang chỉ có hiệu quả khi nó có được nguồn sáng phù hợp về (phổ) thông lượng và tần số.

Dưới đây là một số nguồn sáng thường được sử dụng.

6.2.1 Đèn sợi đốt Wolfram

Cấu tạo : gồm một sợi dây đặt trong 1 ampoule bằng thủy tinh hoặc thạch anh có chứa khí hiếm hoặc halogen (I_2) để giảm sự bay hơi của sợi đốt.

Nhiệt độ sợi đốt Wolfram giống như nhiệt độ của vật đen tuyệt đối. Có đường cong phát xạ nằm trong vùng phổ nhìn thấy. Đặc điểm của đèn wolfram :

- Thông lượng lớn, dải phổ rộng, có thể giảm độ rộng phổ bằng các tấm lọc sáng.

- Quán tính nhiệt lớn, không thay đổi bức xạ một cách nhanh chóng được. Thời gian sử dụng ngắn.

6.2.2 Diode phát quang

Ở loại này, năng lượng giải phóng do tái hợp điện tử, lỗ trống ở vùng chuyển tiếp P – N của diode sẽ làm phát sinh các photon.

Các đặc điểm chính của đèn diode phát quang :

- Thời gian hồi đáp cỡ nhỏ ns (do vậy có thể điều chế được ở tần số cao bằng nguồn nuôi).

- Phổ ánh sáng hoàn toàn xác định.
- Độ tin cậy cao và thời gian sử dụng dài.
- Thông lượng nhỏ cỡ 10^2 mW và nhạy với nhiệt độ, đây là hạn chế phạm vi sử dụng của nó.

6.2.3 Lase

Lase là nguồn sáng hết sức đơn sắc, độ chói lớn, rất định hướng. Đặc biệt có tính liên kết mạnh (cùng phân cực, cùng pha).

Với nguồn sáng khác, bức xạ phát ra là của rất nhiều sóng thành phần có phân cực và pha khác nhau. Ở tia lase thì mọi bức xạ cấu thành chùm tia đều cùng pha và phân cực giống nhau. Bởi vậy, khi chồng chéo lên nhau chúng tạo thành một sóng duy nhất và rất xác định.

Đặc điểm :

- λ hoàn toàn xác định.
- Thông lượng lớn.
- Có khả năng nhận được chùm tia rất mỏng, độ định hướng cao và truyền đi trên khoảng cách rất lớn.

6.3. TẾ BÀO QUANG ĐIỆN CHÂN KHÔNG VÀ CHỨA KHÍ – NHẬN QUANG ĐIỆN

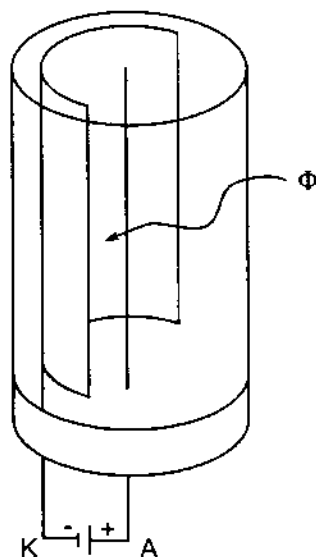
6.3.1 Tế bào quang điện

Tế bào quang điện chân không là một ống hình trụ có một cửa sổ trong suốt được hút chân không tới áp suất $10^{-6} + 10^{-8}$ mm Hg.

Trong ống đặt 1 katốt (hình máng) có khả năng phát xạ khi được chiếu sáng và 1 Anot.

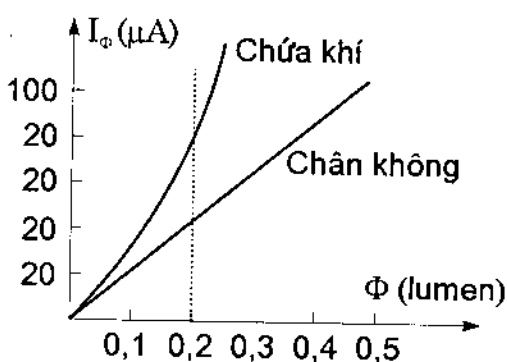
Các điện cực A và K được thiết kế để đảm bảo K hấp thụ tối đa thông lượng ánh sáng chiếu tới mà không bị Anot che. Mặt khác Anot thu được tối đa điện tử phát xạ từ katot (Anôt bằng kim loại đặt ở giữa. Katot được phủ bằng bán dẫn, hình lòng máng).

Khi rơi sáng, các điện tử bật từ katot được điện trường định hướng bay về Anot tạo thành dòng I_Φ hay I_a .



Hình 72. Cấu tạo của tế bào quang điện

Nếu như trong bóng chứa khí và điện áp giữa 2 cực U_{ak} đủ lớn, thì trong khi điện tử bay từ K đến A, chúng có khả năng ion hoá khí và làm cho dòng quang điện tăng lên theo hàm exp, khi đó sự phụ thuộc giữa I và U của đèn chứa khí sẽ không còn tuyến tính nữa như đã chỉ ra ở hình 73. Khi thông lượng chiếu sáng nhỏ thì tế bào chứa khí cũng có đặc trưng tuyến tính.



Hình 73. Đặc trưng chiếu sáng

Cần lưu ý rằng luôn tồn tại dòng điện tối mặc dù ta không chiếu sáng.

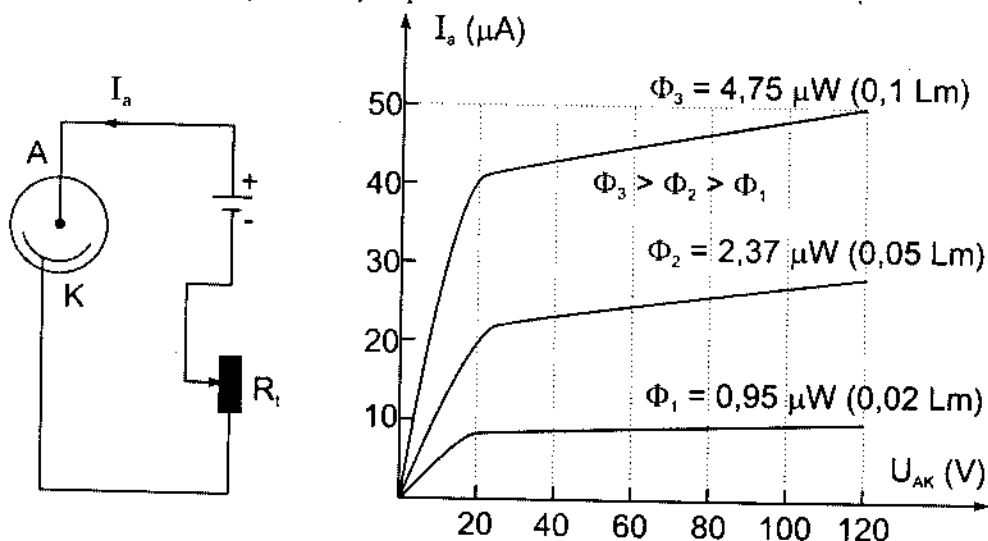
$$I_{\phi \text{ tối}} = 10^{-7} \div 10^{-8} \text{ A.}$$

Đặc trưng Vôn-Ampe của tế bào chân không được vẽ trên hình 74.

Trên đặc trưng có 2 vùng : vùng tuyến tính, khi đó thế U_{AK} nhỏ. Mọi điện tử được bật ra khỏi Katốt không đến hết Anot. Một số quay lại kết hợp với điện tích (+) để trở thành nguyên tử trung hoà. Dòng I_a tăng tuyến tính với U_{AK} .

Vùng bão hoà, khi đó U_{ak} đủ lớn. Mọi điện tử khi bị ánh sáng kích thích bật ra khỏi katot đều được đưa về Anot (vì điện trường đủ lớn). Vì vậy khi tăng U_{AK} thì I_a không tăng. Nhưng nếu tăng thông lượng chiếu sáng thì dòng I_a lại tăng do số điện tử, lỗ trống bật ra khỏi katot tăng lên.

Sự bão hoà xảy ra ở điện áp cỡ $30 \div 70 \text{ V}$.



Hình 74. Đặc trưng Vôn-Ampe của tế bào quang điện chân không

Tế bào quang điện làm việc ở vùng bão hoà giống như một nguồn dòng. Giá trị của dòng (I_a) chỉ phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng (Φ) mà tế bào nhận được.

Điện trở trong của tế bào quang điện rất lớn và được tính từ độ dốc của đặc tuyến của vùng bão hoà.

Độ dốc :

$$S = \left. \frac{dI_a}{dU_{AK}} \right|_{\Phi=c} \quad (6.13)$$

Còn điện trở trong (tức là điện trở nội của tế bào quang điện) :

$$R_i = \frac{1}{S} \approx 10^{10} \Omega \quad (6.14)$$

Tế bào quang điện dạng khí

Có cấu tạo tương tự như tế bào quang điện chân không, chỉ khác là ở trong bóng đèn chứa khí trơ thường là khí Argon dưới áp suất $10^{-1} \div 10^{-2}$ mm Hg.

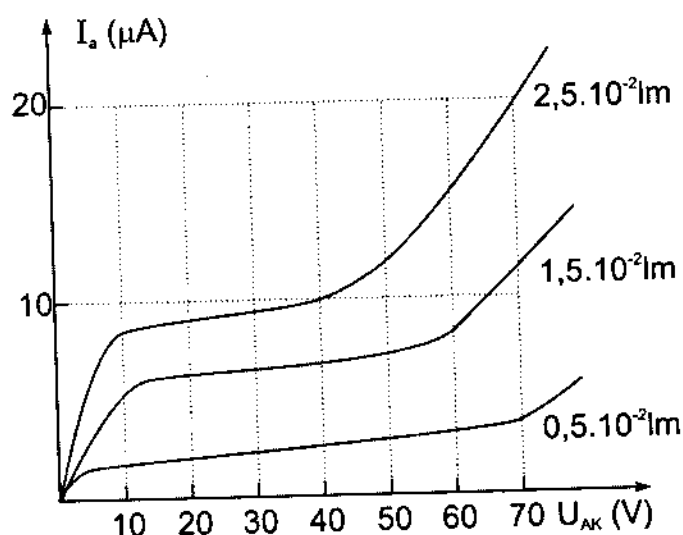
Khi $U_{AK} < 50V$ thì đặc trưng Vol-Ampe giống như tế bào chân không, bởi vì các điện tử tự do bức xạ từ katốt không đủ gia tốc để ion hoá khí.

Khi U_{AK} đủ lớn, điện tử và lỗ trống được gia tốc đủ lớn để ion hoá khí, làm cho dòng I_a tăng lên từ 5 ÷ 10 lần.

Như vậy đặc trưng vôn-ampe của đèn gồm 3 vùng :

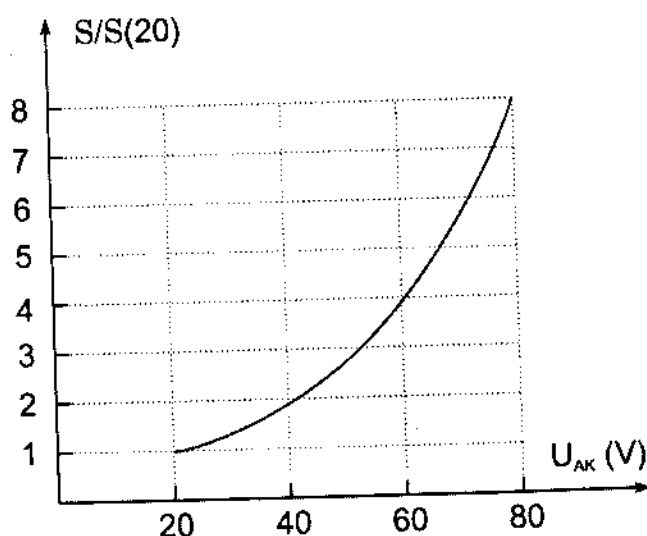
- Tuyến tính.
- Bão hoà.
- Tăng đột biến (theo hàm e mũ).

Khác với chân không là có vùng đột biến bởi có hiện tượng ion hoá khí khi $\vec{E}_{AK}$ đủ lớn (hiện tượng ion hóa do va chạm).

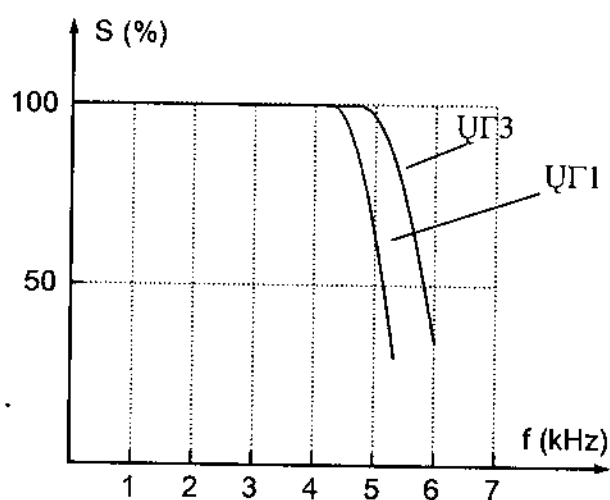


Hình 75. Đặc trưng V-A của tế bào quang điện chứa khí

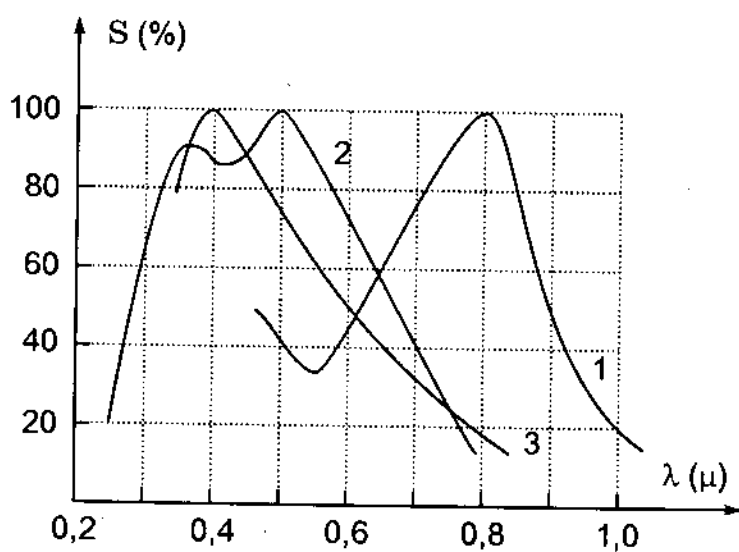
Trên thực tế ta có : Tế bào chân không thì không có quán tính còn tế bào chứa khí có quán tính (phụ thuộc vào thời gian ion hoá hay hồi phục cỡ 10^{-4} s). Ngoài ra độ nhạy của tế bào chứa khí còn phụ thuộc U_{AK} như đã chỉ ra trên hình 76.



Hình 76. Độ nhạy phụ thuộc U_{AK} của tế bào chứa khí



Hình 77. Đặc trưng tần số của tế bào quang điện chứa khí



Hình 78. Đặc trưng phổ của các photodiode thông dụng

- (1) Katốt : oxyt crôm,
- (2) Katốt : Antimoan crôm,
- (3) Katốt kim loại kiềm.

- Miền hồng ngoại ta dùng loại (1).
- Miền tím và tử ngoại ta dùng loại (2) và (3).

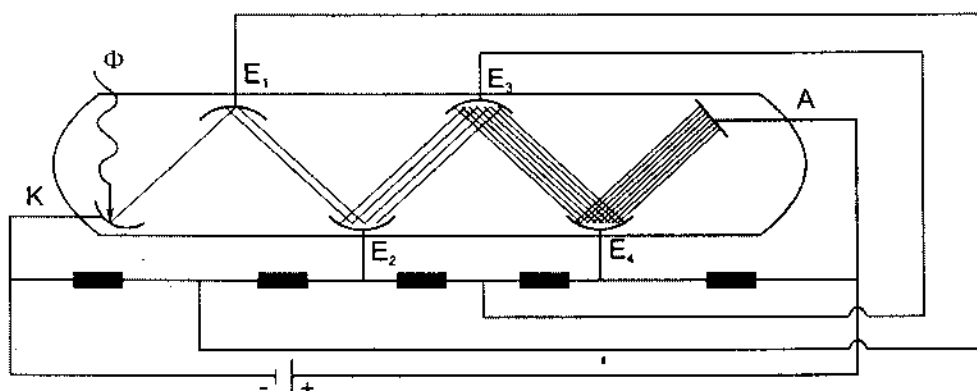
Cần lưu ý rằng các đặc trưng trên sẽ bị biến đổi theo thời gian và nhiệt độ.

Khi nhiệt độ tăng thì I_{Φ} tăng và đặc trưng phổ sẽ biến đổi. Độ nhạy S sẽ càng giảm theo thời gian vì biến tử bị già hoá theo thời gian.

Muốn tế bào (biến tử) có độ nhạy cao người ta dùng nhân quang điện.

6.3.2 Nhân quang điện

Ở bóng nhân, người ta khuếch đại dòng I_{Φ} bằng cách dùng sự phát xạ điện tử thứ cấp từ các Emictơ bố trí ngay trong bóng nhân. Bề mặt của các Emictơ được phủ bằng vật liệu có khả năng phát xạ điện tử thứ cấp. Các điện cực mắc nối tiếp nhau và được cung cấp điện thế thông qua các cầu điện trở. Từ cực thứ nhất đến các cực tiếp theo, điện thế của chúng tăng dần sao cho điện tử phát ra từ cực thứ k sẽ bị hút về cực k+1. Đồng thời qua mỗi điện cực, số điện tử thứ cấp phát ra sẽ tăng lên.



Hình 79. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị nhân quang điện

Nếu mỗi điện tử sơ cấp khi va chạm với điện cực giải phóng được δ điện tử, thì với n điện cực, số điện tử thứ cấp phát ra sẽ là δ^n (do 1 điện tử ban đầu tạo ra).

Thực tế, không phải mọi điện tử phát ra đều đến được điện cực đầu tiên. Mặt khác, không phải mọi điện tử thứ cấp phát ra từ một cực nào đó đều đến

được điện cực tiếp theo. Do đó, nếu gọi η_1 là hiệu suất truyền tải điện tử, η_2 là hiệu suất thu điện tử thì hệ số khuếch đại M là :

$$M = \eta_1 (\eta_2 \delta)^n \quad (6.15)$$

Với số điện cực $n = 5 \div 15$; hệ số phát xạ thứ cấp $\delta = 5 \div 10$; $\eta_1, \eta_2 > 90 \%$ thì $M \approx 10^6 \div 10^8$.

6.4. TẾ BÀO QUANG DẪN (QUANG TRỞ)

Khi ánh sáng chiếu vào vật liệu bán dẫn thì điện trở của nó bị giảm đi. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng quang điện nội.

Tế bào quang điện hoạt động dựa theo nguyên tắc này (hiệu ứng quang điện nội) được gọi là tế bào quang dẫn hay quang trở.

Quang trở được chế tạo từ các bán dẫn đa tinh thể, bán dẫn đơn tinh thể, bán dẫn riêng hoặc bán dẫn pha tạp.

Ví dụ :

- Đa tinh thể : CdS, CdSe, CdTe, Pbs, PbSe, PbTe.
- Đơn tinh thể : Ge, Si tinh khiết hoặc pha tạp Au, Cu, Sb, In

6.4.1 Khái niệm về hiện tượng quang dẫn

Ta hãy xét từ mô hình đơn giản để rút ra quan hệ định lượng giữa các đại lượng liên quan.

Giả thiết ta có 1 tấm bán dẫn phẳng, thể tích là V, bán dẫn loại n. Nồng độ Donor là N_d . Mức năng lượng cách đáy vùng dẫn là W_d (hình 81).

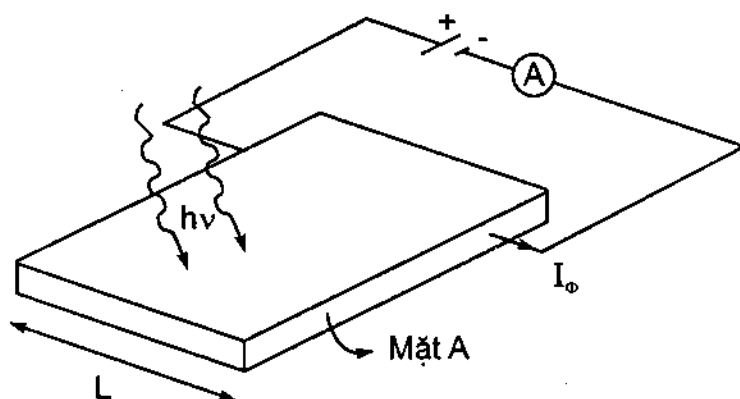
Giả thiết năng lượng ion hoá nguyên tử Donor đủ lớn (W_d đủ lớn), để ở nhiệt độ phòng các nguyên tử donor bị ion hoá là nhỏ (tức là n_0 nhỏ).

Trong tối, nồng độ điện tử được giải phóng trong một đơn vị thời gian do kích thích nhiệt từ các nguyên tử donor tỷ lệ thuận với các tạp chất chưa bị ion hoá.

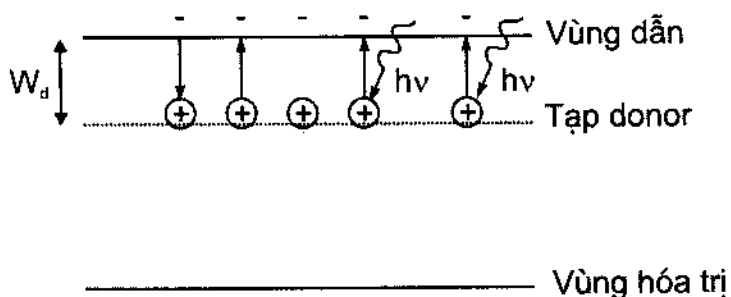
a ($N_d - n_0$) : Nồng độ điện tử tạo ra do kích thích nhiệt trong 1 đơn vị thời gian :

$$a = \exp (-qW_d/kT). \quad (6.16)$$

n_0 : nồng độ donor bị ion hóa do nhiệt.



Hình 80. Tế bào quang dẫn



Hình 81. Chuyển mức năng lượng

Số điện tử tái hợp trong một đơn vị thời gian tỷ lệ với số đã bị ion hoá : n_o . Nghĩa là tỉ lệ với m_o^2 (r là hệ số tái hợp).

Phương trình động học biểu diễn sự thay đổi của mật độ điện tử tự do khi chưa có ánh sáng chiếu vào có dạng :

$$\frac{dn_o}{dt} = a(N_d - n_o) - m_o^2. \quad (6.17)$$

Trong đó, $a(N_d - n_o)$: số electron tạo ra,

m_o^2 : số electron bị tái hợp.

Ở điều kiện cân bằng, quá trình tạo ra cặp điện tử – lỗ trống cân bằng với quá trình tái hợp, ta có :

$$\frac{dn_o}{dt} = 0. \quad (6.18)$$

Khi này, giải phương trình bậc 2 cho n_o và lấy nghiệm dương ($n_o > 0$) ta được :

$$n_o = -\frac{a}{2r} + \left(\frac{a^2}{4r^2} + \frac{aN_d}{r} \right)^{1/2}, \quad (6.19)$$

Độ dẫn trong tối (tức là độ dẫn khi chưa chiếu sáng) :

$$\sigma_o = q\mu n_o. \quad (6.20)$$

Trong đó, μ : độ linh động của e,

q : điện tích điện tử.

Khi nhiệt độ tăng thì độ linh động μ giảm nhưng mật độ n_o tăng bởi vì sự kích thích nhiệt rất lớn và quyết định đến độ dẫn σ của vật liệu (n_o tăng dẫn đến σ tăng).

– Khi chất bán dẫn bị chiếu sáng, các photon có $h\nu \geq W_d$ sẽ ion hoá các nguyên tử donor tạo ra g điện tử trong 1 giây trong 1 đơn vị thể tích :

$$g = \frac{G}{V} = \frac{G}{A.L}, \text{ thay } G \text{ từ 6.8 ta có : } = \frac{1}{A.L} \frac{\eta(1-r)}{h\nu} \phi. \quad (6.21)$$

Trong đó, η : hiệu suất lượng tử (số điện tử – lỗ trống hoặc lỗ trống được giải phóng khi 1 photon được hấp thụ).

Khi này phương trình động học (6.17) phải có thêm số hạng g :

$$\frac{dn}{dt} = a(N_d - n) + g - rn^2. \quad (6.22)$$

Thông thường, ánh sáng ϕ chiếu tới để số e^- do các photon giải phóng $\gg$ số e^- được giải phóng do nhiệt :

$$g \gg a(N_d - n),$$

$$\text{và} \quad n \gg n_o. \quad (6.23)$$

Ở điều kiện cân bằng $\frac{dn}{dt} = 0$ và với điều kiện (6.23) ta có :

$$n = \left[\frac{g}{r} \right]^{1/2} ; \sigma = q\mu n. \quad (6.24)$$

Tính đến biểu thức của g ta thấy $\sigma \sim \phi^{1/2}$. Độ dẫn là 1 hàm không tuyến tính của thông lượng sáng. Kết quả này gần trùng với thực nghiệm.

(Thực nghiệm chứng tỏ được số mũ của ϕ là nằm giữa 0,5 và 1).

Ở trên (6.17) là phương trình khi chưa có chiếu sáng. Còn (6.22) là phương trình khi có chiếu sáng.

6.4.2 Các đặc trưng

a. Điện trở của quang dẫn

Điện trở R_ϕ của quang dẫn phụ thuộc dạng hình học kích thước, nhiệt độ và bản chất hoá lý của vật liệu.

R_ϕ còn phụ thuộc nguồn sáng chiếu tới (độ rọi sáng, bước sóng...).

Một số vật liệu có điện trở tối R_T rất lớn như các chất PbS, CdS, CdSe = $R_T = 10^4 \Omega$ đến $10^9 \Omega$ ở $25^\circ C$.

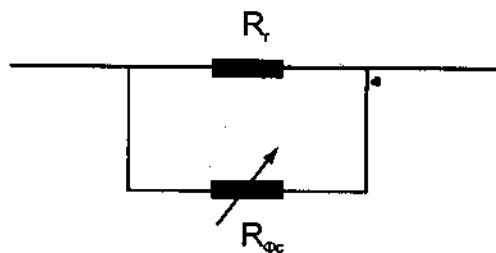
Một số vật liệu ngược lại như SbI₃, SdA₃ có R_T rất nhỏ : $R_T = 10 \Omega$ ÷ $10^3 \Omega$ ở $20^\circ C$.

Mạch tương đương của quang trở có thể xem như 2 điện trở R_T và $R_{\phi c}$ mắc song song.

Trong đó, R_T : điện trở tối (khi $\phi = 0$).

$R_{\phi c}$: điện trở khi chiếu ϕ ($R_{\phi c}$ phụ thuộc vào ϕ , bước sóng λ).

$$R_\phi = \frac{R_T \cdot R_{\phi c}}{R_T + R_{\phi c}}. \quad (6.25)$$



Hình 82. Mạch tương đương của quang trở

$R_{\phi C}$ là điện trở xác định bởi hiệu ứng quang điện khi chiếu sáng, có dạng :

$$R_{\phi C} = a \phi^{-\gamma}. \quad (6.26)$$

Trong đó, $(\gamma \approx 0,5 \div 1)$.

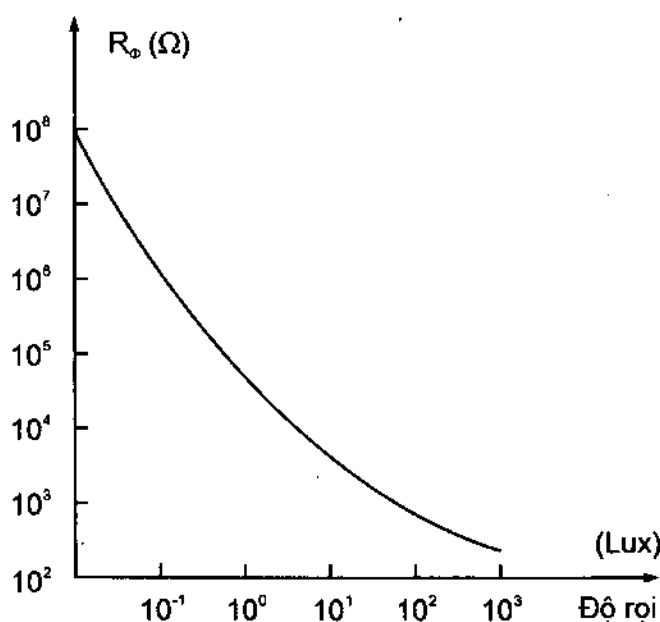
a : hệ số phụ thuộc vào vật liệu.

Thường thì $R_{\phi C} \ll R_T$

$$\rightarrow R_{\phi} \approx R_{\phi C} = a \phi^{-\gamma}. \quad (6.27)$$

Ta thấy $R_{\phi} = f(\phi)$ là hàm không tuyến tính. Tuy nhiên, có thể tuyến tính hoá bằng cách mắc thêm 1 điện trở // tế bào quang dẫn.

Do điện trở R_{ϕ} của quang trở là một hàm không tuyến tính với ϕ nên nó cũng là một hàm không tuyến tính với độ rọi sáng E (được chỉ ra trên đồ thị hình 83).



Hình 83. Sự phụ thuộc của điện trở vào độ rọi sáng $E = \frac{d\phi}{dA}$

Điện trở R_{ϕ} khi bị chiếu sáng phụ thuộc nhiệt độ. Độ nhạy nhiệt của tế bào càng nhỏ khi độ rọi càng lớn.

b) Độ nhạy

Từ sơ đồ tương đương của quang trở ta suy ngược lại, được phương trình về độ dẫn.

– Gọi $G_{\phi c}$ là độ dẫn quang (tức là độ dẫn do chiếu sáng tạo ra) :

$$G_{\phi c} = \frac{1}{R_{\phi c}} . \quad (6.28)$$

– Gọi G_T là độ dẫn trong tối (tức là độ dẫn khi không chiếu sáng) :

$$G_T = \frac{1}{R_T} . \quad (6.29)$$

– Gọi G_{ϕ} là độ dẫn tổng cộng

$$G_{\phi} = G_T + G_{\phi c} \approx G_{\phi c} . \quad (6.30)$$

Khi đặt điện áp U vào tế bào thì sẽ xuất hiện dòng I_{ϕ} chạy qua :

$$I_{\phi} = G_{\phi} U = G_T \cdot U + G_{\phi c} \cdot U .$$

$$I_{\phi} = I_o + I_{\phi c} . \quad (6.31)$$

Trong đó : I_o : dòng tối ;

$$I_o = G_T \cdot U .$$

$I_{\phi c}$: dòng quang điện (do ϕ chiếu sáng ra) ;

$$I_{\phi c} = G_{\phi c} \cdot U .$$

Trong điều kiện bình thường $I_o \ll I_{\phi c}$. Do vậy, dòng quang điện của tế bào được xác định :

$$I_{\phi} = \frac{U}{a} \phi^{\gamma} . \quad (6.32)$$

Trong đó, hệ số a phụ thuộc vật liệu, nhiệt độ, phổ số mũ γ cỡ $0,5 \div 1$.

Từ công thức này ta lập tỉ lệ I_{ϕ}/ϕ :

$$\frac{I_{\phi}}{\phi} = \frac{U}{a} \phi^{\gamma-1} , \quad (6.33)$$

gọi là tỉ lệ chuyển đổi tĩnh.

Còn độ nhạy S là :

$$S = \frac{dI_{\phi}}{d\phi} = \gamma \frac{U}{a} \cdot \phi^{\gamma-1}. \quad (6.34)$$

Trong biểu thức độ nhạy, số mũ $(\gamma - 1) < 0 \rightarrow \phi$ tăng thì S giảm.

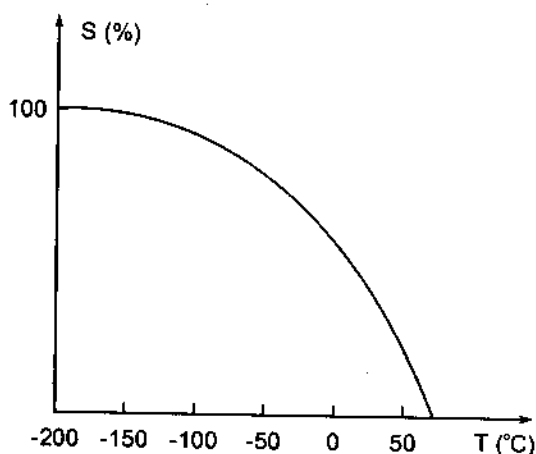
Nghĩa là độ nhạy giảm khi bức xạ chiếu tới tăng.

S tỉ lệ thuận với U chỉ đúng khi điện áp đủ nhỏ để hiệu ứng Joule không làm thay đổi nhiệt độ.

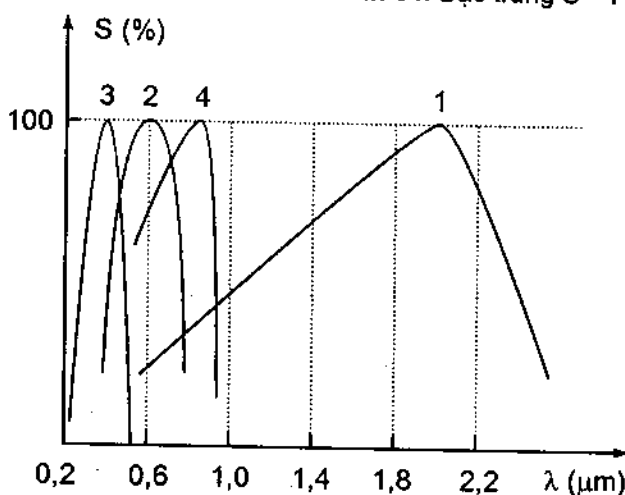
Lưu ý rằng độ nhạy còn phụ thuộc bước sóng :

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)}. \quad (6.35)$$

Dưới đây là một số hình ảnh của các đường cong đặc trưng.

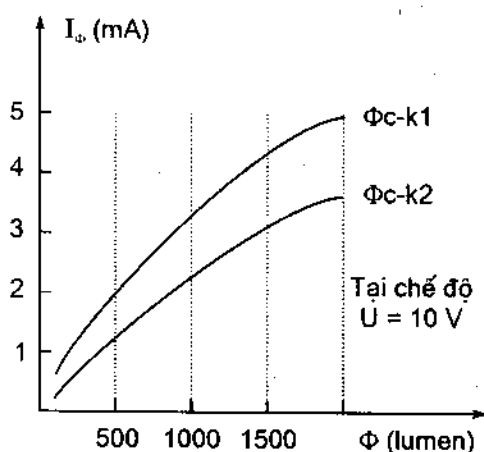


Hình 84. Đặc trưng $S = f(T^{\circ})$ của CdHgTe

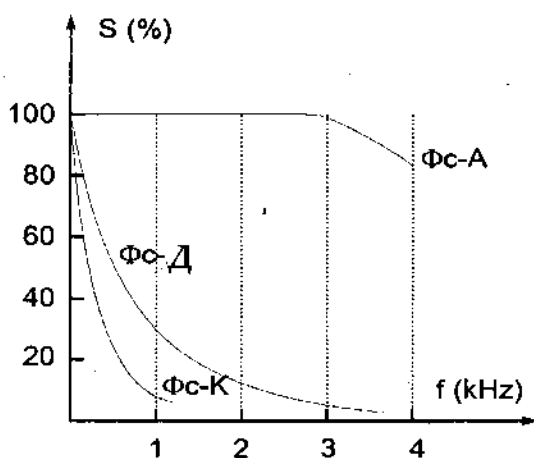


Hình 85. Đặc trưng phổ của một số quang trở

- Đường
- 1 : Loại chì Sulfua ($\phi C-A$) PbS.
 - 2 : Loại đa tinh thể Cadmi sulfua ($\phi C-K$) CdS.
 - 3 : Loại $\phi C-KM$.
 - 4 : Cadmi Secenua ($\phi C-A$) CdSe.

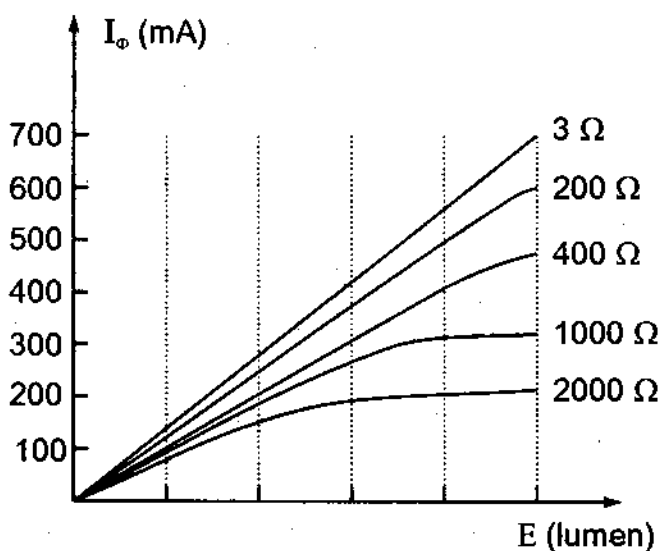


Hình 86. Đặc trưng chiếu sáng của một số tế bào quang dẫn



Hình 87. Đặc trưng tần số của một số tế bào quang dẫn (quang trở)

– Đặc trưng chiếu sáng của tế bào quang dẫn (quang trở) có độ tuyến tính phụ thuộc nhiều vào R_t tải. R_t tải càng nhỏ, độ tuyến tính càng cao. Khi trở nhỏ thì đặc trưng gần như tuyến tính (hình 88).



Hình 88. Độ tuyến tính của đặc trưng chiếu sáng phụ thuộc R_t

Ta thấy đặc trưng không tuyến tính. Mặt khác dòng I_ϕ không chỉ phụ thuộc vào quang thông ϕ mà I_ϕ còn phụ thuộc vào điện áp U đặt vào quang trở.

Vì vậy, với quang trở người ta còn đưa ra khái niệm độ nhạy riêng do bằng :

$$\frac{\text{MicroAmpe}}{\text{Lumen.Vol}}$$

Đôi khi lấy biểu thức $\frac{\Delta R}{R_T}$ để đánh giá độ nhạy tương đối.

Trong đó, R_T : Điện trở tối của quang trở.

ΔR : Độ giảm điện trở so với R_T khi có ϕ chiếu vào quang trở.

– Quang trở có quán tính rõ rệt. Hằng số thời gian τ đặc trưng cho quán tính.

Quán tính được xác định bởi biểu thức :

$$\gamma_f = \frac{\Delta R_f}{R_{f=0}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \approx \frac{1}{2} \omega^2 \tau^2. \quad (6.36)$$

6.4.3 Ứng dụng

– Do quang trở có đặc trưng chiếu sáng là phi tuyến, có quán tính đáng kể và các thông số phụ thuộc nhiệt độ rõ rệt, nên đã tạo ra hạn chế việc sử dụng nó.

– Ở chế độ xung nó cho dòng khá lớn cỡ 100 mA trong thời gian 1 giây (còn dòng liên tục cỡ 1 ÷ 1,5 mA).

Người ta không dùng tế bào quang dẫn để xác định chính xác thông lượng sáng ϕ mà chỉ dùng để phân biệt mức sáng khác nhau : trạng thái sáng, tối hoặc xung ánh sáng.

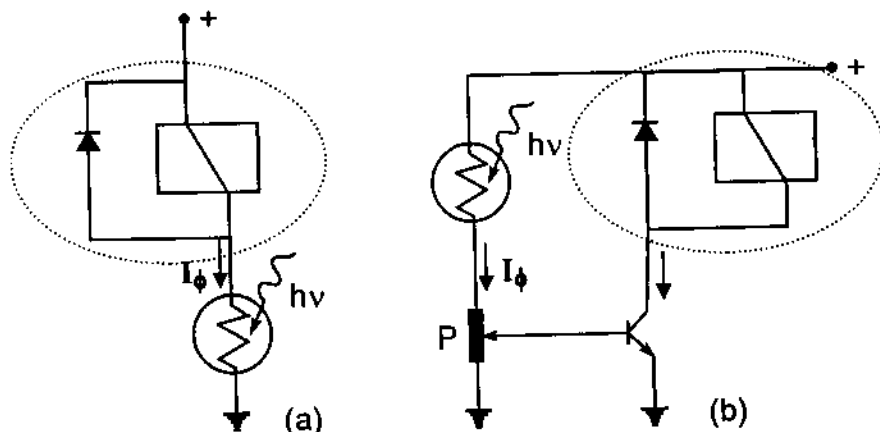
Tế bào quang dẫn thường được ứng dụng trong 2 trường hợp.

Điều khiển Role :

Khi có ϕ chiếu vào tế bào, R giảm đáng kể đủ để có dòng I_ϕ trên mạch. Dòng I_ϕ được sử dụng trực tiếp hoặc thông qua khuếch đại để đóng, mở Role (hình 89).

Thu tín hiệu Quang :

– Tế bào dùng để biến đổi xung quang thành xung điện. Sự ngắt quãng của xung quang được phản ánh trung thực qua xung điện của mạch. Do vậy, các thông tin nằm trong xung quang mang đến được thể hiện trên xung điện. Người ta ứng dụng nó để đếm vật hoặc đo tốc độ quay của đĩa.



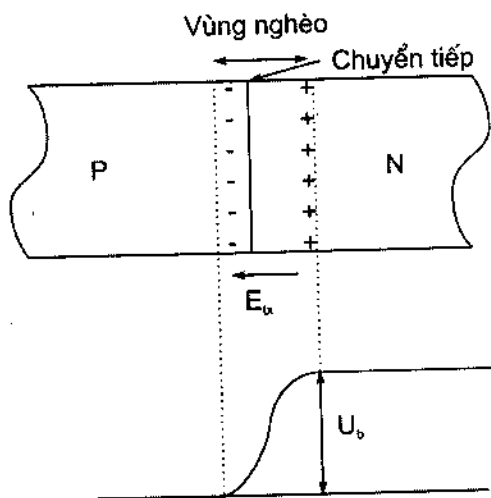
Hình 89. Dùng tế bào quang dẫn để đóng, ngắt Role

6.5. PHOTO-DIODE (HAY DIODE QUANG ĐIỆN)

6.5.1 Nguyên lý

Dựa trên hiện tượng khi chiếu sáng ϕ vào lớp tiếp xúc P – N thì lớp ngăn này trở thành 1 nguồn điện. Nếu mạch kín sẽ tồn tại dòng I_ϕ trên mạch (đây là dạng biến từ phát).

Gần ranh giới tiếp xúc P – N là miền nghèo hạt dẫn bởi vì tại đó tồn tại $\vec{E}$ tiếp xúc và hình thành một hàng rào thế U_b như hình 90.



Hình 90. Chuyển tiếp P-N và hàng rào thế

a) Khi $\vec{E}_{ngoài} = 0$ ($U_{ngoài} = 0$)

Dòng điện đi qua chuyển tiếp $I = 0$, thực chất dòng I này chính là dòng tổng cộng của 2 dòng bằng nhau và ngược chiều :

$$I = I_{KT} + I_c = 0.$$

Trong đó,

– Dòng I_{KT} là dòng khuếch tán của những hạt dẫn cơ bản do ion hoá tạp chất (lỗ trống ở P sang N, e^- ở N sang P). Năng lượng của các hạt dẫn này đủ lớn để vượt qua hàng rào thế U_b .

– Dòng I_c là dòng cuốn của các hạt dẫn không cơ bản do kích thích nhiệt các cặp e^- – lỗ trống được hình thành, $\vec{E}_{tx}$ cuốn e^- từ P sang N, lỗ trống từ N sang P.

b) Khi có $E_{ngoài} \neq 0$ ($U_{ngoài} = U_d \neq 0$)

Thì chiều cao của hàng rào thế thay đổi, độ rộng vùng nghèo cũng thay đổi, dòng hạt dẫn cơ bản I_{KT} thay đổi $\rightarrow I \neq 0$.

Khi này

$$I = I_o \exp \left[\frac{qU_d}{KT} \right] - I_o \quad (6.37)$$

Trong đó, U_d là điện áp đặt lên diode.

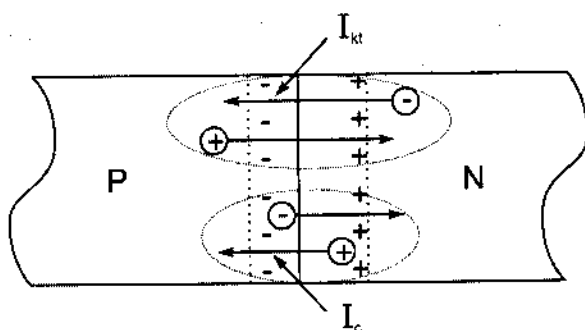
I_o là dòng nhiệt (ngược).

– Nếu điện áp ngược đủ lớn ($|U_d| \gg \frac{KT}{q} = 26\text{mV}$ ở 300K), thì chiều cao hàng rào thế đủ lớn, đến mức dòng khuếch tán hạt dẫn cơ bản I_{KT} rất nhỏ có thể bỏ qua.

Khi này $I \equiv I_c = I_{ngược} = I_o$.

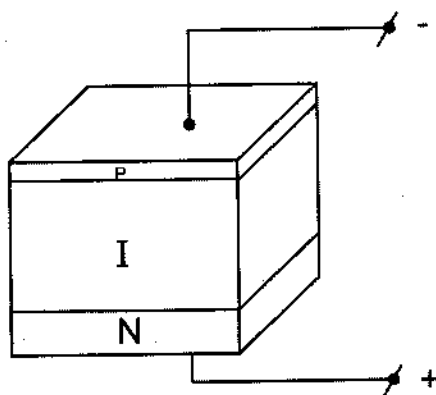
Gọi I_o là dòng ngược của Diode.

Khi ta chiếu sáng ϕ vào, miền nghèo (miền tiếp xúc P-N) của diode có $\lambda < \lambda_s$ ngưỡng sẽ xuất hiện các cặp điện tử – lỗ trống, các hạt dẫn mới do ϕ tạo nên này sẽ tham gia vào độ dẫn và làm tăng dòng I_c .



Hình 91. Dòng cuốn và dòng khuếch tán

Muốn tăng I_C phải ngăn cản quá trình tái hợp và nhanh chóng tách cặp điện tử - lỗ trống dưới tác dụng của $\vec{E}_{ix}$. Điều này chỉ xảy ra ở trong miền nghèo và sự chuyển dời của các điện tích đó ($\equiv$ hướng chuyển dời của các hạt không cơ bản) làm tăng dòng ngược $I_{ngược}$ trên thực tế phiên bản dẫn được làm rất mỏng để sử dụng ánh sáng tới một cách hữu hiệu nhất, đồng thời vùng nghèo cũng phải đủ rộng để sự hấp thụ ánh sáng tới ở đó là cực đại ví dụ như các diode PIN được mô tả ở hình 92.



Hình 92. Cấu trúc diode loại PIN

I : Lớp bán dẫn riêng được kẹp giữa 2 lớp P và N.

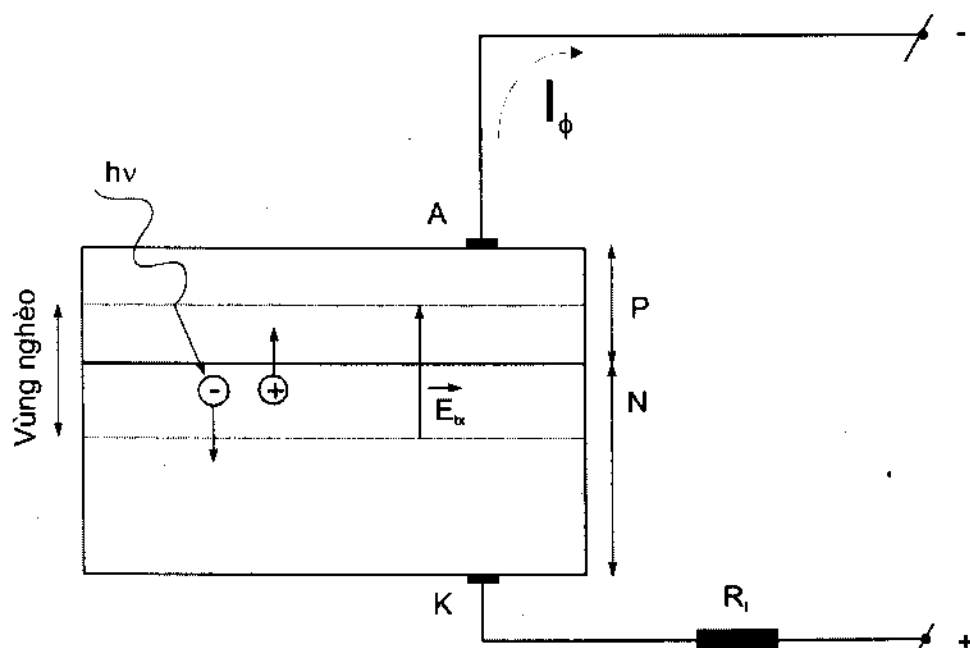
Bán dẫn I là bán dẫn có điện trở suất lớn hơn nhiều điện trở suất của bán dẫn P và N. Vì vậy, chỉ cần điện áp ngược nhỏ vài vol thì miền nghèo đã mở rộng hết cả lớp bán dẫn P.

Chỉ cần U_d ngược cỡ vài vol là vùng nghèo sẽ được mở rộng ra toàn bộ lớp I (việc mở rộng miền nghèo $\sim$ với điện trở suất của vật liệu).

Vật liệu diode :

- Vùng sáng nhìn thấy : S_i, G_e .
- Vùng hồng ngoại : Ga As, In, As, InSb.

Hiệu ứng quang điện xảy ra với diode quang điện và cách mắc nguồn ngoài được mô phỏng trên hình 93.



Hình 93. Hiệu ứng quang điện trong vùng nghèo của diode quang điện

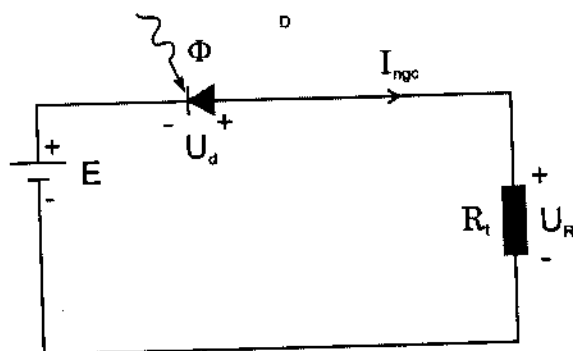
Lưu ý rằng nguồn ngoài mắc với diode quang điện luôn mắc phân cực ngược do lớp tiếp xúc P-N.

– Tương tự như quang trở, diode quang điện có quán tính khá lớn. Nó được thể hiện ở đặc trưng tần số (tần số > 100 Hz) độ nhạy tương đối giảm (nhỏ hơn 20%). Nói chung độ nhạy của diode quang điện lớn hơn nhiều lần độ nhạy của quang trở.

6.5.2 Chế độ hoạt động

a) Chế độ quang dẫn

Nguồn ngoài được mắc phân cực ngược với diode quang điện, tức $U_d < 0$ (hình 94).



Hình 94. Sơ đồ nguyên lý diode quang điện ở chế độ quang dẫn

Khi này dòng ngược $I_{ngược}$ qua D là :

$$I_{ngược} = -I_0 \exp\left[\frac{qU_d}{kT}\right] + I_0 + I_\phi. \quad (6.38)$$

Trong đó,

Ở vế phải (6.38) thì số hạng thứ 3 $\gg$ số hạng thứ nhất và thứ 2.

I_ϕ là dòng quang điện được hình thành khi chiếu ϕ vào vùng nhảy sáng (miền tiếp xúc P-N).

$$I_\phi = \frac{q\eta(1-r)\lambda}{hc} \phi_0 \exp(-\alpha x). \quad (6.39)$$

Trong đó, x : là chiều dày vật liệu mà ánh sáng đi qua.

α : hệ số hấp thụ.

ϕ_0 : công suất chiếu sáng tại bề mặt lớp tiếp xúc

$$\phi = \phi_0 e^{-\alpha x}.$$

r : Hệ số phản xạ.

η : Hệ số lượng tử.

Khi điện áp ngược U_d đủ lớn thì phần exp của (6.38) $\rightarrow 0$.

Khi đó :

$$I_{ngược} = I_0 + I_\phi \approx I_\phi. \quad (6.40)$$

Phương trình thế :

$$U_R = E + U_D. \quad (6.41)$$

$I_{ngược} = U_R / R_T$ nên :

$$I_{ngược} = \frac{E}{R_t} + \frac{U_D}{R_t}. \quad (6.42)$$

b) Chế độ quang thế

Ở chế độ này không có nguồn ngoài. Diode hoạt động như một bộ chuyển đổi năng lượng. Tương đương như 1 máy phát và người ta sẽ :

– Đo thế hở mạch U_{hm} , hoặc

– Đo dòng ngắn mạch I_{ngm} .

1. Hãy xét đo thế hở mạch

I_ϕ của dòng hạt dẫn không cơ bản khi có ϕ chiếu sáng sẽ làm giảm chiều cao hàng rào thế (U_b giảm), làm cho dòng hạt cơ bản tăng lên để đảm bảo giữa 2 dòng cơ bản và không cơ bản sao cho $I = 0$. Nghĩa là :

$$\begin{aligned} -I_o \exp \left[\frac{q\Delta U_b}{KT} \right] + I_o + I_\phi &= 0. \\ \Delta U_b &= \frac{KT}{q} \cdot \ln \left[1 + \frac{I_\phi}{I_o} \right]. \end{aligned} \quad (6.43)$$

Với I_ϕ là dòng quang điện do ϕ tạo ra được biểu diễn tại (6.39).

Sự giảm hàng rào thế một lượng ΔU_b có thể xác định được khi đo thế hở mạch U_{hm} giữa hai đầu diode. Tức là :

$$\Delta U_b = \frac{KT}{q} \cdot \ln \left[1 + \frac{I_\phi}{I_o} \right] = \text{thế hở mạch } U_{ak}. \quad (6.44)$$

– Khi chiếu sáng yếu :

$$\begin{aligned} I_\phi &\ll I_o, \\ U_{hm} &\approx \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_\phi}{I_o}, \end{aligned} \quad (6.45)$$

Trường hợp này U_{hm} nhỏ ($\frac{KT}{q} \approx 26\text{mv}$ ở 300K).

$U_{hm} = f(\phi)$ là tuyến tính.

– Khi chiếu sáng mạnh :

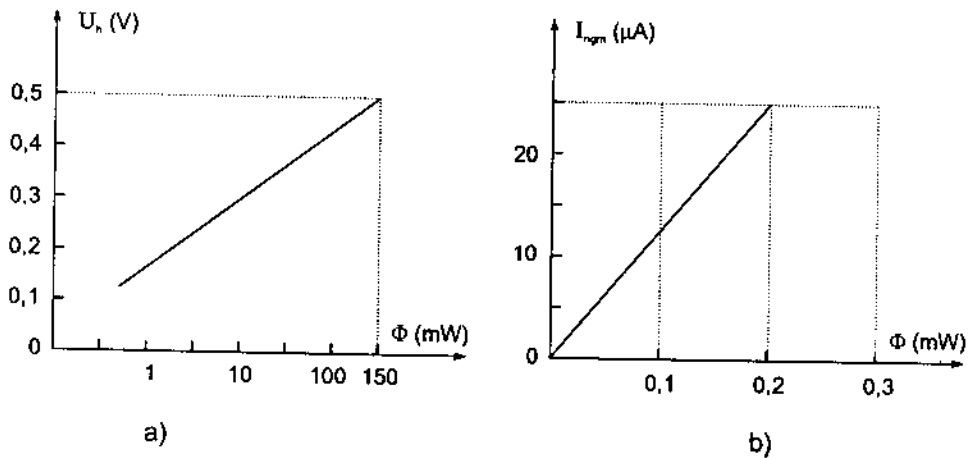
$I_\phi \gg I_0$ ta có :

$$U_{hm} \approx \frac{KT}{q} \ln \frac{I_\phi}{I_0}. \quad (6.46)$$

Khi này U_{hm} tương đối lớn $\approx 0,1 \div 0,6V$ nhưng U_{hm} phụ thuộc vào ϕ có độ phi tuyến.

2. Hãy xét dòng ngắn mạch I_{ngm}

Khi nối “ngắn” mạch hai đầu diode bằng một $R_t < R_d$ (điện trở nội diode) lúc có ϕ thì dòng đoản mạch chính là dòng I_ϕ , và $I_\phi \sim \phi$.



Hình 95. Sự phụ thuộc a) thế hở mạch vào ϕ , b) dòng ngắn mạch vào ϕ

Đặc điểm quan trọng của chế độ quang thế là không có dòng tối. Bởi vì khi này không có phân cực ngoài. Nó giảm nhiều và cho khả năng đo thông lượng nhỏ.

3. Độ nhạy

Độ nhạy phổ được xác định bởi :

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_\phi}{\Delta \phi} = \frac{q\eta(1-r)\exp(-\alpha x)}{hc} \lambda. \quad (6.47)$$

Với điều kiện $\lambda \leq \lambda_s$ ngưỡng.

Cần phải biết được đặc trưng phổ $S(\lambda) = f(\lambda)$ để xác định tế bào phù hợp với bước sóng của ϕ chiếu tới (hình 96).

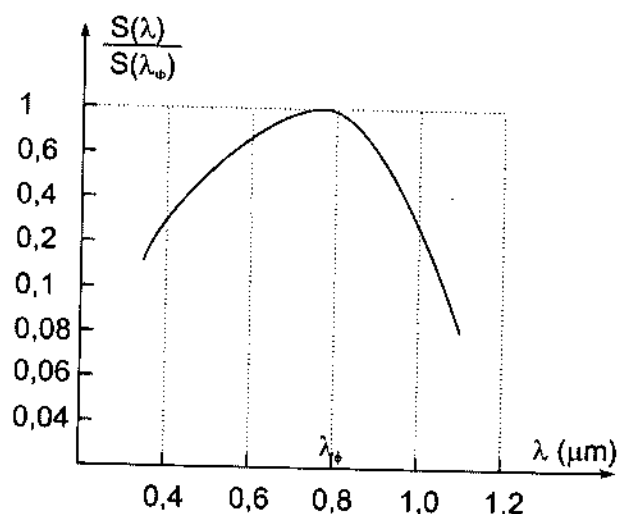
Cần lưu ý rằng S còn phụ thuộc nhiệt độ.

Dưới ảnh hưởng của nhiệt độ, bước sóng λ_ϕ ứng với độ nhạy cực đại sẽ dịch chuyển. Khi nhiệt độ tăng thì λ_ϕ dịch chuyển về phía bước sóng dài.

Hệ số nhiệt độ của dòng quang dẫn là :

$$\frac{1}{I_\phi} \cdot \frac{dI_\phi}{dT} \approx 0,1\% / ^\circ\text{C}.$$

Tức là tăng 1°C thì dòng quang điện qua tế bào quang dẫn sẽ tăng 10‰.



Hình 96. Đặc trưng phổ của photodiode

Hình 96 cho thấy khi nhiệt độ tăng, λ_ϕ có xu hướng dịch chuyển về phía bước sóng dài.

4. Sơ đồ sử dụng photodiode

a) Chế độ quang dẫn (có nguồn phân cực ngoài) :

Ở chế độ này độ tuyến tính cao, quán tính nhỏ, dải thông lớn.

Dùng mạch khuếch đại thuật toán lỗi vào không đảo có phản hồi âm.

$$U_{ra} = R_1 I_\phi \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right).$$

b) Chế độ quang thế (không có nguồn phân cực ngoài)

Đặc điểm chế độ này là có thể làm việc ở chế độ logarit hoặc tuyến tính (phụ thuộc tải).

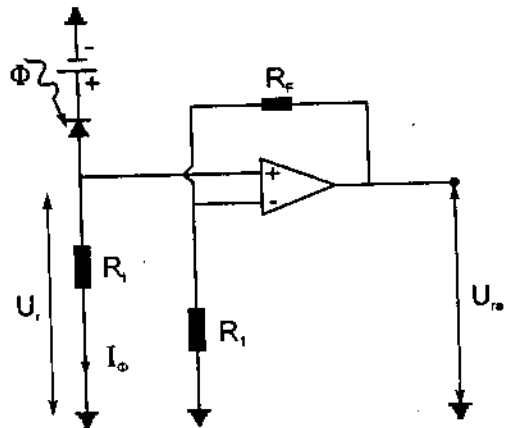
Ít nhiễu, quán tính lớn, dải thông nhỏ.

Dưới đây là sơ đồ logarit đo U_{hm} .

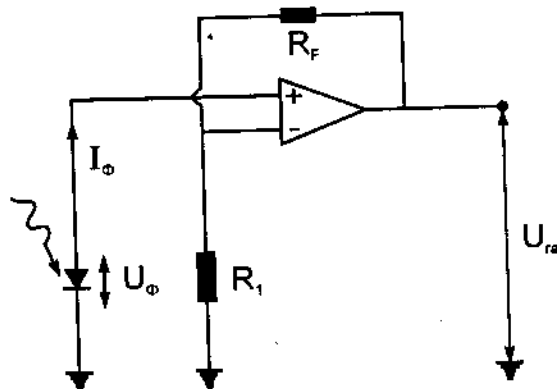
$$U_{ra} = U_\phi \left[1 + \frac{R_F}{R_1} \right]. \quad (6.48)$$

$$U_\phi = U_{hmach} = \frac{U_{ra}}{1 + \frac{R_F}{R_1}}.$$

$$\text{mà } U_{hmach} = \begin{cases} \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_\phi}{I_o} & (\text{khi ánh sáng yếu}) \\ \frac{KT}{q} \ln \frac{I_o}{I_o} & (\text{khi ánh sáng mạnh}). \end{cases}$$



Hình 97. Sơ đồ đo dòng ngược trong chế độ quang dẫn



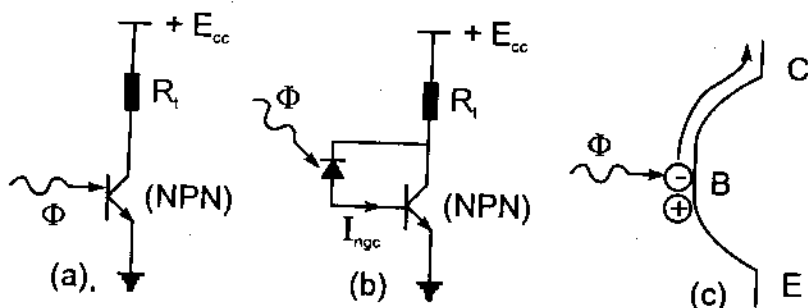
Hình 98. Chế độ quang thế của photodiode (đo thế hở mạch)

6.6. PHOTO-TRANSISTOR

6.6.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Photo transistor là các transistor silic loại NPN, không có điện áp đặt lên bazơ, chỉ có điện áp đặt lên CE, chuyển tiếp B-C phân cực ngược. Vùng bazơ được dọi sáng ϕ .

Sơ đồ mạch, sơ đồ tương đương và hiện tượng quang điện được thể hiện trên hình 99.



Hình 99. Photo transistor

a) Sơ đồ mạch.

b) Sơ đồ tương đương.

c) Sự hình thành cặp điện tử – lỗ trống khi chiếu sáng và chiều cuốn của nó bởi E_{tx} giữa BC.

Chuyển tiếp B-C : phân cực ngược, $U_{BE} \approx 0,6 \div 0,7V$.

Khi chuyển tiếp B-C được chiếu sáng nó sẽ hoạt động giống photo diode ở chế độ quang dẫn (có $\vec{E}_{ngoài}$).

Với :

$$I_{ngược} = I_o + I_\phi.$$

I_o là dòng ngược trong tối (dòng tối).

I_ϕ là dòng quang điện dưới tác dụng của ϕ :

$$I_\phi = \frac{q\eta(1-r)\exp(-\alpha x)}{hC} \lambda \phi_o. \quad (6.49)$$

Khi này, dòng $I_{ngược}$ đóng vai trò dòng I_B (dòng Bazo) nó tạo ra dòng I_c nhờ hiệu ứng KĐ của Transistor :

[illegible]

$$I_C = \beta I_{\text{ngc}} = \beta (I_o + I_\phi). \quad (6.50)$$

Có thể coi phototransistor như là tổ hợp của 1 photodiode và 1 transistor (hình 99b).

Photodiode cung cấp dòng cho bazơ còn transistor cho hiệu ứng KĐ dòng.

Các điện tử và lỗ trống được tạo ra tại vùng bazơ dưới tác dụng của ϕ sẽ được gia tốc dưới ảnh hưởng của E_{ix} đi từ $E \rightarrow B \rightarrow C$. Lỗ trống bị ở lại trong vùng bazơ.

6.6.2 Độ nhạy của Photo Transistor

Khi chiếu ánh sáng, diode B – C nhận được ϕ sẽ sinh ra dòng quay điện I_{ϕ} . Dòng này được transistor khuếch đại thành dòng $I_{\phi C}$ tại Collector.

$$I_{\phi C} = \frac{q\beta\eta(1-r)\exp(-\alpha x)}{hC} \lambda\phi_0. \quad (6.51)$$

β là hệ số khuếch đại dòng.

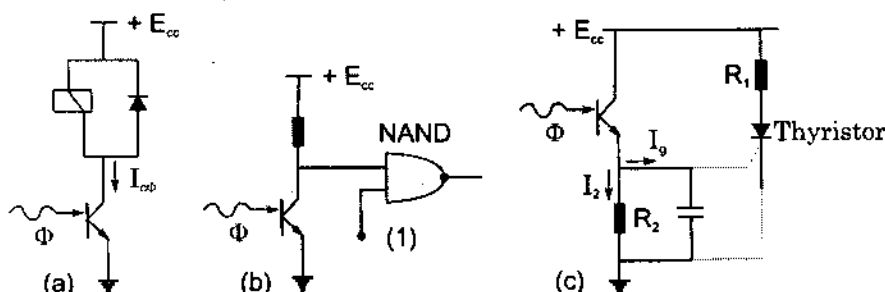
Đối với chùm ϕ cho trước, đường cong phổ được xác định bởi bản chất của diode B - C.

Đối với một bước sóng λ cho trước, dòng I_ϕ không phải là hàm tuyến tính của ϕ . Do đó độ nhạy S phụ thuộc vào độ lớn của ϕ .

6.6.3 Sơ đồ sử dụng photo transistor (mạch ứng dụng)

Photo transistor có thể dùng làm bộ chuyển mạch. Nó ít sử dụng làm phần tử tuyến tính (thường dùng photo diode làm phần tử tuyến tính). Nó cho phép điều khiển trực tiếp mạch vì dòng I_{0c} tương đối lớn.

- Đóng ngắt Role.
- Cổng logic.
- Điều khiển thyristor.



Hình 100. Photo transistor trong chế độ chuyển mạch để điều khiển a) rơ-le, b) mạch logic, c) thyristor

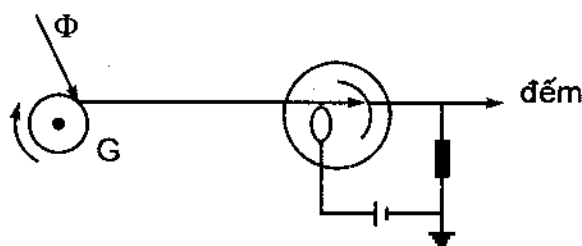
e) Sử dụng trong các hệ tự động quang điện

– Tự động đóng ngắt mạch.

– Điều khiển các hệ logic.

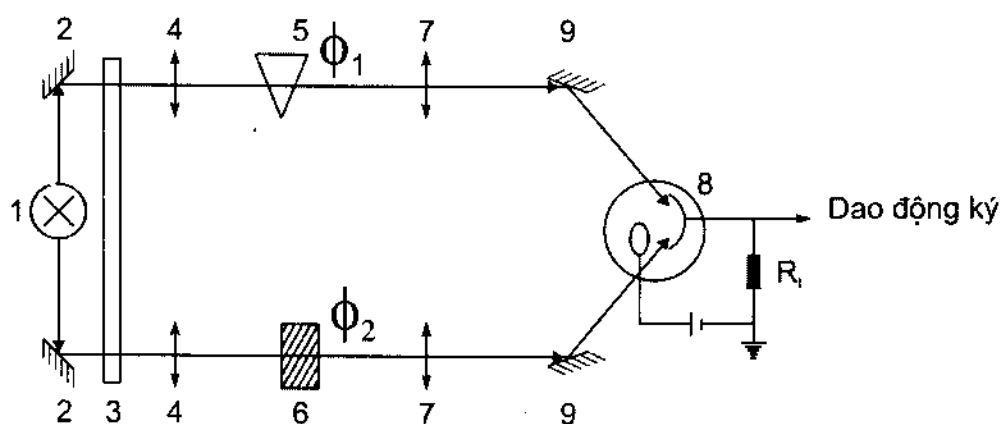
f) Đo tốc độ quay của một vật

Trên trục quay gắn một gương phản xạ từ gương tới tế bào. Mỗi vòng quay tạo ra một xung điện được đưa vào máy đếm.



Hình 104. Đo tốc độ quay của một vật

Dưới đây là sơ đồ dùng tế bào đo độ hấp thụ theo kiểu so sánh (dùng một tế bào).



Hình 105. Đo độ hấp thụ kiểu so sánh

Đĩa đục lỗ 3 : Hệ thống lỗ trên một đường kính, ở phía này đục phía kia không đục. Nghĩa là tại một thời điểm bất kỳ, đĩa chỉ cho ϕ chiếu qua hoặc kênh một hoặc kênh hai.

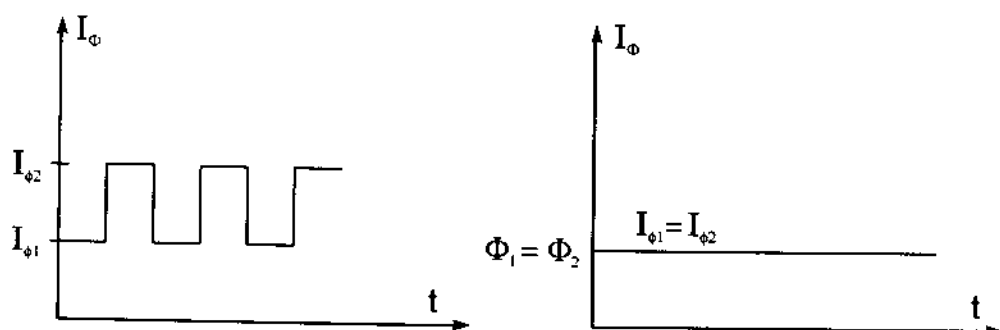
Nèm 5 : Nèm mẫu để so sánh.

Vật 6 : Cân đo độ hấp thụ.

13.8.19
900.4.006
2019

Nếu độ hấp thụ khác nhau $\phi_1 \neq \phi_2$ qua tế bào quang điện sẽ tạo thành xung.

Nếu $\phi_1 = \phi_2$ sẽ cho ta một đường thẳng như giản đồ dưới đây :



Hình 106. Giản đồ của cường độ dòng quang thông theo thời gian trong hai trường hợp

a) $\phi_1 < \phi_2$ tức $I_{\phi 1} < I_{\phi 2}$

b) $I_{\phi 1} = I_{\phi 2}$

100%
218.616

Chương 7

BIẾN TỬ ION HÓA

(Biến tử bức xạ hạt nhân)

Các nguồn bức xạ ra các chùm hạt : α , β , γ , notron, photon. Các chùm hạt này tương tác với vật chất làm ion hoá các nguyên tử vật chất. Tức là tia phóng xạ tạo ra các hạt dẫn điện khi tương tác với vật chất.

Tín hiệu điện thu được tương đương số hạt bị ion hoá. Số hạt bị ion hoá phụ thuộc nguồn phóng xạ, vào kích thước, bản chất vật liệu.

Vì vậy biến tử loại này cho phép nghiên cứu cấu tạo và bản chất của vật liệu.

7.1 NGUỒN PHÓNG XẠ VÀ CÁC HỆ THỨC CƠ BẢN

7.1.1 Nguồn phóng xạ (nguồn tia ion hoá)

Thường dùng các nguồn bức xạ là : α , β , notron. Các nguồn này có thể là các đồng vị thiên nhiên hay nhân tạo.

Các đại lượng vật lý đặc trưng cho nguồn là :

a) Hoạt tính

Hoạt tính A của nguồn được đặc trưng bằng số quá trình phân huỷ xảy ra trong nguồn trong thời gian 1 giây. Đơn vị là Curie.

Curie được định nghĩa là hoạt tính của 1 đồng vị phóng xạ, trong đó xảy ra $3,7 \cdot 10^{10}$ quá trình phân huỷ trong 1 giây.

$$A = \frac{\text{số phân huỷ}}{\text{giây}} \quad [\text{Curie}].$$

b) Cường độ bức xạ J (W/cm^2)

Là năng lượng bức xạ đi qua một đơn vị diện tích đặt thẳng góc với tia tới trong một đơn vị thời gian.

$$c) \text{Đôzơ bức xạ } W \left[\frac{\text{Jun}}{\text{Kg}} \right] \text{ hoặc } [\text{radi}]$$

1 Radi = 0,01 Jun/kg : là năng lượng hấp thụ của môi trường trong thời gian chiếu xạ t_x của 1 kg phóng xạ.

d) Công suất Đôzơ $G \left[\frac{W}{Kg} \right]$

Năng lượng hấp thụ của môi trường trong một đơn vị thời gian của 1 kg phóng xạ.

e) Đôzơ bị chiếu bức xạ γ (hay Ronghen)

Được đặc trưng bởi khả năng ion hoá của bức xạ, đơn vị là Ronghen. 1 ronghen là 1 đôzơ bị chiếu tạo nên $2,08 \cdot 10^9$ cặp ion trong không khí.

7.1.2 Các hệ thức cơ bản của tia phóng xạ

a) Tia phóng xạ α

Tia α là hạt nhân của Heli mang điện tích $+q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.

$$E_{\alpha} \approx 3 \div 11 \text{ Mev.}$$

Khả năng truyền qua của α là nhỏ :

$$l_{KKhí}^{(mm)} = 3,18 \cdot E_{\alpha}^{3/2} (\text{Mev}).$$

$$l_{vật} = l_{KKhí} - \frac{\rho_{KKhí}}{\rho_{vật}} \sqrt{\frac{Z_{vật}}{Z_{KKhí}}}.$$

Trong đó, ρ : mật độ.

Z : trọng lượng nguyên tử.

$$l_{KKhíMax} \approx 90 \text{ mm.}$$

Khối lượng m lớn nên khả năng ion hoá lớn.

Mỗi hạt α tạo nên cỡ $2 \cdot 10^5$ ion trên đường đi. Số cặp ion tạo ra ở 1 phía của mặt phẳng của nguồn bức xạ trong một giây là :

$$f_N = \frac{1}{2} \frac{E_{\alpha}}{\Delta E} \cdot CA \quad (7.1)$$

Trong đó, ΔE : Năng lượng ion hoá một cặp ion.

A : Hoạt tính của nguồn.

$$C = 3,7 \cdot 10^{10} (\text{Curie}).$$

Nếu mọi ion đều được chuyển đến điện cực thì dòng điện tạo ra sẽ là :

$$I_{\alpha} = f_N \cdot q = \frac{1}{2} \frac{E_{\alpha}}{\Delta E} C.A.q. \quad (7.2)$$

Trong đó, q : Là điện tích của ion.

b) Tia phóng xạ β

Chùm tia β là chùm e^{-} có năng lượng cỡ $1 \div 1,2$ Mev.

Khả năng ion hoá nhỏ so với α .

Trên một cm không khí hạt α ion hoá được từ $5 \div 6$ cặp ion.

$$l_{\text{kkhí}} \approx 50 \text{ mm.}$$

$$l_{\text{nhôm}} \approx 1,75 \text{ mm.}$$

Khi đi qua môi trường vật chất tia β bị tán xạ và hấp thụ, vì vậy cường độ bức xạ giảm :

$$J = J_0 e^{-\mu d} = J_0 \exp[-\mu p d]. \quad (7.3)$$

μ : Hệ số hấp thụ phụ thuộc vật liệu (1/mm).

μ_m : hệ số hấp thụ khối không phụ thuộc bản chất vật liệu (mm^2/mg).

ρ : Mật độ vật chất (mg/mol).

Cường độ phản xạ :

$$J_{\text{Phản xạ}} = J_{\text{Phản xạ max}} [1 - \exp(-\mu_{\text{phản xạ}} d)]. \quad (7.4)$$

$\mu_{\text{phản xạ}}$: là hệ số phản xạ.

d : chiều dày lớp phản xạ.

Gọi cường độ hạt β tới vật hấp thụ J_0 thì :

$$J_0 = A.C.E_{\beta} \frac{1}{4\pi r_0^2} 1,6.10^{-13} \quad (7.5)$$

Trong đó, r_0 : Khoảng cách từ nguồn tới vật hấp thụ.

E_{β} : năng lượng 1 hạt β chiếu vào vật hấp thụ.

A : Hoạt tính của nguồn.

$C \approx 3,7.10^{10}$: số Curie.

c) Tia γ

Là chùm tia sóng điện từ có bước sóng rất ngắn :

$$E_{\gamma} = \frac{12,38}{\lambda}. \quad (7.6)$$

Khả năng truyền qua của γ là lớn vì ít tương tác với môi trường truyền qua.

Khi $E_{\gamma} = 1 \text{ Mev}$ thì khả năng truyền qua :

Qua Pb là 1,6mm.

Qua Al là 2,2 mm.

Qua Fe là 2,4 mm.

Cường độ bức xạ γ :

$$J_o = A.C.K.E_{\gamma} \frac{1}{4\pi r_o^2} . 1,6.10^{-13}. \quad (7.7)$$

Trong đó, r_o : là khoảng cách từ nguồn đến vật

k : là hằng số lượng tử (số γ phát ra trung bình trong 1 giây của cả quá trình phân huỷ).

d) Một số đồng vị thường dùng

Bảng 5. Một số loại đồng vị thường dùng

Tên đồng vị	Ký hiệu	Chu kỳ bán huỷ	Loại bức xạ XS	Năng lượng
Côban 60	C_o^{60}	5,3 năm	γ	1,17 ÷ 1,73 Mev
Xêsi 134	Cs^{134}	2 năm	γ	0,75 Mev
Telua 206	T_l^{206}	2,7 năm	β	0,58 Mev
Stromsi 89	Sr^{89}	55 ngày	β	1,5 Mev
Poloni 210	P_o^{210}	138 ngày	α	5,3 Mev

7.2. ĐÁNH GIÁ BẰNG ION HOÁ CHẤT KHÍ

7.2.1 Nguyên lý chung

Trong 1 thể tích chất khí có 2 điện cực được đặt vào 1 hiệu điện thế không đổi. Bức xạ hạt nhân chiếu tới sẽ làm ion hoá chất khí, tạo ra các cặp ion $+$, $-$. Điện trường của 2 điện cực sẽ định hướng chuyển động của các ion $+$, $-$ vừa được tạo ra :

ion + chạy về Katot

ion – chạy về Anot



tạo ra dòng điện.

Các điện cực thường có dạng hình trụ. Vỏ của biến tử đóng vai trò Katot thường được nối đất Anot là 1 sợi dây mảnh đồng trục được đặt dưới một điện áp nhất định.

Năng lượng w_i cần thiết để tạo ra 1 cặp điện tử lỗ trống hoặc ion dương phụ thuộc vào bản chất chất khí.

Số hạt tải điện được tạo ra phụ thuộc vào năng lượng, bản chất hạt chiếu tới và bản chất chất khí.

Ví dụ :

Tạo 1 cặp điện tử lỗ trống -ion dương bằng hạt α của Poloni ở các môi trường cần w_i là :

35,6 eV trong không khí.

29,7 eV trong khí neon.

23,6 eV trong khí xenon.

Nếu hạt phóng xạ có năng lượng W khi truyền qua phân tử tích đầu do
thì tạo ra N_0 cặp e^- ion+ :

$$N_o = \frac{W}{w_i}. \quad (7.8)$$

Các hạt điện tử – lỗ trống hoặc điện tử – ion này chuyển động trong $\vec{E}$ với vận tốc phụ thuộc vào độ lớn $\vec{E}$, bản chất và áp suất khí trong buồng ion.

$v_e \gg v_+$. Điện tử đến Anot trước, trong khi ion dương hoặc lơ lửng di chuyển 1 đoạn không đáng kể.

– Nếu E đủ lớn, xảy ra hiện tượng ion hoá thứ cấp do va chạm (va chạm giữa ion và phân tử khí).

N điện tử sẽ gây ra dN cặp điện tử – ion mới trên quãng đường dx, khi ấy số cặp ion dương – điện tử mới sẽ là :

$$dN = \alpha N dx. \quad (7.9)$$

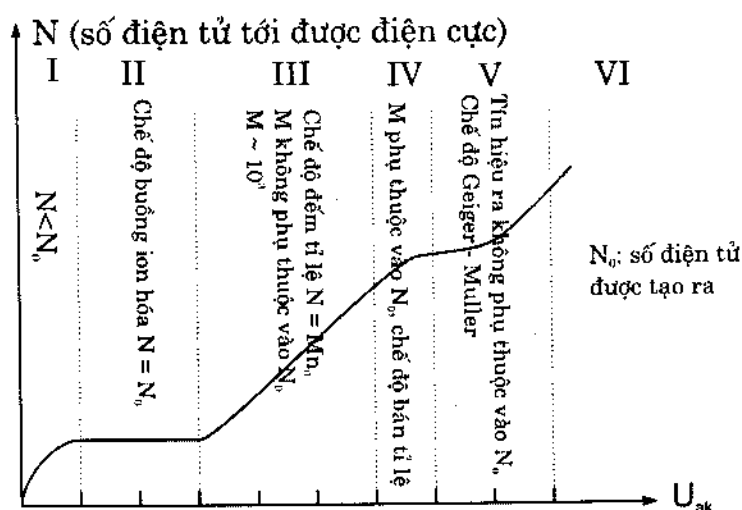
Trong đó, α là hệ số phụ thuộc vào $\vec{E}$, áp suất P và bản chất khí :

$$\frac{\alpha}{P} = A. \exp \left[- \frac{Bp}{E} \right]. \quad (7.10)$$

Ở đây A, B là các hằng số.

Hiện tượng ion hoá thứ cấp xảy ra trong không khí ngay cả khi tỉ số E/P thấp ($\sim 2300 \text{ V/cm}$ ở 1 atm).

Tuỳ thuộc vào giá trị hiệu điện thế đặt vào 2 cực của đầu đo. người ta phân biệt các chế độ làm việc khác nhau của đầu đo như hình dưới đây :



Hình 107. Các chế độ làm việc của đầu đo bức xạ hạt nhân bằng ion hóa khí

Vùng I : $\vec{E}$ nhỏ, một phân điện tử, lỗ trống (ion dương) tái hợp trước khi đến được điện cực : $N < N_0$.

Vùng II : Với mọi điện tích hình thành đều đến được điện cực : ở đây $N = N_0$. Gọi chế độ này là chế độ bão hòa ion hoá.

Vùng III : $\vec{E}$ đủ lớn, tại vùng này đã xảy ra ion hoá do va chạm nên có sự nhân hạt tải do va chạm.

$$N = MN_0.$$

Hệ số nhân M không phụ thuộc N_0 . M có thể đạt 10^3 .
Gọi là chế độ đếm tỉ lệ.

Vùng IV : Hệ số nhân M phụ thuộc N_0 .
Gọi là chế độ bán tỉ lệ.

Vùng V : Tín hiệu ra của đầu đo không phụ thuộc N_0 .
Gọi là chế độ đếm Geiger-Muller.

Vùng VI : Ở vùng này chế độ hoạt động không ổn định, xảy ra hiện tượng phóng điện khi hiệu điện thế đạt tới hiệu điện thế phóng điện.

7.2.2 Buồng ion hoá (làm việc ở vùng II)

Khi chất khí chứa trong buồng được luồng hạt bức xạ liên tục chiếu vào. Tại Anot sẽ thu được dòng điện I :

$$I = q_e \cdot n \cdot N_0 \quad (7.11)$$

Trong đó, n : Số hạt bức xạ tới thể tích khí trong 1s.

N_0 : Số cặp e^- -ion do 1 hạt bức xạ tạo thành.

$$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}.$$

Trường hợp bức xạ tia X hoặc tia γ , dòng I được xác định :

$$I = \frac{k \cdot V \cdot P \cdot D}{1,08} \cdot 10^{-3} \quad (7.12)$$

Trong đó, I đo bằng Ampe.

k : Là hằng số của chất khí : $k = 1$ với không khí.

V : Thể tích chứa khí của đầu đo.

P : Áp suất đơn vị atm.

D : Liều lượng bức xạ trong 1đ/v thời gian (Ronghen/h).

$$\text{Dòng } I \approx 10^{-15} \div 10^{-4} \text{A}.$$

I phụ thuộc vào D nhưng I không phụ thuộc vào U .

Tín hiệu đo U_m sụt trên R_m khi dòng I này chạy qua. Vì I rất nhỏ nên R_m phải rất lớn, $R_m \approx 10^{10} \Omega$.

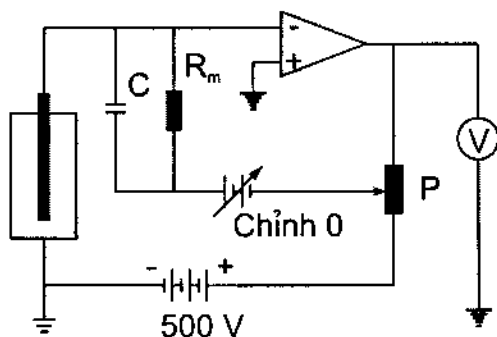
Để đo dòng do buồng ion hoá cung cấp, người ta dùng khuếch đại thuật toán :

Hệ khuếch đại chuyển đổi đo dòng thành đo thế.

Biến trở P để chỉnh hệ số khuếch đại (chỉnh dải đo).

Thời gian gom điện tử ở Anốt là t_1 .

Thời gian gom lỗ trống ở Katốt là t_2 .



Hình 108. Sơ đồ đo với buồng ion hóa

$$t_1 \approx 10^{-6} \text{S.}$$

$$t_2 \approx 10^{-3} \text{S.}$$

7.2.3 Ống đếm tỉ lệ (hoạt động ở vùng III)

Nguyên lý dựa vào hiệu ứng của nhân (do va chạm) số ion N_0 được hình thành do có chùm tia bức xạ chiếu vào khí.

Hệ số nhân $M \approx 10^{+2} \div 10^{+3}$ phụ thuộc vào bản chất khí và tăng theo áp suất P và điện áp U.

Quá trình khuếch đại này (nhân M) cho phép phát hiện chỉ 1 hạt bức xạ duy nhất. Ứng với N_0 ion được tạo ra ban đầu thì :

Điện tích thu được :

$$Q = MN_0 q_e. \quad (7.13)$$

Và điện áp thu được :

$$U_m = \frac{Q}{C} = \frac{MN_0 q_e}{C}.$$

C : là điện dung của đầu ra ống đếm.

Biên độ xung ra tỉ lệ với năng lượng mà hạt mất khi đi qua thể tích hữu ích của đầu đo.

Sự phân biệt biên độ của xung ra cho phép phát hiện ra loại hạt trong số các hạt tới khác nhau.

Ví dụ :

Cho phép phát hiện bức xạ α (N_0 lớn), còn phát hiện các bức xạ β và γ thì N_0 nhỏ.

7.2.4 Ống đếm Geiger-Muller (Vùng V)

Khi E đủ mạnh, các ion sơ cấp nhận được năng lượng đủ lớn để kích tạo ra ion thứ cấp do va chạm. Các ion này lại phát ra photon (trong dải phổ cực tím UV). Đến lượt mình, các photon UV này gây nên hiệu ứng ion hoá chất khí (hiệu ứng quang điện) và phát xạ điện tử từ Katot ; kết quả là xảy ra hiện tượng thác lũ, đặc biệt là dọc theo Anốt tạo ra tín hiệu ở đầu ra có biên độ (khoảng từ 7–10V) không phụ thuộc vào N_0 .

Ống đếm Geiger–Muller chỉ dùng để phát hiện chứ không dùng để đo năng lượng của hạt.

Để dùng dòng thác lũ có thể áp dụng 2 cách :

– Trộn vào chất khí của ống đếm khí hiếm (Halogen) để hấp thụ bức xạ tia cực tím và dùng dòng thác lũ, ống đếm tự ngắt.

– Mắc vào Anốt một R_1 tương đối lớn cỡ 2–10M Ω . Khi xảy ra hiện tượng thác lũ, sứt thế, trên R_1 sẽ làm giảm điện áp giữa A và K để $U_{AK} < U_{ngưỡng}$.

Phụ thuộc vào điện áp U_{AK} , chế độ G–M có thể kéo dài hàng trăm vôn.

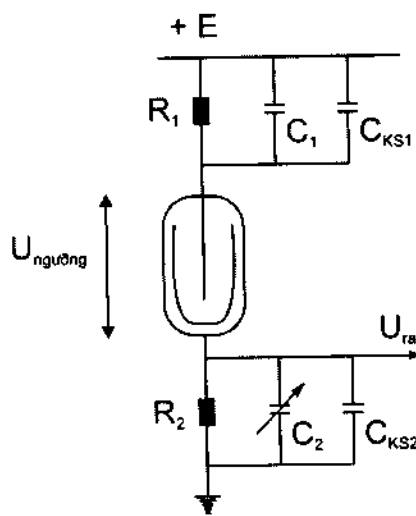
Giới hạn dưới của $U_{AK} \sim 300V$.

Giới hạn trên của $U_{AK} \sim 800V$.

Trong dải điện áp này đối với 1 dải, đối với 1 bức xạ cho trước tỉ lệ đếm n (số xung trong 1 giây) ít phụ thuộc vào điện áp U .

$$\frac{1}{n} = \frac{dn}{dU} < 10^{-4} / \text{vol} . \quad (7.14)$$

Nguyên lý cấu tạo ống đếm G–M được chỉ ra trên hình 109.



Hình 109. Nguyên lý cấu tạo hoạt động của ống đếm Geiger-Muller

- R_1 để tắt dòng thác lũ và bảo vệ. R_1 từ $2M\Omega$ đến $10M\Omega$.
- $R_2 = 0,1 - 1M\Omega$ là điện trở Catot cũng chính là điện trở đo.

Biên độ xung U_2 trên R_2 được tính :

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (E - U_{ngưỡng}).$$

Trong đó, E : điện áp nuôi Anot.

$U_{ngưỡng}$: điện áp ngưỡng của dải làm việc.

Để tránh biến dạng xung do điện dung ký sinh (C_{KS1} , C_{KS2}) của điện cực và dây dẫn gây nên, người ta thêm vào mạch gồm 2 điện dung C_1 , C_2 , chọn sao cho :

$$(C_{KS1} + C_1)R_1 = (C_{KS2} + C_2)R_2.$$

Chương 8

BIẾN TỬ ĐIỆN HOÁ

8.1 LÝ THUYẾT CƠ SỞ CỦA BIẾN TỬ ĐIỆN HOÁ

8.1.1 Khái niệm

Biến tử điện hoá còn gọi là tế bào điện phân, trong đó chứa dung dịch điện phân có hai hay nhiều điện cực nhúng vào dung dịch điện phân đó.

Đại lượng lối ra của tế bào điện phân có thể là suất điện động sản ra (khi $I = 0$) hoặc điện áp trên 2 cực khi có dòng I chạy qua. Hoặc là điện trở, điện dung hoặc điện cảm của tế bào.

Các đại lượng lối vào cần đo là thành phần, nồng độ dung dịch hoặc áp suất, độ dịch chuyển, vận tốc của dòng dung dịch, hoặc độ Ph của nó.

Các thông số của tế bào phụ thuộc bản chất, thành phần của dung dịch và của điện cực, phụ thuộc các biến đổi hoá học trong tế bào...

Những mối liên hệ giữa các thông số điện của biến tử và các đại lượng không điện kê trên hoàn toàn được xác định bởi các định luật điện hoá.

Các biến tử điện phân được chia thành những loại sau (4 loại) :

- ①. Cảm biến điện thế.
- ②. Cảm biến dòng điện.
- ③. Cảm biến độ dẫn.
- ④. Cảm biến chọn lọc ion trên cơ sở Transistor hiệu ứng trường.

8.1.2 Dẫn điện suất của dung dịch γ

γ phụ thuộc vào nồng độ hoà tan.

$$\text{Độ dẫn} \quad G = \frac{1}{R} = \gamma \frac{S}{l}$$

Thứ nguyên của độ dẫn là Simen (S).

Với nước nguyên chất (nước cất) $\gamma \approx 0$.

$$\lambda \cdot f c = \lambda a \tag{8.1}$$

Trong đó, c : nồng độ phân tử (hay đương lượng).

f : hệ số của hoạt độ.

Đo bằng Đương lượng gam/lít.

Dựa vào $\gamma = f(c)$ hoặc $\gamma = f(a)$ ta có thể dùng biến tử điện phân để đo nồng độ dung dịch hoặc đo hoạt tính hoá học của dung dịch.

Ngoài ra γ còn phụ thuộc nhiệt độ của dung dịch theo công thức :

$$\gamma_t = \gamma_0 [1 + \beta(t - t_0)]. \quad (8.2)$$

Trong đó γ_0 : là dẫn điện suất tại nhiệt độ là t_0 .

β : là hệ số nhiệt dẫn suất.

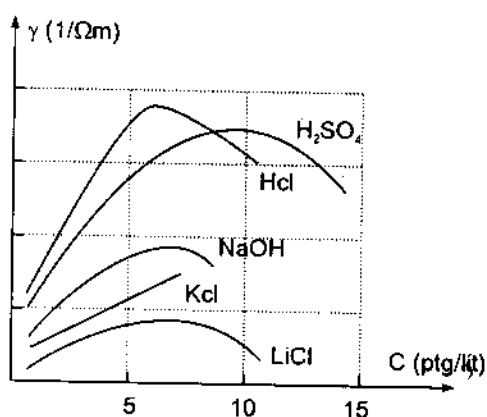
Thứ nguyên của dẫn điện suất γ là $[S.cm^{-1}]$ hay $[1/\Omega m]$.

Với Axit $\beta = 0,016$ 1/độ.

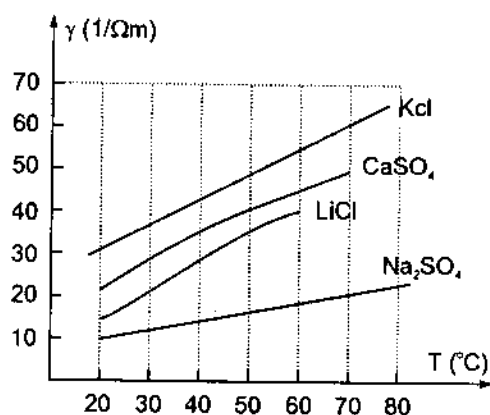
Bazơ $\beta = 0,019$ 1/độ.

Muối $\beta = 0,024$ 1/độ.

Dưới đây là đặc trưng của $\gamma = f(c)$ và $\gamma = f(T^0)$.



Hình 110. Sự phụ thuộc của γ vào nồng độ C của một số chất



Hình 111. Sự phụ thuộc của γ vào một số chất $\gamma = f(T)$

8.2 BIẾN TỬ ĐIỆN THẾ

Dựa trên nguyên tắc xác định sự khác nhau về điện thế giữa cực đo và cực so sánh (là điện cực có điện thế không đổi khi nó đặt trong môi trường nghiên cứu).

Hiệu điện thế giữa 2 cực sẽ là một hàm của nồng độ (hoặc của hoạt độ) của các ion trong chất điện phân.

Tức là $U_{ak} = f(c),$

hoặc $U_{ak} = f(a).$

Điều kiện hoạt động của loại cảm biến này là không có dòng điện trong mạch đo. Vì vậy với loại cảm biến này người ta còn gọi là cảm biến có dòng điện bằng 0.

8.2.1 Nguyên tắc chung

Đo U_{ak} ta suy ra nồng độ hoặc hoạt tính (c, a). Ta biết rằng khi nhúng cực kim loại không bị ăn mòn vào trong dung dịch oxy hoá khử, các e^- được trao đổi giữa điện cực và dung dịch gây nên phản ứng điện hoá.

Do quá trình điện hoá này mà giữa 2 điện cực nhúng vào dung dịch điện phân xuất hiện 1 hiệu điện thế.

8.2.2 Thế điện cực

Khi nhúng điện cực vào dung dịch ở nồng độ thấp, điện cực tan vào dung dịch, trong đó các ion (+) chuyển từ điện cực vào dung dịch do vậy dung dịch tích điện dương, điện cực kim loại tích điện âm. Nếu như ở nồng độ cao thì trái lại, các ion dương của dung dịch bám vào điện cực, làm cho điện cực tích điện dương đối với dung dịch.

Các quá trình trên xảy ra đến khi xác lập được một điện trường đủ lớn (tức là hiệu điện thế đủ lớn) giữa vùng tiếp xúc điện cực – dung dịch làm cho quá trình tan điện cực (hoặc ion dương bám vào điện cực) dừng.

Gọi thế này là thế điện cực điện hoá. Vậy thế hình thành giữa điện cực và dung dịch khi điện cực được nhúng vào dung dịch đó gọi là thế điện cực điện hoá.

8.2.3 Định luật Nernst

Gọi thế điện cực điện hoá là E.

Công W_e do phản ứng điện hoá xảy ra với 1 điện tử (hoặc 1 ion có điện tích $+q_e$) là :

$$W_e = E \cdot q. \quad (8.3)$$

Với 1 ion gam là :

$$W = Eq \cdot N \quad (8.4a)$$

$$= E \cdot F. \quad (8.4b)$$

Trong đó, q : là điện tích điện tử.

N : số Avôgrado, $N = 6,02.10^{23}$.

F : số Faraday, $F = 96493$ Culông.

E : thế ở trạng thái cân bằng phụ thuộc vào điện cực và dung dịch.

R : hằng số khí lí tưởng.

T : nhiệt độ tuyệt đối.

Mặt khác, mối liên hệ giữa w , p , T khi nhiệt độ không đổi :

$$dW = \frac{RT}{p} dp. \quad (8.5)$$

Trong đó, $p \sim c \rightarrow p = kc.$ (8.6)

Do vậy :

$$dW = \frac{RT}{C} dC. \quad (8.7)$$

Ta có được 2 quá trình oxy hoá và khử đồng thời xảy ra trong tế bào điện phân :

Chất oxy hoá + ne $\leftrightarrow$ Chất khử.

Giả thiết : W_1 là công do quá trình oxy hoá tạo ra.

W_2 là công do quá trình khử.

$$dW = dW_1 + dW_2.$$

$$dW = \frac{RT}{c_1} dc_1 + \frac{RT}{c_2} dc_2. \quad (8.8)$$

Vì $dc_1 = -dc_2 \equiv dc$ (do nồng độ tổng cộng là không đổi)

$$\rightarrow dW = \frac{RT}{c_1} dc - \frac{RT}{c_2} dc. \quad (8.9)$$

Tích phân dW ta được :

$$W = W_0 + RT \ln \frac{c_1}{c_2}. \quad (8.10)$$

Đặt $W_0 = F.E_0$.

Ở đây E_0 là thế chuẩn (thế của điện cực đó so với điện cực chuẩn Hydro).

Viết lại :

$$W = F \left[E_0 + \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{c_1}{c_2} \right) \right]. \quad (8.11)$$

So sánh (8.11) với 8.4b)

$$\rightarrow E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{c_1}{c_2}. \quad (8.12a)$$

Nếu hoá trị của ion dung dịch là n :

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_1}{c_2}. \quad (8.12b)$$

Vì $C = f.a$, trong đó f là hệ số của hoạt độ nên :

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{f_1}{f_2} \frac{a_1}{a_2}. \quad (8.12c)$$

$$\text{Hoặc :} \quad E = E_0 + \frac{2,3RT}{nF} \log \frac{f_1}{f_2} \frac{a_1}{a_2}. \quad (8.12d)$$

a_1, c_1 : là của chất oxy hoá.

a_2, c_2 : là của chất khử.

Định luật Nernst được thể hiện trên (8.12a), trong đó $\frac{2,3RT}{nF}$ gọi là hệ số Nernst. Hệ số Nernst xác định độ dốc (độ nhảy) của tế bào $R = 8,317 \text{ jun/độ}$, ở 25°C thì hệ số Nernst = $59,16\text{mV}$.

8.2.4 Điện cực so sánh

Ta biết rằng muốn đo thế giữa 1 điện cực nào đó với dung dịch thì ta phải dùng 1 điện cực nữa nhúng vào dung dịch thì mới đo được.

Điện cực này gọi là điện cực so sánh hay điện cực chuẩn

Điện cực Hydro được chọn làm điện cực chuẩn (tắm Hydro vào bản platin). Nhúng vào một dung dịch chuẩn có nồng độ 1 đương lượng gam/lit.

Khi đo ở 0°C với nồng độ chuẩn, 1 phân tử gam/lit của một số kim loại so với cực chuẩn là :

Kali với Hydro : $E_0 = -2,92\text{vol}$.

Kẽm với Hydro : $E_0 = -0,76 \text{ V}$.

Đồng với Hydro : $E_0 = 0,34\text{V}$.

Thế giữa đồng và kẽm ở dung dịch chuẩn là :

$$E_0 = 0,34 - (-0,76) = 1,1V.$$

Nếu đo ở nhiệt độ khác và nồng độ khác thì áp dụng định luật Nernst :

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln C, \quad (8.13a)$$

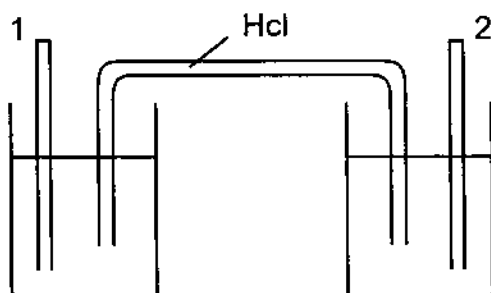
hoặc

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln(fa). \quad (8.13b)$$

Đôi khi người ta dùng 2 nửa tế bào được liên kết với nhau qua cầu điện phân thì hiệu điện thế giữa 2 nửa tế bào (2 điện cực) là :

$$E_{12} = E_{01} - E_{02} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{f_1 a_1}{f_2 a_2}. \quad (8.14)$$

Hai nửa tế bào thường được nối với nhau bằng 1 cầu điện phân. Thường là 1 ống chứa dung dịch HCl (Hình 112).



Hình 112. Hai nửa tế bào nối với nhau bằng một cầu điện phân

Lưu ý rằng ngoài thế điện cực thì ở biên giới giữa 2 dung dịch còn xuất hiện 1 hiệu điện thế gọi là hiệu điện thế biên giới, bởi vì độ linh động của các ion trong các dung dịch là khác nhau → vận tốc khuếch tán là khác nhau, vì vậy còn gọi là thế khuếch tán.

Để giảm thế khuếch tán này, người ta mắc 1 cầu chứa dung dịch có nồng độ trung gian và có độ linh động của các cation và anion càng gần nhau càng tốt.

(KCl, KNO₃ thoả mãn điều kiện trên thường dùng làm dung dịch cầu nối giữa 2 nửa tế bào).

8.2.5 Biến tử Galvanic (Biến tử biến thế)

Trong chương trình này, biến tử Galvanic phụ thuộc vào loại biến tử thế (dòng $I = 0$).

Suất điện động của mạch (Galvanic – Mạch trực tiếp) phụ thuộc vào nồng độ c , hoạt tính a và các quá trình oxy hoá khử xảy ra trong dung dịch điện phân.

Biến tử này thường dùng để đo hoạt tính của ion hydro. Từ đó xác định được thành phần và tính chất của dung dịch nước.

Phân tử nước được phân ly thành H^+ và OH^- . Hằng số phân ly k của nước là :

$$k_{H_2O} = \frac{a_{H^+} \cdot a_{OH^-}}{a_{H_2O}} = \text{const trong quá trình phân ly.}$$

a là hoạt tính.

Các phép đo chính xác đã xác định được :

$$k_{H_2O} = 10^{-14}.$$

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = \sqrt{k_{H_2O}} = 10^{-7}.$$

Ở nhiệt độ xác định :

$$k_{H_2O} = \text{const.}$$

Tức là hằng số phân ly là không đổi tại một nhiệt độ xác định. Điều này đúng với axit thừa ion H^+ hoặc bazơ thừa ion OH^- .

$$\text{Với axit : } a_{H^+} > a_{OH^-}.$$

$$\text{Với bazơ : } a_{H^+} < a_{OH^-}.$$

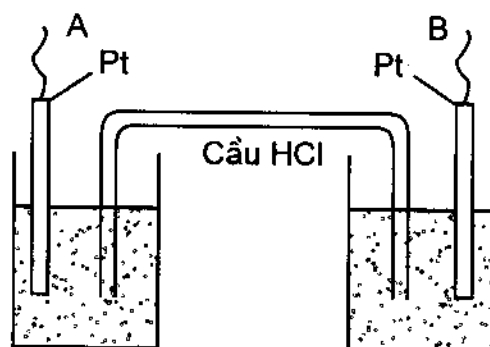
Để đặc trưng cho tính chất của dung dịch người ta đưa vào khái niệm độ pH của hydro :

$$pH = \log a_{H^+}.$$

Dụng cụ để đo độ pH gọi là pH mét. Người ta dùng thế điện cực của các điện cực khác nhau nhúng vào dung dịch đang xét chứa ion hydro (H^+).

1 điện cực nhúng vào dung dịch đang xét.

1 điện cực khác nhúng vào dung dịch mẫu (hay gọi là nửa tế bào mẫu).
Hai nửa tế bào được thiết kế như hình dưới đây :



Hình 113. Đo độ pH bằng U_{AB} giữa cực của hai nửa tế bào điện phân

Thế U_{AB} là hiệu điện thế giữa 2 nửa tế bào với cùng loại điện cực nhưng khác dung dịch :

$$E_{AB} = \frac{2,3RT}{F} \log \frac{a_{(H^+)}_1}{a_{(H^+)}_2}. \quad (8.15)$$

Ở 18°C thì

$$E_{AB} = 0,058\text{PH}. \quad (8.16)$$

8.3 CẢM BIẾN DÒNG ĐIỆN

8.3.1 Khái niệm

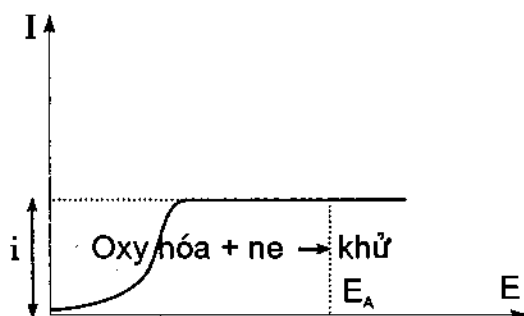
Cảm biến dòng điện hoạt động nhờ 1 dòng điện chạy qua mạch đo khi đặt một hiệu điện thế giữa 2 điện cực (thường là 1 điện cực kim loại và 1 điện cực so sánh).

Mật độ (nồng độ) của các hạt tích điện tỷ lệ với cường độ dòng điện chạy giữa 2 điện cực. Trong phần lớn các trường hợp, người ta tiến hành oxy hoá hoặc khử 1 loại hạt tích điện trên điện cực chỉ thị, còn điện cực thứ 2 là điện cực so sánh.

Nếu đặt vào điện cực chỉ thị 1 điện thế E biến thiên so với điện cực so sánh, thì khi vẽ đường $i = f(E)$ chiều cao i của bậc giới hạn khuếch tán sẽ

tỷ lệ với nồng độ các hạt oxy hoá (hoặc bị khử) trên điện cực chỉ thị (Hình 114).

Trong cảm biến dòng điện người ta tiến hành điện phân giữa 1 điện cực chỉ thị và 1 điện cực so sánh bằng cách cố định điện thế điện phân E_A tương ứng với bậc giới hạn khuếch tán rồi xác định chiều cao của bậc khuếch tán này. Chiều cao này (i) tỷ lệ với nồng độ của chất oxy hoá (hay chất khử) trên điện cực chỉ thị. Đường cong sẽ cho phép xác định nồng độ của các ion cần đo.



Hình 114. Đường cong dòng – điện thế

8.3.2 Thế phân tách, hiện tượng phân cực, thế phân cực

Hiện tượng phân cực là hiện tượng mà các thế điện cực bị thay đổi khi có dòng điện chạy qua bình điện phân.

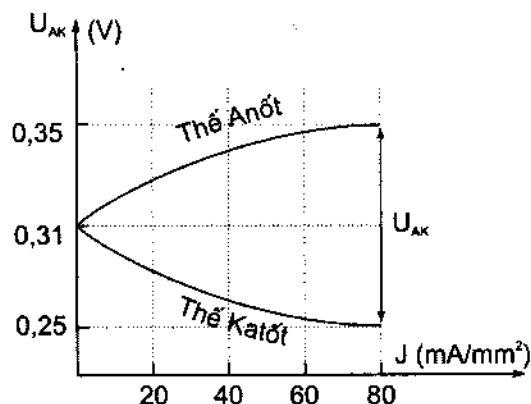
Ta hãy xét bản chất của hiện tượng phân cực trong ví dụ dưới đây :

Tế bào điện phân gồm 2 điện cực bằng Cu nhúng vào dung dịch H_2SO_4 có nồng độ bằng nồng độ chuẩn.

Mỗi cực có 1 thế điện cực như nhau và bằng : $E = 0,31$ V đối với dung dịch khi $I = 0$ thì $E_{(I=0)} = 0$ (Thế giữa hai cực = 0).

Khi mật độ $J \neq 0$ thì $U_{AK} \neq 0$: Khi mật độ J tăng thì quá trình khuếch tán các ion ở chỗ khác sẽ không kịp cân bằng với nồng độ ion ở gần điện cực, do vậy thế Anốt dương lên.

Thế Katot sẽ âm đi (Hình 115) ở đây quá trình phân cực dừng thì có :



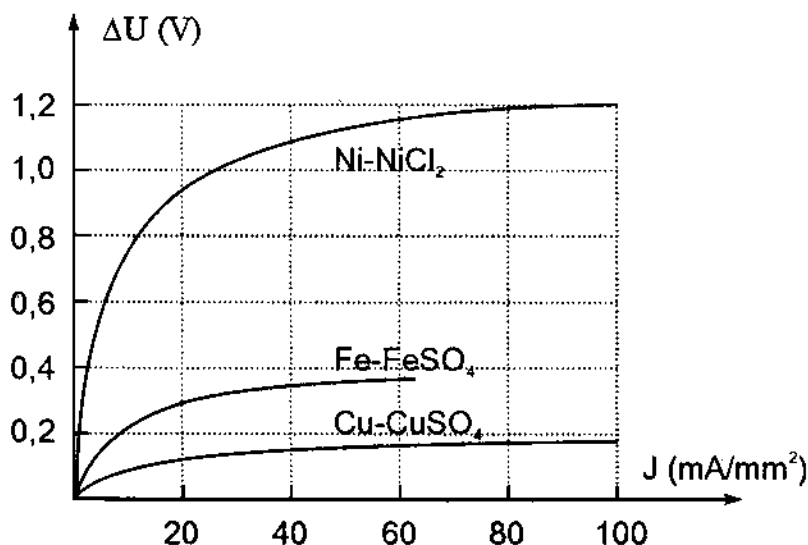
Hình 115. Đồ thị quá trình phân cực cho dung dịch H_2SO_4 có hai cực là Cu

$$U_{AK} = U_A - U_K = \Delta U.$$

Điện áp bên ngoài đặt vào là E thì

$$E \equiv U_{\text{cột dung dịch điện phân}} + U_{AK}$$

Ta thấy $U_{AK} = \Delta U$ gọi là thế phân cực, nó là 1 hàm của J . Tuy nhiên đến 1 giá trị J nào đó thế phân cực sẽ đạt giá trị bão hoà. Mỗi dung dịch khác nhau sẽ có 1 thế phân cực xác định khác nhau. Hình 116 cho ta biết thế phân cực của 1 số tổ hợp dung dịch điện phân.



Hình 116. Thế phân cực U_{AK} là một hàm của mật độ dòng điện của một số tổ hợp cực – dung dịch điện phân

Nhìn vào đồ thị ta thấy khi J tăng, tức I tăng thì thế điện cực ΔU (tức U_{AK}) tăng ; nhưng khi đến một giá trị J nào đấy thì thế điện cực đạt bão hoà, tức đạt một giá trị xác định cho mỗi tổ hợp điện cực – dung dịch điện phân.

Giải thích :

Khi đạt tới J đủ lớn tức lúc này dòng I bão hoà. Tại giá trị này mọi ion trong tế bào đều được phân ly và trong 1 đơn vị thời gian chúng đều được đưa đến các điện cực và vì vậy khi ấy ΔU không thể tăng lên được nữa.

Thế phân tách :

Nếu ta tăng U tiếp (trong hình 118) thì đến 1 giá trị U_{pt} nào đó thì J hoặc I lại tăng theo U như trước. Thế U_{pt} được gọi là thế phân tách. Tại đây (U_{pt})

ngoài CuSO_4 đã bị phân ly hết thì H_2O bắt đầu tham gia vào quá trình điện phân : $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Như vậy một hỗn hợp dung dịch có bao nhiêu loại Cation thì có bấy nhiêu thế phân tách. Người ta đã sử dụng quy luật này để chế tạo ra phổ cực ký để phân tích các thành phần hoá học có trong dung dịch điện phân.

8.3.3 Biến từ phổ cực ký (dùng nguồn một chiều)

Dùng để phân tích định tính và định lượng các thành phần hoá học dựa trên nguyên tắc về thế phân tách.

Trên thực tế muốn cho sự phân cực chỉ xảy ra ở 1 điện cực thì 1 điện cực được chọn rất lớn hơn điện cực kia (cỡ $\gg 1000$ lần). Như vậy thì sự phân cực sẽ không xảy ra ở điện cực lớn này.

Khi này dòng điện :

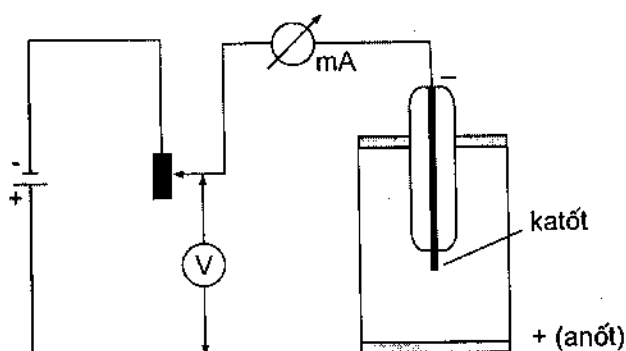
$$I = \frac{U - (e_a - e_k)}{R} \quad (8.17)$$

Trong đó, e_a : Thế anot.

e_k : Thế katot.

R : Điện trở của tế bào. Vì bản cực anot $\gg$ katot.

Nên $e_a \approx 0$; $I_k \approx U$.



Hình 117. Cách mắc biến từ phổ kế

Trong công thức (8.17) có :

$$IR \approx 10^{-6} \text{ A} \cdot 1000 \Omega \approx 10^{-3} \text{ vol.}$$

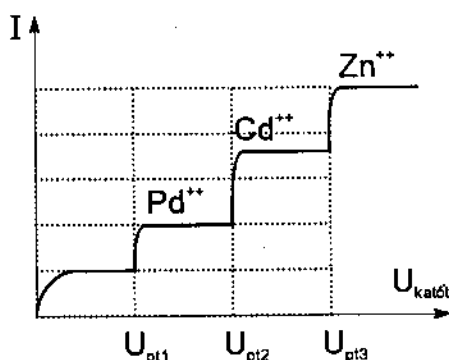
Do IR rất nhỏ nên :

$$U - (e_a - e_k) \approx 0$$

$$\rightarrow e_k \approx -U.$$

Khi tăng điện áp U đặt lên biến tử, dòng I qua biến tử có dạng bậc thang. Nếu dung dịch nghiên cứu có nhiều ion loại khác nhau thì thế phân tách của chúng khác nhau $\rightarrow$ tạo thành các bậc thang I (ứng với các $U_{\text{ptách}}$ khác nhau).

Độ cao bước nhảy tương đương nồng độ ion.



Hình 118. Dòng I qua biến tử có dạng bậc thang

8.4 CẢM BIẾN ĐO ĐỘ DẪN (DÙNG NGUỒN XOAY CHIỀU)

(Biến tử điện trở điện phân)

Biến tử loại này người ta đặt điện thế xoay chiều lên 2 cực không bị ăn mòn được đặt trong dung dịch của bình điện phân.

Ở đây dùng dòng (~) cho phép hạn chế các sai số gây nên bởi các hiện tượng phân cực trên các điện cực bởi các quá trình điện hoá tạo ra trên điện cực.

Điện trở hoặc độ dẫn của môi trường nghiên cứu được xác định bằng cách đo U hoặc I (~) chạy trong mạch.

8.4.1 Độ dẫn của chất điện phân

Người ta gọi độ dẫn điện G của 1 vật (Đơn vị là simen – S) là nghịch đảo của điện trở và được xác định :

$$G = \gamma \frac{S}{l}. \quad (8.18)$$

Trong đó, S : Diện tích mặt cắt ngang, đơn vị cm^2 .

l : Chiều dài vật, đơn vị cm.

γ : Độ dẫn suất đặc trưng cho vật liệu, đơn vị $\frac{S}{\text{cm}}$.

Muốn đo độ dẫn G của chất điện phân chỉ cần nhúng vào dung dịch điện phân 2 cực kim loại không bị chất điện phân đó ăn mòn có diện tích S. Khoảng cách cực là l. Đặt U(~) vào 2 cực.

Khi giữ $U = \text{const}$ thì $I = f(G)$,
hoặc khi giữ $I = \text{const}$ thì $U = f(G)$.

Cấu trúc đo được chuẩn theo độ dẫn điện G_c của 1 chất điện phân đã biết trước dẫn điện suất γ_e của nó :

$$k = \frac{S}{l} = \frac{G_e}{\gamma_e}. \quad (8.19)$$

Ở đây k là hằng số của độ dẫn của mỗi biến tử.

Như vậy khi đo G dễ dàng tính được γ :

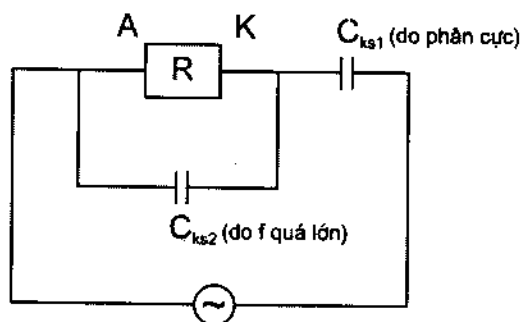
$$\gamma = \frac{G}{k}. \quad (8.20)$$

Ở đây việc đo đặc không tiến hành với dòng 1 chiều. Bởi vì dòng 1 chiều sẽ tạo nên sự phân cực và dẫn đến R của dung dịch thay đổi. Do vậy phải sử dụng dòng xoay chiều có f đủ lớn để loại trừ các hiệu ứng gây nhiễu. (thường chọn $f = 50\text{Hz} \div$ hàng chục KHz).

Việc chọn f phải dung hoà giữa ảnh hưởng của hiệu ứng phân cực và ảnh hưởng của hiệu ứng điện dung ký sinh.

– Nếu f chưa đủ lớn thì hiệu ứng phân cực mạnh dẫn đến độ dẫn bị giảm do phân cực.

– Nếu f lớn quá thì ảnh hưởng của hiệu ứng phân cực bị loại trừ nhưng lại xuất hiện hiệu ứng điện dung ký sinh. Khi này dòng đi qua tế bào sẽ bị ảnh hưởng bởi trở kháng đáng kể do C_{KS} gây nên : $z_c = 1/2\pi f C_{KS}$. Như chỉ ra trong sơ đồ dưới đây.



Hình 119. Sơ đồ tương đương thể hiện ảnh hưởng của các yếu tố ký sinh và tần số f tới độ chính xác của biến tử điện phân

Khi f nhỏ : $Z_{ks1} = \frac{1}{2\pi f C_{ks1}}$ lớn ,

→ $Z = Z_{tế\ bào} + Z_{ks1}$ sẽ lớn .

→ $I = U/Z$ sẽ nhỏ.

→ độ dẫn $G = I/U$ sẽ giảm.

Khi f lớn : $Z_{ks2} = \frac{1}{2\pi f C_{ks2}}$ nhỏ,

→ $Z_{//}$ nhỏ.

→ Z nhỏ.

→ $I = U/Z$ sẽ lớn.

→ độ dẫn $G = I/U$ sẽ tăng.

Thường dung dịch đo có độ dẫn khác nhau sẽ được áp dụng ở các tần số khác nhau dưới đây :

– Với dung dịch dẫn điện yếu ($G < \text{vài } \mu\text{simen}$)

$$f = 50 \div 60\text{Hz.}$$

– Với dung dịch dẫn điện tốt ($G > \text{vài mili simen}$)

$$f = 4\text{KHz} \longrightarrow 16\text{ KHz.}$$

– Với dung dịch dẫn điện trung bình (hàng trăm tới 1000 μsimen) :

$$f = 10^2\text{Hz} \div 10^3\text{Hz.}$$

Độ dẫn điện suất của chất điện phân phụ thuộc vào nhiệt độ :

$$\gamma = \gamma_{25}[1 + \alpha_{25}(T-25)]. \quad (8.21)$$

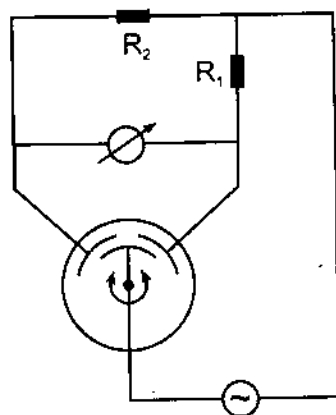
Trong đó, T : đo ở $^{\circ}\text{C}$.

α_{25} : hệ số thay đổi nhiệt độ của độ dẫn ở 25°C .

8.4.2 Biến tử điện trở điện phân để đo các đại lượng cơ

Khi nồng độ dung dịch $c = \text{const}$ thì sự thay đổi R của biến tử có thể do sự thay đổi khoảng cách l hoặc sự thay đổi thiết diện S của bản cực (l thay đổi hoặc s thay đổi dẫn đến R thay đổi $\longrightarrow I$ thay đổi hoặc U thay đổi).

873.873.
917.873.
873.873.



**Hình 121. Biến tử điện phân
đo góc lệch**

A schematic diagram of a two-channel measuring device. It consists of a main container (2) with a rounded bottom. Inside the container are two vertical tubes (3). The top of the left tube is labeled 'A' and the top of the right tube is labeled 'K'. At the bottom of each tube is a sensor element (1). An inlet pipe on the left and an outlet pipe on the right are shown with arrows indicating flow direction.

1. Hai điện cực bằng platin.
2. Bình thuỷ tinh bền, đựng dung dịch điện phân.
3. Nút sứ hoặc thuỷ tinh bảo vệ điện cực.

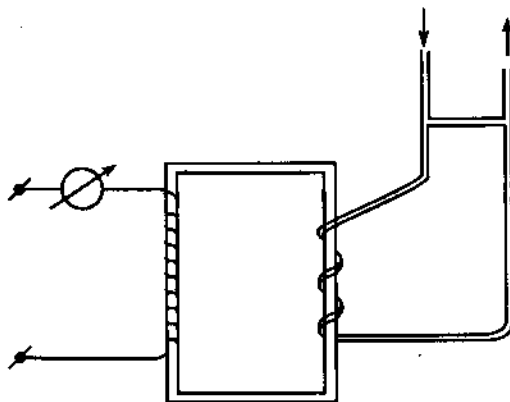
Ta có thể thay đổi bình 2, sẽ thay đổi được dung dịch cần đo.

Có hai ống dẫn dung dịch vào và ra để có thể đo được thành phần c của dung dịch đang chảy.

Biến tử được mắc vào mạch cầu xoay chiều có $f = 50 \div 1000$ Hz và được lấy mẫu bằng các dung dịch chuẩn.

8.4.4 Biến tử không tiếp xúc (Điện phân)

Biến tử điện phân không tiếp xúc là loại biến tử không có điện cực tiếp xúc với dung dịch điện phân. Ống chứa dung dịch điện phân đoạn mạch bao quanh lõi từ. Vì điện cực không tiếp xúc với dung dịch nên đã loại trừ được các sai số ký sinh tạo nên giữa điện cực và dung dịch.



Hình 123. Biến tử điện phân không tiếp xúc có các vòng dây dẫn đoạn mạch

8.218.818.

Chương 9

CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐỘ CHÂN KHÔNG

9.1 ĐỊNH NGHĨA VỀ ĐỘ CHÂN KHÔNG

Chân không là trạng thái khí có mật độ nhỏ hơn mật độ của nó trong điều kiện vật lý bình thường. Nếu áp suất khí quyển ở trạng thái bình thường là 760 mm Hg thì chân không là trạng thái khí có áp suất rất nhỏ hơn 760 mm Hg. Áp suất càng nhỏ thì độ chân không càng cao. Người ta phân biệt độ chân không theo các mức độ : chân không thấp, chân không bình thường, chân không cao và siêu cao.

Chân không cao thỏa mãn điều kiện :

$$\frac{\bar{\lambda}}{d} \gg 1. \quad (9.1)$$

Trong đó, $\bar{\lambda}$: quãng đường tự do trung bình của phân tử khí.
 d : kích thước đặc trưng của bình chứa khí.

Chân không trung bình thỏa mãn điều kiện :

$$\frac{\bar{\lambda}}{d} \approx 1. \quad (9.2)$$

Và chân không thấp khi :

$$\frac{\bar{\lambda}}{d} \ll 1. \quad (9.3)$$

Bảng 6 sau đây trình bày quãng đường tự do trung bình của phân tử trong không khí ở 20°C và các mức độ chân không ứng với áp suất không khí P từ 760 mm Hg đến 10⁻⁸ mm Hg.

Bảng 6. Quãng đường tự do trung bình của phân tử trong không khí ở 20°C

P (mm Hg)	$\bar{\lambda}$ (m)	Độ chân không
760	6,21. 10 ⁻⁸	Chân không thấp
1	4,72. 10 ⁻⁵	
10 ⁻¹	4,72. 10 ⁻⁴	
10 ⁻²	4,72. 10 ⁻³	

10^{-2}	$4,72 \cdot 10^{-3}$	Chân không trung bình
10^{-3}	$4,72 \cdot 10^{-2}$	
10^{-4}	$4,72 \cdot 10^{-1}$	
10^{-4}	$4,72 \cdot 10^{-1}$	Chân không cao
10^{-5}	$4,72 \cdot 10^0$	
10^{-6}	$4,72 \cdot 10^1$	
10^{-7}	$4,72 \cdot 10^2$	
$< 10^{-8}$	$> 5 \cdot 10^3$	Chân không siêu cao

9.2 KHÁI NIỆM VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO CHÂN KHÔNG

Đo chân không chính là đo áp suất của khí loãng trong hệ chân không. Dụng cụ đo chân không được gọi là áp kế (hoặc chân không kế).

Áp kế mà độ chia của nó có thể tính toán được gọi là áp kế tuyệt đối. Đa số các áp kế là áp kế tương đối. Nguyên tắc làm việc của chúng dựa trên cơ sở những tính chất, định luật vật lý của chất khí có liên quan tới áp suất của nó. Các độ chia của áp kế này không thể rút ra từ tính toán chính xác mà phải dùng phép so sánh bằng thực nghiệm với áp kế tuyệt đối để lấy mẫu.

Dải áp suất trong hệ chân không rất rộng, từ áp suất khí quyển ($\sim 10^3$ mm Hg) đến 10^{-10} mm Hg hoặc thấp hơn. Do đó, không có một áp kế nào có thể đo được cả một dải áp suất rộng từ $13 \div 15$ cấp như vậy.

Hiện nay có rất nhiều loại áp kế :

1. Áp kế dựa trên nguyên tắc tác động cơ học của áp suất : áp suất chất lỏng, áp kế biến dạng.
2. Áp kế dựa trên định luật Bôi-ma-ri-ốt : áp kế nén Mác-lê-ốt.
3. Áp kế dựa trên định luật khí động học : áp kế phân tử, áp kế độ nhớt, áp kế rung...
4. Áp kế dựa trên độ dẫn nhiệt của chất khí : áp kế điện trở (Pirani), áp kế cặp nhiệt điện.
5. Áp kế dựa trên nguyên tắc ion hóa chất khí : áp kế ion hóa katốt nóng, áp kế phóng xạ, áp kế Penning.

Sau đây ta chỉ nghiên cứu những loại áp kế thường gặp trong kỹ thuật chân không.

9.3 ÁP KẾ CHẤT LỎNG

9.3.1 Áp kế chữ U

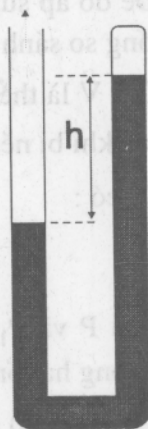
Khi áp suất khí không quá vài chục mm Hg người ta thường dùng áp kế chữ U để đo (hình 124).

Áp suất trong hệ chân không được xác định bởi hiệu số hai mức chất lỏng h . Trường hợp chất lỏng là thủy ngân thì áp suất nhận được trực tiếp là mm Hg.

Nếu chất lỏng có tỉ trọng nhỏ hơn thủy ngân k lần thì độ nhạy sẽ tăng lên k lần. Ví dụ, dầu có $\rho = 0,8 \text{ g/cm}^3$ thì độ nhạy sẽ tăng lên 15 lần.

Ưu điểm của loại áp kế này là cấu tạo đơn giản, phép đo chính xác. Là áp kế tuyệt đối nên có thể dùng để lấy mẫu cho các áp kế tương đối khác.

Hệ chân không

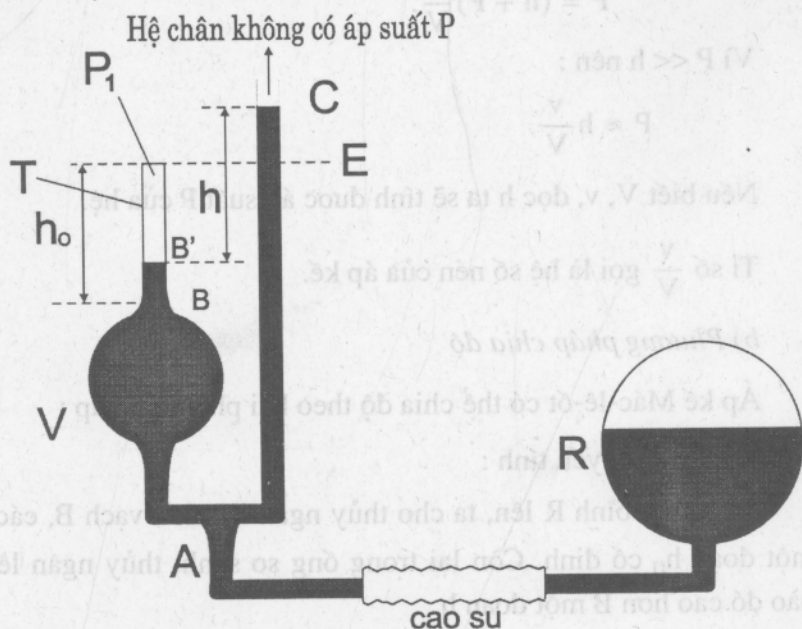


Hình 124. Áp kế chữ U

9.3.2 Áp kế Mác-lê-ốt

a) Nguyên tắc làm việc

Cấu tạo áp kế được vẽ trên hình 125.



Hình 125. Áp kế Mác-lê-ốt

Áp kế gồm bầu chứa thủy ngân R, bầu này có thể di động lên, xuống bằng tay (nhờ đoạn ống dẫn cao su), bình V, ống nén T và ống so sánh nối với hệ chân không áp suất P cần đo.

Trước khi đo, hạ bầu R xuống thấp để toàn bộ thủy ngân hạ xuống dưới điểm A. Bình V lúc này được thông với hệ chân không có áp suất P.

Để đo áp suất, ta lại nâng bình R lên, thủy ngân sẽ dâng lên tới điểm C trên ống so sánh và bên ống T lên đến B' thấp hơn C.

Gọi V là thể tích khí ban đầu chưa bị nén có áp suất P. Còn v là thể tích khí sau khi bị nén có áp suất P_1 .

Ta có :

$$P = P_1 \frac{v}{V}. \quad (9.4)$$

Nếu P và P_1 biểu diễn bằng mm Hg thì hiệu số độ cao hai mức thủy ngân trong hai ống sẽ là :

$$h = P_1 - P.$$

Từ đó :

$$P_1 = h + P.$$

Vì vậy,

$$P = (h + P) \frac{v}{V}.$$

Vì $P \ll h$ nên :

$$P \approx h \frac{v}{V}. \quad (9.5)$$

Nếu biết V, v, đọc h ta sẽ tính được áp suất P của hệ.

Tỉ số $\frac{v}{V}$ gọi là hệ số nén của áp kế.

b) Phương pháp chia độ

Áp kế Mác-lê-ốt có thể chia độ theo hai phương pháp :

– Chia độ tuyến tính :

Khi nâng bình R lên, ta cho thủy ngân lên đến vạch B, cách đỉnh ống T một đoạn h_0 cố định. Còn lại trong ống so sánh, thủy ngân lên đến mức C nào đó cao hơn B một đoạn h.

Khi đó,

$$P = \frac{v}{V} h = \frac{\pi d^2}{4V} h_0 h = C_1 h. \quad (9.6)$$

Trong đó, $C_1 = \frac{\pi d^2}{4V} h_0$: hằng số của áp kế ở thang chia độ tuyến tính.

d : đường kính ống T.

– Chia độ bình phương:

Khi nâng bình R lên, ta để cho thủy ngân trong ống so sánh lên đến điểm E ngang với đỉnh của ống T. Còn trong ống T thủy ngân lên đến điểm B' nào đó thấp hơn điểm E một đoạn h .

Khi đó,

$$P = \frac{v}{V} h = \frac{\pi d^2}{4V} h h = C_2 h^2. \quad (9.7)$$

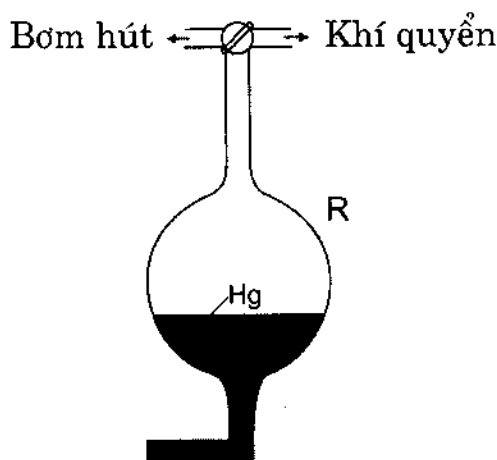
Trong đó,

$C_2 = \frac{\pi d^2}{4V}$: hằng số của áp kế ở thang chia độ bình phương.

c) Cấu tạo của áp kế

Có hai cách dịch chuyển thủy ngân để đo theo phương pháp nói trên:

+ Ta có thể dùng tay nâng, hạ bình R như mô tả ở trên. Hoặc có thể dùng khóa thông 3 lối (hình 126)



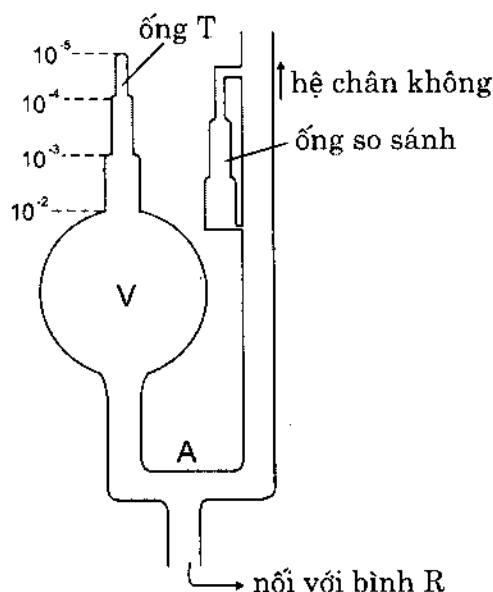
Hình 126. Cấu tạo của áp kế

Muốn hạ Hg trong ống T và ống so sánh xuống dưới điểm A, ta mở khóa thông bình R với bơm hút chân không. Muốn dâng Hg lên ống T và ống so sánh, ta lại mở khóa thông bình R với khí quyển.

Để tránh sai số do sự khác nhau của tính mao dẫn, đường kính ống nén và ống so sánh phải bằng nhau. Nhưng ống nén phải có đường kính nhỏ (cỡ mm), như vậy thì độ dẫn khí của ống so sánh rất nhỏ, làm cho thời gian để cân bằng áp suất giữa hệ chân không và thể tích V khá lâu.

Để khắc phục độ dẫn khí, người ta làm ống thông giữa áp kế với hệ chân không khá to (1 – 2 cm), nhưng làm thêm một ống so sánh bên cạnh như hình 127.

Để mở rộng dải áp suất đo được của áp kế, người ta chế tạo áp kế nhiều bậc.



Hình 127. Khắc phục sai số do hiện tượng mao dẫn

d) Độ nhạy lớn nhất của áp kế

Từ (9.6) và (9.7), suy ra rằng để áp suất có độ nhạy lớn (C_1, C_2 nhỏ), cần giảm d và tăng V . Nhưng d không thể nhỏ hơn 0,8 mm vì lúc đó Hg sẽ dính vào thành ống mao dẫn. Còn V không thể lớn hơn 250 cm³ (lúc đó lượng Hg là 3,4 kg) vì bầu chứa Hg dễ bị vỡ.

Với những điều kiện giới hạn trên, độ nhạy lớn nhất đạt được khi $h = 1$ mm thì $P \approx 10^{-6}$ mm Hg.

Đây là áp suất nhỏ nhất áp kế Mác-lê-ốt có thể đo được trong thực tế.

e) Ưu, nhược điểm của áp kế nén

Ưu điểm lớn nhất của áp kế này là độ chia của nó có thể tính toán chính xác được. Như vậy nó là loại áp kế tuyệt đối. Vì vậy có thể dùng nó trong tiêu chuẩn đo lường.

Tuy nhiên, có một số nhược điểm sau đây :

– Đòi hỏi nhiều động tác phức tạp khi sử dụng, do đó không đo liên tục được.

– Độ nén khí rất lớn xảy ra trong ống nén T ($10^4 \div 10^6$ lần). Vì vậy dễ dàng bị ngưng tụ hơi vật chất (H_2O , CO_2 ...), chuyển chúng sang trạng thái lỏng và không thể xác định được áp suất riêng phần của chúng.

– Để nhận được áp suất thấp hơn 10^{-3} mm Hg (áp suất hơi bão hòa của Hg), cần có bể lạnh đặt giữa hệ chân không và áp kế.

9.4 ÁP KẾ CẶP NHIỆT ĐIỆN

Áp kế cặp nhiệt điện được dùng rộng rãi trong kỹ thuật điện tử chân không. Nó gồm hai bộ phận : đèn áp kế được gắn liền với hệ chân không và mạch điện để đo.

Đèn áp kế thực hiện chức năng thu biến, còn dụng cụ đo điện xác định chế độ làm việc của đèn và đo sức điện động của cặp nhiệt điện.

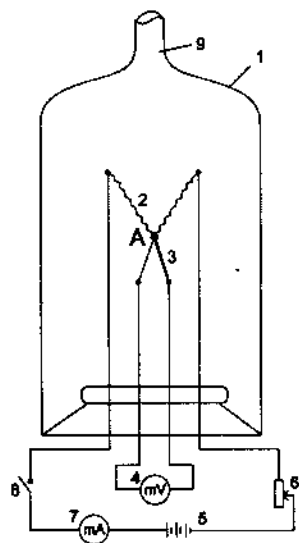
Hình vẽ 128 trình bày cấu tạo của đèn áp kế AT-2 và sơ đồ nguyên tắc của mạch đo.

Đèn áp kế gồm :

– Vỏ thủy tinh 1.

– Sợi đốt 2.

– Cặp nhiệt điện 3 (Cặp nhiệt điện được hàn tiếp xúc nhiệt với sợi đốt ở điểm A).



Hình 128. Áp kế cặp nhiệt điện

- Mi-li-vôn 4 để đo sức điện động nhiệt điện.
- Nguồn điện 5 và biến trở 6 để thiết lập dòng đốt.
- Dòng đốt đo bằng mi-li ampe kế 7.
- Ống 9 nối với hệ chân không.

Hoạt động của đèn AT-2 dựa trên cơ sở sự dẫn nhiệt của chất khí tỉ lệ thuận với áp suất trong dải :

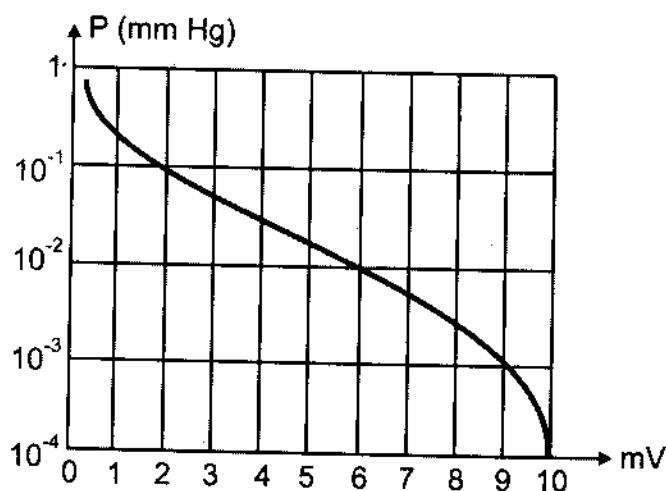
$$P = (5 \cdot 10^{-1} \div 10^{-3}) \text{ mm Hg.}$$

Vì vậy khi áp suất thay đổi, độ dẫn nhiệt của chất khí thay đổi, nhiệt độ sợi đốt tại điểm A thay đổi, kéo theo sự thay đổi suất điện động nhiệt điện. Cho nên đo sức điện động nhiệt điện ta có thể suy ra áp suất trong hệ.

Áp kế cặp nhiệt điện là áp kế tương đối, phải xây dựng đường cong mẫu cho nó dựa vào áp kế tuyệt đối (áp kế Mác-lê-ốt).

Việc lấy mẫu làm như sau :

Khi hệ chân không đạt độ chân không cao ($P \leq 10^{-4}$ mm Hg), dùng biến trở (6) thiết lập dòng đốt cho sợi đốt (2) sao cho sức điện động nhiệt điện của cặp nhiệt điện (3) chỉ trên đồng hồ (4) là 10 mV. Giá trị dòng đốt chỉ ra ở mi-li ampe kế (7), giữ dòng đốt này làm chuẩn trong suốt quá trình đo. Sau khi xác lập được mối liên hệ giữa áp suất P và sức điện động nhiệt điện thông qua áp kế mẫu, ta có đường cong mẫu như sau (hình 129).



Hình 129. Đường cong mẫu cho áp kế cặp nhiệt điện

Từ đường cong mẫu ta thấy rằng, áp kế này có độ nhạy và độ chính xác tốt chỉ trong khoảng áp suất hẹp ($5 \cdot 10^{-1} \div 10^{-3}$ mm Hg).

Độ nhạy của áp kế giảm ở phía chân không thấp $P > 0,5$ mm Hg và ở phía chân không cao $P < 10^{-3}$ mm Hg.

– Ở phía chân không thấp, độ nhạy giảm nhanh vì khi đó độ dẫn nhiệt của khí bắt đầu không phụ thuộc vào áp suất.

– Để giải thích sự giảm độ nhạy của áp kế phía chân không cao, ta hãy khảo sát sự cân bằng công suất sợi đốt của áp kế P_H (P_H là công suất toàn phần).

$$P_H = P_1 + P_2 + P_3. \quad (9.8)$$

Trong đó, P_1 : công suất tiêu hao do dẫn nhiệt qua các dây dẫn các điện cực và giá gắn sợi đốt.

P_2 : công suất bức xạ nhiệt.

P_3 : công suất do chất khí tải đi.

P_1 và P_2 không phụ thuộc vào áp suất khí. P_3 sẽ biến đổi khi áp suất biến đổi và làm thay đổi nhiệt độ sợi đốt. Rõ ràng là P_3 càng lớn so với $P_1 + P_2$ thì độ nhạy của áp kế càng lớn.

Để giảm P_1 : sợi đốt phải kéo dài và nhỏ, nhiệt độ làm việc của nó không được quá cao, độ dẫn nhiệt của nó không cao.

Để giảm P_2 : hệ số bức xạ của sợi đốt phải không cao và nhiệt độ làm việc của nó phải không cao. Thông thường nhiệt độ của sợi đốt khoảng $150 \div 200^\circ\text{C}$ (đèn AT-2 với $P = 10^{-4}$ mm Hg thì nhiệt độ là 160°C và khi $P = 10^{-1}$ mm Hg thì nhiệt độ 40°C).

Trong miền áp suất thấp P_3 có dạng :

$$P_3 = A \frac{\alpha(T_1 - T_2)}{\sqrt{\mu}} P. \quad (9.9)$$

Trong đó, A : hằng số

α : hệ số điều tiết.

$(T_1 - T_2)$: hiệu nhiệt độ sợi đốt và vỏ đèn.

μ : khối lượng một kmol khí.

Từ (9.9) thấy rằng, P_3 và do đó đường cong mẫu của áp kế phụ thuộc vào loại khí. Vì vậy, mỗi loại khí có một đường cong mẫu riêng. Đó là nhược điểm của áp kế loại này.

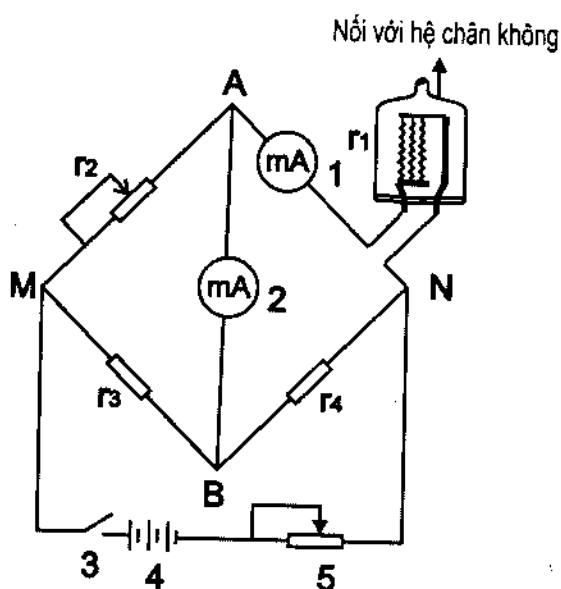
Từ (9.9) ta cũng thấy rằng P_3 phụ thuộc vào hệ số điều tiết α (thông thường $\alpha \ll 1$) và phụ thuộc vào trạng thái bề mặt cũng như vào loại khí. Trong quá trình áp kế làm việc, trạng thái bề mặt sợi đốt dần dần biến đổi làm biến đổi công suất P_3 . Vì vậy, sau một thời gian làm việc, ta phải hiệu chỉnh thêm dòng đốt. Đó cũng là một nhược điểm của áp kế này.

Nhờ (9.8) và (9.9) ta thấy P_3 tỉ lệ với áp suất. Vì vậy khi chân không cao ($P_3 \ll P_1 + P_2$), lúc đó sự thay đổi P_3 thực tế không làm ảnh hưởng đến nhiệt độ sợi đốt.

Một nhược điểm nữa của áp kế là tính chất quán tính của nó. Khi áp suất biến đổi, nhiệt độ sợi đốt không lập tức thay đổi ngay được. Thời gian quán tính cỡ 15 ÷ 20 giây.

9.5 ÁP KẾ ĐIỆN TRỞ

Áp kế điện trở còn có tên gọi là áp kế Pirani. Áp kế gồm có hai phần : đèn áp kế và mạch đo (hình 130).



Hình 130. Áp kế điện trở Pirani

Thông thường :

$$r \approx (15 \div 20)\Omega.$$

mA_1 đến 100 mA.

mA_2 đến 15 mA.

$$I_H = (60 \div 65) \text{ mA}.$$

Đèn áp kế là một đèn thủy tinh được nối với hệ chân không. Đèn có hai chân nối với một vài sợi đốt có điện trở r_1 . Mạch đo là một mạch cầu đo điện trở. Sợi đốt có điện trở r_1 , đây là một loại vật liệu có hệ số nhiệt trở rất lớn, để khi nhiệt độ của nó thay đổi khi áp suất thay đổi thì điện trở của nó biến đổi đủ lớn. Thông thường người ta sử dụng W, Ni, Pt...

r_2 : biến trở làm bằng vật liệu có hệ số nhiệt trở phải thật nhỏ.

$r_3 = r_4$ là các điện trở cố định cũng có hệ số nhiệt trở rất nhỏ (Manganin, Constantan).

Nguồn nuôi mạch cầu đưa vào hai điểm MN, lấy từ nguồn một chiều (4) biến đổi được nhờ biến trở (5). Dòng qua sợi đốt đo bằng mili ampe kế (1). Dòng giữa hai đầu AB của cầu đo bằng mili ampe kế (2).

Để đo áp suất bằng áp kế trên ta làm như sau :

– Điều chỉnh r_2 đến giá trị ghi trong hướng dẫn sử dụng của máy.

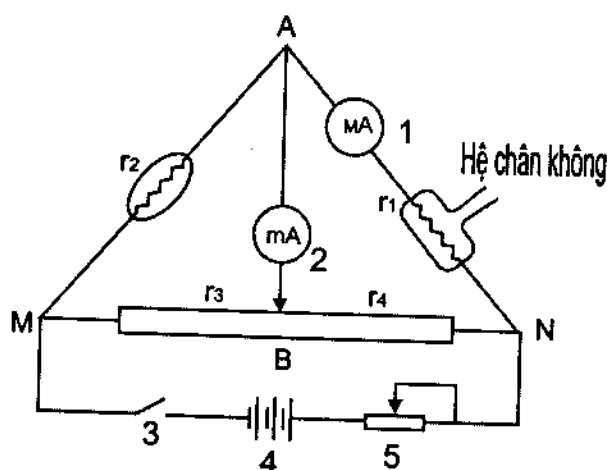
– Đóng mạch cầu và điều chỉnh dòng đốt I_H qua mi-li ampe kế (1) đến giá trị ghi trong hướng dẫn sử dụng . Dòng đốt này cũng giữ không đổi trong suốt quá trình đo. Khi chân không thấp (gần áp suất khí quyển), điều chỉnh đúng r_2 và I_H thì cầu cân bằng ($r_1 = r_2$), mi-li ampe kế (2) chỉ "0".

– Khi áp suất giảm thì độ dẫn nhiệt của khí giảm nhanh. Do đó, nhiệt độ sợi đốt tăng, điện trở r_1 tăng, cầu lệch đi. Mi-li ampe kế (2) sẽ chỉ càng tăng khi chân không càng lên cao.

Để giảm ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường lên kết quả đo, người ta dùng áp kế có bộ chính (hình 131). Trường hợp này r_2 được thay bằng một đèn áp kế nhưng hàn kín ở áp suất $P < 10^{-4}$ mm Hg (bộ phận bổ chính).

Như vậy, sự biến đổi của nhiệt độ môi trường lên đèn áp kế và đèn bổ chính như nhau. Lúc này, r_3 và r_4 phải có chức năng biến trở (hình 131), dùng để cân bằng cầu và cách đo giống như trường hợp trên.

Cân bằng cầu ở áp suất khí quyển. Khi chân không tăng, độ lệch cầu tăng, ta sẽ xây dựng được một đường cong mẫu tương tự như áp kế cặp nhiệt điện.



Hình 131. Mạch điện đo của áp kế điện trở

Những đặc trưng của áp kế điện trở không khác áp kế cặp nhiệt điện, vì rằng những quá trình vật lý xảy ra là giống nhau.

Một vài ưu điểm chính của áp kế nhiệt điện là :

+ Ưu điểm :

- Không chứa thủy ngân.
- Có thể đo liên tục trạng thái chân không.
- Cấu tạo đơn giản.

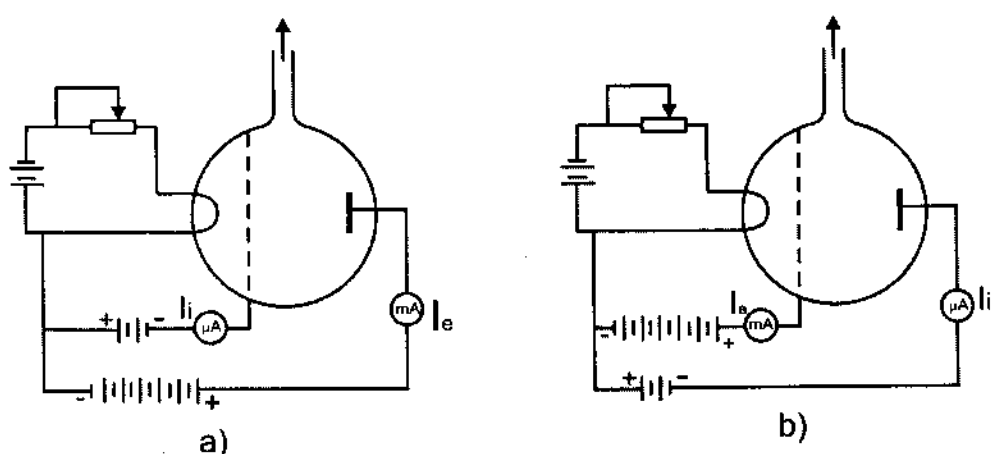
+ Nhược điểm :

- Dải áp suất đo được hẹp ($5 \cdot 10^{-1} \div 10^{-3}$ mm Hg).
- Thời gian quán tính lớn (0,3 phút).
- Đường cong mẫu phụ thuộc vào loại khí.
- Áp kế không phải là tuyệt đối.

9.6 ÁP KẾ ION HÓA

9.6.1 Nguyên tắc làm việc

Áp kế dựa trên nguyên tắc sự phụ thuộc của cường độ ion hóa chất khí vào áp suất, nên được gọi là áp kế ion hóa. Bộ phận cơ bản của áp kế này là đèn 3 cực có katốt wolfram (hình 132)



Hình 132. Cấu tạo áp kế ion hóa

Theo hình 132a, điện tử phát xạ từ một katốt được đốt nóng. Dòng điện tử I_e này được hút về anốt và được đo bằng mA. Khi chuyển động trong trường gia tốc đến anốt, chúng sẽ ion hóa chất khí. Ion được tạo thành do ion hóa sẽ đi về lưới tạo nên dòng I_i đo trên μA . Dòng I_i này sẽ tỷ lệ với áp suất trong đèn (hình 132a).

Thông thường người ta mắc theo sơ đồ hình 132(b). Sơ đồ này, lưới mang điện áp dương (vai trò của anốt). Anốt đóng vai trò collector ion cho dòng I_i chạy qua (vai trò của lưới).

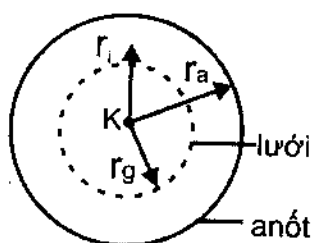
Độ nhạy của áp kế mắc theo sơ đồ hình 132b lớn gấp 4 ÷ 5 lần ở sơ đồ hình 132a. Bởi vì ở sơ đồ (b), điện tử bị dao động nhiều lần quanh lưới trước khi rơi vào lưới, làm tăng quãng đường chuyển động của điện tử, tức là làm tăng xác suất va chạm với nguyên tử khí. Do đó, số va chạm gây ion hóa tăng và dòng ion I_i đo được sẽ lớn hơn.

9.6.2 Độ nhạy của áp kế

a) Với sơ đồ a

Điện tử khi chuyển động từ katốt đến anốt sẽ ion hóa nguyên, phân tử khí trong miền giới hạn bởi r_i và r_a (trong hệ điện cực hình trụ vẽ trên hình 133).

r_a : bán kính anốt
 r_g : bán kính lưới
 K : katốt



Hình 133. Hệ điện cực hình trụ

Trong đó, r_i là khoảng cách mà tại đó điện tử nhận được năng lượng của $\vec{E}$, bằng năng lượng ion hóa eV_i . Trường hợp này $r_i > r_g$. Số ion được thành lập trong nguyên tố hình trụ với bán kính dr ở áp suất P trong một đơn vị thời gian bằng :

$$dN = n.Z.P.W(V)dr. \quad (9.10)$$

Trong đó, n : số điện tử đi qua nguyên tố dr trong 1 giây.

Z : số va chạm của một điện tử với phân tử khí trên đoạn đường 1cm ở $P = 1\text{mm Hg}$.

$W(V)$: xác suất ion hóa do va chạm của điện tử.

Như vậy, số ion được thành lập trong miền giới hạn bởi r_i và r_a là :

$$N = nZP \int_{r_i}^{r_a} W(V)dr. \quad (9.11)$$

Năng lượng của điện tử tại điểm có bán kính r có thể biểu diễn dưới dạng gần đúng sau :

$$eV \approx \frac{eV_a}{r_a - r_g} r. \quad (9.12)$$

Do đó,

$$N = nZP \frac{r_a - r_g}{V_a} \int_{r_i}^{r_a} W(V)dV.$$

Xác suất ion hóa $W(V)$ có thể biểu diễn dưới dạng :

$$W(V) = \alpha(V - V_i) \exp \left\{ -\frac{V - V_i}{\beta} \right\}. \quad (9.13)$$

Trong đó, α, β : hằng số phụ thuộc vào loại khí.

Đưa (9.13) vào (9.12) ta có :

$$\frac{N}{nP} = \frac{Z\alpha\beta(r_a - r_g)}{V_a} \left\{ \beta - (V_a - V_i + \beta) \cdot \exp \left[-\frac{V_a - V_i}{\beta} \right] \right\}. \quad (9.14)$$

Tỷ số $k = \frac{N}{n}$ gọi là độ nhảy của áp kế ion hóa. Thực nghiệm cho thấy với sơ đồ a thì độ nhảy này rất nhỏ hơn ở sơ đồ b. Vì vậy, trong thực tế người ta thường dùng sơ đồ b có độ nhảy lớn để có thể đo được áp suất P ở chân không cao.

b) Với sơ đồ (b)

Như đã nói ở trên, trước khi rơi vào lưới, điện tử phải dao động xung quanh lưới vài lần. Xác suất hút điện tử khi bay qua lưới coi như không đổi và bằng γ .

Vì vậy, tương tự như (9.11), có thể xác định số ion được thành lập do 1 điện tử khi qua lưới một lần :

$$N = 2ZP \int_{r_g}^{r_i} W(V) dr. \quad (9.15)$$

Nếu có n điện tử thì :

- Lần thứ nhất có γn đi qua lưới về phía anốt.
- Lần thứ hai có $\gamma^3 n$ đi qua lưới về phía anốt.
- Lần thứ hai có $\gamma^5 n$ đi qua lưới về phía anốt.
-

Do đó, số ion được thành lập bởi những điện tử này bằng :

$$N = 2ZP(\gamma n + \gamma^3 n + \gamma^5 n + \dots) \int_{r_g}^{r_i} W(V) dr, \quad (9.16)$$

$$N = 2ZP \frac{\gamma n}{1 - \gamma^2} \int_{r_g}^{r_i} W(V) dr. \quad (9.17)$$

Ở đây, dòng ion $I_i \sim N$, dòng điện tử phát xạ $I_e \sim n$.

Nếu giả thiết rằng trường giữa lưới và anốt là đồng nhất như trong trường hợp (a) (dạng 9.12) thì tích phân (9.17) bằng :

$$\frac{N}{nP} = \frac{2\gamma}{1-\gamma^2} \frac{Z\alpha\beta(r_a - r_g)}{V_a} \left\{ \beta - (V_a - V_i + \beta) \cdot \exp \left[-\frac{V_a - V_i}{\beta} \right] \right\} \quad (9.18)$$

Từ (9.14) và (9.18), ta rút ra được những hệ quả sau :

- Độ nhảy của áp kế và do đó đường cong mẫu của nó tỉ lệ thuận với áp suất.
- Đường cong mẫu của áp kế phụ thuộc vào loại khí.
- Tính toán chứng tỏ rằng khi thế gia tốc điện từ > 200 volt thì độ nhảy tăng rất ít.

Do đó, chế độ làm việc của đèn AM-2 trong sơ đồ (b) là :

- Thế lưới (vai trò anốt) : +200 V.
- Thế anốt (vai trò collector ion) : -25 V.
- Dòng phát xạ của katốt : $I_e = 5 \text{ mA}$.

Từ (9.18) có thể viết :

$$\frac{I_i}{I_e} = KP.$$

Do đó,

$$P = C^{-1} I_i. \quad (9.19)$$

Trong đó, $C = K \cdot I_e$: hằng số của áp kế ion hóa.

Thực nghiệm ứng với các thông số trên áp kế AM-2 có $C = 10^5$ ($\mu\text{A/mm Hg}$) tương ứng với độ nhảy $K = 20$.

9.6.3 Ưu, nhược điểm của áp kế ion hóa

Ưu điểm chính của áp kế này là có độ chính xác cao vì đường cong mẫu phụ thuộc tuyến tính vào áp suất trong miền $P = 10^{-3} \div 10^{-6} \text{ mm Hg}$. Ngoài ra, áp suất này không có tính chất quán tính và có thể đo áp suất cả hơi chất lỏng.

Nhược điểm chính của áp kế là katốt phải đốt nóng. Do đó, nó dễ mất khả năng phát xạ khi có độ chân không thấp (katốt bị oxy hóa), và dễ cháy khi có không khí lọt vào.

Ngoài ra, độ chính xác của phép đo bị hạn chế do một số nguyên nhân sau :

– Khí bị hấp thụ bởi các điện cực khi trong đèn xảy ra phóng điện khí, làm cho áp suất trong đèn thường nhỏ hơn trong hệ chân không cần đo.

– Ngược lại, do điện tử bắn phá mà collector điện tử bị nóng và tỏa khí làm tăng áp suất. Vì vậy, trước khi đo cần tẩy khí ở các điện cực và vỏ đèn.

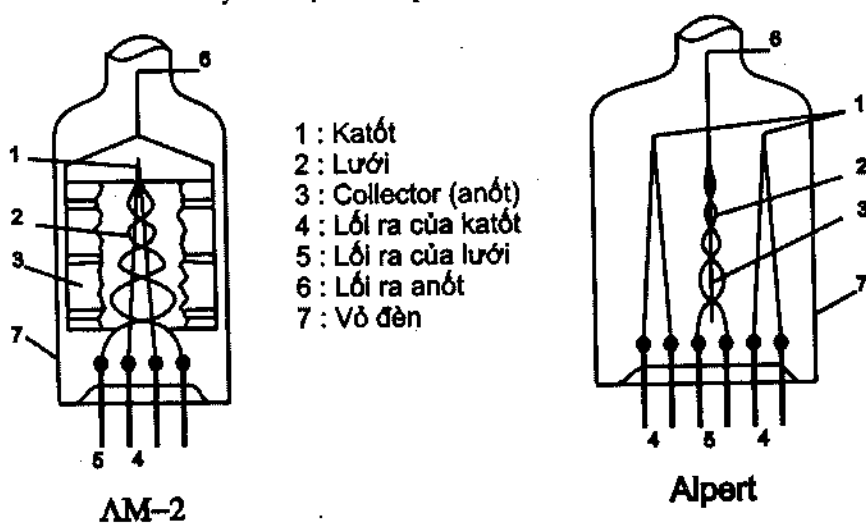
– Áp kế $\Lambda M-2$ chỉ cho phép đo áp suất $P \geq 10^{-7}$ mm Hg. Với áp suất nhỏ hơn thì sai số của phép đo sẽ rất lớn. Vì rằng dòng I_i ta đo được để đánh giá độ chân không không phải là giá trị dòng ion do quá trình ion hóa mà nó còn bao gồm cả dòng phát xạ quang điện từ từ collector ion, mà dòng này khá lớn so với dòng ion. Dòng phát xạ quang điện tử sinh ra do các nguồn bức xạ sau :

- + Từ các máy móc bên ngoài.
- + Từ katốt đốt nóng của áp kế.
- + Bức xạ Ronghen phát ra từ lưới do dòng điện tử được gia tốc với thế 200 V đập vào.

Nguồn bức xạ thứ nhất dễ dàng loại trừ bằng cách che chắn. Còn để làm giảm ảnh hưởng của hai nguồn bức xạ sau, người ta dùng loại đèn áp kế có cải tiến về mặt cấu tạo, đó là áp kế Alpert.

9.6.4 Áp kế Alpert

Hình 134 trình bày cấu tạo của áp kế $\Lambda M-2$ và áp kế Alpert.



Hình 134. Cấu tạo của áp kế $\Lambda M-2$ và áp kế Alpert

Áp kế có cấu tạo như sau :

Collector ion là một dây dẫn Wolfram ($\phi = 0,15\text{mm}$) đặt dọc theo trục của lưới bằng kim loại. Lưới này đóng vai trò anốt. Katốt đặt bên ngoài lưới. Sự ion hóa khí ở đây xảy ra trong một thể tích khá lớn, bao gồm cả không gian bên trong lưới cho nên độ nhạy của nó xấp xỉ bằng độ nhạy của AM-2. Nhưng nhờ cấu tạo có bề mặt collector ion giảm đến $10^2 \div 10^3$ lần so với AM-2 nên dòng phát xạ quang điện tử cũng giảm xuống bấy nhiêu lần. Vì vậy áp kế Alpert cho phép đo áp suất $P \geq 10^{-10}$ mm Hg.

9.7 ÁP KẾ PENNING

Áp kế Penning là một diode gồm một anốt hình trụ rỗng đặt ở giữa và hai katốt ở hai đầu. Cả hệ điện cực được đặt trong từ trường dọc $\vec{H}$, giữa anốt và katốt đặt thế một chiều V_a – giống như bơm Penning (hình 135a).

Khi thực hiện phóng điện Penning trong hệ điện cực trên thì dòng phóng điện I tỷ lệ với áp suất P trong hệ. Đo dòng phóng điện ta có thể suy ra áp suất của hệ. Khi áp suất giảm, tức là độ chân không cao thì việc phóng điện trên khó thực hiện. Ta hãy tìm điều kiện để áp kế làm việc và đo được ở chân không siêu cao.

Từ lý thuyết phóng điện Penning (phóng điện trong điện từ trường giao nhau $\vec{E} \perp \vec{H}$), ta có thể xác định được điều kiện làm việc tối ưu cho áp kế Penning là :

$$\frac{I}{P} = \text{max, const ở áp suất bất kỳ.}$$

Trong đó, I : dòng phóng điện Penning.

P : áp suất trong hệ phóng điện.

Điều kiện trên có nghĩa là với áp suất nhỏ đến bao nhiêu ($P \approx 0$), phóng điện vẫn tồn tại (áp kế vẫn làm việc), và số va chạm giữa điện tử và nguyên tử khí để ion hóa trong thác lũ điện tử không phụ thuộc vào áp suất. Điều đó cho phép dòng phóng điện I vẫn đủ lớn để đo được ngay cả khi $P \rightarrow 0$.

Muốn vậy, cấu hình phóng điện và điện từ trường $\vec{E}, \vec{H}$ phải như thế nào để đảm bảo tất cả điện tử có quỹ đạo quanh trục phóng điện trước khi va chạm là kín (hình 135b).

Khi đó, áp suất P trong hệ được đo theo dòng phóng điện I theo công thức :

$$\frac{I}{P} = \frac{3}{4} V_{cl} \frac{m}{e} \frac{l_a \beta_a^4 r_a^2}{(2\theta^2 - \beta_a^2)} \quad (9.21)$$

Trong đó, V_{cl} : tần số va chạm của điện tử với nguyên tử khí ở P = 1 mm Hg.

l_a : chiều dài anốt.

$$\beta_a^2 = 2 \frac{e}{m} \frac{(V_a - V_0)}{r_a^2}$$

$$\theta^2 = \left(\frac{eH}{2mc} \right)^2$$

Để áp kế Penning không có hiện tượng tự bơm (như bơm Penning), ta phải chọn vật liệu katốt có hệ số phún xạ và hệ số hấp thụ khí là cực tiểu. Trong thực tế, người ta có thể chọn kim loại Ni, Al, Constantan... làm katốt (Ni là thuận tiện nhất).

Một trong những hệ thống số tối ưu của áp kế trình bày trên hình 136

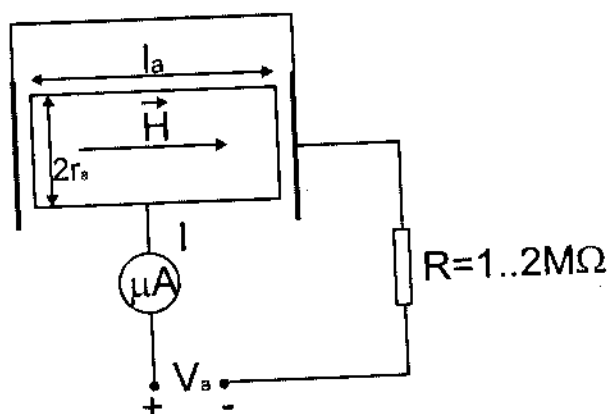
Thông số tối ưu của áp kế:

$H = 10^\circ \text{Ostét}$

$V_a = 2 \text{ KV}$

$r_a = 0,625 \text{ cm}$

$l_a = 1,25 \text{ cm}$



Hình 136. Thông số tối ưu của áp kế

Với các thông số đó, áp kế Penning có thể dùng để đo dải áp suất P từ $10^{-3} \div 10^{-10} \text{ mm Hg}$. Độ nhạy của nó đối với N_2 :

$$\frac{I}{P} = 5.10^6 \frac{\mu A}{mmHg}$$

$$P = 2.10^{-7} I \text{ với } I \text{ đo bằng } \mu A.$$

Kết quả này trùng với tính toán lý thuyết.

9.8 CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO ÁP SUẤT RIÊNG PHẦN

9.8.1 Khái niệm cơ bản

Trong một số dụng cụ sau khi tạo được độ chân không thì vẫn còn tồn tại một áp suất của các chất khí và hơi chất lỏng nào đó. Việc xác định thành phần áp suất của từng chất khí, của từng loại hơi chất lỏng còn lại đó gọi là đo áp suất riêng phần trong hệ chân không. Dụng cụ đo áp suất riêng phần được gọi là khối phổ kế.

Tất cả các loại khối phổ kế đều dựa trên nguyên tắc cơ bản là ion hóa khí hay hơi trong hệ chân không, rồi tách các ion được thành lập theo khối lượng tương ứng của chúng nhờ tác dụng của điện từ trường.

Như vậy, giá trị của dòng ion có khối lượng giống nhau là số đo áp suất riêng phần của chúng trong hệ. Tuy nhiên, nói một cách chính xác, đến nay chưa có một khối phổ kế nào xác định được một thành phần thực của khí. Điều đó là do một số khó khăn sau :

1. Các dụng cụ này xác định khối phổ ion chứ không phải phổ của thành phần khí. Ví dụ, những khí như N_2 , CO , CH_2CH_2 luôn cho cường độ phổ có cùng khối lượng 28 (theo tỉ lệ xích khối lượng của $O = 16$).

2. Độ nhạy không giống nhau đối với các khí khác nhau (tương tự như áp kế ion hóa) và độ nhạy tương đối lại phụ thuộc vào cấu tạo và chế độ làm việc của dụng cụ.

3. Khả năng phân giải tốt chỉ trong miền khối lượng nhỏ. Nếu dụng cụ nào có khả năng phân giải cao thì độ nhạy của nó lại nhỏ đi.

Khối phổ kế có thể chia làm 3 loại :

– Khối phổ kế lệch từ : quỹ đạo của ion trong từ trường phụ thuộc vào khối lượng của ion.

– Khối phổ kế cộng hưởng : tần số cộng hưởng của ion trong điện trường xoay chiều biến đổi phụ thuộc vào khối lượng ion.

– Khối phổ kế thời gian bay : thời gian bay qua hai điểm nào đó của ion phụ thuộc vào khối lượng của nó.

Tất cả các loại khối phổ kế chỉ có thể xác định được áp suất riêng phần từ $10^{-4} \div 10^{-11}$ mm Hg.

Các thông số cơ bản của khối phổ kế :

– Khả năng phân giải : Khả năng phân giải ρ tính bằng tỉ số giữa khối lượng và hiệu số khối lượng tương đối cực tiểu của hai vạch tách biệt nhau :

$$\rho = \frac{m}{\Delta m} \quad (9.26)$$

Khối phổ kế lệch từ có khả năng phân giải lớn nhất (10^3). Vì vậy, thường được dùng để phân tích đồng vị. Đối với hệ chân không khả năng phân giải chỉ cần đến 50.

– Giải khối lượng làm việc : đối với hệ chân không, khoảng khối lượng cần phân tích từ 2 (của H_2) đến 200 (của Hg).

– Độ nhạy : do bằng tỉ số giữa áp suất riêng phần nhỏ nhất có thể ghi được trên áp suất toàn phần :

$$K = \frac{P_{\text{riêng phần min}}}{P_{\text{toàn phần}}}.$$

Sau đây là một số loại khối phổ kế điển hình :

9.8.2 Khối phổ kế lệch từ hình quạt và góc lệch 180°

Ion có khối lượng m đứng yên tại điểm có điện thế V sẽ nhận được vận tốc bằng :

$$v = \left(\frac{2eV}{m} \right)^{1/2} \quad (9.22)$$

Dưới tác dụng của từ trường đồng nhất $\vec{H}$, ion đó sẽ chuyển động theo quỹ đạo cong với bán kính :

$$R = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{2mV}{e}} \quad (9.23)$$

Từ (9.23) suy ra rằng, nếu $V = \text{const}$, thì bán kính quỹ đạo R chỉ phụ thuộc vào khối lượng của ion m và từ trường H . Nếu cố định thêm H thì ta thấy các ion có khối lượng khác nhau sẽ tách xa nhau, vì bán kính cong R khác nhau.

Phương trình (9.23) đối với ion một điện tích $e = 1$:

$$R = 143,6 \sqrt{\frac{mV}{H^2}} \quad (9.24)$$

Trong đó, m : khối lượng phân tử khí.

H : cường độ từ trường (ơtesl).

V : thế gia tốc (volt).

R : bán kính cong của quỹ đạo (cm).

Từ đó,

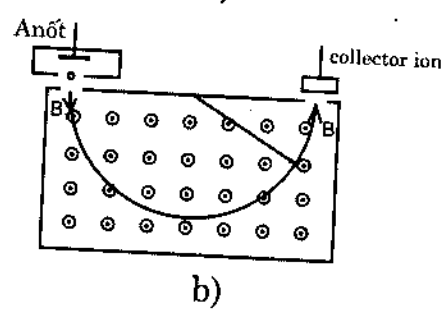
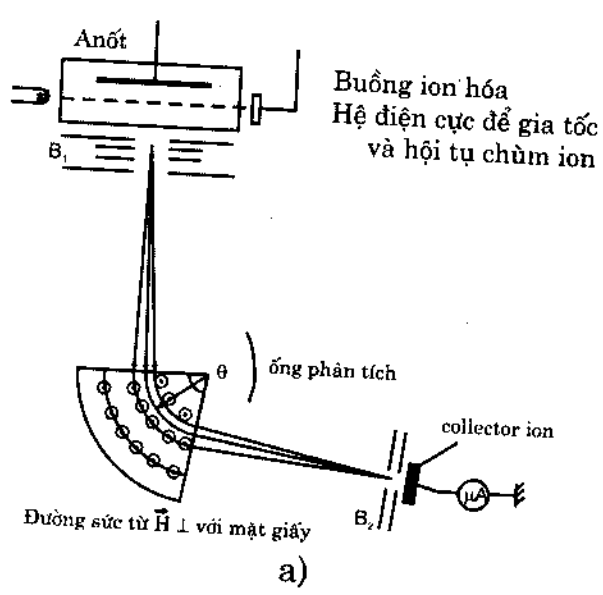
$$m = 2,06 \cdot 10^{-4} \frac{H^2}{V} R^2 \quad (9.25)$$

Như vậy thì khi thay đổi H^2 hay V^{-1} có thể hội tụ những ion có khối lượng khác nhau lên một bảng hứng cố định (R cố định).

Trong thực tế, người ta thường biến đổi từ trường vì để quét một dải khối lượng từ 1 đến 100 chỉ cần biến đổi từ trường trong khoảng 10 lần. Còn nếu biến đổi thế V thì phải trong khoảng 100 lần.

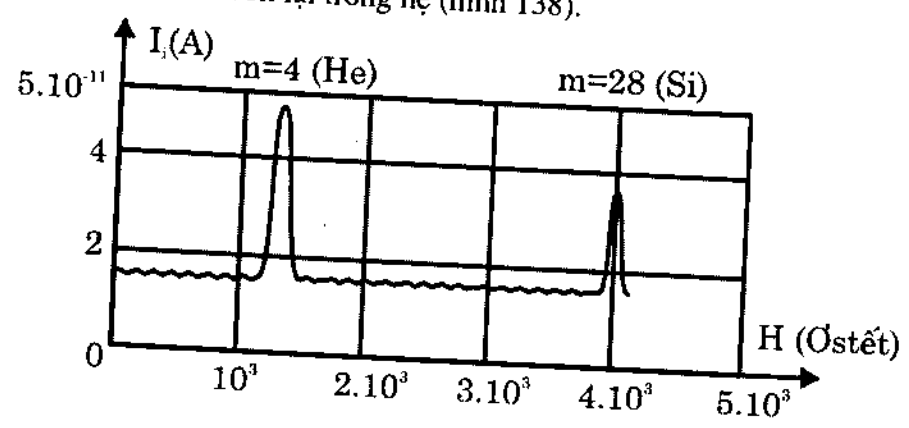
Trên hình 137 trình bày sơ đồ nguyên tắc của khối phổ kế lệch từ (loại hình quạt và loại 180°).

Phân tử khí bị ion hóa do va chạm với chùm điện tử trong buồng ion hóa. Các ion tạo thành được hệ điện cực gia tốc và hội tụ thành một chùm đi qua lỗ B_1 rồi vào không gian có từ trường đồng nhất. Với V và H xác định thì chỉ có những ion có khối lượng xác định mới có bán kính cong R và mới đi qua được lỗ chắn B_2 để đến được collector ion, tạo thành dòng ion. Từ các giá trị dòng ion đo được trên collector ion, ta có thể xác định được áp suất riêng phần của loại khí đó.



Hình 137. Khối phổ kế lệch từ
a) Loại hình quạt ; b) Loại góc lệch 180°

Với V, R không đổi, thay đổi H ta sẽ lần lượt nhận được phổ khối lượng của các phân tử khí còn lại trong hệ (hình 138).



Hình 138. Phổ khối lượng của các phân tử khí

Từ (9.25) ta dễ dàng chứng minh rằng trong trường hợp lý tưởng, khả năng phân giải của khối phổ kế lệch từ bằng :

$$\rho = \frac{m}{\Delta m} = \frac{R}{S_1 + S_2} \quad (9.26)$$

Trong đó, S_1, S_2 : độ rộng của lỗ chắn B_1 và B_2 .

Trong thực tế thì không có dụng cụ nào đạt đến khả năng phân giải tới hạn đó cả, vì có 3 khó khăn sau :

- Không thể điều chỉnh chính xác ống phân tích.
- Năng lượng của ion khi đi vào ống phân tích không bằng nhau.
- Sự không ổn định của V và H điều khiển.

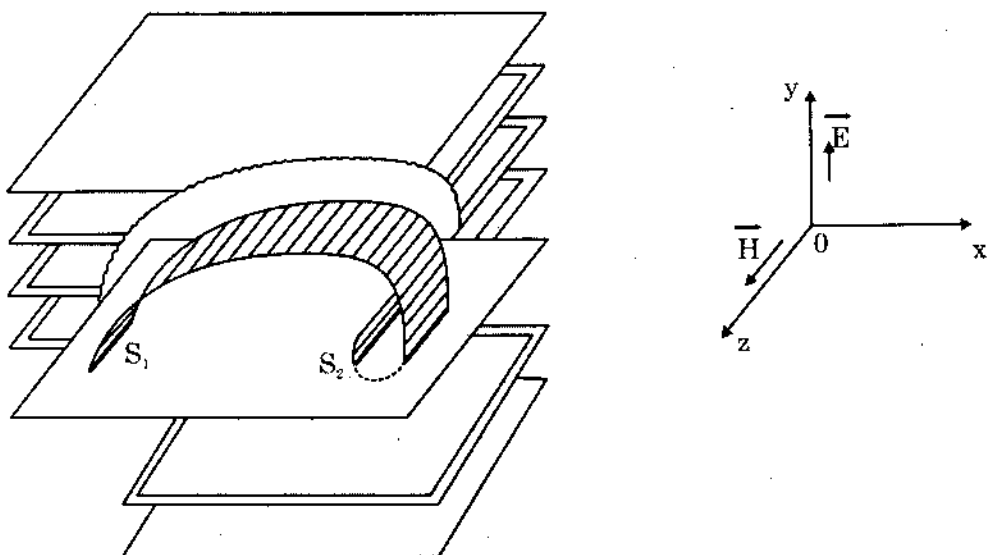
Độ nhạy của khối phổ kế rất nhỏ hơn áp kế ion hóa vì rằng độ dài hiệu dụng của quỹ đạo điện từ trong khối phổ kế rất ngắn. Số ion tạo ra còn bị mất mát trước khi đi đến collector ion. Thông thường, độ nhạy của nó từ $0,1 \div 1 \text{ (mm Hg)}^{-1}$.

9.8.3 Khối phổ kế Xyclotron

Ở khối phổ kế Xyclotron, sự tách các ion có cùng khối lượng được thực hiện bằng điện từ trường đồng nhất và trực giao nhau.

Sơ đồ nguyên tắc của nó được trình bày trên hình 139.

Giả sử $\vec{E} // Oy$, $\vec{H} // Oz$, và vận tốc ban đầu của ion nằm trong mặt phẳng xOy .



Hình 139. Khối phổ kế Xyclotron

Trường hợp này, quỹ đạo của hạt cũng nằm trong mặt phẳng xOy. Phương trình chuyển động có dạng :

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{e}{c} [\vec{v}\vec{H}]_x = \frac{e}{c} H\dot{y} \\ m\ddot{y} &= \frac{e}{c} [\vec{v}\vec{H}]_y + eE_y = eE - \frac{e}{c} H\dot{x} \end{aligned} \right\} \quad (9.27)$$

Có thể giải phương trình này bằng cách thay biến số.

Đặt :

$$x_1 = x - ut. \quad (9.28)$$

Trong đó, u : hằng số, ý nghĩa vật lý của biến đổi này là chuyển hệ tọa độ cố định sang hệ mới chuyển động với vận tốc u theo hướng x.

Phương trình (9.27) bây giờ có dạng :

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_1 &= \frac{e}{mc} H\dot{y} \\ \ddot{y} &= \frac{e}{m} E - \frac{e}{mc} H\dot{x}_1 \end{aligned} \right\} \quad (9.29)$$

Nếu chọn $u = c \frac{E}{H}, \quad (9.30)$

thì phương trình thứ 2 của (9.29) sẽ đơn giản hơn và hệ phương trình có dạng sau :

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_1 &= \Omega \dot{y} \\ \ddot{y} &= -\Omega \dot{x}_1 \end{aligned} \right\} \quad (9.31)$$

Trong đó,

$$\Omega = \frac{eH}{mc}.$$

Điện trường trong phương trình thứ hai của (9.29) đã mất. Như vậy, (9.31) là hệ phương trình chuyển động của ion dưới tác dụng của từ trường đồng nhất trong hệ tọa độ mới (x_1, y), hạt sẽ chuyển động theo đường tròn.

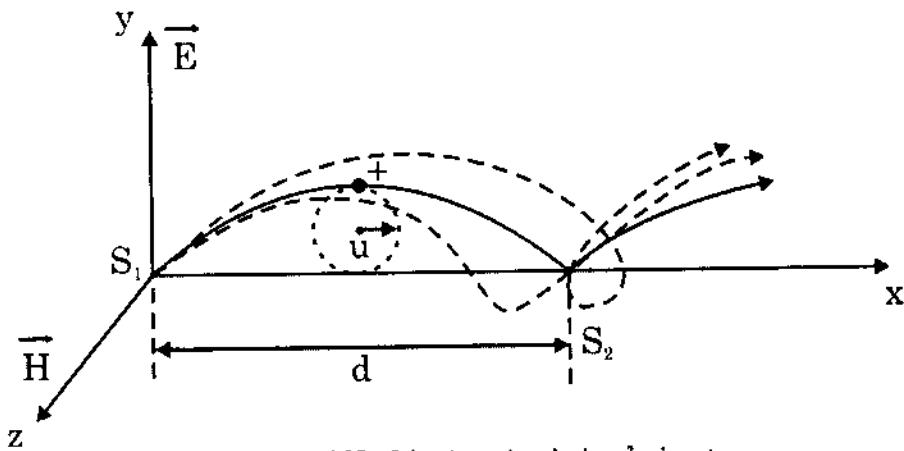
Chuyển động tổng hợp của ion là chuyển động đều với vận tốc u theo trục x và đồng thời quay tròn trong mặt phẳng xOy, tạo nên chuyển động theo quỹ đạo trochoic.

Giả sử những thành phần vận tốc ban đầu của ion là v_{0z} và v_{0y} . Khi đó, nghiệm của phương trình (9.31) có dạng :

$$\begin{cases} x_1 = \frac{v_{0x1}}{\Omega} \sin \Omega t + \frac{v_{0y}}{\Omega} (1 - \cos \Omega t) \\ y = \frac{v_{0y}}{\Omega} \sin \Omega t - \frac{v_{0x1}}{\Omega} (1 - \cos \Omega t) \end{cases} \quad (9.32a)$$

Hay trong hệ tọa độ (x,y) :

$$\begin{cases} x = \left(\frac{v_{0x}}{\Omega} - \frac{cE}{\Omega H} \right) \sin \Omega t + \frac{v_{0y}}{\Omega} (1 - \cos \Omega t) + \frac{cE t}{H} \\ y = \frac{v_{0y}}{\Omega} \sin \Omega t - \left(\frac{v_{0x}}{\Omega} - \frac{cE}{\Omega H} \right) (1 - \cos \Omega t) \end{cases} \quad (9.32b)$$



Hình 140. Các dạng trochoic của ion +

Trên hình 140 trình bày các dạng trochoic của ion + có hướng và vận tốc ban đầu khác nhau.

Khi $y = 0$ thì $x = d = uT$.

Hay :

$$d = \frac{2\pi mc^2 E}{eH^2}. \quad (9.33a)$$

Như vậy, chùm ion đi khỏi khe S_1 với vận tốc ban đầu và hướng bất kỳ đến hội tụ tại khe S_2 cách S_1 một khoảng d như nhau (ion cùng khối lượng).

Rõ ràng khối phổ kế loại này về nguyên tắc có tính chất hội tụ lý tưởng. Tuy nhiên, việc tạo một điện trường mạnh đồng nhất trong một khối có thể tích lớn gặp rất nhiều khó khăn.

Từ (9.33a) có thể xác định khả năng phân giải :

$$\Delta d = \frac{2\pi\Delta mc^2 E}{eH^2}.$$

Hay :

$$\rho = \frac{m}{\Delta m} = \frac{d}{\Delta d} = \frac{d}{S_1 + S_2}. \quad (9.33b)$$

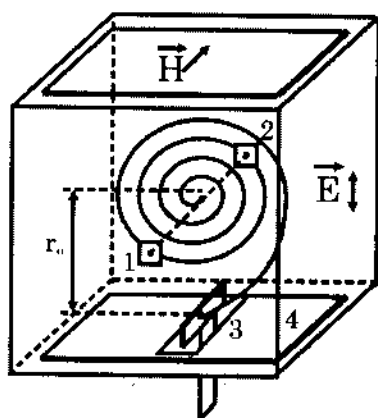
Trong đó, S_1, S_2 : độ rộng của khe S_1 và S_2 .

Khả năng phân giải đó là bất biến với năng lượng ban đầu của chùm ion. Điều đó cho phép ta dùng nguồn ion có hiệu dụng lớn hơn.

Dòng ion ở lối ra S_2 khá lớn. Điều này cho phép ta đo áp suất riêng phần của khí bằng phương pháp khuếch đại thông thường, trong khi đó khối phổ kế lệch từ hình quạt và 180° phải dùng hệ nhân điện từ đặc biệt.

9.8.4 Khối phổ kế cộng hưởng (Ômêgatron)

Nếu thay điện trường một chiều trong khối phổ kế xyclotron bằng một điện trường cao tần thì khi tần số xyclotron $\Omega = \frac{eH}{mc}$ của ion trùng với tần số ω của điện trường $\vec{E}$ thì ion sẽ chuyển động theo quỹ đạo xoắn tròn ốc tăng dần trong mặt phẳng $\perp$ với từ trường $\vec{H}$ (hình 141).



- 1 : katốt
- 2 : collector điện tử
- 3 : collector ion
- 4 : 2 bản đặt điện áp cao tần
(2V, 10^6 Hz)

Hình 141. Cấu tạo khối phổ kế cộng hưởng

Khi có chùm điện tử đi từ (1) đến (2), nó sẽ ion hóa chất khí còn lại trong hệ điện cực, tạo nên các ion dương và điện tử.

Giả sử điện trường cao tần hướng nằm trong mặt phẳng quỹ đạo có cường độ $E = E_0 \sin \omega t$ và $\omega - \Omega \ll \Omega$.

Khi đó, ion sẽ chuyển động theo quỹ đạo gần xoắn ốc với tần số góc :

$$\frac{\omega + \Omega}{2}, \quad (9.34a)$$

và bán kính :

$$r = \frac{cE_0}{H|(\omega - \Omega)|} \sin \left| \frac{(\omega - \Omega)t}{2} \right|. \quad (9.34b)$$

Từ (9.34a) suy ra rằng nếu $\omega = \Omega$ (những ion có tần số xyclotron như vậy gọi là ion cộng hưởng) thì :

$$r = \frac{cE_0}{2H} t. \quad (9.35)$$

Cho nên bán kính quỹ đạo của ion cộng hưởng sẽ tăng dần theo thời gian. Nếu $\omega \neq \Omega$ thì bán kính quỹ đạo chuyển động của ion không cộng hưởng sẽ dao động theo thời gian (9.34) vì bán kính bị giới hạn trong miền :

$$r_{\max} = \frac{cE_0}{H|(\omega - \Omega)|}. \quad (9.36)$$

Như vậy, nếu đặt collector ion tại khoảng cách

$$r_0 \gg r_{\max}, \quad (9.37)$$

thì chỉ những ion cộng hưởng có khối lượng xác định mới đi tới nó được.

Bằng cách biến đổi tần số điện trường hay cường độ từ trường, ta sẽ thu được lần lượt các dòng ion tương ứng với các khối lượng khác nhau của khí. Phổ thu được tương tự như hình 142 (chỉ khác trục hoành là sự biến đổi ω). Từ phổ đó ta tính được áp suất riêng phần của từng loại khí.

Từ (9.36) và (9.37) ta có :

$$|(\omega - \Omega)| \leq \frac{cE_0}{r_0 H}. \quad (9.38)$$

Do đó, với ω cố định, collector ion sẽ ghi nhận những ion trong khoảng

$$\Delta\Omega = \frac{2cE_0}{r_0H}. \quad (9.39)$$

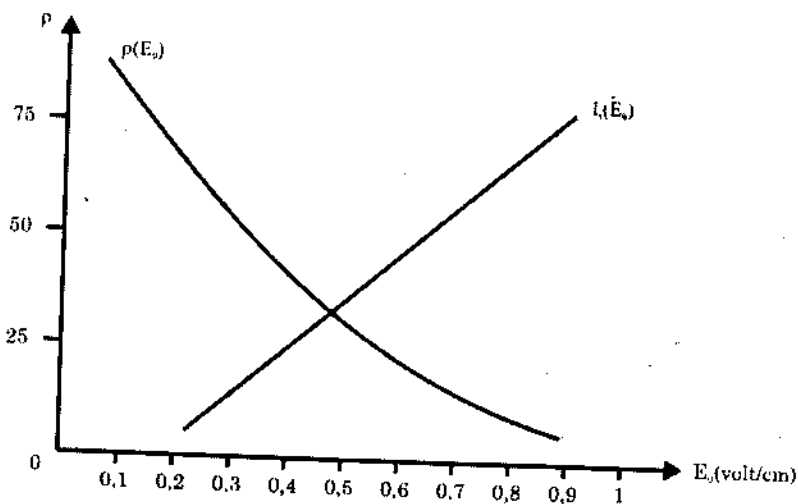
Vì vậy, khả năng phân giải

$$\rho = \frac{m}{\Delta m} = \frac{\Omega}{\Delta\Omega} = \frac{er_0H^2}{2c^2E_0m}. \quad (9.40)$$

Như vậy, khả năng phân giải của Ômegatron tỉ lệ thuận với H^2 và tỉ lệ nghịch với E_0 và m .

Cường độ từ trường được xác định bởi nam châm vĩnh cửu, thường $H = (2000 \div 5000)$ oerst.

Hình 142 trình bày đường cong phụ thuộc của khả năng phân giải và dòng ion cộng hưởng I_1 theo E_0 .



Hình 142. Phụ thuộc của khả năng phân giải và dòng ion cộng hưởng theo E_0 .

Chọn E_0 tùy thuộc vào điều kiện thí nghiệm. Nếu cần phân tích một lượng khí nhỏ ở áp suất tương đối nhỏ ($5 \cdot 10^{-5} \div 10^{-7}$ mm Hg) thì có thể tăng độ nhạy của Ômegatron bằng dòng I_1 do tăng E_0 . Khi đó, quãng đường chuyển động của ion cộng hưởng đến collector :

$$L = \frac{e r_0^2 H^2}{m E_0} \quad (9.41)$$

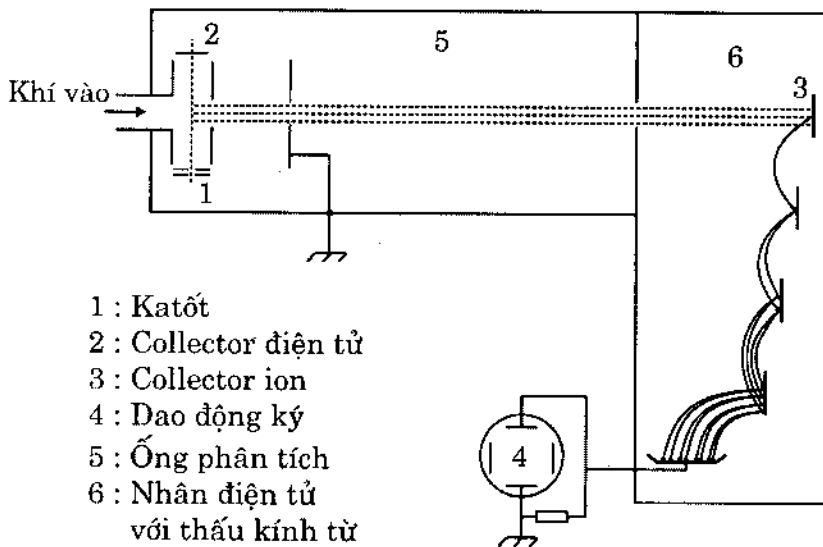
sẽ giảm và do đó độ tán xạ của ion do va chạm với các hạt khí giảm.

Ômegatron được dùng rất thuận lợi trong miền khối lượng $\frac{m}{e} \leq 50$. Đối với các khí nặng hơn thì độ phân giải kém nên ít dùng nó.

Ômegatron có cấu tạo đơn giản, nên được dùng nhiều trong kỹ thuật chân không. Nhưng vì thế cao tần ở đây chỉ từ $(1 \div 2)$ V nên dễ bị ảnh hưởng của thế hiệu tiếp xúc giữa các điện cực.

9.8.5 Khối phổ kế thời gian bay

Nguyên tắc của khối phổ kế này dựa trên sự phụ thuộc vào khối lượng ion của thời gian bay ion từ điểm này đến điểm kia. Điển hình của loại này là Cronotron. Sơ đồ nguyên tắc của Cronotron được trình bày trên hình 143.



Hình 143. Sơ đồ cấu tạo của khối phổ kế thời gian bay

Nguồn ion sẽ phóng vào ống phân tích từng nhóm ion. Sự ion hóa thành lập do chùm điện tử phát từ $1 \rightarrow 2$ theo chế độ xung với khoảng thời gian $(10^{-6} \div 10^{-7})$ s. Khi được gia tốc với thế V, ion sẽ chuyển động trong ống phân tích theo quán tính. Thời gian bay của ion từ nguồn ion đến collector ion bằng :

$$t = l \sqrt{\frac{m}{2eV}} . \quad (9.42)$$

Trong đó, l : độ dài từ buồng ion hóa đến collector ion.

m : khối lượng của ion.

V : thế gia tốc ion.

Như vậy, ion đập lên collector ion dưới dạng từng nhóm riêng biệt tương ứng với $\frac{m}{e}$. Đầu tiên nhóm ion nhẹ đến trước rồi đến ion nặng hơn. Do đó, cứ mỗi xung trong nguồn ion thì trên màn dao động ký xuất hiện một phổ khối lượng. Đo giá trị của dòng ion của từng nhóm ta biết được áp suất riêng phần của khí.

Khả năng phân giải của Cronotron :

$$\rho = \frac{m}{\Delta m} = \frac{t}{2\Delta t} . \quad (9.43)$$

Trong đó, Δm : chênh lệch khối lượng của hai ion có khối lượng gần nhau nhất mà khối phổ kế vẫn nhận biết được.

Δt : chênh lệch thời gian tới collector ion của hai ion nói trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Khang Cường, *Bài giảng Vật lý Kỹ thuật*, 1977, trường Đại học Tổng hợp Hà Nội.
2. Lê Xuân Thế, *Bài giảng Vật lý Kỹ thuật*, 1990.
3. *Giáo trình Cảm biến*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 1999. Nguyễn Quốc Phô – Nguyễn Đức Chiến.
4. *Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý*.
5. GA. Vactrov, *Vacuum meter*, 1970.
6. DZ. Lek, *Đo áp suất trong hệ chân không*, 1969.
7. Ricardo Gutierrez-Osuna, *Intelligent Sensor Systems Lecture Notes*, Wright State University,
<http://research.cs.tamu.edu/prism/lectures/iss/iss-11.pdf>.
8. S. P. Woods, K. Lee and J. Bryzek, 1997, "An Overview of the IEEE-P1451.2 Smart Transducer Interface Module" in *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 14(3), pp. 165–177.
9. W. Travis, 1995, "Smart-sensor standards will ease networking woes" *EDN Magazine*, June 22, 1995.
<http://www.ednmag.com/reg/1995/062295/13df1.htm>
10. R. N. Johnson and S. Woods, 1998, "Overview and status update for IEEE 1451.2", *Sensors Expo 1998*, Chicago, IL.
<http://www.smartsensor.com/doc/dot2-vg.pdf>
11. J. G. Webster (Ed.), 1999, *The measurement, instrumentation and sensors handbook*, CRC/IEEE Press.
12. Thomas W. Kenny, *Introduction of sensors Lecture Notes*, Stanford University, <http://design.stanford.edu/Courses/me220/lectures>.
13. Lili Zheng, *Sensors and Instrumentation*, Stony Brook University,
<http://me.eng.sunysb.edu/~mec316/>.
14. E. O. Doebelin, *Measurement Systems. Application and Design*, 5th Edition, McGraw Hill, 2004.
15. *Instrumentation and Measurement*, Queen University, Fall 2003–Winter 2004 Teaching, <http://me.queensu.ca/people/mallory/>.

1318.05.

Trang

Chương I : NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

1.1 Đo lường các đại lượng không phải điện	5
1.2 Những khái niệm cơ bản và một số định nghĩa	6
1.3 Nguyên tắc truyền thông tin - Điều chế tín hiệu truyền đi	9
1.4 Những tính chất chung của biến tử đo	10
1.5 Phương pháp biến đổi đại lượng đo	18
1.6 Độ nhạy S - Phân loại cảm biến	19
1.7 Đánh giá đại lượng đo	30

Chương 2 : BIẾN TỬ ĐIÊN TRỞ - ĐIÊN CƠ

2.1 Biến tử tiếp xúc	38
2.2 Biến tử biến trở	39
2.3 Biến trở ứng lực	42

Chương 3 : BIẾN TỬ TÌNH DIÊN

3.1 Bộ biến tử điện dung	47
3.2 Biến tử áp điện	52
3.3 Biến tử Electret	56

Chương 4 : BIẾN TỬ ĐIÊN TỬ

4.1 Phân loại và nguyên tắc hoạt động	59
4.2 Các phép tính cơ bản của biến tử điện từ	61
4.3 Biến tử tự cảm	64
4.4 Biến tử biến áp	68
4.5 Biến tử cảm ứng	70
4.6 Biến tử từ giảo	72

Chương 5 : CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ (BIẾN TỬ ĐỘ NHIỆT ĐỘ)

5.1 Thang nhiệt độ	76
5.2 Biến từ nhiệt điện trở	78
5.3 Cặp nhiệt điện	82
5.4 Sơ đồ đo và phương pháp đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt điện	88
5.5 Đo nhiệt độ bằng diode và transistor	93
5.6 Vật liệu dùng làm nhiệt ngẫu (cặp nhiệt) và các sai số	95
5.7 Mạch tự động khống chế nhiệt độ	99

Chương 6 : BIẾN TỬ QUANG ĐIỆN

6.1 Ánh sáng và phép đo quang	101
6.2 Nguồn sáng	105
6.3 Tế bào Quang điện chân không và chứa khí - nhân quang điện	106
6.4 Tế bào quang dẫn (quang trở)	112
6.5 Photo-diode (hay diode quang điện)	121
6.6 Photo-transistor	130
6.7 Những ứng dụng của biến tử quang điện	32

Chương 7 : BIẾN TỬ ION HOÁ

7.1 Nguồn phóng xạ và các hệ thức cơ bản	135
7.2 Đầu đo bằng ion hoá chất khí	139

Chương 8 : BIẾN TỬ ĐIỆN HOÁ

8.1 Lý thuyết cơ sở của biến tử điện hoá	145
8.2 Biến tử điện thế	146
8.3 Cảm biến dòng điện	152
8.4 Cảm biến đo độ dẫn	156

Chương 9 : CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐỘ CHÂN KHÔNG

9.1 Định nghĩa về độ chân không	161
9.2 Khái niệm về các phương pháp đo chân không	162
9.3 Áp kế chất lỏng	163
9.4 Áp kế cặp nhiệt điện	167
9.5 Áp kế điện trở	170
9.6 Áp kế ion hoá	172
8.7 Áp kế Penning	178
9.8 Các phương pháp đo áp suất riêng phần	181
Tài liệu tham khảo	193
Mục lục	194

813-817
818-819

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

Biên tập nội dung :

NGUYỄN THỊ HỒNG VIỆT

Trình bày bìa :

NGUYỄN VĂN HÙNG

Sửa bản in :

NGUYỄN THỊ HỒNG VIỆT

Chế bản :

CAO LAN PHƯƠNG

VẬT LÝ KỸ THUẬT

Mã số : 7K628M5 - DAI

In 1.500 bản, khổ 16 x 24cm, tại Công ty Cổ phần in Bắc Giang.

Số in: 22. Số xuất bản: 167/14-05.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 4 năm 2005.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO

Địa chỉ : 25 Hàn Thuyên, Hà Nội



8 934980 541074



Giá: 19.500đ