

GIÁO TRÌNH

ĐO LƯỜNG NHIỆT

HOÀNG DƯƠNG HÙNG

2004

ĐO LƯỜNG NHIỆT

MỞ ĐẦU

CHƯƠNG 1 : NHỮNG KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG

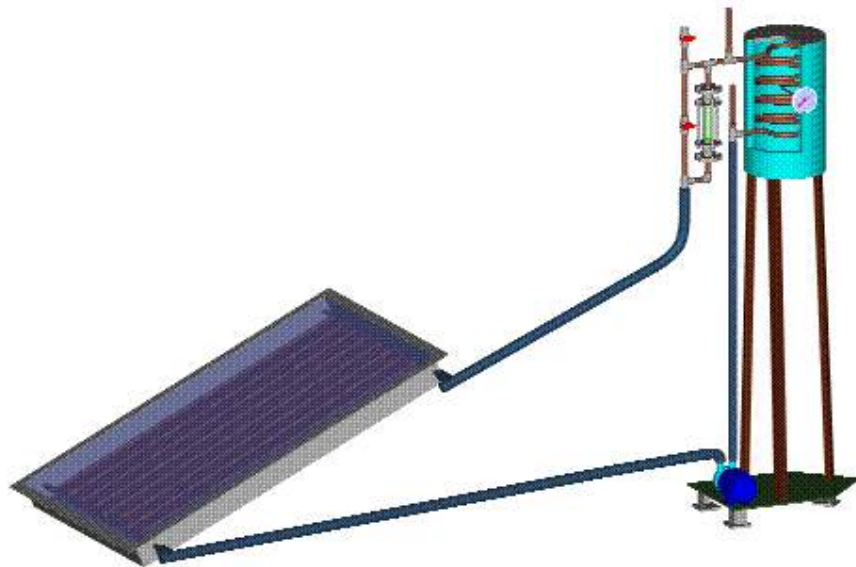
CHƯƠNG 2 : ĐO NHIỆT ĐỘ

CHƯƠNG 3 : ĐO ÁP SUẤT VÀ CHÂN KHÔNG

CHƯƠNG 4 : ĐO LƯU LƯỢNG MÔI CHẤT

CHƯƠNG 5 : ĐO MỨC CAO MÔI CHẤT

CHƯƠNG 6 : PHÂN TÍCH CHẤT THÀNH PHẦN TRONG HỖN HỢP



MỞ ĐẦU

Trong quá trình đấu tranh với thiên nhiên, con người cần phải nghiên cứu các qui luật của sự vật khách quan, vì vậy phải tìm hiểu quan hệ giữa lượng và chất của sự vật cho nên không thể tách rời khỏi đo lường.

Khoa học kỹ thuật bắt nguồn từ đo lường. Sự phát triển của khoa học, kỹ thuật liên quan chặt chẽ với sự không ngừng hoàn thiện của kỹ thuật đo lường. Không có đo lường thì không thể có bất kỳ một khoa học tinh vi nào, một khoa học ứng dụng nào, một thí nghiệm nào ...

Kỹ thuật đo lường nhiệt có liên quan đến nhiều ngành kinh tế quốc dân, vì các tham số của quá trình nhiệt cũng là những tham số quan trọng trong rất nhiều quá trình sản xuất công nghiệp, nông nghiệp... Đo lường nhiệt là quá trình đo các thông số trạng thái của môi chất của các quá trình xảy ra trong thiết bị nhiệt. Ví dụ như đo nhiệt độ t , đo áp suất p , đo lưu lượng Q , ...

Thiết bị nhiệt ngày càng phát triển với các tham số cao, dung lượng lớn, do đó cần phải có các dụng cụ và phương pháp đo lường thích hợp. Mặt khác muốn tự động hóa quá trình sản xuất nhiệt thì trước hết phải đảm bảo tốt khâu đo lường nhiệt. Do đó là cán bộ kỹ thuật nhiệt không những chỉ nắm rõ quá trình sản xuất của các thiết bị nhiệt mà còn phải thành thạo cả việc lựa chọn và sử dụng các loại dụng cụ cùng với các phương pháp đo khác nhau, có khả năng xác định các sai số đo lường, biết đoán nhận các nguyên nhân gây sai số và biết cách khử mất các nguyên nhân gây sai số đó ./.

CHƯƠNG 1 : NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG

1.1. ĐO LƯỜNG VÀ DỤNG CỤ ĐO LƯỜNG

1.1.1. Định nghĩa

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng một đại lượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo. *Hoặc có thể định nghĩa rằng đo lường là hành động cụ thể thực hiện bằng công cụ đo lường để tìm trị số của một đại lượng chưa biết biểu thị bằng đơn vị đo lường.* Trong một số trường hợp đo lường như là quá trình so sánh đại lượng cần đo với đại lượng chuẩn và số ta nhận được gọi là kết quả đo lường hay đại lượng bị đo .

Kết quả đo lường là giá trị bằng số của đại lượng cần đo A_x nó bằng tỷ số của đại lượng cần đo X và đơn vị đo X_0 .

$$\Rightarrow A_x = \frac{X}{X_0} \Rightarrow X = A_x \cdot X_0$$

Ví dụ : ta đo được $U = 50 \text{ V}$ ta có thể xem kết quả đó là $U = 50 \text{ u}$

50 - là kết quả đo lường của đại lượng bị đo

u - là lượng đơn vị

Mục đích đo lường là lượng chưa biết mà ta cần xác định.

Đối tượng đo lường là lượng trực tiếp bị đo dùng để tính toán tìm lượng chưa biết .

Tùy trường hợp mà mục đích đo lường và đối tượng đo lường có thể thống nhất lẫn nhau hoặc tách rời nhau.

Ví dụ : $S = ab$ mục đích là m^2 còn đối tượng là m .

1.1.2. Phân loại

Thông thường người ta dựa theo cách nhận được kết quả đo lường để phân loại, do đó ta có 3 loại đó là *đo trực tiếp*, *đo gián tiếp* và *đo tổng hợp* và ngoài ra còn có 1 loại nữa là *đo thống kê*.

Đo trực tiếp: Là ta đem lượng cần đo so sánh với lượng đơn vị bằng dụng cụ đo hay đồng hồ chia độ theo đơn vị đo. Mục đích đo lường và đối tượng đo lường thống nhất với nhau. Đo trực tiếp có thể rất đơn giản nhưng có khi cũng rất phức tạp, thông thường ít khi gặp phép đo hoàn toàn trực tiếp. Ta có thể chia đo lường trực tiếp thành nhiều loại như :

- *Phép đo trực tiếp:* Ví dụ đo chiều dài bằng m , đo dòng điện bằng Ampemét, đo điện áp bằng Vônmet, đo nhiệt độ bằng nhiệt kế, đo áp suất...

- *Phép chỉ không (hay phép bù)*. Loại này có độ chính xác khá cao và phải dùng ngoại lực để tiến hành đo lường. Nguyên tắc đo của phép bù là đem lượng chưa biết cân bằng với lượng đo đã biết trước và khi có cân bằng thì đồng hồ chỉ không.

Ví dụ : cân, đo điện áp

- *Phép trùng hợp* : Theo nguyên tắc của thước cặp để xác định lượng chưa biết.

- *Phép thay thế* : Nguyên tắc là lần lượt thay đại lượng cần đo bằng đại lượng đã biết.

Ví dụ : Tìm giá trị điện trở chưa biết nhờ thay điện trở đó bằng một hộp điện trở và giữ nguyên dòng điện và điện áp trong mạch.

- *Phép cầu sai* : thay đại lượng không biết bằng cách đo đại lượng gần nó rồi suy ra. Thường dùng hiệu chỉnh các dụng cụ đo độ dài.

Đo gián tiếp: Lượng cần đo được xác định bằng tính toán theo quan hệ hàm đã biết đối với các lượng bị đo trực tiếp có liên quan.

- Đại lượng cần đo là hàm số của lượng đo trực tiếp $Y = f(x_1, \dots, x_n)$

Ví dụ : Đo diện tích , công suất.

Trong phép đo gián tiếp mục đích và đối tượng không thống nhất, lượng chưa biết và lượng bị đo không cùng loại. Loại này được dùng rất phổ biến vì trong rất nhiều trường hợp nếu dùng cách đo trực tiếp thì quá phức tạp. Đo gián tiếp thường mắc sai số và là tổng hợp của sai số trong phép đo trực tiếp.

Đo tổng hợp: Là tiến hành đo nhiều lần ở các điều kiện khác nhau để xác định được một hệ phương trình biểu thị quan hệ giữa các đại lượng chưa biết và các đại lượng bị đo trực tiếp, từ đó tìm ra các lượng chưa biết.

Ví dụ : Đã biết qui luật dẫn nở dài do ảnh hưởng của nhiệt độ là :

$L = L_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$. Vậy muốn tìm các hệ số α , β và chiều dài của vật ở nhiệt độ 0°C là L_0 thì ta có thể đo trực tiếp chiều dài ở nhiệt độ t là L_t , tiến hành đo 3 lần ở các nhiệt độ khác nhau ta có hệ 3 phương trình và từ đó ta xác định được các lượng chưa biết bằng tính toán.

Đo thống kê : Để đảm bảo độ chính xác của phép đo nhiều khi người ta phải sử dụng phương pháp đo thống kê, tức là ta phải đo nhiều lần sau đó lấy giá trị trung bình.

Cách đo này đặc biệt hữu hiệu khi tín hiệu đo là ngẫu nhiên hoặc khi kiểm tra độ chính xác của một dụng cụ đo.

1.1.3. Dụng cụ đo lường

Dụng cụ để tiến hành đo lường bao gồm rất nhiều loại khác nhau về cấu tạo, nguyên lý làm việc, công dụng ... Xét riêng về mặt thực hiện phép đo thì có thể chia dụng cụ đo lường thành 2 loại, đó là: *vật đo* và *đồng hồ đo*.

Vật đo là biểu hiện cụ thể của đơn vị đo, ví dụ như quả cân, mét, điện trở tiêu chuẩn...

Đồng hồ đo: Là những dụng cụ có thể đủ để tiến hành đo lường hoặc kèm với vật đo. Có nhiều loại đồng hồ đo khác nhau về cấu tạo, nguyên lý làm việc... nhưng xét về tác dụng của các bộ phận trong đồng hồ thì bất kỳ đồng hồ nào cũng gồm bởi 3 bộ phận là bộ phận nhạy cảm, bộ phận chỉ thị và bộ phận chuyển đổi trung gian.

- *Bộ phận nhạy cảm* : (đồng hồ sơ cấp hay đầu đo) tiếp xúc trực tiếp hay gián tiếp với đối tượng cần đo. Trong trường hợp bộ phận nhạy cảm đứng riêng biệt và trực tiếp tiếp xúc với đối tượng cần đo thì được gọi là đồng hồ sơ cấp.

- *Bộ phận chuyển đổi* : Làm chuyển tính hiệu do bộ phận nhạy cảm phát ra đưa về đồng hồ thứ cấp, bộ phận này có thể chuyển đổi toàn bộ hay một phần, giữ nguyên hay thay đổi hoặc khuếch đại.

- *Bộ phận chỉ thị đồng hồ* : (Đồng hồ thứ cấp) căn cứ vào tín hiệu của bộ phận nhạy cảm chỉ cho người đo biết kết quả.

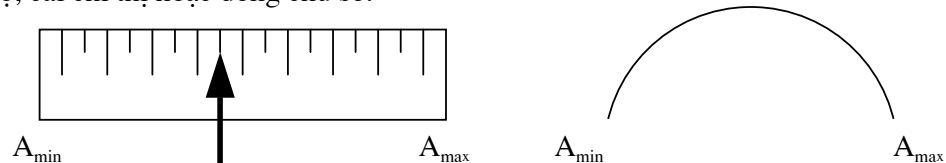
Các loại đồng hồ đo:

Phân loại theo cách nhận được lượng bị đo từ đồng hồ thứ cấp

+ *Đồng hồ so sánh*: Làm nhiệm vụ so sánh lượng bị đo với vật đo. Lượng bị đo được tính theo vật đo.

Ví dụ : cái cân, điện thế kế...

+ *Đồng hồ chỉ thị*: Cho biết trị số tức thời của lượng bị đo nhờ thang chia độ, cái chỉ thị hoặc dòng chữ số.



- Giới hạn đo dưới $A_{\min}$ & Giới hạn đo trên $A_{\max}$

- Khoảng cách giữa hai vạch gần nhất gọi là một độ chia.

Thước chia độ có thể 1 phía, 2 phía, chứa hoặc không chứa điểm 0.

- Giá trị của độ chia: là trị số biến đổi của lượng bị đo làm cho kim di chuyển 1 độ chia, độ chia có thể đều hay không đều tùy giá trị mỗi độ chia bằng nhau hay khác nhau. Có thể đọc trực tiếp hay phải nhân thêm các hệ số nào đó.

- Khoảng đo là khoảng chia của thang từ giới hạn dưới đến giới hạn trên.

+ *Đồng hồ tự ghi*: là đồng hồ có thể tự ghi lại giá trị tức thời của đại lượng đo trên giấy dưới dạng đường cong $f(t)$ phụ thuộc vào thời gian. Đồng hồ tự ghi có thể ghi liên tục hay gián đoạn, độ chính xác kém hơn đồng hồ chỉ thị.

Loại này trên một băng có thể có nhiều chỉ số

+ *Đồng hồ tích phân*: là loại đồng hồ ghi lại tổng số vật chất chuyển qua trong một số thời gian nào đó như đồng hồ đo lưu lượng.

+ *Đồng hồ kiểu tín hiệu*: loại này bộ phận chỉ thị phát ra tín hiệu (ánh sáng hay âm thanh) khi đại lượng đo đạt đến giá trị nào đó 1 đồng hồ có thể có nhiều bộ phận chỉ thị.

Phân loại theo các tham số cần đo:

- + *Đồng hồ đo áp suất* : áp kế - chân không kế
- + *Đồng hồ đo lưu lượng* : lưu lượng kế
- + *Đồng hồ đo nhiệt độ* : nhiệt kế, hỏa kế
- + *Đồng hồ đo mức cao* : đo mức của nhiên liệu, nước.
- + *Đồng hồ đo thành phần vật chất* : bộ phân tích



1.2. CÁC THAM SỐ CỦA ĐỒNG HỒ

Trong thực tế giá trị đo lường nhận được từ đồng hồ khác với giá trị thực của lượng bị đo. Giá trị thực không biết được và người ta thay giá trị thực này bằng giá trị thực nghiệm, giá trị này phụ thuộc phẩm chất đồng hồ đo hay nói cách khác là các tham số của đồng hồ. Chúng ta chỉ xét đến những tham số chủ yếu có liên quan đến độ chính xác của số đo do đồng hồ cho biết, đó là : Sai số và cấp chính xác, biến sai, độ nhạy và hạn không nhạy.

1.2.1. Sai số và cấp chính xác

Trên thực tế không thể có một đồng hồ đo lý tưởng cho số đo đúng trị số thật của tham số cần đo. Đó là do vì nguyên tắc đo lường và kết cấu của đồng hồ không thể tuyệt đối hoàn thiện.

Gọi giá trị đo được là : A_d

Còn giá trị thực là : A_t

- Sai số tuyệt đối : là độ sai lệch thực tế

$$\gamma = A_d - A_t$$

- Sai số tương đối : $\gamma_o = \frac{\gamma}{A_t} \cdot 100\%$

Trong thực tế ta tính : $\gamma_o = \frac{\gamma}{A_d} \cdot 100\%$

- Sai số qui dẫn: là tỉ số giữa s.số tuyệt đối đối với khoảng đo của đồng hồ (%)

$$\delta_{qd} = \frac{\gamma}{A_{\max} - A_{\min}} \cdot 100\%$$

- Cấp chính xác : là sai số quy dẫn lớn nhất trong khoảng đo của đồng hồ

$$CCX = \delta_{qd}^{\max} = \left(\frac{\gamma_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} \right) \cdot 100 \%$$

Dãy cấp chính xác 0.1 ; 0.2 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2.5 ; 4.

Tiêu chuẩn để đánh giá độ chính xác của dụng cụ đo là CCX

Các dụng cụ đo có CCX = 0.1 hay 0.2 gọi là dụng cụ chuẩn. Còn dùng trong phòng thí nghiệm thường là loại có CCX = 0.5 , 1. Các loại khác được dùng trong công nghiệp. Khi nói dụng cụ đo có cấp chính xác là 1,5 tức là

$$S_{qd} = 1,5\%$$

Các loại sai số định tính: Trong khi sử dụng đồng hồ người ta thường để ý đến các loại sai số sau

- *Sai số cho phép:* là sai số lớn nhất cho phép đối với bất kỳ vạch chia nào của đồng hồ (với quy định đồng hồ vạch đúng t/c kỹ thuật) để giữ đúng cấp chính xác của đồng hồ.

- *Sai số cơ bản:* là sai số lớn nhất của bản thân đồng hồ khi đồng hồ làm việc bình thường, loại này do cấu tạo của đồng hồ.

- *Sai số phụ:* do điều kiện khách quan gây nên.

Trong các công thức tính sai số ta dựa vào sai số cơ bản còn sai số phụ thì không tính đến trong các phép đo.

1.2.2. Biến sai

Là độ sai lệch lớn nhất giữa các sai số khi đo nhiều lần 1 tham số cần đo ở cùng 1 điều kiện đo lường : $|A_{dm} - A_{nd}|_{\max}$

Chú ý : Biến sai số chỉ của đồng hồ không được lớn hơn sai số cho phép của đồng hồ .

1.2.3. Độ nhạy

$$S = \frac{\Delta X}{\Delta A}$$

ΔX : độ chuyển động của kim chỉ thị (m ; độ ...)

ΔA : độ thay đổi của giá trị bị đo.

Ví dụ : $S = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$

- Ta có thể tăng độ nhạy bằng cách tăng hệ số khuếch đại (trong lúc này không được tăng sai số cơ bản của đồng hồ)

- Giá trị chia độ bằng $1/s = C$ hay còn gọi là hằng số của dụng cụ đo

Giá trị của mỗi độ chia không được nhỏ hơn trị tuyệt đối của sai số cho phép của đồng hồ.

1.2.4. Hạn không nhạy

Là mức độ biến đổi nhỏ nhất của tham số cần đo để cái chỉ thị bắt đầu làm việc.

Chỉ số của hạn không nhạy nhỏ hơn $1/2$ sai số cơ bản.

* Trong thực tế ta không dùng dụng cụ có độ nhạy cao vì làm kim dao động dẫn đến hỏng dụng cụ.

1.2.5. Kiểm định đồng hồ

Xác định chất lượng làm việc của đồng hồ bằng cách so sánh với đồng hồ chuẩn để đánh giá mức độ làm việc.

Nội dung: Xét sai số cho phép : sai số cơ bản, biến sai, độ nhạy và hạn không nhạy của đồng hồ.

- Đối với đồng hồ dùng trong công nghiệp CCX 2.5 ... thì kiểm định $3 \div 5$ vạch chia độ trong đó có Amin & Amax.

- Đồng hồ dùng trong phòng thí nghiệm : kiểm định $10 \div 15$ vạch và sau khi kiểm tra dùng bảng bố chính. Thông thường dùng đồng hồ có CCX là 0.1 ; 0.2 để kiểm định các đồng hồ cấp chính xác lớn hơn 0.5 .. 1.

Các đồng hồ chuẩn cấp 1 có CCX < 0.1 thì kiểm định bằng phương pháp đặc biệt và dùng đồng hồ chuẩn gốc.

Đồng hồ chuẩn cấp 2 (CCX 0.1; 0.2) thì dùng đồng hồ chuẩn cấp 1 để kiểm định.

1.3. SAI SỐ ĐO LƯỜNG

Trong khi tiến hành đo lường, trị số mà người xem, đo nhận được không bao giờ hoàn toàn đúng với trị số thật của tham số cần đo, sai lệch giữa hai trị số đó gọi là sai số đo lường. Dù tiến hành đo lường hết sức cẩn thận và dùng các công cụ đo lường cực kỳ tinh vi ... cũng không thể làm mất được sai số đo

lượng, vì trên thực tế không thể có công cụ đo lường tuyệt đối hoàn thiện, người xem đo tuyệt đối không mắc thiếu sót và điều kiện đo lường tuyệt đối không thay đổi ...

Trị số đo lường chỉ là trị số gần đúng của tham số cần đo, nó chỉ có thể biểu thị bởi một số có hạn chữ số đáng tin cậy tùy theo mức độ chính xác của việc đo lường. Không thể làm mất được sai số đo lường và cũng không nên tìm cách giảm nhỏ nó tới quá mức độ có thể cho phép thực hiện vì như vậy rất tốn kém. Do đó người ta thừa nhận tồn tại sai số đo lường và tìm cách hạn chế sai số đó trong một phạm vi cần thiết rồi dùng tính toán để đánh giá sai số mắc phải và đánh giá kết quả đo lường.

Người làm công tác đo lường, thí nghiệm, cần phải đi sâu tìm hiểu các dạng sai số, nguyên nhân gây sai số để tìm cách khắc phục và biết cách làm mất ảnh hưởng của sai số đối với kết quả đo lường.

1.3.1. Các loại sai số

Tùy theo nguyên nhân gây sai số trong quá trình đo lường mà người ta chia sai số thành 3 loại sai số sau: - Sai số nhầm lẫn - Sai số hệ thống - và sai số ngẫu nhiên .

1- Sai số nhầm lẫn: Trong quá trình đo lường, những sai số do người xem đo đọc sai, ghi chép sai, thao tác sai, tính sai, vô ý làm sai được gọi là sai số nhầm lẫn. Sai số đó làm cho số đo được khác hẳn với các số đo khác, như vậy sai số nhầm lẫn thường có trị số rất lớn và hoàn toàn không có quy luật hơn nữa không biết nó có xuất hiện hay không, vì vậy nên rất khó định ra một tiêu chuẩn để tìm ra và loại bỏ những số đo có mắc sai số nhầm lẫn. Cách tốt nhất là tiến hành đo lường một cách cẩn thận để tránh mắc phải sai số nhầm lẫn. Trong thực tế cũng có khi người ta xem số đo có mắc sai số nhầm lẫn là số đo có sai số lớn hơn 3 lần sai số trung bình mắc phải khi đo nhiều lần tham số cần đo.

2- Sai số hệ thống: Sai số hệ thống thường xuất hiện do cách sử dụng đồng hồ đo không hợp lý, do bản thân đồng hồ đo có khuyết điểm, hay điều kiện đo lường biến đổi không thích hợp và đặc biệt là khi không hiểu biết kỹ lưỡng tính chất của đối tượng đo lường... Trị số của sai số hệ thống thường cố định hoặc là biến đổi theo quy luật vì nói chung những nguyên nhân tạo nên nó cũng là những nguyên nhân cố định hoặc biến đổi theo quy luật. Vì vậy mà chúng ta có thể làm mất sai số hệ thống trong số đo bằng cách tìm các trị số bổ chính hoặc là sắp xếp đo lường một cách thích đáng.

Nếu xếp theo nguyên nhân thì chúng ta có thể chia sai số hệ thống thành các loại sau :

a- Sai số công cụ : là do thiếu sót của công cụ đo lường gây nên.

Ví dụ : - Chia độ sai - Kim không nằm đúng vị trí ban đầu - tay đòn của cân không bằng nhau...

b- Sai số do sử dụng đồng hồ không đúng quy định : Ví dụ : - Đặt đồng hồ ở nơi có ảnh hưởng của nhiệt độ, của từ trường, vị trí đồng hồ không đặt đúng quy định...

c- Sai số do chủ quan của người xem đo. Ví dụ : Đọc số sớm hay muộn hơn thực tế, ngắm đọc vạch chia theo đường xiên...

d- Sai số do phương pháp : Do chọn phương pháp đo chưa hợp lý, không nắm vững phương pháp đo ...

Nếu xét về mặt trị số thì có thể chia sai số hệ thống thành 2 loại.

e- Sai số hệ thống cố định : Sai số này có trị số và dấu không đổi trong suốt quá trình đo lường. Ví dụ sai số do trọng lượng của quả cân...

f- Sai số hệ thống biến đổi : Trị số của sai số biến đổi theo chu kỳ, tăng hoặc giảm theo quy luật (số mũ hay cấp số ...). Ví dụ : Điện áp của pin bị yếu dần trong quá trình đo lường, sai số khi đo độ dài bằng một thước đo có độ dài không đúng....

Vậy để hạn chế sai số hệ thống thì đồng hồ phải được thiết kế và chế tạo thật tốt, người đo phải biết sử dụng thành thạo dụng cụ đo, phải biết lựa chọn phương pháp đo một cách hợp lý nhất và tìm mọi cách giữ cho điều kiện đo lường không thay đổi.

3- Sai số ngẫu nhiên : Trong quá trình đo lường, những sai số mà không thể tránh khỏi gây bởi sự không chính xác tất yếu do các nhân tố hoàn toàn ngẫu nhiên được gọi là sai số ngẫu nhiên. Sự xuất hiện mỗi sai số ngẫu nhiên riêng biệt không có quy luật . Nguyên nhân gây sai số ngẫu nhiên là do những biến đổi rất nhỏ thuộc rất nhiều mặt không có liên quan với nhau xảy ra trong khi đo lường, mà ta không có cách nào tính trước được. Vì vậy chỉ có thể thừa nhận sự tồn tại của sai số ngẫu nhiên và tìm cách tính toán trị số của nó chứ không thể tìm kiếm và khử các nguyên nhân gây ra nó. Loại sai số này có tính tương đối và giữa chúng không có ranh giới.

Mỗi sai số ngẫu nhiên xuất hiện không theo quy luật không thể biết trước và không thể khống chế được, nhưng khi tiến hành đo lường rất nhiều lần thì tập

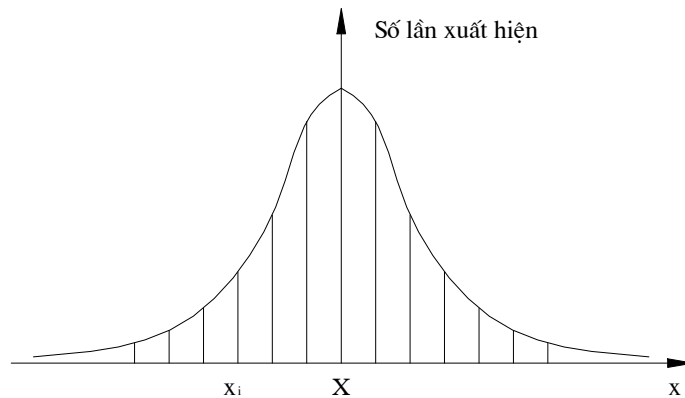
hợp rất nhiều sai số ngẫu nhiên của các lần đo đó sẽ tuân theo quy luật thống kê.

1.3.2. Tính sai số ngẫu nhiên trong phép đo trực tiếp

a- Quy luật phân bố số đo và sai số ngẫu nhiên:

Đo liên tục và trực tiếp một tham số cần đo ở điều kiện đo lường không đổi ta được một dãy số đo $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ và giả thiết lúc đo rất cẩn thận (không có sai số nhầm lẫn và sai số hệ thống). Gọi X là trị số thật của tham số cần đo. Ta không thể biết được một cách tuyệt đối đúng trị số của X vì trong bất kỳ số đo x_i nào cũng có sai số ngẫu nhiên. Song có thể biết trị số gần đúng đến một chừng mực nào đó của X tùy theo chất lượng của việc đo lường. Dùng trị số gần đúng thay cho X thì sẽ mắc sai số, ta không biết được cụ thể sai số đó là bao nhiêu nhưng có thể biết được là trị số sai số chỉ trong một khoảng giới hạn nào đó với một đảm bảo nhất định nhờ cách tính toán sai số ngẫu nhiên.

Trong phép đo trên, nếu ta càng đo nhiều lần hơn để được số lần đo n thật lớn thì ta thấy rằng (như hình vẽ)



Đường cong phân bố các số đo

- Các số đo x_i đều phân bố một cách đối xứng với một trị số X .
- Các số đo x_i có trị số càng gần X càng nhiều,
- Các số đo x_i càng khác xa X càng ít và các số đo x_i khác X rất lớn thực tế hầu như không có.

Theo đường cong phân bố các số đo ta thấy X là trị số tiêu biểu nhất trong dãy số đo x_i vì các lần thu được các số đo có trị số bằng X là lớn nhất và xem X là trị số thực của tham số cần đo.

Nếu gọi δ_i là sai số ngẫu nhiên của số đo x_i thì ta có $\delta_i = x_i - X$.

Gọi y là cơ hội xuất hiện sai số ngẫu nhiên có trị số là δ thì ta có đường cong phân bố của sai số ngẫu nhiên như hình vẽ (*đường phân bố Gauss*).

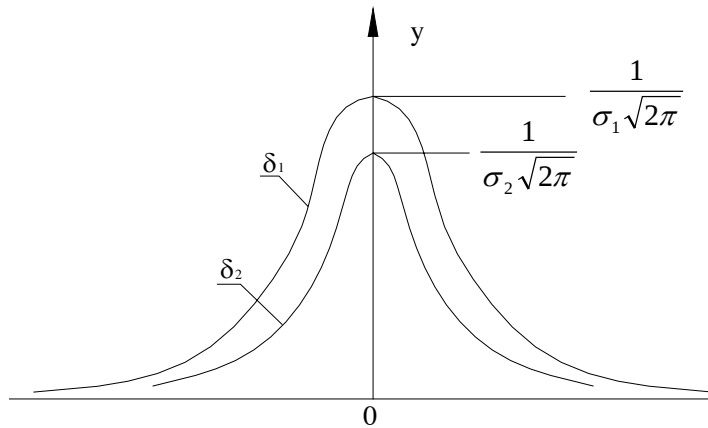
$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-\delta^2}{2\sigma^2}}$$

Trong đó : e - là cơ số logarit

δ - là sai số ngẫu nhiên

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i^2)}{n}} \quad \text{- là sai số trung bình bình phương của sai số}$$

n - là số lần đo



Từ rất nhiều thử nghiệm tương tự mang tính chất ngẫu nhiên người ta cũng được kết quả tương tự như trên, chúng hoàn toàn phù hợp với các tiên đề của lý thuyết xác suất dùng làm cơ sở lý luận để tính toán sai số ngẫu nhiên.

+ *Tiên đề về tính ngẫu nhiên* : Khi tiến hành một phép đo với số lần n rất lớn thì cơ hội xuất hiện sai số ngẫu nhiên có trị số đối nhau là như nhau.

+ *Tiên đề về tính phân bố* : Khi tiến hành một phép đo với số lần n rất lớn thì cơ hội xuất hiện sai số ngẫu nhiên có trị số tuyệt đối nhỏ nhiều hơn là cơ hội xuất hiện sai số ngẫu nhiên có trị số tuyệt đối lớn. Cơ hội xuất hiện sai số ngẫu nhiên có trị số tuyệt đối quá lớn là rất hiếm hoặc bằng không.

Vậy trong khi đo lường phép đo nào mà sai số không phù hợp với 2 tiên đề trên thì chắc chắn là sai số trong phép đo đó không chỉ hoàn toàn do nguyên nhân

ngẫu nhiên gây ra mà còn chịu ảnh hưởng của sai số hệ thống và sai số nhầm lẫn.

b- Sai số của dãy số đo:

Với hàm phân bố chuẩn của sai số ngẫu nhiên $y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-\delta^2}{2\sigma^2}}$

Nếu σ càng nhỏ thì sai số nhỏ càng dễ xuất hiện, tức là độ chính xác của phép đo càng lớn. Vậy với số lần đo n rất lớn ($n \rightarrow \infty$) thì

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i^2)}{n}} \quad (\text{với } \delta_i = x_i - X) \text{ là sai số trung bình bình phương và đặc}$$

trung cho độ chính xác của dãy số đo.

Trong thực tế n là hữu hạn nên ta không thể tìm được X mà ta lấy giá trị trung

bình toán của các số đo $L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ thay cho X và lúc này ta có sai số dư

$U = X_i - L$ và ta tính gần đúng sai số trung bình bình phương của dãy số đo được là :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i^2)}{n}} \quad (\text{với } n \text{ là hữu hạn}) \text{ nó đặc trưng cho độ chính xác của dãy số}$$

đo.

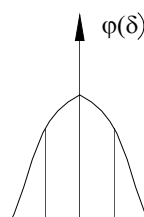
Ngoài sai số σ người ta còn dùng sai số ngẫu nhiên ρ , sai số trung bình toán θ và sai số giới hạn δ_{lim} những sai số đó đều thuộc loại sai số ngẫu nhiên của dãy số đo thu được. Định nghĩa của các sai số đó như sau:

+ Nếu $P(-\rho, +\rho) = 1/2$ thì ρ gọi là sai số ngẫu nhiên của dãy số biến đổi và tra bảng tích phân xác suất ta được $\rho = 2/3 \sigma$.

+ $\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\delta_i|$ biến đổi và tính toán ta được $\theta = 4/5 \sigma$. Tra ngược lại bảng ta

có $P(-\theta, +\theta) = 58\%$.

+ Sai số giới hạn δ_{lim} là sai số có trị số đủ lớn sao cho trong thực tế hầu như không có sai số ngẫu nhiên nào trong phép đo có trị số lớn hơn δ_{lim} . Người ta thường dùng $\delta_{\text{lim}} = 3\sigma$ lúc này $P(-\delta_{\text{lim}}, +\delta_{\text{lim}}) = 99,7\%$. Có khi ta dùng $\delta_{\text{lim}} = 2\sigma$.



$$-\delta_{\text{lim}} \quad -\sigma \quad -\theta \quad -\rho \quad 0 \quad \rho \quad \theta \quad \sigma \quad \delta_{\text{lim}}$$

c- Sai số của kết quả đo lường:

Theo trên từ $L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \Rightarrow nL = \sum_{i=1}^n x_i$ do đó ta có

$$\sum_{i=1}^n \delta_i = \sum_{i=1}^n (x_i - X) = nL - nX \Rightarrow L - X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad . \quad L \text{ là trị số dùng}$$

làm kết quả đo lường nên cũng gọi $\lambda = L - X$ là sai số ngẫu nhiên của kết quả

đo lường. Vậy $\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i$ vì các δ_i có trị số trái dấu nên $\sum_{i=1}^n \delta_i$ có thể rất nhỏ

mặc dầu dãy số đo được không có độ chính xác cao. Muốn đánh giá được mức độ chính xác của dãy số đo được thì tiêu chuẩn đánh giá cần phải ảnh hưởng được mức độ lớn nhỏ của δ_i . Vì vậy người ta chọn tiêu chuẩn so sánh là $S =$

$$\sqrt{\lambda^2} \text{ biến đổi và tính ra được } S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ và gọi } S \text{ là sai số trung bình bình}$$

phương của kết quả đo lường. Ngoài S để đánh giá độ chính xác của kết quả đo lường người ta còn có thể dùng một trong các loại sai số sau :

$$R = \frac{\rho}{\sqrt{n}} \text{ - Sai số ngẫu nhiên của kết quả đo lường. } \Rightarrow X = L \pm R$$

$$T = \frac{\theta}{\sqrt{n}} \text{ - Sai số trung bình toán của kết quả đo lường. } \Rightarrow X = L \pm T$$

$$\lambda_{\text{lim}} = 3S \text{ - Sai số giới hạn của kết quả đo lường. } \Rightarrow X = L \pm \lambda_{\text{lim}}$$

Chú ý:

- Bản thân các sai số S, R, T cũng có sai số nên trong các phép đo tính vi nhất (phép đo mà $\rho/L < 0,1\%$) thì chúng ta cần phải xét đến. Sai số của S, R, T cũng gồm 3 loại như trên tức là ứng với R thì có r_R, s_R, t_R .

Lúc này ta có thể viết $X = L \pm (R \pm r_R)$. Tương tự cũng với S và T.

- Trong trường hợp phép đo không thể thực hiện được với điều kiện đo lường như nhau thì độ chính xác của mỗi số đo không như nhau, vì vậy cần xét đến mức độ tin cậy của các số đo thu được. Số dùng biểu thị mức độ tin cậy đó gọi là trọng độ p, và ta dùng trị trung bình cộng trọng độ.

$$L_o = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad \text{và} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i^2) p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}} \quad \text{với } v_i = x_i - L_o.$$

1.3.3. Tính sai số ngẫu nhiên trong phép đo gián tiếp

Theo định nghĩa của phép đo gián tiếp ta có :

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Vì các tham số $x_1, x_2, \dots, x_n$ được xác định bằng phép đo trực tiếp nên ta sẽ thu được $x_i = L_i \pm \xi_i$

ξ_i - là sai số tuyệt đối. Từ các trị số đã thu được ta có thể tính toán (lấy vi phân rồi bình phương 2 vế và bỏ qua bậc cao) để xác định được y là lượng chưa biết của phép đo gián tiếp và viết được : $y_i = L_y \pm \xi_y$ Với

$$\xi_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \xi_i^2} \quad ; \quad L_y = f(L_1, L_2, \dots, L_m)$$

Như vậy ta dùng đạo hàm riêng và các sai số ξ_i của các dãy số đo mà ta tính được ξ_y của dãy số đo tương ứng của tham số đo gián tiếp.

Biết được ξ_y ta sẽ tính được các loại sai số khác theo quan hệ giữa các sai số

mà ta đã biết trong phép đo trực tiếp. Ví dụ: $S_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{n}}$ ở đây n là số lần đo của

phép đo trực tiếp dùng đo các tham số x_i để xác định tham số đo gián tiếp y.

Một số trường hợp cụ thể thường gặp trong phép đo gián tiếp :

+ Trường hợp : $y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_m x_m$

Trong đó các tham số a_i là các hệ số cố định của các tham số đo trực tiếp $x_1, x_2, \dots, x_m$. áp dụng cách tính toán ta được công thức tính sai số tuyệt đối :

$$\xi_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2 \xi_i^2} \quad \text{và} \quad L_y = \sum_{i=1}^n a_i L_i$$

Sai số tương đối : $\xi_{oy} = \frac{\xi_y}{y}$ ta thường dùng $\xi_{oy} = \frac{\xi_y}{L_y}$

+ Trường hợp : $y = k x_1^{a_1} . x_2^{a_2} . \dots . x_m^{a_m}$. k - là hệ số cố định

còn các a_i là các hằng số. Ta có sai số tương đối :

$$\xi_{oy} = \sqrt{a_1^2 \xi_{01}^2 + a_2^2 \xi_{02}^2 + \dots + a_m^2 \xi_{0m}^2}.$$

$$L_y = k \cdot L_1^{a_1} \cdot L_2^{a_2} \cdot \dots \cdot L_m^{a_m} \quad \xi_{0i} = \frac{\xi_i}{x_i} \quad \text{và} \quad \xi_y = L_y \cdot \xi_{oy}$$

Một số ví dụ:

Ví dụ 1: Một hình vuông có cạnh là $5,00 \pm 0,05\text{m}$. Hãy tính sai số gây nên do các cạnh đối với diện tích hình vuông ?

Giải: a- Gọi cạnh hình vuông là x thì diện tích hình vuông sẽ là $y = x^2$

$$\text{Ta biết rằng} \quad \xi_{oy} = \sqrt{a_1^2 \cdot \xi_{ox}^2} = \sqrt{2^2 \left(\frac{0,05}{5,00} \right)^2} = 0,02$$

$$L_y = 5,00 \times 5,00 = 25,0000 \text{ m}^2 \rightarrow \xi_y = 0,02 \cdot 25 \text{ m}^2 = 0,5 \text{ m}^2$$

Vậy trị số đúng của y là $y = 25 \pm 0,5 \text{ m}^2$.

b- Ta cũng có thể tính sai số tuyệt đối trước rồi tìm sai số tương đối

$$\text{vì } y = x^2 \text{ nên theo định nghĩa } \xi_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \xi_x^2} \Rightarrow \xi_y = \frac{\partial y}{\partial x} \xi_x = 2x \cdot \xi_x$$

$$\Rightarrow \xi_y = 2 \times 5,00 \times 5,00 = 25 \text{ m}^2; \quad L_y = 5,00 \times 5,00 = 25 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \text{Vậy } y = 25 \pm 0,5 \text{ m}^2.$$

$$\text{Ta cũng được : } \xi_{oy} = \frac{0,5}{25} = 0,02 = 2\%$$

Ví dụ 2: Từ kết quả đo trực tiếp dòng điện $I = 7,130 \pm 0,018 \text{ Ampe}$,

$U = 218,7 \pm 0,4 \text{ volt}$, $t = 800,0 \pm 0,6 \text{ sec}$. Nếu xác định điện năng A

bằng phương pháp gián tiếp thì trị số của A là bao nhiêu ?

Giải: Ta biết rằng $A = U I t$. Với kết quả đo gián tiếp trên ta tính được kết quả đo gián tiếp A là :

$$L_A = 7,13 \times 218,7 \times 800 = 12474,65 \text{ jun. Sai số tương đối của kết quả đo}$$

gián tiếp là :

$$\xi_{oA} = \sqrt{\left(\frac{0,018}{7,13} \right)^2 + \left(\frac{0,4}{218,7} \right)^2 + \left(\frac{0,6}{800} \right)^2} = 0,0032.$$

Sai số tuyệt đối của kết quả đo là :

$$\xi_A = \xi_{oA} \cdot L_A = 0,0032 \times 12474,65 = 39,9 \text{ jun}$$

Vậy $A = 12470,00 \pm 39,9 \text{ jun}$.

Chú ý: Về mặt đo lường ta cần phân biệt rõ sự khác nhau của các biểu thức toán có giá trị như nhau về mặt toán nhưng viết khác nhau. Xét 2 ví dụ :

1- Với $y = x.x.x$, biến x được cho 3 lần riêng rẽ như nhau khi tìm thể tích khối lập phương có cạnh là x . Ta cũng có thể viết $y = x^3$, trường hợp này có nghĩa là chỉ đo 1 cạnh x và dùng phép đo gián tiếp để xác định y . Sai số của y trong 2 trường hợp trên rõ ràng là không giống nhau.

$$\text{cụ thể :} \quad y = x.x.x \quad \text{vậy} \quad \xi_{oy} = \sqrt{3} \xi_{ox}$$

$$\text{còn} \quad y = x^3 \quad \text{vậy} \quad \xi_{oy} = 3 \xi_{ox}$$

$$2- \text{ Với } y = 2x \text{ và } y = x + x \text{ có sai số là } \xi_y = 2 \xi_x \text{ và } \xi_y = \sqrt{2} \xi_x$$

Ta thấy rằng khi đo riêng lẻ thì sai số nhỏ hơn. Sở dĩ như vậy là vì khi đo riêng lẻ các sai số ngẫu nhiên của chúng bù trừ cho nhau.

CHƯƠNG 2 : ĐO NHIỆT ĐỘ

2.1. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Nhiệt độ là một tham số vật lý quan trọng, thường hay gặp trong kỹ thuật, công nghiệp, nông nghiệp và trong đời sống sinh hoạt hàng ngày. Nó là tham số có liên quan đến tính chất của rất nhiều vật chất, thể hiện hiệu suất của các máy nhiệt và là nhân tố trọng yếu ảnh hưởng đến sự truyền nhiệt. Vì lẽ đó mà trong các nhà máy, trong hệ thống nhiệt... đều phải dùng nhiều dụng cụ đo nhiệt độ khác nhau. Chất lượng và số lượng sản phẩm sản xuất được đều có liên quan tới nhiệt độ, nhiều trường hợp phải đo nhiệt độ để đảm bảo cho yêu cầu thiết bị và cho quá trình sản xuất. Hiện nay yêu cầu đo chính xác nhiệt độ từ xa cũng là một việc rất có ý nghĩa đối với sản xuất và nghiên cứu khoa học....

2.1.1. Khái niệm nhiệt độ

Từ lâu người ta đã biết rằng tính chất của vật chất có liên quan mật thiết tới mức độ nóng lạnh của vật chất đó. Nóng lạnh là thể hiện tình trạng giữ nhiệt của vật và mức độ nóng lạnh đó được gọi là nhiệt độ. Vậy nhiệt độ là đại lượng đặc trưng cho trạng thái nhiệt, theo thuyết động học phân tử thì động năng của vật

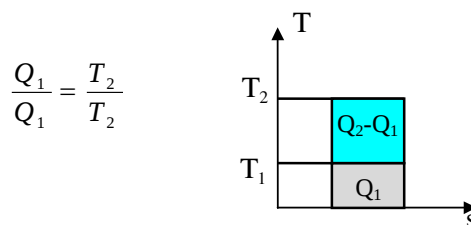
$$E = \frac{3}{2} KT.$$

Trong đó K- hằng số Bonltzman.

E - Động năng trung bình chuyển động thẳng của các phân tử

T - Nhiệt độ tuyệt đối của vật .

Theo định luật 2 nhiệt động học: Nhiệt lượng nhận vào hay tỏa ra của môi chất trong chu trình Cárnot tương ứng với nhiệt độ của môi chất và có quan hệ



Vậy khái niệm nhiệt độ không phụ thuộc vào bản chất mà chỉ phụ thuộc nhiệt lượng nhận vào hay tỏa ra của vật.

Muốn đo nhiệt độ thì phải tìm cách xác định đơn vị nhiệt độ để xây dựng thành thang đo nhiệt độ (có khi gọi là thước đo nhiệt độ, nhiệt giai). Dụng cụ dùng đo nhiệt độ gọi là **nhiệt kế**, nhiệt kế dùng đo nhiệt độ cao còn gọi là hỏa kế. Quá trình xây dựng thang đo nhiệt độ tương đối phức tạp. Từ năm 1597 khi

xuất hiện nhiệt kế đầu tiên đến nay thước đo nhiệt độ thường dùng trên quốc tế vẫn còn những thiếu sót đòi hỏi cần phải tiếp tục nghiên cứu thêm.

2.1.2. Đơn vị và thang đo nhiệt độ

1. Sơ lược về quá trình xây dựng thang đo nhiệt độ :

Quá trình thành lập thước đo nhiệt độ cũng là quá trình tìm một đơn vị đo nhiệt độ thống nhất và liên quan mật thiết tới việc chế tạo nhiệt kế.

1597 : Galilê dựa trên sự dẫn nở của nước và đã chế tạo ra nhiệt kế nước đầu tiên ; Với loại này chỉ cho chúng ta biết được vật này nóng (lạnh) hơn vật kia mà thôi. Tiếp đó nhiều người đã nghiên cứu chế tạo nhiệt kế dựa vào sự dẫn nở của các nguyên chất ở 1 pha. Thang đo nhiệt độ được quy định dựa vào nhiệt độ chênh lệch giữa 2 điểm khác nhau của một nguyên chất để làm đơn vị đo do NEWTON đề nghị đầu tiên, và cách quy định đo nhiệt độ này được dùng mãi cho đến nay.

1724 : Farenheit lập thang đo nhiệt độ với 3 điểm : 0 ; +32 và +96 , tương ứng với -17,8 °C ; 0 °C và 35,6 °C sau đó lấy thêm điểm +212 ứng với nhiệt độ sôi của nước ở áp suất khí quyển (100 °C) .

1731 : Reomua sử dụng rượu làm nhiệt kế. Ông lấy rượu có nồng độ thích hợp nhúng vào nước đá đang tan và lấy thể tích là 1000 đơn vị và khi đặt trong hơi nước đang sôi thì lấy thể tích là 1080 đơn vị, và xem quan hệ dẫn nở đó là đường thẳng để chia đều thước ứng với 0 °R đến 80 °R.

1742 : A.Celsius sử dụng thủy ngân làm nhiệt kế. Ông lấy 100°C ứng với điểm tan của nước đá còn 0°C là điểm sôi của nước và sau này đổi lại điểm sôi là 100°C còn điểm tan của nước đá là 0°C .

Trên đây là một số ví dụ về các thang đo nhiệt độ, đơn vị nhiệt độ trong mỗi loại thước đo đó chưa thống nhất, các nhiệt kế cùng loại khó bảo đảm chế tạo có thước chia độ giống nhau. Những thiếu sót này làm cho người ta nghĩ đến phải xây dựng thước đo nhiệt độ theo một nguyên tắc khác sao cho đơn vị đo nhiệt độ không phụ thuộc vào chất đo nhiệt độ dùng trong nhiệt kế.

1848 : Kelvin xây dựng thước đo nhiệt độ trên cơ sở nhiệt động học. Theo định luật nhiệt động học thứ 2, công trong chu trình Cárnot tỷ lệ với độ chênh nhiệt độ chứ không phụ thuộc chất đo nhiệt độ. Kelvin lấy điểm tan của nước đá là 273,1 độ và gọi 1 độ là chênh lệch nhiệt độ ứng với 1% công trong chu trình Cárnot giữa điểm sôi của nước và điểm tan của nước đá ở áp suất bình thường .

$$\frac{Q_{100}}{Q_0} = \frac{T_{100}}{T_0} \quad \Rightarrow \quad \frac{Q}{Q_{100} - Q_0} = \frac{T}{T_{100} - T_0} .$$

Nếu từ nhiệt độ T_0 đến T_{100} ta chia làm 100 khoảng đều nhau và gọi mỗi khoảng là 1 độ thì ta có thể viết :

$$T_{100} - T_0 = 100 = \frac{T_{100}(Q_{100} - Q_0)}{Q_{100}} \Rightarrow T_{100} = \frac{Q_{100} \cdot 100}{Q_{100} - Q_0}$$

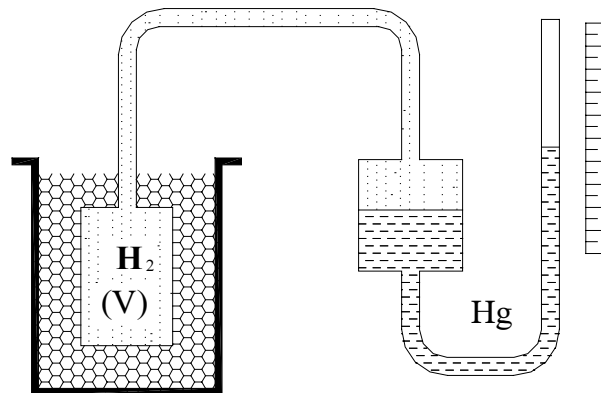
$$\text{Tổng quát ta có : } T = \frac{Q}{Q_{100} - Q_0} \cdot 100 \text{ độ.}$$

Thang đo nhiệt độ nhiệt động học trên thực tế không thể hiện được, nó có tính chất thuần túy lý luận, nhưng nhờ đó mà thống nhất được đơn vị nhiệt độ. Mặt khác quan hệ giữa công và nhiệt độ theo định luật nói trên hoàn toàn giống quan hệ thể tích và áp suất đối với nhiệt độ khí lý tưởng tức là :

$$\frac{P_{100}V_{100}}{P_0V_0} = \frac{T_{100}}{T_0} \quad \text{và ta cũng có} \quad T = \frac{PV}{P_{100}V_{100} - P_0V_0} \cdot 100 \text{ độ.}$$

Nên người ta có thể xây dựng được thước đo nhiệt độ theo định luật của khí lý tưởng và hoàn toàn thực hiện được trên thực tế. Tuy rằng khí thực có khác với khí lý tưởng nhưng số hiệu chỉnh do sự khác nhau đó không lớn và người ta có thể đạt được độ chính xác rất cao. Nhiệt kế dùng thực hiện thang đo nhiệt độ này gọi là nhiệt kế khí.

1877 : Ủy ban cân đo quốc tế công nhận thước chia độ Hydrogen bách phân làm thước chia nhiệt độ cơ bản, 0 và 100 ứng với điểm tan của nước đá và điểm sôi của nước ở áp suất tiêu chuẩn (760 mmHg).



Thước đo này rất gần với thước đo nhiệt độ nhiệt động học, loại này có hạn chế là giới hạn đo chỉ trong khoảng -25 đến +100 độ (vì ở nhiệt độ cao H có độ khuếch tán mạnh nên bị lọt và khó chính xác).

Việc sử dụng nhiều thước đo nhiệt độ tất nhiên không tránh khỏi việc tính đổi từ thước đo này sang thước đo khác và kết quả tính đổi đó thường không phù hợp với nhau. Để giải quyết vấn đề đó thì :

1933 : Hội nghị cân đo Quốc tế đã quyết định dùng thước đo nhiệt độ

Quốc tế, thước đo này lấy nhiệt độ tan của nước đá và nhiệt độ sôi của nước ở áp suất bình thường là 0 và 100 độ ký hiệu đơn vị nhiệt độ là [°C] và dựa trên một hệ điểm nhiệt độ cố định để chia độ còn các nhiệt độ trung gian thì xác định bằng các dụng cụ nội suy.

1948 : Sau khi sửa đổi và bổ sung thêm, hội nghị cân đo quốc tế đã xác định thước đo nhiệt độ quốc tế năm 1948. Theo thước đo này nhiệt độ ký hiệu là t, đơn vị đo là [°C]. Thước được xây dựng trên một số điểm chuẩn gốc, đó là những điểm nhiệt độ cân bằng cố định được xác định bằng nhiệt kế khí, trị số của điểm chuẩn gốc được lấy là trị số có xác suất xuất hiện cao nhất của nhiệt kế khí khi đo nhiệt độ điểm chuẩn gốc đó. Trị số nhiệt độ giữa các điểm chuẩn gốc được xác định bằng các nhiệt kế đặc biệt.

- Các điểm chuẩn gốc đều được xác định ở áp suất khí quyển tiêu chuẩn và gồm các điểm quy định sau :

- Điểm sôi của ôxy	- 182,97 °C
- Điểm tan của nước đá	0,00 °C
- Điểm sôi của nước	100,00 °C
- Điểm sôi của lưu huỳnh	444,60 °C
- Điểm đông đặc của bạc	960,80 °C
- Điểm đông đặc của vàng	1063,00 °C

Cách nội suy và ngoại suy để xác định nhiệt độ khác được quy định như sau:

+ Nhiệt độ trong khoảng từ 0 đến điểm đông đặc của seleni (630°C) dùng nhiệt kế chuẩn là nhiệt kế điện trở bạch kim mà độ tinh khiết của sợi bạch kim thỏa mãn yêu cầu sau : $R_{100}/R_0 \geq 1,3920$, ở đây R_0 và R_{100} là điện trở của điện trở bạch kim ở 0°C và ở 100°C.

Quan hệ giữa trị số điện trở bạch kim ở nhiệt độ t (R_t) và nhiệt độ t được quy định là :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2] .$$

R_0 , A, B là các hằng số xác định bằng cách đo R_t ứng với $t = 0,01^\circ\text{C}$, 100°C và $444,6^\circ\text{C}$ sau đó giải hệ 3 phương trình.

+ Nhiệt độ trong khoảng từ $-182,97^\circ\text{C}$ đến 0°C vẫn dùng nhiệt kế điện trở bạch kim nhưng theo quan hệ khác : $R_t = R_0 \cdot [1 + At + Bt^2 + Ct^3(t-100)]$ Trong đó C là hằng số tìm được do đặt điện trở bạch kim ở nhiệt độ $-182,97^\circ\text{C}$ còn các hệ số khác cũng được tính như trên.

+ Nhiệt độ trong khoảng 630°C đến 1063°C dùng cặp nhiệt bạch kim và bạch kim+Rôđi làm nhiệt kế chuẩn .

+ Nhiệt độ trên điểm 1063°C thì dùng hỏa kế quang học chuẩn gốc hoặc *đèn nhiệt độ* làm dụng cụ chuẩn, nhiệt độ t được xác định theo định luật Planck. Và sau đó căn cứ vào định nghĩa mới của đơn vị nhiệt độ (độ Kelvin) nên đã có thay đổi ít nhiều về thước đo nhiệt độ.

1968 : Hội nghị cân đo quốc tế quyết định đưa ra thước đo nhiệt độ quốc tế thực dụng. Thước đo này cũng được xây dựng dựa trên 6 điểm chuẩn gốc :

- Điểm sôi của ôxy	- $182,97^{\circ}\text{C}$
- Điểm ba pha của nước	$0,01^{\circ}\text{C}$
- Điểm sôi của nước	$100,00^{\circ}\text{C}$
- Điểm đông đặc của kẽm	$419,505^{\circ}\text{C}$
- Điểm đông đặc của bạc	$960,80^{\circ}\text{C}$
- Điểm đông đặc của vàng	$1063,00^{\circ}\text{C}$

Ở các nước phát triển việc giữ gìn và lập lại thước đo nhiệt độ quốc tế thực dụng đều do cơ quan chuyên trách của nhà nước phụ trách như Viện đo lường tiêu chuẩn Thước đo nhiệt độ thực dụng quốc tế vẫn chưa hoàn toàn được hoàn thiện, ví dụ như chưa có quy định đối với khoảng nhiệt độ dưới $-182,97^{\circ}\text{C}$. Các quy định chưa thật bảo đảm cho thước đo nhiệt độ thực dụng quốc tế đúng với thước đo nhiệt độ nhiệt động học.... Vì vậy cần phải tiếp tục nghiên cứu thêm để hoàn thiện.

2.1.3. Dụng cụ và phương pháp đo nhiệt độ



Có nhiều loại dụng cụ đo nhiệt độ, tên gọi của mỗi loại một khác nhưng thường gọi chung là **nhiệt kế**. Trong dụng cụ đo nhiệt độ ta thường dùng các khái niệm sau :

Nhiệt kế là dụng cụ (đồng hồ) đo nhiệt độ bằng cách cho số chỉ hoặc tín hiệu là hàm số đã biết đối với nhiệt độ.

Bộ phận nhạy cảm của nhiệt kế là bộ phận của nhiệt kế dùng để biến nhiệt năng thành một dạng năng lượng khác để nhận được tín hiệu (tín tức) về nhiệt độ. Nếu bộ phận nhạy cảm tiếp xúc trực tiếp với môi trường cần đo thì gọi là nhiệt kế đo trực tiếp và ngược lại.

Theo thói quen người ta thường dùng khái niệm nhiệt kế để chỉ các dụng cụ đo nhiệt độ dưới 600°C , còn các dụng cụ đo nhiệt độ trên 600°C thì gọi là *hỏa kế*.

Theo nguyên lý đo nhiệt độ, đồng hồ nhiệt độ được chia thành 5 loại chính.

1/ *Nhiệt kế dẫn nở* đo nhiệt độ bằng quan hệ giữa sự dẫn nở của chất rắn hay chất nước đối với nhiệt độ. Phạm vi đo thông thường từ -200 đến 500°C . Ví dụ như nhiệt kế thủy ngân, rượu....

2/ *Nhiệt kế kiểu áp kế* đo nhiệt độ nhờ biến đổi áp suất hoặc thể tích của chất khí, chất nước hay hơi bão hòa chứa trong một hệ thống kín có dung tích cố định khi nhiệt độ thay đổi. Khoảng đo thông thường từ 0 đến 300°C .

3/ *Nhiệt kế điện trở* đo nhiệt độ bằng tính chất biến đổi điện trở khi nhiệt độ thay đổi của vật dẫn hoặc bán dẫn. Khoảng đo thông thường từ -200 đến 1000°C .

4/ *Cặp nhiệt* còn gọi là *nhiệt ngẫu*, *pín nhiệt điện*. Đo nhiệt độ nhờ quan hệ giữa nhiệt độ với suất nhiệt điện động sinh ra ở đầu mối hàn của 2 cực nhiệt điện làm bằng kim loại hoặc hợp kim. Khoảng đo thông thường từ 0 đến 1600°C

5/ *Hỏa kế bức xạ* gồm hỏa kế quang học, bức xạ hoặc so màu sắc. Đo nhiệt độ của vật thông qua tính chất bức xạ nhiệt của vật. Khoảng đo thông thường từ 600 đến 6000°C . Đây là dụng cụ đo gián tiếp.

Nhiệt kế còn được chia loại theo mức độ chính xác như:

- Loại chuẩn - Loại mẫu - Loại thực dụng .

Hoặc theo cách cho số đo nhiệt độ ta có các loại :

- Chỉ thị - Tự ghi - Đo từ xa

2.2. NHIỆT KẾ DẪN NỞ

Thể tích và chiều dài của một vật thay đổi tùy theo nhiệt độ và hệ số dẫn nở của vật đó. Nhiệt kế đo nhiệt độ theo nguyên tắc đó gọi là nhiệt kế kiểu dẫn

nở. Ta có thể phân nhiệt kế này thành 2 loại chính đó là : Nhiệt kế dẫn nở chất rắn (còn gọi là nhiệt kế cơ khí) và nhiệt kế dẫn nở chất nước.

2.2.1. Nhiệt kế dẫn nở chất rắn

Nguyên lý đo nhiệt độ là dựa trên độ dẫn nở dài của chất rắn.

$$L_t = L_{t_0} [1 + \alpha (t - t_0)]$$

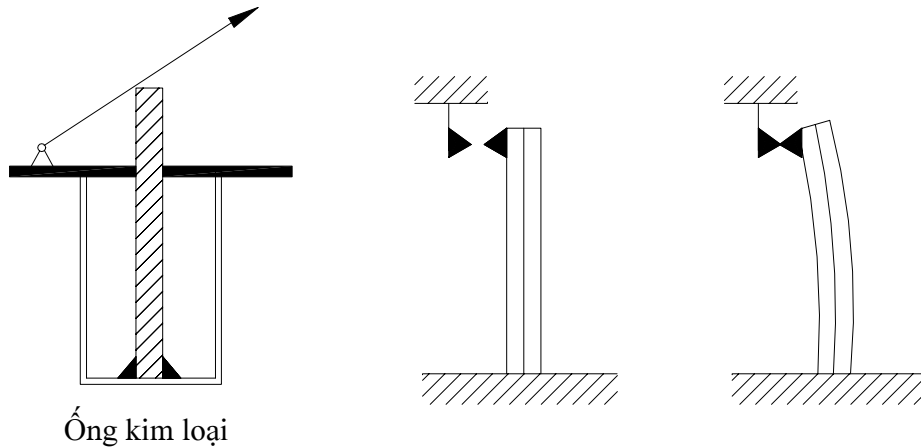
L_t và L_{t_0} là độ dài của vật ở nhiệt độ t và t_0

α - gọi là hệ số dẫn nở dài của chất rắn

Các loại :

+ *Nhiệt kế kiểu đĩa* :

Cơ cấu là gồm - 1 ống kim loại có α_1 nhỏ và 1 chiếc đĩa có α_2 lớn



Ống kim loại

+ *Kiểu bản hai kim loại* (thường dùng làm rơle trong hệ thống tự động đóng ngắt tiếp điểm).

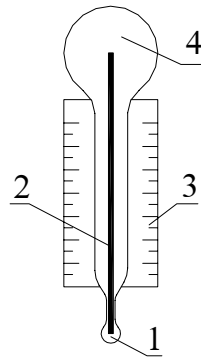
Hệ số dẫn nở dài của một số vật liệu

Vật liệu	Hệ số dẫn nở dài α (1/độ)
Nhôm Al	$0,238 \cdot 10^{-4} \div 0,310 \cdot 10^{-4}$
Đồng Cu	$0,183 \cdot 10^{-4} \div 0,236 \cdot 10^{-4}$
Cr - Mn	$0,123 \cdot 10^{-4}$
Thép không gỉ	$0,009 \cdot 10^{-4}$
H kim Inva (64% Fe & 36% N)	$0,00001 \cdot 10^{-4}$

2.2.2. Nhiệt kế dẫn nở chất lỏng

Nguyên lý: tương tự như các loại khác nhưng sử dụng chất lỏng làm môi chất (như Hg, rượu)

Cấu tạo: Gồm ống thủy tinh hoặc thạch anh trong đựng chất lỏng như thủy ngân hay chất hữu cơ.



1 - Phần tiếp xúc môi trường cần đo gọi là bao nhiệt.

2 - ống mao dẫn có đường kính rất nhỏ.

3 - thang đo.

4 - đoạn dự phòng.

Nếu dùng Hg thì $\alpha = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ còn thủy

tinh thì $\alpha = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (nên có thể bỏ qua)

Tuy Hg có α không lớn nhưng nó không bám vào thủy tinh khó bị ôxy hóa, dễ chế tạo, nguyên chất, phạm vi đo nhiệt độ rộng.

ở nhiệt độ $< 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ thì đặc tính giãn nở của Hg và t là quan hệ đường thẳng nên nhiệt kế thủy ngân được dùng nhiều hơn các loại khác.

Nhiệt kế thủy ngân nếu đo nhiệt độ $< 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ thì trong ống thủy tinh không cần nạp khí, khi đo ở nhiệt độ cao hơn và nhất là khi muốn nâng cao giới hạn đo trên thì phải nâng cao điểm sôi của nó bằng cách nạp khí trơ (N_2) vào.

- Nếu nạp N_2 với áp suất 20 bar thì đo đến $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- Nếu nạp N_2 với áp suất 70 bar thì đo đến $750 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Người ta dùng loại này làm nhiệt kế chuẩn có độ chia nhỏ và thang đo từ $0 \div 50^{\circ}$; $50 \div 100^{\circ}$ và có thể đo đến $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ưu điểm : đơn giản rẻ tiền sử dụng dễ dàng thuận tiện khá chính xác.

Khuyết điểm : độ chậm trễ tương đối lớn, khó đọc số, dễ vỡ không tự ghi số đo phải đo tại chỗ không thích hợp với tất cả đối tượng (phải nhúng trực tiếp vào môi chất).

Phân loại : Nhiệt kế chất nước có rất nhiều hình dạng khác nhau nhưng :

+ Xét về mặt thước chia độ thì có thể chia thành 2 loại chính :

- Hình chiếc đũa

- Loại thước chia độ trong



+ Xét về mặt sử dụng thì có thể chia thành các loại sau:

- *Nhiệt kế kỹ thuật* :

khí sử dụng phần đuôi phải cắm ngập vào môi trường cần đo (có thể hình thẳng hay hình chữ L). Khoảng đo - 30 ÷ 50°C ; 0 ÷ 50 ... 500

Độ chia : 0,5 °C , 1°C. Loại có khoảng đo lớn độ chia có thể 5 °C

- *Nhiệt kế phòng thí nghiệm* : có thể là 1 trong các loại trên nhưng có kích thước nhỏ hơn.

- **Chú ý** : Khi đo ta cần nhúng ngập đầu nhiệt kế vào môi chất đến mức đọc.

* Loại có khoảng đo ngắn

độ chia 0,0001 ÷ 0,02 °C dùng làm nhiệt lượng kế để tính nhiệt lượng.

* Loại có khoảng đo nhỏ 50 °C đo đến 350 °C chia độ 0,1 °C.

* Loại có khoảng đo lớn 750 °C đo đến 500 °C chia độ 2 °C.

Ngoài ra : ta dùng nhiệt kế không dùng thủy ngân thang đo - 190 °C **Error! Not a valid link.** 100 °C và loại nhiệt kế đặc biệt đo đến 600

Trong tự động còn có loại nhiệt kế tiếp điểm điện.

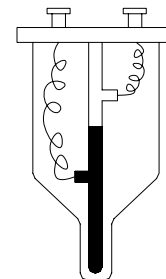
Các tiếp điểm làm bằng bạch kim

Trong CN phải đặt nơi sáng sủa sạch sẽ

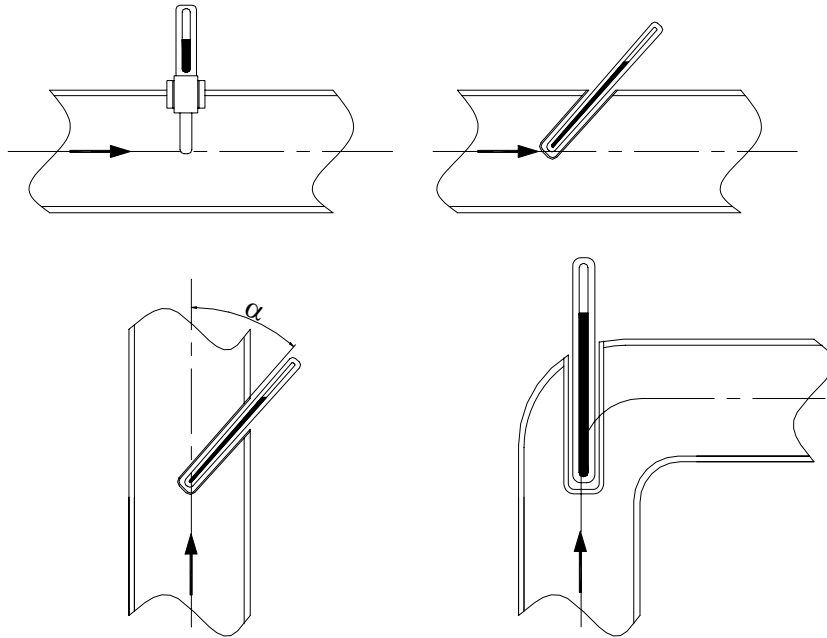
ít chấn động thuận tiện cho đọc và vận hành.

Bao nhiệt phải đặt ở tâm dòng chất lỏng với độ sâu quy định.

- Nếu đường kính ống đựng môi chất lớn thì ta đặt nhiệt kế thẳng đứng.



- Nếu đo môi chất có nhiệt độ và áp suất cao thì cần phải có vỏ bảo vệ.
- + Nếu nhiệt độ $t < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ thì ta bơm dầu vào vỏ bảo vệ.
- + Nếu nhiệt độ cao hơn thì ta cho mạt đồng vào.

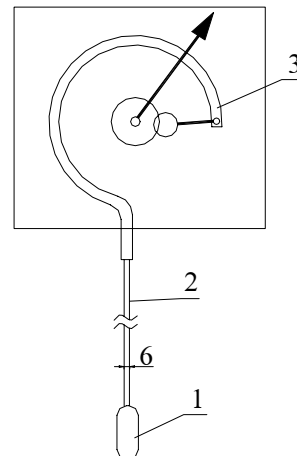


2.2.3. Nhiệt kế kiểu áp kế

Dựa vào sự phụ thuộc áp suất m/c vào nhiệt độ khi thể tích không đổi

Cấu tạo :

- 1- Bao nhiệt chứa chất lỏng hay khí (bộ phận nhạy cảm)
- 2- Ống mao dẫn
- 3- Áp kế có thang đo như nhiệt độ



Bao nhiệt làm bằng thép không hàn, bằng đồng thau đầu dưới bịt kín đầu trên nối với ống nhỏ đường kính khoảng 6 mm dài khoảng 300 mm, ống mao dẫn làm bằng ống thép hay đồng đường kính trong bằng 0,36 mm có độ dài đến $20 \div 60\text{ m}$

Phía ngoài ống mao dẫn có ống kim loại mềm (dây xoắn bằng kim loại hoặc ống cao su để bảo vệ).

Loại nhiệt kế này: Đo nhiệt độ từ $-50^{\circ}\text{C} \div 550^{\circ}\text{C}$ và áp suất làm việc tới 60kG/m^2 cho số chỉ thị hoặc tự ghi có thể chuyển tín hiệu xa đến 60 m, độ chính xác tương đối thấp $\text{CCX} = 1,6 ; 4 ; 2,5$ một số ít có $\text{CCX} = 1$.

Ưu - Nhược điểm : Chịu được chấn động, cấu tạo đơn giản nhưng số chỉ bị chậm trễ tương đối lớn phải hiệu chỉnh luôn, sửa chữa khó khăn.

Phân loại :

Người ta phân loại dựa vào môi chất sử dụng, thường có 3 loại :

1- Loại chất lỏng : dựa vào mối liên hệ giữa áp suất p và nhiệt độ t

$$p - p_0 = \frac{\alpha}{\xi} (t - t_0)$$

p, p₀, t, t₀ là áp suất và nhiệt độ chất lỏng tương ứng nhau. Chỉ số 0 ứng với lúc ở điều kiện không đo đặc,

α : hệ số giãn nở thể tích ξ : Hệ số nén ép của chất lỏng

Chất lỏng thường dùng là thủy ngân có $\alpha = 18 \cdot 10^{-5} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\xi = 0,4 \cdot 10^{-5} \text{cm}^2/\text{kG}$

Vậy đối với thủy ngân $t - t_0 = 1^{\circ}\text{C}$ thì $p - p_0 = 45\text{kG/cm}^2$

Khi sử dụng phải cấm ngập bao nhiệt trong môi chất cần đo : sai số khi sử dụng khác sai số khi chia độ (ứng điều kiện chia độ là nhiệt độ môi trường 20°C).

2- Loại chất khí: Thường dùng các khí trơ : N₂, He ...

Quan hệ giữa áp suất và nhiệt độ xem như khí lý tưởng

$$\alpha = 0,0365 \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

3- Loại dùng hơi bão hòa:

Ví dụ : Axêton (C₂H₄Cl₂) Cloruaêtilen , cloruaêtilen số chỉ của nhiệt kế không chịu ảnh hưởng của môi trường xung quanh, thước chia độ không đều (phía nhiệt độ thấp vạch chia sát hơn còn phía nhiệt độ cao vạch chia thưa dần), bao nhiệt nhỏ : Nếu đo nhiệt độ thấp có sai số lớn người ta có thể nạp thêm một chất lỏng có điểm sôi cao hơn trong ống dẫn để truyền áp suất.

Chú ý khi lắp đặt:

- Không được ngắt riêng lẻ các bộ phận, tránh va đập mạnh
- Không được làm cong ống mao dẫn đường kính chỗ cong > 20 mm
- 6 tháng phải kiểm định một lần

Đối với các nhiệt kế kiểu áp kế sử dụng môi chất là chất lỏng chú ý vị trí đồng hồ sơ cấp và thứ cấp nhằm tránh gây sai số do cột áp của chất lỏng gây ra.

Loại này ta hạn chế độ dài của ống mao dẫn < 25 m đối với các môi chất khác thủy ngân, còn môi chất là Hg thì < 10 m.

2.3. NHIỆT KẾ NHIỆT ĐIỆN

2.3.1. Nguyên lý đo nhiệt độ của nhiệt kế nhiệt điện (*cặp nhiệt*)

Giả sử nếu có hai bản dây dẫn nối với nhau và 2 đầu nối có nhiệt độ khác nhau thì sẽ xuất hiện suất điện động (sđđ) nhỏ giữa hai đầu nối do đó sinh ra *hiệu ứng nhiệt*.

Nguyên lý: Dựa vào sự xuất hiện suất nhiệt điện động trong mạch khi có độ chênh nhiệt độ giữa các đầu nối.

Cấu tạo: gồm nhiều dây dẫn khác loại có nhiệt độ khác nhau giữa các đầu nối. Giữa các điểm tiếp xúc xuất hiện sđđ ký sinh và trong toàn mạch có sđđ tổng

$$\begin{aligned} E_{AB}(t, t_0) &= e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) \\ &= e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \end{aligned}$$

$e_{AB}(t)$; $e_{AB}(t_0)$ là sđđ ký sinh hay điện thế tại điểm có nhiệt độ t và t_0

Nếu $t = t_0$ thì $E_{AB}(t, t_0) = 0$

trong mạch không xuất hiện sđđ

Trong thực tế để đo ta thêm dây dẫn thứ ba, lúc này có các trường hợp sđđ sinh ra toàn mạch bằng Σ sđđ ký sinh tại các điểm nối từ hình vẽ.

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

$$\text{mà } e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = -e_{AB}(t_0) (= e_{BA}(t_0))$$

$\Rightarrow E_{ABC}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_0)$. Vậy sđđ sinh ra không phụ thuộc vào dây dẫn thứ 3

Khi nối vào hai đầu của hai dây kia có nhiệt độ không đổi (t_0)

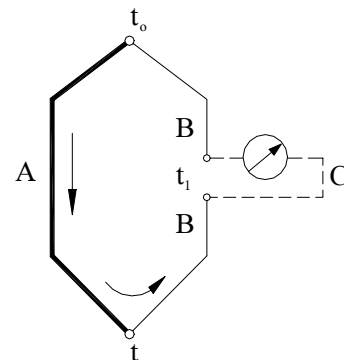
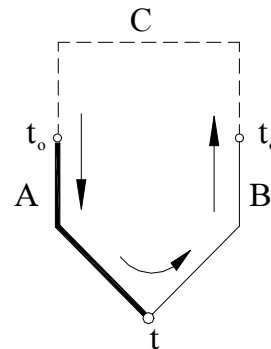
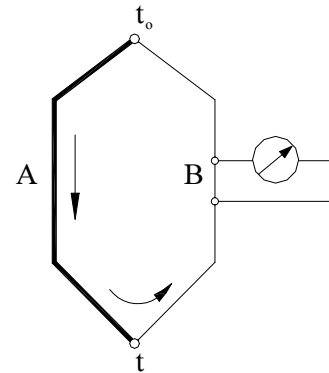
- Trường hợp này tương tự ta cũng có

$$\begin{aligned} E_{ABC}(t, t_0) &= e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) \\ &+ e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) = E_{AB}(t, t_0) \end{aligned}$$

như trên

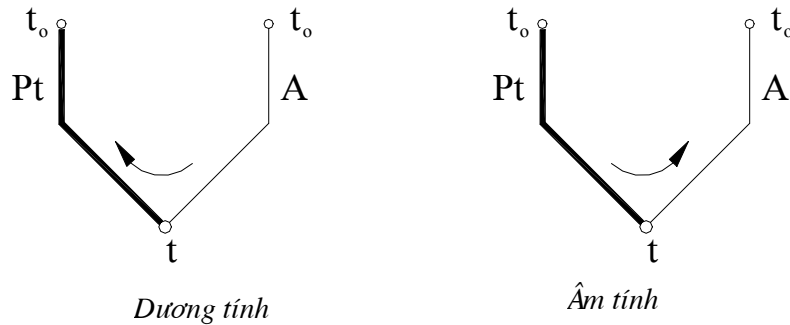
Chú ý: - Khi nối cặp nhiệt với dây dẫn thứ 3 thì những điểm nối phải có nhiệt độ bằng nhau.

- Vật liệu cặp nhiệt phải đồng nhất theo chiều dài.



2.3.2. Vật liệu và cấu tạo cặp nhiệt

Có thể chọn rất nhiều loại và đòi hỏi tinh khiết, người ta thường lấy bạch kim tinh khiết làm cực chuẩn vì : Bạch kim có độ bền hóa học cao các tính chất được nghiên cứu rõ, có nhiệt độ nóng chảy cao, dễ điều chế tinh khiết và so với nó người ta chia vật liệu làm *dương tính* và *âm tính*.



Thí nghiệm với cặp nhiệt Pt - * $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $t = 100^\circ\text{C}$

Vật liệu	Thành phần	sđđ mV
Fe	nguyên chất	+ 1,8
Cu	nguyên chất	+ 0,75
Ni	nguyên chất	- 1,49
Pt + Rh	90% Pt + 10% (Rôti) Rh	+ 0,64
Constantan	60% Cu + 40% Ni	- 3,35
Copan	56% Cu + 44% Ni	- 4,05
Alumen	94,5% Ni + 2% Al + 2% Mn + 1% Si	- 1,2
Cromen	90,5%Ni + 9,5Cr	+ 2,9

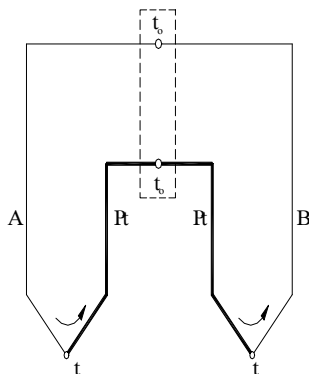
Do đó trong 1 số trường hợp người ta dùng cả 2 vật liệu âm tính và dương tính để tăng sđđ.

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{PA}(t) + E_{AB}(t_0) + E_{BP}(t)$$

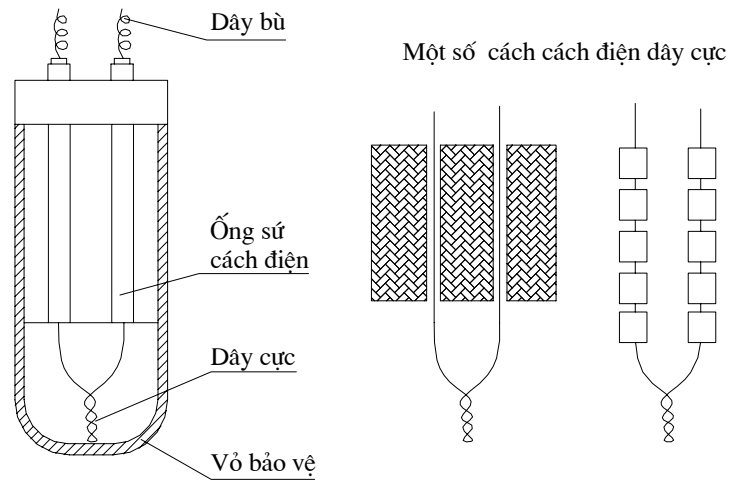
$$\Rightarrow E_{BA}(t, t_0) = E_{PA}(t, t_0) + E_{BP}(t, t_0)$$

Yêu cầu của các kim loại :

- Có tính chất nhiệt điện không đổi theo thời gian, chịu được nhiệt độ cao có độ bền hóa học, không bị khuyếch tán và biến chất. Sđđ sinh ra biến đổi theo đường thẳng đối với nhiệt độ.
- Độ dẫn điện lớn, hệ số nhiệt độ điện trở nhỏ có khả năng sản xuất hàng loạt, rẻ tiền.



Cấu tạo:



- Đầu nóng của cặp nhiệt thường xoắn lại và hàn với nhau đường kính dây cực từ $0,35 \div 3$ mm số vòng xoắn từ $2 \div 4$ vòng .- ống sứ có thể thay các loại như cao su, tơ nhân tạo ($100^{\circ}\text{C} \div 130^{\circ}\text{C}$), hồ phách (250°C), thủy tinh (500°C), thạch anh (1000°C), ống sứ (1500°C).

- Vỏ bảo vệ : Thường trong phòng thí nghiệm thì không cần, còn trong công nghiệp phải có.

- Dây bù nối từ cặp nhiệt đi phía trên có hộp bảo vệ.

Yêu cầu của vỏ bảo vệ

- Đảm bảo độ kín.
- Chịu nhiệt độ cao và biến đổi đột ngột của nhiệt độ.
- Chống ăn mòn cơ khí và hóa học.
- Hệ số dẫn nhiệt cao.
- Thường dùng thạch anh, đồng, thép không rỉ để làm vỏ bảo vệ.



Một số cặp nhiệt thường dùng :

Cặp nhiệt	Ký hiệu	Hạn đo trên		E (100, 0)
		Dài hạn	Ngắn hạn	
Pt.Rh - Pt	$\pi\pi$	1300	1600	$0,46 \pm 0,8\%$
Cromen - Alumen	XA	900	1800	$4,10 \pm 1\%$
Cromen - Copen	XK	600	800	$6,95 \pm 1\%$
Fe - Cotantan	$\mathcal{M}$	600	800	5,37
W - W + Ro	BP	-----	2800	$\frac{45}{2800} mV/^{\circ}C$

Ứng với mỗi loại cặp nhiệt có một loại dây bù riêng

Ví dụ : Loại $\pi\pi$ dây bù Ca, Ni

XA dây bù Cu - Costantan

dây bù thường được cấu tạo dây đôi.

2.3.3. Bù nhiệt độ đầu lạnh của cặp nhiệt

Nếu biết nhiệt độ đầu lạnh t_0 của cặp nhiệt thì dựa theo bảng ta xác định được nhiệt độ t thông qua giá trị đọc được từ cặp nhiệt, các đồng hồ dùng cặp nhiệt thường t_0 là $0^{\circ}C$

Điều kiện chia độ :

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

Điều kiện thực nghiệm:

Giả sử nhiệt độ đầu lạnh là t_0'

$$\Rightarrow E_{AB}(t, t_0') = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0')$$

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

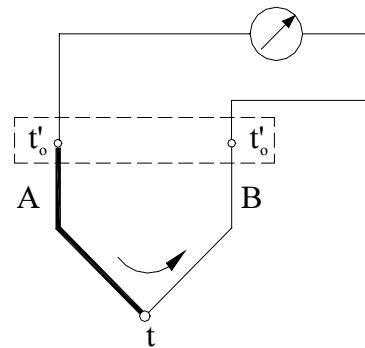
$$E_{AB}(t', t_0) = e_{AB}(t') - e_{AB}(t_0)$$

t' là nhiệt độ số chỉ của kim khi nhiệt độ đầu lạnh là t_0' (tức là khi đồng hồ thứ cấp nhận được sdd $E_{AB}(t, t_0')$) mặt khác khi đồng hồ thứ cấp nhận được sdd $E_{AB}(t', t_0)$ thì cho số chỉ cũng là t' .

$$\Rightarrow E_{AB}(t, t_0') = E_{AB}(t', t_0) \Rightarrow e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0') = e_{AB}(t') - e_{AB}(t_0)$$

$$\Rightarrow e_{AB}(t) - e_{AB}(t') = e_{AB}(t_0') - e_{AB}(t_0) \Rightarrow E_{AB}(t, t') = E_{AB}(t_0', t_0)$$

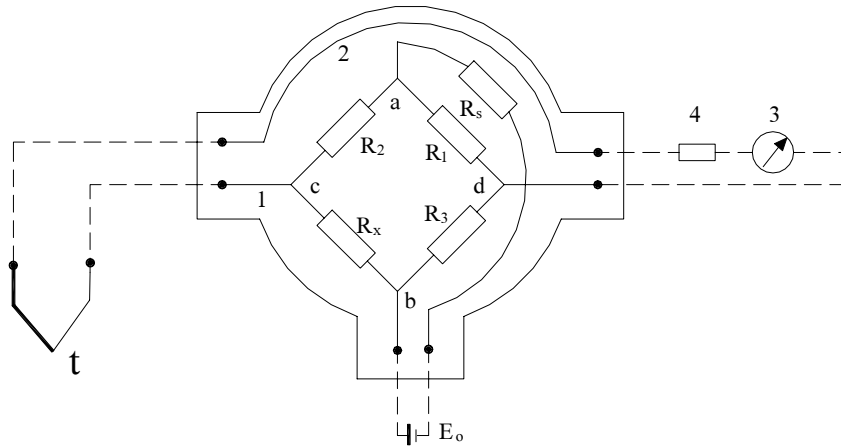
Vậy độ sai lệch $(t - t')$ của đồng hồ đo là do sai số của nhiệt độ đầu lạnh $(t_0' - t_0)$, đó là sai số do khi nhiệt độ đầu lạnh không bằng t_0 (lúc chia độ).



Các cách bù: - Nếu quan hệ là đường thẳng thì ta chỉ cần điều chỉnh kim đi một đoạn $t - t' = t_o' - t_o$

- Thêm vào mạch cấp nhiệt 1 sdd bằng sdd $E_{AB}(t_o', t_o)$

Sơ đồ bù :



Người ta lấy điện áp từ cầu không cân bằng một chiều gọi là cầu bù.

ký hiệu KT - 08 KT - 54

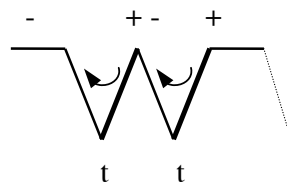
Nguyên lý: Tạo ra điện áp $U_{cd} \approx E_{AB}(t_o', t_o)$, được điều chỉnh bằng R_s và nguồn $E_o = 4v$ các điện trở R_1, R_2, R_3 làm bằng Mn không đổi, R_x làm bằng Ni hay Cu. Nếu nhiệt độ thay đổi thì R_x cũng thay đổi và tự động làm U_{cd} tương ứng với $E_{AB}(t_o', t_o)$.

Chú ý : khi dùng dây bù thì phải giữ nhiệt độ đầu tự do không đổi bằng cách đặt đầu tự do trong ống dầu và ngâm trong nước đá đang tan, một số trường hợp ta đặt trong hộp nhồi chất cách nhiệt và chôn xuống đất hay đặt vào các buồng hằng nhiệt.

2.3.4. Các cách nối cấp nhiệt và khắc độ

Nguyên lý:

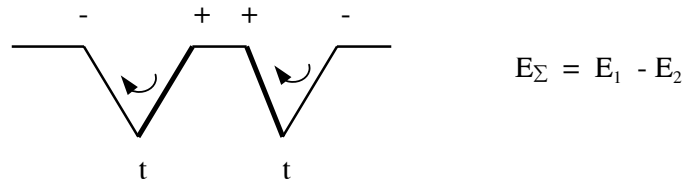
a- Cách mắc nối tiếp thuận :



$$E_{\Sigma} = \sum E_i$$

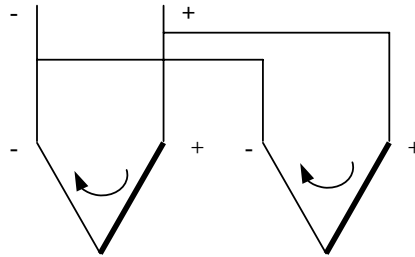
Chú ý: thường mắc cùng một loạt cách mắc này đo chính xác hơn làm góc quay của kim chỉ lớn, sử dụng khi đo nhiệt độ nhỏ.

b- Cách mắc nối tiếp nghịch :



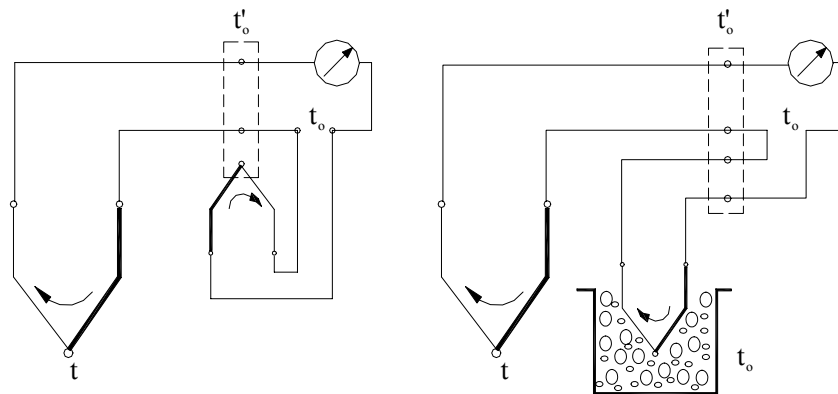
Dùng để đo hiệu nhiệt độ giữa hai điểm và thường chọn cặp nhiệt có đặc tính thẳng nhiệt độ đầu tự do như nhau.

c- Cách mắc song song :



Sử dụng để đo nhiệt độ trung bình của một số điểm.

d- Cách mắc để bù đầu lạnh cho cặp nhiệt chính :



Sơ đồ nối tiếp thuận

Sơ đồ nối tiếp ngược

Thường sử dụng cách này để tiết kiệm dây bù.

e- Cách chia độ cặp nhiệt :

Chia độ cặp nhiệt thực hiện khi chia độ một cặp nhiệt mới hay kiểm định cặp nhiệt sau 1 thời gian dài làm việc.

Chia độ cặp nhiệt là xác định quan hệ giữa suất nhiệt điện động và nhiệt độ của cặp nhiệt, còn kiểm định cặp nhiệt là đánh giá sự biến đổi của quan hệ trên sau khi đã dùng cặp nhiệt một thời gian, muốn chia độ và kiểm định cặp nhiệt thì ta phải tạo ra một môi trường có nhiệt độ nhất định không đổi, xác định nhiệt độ này bằng nhiệt kế chuẩn. Nhiệt độ không đổi trên có thể thực hiện

bằng cách dùng điểm sôi, điểm đông đặc của các chất nguyên chất hoặc dùng bình hằng nhiệt, lò điện ống... Dùng điểm đông đặc hoặc điểm sôi thì phải làm rất thận trọng, công việc rất phức tạp do đó chỉ dùng chia độ các cặp nhiệt chuẩn hoặc cặp nhiệt $\pi\pi$... thường thì từ $10 \div 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ dùng bình hằng nhiệt, nhiệt kế chuẩn thủy ngân và điện trở bạch kim chuẩn.

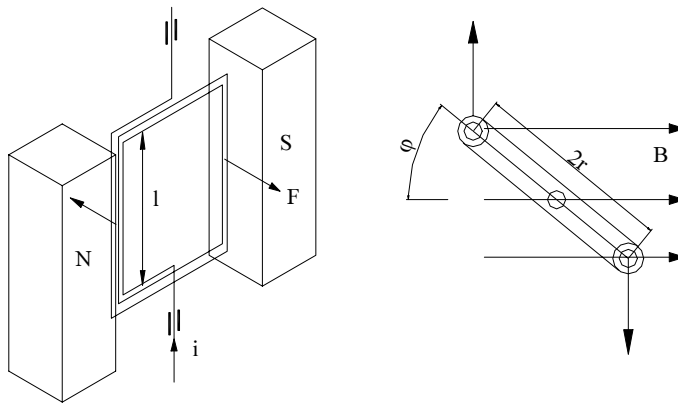
Từ $200 \div 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ dùng lò điện ống và cặp nhiệt chuẩn $\pi\pi$ (đầu lạnh $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

2.3.5. Đo suất nhiệt điện động của cặp nhiệt

Cặp nhiệt chỉ phát ra suất nhiệt điện động rất nhỏ nên chỉ có thể đo bằng những đồng hồ chuyên dùng đo điện áp nhỏ. Các đồng hồ này có thể chia độ theo điện áp, theo nhiệt độ hoặc cả hai.

a- Dùng milivolmet:

Nguyên lý: Khung dây đặt trong từ trường nam châm khi có dòng điện chạy qua thì có lực tác dụng vào khung dây phương chiều được xác định bằng qui tắc bàn tay trái $\Rightarrow$ tạo nên mô men quay và làm khung dây quay.



Nếu tác dụng lên khung dây một mômen cân tỷ lệ với góc quay của khung dây thì khi khung dây quay đến vị trí mà hai mômen trên cân bằng nhau khung dây sẽ dừng lại. Ta tính toán thiết kế sao cho góc quay của khung dây φ chỉ phụ thuộc dòng điện qua khung dây I theo quan hệ đường thẳng thì milivôlmet có thước chia độ đều. Độ lớn của I thể hiện cho điện áp hoặc suất điện động cần đo.

- Ta có lực tác dụng lên khung $F = C.n.l.I.B.\sin\alpha$

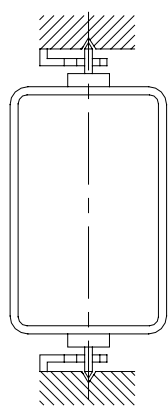
$$\alpha = (i \wedge B) = 90^{\circ} \Rightarrow \sin \alpha = 1$$

$$\Rightarrow M = F.R = C.n.l.I.B.2r \cos \varphi$$

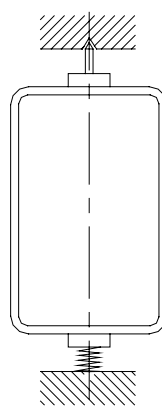
$$\Rightarrow M = f(I, \varphi)$$

Vậy làm sao cho M không phụ thuộc vào φ do đó ta có thể dùng lõi sắt đặt giữa tạo từ trường lổm $\Rightarrow \cos \varphi = 1 \Rightarrow M = K \cdot I$

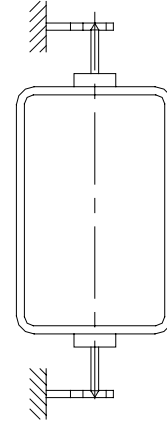
Thực tế người ta tạo các mô men cân để giữ khung dây bằng các cách sau:



$$M_c = K_2 \cdot \varphi$$



$$\varphi = C_o \cdot I$$

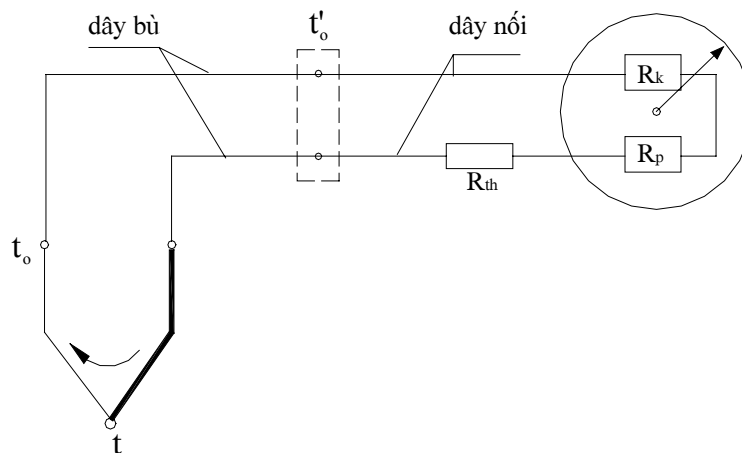


$$\Rightarrow \varphi_{\max} = C_o \cdot I_{\max}$$

Về lý thuyết $\varphi_{\max}$ chỉ phụ thuộc $I_{\max}$ chạy qua khung

Vậy khung dây này ứng với mỗi loại cặp nhiệt có 1 góc quay cực đại khác nhau.

Sai số của số chỉ thị trên milivônmet



$$I = \frac{E}{\sum R} \quad \sum R = R_{ng} + R_M \quad R_M = R_{kh} + R_p$$

$$\text{Hệ số nhiệt điện trở của khung dây } \alpha_M = \alpha_K \cdot \frac{R_K}{R_M} \quad (R_K \ll R_M)$$

Do nhiệt độ môi trường lúc sử dụng khác lúc chia độ $\Rightarrow$ điện trở của M thay đổi theo số đo.

Để R_k nhỏ thì khung dây có số vòng dây nhỏ, còn để R_M lớn thì người ta thêm R_p lớn bằng Mn nhưng không quá lớn vì dòng qua khung sẽ nhỏ.

Thông thường $R_p = 2 \cdot R_k$

Điện trở mạch ngoài $R_{ng} = R_{cn} + R_{dbù} + R_{dnối} + R_{th}$

Người ta thường dùng các điện trở $R_{ng} = 0,6, 5, 15, 25 [\Omega]$ và ghi trên mặt của mV.

Thường R_{ng} rất nhỏ so với R_M như vậy ta bỏ qua sai số do R_{ng} gây ra.

Trong R_{ng} thì R_{cn} biến đổi nhiều theo nhiệt độ $R_{bù}$ và $R_{nối}$ phụ thuộc nhiệt độ môi trường xung quanh $\Rightarrow$ nói chung ta phải cấu tạo có α nhỏ.

$$\Rightarrow \text{Sai số tương đối } S = \frac{\varphi_{tt} - \varphi_{kd}}{\varphi_{KP}} = \frac{\Sigma R_{kd} - \Sigma R_{tt}}{\Sigma R_{tt}} \quad \varphi = k \frac{E}{\Sigma R}$$

φ_{tt} góc quay thực tế sử dụng mV.

φ_{kd} góc quay ở điều kiện khác độ của mV.

Các loại milivônmet:

Trong kỹ thuật thường dùng các loại mV là chỉ thị và tự ghi

- Loại chỉ thị : của LX thì có các loại như $\Gamma K \Pi \Pi$ và $\Gamma \Pi K \Pi$

ngoài ra còn có loại $\Pi \Pi$ ($\Pi \Pi-18, \Pi \Pi-28, \Pi \Pi-38$) có lắp bộ cản dục điện để giữ phần động của đồng hồ không bị chấn động.

- Loại tự ghi : Thường cho cả số chỉ có thể dùng cùng bộ với cặp nhiệt, hỏa kế bức xạ, bộ phân tích khí, nhiệt lượng kế. Của LX thì có loại $\text{CT} \text{ CCX} = 1,5$ vừa chỉ thị vừa tự ghi 1 điểm, 3 điểm, 6 điểm.

Ví dụ : Có cặp nhiệt XA, dây bù XA, dây nối bằng dây Cu chiều dài cặp nhiệt 1,5m ; đường kính 3mm ; nhiệt độ đầu lạnh $t_0 = 20^\circ\text{C}$ dùng M.

$$\text{Có } \frac{R_k}{R_M} = \frac{1}{3} \quad R_b = 10 \Omega \quad R_n = 5 \Omega \quad R_M = 350 \Omega$$

Nếu như đặt cặp nhiệt ở môi trường 1000°C và đo, nhiệt độ xung quanh M $t_0' = 40^\circ\text{C}$ thì nhiệt độ do kim đồng hồ chỉ là bao nhiêu ?

Biết XA 1000°C thì $E = 41,32 \text{ mv}$; Cr có $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$

Cu có $\alpha_n = 4,28 \cdot 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$ Alumen có $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$

Khung có $\alpha_k = 4,0 \cdot 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$

Giải: ở điều kiện chia độ $R_\Sigma = R_M + R_n + R_b$

$$\Rightarrow R_{\Sigma kd} = 350 + 5 + 10 = 365 \Omega$$

ở điều kiện thực tế :

$$R_{\Sigma tt} = R_{Mtt} + R_{ntt} + R_{btt}$$

$$R_{btt} = R_b (1 + \alpha \cdot \Delta t) = R_x (1 + \alpha_c \cdot \Delta t) + R_A (1 + \alpha_A \cdot \Delta t)$$

Vì dây bù XA là hỗn hợp gồm : 0,67Cr và 0,33 Alumen nên

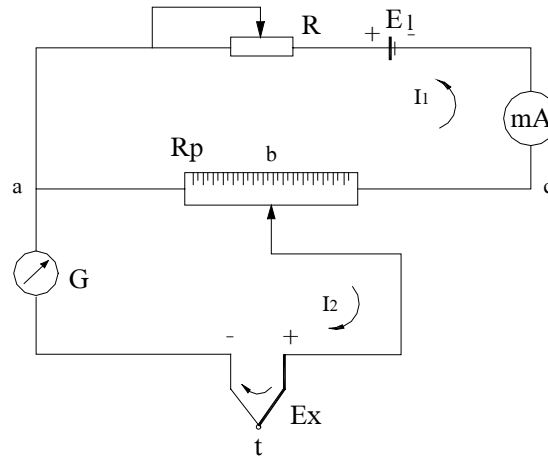
$$R_{ntt} = R_n (1 + \alpha_n \cdot \Delta t), \quad R_{Mtt} = \frac{2}{3} R_M + \frac{1}{3} R_M (1 + \alpha_K \cdot \Delta t)$$

$$\Rightarrow R_{\Sigma tt} \text{ và ta có } \Rightarrow \delta = \frac{R_{\Sigma kd} - R_{\Sigma tt}}{R_{\Sigma tt}} = -0,026$$

$$\Rightarrow E_{tt} = E (1 - \delta) \text{ và từ } E_{tt} \text{ tra với cặp nhiệt XA ta có } t_{tt} = 972^\circ\text{C}$$

b- Điện thế kế

Đối với loại sdd nhỏ thì đo bằng milivônmet là thuận tiện hơn cả, nhưng dùng mV thì sai số đo do nhiệt độ môi trường xung quanh biến đổi có thể tới $\pm 1\%$ hơn nữa dòng điện do sdd phát ra để quay khung dây nhỏ nên ma sát và trở lực của phần quay ảnh hưởng xấu đến độ chính xác và độ nhạy của đồng hồ. Nên mV không thích hợp với các phép đo tinh vi do đó đối với các phép đo tinh vi người ta dùng loại dụng cụ khác đó là *điện thế kế*.



Nguyên lý: Sử dụng phương pháp bù dựa trên sự cân bằng của điện áp cần đo với điện áp đã biết.

- Suất nhiệt điện động Ex được phân trên biến trở con chạy Rp, hai đầu của nó được nối với điện áp không đổi E sao cho U_{ab} ngược chiều Ex.

- Di chuyển con chạy trên Rp ta tìm được vị trí sao cho $U_{ab} = Ex$ xác định vị trí này nhờ đồng hồ chỉ không G ($i_2 = 0$).

Ta có thể thay đổi U_{ab} bằng 2 cách là thay đổi R và thay đổi Rp

$$Ex = i_1 \cdot R_{ab}$$

- Nếu thay đổi Rp thì i_1 không đổi

$$\Rightarrow E_x = K \cdot R_p \cdot I_1$$

- Nếu thay đổi R thì $E_x = R_{ab} \cdot I_2$

$$E_x = f(R_{ab})$$

- Điện trở dây bù, dây nối không ảnh hưởng đến kết quả đo

$$E = f(i)$$

1-Điện thế kế có dòng làm việc không đổi:

E_l - là nguồn điện làm việc

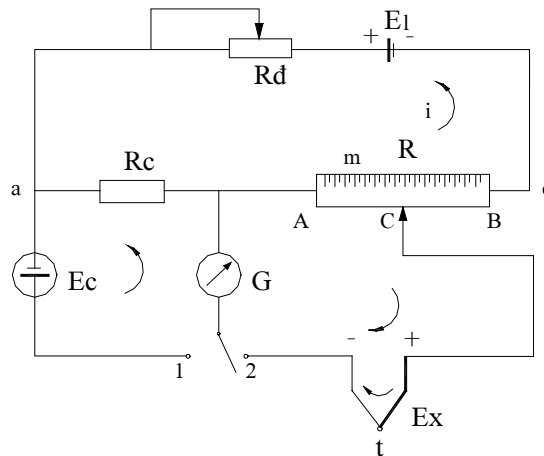
E_c - là pin chuẩn (có sđđ không đổi và biết trước)

E_x - là điện áp hay suất nhiệt điện động cần đo

G - là điện kế dùng làm đồng hồ chỉ không

Rđ - là điện trở điều chỉnh

Rc - là điện trở chuẩn



Điện thế kế được nuôi bằng dòng 1 chiều có điện áp là E_l , dòng điện trong mạch làm việc được điều chỉnh bằng Rđ và để xác định dòng điện i không đổi. Muốn vậy thì điện trở chuẩn Rc không đổi

$$(E_c = 1,018 \text{ V} \quad R_c = 5093 \Omega \Rightarrow i = 2 \text{ mA})$$

- Để xác lập dòng điện chính xác không đổi thì điện áp rơi trên Rc được so sánh với pin chuẩn E_c có sđđ không đổi.

- Khi cầu dao D ở vị trí 1 ta điều Rđ để cho đồng hồ G chỉ 0 thì dòng điện xác

$$\text{lập} \quad i = \frac{E_c}{R_c} = 0,002 \text{ A}$$

- Khi chuyển D sang 2 và điều chỉnh R sao cho đồng hồ G chỉ số 0, lúc đó điện áp $U_{AC} = E_x$

$$U_{AC} = i \cdot m \cdot R = \frac{E_c}{R_c} \cdot m \cdot R = K \cdot R$$

=> Ta có thể chia độ theo vị trí con chạy C. Sai số của điện thế kế < 0,05%

Đặc điểm:

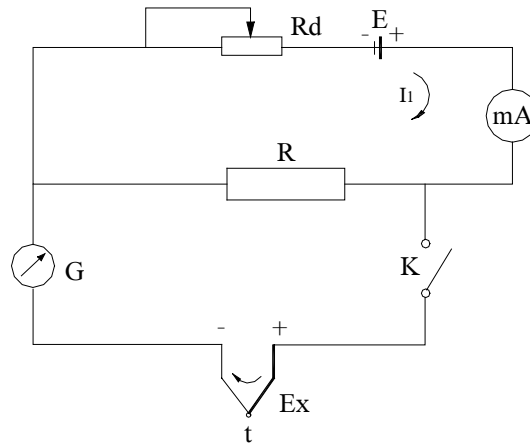
- ở thời điểm đo không xuất hiện dòng trong mạch của cặp nhiệt
- không cần dụng cụ đo trong hệ thống điện kế.
- G dùng làm đồng hồ chỉ 0 nên cần độ chính xác cao.

2- Điện thế kế có điện trở không đổi:

Mạch làm việc có cặp nhiệt, khi đóng khóa K ta điều chỉnh R_d sao cho điện

kế G có giá trị 0 và ta đọc giá trị $E_x = R \cdot i \approx I$

đồng hồ mA cho biết dòng i còn R không đổi đã biết nên ta có được E_x .



Đặc điểm:

- Loại này không cần pin chuẩn
- Thêm một đồng hồ đo dòng điện mA phải có độ chính xác cao => đắt tiền

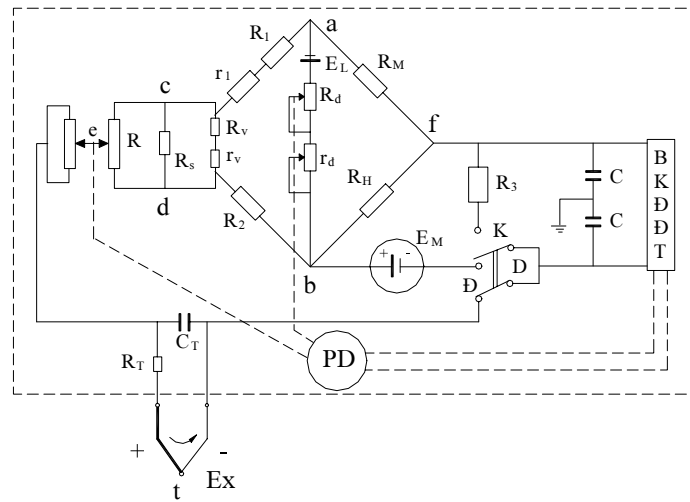
3- Điện thế kế tự động hay điện thế kế điện tử:

Dùng để đo sđđ bằng phương pháp bù không cần sự tham gia của con người khi chỉ định dòng điện làm việc và khi đo lường.

Điện thế kế cần có các bộ phận sau :

- Bộ phận chỉ huy hay tính hiệu để chỉ huy thao tác
- Bộ phận thi hành đó là động cơ thi hành (động cơ xoay chiều thuận nghịch)
- Bộ phận khuếch đại trung gian dùng khuếch đại tín hiệu chỉ huy và tạo đủ công suất cho động cơ thuận nghịch hoạt động.
- Bộ phận đổi nối để kiểm tra kỹ thuật.

Sơ đồ ĐTK (hình vẽ)



Theo sơ đồ trên, khi đo lường thì cầu dao D đóng về phía Đ, suất nhiệt điện động E_T của cặp nhiệt T được so sánh với điện áp giữa 2 đỉnh ef của cầu điện không cân bằng, bộ khuếch đại điện tử BKĐĐT đóng vai trò của điện kế dùng làm đồng hồ chỉ không. Nếu $E_T > U_{ef}$ thì dòng điện qua BKĐĐT theo 1 chiều nhất định, động cơ thuận nghịch PD sẽ quay theo chiều làm di chuyển tiếp điểm e sao cho U_{ef} tăng dần cho tới khi $U_{ef} = E_T$ thì dòng điện qua BKĐĐT trái chiều trước, PD quay ngược chiều nói trên, khi $U_{ef} = E_T$ thì PD ngừng quay và tiếp điểm e dừng lại ở vị trí xác định. Nhờ kim chỉ hoặc bút ghi có chuyển động tương ứng với chuyển động của tiếp điểm e nên cho biết số đo được trên thước chia độ. Độ chênh lệch giữa E_T và U_{ef} chính là tín hiệu chỉ huy sự làm việc của PD.

Khi chỉnh định dòng điện làm việc cầu dao D đóng về phía K, sđđ của pin chuẩn E_M được so sánh với điện áp rơi trên R_H do dòng điện làm việc cung cấp bởi pin làm việc E_L gây nên. Nếu $U_{RH} \neq E_M$ thì PD sẽ kéo tiếp điểm trượt lên R_d và r_d làm biến đổi điện áp cung cấp đặt trên đỉnh ab của cầu điện, nhờ đó dòng điện làm việc qua R_H cũng biến đổi, khi U_{RH} bù được E_M thì quá trình chỉnh định dòng điện kết thúc, lúc đó có $I_{RH} = E_M : R_H$ dòng điện làm việc theo các vế cầu cũng có trị số đúng qui định.

Trong khi chỉ định dòng điện làm việc, nếu các R_d , r_d đã bị ngắn mạch mà vẫn không đạt được thì đó là do E_L đã quá yếu cần phải thay pin khác ; có điện thế kế báo cho biết tình trạng trên bằng dấu hiệu “thay pin“ xuất hiện trên thước chia độ. Thao tác chỉnh định dòng điện làm việc trong một số điện thế cũng được tự động hóa nhờ các cơ cấu cơ khí và thực hiện theo chu kỳ (8 giờ hoặc 24 giờ chỉnh định 1 lần).

Sơ đồ trên dùng 2 điện trở dây quấn R cấu tạo hoàn toàn như nhau và nối như hình vẽ, giữ cho điện trở bị tiếp điểm làm mòn đều hơn, tổng trở của mạch cấp nhiệt không biến đổi. Thông thường khi sản xuất điện trở R không thể đảm bảo hoàn toàn như nhau, vì vậy phải dùng R_s để điều chỉnh giữ cho điện trở của nhánh $R // R_s$ có trị số qui định (thường là 90 ôm). Điện trở nhánh $R_v + r_v$ được chọn tùy theo khoảng thước chia độ, R_v là điện trở cố định còn r_v là điện trở phụ thêm để tiện điều chỉnh hạn đo trên.

Tất cả các điện trở trong sơ đồ đều làm bằng Manganin, riêng R_M thì làm bằng đồng (hoặc Ni) để tự động bù nhiệt độ đầu lạnh của cặp nhiệt, đầu lạnh của cặp nhiệt được đặt trong hộp chứa R_M nên có nhiệt độ như R_M . Điện trở R_1 và r_1 dùng xác định hạn đo dưới nên cũng làm như R_v và r_v để tiện điều chỉnh.

Điện trở R_2 chỉ là điện trở của vế cầu. Điện trở R_3 nối // với BKĐĐT có tác dụng giảm bớt độ nhạy của BKĐĐT khi chỉnh định dòng điện làm việc, nhiệm vụ của R_3 cũng giống như điện trở nối // với đồng hồ chỉ không.

Để giảm bớt mức độ can nhiễu có thể ảnh hưởng tới BKĐĐT, trong mạch cấp nhiệt có mạch lọc tạo bởi R_T và C_T . Đầu ra của mạch đo lường có hai tụ điện C , để làm mất tia lửa của tiếp điểm, giảm bớt can nhiễu.

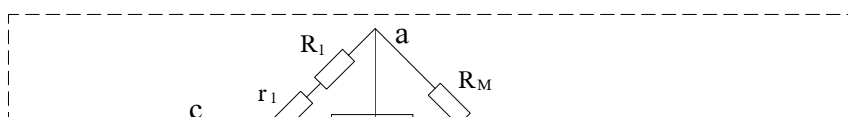
Điện áp U_{ef} để bù E_T có thể tính theo nhánh edbf hoặc ecaf nhưng thường là tính theo nhánh ecaf vì thuận tiện hơn và trong đó có cả điện trở R_M .

Tính năng của ĐTKĐT:

- cấp chính xác thông thường đối với phân chỉ thị $0,5 \div 0,1$.
- phần tự ghi $1,5 \div 1$.
- hạn nhảy cỡ $10\mu v$.
- thời gian tác động từ $4 \div 20$ giây.
- nó có thể chỉ thị cũng như ghi lại số đo 1 hoặc nhiều điểm .

Nhờ ứng dụng những thành tựu trong kỹ thuật bán dẫn nên điện thế kế tự động ngày càng được cải tiến hoàn thiện hơn. Gần đây người ta đã dùng loại ĐTKĐT không có biến trở dây quấn, không dùng pin làm việc và pin chuẩn mà thay bằng một nguồn cung cấp điện có điện áp ổn định.

Nút nhấn K nhằm để kiểm tra sự sai hay đúng của sơ đồ, khi ấn nút K thì đồng hồ phải chỉ nhiệt độ đầu tự do của cặp nhiệt hoặc khi không dùng đo nhiệt độ thì đồng hồ phải chỉ một trị số xác định.



2.4. NHIỆT KẾ ĐIỆN TRỞ (NKĐT)

Điện trở là một đặc tính vật liệu có quan hệ với nhiệt độ. Nếu xác định được mối quan hệ có trước thì sau này chỉ cần đo điện trở là biết được nhiệt độ của vật. Hệ thống đo nhiệt độ theo nguyên tắc trên gồm : phần tử nhạy cảm nhiệt thường gọi là nhiệt kế điện trở. Dây nối và đồng hồ thứ cấp. Dùng nhiệt kế điện trở đo nhiệt độ có thể đạt được chính xác rất cao, chính xác tới 0,02 °C thì thực hiện không khó khăn lắm, khi đo độ chênh nhiệt độ không lớn còn có thể đạt chính xác tới 0,005 °C. Cách đo này cho phép dễ dàng thỏa mãn các yêu cầu đưa số đi xa đo nhiều điểm và đo nhiệt độ thấp, phạm vi ứng dụng của nó - 200 °C ÷ 1000 °C.

2.4.1. Nguyên lý đo nhiệt độ bằng NKĐT

Nguyên lý: Dựa trên sự thay đổi điện trở (trở kháng) của vật liệu theo nhiệt độ.

Giả sử nhiệt kế điện trở có quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ là :

$$R_t = R_{t_0} [1 + \alpha (t - t_0)]$$

α - Hệ số nhiệt điện trở ; R_t và R_{t_0} là điện trở ở nhiệt độ t và t_0 .

$$\alpha = \frac{R_t - R_{t_0}}{R_{t_0}(t - t_0)} [^{\circ}\text{C}^{-1}] \text{ là hệ số nhiệt độ của điện trở, tức là độ biến đổi điện}$$

trở của 1 đơn vị điện trở khi nhiệt độ biến đổi 1 °C. Hệ số này của mỗi loại vật liệu một khác và nói chung đều biến đổi theo nhiệt độ.

α cũng chính là độ nhạy của đồng hồ, vì vậy đòi hỏi α phải có trị số lớn.

$$\text{nếu } \alpha = \text{hằng số và không phụ thuộc nhiệt độ} \Rightarrow \alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

R_0 : điện trở vật liệu ở 0°C , R_t ở $t^\circ\text{C}$

$$\alpha \text{ thay đổi theo nhiệt thì } \alpha = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{dR_t}{dt}$$

$$\alpha = 0,0035 \div 0,0065[^\circ\text{C}^{-1}] \text{ với vật liệu nguyên chất}$$

Ta cũng có thể viết :

$$\alpha(t - t_0) = \frac{R_t - R_{t_0}}{R_{t_0}}$$

Và $\frac{R_t - R_{t_0}}{R_{t_0}}$ gọi là suất biến đổi điện trở và thường đây là số chỉ của

đồng hồ và biểu thức đó biểu thị cho quy luật chia độ của đồng hồ.

Đặc điểm : Trong sơ đồ đo của NKĐT ta cần phải có nguồn điện ngoài ra kích thước của nó lớn nên phạm vi sử dụng bị hạn chế.

Vật liệu làm NKĐT phải có hệ số nhiệt trở lớn, bền hóa học, rẻ, dễ chế tạo.

Chọn vật liệu làm NKĐT : ít chọn hợp kim vì hệ số nhiệt điện trở của nó nhỏ, ngoài ra Ni và Fe mặc dù điện trở suất và α lớn nhưng đường đặc tính nhiệt độ điện trở phức tạp. Thường sử dụng Cu, Pt đường đặc tính nhiệt điện trở của chúng có dạng đường thẳng. Cu có khoảng đo từ $-50 \div 80^\circ\text{C}$, Pt có khoảng đo từ $-200 \div 1000^\circ\text{C}$. Ngoài ra còn sử dụng chất bán dẫn.

Pt là kim loại quý, bền hóa học, dễ chế tạo, nguyên chất.

Điện trở suất của Pt : $\rho_0 = 0,0981 \cdot 10^{-6} \Omega m$

Quan hệ nhiệt độ - điện trở :

$$+ 0 < t < 630^\circ\text{C} \quad R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

$$A, B : \text{hằng số} : - A = 3,96847 \cdot 10^{-3}$$

$$- B = -5,847 \cdot 10^{-7}$$

$$+ 0 < t < -183 \quad R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3) (t-100)$$

$$C = -4,22 \cdot 10^{-22}$$

Độ nguyên chất Pt được xác định bằng tỷ số $\frac{R_{100}}{R_0}$

Thường sử dụng Pt có độ nguyên chất $1,3925 \div 1,390$ để làm nhiệt kế điện trở.

Nhiệt kế điện trở Pt trong công nghiệp được sản xuất và chia độ theo tiêu chuẩn và lấy R_0 ở nhiệt độ 0°C của Pt

$$R_0 = 1 ; 5 ; 10 ; 50 ; 100 ; 500 \Omega$$

Một số trường hợp Sử dụng $R_0 = 46 \Omega$

Cu là vật liệu dẫn điện tốt

Điện trở suất $\rho_0 = 0,0155 \cdot 10^{-6} \Omega m$

Dễ kiếm, nguyên chất, dễ gia công, rẻ nhưng ở nhiệt độ cao dễ bị oxy hóa.

Hệ số nhiệt điện trở $\alpha = (4,25 \div 4,28) 10^{-3} ^\circ C^{-1}$

Trong khoảng nhiệt độ từ $-50 < t < 180^\circ C$ thì $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$

Độ nguyên chất của Cu dùng làm NKĐT là $\frac{R_{100}}{R_0} = 1,426$, nó có đặc điểm chỉ

đo nhiệt độ môi trường không ăn mòn và không có hơi ẩm để tránh oxy hóa.

Độ sai số cho phép là 1%.

Chất bán dẫn có quan hệ $R_T = R_0 \cdot e^{B(T^{-1} - T_0^{-1})}$

R_0 : Giá trị điện trở ở $T_0 = 273 ^\circ K$

B : Hằng số của chất bán dẫn

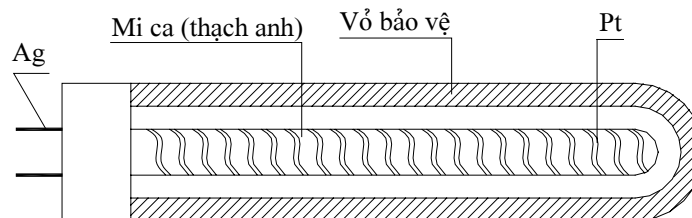
Chất bán dẫn có độ nhạy cao, kích thước của đầu nhiệt kế điện trở nhỏ nên được sử dụng ngày càng nhiều.

Nhược: Khi cấu tạo đòi hỏi nguyên chất cao (vì tránh sai số lớn).

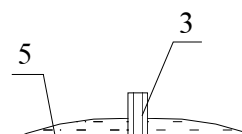
Sử dụng trong công nghiệp chưa nhiều Các chất bán dẫn thường dùng là hỗn hợp CuO, Mn, Mg, Ni, Coban.

2.4.2. Cấu tạo nhiệt kế điện trở (của bộ phận nhạy cảm)

Dây Pt dùng làm NKĐT được gấp đôi và quấn quanh lõi MiCa, dây không sơn cách điện, đường kính dây 0,07 mm, chiều dài dây $l > 100$ m (hoặc dây dệt có diện tích tiết diện là $0,002 mm^2$)



Cấu tạo khác: Thường ta dùng NK điện trở Pt làm nhiệt kế chuẩn. Còn nếu dùng dây Cu thì sơn cách điện dày $\phi 0,1$ mm và quấn thành lớp, lõi bằng nhựa dây nối đến đầu nhiệt kế bằng dây đồng $\phi = 1 \div 1,5$ mm ; một số trường hợp có thể đặt thêm một số vỏ bảo vệ.

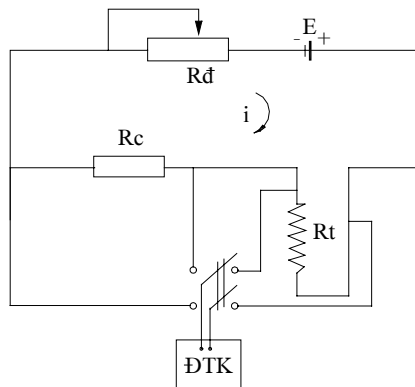


NKĐT bán dẫn có cấu tạo:

- 1- Vật bán dẫn
- 2- Nắp tiếp mạch
- 3- Dây nối (thường = Cu)
- 4- Vỏ kim loại bảo vệ
- 5- Chất cách điện (thủy tinh)
- 6- Thiếc
- 7- Sơn êmay cách điện.

2.4.3. Các cách đo điện trở Rt

1- Dùng điện thế kế và điện trở chuẩn :

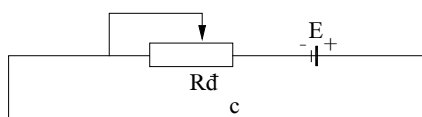


Trong sơ đồ đo, điện trở chuẩn R_c và điện trở R_t được mắc nối tiếp và dùng điện thế kế để đo điện áp U_c và U_t .

$$U_c = R_c \cdot i ; U_t = R_t \cdot i \Rightarrow R_t = \frac{U_t}{U_c} \cdot R_c$$

Phương pháp này tương đối chính xác được dùng trong phòng thí nghiệm.

2- Dùng cầu điện: có 3 cầu có thể dùng



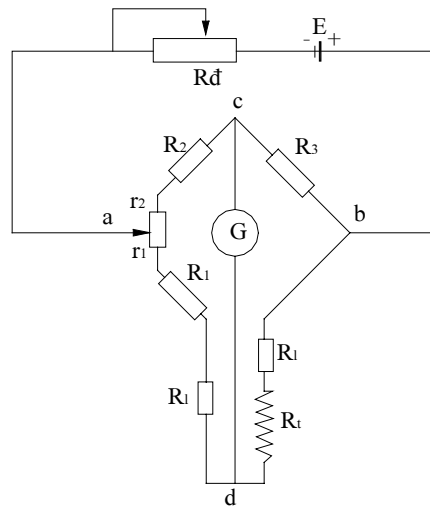
Cầu cân bằng 1

$$R_2 (R_l + R_t) = R_3 (R_1 + R_l) \Rightarrow R_t = \frac{R_3 (R_1 + R_l)}{R_2} - R_l$$

$$\text{Ta thường lấy } R_2 = R_3 \Rightarrow R_t = \frac{R_1 + R_l}{1} - R_l = R_1$$

Vậy : $R_t = R_1$ Người ta có thể xác định R_t nhờ đọc biến trở R_1 ảnh hưởng của dây dẫn là không đáng kể .

Cầu cân bằng 2



$$\text{Đối với mạch này ta có } \frac{r_2 + R_2}{R_3} = \frac{r_1 + R_1 + R_l}{R_t + R_l}$$

$$\Rightarrow R_t = \frac{r_1 + R_1}{r_2 + R_2} \cdot R_3 + \left(\frac{R_3}{R_2 + R_2} - 1 \right) \cdot R_l$$

Người ta thường bố trí sao cho $R_3 \ \& \ R_2 \gg r_{2\max}$

$$\Rightarrow R_t = \frac{R_1 + r_1}{R_2 + r_2} \cdot R_3$$

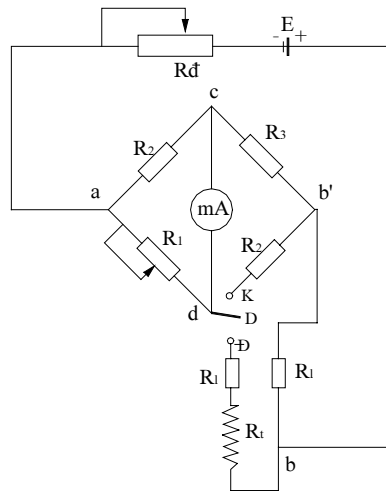
Nhược: - Phải điều chỉnh biến trở bằng tay sau đó phải tính toán ra kết quả
 - Sơ đồ sau chính xác hơn nhưng tốn dây dẫn hơn

Cầu không cân bằng:

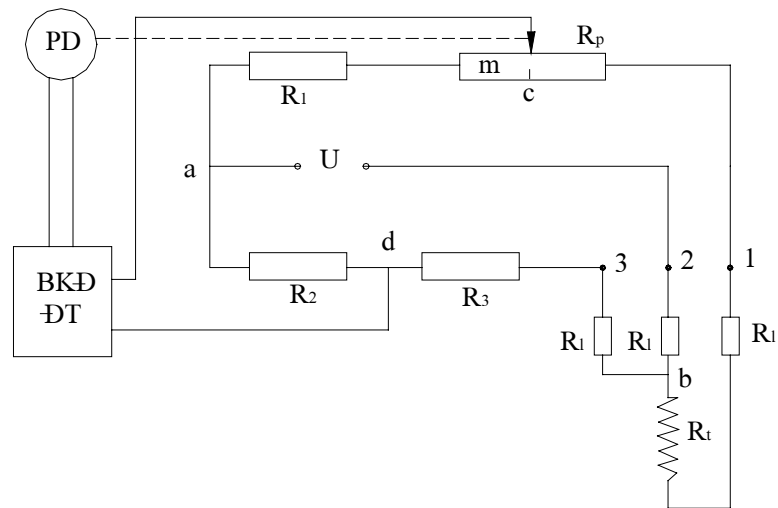
$$\text{Khi đo ta đóng cầu dao D sang vị trí Đ} \Rightarrow I_M = U_{ab} \cdot \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_t}{K}$$

Trong đó $K = R_M (R_1 + R_t) (R_2 + R_3) + R_2 \cdot R_3 (R_1 + R_t) + R_1 \cdot R_t (R_2 + R_3)$
 (ở công thức trên xem R_t không ảnh hưởng đến kết quả đo nên không viết)

Sơ đồ :



Nhận xét : Quan hệ I_M & R_t là không phải đường thẳng. Muốn xác định R_t phải cho U_{ab} là không đổi. Phải giữ U_{ab} cố định nên phải dùng R_d , trong thực tế ít dùng vì phức tạp và hơn nữa cần có thêm mA.

Cầu cân bằng điện tử tự động:

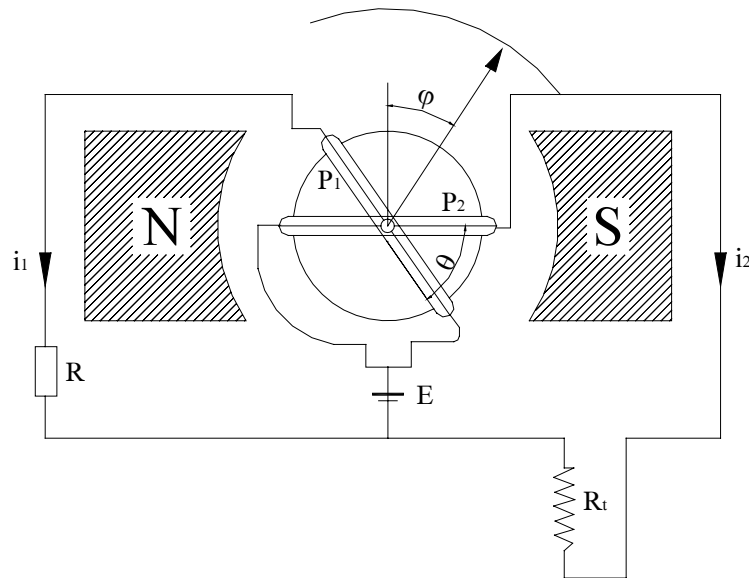
Sự cân bằng của cầu được thực hiện bằng cách thay đổi R_p nằm trong nhánh cb có chứa R_t nếu hiệu điện thế các đỉnh c,d của cầu không bằng nhau thì có dòng qua đường chéo này và qua BKĐĐT tín hiệu ra từ BKĐ làm động cơ thuận nghịch quay và làm thay đổi vị trí cần gạt trên R_p cho đến khi cầu cân bằng, R_p được tính toán và chế tạo sao cho khi nhiệt độ thay đổi trong khoảng đo thì cần gạt chạy từ đầu này đến đầu kia của biến trở.

Đại lượng m xác định vị trí cần gạt có thể xác định theo công thức :

$$m = \Delta R_t \cdot \frac{R_2}{R_p (R_2 + R_3)} \Rightarrow m : \text{Tỷ lệ với độ biến đổi } R_t$$

Nhận xét: - Số chỉ cầu không phụ thuộc vào điện áp U

- Số chỉ phụ thuộc tuyến tính vào sự biến đổi của tham số cần đo
- Thực hiện phép đo tự động
- Sơ đồ mắc 3 dây cho phép loại bỏ điện trở của dây dẫn
- Có thêm các bộ KĐĐT và động cơ thuận nghịch
- Khó đo được điện trở nhỏ

Lôgômmét (Tỷ số kế)*Sơ đồ ng.*

Điện trở hai khung như nhau $= R_k = R_{k1} = R_{k2}$, hai khung đặt lệch nhau 1 góc θ

E là nguồn điện một chiều cho dòng điện i_1 đi qua khung dây P_1 , dòng điện i_2 qua khung dây P_2 và và nhiệt kế điện trở R_t .

Các mô men quay $M_1 = k_1 \cdot B_1 \cdot i_1$

$$M_2 = k_2 \cdot B_2 \cdot i_2$$

Các khung dây quấn sao cho M_1 và M_2 ngược chiều

$$\Rightarrow k_1 \cdot B_1 \cdot i_1 = k_2 \cdot B_2 \cdot i_2$$

$$\Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{K_2 \cdot B_2}{K_1 \cdot B_1} = \frac{B_2}{B_1} = f(\varphi)$$

(Do $K_1 = K_2$ phụ thuộc kết cấu của khung dây, còn tỷ số giữa B_2 và B_1 phụ thuộc vị trí khung dây φ). Ngoài ra i_1 và i_2 là dòng của 2 nhánh.

$$\Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_t + R_k}{R + R_k} \Rightarrow R_t = f(\varphi)$$

Tùy theo vị trí của kim mà ta sẽ biết được R_t hoặc nhiệt độ t tương ứng theo R_t .

Nhận xét :

- Quan hệ này nói chung không phải là đường thẳng. Tuy nhiên ta cấu tạo sao cho từ trường càng ra ngoài càng yếu và $\varphi < 22^\circ$ thì quan hệ $R_t = f(\varphi)$ là đường thẳng.

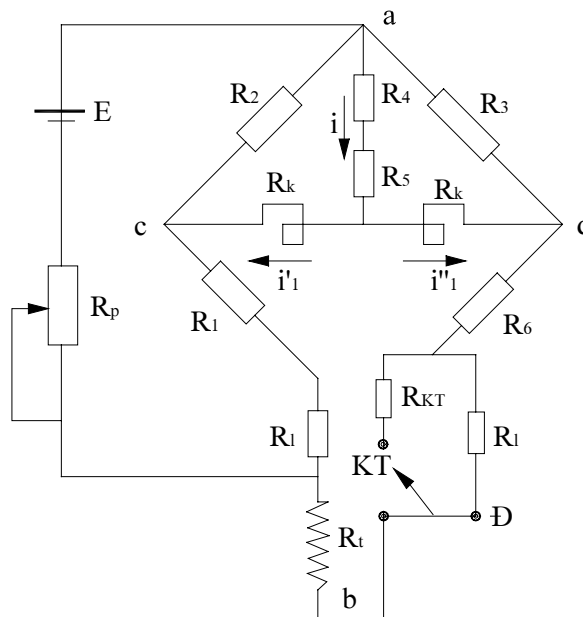
- Do có 3 đoạn dây nhỏ $\Rightarrow$ nếu đứt 1 trong 3 dây thì mô men bị triệt tiêu và kim dao động $\Rightarrow$ hỏng kim.

- Khi đứt mạch chính thì kim không chỉ.

- Nguồn điện không gây sai số đó (thường dùng $E = 4\text{V}$).

Sơ đồ lôgômmét đặt trong cầu không cân bằng:

Phối hợp tỷ số kế với cầu điện không cân bằng thì sẽ được một công cụ đo có nhiều tính năng tốt hơn loại tỷ số kế đơn giản trên để dùng trong công nghiệp.



R_{KT} dùng để kiểm tra sự chính xác ban đầu của lôgômmét ($R_{KT} = R_l$).

Nhận xét :

Dùng cầu không cân bằng nhằm tăng tỷ số dòng qua 2 khung $\frac{i_1'}{i_1''}$ (Do khi các

dòng i_1' và i_1'' thay đổi theo nhiệt độ) $\Rightarrow$ độ nhạy cao hơn.

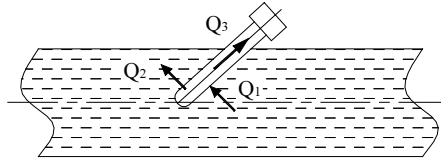
Nhờ cầu điện cho dòng điện không cân bằng đi qua nên khi i_1' và i_1'' thay đổi

thì tổng số $\frac{i_1'}{i_1''}$ tăng.

2.5. SAI SỐ NHIỆT ĐỘ THEO PHƯƠNG PHÁP TIẾP XÚC

Giả sử đo nhiệt độ trong môi trường có nhiệt độ t , bộ phận nhạy cảm sẽ cho số chỉ của nhiệt độ môi trường, nhưng thực chất đó không phải là nhiệt độ môi trường, vì do sự trao đổi nhiệt giữa môi trường và bộ phận nhạy cảm có tồn thất.

Sự trao đổi nhiệt giữa bộ phận nhạy cảm và môi trường dưới 3 hình thức



Q_1 , Q_2 , Q_3 .

Q_1 là nhiệt lượng mà bộ phận nhạy cảm nhận của môi trường. Tổng quát Q_1 có thể do bức xạ, dẫn nhiệt hoặc đối lưu. Trong một số trường hợp do sự biến động năng do va chạm. Ngoài ra còn có thể do các phản ứng hóa học hay lý học kèm theo tỏa nhiệt.

Q_2 là nhiệt lượng do bộ phận nhạy cảm bức xạ đến môi trường.

Q_3 là nhiệt lượng mất mát do dẫn nhiệt ra ngoài.

Khi cân bằng : $Q_1 = Q_2 + Q_3$

Muốn đo chính xác thì cần phải làm sao cho Q_2 và Q_3 ít nhất và sự thu nhiệt Q_1 nhanh nhất.

2.5.1. Đo nhiệt độ dòng chảy trong ống

* Điều kiện để xét bài toán gồm

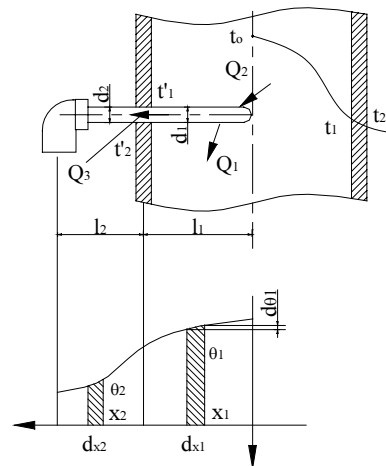
- Bộ phận nhạy cảm không có vách lạnh
- môi chất có nhiệt độ không quá cao
- tản nhiệt ở phần l_2 nhỏ

$\Rightarrow Q_1 = Q_2$ (Q_3 nhỏ). Gọi θ là

độ chênh nhiệt độ giữa đầu đo và môi chất

$$l_1 \cdot \alpha_1 \cdot u_1 \cdot \theta_1 = \lambda_1 \cdot F_1 \frac{d^2 \theta_1}{dx_1^2} l_1$$

$$\text{Phần ngoài } l_2 \cdot \alpha_2 \cdot u_2 \cdot \theta_2 = \lambda_2 \cdot F_2 \frac{d^2 \theta_2}{dx_2^2} l_2$$



α_1 - Hệ số tỏa nhiệt của môi chất trong ống đối với ống đo nhiệt độ.

α_2 - Hệ số tỏa nhiệt của ống đo nhiệt độ đối với môi chất bên ngoài.

u_1, u_2 - Là chu vi tiết diện ống đo ở phần trong và ngoài.

F_1, F_2 - Diện tích tiết diện ống đo ở phần trong và ngoài.

θ_1, θ_2 - Độ chênh nhiệt độ giữa bề mặt ống đo với môi chất ở trong và ngoài.

λ_1, λ_2 - Hệ số dẫn nhiệt của các đoạn ống đo ở trong và ngoài

Điều kiện biên: $x_1 = 0 \quad \frac{d\theta_1}{dx_1} \Big|_{x_1=0} = 0$

$$x_2 = l_2 \quad \frac{d\theta_2}{dx_2} \Big|_{x_2=l_2} = 0$$

Nếu giữa vách ống và đầu đo không có dẫn nhiệt thì ta có :

$$\frac{d\theta_1}{dx_1} \Big|_{x_1=0} = \frac{d\theta_2}{dx_2} \Big|_{x_2=l_2}$$

$$\Rightarrow \theta_1 \Big|_{x_1=l_1} + \theta_2 \Big|_{x_2=0} = (t_o - t_w) + (t_w - t_3) = t_o - t_3 \quad (\text{tính chất liên tục của } \theta)$$

Từ các điều kiện trên ta giải ra được :

$$\theta_1 = \frac{b_2 \cdot ch(b_1 x_1) (t_o - t_3)}{[b_2 \cdot ch(b_1 l_1) + b_1 ch(b_2 l_2)] \cdot Sh(b_1 l_1)}$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{\alpha_1 u_1}{\lambda_1 F_1}} \quad b_2 = \sqrt{\frac{\alpha_2 u_2}{\lambda_2 F_2}}$$

Ta cần tìm $\theta_1 \Big|_{x_1=0}$ (tâm dòng chảy)

a/ Đối với cặp nhiệt:

Khi thay $x_1 = 0$ vào công thức trên

$$\Rightarrow \theta_1 = \frac{t_o - t_3}{ch(b_1 l_1) \left[1 + \frac{b_1}{b_2} + th(b_1 l_1) \cdot ch(b_2 l_2) \right]}$$

Từ kết quả đó ta rút ra các kết luận sau :

- Khi đo $(t_o - t_3)$ càng lớn thì sai số θ_1 càng lớn và dấu của sai số phụ thuộc vào nhiệt độ môi chất trong và ngoài ống.

- Vì $Q_3 \neq 0$ nên sai số θ_1 bao giờ cũng $\neq 0$.

Vậy bao giờ cũng xuất hiện sai số đo.

- Nếu tăng l_1 và giảm l_2 thì sẽ giảm được θ_1 .

- Nếu tăng b_1 (tăng α_1 , tăng u_1 giảm F_1 & λ_1) thì θ_1 giảm.

- Nếu giảm b_2 thì cũng giảm được sai số θ_1 .

b/ Đối với nhiệt kế điện trở:

$$\theta_1 = \frac{l}{2} \int_0^l \theta_1 dx_1 \quad l : \text{chiều dài của đoạn điện trở}$$

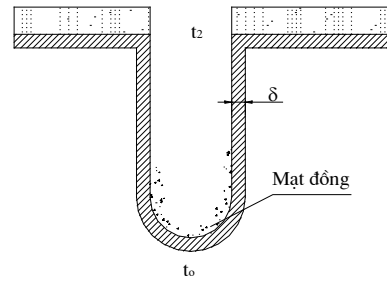
c/ Đối với nhiệt kế thủy tinh:

$$l_2 = 0$$

$$x_1 = 0 \quad \text{thì} \quad \frac{d\theta_1}{dx_1} = 0$$

$$x_1 = l_1 \quad \text{thì} \quad \theta_1 = t_o - t_2$$

$$\Rightarrow \theta_1|_{x_1=0} = \frac{t_o - t_2}{ch(b_1 \cdot l_1)}$$



Vậy khi dùng NK thủy tinh để đo môi chất chảy trong ống mà ống bảo vệ không có phần ngoài ống, cấp nhiệt tốt thì sai số đó rất nhỏ.

2.5.2. Đo nhiệt độ khi gần ống đo có vách lạnh

Trong thực tế ta thường đo nhiệt độ của dòng môi chất mà gần nó có những vật có nhiệt độ thấp hơn nhiều. Do đó sự hấp thụ nhiệt từ ống đo đến các bề mặt này (Q_2) tăng, mà $Q_1 = Q_2 + Q_3$. Do đó cần phải giảm Q_3 càng nhỏ càng tốt.

Các cách làm giảm sai số đo :

- Tạo vách chắn để buộc dòng phải qua toàn bộ l_1
- Bảo ôn phần l_2 nhằm giảm Q_3
- Dùng màng chắn nhiệt (giảm Q_2)

Dùng vách chắn

Do có vách chắn và xem $Q_3 = 0$

$$\Rightarrow Q_1 = Q_2 \quad \text{hay} \quad \alpha_1 \cdot u_1 \cdot \theta_1 dx_1 = C_o \cdot \varepsilon u_1 \cdot [(T_o - \theta_1)^4 - T_1^4] dx_1$$

α_1 - Hệ số tỏa nhiệt của khí đến ống đo

T_1 - Nhiệt độ tuyệt đối của bề mặt lạnh

T_o - Nhiệt độ tuyệt đối của dòng khí

C_o - Hệ số tỏa nhiệt bức xạ

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_T} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

ε_T - độ đen bề mặt ống đo nhiệt

F_1 - diện tích ống đo nhiệt đặt nằm trong (không kể phần ngoài)

ε_2, F_2 - độ đen và bề mặt nhận nhiệt

Do ($F_1 \ll F_2$) nên $\varepsilon = \varepsilon_T$

Trong trường hợp $\alpha_1, u_1, \varepsilon$ đều không phụ thuộc vào x_1 (chiều dài ống) thì ta có

$$\alpha_1 \cdot \theta_1 = C_o \cdot \varepsilon [(T_o - \theta_1)^4 - T_1^4]$$

$$Q_3 = 0 \quad \text{nên} \quad \theta_1 = T_o - T \Rightarrow \alpha_1 \cdot (T_o - T) = C_o \cdot \varepsilon [T^4 - T_1^4]$$

$$\Rightarrow T_0 - T = \frac{C_0 \cdot \varepsilon}{\alpha_1} [T^4 - T_1^4] = \frac{C_1}{\alpha_1} [T^4 - T_1^4]$$

C_1 - hệ số tỏa nhiệt bức xạ của ống đo và $= C_0 \cdot \varepsilon_T$

Ví dụ:

Nếu $t = 500^\circ\text{C}$, $t_1 = 400^\circ\text{C}$, $\varepsilon_1 = 25 \text{ kCal/m}^2 \text{ h.K}$, $C_1 = 4.10^{-8} \text{ kCal/m}^2 \text{ h.K}^4$

Thì $T_0 - T = 243^\circ\text{C} \Rightarrow T_0 = 748^\circ\text{C}$ ($\theta_1 = 248^\circ\text{C}$)

Trong thực tế thường không tính toán theo công thức trên vì rất khó xác định được C_1 , α_1 , t_1

Thực tế người ta giảm sai số bằng phương pháp sau:

Dùng màng chắn nhiệt:

$$T_0 - T = \frac{C_1}{\alpha_1} (T^4 - T_3^4)$$

C_1 - Tính cho cả hệ đầu đo và màng chắn.

Vì màng chắn gần đầu đo $\Rightarrow T_3 = T$

$\Rightarrow$ Sai số đo giảm.

Giảm C_1 : bằng cách mạ (hoặc làm nhẵn) phía trong màng chắn.

Dựa vào phương trình cân bằng nhiệt của màng chắn ta tính được T_3

$$\alpha_3 F' (T_0 - T_3) + C_1 F_1 (T^4 - T_3^4) = C_3 F_3 (T_3^4 - T_1^4)$$

$F' = 2F_3$ là bề mặt truyền nhiệt đối lưu.

α_3 - hệ số tỏa nhiệt đối lưu của khí đến màng chắn (ống che)

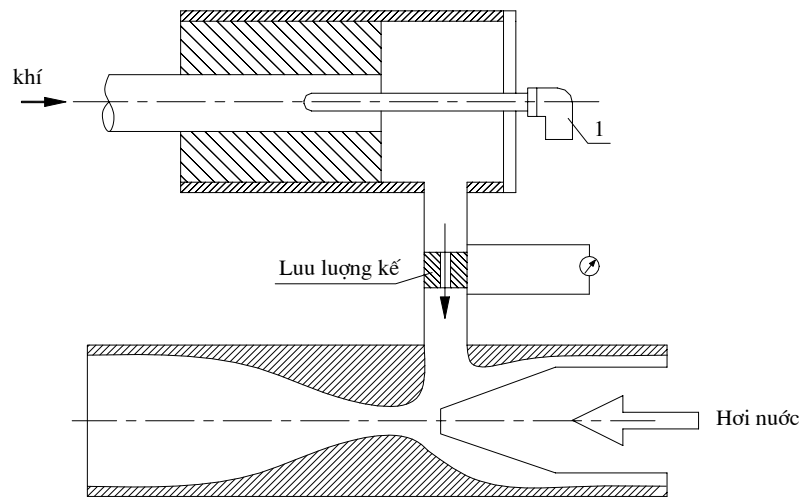
Ví dụ: màng chắn có $d_3 = 10$. d_1 (d_1 : đường kính ống đo)

$$\left. \begin{array}{l} C_1 = 0,3.10^{-8} \text{ kCal/m}^2 \text{ h.K}^4 \\ C_3 = 4.10^{-8} \text{ kCal/m}^2 \text{ h.K}^4 \\ \alpha_3 = 25 \text{ kCal/m}^2 \text{ h.K}^4 \end{array} \right\} \Rightarrow \theta_1 = 53^\circ\text{C}$$

Dùng ống hút khí:

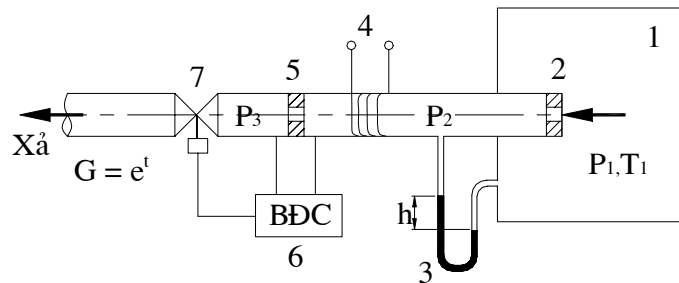
Cặp nhiệt hút khí gồm : nhiệt kế nhiệt điện 1, cửa tiết lưu đo tốc độ 2 và ống phun hơi.

Nguyên lý : ta tăng tốc độ dòng khí $\Rightarrow \alpha$ tăng $\Rightarrow$ sai số giảm thường dùng trong thí nghiệm phức tạp vì cần thêm năng lượng bên ngoài.



Nhiệt kế khí động

Trong thực tế người ta đã nghiên cứu phương pháp đo nhiệt độ kiểu tiếp xúc không dùng bộ phận nhạy cảm để tránh sai số gây bởi bức xạ. Một trong số đó là NKKĐ phương pháp đo mới này gần đây đã được dùng phổ biến để đo nhiệt độ khí trong lò công nghiệp.



Nhiệt kế khí động, dùng đo nhiệt độ khí trong lò công nghiệp

1- lò công nghiệp, 2- tiết lưu, 3- áp kế có thang đo nhiệt độ, 4- thiết bị làm nguội, 5- tiết lưu, 6- bộ điều chỉnh, 7- van đ/chỉnh lưu lượng khí xả ra ngoài là không đổi.

Khí trong lò công nghiệp có áp suất p_1 , và nhiệt độ $T_1(^{\circ}\text{K})$ sau khi qua cửa tiết lưu 2 thì được 4 làm nguội đến nhiệt độ môi trường xung quanh, sau đó đi qua cửa tiết lưu 5 qua van 7 rồi xả ra ngoài. Nhờ BDC 6 để điều chỉnh van 7 giữ cho hiệu áp ở 2 bên cửa tiết lưu 5 không đổi, do đó lưu lượng trọng lượng của dòng khí cũng không đổi. Dựa vào hiệu áp ở áp kế 3 mà ta biết được $(p_1 - p_2)$ rồi tìm ta T_1 theo công thức:

$$T_1 = C_1 (P_1 - P_2)$$

C_1 - hằng số của hệ thống, P_1 - áp suất (áp suất bên trong)

2.6. ĐO NHIỆT ĐỘ BẰNG PHƯƠNG PHÁP GIÁN TIẾP

Quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật có thể diễn ra dưới hình thức bức xạ nhiệt, không cần các vật đó trực tiếp tiếp xúc với nhau. Bức xạ nhiệt chính là sự truyền nội năng của vật bức xạ đi bằng sóng điện từ. Khi một vật khác hấp thụ sóng điện từ của vật bức xạ thì sóng điện từ đó lại được chuyển thành nhiệt năng. *Bất kỳ một vật nào sau khi nhận nhiệt thì cũng có một phần nhiệt năng chuyển đổi thành năng lượng bức xạ, số lượng được chuyển đổi đó có quan hệ với nhiệt độ*. Vậy từ năng lượng bức xạ người ta sẽ biết được nhiệt độ của vật. Dụng cụ dựa vào tác dụng bức xạ nhiệt để đo nhiệt độ của vật gọi là hỏa kế bức xạ, chúng thường được dùng để đo nhiệt độ trên 600 °C.

Nếu bức xạ có bước sóng $\lambda = 0,4 \div 0,44 \mu\text{m} \rightarrow$ tím than

$\lambda = 0,44 \div 0,49 \mu\text{m} \rightarrow$ xanh đậm - xanh da trời

$\lambda = 0,49 \div 0,58 \mu\text{m} \rightarrow$ xanh lá cây thắm

$\lambda = 0,58 \div 0,63 \mu\text{m} \rightarrow$ vàng nghệ

$\lambda = 0,63 \div 0,76 \mu\text{m} \rightarrow$ đỏ tươi - đỏ thắm

Một vật bức xạ một lượng nhiệt là Q (W) $\Rightarrow$ mật độ bức xạ toàn phần E (là năng lượng bức xạ qua một đơn vị diện tích)

$$E = \frac{dQ}{dF} \text{ W/m}^2, \quad Q = \sum_{i=0}^{\infty} Q_{\lambda} \Rightarrow E_{\lambda} = \frac{dQ_{\lambda}}{dF}$$

E_{λ} - mật độ phổ - bằng số năng lượng bức xạ trong một đơn vị thời gian với một đơn vị diện tích của vật và xảy ra trên một đơn vị độ dài sóng.

Cường độ bức xạ đơn sắc :

$$E_{\lambda} = \frac{dE}{d\lambda} \quad (\text{W/m}^3)$$

Dựa vào năng lượng do một vật hấp thụ người ta có thể biết được nhiệt độ của vật bức xạ nếu biết được các quan hệ giữa chúng.

Người ta có thể đo nhiệt độ bằng cách sử dụng các định luật bức xạ nhiệt.

2.6.1. Những định luật cơ sở về bức xạ nhiệt

a- Định luật Planck:

Đối với vật đen tuyệt đối thì quan hệ $E_{o\lambda}$ và T bằng công thức :

$$E_{o\lambda} = C_1 \cdot \lambda^{-5} \left[e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right]^{-1}$$

λ : độ dài của bước sóng

$$C_1, C_2 : \text{là hằng số Planck} \quad \begin{cases} C_1 : 0,370^{-15} \text{ W.m}^2 \\ C_2 : 1,438^{-2} \text{ m. K} \end{cases}$$

Nếu $T < 3000 \text{ }^\circ\text{K}$ và $\lambda \cdot T < 0,3 \text{ cm.K}$ thì sử dụng công thức trên là khá chính xác.

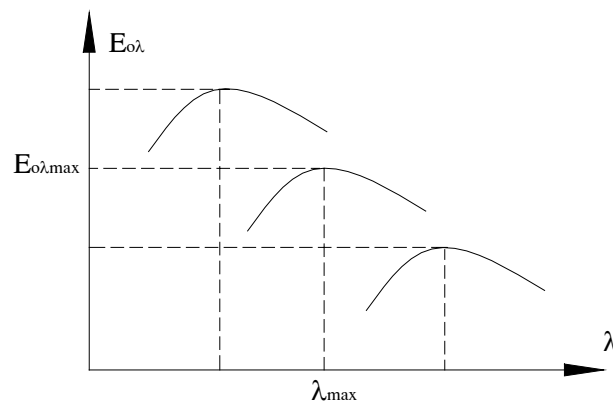
b- Định luật Stefan-Boltzman:

Cường độ bức xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối liên hệ với nhiệt độ của nó bằng biểu thức :

$$E_o = \int_0^\infty E_{o\lambda} d\lambda = C_o \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad C_o = 5,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

c- Định luật chuyển định của Wien:

Khi vật nhiệt độ T có cường độ bức xạ lớn nhất thì sóng $\lambda_{\max}$ sẽ quan hệ với nhiệt độ theo biểu thức : $\lambda_m \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \quad (\text{m. } ^\circ\text{K})$

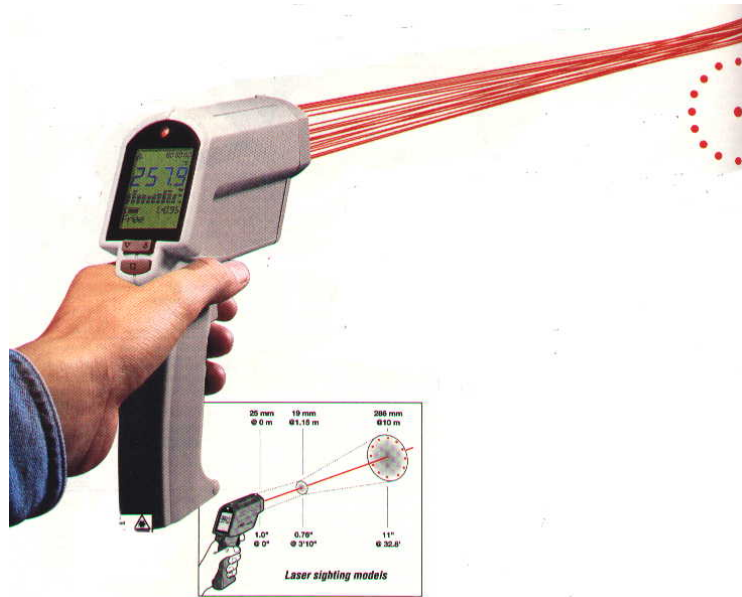


Khi nhiệt độ T càng lớn thì $\lambda_{\max}$ càng nhỏ.

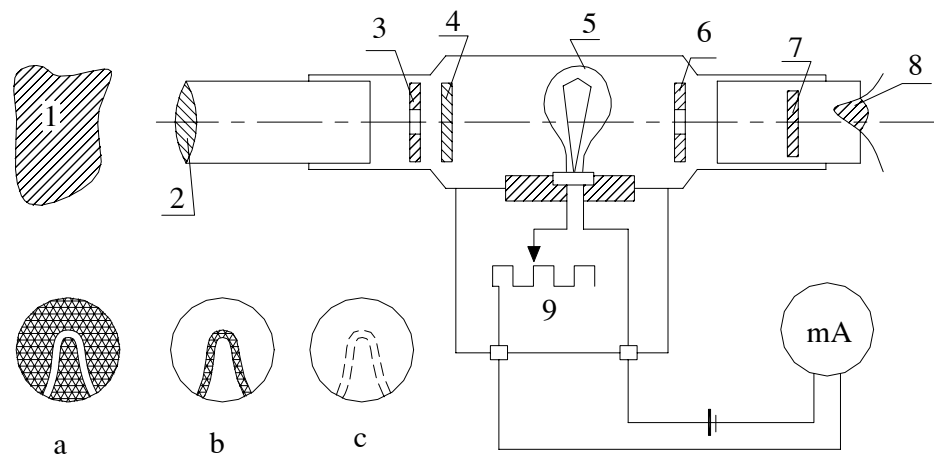
Người ta ứng dụng các định luật để làm các hỏa kế :

- Hỏa kế quang học : $T = f(E_{o\lambda}) \quad (\text{chính xác})$
- Hỏa kế b/xạ toàn phần : $T = f(E)$
- Hỏa kế so màu sắc : $T = f\left(\frac{E_{0\lambda 1}}{E_{0\lambda 2}}\right)$

2.6.2. Các dụng cụ đo nhiệt độ bằng phương pháp gián tiếp



2.6.2.1. Hỏa kế quang học



- 1- vật cần đo nhiệt độ 2- thấu kính (kính vật) 3- vòng đ/chỉnh
 4- kính mờ 5- bóng đèn 7- kính đỏ (bộ lọc)
 6-vòng đ/chỉnh 8- kính mắt (ống nhòm) 9- biến trở

Nguyên lý làm việc của hỏa kế quang học : so sánh cường độ sáng của vật cần đo với cường độ sáng của một nguồn sáng chuẩn đó là bóng đèn sợi đốt vonfram sau khi đã được già hóa trong khoảng 100 giờ với nhiệt độ 2000°C , sự phát sáng của đèn ổn định nếu sử dụng ở nhiệt độ $400 \div 1500^{\circ}\text{C}$. Cường độ sáng có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi dòng đốt hoặc dùng bộ lọc ánh sáng. Đầu tiên hướng ống kính về phía đối tượng cần đo, điều chỉnh kính vật

để ảnh thật của vật nằm trên mặt phẳng của dây tóc bóng đèn, điều chỉnh kính mắt để nhìn rõ ảnh vật và dây tóc bóng đèn. Sau đó điều chỉnh biến trở để độ sáng của dây tóc bằng độ cường độ sáng của đối tượng cần đo và được so sánh bằng mắt. Nếu cường độ sáng của đối tượng nhỏ hơn độ sáng của sợi đốt ta sẽ thấy được vệt sáng trên nền thẫm (a), nếu độ sáng của đối tượng lớn hơn độ sáng của sợi đốt ta sẽ thấy được vệt thẫm trên nền sáng (b), lúc độ sáng của đối tượng bằng độ sáng của sợi đốt thì hình ảnh của sợi đốt biến mất (c) (ta không thể phân biệt được vệt dây tóc bóng đèn). Lúc này ta đọc được giá trị nhiệt độ của đối tượng cần đo.

- Nhiệt độ đo được bằng phương pháp này gọi là nhiệt độ sáng T_s các hỏa kế quang học được chia độ theo bức xạ của vật đen tuyệt đối nên khi đo thực tế ta được nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ thật $T_s < T_r$.

Trong thực tế khi đo nhiệt độ của vật có $T < 3000^\circ\text{C}$ với bước sóng λ trong khoảng $0,4 \div 0,7 \mu\text{m}$ thì mật độ phổ bức xạ của vật đen tuyệt đối có quan hệ

với nhiệt độ theo định luật Planck $E_{0\lambda} = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$ còn đối với vật thật

$E_\lambda = \varepsilon_\lambda C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_r}}$. Các hỏa kế quang học cường độ sáng được khắc độ theo bức xạ của vật đen tuyệt đối nhưng khi đo thì đo vật thật nên từ các công thức

trên ta có quan hệ: $\frac{1}{T_r} = \frac{1}{T_s} + \frac{\lambda}{C_2} \ln \varepsilon_\lambda \Rightarrow T_r = f(T_s, \varepsilon_\lambda)$

T_s là nhiệt độ của vật đo.

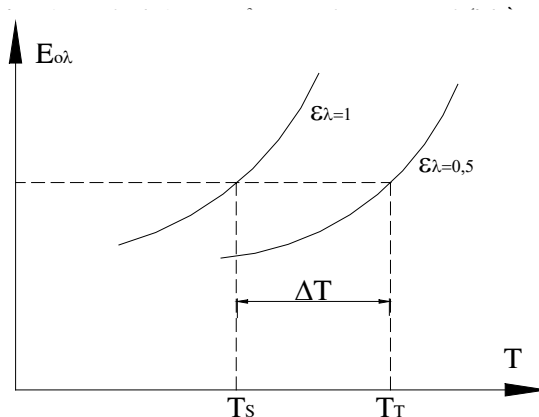
So sánh bằng cường độ sáng

Nhận xét:

định và lập

Trong một

trường hợp



ng độ bức xạ

nhất định. Vì

t độ.

; người ta xác

tìm cách tạo

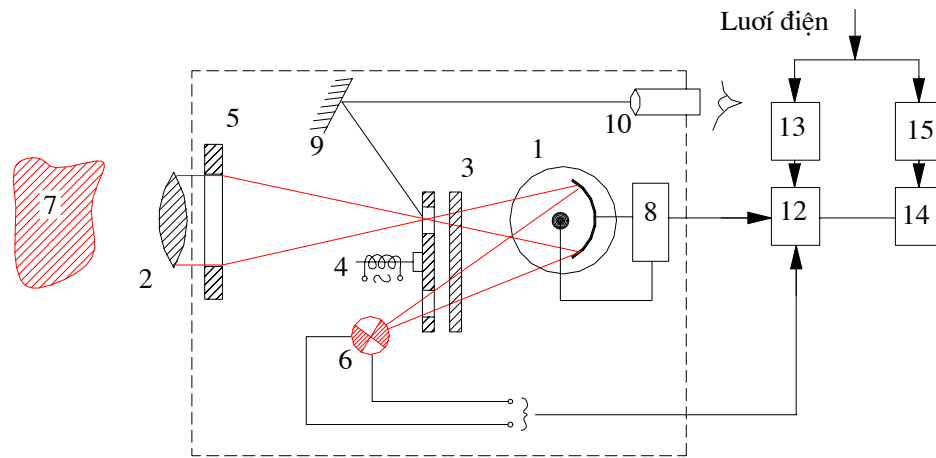
Ví dụ: Hỏa kế quang học đo nhiệt độ gang nóng chảy, kim đồng hồ chỉ 2000°K xác định nhiệt độ thật của nó.

Tra bảng với gang ta có $\varepsilon_\lambda = 0,4 \Rightarrow \Delta T = 180,5^\circ\text{K}$

Hỏa kế quang học đo nhiệt độ từ $700 \div 6000^\circ\text{K}$ có sai số cơ bản cho phép $0,6 \div 2\%$.

2.6.2.2. Hỏa kế quang điện

Nguyên tắc đo nhiệt độ của hỏa kế quang điện cũng tương tự như hỏa kế quang học song nhờ dùng đèn quang điện làm bộ phận nhạy cảm và thực hiện điều chỉnh độ sáng của bóng đèn một cách tự động nên hỏa kế quang điện là dụng cụ tự động đo được nhiệt độ các quá trình biến đổi nhanh có thể tự ghi số đo một cách liên tục và dùng trong các hệ thống tự động điều chỉnh nhiệt độ .

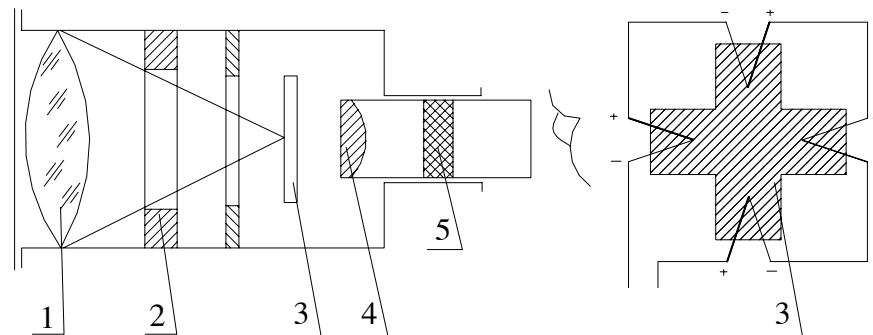


- 1- Đèn quang điện 2- Kính vật 3- Kính lọc
 4- Máy điều biến sóng ánh sáng kiểu chấn động điện từ 5- Màn điều tiết
 6- Bóng đèn 7- Vật cần đo 8- Bộ khuếch đại điện tử
 9- Gương phản xạ 10- Kính mắt 11- Bộ phận chứa đèn quang điện
 12- Hộp điện 13- Bphận ổn áp 14- Điện thế kế điện tử
 15- Biến áp cách ly.

Phạm vi đo 600÷2000 °C đặc biệt khi sử dụng kính mờ có thể đo đến 4000 °C.

2.6.2.3. Hỏa kế bức xạ toàn phần

Nguyên lý : ứng dụng định luật bức xạ toàn phần của Boltzman



- 1- Kính hội tụ 2- Vòng điều chỉnh 3- Tấm nhận bức xạ (bạc kim mạ đen)
 4- Kính mắt 5- Kính lọc

Chùm tia phát xạ được kính hội tụ trên tấm nhận bức xạ (nhiệt điện trở) và đốt nóng nó. Nhiệt điện trở được mắc vào một nhánh cầu tự cân bằng cung cấp từ nguồn điện xoay chiều tần số 50 HZ.

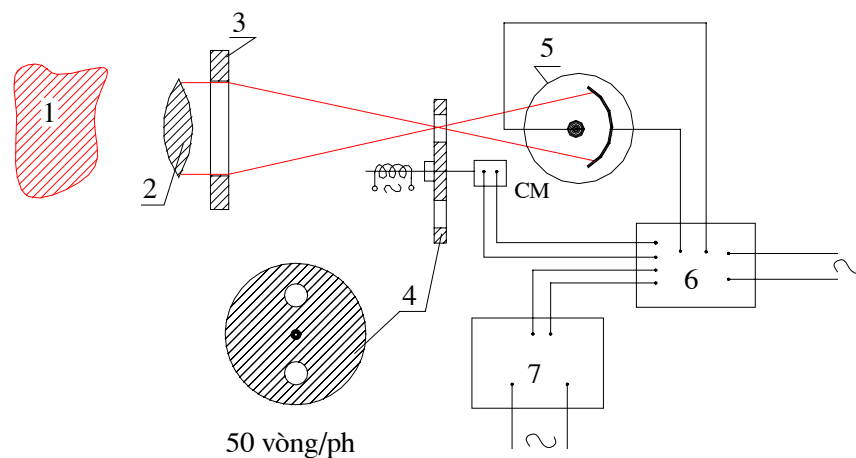
Nhiệt độ đo được của vật T_d bao giờ cũng nhỏ hơn nhiệt độ tính toán T_t .

Theo định luật Stefan-Boltzman ta có : $\sigma T_T^4 = \varepsilon_T \sigma T_d^4 \Rightarrow T_d = T_T \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon_T}}$

ε_T - hệ số bức xạ tổng xác định tính chất của vật và nhiệt độ của nó.

- Khoảng đo từ 1800 °C đến 3500 °C.

2.6.2.4. Hỏa kế so màu sắc



1- Vật cần đo 2- Thấu kính hội tụ 3- Vòng điều chỉnh 4- Đĩa quay
5- Phần tử quang điện 6- Bộ khuếch đại 7- Điện thế kế tự động

So sánh cường độ bức xạ hoặc độ sáng đối với hai sóng bức xạ khác nhau nhiệt độ đo trong trường hợp này gọi là nhiệt độ so độ sắc

Nguyên lý làm việc: Cường độ bức xạ từ vật đo 1 qua thấu kính hội tụ và tập trung ánh sáng trên đĩa quay, đĩa này quay quanh trục nhờ động cơ xoay chiều. Sau khi ánh sáng qua đĩa thì đi đến phần tử quang điện. Trên đĩa quay có khoan một số lỗ, trong đó một nửa đặt bộ lọc màu đỏ còn nửa kia đặt bộ lọc màu xanh. Sự chênh lệch giữa hai dòng quang điện do các xung lượng tạo ra gây nên trong BKĐ, một tín hiệu tỷ lệ với lôgarít tự nhiên của tỷ số hai dòng quang điện khi tấm chắn quay.

Khoảng đo từ 1400 ÷ 2800°C.

Ưu điểm:

- Nhiệt độ so màu sắc gần giống nhiệt độ thực hơn so với nhiệt độ độ sáng và nhiệt độ bức xạ .
- Việc xác định ε_{λ_1} đối với các đối tượng rất khó, trái lại xác định tỷ số độ đen của 2 sóng bức xạ $\varepsilon_{\lambda_1}/\varepsilon_{\lambda_2}$ dễ dàng và khá chính xác nên số bổ chính tìm được đáng tin cậy hơn, và sai số sẽ giảm đi nhiều.
- Ảnh hưởng do hấp thụ bức xạ của môi trường giảm rất nhỏ so với các hỏa kế khác.

CHƯƠNG 3 : ĐO ÁP SUẤT VÀ CHÂN KHÔNG

Tình trạng làm việc của các thiết bị nhiệt thường có quan hệ mật thiết với áp suất làm việc của các thiết bị đó. Thiết bị nhiệt ngày càng được dùng với nhiệt độ và áp suất cao nên rất dễ gây sự cố nổ vỡ, trong một số trường hợp áp suất (hoặc chân không) trực tiếp quyết định tính kinh tế của thiết bị, vì những lẽ đó mà cũng như nhiệt độ việc đo áp suất cũng rất quan trọng.

3.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ THANG ĐO ÁP SUẤT

3.1.1. Định nghĩa

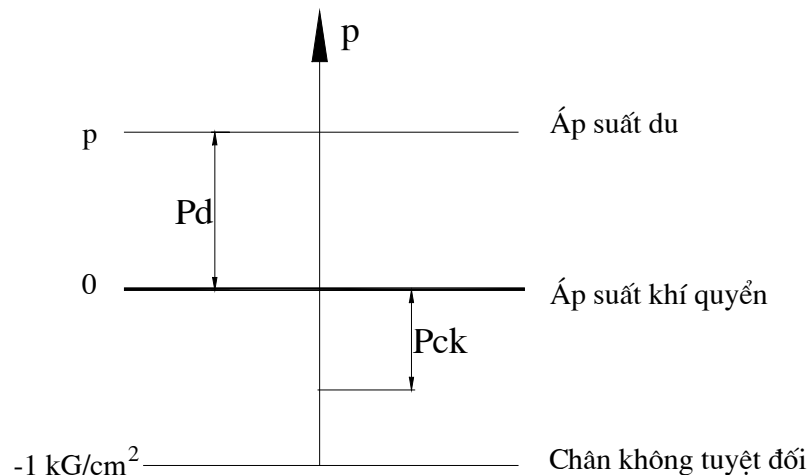
Áp suất là lực tác dụng vuông góc lên một đơn vị diện tích, ký hiệu p .

$$p = \frac{F}{S} \text{ [kG/cm}^2\text{]}$$

Các đơn vị của áp suất :	1Pa	=	1	N/m ²
	1 mm Hg	=	133,322	N/m ²
	1 mm H ₂ O	=	9,8	N/m ²
	1 bar	=	10 ⁵	N/m ²
	1 at	=	9,8. 10 ⁴	N/m ²
		=	1	kG/ cm ²
		=	10	m H ₂ O

Người ta đưa ra một số khái niệm như sau :

- Khi nói đến áp suất là người ta nói đến áp suất dư là phần lớn hơn áp suất khí quyển.



- Áp suất chân không : là áp suất nhỏ hơn áp suất khí quyển.
- Áp suất khí quyển (khí áp) : là áp suất khí quyển tác dụng lên các vật p_b (at).
- Áp suất dư là hiệu áp suất tuyệt đối cần đo và khí áp.

$$P_d = P_{td} - P_b$$

- Áp suất chân không là hiệu số giữa khí áp và áp suất tuyệt đối.

$$P_{ck} = P_b - P_{td}$$

- Chân không tuyệt đối không thể nào tạo ra được

3.1.2. Thang đo áp suất

Tùy theo đơn vị mà ta có các thang đo khác nhau như : kG/cm^2 ; mmH_2O .. .

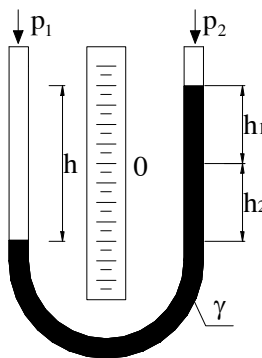
- Nếu chúng ta sử dụng các dụng cụ đơn vị : mmH_2O , mmHg thì H_2O và Hg phải ở điều kiện nhất định .

3.2. ÁP KẾ CHẤT LỎNG

Ta có thể chia các áp kế này thành các loại sau :

3.2.1. Loại dùng trong phòng thí nghiệm

1- *Áp kế loại chữ U*: Nguyên lý làm việc dựa vào độ chênh áp suất của cột chất lỏng : áp suất cần đo cân bằng độ chênh áp của cột chất lỏng



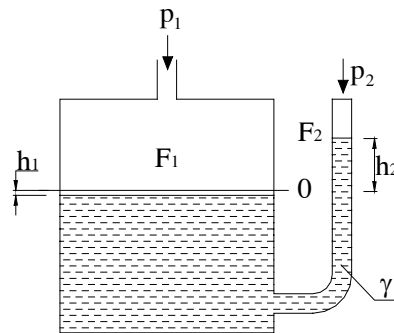
$$P_1 - P_2 = \gamma \cdot h = \gamma (h_1 + h_2)$$

- . Khi đo một đầu nối áp suất khí quyển một đầu nối áp suất cần đo, ta đo được áp suất dư.
- . Trường hợp này chỉ dùng công thức trên khi γ của môi chất cần đo nhỏ hơn γ của môi chất lỏng rất nhiều (chất lỏng trong ống chữ U).

Nhược điểm:

- Các áp kế loại kiểu này có sai số phụ thuộc nhiệt độ (do γ phụ thuộc nhiệt độ) và việc đọc 2 lần các giá trị h nên khó chính xác.
- Môi trường có áp suất cần đo không phải là hằng số mà dao động theo thời gian mà ta lại đọc 2 giá trị h_1 , h_2 ở vào hai điểm khác nhau chứ không đồng thời được.

2- Áp kế một ống thẳng :



$$\Delta P = \gamma (h_1 + h_2)$$

$$\text{mà } h_1 F_1 = h_2 F_2$$

$$\Rightarrow h_1 = h_2 \cdot \frac{F_2}{F_1}$$

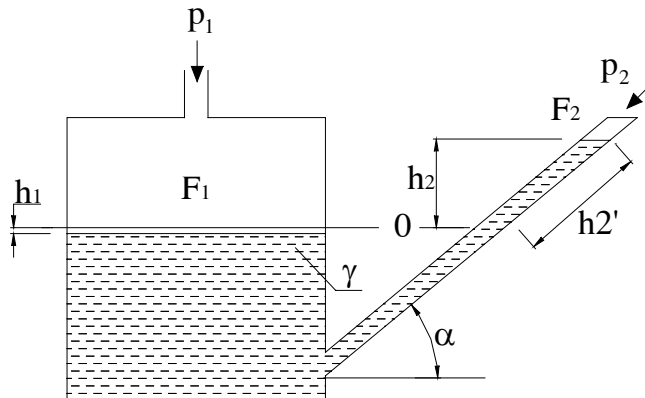
$$\Rightarrow \Delta P = \gamma h_2 \left(1 + \frac{F_2}{F_1} \right)$$

Ta thấy nếu biết : F_1 , F_2 thì khi đo ta chỉ cần đọc ở một nhánh tức là $h_2 \Rightarrow$ loại bỏ được sai số đo đọc hai giá trị.

Nếu $F_1 \gg F_2$ thì ta có thể viết được $\Delta P = \gamma h_2$.

Sai số của nó thường là 1%. Với môi chất làm bằng nước thì có thể đo 160 mm $H_2O \div 1000 \text{ mmH}_2O$.

3- Vi áp kế : loại này dùng để đo các áp suất rất nhỏ



Góc α có thể thay đổi được và bằng 60° , 30° , 45° ...

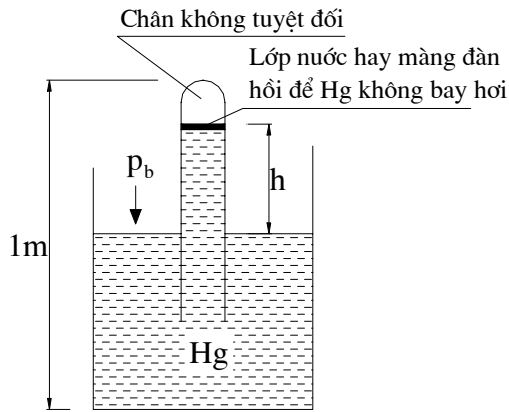
$$\text{Khi cân bằng : } \Delta P = (h_1 + h_2) \gamma \Rightarrow h_1 \cdot F_1 = h'_2 \cdot F_2 \Rightarrow h_1 = h'_2 \cdot \frac{F_2}{F_1}$$

$$\text{Mà } h_2 = h'_2 \cdot \sin \alpha \Rightarrow \Delta P = \gamma h'_2 \left(\frac{F_2}{F_1} + \sin \alpha \right)$$

Thay đổi (có thể thay đổi thang đo có thể đến 30mmH₂O do $h'_2 > h_2$ nên dễ đọc hơn do đó sai số giảm.

4- *Khí áp kế thủy ngân*: Là dụng cụ dùng đo áp suất khí quyển, đây là dụng cụ đo

khí áp chính xác nhất.



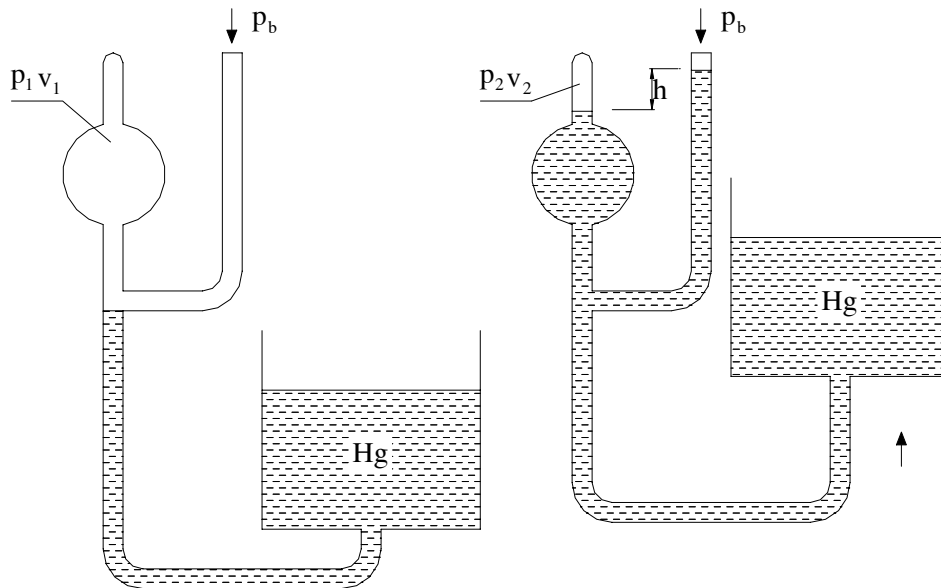
$$P_b = h \cdot \gamma_{Hg}$$

Sai số đọc 0,1mm

Nếu sử dụng loại này làm áp kế chuẩn thì phải xét đến môi trường xung quanh do đó thường có kèm theo 1 nhiệt kế để đo nhiệt độ môi trường xung quanh để hiệu chỉnh.

5- *Chân không kế McLeod*:

Đối với môi trường có độ chân không cao, áp suất tuyệt đối nhỏ người ta có thể chế tạo dụng cụ đo áp suất tuyệt đối dựa trên định luật nén ép đoạn nhiệt của khí lý tưởng.



Nguyên lý : Khi nhiệt độ không đổi thì áp suất và thể tích tỷ lệ nghịch với nhau.

$$P_1 V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad \text{Loại này dùng ta để đo chân không.}$$

Đầu tiên giữ bình Hg sao cho mức Hg ở ngay nhánh ngã 3. Nối P_1 (áp suất cần đo) vào rồi nâng bình lên đến khi được độ lệch áp là $h \Rightarrow$ trong nhánh kín có áp suất P_2 và thể tích V_2 .

$$\Rightarrow P_2 = P_1 + \gamma h \quad \Rightarrow V_2 (P_1 + \gamma h) = P_1 V_1 \quad \Rightarrow P_1 = \frac{h \cdot \gamma \cdot V_2}{V_1 - V_2}$$

- Nếu $V_2 \ll V_1$ thì ta bỏ qua V_2 ở mẫu $\Rightarrow P_1 = \frac{h \cdot \gamma \cdot V_2}{V_1}$

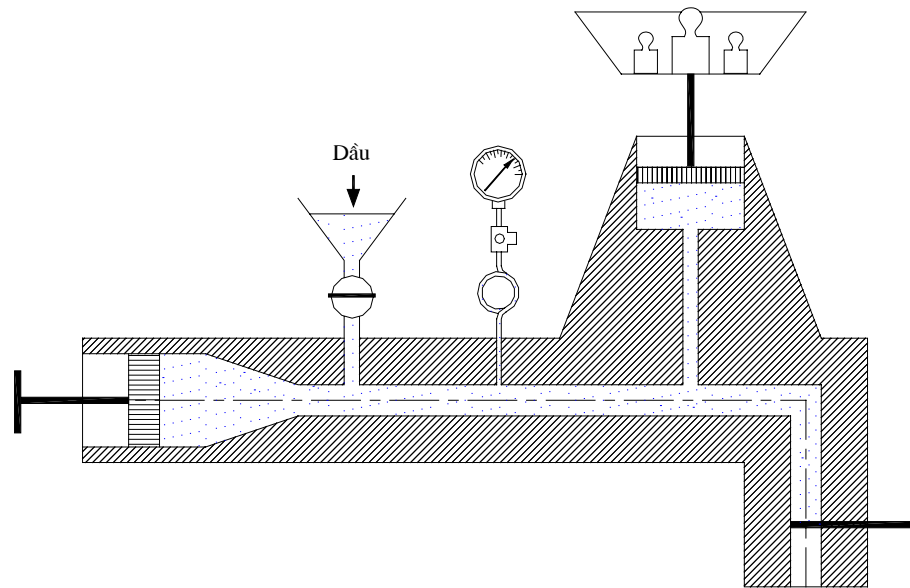
- Nếu giữ $\frac{V_2}{V_1}$ là hằng số thì dụng cụ sẽ có thang chia độ đều.

- Khoảng đo đến 10^{-5} mm Hg.

Người ta thường dùng với $V_{\text{Imax}} = 500 \text{ cm}^3$, đường kính ống $d = 1 \div 2,5 \text{ mm}$

6. Áp kế Pitston :

Chủ yếu dùng trong phòng thí nghiệm có độ chính xác cao, dùng căn chỉnh đồng hồ.



Khe hở giữa pít tông và xi lanh S phải thích hợp. Nếu S nhỏ thì ma sát lớn $\Rightarrow$ độ nhạy kém. Nếu S lớn $\Rightarrow$ dầu lọt ra ngoài nhiều $\Rightarrow$ không chính xác.

$S_{\text{pt}} = 0,5 \text{ cm}^2$ môi chất dùng là dầu biến áp hay dầu hỏa hoặc dầu tua bin hoặc dầu khoáng.

Tùy thuộc vào khoảng áp suất cần đo mà chọn độ nhớt dầu thích hợp. Khi nạp dầu thường nạp vào khoảng 2/3 xi lanh. Thường dùng loại này làm áp kế chuẩn để kiểm tra các loại khác.

Hạn đo trên thường : 2,5 ; 6,0 ; 250 ; 600 ; 2 500 ; 10 000 ; 25 000 kG/cm²

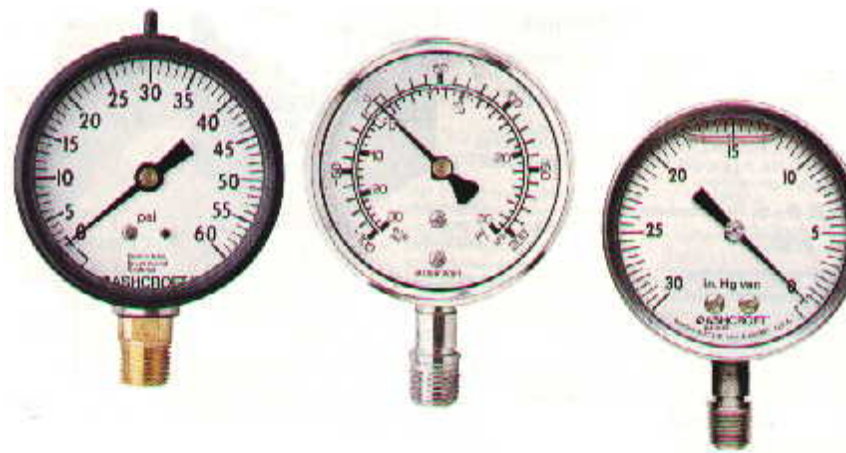
$$CCX = 0,2 \div 0,02.$$

Đặc điểm của loại áp kế pít-tông thì trước khi sử dụng phải kiểm tra lại các quả cân.

3.2.2. Loại dùng trong công nghiệp

Trong công nghiệp người ta thường dùng để đo hiệu áp suất gọi là *hiệu áp kế*

Áp kế và hiệu áp kế đàn hồi.

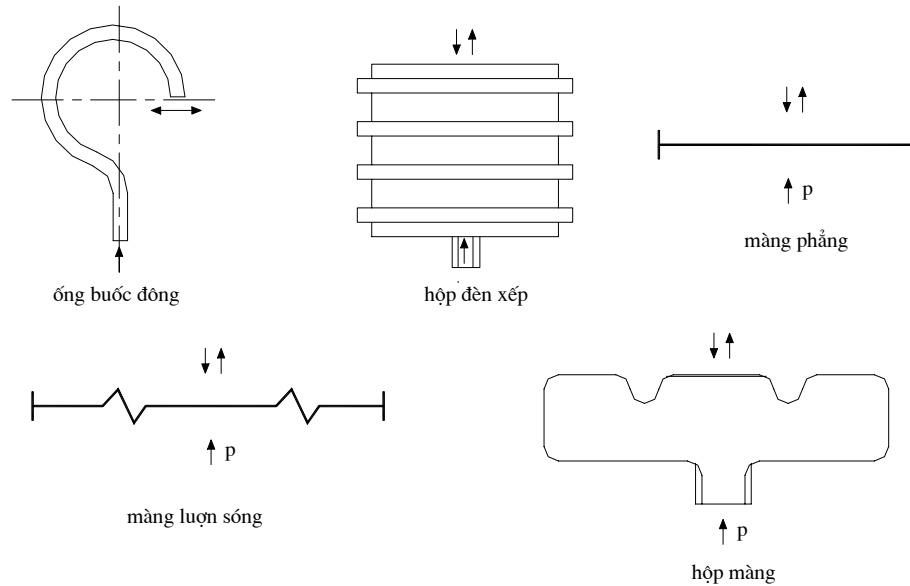


Bộ phận nhạy cảm các loại áp kế này thường là ống đàn hồi hay hộp có màng đàn hồi, khoảng đo từ 0 ÷ 10 000 kG/ cm² và đo chân không từ 0,01 ÷ 760 mm Hg.

Đặc điểm của loại này là kết cấu đơn giản, có thể chuyển tín hiệu bằng cơ khí, có thể sử dụng trong phòng thí nghiệm hay trong công nghiệp, sử dụng thuận tiện và rẻ tiền.

+ *Nguyên lý làm việc*: Dựa trên sự phụ thuộc độ biến dạng của bộ phận nhạy cảm hoặc lực do nó sinh ra và áp suất cần đo, từ độ biến dạng này qua cơ cấu khuếch đại và làm chuyển dịch kim chỉ (*kiểu cơ khí*).

+ Các loại bộ phận nhạy cảm:



+ Cấu tạo và phạm vi ứng dụng:

*** Màn phẳng :**

- Nếu làm bằng kim loại thì dùng để đo áp suất cao.
- Nếu làm bằng cao su vải tổng hợp, tấm nhựa thì đo áp suất nhỏ hơn (loại này thường có hai miếng kim loại ép ở giữa).
- Còn loại có nếp nhăn nhằm tăng độ chuyển dịch nên phạm vi đo tăng.
- Có thể có lò xo đàn hồi ở phía sau màng.

*** Hộp đèn xếp :** có 2 loại

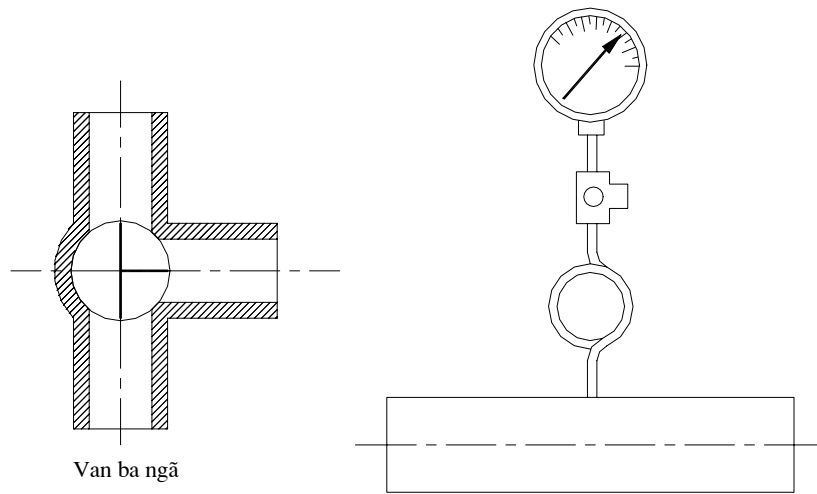
- Loại có lò xo phản tác dụng, loại này màng đóng vai trò cách ly với môi trường. Muốn tăng độ xê dịch ta tăng số nếp gấp thường dùng đo áp suất nhỏ và đo chân không.
- Loại không có lò xo phản tác dụng.

*** Ống bước đông:** Là loại ống có tiết diện là elíp hay ô van uốn thành cung tròn ống thường làm bằng đồng hoặc thép, nếu bằng đồng chịu áp lực $< 100 \text{ kG/cm}^2$ khi làm bằng thép ($2000 \div 5000 \text{ kG/cm}^2$). Và loại này có thể đo chân không đến 760 mm Hg.

. Khi chọn ta thường chọn đồng hồ sao cho áp suất làm việc nằm khoảng $2/3$ số đo của đồng hồ.

. Nếu áp lực ít thay đổi thì có khi chọn $3/4$ thang đo.

Chú ý: - Khi lắp đồng hồ cần có ống xi phông để cản lực tác dụng lên đồng hồ và phải có van ba ngã để kiểm tra đồng hồ.



- Khi đo áp suất bình chất lỏng cần chú ý đến áp suất thủy tĩnh.
- Khi đo áp suất các môi trường có tác dụng hóa học cần phải có hộp màng ngăn.
- Khi đo áp suất môi trường có nhiệt độ cao thì ống phải dài $30 \div 50$ mm và không bọc cách nhiệt.
- Các đồng hồ dùng chuyên dụng để đo một chất nào có tác dụng ăn mòn hóa học thì trên mặt người ta ghi chất đó.
- Thường có các lò xo để giữ cho kim ở vị trí 0 khi không đo.

3.3. MỘT SỐ LOẠI ÁP KẾ ĐẶC BIỆT

Trong phạm vi chân không cao và áp suất siêu cao hiện nay người ta đều dùng phương pháp điện để tiến hành đo lường, các dụng cụ đo kiểu điện cho phép đạt tới những hạn đo cao hơn và có thể đo được áp suất biến đổi rất nhanh.

Chân không kế kiểu dẫn nhiệt : Hệ số dẫn nhiệt của chất khí ở áp suất bình thường thì không có quan hệ với áp suất nhưng ở điều kiện áp suất tương đối nhỏ thì người ta thấy tồn tại quan hệ trên. Nhiệt độ dây dẫn khi đã cân bằng nhiệt sẽ thay đổi tùy theo hệ số dẫn nhiệt của khí và dùng cầu điện không cân bằng để xác định điện trở dây dẫn ta sẽ biết được độ chân không tương ứng.

Chân không kế Ion : Nhờ hiện tượng ion hóa tạo nên dòng ion trong khí loãng có quan hệ với áp suất nên từ trị số của dòng ion người ta xác định được độ chân không của môi trường. Có nhiều cách thực hiện việc ion hóa như : *dùng tác dụng của từ trường và điện trường, sự dục phát xạ của catốt được đốt nóng khi có điện*

áp trên anôt, dùng sự phóng xạ ... và tùy theo các cách đó mà ta có các chân không kế khác nhau.

Áp kế kiểu áp từ : Áp suất tạo ra ứng lực cơ học trong vật liệu sắt từ biến đổi sẽ làm biến đổi hệ số dẫn từ của vật liệu đó. Lợi dụng hiệu ứng áp từ ta có thể chế tạo được bộ nhạy cảm kiểu áp từ.

Áp kế áp suất điện trở : Muốn đo những áp suất lớn hơn 10.000 kG/cm^2 hiện nay hầu như chỉ có 1 cách duy nhất là dùng bộ phận nhạy cảm áp suất điện trở làm áp kế.

3.4. CÁC CÁCH TRUYỀN TÍN HIỆU ĐI XA

Trong đo lường thường sử dụng các thiết bị để truyền tín hiệu đi xa, các tín hiệu

đó là : - Góc quay trong ống bước đồng $P \Rightarrow \alpha$

- Sự chuyển dịch thẳng (màng) $P \Rightarrow h, x$

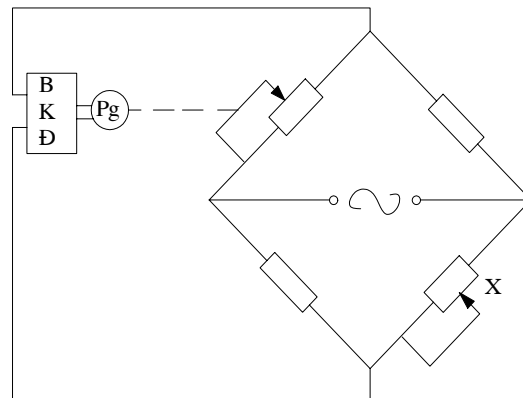
- Góc quay kết hợp với đo tổng giá trị góc và vận tốc quay tức thời.

- Độ nén, ép và mômen quay trong của sơ đồ bù.

Để truyền tín hiệu đi xa người ta thường dùng các hệ thống điện và khí nén.

3.4.1. Hệ thống dùng biến trở

Trong hệ thống truyền tín hiệu này dùng máy tạo nên độ chuyển dịch cơ giữa tiếp điểm trượt với biến trở nhờ đó có thể dựa vào sự biến đổi của điện trở để tìm ra giá trị của lượng cần đo. Và nhờ cầu điện để xác định độ biến đổi của điện trở. Ngoài ra ta còn có thể dùng điện thế kế để xác định độ biến đổi của điện trở.



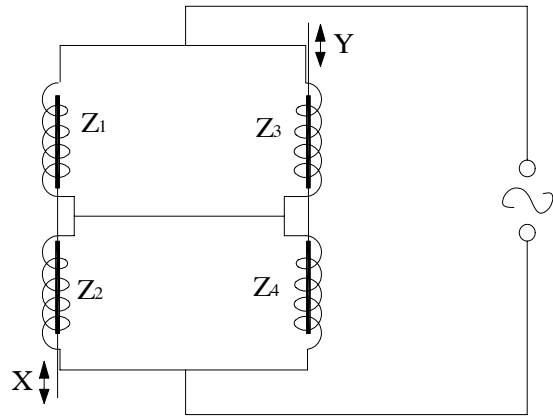
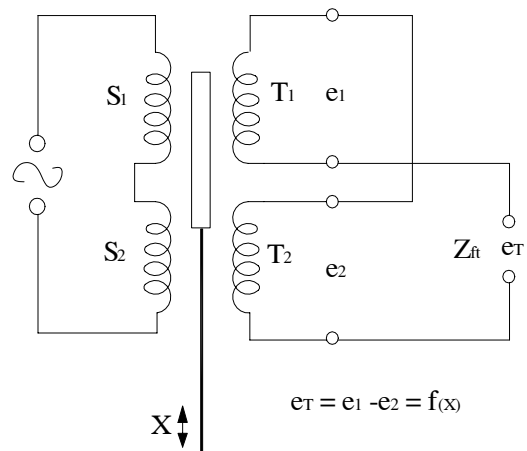
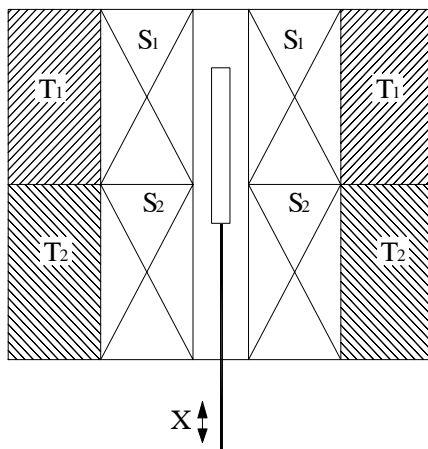
3.4.2. Hệ thống truyền xa kiểu cảm ứng

Nguyên lý làm việc:

Nếu đưa vào trong cuộn dây có dòng điện đi qua lõi sắt thì điện cảm của dây sẽ tăng lên và phụ thuộc vào vị trí của lõi sắt, biến đổi độ xê dịch của lõi sắt và làm thay đổi của điện cảm qua các cuộn. Mà sự thay đổi điện cảm này dẫn đến làm thay đổi vị trí của lõi sắt kia. Khi $X = 0$ thì lõi sắt nằm giữa các

cuộn dây. Khi $X \neq 0$ thì có dòng $I \neq 0$, dòng điện ở cuộn thứ cấp thay đổi tương ứng với dòng sơ cấp. Thường dùng mỗi cuộn dây có 3100 vòng làm bằng Cu

$$\phi = 0,64 \text{ mm} \Rightarrow Z = 20,8 \div 21,8 \Omega.$$

**3.4.3. Máy biến áp sai động**

Khi có điện áp U xoay chiều thì trong cuộn thứ cấp xuất hiện sđđ cảm ứng e_1 và e_2 . Trị số lệch pha của 2 sđđ này phụ thuộc vào vị trí và chiều chuyển động của lõi sắt.

Cấu tạo : thường mỗi cuộn sơ cấp 2700 vòng, mỗi cuộn thứ cấp 4000 vòng.

Dây đồng $\phi 0,27 \text{ mm}$ $U = 2,5 \div 6,3 \text{ v}$

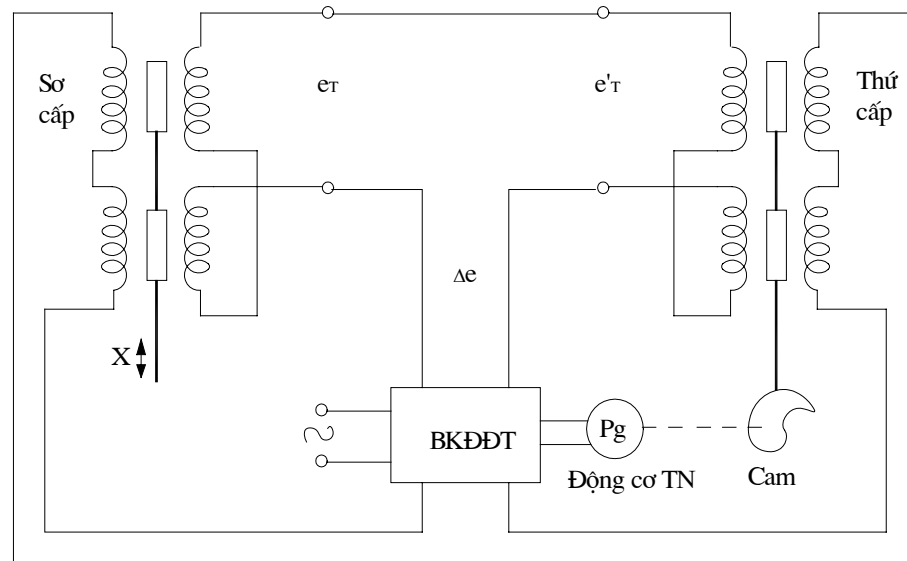
Đầu tiên chỉnh sao cho : $X = 0$ $e_T = 5 \text{ mv}$

Dòng do e_T sinh ra $I = \frac{M_1 U - M_2 U}{2Z + Z_{ft}}$ với M_1 và M_2 là hệ số hổ cảm của cuộn

dây s_1 và s_2 , Z - trở kháng của cuộn thứ cấp, Z_{ft} - trở kháng của phụ tải.

Trong một số trường hợp để thuận tiện cho việc chỉnh định thì các lõi sắt được gắn trên một thanh dễ dàng xê dịch được.

Hệ thống truyền đi xa dùng máy biến áp sai động



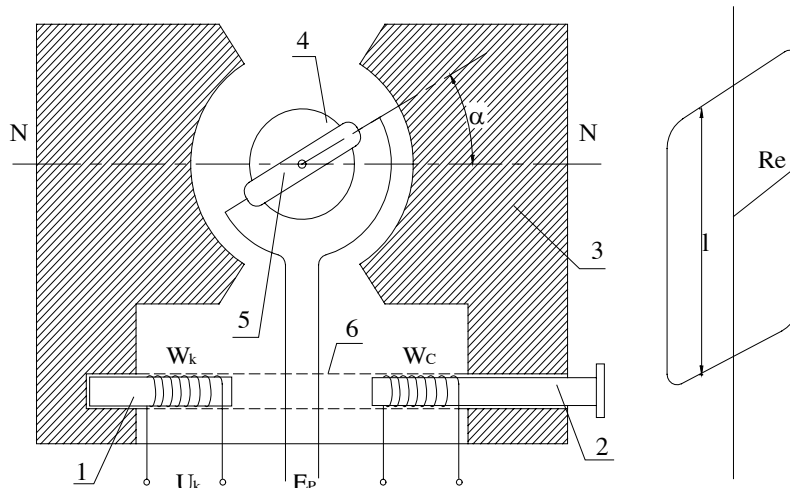
Các cấp trong sơ đồ.

Nguyên lý hoạt động : khi vị trí lõi sắt trong MBA phía sơ cấp và phía thứ cấp không như nhau thì $e_T \neq e_T' \Rightarrow$ xuất hiện $\Delta e \neq 0$ và tín hiệu này được đưa vào BKĐĐT góc pha của Δe sẽ quyết định chiều quay của ĐCTN (P_g) $\Rightarrow$ cam quay, đưa lõi sắt phía thứ cấp về vị trí tương ứng với lõi sắt phía sơ cấp cho đến khi $\Delta e = 0$ thì động cơ dừng lại.

Thực tế góc lệch pha giữa cuộn sơ và thứ cấp $\neq 0$ (do nhiệt độ khác nhau) $\Rightarrow$ trong mạch thứ cấp sẽ sinh ra điện áp không thể nào cân bằng được. Nếu độ chênh nhiệt độ phía sơ cấp và phía thứ cấp là 10°C thì sai số khi dùng MBA này là $0,1 \div 0,15\%$.

Người ta sử dụng hệ thống này để truyền xa cho các áp kế, dùng màng đàn hồi...

3.4.4. Bộ chuyển đổi sắt động



1- Chốt cố định

4- Lõi sắt

2-Chốt di động

5- Khung dây

3-Gông đỡ

6- ống dây nối 2 chốt

Nguyên lý : Cuộn dây kích thích W_k quấn quanh chốt 1 và nuôi bởi dòng xoay chiều U_k 50Hz 12 hoặc 60V.

Giả sử khung dây lệnh hướng N - N một góc α thì trong khung xuất hiện sđđ

$$E_p = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot \phi \quad \Rightarrow \quad E_p = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot B_c \cdot l \cdot R_c \alpha$$

l - chiều dài khung

R_c - bán kính khung

ϕ - số từ thông mắc vòng của khung dây

B_c - trị số biên độ cảm ứng ở giữa khung dây

Trường hợp nếu B_c có quan hệ tuyến tính : Suy ra $E_p = C \cdot \alpha$

Thường $\alpha = (-20^\circ \div +20^\circ)$,

$E_p = -1V \div 1V$

Khi điều chỉnh cuộn chuyển dịch W_c thì E_p

thay đổi đến khi $\alpha = -20^\circ$ lúc đó $E_p = 0$ và ta có

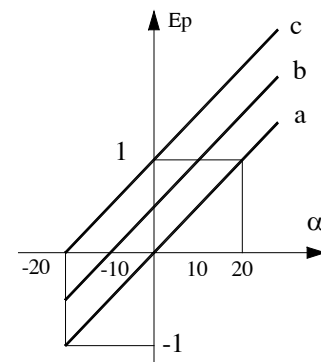
khoảng chia $0 \div 40^\circ$.

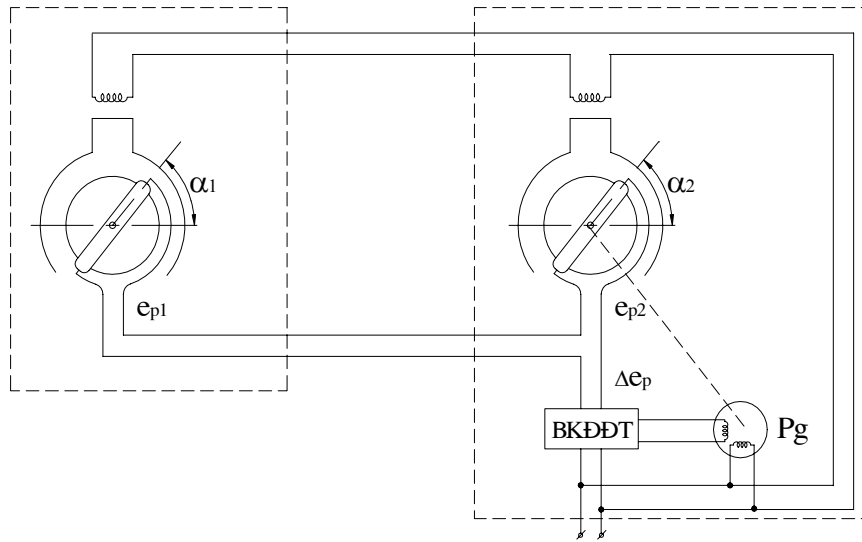
- a là đường khi không có cuộn dây chuyển dịch.

- b là đường khi có cuộn dây chuyển dịch.

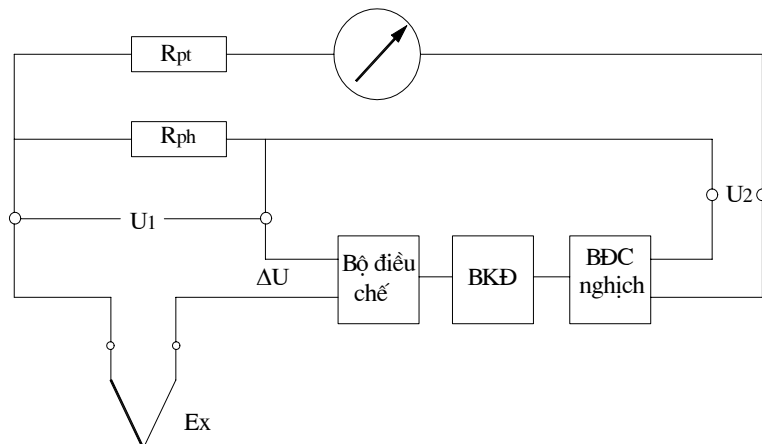
- c là đường khi có cuộn dây chuyển dịch gấp 2 lần.

Để thay đổi độ dốc của đường đặc tính ta thay đổi bằng chốt di động 2.



Sơ đồ nguyên lý:

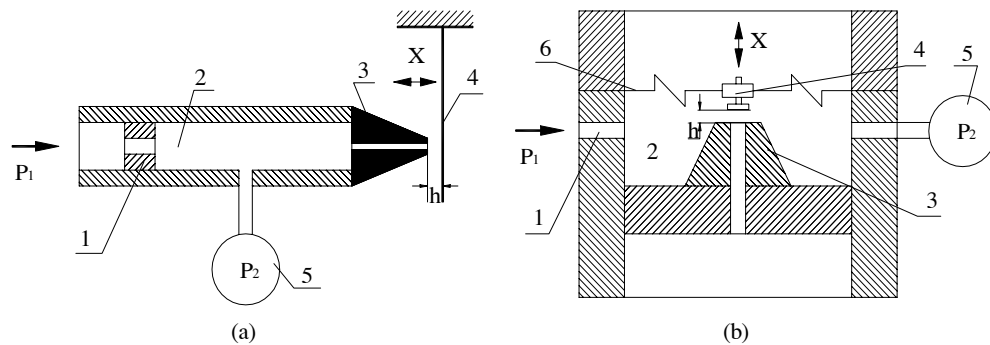
Bộ chuyển đổi phía sơ cấp và phía thứ cấp hoàn toàn như nhau. Hai cuộn dây kích thích của chúng mắc nối tiếp và dùng chung một nguồn điện với bộ khuếch đại điện từ, 2 khung dây mắc nối tiếp ngược để so sánh suất điện động cảm ứng của 2 bộ chuyển đổi với nhau, độ chênh lệch Δe giữa 2 suất điện động cảm ứng được đặt vào BKHDT $\Rightarrow$ chuyển động của động cơ thuận nghịch (Pg). Động cơ này sẽ đưa khung dây của bộ chuyển đổi phía đồng hồ thứ cấp về vị trí tương ứng để $\Delta e = 0$ lúc đó động cơ dừng lại và kết quả đo cũng được thể hiện trên đồng hồ thứ cấp. Hệ thống truyền xa sắt động thường hay dùng trong công nghiệp luyện kim, được dùng nhiều trong đo áp suất đo lưu lượng và đo mức cao của chất nước.

3.4.5. Bộ chuyển đổi dùng cho cặp nhiệt**Sơ đồ nguyên lý:**

Nguyên lý : Khi lượng cần đo (nhiệt độ) biến đổi dẫn đến xuất hiện hiệu điện thế giữa sdd Ex của cặp nhiệt hoặc giữa điện áp không cân bằng của cầu điện. Với điện áp phản hồi U_1 trên điện trở Rph đưa vào bộ điều chế rồi qua BKĐ và bộ điều chế nghịch. Dòng điện đi ra từ BĐCN qua đồng hồ đo qua Rpt và qua Rph đồng hồ sẽ cho biết trị số của lực cần đo khi U_1 có trị số đủ bù Ex ($U = 0$).

3.4.6. Bộ chuyển đổi dùng khí nén

Tùy theo ống phun đặt ngoài hay đặt trong buồng trung gian mà ta gọi là BCD ống phun trong ngoài.

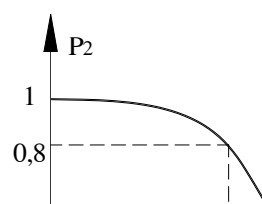


a- Bộ chuyển đổi dùng ống phun ngoài b- Bộ chuyển đổi dùng ống phun trong

a- Khí nén dùng cho bộ chuyển đổi là không khí có áp suất $P_1 = \text{const}$ ($P_1 = 0,4 \div 1 \text{ KG/cm}^2$) lấy từ nguồn cấp khí nén đã làm sạch bụi bẩn, không khí nén đi qua cửa tiết lưu 1 có trở lực không đổi và vào buồng trung gian 2, rồi qua cửa tiết lưu trở lực biến đổi 3 và thoát ra ngoài. Khi lượng cần đo (X) biến đổi thì tín hiệu tác động lên tấm chắn 4 sẽ biến đổi $\Rightarrow$ h biến đổi $\Rightarrow P_2$ sẽ đặc trưng cho lượng cần đo. Nhờ đường dẫn từ buồng 2 tới buồng đo 5 của đồng hồ thứ cấp tạo nên số chỉ, bộ chuyển đổi trên có tín hiệu vào là X mà X thường nhỏ ($0,02 \div 0,05\text{mm}$) $\Rightarrow$ khó chính xác.

b- ở sơ đồ b (bộ chuyển đổi trong) khi tín hiệu vào X thay đổi áp suất (chỉ huy) P_2 sẽ biến đổi cho tới khi lực do P_2 tác dụng lên màng 6 cân bằng với lực tác dụng của tín hiệu vào, ở đây nhờ phương pháp bù lực nên áp suất không khí P_1 có thể biến đổi trong phạm vi $\pm 10\%$ mà vẫn không ảnh hưởng tới độ chính xác của tín hiệu ra P_2 .

Hầu như tất cả các dụng cụ khí



nén kiểu hiện đại đều dùng bộ
chuyển đổi kiểu ống phun tấm chắn.

Trong các thiết bị $h < 0,1\text{mm}$

thì ta xây dựng được quan hệ

$$P_2 = f(h) \quad (\text{khi } P_1 = 1)$$

3.4.7. Bộ chuyển đổi kiểu Điện - Khí nén

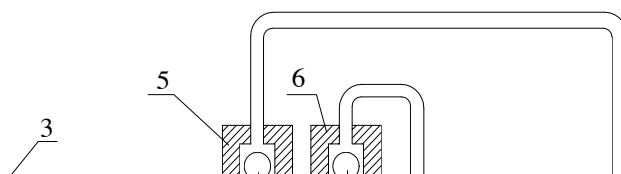
Nguyên lý : Tạo nên một lực tỷ lệ với dòng điện 1 chiều rồi đo lực đó bằng cách bù lực tạo bởi hệ thống khí nén (đã biến tín hiệu một chiều thành tín hiệu khí nén có áp suất tỷ lệ dòng một chiều).

Tín hiệu vào là dòng 1 chiều I_v và tùy theo chiều dòng điện mà nam châm hút hay đẩy $\Rightarrow$ 3 bị tác động làm bi 7 xê dịch so với ống phun 5 $\Rightarrow$ áp suất trong nhánh phần tử "ống phun - bi" sẽ thay đổi đồng thời áp suất đầu ra P_2 của BKĐKN 9 thay đổi và lực phản hồi do khí nén tác dụng lên bi 8 đặt vào đòn bẩy sẽ biến đổi tới khi cân bằng lực do cuộn 2 gây nên.

Lò xo 4 dùng xác định trị số ban đầu khi tín hiệu vào $I_v = 0$ thì $P_2 = 0,2 \text{ kG/cm}^2$.

P là nguồn không khí có áp suất $0,4 \text{ kG/cm}^2$ dòng điện 1 chiều $I_v = 0 \div 5 \text{ mA} \Rightarrow$

$$P_2 = 0,2 \div 1 \text{ kG/cm}^2.$$



- 1- Nam châm
- 2- Cuộn dây
- 3- Cánh tay đòn
- 4- Lò xo

- 5- 6- Ống phun
- 7- 8- Bi
- 9- Bộ khuếch đại khí nén

CHƯƠNG 4 : ĐO LƯU LƯỢNG CỦA MÔI CHẤT

Trong các quá trình nhiệt thường đòi hỏi phải luôn luôn theo dõi lưu lượng môi chất. Đối với thiết bị truyền nhiệt và thiết bị vận chuyển môi chất thì lưu lượng môi chất trực tiếp đặc trưng cho năng lực làm việc của thiết bị. Vì vậy khi kiểm tra lưu lượng môi chất sẽ giúp ta có thể trực tiếp phán đoán được phụ tải của thiết bị và tình trạng làm việc của thiết bị về mặt an toàn và kinh tế.

Trong đời sống hàng ngày cũng như trong công nghiệp, đo lưu lượng là công việc rất bức thiết. Người ta thường phải đo lưu lượng của các chất lỏng như nước, dầu, xăng, khí than...

4.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ ĐƠN VỊ LƯU LƯỢNG

Lượng vật chất (hoặc năng lượng) được vận chuyển đi trong một đơn vị thời gian :

$$G = \frac{\Delta G}{\Delta t} = \frac{dG}{dt}$$

Lưu lượng tích phân đó là tổng hợp lượng vật chất chuyển đi trong một khoảng thời gian :

$$G_s = \int_{t_1}^{t_2} G . dt$$

Đơn vị : kg/s ; m³/s (khí)

Ngoài ra kg/h ; tấn /h ; l/phút ; m³/h .

Khi đơn vị là : m³/s => lưu lượng thể tích Q

$$G = \gamma . Q \quad (\gamma - \text{là trọng lượng riêng của môi chất cần đo})$$

4.2. ĐO LƯU LƯỢNG THEO LƯU TỐC

Nếu biết được tiết diện F và vận tốc trung bình ω_{tb} .

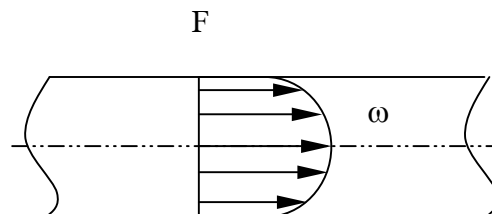
$$\Rightarrow Q = F . \omega_{tb} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

4.2.1. Cách xác định vận tốc trung bình

Ta sử dụng ống đo áp suất động

a- Xác định vận tốc trung bình = thực nghiệm:

Nguyên lý : Chia tiết diện ống thành nhiều diện tích nhỏ bằng nhau và phân bố một cách đối xứng, và trong mỗi tiết diện nhỏ đó xem vận tốc tại mỗi điểm là như nhau.

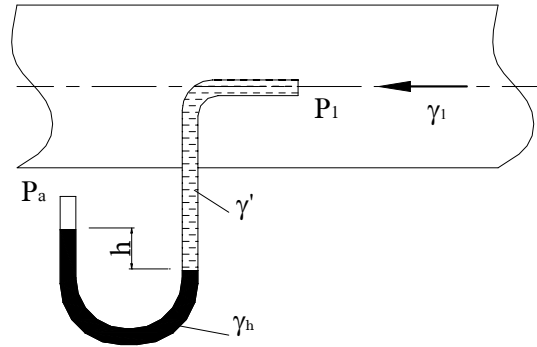


$$\Rightarrow \omega_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i}{n}$$

Nếu ta đặt ống đo áp suất động
tại điểm i thì áp suất tĩnh :

$$\Delta P_i = (\gamma_h - \gamma') \cdot h_i$$

$$\omega_{tb} = \sqrt{\frac{2g}{\gamma_1} \cdot \Delta P_{tb}} = \sqrt{\frac{2g}{\gamma_1} \cdot (\gamma_h - \gamma') h_{tb}}$$



γ' : trọng lượng riêng của phần chất lỏng nằm trên γ_h (thường $\gamma' = \gamma_h$).

γ_h : trọng lượng riêng của chất có độ chênh áp là h_i .

γ_1 : trọng lượng riêng môi chất cần đo lưu lượng.

$$\sqrt{h_{tb}} = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\sum h_i}$$

$$\Rightarrow Q = \omega_{tb} \cdot F \quad \text{và} \quad G = \gamma \cdot Q$$

Chú ý : - Nếu tiết diện ống hình chữ nhật thì ta chia thành nhiều hình chữ nhật nhỏ đối xứng và đo tốc độ tại các diện tích nhỏ này.

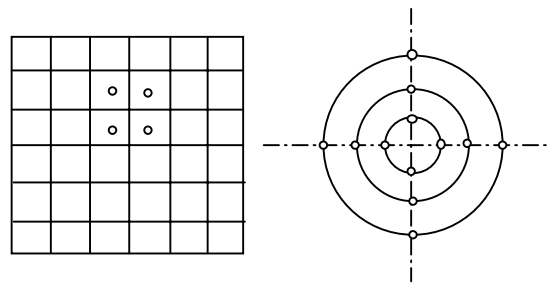
- Nếu tiết diện ống là hình tròn thì ta dùng trong đường tâm bán kính r_i

; r_i ; r_n

$$r_i = R \sqrt{\frac{i}{2n}}$$

Nếu $R = 150 \div 300 \text{ mm}$ chọn $n = 3$

$R > 300 \text{ mm}$ chọn $n = 5$



Sau khi xác định được ω_1 tại $r_i \Rightarrow \omega_{tb}$

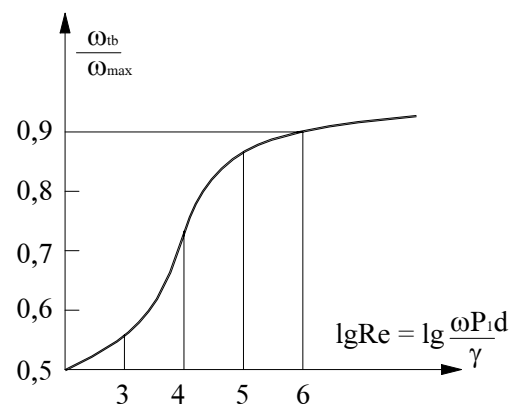
b-Xác định ω_{tb} theo quan hệ $\frac{\omega_{tb}}{\omega_{\max}} = f(\text{Re})$

Đồ thị NICURÁT

Nếu $\text{Re} = 2.300$

Nếu $\text{Re} > \text{Re}_{th}$ chảy rối

Nếu $\text{Re} < \text{Re}_{th}$ chảy tầng



Đối với dòng chảy tầng $\omega_{tb} = \frac{1}{2} \omega_{\max}$

Đối với dòng chảy rối $\omega_{tb} = 0,84 \omega_{\max}$

4.2.2. ống pi tô

a- Nguyên lý: Chất lỏng chảy trong ống khi bị ngăn lại thì động năng $\rightarrow$ thế năng

Đo sự biến đổi này và dựa vào đó

$\Rightarrow$ Vận tốc của chất lỏng.

$$P_1 - P_2 = P_d = h \cdot \gamma_h$$

và theo phương pháp bernoulli

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \omega \cdot d\omega = -g \int_{P_1}^{P_2} \frac{dp}{\gamma}$$

ω_1 : tốc độ dòng tại điểm đo.

ω_2 : dòng chảy lại (= 0).

$$\Rightarrow \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} = -\frac{g}{\gamma} (P_2 - P_1) \text{ thường } \omega_2 = 0 \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{\frac{2g(P_2 - P_1)}{\gamma_1}}$$

Vậy muốn đo ω_1 ta cần đo giá trị áp tại điểm đó.

Đối với chất khí:

Thì γ phụ thuộc áp suất $\Rightarrow$ ta đưa ra đại lượng số max $M = \frac{\omega}{a}$

Khi $M < 0,2$ thì dùng công thức trên

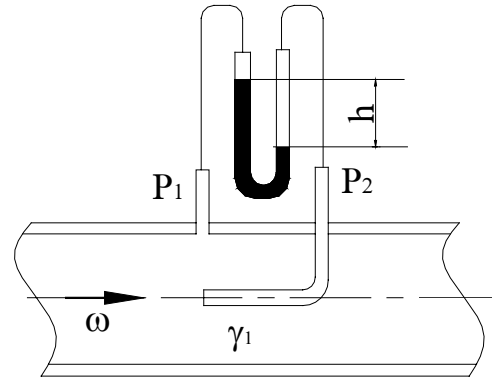
$$\text{Khi } M > 0,2 \text{ thì : } \omega_1 = \sqrt{2g \cdot \frac{K}{K-1} R T \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}$$

a : Tốc độ âm thanh

k : Số mũ đoạn nhiệt

T : nhiệt độ tuyệt đối khi khí chưa bị nén áp

Chú ý : khi đo bằng ống pitô thì dòng chảy cần phải ổn định, do đó cách này không phù hợp với vận tốc thay đổi vì có tổn thất áp suất P_1 và P_2 đo ở những điểm khác nhau $\Rightarrow$ cần thêm một số hiệu chỉnh



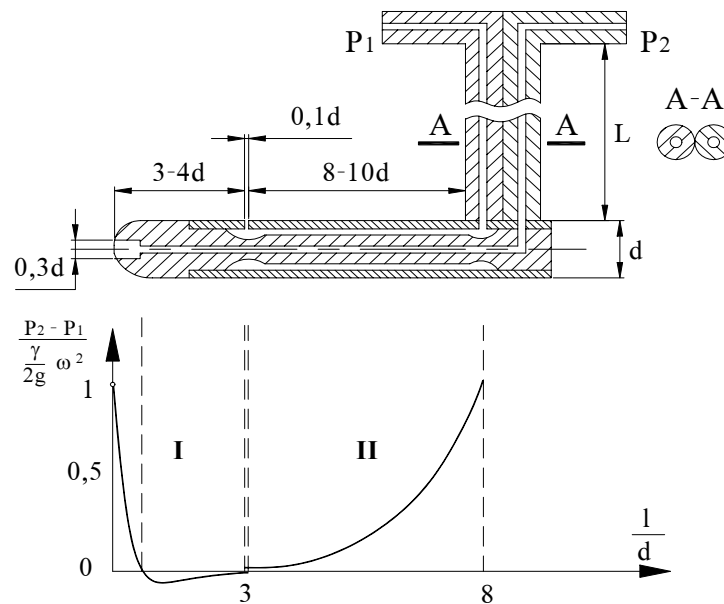
$$\xi = 0,98 \div 0,99 \Rightarrow \omega_T = \xi \cdot \omega_1$$

Ống đo P_2 phải bền về cơ học và không thu hẹp dòng chảy rõ rệt.

$$d < 0,1 D \text{ thường, } d = 0,05 D$$

Ống đo P_1 phải nhỏ để giảm áp lực do sức hút của dòng chảy.

b- Cấu tạo ống pitô



Ống đo gồm hai ống ghép lại ống đo áp suất toàn phần P_2 nằm chính giữa và có lỗ đặt trực giao với dòng chảy, ống ngoài bao lấy ống đo P_2 có khoan lỗ để đo áp suất tĩnh P_1 . Phần đầu của ống pitô là nửa hình cầu, lỗ lấy áp suất động có vị trí $(3 \div 4)d$. Nhánh I là nhánh không chịu ảnh hưởng của ống đỡ (L), nhánh II là nhánh chịu ảnh hưởng của ống đỡ.

Khi đo, ống có thể đặt lệch phương của dòng chảy đến $(5 \div 6)^\circ$ mà không ảnh hưởng đến kết quả đo, số lượng lỗ khoan từ $7 \div 8$ lỗ.

Trong thực tế ta dùng ống pitô để đo có đường kính là $d = 12\text{mm}$ và trong phòng thí nghiệm dùng loại $d = 5 \div 12\text{mm}$, áp dụng sao cho tỷ số $d/D < 0,05$ là tốt nhất (D : là đường kính ống chứa môi chất)

Khi đặt ở vị trí khác nhau thì phải thêm hệ số bổ chính ξ .

4.2.3. Đồng hồ đo tốc độ ω

Các loại đồng hồ dùng đo trực tiếp tốc độ dòng chảy thường được dùng khá phổ biến, nhất là khi tốc độ dòng chảy tương đối nhỏ, khi đó dùng ống đo áp suất động để đo tốc độ dòng chảy không đảm bảo được độ chính xác cần thiết.

a- Đồng hồ đo tốc độ của gió: Anemômet

Cấu tạo : gồm 1 bộ phận nhạy cảm là một chong chóng rất nhẹ với các cánh hướng theo bán kính, làm bằng nhôm (mêca).



$$n = C \cdot \omega$$

$$n : \text{Số vòng được xác định} \quad n = \frac{N}{\tau_2 - \tau_1} \quad (\text{vòng/ph})$$

C : hệ số được xác định bằng thực nghiệm.

Loại cánh phẳng thì có trục của nó song song dòng chảy và cánh nghiêng 45° .

Loại cánh gáo thì có trục vuông góc dòng chảy.

Ứng dụng : Dùng đo tốc độ dòng khí có áp suất dư không lớn, tốc độ dòng thu được là lưu tốc tại chỗ đặt đồng hồ. Loại này cũng không dùng được các khí có tính chất xung (thay đổi đột ngột) hướng trục và hướng dòng phải đặt chính xác.

Thay đổi vị trí đồng hồ trên tiết diện đường ống thì sẽ biết được trường tốc độ trong ống $\Rightarrow \omega_{tb}$.

Đồng hồ gió thường dùng để xác định khả năng làm việc của quạt gió trong công nghiệp. Đặc biệt là các thiết bị thông gió nó cũng dùng phổ biến trong đo lường của ngành khí tượng.

Đồng hồ đo tốc độ gió có thể dùng cơ cấu đếm số để đếm số vòng quay của chong chóng và cũng có loại không dùng cơ cấu đếm số mà dùng kim chỉ nhờ tác dụng của lực ly tâm. Loại này có đặt trên trục chong chóng 1 tải trọng li tâm hoặc giá quay nối với kim, nên kim sẽ di chuyển tới 1 vị trí nào đó thì dừng lại chỉ cho biết tốc độ dòng khí nên không cần thêm đồng hồ đo thời gian.

b- Đồng hồ nước:

Bộ phận nhạy cảm là chong chóng và trục của nó gắn với bộ phận đếm số :

$$Q = n.F/C$$

C : giá trị thực nghiệm.

F : tiết diện.

n : Số vòng quay vg/s.

Các cánh là cánh phẳng dùng đo nước có $t = 90^{\circ}\text{C}$, $P = 15 \text{ kG/cm}^2$ và $Q < 6 \text{ m}^3/\text{h}$

Các loại đồng hồ nước chong

chóng xoắn thay cánh phẳng bằng trục vít đo được lưu lượng $Q = 400 \div 600 \text{ m}^3/\text{h}$

$$n = K \cdot \omega_{tb}/l$$

l : bước răng trục vít.

Chú ý : Nếu lưu lượng quá nhỏ thì nước lọt qua khe hở giữa cánh nước chong chóng và vỏ đồng hồ, ma sát tại điểm đỡ chong chóng sẽ làm quan hệ n và ω_{tb} sẽ sai lệch => sai số. Muốn giảm bớt sai số do ma sát thì phải làm chong chóng và trục thật nhẹ (làm bằng vật liệu nhẹ, rỗng).

Khi phân bố tốc độ dòng nước thay đổi thì quan hệ giữa n và ω_{tb} cũng biến đổi, muốn tránh nguyên nhân này gây nên thì phải đặt đồng hồ xa những nơi đường ống có trở lực cục bộ (van, cút, tê) làm dòng chảy bị rối loạn.

Đồng hồ nước chỉ được đặt trên những đoạn ống thẳng ngang đường kính ống bằng cửa vào và cửa ra của đồng hồ, đoạn ống thẳng trước đồng hồ phải đảm bảo 30D và phía sau phải > 15D.

Có thể đặt ống xiên và nước đi từ dưới lên.



Khi đặt thẳng đứng thì phía trước $> 10D$ phía sau $> 5D$.

Các loại này khi chế tạo chú ý đến chất lượng chong chóng. Có thể làm từ kim loại rỗng hoặc nhựa sao cho trọng lượng riêng gần bằng trọng lượng của nước, khi lắp phải đúng tâm.

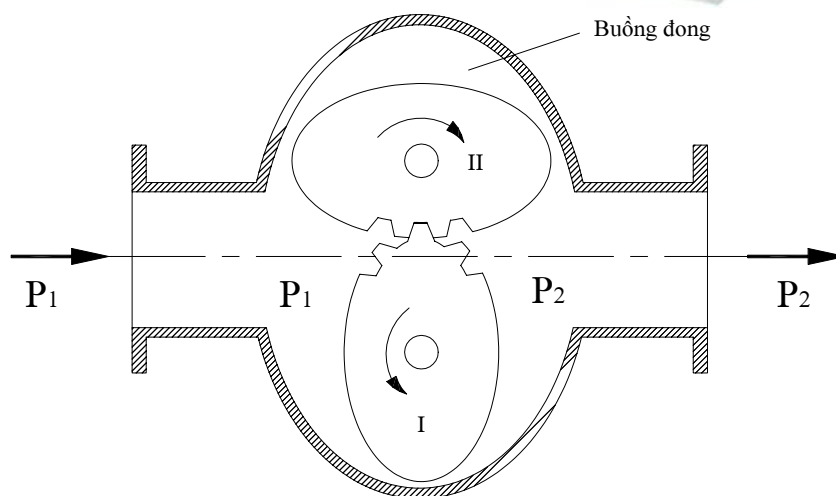
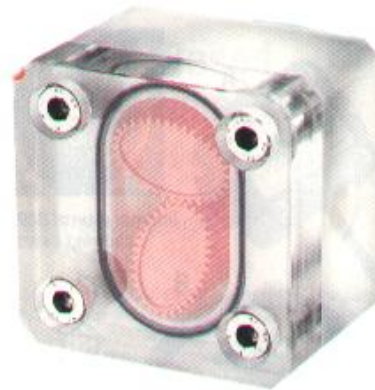
Ta thường dùng loại này để đo lưu lượng kiểu tích phân cơ cấu đếm số kiểu cơ khí và thường chia độ theo thể tích.

4.3. ĐO LƯU LƯỢNG THEO PHƯƠNG PHÁP DUNG TÍCH

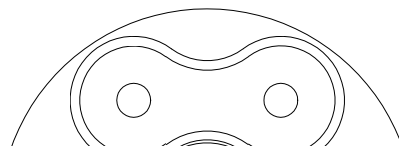
Nguyên lý: Cho môi chất vào đây buồng đong có dung tích đã biết, đồng thời tác dụng lên pittông là đĩa để tạo nên chuyển động có tính chu kỳ và môi chất trong buồng đong thoát đi để tiếp nhận môi chất mới. Ta dùng máy đếm số để đếm chu kỳ chuyển động trong khoảng thời gian Δt nào đó để xác định lưu lượng dòng chảy.

4.3.1. Lưu lượng kế kiểu bánh răng

Thường dùng loại này để đo môi chất có độ nhớt cao như dầu mỡ



Chất nước có áp suất P_1 sau khi qua lưu lượng kế sẽ có áp suất P_2 . Vậy độ chênh lệch áp suất của dòng chảy



Ở vị trí như bánh răng II thì mômen quay do P_1 tạo nên lớn hơn mômen quay do P_2 tạo nên $\Rightarrow$ bánh răng II sẽ quay theo chiều tác động của P_1 và kéo theo bánh răng I chuyển động $\Rightarrow$ bánh răng II là bánh chủ động còn bánh răng I là bị động. Nhiệm vụ chủ động và bị động của 2 bánh răng trên lần lượt thay thế và diễn ra liên tiếp nhau. Buồng đóng chất nước rồi chuyển đi chính là do vỏ lưu lượng kế và bánh răng lúc ở vị trí như bánh răng II.

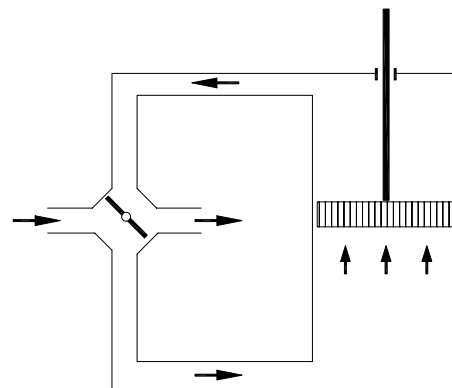
Đặc điểm :

- Mất mát áp suất nhỏ có thể đo được những chất có độ nhớt lớn.
- Sai số nhỏ và có thể đạt đến $(0,3 \div 0,5)\%$.
- Cấu tạo gọn nhẹ nhưng khó chế tạo nên tương đối đắt.

Khi đo lưu lượng là khí (môi chất khí) thì ta thay bánh răng trên thành bánh hình số 8. Độ chính xác có thể đạt được $(1 \div 1,6)\%$.

4.3.2. Lưu lượng kế kiểu piston

Van 4 ngã được tự động thay đổi vị trí nhờ trang bị đặc biệt và có liên hệ với chuyển động của piston. Khi Piston chạy đến các đầu xi lanh chất nước lần lượt được đưa vào phía dưới và phía trên piston làm piston chuyển động và đẩy chất nước đã chứa đi.



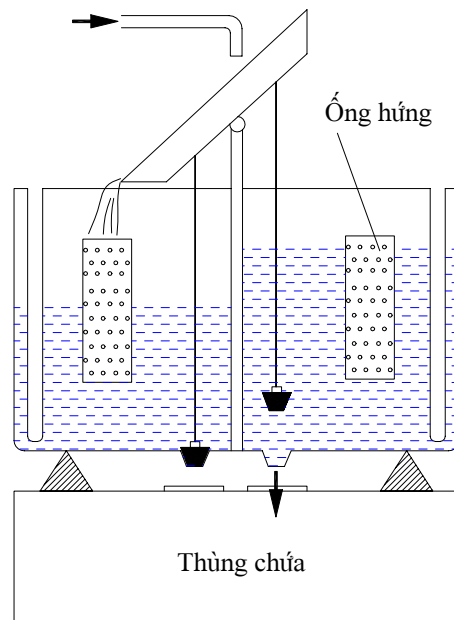
Bên ngoài xilanh của lưu lượng kế có thể thêm hộp áo hơi để gia nhiệt giảm độ nhớt môi chất.

Lưu lượng kế có thể làm việc với áp suất $16 \div 40 \text{ kG/cm}^2$, nhiệt độ chất nước tới 185°C và có thể đo lưu lượng từ $1,3\text{m}^3/\text{h} \div 80\text{m}^3/\text{h}$.

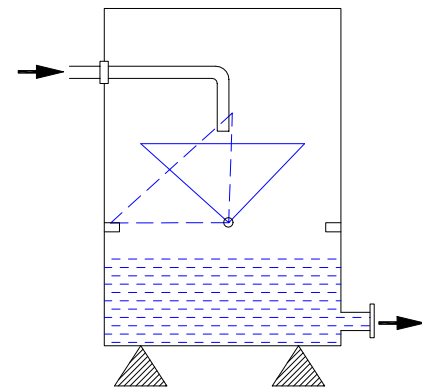
Loại này dùng đo chất lỏng độ nhớt lớn (dầu madút) sai số $(1 \div 1,5)\%$.

4.3.3. Thùng đong và phễu lật

Dùng để đo môi chất lỏng và rắn.



Thùng đong



Phễu lật

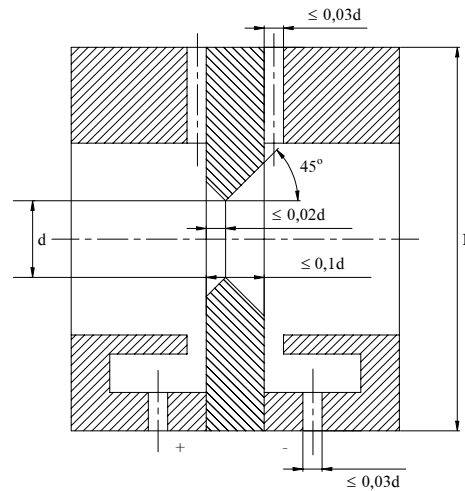
Phương pháp đo lưu lượng bằng thùng đong và phễu lật rất đơn giản dung tích của thùng đong và phễu lật đều đã biết cho nên chỉ cần đếm số lần máy dẫn và phễu lật chuyển động tương ứng trong 1 thời gian nào đó thì sẽ tính được lưu lượng chất nước. Loại này chỉ đo lưu lượng của chất nước ở áp suất khí quyển.

- Kiểu thùng đong rất chính xác.
- Kiểu phễu lật không được chính xác lắm vì chất nước sẽ bị bắn ra ngoài phễu, nhất là khi đo lưu lượng lớn mặt nước trong phễu bị sóng.

4.4. ĐO LƯU LƯỢNG THEO PHƯƠNG PHÁP TIẾT LƯU

4.4.1. Thiết bị tiết lưu qui chuẩn

1- Định nghĩa : TBTL là thiết bị đặt trong đường ống làm dòng chảy có hiện tượng thu hẹp cục bộ do tác dụng của lực quán tính và lực ly tâm.



2- Cấu tạo: Như hình vẽ

Khi qua thiết bị tiết lưu, chất lỏng sẽ bị mất mát áp

suất (P dòng chảy bị thu hẹp nhiều thì ΔP càng lớn thường $\Delta P < 1000\text{mmHg}$ (ΔP được đo bằng hiệu áp kế).

Xét về mặt cơ học chất lỏng thì quan hệ giữa lưu lượng và độ chênh áp suất phụ thuộc rất nhiều yếu tố như : kích thước, hình dạng thiết bị, tiết lưu, tình trạng lưu chuyển của dòng chảy, vị trí chỗ đo áp suất, tình trạng ống dẫn chất lỏng.

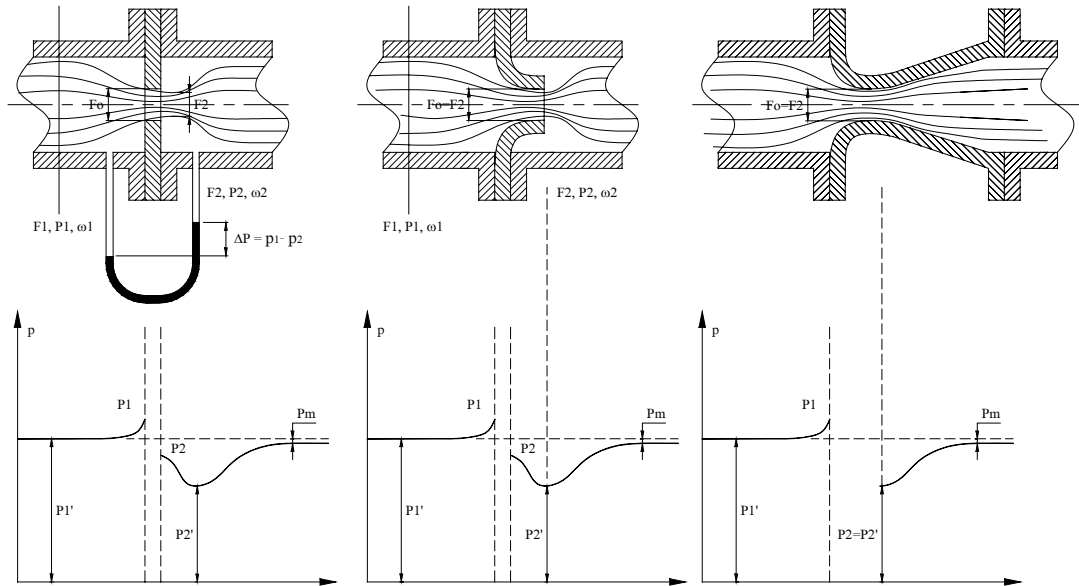
Quá trình tính toán tiết lưu có quy định phương pháp tính toán như sau :

- Dòng chảy liên tục (không tạo xung).
- Đường ống $> 50\text{ mm}$. Nếu dùng ống Venturi thì đường ống $> 100\text{ mm}$, vành trong ống phải nhẵn trong khoảng $2D$. Nhờ những nghiên cứu lý luận và thực nghiệm lâu dài và người ta đã giả định một số thiết bị tiết lưu qui chuẩn.

Hiện nay đây là phương pháp đo lưu lượng thông dụng nhất.

-Thiết bị TL qui chuẩn là thiết bị TL mà quan hệ giữa lưu lượng và giá trị áp hoàn toàn có thể dùng phương pháp tính toán để xác định.

Thiết bị tiết lưu qui chuẩn gồm 3 loại :



- Vòng chặn tiết lưu
(cửa nghẽn)

- Ống phun

- Ống Venturi quy chuẩn

3- Nguyên lý đo lưu lượng:

Ta chỉ xét vòng chặn :

Nhờ sự tổn thất của dòng khí qua thiết bị tiết lưu, dựa vào phương trình Bécnu-li tìm được tốc độ trung bình dòng tại tiết diện đo.

Xét tiết diện I và II ta có sự thay đổi động năng và thế năng :

$$\int_{F_1}^{F_2=F \min} \omega \cdot d\omega = -g \int_{F_1}^{F_2} \frac{dP}{\gamma}$$

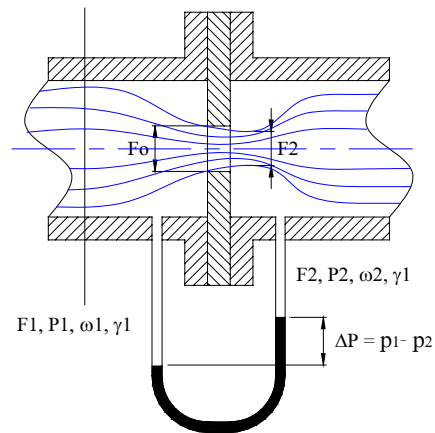
Dựa vào phương trình liên tục ta có :

$$\gamma \cdot F \cdot \omega = \text{const}$$

(2)

a/ Trường hợp môi chất ít dẫn nở $\gamma = \text{const}$:

Giả sử trong dòng chảy tổn thất năng lượng không có, vận tốc tại các điểm trên tiết diện F_1 bằng vận tốc trung bình ω_1 , trên F_2 là ω_2 .



$$\text{Nên từ (1)} \Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\omega_2^2}{2g} \quad (3)$$

$$(2) \Rightarrow F_1 \cdot \omega_1 = F_2 \cdot \omega_2 \quad (4)$$

$$(4) \Rightarrow \omega_1 = \frac{F_2}{F_1} \cdot \omega_2 \cdot \frac{F_0}{F_0}$$

Ký hiệu $\frac{F_2}{F_0} = n$ đặc trưng cho chế độ dòng chảy.

$\frac{F_0}{F_1} = m$ đặc trưng cho kích thước hình học.

$$\Rightarrow \omega_1 = m \cdot n \cdot \omega_2 ; \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2 \cdot n^2}} \sqrt{\frac{2g(P_1' - P_2')}{\gamma}}$$

$$\Rightarrow Q = \omega_2 \cdot F_2 = \omega_2 n \cdot F_0 = \frac{n \cdot F_0}{\sqrt{1 - m^2 \cdot n^2}} \sqrt{\frac{2g(P_1' - P_2')}{\gamma}}$$

Do F_2 phụ thuộc vào chế độ dòng (n)

$\Rightarrow Q$ phụ thuộc vào chế độ dòng, độ mất mát áp suất và kích thước tấm tiết lưu.

Trong thực tế F_2 rất khó xác định và khoảng cách giữa F_2 đến tấm chắn cũng không thể xác định được. Do đó thực tế ta đo áp suất P_1 và P_2 ngay trước và sau tấm tiết lưu và $\Rightarrow$ ta đưa ra hệ số α .

$$Q = \alpha \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma_1} \cdot \Delta P} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

α : hệ số lưu lượng và xác định bằng thực nghiệm. Thực tế $\alpha = f(\text{Re}, m)$

b/ Trường hợp m/c dẫn nở $\gamma \neq \text{const}$:

Để đơn giản người ta đưa vào hệ số ε nhằm vẫn giữ nguyên công thức như trước :

$$\Rightarrow Q = \varepsilon \cdot \alpha \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma_1} \cdot \Delta P}$$

ε : hệ số hiệu chỉnh (hệ số bành trướng), được xác định bằng thực nghiệm.

$$\varepsilon = f\left(m, \frac{\Delta P}{P_1}, \text{số mũ đoạn nhiệt } k\right)$$

Trong một số trường hợp không cần độ chính xác cao ta tính ε theo công thức sau ($\omega < a$) :

$$\varepsilon = \frac{\alpha_k}{\alpha} \sqrt{\frac{1 - n_k^2 \cdot m^2}{1 - n_k^2 \cdot m^2 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/k}}} \cdot \sqrt{\frac{P_1}{P_1 - P_2} \cdot \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

Trong trường hợp ống Venturi $\varepsilon = 1$:

$$\text{Thay } F_0 = m \cdot F_1 \text{ ta có : } Q = \varepsilon \cdot \alpha \cdot m \cdot F_1 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma_1} (P_1 - P_2)}$$

4- Các tham số cần thiết :

a- Số Re :

Vì muốn đơn giản, ở trên ta xem phân bố tốc độ trong tiết diện ống dẫn là không đổi, thực tế không đúng như vậy, do có ma sát giữa môi chất và vách ống mà sự phân bố tốc độ của môi chất trong ống khác nhau và đặc tính của bất kỳ dòng chảy nào đều cũng được xác định bằng số Re ứng với trạng thái lúc làm việc.

$$Re = \frac{\omega \cdot D}{\gamma} \quad ; \quad Re_{th} = 2.300$$

- Dòng chảy tầng $Re < Re_{th}$

- Dòng chảy rối $Re > Re_{th}$

Người ta xác định Re bằng cách dự đoán lưu lượng nằm trong khoảng nào đó =>

$$\text{vận tốc dòng } \omega = \frac{Q \cdot 4}{\pi D^2} \Rightarrow Re = \frac{\omega D}{\gamma}$$

Sau khi xác định được Re ta suy ra các giá trị khác => Q rồi so sánh 2 giá trị đó cho đến khi sai số nằm trong khoảng cho phép.

b- Hệ số lưu lượng α

$\alpha = f \{ m, n \}$ sự phân bố tốc độ dòng, tổn thất do ma sát ξ và cách lấy áp suất ΔP

Bằng thực nghiệm thì $\alpha = f(m, Re)$

Đồ thị tính α :

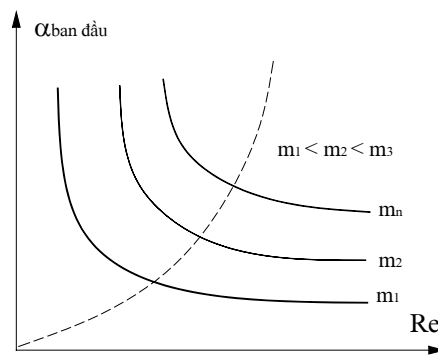
Nếu $Re > Re_{th}$ thì $\alpha = f(m) = e^1$

Nếu $Re < Re_{th}$ thì $\alpha = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \alpha_{bd}$

Trong đó $\alpha_{bd} = f(m)$

- a_1 là hàm (Re, m) ($Re < Re_{th}$)

- a_2 tính đến độ nhám của vách ống a_2 :



- $a_3 = f(D, m)$ đặc trưng độ côn của đường ống a_3 được tính cho trường hợp ống chắn. Trong trường hợp này $m = 0,05 \div 0,7$.

Trong công nghiệp thường $m = 0,2 \div 0,4$.

c- Hệ số hiệu chỉnh ε

$$\varepsilon = f\left(m, \frac{\Delta P}{P_1}, k\right)$$

ε được tra bảng hoặc đồ thị.

Trong trường hợp này coi quá trình xảy ra là đoạn nhiệt.

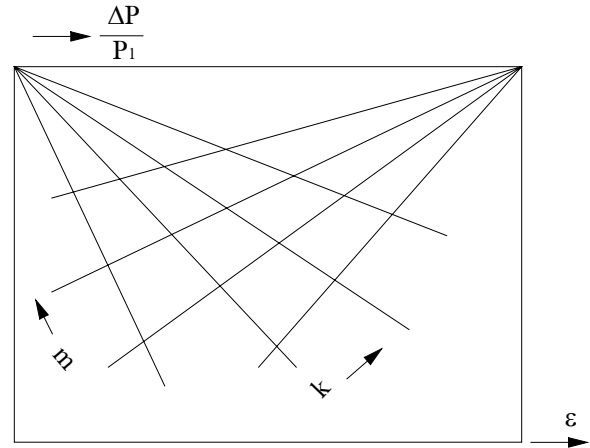
Thường đồng hồ đo ta chọn ε

ứng với ΔP trong khoảng $2/3 Q_{\max}$

Trường hợp $\frac{\Delta P}{P_1} < 0,06$

Thì ta sử dụng công thức :

$$\varepsilon = 1 - \left[0,41 + 0,35 \cdot m^2\right] \frac{\Delta P}{K \cdot P_1} ; \quad \text{Sai số khoảng } 0,05\%.$$



Chú ý khi tính ε :

Khi Q thay đổi $\Rightarrow \Delta P$ thay đổi $\Rightarrow \varepsilon$ cũng biến đổi $\Rightarrow$ khi tính toán ta lấy lưu lượng trung bình.

d- ΔP : $\Delta P = g \cdot \rho \cdot h$

Ngoài ra ta có $m = f(D)$ mà $D = f(t^\circ)$

Ví dụ : $D_t = D_{20} [1 - C(t - 20)]$

$$d_t = d_{20} [1 - C'(t - 20)]$$

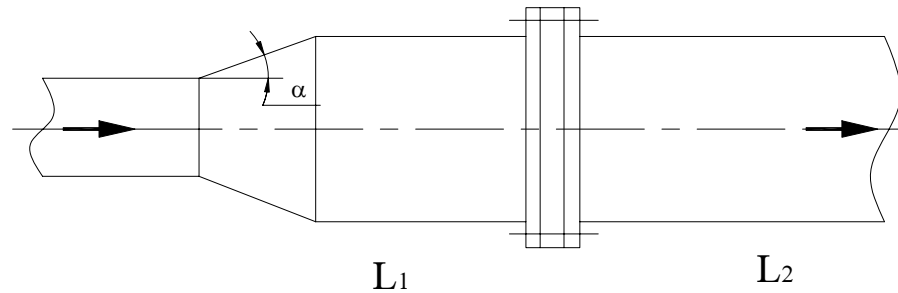
Chú ý : γ trong công thức là γ_1 (chưa ảnh hưởng của tiết lưu), đối với chất nước thì chỉ quan hệ với t_0 , khi ở áp suất cao thì mới chịu ảnh hưởng của áp suất, khi đo lưu lượng khí và hơi bão hòa thì phải tính đến điều kiện làm việc để có các hệ số hiệu chỉnh.

4- Cách đặt thiết bị tiết lưu:

Các thiết bị tiết lưu có thể đặt trên đường ống nằm ngang, thẳng đứng, hoặc giữa hai mặt bích và phải đảm bảo đúng vị trí mới giảm được sai số đo. Đoạn ống

thẳng trước van khoảng $L_1 \geq 5D$, phía sau $L \geq 2D$. Dừng ống trong khoảng $2D$ phải nhấn.

Tiết lưu phải đặt đúng tâm. Môi chất phải nằm trong trạng thái nhất định. Nếu hơi nước thì nên ở trạng thái quá nhiệt, nếu khí thì không nên có tạp chất và hơi nước.



Ứng với mỗi tiết lưu ta đã quy định ứng với mỗi loại đường ống khi ống không vừa thì ta phải thêm đoạn nối và α phải nằm trong giá trị cho phép.

5- Sai số đo lưu lượng:

Đo lưu lượng bằng phương pháp tiết lưu là phép đo gián tiếp, do đó sai số số chỉ lưu lượng được xác định theo phương pháp đo gián tiếp. Trong công thức tính lưu lượng ta thấy có một loại trị số dùng để tính toán là do kết quả đo của rất nhiều lần và một loại thường chỉ là kết quả của một lần đo.

- Loại thứ nhất gồm α và γ . Sai số trung bình bình phương sai số ngẫu nhiên và sai số giới hạn của chúng đều đã biết và cho phép dùng định luật cộng sai số trung bình bình phương.
- Loại thứ hai gồm ΔP , t_1 , P_1 , d . Các trị số này thường là kết quả đo trực tiếp một lần.
- Các trị số γ_1 và γ_t được lấy từ các bảng tra, đối với loại ta chỉ biết sai số lớn nhất của một lần đo.

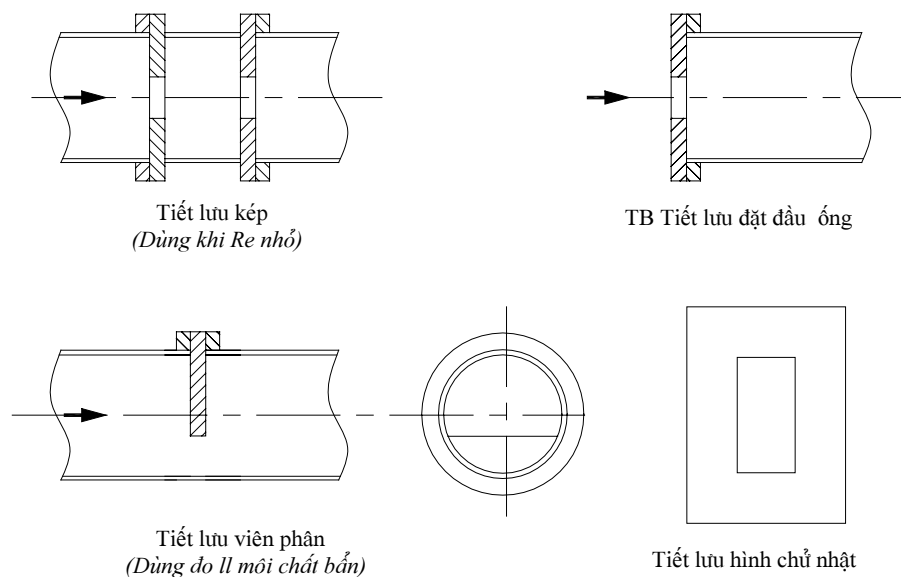
Nếu xét một cách chính xác thì chúng ta không thể dùng định luật cộng sai số trung bình bình phương để tính sai số đo lưu lượng từ hai loại sai số trên. Muốn dùng định luật cộng sai số trung bình bình phương ta xem sai số của thành phần loại thứ hai là sai số giới hạn (gấp 3 lần sai số trung bình bình phương khi đo liên tục).

4.4.2. Thiết bị tiết lưu ngoại qui chuẩn

Thiết bị tiết lưu ngoại qui chuẩn là các thiết bị tiết lưu chưa đủ các số liệu thí nghiệm hoàn chỉnh, công thức tính lưu lượng hoàn toàn do tính toán tìm ra, không chắc chắn hoàn toàn đáng tin cậy và cũng khó ước đoán được sai số đo.

Tuy vậy nếu khi sử dụng chúng, ngoài việc tính toán ta dùng thí nghiệm để chia độ dụng cụ đo thì độ tin cậy của kết quả đo khá cao. Trong một số trường hợp đặc biệt ta dùng loại thiết bị tiết lưu ngoại qui chuẩn thích hợp hơn loại thiết bị tiết lưu qui chuẩn. Ví dụ : khi Re nhỏ, khi $D < 50\text{mm}$, môi chất bẩn, ...

Các loại thiết bị tiết lưu ngoại qui chuẩn hay dùng:

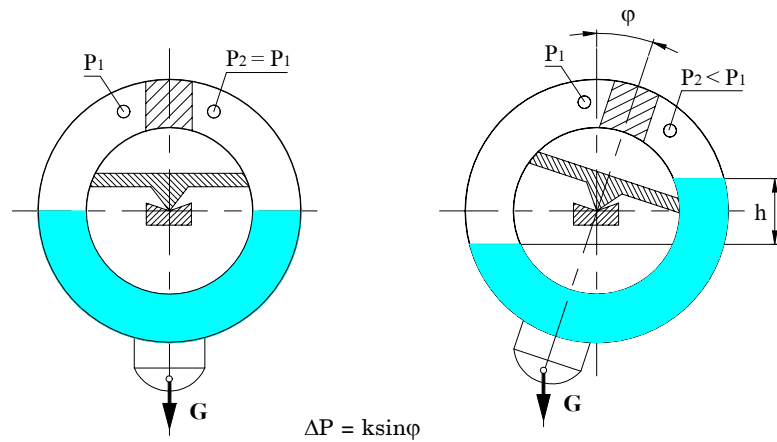
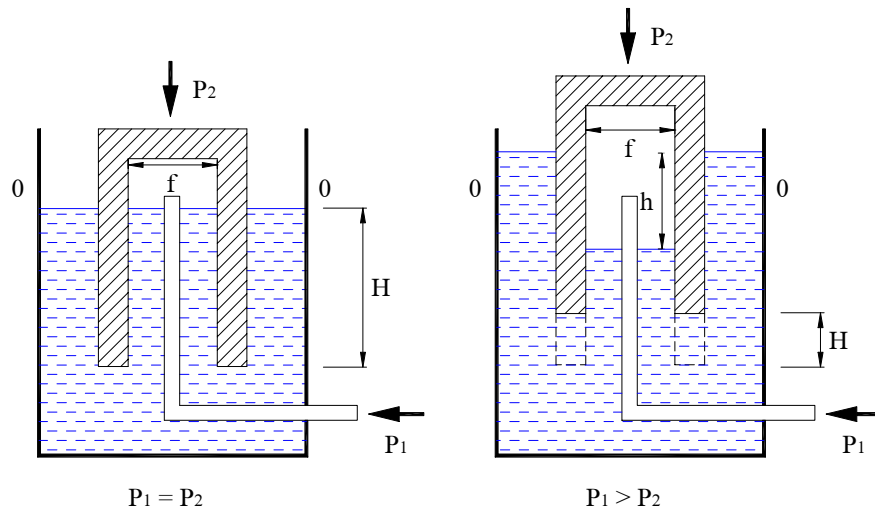


4.4.3. Lưu lượng kế kiểu hiệu áp $Q(G) = f(\sqrt{\Delta P})$

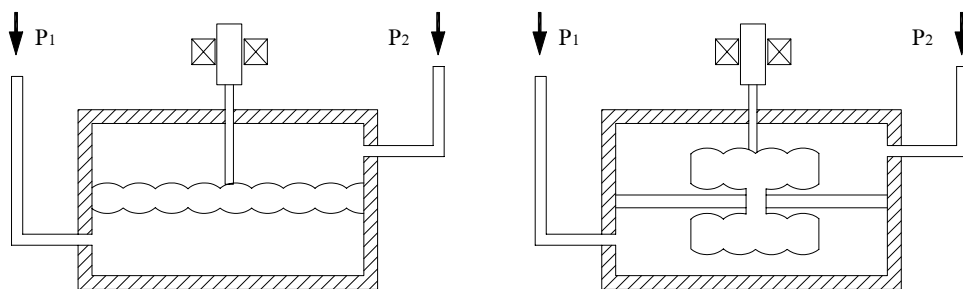
Hệ thống đo lưu lượng theo giáng áp qua cửa tiết lưu gồm thiết bị tiết lưu (TBTL) đường ống dẫn áp suất, hiệu áp kế và đồng hồ thứ cấp chia độ theo đơn vị lưu lượng. Khi hiệu áp kế không có thước chia thì tín hiệu từ hiệu áp kế được đưa về đồng hồ thứ cấp nhờ hệ thống truyền tín hiệu.

Theo nguyên lý làm việc có thể chia hiệu áp kế thành hai loại : cột chất nước và đàn hồi.

- Hiệu áp kế kiểu cột chất nước đo hiệu áp hoặc giáng áp theo độ chênh cột chất nước (loại ống thủy tinh, loại phao và loại vòng xuyên).

**Hiệu áp kế kiểu vòng xuyên****Hiệu áp kế kiểu chuông**

- Hiệu áp kế kiểu đàn hồi do hiệu áp hoặc gradient áp theo độ xê dịch của cơ cấu đàn hồi tạo nên khi lực đàn hồi đã cân bằng với hiệu áp hoặc gradient áp cần đo, loại này gồm hiệu áp kế có màng đàn hồi bằng kim loại hoặc loại hộp màng.

**Hiệu áp kế kiểu màng****Hiệu áp kế kiểu hộp màng**

Một số điều kiện :

Đối với áp kế vòng xuyên : khi đo môi chất là khí thường áp suất các nhánh $< 1 \text{ kG/cm}^2$ và thường chế tạo cho loại này có $\Delta P = 25 \div 160 \text{ kG/m}^2$. Cấp chính xác 1 hay 1,6.

Loại chuông : cho áp suất các nhánh $< 2,5 \text{ kG/cm}^2$ còn $\Delta P = 10 \div 100 \text{ kG/m}^2$. Cấp chính xác 1 hay 1,6. Nếu đo ΔP càng nhỏ thì cấp chính xác tăng (*độ chính xác giảm*)

Loại phao : $\Delta P = 630 \text{ kG/m}^2 \div 1 \text{ kG/cm}^2$ áp suất các nhánh P_1, P_2 có thể đến 400 kG/m^2 .

Loại kiểu màng: Cho phép áp suất của nhánh $\max = 4 \text{ kG/cm}^2$

$$\Delta P = 160 \div 63000 \text{ kG/m}^2 ; \text{ CCX } 1 ; 1,6 ; 0,6$$

Loại kiểu hộp: áp suất các nhánh đến 4 kG/m^2 . Đối với các loại đặc biệt có thể đến 400 kG/cm^2 .

$$\Delta P = 40 \div 63000 \text{ kG/cm}^2 ; \text{ CCX } : 1 \text{ hay } 1,6 \text{ có khi đến } 0,6.$$

4.4.4. Bộ tích phân

Trong lưu lượng kế thường có thêm cơ cấu tích phân để xác định lượng môi chất mang đi trong khoảng thời gian nào đó (1 ngày, 1 giờ hay một tuần) và cơ cấu tích phân có thể kiểu điện, cơ khí hoặc khí nén và thường có cấu tạo phức tạp.

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} Q \cdot dt \quad [\text{kg hay m}^3]$$

$$Q = \sum Q_i = Q_i \cdot \Delta t \cdot n$$

- Δt - chu kỳ tích phân.
- Q_i - là lưu lượng trung bình trong khoảng Δt .

Trong bộ tích phân có thể có 4 phần liên quan với nhau như sau :

+ Phần xác định chu kỳ tích phân Δt . Ta sử dụng động cơ đồng bộ qua bộ giảm tốc (thường $\Delta t = 15''$)

+ Phần thể hiện lưu lượng Q_i

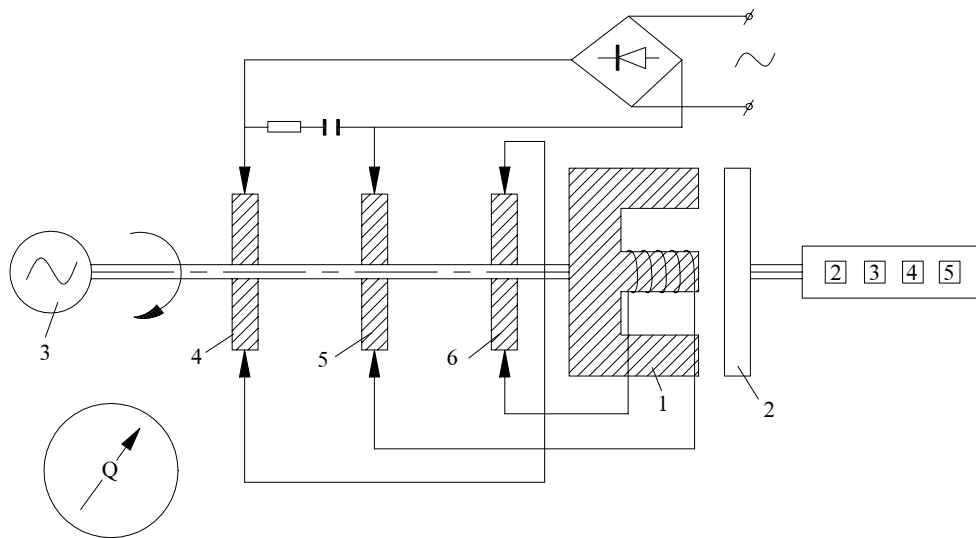
+ Phần thể hiện tích $\Delta t \cdot Q_i$

+ Phần chuyển số (đưa ra số liệu đọc được)

Bộ tích phân cơ khí: Có nhiều loại nhưng loại đơn giản nhất là kiểu bộ đếm số, ta thường gặp trong các đồng hồ nước; ở loại này, chuyển động của phần quay chong

chong (bánh răng, rôto) của lưu lượng kế được dẫn về làm quay bánh răng của bộ tích phân, bánh răng này được quay và truyền dẫn chuyển động cho các bánh răng ở phía sau. Tỷ số truyền của các bánh răng phía sau đều là 10/1 nên số đọc được trên bộ tích phân là con số theo hệ thập phân. Các chỉ số có thể dùng kim chỉ trên mặt chia độ đứng yên có vạch chia từ 0 ÷ 9, dùng mặt chia độ quay để chỉ số đi qua ô cửa hoặc dùng hộp số gồm các mặt số hình trụ, số đọc là số nằm trên đường thẳng tại vạch.

* Bộ tích phân kiểu li hợp điện từ :



* Khi có dòng điện 1 chiều chạy qua cuộn dây thì lõi sắt 1 biến thành nam châm hút gông 2 vào và kéo gông 2 quay làm quay hộp số. Động cơ thuận nghịch 3 làm lõi sắt 1 và các vòng xuyên 4, 5, 6 quay với vận tốc 3 vòng/ phút (vòng 4 chia làm 2 nửa cách điện nhau), vị trí của chổi quét phía trên cố định còn vị trí chổi dưới thay đổi tùy theo lưu lượng Q.

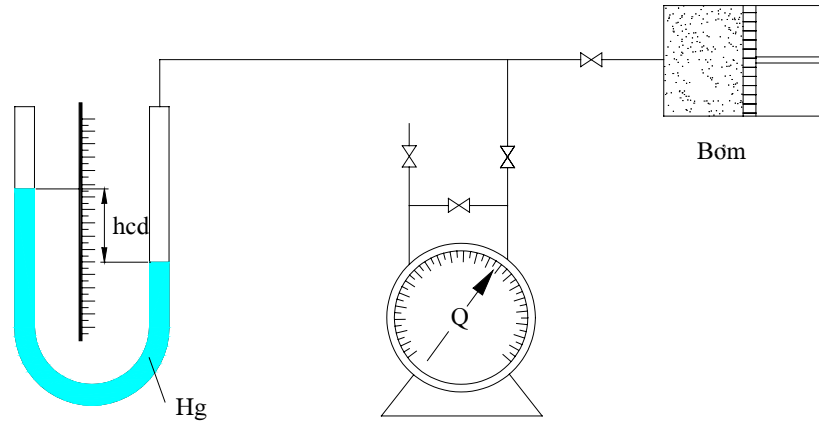
Nếu $Q = 0$ thì 2 chổi quét nằm 2 nửa riêng biệt không có dòng điện, còn nếu $Q \neq 0$ thì chổi dưới lệch đi 1 góc tỷ lệ thuận với Q (có lúc 2 chổi cùng nằm trên nửa vòng xuyên (có điện)), Q càng lớn thì thời gian 2 chổi nằm trên nửa vòng xuyên càng dài $\Rightarrow$ dòng qua 1 càng lâu $\Rightarrow$ hộp số hoạt động cũng lâu.

Các vòng xuyên 5 và 6 đều dùng các chổi quét đặt cố định, chúng chỉ có nhiệm vụ đưa dòng điện vào ra khỏi cuộn dây đặt trên lõi sắt 1 đang quay liên tục. Mạch R -

C được dùng để khử các tia lửa sinh ra khi các chốt trên vòng xuyên 4 đóng hoặc ngắt mạch dòng điện. Cầu chỉnh lưu làm nhiệm vụ cung cấp điện.

4.4.5. Chia độ và kiểm tra thang chia độ của lưu lượng kế kiểu hiệu áp kế

- Người ta kiểm tra bằng áp kế chữ U :



Ta tạo giáng áp bằng giáng áp khi chia độ (h_{cd}) thì trên đồng hồ chỉ giá trị Q gọi là Q_{kt} và ta so sánh với Q_{cd} (suy ra từ h_{cd}), h_{cd} xác định theo các giá trị đã biết :

$$h_{cd} = \left(\frac{Q_{cd}}{Q_{\max}} \right)^2 h_{cd \max}$$

Thay đổi áp suất của bơm ta tìm được Q_{kt} khác.

Sai số tương đối theo giáng áp là:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_1 = \frac{(h_{cd} - h_{Kt_1})}{h_{cd \max}} . 100\% \\ \delta_2 = \frac{(h_{cd} - h_{Kt_2})}{h_{cd \max}} . 100\% \end{array} \right.$$

(h_{kt} được đọc trên bảng chữ U khi cho kim đồng hồ nằm ở Q_{kt}).

Mỗi thang chia độ phải kiểm tra 6 vạch trở lên, trong đó có giá trị max và min.

Kiểm tra chỉ số của bộ tích phân thì kiểm tra với giá trị $(30 \div 50)\% Q_{cd}$.

4.4.6. Lắp đặt hiệu áp kế và đường dẫn tín hiệu áp suất

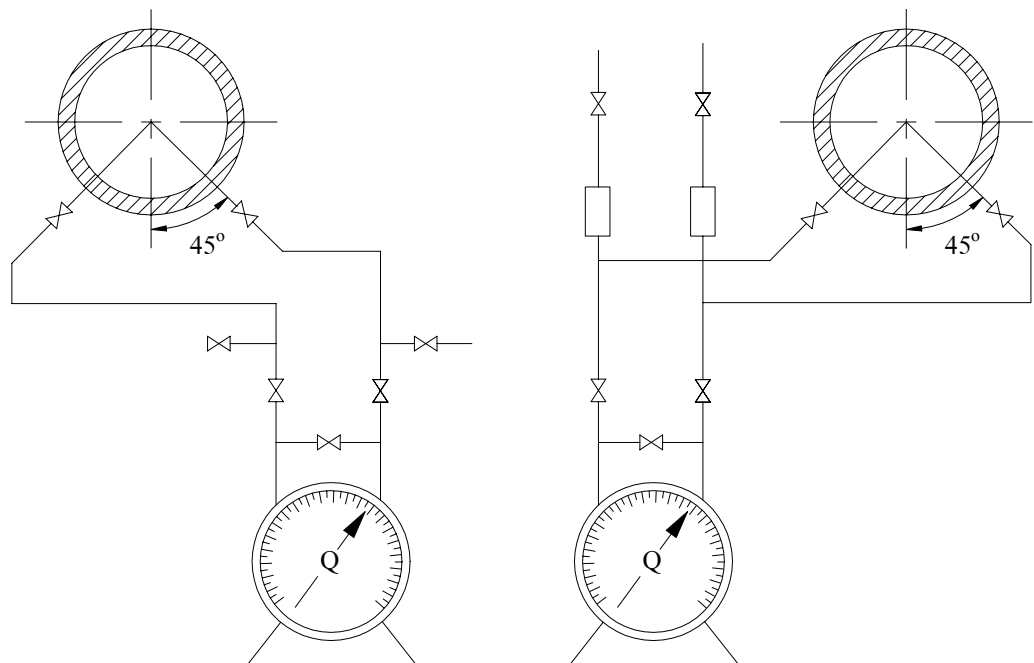
Độ chính xác đo lưu lượng liên quan mật thiết với tình trạng lắp đặt hiệu áp kế và đường dẫn tín hiệu áp suất.

- Hiệu áp kế phải đặt những nơi sạch sẽ không có chấn động, tiện theo dõi việc quản lý và vận hành, môi trường xung quanh phải có nhiệt độ và độ ẩm đúng qui định.
- Lắp đường tín hiệu áp suất cần đảm bảo đúng trị số giáng áp, cần có đủ trang bị cần thiết để bảo dưỡng, thông rửa đường ống tín hiệu và kiểm tra hiệu áp kế tại hiện trường.
- Đường kính phải thích hợp với ống dài, ống dẫn tín hiệu không nên dài quá để tránh chậm trễ và không nhỏ hơn 3m. Thường dùng ống có $d > 10\text{mm}$ và dài $L < 50\text{m}$

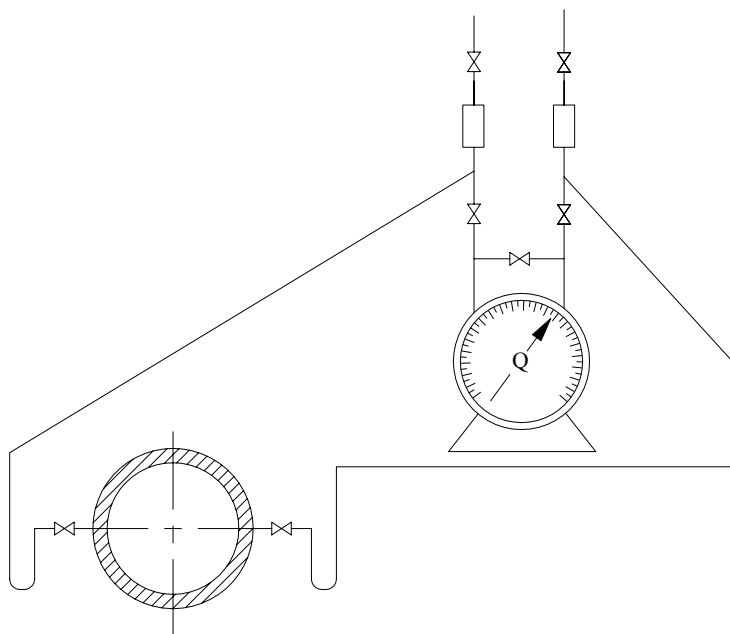
a/ Đo chất nước :

Nên đặt hiệu áp kế (HAK) thấp hơn cửa tiết lưu (TL) để tránh khí thoát ra từ chất nước lọt vào đường dẫn tín hiệu và HAK.

Trường hợp đơn giản không cần chính xác lắm ta lắp theo sơ đồ sau :



Nếu trường hợp bắt buộc phải đặt HAK cao hơn cửa TL thì ở cửa cao nhất phải có bình thu khí và van xả. Hai bên cửa TL cần có ống chữ U để tránh khí lọt vào đường tín hiệu và HAK.

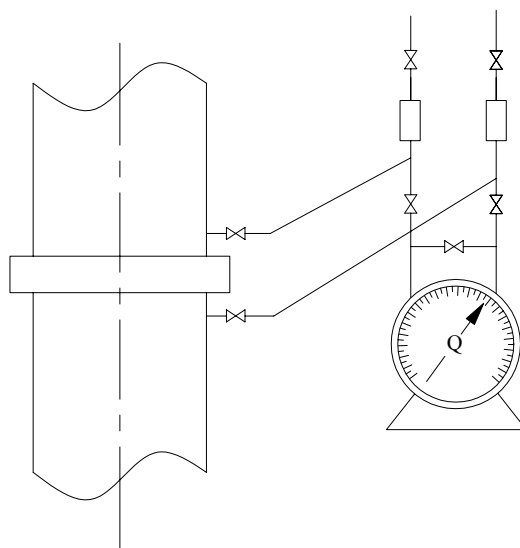


Nêu trường hợp ống thẳng đứng :

Thường nên đặt hiệu áp thấp hơn cửa thoát lưu để khí không lọt vào đường tín hiệu.

Nên lấy tín hiệu khoảng 45° so với đường thẳng đứng để tránh cặn, 2 đường ống phải nằm sát nhau để tránh ảnh hưởng của nhiệt độ.

Nếu ống tín hiệu cần đặt nghiêng thì góc nghiêng $> 45^\circ$.

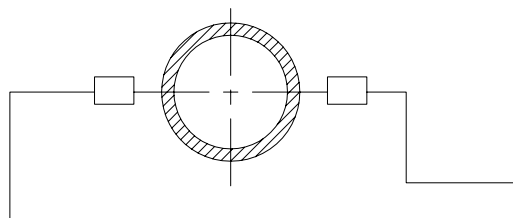


Phải đặt bình thu khí và van xả khí tại điểm cao nhất của đường ống.

Phải có van xả cặn của đường ống. Nếu môi chất đo có nhiệt độ cao thì phải cần tìm cách giữ nhiệt độ 2 ống như nhau.

b/ Đo hơi nước:

- Đường ống dẫn tín hiệu.
- Dùng bình cân bằng nước đọng đặt hai bên cửa tiết lưu ống nối với cửa tiết lưu phải ống thẳng có đường kính $d > 10 \text{ mm}$ và càng ngắn càng tốt (không có van).



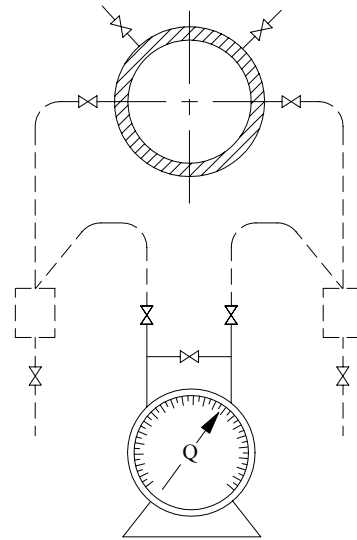
c/ Đo chất khí:

- Tốt nhất đặt HAK cao hơn cửa TL.

Đường lấy tín hiệu ở trên.

- Nếu áp kế đặt dưới thì phải có van xả nước đọng (-----)

Cũng như trên phải đảm bảo có nhiệt độ 2 đường ống bằng nhau và tránh nước đọng trong đường tín hiệu.

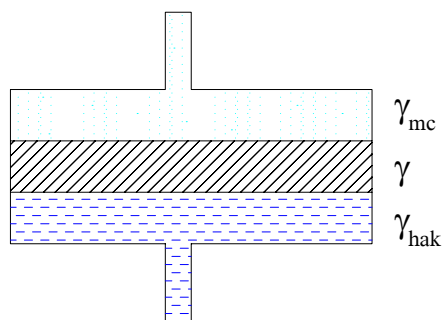


d/ Cách ly môi chất cần đo với môi chất hiệu áp kế :

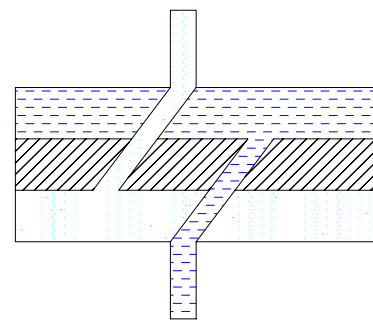
Dùng khi đo các chất ăn mòn ta phải dùng các bình cách ly.

- Nếu chất cần đo có $\gamma_{m/c} < \gamma_{hak}$ (của môi chất HAK) thì ta cho thêm chất có $\gamma > \gamma_{m/c}$

-Nếu $\gamma_{m/c} > \gamma_{hak}$ thì ngược lại.

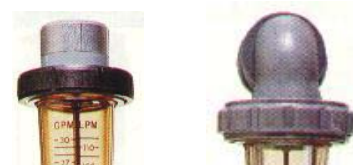


$$\gamma_{mc} < \gamma < \gamma_{hak}$$



$$\gamma_{hak} < \gamma < \gamma_{mc}$$

4.5. LƯU LƯỢNG KẾ CÓ GIÁNG ÁP KHÔNG ĐỔI



4.5.1. Rôtamét

a/ Nguyên lý : Bộ phận chính của rôtamét gồm 1 ống hình nón cụt đặt thẳng đứng bên trong có phao. Phao có đường kính < đường kính trong của ống nên có thể tự do chuyển động lên xuống khi bị dòng môi chất đẩy lên và phao phải nằm đúng ở tâm. Khi đo lường phao bị dòng chảy đẩy lên đến một vị trí nào đó, đáy khe hở giữa phao và ống hình nón có tiết diện sao cho lực do mất mát áp suất dòng chảy sinh ra và lực tác dụng lên phao cân bằng với trọng lượng của phao ở trong môi chất.

Giả sử phao có thể tích V_p . Tiết diện lớn nhất của phao là f_p . Trọng lượng riêng trung bình γ_p trọng lực tác dụng lên là $G \Rightarrow G = V_p \cdot \gamma_p \cdot g$.

Lực tác dụng lên phao do mất mát áp suất là :

$F = (P_1 - P_2) \cdot f_p$. Ngoài ra còn lực tác động do

vận tốc của dòng : $W = \varphi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \gamma \cdot f_p$

ω - vận tốc của dòng.

φ - hệ số cản trở phụ thuộc kích thước của phao.
 k - hệ số phụ thuộc vào dòng chảy = $f(Re)$.

Lực ma sát $N = k \cdot \omega^n \cdot F_b$
 ω_k - vận tốc trung bình của dòng tại khe hở.

n - số mũ phụ thuộc vận tốc.

F_b - tiết diện mặt bên của phao.

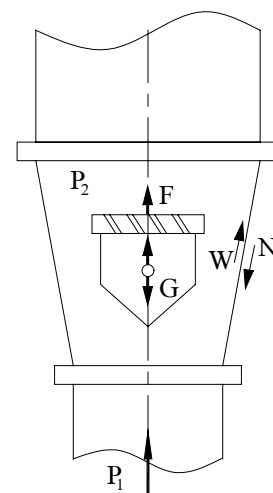
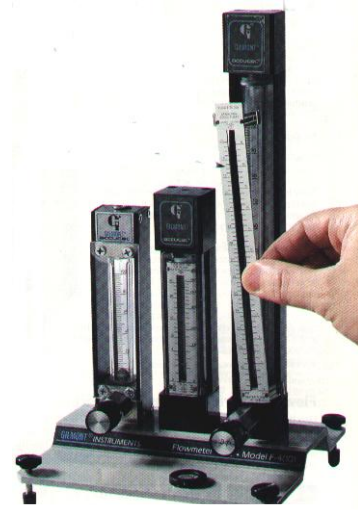
Khi phao cân bằng ta có : $G + N = F + W$

Do lực N và W rất nhỏ nên thường bỏ qua

$$\Rightarrow V_p \cdot \gamma_p \cdot g = (P_1 - P_2) \cdot f_p$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{V_p \cdot \gamma_p \cdot g}{f_p} = \text{const}$$

Kết luận:



Giáng áp trước và sau phao không phụ thuộc vào lưu lượng dòng chảy. Người ta thiết kế với dụng cụ đo ứng với lưu lượng ban đầu $Q_0 \Rightarrow$ tiết diện của dòng f_{k_0} nào

đó $\Rightarrow \Delta P = \frac{G}{f_p}$ là hằng số. Khi lưu lượng Q tăng lên $\Rightarrow$ đẩy phao lên $\Rightarrow$ có f_k

tương ứng.

Chú ý:
$$Q = \alpha \cdot f_k \sqrt{2gV_p \frac{\gamma_p - \gamma}{\gamma \cdot F_p}}$$

α - hệ số lưu lượng.

Nếu $\alpha = \text{const} \Rightarrow Q$ tỷ lệ với f_k

Trong thực tế thước chia độ là đều vì ta đã xem $\alpha = \text{const}$.

Lưu lượng còn phụ thuộc vào môi chất cần đo (γ) nên khi thay đổi môi chất cần phải chia độ lại hoặc thêm hệ số bố chính (*thường ta khắc độ cho nước hoặc không khí*)

Cấu tạo:

Ống hình nón có thể bằng thủy tinh hay kim loại có độ dốc $\text{tg}\alpha = 1:100$

Với ống thủy tinh hạn chế với áp suất $P < 5 \text{ KG/cm}^2$; $t < 100^\circ\text{C}$.

Với ống kim loại thì dùng đo thông số cao hơn nhiều nhưng phải có thêm cơ cấu để nhìn thấy phao hay biết được vị trí của phao.

Phao có thể làm bằng thép, nhôm, đồng... và hình dạng có nhiều loại, chúng thường có các rãnh xoắn và dạng tròn xoay để phao luôn ở giữa dòng chảy.

4.5.2. Lưu lượng kế piston

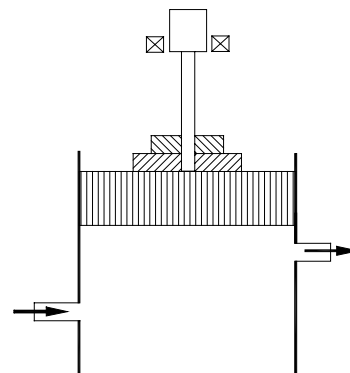
Lưu lượng kế piston đo đáng áp không đổi thường không có thước chia độ mà chuyển qua tín hiệu điện.

Nguyên lý làm việc:

Dòng chảy đi qua tiết diện chữ nhật.

Dòng chảy đẩy piston $\Rightarrow Q = K \cdot X$

Các quả cân dùng để thay đổi khối lượng.



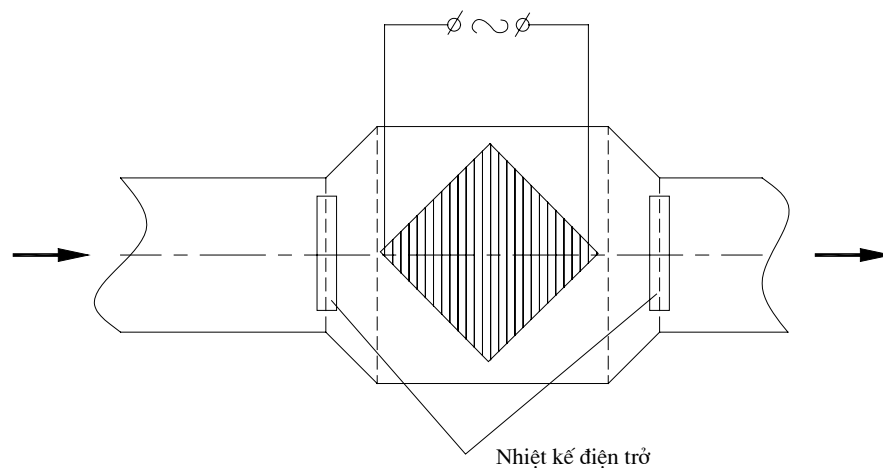
Loại này dùng đo những chất có γ lớn như dầu, nhờn, dầu đen áp suất đến 10 KG/cm² và $t = 100$ °C. Thường lắp ở các ống ngang trước và sau có đoạn ống thẳng dài. Lưu lượng kế có thể đo được : $Q = 400 \div 4000$ kg/h.

Xi lanh được làm mát bằng cách bên ngoài có cánh tán nhiệt.

4.6. MỘT SỐ LƯU LƯỢNG KẾ ĐẶC BIỆT

4.6.1. Lưu lượng kế kiểu nhiệt điện

a/ Lưu lượng kế kiểu nhiệt lượng kế:



Nguyên lý: đốt nóng dòng khí bằng nguồn nhiệt có công suất không đổi.

$$\Rightarrow \text{Nhiệt lượng nhận được } Q_t = G \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2) \quad \text{và} \quad Q_t = K \cdot U \cdot I$$

K : là đường lượng nhiệt công.

$$\Rightarrow Q_t = G \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2) = K \cdot U \cdot I = K \cdot I^2 \cdot R$$

$$\Rightarrow G = \frac{K \cdot I^2 \cdot R}{C_p (t_1 - t_2)} = \frac{K \cdot U^2}{R \cdot C_p (t_1 - t_2)} \Rightarrow G = f(t_1 - t_2)$$

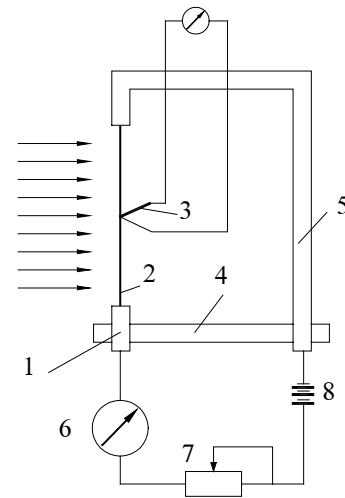
Thường $\Delta t = t_1 - t_2 = 1 \div 2$ °C

Cách này có thể đạt độ chính xác đến 0,5% và thường để đo lưu lượng rất nhỏ với ống có đường kính $d = (2 \div 3)$ mm, đặc tính động xấu và cấu tạo lắp ráp cần chính xác (ít sử dụng trong thực tế).

b/ Lưu lượng kế kiểu dẫn nhiệt (tốc kế gió)

Cấu tạo:

- 1, 5. là các thanh thép
2. Sợi đốt ($d = 0,05 \text{ mm}$)
bằng hợp kim Ni - Cr
3. Cặp nhiệt
4. Thanh đỡ (cách điện bằng cao su)
6. Ampe kế
7. Biến trở
8. Nguồn điện

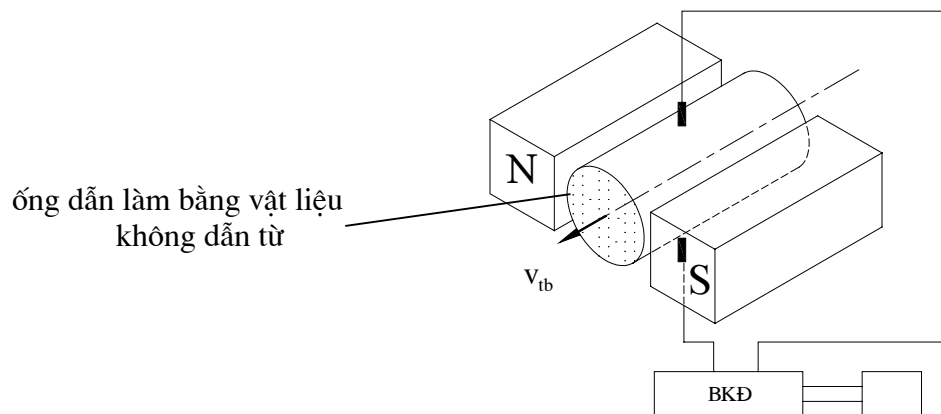


Nguyên lý :

dựa vào dòng nhiệt do dòng khí nhận

- Dùng nguồn 8 đốt sợi đốt 2 và dùng cặp nhiệt đo nhiệt độ của sợi đốt 2 và tìm độ sai lệch mất mát do gió lấy đi so với lý thuyết => đo được vận tốc gió.
- Loại này ít sử dụng

4.6.2. Lưu lượng kế kiểu điện từ



Nguyên lý: Dựa vào tính chất các chất lỏng cũng dẫn điện như dây dẫn, do vậy khi chất lỏng chuyển động trong điện trường thì sẽ sinh ra một sđđ cảm ứng và sđđ

này có quan hệ với lưu lượng
$$E = \frac{4}{\pi D^2} \cdot B \cdot Q \cdot \mu$$

B : cảm ứng từ.

 μ : hệ số ứng từ.

Thường ta sử dụng các từ trường là từ trường xoay chiều để tránh hiện tượng phân cực. Đặc điểm loại này là không có quán tính nên tiện dùng đo thiết bị tự động,

mất mát áp suất nhỏ có thước chia độ đều và phạm vi đo rộng $\Rightarrow$ có thể đo được lưu lượng rất nhỏ.

Nhược điểm: Bộ phận đo phức tạp, bộ khuếch đại cần có hệ số khuếch đại lớn do đó không trực tiếp đo được lưu lượng lớn và tổn điện năng.

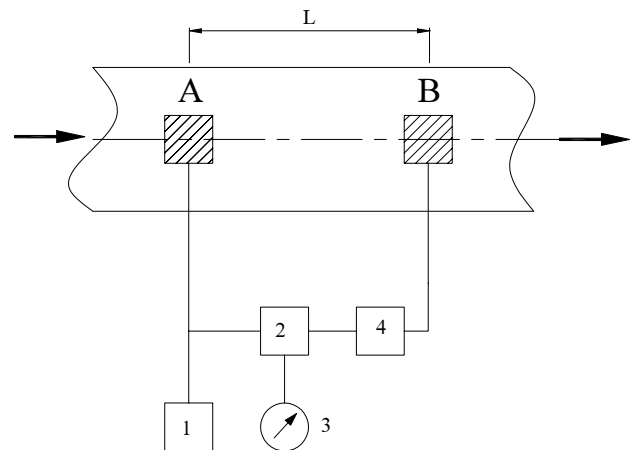
Thường dùng đo những chất lỏng dẫn điện tốt như : xút, axit, đường, bột giấy và đo máu trong y học.

4.6.3. Lưu lượng kế siêu âm

Nguyên lý: Dựa vào sóng siêu âm để suy ra lưu lượng.

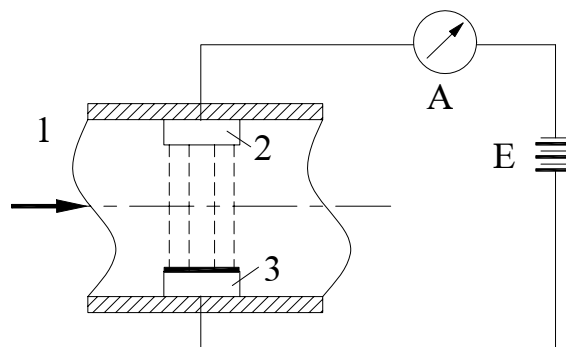
Loại này cho dùng trong công nghiệp và mới dùng để đo những khí dễ nổ.

- 1- Máy phát sóng siêu âm.
- 2- Dụng cụ đo pha.
- 3- Đồng hồ xác định độ lệch pha.
- 4- Bộ khuếch đại. A- Bộ phát và B- là bộ thu



4.6.4. Lưu lượng kế dùng dòng điện phóng xạ

Dùng đo những dòng khí có nhiệt độ và áp suất quá cao



2, 3 - tấm điện cực.

1 - ống dẫn.

E : Nguồn điện

A : Đồng hồ để đo dòng

Trên bản cực 3 người ta quét lớp chất phóng xạ khi phóng xạ $\Rightarrow$ dòng khí dẫn điện được đo bằng đồng hồ $\Rightarrow$ đo được vận tốc khí. Khi lượng phóng xạ giảm dần $\Rightarrow$ độ chính xác kém.

CHƯƠNG 5 : ĐO MỨC CAO CỦA MÔI CHẤT

Trong thực tế thường phải đo mức cao của mặt phân giới nhiên liệu thể nước hoặc nhiên liệu thể rắn ở dạng hạt, để biết được rõ số lượng trong bình chứa nhằm bảo đảm kế hoạch sản xuất...

Tùy theo phương pháp đo và cấu tạo của đồng hồ mà có thể chia dụng cụ đo mức cao thành nhiều loại khác nhau.

Có các phương pháp để đo mức cao chủ yếu như:

- Phương pháp cơ khí (dùng phao).
- Phương pháp bằng thủy tinh (bình thông nhau).
- Phương pháp cột áp (đo hiệu áp giữa bình cần đo và bình chuẩn nào đó).
- Phương pháp khí nén (sử dụng áp suất của chất khí khác để thổi vào bình cần đo).

Ngoài ra còn có các phương pháp gián tiếp khác như phương pháp dùng nồng độ phóng xạ và phương pháp điện dung.

5.1. ĐO MỨC CAO CỦA MÔI CHẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP TIẾP XÚC

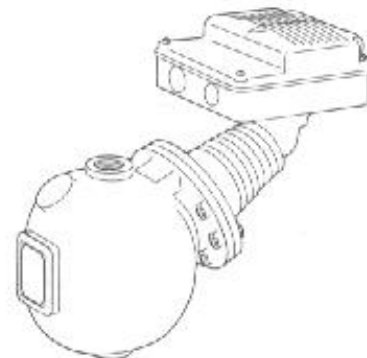
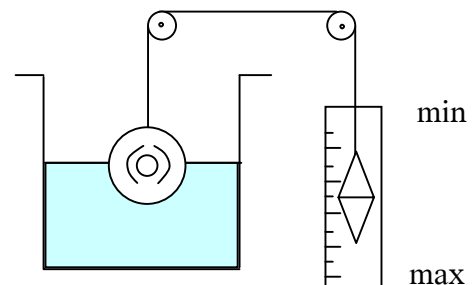
5.1.1. Phương pháp cơ khí

Phao thả nổi trên mặt chất nước nên vị trí của phao phản ánh mức cao của chất nước. Đây là một trong những dụng cụ đo đơn giản nhất và cũng được sử dụng sớm nhất.

- Trường hợp bình không có áp lực: loại này là loại đơn giản nhất.

- Khi bình có áp lực : Ta cũng dùng phao dùng cho bình có áp suất sai số đo cần giảm đến mức tối thiểu do có lực ma sát.

Nguyên lý làm việc: Phao thường làm bằng kim loại rỗng, khi mức chất lỏng thay đổi thì lực tác dụng lên cánh tay đòn tạo thành mômen và có cơ cấu truyền tín hiệu ra ngoài (đó là một ống thành mỏng chịu xoắn), tín hiệu đó có thể là điện hoặc khí nén.



5.1.2. Phương pháp đo mức kiểu thủy tĩnh

Với loại này nhờ ống thủy tĩnh trong suốt nên nhìn rõ được mức nước và thấy được trực tiếp số đo do mức chất nước chỉ trên thước chia độ. Đồng hồ này thường được gọi là ống thủy đo mức. Ống thủy làm bằng ống thủy tinh thì chỉ chịu được áp suất thấp, còn nếu dùng 2 tấm kim loại kẹp giữa 1 hoặc 2 tấm thủy tinh thì chịu áp lực cao hơn. Nếu bình không chịu áp lực thì ta chỉ dùng 1 ống thông ra ngoài.

- Do có chênh nhiệt độ nên $h \neq H$ nên gây sai số.

Trường hợp bình có chịu áp lực

$$\Rightarrow \rho_b \cdot H \cdot g = \rho_o \cdot h \cdot g$$

$$\Rightarrow h = \frac{\rho_b \cdot H}{\rho_o} = \frac{\rho_b}{\rho_o} H$$

Trường hợp cần đo mức nước ở những bình cao hoặc xa thì ta phải đưa tín hiệu đến nơi làm việc.

r : độ chênh mức chất lỏng trung gian ban đầu

Trường hợp đầu :

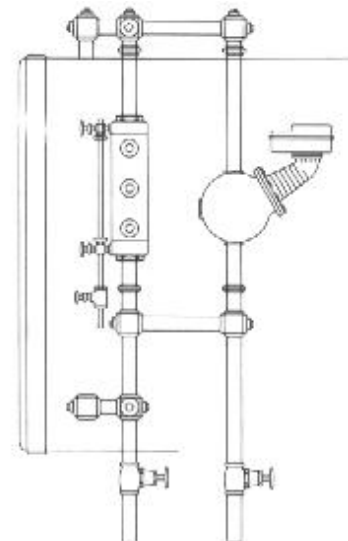
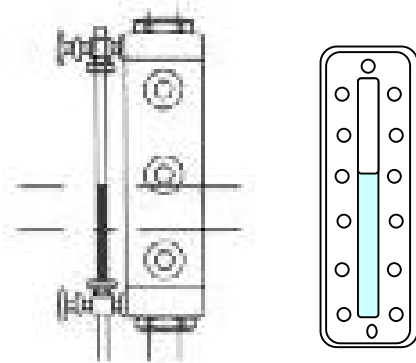
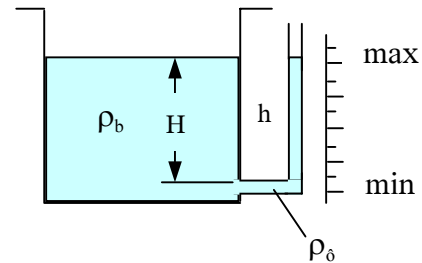
$$\text{Nhánh trái : } \rho_b H_o + H \rho_o + r \rho_t$$

$$\text{Nhánh phải : } (H_o + H + r) \rho_o$$

$$\Rightarrow r = H_o \cdot \frac{\rho_o - \rho_b}{\rho_t - \rho_o}$$

Độ trên áp tương ứng :

$$\Delta P = r (\rho_t - \rho_o) \cdot g$$

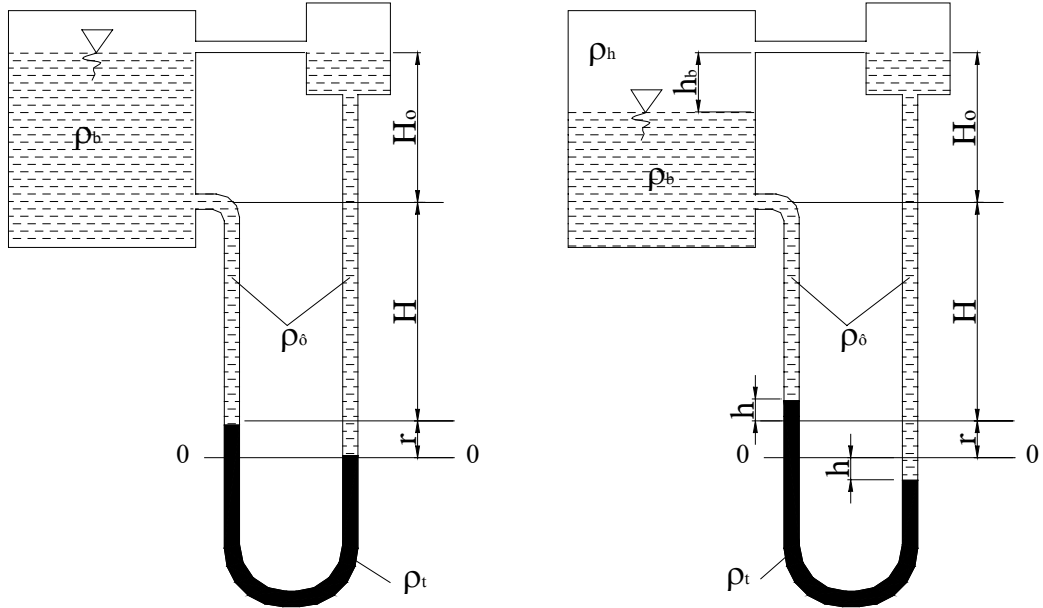


Vậy ta chọn ρ_t sao cho độ sai lệch nhỏ nhất.

Trường hợp thứ 2 :

$$H_b \cdot \rho_h + (H_o - h_b) \rho_b + (H - h) \cdot \rho_o + (r + 2h) \rho_t = (H_o + H + r + h) \cdot \rho_o$$

Thay r trên vào và $h_b = h$ (điều kiện phải thỏa mãn).



$$\Rightarrow \rho_t = \frac{2 \rho_o + \rho_b - \rho_h}{2} \text{ phụ thuộc nhiệt độ môi chất}$$

Điều kiện : Dù cho môi chất trong bình thay đổi nhiệt độ thì ρ_t phải giữ 1 giá trị xác định thì phép đo mới chính xác.

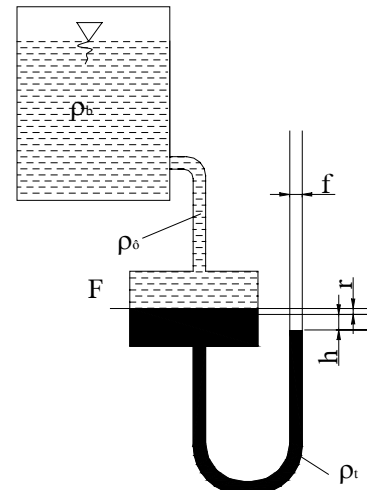
Thay ống chữ U bằng áp kế một ống thẳng tương tự ta có :

$$\rho_t = \frac{\left(1 + \frac{f}{F}\right) \rho_o + \rho_b - \rho_h}{1 + \frac{f}{F}}$$

Trường hợp $f \ll F$

$$\Rightarrow \rho_t = \rho_o + \rho_b + \rho_h$$

Đây là điều thực tế dùng để chọn ρ_t



Thực tế ta dùng Tetraclêtylen :

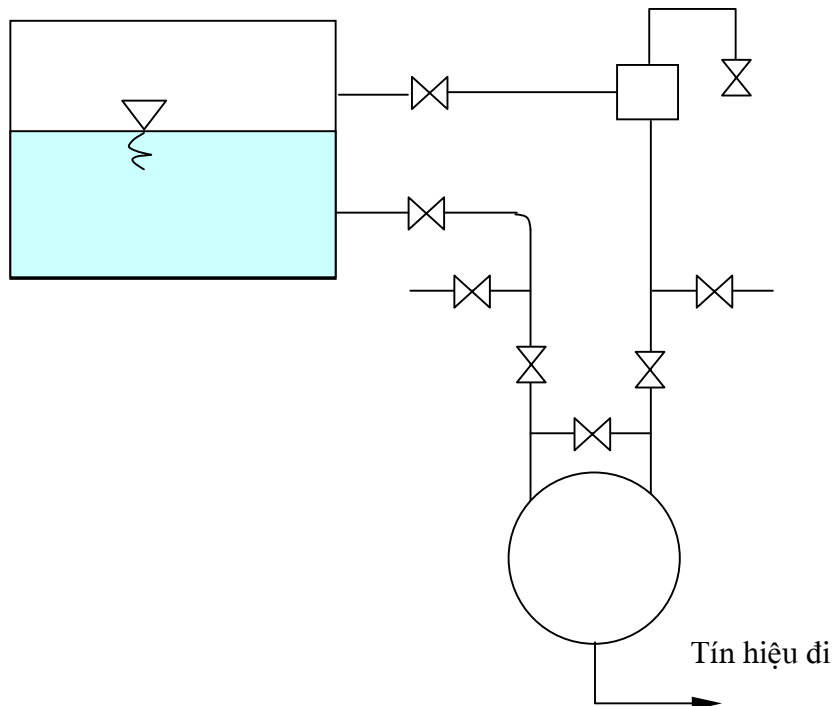
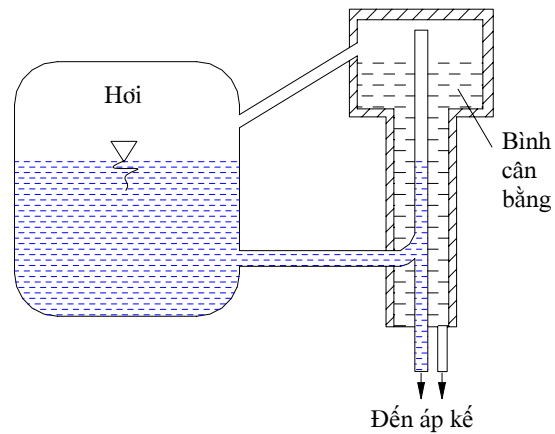
$$\rho_t = 1623 \text{ kg/m}^3$$

5.1.3. Phương pháp đo dùng áp kế

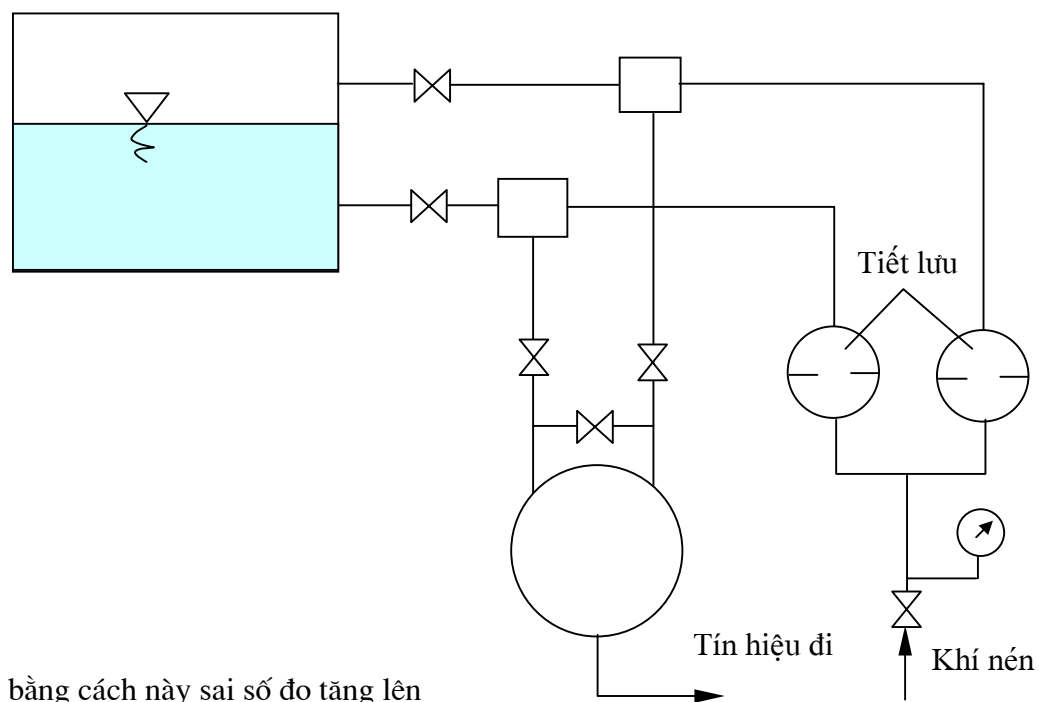
Để đo mức chất lỏng người ta dùng áp kế vi sai (hiệu áp kế) khắc độ theo đơn vị chiều dài khi đo mức trong bình có áp người ta đặt thêm các bình cân bằng để tiện lợi cho việc tính toán.

Để giảm sai số đo người ta dùng sơ đồ đo có bình cân bằng chất lỏng trong đó không ngừng đốt nóng bởi hơi và nhiệt độ chất lỏng xem bằng nhiệt độ trong buồng đo, mực nước trong ống nhỏ và bình bằng nhau : $\rho_b \approx \rho_o \Rightarrow$ sai lệch do nhiệt ≈ 0

Sơ đồ nối áp kế vào hệ thống đo.

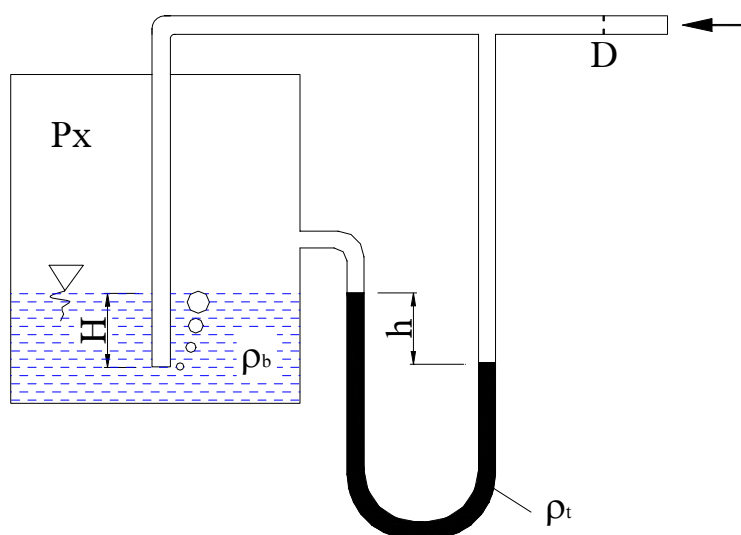


Nếu không cho môi chất trực tiếp vào đồng hồ ta dùng thiết bị khí nén :



5.1.4. Phương pháp đo mức dùng khí nén

Trường hợp không dùng được các loại khác :



Cách làm việc : Dùng dòng khí thổi vào chất lỏng ở độ sâu nào đó dưới mặt thoáng, luồng không khí được khống chế bởi cửa ngăn D có thể điều chỉnh được sao cho vận tốc nhỏ $\Rightarrow$ coi tổn thất áp suất sau cửa ngăn $= 0$.

$$\Rightarrow P - P_x = H \cdot \rho_b \cdot g = h \cdot \rho \cdot g$$

$$\Rightarrow h = \frac{\rho_b}{\rho} \cdot H$$

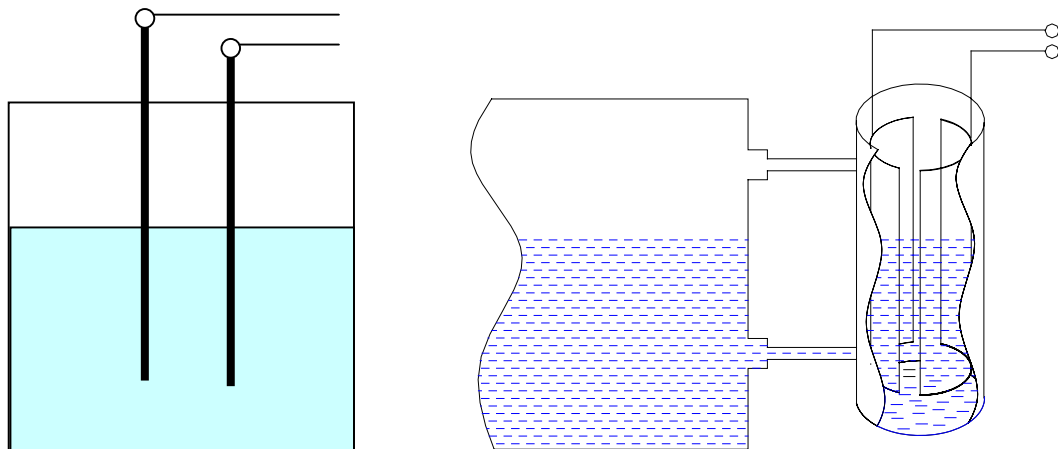
$$\Rightarrow H = \frac{\rho}{\rho_b} \cdot h = K \cdot h$$

Phương pháp này dùng phổ biến để đo những bình đặt dưới đất, bình khó đến gần và các bình chứa chất độc. Loại này sai số tương đối lớn.

5.1.5. Dụng cụ đo mức chất nước kiểu điện

Chất nước cần đo mức cao thường có tính dẫn điện nhất định, vì vậy có thể dùng các phần tử nhạy cảm kiểu điện để xác định mức cao của chất nước.

Ví dụ : Dùng phần tử nhạy cảm là điện trở hoặc điện dung có trị số thay đổi theo mức cao của chất nước.

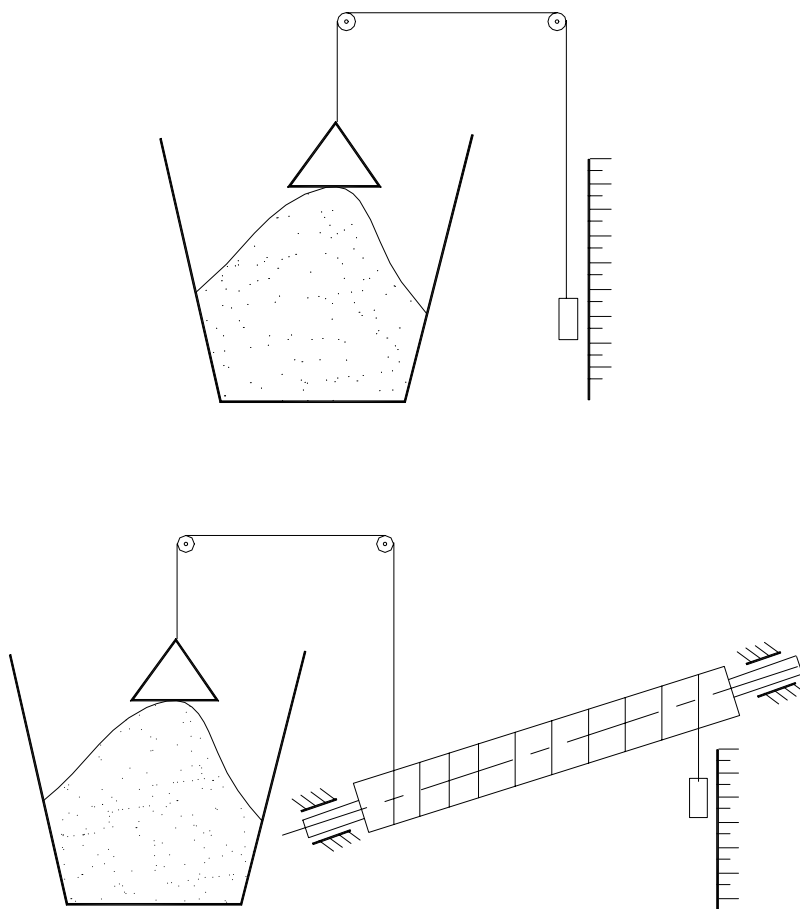


Loại này các cực của phần tử nhạy cảm thường hay bị bám bẩn, do đó giảm độ chính xác.

5.1.6. Dụng cụ đo mức cao của chất rắn

Phương pháp dùng phao

Như than bột



Loại này sử dụng nguyên tắc cơ điện nhằm dùng truyền tín hiệu đi xa

Phương pháp dùng mô men cân (masát)

5.2. ĐO MỨC CAO MÔI CHẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP GIÁN TIẾP

Dụng cụ đo mức cao kiểu tiếp xúc có nhiều hạn chế và không thích hợp với những điều kiện đo lường đặc biệt, vì vậy trong công nghiệp đã dùng nhiều dụng cụ đo mức cao môi chất kiểu gián tiếp (*không tiếp xúc trực tiếp*).

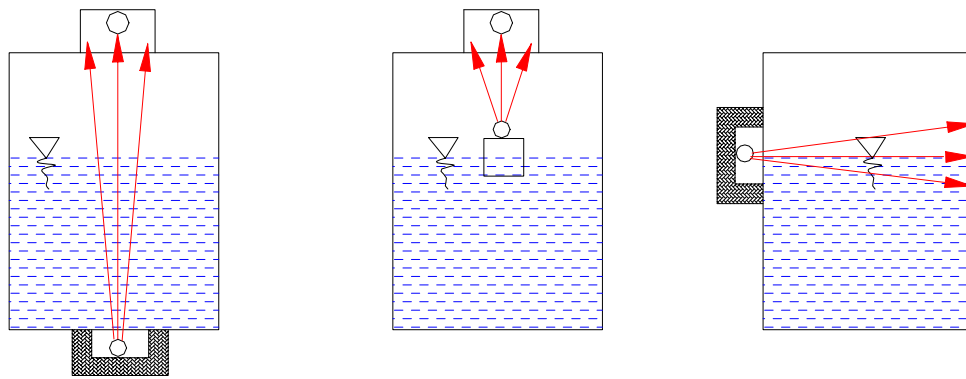
5.2.1. Phương pháp dùng chất phóng xạ

Nguyên lý : Dựa vào sự hấp thụ của lớp vật chất đối với các hạt phóng xạ, lớp vật chất càng dày thì tác dụng hấp thụ càng mạnh (tất nhiên là tính chất hấp thụ này phụ thuộc vào tính chất của các hạt phóng xạ (α , β , γ ,...).).

Khả năng hấp thụ của mỗi loại môi chất đối với mỗi hạt được biểu thị bằng mối quan hệ giữa hệ số hấp thụ, độ dày l của lớp môi chất và cường độ tia phóng xạ đi qua lớp môi chất đó.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot l}$$

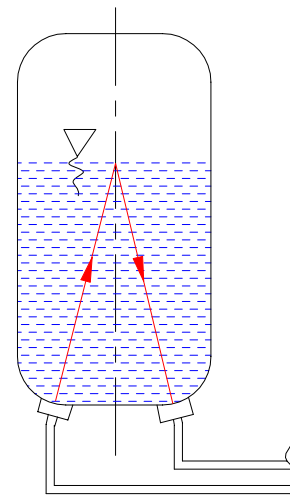
Trong đó I_0 , I là cường độ tia phóng xạ trước và sau khi qua lớp môi chất.



5.2.2. Phương pháp dùng sóng siêu âm

Loại dụng cụ này có độ chính xác cao, quán tính nhỏ và ngày càng được dùng rộng rãi trong công nghiệp như : xác định độ sâu của sông biển, xác định độ dày kim loại, xác định mức cao của các môi chất độc hại nguy hiểm.

Nhờ các phân tử đặt ở dưới bình chứa lần lượt thay nhau làm nhiệm vụ phát và thu tín hiệu chấn động xung có tần số sóng siêu âm, ta có thể đo khoảng thời gian từ lúc phát xung đến lúc nhận được xung phản xạ lại từ mặt phân giới giữa 2 lớp môi chất, và từ giá trị thời gian này ta tính được độ dày lớp môi chất.



CHƯƠNG 6 : PHÂN TÍCH CÁC CHẤT THÀNH PHẦN TRONG HỖN HỢP

6.1. MỤC ĐÍCH VÀ NỘI DUNG

Phân tích các chất thành phần có ý nghĩa vô cùng quan đối với rất nhiều quá trình công nghiệp, nội dung phân tích thành phần rất rộng rãi, có thể là công việc kiểm nghiệm cuối cùng để đánh giá chất lượng sản phẩm (ví dụ phân tích độ nguyên chất H_2SO_4), có thể là phân tích nhằm đảm bảo an toàn sản xuất và an toàn lao động (ví dụ phân tích hàm lượng khí có hại trong không khí như CO , hơi Hg , khí độc, các loại khí dễ gây nổ cháy... ; phân tích hàm lượng các chất có tác dụng làm hư hỏng thiết bị ...), có thể là phân tích để đánh giá mức độ sử dụng và hiệu quả kinh tế vận hành thiết bị.

Phân tích thành phần có quan hệ đến nhiều lĩnh vực công nghiệp như các ngành luyện kim (kim loại đen, màu, đặc biệt luyện cốc), dầu mỏ hơi đốt, công nghiệp hóa học, sản phẩm và vật liệu tổng hợp, năng lượng nguyên tử, năng lượng, nhiệt. Trong quá trình công nghiệp hóa học người ta càng cần tới phân tích thành phần và xác định các tính chất lý hóa của các vật phẩm như thành phần hóa học, hóa tính, nồng độ, mật độ, độ kiềm, axit. Chính các tham số đó là biểu hiện cụ thể của chất lượng sản phẩm và quá trình sản xuất hóa học. Chúng ta có thể thông qua một cách gián tiếp các biểu hiện của quá trình tiến hành phản ứng hóa học như : nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, bề mặt chất nước, điều đó rất cần thiết trong sản xuất nhưng không thể hoàn toàn khẳng định được chất lượng sản phẩm. Thành phẩm hoặc bán thành phẩm tốt hay xấu, hợp quy cách hay không đều phải thông qua các phân tích chất lượng để xác định. Không kịp thời phát hiện các thiếu sót của quá trình sản xuất do việc phân tích chậm trễ hoặc do dùng các thông số gián tiếp sẽ bị lãng phí rất lớn vì vậy nên việc nghiên cứu chế tạo các bộ phân tích cho kết quả liên tục, nhanh chóng, chính xác có ý nghĩa hết sức quan trọng. Nhờ các bộ phân tích đó mà người ta có thể tổ chức kiểm tra và tự động hóa quá trình sản xuất. Việc dùng máy tính phối hợp với các bộ phân tích tự động để liên tục phân tích thành phần nguyên vật liệu, bán thành phẩm, thành phẩm sẽ tạo điều kiện xây dựng các hệ thống khống chế và kiểm tra nhằm loại trừ các nhân tố có hại tới chất lượng thành phẩm ngày càng phát triển.

Phần lớn các quá trình công nghiệp đòi hỏi phân tích nhanh, liên tục, tự động nên các bộ phân tích thường là kiểu vật lý, lý-hóa. Trái lại trong thí nghiệm thì thường dùng các bộ phân tích kiểu hóa học.

Mỗi bộ phân tích chỉ dùng để phân tích một loại thành phần và sử dụng ở mỗi điều kiện làm việc nhất định, chúng không có tính thông dụng. Những bộ phân tích kiểu khối phổ, ký sắc cho phép phân tích rộng hơn nhưng do kết cấu nặng nề phức tạp, giá thành cao nên nay vẫn chưa được dùng phổ biến và đang được nghiên cứu và hoàn thiện thêm.

Trong quá trình nhiệt thì phân tích thành phần có các nội dung chủ yếu sau :

1- Phân tích sản phẩm cháy :

Khi phân tích thành phần các chất trong sản phẩm cháy, chúng ta sẽ biết được đặc điểm quá trình cháy đó. Ví dụ : *xác định hàm lượng CO_2 hoặc O_2 trong sản phẩm cháy để biết quá trình cháy hoàn toàn hay không, theo dõi liên tục hàm lượng CO_2 hoặc O_2 trong khói sẽ giúp ta kịp thời khống chế tỷ lệ nhiên liệu và không khí nhằm hạ thấp suất tiêu hao nhiên liệu.*

2- Kiểm tra độ nguyên chất của môi chất :

Yêu cầu về độ nguyên chất của môi chất ngày càng cao vì các thiết bị nhiệt lực càng ngày càng nâng cao tham số và dung lượng.

Ví dụ : *hơi nước bão hòa vào bộ quá nhiệt phải có độ nguyên chất thật cao để bộ quá nhiệt của lò hơi đạt độ khô cao, nước dùng điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt phải có độ nguyên chất thật cao để bộ quá nhiệt ít bị đóng cặn gây sự cố nổ ống...*

3- Kiểm tra thành phần có hại trong môi chất :

Đối với một số môi chất trong quá trình nhiệt không cần có độ nguyên chất cao nhưng cần phải khống chế hàm lượng các chất thành phần có hại trong một giới hạn nhất định, ví dụ : *nước cấp cho lò hơi tuy không thật nguyên chất song phải cố gắng tìm cách khử các chất có hại như O_2 ...*

Có thể chia các bộ phân tích thành phần thành 2 loại là : Bộ phân tích khí và bộ phân tích dung dịch. Việc phân tích thành phần vật rắn thường rất ít gặp trong quá trình nhiệt công nghiệp.

6.2. NGUYÊN LÝ PHÂN TÍCH THÀNH PHẦN HỖN HỢP

Muốn chế tạo các bộ phân tích thành phần, người ta có thể lợi dụng một tính chất lý hóa nào đó mà tính chất của hỗn hợp chỉ có quan hệ với hàm lượng

(*nồng độ*) chất thành phần cần phân tích chứa trong hỗn hợp trên. Nói khác đi là tính chất được lựa chọn đối với các chất thành phần cần phân tích phải khác hẳn với các chất thành phần còn lại của hỗn hợp và tính chất đó của mỗi chất thành phần còn lại phải như nhau hoặc xấp xỉ bằng nhau. Nguyên tắc này cũng được dùng cho các bộ phân tích chất thành phần hòa tan trong dung dịch, tạp chất chứa trong hỗn hợp ở thể rắn. Có thể chia các bộ phân tích thành 3 loại lớn:

1- Kiểu hóa học :

Dùng tính chất hóa học hoặc của phản ứng hóa học.

Ví dụ : Bộ phân tích kiểu hấp thụ, kiểu nhiệt hóa học...

Phương pháp hóa học là phương pháp phân tích rất chuẩn xác, các bộ phân tích tinh vi theo kiểu hấp thụ có độ chính xác tới 0,27%, vì vậy được coi là phương pháp tiêu chuẩn dùng trong phòng thí nghiệm và dùng hiệu chỉnh các bộ phân tích kiểu khác.

Nhược điểm của phương pháp hóa học là tốn nhiều thời gian phân tích, rất khó thực hiện phân tích hoàn toàn tự động và liên tục do đó trong công nghiệp ít dùng loại này.

2- Kiểu vật lý :

Dùng tính chất vật lý hoặc các đại lượng vật lý. Các bộ phân tích kiểu vật lý thường ứng dụng phương pháp nhiệt dẫn, từ, quang học và quang phổ, khối phổ Ion. Bộ phân tích kiểu vật lý hoàn toàn khắc phục được các thiếu sót của loại hóa học, đó là nhanh, có thể thực hiện đo liên tục và tự động.

3- Kiểu lý-hóa :

Dùng tính chất lý hóa. Các bộ phân tích này cho phép phân tích liên tục, nhanh, chính xác và nhất là phân tích được nhiều chất thành phần như bộ phân tích sắc tầng (ký sắc).

Các bộ phân tích dùng trong công nghiệp cần đảm bảo các yêu cầu sau:

- Kết quả phân tích không phụ thuộc các nhân tố khách quan hoặc chịu ảnh hưởng rất ít (*nhiệt độ, áp suất, chấn động*).
- Đảm bảo độ chuẩn xác trong khoảng đo không phụ thuộc hàm lượng.
- Không chậm trễ.
- Sử dụng thuận tiện.

Ngoài ra người ta còn có thể chia loại các bộ phân tích theo các phương pháp phân tích như các loại : cơ khí, nhiệt, từ điện, quang, sắc khí, khối phổ.

Số chỉ kết quả do bộ phân tích cho biết phụ thuộc điều kiện làm việc của nó, muốn có số chỉ đúng thì phải giữ điều kiện làm việc của bộ phân tích giống như điều kiện chia độ, do đó cần phải dùng thêm các thiết bị phụ (*Cái trích mẫu, bộ phận làm lạnh, bộ lọc, thiết bị điều chỉnh, thiết bị tạo lưu lượng, bơm môi chất và các van điều chỉnh...*), chất cần phân tích thành phần phải có nhiệt độ và áp suất không thay đổi, giữ nguyên lưu lượng qua bộ phân tích, không có chứa bụi, hơi ẩm hay các chất có hại.

6.3. BỘ PHÂN TÍCH KIỂU CƠ HỌC

Các bộ phân tích kiểu cơ học xác định chất thành phần cần phân tích bằng cách đo các tham số trạng thái cơ học - phân tử hoặc là tính chất của hỗn hợp khí cần phân tích có quan hệ với nồng độ chất thành phần. Các bộ phân tích này gồm loại :

- Thể tích - áp suất (xác định chất thành phần theo biến đổi thể tích hoặc áp suất của mẫu hỗn hợp khí sau khi có tác dụng hóa học).
- Độ nhớt của hỗn hợp khí.
- Mật độ hoặc một vài tính chất phụ thuộc mật độ hỗn hợp khí như tốc độ phân bố âm thanh, siêu âm, tốc độ khuếch tán.

6.4. BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU NHIỆT

Nguyên lý của các bộ phân tích khí kiểu nhiệt là đo các đại lượng nhiệt có quan hệ với chất thành phần cần phân tích trong hỗn hợp như độ dẫn nhiệt của hỗn hợp khí, hiệu ứng nhiệt có ích trong các phản ứng oxy hóa có chất xúc tác. Tùy theo đại lượng cần đo ta có thể chia bộ phân tích thành 2 loại là : *dẫn nhiệt và nhiệt hóa*. Bộ phân tích khí kiểu dẫn nhiệt là một trong số các loại cơ bản nhất xuất hiện sớm nhất của bộ phân tích kiểu vật lý và đã được sử dụng hàng chục năm qua do đó kiểu, loại của nó rất đa dạng. Còn bộ phân tích khí kiểu nhiệt hóa thường gặp phổ biến nhất là loại dựa trên phản ứng oxy hóa (*cháy*) để xác định chất thành phần.

6.4.1. Các bộ phân tích khí kiểu dẫn nhiệt

a- Nguyên lý và phương pháp đo:

Mỗi loại khí đều có một hệ số dẫn nhiệt nhất định. Hệ số dẫn nhiệt của một hỗn hợp gồm nhiều loại khí λ_{hh} chính là trị số trung bình toán hệ số dẫn nhiệt

của các khí thành phần λ_i ứng với hàm lượng các khí thành phần n_i tính theo phần trăm so với hỗn hợp.

$$\lambda_{hh} = \sum_{i=1}^n n_i \lambda_i$$

Từ tính chất dẫn nhiệt này ta thấy có thể tìm được hàm lượng n_i ứng với một khí thành phần có hệ số dẫn nhiệt λ_i nếu hỗn hợp còn lại chỉ gồm các loại khí thành phần có hệ số dẫn nhiệt gần giống nhau và khác xa λ_i trên. Hay nói cách khác là ta có thể viết :

$$\lambda_{hh} = \lambda_1 n_1 + \lambda_2 (1 - n_1)$$

Vậy từ λ_1, λ_2 đã biết và nếu đo được λ_{hh} thì ta biết được n_1 .

Mặt khác do hệ số dẫn nhiệt thay đổi theo nhiệt độ nên số chỉ kết quả của bộ phân tích khí cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ.

$$\lambda_t = \lambda_0 [1 - A(t - 0^\circ \text{C})] \quad (A - \text{hệ số nhiệt độ})$$

Thực tế ta thường không hoàn toàn dùng tính toán lý thuyết mà việc chia độ bộ phân tích khí được tiến hành theo thực nghiệm nên khi đo có thể khử mất ảnh hưởng của nhiệt độ nếu giữ nguyên điều kiện nhiệt độ đúng như lúc chia độ.

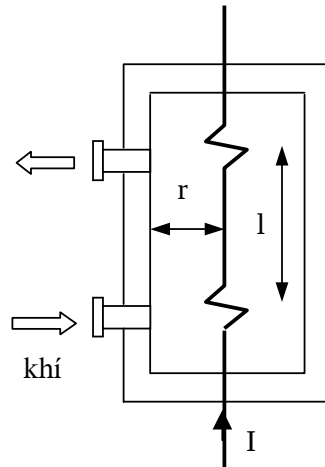
Vấn đề đo hệ số dẫn nhiệt trực tiếp rất phiền phức vì khó chính xác. Do đó thường đo điện trở của dây dẫn điện đặt trong hỗn hợp khí để xác định hàm lượng chất khí thành phần cần phân tích.

Ví dụ : Xét điều kiện tản nhiệt của 1 dây dẫn được dòng điện đốt nóng đặt trong buồng có hỗn hợp khí đi qua, ta có thể tạo điều kiện để điện trở của dây dẫn chỉ phụ thuộc vào lượng chất khí thành phần trong hỗn hợp khí. Thực tế và lý thuyết đều xác định rằng quan hệ đó trong một phạm vi nhất định là quan hệ đường thẳng.

Xét bộ chuyển đổi như hình vẽ:

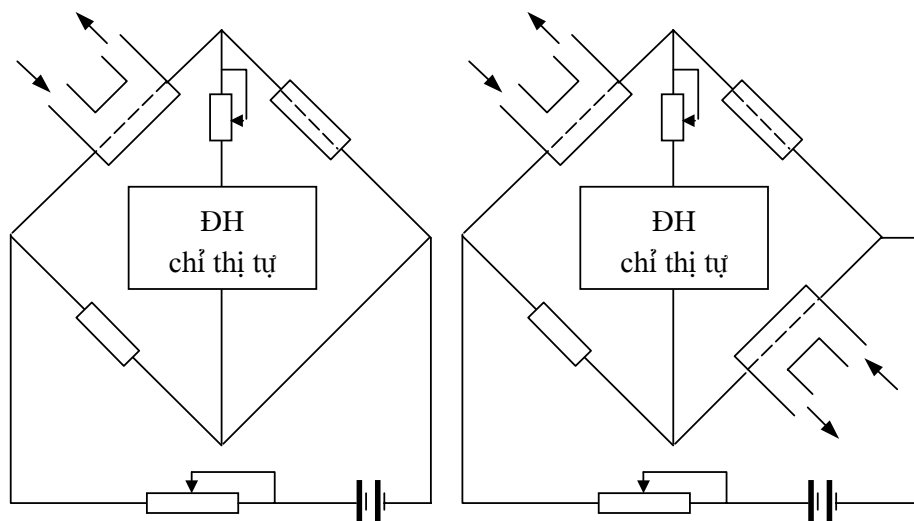
Có cấu tạo thích hợp sao cho nhiệt lượng mất đi là do sự dẫn nhiệt của khí xung quanh dây theo phương thẳng đứng tuân theo định luật Fourier. Thì bằng tính toán lý thuyết ta có quan hệ là: $R = f(1/\lambda_{hh})$.

Để thỏa mãn vấn đề trên thì dây dẫn cần đặt thẳng đứng



và cho hỗn hợp khí đi từ dưới lên và buồng có r nhỏ và dây phải đủ dài ($l > 20r$), nhiệt độ hỗn hợp khí trong khoảng $40 \div 50^\circ\text{C}$ và nhiệt độ dây dẫn khoảng $100 \div 120^\circ\text{C}$.

b- Sơ đồ đo lường: Thường dùng cầu cân bằng hoặc cầu không cân bằng và tùy dụng cụ đo cụ thể mà cầu điện có một số biến đổi để tăng độ nhạy và độ chính xác đo lường.



Cầu điện một nhánh đo (đơn)

Cầu điện hai nhánh đo (kép)

Như trên sự tỏa nhiệt bằng đối lưu từ dây dẫn phải hết sức nhỏ. Trong một số trường hợp cần nâng cao tính lựa chọn của phương pháp dẫn nhiệt người ta phải phối hợp các buồng dẫn nhiệt với các buồng đối lưu. Tăng thành phần truyền nhiệt đối lưu bằng cách tăng đường kính buồng có phần tử nhạy cảm đặt đứng hoặc bố trí nằm ngang, ngoài ra còn có thể tăng áp suất khí trong buồng (vì lượng nhiệt truyền đi bằng đối lưu tỷ lệ với bình phương của áp suất khí, còn độ dẫn nhiệt của khí thực tế không phụ thuộc áp suất). Việc phối hợp trên cho phép đồng thời tiến hành đo hỗn hợp khí 2 thành phần và khử ảnh hưởng của thành phần không cần đo khi xác định một thành phần kia.

6.4.2. Bộ phân tích khí kiểu nhiệt hóa học

Nguyên lý làm việc cơ bản của bộ phân tích này là dựa vào lượng nhiệt phát ra do phản ứng hoá học khi đốt khí có thể cháy trong oxy ở một nhiệt độ tương đối cao.

Ví dụ : $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 136,2 \text{ kCalo}$

Dựa vào lượng nhiệt phát ra ta sẽ xác định được hàm lượng CO trong khí cần phân tích .

Thông thường đo nhiệt lượng khó hơn đo độ biến đổi nhiệt độ. Nên người ta tìm cách đo độ biến đổi nhiệt độ ở điều kiện nhất định để xác định hàm lượng chất cần phân tích, cách làm này cho phép đạt được độ chính xác cao.

Nhiệt độ điểm cháy có thể hạ thấp đi nhiều bằng cách dùng thêm chất xúc tác, nhờ đó giảm được công suất tiêu hao cho bộ phân tích và tăng tuổi thọ. Ví dụ : Đối với CO thường dùng chất xúc tác là Hốpcalit (hỗn hợp 60% MnO₂ và 40% CuO) nhiệt độ hoạt động tốt nhất của nó là 100 °C và có thể đốt cháy hết hoàn toàn CO.

Quan hệ giữa hàm lượng chất cần phân tích, nhiệt lượng cháy và nhiệt độ cuối cùng xác định bằng tính toán lý thuyết thì rất phức tạp và khó khăn, mặt khác do thực tế khác với lý thuyết nên sai số rất lớn, do đó nói chung người ta xác định quan hệ trên và khắc độ bộ phân tích bằng phương pháp thực nghiệm.

Chất xúc tác có thể ở dạng các hạt nhỏ nhưng thường ta dùng dây dẫn làm bằng chất xúc tác để làm phần tử nhạy cảm, không cần dùng nhiệt kế điện trở hoặc cặp nhiệt.

Độ nhạy ψ của bộ phân tích khí kiểu nhiệt hóa học xác định theo độ biến đổi nhiệt độ Δt so với độ biến đổi hàm lượng thành phần ΔC theo công thức.

$$\psi = \Delta t / \Delta C = Aq(1-aQ^b)$$

A, a, b , là các hệ số phụ thuộc kích thước hình học và đặc tính nhiệt của buồng nhiệt hóa học; q là suất nhiệt của phản ứng ôxy hóa ; Q là lưu lượng khí tính bằng đơn vị thể tích trong đơn vị thời gian.

Đối với buồng có cấu tạo đã được xác định thì độ nhạy đo lường lớn nhất là

khi:
$$Q = \frac{1}{\sqrt[b]{a(1+b)}} .$$

Khối lượng cần thiết M của chất xúc tác được tính theo công thức :

$$M = \frac{R T G \ln \frac{P_h}{P_k}}{\beta S (P_h - P_k)}$$

R - Hằng số khí

T - Nhiệt độ tuyệt đối

G - Lưu lượng trọng lượng của thành phần cần xác định

P_h, P_k - áp suất riêng phần của thành phần cần xác định trước và sau lớp chất xúc tác.

S - Diện tích bề mặt hạt chất xúc tác trong một đơn vị thể tích

β - Hệ số xác định bởi sự ôxy hóa xúc tác hoàn toàn.

Trường hợp dây dẫn được đồng thời làm nhiệm vụ xúc tác và đo lường, thì nhiệt độ dây dẫn đó trên nhánh làm việc của cầu đo được xác định như sau :

$$\Delta t = \frac{\beta}{100} C_M \frac{q}{i_v} \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)$$

C_M - Nồng độ thành phần cần xác định tính theo mol.

q - Nhiệt trị cháy Kcal/mol (suất nhiệt cháy).

α - Hệ số tính đến mất mát trong môi trường xung quanh.

i_v - độ thay đổi suất nhiệt hàm của không khí khô và sản phẩm của phản ứng.

Δt - độ tăng nhiệt độ của phân tử nhạy cảm.

Khi cấu tạo buồng phản ứng đã xác định thì β chỉ còn phụ thuộc độ dẫn nhiệt của hỗn hợp khí và nhiệt độ phân tử nhạy cảm. Vậy dùng sơ đồ để đo được Δt thì ta sẽ xác định được nồng độ chất thành phần cần phân tích.

Sơ đồ đo của các bộ phân tích khí kiểu nhiệt hóa học cũng tương tự sơ đồ đo của các bộ phân tích khí kiểu dẫn nhiệt.

6.5. BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU ĐIỆN

Nguyên tắc làm việc của các bộ phân tích thuộc nhóm này đều là dựa vào một đặc tính điện nào đó của chính chất khí hoặc chất nước cần phân tích. Tham số điện được lựa chọn phải có quan hệ đơn vị với nồng độ của thành phần cần phân tích.

Loại này trong thực tế có các bộ phân tích khí kiểu ion hóa và kiểu điện hóa học.

6.5.1. Bộ phân tích khí kiểu ion hóa

Sự ion hóa của chất khí là do chất khí bị tác dụng bởi điện trường hoặc từ trường ngoài hoặc là dòng bức xạ điện từ cũng như dòng bức xạ dạng hạt nhỏ. Các điện tử bị tách ra khỏi vỏ ngoài nguyên tử hoặc phân tử vì thế trong khối khí xuất hiện các ion dương và điện tử, chúng lại tiếp tục chuyển hóa. Sự ion hóa được định lượng bằng trị số dòng điện ion hóa, dòng điện này xuất hiện trong khí bị ion hóa khi nằm trong điện trường .

Sự ion hóa phụ thuộc vào loại và cường độ chất tác nhân ion hóa, tham số trạng thái của khí bị ion hóa, cường độ điện trường, hình dạng và kích thước buồng ion hóa. Quan hệ giữa nồng độ ion hóa với nồng độ thành phần cần phân tích trong hỗn hợp đo được xác định bằng một số hiện tượng vật lý khác

nhau. Bộ phân tích khí kiểu ion hóa chọn dùng hiện tượng vật lý nào đó là tùy theo thành phần hỗn hợp khí, bản chất lý hóa, nồng độ chất thành phần cần xác định cũng như mục đích công dụng của việc phân tích (*xác định nồng độ chất thành phần hay chỉ thị sự xuất hiện...*).

Có 2 phương pháp ion hóa :

1- *Phương pháp ion hóa mặt cắt ngang* : Phương pháp này dùng nguồn phóng xạ rọi vào khí và tạo ra trong khí một dòng điện ion hóa, khi giữ các điều kiện khác như nhau thì dòng điện ion hóa trực tiếp tỷ lệ với cái gọi là mặt ion hóa cắt ngang, mặt đó biểu thị bằng xác suất ion hóa do chất tác nhân ion hóa va đập với các nguyên tử hoặc phân tử trung hòa.

2- *Phương pháp ion hóa bằng kích thích nguyên tử* : Cách này được dùng rộng rãi trong bộ tách Argon và Heli. Trị số trung bình của dòng điện ion hóa nằm trong khoảng 10^{-11} đến 10^{-8} Ampe, trong trường hợp hỗn hợp khí gồm 2 nhóm thì tiết diện ion hóa tương đối hoặc dòng điện ion hóa I có thể tìm gần đúng theo biểu thức :

$$I = \sum_j C_j I_j .$$

C_j - là nồng độ tương đối của thành phần thứ j của hỗn hợp khí tính theo thành phần so với đơn vị.

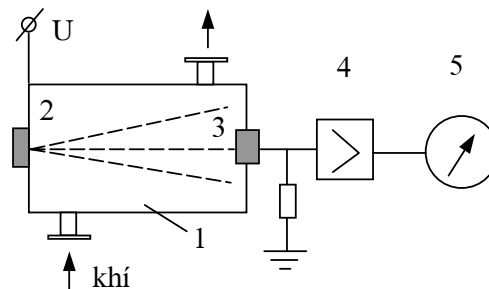
I_j - là dòng điện ion hóa tương đối của thành phần thứ j nguyên chất (100%) của hỗn hợp khí.

Do hiện tượng tái hợp, (sự nạp lại) của các ion và các hiệu ứng khác nên trị số thực tế của dòng điện ion tương đối có khi khác biệt rất nhiều so với trị số tính toán vì thế các bộ phân tích khí kiểu ion hóa theo phương pháp tiết diện, ion hóa thực hiện chia độ theo hỗn hợp chuẩn (thường dùng N_2 nguyên chất làm chuẩn).

Sơ đồ nguyên lý của bộ phân tích khí kiểu ion hóa :

Hỗn hợp khí đi qua buồng ion hóa 1 được ion hóa nhờ nguồn phóng xạ β 2, nhờ có điện cực 3 bên trong sẽ là cực góp iôn và có chênh lệch

điện thế, mạch của cực góp có dòng điện xuất hiện, sau bộ khuếch đại 4 là đồng hồ điện 5.



6.5.2. Bộ phân tích khí kiểu điện hóa

Trong nhóm này gồm các bộ phân tích khí kiểu điện dẫn galvanic (theo điện lượng hoặc dòng điện) kiểu điện thế và kiểu khử cực.

(tự tham khảo)

6.6. BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU TỪ

Loại này được dùng nhiều cho việc phân tích khí O_2 .

(tự tham khảo)

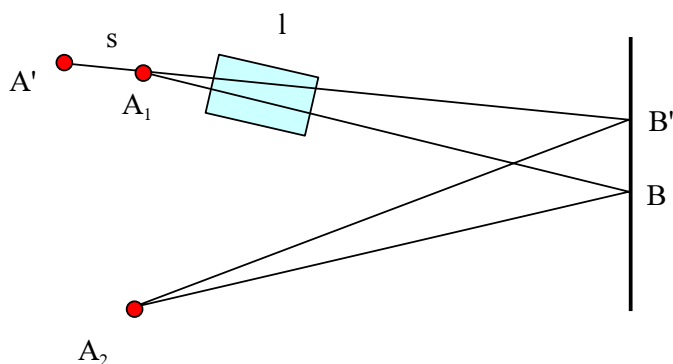
6.7. CÁC BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU QUANG HỌC

Các bộ phân tích khí kiểu quang học là một nhóm lớn gồm các dụng cụ phân tích khí bằng cách dùng quan hệ giữa nồng độ chất thành phần cần xác định trong hỗn hợp khí, đối với một tính chất quang học nào đó của hỗn hợp cần phân tích như : chỉ số khúc xạ, mật độ quang học, hấp thụ phổ, bức xạ, phổ...

6.7.1. Bộ phân tích khí kiểu giao thoa kế (giao thoa kế khí)

Bộ phân tích khí này ứng dụng hiện tượng xê dịch dải giao thoa do sự thay đổi mật độ quang học của môi chất khí trên đường đi của một trong hai tia sáng kết hợp.

Sơ đồ đơn giản hình thành của dải giao thoa và sự xê dịch của chúng.



Hai nguồn tia sáng đơn sắc kết hợp đặt ở điểm A_1 và A_2 do tác dụng tương hỗ của của các tia sáng nên trên màn ảnh xuất hiện dải giao thoa (*hình ảnh giao thoa*). Sự hình thành các dải sáng và tối của ảnh giao thoa là do khoảng chênh lệch giữa 2 tia sáng giao thoa với độ dài và sóng (gặp nhau ở điểm đã xác định

trên màn ảnh). Đối với dải sáng thì khoảng chênh lệch của tia sáng bằng nửa số sóng chắn.

Tức là: Với $\delta = 2\frac{\lambda}{2}, 4\frac{\lambda}{2}, 6\frac{\lambda}{2} \dots$ thì được dải sáng,

còn ở điểm ứng với $\delta = \frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, 5\frac{\lambda}{2} \dots$ được dải tối.

(λ - là độ dài sóng của tia giao thoa).

Do kết quả giao thoa ở điểm B xuất hiện dải sáng còn cả hai bên cạnh là các dải tối và sáng xen kẽ nhau. Trường hợp dải sáng trắng (không đơn sắc) thì ở hai bên của dải trắng ở điểm B sẽ có màu sắc.

Nếu giữa A_1 và màn ảnh có đặt một buồng dài l chứa đầy khí có chỉ số khúc xạ $n_k > n_{kk}$ (n_{kk} là chỉ số khúc xạ không khí) nên trong trường hợp này đường đi của tia sáng sẽ kéo dài thêm một đoạn $\delta = (n_k - n_{kk})l$. Điểm A_1 như vậy chuyển dịch tới điểm A'_1 còn trên màn ảnh thì B chuyển tới B' cách đều A'_1 và A_2 . Còn nếu buồng chứa khí đặt giữa A_2 và màn ảnh thì ảnh giao thoa sẽ chuyển dịch xuống dưới.

Bộ chuyển dịch của ảnh giao thoa phụ thuộc vào chỉ số khúc xạ của môi chất nên phụ thuộc vào biến đổi mật độ và do đó phụ thuộc chất thành phần trong hỗn hợp chứa trong buồng trên.

Hình vẽ dưới đây là bộ phân tích khí kiểu giao thoa kế có sơ đồ quang học đầy đủ. Các kênh A,B,C có vách ngăn cách nhau, kênh A và B có ống nối thông với nhau và thường chứa không khí, kênh C chứa khí cần phân tích tia sáng từ nguồn 1 qua kính hội tụ 2 đến lăng kính phản xạ toàn phần 3 rồi tới bản phẳng song song 4 tạo nên các tia khúc xạ và các tia phản xạ - các tia này qua buồng chứa khí 5 gặp lăng kính phản xạ toàn phần 6 rồi lại trở về bản phẳng song song 4. Các tia sáng từ bản phẳng song song 4 đi ra sẽ qua lăng kính quay 7 và được phản xạ qua một thấu kính hội tụ 8 khác và hội tụ ở mặt phẳng chứa tiêu điểm của 8. Ảnh giao thoa trên mặt phẳng đó sẽ được quan sát qua ống kính 9.

Muốn được khoảng chênh lệch của tia sáng của ảnh giao thoa thì phải có góc nghiêng không lớn của lăng kính 6 xung quanh bờ mặt huyền của nó. Nồng độ của chất thành phần được đo bằng độ chuyển dịch ảnh giao thoa và có thể thực hiện theo 2 cách : Cách thứ nhất thực hiện theo thang chia độ của thị kính cùng nằm trong trường quan sát với ảnh giao thoa. Cách thứ hai (chính xác hơn) là ảnh giao thoa được lặp lại vị trí ban đầu đối với đường ngắm ở giữa trường

Bộ phân tích khí kiểu giao thoa kế chỉ có thể dùng cho hỗn hợp kếp, chất thành phần có chỉ số khúc xạ khác hẳn nhau.

Giao thoa kế khí được dùng phổ biến nhất là dùng thiết bị phân tích phòng thí nghiệm có độ chính xác cao và cũng là bộ phân tích thao tác bằng tay mang lưu động chủ yếu dùng xác định thành phần khí như CO_2 , CH_4 trong không khí.

6.7.2. Bộ phân tích kiểu quang âm (hấp thụ tia hồng ngoại)

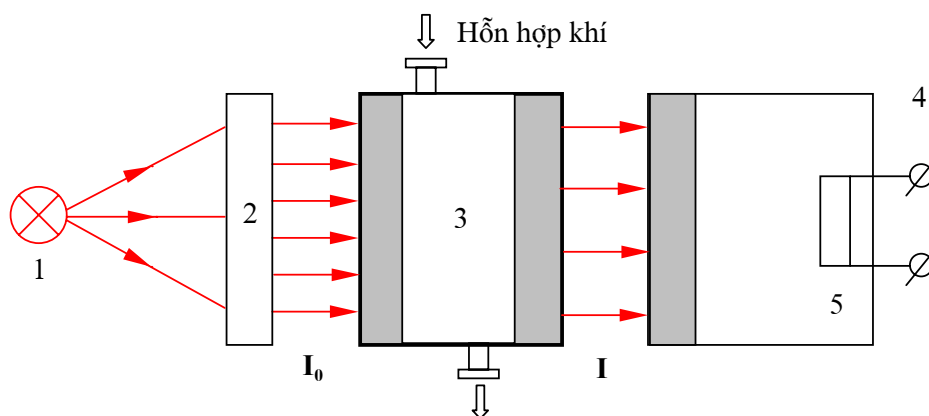
Bộ phân tích kiểu quang âm là loại được ứng dụng và phát triển nhiều nhất trong số các bộ phân tích dùng tia hồng ngoại có thể dùng phân tích thành phần hỗn hợp khí và cũng có thể dùng đo nồng độ của dung dịch, vì vậy nên đã được phát triển rất nhanh trong những năm gần đây.

Ánh sáng thấy được, ánh sáng không trong thấy được, sóng nhiệt, sóng điện... đều là sóng điện từ, người ta phân biệt chúng theo độ dài sóng hoặc tần số, tia hồng ngoại thuộc phạm vi ánh sáng không thấy được độ dài sóng thông thường trong khoảng $0,75\mu$ đến 4000μ .

Các bộ phân tích kiểu tia hồng ngoại chủ yếu dựa vào 2 tính chất cơ bản của tia hồng ngoại là :

- Khả năng bức xạ mạnh của tia hồng ngoại đối với nhiệt năng.
- Các môi chất, nhất là khí nhiều nguyên tử đều có khả năng hấp thụ năng lượng bức xạ tia hồng ngoại.

Nguyên lý cấu tạo bộ phân tích kiểu tia hồng ngoại dùng đo định lượng nồng độ như hình vẽ.



Năng lượng bức xạ của nguồn sáng tia hồng ngoại 1 phát ra có cường độ là I_0 sau khi qua 2 thì vào buồng làm việc 3, buồng này có hỗn hợp khí cần đo liên tục chạy qua, nhóm khí cần phân tích sẽ hấp thụ năng lượng bức xạ của một đoạn quang phổ nào đó trong tia hồng ngoại, năng lượng đưa vào buồng 4 bây giờ không còn là I_0 mà là I , buồng 4 chứa đầy nhóm khí cần phân tích với nồng độ khá cao nên phần năng lượng còn dư $I = I_0 - \Delta I$ sẽ bị hấp thụ hết, nhiệt độ buồng 4 tăng lên dùng một loại phân tử đo nhiệt độ 5 ta sẽ xác định độ tăng nhiệt độ của buồng 4 và sẽ xác định được nồng độ của nhóm khí cần đo.

Theo định luật Langzberg;
$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot C \cdot l}$$

Trong đó :

μ_λ - hệ số hấp thụ tương đương của nhóm cần phân tích và là hàm số đối với độ dài sóng đã định.

C - là nồng độ nhóm cần phân tích (khí hấp thụ bức xạ).

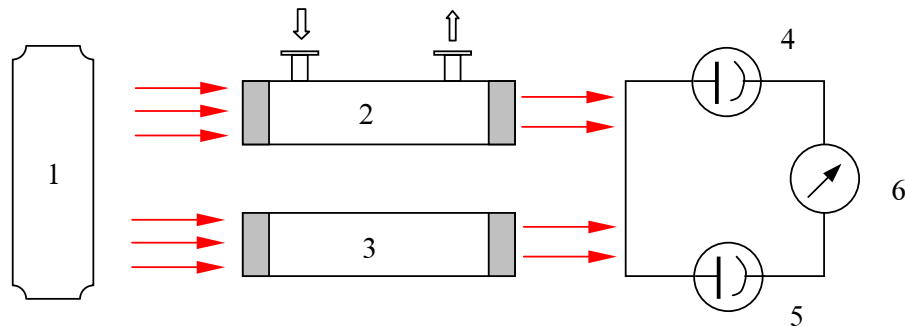
l - độ dài buồng làm việc (chiều dày lớp hấp thụ).

Nếu thể tích buồng làm việc không đổi thì phân tử nhạy cảm 5 có thể là phân tử đo áp suất vì nhiệt độ tăng thì áp suất tăng theo quan hệ đường thẳng.

6.7.3. Bộ phân tích khí kiểu hấp thụ tia tử ngoại (tia cực tím)

Quá trình vật lý có liên quan đến hấp thụ bức xạ tử ngoại rất phức tạp so với bức xạ hồng ngoại, năng lượng lượng tử ứng với phổ vùng tử ngoại không phải chỉ để làm thay đổi năng lượng quay phân tử và năng lượng dao động của nguyên tử như trong phạm vi hồng ngoại mà còn để làm thay đổi năng lượng vỏ điện tử bên ngoài của phân tử.

Sơ đồ bộ phân tích khí kiểu hấp thụ tia tử ngoại:



Bức xạ từ nguồn 1 đi qua buồng làm việc 2 tới tế bào quang điện 4, mặt khác bức xạ cũng qua buồng so sánh 3 tới tế bào quang điện 5. Buồng so sánh chứa đầy hỗn hợp khí có thành phần không đổi, không hấp thụ bức xạ tử ngoại, nếu khí qua buồng làm việc không chứa thành phần cần phân tích thì dòng bức xạ

của 2 nhánh như nhau nên không có dòng điện trong mạch qua đồng hồ 6 .
Trái lại, nếu khí qua buồng làm việc có chứa khí thành phần cần phân tích thì dòng điện qua đồng hồ 6 sẽ tỷ lệ với nồng độ thành phần cần phân tích.

6.7.4. Bộ phân tích khí kiểu phổ quang kế

Nguyên lý làm việc : Xác định được nồng độ chất thành phần trong hỗn hợp khí cần phân tích bằng cách phân tích phổ phát xạ của hỗn hợp khí nhờ đo cường độ bức xạ vạch phổ của chất thành phần.

6.8. BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU SO MÀU SẮC

Trong hỗn hợp khí có nồng độ xác định, phản ứng hóa học có tính chọn lọc màu sắc tác dụng tương hỗ giữa các chất thành phần và dung dịch chỉ thị sẽ làm cho tất cả các chất trong dung dịch bị nhuộm màu, dùng cách đo sự hấp thụ ánh sáng của dung dịch bị nhuộm màu thì sẽ xác định được nồng độ chất thành phần.

Bộ phân tích khí áp dụng nguyên lý so màu sắc nói trên có những ưu điểm cơ bản so với các phương pháp khác :

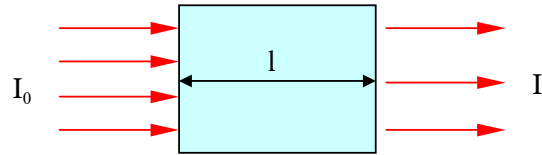
- Phương pháp phân tích so màu sắc có độ nhạy cao (vì có thể gom góp các thành phần cần xác định trong dung dịch chỉ thị hoặc bằng chỉ thị) nói khác đi, tăng số lượng khí cần phân tích đi qua dung dịch chỉ thị hoặc bằng chỉ thị hầu như sẽ làm tăng một cách không hạn chế độ nhạy của phương pháp so màu sắc. Do đó bộ phân tích khí kiểu so màu sắc được dùng rộng rãi để xác định vi nồng độ các khí khác nhau trong hỗn hợp khí phức tạp và trong môi trường không khí, trái lại khi đo các nồng độ lớn thì bộ phân tích này ít có hiệu quả.
- Tính lựa chọn cao. Tính chất này được xác định bởi sự chọn lọc đặc biệt của phản ứng hóa học giữa chất thành phần cần xác định của hỗn hợp khí và dung dịch chỉ thị.
- Bộ phân tích khí kiểu so màu sắc có thể có cấu tạo vạn năng, bởi vì có thể dùng một bộ phân tích và đồng hồ với các dung dịch chỉ thị khác nhau sẽ có thể xác định được các chất khí khác nhau.

Nguyên lý phân tích bằng cách so màu sắc :

Định luật Baye :

Phân tích so màu sắc là dựa trên cơ sở của hiện tượng sau : tia sáng đi qua vật có màu sắc thì có một phần bị vật hấp thụ nên cường độ tia sáng ở đầu đi ra so với đầu đi vào vật trên sẽ yếu hơn. Định luật Baye chính là quy luật rút ra từ hiện tượng trên. Giả sử có một bình chứa có 2 vách cách nhau một khoảng l làm bằng môi chất sáng lý tưởng (không hấp thụ tia sáng).

Tia sáng tới trực giao với vách có cường độ I_0 , tia sáng ở đầu đi ra có cường độ là I thì quan hệ giữa I và I_0 có thể xác định bằng

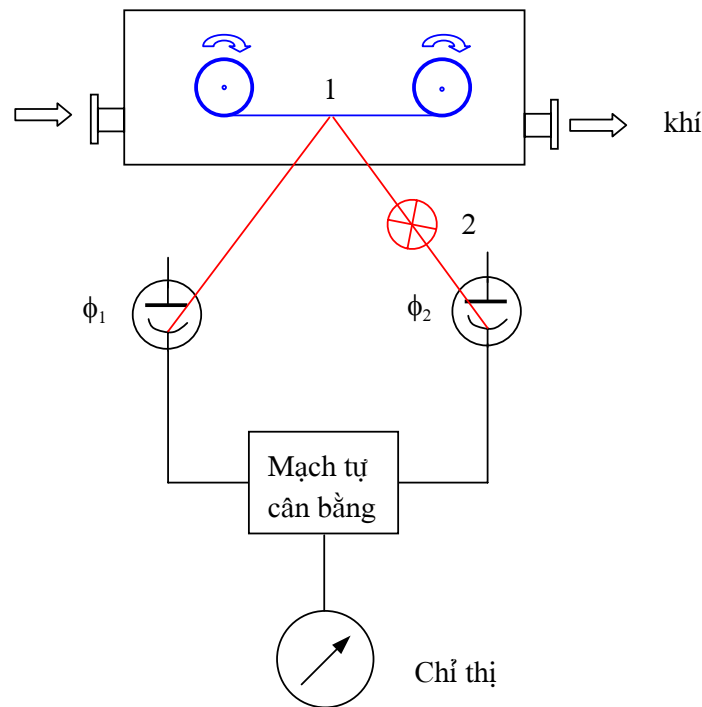


công thức :
$$I = I_0 e^{-\xi Cl} \quad \text{hay là} \quad \frac{I}{I_0} = e^{-\xi Cl}$$

trong đó : ξ là hằng số tỷ lệ còn gọi là hệ số tiêu quang (là đại lượng vật lý có quan hệ với tính chất nhưng không có quan hệ với nồng độ của môi chất). Do đó khi môi chất xác định thì ξ cũng xác định và nếu giữ l không đổi thì từ I/I_0 có thể suy ra C .

Bộ phân tích bằng phương pháp so màu sắc có thể chia làm 3 loại :

- Bộ phân tích khí dùng dung dịch so màu sắc.
- Bộ phân tích khí phân tích trực tiếp theo màu sắc khác nhau của chất khí.
- Bộ phân tích khí so màu sắc dùng băng hấp thụ.



Bộ phân tích khí so màu sắc dùng băng hấp thụ.

Bằng cách đo mức độ nhuộm màu của băng chỉ thị 1, (mức độ này phụ thuộc vào nồng độ của chất thành phần). Trong dụng cụ trên người ta so sánh dòng

ánh sáng trực tiếp cũng từ đèn 2 qua 2 phần tử quang điện ϕ_1 và ϕ_2 và tự động cân bằng, từ đó ta xác định được mức độ nhuộm màu và suy ra nồng độ.

6.9. BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU SẮC KÝ

Trong các bộ phân tích tự động thì phương pháp phân tích kiểu sắc ký là một phương pháp lớn và mới của bộ phân tích kiểu lý- hóa. Bộ phân tích loại này được dùng để phân tích vật vô cơ và đặc biệt là vật hữu cơ với tính ưu việt độc đáo.

Hỗn hợp khí phức tạp được chia thành các thành phần riêng biệt do kết quả của quá trình hấp phụ diễn ra khi hỗn hợp chuyển động dọc theo lớp chất hấp phụ và sau đó xác định nồng độ của mỗi chất thành phần.

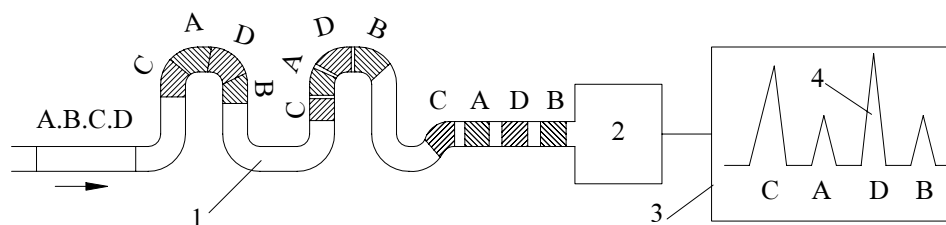
Trong hệ dị thể có bề mặt chia pha, bao giờ cũng có năng lượng tích lũy trên bề mặt, gắn liền với bề mặt chia pha đó diễn ra một quá trình gọi là quá trình hấp phụ. Đó là quá trình tập trung vật chất từ trong thể tích pha về bề mặt chia pha, người ta gọi là sự hấp phụ bề mặt hoặc gọi tắt là sự hấp phụ. Nguyên nhân của quá trình hấp phụ là do có lực liên kết giữa chất hấp phụ và chất bị hấp phụ người ta cho rằng có 2 loại lực liên kết hấp phụ cơ bản đó là lực vật lý và lực hóa học.

Phân tích hỗn hợp theo phương pháp sắc ký dựa trên cơ sở hấp phụ của chất hấp phụ rắn và lỏng. Tùy theo loại chất hấp phụ, phép sắc ký khí được chia ra loại khí -hấp phụ và khí -chất nước.

■ Phép sắc ký khí hấp phụ dựa vào độ hấp phụ khác nhau của chất hấp phụ rắn đối với chất thành phần trong hỗn hợp khí. Chất hấp phụ này làm bởi vật liệu hữu cơ hoặc khoáng chất tự nhiên hay nhân tạo có tính xốp để có thể tích không gian hấp phụ lớn.

■ Phép sắc ký khí - chất nước : Dựa vào sự hấp phụ khác nhau đối với các chất thành phần đó trong chất nước dẫn tới bề mặt chất hấp phụ. Chất nước thường hay dùng nhất làm chất hấp phụ là các ete (este) cao phân tử, rượu, dầu silicon...

Hỗn hợp khí cần phân tích chuyển động qua một ống dài nhỏ chứa đầy chất hấp phụ. Do sự hấp phụ có lựa chọn các thành phần bị hấp phụ ít đi qua trước (B, D) còn những chất hòa tan tốt (C,A) bị giữ lại sau đó có sự phân chia hợp chất thành nhiều thành phần khác nhau.



Những thành phần này được di chuyển qua cột sắc ký thành những vùng riêng lẻ và theo trình tự được dẫn đi bằng dòng khí vận chuyển và đến bộ chuyển đổi 2 và vào thiết bị tự ghi 3, đường cong 4 gồm những đỉnh riêng lẻ, mỗi đỉnh tương ứng với mỗi chất thành phần nhất định. Nồng độ khối của chúng được xác định theo tỷ số diện tích của mỗi khoảng nhọn với diện tích của tất cả sắc phổ.

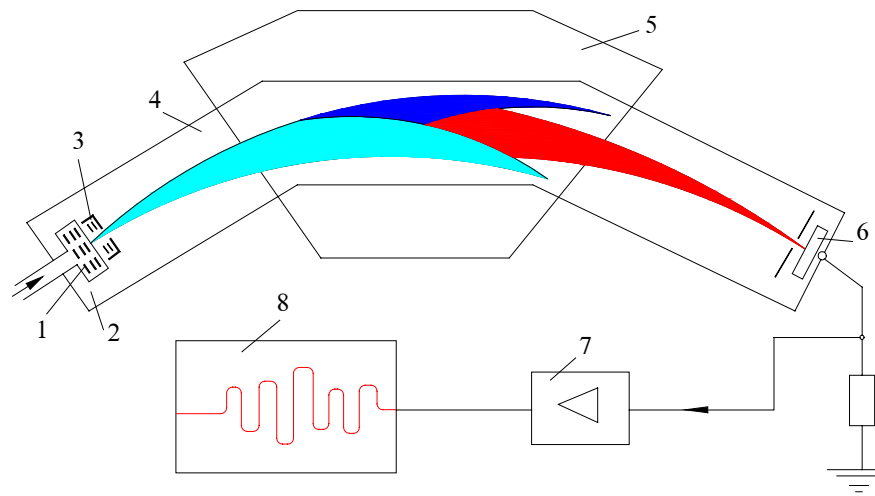
6.10. BỘ PHÂN TÍCH KHÍ KIỂU KHỐI PHỔ

Các bộ phân tích khí tuy có nhiều loại song xét về mặt phân tích các chất có thành phần phức tạp và ứng dụng thuận tiện thì các bộ phân tích khí kiểu khối phổ có một vị trí đặc biệt quan trọng.

Nguyên lý làm việc của bộ phân tích loại này là biến phân tử vật chất cần phân tích thành ion rồi hình thành các chùm ion chạy qua từ trường hoặc điện trường, tùy theo khối lượng mà các ion sẽ tách riêng ra để tập hợp thành khối phổ đặc trưng cho mỗi chất thành phần trong hỗn hợp, nồng độ của chất thành phần thì biểu thị bởi cường độ của dòng ion tương ứng và tùy theo cách chia tách dòng ion, có thể chia dụng cụ phân tích kiểu khối phổ thành 2 loại lớn :

- Loại tĩnh - dùng điện trường hoặc từ trường không đổi hoặc thay đổi chậm.
- Loại động - quá trình diễn ra phụ thuộc thời gian khi ion bay trong không gian của điện trường cao tần hoặc không gian không có từ trường và điện trường. Dụng cụ được dùng phổ biến hơn cả là loại tách ion theo khối lượng trong từ trường đều đi ngang.

Khí phân tích được đưa vào nguồn ion hóa 1 gắn ở đầu bình chân không 4. Dưới tác dụng của điện cực Catốt 2, các phân tử khí được ion hóa và nhờ có hệ thống tập trung 3 hệ thống này đặt điện áp tăng tốc U, các phân tử ion hóa hướng vào từ trường đồng nhất của nam châm điện từ 5 véc tơ cảm ứng từ B của từ trường này hướng vuông góc với mặt phẳng cắt.



Ion của các chất thành phần khác nhau có điện tích giống nhau nhưng có khối lượng khác nhau (m_i) dưới tác dụng của từ trường chúng được phân chia thành những chùm riêng lẻ theo khối lượng và có quỹ đạo với các bán kính khác nhau biểu diễn theo phương trình :

$$r_i = \frac{\sqrt{\frac{2um_i}{e}}}{B}$$

Bằng cách thay đổi từ cảm B hoặc điện áp tăng tốc U các chùm ion có khối lượng giống nhau tương ứng với thành phần đo của hỗn hợp được đưa vào bộ thu ion 6, dòng này được khuếch đại nhờ bộ khuếch đại 7 rồi đưa vào thiết bị tự ghi 8./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- *Cơ sở kỹ thuật đo lường*, NXB Đại học bách khoa Hà nội, 1995
- 2- *Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý, tập 1, 2* - Phạm thượng Hàn, Nguyễn trọng Quế , Nguyễn văn Hòa, NXB Giáo dục, 1996
- 3- *Đo lường và điều khiển bằng máy tính* - Ngô Diễn Tập, NXB Khoa học kỹ thuật, 1996
- 4- *Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements (Third Edition)* - Robert P. Benedict, A Wiley- Interscience Publication John Wiley & Sons

MỤC LỤC	Số trang
CHƯƠNG 1 : NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG	7
1.1. Đo lường và dụng cụ đo lường	7
1.1.1. Định nghĩa đo lường	
1.1.2. Phân loại đo lường	
1.1.3. Dụng cụ đo lường	
1.2 . Các tham số của đồng hồ	10
1.2.1. Sai số và cấp chính xác	
1.2.2. Biến sai	
1.2.3. Độ nhạy và hạn không nhạy	
1.2.4. Kiểm định đồng hồ	
1.3. Sai số đo lường	12
1.3.1. Các loại sai số	
1.3.2. Tính sai số ngẫu nhiên trong phép đo trực tiếp	
1.3.3. Tính sai số ngẫu nhiên trong phép đo gián tiếp	
CHƯƠNG 2 : ĐO NHIỆT ĐỘ	21
2.1. Những vấn đề chung	21
2.1.1. Khái niệm về nhiệt độ	
2.1.2. Đơn vị và thước đo nhiệt độ	
2.1.3. Các phương pháp đo nhiệt độ	
2.2. Nhiệt kế dân nỏ	26
2.2.1. Nhiệt kế dân nỏ chất rắn	
2.2.2. Nhiệt kế dân nỏ chất lỏng	
2.2.3. Nhiệt kế kiểu áp kế	
2.3. Nhiệt kế nhiệt điện	32
2.3.1. Nguyên lý đo nhiệt độ của cặp nhiệt	
2.3.2. Vật liệu và cấu tạo của cặp nhiệt	
2.3.3. Bù nhiệt độ đầu lạnh của cặp nhiệt	
2.3.4. Các cách nối cặp nhiệt và khắc độ	
2.3.5. Đo suất nhiệt điện động của cặp nhiệt	
2.4. Nhiệt kế điện trở	46
2.4.1. Nguyên lý đo nhiệt độ bằng nhiệt kế điện trở	
2.4.2. Cấu tạo nhiệt kế điện trở	

2.4.3. Các cách đo điện trở R_t	
2.5. Sai số đo nhiệt độ theo phương pháp tiếp xúc	53
2.5.1. Đo nhiệt độ dòng chảy trong ống	
2.5.2. Đo nhiệt độ khí gần ống đo có vách lạnh	
2.5.3. Đo nhiệt độ vách - bề mặt	
2.5.4 Một số trường hợp khác	
2.6. Đo nhiệt độ bằng phương pháp gián tiếp	58
2.6.1. Nguyên lý	
2.6.2. Những định luật cơ sở về bức xạ nhiệt	
2.6.3. Hỏa kế quang học	
2.6.4. Hỏa kế quang điện	
2.6.5. Hỏa kế bức xạ toàn phần	
CHƯƠNG 3 : ĐO ÁP SUẤT VÀ CHÂN KHÔNG	67
3.1. Định nghĩa và thang đo	67
3.1.1. Định nghĩa	
3.1.2. Thang đo	
3.2. Áp kế chất lỏng	69
3.2.1. Các loại dùng trong phòng thí nghiệm	
3.2.2. Các loại dùng trong công nghiệp	
3.3. Một số loại áp kế đặc biệt	71
3.4. Các cách truyền tín hiệu đi xa	73
3.6.1. Hệ thống điện dùng biến trở	
3.6.2. Hệ thống truyền xa kiểu cảm ứng	
3.6.3. Máy biến áp sai động	
3.6.4. Bộ chuyển đổi sắt động	
3.6.6. Bộ chuyển đổi dùng khí nén	
CHƯƠNG 4 : ĐO LƯU LƯỢNG MÔI CHẤT	81
4.1. Định nghĩa và đơn vị lưu lượng	81
4.1.1. Định nghĩa	
4.1.2. Đơn vị lưu lượng	
4.2. Đo lưu lượng theo lưu tốc	81
4.2.1. Nguyên lý	
4.2.2. Ống pitô	
4.2.3. Đồng hồ đo vận tốc	

4.3. Đo lưu lượng theo phương pháp dung tích	89
4.3.1. Nguyên lý	
4.3.2. Lưu lượng kế kiểu bánh răng	
4.3.3. Thùng đong và phễu lật	
4.4. Đo lưu lượng theo phương pháp tiết lưu	92
4.4.1. Thiết bị tiết lưu quy chuẩn	
4.4.2. Thiết bị tiết lưu ngoại quy chuẩn	
4.4.3. Lưu lượng kế kiểu hiệu áp kế	
4.4.4. Bộ tích phân	
4.4.5. Chia độ và kiểm tra thước chia độ của lưu lượng kế kiểu hiệu áp kế	
4.4.6. Lắp đặt hiệu áp kế và đường dẫn tín hiệu áp suất	
4.5. Lưu lượng kế có giáng áp không đổi	106
4.5.1. Rôtamét	
4.5.2. Lưu lượng kế kiểu Piston	
4.6. Một vài lưu lượng kế đặc biệt	108
4.6.1. Lưu lượng kế kiểu nhiệt điện	
4.6.2. Lưu lượng kế kiểu điện từ	
4.6.3. Lưu lượng kế siêu âm	
4.6.4. Lưu lượng kế dùng đồng hồ phóng xạ	
CHƯƠNG 5 : ĐO MỨC CAO CỦA MÔI CHẤT	109
5.1. Đo mức cao môi chất bằng phương pháp tiếp xúc	111
5.1.1. Phương pháp cơ khí	
5.1.2. Phương pháp đo mức kiểu thủy tĩnh	
5.1.3. Phương pháp đo mức dùng áp kế	
5.1.4. Phương pháp đo mức dùng khí nén	
5.1.5. Dụng cụ đo mức cao của chất rắn	
5.2. Đo mức cao môi chất bằng phương pháp gián tiếp	117
5.2.1. Phương pháp dùng chất phóng xạ	
5.2.2. Phương pháp dùng sóng siêu âm	
CHƯƠNG 6 : PHÂN TÍCH CÁC CHẤT THÀNH PHẦN TRONG HỖN HỢP	117
6.1. Mục đích và nội dung	119
6.2. Nguyên lý phân tích thành phần hỗn hợp	120
6.3. Bộ phân tích kiểu cơ khí	122

6.4. Bộ phân tích khí kiểu nhiệt	122
6.4.1. Các bộ phân tích khí kiểu dẫn nhiệt	
6.4.2. Các bộ phân tích khí kiểu nhiệt hóa học	
6.5. Bộ phân tích khí kiểu điện	126
6.5.1. Bộ phân tích khí kiểu Ion hóa	
6.5.2. Bộ phân tích khí kiểu điện hóa	
6.6. Bộ phân tích khí kiểu từ	128
6.7. Bộ phân tích khí kiểu quang học	128
6.7.1. Bộ phân tích khí kiểu giao thoa kế	
6.7.2. Bộ phân tích khí kiểu quang âm	
6.7.3. Bộ phân tích khí kiểu hấp thụ tia tử ngoại	
6.7.4. Bộ phân tích khí kiểu quang phổ	
6.8. Bộ phân tích khí kiểu so màu sắc	132
6.9. Bộ phân tích khí kiểu sắc ký	133
6.10. Bộ phân tích khí kiểu khối phổ	134
TÀI LIỆU THAM KHẢO	136